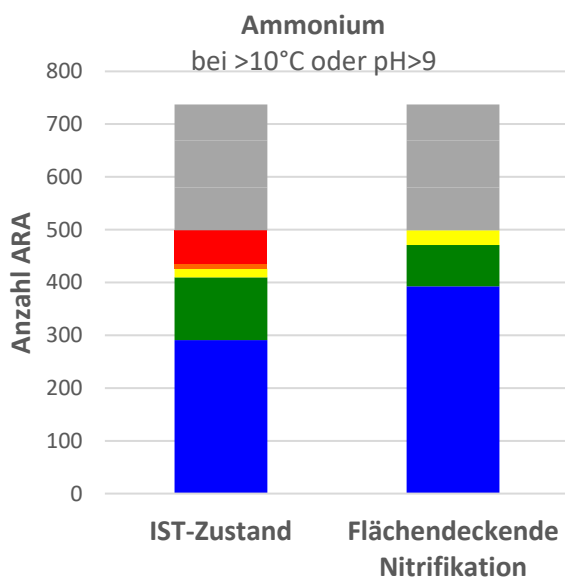


AMMONIUM UND NITRIT AUS ARA

Berechnete Belastung der Gewässer



Stand: 18.06.2024

Impressum

Die vorliegende Publikation wurde mit aller Sorgfalt und nach bestem Gewissen erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität kann der VSA jedoch keine Gewähr übernehmen. Haftungsansprüche wegen Schäden materieller oder immaterieller Art, welche durch die Anwendung der Publikation entstehen können, werden ausgeschlossen.

Autor:innen

Rebekka Gulde, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen, Glattbrugg
Pascal Wunderlin, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen, Glattbrugg

Expertengruppe

M. Thomann, FHNW, MuttENZ
B. Kawecki, FHNW, MuttENZ
C. Götz, Awel, Zürich
A. Joss, Eawag, Dübendorf
D. Dominguez, BAFU, Bern
S. Zimmermann, BAFU, Bern

Danksagung

Ein grosses Dankeschön geht an die Expertengruppe für die wertvollen Diskussionen und Rückmeldungen zu dieser Arbeit. Wir bedanken uns herzlichst bei B. Kawecki (FHNW), R. Schäfer (FHNW) und M. Thomann (FHNW) für den konstruktiven Austausch der fachlichen Inhalte und Daten. M. Mattle (VSA) danken wir für die wertvollen Rückmeldungen zu diesem Artikel.

Herausgeber

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Bezugsquelle

VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»
www.micropoll.ch, info@micropoll.ch

Zitierung

Gulde, R., Wunderlin, P. (2024). Ammonium und Nitrit aus ARA – Berechnete Belastung der Gewässer. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

Mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

INHALT

1	Zusammenfassung	4
2	Hintergrund	5
3	Geltende Gesetzliche Anforderungen	6
3.1	Anforderungen an gereinigtes Abwasser	6
3.2	Anforderungen an Fliessgewässer	6
4	Modellierung der Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen im Fliessgewässer	8
4.1	Methodische Grundlagen	8
4.2	Plausibilisierung der berechneten Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen	11
5	Ammonium- und Nitrit-Belastung im Gewässer nach ARA	13
5.1	IST-Zustand: Ammonium und Nitrit aus ARA belasten die Fliessgewässer	13
5.2	Konsequente Umsetzung der Gesetzgebung würde Situation verbessern	16
5.3	Was bringt eine flächendeckende Nitrifikation?	18
6	Literatur	20
7	Anhang	21
7.1	Details zur Berechnung	21
7.2	Details zu Gewässermessungen der Kantone Zürich und Waadt	23
7.3	Weitere Ergebnisse zur Ammonium- und Nitrit-Belastung in Gewässern	24
7.3.1	Ammonium-Belastung im IST-Zustand bei <10°C	24
7.3.2	Nitrit-Belastung im IST-Zustand bei >20mg/L Chlorid	25
7.3.3	Ammonium-Belastung bei flächendeckender Nitrifikation und <10°C	26
7.3.4	Nitrit-Belastung bei flächendeckender Nitrifikation und >20mg/L Chlorid	27

1 ZUSAMMENFASSUNG

Bei 50-80% aller Schweizer ARA treten immer wieder erhöhte Mengen an Ammonium oder Nitrit im Ablauf von Abwasserreinigungsanlagen (ARA) auf [1]. Mit einer stabilen Nitrifikation, könnte dies verringert werden. ARA sind gesetzlich aber nur dazu verpflichtet, wenn deren Ammonium-Einleitungen nachteilige Wirkung auf die Wasserqualität haben. Die vorliegende Studie berechnet die Belastung der Gewässer durch ARA-Einleitungen. