



Kläranlage Höxter Optimierung Stickstoffeliminierung in der biologischen Stufe

Studie
Juni 2014 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 1299 001



The background of the page features a faint, light grey architectural drawing of two circular clarifiers. The drawing shows the circular structure with various internal components, including a central column and radial supports. The drawing is partially obscured by the text and other elements on the page.

Kläranlage Höxter Optimierung Stickstoffeliminierung in der biologischen Stufe

Studie
Juni 2014 | 1. Ausfertigung
Projektnummer 1299 001

Bearbeitet durch:
Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf
Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Aufgestellt:
Bochum, im Juni 2014
bie-ka-ko

Dipl.-Ing. Stefan Koenen
(geschäftsführender Gesellschafter)

Auftraggeber

Stadtentwässerung Höxter GmbH
Corveyer Allee 21
37671 Höxter

Telefon: 05271 69996-0
Telefax: 05271 6907-13

Ansprechpartner des Auftraggebers

Herr Uwe Dierkes

Telefon: 05271 69996-60
dierkes@seh-hoexter.de

Frau Dipl.-Biol. Ingrid Gerard
(Gelsenwasser AG)

Telefon: 0209 708-1971
ingrid.gerard@gelsenwasser.de

Bearbeitung der Studie durch

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH
Universitätsstraße 74
44789 Bochum

Telefon: 0234 33305-0
Telefax: 0234 33305-11
info@tum-bochum.de

Herr Dr.-Ing. Jan Mauriz Kaub

Telefon: 0234 33305-36
jm.kaub@tum-bochum.de

Herr Dipl.-Ing. Norbert Biebersdorf

Telefon: 0234 33305-54
n.biebersdorf@tum-bochum.de

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Zugrunde liegende Unterlagen	1
3	Verfahrenstechnische Grundlagen	2
3.1	Reinigungsanforderungen.....	2
3.2	Belastungsdaten	2
3.2.1	Hydraulische Belastung	2
3.2.2	Frachtberechnung	3
3.2.2.1	Allgemein	3
3.2.2.2	Zulauf Biologie	3
3.2.2.3	Rückbelastung aus Schlammbehandlung.....	6
3.2.2.4	Fracht Zulauf Kläranlage mit Rückbelastung Schlammbehandlung	7
3.2.3	Abwassertemperatur	7
3.2.4	Schlammindex und Trockensubstanzgehalt	8
3.2.5	Schwankungsfaktor.....	8
3.2.6	Säurekapazität	9
3.2.7	Wirkung Vorklärung.....	9
4	Nachbemessung biologische Stufe	9
4.1	Belebung	9
4.1.1	Allgemein	9
4.1.2	Eingabedaten	10
4.1.3	Bemessungsergebnisse.....	10
4.1.3.1	Denitrifikation bei 12 °C und bestehender Vorklärung	10
4.1.3.2	Denitrifikation bei 12 °C und verkleinerter Vorklärung	11
4.1.3.3	Nitrifikation bei niedrigster Abwassertemperatur.....	11
4.2	Nachklärung	14
4.2.1	Allgemein	14
4.2.2	Eingabedaten	14
4.2.3	Berechnungsergebnisse	15
5	Maßnahmen	16
5.1	Allgemein	16
5.2	Vorklärung.....	16
5.2.1	Umfahrung/Verkleinerung Vorklärung.....	16
5.3	Belebung	16
5.3.1	Anpassung Belüftungssteuerung	16
5.3.2	Dosierung C-Quelle.....	17
5.3.3	Überprüfung Verfahrenstechnik	17
5.3.4	Erweiterung Belebungsbecken	18

5.3.5	Dosierung Alkalie bei reinem Nitrifikationsbetrieb.....	18
5.3.6	Optimierung Betrieb BABE-Anlage und Belebung.....	19
5.4	Nachklärung.....	19
5.4.1	Optimierung Nachklärung II.....	19
5.4.2	Reduzierung Q_M der Kläranlage.....	19
5.4.3	Neubau Nachklärung III.....	20
5.4.4	Neubau Filtrationsstufe.....	20
6	Empfehlung und Zusammenfassung.....	21
	Literaturverzeichnis.....	23

Bildverzeichnis

Bild 1:	Volumenstrom Ablauf KA Höxter (12/2010 bis 12/2013).....	3
Bild 2:	Tageszulauffrachten des Parameters CSB.....	4
Bild 3:	Tageszulauffrachten des Parameters TKN.....	5
Bild 4:	Verhältnismerte C_{TKN}/C_{CSB}	5
Bild 5:	Verhältnismerte C_{TKN}/C_{CSB}	8
Bild 6:	Varianteuntersuchung Nitrifikation: Benötigtes Belebungsvo-lumen und Schlammalter bei verschiedenen Temperaturen.....	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Frachtberechnung Zulauf Biologie aus den Betriebstagebüchern 2010 – 2013.....	4
Tabelle 2:	Frachtberechnung Zulauf Kläranlage (Rückrechnung) (Annahme Aufenthaltszeit VK: 1,5...2,0 h).....	6
Tabelle 3:	Frachtberechnung Rückbelastung aus Kläranlage (Rückrechnung) (Annahme Aufenthaltszeit VK: 1,5...2,0 h).....	6
Tabelle 4:	Frachtberechnung Zulauf Kläranlage mit Rückbelastung Prozesswasser.....	7
Tabelle 5:	Nachbemessung Belebung bei Bemessungstemperatur.....	10
Tabelle 6:	Nachbemessung Belebung (Nitrifikation) bei 6,4 °C.....	12
Tabelle 7:	Konstruktive Daten Nachklärung I.....	14
Tabelle 8:	Konstruktive Daten Nachklärung II.....	15
Tabelle 9:	Ergebnisse Nachweis Nachklärung I und II.....	15
Tabelle 10:	Prioritätenliste Maßnahmen.....	22

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Ergebnisprotokoll Design2Treat, Version 5.17, (HSG-Ansatz) ÜW NH₄-N = 5 mg/l Bemessungslastfall Denitrifikation 12 °C; RV = 0,75; TS_{BB} = 2,49 g/l
- Anlage 2: Ergebnisprotokoll Design2Treat, Version 5.17, (HSG-Ansatz) Bemessungslastfall Nitrifikation 6,4 °C; RV = 0,75; TS_{BB} = 2,49 g/l
- Anlage 3: Berechnung Nachklärung I
- Anlage 4: Berechnung Nachklärung II

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Stadtentwässerung Höxter betreibt die Kläranlage mit einer momentanen Ausbaugröße von rund 30.000 EW.

Nach dem Zulaufhebewerk gliedert sich die mechanische Reinigungsstufe in den Rechen, den belüfteten Sandfang und die Vorklärung. Anschließend wird der Abwasserstrom auf die zweistraßige biologische Stufe geleitet. Der Ablauf beider Straßen wird über die Ablauf- und Mengenmessung in den nachgeschalteten Schönungsteich geführt. Vorfluter der Anlage ist die Weser. Die Anlage wurde ursprünglich zweistufig geplant. Seit dem Änderungsentwurf vom Mai 1994 wird sie als zweistraßige Anlage betrieben. Im Jahr 2007 wurde für die anfallenden stickstoffreichen Wässer aus der Schlammwässerung der anaeroben Schlammstabilisierung eine Prozesswasserbehandlung errichtet.

In den Wintermonaten zeigen sich erhöhte Ammoniumkonzentrationen von 20 bis 40 mg/l im Anlagenablauf. Die Gelsenwasser AG hat zu diesem Fall eine Simulationsstudie erstellt, um die Thematik gezielt untersuchen und mögliche Abhilfemaßnahmen darstellen und bewerten zu können.

Die TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH wurde von der Stadtentwässerung Höxter beauftragt, im Rahmen der Beauftragung zur Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Umsetzung der 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen durch eine erweiterte Betrachtung die Problematik der erhöhten Ammoniumkonzentrationen zu untersuchen und entsprechende Lösungsansätze zu erarbeiten.

2 Zugrunde liegende Unterlagen

Die Grundlage der vorliegenden Planung bilden im Wesentlichen die folgenden Unterlagen:

- [1] Zentralkläranlage Höxter – Entwurf zur kurzfristigen Erweiterung, 05/1994, Stadt Höxter,
- [2] Auszug aus der Dienst- und Betriebsanweisung der Zentralkläranlage Höxter, undatiert, Stadtentwässerung Höxter,
- [3] Erlaubnisbescheid zur Einleitung von Abwasser aus der Zentralkläranlage Höxter in die Weser vom 26.07.2007, Bezirksregierung Detmold, Aktenzeichen: 54.1-83.10.HX.540030/004,
- [4] 2. Änderungsbescheid zum Erlaubnisbescheid vom 26.07.2007 – Aktenzeichen: 54.1-83.10.HX.540030/004 vom 31.01.2013, Bezirksregierung Detmold, Aktenzeichen: 54.01.02.62-HX.540030/004
- [5] Projektdatenblatt zur Umrüstung der Ablaufmessung auf der Kläranlage Höxter, 02/2009, Axel Zangenberg GmbH & Co.KG,
- [6] Dokumentation Simulationsstudie, 09/2013, Gelsenwasser AG,
- [7] Unterlagen zur Präsentation „Ergebnis ZAK^{EN} SE Höxter“ vom 21.11.2013, Gelsenwasser AG,
- [8] Lageplan Kläranlage Höxter, 05/2007, Stadt Höxter,

- [9] Bauwerkszeichnungen der Belebungs- und Nachklärbecken,
- [10] Katasterplan Kläranlage Höxter, 11/2013, Stadt Höxter,
- [11] 15-min-Werte der Ablaufmessung KA Höxter von 2010 bis 2013,
- [12] Auszug aus den Betriebstagebüchern der KA Höxter von 2010 bis 2013,
- [13] Machbarkeitsstudie zur Umsetzung der 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen auf der Kläranlage Höxter; TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, 2014.

3 Verfahrenstechnische Grundlagen

3.1 Reinigungsanforderungen

Zurzeit sind folgende Überwachungswerte nach dem Erlaubnisbescheid der Bezirksregierung Detmold vom 26.07.2007 einzuhalten [3, 4]:

Parameter	Konzentration [mg/l]
CSB	50
BSB ₅	15
N _{ges,anorg} *	18
NH ₄ -N*	5
P _{ges}	2

Die mit * gekennzeichneten Stickstoffparameter gelten bei einer Abwassertemperatur von 12 °C und größer im Anlagenablauf.

3.2 Belastungsdaten

3.2.1 Hydraulische Belastung

Die Bemessungswerte der Kläranlage Höxter nach dem Entwurf aus dem Jahr 1994 sind im Folgenden aufgeführt [3, 4]:

Trockenwetterzufluss	Q _{T,2h,max}	=	734 m ³ /h	≈	204 l/s
Mischwasserabfluss	Q _M	=	1.244 m ³ /h	≈	346 l/s

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie zur 4. Reinigungsstufe wurde die hydraulische Belastung der Kläranlage Höxter genauer untersucht [13]. Die in diesem Zusammenhang gewonnenen Daten werden hier nachfolgend nochmals wiedergegeben und im Hinblick auf die Belebung bewertet.

Bild 1 stellt die Ganglinie der Abwassermengen im Ablauf der Anlage (MID-Messung) als Stundenwerte für den Zeitraum Dezember 2010 bis Dezember 2013 dar. Die Stundenwerte wurden aus den bereitgestellten 15-min-Werten gebildet. Die mittlere Ablaufmenge beträgt 181 m³/h. Maximal wurden

1.784 m³/h im Betrachtungszeitraum abgeleitet. An 42 Stunden im Betrachtungszeitraum (12.12.2010, 01:00 Uhr – 12.12.2013, 00:00 Uhr = 26.304 h mit Messwerten) lag die Abflussmenge oberhalb von 900 m³/h. Dies sind 0,16 % bezogen auf den Gesamtzeitraum.

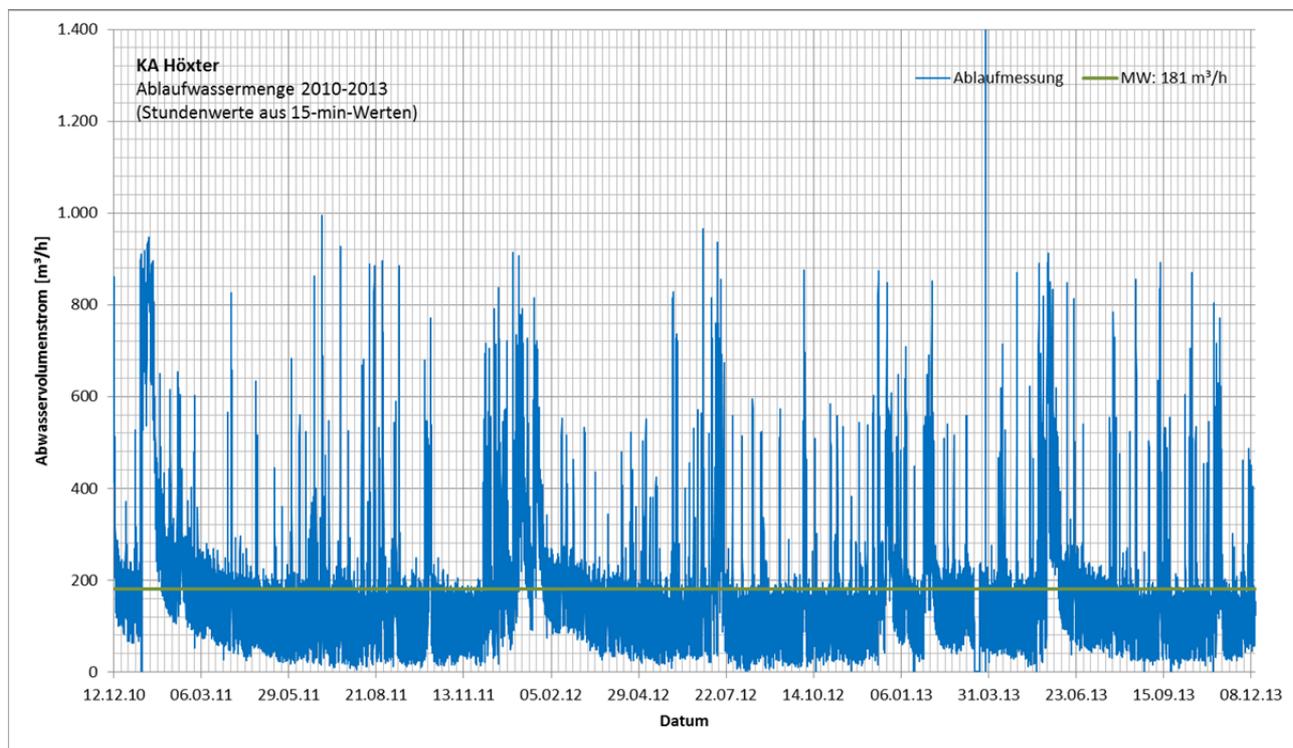


Bild 1: Volumenstrom Ablauf KA Höxter (12/2010 bis 12/2013)

3.2.2 Frachtberechnung

3.2.2.1 Allgemein

Basierend auf der Auswertung der Betriebstagebücher der Jahre Januar 2010 bis Dezember 2013 wurden folgende Belastungswerte ermittelt. Da nicht für alle benötigten Parameter Messwerte vorlagen, mussten diese anhand von einwohnerspezifischen Frachten berechnet werden. Das jeweilige Vorgehen ist in den Tabellen jeweils dargestellt.

Die Tageswassermenge $Q_{d,Konz}$ wurde aus dem Mittelwert der Zulaufmengen an Trockenwettertagen bei einer Abwassertemperatur um 12,0 °C (Bemessungstemperatur) gebildet. Insgesamt gingen über den Betrachtungszeitraum 39 Werte, die die beschriebenen Anforderungen erfüllten, in die Auswertung ein.

3.2.2.2 Zulauf Biologie

Für CSB, TKN sowie P_{ges} lagen für den beschriebenen Zeitraum zeitproportionale 24-Stunden-Mischproben des Zulaufes zur Belebung (Ablauf Vorklärung) vor. Darin war nicht die Rückbelastung der Anlage durch Prozessabwasser aus der Schlammmentwässerung enthalten. Für die ersten drei Parameter lagen insgesamt jeweils 402 Analysen vor. Aus den jeweiligen Konzentrationen wurden mit den zugehörigen Tageswassermengen die Tagesfrachten berechnet.

Tabelle 1: Frachtberechnung Zulauf Biologie aus den Betriebstagebüchern 2010 – 2013

	Wert	Bemerkung	EW berechnet [EW]	Frachten/E A 131 (2000) [g/(E·d)]
Zufluss				
Q _d (Q _{d,Konz}) [m ³ /d]	3.357	Trockenwetterablauf bei Bemessungstemperatur: 12,0 °C (±0,5 °C); Mittelwert		
Frachten				
B _{d,C_BSB} [kg/d]	757	Berechnung über einwohnerspez. Fracht aus Bd,CSB	18.918	40
B _{d,C_CSB} [kg/d]	1.513	85%-Perzentil	18.918	80
B _{d,x_TS} [kg/d]	473	Berechnung über einwohnerspez. Fracht aus Bd,CSB	18.918	25
B _{d,S_TKN} [kg/d]	254	85%-Perzentil, da hohe Probendichte	25.433	10
B _{d,S_NH4} [kg/d]	203	Berechnung über einwohnerspez. Fracht aus Bd,TKN; Annahme 8 g/(E·d)	25.433	8
B _{d,C_P} [kg/d]	39	85%-Perzentil, da hohe Probendichte	24.680	1,6

Messwerte bzw. direkt aus Messwerten berechnete Werte

Berechnung über Verhältnisse

Berechnung über einwohnerspezifische Frachten

Im **Bild 2** ist die Entwicklung der CSB-Zulauf fracht (Zulauf Belebungsleistung) zur Kläranlage Höxter vom 01.01.2009 bis 31.12.2013 dargestellt. Insgesamt ist die Entwicklung relativ konstant, wenn auch Tage mit der zwei- bis dreifachen Zulauf fracht auftreten. Im Jahr 2013 ist ein verstärktes Auftreten von Tagen mit deutlich erhöhten Frachten festzustellen. Die eingezeichnete Ausgleichsgerade weist eine leichte Zunahme der Belastung aus. Das für die weitere Bemessung maßgebliche 85%-Perzentil liegt bei 1.513 kg CSB/d.

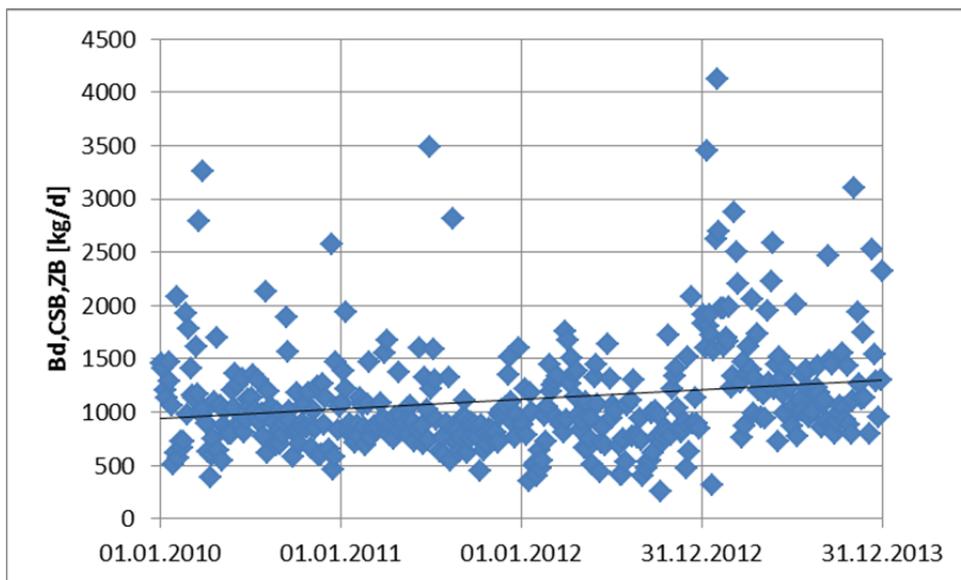
**Bild 2: Tageszulauf frachten des Parameters CSB**

Bild 3 zeigt den Verlauf der TKN-Zulauf fracht (Zulauf Belebungsleistung) zur Kläranlage Höxter über den Betrachtungszeitraum. Die Entwicklung ist qualitativ mit der der CSB-Frachten vergleichbar, jedoch ist ein sehr leichtes Absinken der TKN-Frachten erkennbar, wie die Ausgleichsgerade zeigt. Das für die weitere Bemessung maßgebliche 85%-Perzentil liegt bei 254 kg TKN/d.

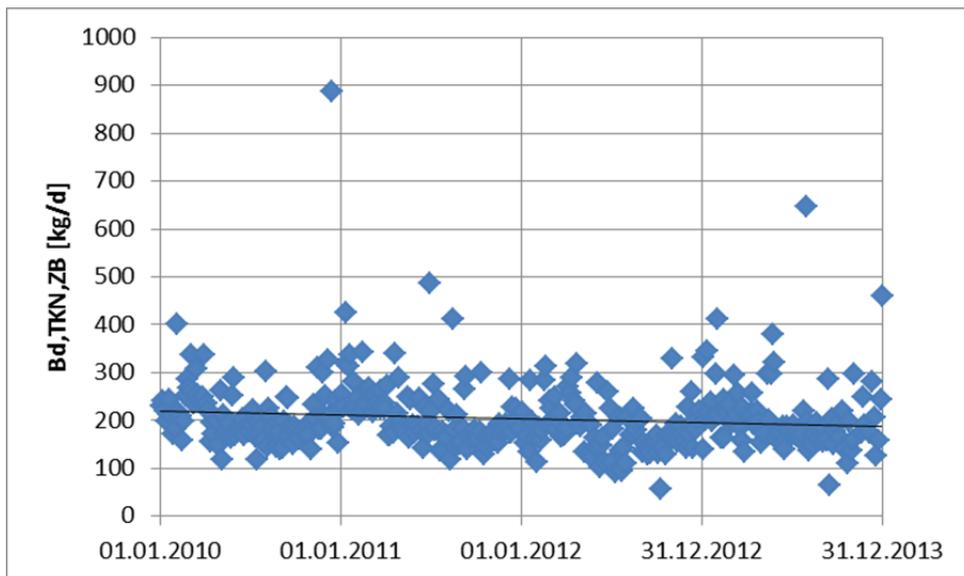


Bild 3: Tageszulaufmengen des Parameters TKN

Im **Bild 4** ist das Verhältnis zwischen der Stickstoffkonzentration (TKN) zum verfügbaren Kohlenstoff (hier repräsentiert über den CSB) dargestellt. Setzt man die im Arbeitsblatt A 131 hinterlegten einwohnerspezifischen Frachten (nach einer Aufenthaltszeit von mehr als 1,5 h in der Vorklärung) ins Verhältnis, ergibt sich ein Wert von 0,125, der im Diagramm als gepunktete Linie dargestellt ist. Die Werte zeigen, dass die Stickstoffbelastung im Verhältnis zum Kohlenstoff deutlich größer ist und über dem Wert aus dem Arbeitsblatt liegt. Die Ausgleichsgerade deutet darauf hin, dass sich der Quotient dem theoretischen Wert annähert. Der Mittelwert über den Betrachtungszeitraum liegt bei 0,2. Das C/N-Verhältnis des Abwassers ist insgesamt als ungünstig zu bezeichnen. Zu berücksichtigen ist noch die zusätzliche Rückbelastung mit stark stickstoffhaltigen Wässern aus der Schlammbehandlung.

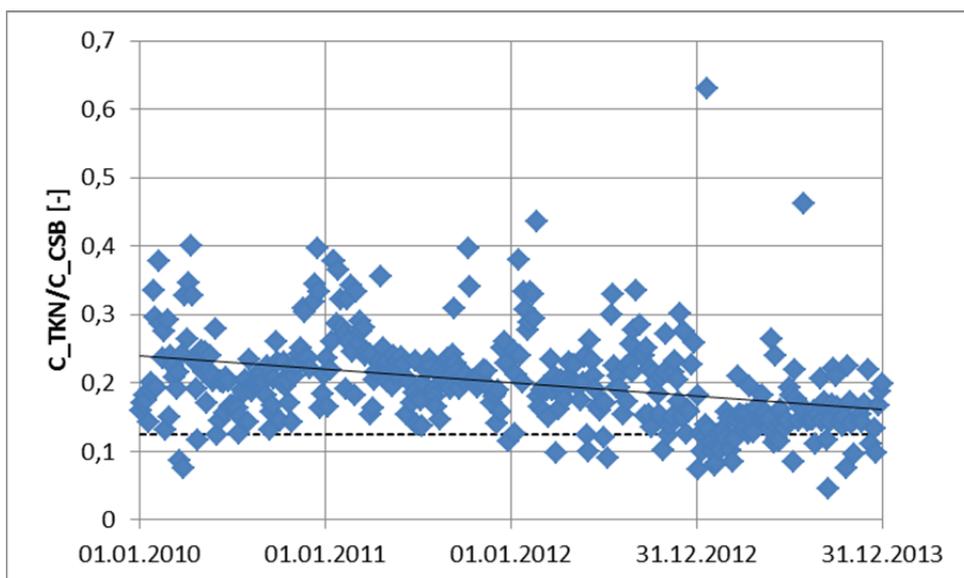


Bild 4: Verhältniswerte C_{TKN}/C_{CSB}

Wie schon beschreiben, wurden die hier ausgewerteten Mischproben im dem Zulauf zur Belebung, also nach der Vorklärung, genommen. Um den Einfluss der Vorklärung auf die Belebung in der Nachberechnung beeinflussen zu können, wurden diese Werte auf den Zulauf der Kläranlage zurückgerechnet. Dazu wurde eine Aufenthaltszeit in der Vorklärung von oberhalb 1,5 h angesetzt. Die Rückrechnung wurde basierend auf den einwohnerspezifischen Frachten durchgeführt, die im Arbeitsblatt A 131 genannt wurden. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse sowie die Faktoren, mit denen die Zulauffrachten zur Belebung multipliziert wurden, aufgeführt.

Tabelle 2: Frachtberechnung Zulauf Kläranlage (Rückrechnung)
(Annahme Aufenthaltszeit VK: 1,5...2,0 h)

	Wert	Bemerkung	EW berechnet [EW]	Frachten/E A 131 (2000) [g/(E·d)]	Faktor Rückrechnung VK mit t _A > 1,5 h
Zufluss					
Q _d (Q _{T,d,am})	[m³/d]	3.357	Trockenwertablauf bei Bemessungstemperatur: 12,0 °C (±0,5 °C); Mittelwert		
Frachten					
B _{d,C_BSB}	[kg/d]	1.135	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	18.918	60
B _{d,C_CSB}	[kg/d]	2.270	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	18.918	120
B _{d,x_TS}	[kg/d]	1.324	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	18.918	70
B _{d,C_TKN}	[kg/d]	280	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	25.433	11
B _{d,S_NH4}	[kg/d]	203	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	25.433	8
B _{d,C_P}	[kg/d]	44	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	24.680	1,8

Messwerte bzw. direkt aus Messwerten berechnete Werte
Rückrechnung aus Frachten Zulauf Belebung

3.2.2.3 Rückbelastung aus Schlammbehandlung

Die anfallenden Prozesswässer aus der Schlammmentwässerung werden vor Einleitung in den Hauptstrom der Anlage in der SBR-Anlage, die nach dem BABE-Prozess arbeitet, vorbehandelt.

Basierend auf der Betriebsanalytik für die Prozesswasserbehandlungsanlage für den Zeitraum vom 16.05.2011 bis 11.02.2014 wurden die Ablauffrachten der Anlage berechnet. Für die Rückbelastung wurden die Mittelwerte der vorliegenden Ablauffrachten der Prozesswasserbehandlungsanlage herangezogen.

Tabelle 3: Frachtberechnung Rückbelastung aus Kläranlage (Rückrechnung)
(Annahme Aufenthaltszeit VK: 1,5...2,0 h)

	Wert	Bemerkung	EW berechnet [EW]	Frachten/E A 131 (2000) [g/(E·d)]
Abfluss				
Q _d	[m³/d]	67	Mittelwert aus Tagen mit Laboranalytik; Summe Klarlauf und ÜS-Abzug	
Frachten				
B _{d,C_BSB}	[kg/d]	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	0	60
B _{d,C_CSB}	[kg/d]	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	0	120
B _{d,x_TS}	[kg/d]	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	0	70
B _{d,C_TKN}	[kg/d]	10,7	Mittelwert, Annahme: Nges = TKN	971
B _{d,S_NH4}	[kg/d]	6,9	Mittelwert	868
B _{d,C_P}	[kg/d]	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	0	1,8

Messwerte bzw. direkt aus Messwerten berechnete Werte

3.2.2.4 Fracht Zulauf Kläranlage mit Rückbelastung Schlammbehandlung

Um die Gesamtbelastung der Kläranlage darstellen zu können, wurden die rückgerechnete Fracht Zulauf Kläranlage aus Kapitel 3.2.2.2, Tabelle 2 sowie die Fracht aus Prozesswasserbehandlungsanlage (Tabelle 3) addiert. In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die Ergebnisse dargestellt. Mit diesen Frachten wurde die Nachbemessung der Kläranlage Höxter durchgeführt.

Tabelle 4: Frachtberechnung Zulauf Kläranlage mit Rückbelastung Prozesswasser

	Wert	Bemerkung	EW	Frachten/E	
Abfluss			berechnet	A 131 (2000)	
Q _d (Q _d ,Konz)	[m ³ /d]	3.424	Mittelwert aus Tagen mit Laboranalytik; Summe Klarlauf und ÜS-Abzug	[EW]	[g/(E·d)]
Frachten					
B _{d,C_BSB}	[kg/d]	1.135	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	18.918	60
B _{d,C_CSB}	[kg/d]	2.270	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	18.918	120
B _{d,x_TS}	[kg/d]	1.324	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	18.918	70
B _{d,C_TKN}	[kg/d]	290	Annahme: Nges = TKN	26.405	11
B _{d,S_NH4}	[kg/d]	210	Rückrechnung aus Zulauf Belebung, Annahme WK VK nach A 131, t _A = 1,5...2,0 h	26.301	8
B _{d,C_P}	[kg/d]	44	keine Werte; Annahme: Fracht vernachlässigbar	24.680	1,8

Summe Zul. KA (Rückrechnung) und Abl. Prozesswasserbeh.

3.2.3 Abwassertemperatur

Gemäß Bescheid sind die Stickstoffgrenzwerte ab einer Wassertemperatur von 12 °C einzuhalten [3]. Dieser Wert wurde auch bei der Nachbemessung der Denitrifikation angesetzt.

Bemessungstemperatur Denitrifikation: $T = 12,0 \text{ °C}$

Für den Nachweis der Nitrifikation bei tiefen Temperaturen ist nach A 131 das 2-Wochen-Mittel mit der tiefsten Temperatur anzusetzen. Dieses liegt bei der KA Höxter im Betrachtungszeitraum bei 6,4 °C (2-Wochenmittel um den 10.02.2012). Nach Arbeitsblatt A 131 [100] liegen jedoch für Bemessungstemperaturen unter 8 °C keine Erfahrungswerte vor. Dies ist bei der Bewertung der Ergebnisse zu beachten. Die Bemessungstemperatur für die Nitrifikation wird gemäß der Auswertung festgelegt auf:

Bemessungstemperatur Nitrifikation: $T = 6,4 \text{ °C}$

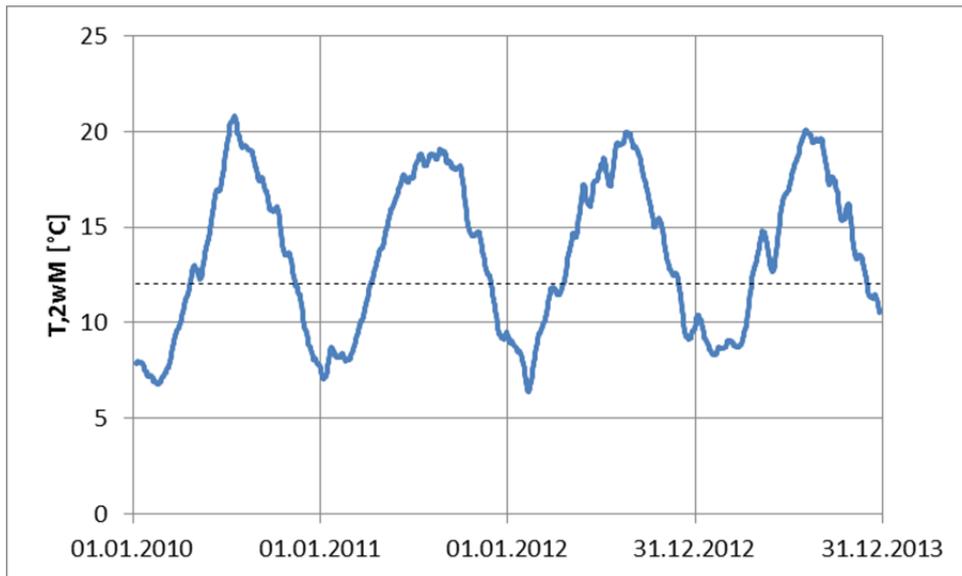


Bild 5: Zwei-Wochen-Mittel der Abwassertemperatur

Im **Bild 5** ist der Verlauf der Abwassertemperatur als gleitendes Zwei-Wochen-Mittel dargestellt. Die Überwachungstemperatur von 12 °C ist gestrichelt dargestellt.

3.2.4 Schlammindex und Trockensubstanzgehalt

Der Schlammindex charakterisiert die Absetzeigenschaften des Belebtschlammes in der Nachklärung. Werte bis 100 l/kg deuten auf einen gut absetzbaren Schlamm hin.

Der Schlammindex im Betrachtungszeitraum lag bei im Mittel 152 l/kg. Basierend auf der Auswertung wurde daher folgender Wert angesetzt:

$$\text{Schlammvolumenindex:} \quad \text{ISV} = 152 \text{ l/kg}$$

Im Entwurf [1] wurde ein niedrigerer Index von 102,5 l/kg angesetzt.

Für Belebungsanlagen mit Denitrifikation wird nach A 131 [ATV-DVWK 2000] eine Eindickzeit t_E von 2 Stunden empfohlen. Das Rücklaufverhältnis ist für die Nachrechnung von Nachklärbecken nach A 131 auf 0,75 zu begrenzen. Weiterhin ist bei Schildräumen ein Verhältnis zwischen den TS im Rücklaufschlamm zum Bodenschlamm von 0,7 anzusetzen.

Aus der Eindickzeit, dem gegebenen ISV, dem Rücklaufverhältnis sowie dem Verhältnis des TS im Bodenschlamm zum Bodenschlamm wurde der TS-Gehalt im Belebungsbecken berechnet, siehe auch **Anlage 3 und 4**:

$$\text{TS-Gehalt Ablauf Belebungsbecken:} \quad \text{TS}_{\text{BB}} = 2,49 \text{ g/l}$$

3.2.5 Schwankungsfaktor

Über den Schwankungsfaktor S wird in der Berechnung nach dem Hochschulgruppenansatz (HSG-Ansatz) das dynamische Verhalten der Kläranlage berücksichtigt. Dieser kann zum einen durch

Messungen für die konkrete Anlage ermittelt oder anhand der Ausbaugröße nach Vorgaben aus dem Merkblatt des LANUV abgeschätzt werden [104]. Im konkreten Fall wird der zweite Weg gewählt.

Bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße bis 20.000 E liegt der Wert bei 2. Bei Ausbaugrößen oberhalb von 100.000 E sinkt er auf 1,7 ab. Werte für Anlagen mit einer dazwischenliegenden Größe können entsprechend gewählt werden.

Ausgehend von der Ausbaugröße der Kläranlage Höxter von 30.000 EW errechnet sich der Schwankungsfaktor zu:

Schwankungsfaktor: $S = 1,96$

3.2.6 Säurekapazität

Für den Parameter Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S4,3}$) lagen keine Werte vor. Es wurde daher mit einem angenommenen Wert gerechnet:

Säurekapazität bis pH 4,3 : $K_{S4,3} = 8 \text{ mmol/l}$

Das Trinkwasser des WW Höxter-Kapellenbreite weist eine Säurekapazität von 6,1 mmol/l auf. Der K_S -Wert des WW Höxter-Schelpetal, das ebenfalls die Kernstadt versorgt, liegt bei 4,8 mmol/l.

3.2.7 Wirkung Vorklärung

Die Vorklärung wurde mit einer Aufenthaltszeit von 1,5...2,0 h bei maximalem Trockenwetterzufluss ($Q_{TW,2h,max}$) angesetzt. Wie **Bild 1** zeigt, entspricht der maximale Trockenwetterzufluss von 734 m³/h nicht mehr der aktuellen Zuflusssituation. Vereinfachend wurde daher ein Zufluss von 380 m³/h für die Rechnung der Aufenthaltszeit in der Vorklärung herangezogen. Dieser Wert entspricht dem Teilstrom, der in der Studie zur 4. Reinigungsstufe für die Auslegung der Anlagen ermittelt wurde [13].

Damit ergibt sich für die Vorklärung ($V = 634 \text{ m}^3$):

Aufenthaltszeit VK:: $t_A = 634 \text{ m}^3 / 380 \text{ m}^3/\text{h} \approx 1,67 \text{ h}$

Mit den einwohnerspezifischen Frachten aus dem Arbeitsblatt A 131, die für den Bereich 1,5...2,0 h angegeben sind, wurde die im **Kapitel 3.2.2.2** beschriebene Rückrechnung der Zulauffrachten durchgeführt.

4 Nachbemessung biologische Stufe

4.1 Belebung

4.1.1 Allgemein

Die Nachbemessung der Belebungsstufe erfolgt nach dem HSG-Ansatz mit dem Berechnungsprogramm „Design2Treat“ (ehemals ARA-Ber), das vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen entwickelt und vertrieben wird. Es kam die aktuelle Version 5.17 zum Einsatz.

Die Berechnungsergebnisse (Programmausdruck) sind in den **Anlagen 1 bis 2** zu finden.

4.1.2 Eingabedaten

Die KA Höxter wurde als einstufige Belebungsanlage mit intermittierender Belüftung berechnet.

Der benötigte Sauerstoffeintrag wurde im Rahmen dieser Berechnung nicht ermittelt.

Die Nachklärung wurde mit dem im **Kapitel 4.2** dargestellten Verfahren nachgerechnet, das speziell die Gegebenheiten der KA Höxter berücksichtigt. Diese Ergebnisse dieser Berechnung (TS_{BB}) fließen in die Nachbemessung der Belebungsstufe ein.

Die Aufenthaltszeit in der Vorklärung wurde mit 1,5 h vorgegeben, siehe auch **Kapitel 3.2.7**.

Es wurde angenommen, dass die externe C-Dosierung auch für die Belebungsstufe genutzt werden kann.

4.1.3 Bemessungsergebnisse

4.1.3.1 Denitrifikation bei 12 °C und bestehender Vorklärung

Das Protokoll des Berechnungsganges ist in der **Anlage 1** dokumentiert. Die wichtigsten Ergebnisse sind in **Tabelle 7** dargestellt.

Tabelle 5: Nachbemessung Belebung bei Bemessungstemperatur

		Temperatur 12 °C
$V_{BB,erforderlich}$	[m ³]	3.893
$V_{BB,ist}$	[m ³]	3.840
$t_{TS,ges}$	[d]	10,3
t_{Deni}/t_{ges}	[-]	0,1
S	[-]	1,96
T	[°C]	12,0
TS_{BB}	[g/l]	2,49
$\dot{U}S_d$	[kg/d]	941
$K_{S,4,3}$	[mmol/l]	2,0
$B_{d,CSB,extern}$	[kg/d]	667,0

Die Nachbemessung kommt zu dem Ergebnis, dass die Kläranlage Höxter für die dargestellte Belastungssituation eine ausreichende Größe aufweist. So wird rechnerisch ein Volumen von 3.893 m³ benötigt. Vorhanden sind 3.840 m³. Die Anlage ist damit komplett ausgelastet und weist keine Reserven in der Belebung auf.

Auslastungsgrad:: $3.893 \text{ m}^3 / 3.840 \text{ m}^3 \approx 1,01$

Zu beachten ist, dass im dargestellten Bemessungslastfall die Dosierung einer externen Kohlenstoffquelle notwendig ist. Die extern zugeführte CSB-Fracht liegt mit 671 kg/d auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Dies entspricht ca. 1/3 der CSB-Fracht im Zulauf der Anlage (2.270 kg CSB/d).

In der nächsten Berechnung soll geprüft werden, ob durch eine Verkleinerung der Vorklärung die extern zugeführte C-Fracht reduziert werden kann.

4.1.3.2 Denitrifikation bei 12 °C und verkleinerter Vorklärung

In dieser Berechnung wird geprüft, ob durch eine Verringerung der Aufenthaltszeit in der Vorklärung die Zugabe von externem Kohlenstoff signifikant reduziert werden, da der Belebungs mehr Kohlenstoff aus dem Zulauf der Anlage zugeführt wird.

Insgesamt zeigte sich, dass bei einer Verkleinerung oder gar einer kompletten Umfahrung gegenüber dem zuvor beschriebenen Zustand mit einer Aufenthaltsdauer von 1,5 h in der Vorklärung keine Verbesserung erzielt werden konnte. So lag das benötigte Belebungsbeckenvolumen oberhalb der vorhandenen 3.840 m³. Hintergrund ist, dass die C-Quelle direkter wirkt, als die unspezifische C-Fracht aus dem Anlagenzulauf, die im HSG-Ansatz noch fraktioniert wird.

Eine Reduktion der Vorklärung bringt vor diesem Hintergrund keinen Vorteil. Die Versuche Ende 2013 zeigten, dass es bei Außerbetriebnahme eines Vorklärbeckens zu hydraulischen Engpässen bei hohen Zuflüssen kommt. Um diesen Engpass zu beseitigen, ist ein Umbau im Zulauf des Vorklärbeckens notwendig.

4.1.3.3 Nitrifikation bei niedrigster Abwassertemperatur

Bei Abwassertemperaturen unter 12 °C muss weiterhin die Funktion der Nitrifikation sichergestellt sein. Dazu wird die Anlage mit der tiefsten Temperatur im 2-Wochen-Mittel nachgerechnet, wobei von einer reinen Nitrifikation ausgegangen wird. Die Bemessung erfolgte wieder mit dem HSG-Ansatz.

Das Berechnungsprotokoll enthält **Anlage 2**. Die wichtigsten Ergebnisse sind in **Tabelle 6** zusammengefasst.

Tabelle 6: Nachbemessung Belebung (Nitrifikation) bei 6,4 °C

		Temperatur 6,4 °C
$V_{BB,erforderlich}$	[m ³]	5.421
$V_{BB,ist}$	[m ³]	3.840
$t_{TS,ges}$	[d]	16,4
t_{Deni}/t_{ges}	[-]	Nur Nitrifikation
S	[-]	1,96
T	[°C]	6,4
TS_{BB}	[g/l]	2,49
\dot{U}_{S_d}	[kg/d]	824
$K_{S,4,3}$	[mmol/l]	-2,0
$B_{d,CSB,extern}$	[kg/d]	0

Die Berechnung mit einer Temperatur von 6,4 °C liegt außerhalb des generellen Gültigkeitsbereiches des HSG-Ansatzes, der bei 8 °C beginnt. Die Ergebnisse im Temperaturbereich zwischen 5 und 8 °C sind statistisch nicht abgesichert. Daher gibt das Programm „Desing2Treat“ eine Warnung heraus. Bei Temperaturen unter 5 °C führt das Programm keine Berechnung durch [104].

Das berechnete Belebungsbeckenvolumen liegt mit 5.421 m³ rund 1.580 m³ über dem vorhandenen Volumen von 3.840 m³. Dies ist ein Mehrbedarf von ca. 40 % bezogen auf den Bestand.

In einer Variantenberechnung wurde im nächsten Schritt untersucht, bis zu welcher Temperatur die KA Höxter mit dem bestehenden Volumen nachgewiesen werden kann. Dazu wurde die Abwassertemperatur variiert. Alle weiteren Vorgaben wurden nicht verändert. Das Ergebnis ist im **Bild 6** dargestellt.

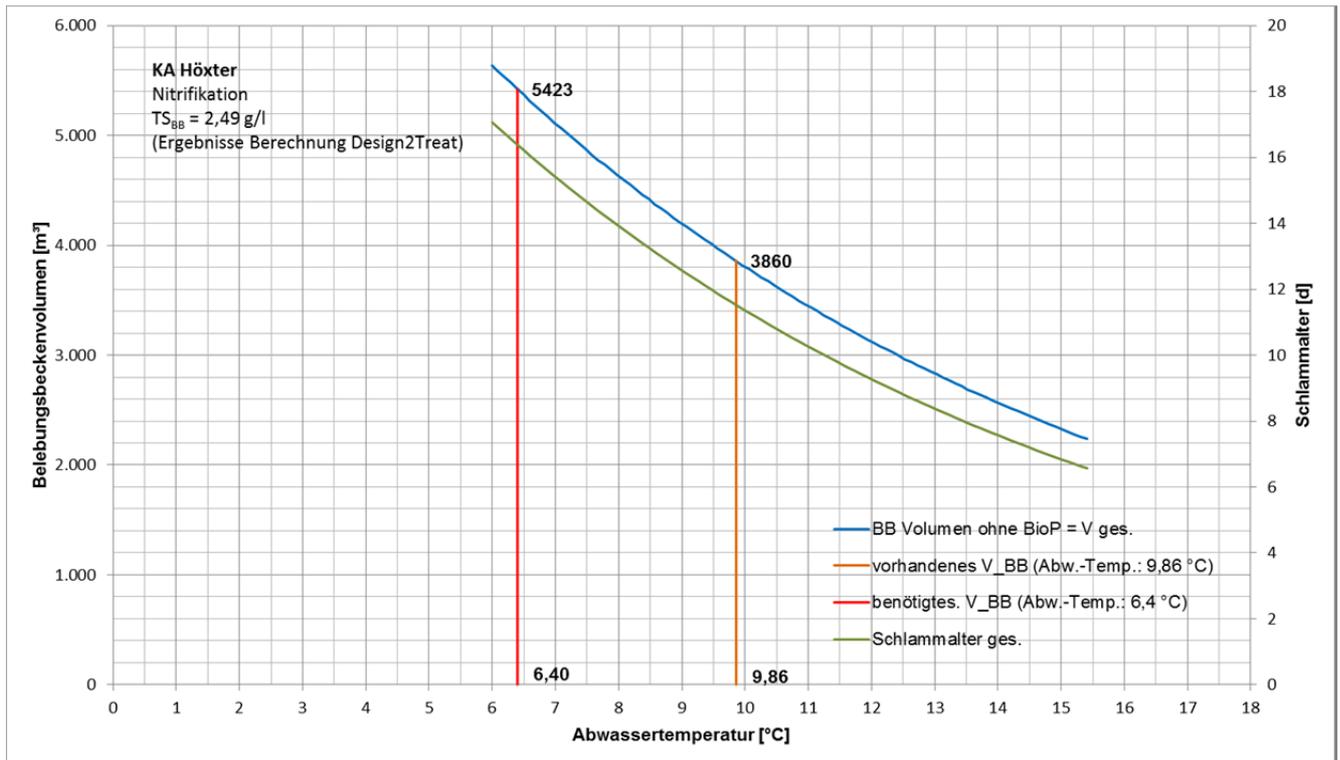


Bild 6: Variantenuntersuchung Nitrifikation: Benötigtes Belebungs- und Schlammalter bei verschiedenen Temperaturen

Bild 6 zeigt, dass bis zu einer Temperatur von 9,9 °C mit dem vorhandenen Volumen die Nitrifikation sichergestellt werden kann. Bei Temperaturen darunter wird ein höheres Schlammalter benötigt, das zu einem höheren Volumen führt.

Die Aussagen der Variantenuntersuchung decken sich mit der dynamischen Modellierung, die im Rahmen der ZAK-Studie durchgeführt wurde. Auch hier wurden deutliche Ammonium-Spitzen bei Temperaturen unter ca. 8...9 °C ausgegeben [6, 7].

Für die Nitrifikation sind lange Perioden mit niedrigen Abwassertemperaturen (< 10 °C) kritisch, da die Nitrifikanten bei diesen Temperaturen nur eine sehr geringe Wachstumsgeschwindigkeit aufweisen. Über den Überschussschlammabzug werden die vorhandenen Nitrifikanten aus dem System ausgeschleust. In Summe sinkt damit ihr Anteil im Belebtschlamm über die Zeit.

Um diesem Effekt zu begegnen, müssen Nitrifikanten bei niedrigen Temperaturen gezielt im System gehalten werden. Dazu muss in der vorhandenen Prozesswasserbehandlungsanlage, die nach dem BABE (Bio-Augmentation Batch Enhanced)-Verfahren arbeitet in dieser Periode gezielt der Wachstum von Nitrifikanten gefördert werden, die wieder in den Hauptstrom zurückgeführt werden, um ein Ausschwemmen dieser Population aus der KA Höxter zu minimieren.

Wie die Untersuchung zeigt, können die Ammoniumspitzen bei den tiefen Abwassertemperaturen, die in Höxter in den Wintermonaten auftreten, mit der bestehenden biologischen Stufe im Hauptstrom nicht vermieden werden. Es ist jedoch zu prüfen, inwieweit der Betrieb der vorhandenen BABE-Anlage optimiert werden kann, um gezielt Nitrifikanten anzureichern (Bioaugmentation).

Die berechnete Säurekapazität weist negative Werte auf und liegt deutlich unter dem Richtwert von 2 mmol/l [104]. Dies bedeutet, dass die Nitrifikation gehemmt werden kann sowie die Belebtschlammflocken zerfallen können. Gegebenenfalls ist eine Kalkdosierung in diesem Betriebsfall notwendig.

4.2 Nachklärung

4.2.1 Allgemein

Die Wassertiefen der beiden vorhandenen Nachklärbecken entsprechen nicht dem derzeit gültigen Regelwerk. So fordert das Arbeitsblatt ATV-DVWK A 131 [101] aus dem Jahr 2000 für längsdurchströme Rechteckbecken eine Mindesttiefe von 3 m. Die Nachklärung I weist demgegenüber nur eine Gesamttiefe von 2,35 m auf. Für horizontal durchströmte Rundbecken liegt die Mindesttiefe am 2/3-Punkt bei 3 m. Das Nachklärbecken II hat eine Gesamtwassertiefe von 2,58 m. Zudem ist die Sohlneigung mit einem Gefälle von 1:25 flacher, als die in der DIN 19552 [100] genannte Neigung von 1:15.

Im Entwurf aus dem Jahr 1994 [1] wurde schon darauf hingewiesen, dass die bestehenden Nachklärbecken nach dem damaligen Regelwerk eine zu geringe Wassertiefe aufwiesen.

Um bestehende Nachklärbecken mit geringen Randwassertiefen nachweisen zu können, wurde Resch und Steinmann ein Berechnungsverfahren vorgeschlagen, das 1991 in der Korrespondenz Abwasser veröffentlicht wurde [105]. Dieses Verfahren wird im Folgenden für die beiden Nachklärbecken angewandt. Auch in [1] wurde auf die Verminderung hingewiesen.

4.2.2 Eingabedaten

Die beiden längsdurchflossenen rechteckigen Nachklärbecken weisen folgende konstruktiven Details auf.

Tabelle 7: Konstruktive Daten Nachklärung I

		Nachklärung I
Anzahl	[-]	2
Innenbreite Becken, jeweils	[m]	6,17
Innenlänge	[m]	50
Beckentiefe	[m]	2,35
h_{Rand}	[m]	4,05
Sohlneigung	[-]	0,07

Die Nachklärung I wird hydraulisch mit einem Maximaldurchfluss belastet von:

$$\text{Max. Durchfluss NKB I: } Q_{\text{tmax,NKBI}} = 0,26 \cdot 1.244 \text{ m}^3/\text{h} \approx 323 \text{ m}^3/\text{h}$$

Die aus einem vertikaldurchströmten Rundbecken bestehende Nachklärung II weist folgende Details auf:

Tabelle 8: Konstruktive Daten Nachklärung II

		Nachklärung II
Anzahl	[-]	1
Innen-Ø Becken	[m]	36,0
Außen-Ø Königstuhl	[m]	4,0
$h_{\text{ges}} = h_{2/3}$	[m]	2,58
h_{Rand}	[m]	2,32
Sohlneigung	[-]	0,04

Die Nachklärung II wird hydraulisch mit einem Maximaldurchfluss belastet von:

$$\text{Max. Durchfluss NKB II: } Q_{\text{tmax,NKBII}} = 0,74 \cdot 1.244 \text{ m}^3/\text{h} \approx 921 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.2.3 Berechnungsergebnisse

Die Berechnungsgänge sind in **Anlage 3** für Nachklärbecken I und in **Anlage 4** für Nachklärbecken II dokumentiert.

Im Ergebnis können beide Nachklärungen nachgewiesen werden, jedoch mit einem reduzierten Beaufschlagungs-Volumenstrom nachgewiesen werden.

Tabelle 9: Ergebnisse Nachweis Nachklärung I und II

		Nachklärung I	Nachklärung II	Summe
Derzeitiges Q_m	[m ³ /h]	323	921	1.244
reduziertes Q_m	[m ³ /h]	300	610	910
Abweichung	[%]	-7,1	-33,8	-26,8

Zu beachten ist, dass die Aufteilung der reduzierten Volumenströme nicht der derzeit realisierten Aufteilung (26%/74 %) entspricht, die sich an den Anteilen der Belebungsbeckenvolumina der beiden Straßen orientiert. Um die Nachklärbecken optimal nutzen zu können, müsste eine Aufteilung von 33 % auf die Nachklärung I und 67 % auf die Nachklärung II erfolgen. Dies kann erreicht werden, wenn eine Menge vom Ablauf der Belebungs II in den Zulauf zur Nachklärung I geleitet wird. Im Maximum ergibt sich ein Volumenstrom von rund 82 m³/h.

Die Pumpenleistung der Rücklaufschlammförderung ist bei Nachklärung II so ausgelegt, dass im gegenwärtigen Betrieb ein Rücklaufverhältnis von 0,75 eingehalten werden kann.

5 Maßnahmen

5.1 Allgemein

Aus den Ergebnissen der ZAK-Studie [6, 7] sowie der vorstehenden Nachbemessung werden im Folgenden Maßnahmen zur Optimierung des Betriebes der Belebungsstufe abgeleitet.

Die Maßnahmen werden in die Prioritäten 1 bis 3 eingeteilt. Maßnahmen der Priorität 1 sollten kurzfristig umgesetzt werden. Maßnahmen der Priorität 2 sollten in den nächsten 1 bis 2 Jahren durchgeführt werden. Maßnahmen der Priorität 3 sollten mittelfristig nach 3 bis 5 Jahren umgesetzt werden. Hier können schon die Ergebnisse aus den höhergestuften Maßnahmen einfließen.

5.2 Vorklärung

5.2.1 Umfahrung/Verkleinerung Vorklärung

In der Nachbemessung zeigte sich, dass sich mit einer Aufenthaltszeit von 1,5 h in der Vorklärung die Belebungsstufe nachweisen ließ. Bei kürzeren Zeiten war die in die Belebung eingetragene Fracht (insbesondere: absetzbare Stoffe) zu groß.

Der in Vorklärung zurückgehaltene Kohlenstoff kann in der anaeroben Schlammstabilisierung zu Faulgas umgesetzt werden und über das vorhandene Blockheizkraftwerk verstromt werden. Zudem wird die biologische Stufe bezüglich der Kohlenstofffracht entlastet. Für die Denitrifikation in der Belebung ist jedoch ein ausreichendes Kohlenstoffangebot notwendig.

Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, den Betrieb nur eines Beckens der bestehenden zweistraßigen Vorklärung bei geringen Analgendurchflüssen zu überprüfen. So liegen gemäß der Auswertung im Rahmen der Studie für die 4. Reinigungsstufe [13] die Stundenwerte der Anlagendurchflüsse in 74 % der Fälle unterhalb von 200 m³/h.

Weiterhin ist zu prüfen, inwieweit sich die Umschaltung zwischen beiden Straßen automatisieren lässt. So müsste im Fall von Regenereignissen die zweite Straße automatisch zugeschaltet werden können.

Dieser Maßnahme wird der Priorität 3 zugeordnet.

5.3 Belebung

5.3.1 Anpassung Belüftungssteuerung

Die ZAK-Studie kommt zu dem wesentlichen Ergebnis, dass die bestehende Belüftungsregelung angepasst werden muss, um die bei niedrigen Temperaturen auftretenden Nitrifikationsspitzen abmindern zu können [6, 7].

Weiterhin wird durch die optimierte Belüftungssteuerung sichergestellt, dass die Belüftungspausen ausreichend groß sind, so dass eine vollständige Denitrifikation in der Belebung erfolgt und eine Nachdenitrifikation in der Nachklärung vermieden wird. Durch diese sogenannte wilde Denitrifikation kann in der Nachklärung zu Schlammauftrieb kommen, da sich Flocken an die gebildeten Gasblasen (molekularer Stickstoff) anlagern.

In den letzten Jahren wurden gute Erfahrungen mit der Implementierung von Fuzzy-Regelungen auf Kläranlagen gemacht. Als Beispiel seien hier die Kläranlagen Coesfeld, Heek, Metelen, Telgte oder Südlohn genannt.

Wir empfehlen daher, die Umsetzung einer solchen Regelung für die KA Höxter in Verbindung mit der anstehenden Erneuerung der Belüfterelemente in beiden Straßen zu prüfen. Nach unseren Erfahrungen konnte immer eine Verrechnung mit der Abwasserabgabe erreicht werden.

Für die Umstellung auf eine Fuzzy-Regelung sind Kosten von ca. 30.000 EUR, netto zu veranschlagen. Planungskosten sind darin nicht enthalten. Zu beachten ist, dass sowohl Investitions- als auch Planungskosten im Allgemeinen mit der Abwasserabgabe verrechnet werden können.

Dieser Maßnahme wird die Priorität 1 zugeordnet.

5.3.2 Dosierung C-Quelle

Wie die Nachbemessung der biologischen Stufe zeigte, ist für den Nachweis mit den aktuellen Zulauffrachten bei der Bemessungstemperatur von 12 °C die Dosierung einer externen C-Quelle rechnerisch notwendig. Daher sollte die bestehende Dosierstation für die Prozesswasserbehandlung so erweitert werden, dass auch eine Dosierung in die Belebungsstufe vorgenommen werden kann. Alternativ kann auch eine getrennte Dosierstation im Bereich der Belebung aufgebaut werden.

Es sind hierfür überschlägig Kosten von 25.000 bis 30.000 EUR, netto anzusetzen.

Die Maßnahme hat die Priorität 2.

5.3.3 Überprüfung Verfahrenstechnik

Der gemessene Schlammindex in der Anlage liegt mit einem Mittelwert von 152 mg/l auf einem vergleichsweise hohen Niveau, was auf ein schlechtes Absetzen der Belebtschlammflocken in der Nachklärung hindeutet. Die Gründe für diesen hohen Index sollten weiter untersucht werden.

Als kurzfristige Maßnahme zur Absenkung des Indexes in besonderen Belastungsfällen bietet sich die Dosierung von Flockungsmittel in den Zulauf zur Nachklärung an.

Eine Strategie zur langfristigen Verbesserung des Indexes stellt die Umrüstung der Kläranlage von Umlauf- bzw. volldurchmischten Becken auf „Pfpfenströmung“ dar. Diese lässt sich durch Einbauten auch bei runden Becken realisieren (Beispiel: KA Gescher).

Diese Optionen sollten weitergehend untersucht werden, da sich durch eine Absenkung des Schlammindexes nachweistheoretisch ein höherer Belebtschlammgehalt in der Belebung darstellen lässt.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Absetzeigenschaft stellt die Verkleinerung bzw. komplette Außerbetriebnahme der Vorklärung dar, da damit gut absetzbare Bestandteile in die Belebungsstufe verlagert werden. Im konkreten Fall zeigte sich jedoch, dass die zusätzlichen Belastungen der biologischen Stufe durch Umgehung der Vorklärung zu einer Überlastung rechnerisch dazu führten, dass die Stufe nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Als optimal stellte sich eine Aufent-

haltszeit unter den gegebenen Bedingungen von 1,5 h in der Belebung heraus. Siehe hierzu auch die im **Kapitel 5.2.1** beschriebene Maßnahme.

Im Rahmen der Anpassung der Belüftungssteuerung und der anstehenden Erneuerung der Belüftungselemente in beiden Belebungsbeckenstraßen sollten Möglichkeiten zur Anpassung der Verfahrenstechnik diskutiert werden.

Die Dosierung von Flockungsmitteln ist eine Maßnahme mit der Priorität 1
Der Überprüfung der Verfahrenstechnik wird die Priorität 2 zugeordnet.

5.3.4 Erweiterung Belebungsbecken

Wie die Nachrechnung der Biologie zeigte, ist das bestehende Belebungsbeckenvolumen für den Nachweis der Nitrifikation bei der niedrigsten Temperatur im 2-Wochen-Mittel zu gering. Es ergibt für diesen Fall ein zusätzliches Volumen von rund 1.500 m³.

Durch die Vergrößerung des Belebungsbeckenvolumens könnte hier Abhilfe geschaffen werden. Idealerweise würde ein drittes Becken mit den Abmessungen und der Wassertiefe der Belebung II neu erstellt. So ergeben sich hinsichtlich der Auslegung der Belüftungsaggregate Synergieeffekte.

Das Belebungsbecken II hat ein Volumen von 2.866 m³. Für den Neubau eines Beckens mit gleichem Inhalt müssten Investitionskosten angesetzt werden von:

$$2.866 \text{ m}^3 \cdot 500 \text{ EUR/m}^3 = 1.433.000 \text{ EUR, netto}$$

Zur Schätzung der Investitionskosten wird ein spezifischer Preis von 500 EUR/m³ Beckenvolumen angesetzt. Darin ist die technische Ausrüstung des Beckens enthalten.

Diese Maßnahme ist im Kontext mit den weiteren hier beschriebenen Ansätzen zu betrachten und zu bewerten. Sie führt zu einer deutlichen Reserve in der biologischen Stufe, die jedoch hohe Investitionskosten zur Folge hat. Planungskosten wurden in den Summen nicht berücksichtigt.

Diese Maßnahme wird nachrichtlich als Referenz aufgeführt. Sie wird daher nicht priorisiert.

5.3.5 Dosierung Alkalie bei reinem Nitrifikationsbetrieb

Wird die Belebungsstufe nur für die Nitrifikation bei tiefen Temperaturen genutzt, so ergibt sich rechnerisch eine Säurekapazität im Anlagenablauf von -2,0 mmol/l. Ab 2,0 mmol/l kann es zu einer Hemmung der Nitrifikation kommen [104].

Es wird empfohlen, die Säurekapazität bis pH 4,3 ($K_{S4,3}$) im Anlagenzulauf regelmäßig zu untersuchen, um über das Pufferverhalten des Abwassers nähere Erkenntnisse zu gewinnen.

Mit den Ergebnissen ist für den reinen Nitrifikationsbetrieb die Säurekapazität erneut nachzuweisen.

Gegebenenfalls kann es für diesen Betriebszustand notwendig sein, eine Alkalie (z. B. Kalk) in den Zulauf zur Belebung zu dosieren, um die Säurekapazität anheben zu können.

Diese Maßnahme wird die Priorität 2 zugeordnet.

5.3.6 Optimierung Betrieb BABE-Anlage und Belebung

Wie in **Kapitel 4.1.3.3** schon dargelegt, besteht bei niedrigen Abwassertemperaturen die Möglichkeit, dass die Nitrifikationskapazität der Belebungsstufe der KA Höxter nicht mehr ausreicht. Dies ist begründet in der geringen Wachstumsgeschwindigkeit der Nitrifikanten in diesem Temperaturbereich.

