



Bericht

Betriebsoptimierung der KA Bad Salzuflen

**Auftraggeber:
Stadt Bad Salzuflen
Der Bürgermeister
32102 Bad Salzuflen**

Verfasser:
LimnoTec Abwasseranlagen GmbH
Eickhorster Straße 3
32479 Hille

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Zusammenfassung	5
1.1 Datenauswertung und Datenermittlung	5
1.2 Bilanzierung und Nachrechnung der Gesamtanlage	5
1.3 Optimierungsvorschläge	6
2 Einleitung	7
2.1 Vorbemerkung und Zielsetzung	7
3 Materialien und Methoden	8
3.1 Beschreibung der Kläranlage	8
3.2 Betriebsdaten der Kläranlage	10
4 Untersuchungen von LimnoTec	11
4.1 Messkampagne (LimnoTec)	11
4.1.1 BSB ₅ und BSB ₂₀ Messung	12
4.1.2 CSB _{ges} , N _{ges} , P _{ges} im Zulauf des Belebungsbeckens	16
4.2 Messergebnisse von ÜS-Selekt (LimnoTec)	19
4.2.1 Gehalt an oTS, CSB, N _{ges} und P _{ges} im Schlamm	19
4.2.2 Oxygen Uptake Rate (OUR)	20
4.2.3 TS - Gehalt im Belebungsbecken und Schlamminde	21
5 Ergebnisse der Datenanalyse	22
5.1 Belastung der Kläranlage	22
5.2 Kohlenstoffbilanz	23
5.2.1 BSB - Bilanz	23
5.2.2 CSB-Bilanz	24
5.2.3 Überschussschlamm-Produktion	24
5.3 N-Elimination	26
5.3.1 N- Bilanz	26
5.3.2 Denitrifikation	26
5.4 P-Elimination	29
5.5 Energieverbrauch	29
6 Berechnung der Anlage nach A 131	31
7 Rückschlüsse für die Ausarbeitung der Optimierungsvorschläge	33
8 Vorstellung und Analyse der Optimierungsvarianten	34
8.1 Strategie1: Erhöhung von TS _{BB} auf 3,9 g/l und Reduzierung BB-Volumina	34
8.2 Strategie 2: Erhöhung von TS _{BB} auf 4,3 g/l und Reduzierung BB-Volumina	35

8.3	Strategie 3: Reduzierung der N-Belastung des Trübwassers	36
8.4	Strategie 4: Reduzierung der N-Belastung des Trübwassers und die Erhöhung des TS_{BB} -Gehaltes im Belebungsbecken	37
8.5	Strategie 5: Erhöhung der BSB_5 Fracht im Zulauf zur Belebung	38
8.6	ÜS-Selekt / Schlammspiegelmessung– begleitende Maßnahmen	40
9	Schlussfolgerungen	42
10	Fazit und Ausblick	43
11	Literatur	45

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1 Zusammenstellung der Mittelwerte der BSB_5 Messung im Zulauf der Biologie	15
Tabelle 2 Zusammenstellung der gemittelten Messwerte der Schlammzusammensetzung, die im Rahmen von ÜS-Selekt ermittelt worden sind	19
Tabelle 3 Mittelwerte der maximalen Sauerstoffverbrauchsraten für Belebtschlamm der Kläranlage Bad Salzuflen	20
Tabelle 4 Zulaufmengen und resultierende EW der Kläranlage Bad Salzuflen anhand A 131 [1]	22
Tabelle 5 Spezifische Stromverbräuche für Belüftung in einzelnen Belebungsbecken der Kläranlage Bad Salzuflen	30
Tabelle 6 Zusammenstellung der voraussichtlichen Energieverbräuche, Energie bei einzelnen Optimierungsstrategien	42

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1 Übersicht der Kläranlage Bad Salzuflen	9
Abbildung 2 Fließschema der Kläranlage Bad Salzuflen	10
Abbildung 3 BSB ₅ Konzentrationen im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	12
Abbildung 4 BSB ₂₀ Konzentrationen im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	13
Abbildung 5 BSB ₅ Frachten im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	14
Abbildung 6 BSB ₂₀ Frachten im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	14
Abbildung 7 Frachten und Konzentrationen von CSB im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	16
Abbildung 8 Frachten und Konzentrationen von N _{ges} im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	17
Abbildung 9 Frachten und Konzentrationen von P _{ges} im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen	18
Abbildung 10 TSBB und Schlammindex ISV der KA Bad Salzuflen, Ergebnisse der Messkampagne „ÜS-Selekt“	21
Abbildung 11 Zufluss der Kläranlage und hydraulische Aufenthaltszeit der Belebungsbecken	23
Abbildung 12 CSB Bilanz der Kläranlage Bad Salzuflen für das Jahr 2008	24
Abbildung 13 Stickstoffbilanz Bilanz der Kläranlage Bad Salzuflen für das Jahr 2008	26
Abbildung 14 Ergebnisse der LimnoTec Messkampagne. N _{ges} /BSB ₅ Verhältnis und BSB ₅ /BSB ₂₀ Verhältnis im Zulauf des Belebungsbeckens	28
Abbildung 15 Phosphor-Bilanz der Kläranlage Bad Salzuflen für das Jahr 2008	29
Abbildung 16 Prinzip des ÜS-Selekt-Verfahrens.	40
Abbildung 17 Funktionsprinzip des Schlammwasch-Verfahrens	44

1 Zusammenfassung

1.1 Datenauswertung und Datenermittlung

Im Rahmen der Studie wurden bilanzielle Stoffstromauswertungen Zulauf / Ablauf / Umsatz auf Basis einer Auswertung der Betriebstagebücher und der gespeicherten Online-Daten der KA Bad Salzuflen für das Jahr 2008 durchgeführt.

Hierbei wurden Min, Max und Mittelwerte bezogen auf die verschiedenen Jahreszeiten ermittelt und daraus die Belastungsintervalle abgeleitet.

Da das vorhandene Datenmaterial für die Erarbeitung einer ausreichenden Entscheidungs- und Prüfgrundlage hinsichtlich der BSB Werte nur BSB₅ Daten enthält, wurden die wichtigsten Zulaufnachfrachtparameter als mehrere 4 h Mischproben über eine Woche (Ablauf Vorklä- rung) messtechnisch erfasst. Schwerpunkt war hierbei die Ermittlung der BSB₁₋₂₀ sowie CSB, P und N Werte.

Der BSB₅ Wert allein ist für die Abschätzung der tatsächlichen Sauerstoff-Zehrung sowie der spezifischen Überschussschlammproduktion nur eingeschränkt ausreichend, hierfür wurden die BSB₁₋₂₀ Werte genutzt. Die Messungen wurden durch LimnoTec durchgeführt.

Diese Zusatzmessungen erfolgten über einen Zeitraum von ca. einer Woche und dienen auch zur Interpolation der anderen Jahreszeiträume.

Des Weiteren wurde eine Reihe von OUR-Messungen zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffumsatzraten für Kohlenstoffabbau und Nitrifikation durchgeführt zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit (bzw. Hemmung) des Belebtschlammes der KA Bad Salzuflen.

1.2 Bilanzierung und Nachrechnung der Gesamtanlage

Auf Basis der Daten aus den Betriebstagebüchern, Untersuchungen von LimnoTec sowie allen zur Verfügung gestellten erforderlichen Funktionsdaten der Anlage (wie Mammutrotoren- und Pumpenleistungen usw.) erfolgte eine statische Bilanzierung (mit den Stoffströmen CSB, BSB, N, P und Menge) und Nachrechnung der Belebung der KA Bad Salzuflen. Der Bereich Faulung wurde auch statisch nachgebildet. Dabei wurden die kinetischen Standardparameter auf Basis der OUR-, AUR- und BSB₁₋₂₀ Messungen entsprechend

angepasst. Hierbei wurden bevorzugt die belastungsstärksten Zeiträume bzw. mindestens Sommer/Winter untersucht.

1.3 Optimierungsvorschläge

Dem Betreiber werden 3 bis 5 unterschiedliche Betriebsmodifikationen (z. B. unterschiedliche Belüftungsregelungen, zeitweise Außerbetriebnahmen etc.) vorgeschlagen. Zwei davon werden auf Basis stationärer Modellrechnungen auf ihre Auswirkungen auf die Reinigungsleistungen und die Betriebskosten (inklusive Faulung) in zwei ausgewählten Zeiträumen untersucht.

2 Einleitung

2.1 Vorbemerkung und Zielsetzung

Der Anschlussgrad der auf ca. 96.000 EW dimensionierten Kläranlage Bad Salzuflen liegt aktuell nur bei ca. 60.000 EW (siehe Tabelle im Kapitel 5.13.2). Daraus ergibt sich, dass mehrere Gewerke (wie z. B. Belüftungseinrichtung, Faulbehälter etc.) überdimensioniert sind, bzw. nicht optimal genutzt werden.

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war die Prüfung von Möglichkeiten der bedarfsge- rechten, d. h. auf den aktuellen Anschlussgrad angepassten Verfahrensumstellungen bzw. Optimierungen bzw. Gewerkeumnutzungen, um die Betriebskosten bezogen auf EW zu re- duzieren.

Dabei werden folgende Teilziele angestrebt:

- Optimale Ausnutzung der vorhandenen Belebungsbeckenvolumina
- Optimale Einstellung der TS Konzentrationen in Belebungsbecken
- Ausarbeitung der optimalen Zugabestrategie von Prozesswasserzugabe
- Maximierung der Klärgasproduktion
- Reduzierung der Belüftungskosten

3 Materialien und Methoden

3.1 Beschreibung der Kläranlage

Das Übersichtsbild der Kläranlage kann Abbildung 1 entnommen werden. Damit werden die wichtigsten Gewerke der Kläranlage Bad Salzuflen dargestellt.

Die Durchflusskläranlage wurde für ca. 96.000 EW dimensioniert. Dementsprechend verfügt die Anlage über folgende Bauwerke und Kapazitäten:

- Das Rechengebäude
- Der belüftete Sandfang mit Fettfang
- Die Vorklärung (ca. 520 m³)
- Die Belebungsbecken (ca. 19.000 m³)
 - BB1 (ca. 1.900 m³)
 - BB2 (ca. 1.900 m³)
 - BB3 (ca. 7.600 m³)
 - BB4 (ca. 7.600 m³)
- Die Nachklärungen
 - NK 1 (ca. 4.680m³, ca. 1.710 m²)
 - NK 2 (ca. 3.025m³, ca. 900 m²)
- Faultürme
 - Faulturm 1 (ca. 3.000 m³)
 - Faulturm 2 (ca. 2.000 m³)
- Gasspeicher (ca. 500 m³)
- Schlammmentwässerung
- Schlammwasserspeicher (ca. 1.000 m³)
- Schönungsteiche

Die Belebungsbecken wurden als Umlaufbecken mit Oberflächenbelüfter ausgeführt. Dabei erfüllen die Oberflächenbelüfter zwei Funktionen: das Rühren und das Belüften des belebten Schlammes.



Abbildung 1 Übersicht der Kläranlage Bad Salzuflen, Abkürzungen: SF – Sandfang, SE – Schlamm-entwässerung, GS – Gasspeicher, VKB – Vorklärung, SS – Schlammwasserspeicher, BG – Betriebs-gebäude, BB – Belebungsbecken, NKB - Nachklärung

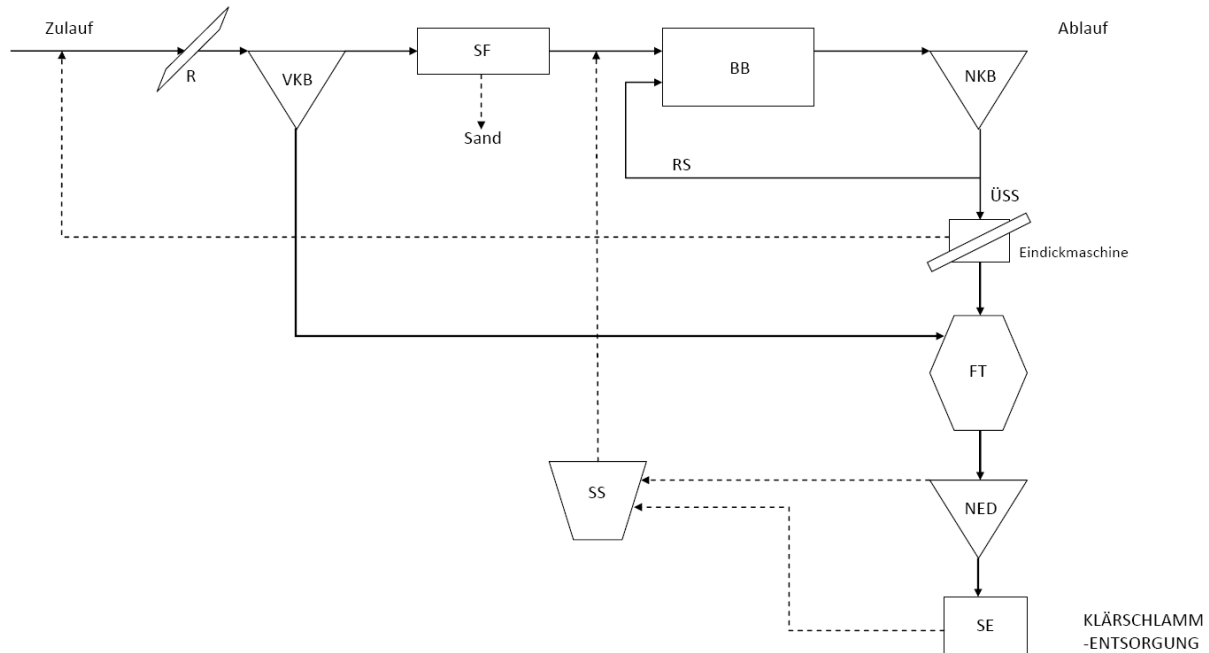


Abbildung 2 Fließschema der Kläranlage Bad Salzuflen, Abkürzungen: R – Rechen, SF – Sandfang, SE – Schlammmentwässerung, FT - Faulturm, VKB – Vorklärung, SS – Schlammwasserspeicher, BB – Belebungsbecken, RS - Rücklaufschlamm, NKB – Nachklärung, NED – Nacheindicker, ÜSS - Überschussschlamm

3.2 Betriebsdaten der Kläranlage

Für die Durchführung der Untersuchungen wurden folgende Betriebsdaten der Kläranlage ausgewertet:

- Monatsprotokolle (Betriebstagebuch) in dem Zeitraum von November 2007 bis Dezember 2008 in Papierform
- Zusammenstellung der Energieproduktion aus Klärgas in dem Zeitraum von Dezember 2007 bis November 2008
- Zusammenstellung der Klärschlamm-mengen für die Entsorgung in dem Zeitraum von November 2007 bis November 2008
- Zusammenstellung der Stromverbräuche der Kläranlage und der Oberflächenbelüfter in dem Zeitraum von November 2007 bis Oktober 2008
- Zusammenstellung der Sollwerte für die Steuerung und die Regelung der Kläranlage
- Auflistung der Änderungen der Sollwerte für die Steuerung und die Regelung der Anlage in dem Zeitraum von Juni 2008 bis Dezember 2008

4 Untersuchungen von LimnoTec

4.1 Messkampagne (LimnoTec)

Bei den BSB_5 Messwerten des Betriebstagebuches der Kläranlage handelt es sich zum einen um Laboranalysen von 14 Stichproben, sowie zum anderen um vier 24-h mengenproportionale Mischproben (Quartaluntersuchungen), die im Laufe des Jahres 2008 genommen wurden. Um die Kläranlage genau analysieren zu können und z. B. eine optimale Prozesswasserbewirtschaftungsstrategie ausarbeiten zu können, müssen detailliertere Informationen über die Zulaufparameter der Kläranlage vorliegen. Deswegen war es notwendig, die weiteren Messungen vorzunehmen.

Im Rahmen einer Messkampagne im Zeitraum vom 9 bis 16 Februar 2009 wurden von LimnoTec 42 4h-Mischproben vom Zulauf der Biologie (Abwasserstrom inklusive Prozesswasser) analysiert. In jeder Probe wurden folgende Parameter bestimmt: CSB_{ges} , P_{ges} , N_{ges} , BSB_5 und BSB_{20} . Bei den Messungen wurden folgende Messmethoden verwendet:

- CSB_{ges} : Küvetten-Test Typ LCK114 von Hach-Lange.
- P_{ges} : Küvetten-Test Typ LCK350 von Hach-Lange.
- N_{ges} : Küvetten-Test Typ LCK138 und LCK238 von Hach-Lange.
- BSB : System OxiTop® OC110 von WTW.

Während der Messkampagne betrug der Mittelwert des Zuflusses zur Kläranlage $655 \text{ m}^3/\text{h}$ und war somit etwas höher als der Mittelwert des Zuflusses der Kläranlage über 14 Monate $608 \text{ m}^3/\text{h}$ (Betriebsdaten).

Während der Messkampagne wurde der Eindicker (Zentrifuge) außer betrieb genommen. Infolge dessen sind geringe Mengen an Klärschlamm im untersuchten Zulauf der Belastungsstufe gefunden worden. Das Ereignis wurde berücksichtigt. Die Messdaten wurden entsprechend bereinigt.

Im Folgenden wird ein Kurzüberblick über die Messergebnisse der Messkampagne präsentiert. Die Messwerte der Messkampagne wurden auf ihre Plausibilität geprüft.

4.1.1 BSB₅ und BSB₂₀ Messung

Die Ergebnisse der BSB₅ und BSB₂₀ Messung im Zulauf der Belebung sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt. Am 12, 13 und 15 Februar traten technische Probleme bei der Probenahme auf. Demzufolge wurden die Werte als unplausibel bewertet und weiter in der Analyse nicht mitberücksichtigt. Anhand Abbildung 3 und Abbildung 4 ist deutlich zu sehen, dass die BSB Belastungsspitzen in der Regel zwischen 14 – und 22 Uhr auftreten. Die niedrigsten BSB Konzentrationen wurden zwischen 4 und 8 Uhr morgens gemessen. Einige Proben mit voraussichtlich niedrigen BSB₅ und BSB₂₀ Konzentrationen sind wegen technischer Gründe (Ausfall des Probenehmers) ausgefallen (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4).

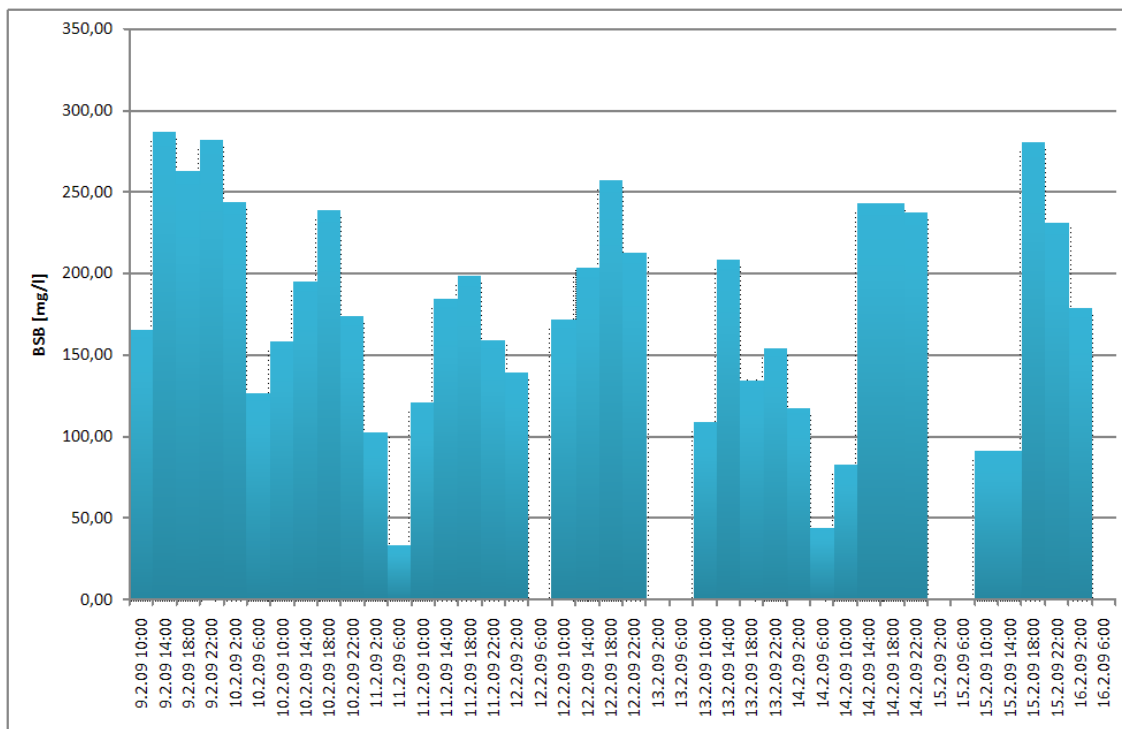


Abbildung 3 BSB₅ Konzentrationen im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von Limno-Tec, KA Bad Salzufen

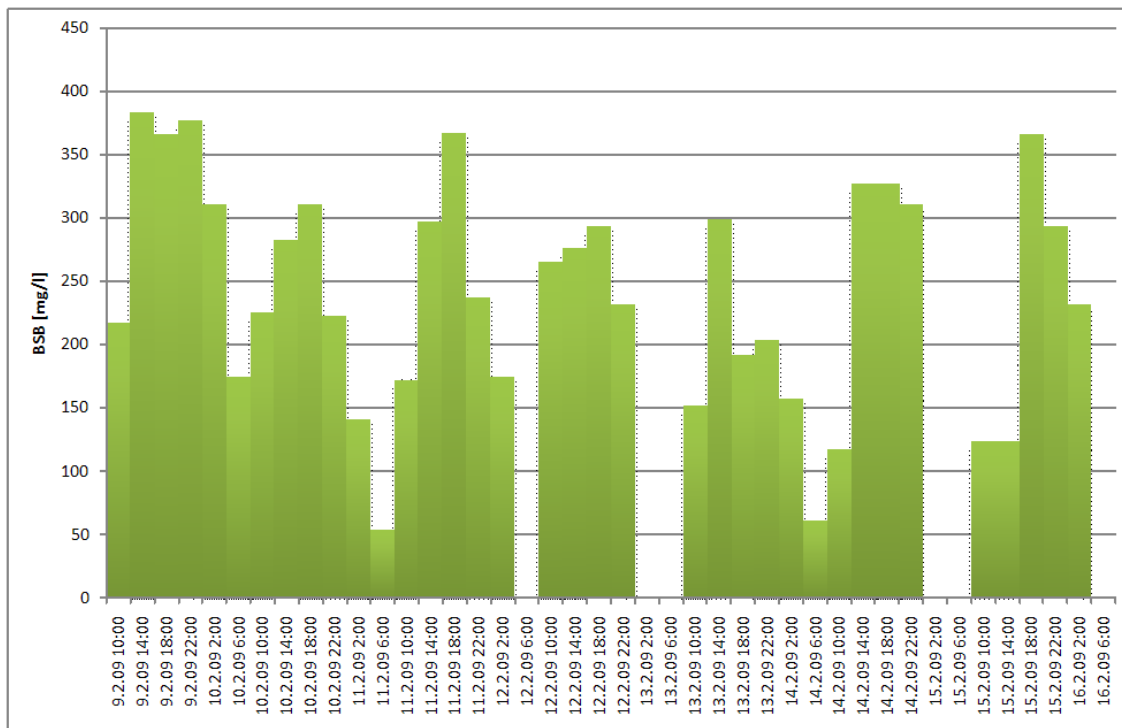


Abbildung 4 BSB₂₀ Konzentrationen im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von Limno-Tec, KA Bad Salzuflen

Eine BSB₁₋₂₀ Ganglinie kann Abbildung 4 entnommen werden. Die daraus berechnete mengenproportionale Probe über die ganze Woche der Untersuchung beträgt 253 mg/l BSB₂₀.

Die Abbildung 5 und Abbildung 6 stellen die Frachten von BSB₅ im Zulauf der biologischen Stufe der Kläranlage Bad Salzuflen dar.

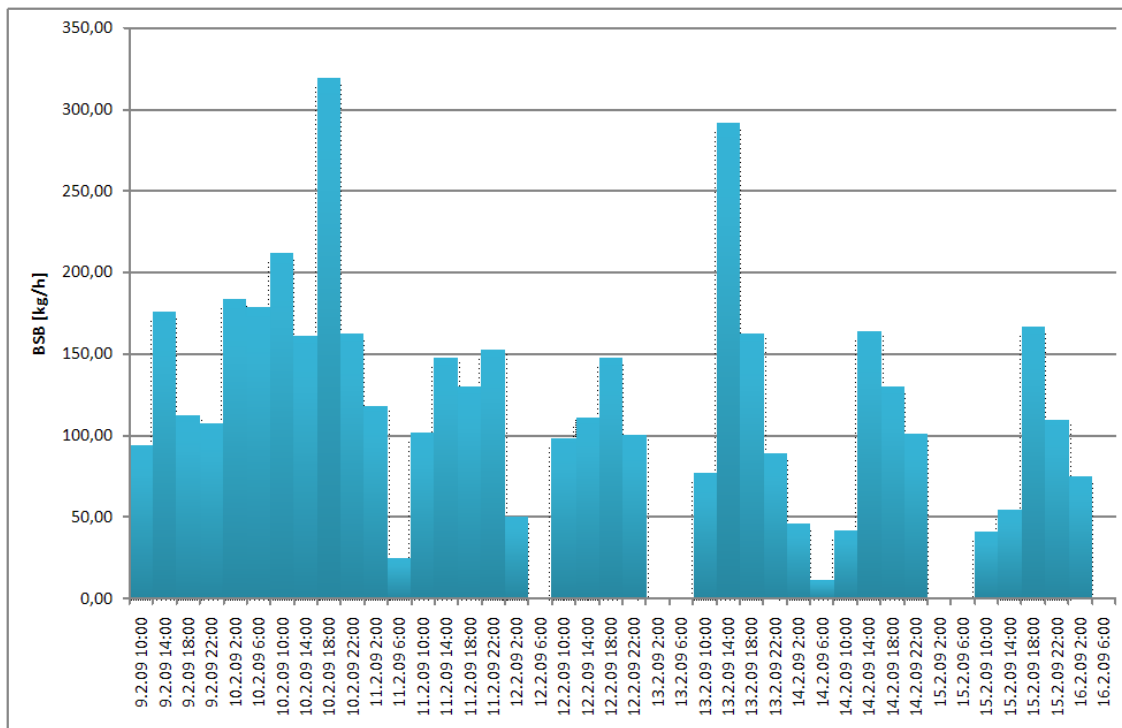


Abbildung 5 BSB₅ Frachten im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuffen

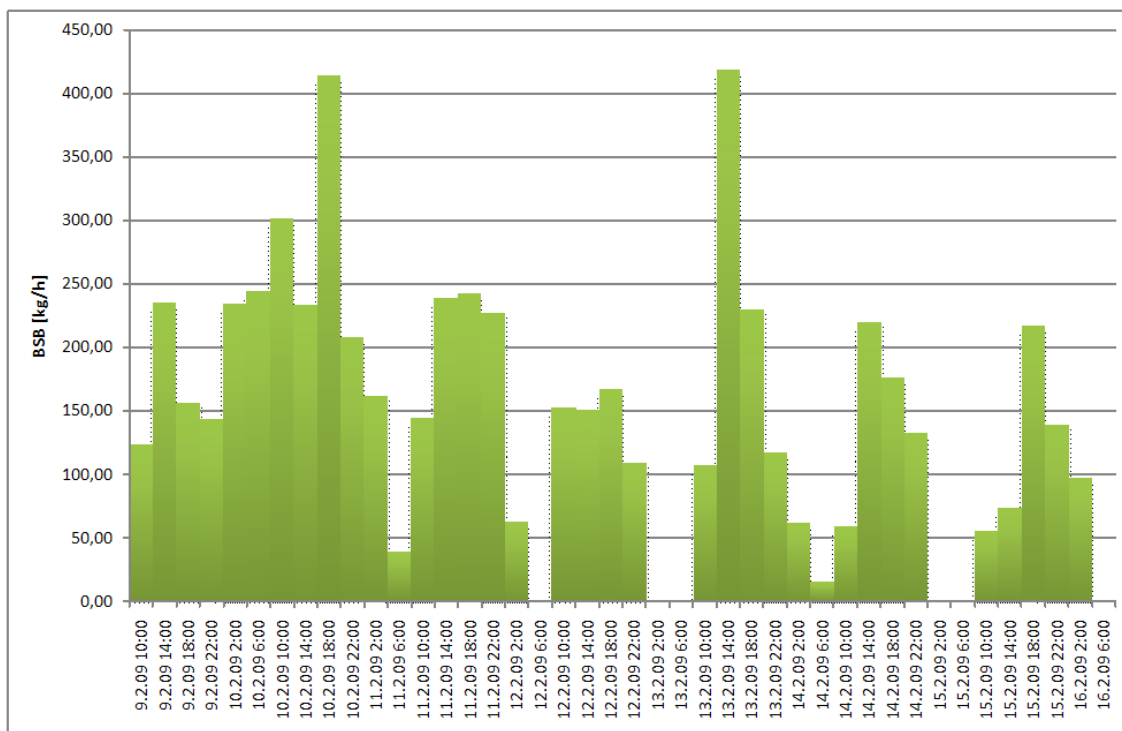


Abbildung 6 BSB₂₀ Frachten im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuffen

Der BSB der Kläranlage wird vom Betriebspersonal der Kläranlage mithilfe der DIN Methode (Verdünnungsmethode) gemessen. LimnoTec misst den BSB mithilfe der manometrischen Methode. Für die Ergebnisse der beiden Messmethoden wurde eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt.

Der Mittelwert für die Stichproben der LimnoTec Messkampagne im Zeitraum zwischen 8 – 12 Uhr beträgt 129 mg /l BSB₅. Im Vergleich dazu betrug der Mittelwert aller Stichproben der Betriebsdaten der Kläranlage in 2008 im Schnitt 120 mg/l BSB₅ (die Stichproben auf der Kläranlage werden meistens zwischen 8 – 12 Uhr genommen).

Bei der weiteren Plausibilitätsprüfung treten jedoch einige Unstimmigkeiten vor allem bei der Betrachtung von mengenproportionalen Mischproben auf (Tabelle 1). Von den Betriebsdaten der Kläranlage (Auswertung von vier Quartalsproben) ist bekannt, dass die durchschnittliche BSB₅ Konzentration im Zulauf der Anlage etwa 228 mg BSB₅/l beträgt. Dabei beträgt anhand der Betriebsdaten die Konzentration im Zulauf der Biologie 116 mg/l BSB₅. Das sind somit ca. 1.300 kg/l BSB₅ (BSB₅/CSB Verhältnis beträgt somit 0,34). Im Vergleich dazu beträgt der Mittelwert von LimnoTec Messungen im Zeitraum der Messkampagne, die mithilfe einer manometrischen BSB-Messmethode ausgeführt worden sind, mengenproportional gerechnet 189 mg/l BSB₅ (BSB₅ / CSB Verhältnis beträgt 0,46). Der Unterschied zwischen den beiden Messwerten ist also sehr groß. Die Plausibilität der beiden sehr unterschiedlichen Ergebnissen konnte erst mithilfe der Bilanzierung der Gesamtanlage (siehe insbesondere Kapitel 5.3) geprüft werden. Dabei wurde festgestellt, dass die BSB Messung mithilfe der manometrischen Methode ein plausibleres Ergebnis insbesondere auf den notwendigen Kohlenstoff für den N-Abbau liefert.

Tabelle 1 Zusammenstellung der Mittelwerte der BSB₅ Messung im Zulauf der Biologie

	BSB ₅ -Konzentration [mg/l]	BSB ₅ -Fracht [kg/d]	BSB ₅ /CSB [-]
LimnoTec Messkampagne im Februar 2009	189	2.971	0,46
Betriebsdaten der Kläranlage (Mittelwert über 2008)	116	1.300	0,34

4.1.2 CSB_{ges}, N_{ges}, P_{ges} im Zulauf des Belebungsbeckens

Die Ergebnisse der CSB Messungen stellt Abbildung 7 dar. Der Mittelwert der mengenproportionalen Mischprobe in dem Zeitraum der Messkampagne beträgt 407 mg/l CSB und ist ein wenig höher als der Mittelwert 344 mg/l CSB, der über vier Quartalmessungen (3 x 24h mengenproportionale Mischproben) von 2008 ermittelt worden ist (Betriebstagebuch der Kläranlage). Die Zeitpunkte der Spitzen der Frachtganglinie überlappen sich mit den Spitzen der Konzentrationsganglinie.

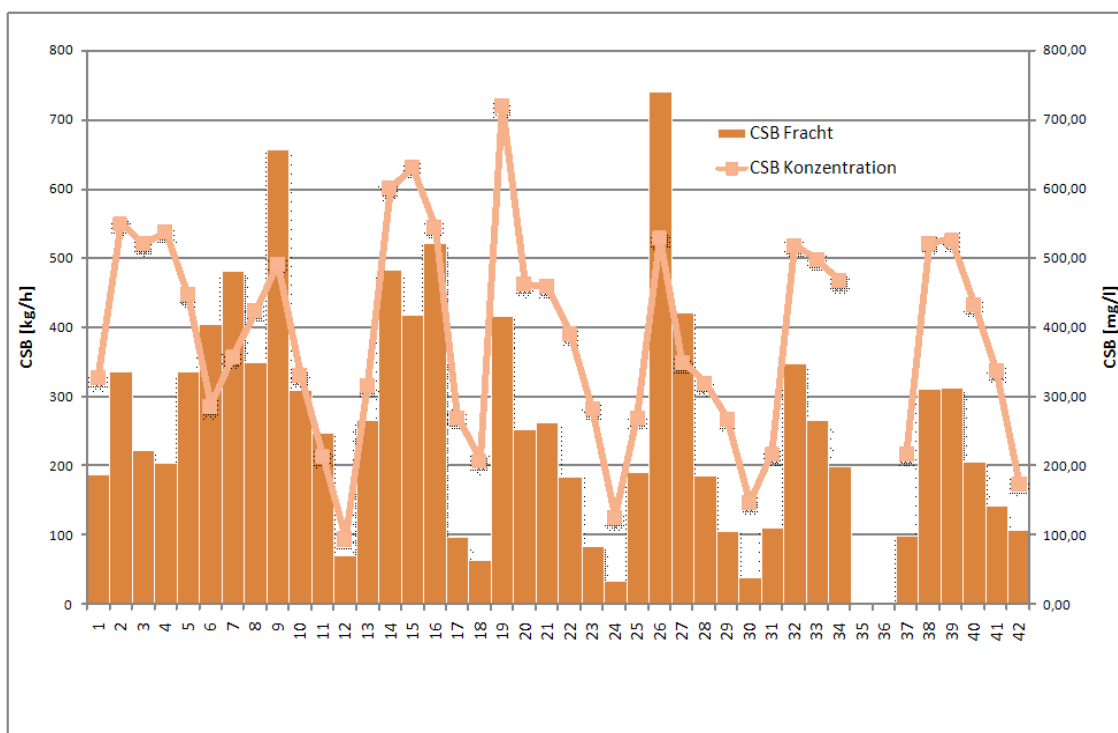


Abbildung 7 Frachten und Konzentrationen von CSB im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzuflen

Die Ergebnisse der N_{ges} Messungen stellt Abbildung 8 dar. Der Mittelwert der mengenproportionalen Mischprobe in dem Zeitraum der Messkampagne beträgt 51 mg/l N_{ges} und ist vergleichbar mit dem Mittelwert 53,5 mg/l N_{ges} , der über vier Quartalmessungen (3 x 24h mengenproportionale Mischproben) von 2008 ermittelt worden ist (Betriebsdaten der Kläranlage). Die Zeitpunkte der Spitzen der Frachtganglinie überlappen sich mit den Spitzen der Konzentrationsganglinie.

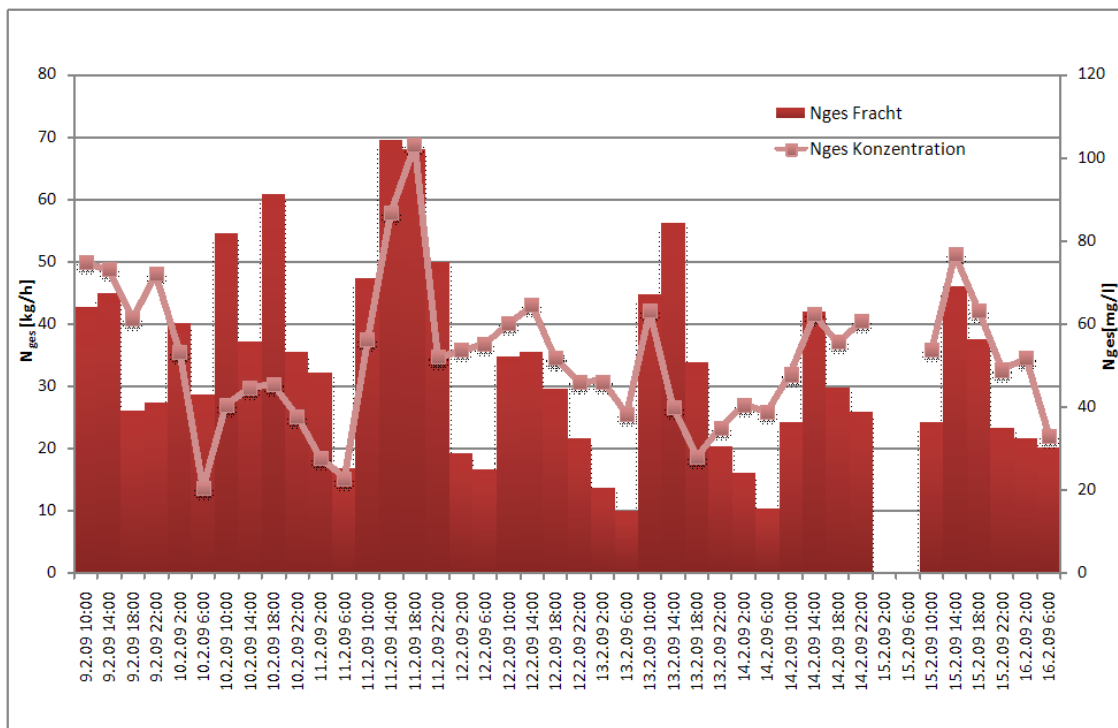


Abbildung 8 Frachten und Konzentrationen von N_{ges} im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzufen

Die Ergebnisse der P_{ges} Messungen stellt Abbildung 9 dar. Der Mittelwert der mengenproportionalen Mischprobe in dem Zeitraum der Messkampagne beträgt 5,5 mg/l P_{ges} und ist geringfügig geringer als der Mittelwert 6,0 mg /l P_{ges} , der über vier Quartalmessungen (3 x 24h mengenproportionale Mischproben) von 2008 ermittelt worden ist (Betriebsdaten der Kläranlage). Zeitpunkte der Spitzen der Frachtganglinie überlappen sich mit den Spitzen der Konzentrationsganglinie und treten zur üblichen Zeiten auf.

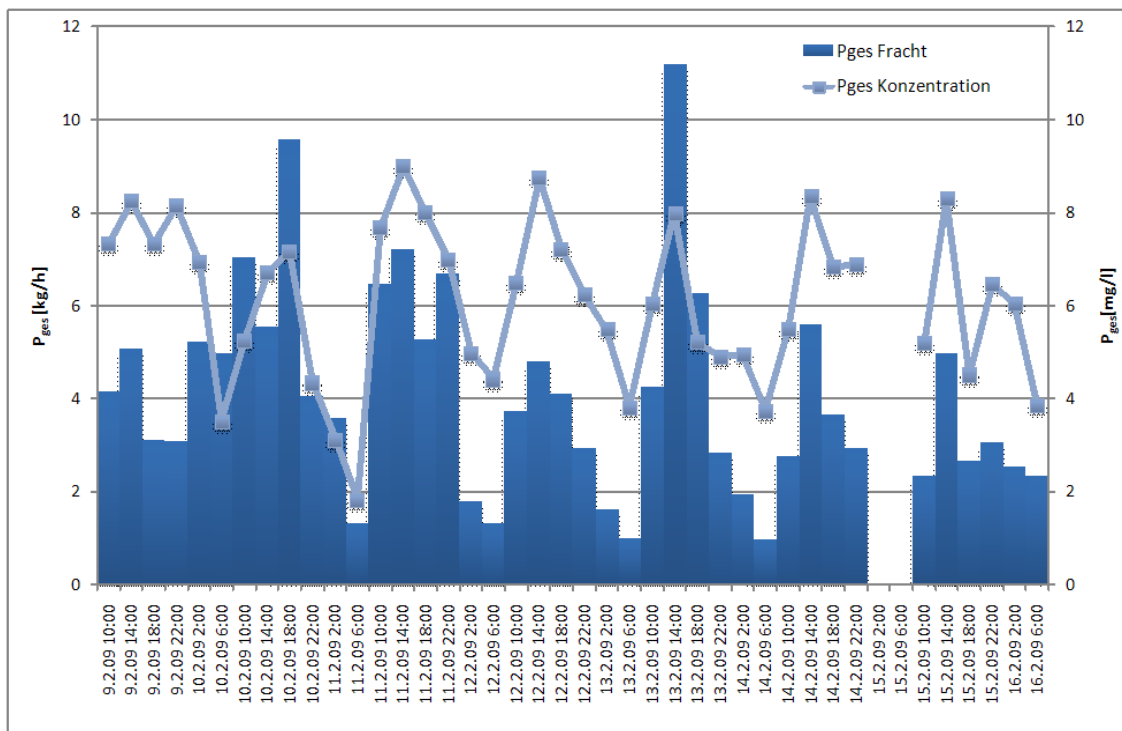


Abbildung 9 Frachten und Konzentrationen von P_{ges} im Zulauf des Belebungsbeckens, Messkampagne von LimnoTec, KA Bad Salzufen

4.2 Messergebnisse von ÜS-Selekt (LimnoTec)

Seit August 2008 wurden im Rahmen des vom MUNLV geförderten F+E Projektes „Selektive Anreicherung von Belebtschlamm mit einem gewünscht niedrigen Schlammindex mittels spezifischer Entfernung der Belebtschlammfraktionen mit einem höheren Schlammindex“ (kurz: Projekt ÜS-Selekt) mehrere Messungen von Schlammigenschaften durchgeführt wie unter anderem:

- Schlammindex
- Flockenmorphologie (Mikroskopische Untersuchungen)
- Schlammzusammensetzung (TS, oTS, CSB, P_{ges} , und N_{ges})
- Sauerstoffverbrauchsrate (Oxygen Uptake Rate)

Die Ergebnisse, die in 2008 erzielt wurden, sind in der vorliegenden Untersuchung miteinbezogen worden.

4.2.1 Gehalt an oTS, CSB, N_{ges} und P_{ges} im Schlamm

Mithilfe von Küvetten-Test wurden mehrere Messungen der Konzentrationen von CSB, N_{ges} und P_{ges} im Belebtschlamm der Kläranlage Bad Salzuflen durchgeführt. Die Messwerte wurden in Tabelle 2 zusammengestellt

Tabelle 2 Zusammenstellung der gemittelten Messwerte der Schlammzusammensetzung, die im Rahmen von ÜS-Selekt ermittelt worden sind

Parameter	oTS	CSB	N_{ges}	P_{ges}
Einheit	[%]	[mg/g TS]	[mg/ g TS]	[mg/ g TS]
Messwert	60,8	919,5	55,6	37,1
Sta. Abweichung	4,5	142,0	11,0	14,5
Anz. d. Messwerte	57	36	33	37

Die N, P und CSB Werte liegen im Normbereich. Der oTS Wert ist für einen Belebtschlamm aus einer nicht aerob stabilisierenden Anlage vergleichsweise gering. Dieser geringe Wert ist ein Indiz für ein ungewöhnlich hohes Schlammalter. Die entscheidende Frage ist, ob dieses hohe Schlammalter wirklich erforderlich ist?

4.2.2 Oxygen Uptake Rate (OUR)

Im Rahmen von ÜS-Selekt wurden auch Messungen von Sauerstoffverbrauchsrate (eng: Oxygen Uptake Rate: OUR) auf der Kläranlage Bad Salzuflen durchgeführt.

Bei der als OUR bezeichneten Methode handelt es sich um die Messung und Interpretation von Sauerstoffaufnahme- und -verbrauchsrate von Belebtschlämmen unter definierten Laborbedingungen. Dabei gibt es viele verschiedene Ansätze wie diese Daten ermittelt werden können. Die Bandbreite der unterschiedlichen Versuchsaufbauten reicht von einem manuell zu bedienenden Messbehälter bis zu vollautomatischen Respirometern, die Probenahme, Kalibrierung und Ermittlung der Respirationsrate selbsttätig durchführen. Bei dieser Art der Aktivitätsbestimmung der Mikroorganismen des Belebtschlammes wird die Konzentration des in Lösung befindlichen Sauerstoffs mit Hilfe einer Sauerstoffsonde bestimmt.

Es gibt in der Respirometrie vier grundlegende Messprinzipien, um den in einer Flüssigkeitsphase gelösten Sauerstoff zu messen, [4]. Die eingesetzte Variante der Messung besteht aus einem Batchansatz, der manuell wiederbelüftet wird.

In Tabelle 3 wurden die maximale Sauerstoffverbrauchsrate für Belebtschlamm der Kläranlage Bad Salzuflen zusammengestellt.

Tabelle 3 Mittelwerte der maximalen Sauerstoffverbrauchsrate für Belebtschlamm der Kläranlage Bad Salzuflen

Sauerstoffverbrauchsrate	Einheit	Messwert
Grundatmung	$\text{mg O}_2 \times (\text{g oTS} \times \text{h})^{-1}$	4,3
Kohlenstoffatmung	$\text{mg O}_2 \times (\text{g oTS} \times \text{h})^{-1}$	15,1
Nitrifikation	$\text{mg O}_2 \times (\text{g oTS} \times \text{h})^{-1}$	13,2
Gesamtatmung	$\text{mg O}_2 \times (\text{g oTS} \times \text{h})^{-1}$	32,6

Die Messdaten deuten darauf hin, dass der Belebtschlamm atmungsaktiv ist und dass keine Hemmungen vorliegen. Die Messergebnisse stammen aus dem Zeitraum September 2008 – Dezember 2008. In der Zeit wurde keine signifikante Änderung der Atmungsaktivität beobachtet.

4.2.3 TS - Gehalt im Belebungsbecken und Schlammindex

Im Laufe der ÜS-Selekt Messkampagne wurden mehrere Messungen der Belebtschlammkonzentration TS_{BB} und des Schlammindexes ISV durchgeführt. Die TS_{BB} Werte schwanken zwischen 2,9 und 3,6 g/l. Der Mittelwert des TS_{BB} -Gehaltes beträgt im untersuchten Zeitraum 3,2 g/l und die Standardabweichung beträgt 0,28 g/l.

Der TS –Gehalt wird auf der Kläranlage Bad Salzuflen über den ÜS-Abzug und indirekt über die RS-Menge geregelt.

Der Abbildung 10 ist ein Anstieg des Schlammindexes ISV im Winter und Frühjahr 2008 zu entnehmen. Dieser Anstieg ist typisch und entspricht den vorangegangenen Jahren.

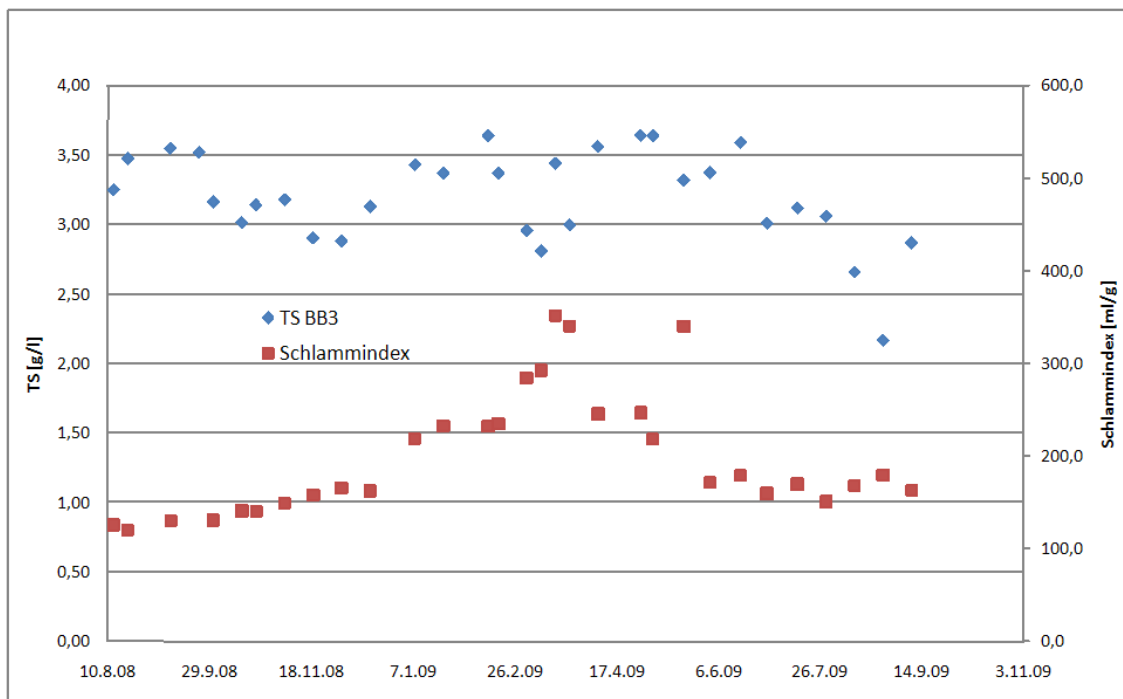


Abbildung 10 TSBB und Schlammindex ISV der KA Bad Salzuflen, Ergebnisse der Messkampagne „ÜS-Selekt“

5 Ergebnisse der Datenanalyse

5.1 Belastung der Kläranlage

Die Zulaufmengen und der resultierende EW der Kläranlage Bad Salzuflen, die anhand A 131 berechnet wurden [1], wurden in Tabelle 4 zusammengestellt. Die Kläranlage hat also bezogen auf CSB, TKN und P Belastung die ca. 60.000 EW entspricht. Die Messwerte von BSB₅ deuten darauf hin, dass im Zufluss der Kläranlage wenig vom leicht abbaubaren CSB vorliegt. Der Tabelle 4 ist deutlich zu entnehmen, dass das Verhältnis BSB₅/N schon im Zufluss der Anlage sehr ungünstig ist.

