



Übertragbarkeit der Stickstoffelimination Modul (1)

Technischer Bericht

Objekt Nr. 1370.17
Winterthur, 24. November 2022

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU)

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: Übertragbarkeit der Stickstoffelimination Modul 1

Teilprojekt:

Erstelldatum: 27. Juli 2022

Letzte Änderung: 24. November 2022

Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch

Anna Steinegger
Koref. Alain Meyer

Datei:

Q:\Projekte\1000-\1300-\1370\1370.17 N-Elimination Modul 1\04 Berichte\1370.17-221101-b-Uebertragbarkeit
Stickstoffelimination Modul1.docx

Hinweis:

Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Grundlagen	4
3	Vorgehen	6
4	Gesetzliche Anforderungen	7
4.1	Urban Wastewater Directive EU	7
4.2	Deutschland	9
4.3	Österreich	10
5	Überprüfung Übertragbarkeit	12
5.1	Abwasserzusammensetzung / Konzentrationen / Probenahme	12
5.2	Anlagegrößen / -belastungen	16
5.3	Anforderungen Reinigungsleistung / Bilanzierung / Einfluss Temperatur	18
5.4	Einfluss Vorklärbeckengröße	20
5.5	Verfahrenstechnische Aspekte der biologischen Reinigung	22
6	Weitere projektrelevante Aspekte	25
7	Zusammenfassung / Schlussbetrachtung	26
7.1	Zusammenfassung	26
7.2	Fazit	28
8	Danksagung	28
9	Anhang	29
9.1	Ablaufkonzentrationen	29

1 Einführung

Im Parlament wurde die Motion «Reduktion der Stickstoffelimination aus den Abwasserreinigungsanlagen» von der WAK-N eingereicht und im Juni 2021 vom Parlament überwiesen, nach den Massnahmen zur Reduktion des Stickstoffeintrags aus der Abwasserreinigung in die Gewässer zu treffen sind. Aktuell werden die Randbedingungen/Grundlagen für die Festlegung der möglichen künftigen Anforderungen zur Stickstoffelimination in verschiedenen Projekten des BAFU erarbeitet.

Die Nachbarländer Deutschland und Österreich weisen im Vergleich zur Schweiz eine deutlich grössere Stickstoffelimination der Abwasserreinigungsanlagen auf. Gemäss dem Leistungsnachweis des DWA beträgt diese in Deutschland rund 83% und in Österreich knapp 82%, während in der Schweiz die Stickstoffelimination bei ~52% liegt. Was sind die Gründe für die höheren Stickstoffeliminationsleistungen und sind in der Schweiz vergleichbare Stickstoffeliminationsleistungen möglich?

Hunziker Betatech AG wurde vom BAFU beauftragt abzuklären, ob die Stickstoffelimination von Deutschland und Österreich auf die Schweiz übertragbar ist und mögliche Erklärungen für die Diskrepanz der Stickstoffelimination zu ermitteln.

Dabei stehen verschiedene Fragestellungen im Raum:

- Wie wird die Stickstoffelimination im Rahmen des Leistungsnachweises des DWA berechnet? Wie wird bilanziert?
- Wie erfolgten die Probenahme, Datenerfassung?
- Wie vergleichbar ist die Abwasserzusammensetzung (z.B. CSB/N-Verhältnis)?
- Welche Wassermengen werden über die Kläranlagen behandelt (Q_{TW} / Q_{Dim})?
- Wie ausgelastet sind die Anlagen? Wie gross sind die Anlagen ausgebaut? Wie gross sind die vorhandenen Beckenvolumen?
- Werden C-Quellen dazugegeben, um die Stickstoffelimination zu erhöhen?
- Wie ist die Reinigungsleistung bezüglich NH_4-N ?
- Wie ist die Regelung, mit welchen Verfahren werden hohe Stickstoffeliminationen erreicht?
- Wie gross ist die CSB-Elimination in der Vorklärung?
- Was spielt die Faulwasserbehandlung für eine Rolle?

2 Grundlagen

Folgende Grundlagen standen für die Abklärungen zu Verfügung:

- Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment, Urban Wastewater Directive EU (UWWTD)
 - Abwasserverordnung (AbwV) - Deutschland: Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer, Stand 20.01.2022
 - Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser) - Österreich, Stand 25.07.2022
 - Verordnung zur Eigenüberwachung von Wasserversorgungs- und Abwasseranlagen (Eigenüberwachungsverordnung – EÜV) Bayern vom 20. September 1995
 - Verordnung des Umweltministeriums über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (Eigenkontrollverordnung -EKVO) Baden-Württemberg vom 20. Februar 2001
 - Landesverordnung über die Selbstüberwachung von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (Selbstüberwachungsverordnung – SüVO) Schleswig-Holstein vom 19. Dezember 2011
 - DWA, 33. Leistungsnachweis kommunaler Kläranlagen: Daten von 2020
 - Umsetzung der EG-Kommunalabwasserrichtlinie in Bayern, Lagebericht 2020, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Stand April 2021
 - Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, Lagebericht 2020, 19. Auflage, Stand 31.12.2020
 - Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht 2020, Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Stand 30. Juni 2020
 - Beseitigung von kommunalen Abwässern in Schleswig-Holstein, Lagebericht 2020, Schleswig-Holstein Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung, Stand Juni 2021
 - Abwasserreinigungsanlagen in Vorarlberg Jahresbericht 2020, Amt der Vorarlberger Landesregierung Abteilung Wasserwirtschaft
 - Kommunales Abwasser Lagebericht 2021, Baden-Württemberg Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft
 - Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung 2021, VSA/OKI 2022 (noch nicht veröffentlicht)
 - Expertengespräche mit verschiedenen Stellen (Landesministerien, Bundesministerien, Betreibern, Ingenieure):
 - Dipl. Ing. Gert Schwentner, Abteilungsleiter Stadtentwässerung und Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen / Sprecher Kläranlagen-Nachbarschaften der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA)
 - Dipl. Ing. Martin Hetschel, Leiter Abwassertechnik kommunal, Geschäftsbereich Grundlagen und Entwicklung, Emschergenossenschaft/ Lippeverband
-

- Dr. Ing. Jens Schoth, Sachbearbeiter, Emschergenossenschaft/ Lippeverband
 - Dr. Ing. Linh-Con Phan, Sachbearbeiter Emschergenossenschaft/ Lippeverband
 - Dr. Ing. Gerd Kolisch, Technischer Leiter, Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH
 - Dr. Ing. Inka Hobus, Projektbearbeiterin, Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft mbH
 - Dipl. Ing. Heide Müller-Rechberger, Abteilungsleiterin Anlagenbezogene Wasserwirtschaft, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus AT
 - Dipl. Ing. Stefan Bleisteiner, Kommunale und häusliche Abwasserbehandlung, Bayerisches Landesamt für Umwelt
 - Dr. Stefan Wildt, Stellvertreter des Vorstands, Abteilung Wasserwirtschaft Bundesland Tirol
 - Dipl. Ing. Peter Janson, Leiter des Dezernates «Technischer Gewässerschutz», Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
 - Dipl. Ing. Inge Barnscheidt, Prokura, Fachbereichsleitung Kläranlagen I, Hydro-Ingenieure GmbH
 - Dipl. Ing. Silke Kuhlmann, Projektleiterin, Hydro-Ingenieure GmbH
- Betriebsdaten von Kläranlagen: Die Daten waren in sehr unterschiedlicher Form verfügbar, teils als Kennzahlen aus Jahreswerten (Mittelwerte und 85%-Wert), teils als Tageswerte, teils von allen Abwasserinhaltsstoffen, teils nur von Stickstoff.

Tabelle 1: Zusammenfassung der erhaltenen Daten. X: erhaltene Daten / Informationen, JS: Jahressumme, JM: Jahresmittel, T: Tagesmittelwerte, S: Qualifizierte Stichproben

	Erhebungsjahr	Ausbaugröße	Belastung	Spezifikation Verfahren	Volumen VKB & BB	Zulauf ARA Q_{ARA}	Zulauf ARA Q_{TW}	Zulauf Konzentrationen	Ablauf Konzentrationen	Stickstoffelimination
Schweiz	2020	x	x		x	JS	JM	JM	JM	x
Deutschland DWA LVG	2020	x	x			JS	JS	JM	JM	x
Deutschland UBA	2015-2017	x	x			x				
Lippeverband	2020	x			x	JM	JM	JM	JM	x
Nordrhein-Westfalen	2020	x	x	x	x	JM	JM		JM / T	x
Baden-Württemberg	2020	x	x	x		JS	JM	JM	JM	x
Wupperverband	2020	x			x					
Bayern	2020	x	x	(x)		JS	JS	JM	JM	x
Tirol	2019-2021	x	x	x	x	T		T	T	x
Oberösterreich	2019-2020	x		x	x	T		T	T	x

3 Vorgehen

Um einen Überblick über die Situation in den Nachbarländern zu erhalten, wurden zwei Ansätze verfolgt:

1. Einerseits wurde mittels einer Datenanalyse von Betriebsdaten (Datensätze von der DWA (Leistungsvergleiche), von Bundesländern oder von Verbänden) die Stickstoffelimination und deren Randbedingungen beurteilt. Insbesondere wurde daraus die Abwasserzusammensetzung, die Ablaufkonzentrationen, die Anlagegrößen, die Auslastungen, die Stickstoffeliminationen, die Aufenthaltszeiten in der Vorklärung und das spezifische Biologiebeckenvolumen ermittelt.
2. Andererseits wurde mit Expertengesprächen ein Überblick über die Situation rund um die Stickstoffelimination und deren Rahmenbedingungen in den Nachbarländern Deutschland und Österreich erarbeitet. Da die Datengrundlagen/Betriebsdaten heterogen und zum Teil aggregiert sind, dienten die Expertengespräche zusätzlich zur Plausibilisierung und Interpretation der Daten. Die Gespräche wurden mit Behörden in Deutschland und Österreich (mit Ministerien von Bundesländern, mit den Bundesämtern oder mit DWA-Vertretern), mit Betreiber/Verbände und mit Planer/Ingenieure durchgeführt. Aus den Gesprächen erfolgten insbesondere auch Kenntnisse zu den verfahrenstechnischen Aspekten, zu Betriebsweisen, gesetzliche Vorgaben, Probenahmen und zur Auslegung der Kläranlagen in den Nachbarländern.

