



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology



Institut für Wassergüte  
Ressourcenmanagement  
und Abfallwirtschaft

Karlsplatz 13/226  
1040 Wien



[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)

# Voraussetzungen für die kontinuierliche Datenkontrolle auf Kläranlagen mittels dynamischer Bilanzierung





## Nachhaltig für Natur und Mensch / *Sustainable for nature and mankind*

### Lebensqualität / *Quality of life*

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich / *We create and we assure the requirements for a high quality of life in Austria*

### Lebensgrundlagen / *Bases of life*

Wir stehen für versorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt. / *We stand for a preventive conservation as well as responsible use soil, water, air, energy and bioversity*

### Lebensraum / *Living environment*

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein. / *We support an environmentally friendly development and the protection of living environments in urban and rural areas.*

### Lebensmittel / *Food*

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe. / *We ensure sustainable production in particular of safe and high-quality food as well as renewable resources*

#### Impressum

##### Medieninhaber, Herausgeber, Copyright:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,  
Sektion III Landwirtschaft und Ernährung,  
Stubenring 12, 1010 Wien

Alle Rechte vorbehalten

#### Gesamtkoordination:

##### AutorInnen:

Dipl.-Ing. André Spindler (Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement)

##### Projektpartner:

Abwasserverband Schwechat

Wien, Dezember 2013

#### Layout:

ZS communication + art GmbH

#### Bildnachweis, Produktion und Druck:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

**Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Pflanzenfarben.**

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Problemstellung .....	1
2	Methoden .....	2
2.1	Statistische Auswertung .....	2
2.1.1	Modellierung der Konzentration der Schlamminhaltsstoffe .....	2
2.1.2	Modellgüte .....	4
2.1.3	Erforderliche Häufigkeit der Messungen .....	4
2.2	Datenbasis für die Bilanzierung .....	4
2.2.1	Betriebsbedingungen auf der Kläranlage Schwechat .....	4
2.2.2	Mengenmessungen .....	5
2.2.3	Zu- und Ablaufkonzentrationen .....	5
2.2.4	TS-Gehalt der Schlämme .....	5
2.2.5	Berechnung der Schlammkonzentrationen .....	6
2.3	Dynamische Bilanzierung .....	6
3	Ergebnisse .....	8
3.1	Modelle zur Quantifizierung der Schlamminhaltsstoffe .....	8
3.1.1	Kläranlage Linz-Asten .....	9
3.1.2	Kläranlage des AWV Schwechat .....	14
3.2	Statische Bilanzierung der Kläranlage des AWV Schwechat .....	18
3.2.1	Übertragung der Modelle auf andere TS-Bereiche .....	18
3.2.2	Ergebnisse der statischen Bilanzierung .....	19
3.3	Dynamische Bilanzierung der Kläranlage des AWV Schwechat .....	20
3.3.1	Dynamische Phosphor-Bilanz über die zweite Belebungsstufe .....	20
3.3.2	Dynamische Bilanzen über weitere Teilsysteme .....	22
3.3.3	Dynamische Bilanzierung mit geglätteten Trockensubstanzgehalten .....	22
3.3.4	Dynamische Bilanzierung bei geringer Datendichte .....	22
4	Diskussion .....	24
5	Zusammenfassung .....	27
6	Literatur .....	28
7	Anhang .....	29

# 1 Einleitung

Die Datenerfassung ist auf Kläranlagen ein wesentlicher Teilaspekt des praktischen Betriebes. Sie dient der Eigenüberwachung zum Nachweis der Reinigungsleistung (Einhaltung von Bescheidwerten), der unmittelbaren Betriebsführung und bildet die Grundlage für erweiterte Betrachtungen wie Prozessoptimierung, Benchmarking, Erweiterungsplanung und Simulation. Auch im Erfahrungsaustausch der Kläranlagen untereinander ist aussagekräftiges Datenmaterial von Bedeutung.

Als Nebeneffekt des Neu- und Ausbaus zahlreicher Kläranlagen seit den '90er Jahren und infolge der technischen Weiterentwicklung werden auf Kläranlagen heute umfangreiche Datensätze erfasst und gespeichert. Die Prüfung dieser Datensätze erfolgt jedoch kaum oder unvollständig und lediglich in Form einer Plausibilitätskontrolle (Rieger et al., 2010). Erfahrungsgemäß ist die Qualität der bestehenden Datensätze oft fragwürdig. Vereinzelt wird auf eine statische Stoffstrombilanzierung zurückgegriffen, um die Qualität von Betriebsdaten zu prüfen (Nowak, 2000). Die statische Stoffstrombilanzierung beruht auf Mittelwerten, die über längere Zeiträume (zumindest mehr als 2 Schlammalter, meist jedoch deutlich länger) gebildet werden. Die statische Stoffstrombilanzierung erlaubt die Suche nach systematischen Fehlern bei der Messwerterfassung. Sie verbessert die Datenkontrolle bereits wesentlich, hat aber auch einige Schwächen. Zum einen geschieht die Auswertung oft mit großem zeitlichem Abstand zur Datenerfassung. Dadurch können bei der Datenkontrolle nachgewiesene Fehler in der Messwerterfassung zeitlich nicht mehr zugeordnet werden, eine Reaktion auf diese Fehler erfolgt verspätet, das bereits erfasste Datenmaterial ist möglicherweise unbrauchbar. Andererseits können Fehler mit zeitlich variablem Verhalten übersehen werden, wenn diese sich im Mittel über lange Zeiträume kompensieren (Spindler und Vanrolleghem, 2012).

Die dynamische Bilanzierung begegnet diesen Schwächen der statischen Bilanzierung. Sie ermöglicht eine kontinuierlich fortlaufende Erweiterung des Bilanzierungszeitraumes und damit ein rasches Erkennen von Bilanzfehlern. Die dynamische Bilanzierung beruht auf dem Einsatz von CUSUM-Kontrollkarten, die der statistischen Prozesskontrolle entstammen und wurde für die dynamische Bilanzierung von Durchflussmengen bereits erfolgreich getestet (Spindler und Vanrolleghem, 2012). Sie soll nun auf die Bilanzierung von Stofffrachten (CSB, N, P) erweitert werden. CUSUM-Kontrollkarten bilden eine spezielle kumulative Summe einer Zielvariablen. Bei der dynamischen Bilanzierung entspricht diese Zielvariable dem Fehlervektor der auf Tagesbasis berechneten Einzelbilanzen. Die notwendige Weiterentwicklung bezieht sich auf die Integration jener Stofffrachten, die in den Schlämmen (Belebtschlamm, Faulschlamm) enthalten sind.

## 1.1 Problemstellung

Die direkte Bestimmung von Nährstoffkonzentrationen in den Schlämmen ist lediglich mittels Labormethoden möglich und auf Grund des großen Aufwandes in der Praxis auf Kläranlagen nicht sinnvoll anwendbar. Es soll daher die Eignung einer alternativen Messgröße für die Routinebestimmung dieser Stofffrachten untersucht werden. Als praktisch sehr gut anwendbare alternative Messgröße bietet sich der organische Trockensubstanzgehalt (oTS) an. Üblicher Weise wird dabei postuliert, dass die Verhältnisse von CSB, N und P zum oTS nur geringen Schwankungen unterliegen (Svardal et al., 1998). Der oTS wird auf Kläranlagen routinemäßig erfasst. Auch der Gesamttrockensubstanzgehalt (TS) kann als alternative Messgröße in Betracht gezogen werden. Eine systematische Untersuchung der Eignung des organischen bzw. gesamten Trockensubstanzgehaltes als Ersatzgröße liegt bisher nicht vor. Neben der Abschätzung der Schlamminhaltsstoffe aus festen Verhältnissen (direkte Proportionalität) sind verschiedene weitere Modelle auf Grundlage des (organischen) Trockensubstanzgehaltes zur Berechnung denkbar, die ebenfalls untersucht werden sollen. Ebenso fehlen Erfahrungen über die Eignung derartiger Modelle für die dynamische Bilanzierung. Ein Modell zur Abschätzung von direkt nur schlecht messbaren Schlamminhaltsstoffen ist für die dynamische Bilanzierung genau dann geeignet, wenn die Variabilität des Fehlervektors der auf Tagesbasis berechneten Einzelbilanzen hinreichend klein wird für die Anwendung der CUSUM-Kontrollkarten.

Neben der Notwendigkeit der Verwendung alternativer Messgrößen ist bei der dynamischen Bilanzierung auf in den Teilsystemen gespeicherte Stofffrachten zu achten. Auf Grund schwankender Zulauffrachten und unterschiedlicher hydraulischer Aufenthaltszeiten werden (insbesondere ungelöste, gefällte oder adsorbierbare) Stoffe im Beleb- und Faulschlamm einer Kläranlage zwischengespeichert. Die entsprechenden Stofffrachten (CSB, N, P) sind bei der dynamischen Bilanzierung zu berücksichtigen, da sie nicht, wie im statischen Fall (über lange Zeiträume) vernachlässigt werden können. Es wird untersucht, ob die Berücksichtigung schwankender TS- bzw. oTS-Gehalte in den Schlämmen zur Erfassung sich ändernder Speicherinhalte geeignet ist.

## 2 Methoden

Die Bilanzierung der Kläranlage des Abwasserverbandes Schwechat erfolgte auf Grundlage der vorhandenen Betriebsdaten. Zusätzlich wurden zwischen November 2011 und April 2012 (nahezu) wöchentlich Stichproben des voreingedickten Primärschlammes (PSed), der Überschussschlämme der beiden Belebungsstufen (ÜS1 und ÜS2) sowie des Faulschlammes (FS) entnommen und im Labor des Institutes für Wassergüte analysiert. Es wurden der gesamte sowie der organische Trockensubstanzgehalt (TS, oTS), die CSB-Konzentration, Gesamtstickstoff und -phosphor (TKN, TP) sowie im Faulschlamm zusätzlich die Konzentration an gelöstem Stickstoff und Phosphor bestimmt ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ ).

Zur Bewertung der Eignung von Modellen zur Bestimmung der Schlamminhaltsstoffe auf Grundlage des Trockensubstanzgehaltes wurden darüber hinaus am Institut für Wassergüte vorhandene Daten der Kläranlage Linz-Asten (800.000 EW) herangezogen. Es standen mindestens wöchentliche Werte der Konzentrationen an CSB, TN und TP in allen Schlämmen (PSed, FS sowie Belebtschlamm BS) über einen sehr langen Zeitraum (März 2008 bis September 2011) zur Verfügung. Daher bildeten die Daten der KA Linz-Asten die Grundlage der statistischen Auswertung.

### 2.1 Statistische Auswertung

#### 2.1.1 Modellierung der Konzentration der Schlamminhaltsstoffe

Es wurde untersucht, ob die Nährstoffkonzentrationen bzw. die CSB-Konzentration in den Schlämmen durch die (organische) Trockensubstanz hinreichend genau abgeschätzt werden können. Aus der Praxis bekannt ist dabei die Annahme eines konstanten Verhältnisses der Nährstoffe bzw. des CSB zum (organischen) Trockensubstanzgehalt:

$$\frac{c_x}{c_{TS}} = a_1 \quad (1) \quad \text{bzw.} \quad c_x = f_{1a}(TS) = a_1 \cdot c_{TS} \quad (1a)$$

Der Proportionalitätsfaktor  $a_1$  ergibt sich im Falle mehrerer Messwerte aus der Schätzung nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$a_1 = \frac{\sum c_x \cdot c_{TS}}{\sum c_{TS}^2} \quad (2)$$

In der Praxis erfolgt die Schätzung auch über den Mittelwert der gemessenen Verhältnisse:

$$a_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum \frac{c_x}{c_{TS}} \quad (2a)$$

Letztere Schätzung des Proportionalitätsfaktors  $a_1$  ist zwar anschaulich, stellt aber lediglich eine Näherung dar. Sie ist gleichwertig zu Gl. (2), falls exakte Proportionalität aller Messdaten vorliegt.

Gl. (1) stellt eine spezielle Form des allgemeineren linearen Zusammenhangs dar, wobei die Konstante  $a_2$  Null ist:

$$c_x = f_{1b}(TS) = a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \quad (3)$$

Diese Annahme  $a_2=0$  entspricht der direkten Proportionalität zwischen der Konzentration  $c_x$  und dem Trockensubstanzgehalt. Sie trifft vermutlich am ehesten für die CSB-Konzentration sowie die Stickstoffkonzentration in der organischen Trockensubstanz zu, da beide Schlamminhaltstoffe überwiegend in organischer Form im Schlamm enthalten sind. In anderen Fällen ist eine direkte Proportionalität nicht unbedingt zu erwarten. Daher liegt es nahe, die Berechnung der Nährstoff- bzw. CSB-Konzentration aus einem linearen Zusammenhang zum Trockensubstanzgehalt (Gl. (3)) ebenfalls zu untersuchen.

Ein bivariater Zusammenhang, bei dem die Konzentration der Schlamminhaltstoffe aus dem gesamten und dem organischen Trockensubstanzgehalt geschätzt wird, soll ebenfalls untersucht werden.

$$c_x = f_{1c}(TS, oTS) = a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot c_{oTS} \quad (4) \text{ bzw. } c_x = f_{1d}(TS, oTS) = a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot c_{oTS} + a_3 \quad (5)$$

Weiterhin soll der Einfluss der Zeit in Form eines saisonalen Verhaltens untersucht werden. Anlass dazu gab die Betrachtung des Verlaufes der Nährstoffverhältnisse über die Zeit (vgl. Abbildung 6). Ein simples saisonales Verhalten kann über einen Sinusoid modelliert werden, wobei ein linearer Term eine mögliche Änderung des Mittelwertes über die Zeit abbildet:

$$\frac{c_x}{c_{TS}} = f(t) = a_1 \cdot t + a_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot t + a_3\right) + a_4 \quad (6)$$

Ein saisonales Verhalten der Konzentration der Schlamminhaltstoffe wäre auch in Kombination mit dem Einfluss des Trockensubstanzgehaltes modellierbar, ohne bzw. mit linearem Zeitterm.

$$c_x = f_{2a}(TS, t) = a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot t + a_3\right) + a_4 \quad (7) \text{ bzw.}$$

$$c_x = f_{2a}(TS, t) = a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot t + a_4\right) + a_5 \quad (8)$$

Analog zu den Modellen  $f_{1c}$  bzw.  $f_{1d}$  wären auch Modelle  $f_{2c}$  bzw.  $f_{2d}$  denkbar.

Im Gegensatz zu Modellen, die ein saisonales Verhalten der Konzentration der Schlamminhaltstoffe beschreiben, erfolgt bei solchen Modellen, die sich auf ein saisonales Verhalten des Verhältnisses  $c_x/c_{TS}$  beziehen, die Verknüpfung der Trockensubstanz mit der Zeit multiplikativ.

$$c_x = f_{3a}(TS, t) = a_1 \cdot t \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot t + a_3\right) \cdot c_{TS} + a_4 \cdot c_{TS} \quad (9)$$

Eine Variante mit Absolutglied (Konstante) kann ebenfalls untersucht werden.



## 2.1.2 Modellgüte

Zum Vergleich der Güte der verschiedenen Ansätze zur Berechnung der Nährstoffkonzentrationen sowie der CSB-Konzentration aus dem Gehalt an (organischer) Trockensubstanz und einer möglichen Saisonalität werden das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  in der Form

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad \text{mit RSS ... residual sum of squares, TSS ... total sum of squares,}$$

sowie die relative Streuung der Residuen (als doppelte Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert:  $2 \cdot \sigma_{\text{res}} / \mu \cdot 100\%$ ) betrachtet. Je höher das Bestimmtheitsmaß bzw. geringer die Variabilität (Streuung), desto besser kann die Messung der Nährstoffe bzw. des CSB über die Messung der (organischen) Trockensubstanz approximiert werden. Da bei den Modellen nach Gl. 1-9 eine unterschiedliche Anzahl an Parametern verwendet wird, kommt zum Vergleich außerdem Akaikes Information Criterion (AIC) zur Anwendung. Prinzipiell ist es erstrebenswert, die Anzahl der notwendigen Modellparameter gering zu halten.

## 2.1.3 Erforderliche Häufigkeit der Messungen

Die Daten der Kläranlage Linz-Asten erlaubten durch ihren Umfang eine Untersuchung der erforderlichen Messhäufigkeit, die eine zufriedenstellende Schätzung der Modellparameter erlaubt. Dazu wurden mittels Monte-Carlo-Simulation wiederholt unterschiedliche Anzahlen an Messwerten zufällig, jedoch annähernd gleichverteilt über den Zeitraum der Messungen, ausgewählt und die Verteilung der daraus berechneten Modellparameter bestimmt.

## 2.2 Datenbasis für die Bilanzierung

Massenbilanzen wurden auf Grundlage der Betriebsdaten der Kläranlage des AWV Schwechat sowie der Zusatzmessungen in den Schlämmen erstellt. Für die Phosphorfracht konnten (unter begründeter Vernachlässigung einiger Stoffströme) Bilanzen über die meisten Teilsysteme der KA Schwechat erstellt werden. Über das Teilsystem der anaeroben Schlammbehandlung waren Bilanzen für CSB, TN, TP sowie anorganische Trockensubstanz (aTS) möglich. Geeignete Daten zur Abschätzung der Belüftungsleistung (Voraussetzung für die CSB-Bilanz der Belebungsstufe) waren dagegen nicht vorhanden. Abbildung 1 sowie Anhang A1 geben einen Überblick über die einzelnen Stoffströme und die Messung der verschiedenen Inhaltsstoffe.

### 2.2.1 Betriebsbedingungen auf der Kläranlage Schwechat

Die Kläranlage Schwechat reinigt neben dem kommunalen Abwasser der Gemeinden Schwechat, Fischamend und Fischatal die Abwässer des nahe gelegenen Flughafens (Schmutz- und Oberflächenwasser) sowie der Raffinerie (OMV) und weiterer (Chemie-) Betriebe in der Umgebung. Sie verfügt dazu über eine Hochlaststufe (BB1), welche das Raffinerieabwasser vorbehandelt. Der Überschussschlamm der zweiten (Schwachlast-) Stufe (BB2) wird in die Hochlaststufe eingeleitet und gemeinsam mit dem dort anfallenden Überschussschlamm eingedickt. Diese Verfahrensweise ist Abbildung 1 zu entnehmen. Im Jänner 2012 kam es zu einem besonderen Betriebsfall infolge eines Ereignisses auf der Raffinerie. Dabei wurde der für solche Fälle vorhandene Zwischenspeicher aktiviert, außerdem wurde der Überschussschlamm der zweiten Stufe für einige Wochen getrennt eingedickt. Diese besonderen Bedingungen waren bei der Datenauswertung und anschließenden Bilanzierung zusätzlich zu beachten. An den entsprechenden Stellen wird näher darauf eingegangen.

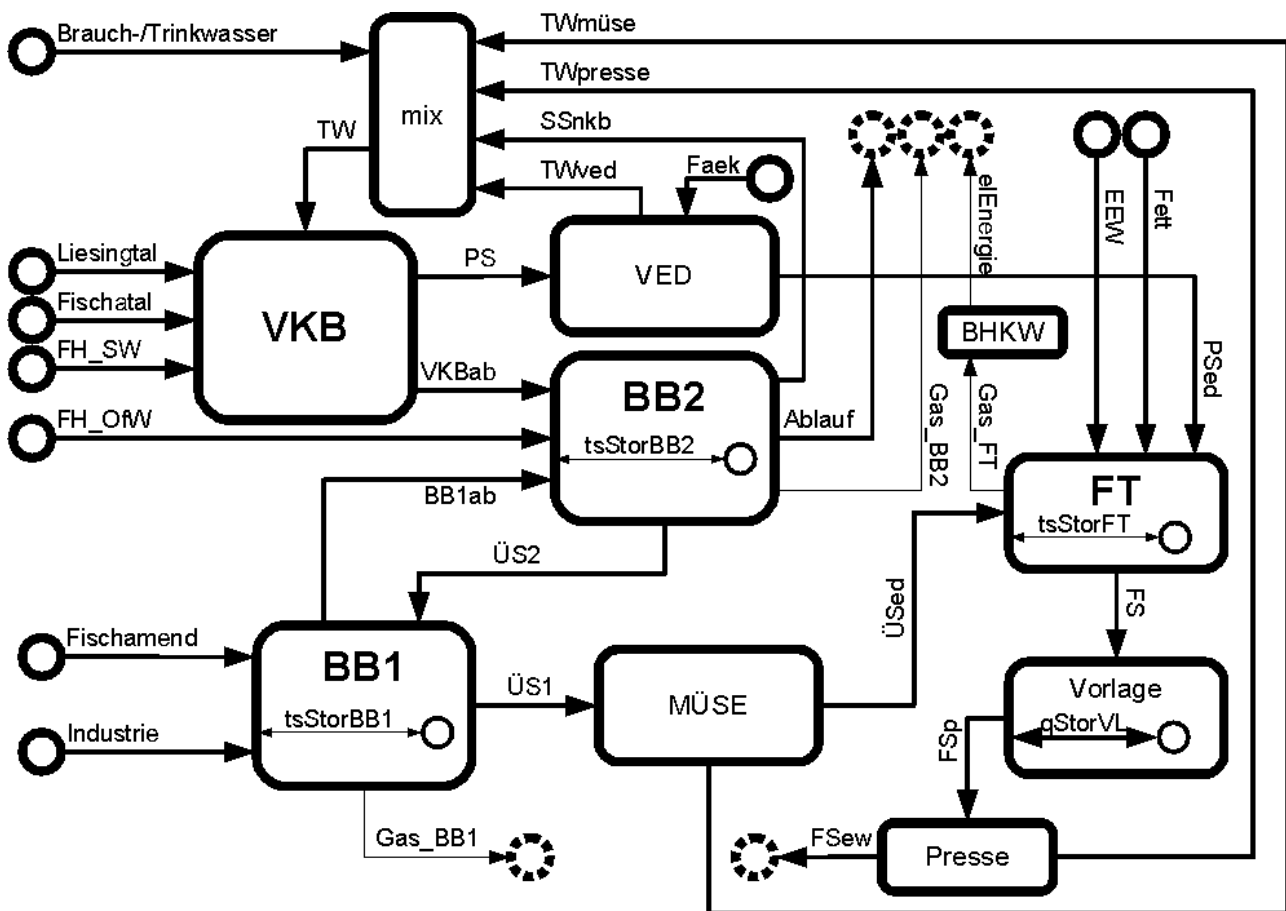


Abbildung 1: Verfahrensschema der Kläranlage des AWW Schwechat

## 2.2.2 Mengenmessungen

Auf der KA Schwechat sind Mengenmessungen an nahezu allen für eine umfassende Bilanzierung erforderlichen Stellen vorhanden, sie liefern tägliche Messwerte in Form von Tagesdurchflusssummen. Im Ablauf der Hochlaststufe ist keine Mengenmessung vorhanden. Da der Zulauf zur Hochlaststufe nahezu keinen Phosphor enthält, wird davon ausgegangen, dass die Phosphorfracht im Ablauf der ersten Belebungsstufe vernachlässigt werden kann. Die Menge an Senkgrubeneinhalten, die dem Voreindicker zugeführt wird, war lediglich als Monatssumme bekannt und wurde rechnerisch ausgeglichen verteilt.