Tabelle 4 Zulaufmengen und resultierende EW der Kläranlage Bad Salzuflen anhand A 131 [1]

	kg/d	g/(E d)	EGW
BSB ₅	2588,5	60	43142
CSB	7915,4	120	65962
TKN	658	11	59818
P	95,9	1,8	53278

Die hydraulische Verweilzeit in 19.000 m³ Belebungsbeckenvolumen der Kläranlage ist recht groß. Abbildung 11 zeigt die Zulaufmengen und Hydraulischen Aufenthaltszeiten im Belebungsbecken der Kläranlage. Bei Regenwetter beträgt die Verweilzeit 10 bis 20 Stunden und bei Trockenwetter beträgt die Verweilzeit 40 bis 60 Stunden.

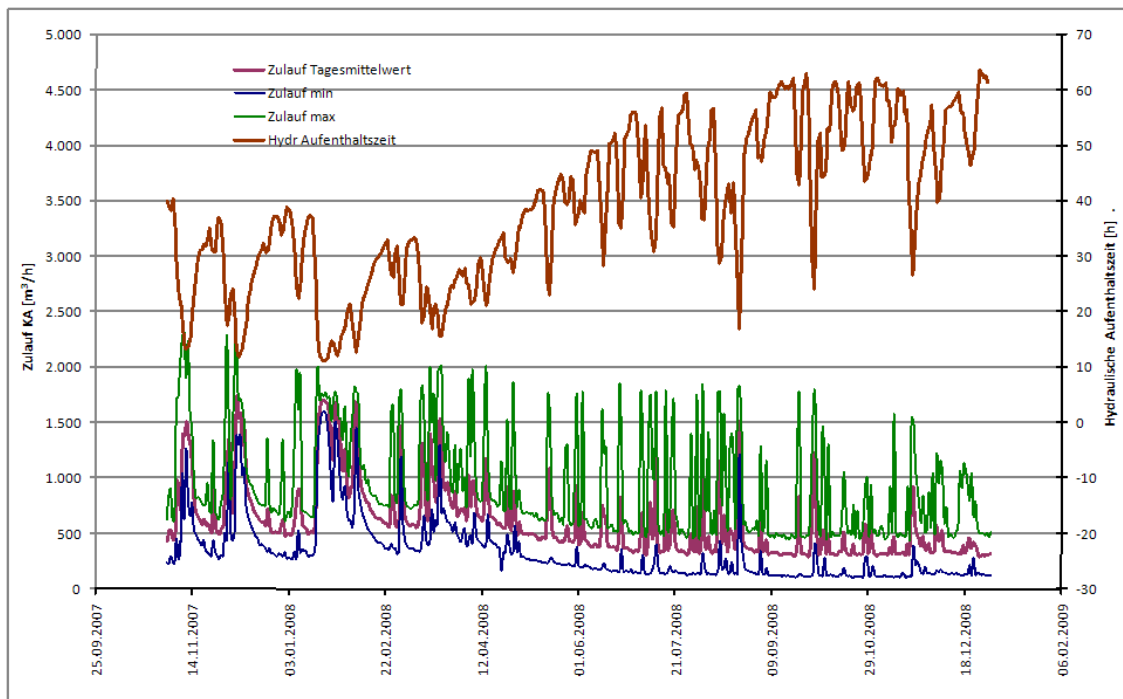


Abbildung 11 Zufluss der Kläranlage und hydraulische Aufenthaltszeit der Belebungsbecken

5.2 Kohlenstoffbilanz

5.2.1 BSB - Bilanz

Die Vorklärung hat ein Volumen von 500 m^3 . Die hydraulische Aufenthaltszeit in der Vorklärung beträgt also im Schnitt ca. 50 Minuten. Laut A 131 [1] sollte die BSB_5 -Reduktion ca. 25 % ausmachen.

Anhand der Betriebsdaten der Kläranlage wurde die BSB_5 Elimination in der Vorklärung der Kläranlage berechnet. Dazu wurden die Ergebnisse der Quartalmessungen vom Zulauf und Ablauf der Kläranlage genutzt. Die Zulaufkraft der Anlage betrug ca. $2600 \text{ kg BSB}_5/\text{d}$ und die Ablaufkraft der Vorklärung betrug ca. $1392 \text{ kg BSB}_5/\text{d}$. Die BSB_5 -Elimination ist deutlich stärker als in A 131 angenommen und beträgt ca. 46 %. Der Biologie wird also relativ wenig BSB zugeführt.

Die zuvor aufgeführten BSB-Messwerte wurden mithilfe einer Verdünnungsmethode nach DIN bestimmt. Im Laufe der Messkampagne wurden von LimnoTec die Messungen mithilfe einer manometrischen Methode ermittelt.

5.2.2 CSB-Bilanz

Für das Jahr 2008 wurde ein CSB Bilanz anhand der Betriebsdaten der Anlage (siehe Abbildung 12) erstellt.

In der Vorklärung der Kläranlage wird ca. 50 % des CSB's entfernt. Dies ist ungewöhnlich viel, da es normalerweise bei einer Vorklärung mit einer Aufenthaltszeit von ca. 50 Minuten nach A 131 nur ca. 30% sein dürfte. Insgesamt beträgt die Elimination für CSB auf der Gesamtanlage etwa 97% der Zulaufmenge.

Im Laufe des Jahres 2008 wurde die TS_{BB} Konzentration auf der Kläranlage um ca. 1 g/l TS runter gesetzt. In der Bilanz wurde die Veränderung der Schlammmenge im System durch die entsprechende Angabe von -47,9 kg CSB/d dargestellt.

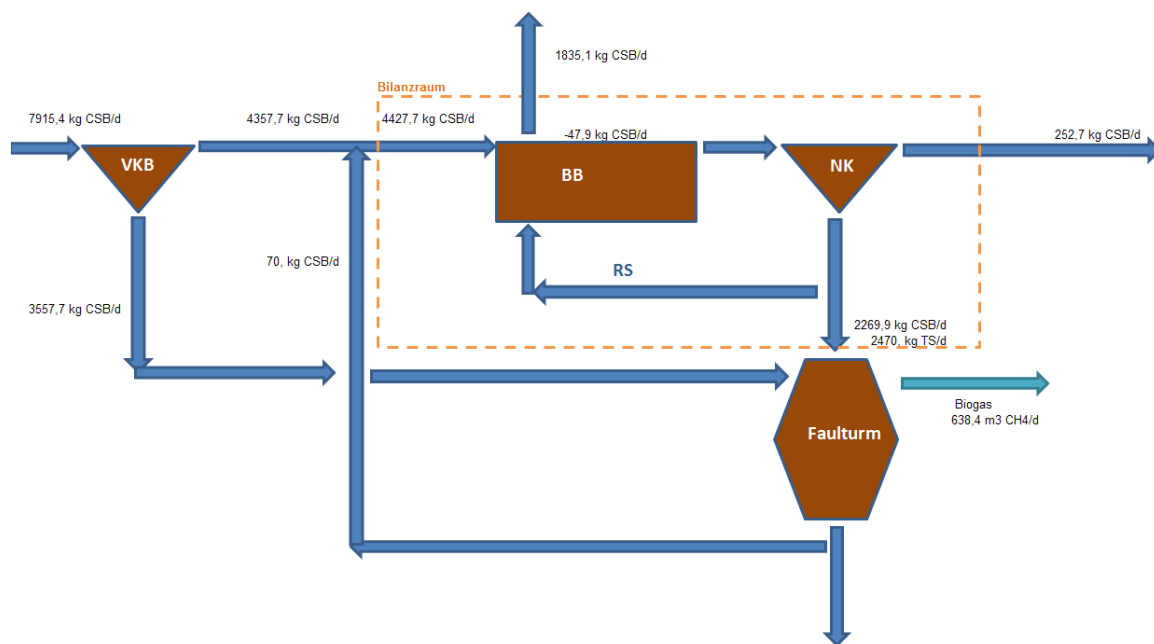


Abbildung 12 CSB Bilanz der Kläranlage Bad Salzuflen für das Jahr 2008

5.2.3 Überschussschlamm-Produktion

In den Betriebsdaten der Kläranlage für das Jahr 2008 wurden die Überschussschlamm-mengen erst ab dem 12.11.2008 aufgezeichnet. Deswegen war die genaue Ermittlung der ÜSS Produktion erschwert.

Die Überschussschlammproduktion wurde deswegen anhand von zwei Methoden ermittelt:

- CSB Bilanz für die gesamte Anlage
- Daten über Energieproduktion aus Primärschlamm und Sekundärschlamm
- Genaue Bilanzierung der Schlammbehandlung und Schlamm Entsorgung

Anhand der CSB-Bilanz wurde errechnet, dass in 2008 im Schnitt ca. 2269 kg CSB/d über Sekundärschlamm aus dem System entfernt wurde. Von der Untersuchungen des Projektes „ÜS-Selekt“ (siehe Kapitel 4.2) ist bekannt, dass der Belebtschlamm der Kläranlage ca. 919 mg CSB/kg TS enthält. Demzufolge beträgt die durchschnittliche tägliche Sekundärschlammproduktion ca. 2470 kg TS/d.

Die Berechnung der Sekundärschlammenge wurde auch anhand der Energieproduktion der anaeroben Stufe der Kläranlage überprüft. Anhand der Betriebsdaten konnte eine ÜSS-Bilanz im Zeitraum von März 2008 bis November 2008 erstellt werden. Anhand der Betriebsdaten wurden im Schnitt etwa $640 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$ aus dem Primärschlamm und Sekundärschlamm produziert. Die Primärschlammenge betrug im Schnitt etwa $95,2 \text{ m}^3/\text{d}$ mit einem TS Gehalt von 2,57 %. Anhand der Werte für die spezifische Biogasproduktion wurde ermittelt, dass die Methanproduktion vom Primärschlamm etwa $410 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$ betrug. Somit wurde etwa $229 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{d}$ aus dem Sekundärschlamm produziert. Angenommen, dass die spezifische Biogasproduktion von Sekundärschlamm ca. 300 l/kg oTS beträgt, und dass Klärgas etwa 60% Methan hat, wurde ein Durchschnittswert von ca. 2250 kg TS/d Überschussschlamm ermittelt.

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Berechnungsmethoden ist gering. Somit kann das Ergebnis der CSB Bilanz als plausibel bewertet werden.

Die Bilanzierung der CSB Frachten im Prozesswasser wurde anhand einer separaten Bilanz der Schlammbehandlungsschiene überprüft. Die ermittelten Frachten sind plausibel.

Anhand der Betriebsdaten der Kläranlage in 2008 war in den Belebungsbecken im Schnitt etwa 68,37 t TSBB Belebtschlamm. Anhand der CSB Bilanz wurden ca. 2470 kg TS/d als Überschussschlamm entfernt. Somit beträgt das Schlammalter der Biologie 27,6 d.

5.3 N-Elimination

5.3.1 N- Bilanz

Die Stickstoffbilanz wurde anhand von Betriebsdaten der Kläranlage und Messdaten des Projektes ÜS-Selekt für das Jahr 2008 erstellt (Abbildung 13). Die Stickstoffelimination beträgt auf der gesamten Anlage ca. 96 %. Ca. 486 kg/d N wurden im Schnitt in 2008 über die Denitrifikation entfernt. Die Bilanz macht es deutlich, dass über das Prozesswasser eine zusätzliche hohe Belastung (ca. 70 kg/d N) in den Zulauf der Biologie hinzukommt.

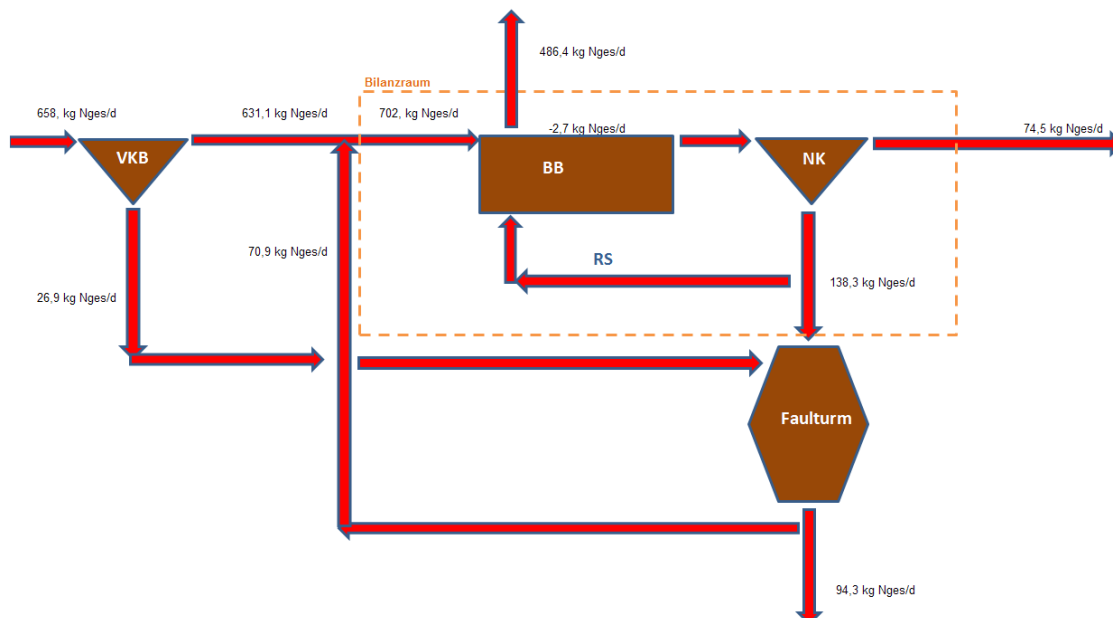


Abbildung 13 Stickstoffbilanz Bilanz der Kläranlage Bad Salzuflen für das Jahr 2008

5.3.2 Denitrifikation

Anhand der Betriebsdaten der Kläranlage Bad Salzuflen wurden im Schnitt in 2008 etwa 486 kg/d N denitrifiziert. Um diese Menge an Stickstoff mittels Denitrifikation zu entfernen wird eine entsprechend hohe BSB/CSB Menge benötigt. Laut Imhoff et al. [3] und A 131 [1] ergibt sich bei der intermittierenden Denitrifikation und bei $V_D/V_{BB} = 0,5$ ein Verhältnis von ca. 0,14 kg N_D / kg BSB_5 .

Anhand der Betriebsdaten der Kläranlage beträgt nach der Vorklärung das $\text{kg N}_\text{D} / \text{kg BSB}_5$ Verhältnis ca. 0,35. Nach den Betriebsdaten der Kläranlage steht für eine weitgehende Denitrifikation somit viel zu wenig BSB_5 zur Verfügung. Trotzdem ist die Denitrifikationsleistung der Kläranlage sehr gut.

Zur Verifizierung/Überprüfung der N, P und CSB/BSB Bilanzen der Kläranlage hat LimnoTec eine Messkampagne durchgeführt. Während der Messkampagne im Februar 2009 wurden im Schnitt im Vergleich zu den Betriebsdaten der Kläranlage deutlich höhere Werte von BSB_5 gemessen (siehe Kapitel 4.1.1). Der Mittelwert über 42 Messungen mengenproportional gerechnet betrug 189 mg/l BSB_5 . Im Vergleich dazu betrug anhand der Betriebsdaten die mittlere Konzentration im Zulauf zur Biologie der Kläranlage etwa 116 mg/l BSB_5 . Die BSB_5 Fracht betrug anhand der LimnoTec Daten umgerechnet auf die mittlere Bedienungen also etwa 2228 kg/d , während nach den Betriebsdaten der Kläranlage die BSB_5 Frachtbeaufschlagung der Biologie nur 1.300 kg/d BSB_5 betrug. Diese Unterschiede sind umso bemerkenswerter als es bezüglich der P, N und CSB Messungen keine bedeutenden Unterschiede gab.

Somit wird das Verhältnis $\text{N}_\text{D} / \text{BSB}_5$ nach den LimnoTec Messungen deutlich besser und beträgt 0,22. Nur damit lässt sich die tatsächlich gute Denitrifikationsleistung der Kläranlage erklären.

Für die Überprüfung welche von den beiden Messmethoden/Messergebnissen bilanztechnisch besser für die Kläranlage Bad Salzuflen passt wird die Gleichung 5-7 aus A 131 genutzt. Für die simultane und intermittierende Denitrifikation wird das erforderliche V_D / V_BB Verhältnis anhand von A 131 mit folgender Gleichung gerechnet:

$$\frac{0,75 \cdot OV_{C,BSB}}{2,9} \cdot \frac{V_\text{D}}{V_\text{BB}} = \frac{S_{\text{NO}_3, \text{D}}}{C_{\text{BSB}, \text{ZB}}}$$

$S_{\text{NO}_3, \text{D}}$ - Konzentration an zu denitrifizierendem Stickstoff [mg/l]

$C_{\text{BSB}, \text{ZB}}$ - Konzentration an BSB_5 im Zulauf des Belebungsbeckens [mg/l]

$OV_{C,BSB}$ - Spezifischer Sauerstoffverbrauch [$\text{kg O}_2 / \text{kg BSB}_5$]

V_D - für Denitrifikation genutztes Volumen des Belebungsbeckens [m^3]

V_BB - Volumen des Belebungsbeckens [m^3]

Das V_D/V_{BB} Verhältnis wurde vom Betriebspersonal der Kläranlage anhand der Online-Sauerstoffdaten abgeschätzt und beträgt ca. 0,75. Mit diesem extrem hohen Wert (nach A 131 wird maximal 0,5 empfohlen!), der schon sehr deutlich auf das sehr ungünstige N/BSB_5 Verhältnis der Kläranlage Bad Salzuflen hinweist, ergibt sich:

$$\frac{0,75 \cdot 1,26}{2,9} \cdot 0,75 = 0,24$$

Um auf ein Verhältnis von $\text{kg } S_{\text{NO}_3, \text{D}}/\text{CBSB}_{\text{ZB}} = 0,35$ zu kommen, müsste $V_D = V_{BB}$ sein. Das bedeutet, dass die Messung von BSB mithilfe manometrischer Messungen viel besser mit der Bilanzierung der Denitrifikation übereinstimmt. Im Folgenden wird die Bemessung der Kläranlage nur mithilfe der manometrischen BSB Messung durchgeführt.

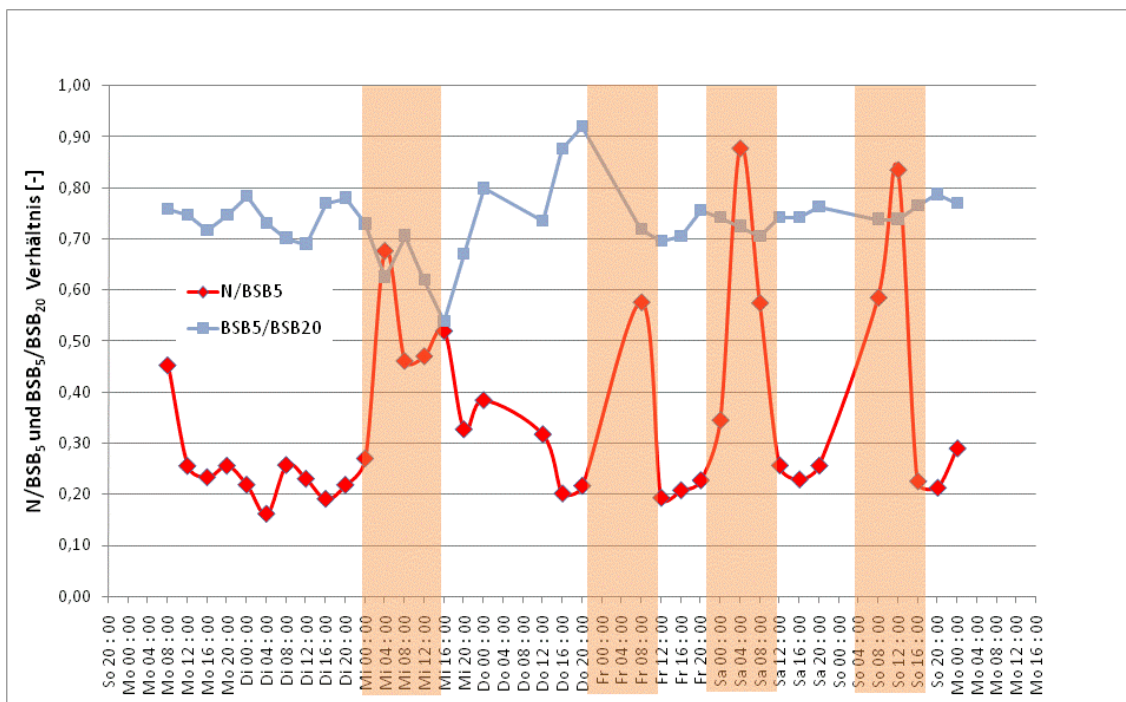


Abbildung 14 Ergebnisse der LimnoTec Messkampagne. $N_{\text{ges}}/\text{BSB}_5$ Verhältnis und $\text{BSB}_5/\text{BSB}_{20}$ Verhältnis im Zulauf des Belebungsbeckens

Abbildung 14 ist zu entnehmen, dass das $N_{\text{ges}}/\text{BSB}_5$ Verhältnis im Laufe der Woche nicht gleichmäßig ist. Insbesondere nachts sowie vormittags ist das Verhältnis sehr hoch. An Werktagen erreicht der Parameter Werte von 0,6 bis 0,7. Die höchsten Werte werden jedoch am Wochenende erreicht. Das Verhältnis erreicht den Wert von fast 0,9. Dadurch können in den Zeitperioden sehr ungünstige Verhältnisse für die Denitrifikation herrschen. Das $\text{BSB}_5/\text{BSB}_{20}$ Verhältnis beträgt im Schnitt 0,74 und bleibt relativ konstant über die ganze Woche (siehe Abbildung 14).

5.4 P-Elimination

Die Phosphorelimination betrug auf der Kläranlage Bad Salzuflen ca. 97 %. In der Vorklä- rung wird ca. 25 % des Phosphors entfernt. Die errechnete Phosphorbilanz ist in Abbildung 15 dargestellt.

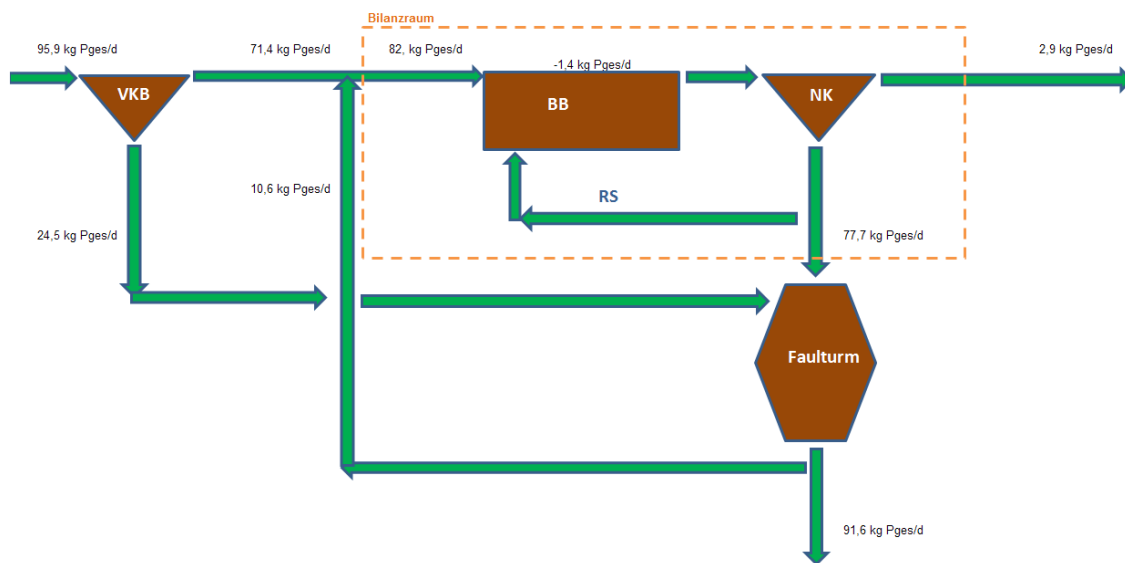


Abbildung 15 Phosphor-Bilanz der Kläranlage Bad Salzuflen für das Jahr 2008

5.5 Energieverbrauch

Ca. 47% des Stromverbrauches wird für die Belüftung verwendet.

Der spezifische Stromverbrauch für die Belüftung in den einzelnen Belebungsbecken ist in Tabelle 5 zusammenstellt. Es ist deutlich zu sehen, dass der spezifische Stromverbrauch in den Belebungsbecken 1 und 2 am höchsten ist.

Tabelle 5 Spezifischer Stromverbrauch für die Belüftung in den einzelnen Belebungsbecken der Kläranlage Bad Salzuflen

	Einheit	Belebungsbecken				
		BB1	BB2	BB3	BB3	Summe
Volumen	m ³	1900	1900	7600	7600	19000
Belüftung Strom Verbrauch	kWh / Jahr	161 635	137 921	425 592	467 949	1 193 097
	%	13,55%	11,56%	35,67%	39,22%	100,00%
Spez. Stromverbrauch für Belüftung	kWh/(Jahr m ³)	85	73	56	62	

Zur Vereinfachung der Analyse wurde angenommen, dass das Abwasser proportional zur Belebungsbeckengröße verteilt wird. Anhand des Sauerstoffverbrauches, der anhand A 131 für die Kläranlage berechnet wurde, wurde der spezifische Stromverbrauch für die Belüftung berechnet. Für die Belebungsbecken 1 und 2 beträgt der spezifische Stromverbrauch 1,59 kWh/kg O₂ und für die Belebungsbecken 3 und 4 etwa 1,18 kWh/kg O₂

6 Berechnung der Anlage nach A 131

Die detaillierten Berechnungen zusammen mit den angenommenen Werten sind im Anhang 1 zusammengestellt.

Die Gleichungen und Zusammenhänge, die für die Berechnung verwendet wurden, sind in Anhang 2 zusammengestellt

Die Überprüfung der Anlage mithilfe A 131 ergibt folgende Ergebnisse:

- Denitrifikation und das erforderliche V_D/V_{BB} Verhältnis

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,67$$

- Das erforderliche aerobe Schlammalter

$$t_{TS,aerob} = 8,7d$$

- Das erforderliche Gesamtschlammalter

$$t_{TS} = 26,4d$$

- Überschussschlammproduktion

$$\dot{V}S_d = 2486 \frac{kgTS}{d}$$

- erforderliches Volumen des Belebungsbeckens bei $TS_{BB} = 3,6 \text{ g/l}$

$$V_{BB} = 18225m^3$$

- Sauerstoffverbrauch

$$OV_d = 2585 \frac{kgO_2}{d}$$

$$OV_h = 151 \frac{kgO_2}{h}$$

Die rechnerische Analyse der Nachklärung der Kläranlage wurde im Rahmen dieser Untersuchungen nicht durchgeführt, da auf Grund des hohen Schlammindezes rein rechnerisch der betrieblich tatsächlich realisierte TS_{BB} von bis zu 3,6 g/l gar nicht möglich sein dürfte. Bei einem Schlammindeze von 170 ml/g und den vorhandenen Nachklärbeckenabmessungen sollte laut A 131 der TS_{BB} Gehalt in der Belebung < 3 g/l sein. Es wird daher empfohlen, entweder den TS_{BB} Gehalt von 3,6 g/l einzuhalten oder über andere Maßnahmen, z. B. ÜS-Selekt (siehe Kapitel 8.6), den Schlammindeze zu reduzieren.

7 Rückschlüsse für die Ausarbeitung der Optimierungsvorschläge

Die Ergebnisse der Überprüfung der Bilanzen (sowie der wichtigsten Kennwerte wie Schlammalter, Denitrifikationskapazität usw.) der Kläranlage Bad Salzuflen mithilfe A 131 stimmen mit den Bilanzen der Daten der Betriebstagebücher (mit Ausnahme der BSB_5 Werte) gut überein. Das gerechnete Schlammalter der Anlage beträgt aufgrund des niedrigen N/BSB_5 Verhältnisses, des erforderlichen aeroben Schlammalters und des erforderlichen V_D/V_{BB} Verhältnis mit einem deshalb ungewöhnlich hohen Wert von 26,4 d, also fast genauso viel wie das Ergebnis der Bilanzierung.

Bei allen vorgeschlagenen Optimierungsvorschlägen werden daher insbesondere folgende Punkte berücksichtigt:

- Ein hohes Schlammalter im Bereich der aeroben Schlammstabilisierung, der sich kontraproduktiv im Bezug auf die Betriebskosten der Anlage auswirkt (hoher Stromverbrauch für die Belüftung, reduzierte Biogasproduktion).
- Ein sehr ungünstiges N/BSB_5 Verhältnis, dass ein sehr hohes V_D/V_{BB} Verhältnis erforderlich macht.
- Zusätzliche Belastung der Biologie durch Trüb-/Filtratwasser aus der Faulung.

8 Vorstellung und Analyse der Optimierungsvarianten

8.1 Strategie1: Erhöhung von TS_{BB} auf 3,9 g/l und Reduzierung BB-Volumina

Die detaillierten Berechnungen sind im Anhang 1 zusammengestellt.

Da das erforderliche Schlammalter eingehalten werden muss, kann die Reduktion des erforderlichen Belebungsvolumens V_{BB} , ohne Änderungen der Zulauffrachten des Belebungsbeckens nur mithilfe der Erhöhung des TS_{BB} -Gehaltes erreicht werden. In dem Rechenbeispiel konnte durch die Erhöhung des TS_{BB} Gehaltes von 3,6g/l auf 3,9 g/l etwa 1400 m³ V_{BB} eingespart werden. Damit könnte auf das Belebungsbecken BB1 verzichtet werden.

Nachfolgend die Ergebnisse der Berechnung anhand A 131:

- Denitrifikation und das erforderliche V_D/V_{BB} Verhältnis

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,67$$

- Das erforderliche aerobe Schlammalter

$$t_{TS,aerob} = 8,7d$$

- Das erforderliche Gesamtschlammalter

$$t_{TS} = 26,4d$$

- Überschussschlammproduktion

$$\dot{U}S_d = 2486 \frac{kgTS}{d}$$

- erforderliches Volumen des Belebungsbeckens bei $TS_{BB} = 3,9$ g/l

$$V_{BB} = 16824m^3$$

- Sauerstoffverbrauch

$$OV_d = 2585 \frac{kgO_2}{d}$$

$$OV_h = 151 \frac{kgO_2}{h}$$

8.2 Strategie 2: Erhöhung von TS_{BB} auf 4,3 g/l und Reduzierung BB-Volumina

Die detaillierte Berechnung wurde im Anhang 1 zusammengestellt.

Da das erforderliche Schlammalter eingehalten werden muss, kann die Reduktion des erforderlichen V_{BB} , ohne Änderungen der Zulaufmengen des Belebungsbeckens nur mithilfe der Erhöhung des TS_{BB} -Gehaltes erreicht werden. In dem Rechenbeispiel konnte durch die Erhöhung des TS_{BB} Gehaltes von 3,6 g/l auf 4,3 g/l etwa 2970 m³ V_{BB} eingespart werden. Damit kann auf die Belebungsbecken BB1 und BB2 verzichtet werden.

Nachfolgend die Ergebnisse der Berechnung anhand A 131:

- Denitrifikation und das erforderliche V_D/V_{BB} Verhältnis

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,67$$

- Das erforderliche aerobe Schlammalter

$$t_{TS,aerob} = 8,7d$$

- Das erforderliche Gesamtschlammalter

$$t_{TS} = 26,4d$$

- Überschussschlammproduktion bei $TS_{BB} = 4,3$ g/l

$$\dot{U}S_d = 2486 \frac{kgTS}{d}$$

- erforderliches Volumen des Belebungsbeckens

$$V_{BB} = 15258 m^3$$

- Sauerstoffverbrauch

$$OV_d = 2585 \frac{kg O_2}{d}$$
$$OV_h = 151 \frac{kg O_2}{h}$$

8.3 Strategie 3: Reduzierung der N-Belastung des Trübwassers

Die detaillierten Berechnungen sind im Anhang 1 zusammengestellt.

Mithilfe eines innovativen Verfahrens „Schlammwäsche“ kann die N-Rückbelastung des Trübwassers wesentlich reduziert werden. Nach unseren Einschätzungen könnte die N-Fracht des Trübwassers um ca. 40 kg/d reduziert werden. Dadurch wird direkt die Menge an zu denitrifizierenden Nitratstickstoff kleiner. Infolge dessen könnte mit dieser Maßnahme 1940 m³ V_{BB} eingespart werden. Damit könnte auf das Belebungsbecken BB1 verzichtet werden.

Nachfolgend die Ergebnisse der Berechnung anhand A 131:

- Denitrifikation und das erforderliche V_D/V_{BB} Verhältnis

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,63$$

- Das erforderliche aerobe Schlammalter

$$t_{TS,aerob} = 8,7d$$

- Das erforderliche Gesamtschlammalter

$$t_{TS} = 23,6d$$

- Überschussschlammproduktion

$$\dot{V}S_d = 2486 \frac{kgTS}{d}$$

- erforderliches Volumen des Belebungsbeckens bei $TS_{BB}=3,6g/l$

$$V_{BB} = 16286 m^3$$

- Sauerstoffverbrauch

$$OV_d = 2529 \frac{kgO_2}{d}$$

$$OV_h = 145 \frac{kgO_2}{h}$$

8.4 Strategie 4: Reduzierung der N-Belastung des Trübwassers und die Erhöhung des TS_{BB} -Gehaltes im Belebungsbecken

Die detaillierten Berechnungen sind im Anhang 1 zusammengestellt.

In diesem Fall werden zwei zuvor besprochene Optimierungsstrategien kombiniert. Durch die Reduzierung der N-Fracht im Trübwasser um ca. 40 kg/d (das Verfahren zur N Reduzierung - siehe Kapitel 8.3) und die Erhöhung des TS_{BB} -Gehaltes im Belebungsbecken von 3,6 auf 3,9 g/l kann ca. 3192 m³ V_{BB} eingespart werden. Damit kann auf die Belebungsbecken BB1 und BB2 verzichtet werden.

Nachfolgend die Ergebnisse der Berechnung anhand A 131:

- Denitrifikation und das erforderliche V_D/V_{BB} Verhältnis

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,63$$

- Das erforderliche aerobe Schlammalter

$$t_{TS,aerob} = 8,7d$$

- Das erforderliche Gesamtschlammalter

$$t_{TS} = 23,6d$$

- Überschussschlammproduktion

$$\dot{U}S_d = 2486 \frac{kgTS}{d}$$

- erforderliches Volumen des Belebungsbeckens beim $TS_{BB} = 3,9 \text{ g/l}$

$$V_{BB} = 15033m^3$$

- Sauerstoffverbrauch

$$OV_d = 2529 \frac{kgO_2}{d}$$

$$OV_h = 145 \frac{kgO_2}{h}$$

Bei der Strategie kann die N-Belastung des Prozesswassers durch den Einsatz einer neuartigen Technologie „Schlammwaschverfahren“, die von LimnoTec entwickelt worden ist, deutlich reduziert werden.

8.5 Strategie 5: Erhöhung der BSB₅ Fracht im Zulauf zur Belebung

Die detaillierten Berechnungen sind im Anhang 1 zusammengestellt.

In Moment wird etwa 50% der Gesamt BSB₅ –Zulauf fracht in der Vorklärung der Anlage entnommen. Die Reduzierung der Aufenthaltszeit in der Vorklärung oder eine Bypassleitung des Zulaufes kann zur Erhöhung der BSB₅-Fracht im Zulauf der Biologie führen. In dem Rechenbeispiel wurde angenommen, dass die Reduktion in der Vorklärung keine 50% sondern nur 25% beträgt. Durch ein besseres N/BSB₅ Verhältnis kann das Schlammalter deutlich reduziert werden. Zusätzlich ist es möglich, den TS_{BB} -Gehaltes im Belebungsbecken von 3,6 auf 3,2 g/l zu reduzieren. Dabei kann etwa 3232 m³ V_{BB} eingespart werden. Damit kann auf die Belebungsbecken BB1 und BB2 verzichtet werden.

Hiermit die Ergebnisse der Berechnung anhand A 131:

- Denitrifikation und das erforderliche V_D/V_{BB} Verhältnis

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,50$$

- Das erforderliche aerobe Schlammalter

$$t_{TS,aerob} = 8,7d$$

- Das erforderliche Gesamtschlammalter

$$t_{TS} = 17,4d$$

- Überschussschlammproduktion

$$\dot{U}S_d = 2994 \frac{kgTS}{d}$$

- erforderliches Volumen des Belebungsbeckens

$$V_{BB} = 14348m^3$$

- Sauerstoffverbrauch

$$OV_d = 3901 \frac{kgO_2}{d}$$

$$OV_h = 206 \frac{kgO_2}{h}$$

8.6 ÜS-Selekt / Schlammspiegelmessung– begleitende Maßnahmen

Durch den Einsatz des ÜS-Selekt-Verfahrens soll der Schlammindex der Kläranlage verbessert werden. Dabei werden die Schlammfraktionen mit einem schlechten Schlammindex abgezogen. Das Prinzip des Verfahrens kann Abbildung 16 entnommen werden.