Unterstützung kann hier die vorhandene BABE-Anlage schaffen. Der Prozess sieht vor, dass neben der Prozesswasserbehandlung aus der Schlammmentwässerung auch Nitrifikanten gezielt gebildet werden, die dann den Hauptstrom der Anlage (Biologie) zugeführt werden können.

Im Rahmen der Betriebsanalyse und anschließender –optimierung ist zu prüfen, welche Nitrifikationskapazitäten über die BABE-Anlage zusätzlich bereitgestellt werden können und wie diese Behandlungsprozess im Hauptstrom unterstützen können.

Dieser Maßnahme wird die Priorität 1 zugeordnet.

5.4 Nachklärung

5.4.1 Optimierung Nachklärung II

Beide Nachklärbecken weisen eine geringe Gesamtwassertiefe auf und entsprechen damit nicht dem aktuellen Regelwerk. Aufgrund des erheblich größeren Anteils am Gesamtwasserstrom bietet sich in erster Linie die Nachklärung II für eine Optimierung an.

Durch eine Simulation kann die Leistungsfähigkeit des Bestandes nachvollzogen und daraus Möglichkeiten zu einer Leistungssteigerung abgeleitet werden. Als Beispiel sei z. B. eine Änderung am Königsstuhl genannt.

Die Kosten für eine solche Studie belaufen sich auf etwa 10.000 bis 12.000 EUR, netto.

Die sich daraus ergebenden Maßnahmen sind im Rahmen einer anstehenden Sanierung der maschinentechnischen Ausrüstung der Nachklärung II nach einer Betriebszeit von rund 30 a zu bewerten. Die Investitionen könnten im Rahmen der Erneuerung bzw. Ertüchtigung der Ausrüstung erfolgen.

Zu beachten ist, dass durch die Optimierung des Bestandes die Leistungsfähigkeit gesteigert, jedoch die Betriebssicherheit der Kläranlage im Hinblick auf den Ausfall des Nachklärbeckens II nicht verbessert wird.

Im Hinblick auf das schon beschriebene Alter der maschinentechnischen Ausrüstung steht in den nächsten Jahren eine Ertüchtigung an. Zuvor sollte die Betrachtung der Nachklärung II durchgeführt werden. Die Maßnahme wird daher die Priorität 1 zugeordnet.

5.4.2 Reduzierung Q_M der Kläranlage

Um die beiden Nachklärungen nachweisen zu können, müsste der Maximaldurchfluss um rund 27 % von 1.244 m³/h auf 910 m³/h reduziert werden. Während die Verminderung bei NK I mit 7,1 % noch vergleichsweise gering ausfällt, muss der maximale Durchfluss durch die Nachklärung II um etwa ein Drittel abgesenkt werden.

Vergleicht man den reduzierten Maximalvolumenstrom von 910 m³/h mit realen Durchflüssen durch die KA Höxter in den Jahren 2010 bis 2013, wie im **Kapitel 3.2.1 (Bild 1)** dargestellt so fällt auf, dass 900 m³/h innerhalb des Betrachtungszeitraumes von über 26.000 Stunden nur an 42 h überschritten wurde. Dies sind 0,16 % des Zeitraumes.

Hier sollte in Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde geprüft werden, ob die Möglichkeit besteht, die maximale Durchflussmenge durch die KA Höxter zu reduzieren.

Aus technischer Sicht ist zu prüfen, ob das vorhandene Regenbecken ab einem Anlagendurchfluss von 900 m³/h als Speicher genutzt werden kann.

Speicherdauer Regenbecken: $t_{\text{Speicher}} = 1.500 \text{ m}^3 / (1.244 - 900 \text{ m}^3/\text{h}) \approx 4,4 \text{ h}$

Rechnerisch könnte unter Nutzung des Beckens als Fangbecken eine Zeit von rund 4 Stunden mit einem maximalen Zufluss von 1.244 m³/h überbrückt werden. Die Kläranlage würde mit einem Volumenstrom von maximal 900 m³/h in dieser Zeit beaufschlagt.

Zu beachten ist, dass für die optimale Nutzung des berechneten Volumenstromes von 910 m³/h die Aufteilung des Ablaufes der beiden Belebungsbeckenstraßen auf die Nachklärbecken angepasst werden muss (siehe hierzu **Kapitel 4.2.3**).

Diese Maßnahme wird der Priorität 1 zugeordnet.

5.4.3 Neubau Nachklärung III

Für die Erweiterung der Nachklärung um ein weiteres Becken nach gültigem Regelwerk, das idealerweise im Durchmesser der Nachklärung II entspricht, werden Investitionskosten von rund 900.000 bis 1.000.000 EUR, netto erforderlich. Darin sind keine Baunebenkosten (Planungskosten usw.) enthalten.

Durch den Neubau eines Beckens mit gleichem Durchmesser wird eine volle Redundanz zum bestehenden Nachklärbecken II geschaffen.

Der Neubau ist im Zusammenhang mit den vorstehenden Maßnahmen zu sehen und sollte in einer Variantenbetrachtung berücksichtigt werden. Er ist hier nachrichtlich als Referenz aufgeführt.

5.4.4 Neubau Filtrationsstufe

Im gegenwärtigen Betrieb der biologischen Stufe wird besonders in den Wintermonaten versucht, eine möglichst hohe TS-Konzentration in der Belebung einzustellen. Dadurch kann es zu einer Überlastung der vorhandenen Nachklärungen kommen, die vom Betrieb sehr genau beobachtet werden müssen, um ein Feststoffaustrag über dem Ablauf zu verhindern.

Durch eine nachgeschaltete Filtrationsstufe, z. B. Tuchfiltration, könnte die eventuell aus der Nachklärung ablaufende erhöhte Feststoffkonzentration zurückgehalten werden.

Für den Betrieb der Kläranlage würde sich dadurch eine Betriebserleichterung ergeben. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass bei einem starken Schlammabtrieb die Filtration rasch belegt wird und rückgespült werden muss.

Vor diesem Hintergrund ist der Bau einer Filtration als alleinige Maßnahme ohne eine Optimierung der Nachklärung als nicht zielführend einzustufen.

Als Investitionskosten für eine Tuchfiltration mit maximalem Volumenstrom von 1.200 m³/h sind rund 600.000 EUR, netto anzusetzen.

Diese Maßnahme wird aus den vorgenannten Gründen keiner Stufe zugeordnet.

6 Empfehlung und Zusammenfassung

Die Auswertung der Betriebsdaten der Jahre 2010 bis 2013 zeigte, dass die CSB-Zulauffracht zur Kläranlage Höxter leicht zunimmt. Die TKN-Fracht bleibt in etwa konstant. Dadurch verbessert sich das N/C-Verhältnis. Es ist jedoch immer noch als ungünstig zu bezeichnen.

Bei einer Bemessungstemperatur von 12 °C, die auch der Überwachungstemperatur entspricht, kann die Anlage mit Denitrifikation unter der bestehenden Belastungssituation nachgewiesen werden. jedoch ist rechnerisch die Dosierung einer externen C-Quelle notwendig. Es wird daher empfohlen, die bestehende Kohlenstoffdosieranlage zu erweitern oder eine zweite Anlage vorzuhalten, sodass auch in den Zulauf der Belebung eine Dosierung möglich ist. Die Verkleinerung bzw. Umfahrung der Vorklärung hatte in diesem Zusammenhang keinen positiven Effekt. Die Vorklärung sollte mit einer Aufenthaltszeit von rund 1,5 h betrieben werden.

Unterhalb der Überwachungstemperatur ist der Nachweis für die Nitrifikation bei der niedrigsten Temperatur im Zwei-Wochen-Mittel zu führen. Diese liegt bei 6,4 °C im Februar 2012. Rechnerisch ist ab einer Abwassertemperatur von 9,8 C das vorhandene Belebungsbeckenvolumen nicht mehr ausreichend.

Er wird empfohlen die Belüftungssteuerung der beiden Belebungsstraßen zu optimieren und die Umrüstung auf eine Fuzzy-Regelung zu prüfen. Dadurch können zumindest die Ammoniumspitzen vermindert werden. Aufgrund des fehlenden Belebungsbeckenvolumens sind weiterhin erhöhte Ammoniumwerte bei sehr tiefen Abwassertemperaturen zu erwarten.

Der Erneuerung der Belüftungssteuerung in Kombination mit der Ertüchtigung der Belüftungseinrichtungen sollte mit sehr hoher Priorität durchgeführt werden.

Weiterhin sollte der Betrieb der vorhandenen BABE-Anlage analysiert und optimiert werden, da diese neben der Behandlung der Prozesswässer aus der Schlammwässerung auch zur Anreicherung von Nitrifikanten im Hauptstrom der Kläranlage genutzt werden kann.

Der Säurekapazität ist beim reinen Nitrifikationsbetrieb besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Es wird empfohlen, den $K_{S4,3}$ -Wert im Zu- und Ablauf regelmäßig zu messen.

Die bestehenden beiden Nachklärungen weisen nach dem heutigen Regelwerk eine zu geringe Randwassertiefe auf. Beide Becken können jedoch mit einer verminderten hydraulischen Belastung nachgewiesen werden. Hier ist zu prüfen, ob der maximale Behandlungsvolumenstrom (Q_M) der KA Höxter von 1.244 m³/h auf 910 m³/h reduziert werden kann. Diese Maßnahme sollte rasch in Angriff genommen werden, da sich daraus weitere Optionen ergeben.

Weiterhin wird empfohlen, die Nachklärung II durch Simulation optimieren zu lassen. Bei vergleichbaren Maßnahmen hat sich gezeigt, dass durch eine Optimierung, insbesondere im Bereich des Königsstuhls die Leistungsfähigkeit von horizontaldurchströmten Rundbecken verbessert werden konnte.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Kläranlage Höxter durch den Neubau eines Belebungs- und eines Nachklärbeckens zu erweitern. Durch die zusätzliche Redundanz von Beckenvolumen würde sich insgesamt die Betriebssicherheit der Anlage erhöhen. Hinsichtlich der Investitionskosten liegt diese Maßnahme deutlich über den anderen vorgeschlagenen Maßnahmen. Die Maßnahmen wurden hier nachrichtlich als Referenz aufgeführt.

In nachstehender Tabelle sind die Maßnahmen mit der zugehörigen Priorität zusammenfassen dargestellt.

Tabelle 10: Prioritätenliste Maßnahmen

Kapitel	Bezeichnung	Priorität
5.2.1	Umfahrung/Verkleinerung Vorklärung	3
5.3.1	Anpassung Belüftungssteuerung	1
5.3.2	Dosierung C-Quelle	2
5.3.3	Überprüfung Verfahrenstechnik	2
5.3.3	Dosierung Flockungsmittel	1
5.3.4	Erweiterung Belebungsbecken	-
5.3.5	Dosierung Alkalie bei reinem Nitrifikationsbetrieb	2
5.3.6	Optimierung Betrieb BABE-Anlage und Belebung	1
5.4.1	Optimierung Nachklärung II	1
5.4.2	Reduzierung QM der Kläranlage	1
5.4.3	Neubau Nachklärung III	-
5.4.4	Neubau Filtrationsstufe	-

Literaturverzeichnis

- [100] *Deutsches Institut für Normung e. V.:* DIN 19552 – Rundbecken – Absetzbecken mit Schild- und Saugräumer und Eindicker – Bauformen, Hauptmaße, Ausrüstungen, Dezember 2002.
- [101] *DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.:* ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131/Bemessung von einstufigen Behandlungsanlagen ab 5.000 Einwohnern, Mai 2000.
- [102] *DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.:* Betriebsempfehlungen bei Problemen mit Nachklärbecken von Belebungsanlagen – Teil 1: Problembedeutung und Betriebsbeobachtungen. Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses KA-5 „Absetzverfahren“, KA 2007 (54), 9, 896-901.
- [103] *DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.:* Betriebsempfehlungen bei Problemen mit Nachklärbecken von Belebungsanlagen – Teil 2: Ursachen und Maßnahmen. Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses KA-5 „Absetzverfahren“, KA 2007 (54), 911, 1136-1140.
- [104] *Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen:* Merkblätter Band 53 – Bemessung kommunaler Kläranlagen – Hinweise für die Bemessung von Belebungsanlagen mit dem Programm ARA-Ber (Version 5.0), 2005.
- [105] *Resch, H.; Steinmann, G. A.:* Hinweise zur praktischen Handhabung der Bemessung von Nachklärbecken nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131, KA 1991 (38), 9, 1166-1177.

Anlage 1:
Ergebnisprotokoll Design2Treat, Version 5.17,
(HSG-Ansatz) ÜW NH₄-N = 5 mg/l
Bemessungslastfall Denitrifikation 12 °C;
RV = 0,75; TS_{BB} = 2,49 g/l

Anlage 2:
Ergebnisprotokoll Design2Treat, Version 5.17,
(HSG-Ansatz)
Bemessungslastfall Nitrifikation 6,4 °C;
RV = 0,75; TS_{BB} = 2,49 g/l

**Anlage 3:
Berechnung
Nachklärung I**

Projektnummer: 1299 001
 Anlage: 3
 Thema: Nachbemessung NKB 1 (Rechteckbecken)

01 Gewählte Beckengeometrie			
Beckentyp		Rechteckbecken	
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung	
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal	
Anzahl der Becken	n	2 Stück	
Innenbreite Becken	b_i	6,17 m	
Innenlänge Becken (ohne Störzone/Trichter)	l_i	50,00 m	
Oberfläche	A	617,00 m ²	
Beckentiefe	h_{ges}	2,35 m	geringe Tiefe!

A 131: Weiterbetrieb NKB bis $h_{ges} = 2$ m sinnvoll

02 Festlegung der Bemessungsdaten			
Mischwasserzufluss (IST-Wert)	$Q_{m,ist}$	323 m ³ /h	
		89,84 l/s	
Trockenwetterzufluss	Q_t	164,84 m ³ /h	
		45,79 l/s	
Rücklaufverhältnis	RV	0,75	
Schlammindex		152 l/kg	
Zulässige Eindickzeit:	t_E	2,0 h	
Verhältnis TS_{RS}/TS_{BS}	TS_{RS}/TS_{BS}	0,7	
Max. Schlammvolumenbeschickung	q_{SV}	230 l/(m ² · h)	
Beiwert für max. Volumenstrom	x_Q	80 %	
Max. Schlammvolumenraumbeschickung	$q_{SV,R}$	100 l/(m ³ · h)	

nach RESCH & STEINMANN, 1991

nach RESCH & STEINMANN, 1991

nach Bericht KA 5/2007

03 Berechnung Schlammparameter und Flächenbeschickung			
TS-Gehalt im Bodenschlamm	TS_{BS}	$1000 / ISV \cdot t_E^{0,333} =$	8,29 kg/m ³
TS-Gehalt Rücklaufschlammstrom	TS_{RS}	$TS_{BS} \cdot TS_{RS}/TS_{BS} =$	5,80 kg/m ³
TS-Gehalt im Belebungsbecken	TS_{BB}	$RV \cdot TS_{RS} / (1 + RV) =$	2,49 kg/m ³
TS-Gehalt im Zulauf zur Nachklärung	TS_{AB}	$TS_{BB} =$	2,49 kg/m ³
Vergleichsschlammvolumen	VSV	$TS_{AB} \cdot ISV =$	378 l/m ³
Flächenbeschickung	q_A	$q_{SV} / VSV =$	0,61 m/h

04 Nachweis Beckentiefe			
Klarwasserzone	h_1	=	0,50 m
Speicherzone	h_2	$0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV) / (1 - VSV \cdot 10^{-3}) =$	0,86 m
Speicherzone	h_3	$1,5 \cdot 0,3 \cdot q_{SV} \cdot (1 + RV) / 500 =$	0,36 m
Eindickzone	h_4	$TS_{BB} \cdot q_A \cdot (1 + RV) \cdot t_E / TS_{BS} =$	0,64 m
Erforderliche Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3}$		2,36 m
Nachweis Beckentiefe erbracht			vorhanden: 2,35 m

05 Berechnung maximaler Volumenstrom			
Beiwert für max. Volumenstrom		$x_Q =$	80,00 %
zul. Volumenstrom	zul. Q_M	$x_Q \cdot q_A \cdot A_{NB} =$	300,36 m ³ /h
Differenz zu zul. Q_M zu $Q_{M,ist}$	ΔQ_M	$Q_{M,ist} - \text{zul. } Q_M =$	23,08 m ³ /h
Rücklaufschlammstrom	Q_{RS}	$Q_M \cdot RV =$	225,27 m ³ /h
			63 l/s
vorh. Schlammvolumenraumbeschickung	$q_{SV,R,vorh}$	$q_{SV} / h_{ges} =$	97,87 l/(m ³ · h)

Legende

	Eingabewerte
	Vorgabewert Iteration
	Rechenwerte
	Hinweis, z.B. bei nicht erbrachtem Nachweis

Hinweis:

Von RESCH & STEINMANN (1991) wurde ein Verfahren vorgeschlagen um bestehende, flache NKB nachrechnen zu können [KA 38. (1991) H. 9, S. 1166-1177]:

**Anlage 4:
Berechnung
Nachklärung II**

Projektnummer: 1299 001
 Anlage: 4
 Thema: Nachbemessung NKB 2 (Rundbecken)

01 Gewählte Beckengeometrie			
Beckentyp		Rundbecken	
Schlammräumung (Schildräumung/Saugräumung)		Schildräumung	
Durchströmung (vertikal/horizontal)		horizontal	
Anzahl der Becken	n	1 Stück	
Innendurchmesser Becken	D_i	36,00 m	
Außendurchmesser Königstuhl	D_a	4,00 m	
Oberfläche	A	1005,31 m ²	
Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3} = h_{ges}$	2,58 m	geringe Tiefe!
Beckenrandtiefe	h_{Rand}	2,32 m	geringe Tiefe!
Neigung der Sohle	l_s	0,04	Neigung gering

A 131: Weiterbetrieb NKB bis $h_{ges} = 2$ m sinnvoll

DIN 19552: Neigung 1:15 = 0,07

02 Festlegung der Bemessungsdaten			
Mischwasserzufluss (IST-Wert)	$Q_{m,ist}$	921 m ³ /h	
		255,83 l/s	
Trockenwetterzufluss	Q_t	469,16 m ³ /h	
		130,32 l/s	
Rücklaufverhältnis	RV	0,75	
Schlammindex	ISV	152 l/kg	
Zulässige Eindickzeit:	t_E	2,0 h	
Verhältnis TS_{RS}/TS_{BS}	TS_{RS}/TS_{BS}	0,7	
Max. Schlammvolumenbeschickung	q_{SV}	255 l/(m ² · h)	
Beiwert für max. Volumenstrom	x_Q	90 %	
Max. Schlammvolumenraumbeschickung	$q_{SV,R}$	100 l/(m ³ · h)	

nach RESCH & STEINMANN, 1991

nach RESCH & STEINMANN, 1991

nach Bericht KA 5/2007

03 Berechnung Schlammparameter und Flächenbeschickung			
TS-Gehalt im Bodenschlamm	TS_{BS}	$1000 / ISV \cdot t_E^{0,333} =$	8,29 kg/m ³
TS-Gehalt Rücklaufschlammstrom	TS_{RS}	$TS_{BS} \cdot TS_{RS}/TS_{BS} =$	5,80 kg/m ³
TS-Gehalt im Belebungsbecken	TS_{BB}	$RV \cdot TS_{RS} / (1 + RV) =$	2,49 kg/m ³
TS-Gehalt im Zulauf zur Nachklärung	TS_{AB}	$TS_{BB} =$	2,49 kg/m ³
Vergleichsschlammvolumen	VSV	$TS_{AB} \cdot ISV =$	378 l/m ³
Flächenbeschickung	q_A	$q_{SV} / VSV =$	0,67 m/h

04 Nachweis Beckentiefe			
Klarwasserzone	h_1	=	0,50 m
Trennzone	h_2	$0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV) / (1 - VSV \cdot 10^{-3}) =$	0,95 m
Speicherzone	h_3	$1,5 \cdot 0,3 \cdot q_{SV} \cdot (1 + RV) / 500 =$	0,40 m
Eindickzone	h_4	$TS_{BB} \cdot q_A \cdot (1 + RV) \cdot t_E / TS_{BS} =$	0,71 m
Erforderliche Beckentiefe im 2/3-Punkt	$h_{2/3}$		2,56 m
			vorhanden: 2,58 m
Erforderliche Beckenrandtiefe	h_{Rand}		2,30 m
			vorhanden: 2,32 m
Nachweis Beckentiefe erbracht			

05 Berechnung maximaler Volumenstrom			
Beiwert für max. Volumenstrom	x_Q	=	90,00 %
zul. Volumenstrom	zul. Q_M	$x_Q \cdot q_A \cdot A_{NB} =$	610,40 m ³ /h
			$Q_{m,ist} > \text{zul. } Q_M!$
Differenz zu zul. Q_M zu $Q_{M,ist}$	ΔQ_M	$Q_{M,ist} - \text{zul. } Q_M =$	310,60 m ³ /h
Rücklaufschlammstrom	Q_{RS}	$Q_M \cdot RV =$	457,80 m ³ /h
			127 l/s
vorh. Schlammvolumenraumbeschickung	$q_{SV,R,vorh}$	$q_{SV} / h_{ges} =$	98,84 l/(m ³ · h)

Legende

	Eingabewerte
	Vorgabewert Iteration
	Rechenwerte
	Hinweis, z.B. bei nicht erbrachtem Nachweis

Hinweis:

Von RESCH & STEINMANN (1991) wurde ein Verfahren vorgeschlagen um bestehende, flache NKB nachrechnen zu können [KA 38. (1991) H. 9, S. 1166-1177]: