Das C-N-P - Verfahren zur biologischen Optimierung von Kläranlagen

1 Veranlassung und Zielsetzung

1.1 Ökonomie oder Ökologie ?

In der öffentlichen Diskussion wird das Thema „Umweltschutz“ in den letzten Jahren zunehmend kontrovers diskutiert:

Während einerseits nachhaltige Maßnahmen zur Erhaltung der Umweltqualität und zum Schutz des globalen Klimas gefordert werden (z.B. Kyoto- und Cancúnprotokoll), wird andererseits geltend gemacht, dass in wirtschaftlich schwierigen Zeiten ökonomische Aspekte Vorrang haben müssten. Umweltschutz droht damit zum Luxusgut zu werden, auf das man „später“ zurückkommt, „wenn man es sich leisten kann“.

Konkret heißt dies, dass das Umweltargument bei der Entscheidungsfindung in den maßgeblichen Gremien allenfalls eine nachgeordnete Rolle spielt, es sei denn, es seien bestimmte Gesetze einzuhalten (z.B. Emissionsgrenzwerte). Dies ist aus der Sicht der Kommunen und Verbände auch verständlich, da diese sich durch erhöhten Kostendruck und Ausfällen auf der Einnahmeseite immer stärker mit der Notwendigkeit konfrontiert sehen, Kosten einzusparen oder zu vermeiden.

Aus der Erkenntnis heraus, dass ökologisch vorteilhafte Maßnahmen sich nur dann in nennenswertem Umfang durchsetzen werden, wenn sie mit ökonomischen Vorteilen gepaart sind, wurde das innovative C-N-P - Verfahren entwickelt.

Für den Bereich der Abwasserreinigung sind anzustrebende **Vorteile für den Umweltschutz** im Wesentlichen:

- Verbesserung der Reinigungsleistung
- Erhöhung der Prozessstabilität und damit weniger Störfälle, die die ordnungsgemäße Funktion der Anlage beeinträchtigen
- Verminderung der CO_2-Emission durch verminderten Energieverbrauch, ggf. Erhöhung der Eigenerzeugung aus Klärgas
- Verminderung der zu entsorgenden Reststoffe (Klärschlamm)

Alle diese Punkte sind ebenfalls **ökonomisch** relevant durch:

- Verbesserung der Reinigungsleistung = weniger Abwasserabgabe,
- Erhöhung der Prozessstabilität = Vermeidung von Strafzahlungen bei Grenzwertüberschreitungen sowie Verminderung der Kosten für Störungsbeseitigung
- Verminderung der Kosten für Energieverbrauch
- Verminderung der Kosten für Reststoffentsorgung

*Hei***ENTEC**
Dr.Heimann
Umwelttechnik GmbH
Hauptstraße 154
D-63829 Krombach

Amtsgericht Gießen
HR B 3022
Geschäftsführer:
Alfred Albert

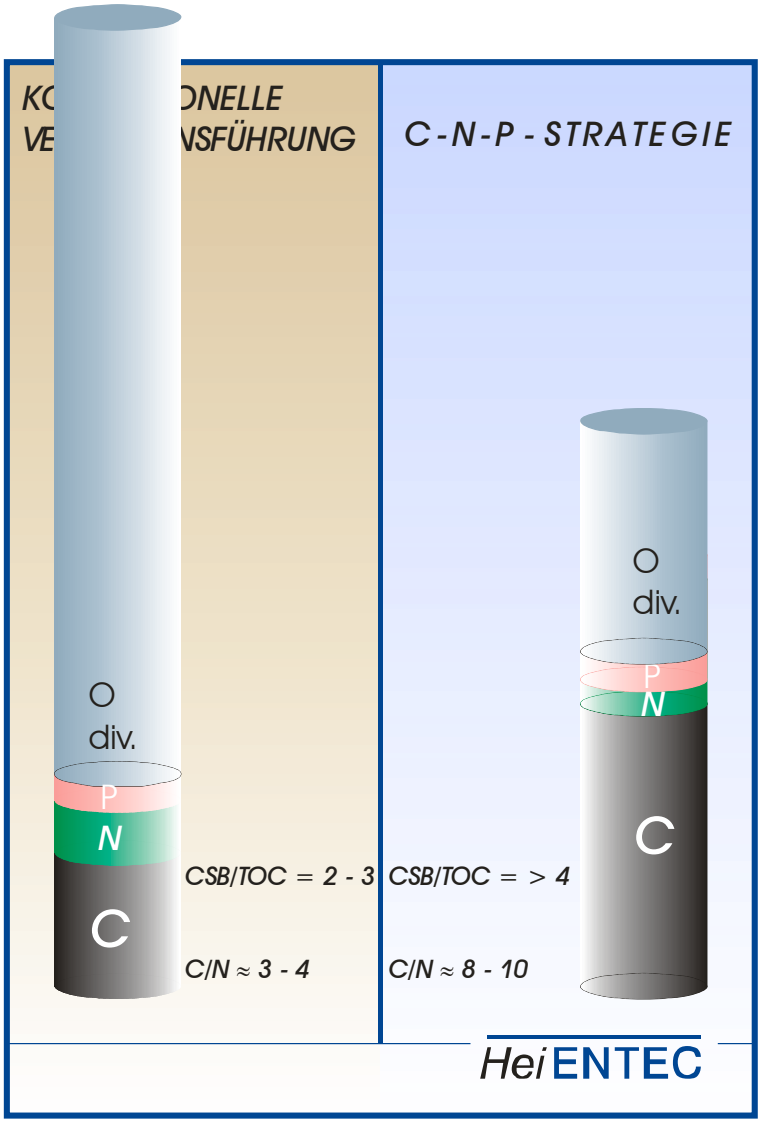
Fon: 06024 / 63829

info@heientec.com

Wie man sieht, ist die Schnittmenge zwischen den beiden Themenkreisen sehr groß, so dass sich eine realistische Chance bietet, mit Hilfe intelligenter Technologie ökologische und ökonomische Aspekte miteinander zu verbinden.

1.2 Zielsetzung

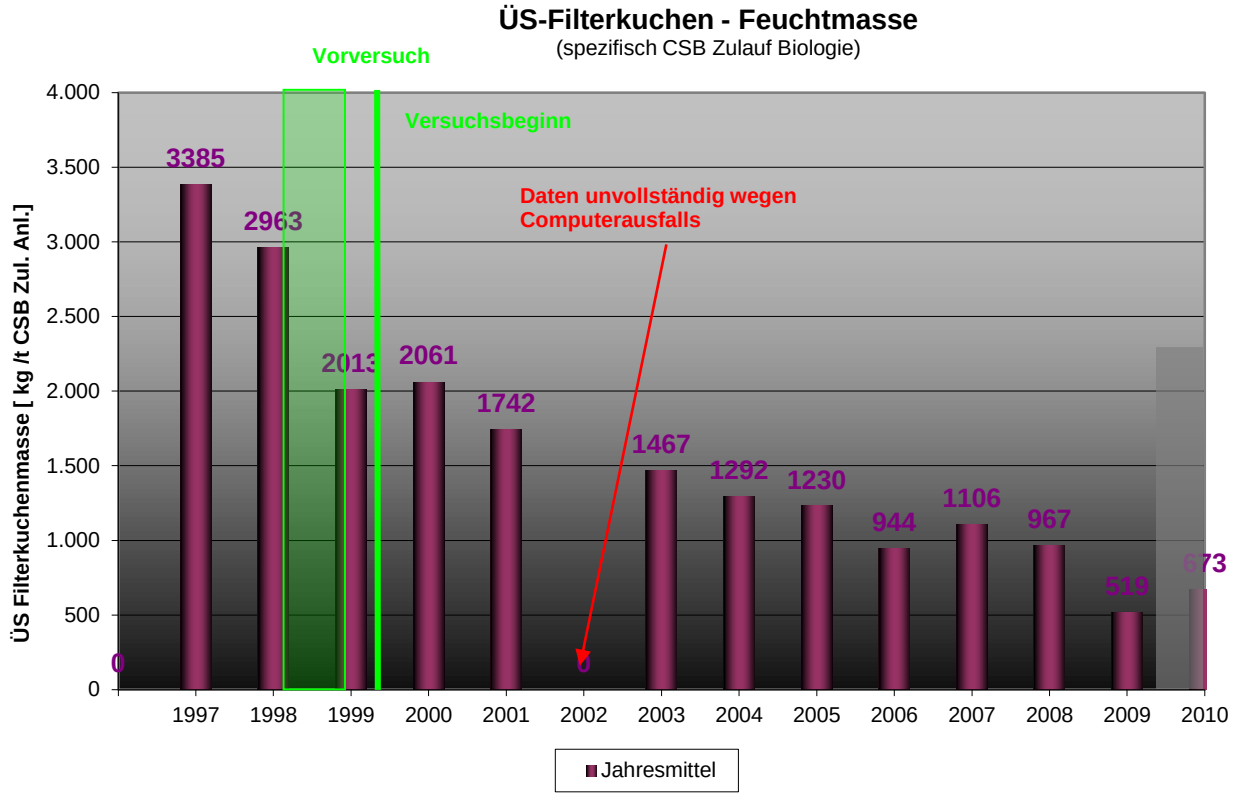
Das C-N-P - Verfahren wurde entwickelt, um mit Hilfe biologischer Optimierung von Belebungsanlagen Vorteile bei Reinigungsleistung, Prozessstabilität und Anlagenkapazität zu erzielen, gleichzeitig aber auch den Energieverbrauch und die anfallenden Reststoffe zu vermindern. Anders als viele gebräuchliche Ansätze zielt das C-N-P - Verfahren nicht auf eine anlagen- oder regelungstechnische Verbesserung, da dies als eher peripher betrachtet wird (z.B. bessere Ausnutzung des eingetragenen Sauerstoffs oder effizienterer Energieeinsatz). Vielmehr setzt das C-N-P - Verfahren direkt bei den die Abwasserreinigung bestimmenden Mikroorganismen an. Durch Optimierung derer Lebensbedingungen und Regelung ihrer Atmungsaktivität wird einerseits eine höhere und stabilere Reinigungsleistung erzielt, andererseits werden die Mikroorganismen aber auch in die Lage versetzt, die Reinigungsleistung mit insgesamt niedrigerem Sauerstoffverbrauch zu erzielen.



Der niedrigere Sauerstoffeintrag führt nicht nur zu geringerem Sauerstoff- oder Stromverbrauch, sondern auch zu geringerem Sauerstoffeintrag in den Belebtschlamm. Dies führt zu einem geringeren Überschussschlammanfall. Die Veränderung der Zusammensetzung und Masse des Überschussschlamms ist schematisch in nebenstehender Abbildung dargestellt (bezogen auf die Trockensubstanz)

2. Ergebnisse

Um diese Effekte zu verifizieren, haben wir vor einigen Jahren in Zusammenarbeit mit der Universität Siegen eine Diplomarbeit auf einer Kläranlage mit ca. 7.000 EW erarbeiten lassen. Das C-N-P - Verfahren wird dort weiterhin eingesetzt – die abgefahrenen Klärschlammmengen (relativ zur Zulauffracht) sind aus der folgenden Abbildung ersichtlich.



Die grün schattierte Fläche stellt den Zeitraum eines Vorversuchs dar, bei der grünen Linie wurde nach Unterbrechung endgültig auf C-N-P - Verfahren umgestellt (für das Jahr 2002 liegen wegen eines Computerfehlers leider nur unvollständige Daten vor).

Entsprechende Ergebnisse weiterer Anlagen liegen vor.

Das C-N-P - Verfahren will also nicht vorrangig problembehaftete Anlagen sanieren, sondern zielt in erster Linie auf Anlagen, die bereits nach herkömmlicher Betriebsweise einwandfrei laufen, um dort ökologische und ökonomische Vorteile zu erzielen. Die Verminderung eventuell bestehender Betriebsprobleme wird dann oftmals „im Nebeneffekt“ erzielt.

3. Durchführung eines Betriebsversuchs

Die Optimierung der Lebensbedingungen der Mikroorganismen und Regelung der Atmungsaktivität erfordert die Zugabe eines speziell entwickelten Hilfsmittels. Die Zugabe erfolgt kontinuierlich und in Abhängigkeit von der Anlagenbelastung.

Die Umstellung der Verfahrensführung erfolgt über einen längeren Zeitraum: Zum einen reagieren biologische Systeme nur langsam, zum anderen muss bei der Umstellung die Abwasserreinigung nach dem bisherigen Verfahren zunächst aufrecht erhalten werden, um die Einhaltung der geforderten Ablaufwerte zu gewährleisten. Die Umstellung kann daher nur behutsam vorgenommen werden – das heißt aber gleichzeitig **risikoarm**, denn es besteht jederzeit die Möglichkeit, einzugreifen, um unerwünschte Effekte auszugleichen. Für einen Betriebsversuch ist daher ein Zeitraum von ca. 12 Monaten erforderlich. Dieser Zeitraum wird auch benötigt, um eine fundierte statistische Bewertung vornehmen zu können.

Zur Durchführung eines Betriebsversuchs wird zunächst das Hilfsmittel ENTEC 118/A frachtproportional dosiert, weiterhin die Verfahrensführung angepasst, insbesondere durch langsame Verminderung des Sauerstoffeintrags, späterhin durch Anpassen des Schlammabzugs an die verminderte Schlammproduktion. Die Frachtproportionalität wird durch die Hilfsgröße „Flüssig-O_2-Volumen“ realisiert: Bei höherer Schmutzfracht wird mehr Sauerstoff dosiert, das resultierende elektrische Signal wird verwendet, um die Dosierpumpe für ENTEC 118/A anzusteuern.

Weiterhin hat ENTEC 118/A die Eigenschaft, Phosphor zu eliminieren und zwar umso besser, je weniger belüftet wird. Der Einsatz eines separaten Fällmittels wird somit stark vermindert und kann mittelfristig ganz entfallen.

Betriebsversuche werden – ebenso wie der nachfolgende Routinebetrieb – durch *Hei***ENTEC** begleitet, wobei insbesondere die von der Anlage aufgenommenen Daten grafisch aufbereitet und dargestellt. Entsprechend der erhaltenen Ergebnisse werden dem Betriebspersonal Hinweise zur Verfahrensführung gegeben, sowohl in Hinblick auf die C-N-P – Verfahrensführung als auch auf allgemeine Aspekte. Einige für diese Betrachtung relevante Grafiken sind unten eingefügt; sie basieren ausschließlich auf Daten aus den Betriebstagebüchern der Kläranlage.

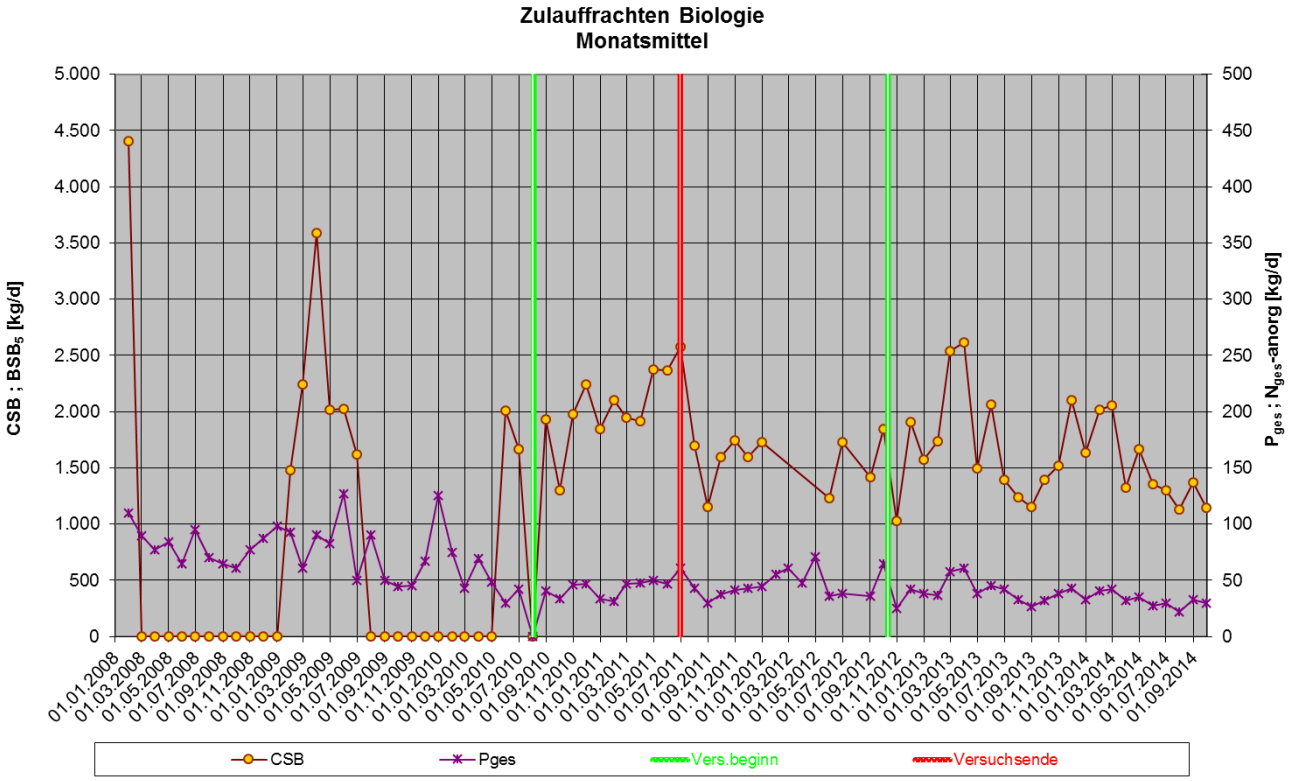
3.1 Kläranlage Meckesheimer Cent

Der Betriebsversuch auf der Kläranlage Meckesheimer Cent wurde in einer ersten Testphase von August 2010 bis Juni 2011 durchgeführt. Die Wiederaufnahme war im Oktober 2012 – der Betrieb dauert noch an. Es ist zu beachten, dass wegen der benötigten Umstellungszeit des biologischen Systems Ergebnisse erst jeweils nach einigen Monaten zu bewerten sind.

In den folgenden Diagrammen ist ein Vergleichszeitraum mit konventioneller Verfahrensführung ab Januar 2008 mit dargestellt, der Beginn der C-N-P – Verfahrensführung ist jeweils durch einen grünen Balken gekennzeichnet, der Beginn der Unterbrechung durch einen roten Balken (s. Legende)

3.1.1 Zulauffracht

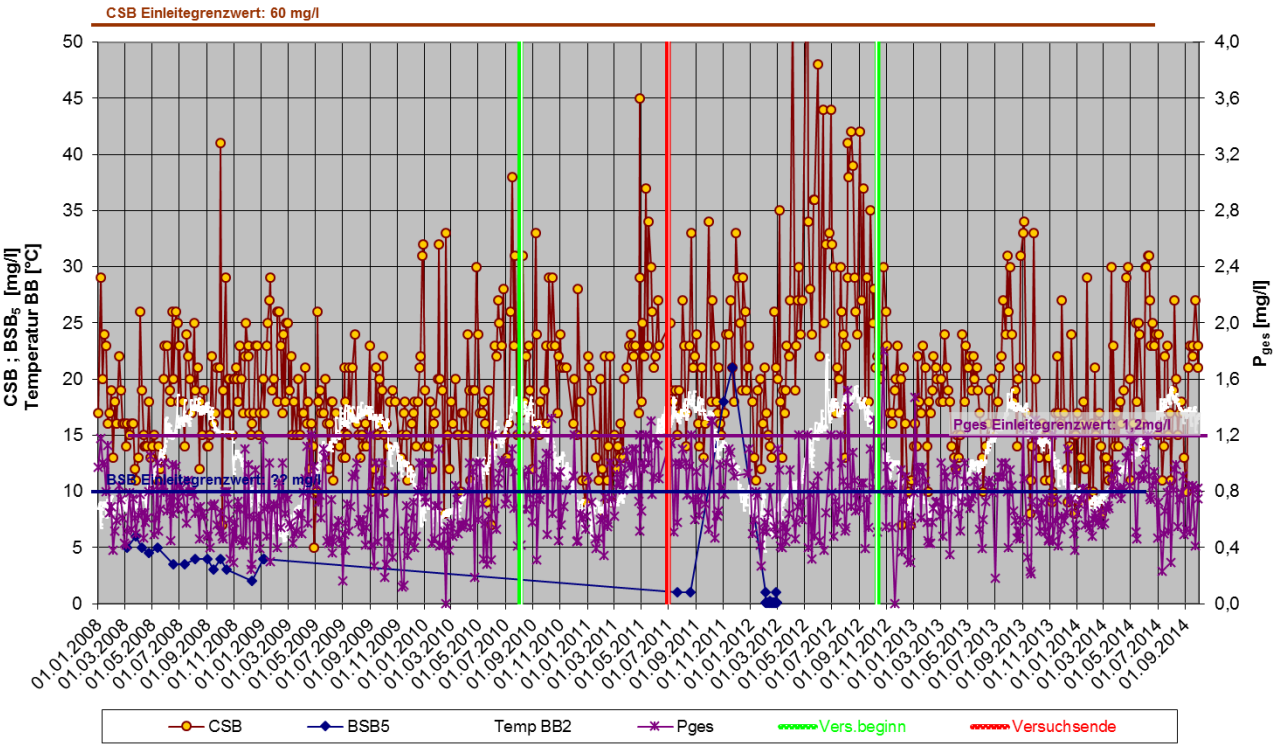
Schwankungen der Zulauffracht um ± 30 % im Verlauf einiger Monate sind durch das Zusammenspiel verschiedener Faktoren ohne weiteres möglich und werden häufig angetroffen. Frachtabhängige Parameter müssen daher immer im Zusammenhang mit der Zulauffracht gesehen werden. Dies gilt insbesondere für den Sauerstoffverbrauch und den Schlammanfall. (Bei höherer Schmutzfracht wird mehr Sauerstoff zur Reinigung benötigt und es fällt mehr Schlamm an.) Wir betrachten diese Parameter daher grundsätzlich als spezifische Werte, bezogen auf die Zulauffracht, die wir durch die Leitkomponente CSB charakterisieren. Dabei sind vor allem die Zulauffrachten zum Belebungsbecken relevant, da das C-N-P - Verfahren auf das biologische System wirkt. Problematisch ist auf der Kläranlage Meckesheimer Cent in der derzeitigen Konfiguration, dass die Zulaufmessungen zur Biologie nicht durchgängig gemessen wurden und außerdem durch interne Kreisläufe beeinflusst sind (z.B. Prozesswasser aus der Schlammentwässerung). Für den weiter unten vorgenommenen Vergleich wurden Zeiträume ausgewählt, in denen möglichst gleichmäßige Zulauffrachten vorliegen (als Vergleichszeitraum Oktober 2011 – Juni 2012 und als C-N-P-Zeitraum Oktober 2013 – Juni 2014).



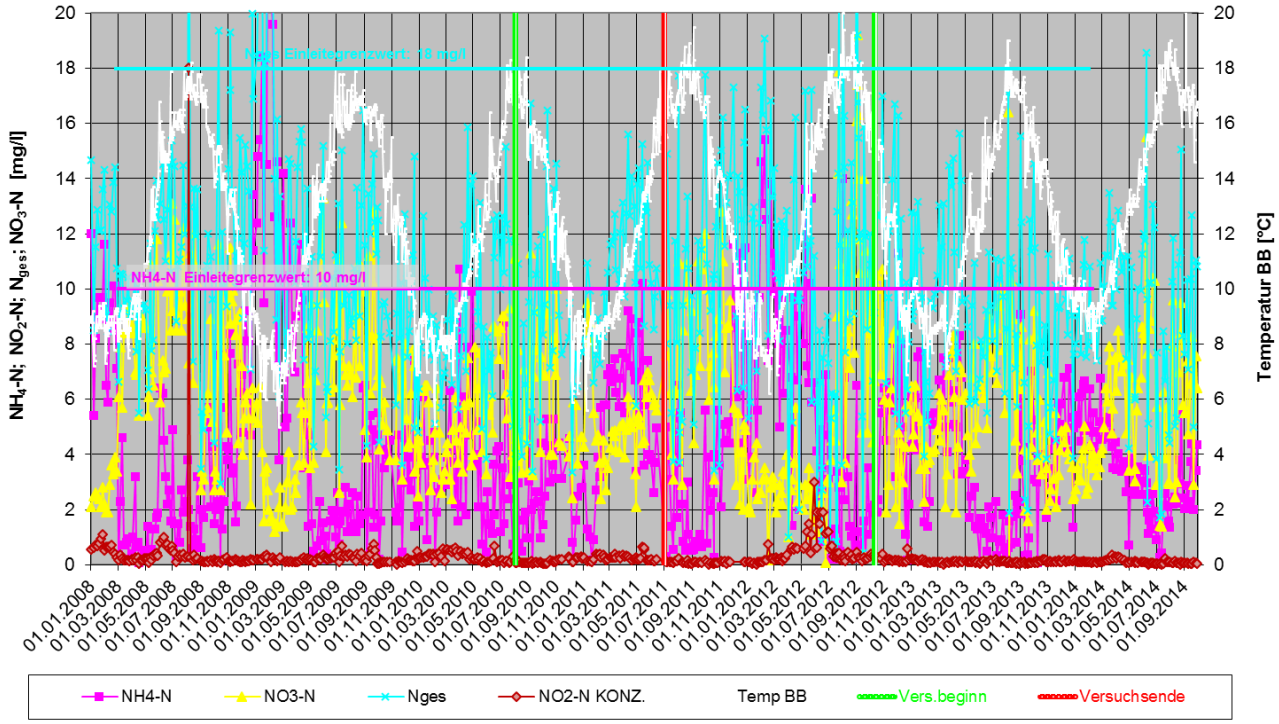
3.1.2 Ablaufkonzentrationen

Gegenüber dem Vergleichszeitraum 2012 nimmt sowohl die CSB-Konzentration als auch die der Stickstoffparameter NH_4-N, N_{ges} und NO_2-N erheblich ab, d.h. der Anlagenbetrieb wird stabiler und die Ablaufgrenzwerte werden eingehalten. Dabei ist ein Trend zu weiterhin niedrigeren Werten zu beobachten. Falls gewünscht, wäre beim CSB eine Herabdeklarierung des Grenzwerts auf 48 mg/l bereits jetzt möglich (Verminderung der Abwasserabgabe um 20 %), für N_{ges} erscheint eine Verminderung mittelfristig ebenfalls möglich.

