

N-Elimination ARA Emmenspitz Abschlussbericht



Roman Schäfer, Prof. Dr. Michael Thomann

Muttenz, 13.02.2024

Inhaltsverzeichnis

1	ARA Emmenspitz	3
1.1	Zulaufbedingungen	4
1.2	CSB-Elimination VKB	6
1.3	Luftmengenmessung Biologie	7
1.4	Faulwasserentstickung	9
1.5	Biogen-Abwasser	11
2	N-Elimination und Ablaufwerte	12
3	Erhöhung der N-Elimination im Bestand	15
3.1	Erhöhung des anoxischen Volumens	15
3.2	Intermittierende Belüftung:	15
3.3	Interne Rezirkulation	15
3.4	Erhöhung CSB/N-Verhältnis	15
4	Modell	16
4.1	Bereinigung Daten	17
5	Resultat Modellierung	19
5.1	Fremdwasser	19
5.2	Interne Rezirkulation	21
5.3	Bewirtschaftung Polyvalenzzone	21
5.4	Faulwasserentstickung	22
5.5	Intermittierende Belüftung	23
5.6	Erhöhung des CSB/N-Verhältnisses	24
6	Schlussfolgerung	25
	Abbildungsverzeichnis	26
	Tabellenverzeichnis	27

1 ARA Emmenspitz

Tabelle 1: Beckenvolumen und Aufteilung der ARA Emmenspitz

	Anzahl	Volumen [m ³]	totales Volumen [m ³]
Vorklärbecken	2	2'740	5'480
Biologie- Anoxbecken	4	905	3'620
Biologie- Polyvalent	8	465	3'720
Biologie- Belüftet	16	650	10'400
Nachklärbecken	4	3'960	11'200

Die ARA Emmenspitz reinigt das Abwasser von rund 149'000 EW und ist dimensioniert für 125'000 EW_{dim}. Dies geschieht mithilfe von vier Biologiestrassen, die jeweils in sieben Kompartimente unterteilt sind. Davon ist ein Kompartiment ein Anoxbecken mit 905 m³ sowie zwei Polyvalenzonen mit jeweils 465m³ und vier belüfteten Belebungsbecken mit jeweils 650 m³. Jede Biologiestrasse verfügt über eine Nachklärung mit einem Volumen von jeweils 3'960 m³.

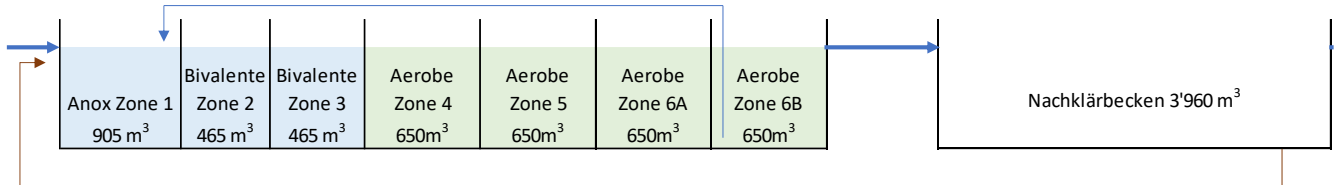


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer der vier Biologiestrassen der ARA Emmenspitz.

Insgesamt stehen auf der ARA pro EW rund 119 L/EW Biologievolumen zur Verfügung. Je nach Betrieb der Polyvalenzzone beträgt der Denitrifikationsanteil an der Biologie 0.2, 0.31 resp. 0.41 was 24, 37 resp.49 L/EW entspricht (Tabelle 2).

Tabelle 2: Volumen der ARA Emmenspitz für die Nitrifikation und die Denitrifikation.

	Polyvalenzzone		
	Zone 2 + 3 belüftet	Zone 2 anoxisch, Zone 3 belüftet	Zone 2 + 3 anoxisch
V_{den}/V_{BB} [m ³ _{Den} /m ³ _{total}]	0.2	0.31	0.41
L/EW anoxisch - Denitrifikation	24	37	49
L/EW belüftet - Nitrifikation	95	82	70
L/EW Total	119	119	119

Die ARA Emmenspitz verfügt über eine Faulwasserentstickung (Anammox). Mittels einem 2-stufigen Verfahren werden rund 80% des anfallenden Faulwassers entstickt. Die durchschnittliche Belastung der Entstickung liegt bei 50 [kgN/d]. Der Wirkungsgrad bezüglich N-Elimination liegt im Bereich von knapp 80%.

1.1 Zulaufbedingungen

Die CSB-Konzentrationen im Rohzulauf lagen in den Jahren 2020, 2021, 2022 sowie 2023 im Bereich zwischen 40-450 mg/L. Die CSB-Konzentrationen Ablauf VKB lagen in den Jahren 2020, 2021, 2022 und 2023 im Bereich zwischen 40-185 mg/L. Der Median lag jeweils im Bereich von 93-115 mg/L. Die CSB-Elimination in der Vorklärung liegt im Bereich von 10-74 %, im Mittel bei 58 %. Die tiefen Ablauf VKB-Konzentrationen lassen sich durch die hohe CSB-Elimination in der Vorklärung erklären und den hohen Fremdwasseranteil, der zu einer starken Verdünnung des Abwassers führt.

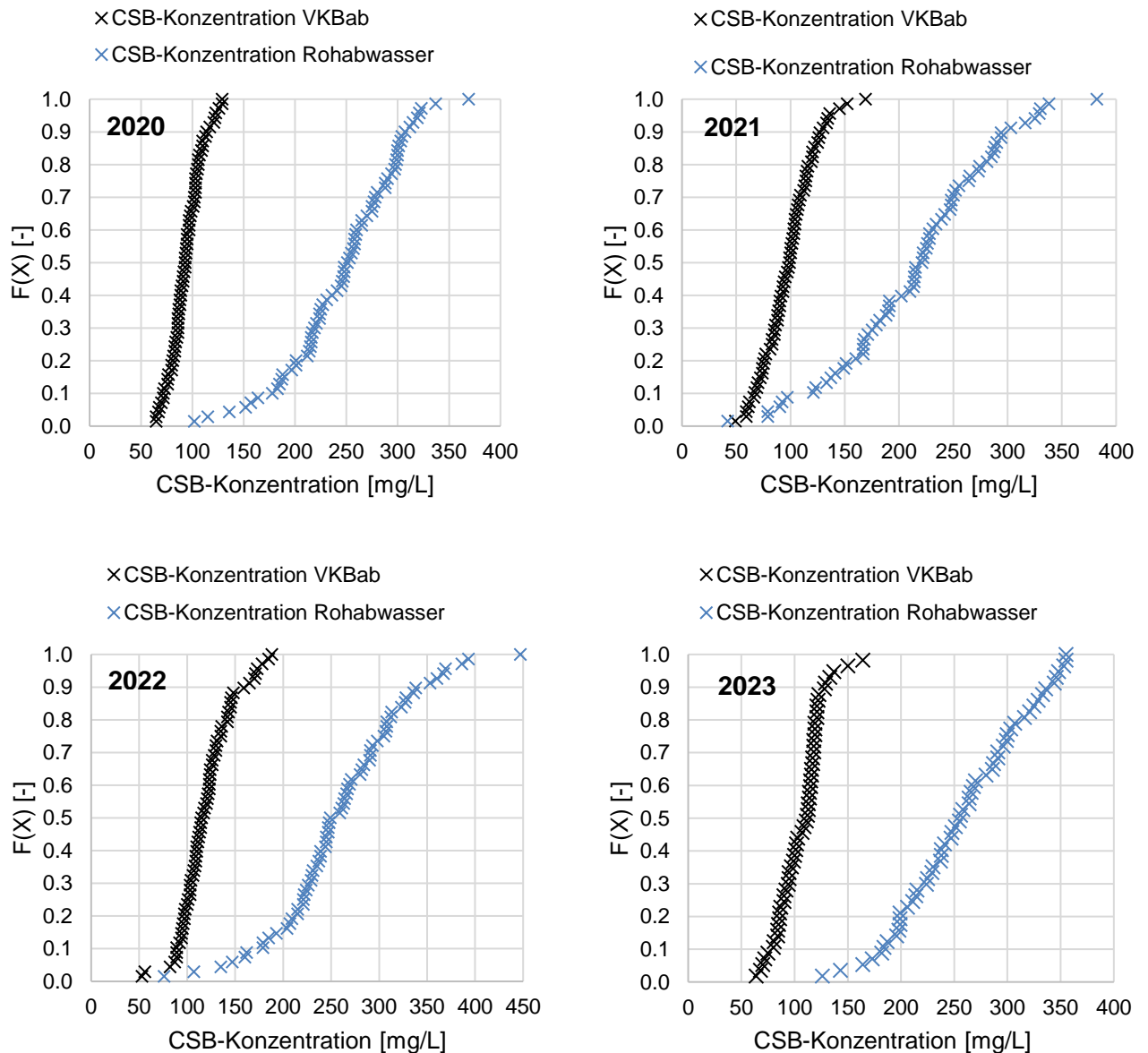


Abbildung 2: Verteilung der CSB-Konzentrationen für die Jahre 2020, 2021 und 2022 im Zulauf der Biologie.

Im Median liegen die CSB-Zulaufkonzentrationen zur Biologie im Bereich zwischen 93-115 mgCSB/L. 90% der Messwerte liegen im Bereich zwischen 50-150 mg/L CSB.

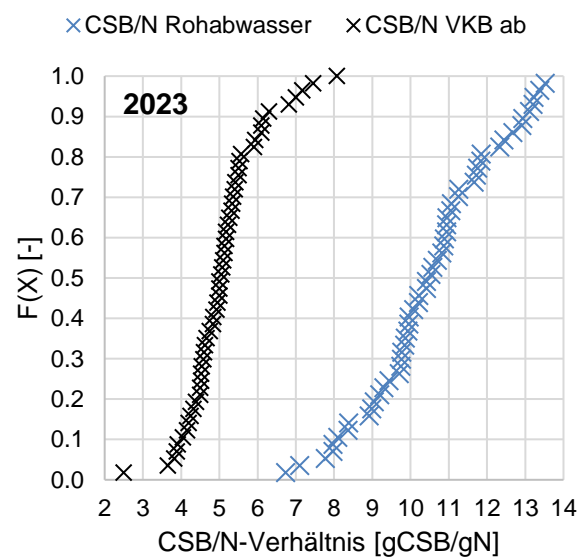
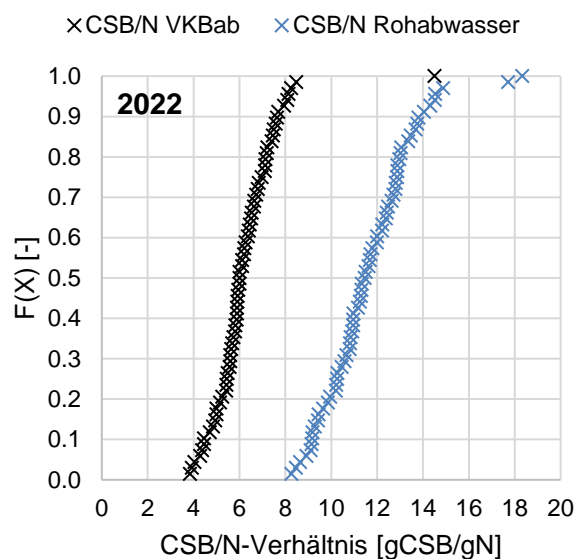
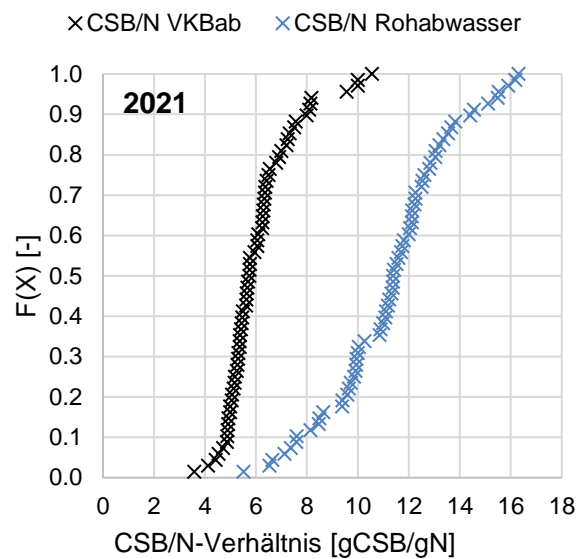
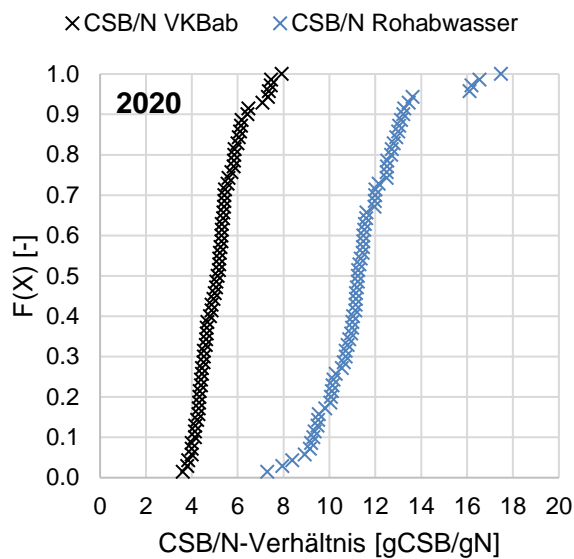


Abbildung 3: Verteilung der CSB-N-Verhältnisse Ablauf VKB für die Jahre 2020, 2021 und 2022 im Zulauf der Biologie.