## 2.2.3 Zu- und Ablaufkonzentrationen

Die Gesamt-Phosphorkonzentration der Zuläufe, des Trübwassers sowie des Ablaufs wird werktäglich bestimmt. Fehlende Messwerte im Zulauf und im Trübwasser wurden anhand des mittleren TP/CSB-Verhältnisses abgeschätzt. Die Bestimmung der CSB-Konzentration der Zuläufe und des Trübwassers wird täglich durchgeführt. Im Ablauf wird die Konzentration des gelösten Phosphors ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) täglich bestimmt, fehlende Werte für Gesamtphosphor wurden hier aus dem mittleren Verhältnis TP/ $\text{PO}_4\text{-P}$  abgeschätzt. Die Konzentrationen der Senkgrubeneinhalte konnten lediglich aus typischen einwohnerspezifischen Frachten geschätzt werden.

## 2.2.4 TS-Gehalt der Schlämme

In den einzelnen Phosphorbilanzen über die beiden Belebungsstufen waren die Phosphorfrachten der Überschussschlämme, des Primärschlammes sowie die Änderung der in den Belebungsbecken gespeicherten Frachten zu berücksichtigen. Wie bereits beschrieben, ist die direkte Messung der Phosphorkonzentration in den Schlämmen aufwendig und in der täglichen Praxis (auf der KA) nicht anwendbar. Die Eignung der Trockensubstanz als alternative Messgröße wurde bereits beschrieben (Svardal et al. 1998) und wurde im gegenständlichen Projekt näher untersucht. Trockensubstanzen wurden



auf der KA Schwechat ebenfalls werktäglich bestimmt. Die fehlenden Messwerte wurden interpoliert, da große Veränderungen des Trockensubstanzgehaltes in kurzen Zeiträumen nicht zu erwarten sind. Für den Trockensubstanzgehalt des Primärschlammes wurden die Messergebnisse einer Online-Sonde herangezogen, weshalb tägliche Werte zur Verfügung standen. Messwerte für den eingedickten Überschussschlamm standen lediglich einmal wöchentlich zur Verfügung, zur Bilanzierung wurden sie daher nicht herangezogen. In Kapitel 3.1.1 wird auch auf die erforderliche Häufigkeit der Bestimmung der TS-Gehalte der Schlämme für die Bilanzierung eingegangen.

## 2.2.5 Berechnung der Schlammkonzentrationen

Wie in Kapitel 3.1 gezeigt wird, können die Phosphorkonzentrationen in den verschiedenen Schlämmen auf der KA Schwechat aus den Trockensubstanzgehalten approximiert werden. Die Genauigkeit dieser Schätzungen wird ebenfalls diskutiert. Die Modellbildung erfolgte auf Grundlage nahezu wöchentlicher Stichproben über den gesamten Bilanzierungszeitraum (21 mal in 24 Wochen). Da die Konzentrationen an Gesamt-Trockensubstanz seitens der Kläranlage Schwechat mit der größten Häufigkeit erfasst wurden, wurden ausschließlich Bilanzen auf Grundlage dieser Variablen untersucht. Die Modelle auf Grundlage sowohl der gesamten als auch der organischen Trockensubstanz weisen häufig eine höhere Anpassungsgüte auf, jedoch erfolgte die Bestimmung der (an-)organischen Trockensubstanz lediglich wöchentlich. Auf Schwierigkeiten bei der Übertragung der Modelle auf stärker eingedickte Schlämme (andere Wertebereiche) wird bei der Darstellung der statischen Bilanzen (Kapitel 3.2.1) eingegangen

## 2.3 Dynamische Bilanzierung

Die dynamische Bilanzierung erfolgte mittels CUSUM-Kontrollkarten, bei denen als Eingangsgröße der Fehlervektor auf Tagesbasis berechneter Einzelbilanzen diente. Dieser Ansatz und seine grundlegende Anwendbarkeit wurden bereits vorgestellt und untersucht (Spindler, 2011 und Spindler und Vanrolleghem, 2012). CUSUM-Kontrollkarten stellen eine spezielle kumulative Summe der Eingangsvariablen dar, wobei eine statistische Kontrollgröße (der Referenzwert  $k$ ) eine Tendenz in Richtung Null (gleichbedeutend mit „keine Abweichung vom Erwartungswert“) bewirkt. Überschreitet die kumulative Summe ein Kontrolllimit  $h$ , signalisiert dies eine nachhaltige Abweichung der Eingangsgröße vom Mittelwert. Da CUSUM-Kontrollkarten die zurückliegende Entwicklung der Eingangsgröße berücksichtigen, haben sie sich als wesentlich empfindlicher als einfachere Kontrollkarten erwiesen (Montgomery, 2009).

Die Wahl des Kontrolllimits  $h$  hängt vom Referenzwert  $k$  und der gewählten mittleren Laufzeit bis zu einem zufälligen Überschreiten des Kontrolllimits ( $ARL_0$ ) ab. Für letztere wird der klassische Wert 370 gewählt, der eine hohe Signifikanz eines Signals (Überschreitung des Kontrolllimits) erwarten lässt. Der Referenzwert  $k$  ist so zu wählen, dass  $\Delta\mu_{opt}$ , die optimal detektierbare Abweichung (der Eingangsgröße von ihrem Erwartungswert), möglichst klein ist, gleichzeitig jedoch die mittlere Laufzeit bis zu einem Fehlersignal ( $ARL_{\Delta\mu}$ ) nicht zu lang wird. Weist die Eingangsgröße (der Fehlervektor auf Tagesbasis berechneter Einzelbilanzen) eine geringe Varianz auf, so wird ein vergleichsweise kleiner Fehler zügig signalisiert. Bei größerer Varianz der Eingangsgröße nimmt die Dauer bis zum Fehlersignal rasch zu, was nur durch eine größere optimal detektierbare Abweichung  $\Delta\mu_{opt}$  kompensiert werden kann.

Der Referenzwert  $k$  wurde in Abhängigkeit von der Varianz des Fehlervektors so gewählt, dass bei einer geringen relativen Standardabweichung von 10% (bezogen auf die mittlere Eingangsfracht der Bilanz) ein optimal detektierbarer Fehler von 10% im Mittel nach 10 Tagen detektiert würde und bei hoher Standardabweichung von 100% der Eingangsfracht ein optimal detektierbarer Fehler von 40% innerhalb 40 Tagen. Die empirische Gleichung zur Berechnung des Referenzwertes  $k$  lautet  $k = (1 + 0,2 / sd_{rel}) / 6$ . Es ergibt sich ein Zusammenhang zwischen den Parametern der CUSUM-Kontrollkarten entsprechend Tabelle 1 und Abbildung 2.

Tabelle 1: Wahl der CUSUM-Parameter

	$sd_{rel}^* = 0,1$	$sd_{rel}^* = 0,5$	$sd_{rel}^* = 1,0$	$sd_{rel}^* = 1,5$
$k$	0,50	0,23	0,20	0,19
$ARL_0$	370	370	370	370
$h$	4,77	8,38	9,25	9,58
$\Delta\mu_{opt} =$	<b>10%</b>	23%	<b>40%</b>	57%
$ARL_{\Delta\mu}$	10 d	32 d	40 d	43 d

\*... bezogen auf die mittlere Eingangsfracht

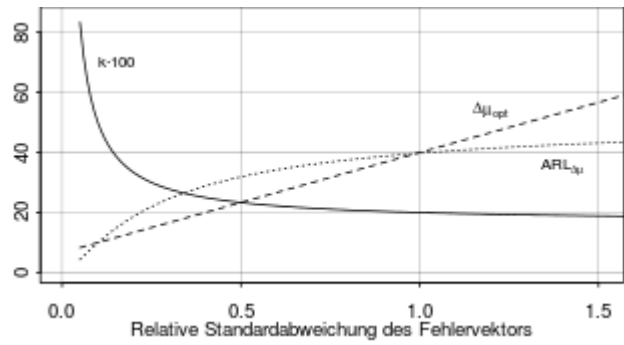


Abbildung 2: Gewählte CUSUM-Parameter in Abhängigkeit von der relativen Standardabweichung

Zur Berechnung der CUSUM-Parameter kam das Paket *spc* (Knoth, 2009) der Statistiksoftware *R* (R Core Team, 2013) zum Einsatz.

Für die Auswertung von besonderer Bedeutung waren die Phosphorbilanzen über die erste sowie über die zweite Belebungsstufe (Hochlast und Schwachlast), letztere inklusive Vorklärbecken, da diese beiden Bilanzen die höchste Dichte an Messwerten aufwiesen. Tabelle 2 gibt für diese ausgewählten Bilanzen die Häufigkeit der zu Grunde liegenden Messwerte an. Für die dynamische Bilanzierung ist die Bestimmung aller Teilfrachten auf Tagesbasis eine notwendige Voraussetzung. Da auf der KA Schwechat nicht alle für die Bilanzierung erforderlichen Stoffkonzentrationen täglich erfasst werden, waren Lücken in den Daten auf geeignete Weise zu schließen, wie in Kapitel 2.2 beschrieben.

Tabelle 2: Bilanzgrößen und ihre Messhäufigkeiten

Phosphorbilanz Belebungsbecken 1 (Hochlaststufe)									
Gleichung	$Q_7 * X_{P_7} + Q_3 * X_{P_3} + Q_{17} * X_{P_{17}} + F_{P_{23}} - Q_{16} * X_{P_{16}} = e$								
Variable	$Q_7$	$X_{P_7}$	$Q_3$	$X_{P_3}$	$Q_{17}$	$X_{P_{17}}$	$F_{P_{23}}$	$Q_{16}$	$X_{P_{16}}$
Ersatzgröße						TS	TS		TS
Messhäufigkeit	7/7	5/7	7/7	5/7	7/7	5/7	5/7	7/7	5/7
Abschätzung		$X_{CSB}$		$X_{CSB}$		lin	lin		lin

Phosphorbilanz Belebungsbecken 2 (Schwachlaststufe)													
Gleichung:	$Q_{1,2,5,6} * X_{P_{1,2,5,6}} + Q_4 * X_{P_4} + Q_{35} * X_{P_{35}} + F_{P_{24}} - Q_{14} * X_{P_{14}} - Q_{17} * X_{P_{17}} - Q_{22} * X_{P_{22}} = e$												
Variable	$Q_{1,2,5,6}$	$X_{P_{1,2,5,6}}$	$Q_4$	$X_{P_4}$	$Q_{35}$	$X_{P_{35}}$	$F_{P_{24}}$	$Q_{14}$	$X_{P_{14}}$	$Q_{17}$	$X_{P_{17}}$	$Q_{22}$	$X_{P_{22}}$
Ersatzgröße							TS		TS		TS		
Messhäufigkeit	7/7	5/7	1/30	0	7/7	5/7	5/7	7/7	7/7	7/7	5/7	7/7	5/7
Abschätzung		$X_{CSB}$	lin	est		$X_{CSB}$	lin				lin		$X_{PO4}$

lin ... linear interpoliert    est. ... geschätzt

Bei der dynamischen Bilanzierung ist zu erwarten, dass Speichereffekte, die bei der statischen Bilanzierung vernachlässigt werden können, eine Bedeutung erlangen. Die Beachtung von Speichereffekten in den Bilanzgleichungen lässt eine Reduktion der Varianz des Fehlervektors erwarten.

Belebungsbecken und Faulturm stellen Schlamm Speicher dar, die potentiell eine bedeutende Fracht an CSB, Phosphor oder Stickstoff aufnehmen oder abgeben können. Schwankende TS-Gehalte dieser Schlämme lassen einen Einfluss dieser Speicher auf das Bilanzverhalten erwarten. Jedoch könnten Schwankungen im TS-Gehalt ebenso durch Messungenauigkeiten oder zufällige Fehler in Folge der Bestimmung in Stichproben (die für den Tagesmittelwert nicht repräsentativ sein müssen) ausgelöst werden. In diesem Fall ist keine Verbesserung der dynamischen Bilanzierung bei Beachtung schwankender TS-Gehalte zu erwarten.

# 3 Ergebnisse

Aus den Labordaten der Kläranlage Linz-Asten sowie den Messergebnissen in Schlämmen der Kläranlage des AWW Schwechat wurden Modelle zur Quantifizierung der Schlamminhaltsstoffe CSB, TN und TP auf Grundlage des organischen und/oder anorganischen Trockensubstanzgehaltes erstellt und ihre Güte bewertet.

Die für die Kläranlage Schwechat erstellten Modelle wurden anschließend in die statische und dynamische Bilanzierung einbezogen. Die Übertragbarkeit der Modelle auf andere Bereiche der TS-Konzentration (Eindickungsgrade der Schlämme) wurde als Voraussetzung ebenfalls untersucht. Der dargestellte Teil der Auswertungen beschränkt sich vornehmlich auf die Phosphorbilanz der zweiten Belebungsstufe. Diese war auf Grund der hohen Dichte an Messdaten besonders geeignet und die Ergebnisse stehen exemplarisch für alle weiteren bilanzierbaren Teilsysteme. Die Untersuchungsergebnisse der zweiten Belebungsstufe erwiesen sich als übertragbar.

## 3.1 Modelle zur Quantifizierung der Schlamminhaltsstoffe

Es wurde untersucht, welche Modelle am besten zur Abschätzung der Konzentrationen an CSB, TN und TP (abhängige Variablen) in den verschiedenen Schlämmen geeignet sind. Mögliche unabhängige Variablen waren die verschiedenen Anteile des Trockensubstanzgehaltes (organisch, anorganisch, gesamt). Außerdem wurde das Zeitverhalten der abhängigen Variablen einbezogen. Eine mögliche zeitliche Abhängigkeit wurde infolge eines typisch sinusoidalen Verlaufes der oTS/TS-Verhältnisse in den Schlämmen der Kläranlage Linz-Asten untersucht (Abbildung 6).

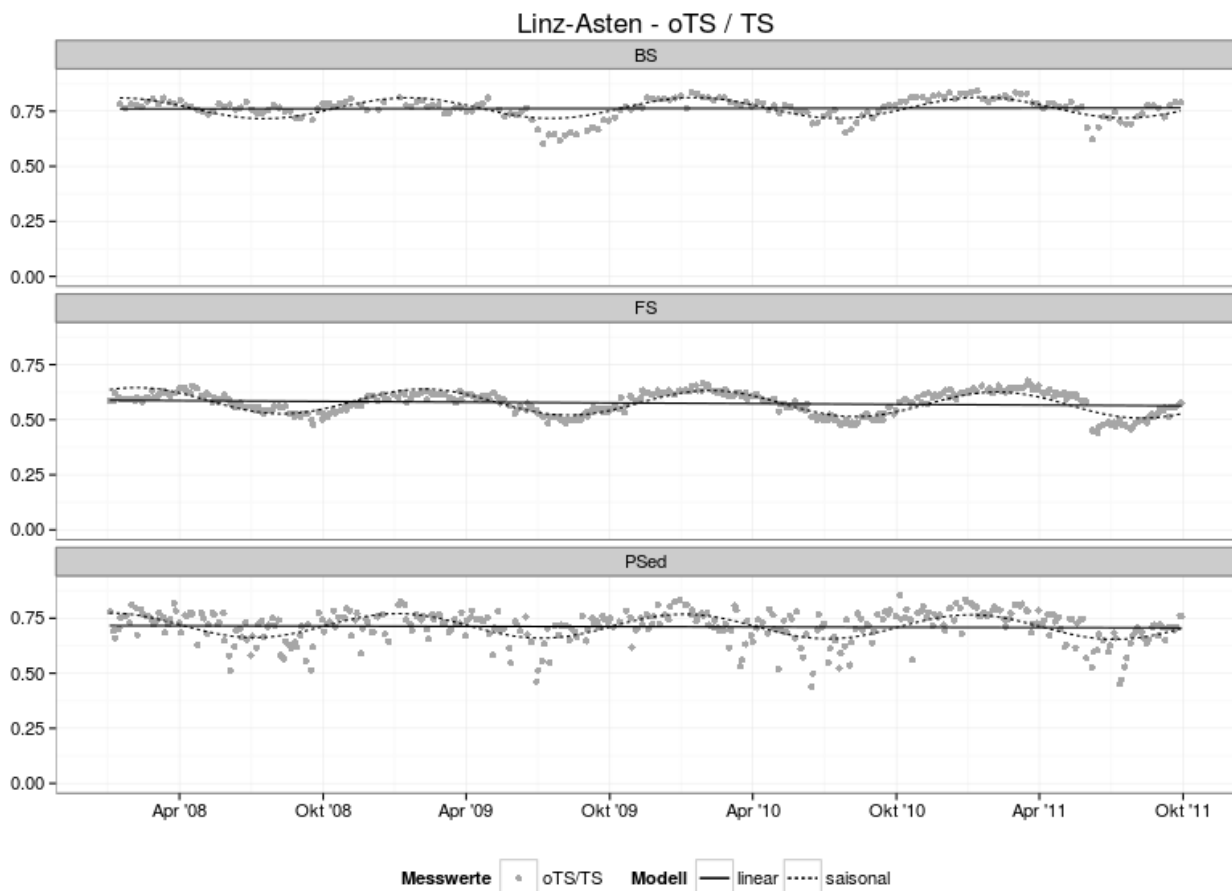


Abbildung 3: Verlauf der oTS/TS-Verhältnisse in den Schlämmen der Regionalkläranlage Linz-Asten

### 3.1.1 Kläranlage Linz-Asten

Es wurden unterschiedliche Modelle zur Berechnung des CSB- bzw. Nährstoffgehaltes der Schlämme untersucht. Diese wiesen eine ausschließliche Abhängigkeit vom (organischen) Trockensubstanzgehalt ( $f_1$ -Modelle) oder zusätzlich eine saisonale Komponente auf ( $f_2$ - und  $f_3$ -Modelle). Bei den Modellen der Kategorie  $f_3$  war die saisonale Komponente multiplikativ mit dem (organischen) Trockensubstanzgehalt verknüpft. Die Auswertung ergab kein einheitliches Bild. Bei der Berechnung der Konzentrationen im Faulschlamm wurde stets eine Streuung der Residuen (doppelte Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert der Messwerte – dieses Intervall enthält 95% der Werte) unter 20% erreicht, das Bestimmtheitsmaß lag mit 0,4 – 0,5 in einem mittleren Bereich. Höhere Bestimmtheitsmaße waren bei der Berechnung der CSB- und Stickstoffkonzentrationen im Beleb- und Primärschlamm zu verzeichnen, sie betragen 0,5 bis 0,8. Die Streuung der Residuen war dabei zum Teil höher und betrug bis zu 25%, für die Berechnung der Stickstoffkonzentration im Primärschlamm sogar 35%. Die schlechteste Anpassung des Modells an die Messdaten mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,34 wurde bei der Berechnung der Phosphorkonzentration im Belebtschlamm erreicht. Bei der Berechnung der Phosphorkonzentration im Primärschlamm betrug die minimale Streuung 53%.

Bei allen Modellen war die Verwendung der organischen Trockensubstanzkonzentration als unabhängige Variable dem Gesamttrockensubstanzgehalt überlegen, die geringsten Unterschiede traten im Belebtschlamm auf. Die Verwendung des Gehaltes an anorganischer Trockensubstanz lieferte keine brauchbaren Modelle.

Die Abhängigkeit von der (organischen) Trockensubstanzkonzentration hatte gegenüber dem Einfluss der Saisonalität die weitaus größere Bedeutung für die Anpassungsgüte der Modelle. Wurde der (organische) Trockensubstanzgehalt als einzige unabhängige Variable ( $f_1$ -Modelle) verwendet, verringerte sich die Anpassungsgüte ohne konstanten Term (Modell  $f_{1a}$ ) nur geringfügig. Lediglich die Phosphorkonzentration im Belebtschlamm konnte ohne den konstanten Term nicht sinnvoll berechnet werden. Bei der Berechnung der Nährstoffkonzentrationen (TN, TP) wurde durch Berücksichtigung des saisonalen Einflusses zumeist eine deutliche Verbesserung der Anpassungsgüte erreicht. Eine Ausnahme bildete die Stickstoffkonzentration im Primärschlamm. Diese benötigt, wie auch die Berechnung der CSB-Konzentration im Primärschlamm, keine saisonale Komponente und erreichte mit einer einfachen linearen Abhängigkeit vom oTS-Gehalt ohne konstanten Term bereits gute Ergebnisse. Die Ergebnisse der Modellanpassungen sind in Tabellen 5-7 sowie Abbildungen 4-6 dargestellt. Die mittleren auf die (organische) Trockensubstanz bezogenen Konzentrationen an CSB, TN und TP sind in Tabelle 3 aufgeführt.

*Tabelle 3: Mittlere Konzentrationen an CSB, TP, TN der Schlämme der RKL Linz-Asten bezogen auf (o)TS*

Schlamm	CSB/oTS	CSB/TS	TN/oTS	TN/TS	TP/oTS	TP/TS
BS	1,39**	1,05*	0,103*	0,078	0,030	0,023
FS	1,22**	0,69	0,139*	0,078	0,039**	0,022
PSed	1,32***	0,89**	0,042***	0,029**	0,007*	0,005

\*...verwendbar in Modell der Form  $f_{1a}$

\*\*...in Modell der Form  $f_{1a}$  bereits gute Anpassung

\*\*\*... $f_{1a}$ -Modell optimal

Die umfangreich zur Verfügung stehenden Messwerte der Kläranlage Linz-Asten konnten weiterhin zur Bestimmung der tatsächlich erforderlichen Häufigkeit der Messungen genutzt werden. Dazu wurden aus den bestehenden Daten mittels Monte-Carlo-Simulation Teilmengen der Daten zufällig ausgewählt. Dies geschah so, dass diese Teilmengen der Daten eine monatliche bzw. vierteljährliche Beprobung repräsentierten. Folgende Tabelle gibt Aufschluss, mit welcher Wahrscheinlichkeit aus diesen reduzierten Daten ein Modell geschätzt wurde, dessen Residuen eine um maximal 10% höhere Streuung aufwiesen als die Residuen des bzw. der besten Modelle auf Grundlage der Gesamtdaten.

*Tabelle 4: Wahrscheinlichkeiten, die CSB- bzw. Nährstoffkonzentrationen der Schlämme bei monatlicher bzw. vierteljährlicher Beprobung mit einer gegenüber wöchentlicher Beprobung um maximal 10% höheren Streuung aus dem oTS zu schätzen*

	COD				TN				TP			
	monatlich		vierteljährlich		monatlich		vierteljährlich		monatlich		vierteljährlich	
BS	f <sub>1a</sub> : 100%	f <sub>1b</sub> : 100%	f <sub>1a</sub> : 100%	f <sub>1b</sub> : 89%	f <sub>3b</sub> : 97%	f <sub>3b</sub> : 53%	f <sub>1b</sub> : 100%	f <sub>2b</sub> : 96%	f <sub>1b</sub> : 95%	f <sub>2b</sub> : 64%		
FS	f <sub>1b</sub> : 99%	f <sub>3b</sub> : 99%	f <sub>1b</sub> : 88%	f <sub>3b</sub> : 63%	f <sub>2b</sub> : 93%	f <sub>3b</sub> : 99%	f <sub>2b</sub> : 37%	f <sub>3b</sub> : 67%	f <sub>1b</sub> : 100%	f <sub>3b</sub> : 100%	f <sub>1b</sub> : 95%	f <sub>3b</sub> : 78%
PSe	f <sub>1a</sub> : 100%		f <sub>1a</sub> : 100%		f <sub>1a</sub> : 100%		f <sub>1a</sub> : 100%		f <sub>2b</sub> : 99%		f <sub>2b</sub> : 46%	

Modelle der Form  $f_1$  (ohne saisonale Komponente) konnten auch bei simulierter vierteljährlicher Beprobung stets mit einer Wahrscheinlichkeit nahe 90% oder darüber die Daten der Grundgesamtheit annähernd so gut vorhersagen wie die auf Basis aller Daten geschätzten  $f_1$ -Modelle. Wurden monatliche Beprobungen simuliert, schätzte das jeweils beste Modell zur Vorhersage der CSB- bzw. Nährstoffkonzentrationen mit einer Sicherheit von mindestens 97% die Daten der Grundgesamtheit mit einer maximalen Abweichung der Streuung von 10% gegenüber der Schätzung auf Basis aller Daten.