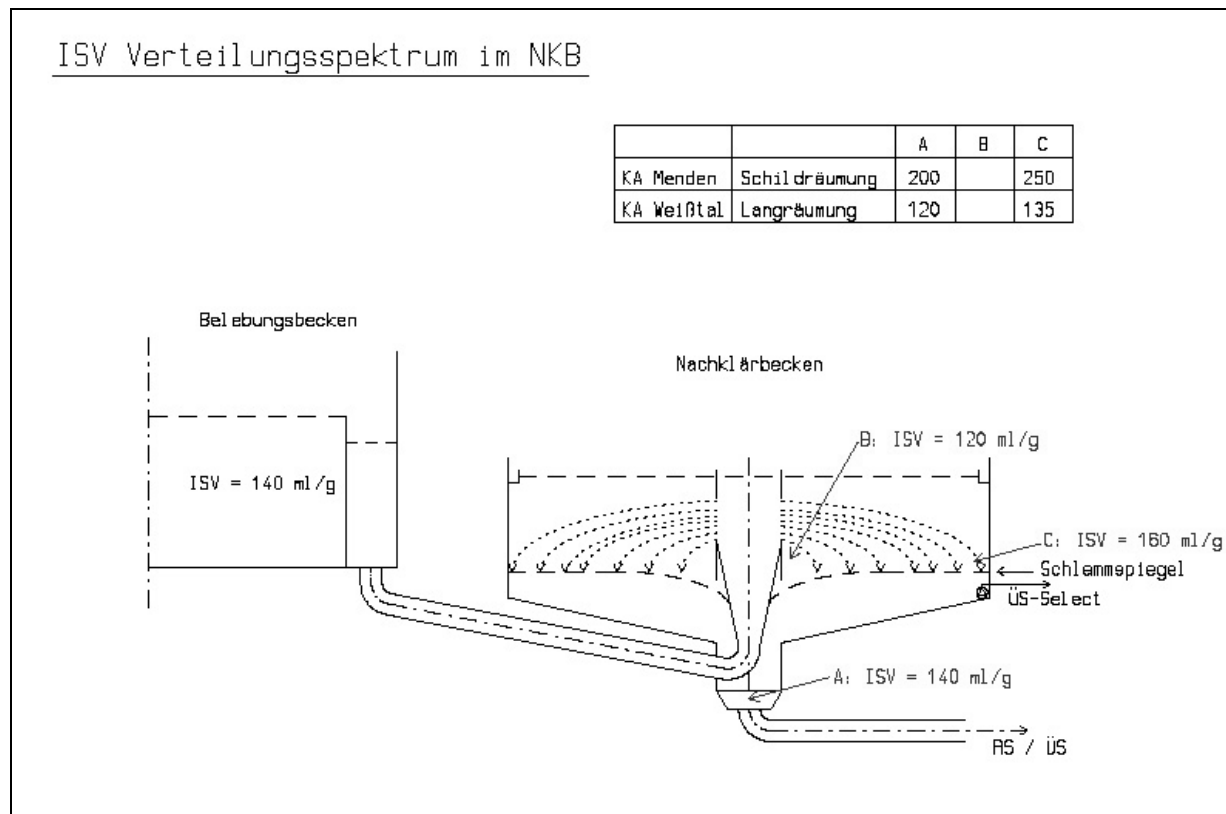


Abbildung 16 Prinzip des ÜS-Selekt-Verfahrens.

Um einen annähernd konstant hohen Schlammpegel (nur gerade so hoch, dass an der Beckenperipherie der ÜS-Selekt-Schlamm auch abgezogen werden kann, und nicht wie bisher überwiegend Wasser!) in der Nachklärung zu erreichen, wird die Rücklaufschlammmenge über den Schlammpegel gesteuert.

Mithilfe der kombinierten Maßnahmen sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Verbesserung des Schlammindex der Kläranlage

- Höherer TS_{RS} -Gehalt im Rücklaufschlamm der Anlage (aktuell ist der TS_{RS} oft nicht nennenswert höher als der TS_{BB} , eine Folge der extrem hohen RS-Menge, die betrieben wird, damit insbesondere bei Regenbeginn möglichst wenig Belebtschlamm in den Nachklärbecken vorhanden ist) → Vermeidung des Schlammabtriebs aus der Nachklärung bei Regenwetter.
- Mit Hilfe der neuen Schlamm Spiegelregelung wird der TS_{RS} mit Sicherheit steigen und die Rücklaufschlammföhrderung deutlich reduziert werden können. Genau diese Strategie ist auf den Kläranlagen Odense (Schlammindex über 200 ml/g) und Aarhus in Dänemark seit einigen Jahren laut Betreiberangaben mit großem Erfolg in Betrieb (Das Hauptmotiv dieser beiden Betreiber war eine vergleichmäßigte Ausnutzung aller Nachklärbecken, da die Zuflüsse in die Nachklärbecken insbesondere bei stark schwankenden Zuflüssen nicht genau geregelt werden kann). Gemäß Betreiberangaben überwiegt der TS_{RS} Anstieg bei weitem die Reduktion der Rücklaufschlammföhrderung, so dass der TS_{BB} deutlich erhöht werden konnte (und kein neues Belebungs- und/oder Nachklärbeckenvolumen errichtet werden musste).

9 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Berechnungen der Stromverbräuche für alle Optimierungsvarianten sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Dabei wurden auch die Einsparungen und Verluste monetär eingeschätzt. Für die Rechnung wurde ein Preis von 0,08 €/kWh angenommen.

Tabelle 6 Zusammenstellung der voraussichtlichen Energieverbräuche, Energie bei einzelnen Optimierungsstrategien

	Ist-Stand	Strategie	Strategie	Strategie	Strategie	Strategie
		1	2	3	4	5
Einheit	kWh/d	kWh/d	kWh/d	kWh/d	kWh/d	kWh/d
Energieverbrauch	3268	3168	3050	3100	2985	4604
Differenz		3,06%	6,66%	5,14%	8,66%	-40,87%
Einsparung/Verlust		2832 €/a	5933 €/a	4653 €/a	7551 €/a	-54934 €/a

Es ist deutlich zu sehen, dass der Einsatz einer optimalen Strategie zur Reduktion des Energieverbrauches für die Belüftung führen kann. Dies geschieht zum einen durch den Entfall der uneffizienten Belüftung in den Belebungsbecken 1 und 2 und zum anderen durch eine Reduktion der N Belastung aus dem Trüb-/Filtratwasser. Die Ergebnisse der Strategie 5 zeigen, dass eine Erhöhung des BSB₅Fracht im Zulauf nach der Vorklärung zur Erhöhung des Stromverbrauches führt. Ein Einsatz der Strategie 5 führt zusätzlich zur Minderung der Klärgasproduktion der Anlage, da weniger Primärschlamm zur Verfügung steht.

In Bezug auf die Problematik der Nachklärung (siehe Kapitel 6) wird empfohlen auf die Erhöhung des TS-Gehaltes zu verzichten. Es bietet sich also der Einsatz von Strategie 3 und 4 an.

10 Fazit und Ausblick

Die Nachbesserungen der Kläranlage wurden bei Annahme der Temperatur in Höhe von 9,25 °C (ermittelt als 2 Wochenmittelwert vom Betriebsdaten der Kläranlage) durchgeführt. Dass bei höheren Temperaturen weniger Belebungsvolumen erforderlich ist, gilt für alle deutschen Kläranlagen. Trotzdem wird im Sommer nahezu nie Volumen außer Betrieb genommen, da der Aufwand in keinem Verhältnis zum Nutzen steht. Daher wurde diese Variante für die KA Bad Salzuflen auch nicht betrachtet.

Dass das vorhandene Volumen im Winter tatsächlich nicht weit von der erforderlichen Grenze entfernt ist, wird durch die Tatsache deutlich, dass im Winter keine ganz so gute Denitrifikation erreicht werden kann wie im Sommer (es wird schlicht mehr Volumen für die Nitrifikation benötigt).

Weitergehende Maßnahmen wie die Stickstoffentfernung aus dem Trüb-/Filtratwasser mittels Strippverfahren, einer Struvitfällung (durch sehr hohe P und Mg Zugaben) oder externe separate Trübwasserbiologien konventionell (z. B. SBR mit C-Quellen Zugabe) und speziell (wie Anammox) wurden nicht untersucht, da solche Verfahren üblicherweise nur zur Ausführung kommen, wenn vorhandene Anlagen über unzureichende BSB_5 Frachten bzw. unzureichende Beckenvolumina verfügen. Genau das ist in Bad Salzuflen nicht der Fall.

In Bad Salzuflen liegt die spezielle Situation vor, dass zwar rein rechnerisch eine deutlich zu geringe BSB_5 Fracht im Zulauf zur Biologie vorliegt zur Gewährleistung einer weitgehenden Denitrifikation, andererseits aber so viel Belebungsvolumenreserve vorliegt, dass mittels einer weit über das Normalmaß hinausgehenden Erhöhung des V_D Anteils (und somit einer erforderlichen Nutzung des ganzen Belebungsvolumens!) trotzdem eine sehr gute Denitrifikationsrate erreicht wird. Das Erfordernis der Nutzung des gesamten Belebungsvolumens ergibt sich zudem durch den betrieblich sehr hohen Schlammindex, der einen betrieblich nur begrenzten TS_{BB} zulässt.

Die beiden Hauptprobleme sind daher das hohe erforderliche Schlammalter (auf Grund des erforderlich hohen V_D/V_{BB} Verhältnisses) sowie der hohe Schlammindex.

Wir erwarten, dass mit der neuen Schlamm Spiegelregelung der Rücklaufschlammföderung der TS_{RS} so weit gesteigert wird, dass ein betrieblich signifikant höherer TS_{BB} erreicht werden kann, ohne Gefahren hinsichtlich Schlammabtrieb.

Des Weiteren erhoffen wir, dass mit dieser neuen Regelung eine effektive ÜS-Selekt Strategie realisiert werden kann, die zu einer signifikanten Senkung des Schlammindexes führen wird. Auch das kann zu einer weiteren Erhöhung des TS_{BB} genutzt werden.

Mit beiden Maßnahmen kann das erforderliche Belebungsvolumen reduziert werden. Wir empfehlen den TS_{BB} jedoch nur sehr langsam und schrittweise zu erhöhen, wenn sich die obigen positiven Effekte einstellen.

Letztlich empfehlen wir die Prüfung der Realisierung des Schlammwasch-Verfahrens, um einen Teil der N-Fracht aus dem Trüb-/Filtratwasser zu eliminieren. Damit ließe sich ein bedeutender V_D Volumenanteil einsparen.

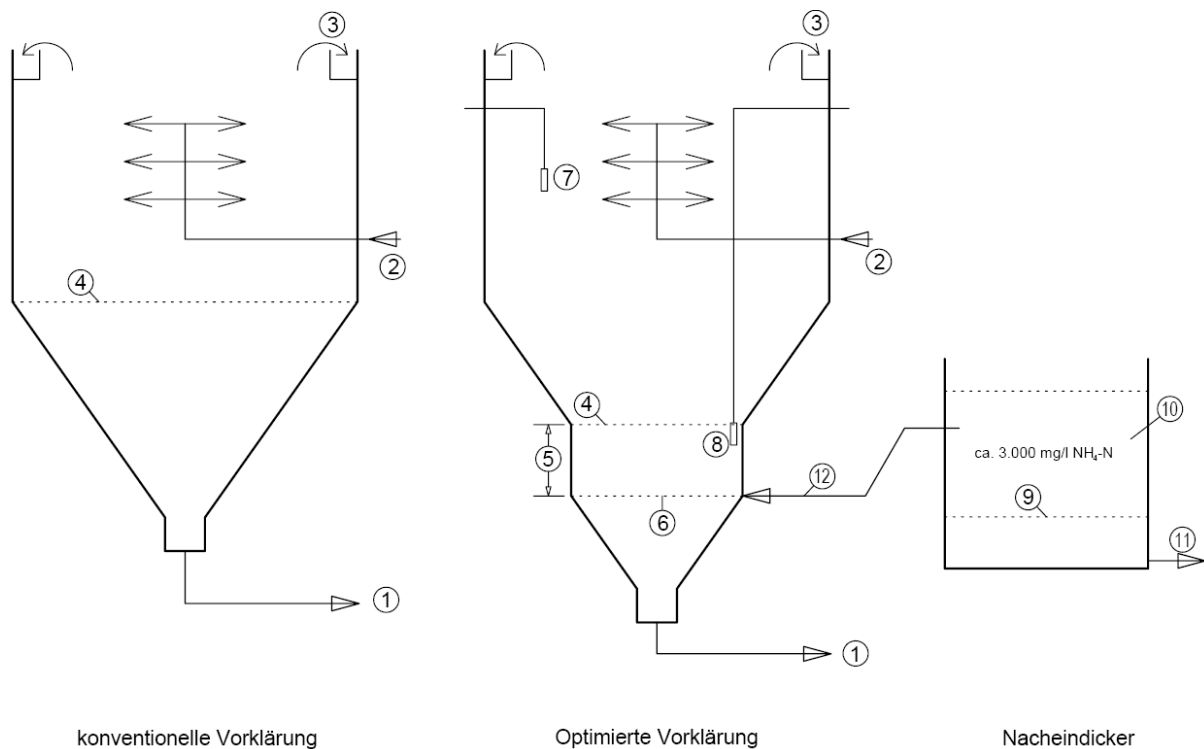


Abbildung 17 Funktionsprinzip des Schlammwasch-Verfahrens

11 Literatur

1. **ATV-DVWK-A 131 (2000)** *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*, DWA, ISBN: 978-3-933707-41-3
2. **Haberkern B., Maier W., Schneider U. (2008)** Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Umweltbundesamt, ISSN 1862-4804
3. **Imhoff K., Imhoff K.R. (2007)** *Taschenbuch der Stadtentwässerung*, ISBN 978-3-8356-3094-9 | Oldenbourg Industrieverlag
4. **Spanjers. Spanjers, H. und Vanrolleghem, P. (1995)** *Respirometry as a tool for rapid characterization of wastewater and activated sludge*. Water Science and Technology, Vol. 31(2), S.105-114, IWA Publishing, London