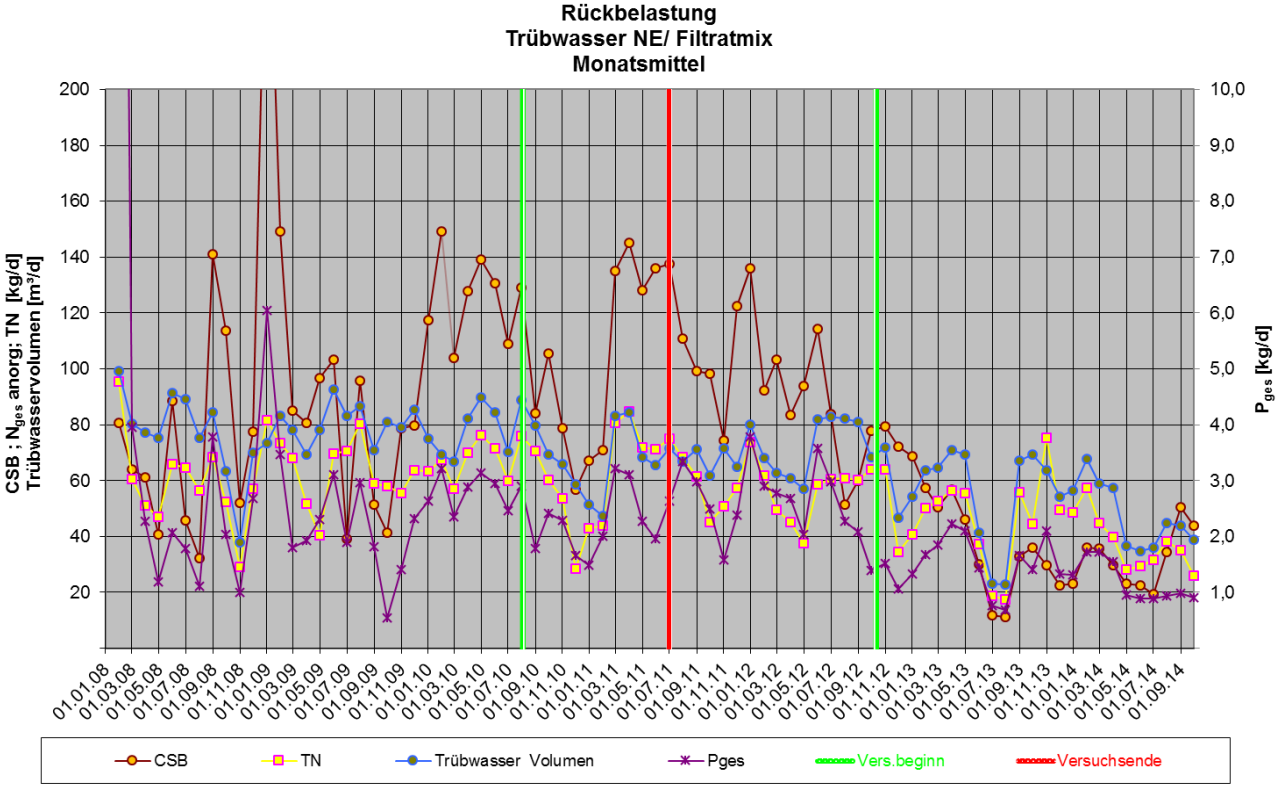
Ablaufwerte



Ablaufwerte N



Beachtenswert ist weiterhin die Rückbelastung aus der Schlammbehandlung, die sowohl für die CSB-Fracht, insbesondere aber auch für TN und Pges stark abgenommen hat und so zur erhöhten Anlagenstabilität beiträgt.

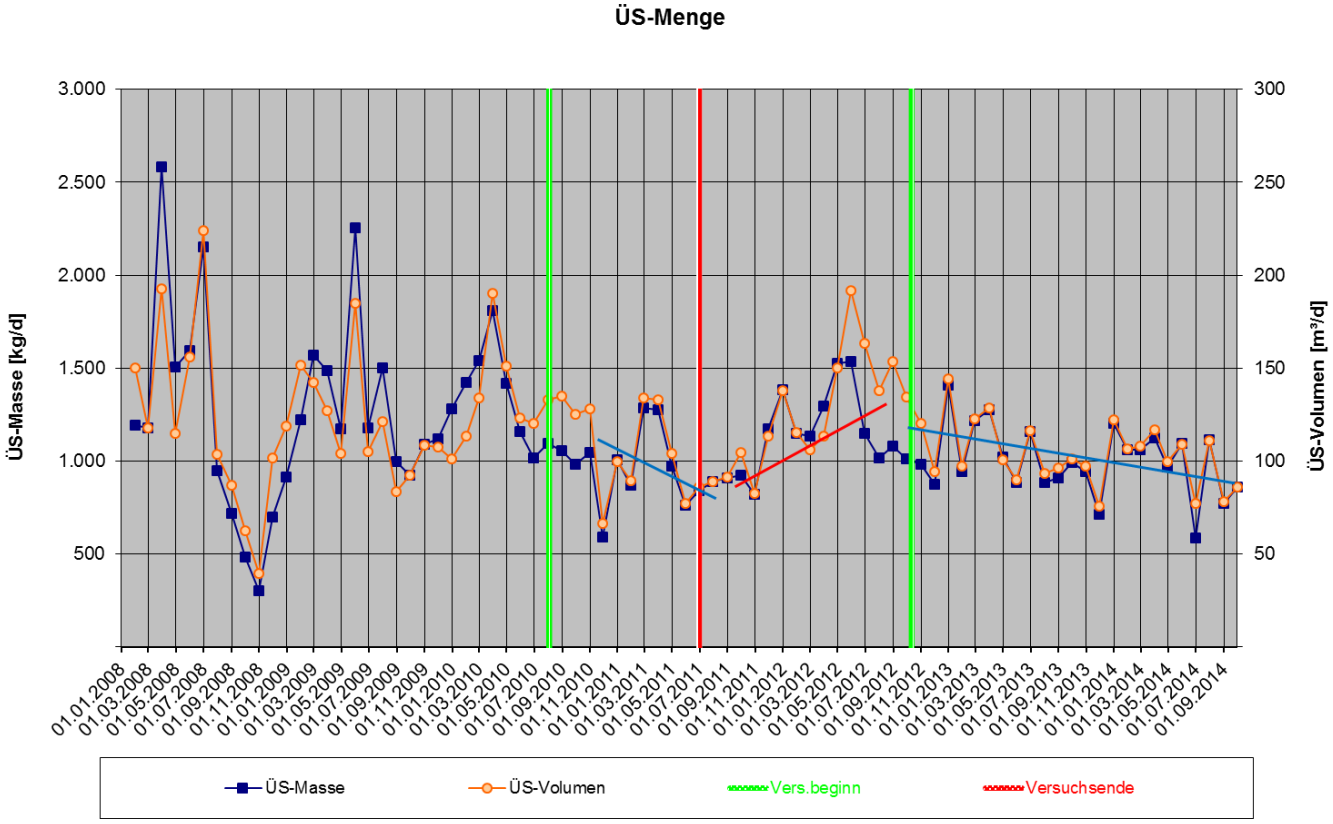


3.1.3 Überschussschlammmenge

Wir betrachten den Feststoffgehalt des Überschussschlamms, da dieser die eigentliche Schlammproduktion darstellt, unabhängig von dem verdünnenden Wasser. Nimmt der Feststoffgehalt ab, nimmt die gesamte (mit Wasser verdünnte) Schlammmenge ebenfalls ab.

Es ist zu beobachten, dass die Überschussschlamm-Masse während der C-N-P-Phasen abnimmt (blaue Trendlinien) und während der Unterbrechung wieder ansteigt (rote Trendlinie).

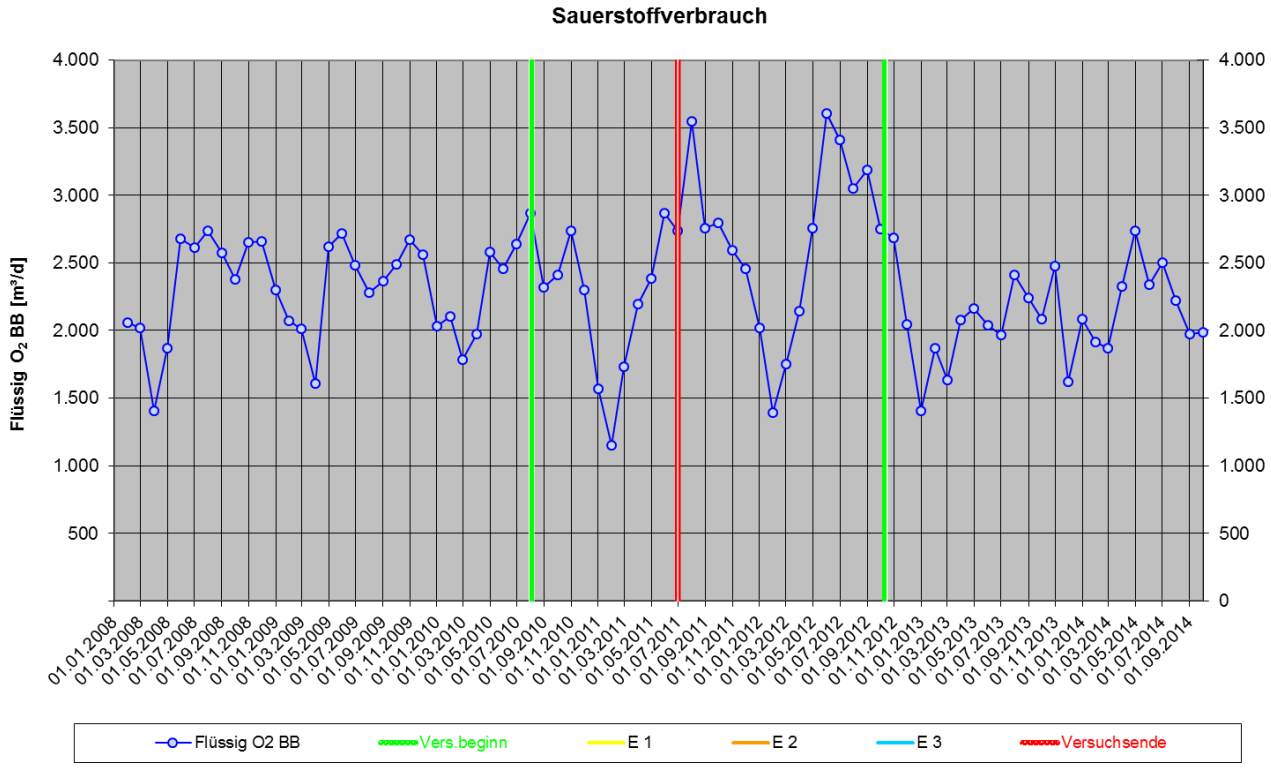
Wegen der nicht durchgängig vorgenommenen Messung der Zulauffracht und der darin enthaltenen Störfaktoren (s.o.) werden hier zur besseren Übersichtlichkeit Masse und Volumen als Tageswerte im Monatsdurchschnitt gezeigt.



Anmerkung:
Die Überschussschlammmenge wirkt sich selbstverständlich auch auf die zu entsorgende Faulschlammmenge aus. Auf Grund der bekannten stark schwankenden Einflüsse der Primärschlammmenge (z.B. durch Lösseintrag), sowie durch die zeitlich nivellierende Wirkung des Faulturms ist der Effekt zwar vorhanden, aber im Zeitverlauf noch nicht so deutlich sichtbar.

3.1.4 Sauerstoffverbrauch

Der Sauerstoffverbrauch des biologischen Systems unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen (Anstieg im Sommer), sowie Einflüssen der Zuflussmenge (durch höheren externen Sauerstoffeintrag bei hohem Zufluss). Insgesamt ist eine deutliche Verminderung des Sauerstoffverbrauchs in den Zeiten unter C-N-P - Verfahren zu beobachten, mit Anstieg unter konventioneller Verfahrensführung.



3.1.5 Phosphoreliminierung

Das für die C-N-P – Verfahrensführung eingesetzte Hilfsmittel ENTEC 118/A eliminiert Phosphor auf Grund seines Aluminiumgehalts. Die Fällung wird gesteigert durch den bekannten Effekt, dass bei niedriger Belüftung auf Grund dann geringerer Autolyse ein geringerer Metalleinsatz benötigt wird, also eine stabilere und bessere P-Eliminierung erzielt wird. Zusätzlicher Einsatz von Fe-Fällmittel ist nur bei Auftreten von ungewöhnlich hohen Zulaufkonzentrationen oder kurzzeitigen Spitzen erforderlich.

In der Vergleichszeit wurden unterschiedliche Fällmittel getestet. Zur Vereinfachung der unten stehenden Kostenrechnung wurde die Gesamtmenge des jeweiligen Fällmittels auf den gesamten betrachteten Zeitraum rechnerisch verteilt. Dadurch ergibt sich zahlenmäßig ein geringerer Wert als zum jeweiligen Zeitpunkt tatsächlich dosiert.

3.1.5 Kosten

Für die vorliegende Auswertung wurden jeweils 9 Monate unter C-N-P und konventioneller Verfahrensführung herangezogen. Es wurden Zeiträume gewählt, in denen die Zulauffrachten weitgehend identisch sind, um die vorn beschriebenen Zweifelsfälle bei der Zulauffracht-Messung zu vermeiden. Um die noch bestehenden geringen Unterschiede bezüglich der zu verarbeitenden Schmutzfrachten auszugleichen, wurden zunächst die Werte pro t CSB Zulauf verglichen (braune und blaue Spalte), die Differenz wurde mit der derzeitigen Fracht zur Biologie (gelb unterlegt) multipliziert. Dies entspricht der Fragestellung: „Welche Werte hätten sich ergeben, wenn konventionell weiter gefahren worden wäre?“ gegenüber „Welche Werte liegen unter C-N-P - Verfahren vor?“ Die sich ergebenden Tagesdifferenzen wurden dann mit den angegebenen Einheitspreisen multipliziert, um Tagesdifferenzen als Kosten zu erhalten

spezifische Werte (pro t CSB Zul. Bio)	*Einheit*	*0*	*Okt. 11 - Juni. 12*	*Okt 13 - Juni 14*	*Differenz (`12) - (`11)*	Differenz pro Tag bei durchschn. CSB-Fracht von	Differenz prozentual	Einheits-preise netto [€]	Kosten pro Tag netto [€]
CSB Zul.Anl.	kg/d					2.978 kg/d			
CSB Zul.Bio	kg/d					1.663 kg/d			
Überschussschlamm									
ÜS Volumen	m³/t CSB		81,3	61,1	-20,3	-34 m³/d	-24,9%		
ÜS Masse	kg/t CSB		773,8	586,2	-187,7	-312 kg/d	-24,3%	0,21	-65,53
Rohschlamm									
Rohschlamm-V	m³/t CSB		40	34	-6,2	-10 m³/d	-15,6%		
Rohschlamm-M	kg/t CSB		1709	1570	-138,8	-231 kg/d	-8,1%	0,21	
Faulschlamm zur Presse									
FaulS- Vol. zu	m³/t CSB		2,8	2,7	-0,1	0 m³/d	-4,1%		
FaulS- TS Mas	kg/t CSB		958	952	-6,0	-10 kg/d	-0,6%	0,21	
O2-Verbrauch / Stromerzeugung									
Stromverbr. A	kWh/t CSB		626	510	-117	-194 m³/d	-18,6%	0,12	
Flüsig-O2-Ver	m³/t CSB		1533	1328	-206	-342 m³/d	-13,4%	0,114	-39,08
Gaserzeugung	m³/t CSB		428	435	+7	12 m³/d	1,7%		
Hilfsmittel									
Pacco 91	kg/t CSB		60,1	0,0	-60	-100 kg/d	-100,0%	0,25	-25,00
Combiphos L (	kg/t CSB		101,6	0,0	-102	-169 kg/d	-100,0%	0,2	-33,81
Nanofloc A644	kg/t CSB		39,7	0,0	-40	-66 kg/d	-100,0%	0,55	-36,32
Biokat	kg/t CSB		7,4	0,0	-7	-12 kg/d	-100,0%	0,55	-6,74
ENTEC 118/A	kg/t CSB		0,0	144,2	+144	240 kg/d	#DIV/0!	0,67	160,68
Gesamtkosten pro Tag									*-45,80*
Gesamtkosten pro Jahr									**-16.719 €**

Die erzielten Werte, die sich mit obiger Auswertung erschließen, sind buchhalterisch noch nicht evident, und zwar aus mehreren Gründen:

- Der Schlamm wurde erfasst bei Abzug aus dem Belebungsbecken – die Kosten fallen jedoch erst bei Abfuhr an, die erst nach Durchlaufen des Faulturms erfolgt
- Dabei erfolgt eine Vermischung mit Primärschlamm mit stark variierender Menge.
- Die zu verarbeitende Schmutzfracht wird bei der direkten Kostenbetrachtung nicht erfasst.

4. Fazit und Ausblick

In den zwei Betriebsperioden zeigt sich neben verbesserten Ablaufwerten und stabilerem Anlagenbetrieb eine Einsparung von Betriebskosten in erheblicher Größenordnung. Es ist bei weiterem Betrieb mit erheblichen weiteren Einsparungen, insbesondere beim Schlamm, zu rechnen. Darüber hinaus kann durch Herabdeklarieren der Einleitgrenzwerte Abwasserabgabe eingespart werden.