4 Gesetzliche Anforderungen

4.1 Urban Wastewater Directive EU

Die in den Mitgliedsländern geltenden Anforderungen basieren auf der «Urban Wastewater Directive EU». In den Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen ersichtlich. Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass eine Überwachungsmethode angewandt wird, die mindestens dem beschriebenen Anforderungsniveau entspricht.

Die Umsetzung der Anforderung bezüglich der Stickstoffelimination kann entweder über die Ablaufkonzentrationen oder die prozentuale Reduktion erfolgen. In Deutschland und Österreich wird dies entsprechend unterschiedlich umgesetzt (siehe folgende Kapitel 4.2 und 4.3).

Tabelle 2: Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen: Anzuwenden ist der Konzentrationswert oder die prozentuale Verringerung.

Parameter	Konzentration	Prozentuale Mindestverringerung ¹	Referenzmessverfahren
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5 bei 20°C) ohne Nitrifikation ²	25 mg/l O ₂	70-90% 40% (Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (höher als 1'500 m über dem Meeresspiegel))	Homogenisierte, ungefilterte, nicht dekantierete Probe. Bestimmung des gelösten Sauerstoffs vor und nach fünftägiger Bebrütung bei 20°C ± 1°C in völliger Dunkelheit. Zugabe eines Nitrifikationshemmstoffs
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	125 mg/l O ₂	75%	Homogenisierte, ungefilterte, nicht dekantierete Probe. Kalium-Dichromat
Suspendierte Schwebestoffe insgesamt	35 mg/l ³ 60 mg/l (Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (höher als 1'500 m über dem Meeresspiegel) und 2'000-10'000 EW)	90% ³ 70% (Kommunales Abwasser in Hochgebirgsregionen (höher als 1'500 m über dem Meeresspiegel) und 2'000-10'000 EW)	- Filtern einer repräsentativen Probe durch eine Filtermembran von 0.45 µm. Trocknen bei 105°C und Wiegen. - Zentrifugieren einer repräsentativen Probe (mindestens 5 min. bei einer durchschnittlichen Beschleunigung von 2'800 bis 3'200 g). Trocknen bei 105°C und Wiegen.
¹ Verringerung bezogen auf die Belastung des Zulaufs. ² Dieser Parameter kann durch einen anderen ersetzt werden: gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) oder gesamter Bedarf an Sauerstoff (TOD), wenn eine Beziehung zwischen BSB5 und dem Substitutionsparameter hergestellt werden kann. ³ Diese Anforderung ist fakultativ.			

Tabelle 3: Anforderungen an Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen in empfindlichen Gebieten, in denen es zur Eutrophierung kommt. Je nach Gegebenheit vor Ort können ein oder beide Parameter verwendet werden. Anzuwenden ist der Konzentrationswert oder die prozentuale Verringerung.

Parameter	Konzentration	Prozentuale Mindestverringerung ¹	Referenzmessverfahren
Phosphor insgesamt	2 mg/l P (10'000-100'000 EW) 1 mg/l P (> 100'000 EW)	80%	Molekulare Absorptions-Spektrophotometrie
Stickstoff insgesamt ²	15 mg/l N (10'000-100'000 EW) 10 mg/l N (> 100'000 EW) ³	70-80%	Molekulare Absorptions-Spektrophotometrie
¹⁾ Verringerung bezogen auf die Belastung des Zulaufs. ²⁾ Stickstoff insgesamt bedeutet: die Summe von Kjeldahl-Stickstoff (organischer N + NH ₃), Nitrat (NO ₃)-Stickstoff und Nitrit (NO ₂)-Stickstoff. ³⁾ Wahlweise darf der tägliche Durchschnitt 20 mg/l N nicht überschreiten. Die Anforderung gilt bei einer Abwassertemperatur von mindestens 12°C beim Betrieb des biologischen Reaktors der Abwasserbehandlungsanlage. Anstatt der Temperatur kann auch eine begrenzte Betriebszeit vorgegeben werden, die den regionalen klimatischen Verhältnissen Rechnung trägt. Diese Alternative gilt, wenn nachgewiesen werden kann, dass die angewendete Überwachungsmethode den geforderten Anforderungsniveau entspricht.			

Fazit

- Die «Urban Wastewater Directive EU» legt die Anforderungen für Einleitungen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen fest. Die Umsetzung der Anforderung bezüglich der Stickstoffelimination kann entweder über die Ablaufkonzentrationen oder die prozentuale Reduktion erfolgen.

4.2 Deutschland

In Deutschland werden gemäss Abwasserverordnung (AbwV) folgende Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle in das Gewässer gestellt (abhängig vom Gewässer können die Grenzwerte durch die Behörden auch verschärft werden):

Tabelle 4: Anforderungen in Deutschland, einzuhalten als qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden Mischprobe

Definition	EW	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB mg/l	Biochemi. Sauerstoffbedarf in 5 Tagen BSB₅ mg/l	Ammoniumstickstoff NH₄-N mg/l	Stickstoff, gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff N_{ges} mg/l	Phosphor Gesamt P_{ges} mg/l
Größenklasse 1 kleiner als 60 kg/d BSB ₅ (roh)	< 1'000	150	40			
Größenklasse 2 60 bis 300 kg/d BSB ₅ (roh)	1'000 > bis 5'000	110	25			
Größenklasse 3 größer als 300 bis 600 kg/d BSB ₅ (roh)	5'000 > bis 10'000	90	20	10		
Größenklasse 4 größer als 600 bis 6'000 kg/d BSB ₅ (roh)	10'000 > bis 100'000	90	20	10	18	2
Größenklasse 5 größer als 6'000 kg/d BSB ₅ (roh)	> 100'000	75	15	10	13	1

Gemäss Abwasserverordnung (AbwV) gelten die Anforderungen für NH₄-N und N_{ges} bei einer Abwassertemperatur von 12°C und grösser im Ablauf des biologischen Reaktors der Abwasserbehandlungsanlage. In Ausnahmefällen kann an die Stelle von 12°C auch die zeitliche Begrenzung von 1. Mai bis 31. Oktober treten.

In der wasserrechtlichen Zulassung kann für N_{ges} eine höhere Konzentration bis zu 25 mg/l zugelassen werden, wenn die Verminderung der Gesamtstickstofffracht mindestens 70% beträgt. Die Verminderung bezieht sich auf das Verhältnis der Stickstofffracht im Zulauf zu derjenigen im Ablauf in einem repräsentativen Zeitraum, der 24 Stunden nicht überschreiten soll. Für die Fracht im Zulauf ist die Summe aus organischem und anorganischem Stickstoff zugrunde zu legen.

In Deutschland erfolgt die Überwachung durch die Behörden mit qualifizierten Stichproben. Bei der qualifizierten Stichprobe werden 5 Proben, während 30 Minuten genommen, daraus wird eine Mischprobe erstellt. Diese qualifizierten Stichproben repräsentieren nicht die Tagesbelastung wie bei einer 24h-Probe. Da die qualifizierten Stichproben in Deutschland jederzeit auch bei den ungünstigsten Betriebsbedingungen erfolgen können, werden die Anlagen mit genügend Reserven gegenüber dem Grenzwert betrieben. Die Ablaufwerte sind folglich im Tagesmittel deutlich tiefer als die Grenzwerte (siehe dazu Kapitel 5.1.)

Mit den geforderten Grenzwerten für Gesamtstickstoff, welche mit qualifizierten Stichproben eingehalten werden müssen, wird eine 70% Stickstoffelimination gewährleistet. In der Praxis werden jedoch 83% Stickstoffelimination erreicht (DWA 2020).

Fazit

- In Deutschland wird für die Stickstoffelimination grundsätzlich die Ablaufkonzentration vorgegeben, welche bei der qualifizierten Stichprobe einzuhalten sind. Die Anforderung gilt bei Abwassertemperatur grösser als 12°Grad.

4.3 Österreich

In Österreich gelten gemäss Abwasseremissionsverordnung (1. AEV) folgende Anforderungen (abhängig vom Gewässer können die Grenzwerte durch die Behörden auch verschärft werden):

Tabelle 5: Anforderungen in Österreich, einzuhalten als Tagesmischproben (Achtung, Einteilung der Grössenklasse anders als in Deutschland)

Definition	EW	Chemischer Sauerstoffbedarf CSB mg/l	Biochemie. Sauerstoffbedarf in 5 Tagen BSB₅ mg/l	Ammoniumstickstoff NH₄-N mg/l	Gesamter gebundener Stickstoff als Summe von org. geb. Stickstoff, Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff N_{ges}	Phosphor Gesamt P_{ges} mg/l
Grössenklasse 1	50 > bis 500	90	25	10		
Grössenklasse 2	500 > bis 5'000	75	20	5		2 (ab 1'000 EW)
Grössenklasse 3	5'000 > bis 50'000	75	20	5	mind. 70%	1
Grössenklasse 4	> 50'000	75	15	5	mind. 70%	1

Für die Grössenklasse 3 und 4 ist die einer Abwasserreinigungsanlage zufließende Fracht N_{ges} um mindestens 70% zu vermindern. Diese Emissionsbegrenzung gilt bei einer Abwassertemperatur grösser als 12°C im Ablauf der biologischen Stufe der Abwasserreinigungsanlage.

Der Emissionswert für $\text{NH}_4\text{-N}$ gilt für Abwasserreinigungsanlagen der Grössenklasse 1 und 2 bei einer Abwassertemperatur grösser als 12°C im Ablauf der biologischen Stufe. Bei der Grössenklasse 3 und 4 gilt der Emissionswert bei einer Abwassertemperatur grösser als 8° .

In Gegensatz zu Deutschland wird in Österreich für die Stickstoffelimination eine prozentuale Reduktion vorgegeben. Die Überwachung der Stickstoffelimination erfolgt mit Tagesmischproben an Tagen mit Abwassertemperaturen $> 12^\circ\text{C}$.

Fazit

- In Österreich wird für die Stickstoffelimination eine prozentuale Reduktion auf Tagesmischproben vorgegeben. Die Anforderung gilt bei Abwassertemperatur grösser als 12°Grad .

5 Überprüfung Übertragbarkeit

5.1 Abwasserzusammensetzung / Konzentrationen / Probenahme

Die Abwasserzusammensetzung ist bei der Analyse der Übertragbarkeit ein wichtiger Aspekt. Sie ist abhängig vom Einzugsgebiet (Industrie, Gewerbe, Tourismus) und hat einen Einfluss auf die Abwasserbehandlung. Für die Stickstoffelimination ist insbesondere das Verhältnis von CSB zu Stickstoff entscheidend. Ein höheres CSB/N-Verhältnis ist vorteilhafter für die Stickstoffelimination, da genügend organische Stoffe (CSB) für die Denitrifikation benötigt wird.

Datenauswertung

- **Abwasserzusammensetzung Rohabwasser:** Die Abwasserzusammensetzung für die Schweiz, Deutschland und Österreich wird im Folgenden verglichen. In der Tabelle 6 ist der Vergleich der CSB- und N_{ges} -Zulaufkonzentrationen für das Jahr 2020 zusammengestellt. Die Auswertung zeigt, dass die Konzentrationen im Abwasser der Schweiz vergleichbar sind mit denen des Lippeverbands und Bundeslands Tirol.

In Deutschland ist die mittlere Konzentration von CSB und N_{ges} höher als in der Schweiz. Dies ist aber durch den Norden von Deutschland geprägt, wo infolge von weitverbreiteten Trennsystemen die Konzentrationen deutlich höher sind, da das Regenwasser separat abgeleitet und das Schmutzwasser weniger verdünnt wird. In Baden-Württemberg, Bayern, Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland und Nordrhein-Westfalen sind die Konzentrationen vergleichbar mit der Schweiz (siehe Auswertung aus DWA-Leistungsnachweis Nr. 33, 2020, Tabelle 6)

Tabelle 6: Vergleich mittlere CSB und N_{ges} Zulauf Konzentrationen (Jahr 2020)

Parameter	Schweiz	Deutschland DWA	Lippeverband	Tirol	Oberösterreich	Baden-Württemberg ¹	Bayern ¹	Hessen/Rheinland-Pfalz/ Saarland ¹	Nordrhein-Westfalen ¹
Zulauf CSB [mg/l]	496	636	542	551	591	462	546	511	470
Zulauf N_{ges} [mg/l]	41	65	56	46	49	42.5	51.9	48.5	43.6
CSB/N	12.1	9.8	9.7	11.9	12.1	10.9	10.5	10.5	10.8
¹ Auswertung Daten von 2020 aus DWA, 33. Leistungsnachweis kommunaler Kläranlagen									

Das CSB/ N_{ges} Verhältnis im Zulauf (Rohwasser) für Anlagen grösser 5'000 EW ist in der Abbildung 1 dargestellt. Die Kurve des CSB/ N_{ges} -Verhältnis der Schweiz und DWA sind leicht versetzt zueinander, der Median vom CSB/ N_{ges} -Verhältnis der Schweiz liegt bei 11.2, respektive bei 8.9 (Daten DWA). Das Verhältnis der Schweiz ist vorteilhafter für die Stickstoffelimination, da mehr CSB zur Verfügung steht. Das CSB/ N_{ges} -Verhältnis von Tirol und Oberösterreich sind ähnlich wie das der Schweiz. Im Grossen und Ganzen scheint die Schweiz im Rohwasser vergleichbare CSB/ N_{ges} -Verhältnisse zu haben wie das Rohwasser in Deutschland und Österreich.

Angaben/Daten über das Verhältnis im Ablauf der Vorklärung fehlen. Das CSB/ N_{ges} -Verhältnis im Ablauf der Vorklärung ist entscheidend für die biologische Stickstoffelimination, da dieses



Abwasser der biologischen Reinigungsstufe zugeführt wird. Es wird vermutet, dass kleinere Vorklärbecken das CSB/N_{ges} -Verhältnis begünstigen und grosse Vorklärbecken zu einem tieferen CSB/N_{ges} -Verhältnis führen, da mehr CSB in der Vorklärung eliminiert wird.

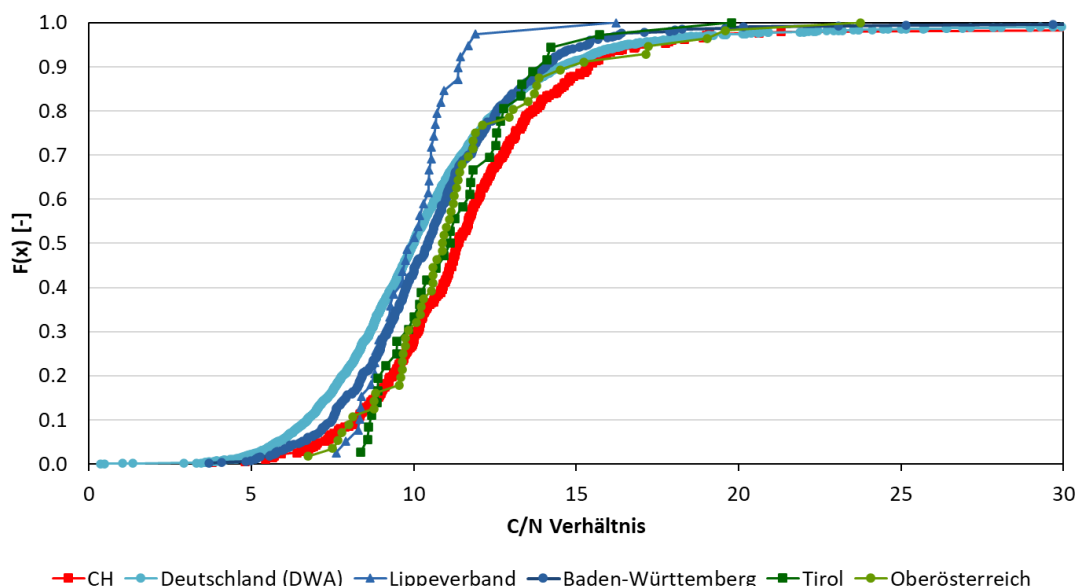


Abbildung 1: Vergleich C/N Verhältnis Zulauf für Anlagen ab 5'000 EW (Jahr 2020)

- Abwasserzusammensetzung im Ablauf der Kläranlage:** In der Tabelle 7 sind die Ablaufkonzentrationen für die verschiedenen Parameter und Datensätzen dargestellt (Auswertungen basieren auf unterschiedlichen Datengrundlagen). Die Ablaufkonzentration NH_4-N ist in der Schweiz verglichen zu Deutschland und Österreich höher. Grundsätzlich erreichen nitrifizierende Anlagen in der Schweiz vergleichbare Ablaufkonzentrationen wie in den Nachbarländern (gemäss Einleitbedingung $<2 \text{ mg/l}$). In der Tabelle 7 ist der Ammoniumwert als Mittelwert aller Schweizer Anlagen ersichtlich, darin enthalten sind auch Anlagen, welche noch nicht nitrifizieren.
 Eine detaillierte Zusammenstellung der Ablaufkonzentrationen pro Grössenklasse für die Schweiz, Deutschland und Österreich befindet sich im Anhang. Aus dieser Auswertung ist ersichtlich, dass in Deutschland die kleinen Anlagen unter 10'000 EW (mehrheitlich Anlagen zur Schlammstabilisierung¹) im Vergleich zu Anlagen grösser 10'000 EW höhere Ablaufwerte bezüglich NH_4-N aufweisen. Die grossen Anlagen erreichen NH_4-N Ablaufkonzentrationen zwischen 0.5-1.5 mg/l. Daraus lässt sich ableiten, dass trotz der Anforderung von 10 mg NH_4-N/l in Deutschland (Stichprobe kann jederzeit erfolgen) durchschnittliche Ablaufkonzentrationen von Ammonium vergleichbar mit nitrifizierenden Anlagen in der Schweiz erreicht werden.

¹ Abwasserbehandlungsanlagen mit Schlammstabilisierung nitrifizieren und werden ohne Vorklärung betrieben (Gujer 2007, Siedlungswasserwirtschaft). Kleine Anlagen betreiben zum Teil aus betrieblichen und wirtschaftlichen Gründen keine Faulung, der Schlamm wird in der Biologie stabilisiert. Das Schlammalter beträgt dabei > 25 Tage.

Tabelle 7: Vergleich Ablaufkonzentrationen (Jahr 2020), zu beachten sind die unterschiedlichen Datengrundlage in den Datensätzen, Für die Schweiz sind nur Daten zu N_{ges} und NH₄-N vorhanden.

	Schweiz ¹	DWA ¹	Lippeverband ²	NRW ¹	BW ¹	Bayern ²	Tirol ³	Oberösterreich ²
CSB [mg/l]	-	30	23			26	23	20
N_{ges} [mg/l]	19	11	8	9	10	8	8	8
NH₄-N [mg/l]	3.2	3	0.9	1.9	1.2	1.8	1.4	1.1
NO₃-N [mg/l]	-		5.5	5.6		5.7	5.5	5.3
NO₂-N [mg/l]	-		0.2	0.2	0.1	0.2		0.4
¹ Auswertung berücksichtigt Anlagen aller Grössenklasse ² Daten nur für Anlagen >1'000 EW vorhanden ³ Daten nur für Anlagen >10'000 EW vorhanden								

Expertengespräche

- **Probenahme:** In Deutschland erfolgt die amtliche Überwachung durch die Behörden mit den qualifizierten Stichproben. Dafür werden während 30 Minuten 5 Proben genommen und daraus wird eine Mischprobe erstellt.

Für die Selbstüberwachung erfolgen aber auch in Deutschland 2h-Mischproben oder 24h-Mischproben (abhängig von der Grösse der ARA, kleine Anlagen können 2h Mischproben durchführen). Wie oft die Selbstüberwachung gemacht werden muss, ist abhängig von der Grössenklasse und wird in den Abwasserordnungen der Bundesländer geregelt (Anzahl Proben sind vergleichbar mit der Schweiz: 1-2-mal pro Woche abhängig von der Grösse der ARA). Die Messungen der Selbstüberwachung und die amtliche Überwachung durch die Behörden erfolgen bei Trocken- und Regenwetter sowie bei allen Temperaturen.

Im Vergleich dazu sind in Österreich und in der Schweiz die regelmässigen 24h-Mischproben für die amtliche Überwachung durch die Behörden massgebend.

- **Anforderungen / Grenzwerte:** Gemäss «Urban Wastewater Directive EU» kann die Anforderung für die Stickstoffelimination als Konzentrationswert oder prozentuale Verringerung angewendet werden.

In Deutschland entsprechen die Anforderungen für die Ablaufkonzentrationen, wie in Kapitel 4 beschrieben, den deutschen Mindestanforderungen. Je nach Bundesland und Gewässer werden diese Anforderungen verschärft. Verschärfungen sind in Deutschland weit verbreitet, insbesondere bezüglich Ammonium- und Phosphorgrenzwerte.

Die qualifizierten Stichproben in Deutschland können jederzeit auch bei den ungünstigsten Betriebsbedingungen erfolgen. Daher werden die Anlagen mit viel Reserven gegenüber den Grenzwerten betrieben. Die Ablaufkonzentrationen im Tagesmittel sind deutlich tiefer. Die Ablaufwerte für Ammonium im Tagesmittel liegen in Deutschland und Österreich, wie bei nitrifizierenden Anlagen in der Schweiz im Bereich < 2 mg/l (< 2 mg/l ist die Einleitbedingung für nitrifizierende Anlagen).

In Österreich ist die Stickstoffelimination über eine prozentuale Stickstoffreduktion von mindestens 70% bei Abwassertemperaturen von $> 12^{\circ}\text{C}$ vorgeschrieben.

- **Nitrit:** Probleme mit Nitrit im Ablauf sind keine oder nur vereinzelt bekannt (zum Teil verursacht durch Industrieinleitungen oder Betriebsproblemen mit Sauerstoffeintrag in Biologie).
- **Wassermenge:** Grundsätzlich wird die Wassermenge, welche eine ARA verarbeiten muss, über eine Gesamtbetrachtung von ARA und Netz bestimmt. Die Wassermenge liegt mindestens bei $2 \times Q_{\text{TW,max}}$.

Fazit

- Die qualifizierten Stichproben zur Überwachung in Deutschland repräsentieren nicht die Tagesbelastung wie in Österreich oder Schweiz. Die qualifizierten Stichproben erfolgen zwischen 4 bis 24-mal pro Jahr. Die kleinen Anlagen werden seltener und die grossen Anlagen werden häufiger überwacht.
- Zur Selbstüberwachung werden in der Schweiz und Österreich 24h-Mischproben genommen, in Deutschland sind 24h-Mischproben oder 2h-Mischproben zulässig, wobei 2h-Mischproben nur bei kleineren Anlagen vorkommen.
- Die Anzahl Messungen für die Selbstüberwachung in Deutschland sind vergleichbar mit der Anzahl Probenahmen in der Schweiz.
- Die Abwasserzusammensetzung in der Schweiz ist vergleichbar mit dem Abwasser im südlichen Teil (NRW, BW, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland) von Deutschland und in Österreich. Im Norden von Deutschland sind infolge von verbreiteten Trennsystemen höhere Konzentrationen im Abwasser vorhanden.
- Es zeigt sich, dass in Deutschland und Österreich mit vergleichbaren Abwasserzusammensetzungen wie in der Schweiz Stickstoffeliminationen von $> 70\%$ erreicht werden können. Die hohen Stickstoffeliminationen in Deutschland und Österreich lassen sich nicht durch zur Schweiz abweichende Abwasserzusammensetzungen begründen.

5.2 Anlagegrößen / -belastungen

Datenauswertung

- **Anlagegrößen:** In Abbildung 2 ist ein Vergleich der Einteilung der ARA in Grössenklasse dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Verteilung der ARA pro Grössenklasse in der Schweiz vergleichbar ist mit den Daten des Leistungsvergleiches DWA.

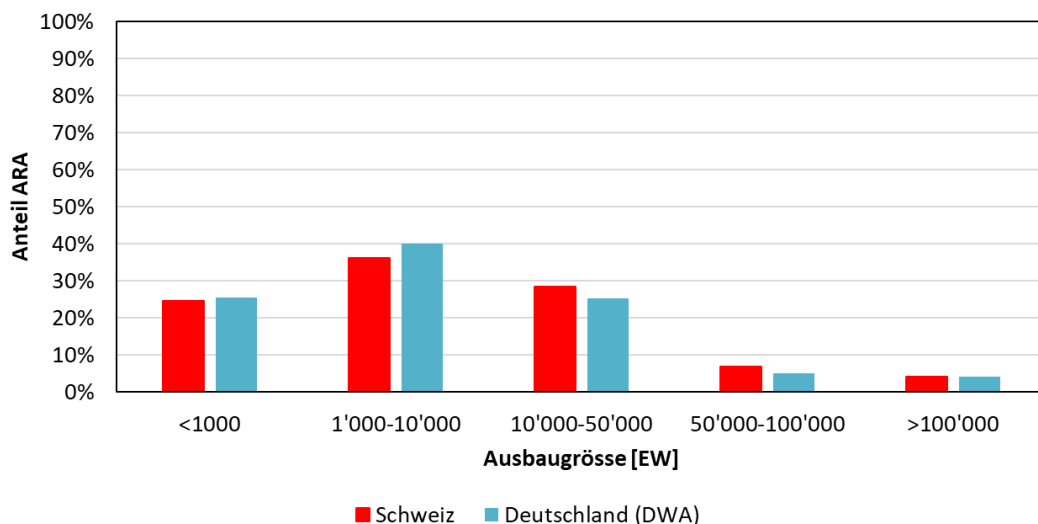


Abbildung 2: Anteil ARA pro Grössenklasse

Da nicht in allen Datensätzen Anlagen unter 1'000 EW enthalten sind, zeigt die Abbildung 3 ergänzend die Verteilung der ARA pro Grössenklasse ab 1'000 EW für die verschiedenen erhaltenen Daten. Der Anteil ARA pro Grössenklasse ist mehrheitlich gleich verteilt.

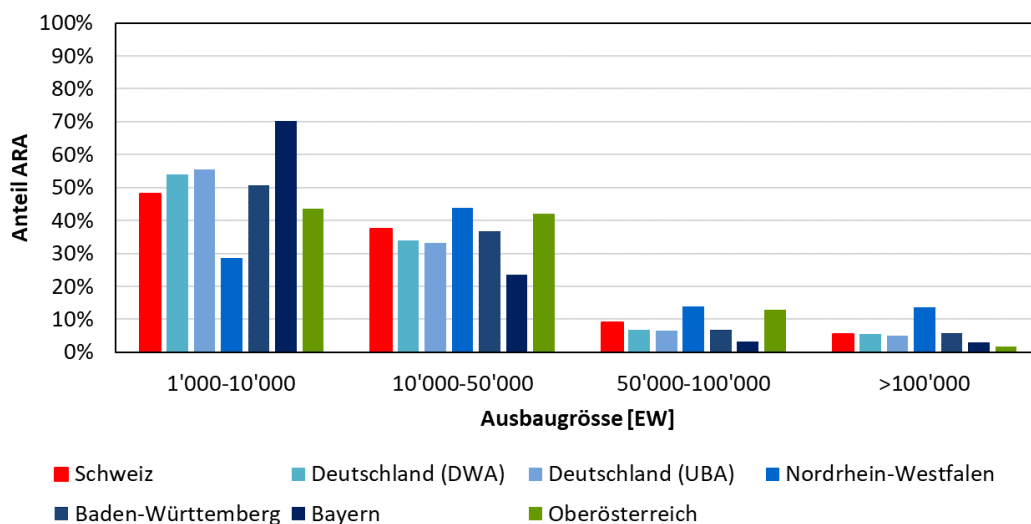


Abbildung 3: Anteil ARA pro Grössenklasse (ohne ARA kleiner 1'000 EW)



- **Auslastung:** Für die Berechnung der Auslastung einer ARA wurde die mittlere jährliche CSB-Fracht im Zulauf verwendet und daraus mit dem spezifischen Wert von 120 g/EW die CSB-Belastung bestimmt. Aus der CSB-Belastung und der Ausbaugrösse resultiert die aktuelle Auslastung. Der Vergleich der berechneten Auslastung ist in Abbildung 4 ersichtlich. Die Auswertung zeigt, dass ein kleinerer Anteil in allen Ländern überlastet ist. Zwischen den Ländern sind keine Unterschiede ersichtlich. Die meisten ARA weisen Reserven auf.

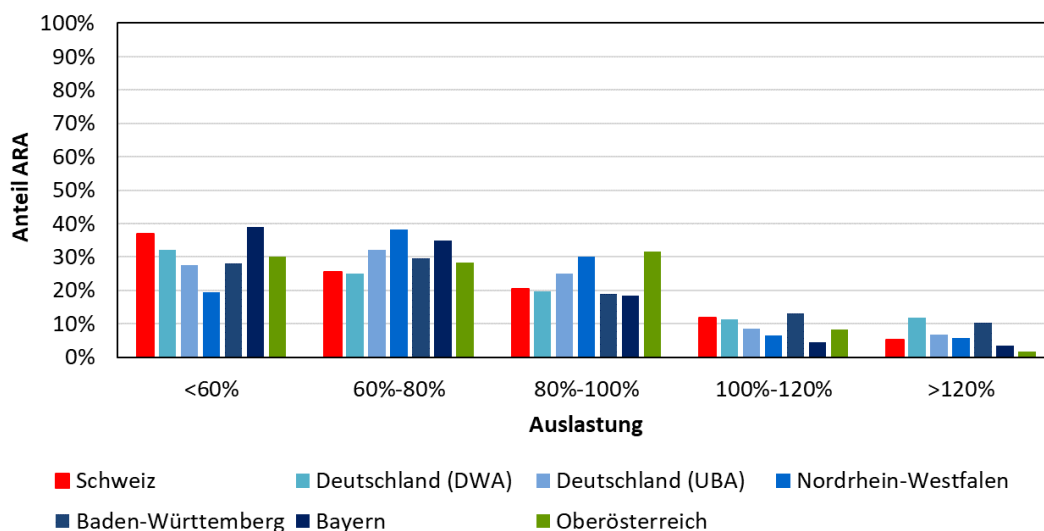


Abbildung 4: Anteil ARA pro Auslastung

Expertengespräche

- **Auslastung:** Die Mehrheit der Anlagen ist zwischen 75 und 100 % ausgelastet. In Deutschland gibt es Regionen (Ostdeutschland), wo die Anlagen grössere Reserven aufweisen. Es gibt unterlastete Anlagen, weil die Bevölkerung nicht den Erwartungen entsprechend zugenommen hat oder grosse Industrien weggefallen sind. Im Grossen und Ganzen sind die Anlagen aber gut ausgelastet.
Zum Teil sind kleinere Anlagen (<10'000 EW) in Deutschland, welche für die Schlammstabilisierung genutzt werden, überlastet. Bei diesen Anlagen ist das erforderliche Schlammalter > 25 Tagen. Überlastungen von diesen Anlagen sind dabei unkritisch, da das Schlammalter immer noch sehr hoch ist.
In gewissen Teilen von Österreich ist wegen des Tourismus die maximale Woche für die Auslegung massgebend. So ist es möglich, dass die Anlagen nur in der Touristensaison gut ausgelastet sind.

Fazit

- Der Anteil ARA pro Grössenklasse in der Schweiz ist vergleichbar zu Deutschland und Österreich. Die höheren Stickstoffeliminationen lassen sich nicht durch strukturelle Bedingungen (mehr grössere Anlagen in Deutschland oder Österreich) erklären.
- Die Mehrheit der Anlagen in Deutschland und Österreich ist zu 75-100% ausgelastet und weist noch Reserven auf. Die Anlagen sind vergleichbar ausgelastet wie in der Schweiz. Die hohe Stickstoffelimination lässt sich dadurch nicht erklären.

5.3 Anforderungen Reinigungsleistung / Bilanzierung / Einfluss Temperatur

Datenauswertung

- **Stickstoffelimination:** Die Stickstoffelimination ist pro Grössenklasse in der Abbildung 5 ersichtlich. Die Elimination in Deutschland und Schweiz ist für kleine Anlagen (200-1'000 EW) in der gleichen Grössenordnung. Ansonsten ist eine grosse Differenz ersichtlich. Die deutschen Anlagen haben deutlich höhere Stickstoffeliminationen.

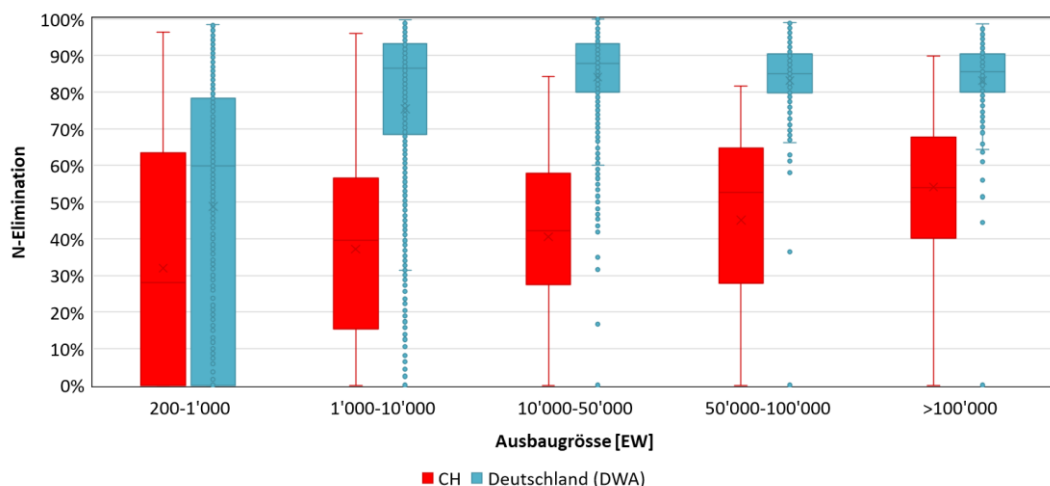


Abbildung 5: Stickstoffelimination pro Grössenklasse

- **Abwassertemperatur:** Auf die durchschnittliche jährliche Stickstoffelimination hat der Jahresgang der Abwassertemperatur einen Einfluss. Bei kälteren Temperaturen muss mehr Beckenvolumen für die Nitrifikation bereitgestellt werden und es ist weniger Beckenvolumen für die Denitrifikation verfügbar. Eine Anlage mit längeren Phasen von tiefen Abwassertemperaturen hat über das Jahr eine geringere Kapazität für die Stickstoffelimination verfügbar als eine Anlage mit wenigen Tag von tiefen Abwassertemperaturen. Für eine statistisch repräsentative Aussage, ob Unterschiede zwischen den Ländern bestehen (insbesondere wie oft die Abwassertemperatur unter 12°C oder unter 10°C liegen), fehlen ausreichend Daten.

Für die Auslegung einer Anlage spielt der Jahresverlauf der Abwassertemperatur in Deutschland und Österreich eine untergeordnete Rolle, da die Anforderungen der Stickstoffelimination jeweils erst ab 12°C gelten.

In der Schweiz gilt die geforderte Reinigungsleistung von Ammonium bei Abwassertemperaturen von mehr als 10°C.

Expertengespräche

- **Stickstoffelimination:** In Deutschland werden Stickstoffeliminationen als prozentuale Elimination nur selten vorgeschrieben, grundsätzlich sind die Grenzwerte/Ablaufkonzentrationen einzuhalten (Annahme, mit Einhaltung der Grenzwerte/Ablaufkonzentrationen werden 70% Stickstoffelimination erreicht). Diese Umsetzung entspricht der «Urban Wastewater Directive EU». Nur in einzelnen Fällen wird berechnet, ob bei höheren Ablaufkonzentrationen eine Stickstoffelimination von 70% erreicht wird. Bei den Temperaturen unter 12°C gelten die Anforderungen an die Grenzwerte von N_{ges} nicht.

In Österreich gibt es nicht Konzentrationsgrenzwerte für N_{ges} , sondern es wird eine prozentuale Stickstoffelimination von mind. 70% gefordert. Auch hier gelten die Anforderungen nur bei Temperaturen grösser als 12°C.

Bei Anlagen bis 10'000 EW wird in Deutschland die biologische Reinigung noch oft als Schlammstabilisierung (25 Tage Schlammalter und intermittierende Belüftung) betrieben, diese Anlagen schneiden bezüglich Stickstoffelimination ebenfalls sehr gut ab, obwohl keine Anforderungen an Stickstoffelimination gelten.

- **Bilanzierung:** Die Stickstoffelimination wird über die Frachten im Zulauf und Ablauf der Kläranlage berechnet. Zusätzliche Stickstoffinputs (über Co-Substrate oder Fremdschlämme) werden bei der Bilanzierung nicht separat gemessen und nicht als zusätzliche Input berücksichtigt. Die Zulauf-Messungen sollten vor den Rückläufen erfolgen.

Ob bei der Berechnung der Stickstoffelimination von Österreich bei der Jahresauswertung die Werte von allen Tagen (also auch bei Temperaturen < 12°C) einfließen, ist nicht ganz klar. Für gewisse nationale Auswertungen werden diese zum Teil nicht berücksichtigt. Beim Leistungsvergleich von der DWA sollten jedoch die Daten des ganzen Jahres verwendet worden sein.

- **Co-Substrate/Fremdschlammannahme:** Nur vereinzelt werden Co-Substrate bei grösseren Anlagen in die Faulung dazugegeben. Auch Fremdschlammannahmen haben nur vereinzelt Grossanlagen.

Fazit

- Die Stickstoffelimination ist in Deutschland in allen Grössenklassen höher (ausser bei der Grössenklasse 200-1'000 EW).
- Die Bilanzierung der Stickstoffelimination erfolgt über die Fracht im Rohwasser und Ablauf. Zusätzliche N-Frachten über Co-Substrate oder Fremdschlämme werden nicht berücksichtigt. Das heisst die gesetzlichen Bestimmungen zur Stickstoffelimination werden auch bei der Annahme von Fremdschlämmen oder der Zugabe von Co-Substrat erreicht.
- Sowohl in Deutschland wie in Österreich werden nicht durchschnittliche Jahresstickstoffeliminationen vorgegeben, sondern es gelten Anforderungen an die Stickstoffelimination (Grenzwerte/Ablaufkonzentrationen oder Stickstoffeliminationsleistungen) an Tagen mit Abwassertemperaturen > 12°C.
- Die Messungen, welche für den LVG der DWA verwendet werden, basieren gemäss den Expertengesprächen in Deutschland (Selbstüberwachung) und in Österreich auf Tagesmittelwerten über das ganze Jahr.

5.4 Einfluss Vorklärbeckengrösse

Mit der Grösse des Vorklärbeckens, resp. der Aufenthaltszeit des Abwassers in der Vorklärung wird das CSB/N-Verhältnis beeinflusst, dass wiederum ist entscheidend für die Stickstoffelimination mittels Denitrifikation. In der Vorklärung erfolgt nur eine geringe Elimination von Stickstoff, da er meist in gelöster Form vorliegt. Jedoch wird der CSB durch grosse Vorklärungen umfangreicher aus dem Abwasser entfernt (CSB liegt im Zulauf teils in partikulärer Form vor und setzt sich im Vorklärbecken ab). Daher reduziert sich das CSB/N-Verhältnis bei kleinen Vorklärbecken geringer als bei grossen Vorklärbecken. Der aus der Vorklärung entfernte CSB wird energetisch (Strom- und Wärmeerzeugung) weiter verwertet.

Datenauswertung

- **Aufenthaltszeit VKB:** Die Aufenthaltszeit in den Vorklärbecken bei mittleren Trockenwetter ist in Abbildung 6 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Aufenthaltszeit in der Schweiz mehrheitlich über 4 h ist. Im Gegensatz dazu liegt die Aufenthaltszeit bei mittleren Trockenwetter in Nordrhein-Westfalen bei 0.5-1h.

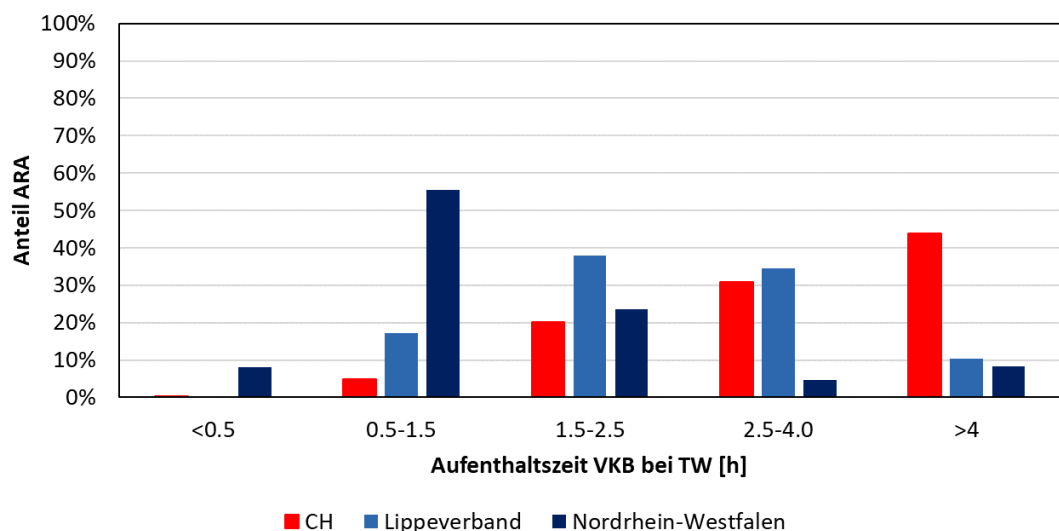


Abbildung 6: Anteil ARA pro Aufenthaltszeit in der Vorklärung bei TW

Expertengespräche

- **Aufenthaltszeit Vorklärung:** In Deutschland werden die Vorklärbecken gemäss DWA A-131 so ausgelegt, dass genügend CSB für die Stickstoffelimination verfügbar ist. Je nach Betriebszustand werden bei mehrstrassigen Vorklärungen einzelne Vorklärbecken ausser Betrieb genommen.

In Österreich sind die Vorklärbecken auch eher klein. Damit wird auch die Verfügbarkeit von CSB für die Stickstoffelimination gefördert.

In Deutschland und Österreich wurde bisher weniger der Fokus auf möglichst hohe Gasproduktion (mehr CSB aus der Vorklärung in die Faulung) gelegt. Künftig ist es möglich, dass ein Mittelweg zwischen hoher Stickstoffelimination und erhöhter Gasproduktion umgesetzt wird.

In der Schweiz sind grössere Vorklärbecken als in Deutschland vorhanden, weil der Fokus mehr auf dem energetischen Nutzen des CSB lag. Bisher wurde betrieblich weniger darauf geachtet, dass möglichst viel CSB in der Biologie für die Stickstoffelimination zu Verfügung steht.

Fazit

- In Deutschland und Österreich ist die Aufenthaltszeit in den Vorklärbecken kleiner, somit wird weniger CSB aus dem Abwasser entfernt. Es wird somit mehr CSB für die Stickstoffelimination zur Verfügung gestellt und weniger in der Schlammbehandlung energetisch verwertet.
- In Deutschland wird betrieblich darauf geachtet, dass genügend CSB für die Denitrifikation vorhanden ist, da andernfalls zusätzliche C-Quellen zugegeben werden müssen (hohe Kosten). Im Betrieb werden hierfür bei mehrstrassigen Vorklärungen zum Teil Vorklärbecken ausser Betrieb genommen.
- In Deutschland und Österreich wird bei der Auslegung ebenfalls darauf geachtet, dass genügend CSB in die Biologie gelangt (entsprechend werden Vorklärbecken kleiner ausgelegt, um dies zu erreichen).
- Kleiner Vorklärbecken verbessern das CSB/N-Verhältnis im Zulauf zur biologischen Reinigung. Es liegen aber nicht ausreichend Daten von Konzentrationen im Zulauf zur Vorklärung vor, um dies statistisch auszuwerten.

5.5 Verfahrenstechnische Aspekte der biologischen Reinigung

5.5.1 Beckenvolumen

Datenauswertung

- **Spezifisches Biologiebeckenvolumen:** In Abbildung 7 ist der Anteil ARA pro spezifischem Beckenvolumen pro Einwohner für Anlagen grösser 10'000 EW dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die spezifischen Beckenvolumen in der Schweiz verglichen zum Lippeverband, Tirol und Oberösterreich eher klein sind und weniger grosse Biologiebecken gebaut werden. Für einen Deutschlandweiten Vergleich sind mehr Daten notwendig.

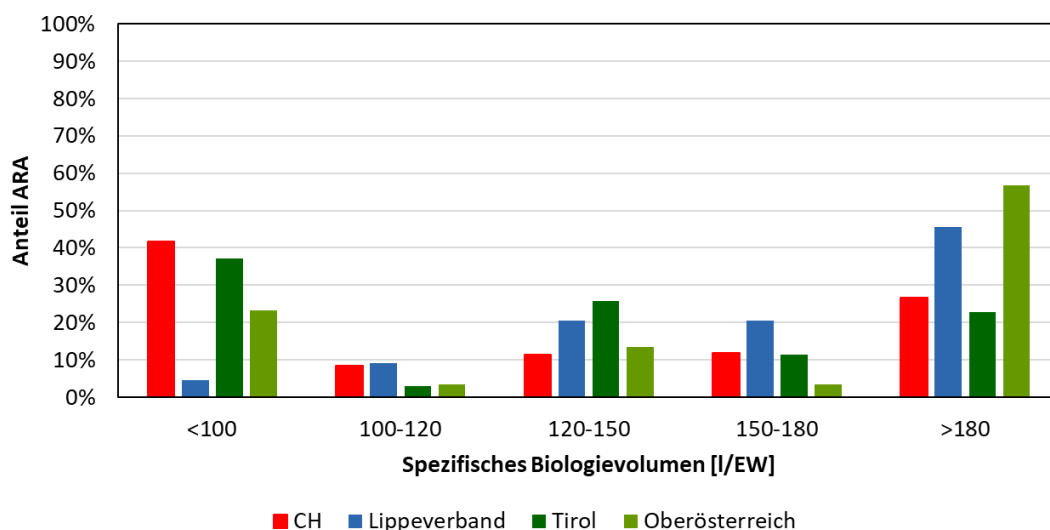


Abbildung 7: Anteil ARA pro spezifisches Beckenvolumen pro Einwohner (ARA >10'000 EW)

Expertengespräche

- **Spezifisches Biologiebeckenvolumen:** Die Auslegung erfolgt in Deutschland und Österreich gemäss DWA A-131. In Deutschland beträgt das spezifische Beckenvolumen je nach Anforderung und Abwasserzusammensetzung für Belebtschlammverfahren zwischen 150 l/EW und 200 l/EW. Schlammstabilisierungsanlagen weisen spezifisches Beckenvolumen von über 300 l/EW auf (Schlammstabilisierungsanlagen haben mehrheitlich eine Anlagengrösse bis ca. 10'000 EW, vereinzelt sind Anlagengrösse bis 20'000 EW möglich).

In Österreich gibt es auch 2-stufige Anlagen (z.B. Hauptkläranlage Wien 80 l/EW), welche ein geringeres spez. Volumen aufweisen. Schlammstabilisierungsanlagen mit grossen Beckenvolumen (> 300l/EW) sind hingegen auch verbreitet.

- **Anteil Denitrifikation:** Die Denitrifikation wird gemäss DWA A-131 ausgelegt (bis max. 60% unbelüftetes Beckenvolumen, abhängig von CSB/N-Verhältnis). Da die Stickstoffelimination gemäss Anforderungen bis 12°C sichergestellt werden muss, sind auch bei 12°C ein grosser Teil des Biologievolumens unbelüftet (40-60%). Bei tieferen Temperaturen <12°C bleiben immer noch Teile des Biologiebeckens unbelüftet. Die Anlagen haben auch im Winter immer Denitrifikationszonen, diese betragen dann meist immer noch mind. 15-30%. Die Nitrifikation hat ganzjährig Priorität, deshalb reduziert sich im Winter der Anteil der unbelüfteten Beckenvolumen.

Die Anlagen werden meist auch bei Temperaturen < 12°C unverändert weiter betrieben (da die Anlagen Reserven aufweisen). Das Belüften von zusätzlichen Zonen erfolgt meist erst, wenn die

Anlage hinsichtlich Nitrifikation an die Leistungsgrenze kommt. Dies wird mittels Messungen, zum Teil mit NH_4 -Analyser im Ablauf, geregelt bzw. durch Auswertungen des aktuellen Schlammalters und NO_2 -Ablaufmessungen überprüft.

Fazit

- In Deutschland und Österreich liegt gemäss Experten die Tendenz bei 150 bis 200 l/EW für das spezifischen Beckenvolumen pro Einwohner, wobei ganzjährig mind. 15-30% des Beckenvolumens unbelüftet ist. Bei Temperaturen über 12°C sind 40-60% des Beckenvolumens unbelüftet.
- In Deutschland und Österreich erfolgt die Dimensionierung nach DWA A-131. Damit wird nachgewiesen, dass bei einer Abwassertemperatur grösser 12°C der N_{ges} -Grenzwert (in Deutschland) oder die Stickstoffelimination (in Österreich) eingehalten wird. Zudem erfolgt der Nachweis, dass die Nitrifikation bei der entsprechenden Abwassertemperatur (z.B. 10°C) möglich ist.
- Schweizer Anlagen haben oft eine Vorgabe zur ganzjährigen Nitrifikation und zur Stickstoffelimination soweit betrieblich möglich. Dadurch wird bei der Dimensionierung weniger Volumen für die Denitrifikation vorgesehen als in Deutschland oder Österreich.

5.5.2 Eingesetzte Verfahren

Expertengespräche

- **Verfahren:** In Deutschland ist die vorgeschaltete Denitrifikation und je nach Region Kaskadendenitrifikation verbreitet. In Österreich sind neben der vorgeschalteten Denitrifikation auch Umlaufbecken weit verbreitet. SBR Verfahren werden auch genutzt. Intermittierende Denitrifikation² wird insbesondere bei den Schlammstabilisierungsverfahren eingesetzt. Vermehrt werden auch Kombinationen von vorgeschalteter Denitrifikation mit anschliessender intermittierender Denitrifikation realisiert.
- **Denitrifikation:** Die vorgeschaltete Denitrifikation ist eher im Süden von Deutschland verbreitet und limitiert durch die Rezirkulation. Eine intermittierende Denitrifikation (eher im Norden von Deutschland verbreitet) ist nicht begrenzt durch die Rezirkulation und erreicht insgesamt höhere Stickstoffelimination.
- **Interne Rezirkulation:** Bei vorgeschalteter Denitrifikation ist eine interne Rezirkulation praktisch immer vorhanden. Der Faktor ($Q_{\text{Rezirkulation}} / Q_{\text{ZulaufBB}}$) liegt im Bereich von 2 - 4. Die Pumpen werden für den maximalen Fall dimensioniert. Die Rezirkulation wird anschliessend betrieblich eingestellt, teils wird sie über einen Nitratsensor in der Denitrifikationszone geregelt. Ohne zusätzliche interne Rezirkulation können bei der vorgeschalteten Denitrifikation die geforderten Stickstoffeliminationen nicht erreicht werden.
- **Kaskadendenitrifikation:** Bei neu ausgelegten Kaskadendenitrifikationen werden üblicherweise 3 Kaskaden geplant, dies resultiert aus einem Optimum von Aufwand/Nutzen.

Fazit

- Bei den Verfahren sind regionale historische Entwicklungen der verwendeten Verfahren ersichtlich. In Deutschland werden neben der vorgeschalteten Denitrifikation auch Kaskadendenitrifikation und Umlaufbecken eingesetzt. Insbesondere in Österreich ist die Kombination von vorgeschalteter Denitrifikation mit anschliessendem Umlaufbecken weit verbreitet.

² Intermittierende Denitrifikation umfasst Anlagen mit einer konventionellen Biologie mit intermittierenden Belüftungszonen, A/I-Anlagen und SBR-Anlagen.

- Eine interne Rezirkulation (Faktor 2-4) ist bei vorgeschalteter Denitrifikation vorhanden und für eine Stickstoffelimination von mind. 70% notwendig. In der Schweiz werden heute Anlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation kaum mit einer internen Rezirkulation betrieben.
- 3 Kaskaden sind optimal für eine neu ausgelegte Kaskadendenitrifikation.

5.5.3 Massnahmen zur Erhöhung der Stickstoffelimination

Expertengespräche

- **C-Quellen:** In Deutschland und Österreich werden zur Erhöhung der Stickstoffelimination nicht permanent zusätzliche C-Quellen dazugegeben. Nur in wenigen Einzelfällen wird eine C-Zugabe vorgehalten, um bei Bedarf zusätzlichen CSB dazuzugeben. Bevor zusätzliche C-Quelle, zugegeben werden, wird darauf geachtet, dass nicht zu viel CSB über die Vorklärung in die Faulung verloren gehen.
- **Faulwasserbehandlung:** Eine separate Faulwasserbehandlung ist noch nicht sehr verbreitet. Um die Ablaufwerte bezüglich Stickstoff und die die Denitrifikation zu verbessern wird die separate Faulwasserbehandlung immer mehr als geeigneter Ansatz betrachtet und aktuell vermehrt geplant und umgesetzt.

Fazit

- In Deutschland und Österreich wird die Stickstoffelimination nicht durch Zugabe externer C-Quellen unterstützt, dies ist lediglich in vereinzelt Fällen periodisch der Fall.
- In Deutschland und Österreich sind Faulwasserbehandlungen bisher noch nicht weit verbreitet, teils wurden Faulwasserbehandlungen bei grösseren Anlagen bereits umgesetzt. Aktuell werden vermehrt Umsetzungen geplant und es deutet darauf hin, dass die separate Faulwasserbehandlung künftig vermehrt eingesetzt wird, um die Leistung der Stickstoffelimination zu verbessern.
- In der Schweiz werden externe C-Quellen selten verwendet. Faulwasserbehandlungen sind in der Schweiz vereinzelt bei grossen Anlagen bereits vorhanden.

5.5.4 Dimensionierung

Expertengespräche

- **Dynamische Simulation:** Der Nachweis gegenüber den Behörden erfolgt in Deutschland und Österreich mit der statischen Auslegung der DWA A-131. Dynamische Simulationen werden nur im Einzelfall gemacht. Es wird jeweils der Nachweis erbracht, dass einerseits bei 12°C die Nitratkonzentrationen eingehalten werden können und dass andererseits bei der geforderten Abwassertemperatur (z.B. bei 10° C) die Nitrifikation sichergestellt ist. Die Simulation wird aber in der Projektierung/Auslegung und Optimierung der Anlagen eingesetzt.

Fazit

- Die Dimensionierung erfolgt in Deutschland und Österreich meist noch statisch nach DWA A-131. Für die optimierte Projektierung oder bei zu den Normen abweichenden Bedingungen werden Simulationen durchgeführt.
-



6 Weitere projektrelevante Aspekte

Expertengespräche

- In Deutschland müssen die Anlagebetreiber Abwassergebühren bezahlen. Je höher die Ablauffracht ist, desto höher sind die Kosten. Aus diesem Grund haben die Betreiber auch einen finanziellen Anreiz, tiefe Ablaufkonzentrationen zu erreichen. Betreiber haben zudem die Möglichkeit sich für die Ermittlung der Gebühren tiefere Ablaufgrenzwerte zu erteilen, dadurch werden die Abwassergebühren ebenfalls reduziert.
- **Platzreserven für Erweiterungen:** Eine allgemeine Aussage zu den Platzreserven ist für Deutschland und Österreich schwierig zu formulieren. Meist ist von früher grosszügig Platz vorhanden. In urbanen Gebieten ist die Situation kritischer und nicht jede ARA hat beliebig Platz für Erweiterungen.
- **Entwicklung EU:** Die EU-Kommission bearbeitet aktuell, ob die geforderte Stickstoffelimination erhöht werden soll. Als Verhandlungsbasis stehen 80% bis 85% zur Debatte.
- **DWA:** Bei der DWA prüfen momentan Arbeitsgruppen, ob die Grenzwerte für die Ablaufkonzentrationen noch dem Stand der Technik entsprechen.

7 Zusammenfassung / Schlussbetrachtung

7.1 Zusammenfassung

Die Zusammenfassung basiert auf den in den vorherigen Kapiteln erfolgten Auswertungen der Daten und Expertengesprächen. Grundsätzlich ist ersichtlich, dass die hohen Stickstoffeliminationen in Deutschland und Österreich nicht durch eine der Schweiz abweichende Abwasserzusammensetzung, Verteilung der Anlagengrößen (mehr grosse Anlagen) oder Anlagenauslastung erklärt werden können. Die hohen Stickstoffeliminationen in Deutschland und Österreich lassen sich unter anderem mit kleineren Vorklärbecken, interner Rezirkulation bei vorgeschalteter Denitrifikation und grösseren Biologiebeckenvolumen begründen.

Nachfolgend sind die für die Analyse der Übertragbarkeit untersuchten Aspekte aufgeführt.

- **Anlagengrößen / Auslastung:** Die Anlagengrößen der Kläranlagen in der Schweiz sind vergleichbar mit jenen aus Deutschland und Österreich. Auch die Auslastung der Anlagen in Deutschland und Österreich ist vergleichbar mit der Schweiz, die Mehrheit der Anlagen ist zu 75-100% ausgelastet und weist noch Reserven auf.

Die höheren Stickstoffeliminationen lassen sich somit nicht durch strukturelle Bedingungen (mehr grössere Anlagen in Deutschland oder Österreich) erklären.

- **Abwasserzusammensetzung:** Die Abwasserzusammensetzung im Norden von Deutschland (hohe Abwasserkonzentrationen) unterscheiden sich von der Schweiz, da dort verbreitet Trennsysteme vorliegen. Im restlichen Teil Deutschlands und in Österreich ist die Abwasserzusammensetzung bezüglich CSB und Stickstoff vergleichbar mit der Schweiz.

In Deutschland und Österreich werden mit vergleichbaren Abwasserzusammensetzungen wie in der Schweiz Stickstoffeliminationen von > 70% erreicht. Die hohen Stickstoffeliminationen in Deutschland und Österreich lassen sich nicht durch zur Schweiz abweichende Abwasserzusammensetzungen begründen.

Das CSB/N-Verhältnis ist im Zulauf der ARA in der Schweiz vergleichbar mit Österreich und ist etwas höher als in Deutschland. Dies ist hinsichtlich der Stickstoffelimination leicht vorteilhafter, da theoretisch mehr CSB für die Stickstoffelimination zur Verfügung steht. Massgebend ist grundsätzlich das CSB/N-Verhältnis im Ablauf der Vorklärung (diese kann durch die Aufenthaltszeit in der Vorklärung beeinflusst werden). Über das Verhältnis im Ablauf der Vorklärung kann aber keine Aussage gemacht werden, da hier keine Daten in den Grundlagen vorliegen.

- **Amtliche Überwachung:** In Deutschland erfolgt die amtliche Überwachung durch qualifizierte Stichproben. In der Schweiz und Österreich mit 24h-Mischproben. Die 24h-Mischproben repräsentieren besser die Tagesbelastung auf eine Anlage.

Zur Selbstüberwachung werden in Deutschland bei Anlagen > 5'000 EW ebenfalls meist 24h-Proben durchgeführt, in vergleichbarer Häufigkeit wie in der Schweiz. Bei kleineren Anlagen sind auch 2h-Mischproben zulässig.

Die Grenzwerte für die Ablaufkonzentrationen sind in Deutschland höher als in der Schweiz. Da sich die Grenzwerte in Deutschland auf die qualifizierten Stichproben beziehen (Überwachungsmessung kann jederzeit auch bei den ungünstigsten Betriebsbedingungen erfolgen), sind die Ablaufkonzentrationen im Tagesmittel deutlich tiefer und vergleichbar mit nitrifizierenden Anlagen in der Schweiz (siehe nächster Aspekt).

- **Ablaufkonzentrationen:** Die mit der Schweiz vergleichbaren Tagesmittelwerte der Ablaufkonzentrationen von $\text{NH}_4\text{-N}$ sind in Deutschland und Österreich vergleichbar mit nitrifizierenden Anlagen in der Schweiz (im Bereich von < 2 $\text{mg}_{\text{NH}_4\text{-N/l}}$).
-

- **Stickstoffelimination:** Gemäss der «Urban Wasterwater Directive EU» ist ein Konzentrationswert oder die prozentuale Verringerung anzuwenden. In Deutschland wird meistens ein Konzentrationswert vorgeschrieben. Es werden Grenzwerte je nach Grösse der ARA festgelegt, welche eingehalten werden müssen (mit diesen Grenzwerten für N_{ges} wird eine 70% Stickstoffelimination erreicht). In Österreich wird eine prozentuale Verringerung von mind. 70% Stickstoffelimination vorgeschrieben. Die Stickstoffelimination wird aus den Frachten im Zulauf und Ablauf der ARA berechnet.

Die Anforderungen gelten nur bei Temperaturen über 12°C.

Für einen Vergleich der Jahresgänge der Abwassertemperatur (wie oft die Temperatur < 12° oder < 10°C liegt) sind nicht ausreichend Daten vorhanden. Der Jahresverlauf hat einen Einfluss auf die durchschnittliche jährliche Stickstoffelimination (bei kalten Temperaturen ist es schwieriger eine hohe Stickstoffelimination zu erreichen, da die Nitrifikation mehr belüftetes Beckenvolumen benötigt). Der Jahresverlauf der Abwassertemperatur hat aber keinen Einfluss auf die Auslegung der Beckenvolumen, da für die Auslegung der Stickstoffelimination in Deutschland und Österreich die Temperatur von 12°C massgebend ist.

- **Dimensionierung:** Aufgrund von den unterschiedlichen gesetzlichen Anforderungen unterscheidet sich die Auslegung in der Schweiz von Deutschland und Österreich. Falls keine Anforderungen an die Stickstoffelimination bestehen, wird die biologische Stufe in der Schweiz nach DWA A-131 so ausgelegt, dass bei 10°C die Nitrifikation sichergestellt ist. Das heisst, dass bei 10°C das komplette Beckenvolumen belüftet wird, es ist im Winter kein unbelüftetes Beckenvolumen vorgesehen.

In Deutschland und Österreich wird auch nach DWA A-131 ausgelegt. Jedoch sind die Biologiebecken so dimensioniert, dass der N_{ges} -Grenzwert (in Deutschland) oder die prozentuale Stickstoffelimination (in Österreich) bei 12°C und die Nitrifikation bei 10°C eingehalten werden. Durch die Anforderung an N_{ges} bei 12°C sind die Biologiebecken so gross, dass auch bei Abwassertemperaturen unter 12°C grosse Teile vom Biologiebecken unbelüftet sind. Um die Nitrifikation bei tiefen Temperaturen sicherzustellen, sind polyvalent Zonen vorhanden.

Der Anteil an unbelüfteten Biologiebeckenvolumen kann je nach CSB-Verfügbarkeit bis zu 60% betragen und beträgt im Winter (Temperaturen < 12°C) meistens immer noch im Minimum 15-30% des Biologievolumens.

Der Nachweis der Auslegung erfolgt statisch nach DWA A-131 und wird nur in Einzelfällen dynamisch simuliert. Für die optimierte Projektierung werden aber vermehrt die Anlagen simuliert.

- **Biologievolumen:** Gemäss Experten liegt die Tendenz in Deutschland und Österreich bei 150 bis 200 I/EW für das spezifischen Beckenvolumen pro Einwohner für eine konventionelle Biologie mit hoher Stickstoffelimination.

In der Schweiz sind mehrheitlich spezifischen Beckenvolumen pro Einwohner von < 150 I/EW für die Biologie vorhanden (Erklärung siehe Dimensionierung), viele sogar < 100 I/EW (teils nicht nitrifizierende Anlagen).

Inwieweit mit einem optimierten Betrieb (dynamischen Regelung) der biologischen Stufe geringere Beckenvolumen möglich sind, darüber kann mit den vorliegenden Daten keine Aussage gemacht werden. Erste Praxisbeispiele und die Erfahrungen von dynamischen Simulationen weisen darauf hin, dass geringere Beckenvolumen mit ausreichend Betriebssicherheit durchaus realistisch sind.

- **Verfahren:** Bei den Verfahren sind in Deutschland und Österreich regionale historische Entwicklungen der verwendeten Verfahren ersichtlich. Neben der vorgeschalteten Denitrifikation werden auch Kaskadendenitrifikation und Umlaufbecken eingesetzt (Umlaufbecken in Kombination mit vorgeschalteter Denitrifikation ist insbesondere in Österreich sehr verbreitet). Bei vorgeschalteter Denitrifikation ist eine interne Rezirkulation (Faktor 2 - 4) vorhanden und notwendig. Bei der Kaskadendenitrifikation werden bei neu ausgelegten Anlagen 3 Kaskaden (optimale Anzahl) berücksichtigt.

In der Schweiz ist die vorgeschaltete Denitrifikation weitverbreitet, jedoch werden bisher Rezirkulationen kaum umgesetzt. Durch die Integration von internen Rezirkulationen kann betriebliche die Stickstoffelimination optimiert werden, sofern ausreichend Beckenvolumen vorhanden ist.

- **Vorklärung:** Beim Betrieb und der Auslegung der Vorklärung wird in Deutschland darauf geachtet, dass genügend CSB für die Stickstoffelimination zur Verfügung (Aufenthaltszeit in der Vorklärung klein halten) steht, zum Teil werden bei mehrstrassigen Anlagen im Betrieb Vorklärbecken ausser Betrieb genommen. Durch geringere Aufenthaltszeiten in der Vorklärung kann das CSB-/N-Verhältnis hinsichtlich der Stickstoffelimination verbessert werden.
- **Erhöhung Stickstoffelimination:** Zur Erhöhung der Stickstoffelimination werden nicht permanent externe C-Quellen zugegeben. In Einzelfällen stehen C-Quellen für eine Zugabe bei Bedarf bereit. Faulwasserbehandlungen sind noch nicht weit verbreitet, sind in Deutschland aber aktuell vermehrt in Planung zu Verbesserung der Stickstoffelimination.

7.2 Fazit

In Deutschland und Österreich wird seit Jahren die Stickstoffelimination gefordert. Die Anlagen sind dadurch auf eine höhere Stickstoffelimination ausgelegt und werden entsprechend betrieben. Um die hohen Stickstoffeliminationen zu erreichen, wird zum einen darauf geachtet, dass ausreichend CSB für die Biologie zur Verfügung stehen (kleinere Vorklärbecken, teilweise Ausserbetriebnahme von einzelnen Vorklärbecken bei Trockenwetter). Zum andern werden die Anlagen neben einer stabilen ganzjährigen Nitrifikation auch mit ganzjähriger Denitrifikation betrieben, auch bei tieferen Temperaturen bleiben immer mindestens 15-30 % des Biologievolumen unbelüftet. Weiter werden Verfahren mit hoher Stickstoffeliminationsleistung wie die Kaskadendenitrifikation, vorgeschaltete Denitrifikation mit internen Rezirkulation oder Umlaufbecken mit vorgeschalteten Denitrifikationsbecken eingesetzt.

Die Studie zeigt, dass die Situation (Anlagengrössen, Anlagebelastungen, Abwasserzusammensetzung) in der Schweiz vergleichbar ist mit Deutschland und Österreich. Die hohen Stickstoffeliminationen lassen sich nicht durch eine der Schweiz abweichende Abwasserzusammensetzung oder durch die Verteilung der Anlagengrössen (mehr grosse Anlagen) erklären.

Tendenziell sind in der Schweiz grössere Vorklärbecken (weniger CSB in die Biologie, mehr energetische Nutzung) und dafür kleinere Biologievolumen vorhanden.

Für die Erhöhung der Stickstoffelimination in der Schweiz kommen betriebliche, verfahrenstechnische und bauliche Massnahmen in Frage (im Folgenden ein paar Beispiele):

- Optimierte Auslegung / Bewirtschaftung der Vorklärung
- Umsetzung von internen Rezirkulationen bei vorgeschalteten Denitrifikationen
- Optimierter Betrieb / dynamische Regelung
- Grössere Biologievolumen → mehr Kapazität für Denitrifikation

8 Danksagung

Wir danken für die Unterstützung und Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) und der VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen».



9 Anhang

9.1 Ablaufkonzentrationen

Im Folgenden sind die Auswertungen der Ablaufkonzentrationen für die Parameter CSB, N_{Ges}, NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N pro Grössenklasse für das Jahr 2020 zusammengestellt.

Tabelle 8: Ablaufkonzentrationen CSB pro Grössenklasse in mg/l (Jahr 2020)

CSB [mg/l]	Schweiz	DWA	Lippe- verband	NRW	BW	Bayern	Tirol	Oberös- terreich
200- 1'000 EW	44							
1'000- 10'000 EW		27	22			31		17
10'000- 50'000 EW		24	25			23	22	21
50'000- 100'000 EW		25	24			25	23	23
>100'000 EW		28	22			27		21

Tabelle 9: Ablaufkonzentrationen N_{Ges} pro Grössenklasse in mg/l (Jahr 2020)

N _{Ges} [mg/l]	Schweiz	DWA	Lippe- verband	NRW	BW	Bayern	Tirol	Oberös- terreich
200- 1'000 EW	23	19		18	16			
1'000- 10'000 EW	18	11	8	7	8	10		5
10'000- 50'000 EW	18	7	8	6	9	6	9	7
50'000- 100'000 EW	18	8	9	7	9	7	8	10
>100'000 EW	19	9	9	6	10	8		10

Tabelle 10: Ablaufkonzentrationen NH₄-N pro Grössenklasse in mg/l (Jahr 2020)

NH ₄ -N [mg/l]	Schweiz	DWA	Lippe- verband	NRW	BW	Bayern	Tirol	Oberös- terreich
200- 1'000 EW	6	8.8		6.3	3.5			
1'000- 10'000 EW	3.4	3.6	0.7	1.4	1.1	4.6		0.5
10'000- 50'000 EW	1.8	1.1	1.0	0.6	0.6	1.2	1.3	1.1
50'000- 100'000 EW	4.9	1.0	1.3	0.7	0.5	0.9	1.5	1.3
>100'000 EW	2.6	0.7	0.6	0.8	0.5	0.5		1.3

Tabelle 11: Ablaufkonzentrationen NO₃-N pro Grössenklasse in mg/l (Jahr 2020)

NO ₃ -N [mg/l]	Schweiz	DWA	Lippe- verband	NRW	BW	Bayern	Tirol	Oberös- terreich
200- 1'000 EW	9.3							
1'000- 10'000 EW			5.9	5.0		5.3		2.6
10'000- 50'000 EW			5.2	4.1		4.4	5.8	4.3
50'000- 100'000 EW			5.4	5.2		6.0	5.3	5.8
>100'000 EW			5.7	4.3		7.2		8.8

Tabelle 12: Ablaufkonzentrationen NO₂-N pro Grössenklasse in mg/l (Jahr 2020)

NO ₂ -N [mg/l]	Schweiz	DWA	Lippe- verband	NRW	BW	Bayern	Tirol	Oberös- terreich
200- 1'000 EW				0.3	0.2			
1'000- 10'000 EW			0.1	0.1	0.1	0.2		0.1
10'000- 50'000 EW			0.1	0.1	0.1	0.1		0.1
50'000- 100'000 EW			0.2	0.1	0.1	0.2		0.9
>100'000 EW			0.1	0.1	0.1	0.2		