Tabelle 5: Anpassungsgüte verschiedener Modelle an den CSB-Gehalt der Schlämme

CSB Schlamm	modellierte TS-Abhängigkeit bezüglich:		oTS		aTS		TS					
	Modell	$c_{CSB} =$	Anz. Par.	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$
BS*	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		223	27%	223	27%	223	27%		
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS}$	1	<b>0,53</b>	<b>93</b>	<b>18%</b>	-3,72	487	56%	0,35	151	21%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2$	2	<b>0,59</b>	<b>73</b>	<b>17%</b>	0,06	214	26%	<b>0,47</b>	<b>116</b>	<b>19%</b>
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,60	75	17%	0,39	145	21%	0,55	93	18%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	0,60	75	17%	0,41	141	20%	0,55	94	18%
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS}$	3	0,56	87	18%	-1,30	368	40%	0,40	140	21%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS} + a_4$	4	0,60	75	17%	0,41	138	20%	<b>0,56</b>	<b>90</b>	<b>18%</b>
FS	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		1697	22%	1697	22%	1697	22%		
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS}$	1	0,36	1557	18%	-4,22	2324	49%	-0,68	1914	29%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2$	2	<b>0,40</b>	<b>1534</b>	<b>17%</b>	0,05	1701	22%	0,16	1660	20%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,43	1522	17%	0,20	1644	20%	0,32	1586	18%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	0,43	1520	17%	0,21	1639	20%	0,32	1588	18%
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS}$	3	0,38	1547	17%	-0,70	1918	29%	0,14	1673	21%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS} + a_4$	4	<b>0,43</b>	<b>1522</b>	<b>17%</b>	0,22	1634	20%	<b>0,34</b>	<b>1578</b>	<b>18%</b>
PSed	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		1588	58%	1588	58%	1588	58%		
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS}$	1	<b>0,82</b>	<b>1286</b>	<b>25%</b>	-1,36	1772	83%	0,57	1460	39%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2$	2	0,82	1288	25%	0,30	1547	50%	0,66	1420	35%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,82	1292	25%	0,44	1508	45%	0,71	1391	32%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	0,83	1291	25%	0,46	1505	44%	0,72	1389	32%
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS}$	3	0,82	1290	25%	-0,56	1698	69%	0,66	1420	35%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS} + a_4$	4	0,82	1292	25%	0,45	1505	44%	<b>0,72</b>	<b>1385</b>	<b>32%</b>

\*...Nach Entfernung von Ausreißern (Werte außerhalb des doppelten Interquartilsabstandes)

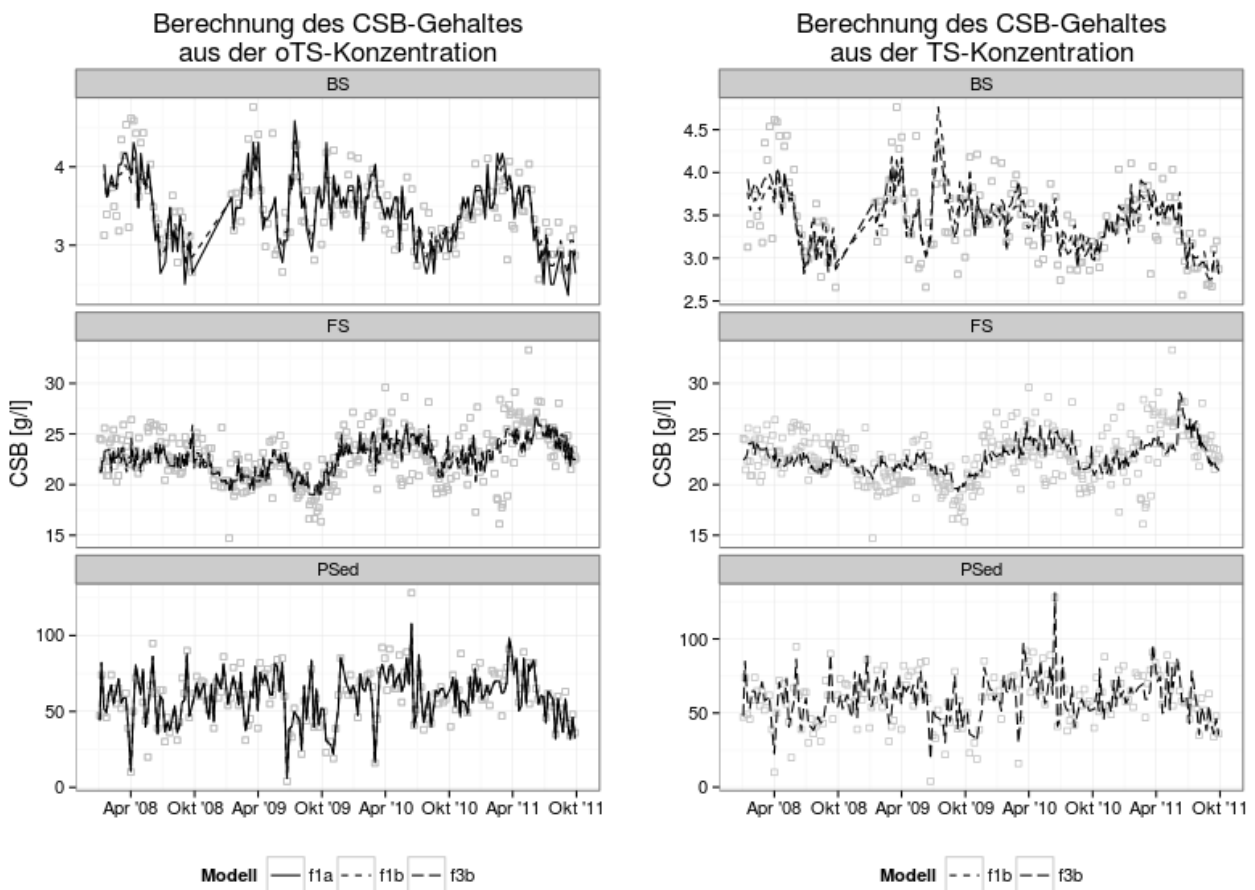


Abbildung 4: Gemessene und berechnete CSB-Gehalte der Schlämme der RKL Linz-Asten

Tabelle 6: Anpassungsgüte verschiedener Modelle an den Stickstoff-Gehalt der Schlämme

TN	modellierte TS-Abhängigkeit bezüglich:			oTS		aTS		TS				
Schlamm	Modell	$c_{TN} =$	Anz. Par.	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$
BS*	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		-618	31%		-618	31%		-618	31%
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS}$	1	0,36	-694	25%	-3,38	-366	62%	0,05	-621	31%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2$	2	0,41	-708	24%	0,00	-617	31%	0,22	-654	28%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,47	-720	23%	0,40	-698	24%	0,43	-702	24%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	0,47	-718	23%	0,40	-697	24%	0,43	-700	24%
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS}$	3	0,37	-694	24%	-1,13	-485	44%	0,23	-652	28%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS} + a_4$	4	<b>0,47</b>	<b>-720</b>	<b>23%</b>	0,36	-690	25%	<b>0,43</b>	<b>-703</b>	<b>24%</b>
FS*	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		161	23%		161	23%		161	23%
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS}$	1	0,33	17	19%	-4,55	784	54%	-0,94	401	32%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2$	2	0,37	-2	19%	0,00	162	23%	0,07	137	22%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,48	-70	17%	0,22	75	21%	0,35	8	19%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	<b>0,52</b>	<b>-94</b>	<b>16%</b>	0,37	3	19%	<b>0,43</b>	<b>-36</b>	<b>18%</b>
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS}$	3	0,46	-58	17%	-0,59	334	29%	0,22	75	21%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS} + a_4$	4	<b>0,48</b>	<b>-73</b>	<b>17%</b>	0,24	68	20%	0,38	-6	18%
PSed	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		321	60%		321	60%		321	60%
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS}$	1	<b>0,67</b>	<b>131</b>	<b>35%</b>	-1,28	487	84%	0,47	218	44%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2$	2	0,67	131	35%	0,28	277	52%	0,57	181	40%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,68	131	35%	0,34	265	50%	0,59	179	39%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot c_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	0,68	132	35%	0,36	262	49%	0,59	178	39%
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS}$	3	0,68	128	35%	-0,64	430	74%	0,52	206	42%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot c_{TS} + a_4$	4	0,68	130	35%	0,34	266	50%	<b>0,59</b>	<b>178</b>	<b>39%</b>

\*...Nach Entfernung von Ausreißern (Werte außerhalb des doppelten Interquartilsabstandes)

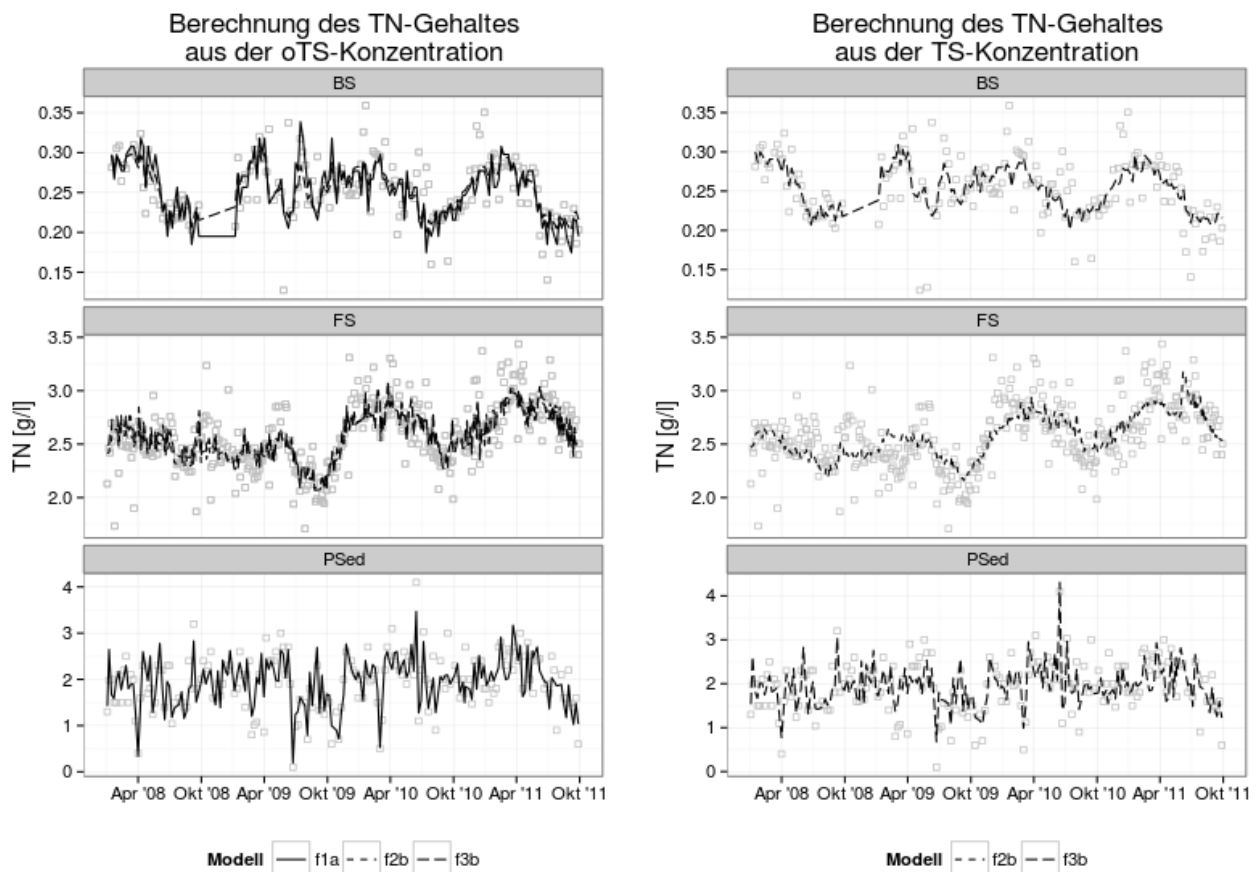


Abbildung 5: Gemessene und berechnete Stickstoff-Gehalte der Schlämme der RKL Linz-Asten



Tabelle 7: Anpassungsgüte verschiedener Modelle an den Phosphor-Gehalt der Schlämme

TP Schlamm	modellierte TS-Abhängigkeit bezüglich:		oTS			aTS			TS			
	Modell	$C_{TP} =$	Anz.	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	$R^2$	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$
BS*	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		-1090	28%		-1090	28%		-1090	28%
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS}$	1	0,05	-1098	27%	-4,25	-803	61%	-0,23	-1059	31%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2$	2	<b>0,27</b>	<b>-1143</b>	<b>24%</b>	0,00	-1088	28%	0,16	-1124	25%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,30	-1147	23%	0,22	-1127	24%	0,28	-1146	24%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	<b>0,34</b>	<b>-1153</b>	<b>23%</b>	0,27	-1137	24%	<b>0,31</b>	<b>-1153</b>	<b>23%</b>
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot C_{TS}$	3	0,13	-1109	26%	-1,86	-904	46%	-0,12	-1073	29%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot C_{TS} + a_4$	4	<b>0,30</b>	<b>-1145</b>	<b>23%</b>	0,24	-1132	24%	0,27	-1146	24%
FS*	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		-837	21%		-837	21%		-837	21%
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS}$	1	0,41	-1027	16%	-5,00	-185	50%	-0,90	-605	29%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2$	2	<b>0,45</b>	<b>-1053</b>	<b>16%</b>	0,02	-843	21%	0,13	-888	20%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,52	-1098	15%	0,18	-905	19%	0,36	-998	17%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	0,53	-1100	15%	0,21	-916	19%	0,36	-997	17%
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot C_{TS}$	3	0,50	-1086	15%	-0,55	-673	26%	0,26	-947	18%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot C_{TS} + a_4$	4	<b>0,52</b>	<b>-1098</b>	15%	0,25	-933	18%	<b>0,40</b>	<b>-1022</b>	<b>16%</b>
PSed	f <sub>0</sub> )	$a_1 = \mu$	1		-263	71%		-263	71%		-263	71%
	f <sub>1a</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS}$	1	0,37	-337	58%	-1,12	-109	98%	0,18	-289	66%
	f <sub>1b</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2$	2	0,38	-339	58%	0,13	-273	69%	0,30	-317	62%
	f <sub>2a</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2 \cdot \sin(\omega t + a_3) + a_4$	4	0,39	-336	58%	0,19	-284	66%	0,32	-320	60%
	f <sub>2b</sub> )	$a_1 \cdot C_{TS} + a_2 \cdot t + a_3 \cdot \sin(\omega t + a_4) + a_5$	5	<b>0,49</b>	<b>-370</b>	<b>53%</b>	0,27	-301	63%	<b>0,42</b>	<b>-348</b>	<b>56%</b>
	f <sub>3a</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot C_{TS}$	3	0,37	-333	58%	-0,55	-164	87%	0,23	-298	64%
	f <sub>3b</sub> )	$[a_1 \cdot \sin(\omega t + a_2) + a_3] \cdot C_{TS} + a_4$	4	0,39	-335	58%	0,19	-285	66%	0,32	-320	60%

\*...Nach Entfernung von Ausreißern (Werte außerhalb des doppelten Interquartilsabstandes)

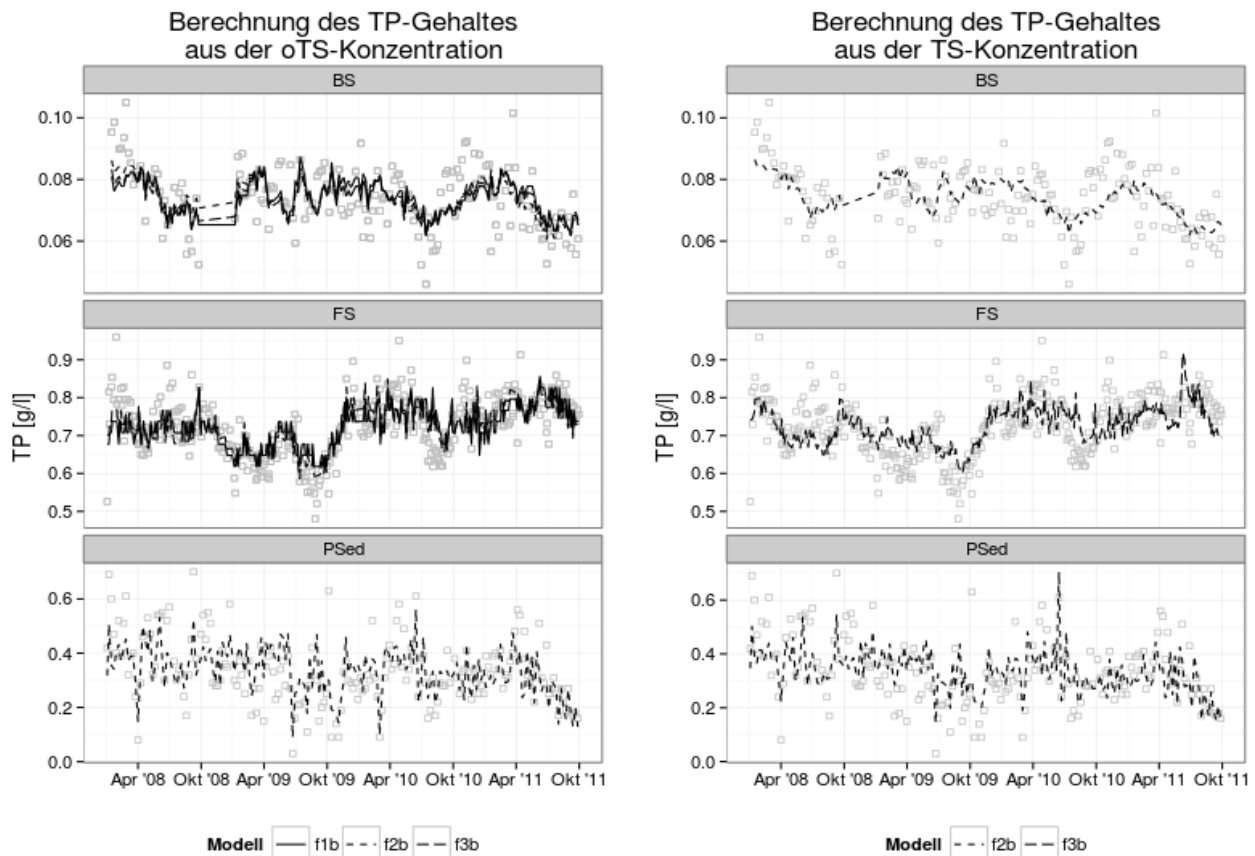


Abbildung 6: Gemessene und berechnete Phosphor-Gehalte der Schlämme der RKL Linz-Asten

### 3.1.2 Kläranlage des AWV Schwechat

Auf der Kläranlage Schwechat wurden die Konzentrationen an CSB, TN und TP in den Schlämmen lediglich für den Bilanzierungszeitraum (24 Wochen, 21 Proben je Schlamm) erfasst. Ein saisonaler Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Trockensubstanzgehalt und weiteren Schlamminhaltsstoffen wurde auch hier untersucht, lässt sich jedoch nicht auf das gesamte Jahr übertragen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen für die Kläranlage Linz-Asten erwiesen sich auch solche Modelle als vorteilhaft, die gleichzeitig sowohl den organischen als auch den gesamten Gehalt an Trockensubstanz berücksichtigen ( $f_{1o/d}$  bzw.  $f_{2o/d}$ ). Die Anpassungsgüte der Modelle verbesserte sich dadurch deutlich bei den Belebtschlämmen (CSB, TN, TP) sowie beim Faulschlamm (TN, TP). Die Modelle zur Bestimmung der Phosphorkonzentrationen in den Belebtschlämmen konnten mit gleicher Güte auch an die Differenz von gesamtem und organischem Trockensubstanzgehalt (also den anorganischen Trockensubstanzgehalt) angepasst werden.

Eine besonders hohe Güte ( $R^2 > 0,9$ ) weisen die Modelle zur Bestimmung der CSB-Konzentration im Faul- und Primärschlamm auf. Bei beiden zeigt sich eine direkte Proportionalität zum oTS-Gehalt ( $f_{1a}$ -Modell). Eine ebenfalls hohe Anpassungsgüte ( $R^2 > 0,8$ ) ergab sich für die TP-Konzentrationen in den Belebtschlämmen sowie im Faulschlamm. In einem mittleren Bereich ( $R^2 > 0,5$ ) lag die Anpassungsgüte der Modelle zur Berechnung der TN-Konzentrationen in allen Schlämmen sowie zur Berechnung der CSB-Konzentrationen in den Belebtschlämmen. Die genannten Kombinationen von Schlämmen und Inhaltsstoffen lassen damit eine gute bis sehr gute Prognostizierbarkeit erwarten.

Die zeitliche Komponente war von besonderer Bedeutung für die Güte der Modelle zur Berechnung der Konzentration der Inhaltsstoffe des Belebtschlammes der zweiten Stufe (Schwachlast). Hier kommt es jährlich im Winterhalbjahr zu einer Einleitung von Oberflächenwasser des Wiener Flughafens, welche hohe CSB-Konzentrationen aufweist. Diese führen zu einem allmählichen Anstieg des oTS-Anteils im Belebtschlamm sowie zu steigender Überschussschlammproduktion. Die Berechnung der TP-Konzentration im Faulschlamm verbessert sich bei Berücksichtigung eines saisonalen Einflusses ebenfalls erheblich.

Die Residuen der Modelle zur Schätzung des TN im Primärschlamm bzw. TP im BS1 weisen bei (relativ) hoher Modellgüte eine vergleichsweise hohe Streuung (um 30% doppelte Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert) auf. Dies ist auf die großen Wertebereiche der Konzentrationen in diesen Schlämmen zurück zu führen. Im Gegensatz zu den anderen Modellen hoher Güte lagen minimale und maximale Konzentrationen deutlich weiter auseinander.

Von geringer Güte erwies sich das Modell zur Berechnung der TP-Konzentration im Primärschlamm. Dies dürfte auf den niederschlagsabhängig schwankenden Anfall und die ebenso wechselnde Zusammensetzung (aTS, oTS) zurückzuführen sein.

*Tabelle 8: Mittlere Konzentrationen an CSB, TN, TP der Schlämme der KA Schwechat bezogen auf (o/a)TS*

Schlamm	CSB/oTS	CSB/TS	TN/oTS	TN/TS	TP/oTS	TP/aTS	TP/TS
BS1	1,64*	1,23	0,108*	0,081	0,024	0,076**	0,019*
BS2	1,45	1,01	0,097	0,067	0,041	0,094*	0,029*
FS	1,68**	1,00*	0,142*	0,085	0,041	0,061*	0,025*
PSed	1,79**	1,27*	0,043*	0,031	0,013	0,028	0,009

\*...verwendbar in Modell der Form  $f_{1a}$ ; \*\*...sehr gute Anpassung in Modell der Form  $f_{1a}$

Tabelle 9: Anpassungsgüte verschiedener Modelle an den CSB-Gehalt der Schlämme

COD Schlamm	TS-Abhängigkeit bezüglich:		oTS			aTS			TS			oTS & TS		
	Modell	Anz. Par.	R <sup>2</sup>	AIC	2σ <sub>res</sub> /μ	R <sup>2</sup>	AIC	2σ <sub>res</sub> /μ	R <sup>2</sup>	AIC	2σ <sub>res</sub> /μ	R <sup>2</sup>	AIC	2σ <sub>res</sub> /μ
BS1	f <sub>0</sub> )	1		29	27		29	27		29	27		29	27
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )	1 o. 2	<b>0,39</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	-3,17	59	53	-0,1	31	28	<b>0,65</b>	<b>9</b>	<b>16</b>
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )	2 o. 3	0,44	19	20	0	31	27	0,18	26	24	0,68	9	15
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )	4 o. 5	<b>0,72</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	0,23	29	23	<b>0,58</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	0,75	7	13
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )	5 o. 6	0,75	7	13	0,36	27	21	0,65	15	16	0,77	8	13
BS2	f <sub>0</sub> )	1		-13	11		-13	11		-13	11		-13	11
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )	1 o. 2	0,04	-14	11	-4,12	22	25	-0,65	-2	15	0,23	-16	10
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )	2 o. 3	0,19	-15	10	0,06	-12	11	0,01	-11	11	<b>0,39</b>	<b>-19</b>	<b>9</b>
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )	4 o. 5	<b>0,59</b>	<b>-25</b>	<b>7</b>	0,46	-20	8	<b>0,58</b>	<b>-25</b>	<b>7</b>	0,59	-23	7
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )	5 o. 6	0,60	-24	7	0,46	-18	8	0,58	-23	7	0,61	-22	7
FS	f <sub>0</sub> )	1		99	18		99	18		99	18		99	18
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )	1 o. 2	<b>0,94</b>	<b>41</b>	<b>5</b>	-1,74	121	30	0,41	88	14	0,95	37	4
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )	2 o. 3	0,96	35	4	0	101	18	0,42	90	14	0,96	34	3
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )	4 o. 5	0,97	32	3	0,67	82	10	0,84	67	7	0,97	33	3
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )	5 o. 6	0,97	34	3	0,67	84	10	0,84	69	7	0,97	34	3
PSed	f <sub>0</sub> )	1		181	47		181	47		181	47		181	47
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )	1 o. 2	<b>0,94</b>	<b>122</b>	<b>11</b>	-2,81	209	84	0,67	158	27	0,95	120	11
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )	2 o. 3	0,94	123	11	0,09	181	45	0,72	157	25	0,95	122	10
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )	4 o. 5	0,95	123	10	0,23	181	41	0,75	158	23	0,95	124	10
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )	5 o. 6	0,96	124	10	0,27	182	40	0,77	158	23	0,96	125	10

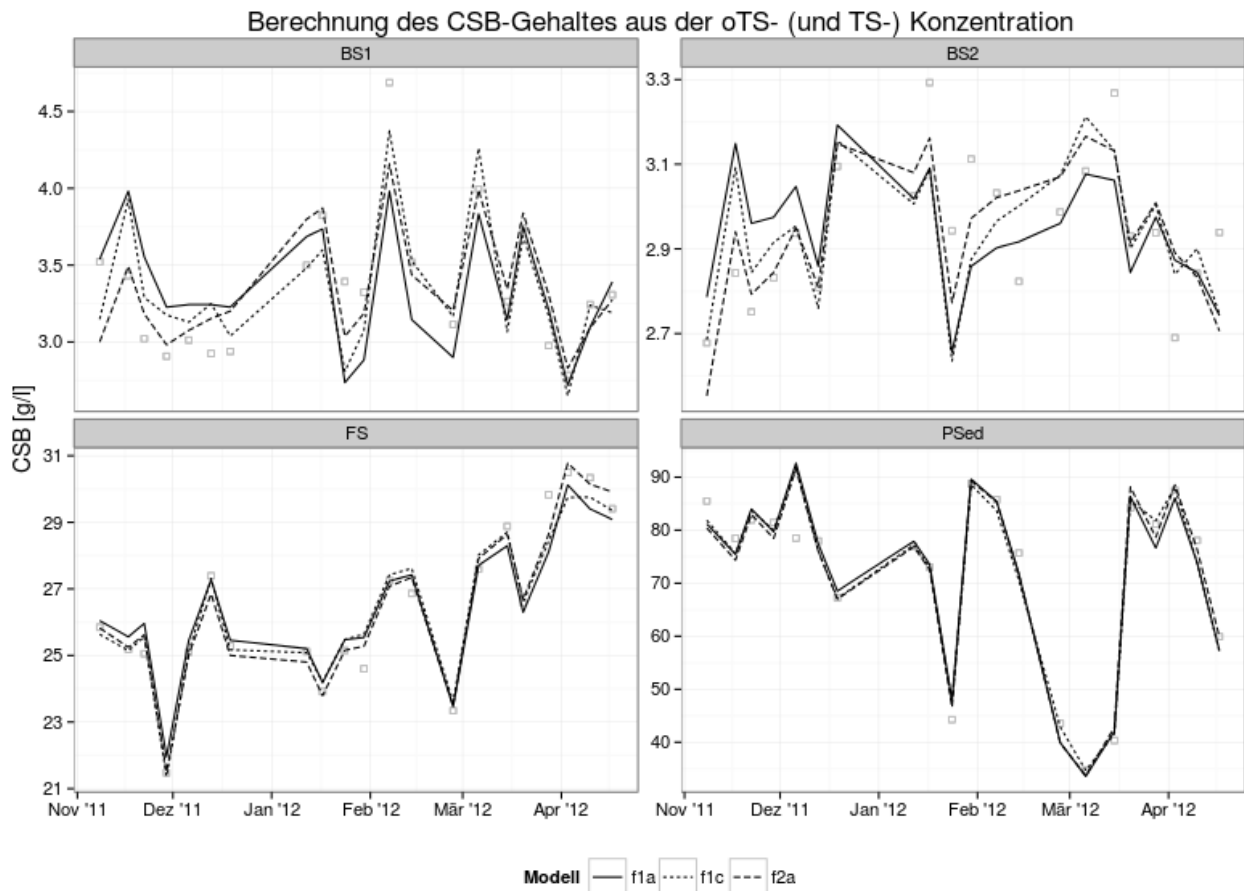


Abbildung 7: Gemessene und berechnete CSB-Gehalte der Schlämme der KA des AWV Schwechat (ausgewählte Modelle)

Tabelle 10: Anpassungsgüte verschiedener Modelle an den Stickstoff-Gehalt der Schlämme

TN Schlamm	TS-Abhängigkeit		oTS			aTS			TS			oTS & TS			
	Modell	$c_{TN=}$	Anz. Par.	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$
BS1	f <sub>0</sub> )		1		-89	24		-89	24		-89	24		-89	24
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	<b>0,57</b>	<b>-107</b>	<b>16</b>	-3,01	-60	48	0,14	-92	23	<b>0,69</b>	<b>-112</b>	<b>14</b>
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	0,60	-106	15	0,02	-88	24	0,35	-96	20	0,71	-111	13
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	0,66	-106	14	0,10	-85	23	<b>0,50</b>	<b>-98</b>	<b>17</b>	0,71	-107	13
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,68	-105	14	0,19	-86	22	0,54	-98	17	0,71	-105	13
BS2	f <sub>0</sub> )		1		-111	16		-111	16		-111	16		-111	16
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	0,03	-112	16	-2,53	-85	30	-0,47	-103	20	0,33	-118	13
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	0,10	-111	15	0,15	-112	15	0	-109	16	<b>0,41</b>	<b>-118</b>	<b>12</b>
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	<b>0,67</b>	<b>-128</b>	<b>9</b>	0,60	-124	10	<b>0,64</b>	<b>-126</b>	<b>10</b>	0,69	-128	9
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,67	-126	9	0,60	-122	10	0,64	-124	10	0,71	-127	9
FS	f <sub>0</sub> )		1		-15	14		-15	14		-15	14		-15	14
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	<b>0,48</b>	<b>-28</b>	<b>10</b>	-3,46	17	30	-0,21	-11	16	0,49	-27	10
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	<b>0,58</b>	<b>-31</b>	<b>9</b>	0,03	-13	14	0,14	-16	13	<b>0,63</b>	<b>-31</b>	<b>9</b>
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	<b>0,67</b>	<b>-32</b>	<b>8</b>	0,48	-22	10	<b>0,60</b>	<b>-28</b>	<b>9</b>	0,67	-30	8
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,72	-33	8	0,54	-23	10	0,64	-28	8	0,72	-31	8
PSed	f <sub>0</sub> )		1		27	49		27	49		27	49		27	49
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	<b>0,50</b>	<b>12</b>	<b>34</b>	-3,52	59	95	0,06	26	47	0,51	14	34
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	<b>0,56</b>	<b>12</b>	<b>32</b>	0	29	49	0,29	22	41	0,58	13	31
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	0,57	15	32	0,09	31	46	0,35	24	39	0,58	17	31
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,59	16	31	0,19	31	44	0,44	23	36	0,60	18	31

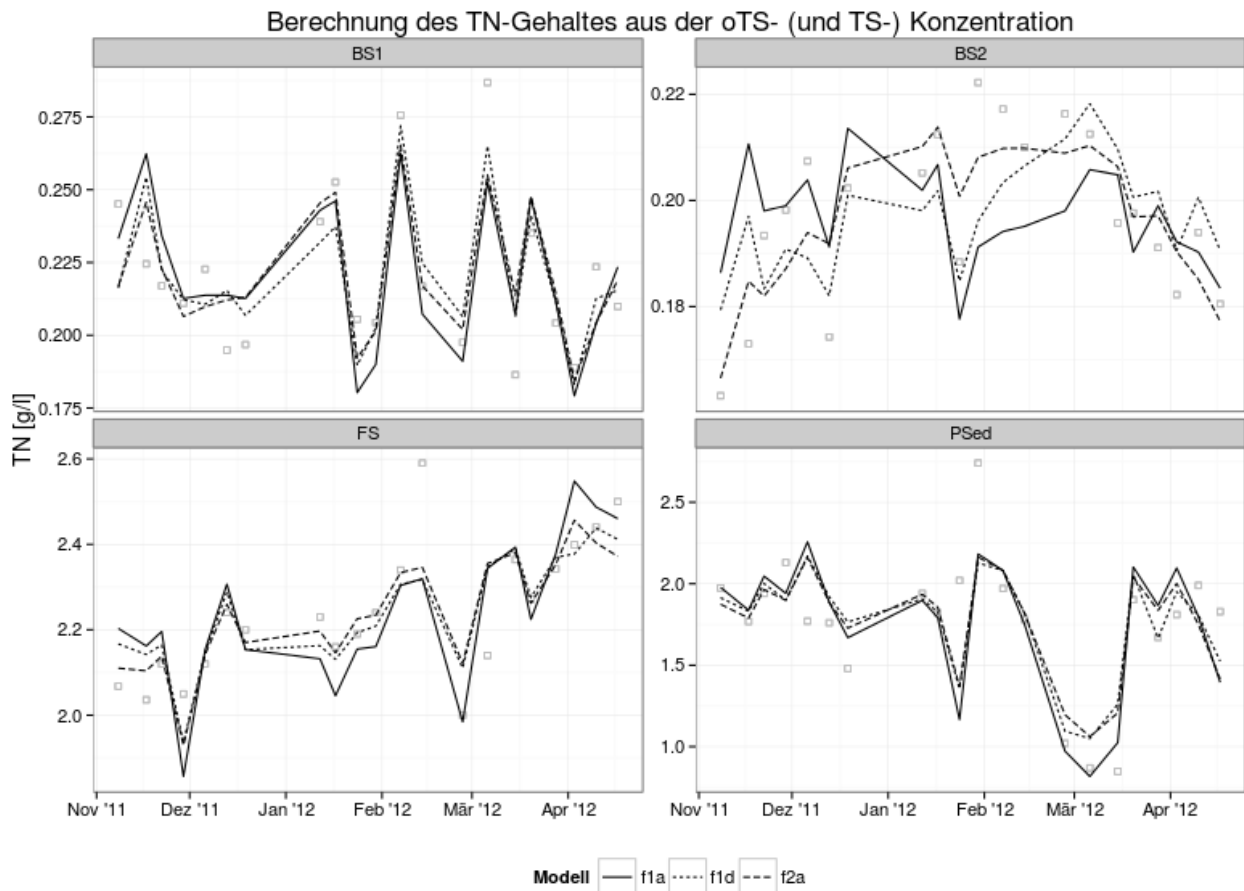


Abbildung 8: Gemessene und berechnete Stickstoff-Gehalte der Schlämme der KA des AWW Schwechat (ausgewählte Modelle)

Tabelle 11: Anpassungsgüte verschiedener Modelle an den Phosphor-Gehalt der Schlämme

TP Schlamm	TS-Abhängigkeit		oTS			aTS			TS			oTS & TS			
	Modell	$c_{TN=}$	Anz. Par.	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$	R <sup>2</sup>	AIC	$2\sigma_{res}/\mu$
BS1	f <sub>0</sub> )		1		-105	75		-105	75		-105	75		-105	75
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	0,22	-110	66	<b>0,79</b>	<b>-138</b>	<b>34</b>	0,42	-116	57	<b>0,86</b>	<b>-144</b>	<b>28</b>
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	0,27	-110	64	<b>0,88</b>	<b>-148</b>	<b>26</b>	<b>0,60</b>	<b>-122</b>	<b>47</b>	0,88	-146	26
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	0,61	-119	46	0,89	-146	25	<b>0,75</b>	<b>-128</b>	<b>38</b>	0,89	-144	25
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,72	-124	40	0,92	-149	22	0,84	-135	30	0,92	-149	21
BS2	f <sub>0</sub> )		1		-148	16		-148	16		-148	16		-148	16
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	0,22	-153	14	<b>0,62</b>	<b>-168</b>	<b>10</b>	0,63	-169	10	<b>0,79</b>	<b>-179</b>	<b>7</b>
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	0,23	-152	14	<b>0,78</b>	<b>-178</b>	<b>7</b>	<b>0,65</b>	<b>-168</b>	<b>9</b>	0,80	-178	7
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	0,64	-164	9	0,79	-175	7	0,73	-170	8	0,80	-174	7
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,85	-180	6	0,83	-178	6	<b>0,87</b>	<b>-183</b>	<b>6</b>	0,87	-181	6
FS	f <sub>0</sub> )		1		-52	20		-52	20		-52	20		-52	20
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	<b>0,57</b>	<b>-69</b>	<b>13</b>	-0,54	-43	25	<b>0,56</b>	<b>-69</b>	<b>13</b>	<b>0,64</b>	<b>-71</b>	<b>12</b>
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	0,57	-67	13	0,14	-53	19	0,57	-67	13	0,67	-71	12
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	0,58	-64	13	<b>0,88</b>	<b>-91</b>	<b>7</b>	<b>0,86</b>	<b>-87</b>	<b>8</b>	0,91	-94	6
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,60	-63	13	0,92	-97	6	0,90	-91	7	<b>0,95</b>	<b>-105</b>	<b>5</b>
PSed	f <sub>0</sub> )		1		-18	55		-18	55		-18	55		-18	55
	f <sub>1a</sub> ) bzw. f <sub>1c</sub> )		1 o. 2	0,22	-24	48	-1,93	4	87	0,20	-23	49	0,28	-23	46
	f <sub>1b</sub> ) bzw. f <sub>1d</sub> )		2 o. 3	<b>0,32</b>	<b>-24</b>	<b>45</b>	0,09	-18	52	<b>0,32</b>	<b>-24</b>	<b>45</b>	0,35	-23	44
	f <sub>2a</sub> ) bzw. f <sub>2c</sub> )		4 o. 5	0,38	-22	43	0,15	-16	50	0,34	-21	45	0,39	-21	43
	f <sub>2b</sub> ) bzw. f <sub>2d</sub> )		5 o. 6	0,42	-22	42	0,29	-18	46	<b>0,43</b>	<b>-22</b>	<b>41</b>	0,45	-21	41

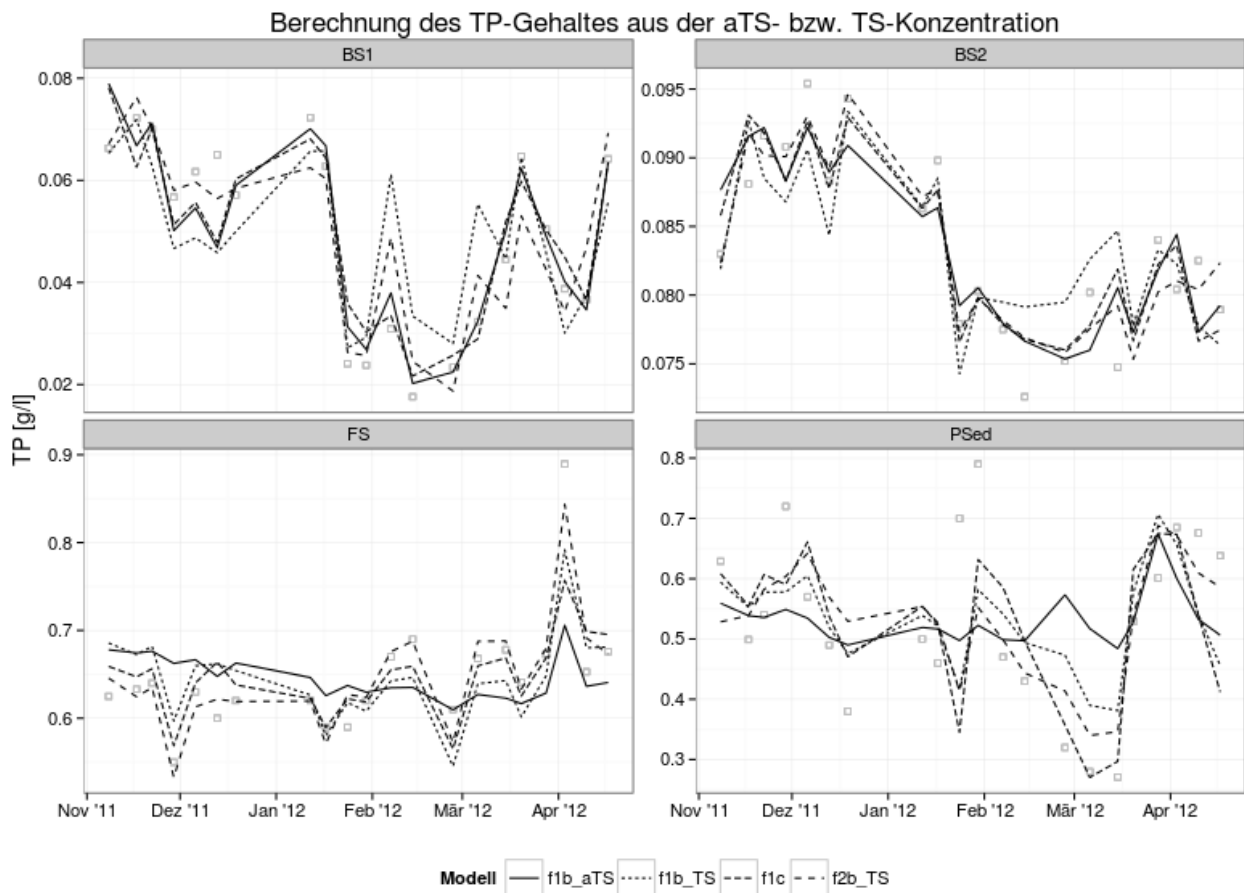


Abbildung 9: Gemessene und berechnete Phosphor-Gehalte der Schlämme der KA des AWV Schwechat (ausgewählte Modelle)

## 3.2 Statische Bilanzierung der Kläranlage des AWV Schwechat

Zur besseren Einordnung der gemessenen Frachtströme auf der KA Schwechat werden zunächst die statischen Bilanzen über verschiedene Teilsysteme vorgestellt. Dazu waren die Konzentrationen der Inhaltstoffe CSB, TP, TN in den Schlämmen wie im vorangegangenen Kapitel dargestellt zu schätzen. Zunächst wurde die Übertragbarkeit der Modelle auf andere TS-Bereiche (eingedickte Schlämme) untersucht.

### 3.2.1 Übertragung der Modelle auf andere TS-Bereiche

Abbildung 10 verdeutlicht, dass die Übertragung der Modelle zur Schätzung der Konzentrationen der Schlamminhaltstoffe auf andere Wertebereiche (eingedickte Schlämme) großer Sorgfalt bedarf. Faulschlamm und Primärschlamm des Voreindickers (PSed) lieferten für verschiedene Modelle im Mittel sehr konsistente Schätzungen, da die Schätzung im gleichen Wertebereich erfolgte wie die Modellbildung. Die Übertragung in den entwässerten Faulschlamm (FSew) bzw. frischen Primärschlamm (PS) weicht dagegen teils deutlich ab. Die Schätzung der Phosphorfracht in den Überschussschlämmen (TS-Gehalt 3-7 g/l) beruht ebenfalls auf Modellen, die auf Grundlage von Messungen bei einem anderen Eindickungsgrad (hier: Belebtschlamm, TS-Gehalt 1,5-3 g/l) erstellt wurden.

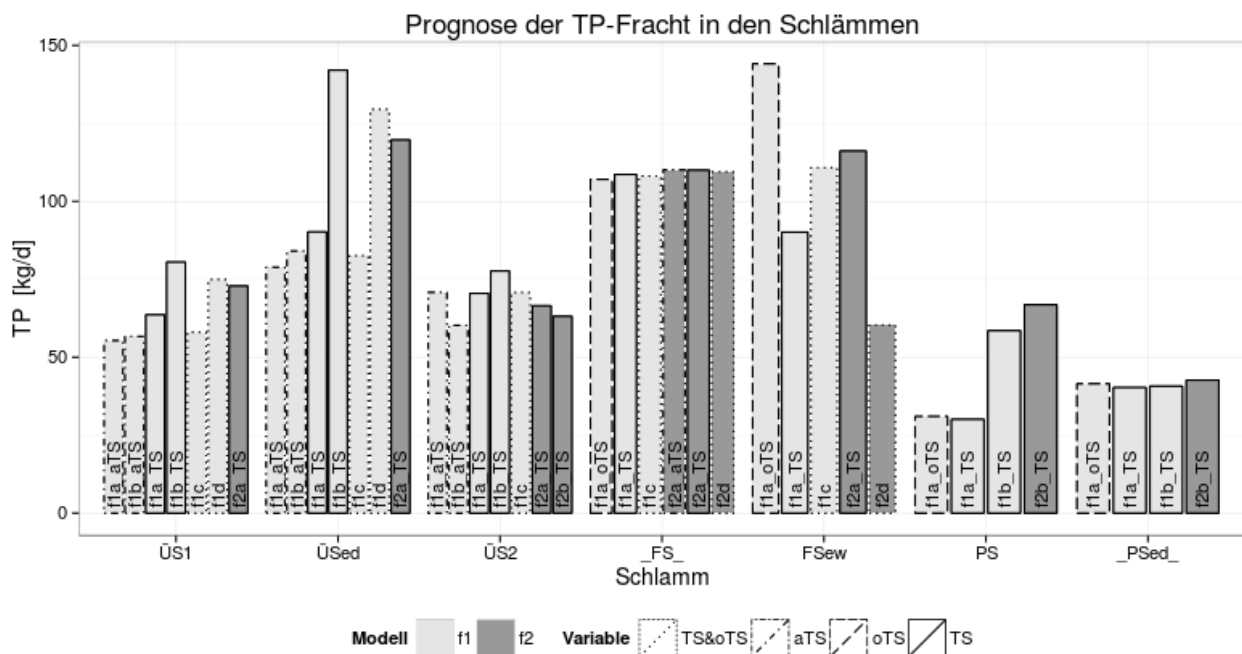


Abbildung 10: Prognose der TP-Fracht in den verschiedenen Schlämmen in Abhängigkeit von gewähltem Modell und Ersatzgröße. Der dieser Abbildung zu Grunde liegende Zeitraum spart die Phase der getrennten Eindickung des ÜS2 aus und stimmt daher nicht mit dem Bilanzierungszeitraum überein.

Es ergeben sich in Abhängigkeit vom gewählten Modell, der unabhängigen Größe (oTS, aTS, TS) sowie dem Eindickungsgrad der Schlämme unterschiedliche Prognosen der TP-Fracht. Besonders deutlich wird dies beim Vergleich der Phosphorfracht vor und nach der MÜSE (ÜS1 vs. ÜSed), die theoretisch nahezu gleich sein sollte. Bei Annahme eines Fehlers der Mengenmessung müsste sich dieser auf alle Prognosen gleich auswirken. Jedoch fallen die Prognosen abhängig vom gewählten Modell sehr unterschiedlich aus.

Beim Vergleich der prognostizierten Phosphor-Frachten (Abbildung 10) mit den prognostizierten TP-Konzentrationen (bezogen auf den Eindickungsgrad der Schlämme, Abbildung 11) wird ein Fehler in der Mengenmessung des eingedickten Überschussschlammes tatsächlich evident. Für die  $f_{1a}$ -Modelle beruhend auf TS (durchgezogene Umrandung) entspricht die prognostizierte TP-Konzentration gerade der Zunahme des Eindickungsgrades, das Verhältnis beträgt immer 1. Die  $f_1$ -Modelle des Überschussschlammes (und BS1), beruhend auf der anorganischen Trockensubstanz (strich-punktierte Umrandung), prognostizieren die TP-Konzentrationen ebenfalls in einem konstanten Verhältnis zum Eindickungsgrad. In beiden Fällen weist

die Zunahme der Frachten (Abbildung 10) auf einen Fehler der Mengenmessung hin. Die Prognosen der TP-Konzentration auf Grundlage des  $f_{1b}$ -Modells (TS), des  $f_{1d}$ -Modells und des  $f_{2a}$ -Modells (TS) überschätzen dagegen die TP-Konzentration in den Schlämmen der Belebungsstufe 1 mit zunehmendem Eindickungsgrad immer stärker, diese Zunahme ist nicht durch einen Fehler der Mengenmessung erklärbar und muss auf die Übertragung der Modelle auf höhere TS-Bereiche zurückgeführt werden. Der Effekt ist ebenso für den Faulschlamm und den Primärschlamm zu beobachten, für den Schlamm der zweiten Belebungsstufe ist er kaum ausgeprägt. In der Darstellung in Abbildung 11 können im Gegensatz zu Abbildung 10 auch die Belebtschlämme der ersten und zweiten Stufe einbezogen werden, in denen die den Prognosen zu Grunde liegenden Messungen durchgeführt wurden. Einschränkend ist anzumerken, dass die gewählte Darstellung für den Primärschlamm irreführend sein dürfte, da im Voreindicker zusätzlich Fremdschlämme übernommen werden, eine Fracht- und Konzentrationszunahme ist daher wahrscheinlich.

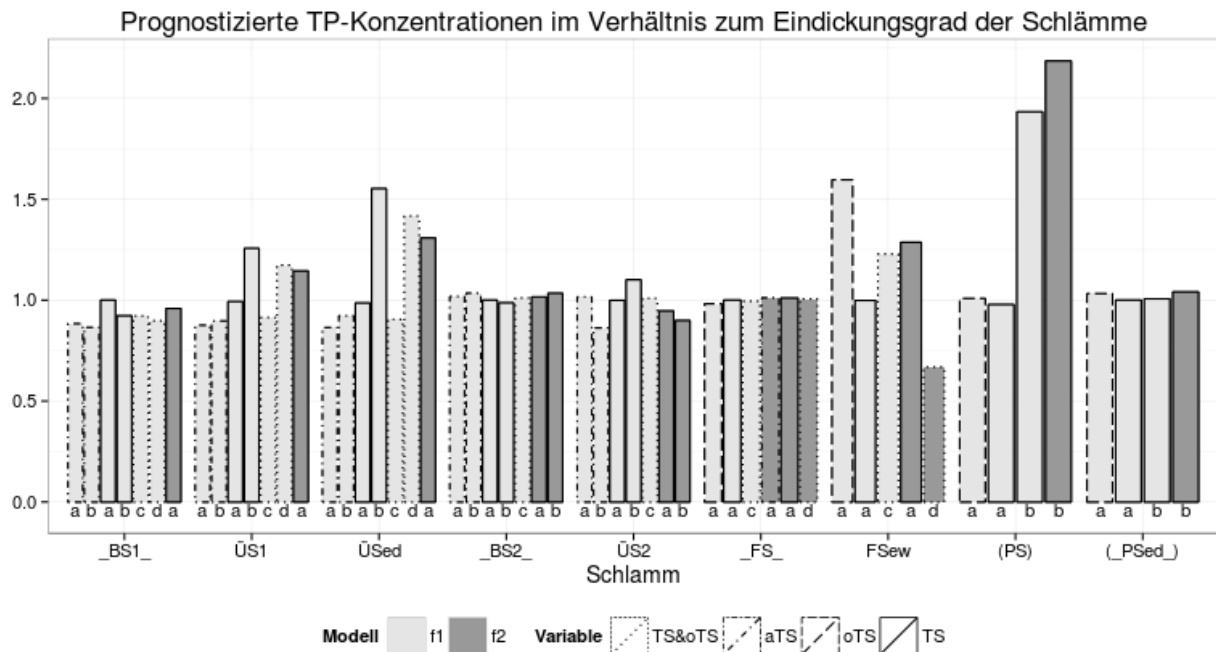


Abbildung 11: Prognose der TP-Konzentration (bezogen auf den Eindickungsgrad der Schlämme) in Abhängigkeit von gewähltem Modell und unabhängiger Variable. Eine starke Abweichung von 1 weist auf einen deutlichen Unterschied zwischen Prognose und Änderung des TS-Gehaltes.

Die Wahl des geeigneten Modells hängt einerseits von der Güte der Schätzung ab, andererseits ist für eine optimale Berechnung der Frachten in den Schlämmen auch die Häufigkeit der Trockensubstanzmessungen von Bedeutung. Da häufige Messungen (werktäglich) lediglich von den TS-Gehalten vorlagen, wurden diese trotz manchmal geringerer Güte der entsprechenden Modelle den Bilanzen zu Grunde gelegt. Für den Überschussschlamm der ersten Stufe ist diese Vorgehensweise theoretisch nicht gerechtfertigt, beeinflusst den Fokus der folgenden Untersuchungen (Eignung von alternativen Messgrößen sowie erforderliche Häufigkeit von Messungen) jedoch nicht. Für den Faulschlamm wurde der zeitliche Einfluss auf die prognostizierte TP-Fracht berücksichtigt, diese verbessert die Prognose erheblich. In den anderen Schlämmen wurde wegen mangelnder Übertragbarkeit dieses Ansatzes auf andere Eindickungsgrade abgesehen.

### 3.2.2 Ergebnisse der statischen Bilanzierung

Die Ergebnisse der statischen Bilanzierung sind Tabelle 12 zu entnehmen. Es ergeben sich durchgängig sehr geringe Abweichungen von (zumeist deutlich) unter 10% zwischen Eingangs- und Ausgangsfracht eines bilanzierten Teilsystems. Anzumerken ist dabei, dass zur Berechnung der Bilanzen über die Faulung einige Annahmen zu treffen waren, insbesondere hinsichtlich der Zusammensetzung der Senkgruben- und Fettabscheiderinhalte. Selbst die Senkgrubeninhalte stellen mit einer mittleren Menge von 19 m<sup>3</sup>/d keine vernachlässigbare Größe dar, je nach Annahmen beeinflussen sie die Eingangsfracht in den Faulbehälter um bis zu 10%.



Eine weitere wichtige Größe zur Plausibilitätsprüfung ist der einwohnerspezifische Anfall an organischer Trockensubstanz im stabilisierten Schlamm (Nowak, 2002). Im Bilanzierungszeitraum betrug die mittlere Belastung der KA Schwechat im Zulauf 17.700 kg CSB/d entsprechend 147.000 EW<sub>120</sub>/d. Der Anfall an organischer Trockensubstanz im Faulschlamm betrug im Mittel 2.700 kg/d. Dies entspricht einem einwohnerspezifischen Anfall von 18,6 g oTS/EW<sub>120</sub>/d. Dieser Wert liegt im üblichen Bereich eines gut stabilisierten Schlammes, was als Bestätigung des gemessenen Schlammanfalls gelten kann.

*Tabelle 12: Ergebnisse der statischen Bilanzierung der Kläranlage des AWV Schwechat*

Bilanzgröße	Bilanzrahmen	Hauptstoffströme	Eingangsfracht	Ausgangsfracht	Bilanzergebnis
Q	gesamte KA	Zuläufe, Ablauf	23.800 m <sup>3</sup> /d	24.600 m <sup>3</sup> /d	- 3%
TP	gesamte KA	Zuläufe, Ablauf, entw. Faulschlamm	127 kg/d	126 kg/d	+ 1%
TP	BB1	div. Zuläufe, ÜS2, ÜS1, Ablauf ZKB*	56 kg/d	56 kg/d	- 1%
TP	VKB, BB2	div. Zuläufe, ÜS2, PS	124 kg/d	120 kg/d	+ 3%
TP	VKB, BB1&2	Zuläufe, Ablauf, PS, ÜS1	134 kg/d	130 kg/d	+ 3%
Q	FT	ÜSed, PSed	173 m <sup>3</sup> /d	170 m <sup>3</sup> /d	+ 1%
aTS	FT, MÜSE, VED	ÜS1,PS, u.a.**	1.830 kg/d	1.820 kg/d	± 0%
CSB	FT, MÜSE, VED	ÜS1,PS, u.a.**	9.400 kg/d	9.750 kg/d	- 4%
TN	FT, MÜSE, VED	ÜS1,PS, u.a.**	351 kg/d	382 kg/d	- 9%
TP	FT, MÜSE, VED	ÜS1,PS, u.a.**	117 kg/d	111 kg/d	+ 5%

\* ... TP-Fracht im Ablauf ZKB vernachlässigt \*\* ... Senkgruben- und Fettabscheiderinhalte, Enteisungswasser FH

### 3.3 Dynamische Bilanzierung der Kläranlage des AWV Schwechat

Die Anwendbarkeit von CUSUM-Kontrollkarten zur dynamischen Bilanzierung hängt hauptsächlich von der Varianz der Eingangsgröße ab. Bei der dynamischen Bilanzierung ist dies der Fehlervektor der auf Tagesbasis berechneten Einzelbilanzen, sein Erwartungswert ist Null. Exemplarisch wird im Folgenden die dynamische Phosphor-Bilanz über die zweite Belebungsstufe (Schwachlast) vorgestellt. Weitere Ergebnisse der dynamischen Bilanzierung sind im Anhang enthalten.

#### 3.3.1 Dynamische Phosphor-Bilanz über die zweite Belebungsstufe

Die dynamische Phosphorbilanz über die zweite Belebungsstufe erfolgte zunächst ohne Betrachtung der täglichen Änderung des TS-Gehaltes im Belebungsbecken, welche sich möglicher Weise durch Speicherung (bei Zunahme des TS) bzw. Freisetzung von Phosphor (bei Abnahme des TS) auf die tägliche Bilanz auswirkt (Abbildung 12).

Im Fall der Phosphor-Bilanz über die zweite Stufe beträgt die mittlere Abweichung des Fehlervektors von Null +3% der Eingangsfracht. Dieser Fehler ist sehr gering und die statische Bilanz über den Untersuchungszeitraum nahezu ausgeglichen. Bei Betrachtung der dynamischen Bilanz ohne Berücksichtigung einer Speicherwirkung beträgt die relative Standardabweichung des Fehlervektors 28% der Eingangsfracht. Durch die Wahl des Referenzwertes  $k=0.29$  und der durchschnittlichen Laufzeit bis zu einem zufälligen Signal  $ARL_0=370 d$  ergibt sich das Kontrolllimit  $h=7,3$ , woraus eine durchschnittliche Laufzeit zur Detektion des optimal erkennbaren Fehlers ( $\Delta\mu_{opt}/F=16\%$ ) von  $ARL_{\Delta\mu}=23 d$  folgt. Im Beispiel sind auf der CUSUM-Kontrollkarte zwei Zeiträume mit deutlicher Abweichung der dynamischen Bilanz nach oben sowie ebenfalls zwei Zeiträume mit einer deutlichen Abweichung der dynamischen Bilanz nach unten zu erkennen. So lag im Zeitraum von Tag 1 bis Tag 29 der relative Bilanzfehler bei +23%, zwischen Tag 120 und Tag 133 bei -23 %. Grundsätzlich erweist sich damit die Anwendung der CUSUM-Kontrollkarte zur Bewertung dynamischer Massenbilanzen auch im Falle der Nicht-Beachtung einer möglichen Speicherwirkung durch Änderungen des TS-Gehaltes im Belebungsbecken als möglich. Bei der gegebenen Varianz des Fehlervektors können die Parameter der CUSUM-Kontrollkarte so gewählt werden, dass eine Unterscheidung fehlerhafter und ausgeglichener Zeiträume in der Bilanz möglich ist.

## TP BB2 OHNE Speicherwirkung

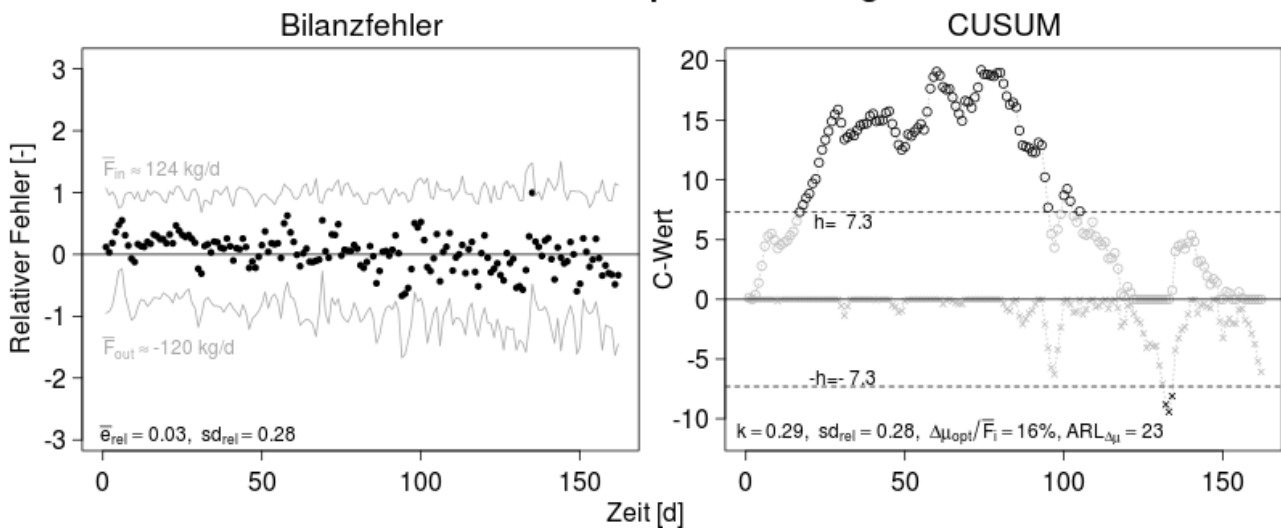


Abbildung 12: Relativer Fehler und CUSUM-Kontrollkarte der dynamischen Bilanzierung des Phosphor über die zweite Belebungsstufe der KA Schwechat ohne Beachtung von Speichereffekten

Wird die Änderung des TS-Gehaltes im Belebungsbecken und die daraus sich ergebende Speicherung bzw. Freisetzung von Phosphor bei der dynamischen Bilanzierung berücksichtigt, ergibt sich eine wesentlich größere Varianz des Fehlervektors. Die relative Standardabweichung beträgt 90%, daraus folgen entsprechend weniger kritische Werte für die CUSUM-Kontrollkarte. Bei Beibehaltung der durchschnittlichen Laufzeit bis zu einem zufälligen Signal ( $ARL_0=370 \text{ d}$ ) ist für eine noch akzeptable Laufzeit zur Detektion des optimal erkennbaren Fehlers ein geringer Referenzwert  $k$  in Verbindung mit einem höheren Kontrolllimit  $h$  zu wählen. Die resultierende CUSUM-Kontrollkarte signalisiert keine signifikante Abweichung des Fehlervektors von Null. Bei Betrachtung der zuvor auffälligen Zeiträume beträgt der relative Bilanzfehler zwischen Tag 1 und Tag 29 jedoch noch immer +35%, zwischen Tag 120 und Tag 133 liegt er bei -15%. Zwar liegt der Bilanzfehler im ersten Zeitraum genau in der Größenordnung des optimal erkennbaren Fehlers von  $\Delta\mu_{opt}/F_i=36\%$ , der Zeitraum ist mit 29 Tagen jedoch zu kurz für ein Signal, wie auch entsprechend  $ARL_{\Delta\mu}=39 \text{ d}$  zu erwarten war. Infolge der hohen Varianz des Fehlervektors ist die CUSUM-Kontrollkarte daher in diesem Fall nicht geeignet, um dynamische Abweichungen von einer ausgeglichenen Bilanz zu erkennen.

## TP BB2 MIT Speicherwirkung

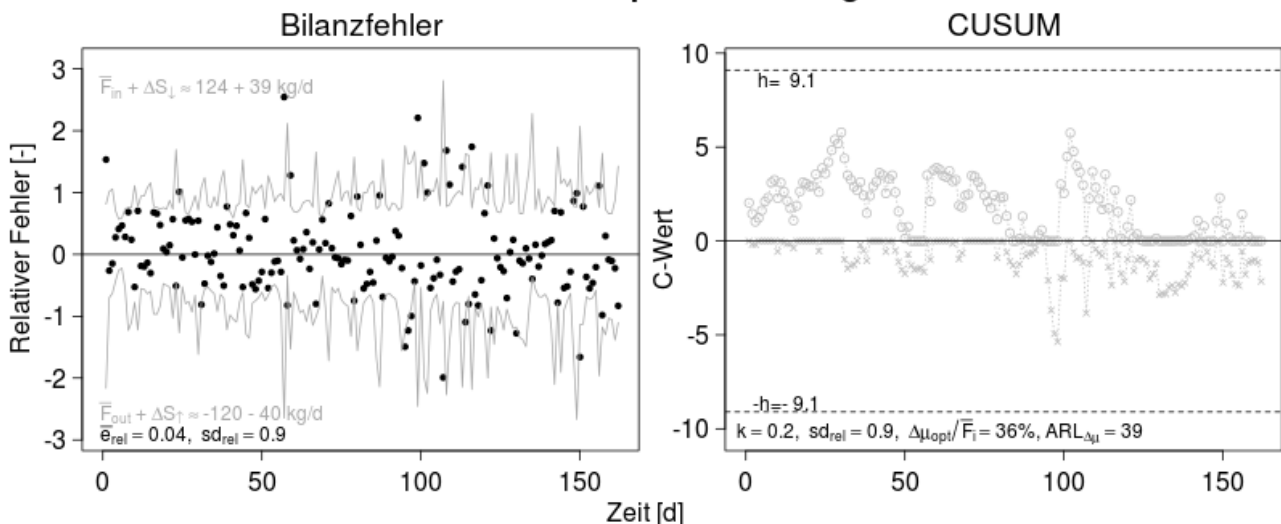


Abbildung 13: Relativer Fehler und CUSUM-Kontrollkarte der dynamischen Bilanzierung des Phosphor über die zweite Belebungsstufe der KA Schwechat unter Beachtung von Speichereffekten infolge Änderungen des TS-Gehaltes

### 3.3.2 Dynamische Bilanzen über weitere Teilsysteme

So wie es exemplarisch am Beispiel der Phosphor-Bilanz über die zweite Belebungsstufe der Kläranlage Schwechat gezeigt wurde, ergibt sich ein sehr einheitliches Bild für alle berechenbaren Bilanzen dieser Kläranlage. Wie Tabelle 13 zu entnehmen, liegt die relative Standardabweichung des Bilanzfehlers ohne Beachtung einer Speicherwirkung durch Änderungen des TS-Gehaltes in den Belebungsbecken bzw. im Faulturm stets zwischen 25% und 40% der Zulaufkraft (mit Ausnahme der Durchflussbilanz über die gesamte KA mit einer sehr geringen relativen Standardabweichung des Bilanzfehlers von 2%). In diesem Fall ist die dynamische Bilanzierung unter Anwendung von CUSUM-Kontrollkarten möglich und erfolgreich. Dagegen stellt die Bilanzierung unter Beachtung einer Speicherwirkung durch Änderungen des TS-Gehaltes stets eine Verschlechterung dar. Die relative Standardabweichung des Fehlervektors beträgt zumeist zwischen 70% und 150% der Zulaufkraft, lediglich für den Fall der CSB-Bilanz über die Faulung werden 45% erreicht. Ausschließlich für diese Bilanz ist ein sinnvoller Einsatz der CUSUM-Kontrollkarte möglich (siehe Anhang).

Tabelle 13: Relative Standardabweichung der Fehlervektoren weiterer Bilanzen

Bilanzgröße	Bilanzrahmen	Relative Standardabweichung des Bilanzfehlers	
		OHNE Beachtung der Speicherwirkung durch TS-Änderung	MIT
Q	gesamte KA	2%	–
TP	gesamte KA	29%	148%
TP	BB1	40%	77%
TP	VKB, BB2	28%	90%
TP	VKB, BB1&2	26%	92%
Q	FT	37%	–
aTS	FT, MÜSE, VED	34%	124%
CSB	FT, MÜSE, VED	25%	45%
TN	FT, MÜSE, VED	36%	93%
TP	FT, MÜSE, VED	34%	116%

### 3.3.3 Dynamische Bilanzierung mit geglätteten Trockensubstanzgehalten

Es wurde untersucht, ob sich durch Glättung der Trockensubstanzgehalte in den Belebungsbecken sowie im Faulturm eine Verbesserung der dynamischen Bilanzierung erreichen lässt. Dies basiert auf der Überlegung, dass infolge Messungenauigkeiten sowie Niederschlagsereignissen, die zu einer Verlagerung von Belebtschlamm in die Nachklärbecken können, die Breite der täglichen Schwankung des TS-Gehaltes deutlich überschätzt sein könnte.

Die dynamische Bilanzierung mit geglätteten TS-Gehalten ergab eine Verringerung der Varianz des Fehlervektors. Je stärker die Glättung gewählt wurde, desto geringer fiel die Varianz des Fehlervektors aus, jedoch ohne jene bei Bilanzierung ohne Beachtung von Speichereffekten zu unterschreiten. Eine Verbesserung der dynamischen Bilanzen durch Beachtung der Speicherwirkung war somit auch bei geglätteten Trockensubstanzgehalten nicht zu erreichen.

### 3.3.4 Dynamische Bilanzierung bei geringer Datendichte

Für die dynamische Bilanzierung sind theoretisch tägliche Messwerte sämtlicher Bilanzierungsgrößen erforderlich. Dieser Anspruch wird in der Praxis nur selten erfüllt. Hinsichtlich der Messung der Konzentrationen von Schlamminhaltsstoffen wurden in den vorangegangenen Kapiteln die Möglichkeiten zur Berechnung aus alternativen, häufiger gemessenen und einfacher zu bestimmenden Messgrößen untersucht. Doch auch der TS-Gehalt der unterschiedlichen Schlämme, der grundsätzlich als Ersatzgröße verwendet werden kann, wird nicht auf allen Kläranlagen mit der für die dynamische Bilanzierung

erforderlichen Häufigkeit bestimmt. Lediglich wöchentliche Messwerte sind gerade auf kleineren Kläranlagen keine Seltenheit. Auf der Kläranlage des Abwasserverbandes Schwechat lagen die TS- und oTS-Gehalte der eingedickten Schlämme (ÜSed, PSed) lediglich wöchentlich vor, die Bestimmung des Glühverlustes erfolgte ausschließlich in diesen Proben.

Eine Möglichkeit der Umsetzung der dynamischen Bilanzierung trotz lückenhafter TS-Beprobung besteht durch Interpolation der fehlenden Messwerte in der Annahme, dass sich der TS-Gehalt eines Belebungsbeckens bei entsprechendem Schlammalter nur langsam ändert.

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die CUSUM-Kontrollkarten für die Phosphor-Bilanzen der beiden Belebungsbecken je einmal auf Grundlage der werktäglich gemessenen TS-Gehalte und einmal auf Grundlage eines auf wöchentliche Probenahme reduzierten Datensatzes. Während bei der Bilanz über das Belebungsbecken der zweiten Stufe (Schwachlast, mittleres Schlammalter 34 Tage) die Unterschiede unwesentlich erscheinen, ergibt sich für die Hochlastbelebungsstufe (mittleres Schlammalter 2 Tage) ein deutlicher Unterschied. Die Interpolation der TS-Messung würde bei der dynamischen Bilanzierung der ersten Belebungsstufe zu einer veränderten Interpretation der Datenqualität führen. Auf das Ergebnis der statischen Bilanzierung hat die reduzierte Häufigkeit der TS-Messung hingegen keinen Einfluss. Tatsächlich ergibt diese sogar dann ein vernünftiges Ergebnis, wenn lediglich ein mittlerer TS-Gehalt für den gesamten Bilanzierungszeitraum zu Grunde gelegt wird. Dies ist auf die vergleichsweise geringe Varianz dieser Bilanzgröße zurückzuführen.

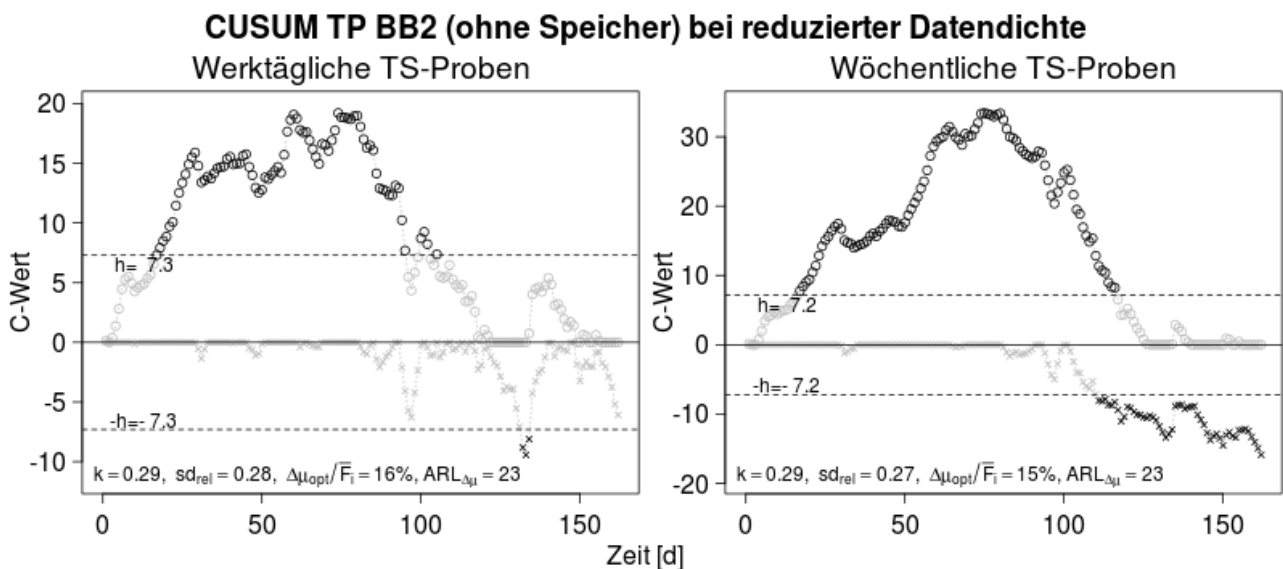


Abbildung 14: CUSUM-Kontrollkarten der dynamischen Bilanzierung über die zweite Belebungsstufe bei unterschiedlicher Häufigkeit der TS-Beprobung

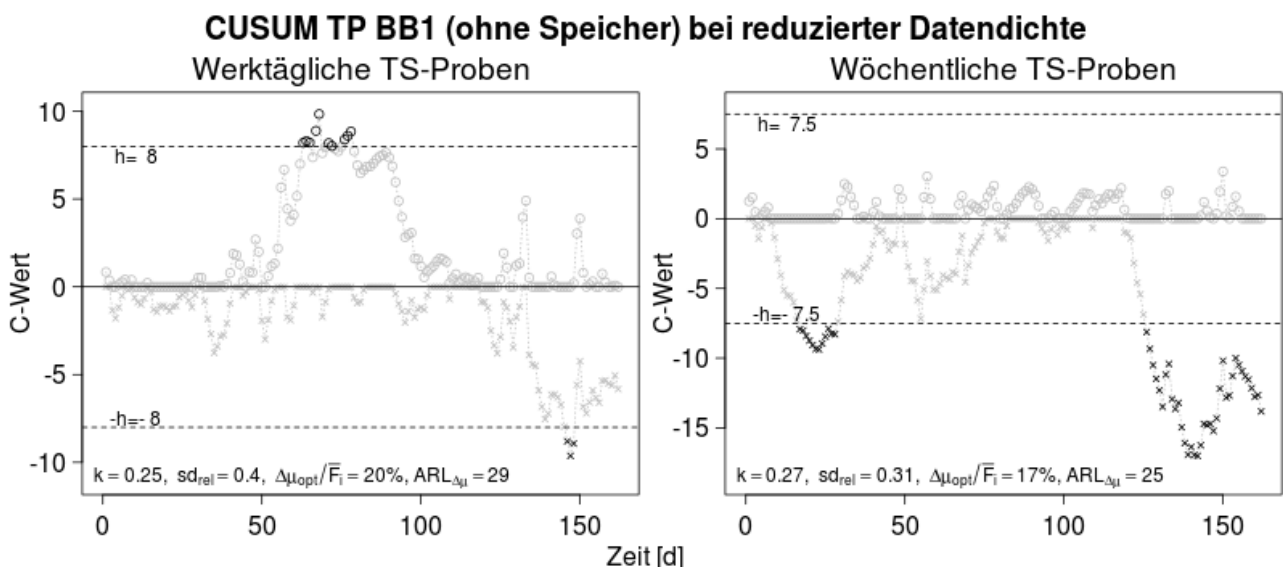


Abbildung 15: CUSUM-Kontrollkarten der dynamischen Bilanzierung über die erste Belebungsstufe bei unterschiedlicher Häufigkeit der TS-Beprobung

## 4 Diskussion

Die Untersuchung der Voraussetzungen für die dynamische Bilanzierung wurde in zwei Teilen vorgenommen, der Modellbildung zur Quantifizierung von Schlamminhaltsstoffen auf Grundlage des Trockensubstanzgehaltes sowie der Bilanzierung einer Kläranlage mit einer hohen Dichte an Messwerten, insbesondere für die Schlämme.

Zur Bewertung der Modelle zur Quantifizierung der Schlamminhaltsstoffe CSB, TN und TP kamen drei Kriterien zu Anwendung. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  beschreibt das Verhältnis von (im Modell) erklärter Varianz zur Gesamtvarianz der Daten. Negative  $R^2$  sind möglich, wenn die Varianz im Modell größer ist als die der Daten, was zum Beispiel bei erzwungener Anpassung von Modellen der Form  $f_{1a}$  (linearer Zusammenhang ohne Konstante) der Fall war. Das Bestimmtheitsmaß ist besonders anschaulich, ermöglicht jedoch keine Abwägung zwischen der Komplexität eines Modells und seiner Anpassungsgüte. Diesen Zusammenhang bildet das verwendete Informationskriterium von Akaike ab, dieses erlaubt jedoch keinen Vergleich der Modelle für unterschiedliche Variablen (CSB, TN, TP) oder Schlämme. Die Varianz der Residuen in der Form doppelte Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert gibt ebenfalls sehr anschaulich die Bandbreite der Abweichung zwischen Schätzung (Modell) und Realität (Daten) wieder. Rund 95% aller Residuen liegen in dieser Bandbreite.

Im Allgemeinen wurden Anpassungsgüten mit einem Bestimmtheitsmaß zwischen 0,4 und nahe 1 erreicht. Für die Schlämme der Kläranlage Linz-Asten lagen die Werte insgesamt niedriger, häufig zwischen 0,4 und 0,6. Für die Schlämme der Kläranlage Schwechat lagen sie dagegen häufig über 0,6. Verantwortlich dafür ist die unterschiedliche Menge an Messwerten. Im Fall der Kläranlage Schwechat wurden bis zu 6 Modellparameter an lediglich 21 Messdatenpaare angepasst, im Fall der Kläranlage Linz-Asten dagegen an ca. 180 Messdatenpaare. Ungefähr die Hälfte der Varianz der Schlamminhaltstoffe ließ sich jedoch gesichert mit Modellen allein auf Grundlage des Trockensubstanzgehaltes und unter Annahme einer Saisonalität erklären.

Für die Schlämme der Kläranlage Linz-Asten erwies sich der organische Trockensubstanzgehalt stets als die geeignetste unabhängige Variable. Dies war für die Schlämme der Kläranlage Schwechat wesentlich differenzierter. Neben der organischen Trockensubstanz war häufig die Kombination von organischer und gesamter Trockensubstanz die beste Wahl. Lediglich im Fall der Bestimmung der Phosphorkonzentration in den Belebtschlämmen war dies gleichbedeutend mit der Verwendung der anorganischen Trockensubstanz. Für die Schlämme der Kläranlage Linz-Asten waren durch eine solche Kombination keine Verbesserungen zu erzielen. Da keine naheliegende Begründung für diesen Unterschied bekannt ist und auch keine ausreichenden empirischen Kenntnisse über die geeignetste Wahl der Trockensubstanz als unabhängige Variable vorliegen, sollte eine bivariate Abhängigkeit der Schlammkonzentrationen stets in Erwägung gezogen werden.

Mit Sicherheit zeigen die Untersuchungsergebnisse jedoch, dass eine ausschließliche Annahme direkter Proportionalität zwischen Schlamminhaltsstoffen und organischer Trockensubstanz nicht haltbar ist. Hinsichtlich linearer Modelle (ohne Beachtung der Saisonalität) waren solche ohne Konstante ( $f_{1a}$ ) oft nur wenig schlechter als solche der Form  $f_{1b}$ . Im Belebtschlamm der Kläranlage Linz-Asten war der Phosphorgehalt jedoch unter Annahme direkter Proportionalität überhaupt nicht sinnvoll bestimmbar, ebenso wie die CSB-Konzentration im Belebtschlamm der zweiten Stufe der Kläranlage Schwechat (In letzterem Fall ist dafür die Übernahme stark organisch belasteten Oberflächenwassers des Flughafens verantwortlich, die in einer zeitlichen Komponente des Modells ausgedrückt werden konnte). Die Überlegungen zur Verwendung eines Ansatzes mit direkter Proportionalität ( $f_{1a}$ ) spielen bei der Übertragung der Modelle auf andere TS-Bereiche (Eindickungsgrade) der Schlämme eine weitere Rolle (siehe unten).

Ebenfalls mit Sicherheit kann geschlussfolgert werden, dass die Verwendung von „Literaturwerten“ für die Schlamminhaltsstoffe bei einer Bilanzierung (d.h. ohne eigene Labormessung), höchstens zufällig erfolgreich sein kann. Ist die Annahme einer direkten Proportionalität mitunter an sich schon unhaltbar, trifft dies umso mehr auf die Annahme eines einheitlichen Proportionalitätsfaktors zu. Dies widerspricht teilweise den

Kenntnisse über die Zusammensetzung der Biomasse (Belebtschlamm), die durchaus eine Proportionalität zumindest des CSB sowie des TN mit der organischen Trockensubstanz nahe legen. Aber allein eine Bandbreite des Proportionalitätsfaktors des Verhältnisses CSB/oTS von 1,4-1,5 bedeutet bereits einen Unterschied von 7% und kann das Ergebnis einer Bilanzierung erheblich verzerren.

Hinsichtlich der erforderlichen Häufigkeit der Zusatzmessungen in den Schlämmen (die in den untersuchten Datensätzen wöchentlich erfolgten) wurde mittels Monte-Carlo-Simulation geschlossen, dass eine vierteljährliche Beprobung ausreicht, wenn lediglich von einem linearen Zusammenhang zwischen Schlamminhaltsstoff und Trockensubstanz ausgegangen werden soll ( $f_1$ -Modelle). Um die Auswirkungen der Saisonalität hinreichend zu berücksichtigen, sind dagegen monatliche Beprobungen erforderlich. Bei der Bilanzierung der Kläranlage Schwechat wurde außerdem deutlich, dass die Beprobung idealer Weise in jedem Schlamm einzeln erfolgt, auch in Schlämmen theoretisch gleicher Zusammensetzung (Belebtschlamm und eingedickter Überschussschlamm, Faulschlamm und entwässerter Schlamm etc.). Andernfalls muss bei der Übertragung auf andere TS-Bereiche teilweise mit einer deutlich schlechteren Qualität der Prognosen gerechnet werden.

Für die statische Bilanzierung (Mittelwerte über einen Zeitraum von zumindest zwei Schlammaltern) ist eine einmalige Messung der Konzentration der Schlamminhaltsstoffe ausreichend, vorausgesetzt, dass auf der Kläranlage weitgehend konstante Bedingungen herrschen. Ereignisse wie zyklisch auftretende Einleitungen aus der Industrie oder Betriebsumstellungen sollten dann jedoch sicher ausgeschlossen werden können.

Die Verwendung des Trockensubstanzgehaltes als alternative Messgröße zur Quantifizierung der Schlamminhaltsstoffe CSB, TN und TP erwies sich als geeignet für die dynamische Bilanzierung mittels CUSUM-Kontrollkarten. Nach der Übertragung dieser Methode auf die Bilanzierung und Anwendung zur Kontrolle von Durchfluss-Messwerten (Spindler und Vanrolleghem, 2012) konnte damit die praktische Anwendbarkeit der Methode auch für die Bilanzierung von Stofffrachten nachgewiesen werden.

Bei der dynamischen Bilanzierung sind theoretisch Speichereffekte zu beachten. Diese können in Form von Zu- oder Abnahme des TS-Gehaltes in Belebungsbecken oder Faulturm auftreten und entstehen außerdem durch die hydraulische Aufenthaltszeit der Schlämme in den einzelnen Anlagenstufen. Schwankungen des TS-Gehaltes können bei der dynamischen Bilanzierung jedoch vernachlässigt werden. Wie die Auswertung ergab, ist die Varianz des Fehlervektors bei Beachtung dieser Art von Speichereffekten größer als ohne ihre Beachtung. Ursache dürften weniger die bei der Bestimmung des TS-Gehaltes auftretenden zufälligen Fehler sein (insbesondere Zeitpunkt der Stichprobenentnahme) als vielmehr die im Vergleich zur Durchflussmenge geringe Varianz des Trockensubstanzgehaltes (Tabelle 14). Die Varianz der Durchflussmenge hat auf die Tagesfrachten und damit auf den Fehlervektor der dynamischen Bilanzierung einen wesentlich höheren Einfluss. Zur Verbesserung der dynamischen Bilanzierung wäre mithin eine Betrachtung der hydraulischen Aufenthaltszeiten (die eine Glättung der Ablauffrachten der Schlämme bewirkt) erforderlich, wie sie von Majewski (2011) im Zusammenhang mit der Bilanzierung von organischen Spurenstoffen durchgeführt wurde.

*Tabelle 14: Relative Standardabweichung des Trockensubstanzgehaltes sowie der Durchflussmenge verschiedener Schlämme der KA Schwechat*

	Relative Standardabweichung	
	des Trockensubstanzgehaltes	der Durchflussmenge
ÜS1	15%	35%
ÜS2	21%	39%
FS	4%	33%

Die dynamische Bilanzierung ohne Beachtung von Speichereffekten war jedoch bereits erfolgreich. In allen untersuchten Bilanzen blieb die Varianz des Fehlervektors, ausgedrückt als Standardabweichung bezogen auf den Mittelwert der Zulauffracht, unter 40%. Der optimal detektierbare Fehler liegt bei dieser Varianz und

der gewählten Methode zur Bestimmung des Referenzwertes  $k$  bei 20% Abweichung von einem idealen Bilanzierungsergebnis. Zeitweilige Abweichungen des Bilanzierungsergebnisses in dieser Größenordnung wurden auch sicher erkannt. Bei den dynamischen Bilanzen unter Beachtung der Speichereffekte lag die Varianz des Fehlervektors meist deutlich über 70%, zeitweilige Abweichungen des Bilanzierungsergebnisses waren nicht mehr zu erkennen. Es lässt sich folgern, dass die Anwendbarkeit der CUSUM-Kontrollkarten für die dynamische Bilanzierung in einem Bereich zwischen 40% und 70% relativer Standardabweichung des Fehlervektors nicht mehr gegeben ist. Damit erweist sich die Varianz des Fehlervektors als wichtigstes Kriterium zur Bewertung der Qualität von Bilanzdaten.

Die hier angestellten Betrachtungen zur dynamischen Bilanzierung beruhen fast ausschließlich auf der Bilanzierung von Phosphorfrachten. Die Übertragbarkeit auf andere Bilanzgrößen, insbesondere TN und CSB sollte theoretisch gegeben sein. Hinsichtlich der dynamischen Bilanzierung des CSB über eine Belebungsstufe wäre ein weiteres Fallbeispiel interessant, um die Genauigkeit der Erfassung des Sauerstoffeintrages und seine Auswirkung auf die Varianz des Fehlervektors zu untersuchen.

Generell erweist sich die dynamische Bilanzierung als sicherer und vergleichsweise einfacher Weg zur Kontrolle von Messdaten auf Kläranlagen. Voraussetzung ist eine zuverlässige und sinnvoll gewählte betriebliche Überwachungsstrategie, wie sie gerade auf größeren Kläranlagen in Österreich in vielen Fällen gegeben ist. Monatliche bis vierteljährliche Zusatzbeprobungen der Schlämme sind erforderlich, um die dynamische Bilanzierung als dauerhaften Kontrollmechanismus zu etablieren.



# 5 Zusammenfassung

Wesentliche Voraussetzung für die umfassende dynamische Bilanzierung von Kläranlagendaten ist die Erfassung der zu bilanzierenden Stofffrachten in den Schlämmen. Die direkte Messung ist aufwendig und kann in der Praxis nicht mit der erforderlichen Häufigkeit (täglich) durchgeführt werden. Deshalb ist es erforderlich, die Konzentration der Schlamminhaltsstoffe auf Grundlage einer einfach zu bestimmenden Messgröße zu schätzen. Dafür bietet sich der (organische, anorganische) Trockensubstanzgehalt an.

Der Trockensubstanzgehalt erwies sich als prinzipiell geeignet, um auf Basis monatlich bis vierteljährlich (extern) durchgeführter Messungen die Konzentration der Schlamminhaltsstoffe mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Die Berechnung kann durch Berücksichtigung einer saisonalen Komponente (regelmäßige Schwankungen im Jahresverlauf) verbessert werden. Die Annahme direkter Proportionalität zwischen Schlamminhaltsstoffen und Trockensubstanzgehalt kann die Prognose beeinträchtigen. Es ist daher sinnvoll, Messungen in jedem bilanzierungsrelevanten Schlamm durchzuführen. Die vorbehaltlose Übertragung der Messergebnisse auf einen gleichartigen Schlamm höheren (oder niedrigeren) TS-Gehaltes kann zu erheblichen Fehlern bei der Bilanzierung führen.

Bei der dynamischen Bilanzierung führt die Beachtung von Speichereffekten infolge schwankender TS-Konzentrationen im Belebungsbecken oder im Faulturm zu einer höheren Varianz des Fehlervektors, was die Anwendung der CUSUM-Kontrollkarten erschwerte. Die dynamische Bilanzierung ist jedoch bereits ohne Beachtung dieser Speichereffekte möglich und sinnvoll. Eine weitere Verbesserung und Verfeinerung der Methode ist möglicher Weise durch die Beachtung der hydraulischen Aufenthaltszeit der verschiedenen Schlämme einer Kläranlage zu erreichen.

Die dynamische Bilanzierbarkeit des CSB über eine Belebungsstufe konnte mangels Belüftungsdaten nicht überprüft werden. Da die CSB-Bilanz von besonderer Bedeutung für die Bewertung des Energieverbrauches für Belüftung ist, wäre eine gesonderte Verifizierung der Methode für diese Fragestellung wünschenswert.

Durch die Anwendung der dynamischen Bilanzierung wird es Kläranlagen ermöglicht, ihre täglich erfassten Messwerte auf ebenfalls täglicher Basis zu überprüfen. So können systematische Messfehler schneller erkannt werden. Durch die Integration der Methode in eine Bilanzierungssoftware kann die tägliche Datenprüfung weitgehend automatisch erfolgen. Nebeneffekt einer solchen Praxis ist die Notwendigkeit, die routinemäßige Datenerfassung derart zu gestalten, dass möglichst viele Stoffströme bilanziert werden können. Durch die konsequente Anwendung der dynamischen Bilanzierung werden auf Kläranlagen nachweislich konsistente Datensätze erzeugt, die eine wertvolle Grundlage für zukünftige Maßnahmen (Prozessoptimierung, Ausbau, Simulation) darstellen sowie den technisch einwandfreien Betrieb dokumentieren können. Mittel- bis langfristig könnte die dynamische Bilanzierung von Betriebsdaten aus der Abwasserreinigung zum Qualitätsstandard in der praxisorientierten Forschung werden.

# 6 Literatur

Knoth, S. (2009). spc: Statistical Process Control. R package version 0.3.  
<http://CRAN.R-project.org/package=spc>

Majewsky, M., Gallé, T., Bayerle, M., Goel, R., Fischer, K., und Vanrolleghem, P. A. (2011) Xenobiotic removal efficiencies in wastewater treatment plants: Residence time distributions as a guiding principle for sampling strategies. *Water Research*, 45(18), 6152–6162.

Montgomery, D. (2009) *Introduction to statistical quality control*, Hoboken N.J., Wiley, ISBN 9780470169926.

Nowak, O. (2002). "Schlammbehandlung bei Anlagen ohne mesophile Schlammfäulung." *Wiener Mitteilungen* 177b: 29-76.

R Core Team (2013) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Version 2.15.3, Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. [online] <http://www.R-project.org/>

Spindler, A. (2011) Bilanzierung von Kläranlagendaten. *Methoden und Anwendung*. *Wiener Mitteilungen* 224, 321-344.

Spindler, A. and Vanrolleghem, P. A. (2012) Dynamic mass balancing for wastewater treatment data quality control using CUSUM charts. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 65(12), 2148–2153.

Svardal, K., Nowak, O, Schweighofer, P. (1998) *Datendokumentation und Auswertung - Plausibilitätsanalyse von Messwerten*. *Wiener Mitteilungen* 147, 439-475.

# 7 Anhang

# A1

Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Q	X <sub>CSB</sub>	X <sub>N</sub>	X <sub>P</sub>	Bemerkung
1	Liesingtal	Zulauf	✓	✓	✓	✓	
2	Fischatal	Zulauf	✓	✓	✓	✓	
3	Fischamend	Zulauf	✓	✓	✓	✓	
4	Faek	Senkgrubeninhalte	✓	✓	✓	✓	Konzentrationen geschätzt
5	FH_SW	Flughafen Schmutzwasser	✓	✓	✓	✓	
6	FH_OfW	Flughafen Oberflächenwasser	✓	✓	✓	✓	
7	Industrie	Zulauf	✓	✓	✓	✓	
10	EEW	Flughafen Enteisungsabwasser	✓	✓	0	0	
11	Fett	Fettabscheiderinhalte	✓	✓	0	✓	Konzentrationen geschätzt
12	Brauchwasser		/	/	/	/	
13	VKBab	Ablauf VKB	/	✓	✓	✓	
14	PS	Primärschlamm	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
15	PSed	Primärschlamm eingedickt	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
16	ÜS1	Überschussschlamm Hochlast	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
17	ÜS2	Überschussschlamm Schwachlast	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
18	ÜSed	Überschussschlamm MÜSE	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
19	gas_BB2	Atmung Schwachlaststufe	0	/	/	0	
20	gas_BB1	Atmung Hochlaststufe	0	/	/	0	
21	BB1_ab	Ablauf Hochlaststufe	/	✓	✓	/	
22	Ablauf	Ablauf	✓	✓	✓	✓	
23	tsStorBB1	Speicher Hochlaststufe	0	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
24	tsStorBB2	Speicher Schwachlaststufe	0	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
25	gas_FT	Methan Schlammfäulung	0	✓	0	0	über Gasmenge
26	FS	Faulschlamm	/	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
27	tsStorFT	Speicher Schlammfäulung	0	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
28	qStorFS	Faulschlamm-Stapel	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
29	FSp	Faulschlamm zur Presse	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
30	FSew	entwässerter Faulschlamm	✓	✓	✓	✓	Berechnet aus TS
31	TWved	Trübwasser VED	/	/	/	/	
32	TWmüse	Trübwasser MÜSE	/	/	/	/	
33	TWpresse	Trübwasser Presse	/	/	/	/	
34	SSnkb	Schwimmschlamm	✓	/	/	/	Annahme 10l/s aus Datenblatt
35	TW	Trübwasser	✓	✓	✓	✓	
36	elEnergie	elektrische Energie	0	✓	0	0	

✓ ... gemessen    0 ... null    / ... nicht gemessen

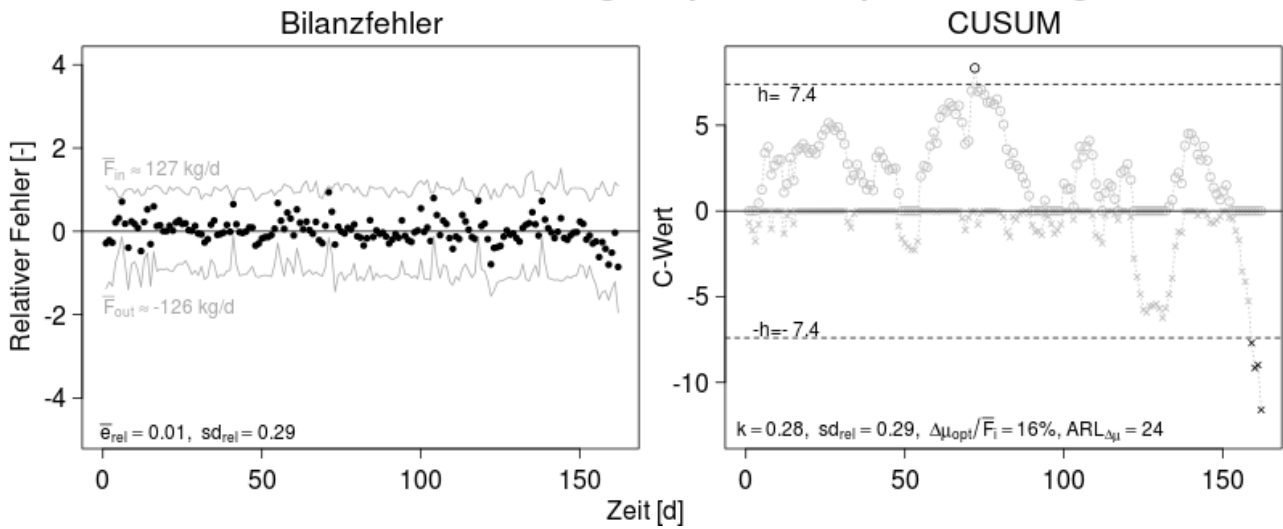
# A2

## Messwerte der wöchentlichen Zusatzbeprobungen in den Schlämmen

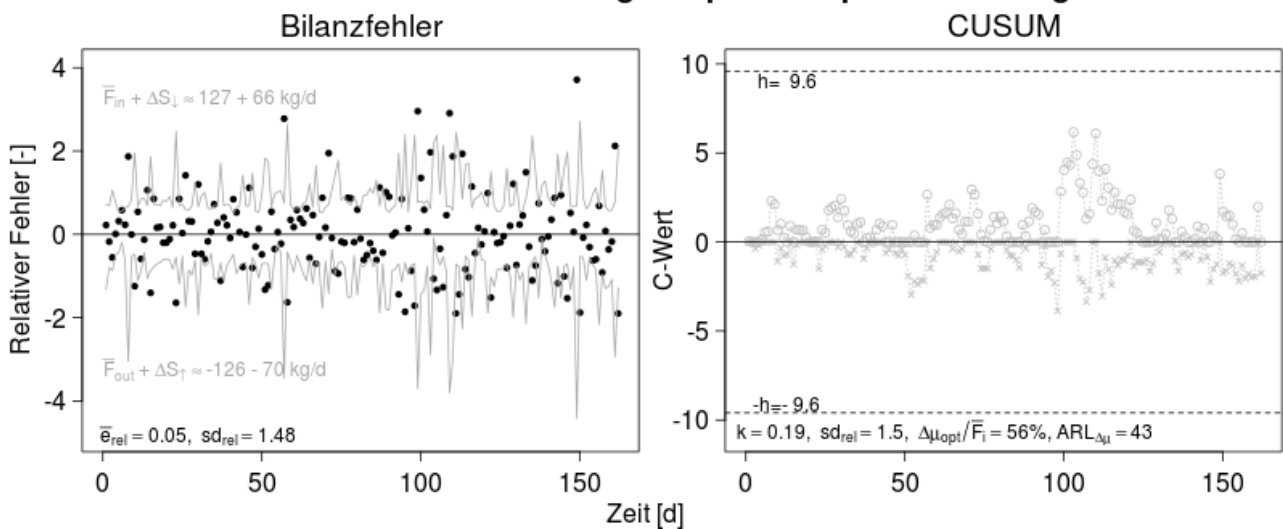
Datum	Probe	CSB mg/l mg/kg	TP %/kg	PO4-P mg/l	TKN %/kg	NH4-N mg/l	TS g/l g/kg	OTS g/l g/kg	Probe	CSB mg/l	TP mg/l	TKN mg/l	TS g/l	OTS g/l
08.11.2011	FS	25846	0,063	4,5	0,207	875	27,7	15,5	ÜS1	3521	66,3	245	3,1	2,2
17.11.2011	FS	25185	0,063	2,8	0,204	844	27,3	15,2	ÜS1	3432	72,2	225	3,3	2,4
22.11.2011	FS	25056	0,064	3,5	0,212	853	27,6	15,5	ÜS1	3022	70,0	217	3,0	2,2
29.11.2011	FS	21475	0,055	2,0	0,205	886	24,5	13,1	ÜS1	2908	56,7	211	2,6	2,0
06.12.2011	FS	25106	0,063	7,6	0,212	844	26,8	15,2	ÜS1	3013	61,7	223	2,7	2,0
13.12.2011	FS	27392	0,060	5,6	0,224	848	26,9	16,3	ÜS1	2925	65,0	195	2,6	2,0
19.12.2011	FS	25281	0,062	8,7	0,220	856	26,6	15,2	ÜS1	2939	57,1	197	2,7	2,0
12.01.2012	FS	25118	0,062	9,3	0,223	990	25,6	15,0	ÜS1	3499	72,3	239	3,1	2,3
17.01.2012	FS	23914	0,059	9,1	0,216	890	23,9	14,4	ÜS1	3823	62,8	253	3,1	2,3
24.01.2012	FS	25155	0,059	12,2	0,219	930	25,3	15,2	ÜS1	3393	24,1	206	2,2	1,7
30.01.2012	FS	24600	0,062	13,6	0,224	981	24,9	15,2	ÜS1	3324	23,8	204	2,2	1,8
07.02.2012	FS	27245	0,067	8,5	0,234	930	26,2	16,2	ÜS1	4688	30,9	276	3,0	2,4
14.02.2012	FS	26861	0,069	20,4	0,259	881	26,3	16,3	ÜS1	3518	17,6	217	2,3	1,9
27.02.2012	FS	23341	0,061	9,1	0,200	929	22,6	14,0	ÜS1	3114	23,4	198	2,2	1,8
06.03.2012	FS	27590	0,067	22,0	0,214	1009	26,0	16,5	ÜS1	3996	32,3	287	2,9	2,3
15.03.2012	FS	28879	0,068	24,0	0,236	989	26,2	16,9	ÜS1	3264	44,5	186	2,6	1,9
20.03.2012	FS	26591	0,064	32,4	0,227	1035	24,7	15,7	ÜS1	3745	64,7	235	3,1	2,3
28.03.2012	FS	29825	0,067	15,6	0,234	947	26,4	16,8	ÜS1	2976	50,5	204	2,6	2,0
03.04.2012	FS	30499	0,089	31,4	0,240	1017	31,6	18,0	ÜS1	2784	38,7	189	2,2	1,7
10.04.2012	FS	30337	0,065	7,6	0,244	1005	27,5	17,5	ÜS1	3244	36,7	223	2,4	1,9
17.04.2012	FS	29407	0,068	25,4	0,250	952	27,6	17,3	ÜS1	3307	64,2	210	2,9	2,1
08.11.2011	PS	85505	0,063		0,197		66,2	45,5	ÜS2	2678	83,0	163	2,9	1,9
17.11.2011	PS	78472	0,050		0,177		59,2	42,3	ÜS2	2843	88,1	173	3,2	2,2
22.11.2011	PS	81921	0,054		0,194		63,4	47,0	ÜS2	2751	91,6	193	3,1	2,0
29.11.2011	PS	81457	0,072		0,213		63,5	44,6	ÜS2	2832	90,8	198	3,0	2,1
06.12.2011	PS	78505	0,057		0,177		68,0	51,9	ÜS2	2937	95,4	207	3,1	2,1
13.12.2011	PS	77959	0,049		0,176		53,5	43,4	ÜS2	2808	88,3	174	2,9	2,0
19.12.2011	PS	67244	0,038		0,148		46,2	38,4	ÜS2	3095	94,3	202	3,2	2,2
12.01.2012	PS	76966	0,050		0,194		56,9	43,6	ÜS2	3025	86,3	205	3,0	2,1
17.01.2012	PS	73033	0,046		0,182		54,0	41,2	ÜS2	3293	89,8	212	3,1	2,1
24.01.2012	PS	44280	0,070		0,202		36,0	26,8	ÜS2	2943	77,9	188	2,7	1,8
30.01.2012	PS	88711	0,079		0,274		64,1	50,2	ÜS2	3112	80,3	222	2,8	2,0
07.02.2012	PS	85757	0,047		0,197		57,3	47,9	ÜS2	3032	77,5	217	2,8	2,0
14.02.2012	PS	75691	0,043		0,178		49,3	40,2	ÜS2	2823	72,6	210	2,8	2,0
27.02.2012	PS	43554	0,032		0,102		45,7	22,4	ÜS2	2987	75,2	216	2,8	2,0
06.03.2012	PS	34700	0,028		0,087		31,7	18,8	ÜS2	3084	80,2	213	2,9	2,1
15.03.2012	PS	40347	0,027		0,085		30,2	23,6	ÜS2	3268	74,8	196	3,0	2,1
20.03.2012	PS	84194	0,053		0,190		63,2	48,4	ÜS2	2930	78,2	198	2,8	2,0
28.03.2012	PS	81156	0,060		0,167		85,3	42,9	ÜS2	2938	84,0	191	2,9	2,1
03.04.2012	PS	87491	0,069		0,181		76,7	48,2	ÜS2	2690	80,4	182	2,9	2,0
10.04.2012	PS	78057	0,068		0,199		57,1	41,3	ÜS2	2842	82,5	194	2,8	2,0
17.04.2012	PS	59909	0,064		0,183		42,9	32,1	ÜS2	2939	78,9	180	2,7	1,9

# A3

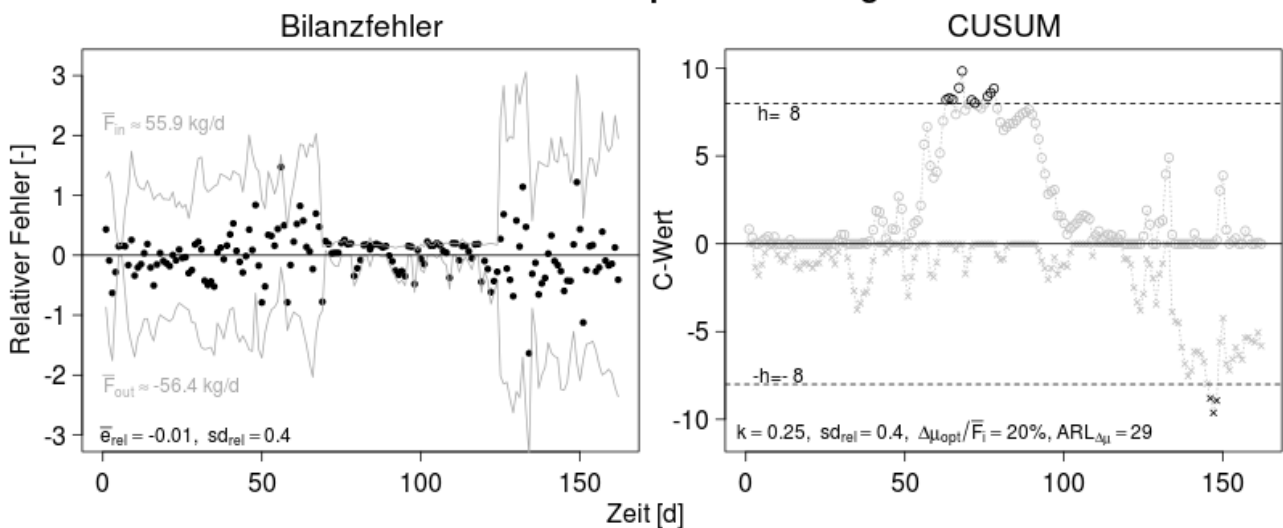
## TP VKB & BB1&2 & Faulung&Stapel OHNE Speicherwirkung



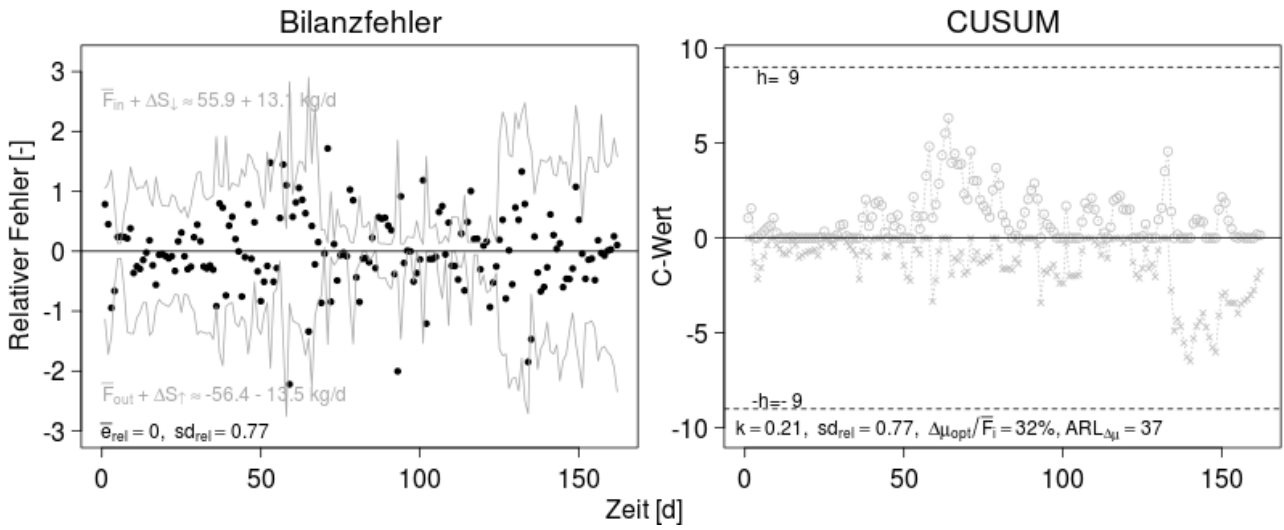
## TP VKB & BB1&2 & Faulung&Stapel MIT Speicherwirkung



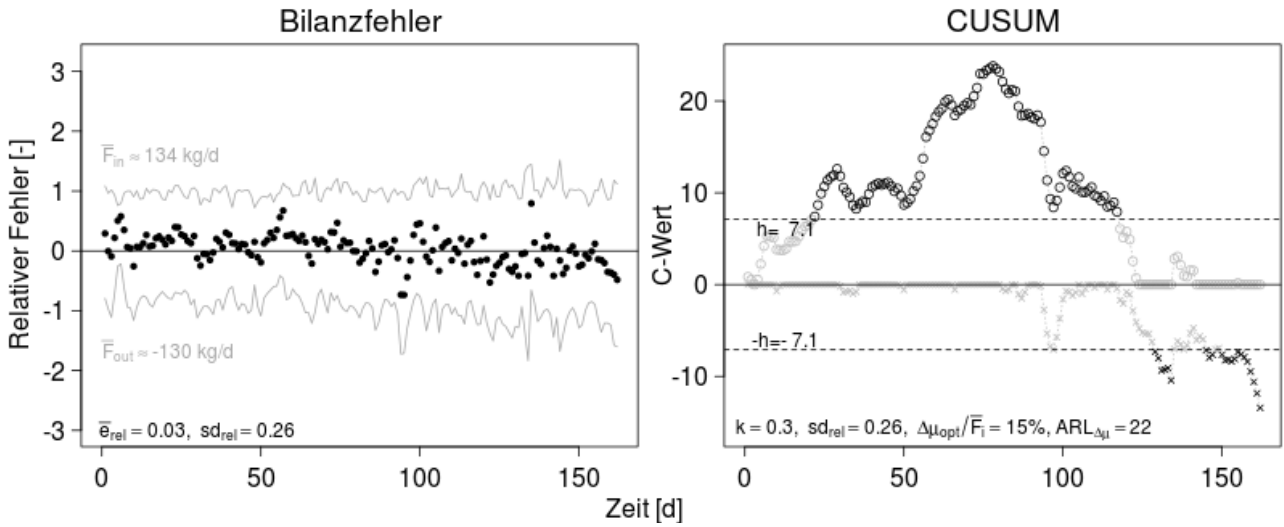
## TP BB1 OHNE Speicherwirkung



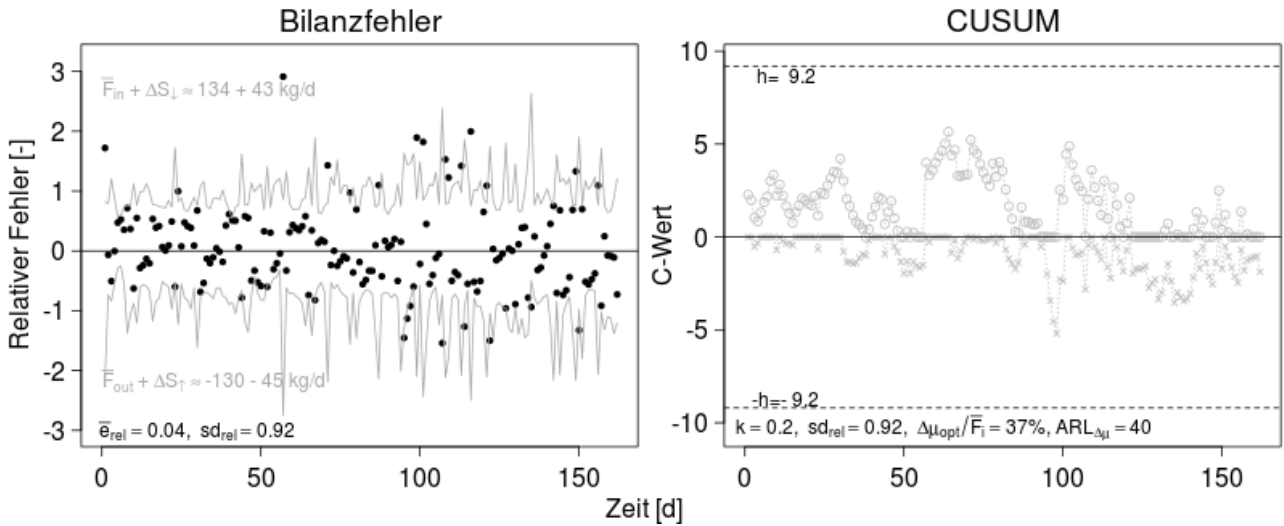
### TP BB1 MIT Speicherwirkung



### TP VKB & BB1&2 OHNE Speicherwirkung

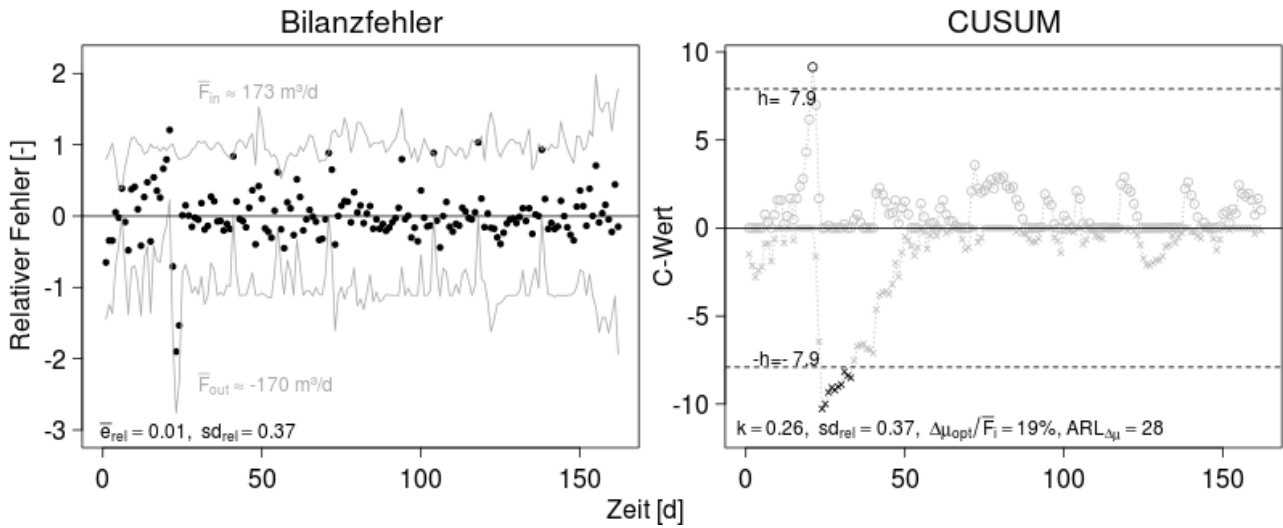


### TP VKB & BB1&2 MIT Speicherwirkung



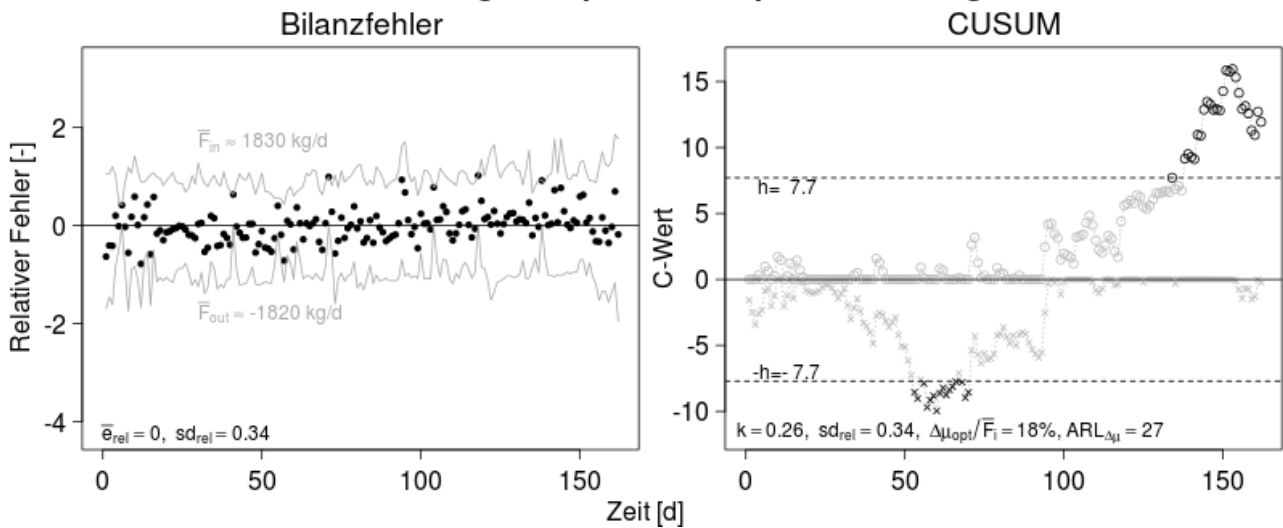


## Q Faulung & Stapel

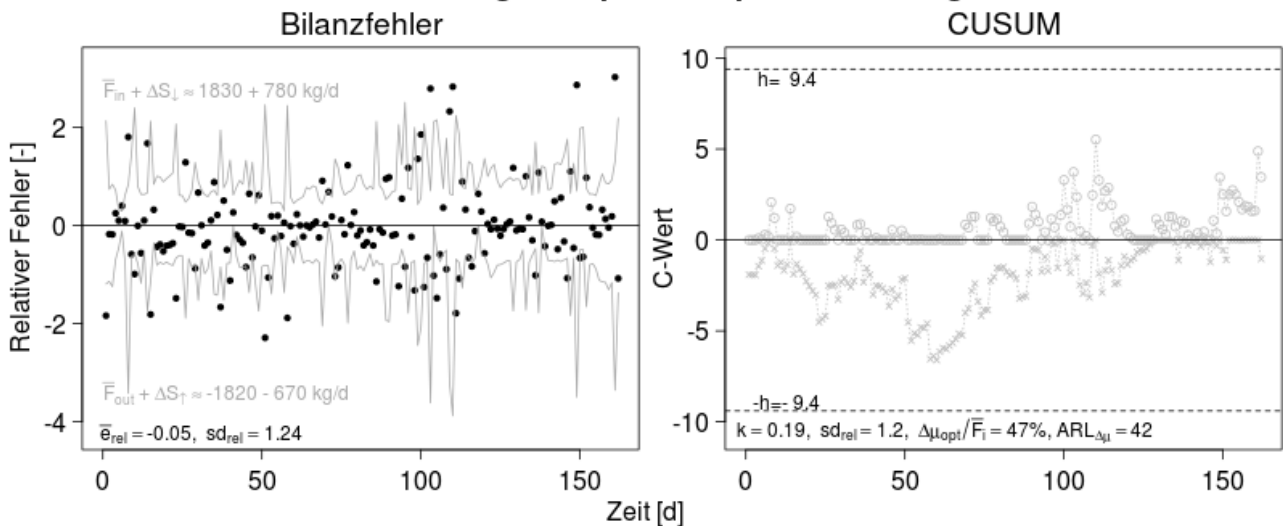


Anmerkung: Die Q-Bilanz über Faulung und Faulschlammstapel weist zwischen Tag 17 und Tag 24 einen hohen Fehler auf, der auf einen Stillstand des Faulschlammabzugs zurückzuführen ist, welcher in der Bilanzgleichung nicht berücksichtigt werden konnte. Der rechnerische Fehler gleicht sich jedoch innerhalb dieses Zeitraumes wieder aus, er wurde daher zu Berechnung der weiteren Bilanzen über die Faulung händisch geglättet um fehlerhafte Signale zu vermeiden.

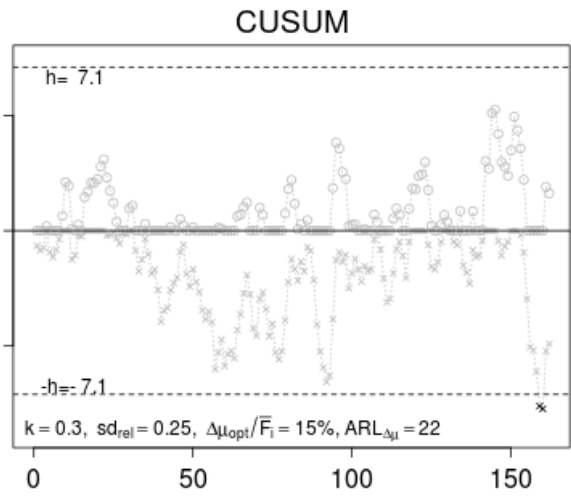
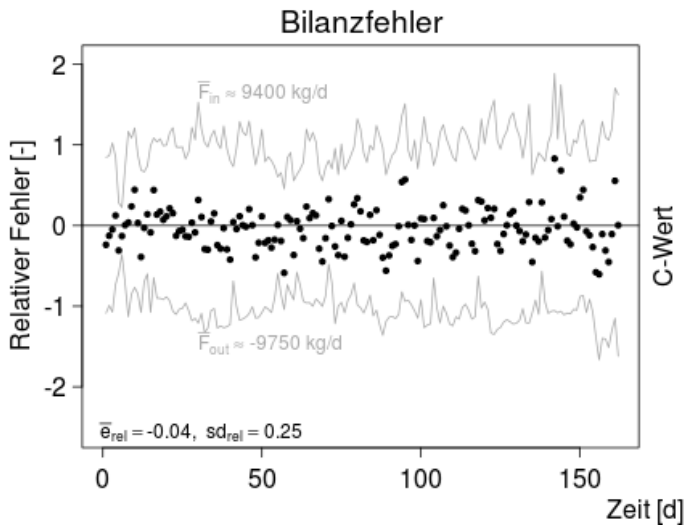
## aTS Faulung & Stapel OHNE Speicherwirkung



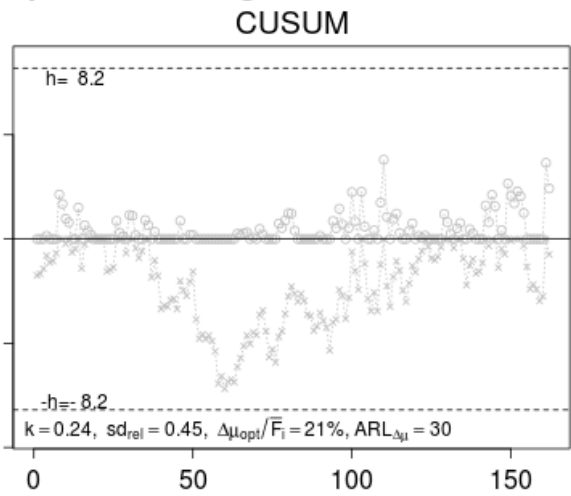
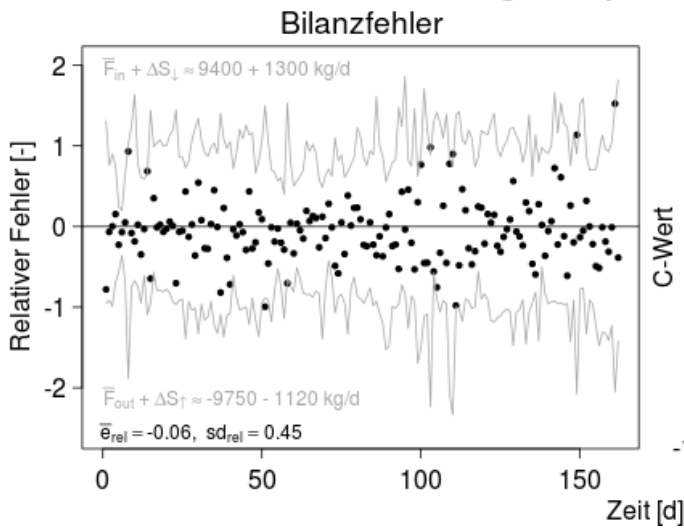
## aTS Faulung & Stapel MIT Speicherwirkung



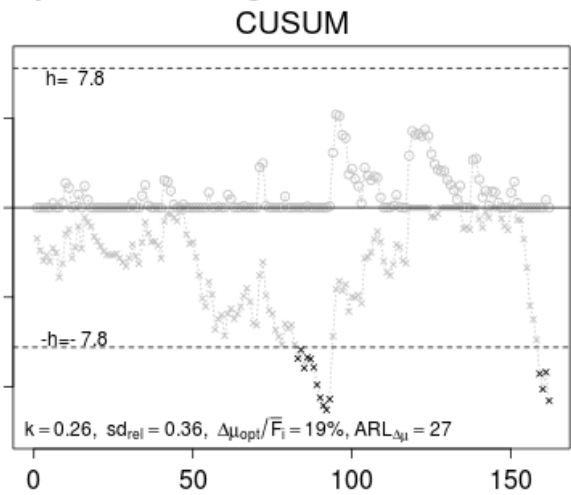
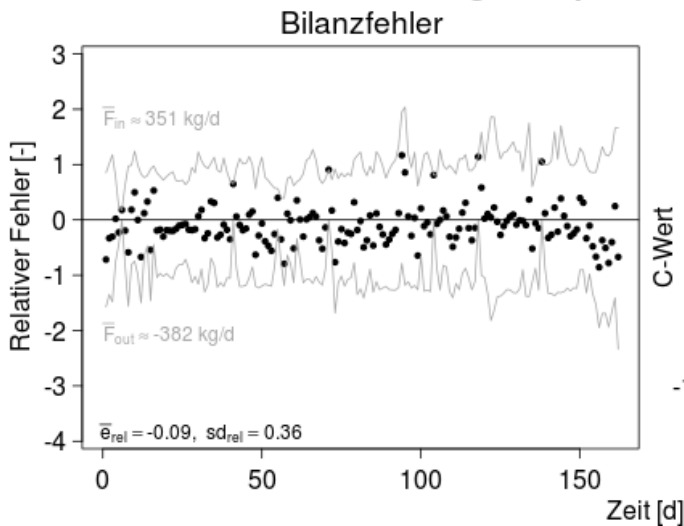
### CSB Faulung & Stapel OHNE Speicherwirkung



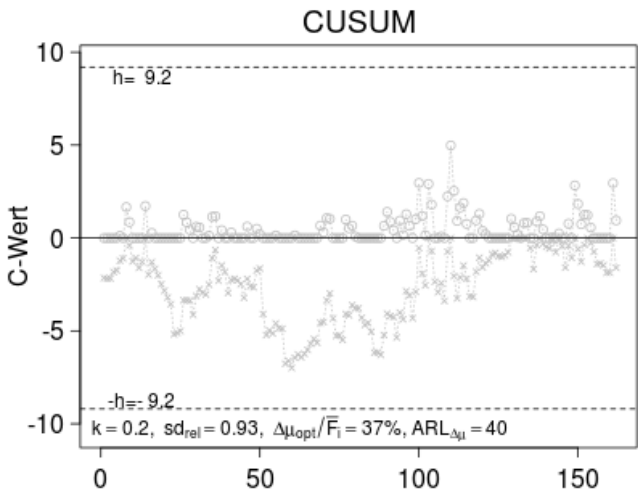
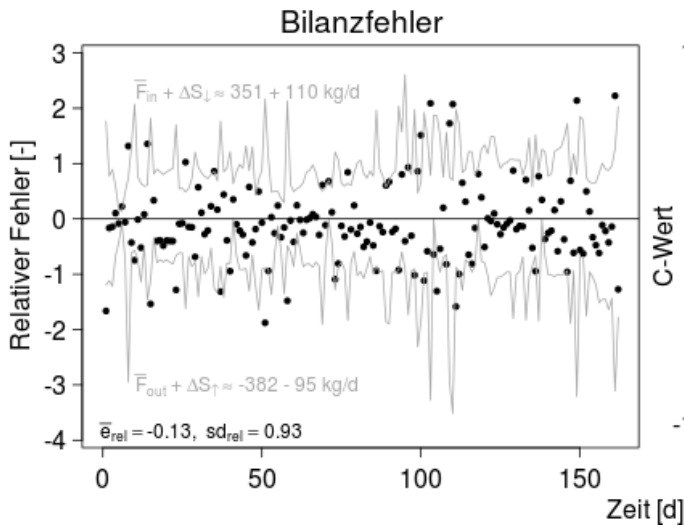
### CSB Faulung & Stapel MIT Speicherwirkung



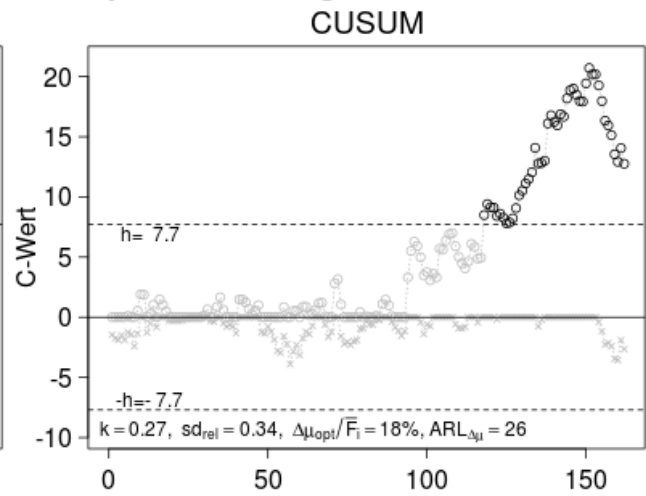
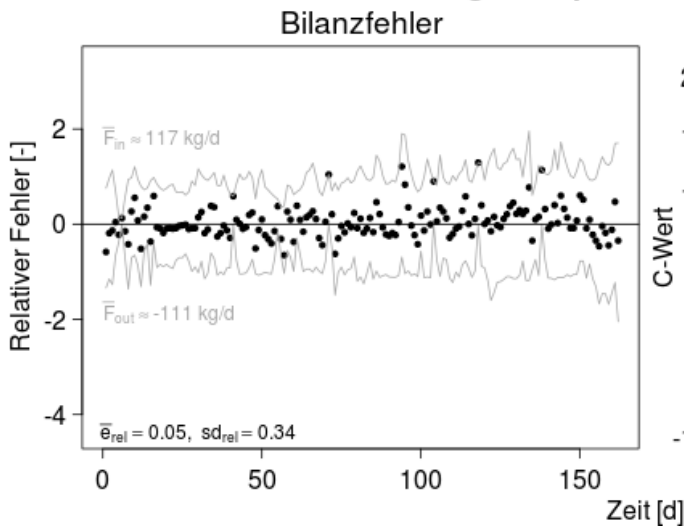
### TN Faulung & Stapel OHNE Speicherwirkung



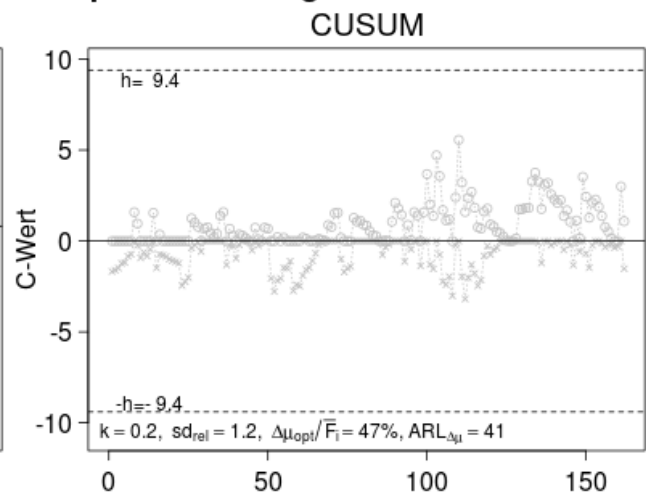
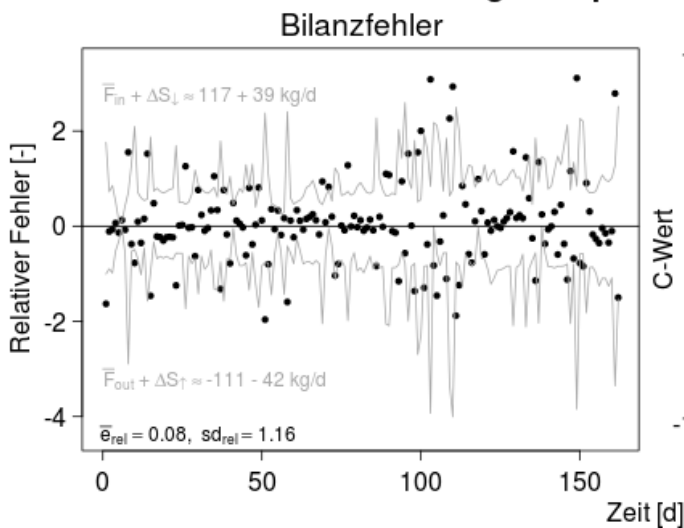
### TN Faulung & Stapel MIT Speicherwirkung



### TP Faulung & Stapel OHNE Speicherwirkung



### TP Faulung & Stapel MIT Speicherwirkung



**GENUSS  
REGION  
ÖSTERREICH**

Die Initiative  
GENUSS REGION ÖSTERREICH  
hebt gezielt die Bedeutung regio-  
naler Spezialitäten hervor.  
[www.genuss-region.at](http://www.genuss-region.at)



Das Österreichische  
Umweltzeichen ist Garant für  
umweltfreundliche Produkte und  
Dienstleistungen.  
[www.umweltzeichen.at](http://www.umweltzeichen.at)

**klima:aktiv**

Die Klimaschutzinitiative  
des Lebensministeriums  
für aktiven Klimaschutz.  
[www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at)

**green-jobs.at**  
Das grüne Karriereportal Österreichs

Österreichs erstes grünes  
Karriereportal für  
umweltfreundliche green jobs.  
[www.green-jobs.at](http://www.green-jobs.at)

[www.bewusstkaufen.at](http://www.bewusstkaufen.at)  
Lebensministerium & Partner  
**das bringt's  
nachhaltig.**

Das erste Webportal für  
nachhaltigen Konsum in  
Österreich.  
[www.bewusstkaufen.at](http://www.bewusstkaufen.at)

**vielfaltleben**

Die Kampagne vielfaltleben trägt  
bei, dass Österreich bei der  
Artenvielfalt zu den reichsten  
Ländern Europas gehört.  
[www.vielfaltleben.at](http://www.vielfaltleben.at)



[lebensministerium.at](http://lebensministerium.at)

Informationen zu Landwirtschaft,  
Wald, Umwelt, Wasser und  
Lebensmittel.  
[www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at)

**Nationalparks  
AUSTRIA**

Das Internetportal der  
Österreichischen Nationalparks.  
[www.nationalparksaustria.at](http://www.nationalparksaustria.at)

**generation  
blu:z**  
[www.generationblue.at](http://www.generationblue.at)

Die Jugendplattform zur  
Bewusstseinsbildung rund ums  
Wasser.  
[www.generationblue.at](http://www.generationblue.at)



[www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)

Der Ökologische Fußabdruck ist  
die einfachste Möglichkeit, die  
Zukunftsfähigkeit des eigenen  
Lebensstils zu testen. Errechnen  
Sie Ihren persönlichen Footprint.  
[www.mein-fussabdruck.at](http://www.mein-fussabdruck.at)