Das CSB/N-Verhältnis im Ablauf VKB liegt im Median zwischen 5-6 gCSB/gN (2.5-10.5). Im Jahr 2020 und 2023 waren 80% der Messwerte <6 in den Jahren 2021 und 2022 lagen rund 50 resp. 55% der Messwerte im Bereich >6.

In der Betrachtung der täglichen Zulaufmengen ist auffallend, wie die tägliche Nitratfracht mit der Zulaufmenge korreliert (Abbildung 4). Das Trinkwasser in der Region weist einen ungefähren Nitratgehalt von 3 mg NO₃-N/L auf. Da die Zulaufmenge mit der Nitratfracht korreliert, kann davon ausgegangen werden, dass während Niederschlägen der Grossteil des Wassers als Grundwasser in die Kanalisation gelangt. Diese Korrelation ist für die CSB-Fracht nicht erkennbar.

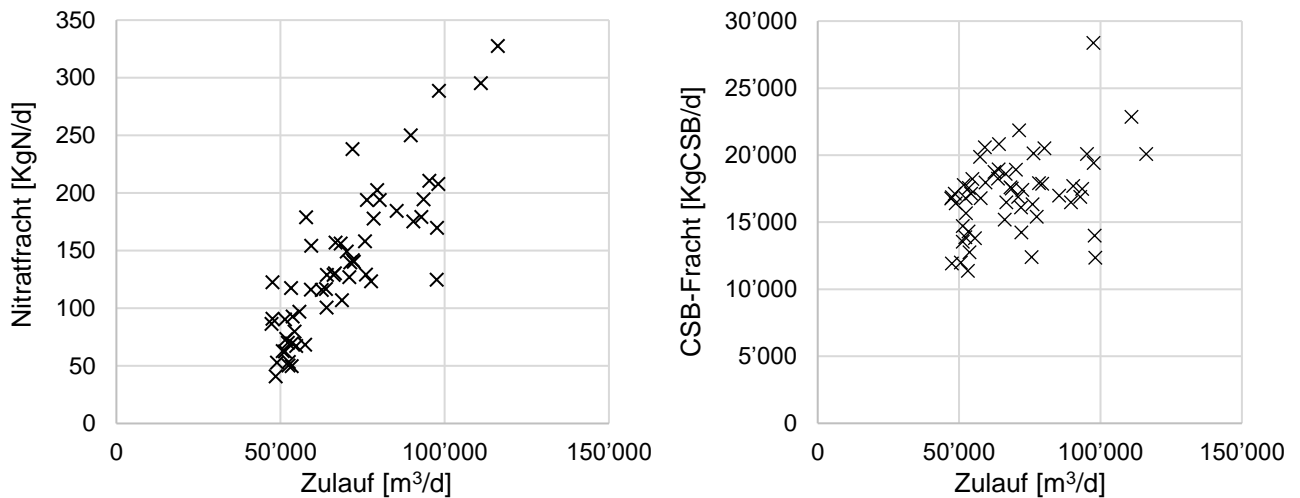


Abbildung 4: Korrelation zwischen der täglichen Zulaufmenge und der täglichen Nitratfracht (links) sowie CSB-Fracht (rechts).

1.2 CSB-Elimination VKB

Die ARA Emmenspitz weist ein VKB-Volumen von 5'480 m³ auf. Bei Trockenwetter liegt die Aufenthaltszeit bei rund 1.6 h. Die mittlere Aufenthaltszeit liegt im Bereich von 2h.

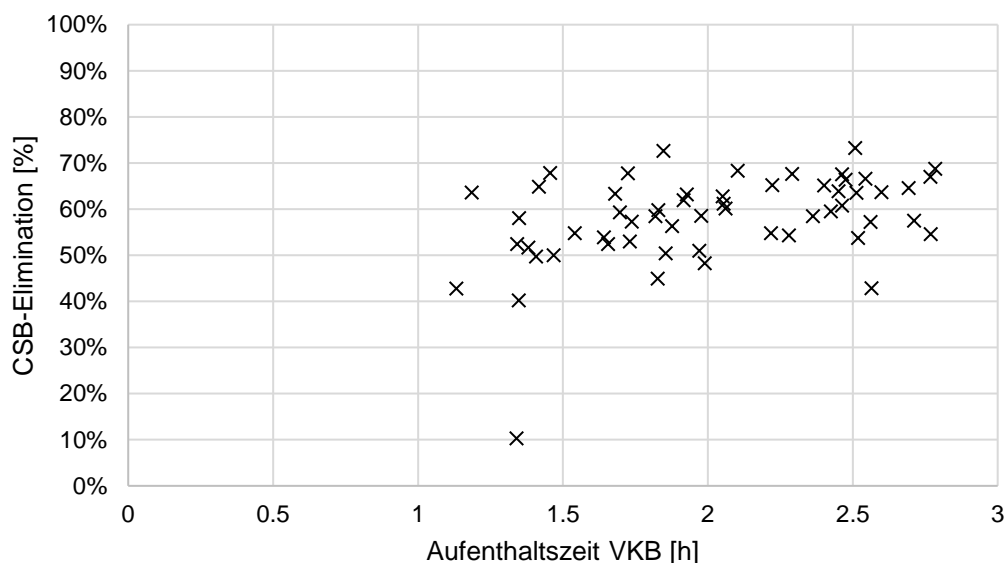


Abbildung 5: CSB-Elimination über die Vorklärung in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit.

Gemäss DWA A-131 wären im Mittel CSB-Eliminationen im Bereich von 25-40 % zu erwarten. Aus den Daten der ARA Emmenspitz gehen jedoch fürs Jahr 2023 CSB-Eliminationen im Bereich von 10-73 % hervor, im Mittel liegt die CSB-Elimination bei 58 % (Abbildung 5). Gründe für die zeitweise hohe CSB-Elimination könnte die Rückführung des ÜSS in die Vorklärung sein, was zu einer stärkeren Adsorption führt. Zusätzlich ist aus den Nitratfrachten ersichtlich, dass es in der Vorklärung zeitweise zu einer Denitrifikation kommt.

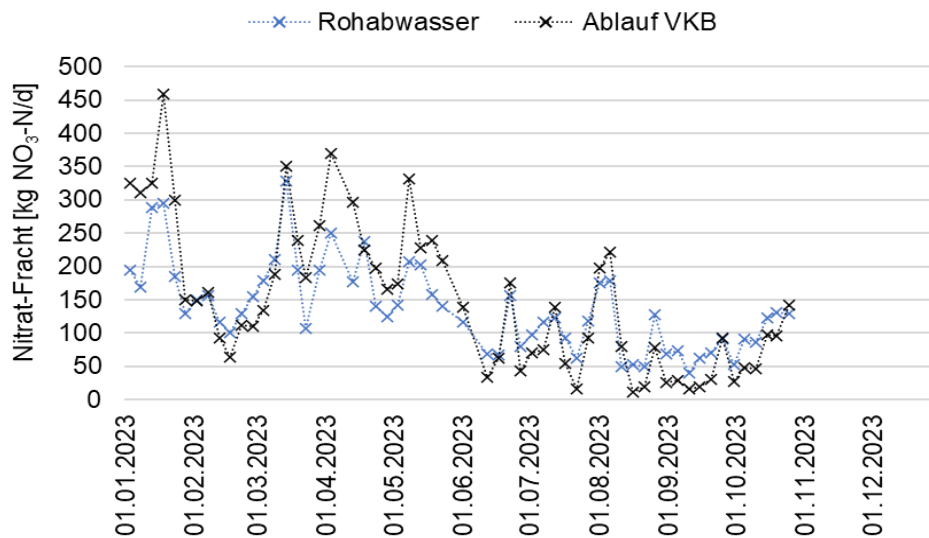


Abbildung 6: Tägliche Nitratfracht im Ablauf (schwarz) resp. Zulauf (blau) der Vorklärung.

Die Nitratfracht ist im Winter in der Regel höher im Ablauf VKB als im Rohabwasser, dies ist auf die Rückführung des ÜSS und die damit verbundene Nitrat-Rückführung zurückzuführen. Im Sommer ist dagegen eine Elimination des Nitrates in der Vorklärung erkennbar, was auf eine Denitrifikation in der Vorklärung schließen lässt. Im Allgemeinen sind die Nitratfrachten in der kälteren Jahreszeit deutlich höher als im Sommer.

1.3 Luftmengenmessung Biologie

Die benötigte Luftmenge für die ARA Emmenspitz ist in Abbildung 7 dargestellt. Deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Strassen sind erkennbar. Die Strasse 1 zeigt einen deutlich geringere benötigte Luftmenge im Vergleich zu den anderen Strassen.

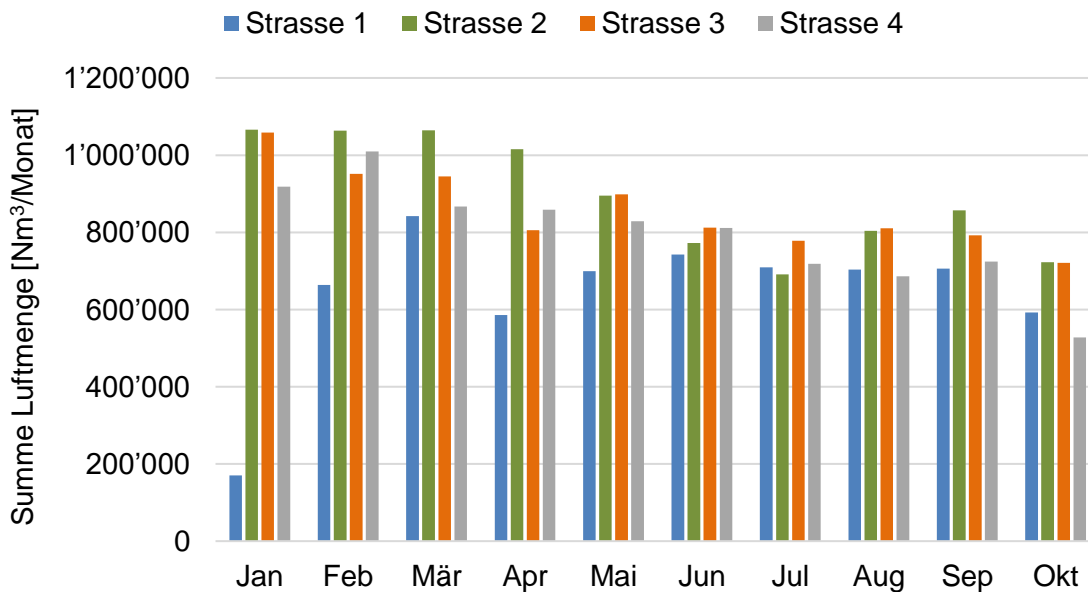


Abbildung 7: Luftmengen für die Biologiestrassen 1-4 über das Jahr 2022

Mithilfe der benötigten Luftmenge lässt sich ein Tagesgang ableiten bezogen auf die Belastung durch Ammonium und CSB. In der Abbildung 8 ist dieser Tagesgang für die einzelnen Strassen abgebildet. In den Stunden zwischen 04:00 und 09:00 Uhr ist die Belastung am geringsten. Die höchste Belastung wird am Nachmittag zwischen 13:00 und 17:00 Uhr beobachtet. Der Tagesgang bildet die Verhältnisse in der belüfteten Zone ab und zeigt deshalb eine Zeitverzögerung von rund 4-6h auf, da die Aufenthaltszeit in der Vorklärung und in den anoxischen Zonen im Bereich zwischen 4-6h liegt.

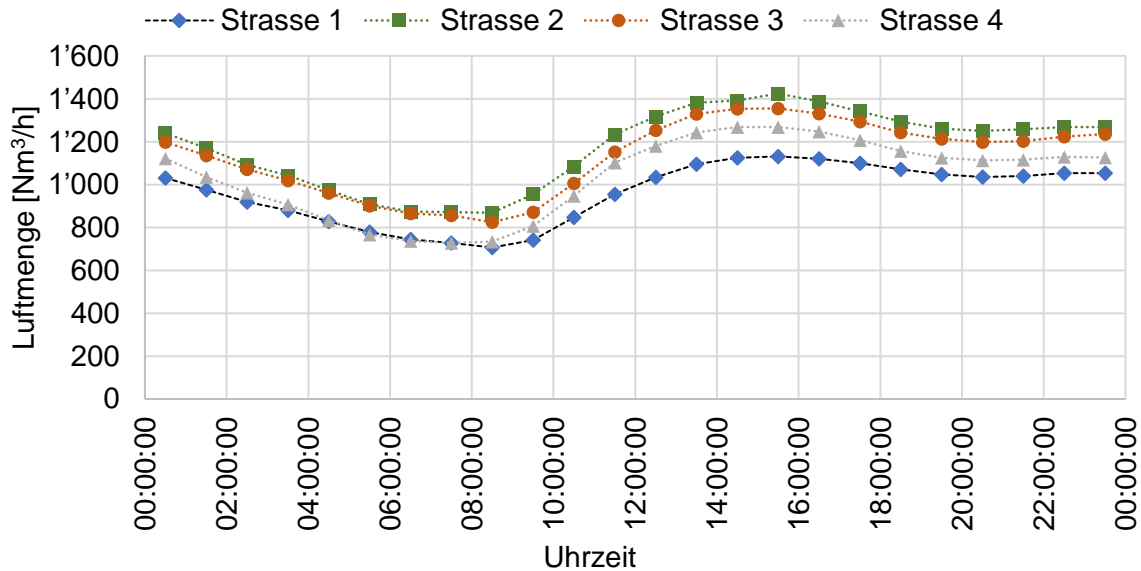


Abbildung 8: Mittlere Luftmenge für die Biologiestrassen 1-4 über einen Tag.

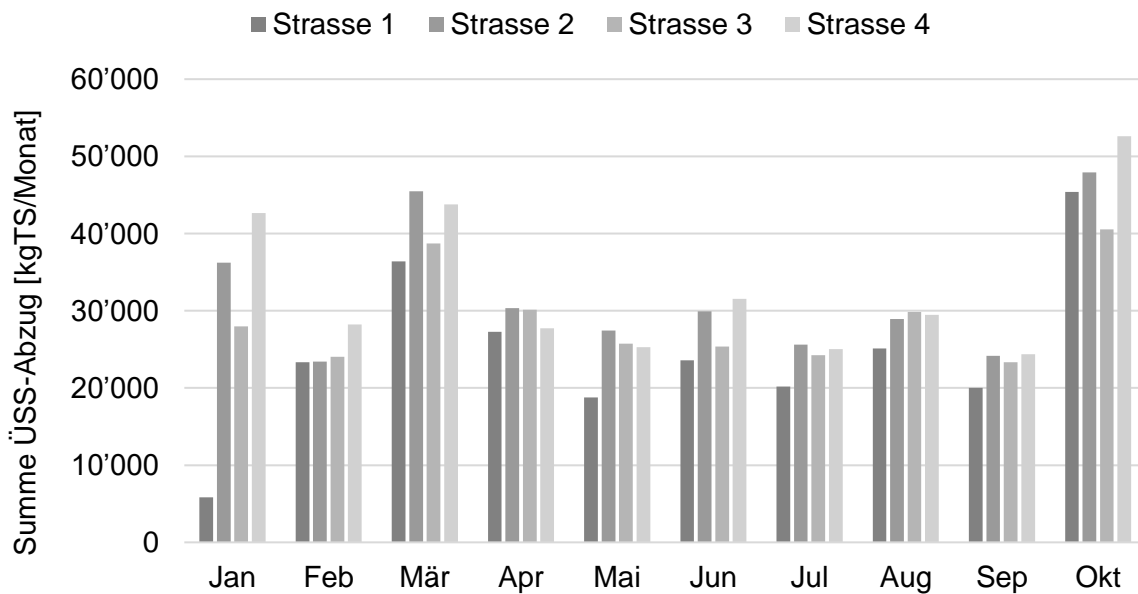


Abbildung 9: Monatliche ÜSS-Mengen (kgTS/Monat) die in den einzelnen Strassen anfallen.

Der Überschussschlammabzug erfolgt auf der ARA über die Vorklärung. In Abbildung 9 sind die monatlichen Schlammüberschussmengen dargestellt für die 4 Strassen. Ein Vergleich mit der benötigten Luftmenge pro Strasse zeigt, dass deutliche Unterschiede erkennbar sind. Eine höhere Belastung einer Strasse sollte in einem vermehrten Schlammabzug sowie in einer höheren Luftmenge resultieren.

Dies ist für die ARA Emmenspitz nicht der Fall, deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Luftmengenmessung für die einzelnen Strassen nicht korrekt ist.

Tabelle 3: Vergleich der benötigten Luftmenge und ÜSS-Anfall für die vier Strassen im Jahr 2023

	Strasse 1	Strasse 2	Strasse 3	Strasse 4
Luftmenge Summe [Nm ³]	6'416'000	8'952'000	8'573'000	7'950'000
Frachtverteilung basierend Luftmenge	20%	28%	27%	25%
ÜSS-Abzug [kgTS]	246'000	319'000	290'000	331'000
Frachtverteilung basierend ÜSS-Abzug	21%	27%	24%	28%

Gemäss den Überschussschlammengen kann davon ausgegangen werden, dass die Strassen 2 und 4 stärker belastet sind im Vergleich zur Strasse 1 und 3. Dies lässt sich damit erklären, dass Strasse 2 und 4 vom selben Vorklärbecken beschickt werden. Die Luftmengenmessung bestätigen diese ungleiche Belastung, mit einer um 13% höheren Belastung der Strassen 2 und 4 im Vergleich zur den Strassen 1 und 3.

1.4 Faulwasserentstickung

Das in der Faulung anfallende Faulwasser wird mithilfe eines 2-stufigen Anammox-Verfahren entstickt (Demon).

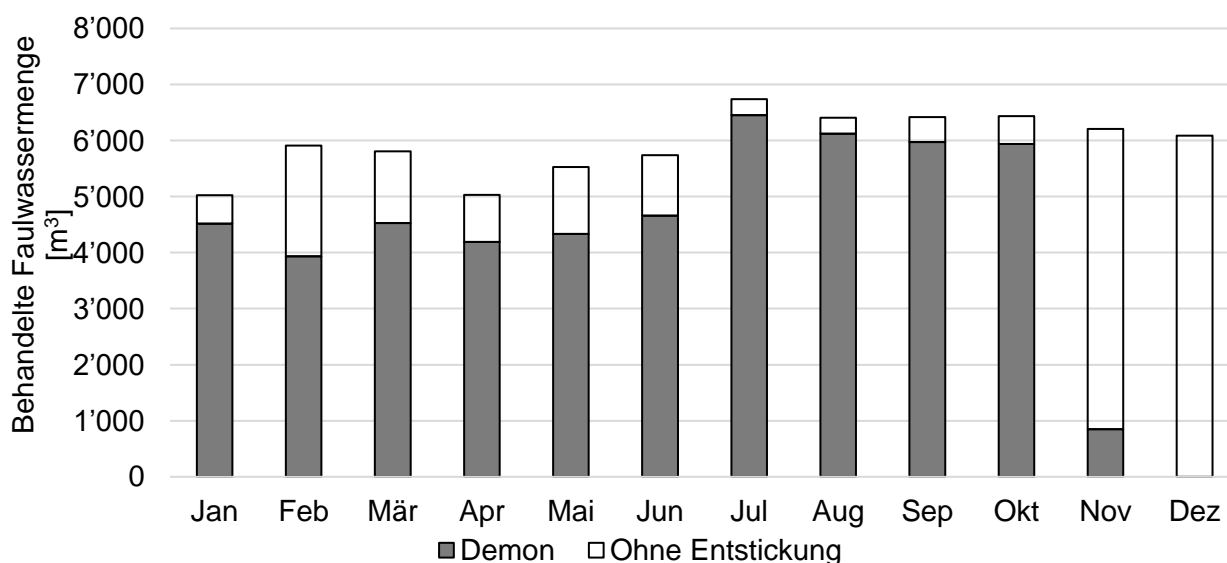


Abbildung 10: Anteil des Faulwassers das einer separaten Faulwasserentstickung unterzogen wird (Jahr 2022).

Für das Jahr 2022 wurden rund 73 % des anfallenden Faulwassers mit dem Demon-Verfahren entstickt. Maximal behandelt wurden rund 6'000 m³ Faulwasser pro Monat.

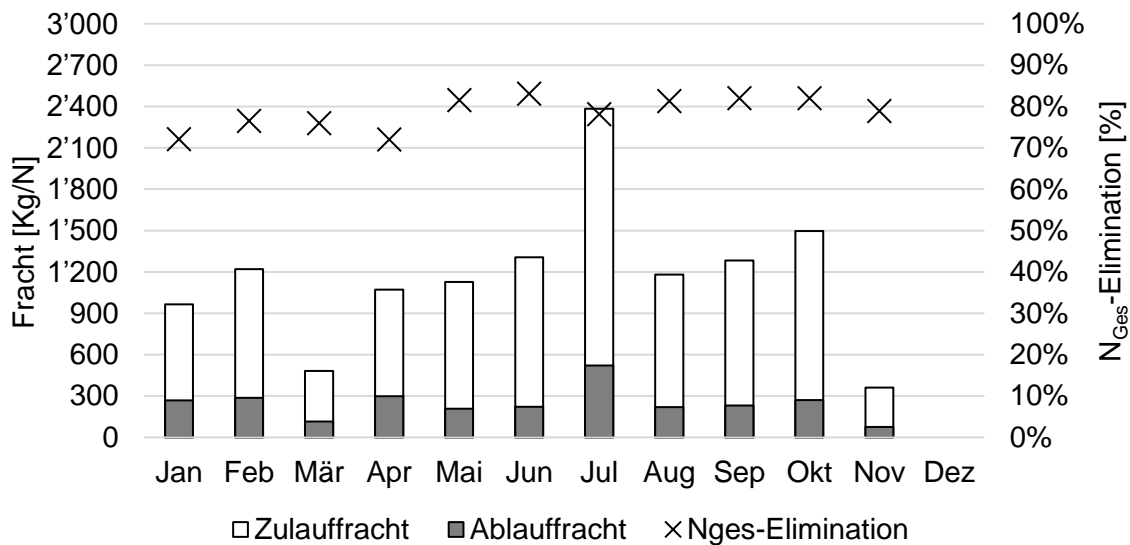


Abbildung 11: Zulauf- respektive Ablauffracht der Faulwasserentstickung für das Jahr 2022 sowie resultierende N-Elimination.

Die N-Elimination des Demon-Verfahrens lag für das Jahr 2022 im Bereich zwischen 72-83% (Mittel 78%).

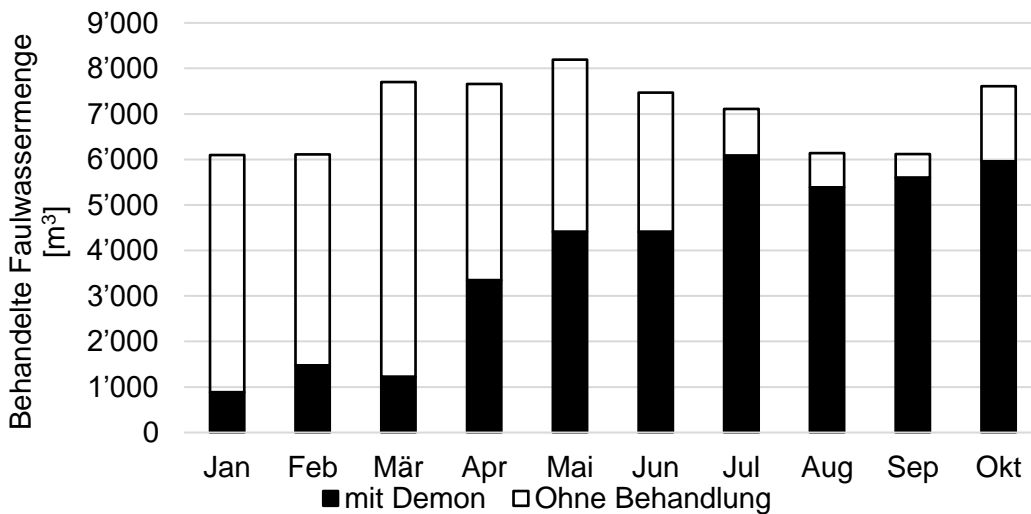


Abbildung 12: Behandelte Faulwassermenge für Januar -Oktober 2023.

Im Jahr 2023 war der Demon-Reaktor von Januar bis Juni nur beschränkt in Betrieb aufgrund von betrieblichen Problemen. Ab Juli lief die Faulwasserentstickung wieder mit einer durchschnittlichen N-Elimination von 77 %. Maximal 6'000m³ konnten pro Monat einer Entstickung unterzogen werden.

1.5 Biogen-Abwasser

Die ARA Emmenspitz erhält von der Firma Biogen Industrieabwasser. Zurzeit läuft die Produktion noch nicht im Vollbetrieb sondern versuchsweise und das Abwasser fällt Batchweise an. Im Zeitraum von Januar-Oktober 2023 gelangten so rund 9'700 kg CSB von der Biogen zur ARA Emmenspitz. Im Mittel lag die tägliche CSB-Fracht bei rund 32 kg/d, was rund 0.2% der täglichen CSB-Fracht ausmacht. An gewissen Tagen lag die CSB-Fracht im Bereich zwischen 100-200 kgCSB/d (Abbildung 13).

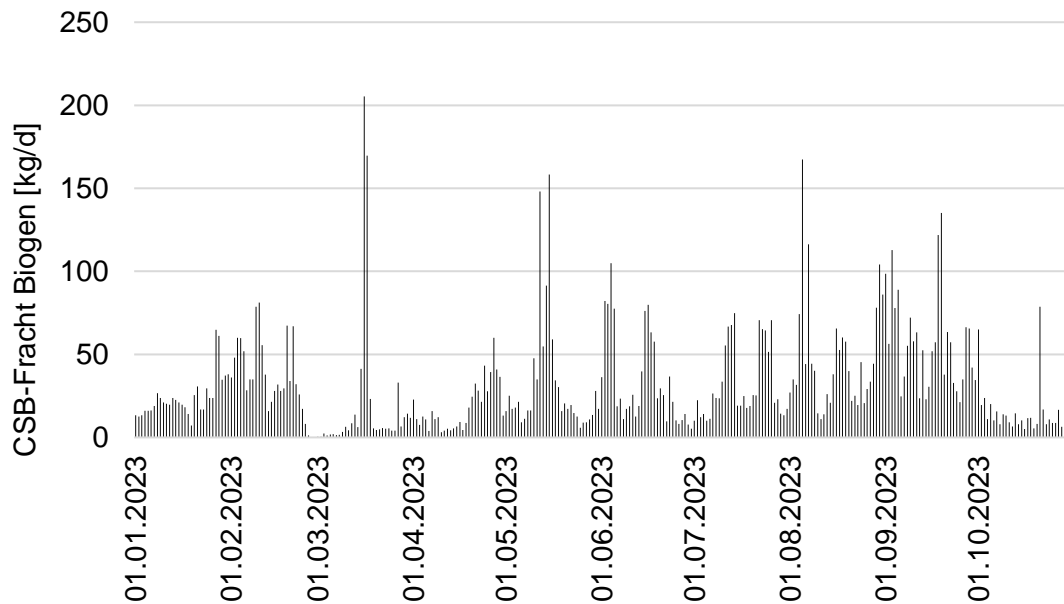


Abbildung 13: tägliche CSB-Fracht bedingt durch das Biogen-Abwasser

2 N-Elimination und Ablaufwerte

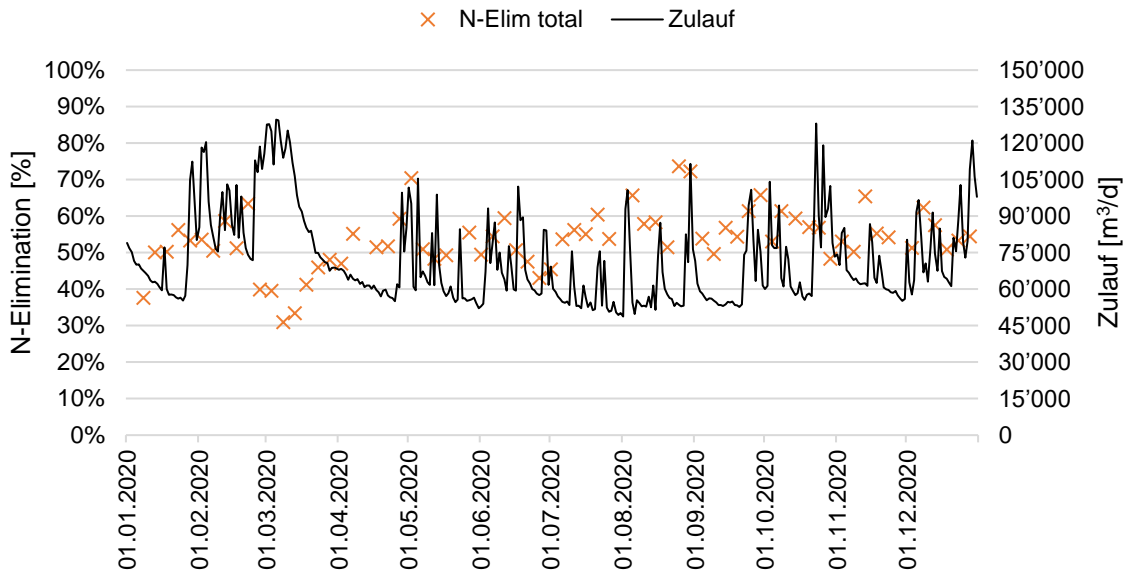


Abbildung 14: N-Elimination über die Biologie und tägliche Zulaufmenge Q_{in} für das Jahr 2020.

Für das Jahr 2020 schwankt die N-Elimination zwischen 30-73% (Abbildung 14). Der Monat März war relativ nass, dies führte zu tiefen N-Elimination im Bereich zwischen 30-50%. Im Mittel lag die N-Elimination bei 67 %.

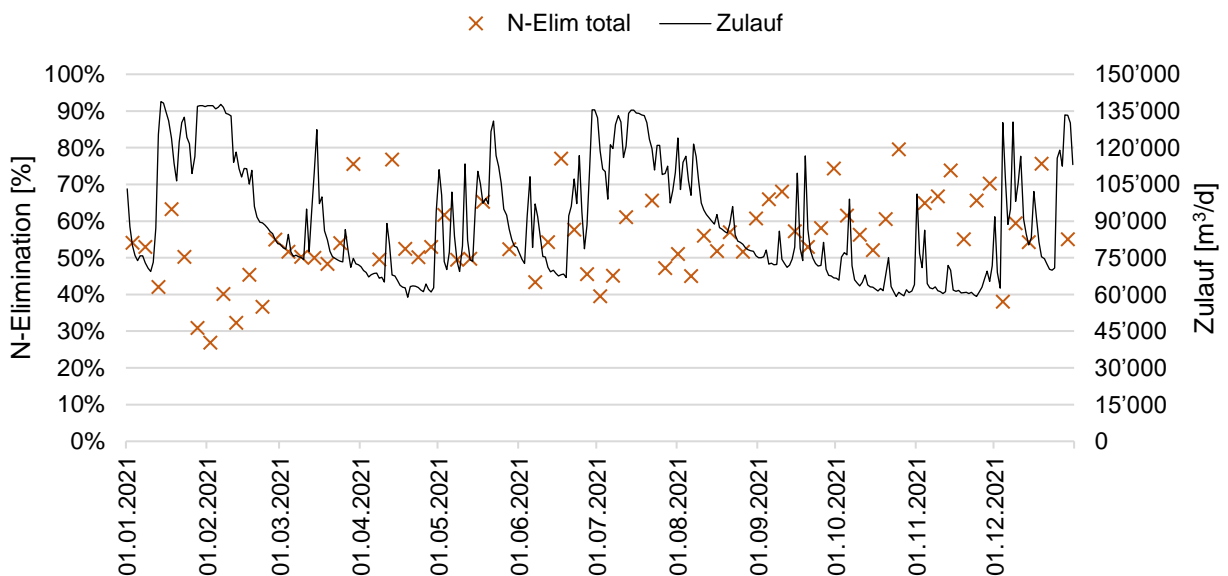


Abbildung 15: N-Elimination über die Biologie und tägliche Zulaufmenge Q_{in} für das Jahr 2021.

Für das Jahr 2021 lagen die N-Eliminationen im Bereich zwischen 27-80 % (Abbildung 15). Das Jahr 2021 war sehr nass, was sich in den hohen Zulaufmengen zeigt. Die N-Elimination lag im Mittel bei 64%.

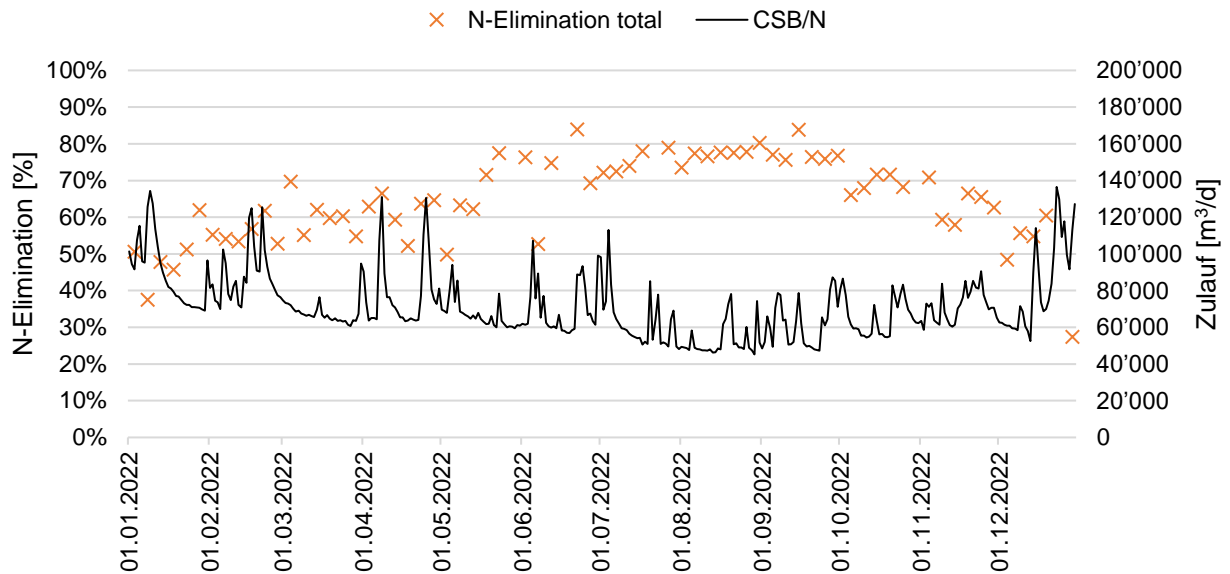


Abbildung 16: N-Elimination und tägliche Zulaufmenge Q_{in} für das Jahr 2022.

Für das Jahr 2022 lagen die N-Eliminationen im Bereich zwischen 28-84 % (Abbildung 16). Der trockene Sommer begünstigte die N-Elimination. Zusätzlich führten Probleme mit dem Schlammabzug dazu, dass der TS-Gehalt in der Biologie zunahm. Dadurch wurde die Vorklärung anoxisch und es kam vermutlich zu einer Versäuerung in der Vorklärung, wodurch mehr CSB für die Denitrifikation verfügbar war. Im Mittel lag die N-Elimination bei 66 %

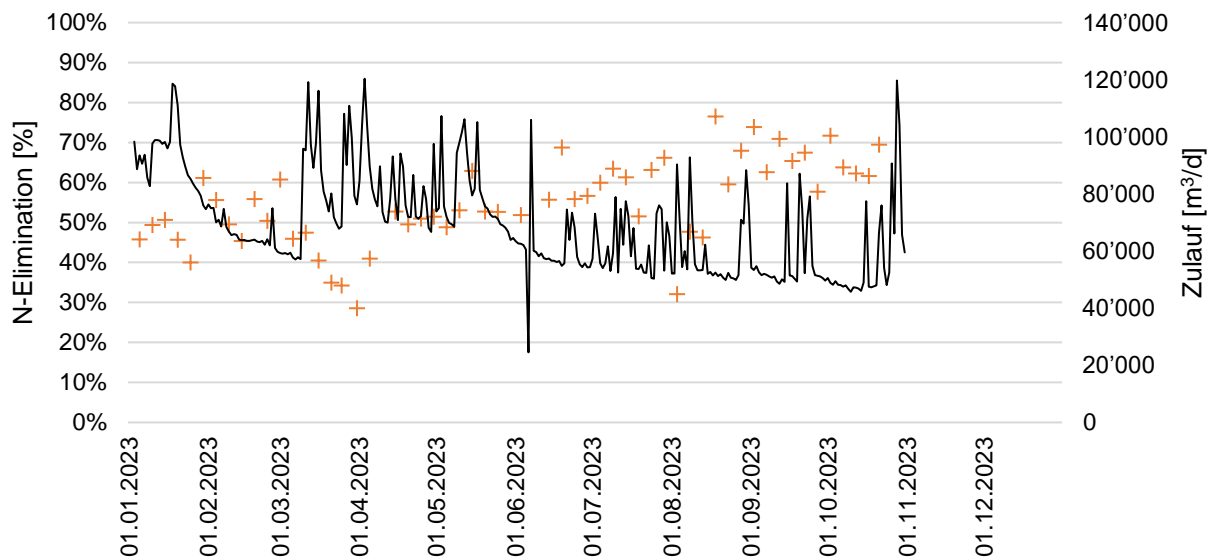


Abbildung 17: N-Elimination und die tägliche Zulaufmenge Q_{in} für Januar bis Oktober 2023.

Für Januar bis und mit Oktober 2023 lag die N-Elimination im Bereich zwischen 29 und 76 %. Im Mittel lag die N-Elimination bei 61%.

Tabelle 4: Vergleich Ablaufwerte der Stickstoffverbindungen und die N-Elimination über die biologische Stufe für die Jahre 2020, 2021, 2022 und 2023.

Ablauf NKB	N _{tot}		NH ₄ -N		NO ₂ -N		NO ₃ -N		N-Elimination		
	Ø	Ø	90%-Quantil	Ø	90%-Quantil	Ø	90%-Quantil	Ø	90%-Quantil	Ø	90%-Quantil
	[m ³ /d]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[%]	[%]
2020	71'988	10.0	13.0	0.04	0.09	0.01	0.03	8.7	11.8	45%	59%
2021	89'205	8.3	11.2	0.04	0.08	0.01	0.03	6.8	9.4	48%	69%
2022	71'562	7.7	11.0	0.13	0.44	0.02	0.11	6.1	9.7	60%	75%
01-10. 2023	69'510	9.4	13.6	0.05	0.07	0.01	0.02	8.2	12.3	55%	69%

Die N-Elimination über die biologische Stufe (Ablauf VKB/Ablauf NKB) lag für die Jahre 2020-2023 im Bereich zwischen 45-60 %. Im Jahr 2022 sind die N-Eliminationen erhöht da über eine längere Periode der ÜSS-Abzug nicht funktioniert hat und deshalb viel ÜSS über die Vorklärung abgezogen wurde. Die Ablaufwerte für Ammonium und Nitrit sind für die untersuchten Perioden tief und die Grenz- resp. Richtwerte werden eingehalten. Dies bedeutet, dass die Nitrifikation stabil abläuft und das belüftete Biologievolumen ausreichend gross dimensioniert ist.

3 Erhöhung der N-Elimination im Bestand

3.1 Erhöhung des anoxischen Volumens

Eine Vergrößerung der anoxischen Zonen führt zu einer längeren Aufenthaltszeit unter anoxischen Bedingungen. Dadurch wird die Hydrolysezeit verlängert, was zu einer höheren Hydrolyse der partikularen CSB-Fraktion führt, wodurch mehr CSB für die Denitrifikation zu Verfügung steht.

Die 4 Strassen der ARA Emmenspitz gliedern sich in 7 Kompartimente. Die erste Zone ist strikt anoxisch. Das zweite und dritte Kompartiment kann entweder anoxisch oder aerob betrieben werden. Das anoxische Volumen beträgt somit entweder 24 resp. 49L/EW. Die aktuellen Daten zeigen, dass 70L/EW für die Nitrifikation ausreichend sogar im Winter. Somit ist mithilfe der aktuellen Beckenaufteilung keine saisonale Bewirtschaftung möglich, da das anoxische Volumen bereits ganzjährig ausgeschöpft werden kann. Um das anoxische Volumen zu vergrößern, besteht die Möglichkeit die erste belüftete Zone intermittierend zu belüften

3.2 Intermittierende Belüftung:

Die Belüftung in der ersten aeroben Zone wird intermittierend betrieben, das heisst, belüftete und unbelüftete Phasen wechseln sich ab. Dies führt zu mehr anoxischem Volumen allerdings zu Lasten der Nitrifikation. Dadurch reduziert sich die Sicherheit auf der Nitrifikation und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei Regenereignissen die Nitrifikation instabil wird.

3.3 Interne Rezirkulation

Bei der vorgeschalteten Denitrifikation muss sichergestellt werden, dass genügend Nitrat von der aeroben Zone (Nitrifikation) in die anoxische Zone eingetragen wird. Die ARA Emmenspitz verfügt bereits über eine interne Rezirkulation die nitrathaltiges Abwasser aus der Zone 6a in die anoxische Zone fördert. Die interne Rezirkulation wird dynamisch gesteuert, mithilfe einer Nitratsonde im Ablauf der anoxischen Zone.

3.4 Erhöhung CSB/N-Verhältnis

Durch eine zeitweise Umfahrung der Vorklärung lässt sich die CSB-Elimination in der Vorklärung vermindern. Dadurch erhöht sich im Zulauf der Biologie das CSB/N-Verhältnis, sprich mehr CSB ist für die Denitrifikation verfügbar und es wird weniger Hydrolyse-Zeit, resp. Biologievolumen benötigt. Durch den höheren Eintrag von CSB in die Biologie erhöht sich die Schlammproduktion, was bei gleichbleibendem Schlammalter in einem Anstieg der TS-Konzentration in der Biologie resultiert.

4 Modell

Die Modellierung erfolgte mittels dem Activated Sludge Model No3. Das Modell wurde im AQUASIM aufgebaut nach (Gujer, Henze, Mino, & van Loosdrecht, 1999) und wurde mit den Parametern von Koch (Koch, Kühni, Gujer, & Siegrist, 2000) ergänzt.

Die ARA Emmenspitz wurde im Modell abgebildet mit den aktuellen Beckenvolumen und Aufteilung wie in Tab. 1 dargestellt.

Folgende Parameter wurden für das Modell aus den Daten der ARA Emmenspitz übernommen:

Tabelle 5: Parameter für die Modellierung der ARA Emmenspitz.

Parameter	Einheit	Bemerkung
Temperatur	°C	Tagesmittelwert
Sauerstoffkonzentration BB	mg/L	Tagesmittelwert
Zulauf	m ³ /d	Tagessumme
Rücklaufschlamm	m ³ /d	Tagessumme
Interne Rezirkulation	m ³ /d	Tagessumme
Schlammalter	d	Tagesmittelwert
Zulaufkonzentrationen		
CSB	g/m ³	Tagesmittelwert
NH ₄ -N	g/m ³	Tagesmittelwert
NO ₃ -N	g/m ³	Tagesmittelwert

Für die Tage für die keine Information zu den Zulaufkonzentrationen verfügbar war, wurden die Konzentration mittels Korrelation berechnet (beschrieben in Kapitel 4.1). Für das Modell ASM3 wird die Stickstofffracht mit Ammonium und Nitrat abgebildet. Das bedeutet, es wird davon ausgegangen, dass der gesamte Stickstoff hydrolisiert wird.

4.1 Bereinigung Daten

Für das Modell wurden die Daten 2023 (Januar bis Oktober) verwendet. In einem ersten Schritt wurde die Zulaufmengen für N_{ges} bereinigt. Frachten ausserhalb des 80%-Quantils sowie Daten im 20%-Quantil wurden aus der Datengrundlage für die Korrelation ausgeschlossen.

Abbildung 18: Nges-Ablaufmengen im Ablauf VKB für Januar bis Oktober 2023.

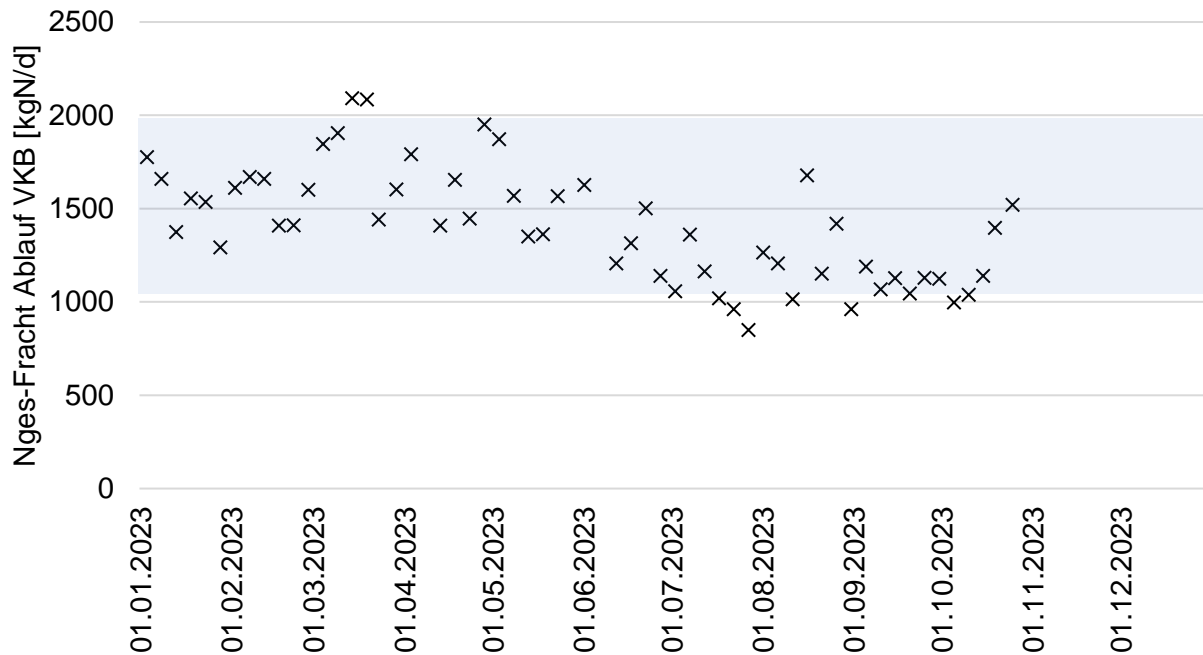


Abbildung 19: N_{ges} -Tagesfrachten für das Jahr 2023. Die Daten ausserhalb der blauen Schraffierung wurde für die Korrelation der N_{ges} -Konzentration Ablauf VKB nicht berücksichtigt.

Tagesfrachten die ausserhalb des 85%-Quantils lagen, wurden für Ermittlung der Korrelation ausgeschlossen. Mittels der in Abb.20 gezeigten Korrelation konnten für die fehlenden Tage die N_{ges} Konzentration ermittelt werden.

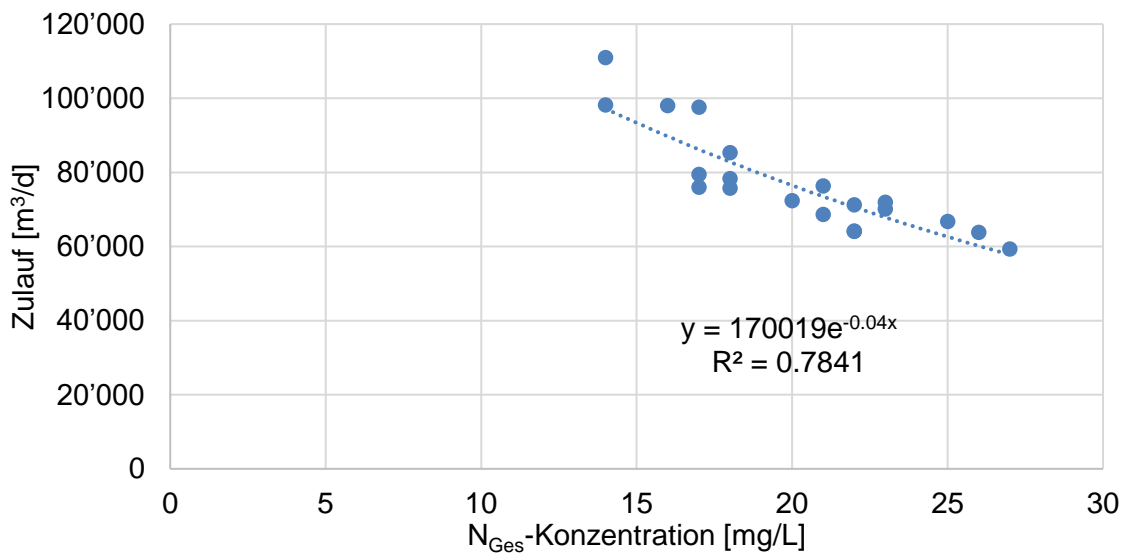


Abbildung 20: Korrelation zwischen der N_{Ges} -Konzentration Ablauf VKB und der Zuflussmenge für Januar-Juni 2023.

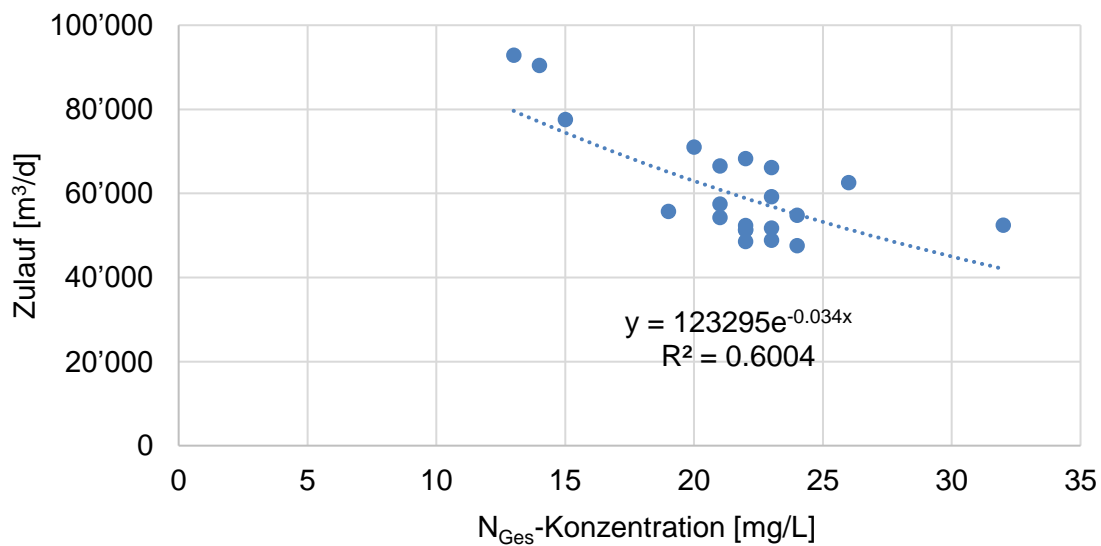


Abbildung 21: Korrelation zwischen der N_{Ges} -Konzentration Ablauf VKB und der Zuflussmenge für Juli-Oktober 2023.

In den Abbildungen 19 und 20 sind die Korrelationen für den Zulauf und die resultierende Ablaufkonzentration für N_{Gesamt} dargestellt. Mithilfe der Korrelation wurden für Tage ohne Daten, die Zulaufkonzentration für den Gesamtstickstoff berechnet. Die CSB-Konzentrationen wurden über den Überschussschlammanfall berechnet für die fehlenden Tage.

5 Resultat Modellierung

In der Abbildung 22 ist die Modellierung für das Jahr 2023 im Vergleich zu den realen Ablaufdaten aufgezeigt. Das Modell führt zu einer leicht höheren N-Eliminationen (55%) im Vergleich zu den realen Daten (54%). Berücksichtigt sind nur die N-Elimination der biologischen Stufe (Denitrifikation+ Einbau in Biomasse). Die mittleren N-Eliminationen stimmen gut überein während einzelne Tageswerte deutliche Schwanken aufweisen, mögliche Gründe sind Unsicherheiten für die korrelierten Zulaufdaten und unterschiedliche CSB-Zusammensetzungen aufgrund des Biogens Abwassers.

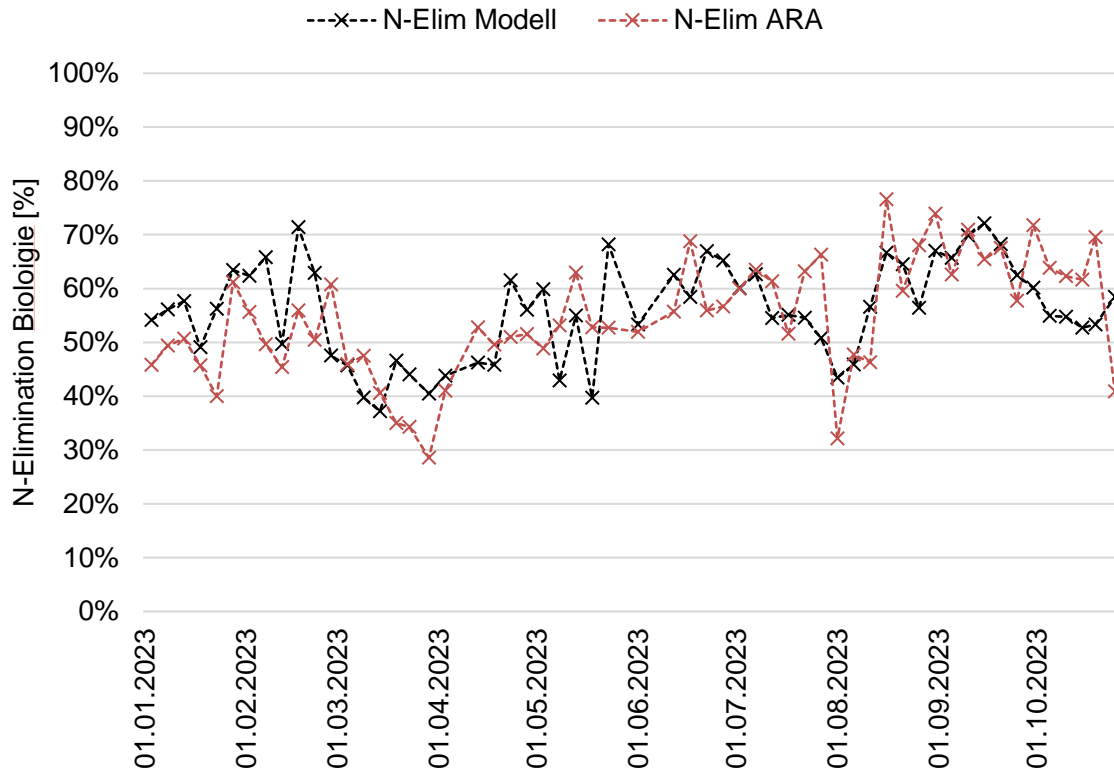


Abbildung 22: Vergleich der N-Elimination über die biologische Stufe der ARA ZASE (rote Linie) und der modellierten Daten für Januar-Oktober 2023 (schwarze Linie).

Da die Übereinstimmung zwischen den realen Daten und dem Modell gegeben ist, wurden mithilfe des gezeigten Modells verschiedene Szenarien für die ARA Emmenspitz modelliert.

5.1 Fremdwasser

Die ARA Emmenspitz weist über eine Fremdwasseranteil von 70% auf. Das Fremdwasser führt zu einer Verdünnung der Konzentrationen im Zulauf und vermindert die Aufenthaltszeit in der Biologie. In Abbildung 23 ist der Effekt auf die CSB-Konzentration im Zulauf dargestellt, falls das Fremdwasser um 30% reduziert wird. Die CSB-Konzentration (Median) erhöht sich von 110 auf 130 mg/L. In der Simulation wurde davon ausgegangen, dass die Fremdwasserreduktion keine Auswirkungen auf das CSB/N-Verhältnis Ablauf VKB hat.

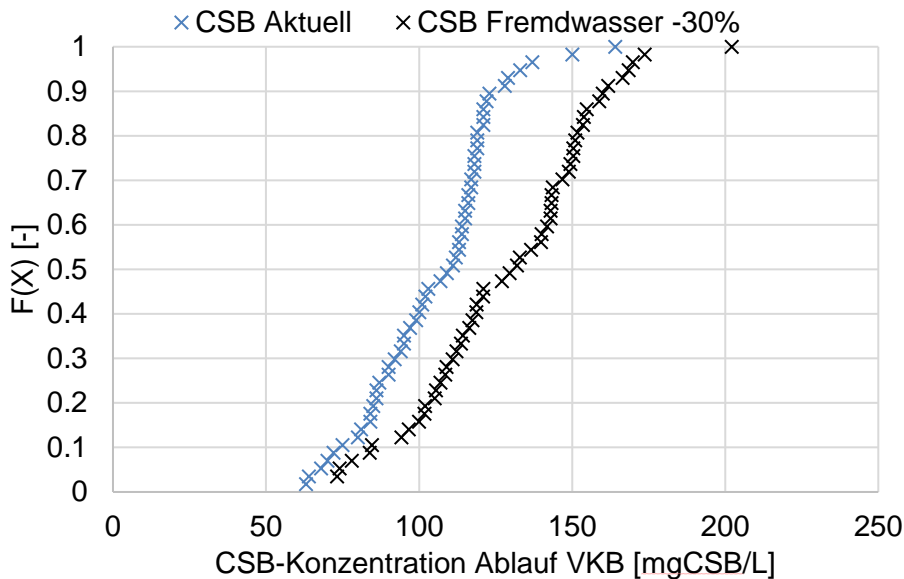


Abbildung 23: Einfluss auf die CSB-Konzentration Ablauf VKB einer Reduktion des Fremdwassers um 30%.

Mit den angepassten Konzentrationen wurde erneut modelliert. Da mit dem aktuellen Modell eine dynamische Regelung der internen Rezirkulation nicht möglich ist, wurde die interne Rezirkulation nicht angepasst. Die Simulation zeigt, dass insbesondere bei trockenen Verhältnissen die N-Elimination durch die verlängerte Aufenthaltszeit erhöht wird. Im Mittel führt dies zu einer um 2% höheren N-Elimination (Abbildung 24).

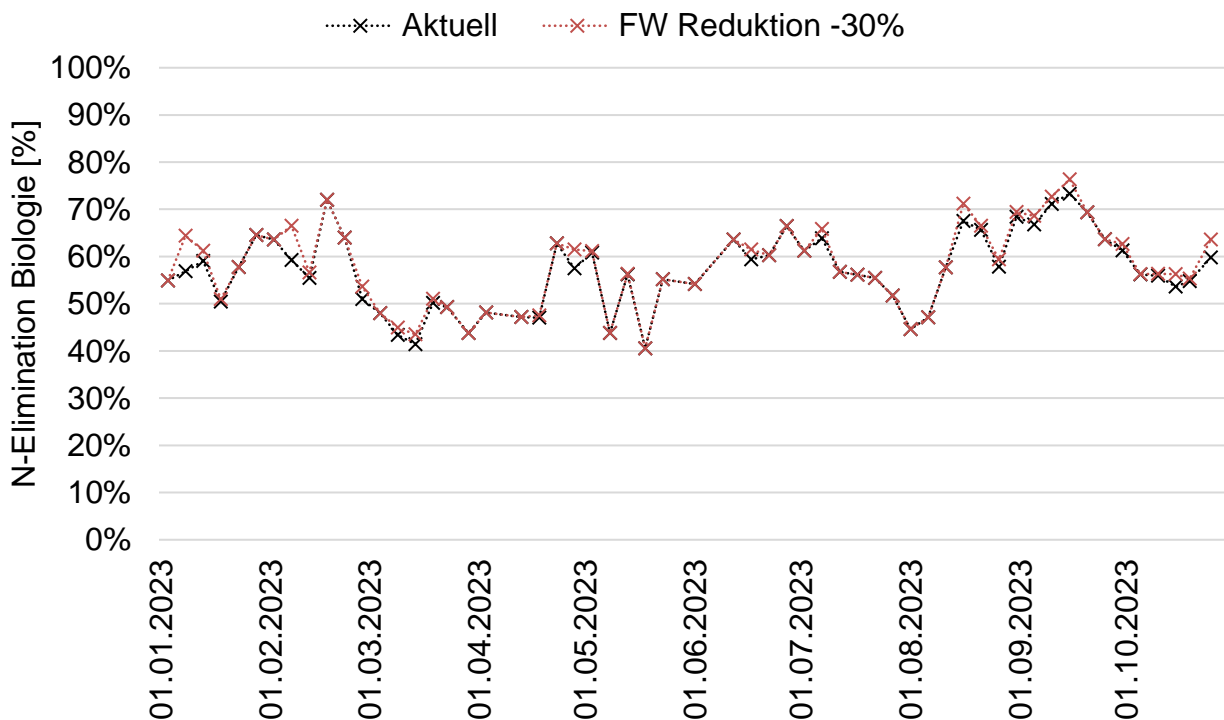


Abbildung 24: Einfluss einer Reduktion des Fremdwassers um 30% auf die N-Elimination.

5.2 Interne Rezirkulation

Die interne Rezirkulation wird mithilfe einer Nitratsonde im Ablauf der anoxischen Zone gesteuert. Aktuell wird die interne Rezirkulation aktiviert sofern die Nitratkonzentration im Ablauf der anoxischen Zone unter 2.5 mg/L fällt. Die interne Rezirkulation wird anschliessend ausgeschaltet, sobald die Nitratkonzentration im Ablauf der anoxischen Zone mehr als 4.5 mg/L beträgt.

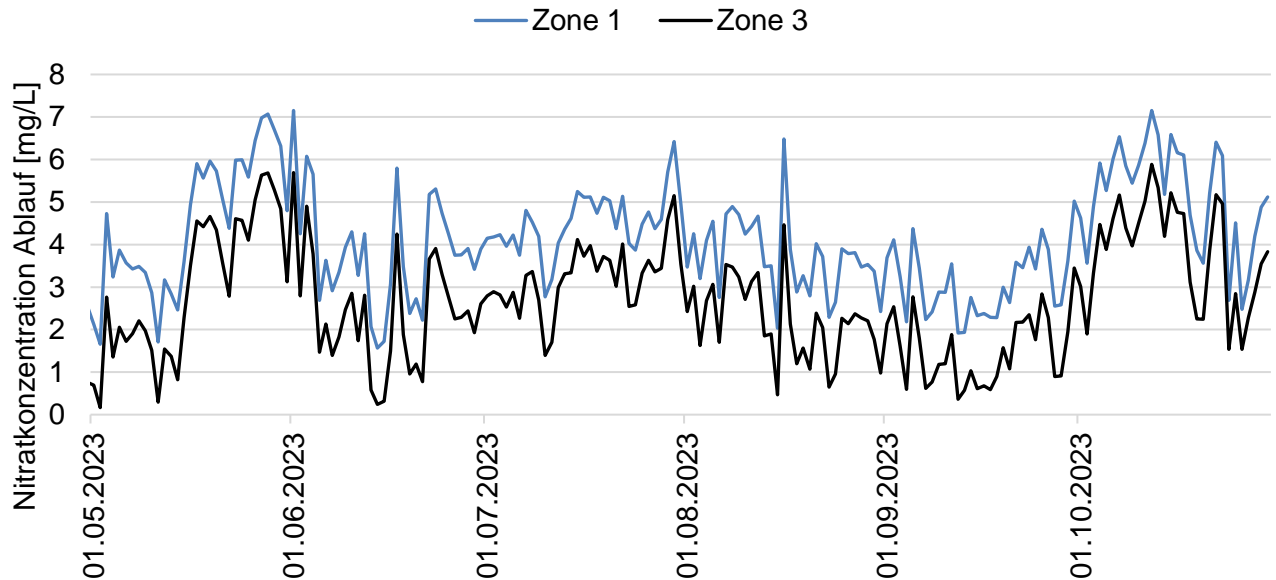


Abbildung 25: Nitratablaufkonzentration im Ablauf der Zone 1 (anoxische Zone, blau) und im Ablauf der Bivalent Zone 3 (schwarze Linie).

Gemäss Modellierung läuft die Denitrifikation mit den aktuellen Ein- und Ausschaltpunkten nicht Nitratlimitiert ab. Nicht ausgeschlossen werden kann, dass dies nicht der Fall ist zu bestimmten Tageszeiten (kurzzeitig).

5.3 Bewirtschaftung Polyvalenzzone

In der Zeit vom 7.-17. Februar und 24. Februar bis 7. April 2023 wurden versuchsweise pro Strasse je eine Polyvalenzzone belüftet. Das heisst in dieser Zeit war das anoxische Volumen reduziert. Werden das ganze Jahr die Polyvalenzonen anoxisch betrieben, resultiert das in einer um 2% höheren N-Elimination (57%) über die Biologie.

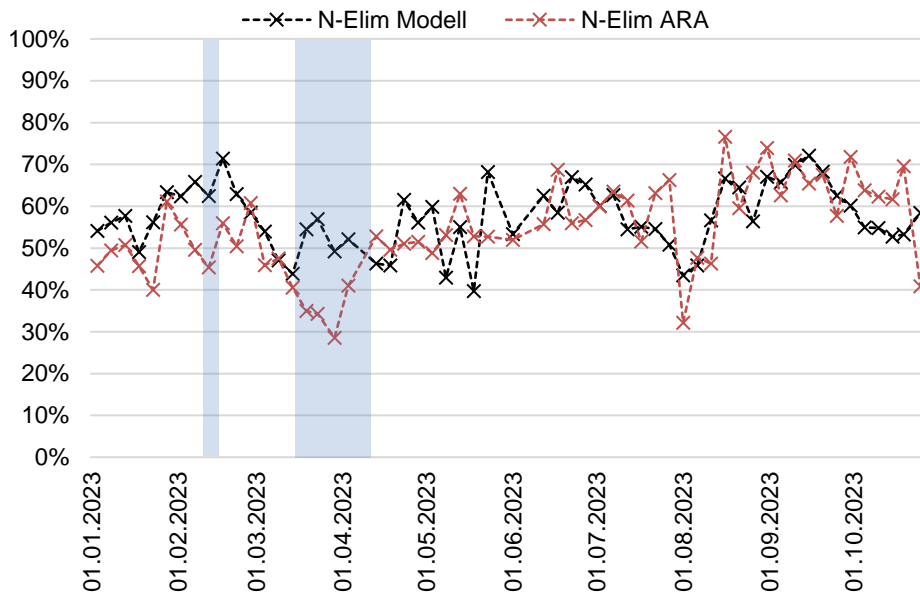


Abbildung 26: Einfluss der Bewirtschaftung der Polyvalenzzone auf die N-Elimination (schwarze Punkte) im Vergleich zur aktuellen N-Elimination (rote Punkte).

5.4 Faulwasserentstickung

Die Faulwasserentstickung lief in der Zeit zwischen Januar -Oktober 2023 nicht optimal, wodurch sich die Faulwasserrückführung erhöht hatte und somit die Stickstofffracht in die Biologie höher war als mit funktionierender Faulwasserentstickung. Unter Annahme das die Faulwasserentstickung mit einer N-Elimination von 77% lief, wurden neue Stickstofffrachten berechnet und mit den angepassten Daten die N-Elimination modelliert.

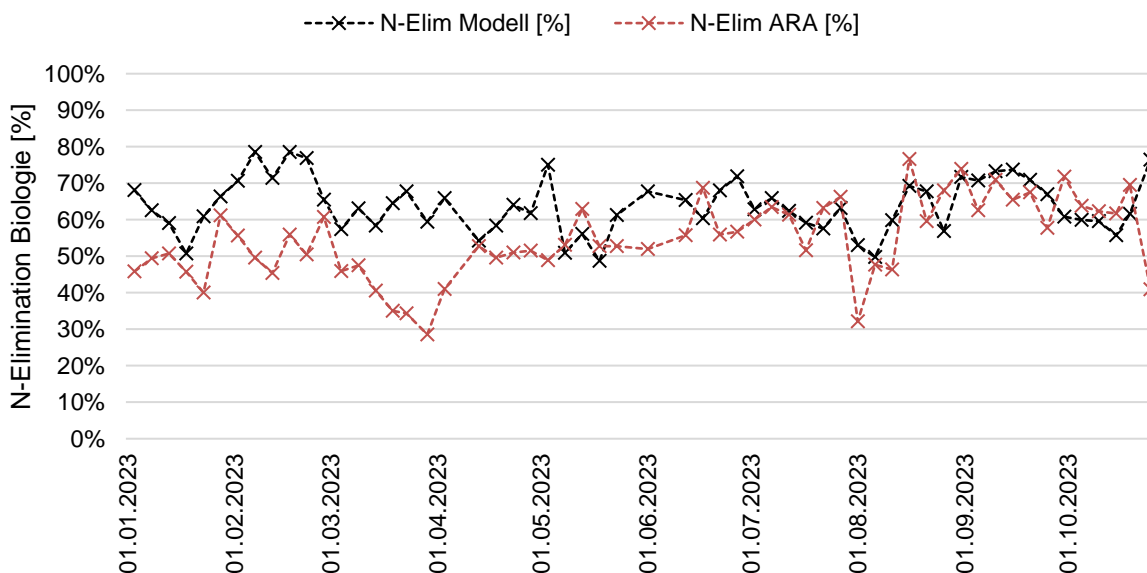


Abbildung 27: Effekt eines stabilen Betriebs der Faulwasserentstickung (schwarze Punkte). Die roten Punkte stellen die N-Eliminationen mit den realen Daten dar.

Ein stabiler Betrieb der Faulwasserentstickung resultiert in einer Erhöhung der N-Elimination um 7%. Das heisst eine N-Elimination von 64% wäre für die untersuchte Periode im Jahr 2023 zu erwarten gewesen, wenn die Entstickung stabil funktioniert hätte und auf eine Bewirtschaftung der Polyvalenzonen verzichtet worden wäre.

5.5 Intermittierende Belüftung

Alternativ kann eine Erhöhung des anoxischen Volumens über die intermittierende Belüftung in der Zone BB1 erfolgen. Dabei wird zwischen Phasen unter anoxischen und belüfteten Phasen unterschieden. Modelliert wurde eine intermittierende Belüftung mit einem 2h Intervall, sprich 2h belüftet gefolgt von 2h unbelüftet. Dadurch erhöht sich das anoxische Volumen und somit die Aufenthaltszeit unter anoxischen Bedingungen.

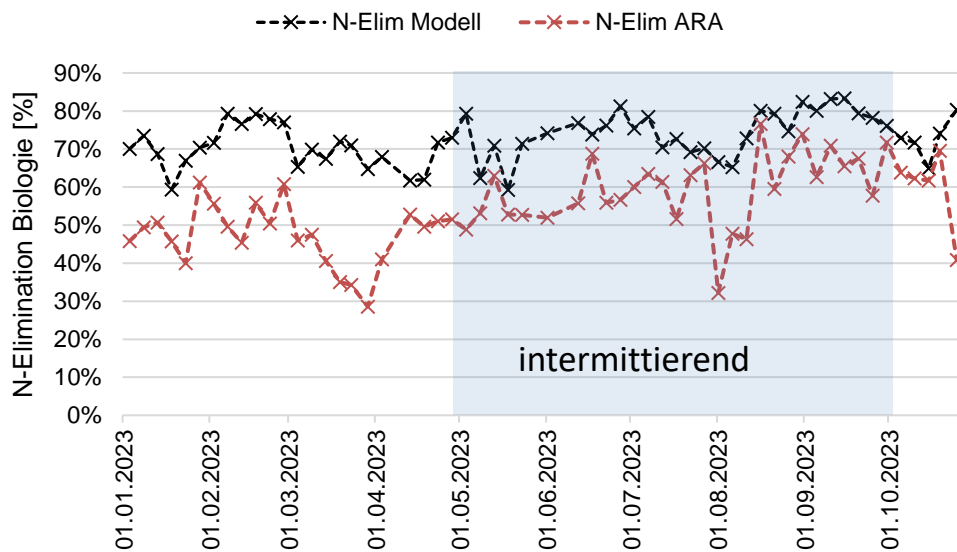


Abbildung 28: Effekt der zusätzlichen Polyvalenzzone auf die N-Elimination der biologischen Stufe (rote Punkte). Die schwarzen Punkte stellen die N-Eliminationen mit den realen Daten dar.

Aufgrund des geringen Biologievolumens der ARA Emmenspitz kann eine intermittierende Belüftung nur bei warmen Temperaturen eingesetzt werden, aufgrund der Nitrifikation und muss dynamisch geregelt werden. Bei einem verbesserten CSB/N-Verhältnis von 7 kann durch die intermittierende Belüftung die N-Elimination um 2% erhöht werden.

5.6 Erhöhung des CSB/N-Verhältnisses

Durch eine Umfahrung der Vorklärung kann das CSB/N-Verhältnis im Zulauf der Biologie erhöht werden. Für die Modellierung wurde untersucht, wie sich die N-Elimination verhält, wenn das CSB/N-Verhältnis erhöht wird. Modelliert wurde folgende Szenarien: CSB/N-Verhältnis von mindestens 7, 8 und 9.

Tabelle 6: Auswirkungen eines angepassten CSB/N-Verhältnisses auf die tägliche CSB-Fracht

	CSB-Fracht kg/d	CSB-Belastung
Real (5.6)	7'200	
CSB/N = 7 (7.2)	9'800	+35%
CSB/N = 8 (8.1)	10'900	+50%
CSB/N = 9 (9)	12'100	+68%

Durch die Anpassung der Vorklärung erhöht sich das CSB/N-Verhältnis und dadurch auch die Schlammproduktion. Das heisst bei gleichbleibendem Schlammalter ergibt sich ein höherer TS-Gehalt. Ein CSB/N-Verhältnis von 8 erhöht die tägliche mittlere CSB-Fracht um rund 50%. Dank der grossdimensionierten Nachklärung sollten leicht höhere TS-Gehalte betrieblich möglich sein.

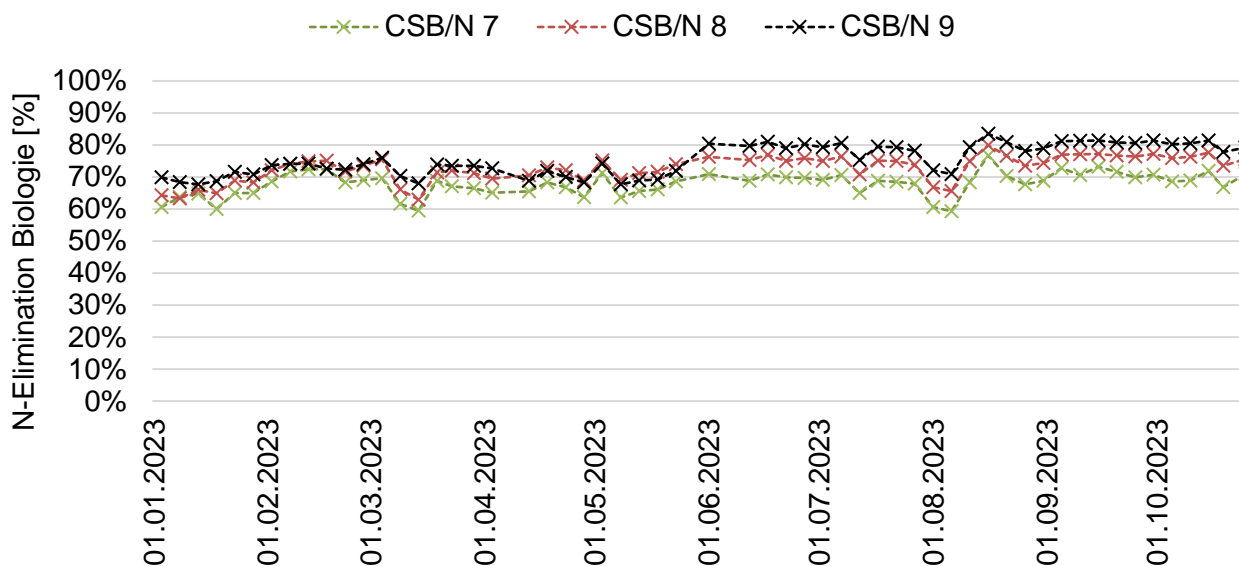


Abbildung 29: Einfluss des angepassten CSB/N-Verhältnisses auf die N-Elimination.

Mit den aktuellen Voraussetzungen (Biologievolumen, anoxisches Volumen) ist ein CSB/N-Verhältnis von 8 im Ablauf der Vorklärung optimal. Damit erhöht sich die N-Elimination über die Biologie auf 73%. Ein noch höheres CSB/N-Verhältnis führt nur noch zu einer geringen Erhöhung der N-Elimination.

6 Schlussfolgerung

Tabelle 7: Übersicht der untersuchten Optimierungen der ARA Emmenspitz und deren Auswirkungen auf die N-Elimination.

Optimierung	N-Elimination Biologie	Δ N-Elimination im Vergleich zur aktuellen Situation	N-Elimination ARA
Aktuell	55%		56 %
Bewirtschaftung Polyvalenzzone	57%	+2%	60 %
Faulwasserentstickung stabil	64%	+9% (7%)	66%
Mehr CSB			
CSB/N 7	68 %	+ 13% (4%)	70 %
CSB/N 8	73 %	+ 18% (5%)	75 %
CSB/N 9	75 %	+ 20% (2%)	77 %

Die in Tabelle 6 gezeigten Optimierungen zeigen den Effekt der Optimierung auf die N-Elimination für die biologische Stufe und über die gesamte ARA (inklusive Vorklärung).

Die ARA Emmenspitz hat bereits verschiedene Optimierungen implementiert um die N-Elimination zu optimieren. So wird die interne Rezirkulation bereits dynamisch betrieben und das Faulwasser wird biologisch entstickt. Die möglichen Optimierungen bezogen auf eine Vergrößerung des biologischen Volumens sind beschränkt durch das relativ kleine Biologievolumen. Anpassungen am anoxischen Volumen führen zu einer Reduktion des Nitrifikationsvolumen, was die Sicherheit bezüglich der Nitrifikation vermindert.

Für die ARA Emmenspitz besteht Potential bezüglich des CSB/N-Verhältnis im Zulauf der Biologie. Im Moment liegt das CSB/N-Verhältnis im Mittel im Bereich zwischen 5-6 gCSB/gN. Dies führt dazu, dass ein Grossteil des partikulären CSB für eine vollständige Denitrifikation hydrolysiert werden muss. Die Hydrolyse benötigt Zeit, sprich ein ausreichendes Biologievolumen damit die Hydrolyse ablaufen kann. Durch eine Erhöhung des CSB/N-Verhältnisses ist pro Gramm Stickstoff mehr CSB biologisch verfügbar, wodurch die Hydrolyse weniger Zeit benötigt. Durch das Umfahren der Vorklärung lässt sich das CSB/N-Verhältnis verbessern. Die Simulationen zeigen, dass ohne Verbesserung des CSB/N-Verhältnisses keine N-Eliminationen im Bereich von 70 % für die ARA Emmenspitz zu erreichen sind. N-Eliminationen über 70% lassen sich mit dem aktuellen Biologievolumen nur erreichen durch eine Anpassung der Vorklärung.

Für die ARA Emmenspitz speziell ist das Industrieabwasser der Firma Biogen. Falls dieses Abwasser einen hohen Anteil an leichtabbaubarem Substrat beinhaltet, könnte ein Teilstrom dieses Abwassers ohne Vorbehandlung in die anoxische Zone geführt werden um dort das CSB/N-Verhältnis zu verbessern.

Dies würde keine Anpassungen an der Vorklärung bedeuten und die Gaserträge werden nicht negativ beeinflusst.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung einer der vier Biologiestrassen der ARA Emmenspitz.	3
Abbildung 2: Verteilung der CSB-Konzentrationen für die Jahre 2020, 2021 und 2022 im Zulauf der Biologie.	4
Abbildung 3: Verteilung der CSB-N-Verhältnisse Ablauf VKB für die Jahre 2020, 2021 und 2022 im Zulauf der Biologie.	5
Abbildung 4: Korrelation zwischen der täglichen Zulaufmenge und der täglichen Nitratfracht (links) sowie CSB-Fracht (rechts).	6
Abbildung 5: CSB-Elimination über die Vorklä rung in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit.	6
Abbildung 6: Tägliche Nitratfracht im Ablauf (schwarz) resp. Zulauf (blau) der Vorklä rung.	7
Abbildung 7: Luftmengen für die Biologiestrassen 1-4 über das Jahr 2022.	7
Abbildung 8: Mittlere Luftmenge für die Biologiestrassen 1-4 über einen Tag.	8
Abbildung 9: Monatliche ÜSS-Mengen (kgTS/Monat) die in den einzelnen Strassen anfallen.	8
Abbildung 10: Anteil des Faulwassers das einer separaten Faulwasserentstickung unterzogen wird (Jahr 2022).	9
Abbildung 11: Zulauf- respektive Ablauffracht der Faulwasserentstickung für das Jahr 2022 sowie resultierende N-Elimination.	10
Abbildung 12: Behandelte Faulwassermenge für Januar -Oktober 2023.	10
Abbildung 13: tägliche CSB-Fracht bedingt durch das Biogen-Abwasser.	11
Abbildung 14: N-Elimination über die Biologie und tägliche Zulaufmenge Q_{in} für das Jahr 2020.	12
Abbildung 15: N-Elimination über die Biologie und tägliche Zulaufmenge Q_{in} für das Jahr 2021.	12
Abbildung 16: N-Elimination und tägliche Zulaufmenge Q_{in} für das Jahr 2022.	13
Abbildung 17: N-Elimination und die tägliche Zulaufmenge Q_{in} für Januar bis Oktober 2023.	13
Abbildung 18: Korrelation zwischen der CSB-Konzentration Ablauf VKB und der Zuflussmenge.	17
Abbildung 19: N_{ges} -Tagesfrachten für das Jahr 2023. Die Daten ausserhalb der blauen Schraffierung wurde für die Korrelation der N_{Ges} -Konzentration Ablauf VKB nicht berücksichtigt.	17
Abbildung 20: Korrelation zwischen der N_{Ges} -Konzentration Ablauf VKB und der Zuflussmenge für Januar-Juni 2023.	18
Abbildung 21: Korrelation zwischen der N_{Ges} -Konzentration Ablauf VKB und der Zuflussmenge für Juli-Oktober 2023.	18
Abbildung 22: Vergleich der N-Elimination über die biologische Stufe der ARA ZASE (rote Linie) und der modellierten Daten für Januar-Oktober 2023 (schwarze Linie).	19
Abbildung 23: Einfluss auf die CSB-Konzentration Ablauf VKB einer Reduktion des Fremdwassers um 30%.	20
Abbildung 24: Einfluss einer Reduktion des Fremdwassers um 30% auf die N-Elimination.	20
Abbildung 25: Nitratlaufkonzentration im Ablauf der Zone 1 (anoxische Zone, blau) und im Ablauf der Bivalent Zone 3 (schwarze Linie).	21
Abbildung 26: Einfluss der Bewirtschaftung der Polyvalenzzone auf die N-Elimination (schwarze Punkte) im Vergleich zur aktuellen N-Elimination (rote Punkte).	22
Abbildung 27: Effekt eines stabilen Betriebs der Faulwasserentstickung (schwarze Punkte). Die roten Punkte stellen die N-Eliminationen mit den realen Daten dar.	22
Abbildung 28: Effekt der zusätzlichen Polyvalenzzone auf die N-Elimination der biologischen Stufe (rote Punkte). Die schwarzen Punkte stellen die N-Eliminationen mit den realen Daten dar.	23
Abbildung 29: Einfluss des angepassten CSB/N-Verhältnisses auf die N-Elimination.	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beckenvolumen und Aufteilung der ARA Emmenspitz.....	3
Tabelle 2: Volumen der ARA Emmenspitz für die Nitrifikation und die Denitrifikation.	3
Tabelle 3: Vergleich der benötigten Luftmenge und ÜSS-Anfall für die vier Strassen.....	9
Tabelle 4: Vergleich Ablaufwerte der Stickstoffverbindungen und die N-Elimination über die biologische Stufe für die Jahre 2020, 2021, 2022 und 2023.	14
Tabelle 5: Parameter für die Modellierung der ARA Emmenspitz.	16
Tabelle 6: Auswirkungen eines angepassten CSB/N-Verhältnisses auf die tägliche CSB-Fracht	24
Tabelle 7: Übersicht der untersuchten Optimierungen der ARA Emmenspitz und deren Auswirkungen auf die N-Elimination.	25

Literaturverzeichnis

- Gujer, W., Henze, M., Mino, T., & van Loosdrecht, M. (1999). Activated sludge model No. 3. *Water Science and Technology*, S. 183-193.
- Koch, G., Kühni, M., Gujer, W., & Siegrist, H. (14. 34 2000). Calibration and validation of activated sludge model no. 3 for Swiss municipal wastewater. *Water Reserarch*, S. 3580-3590.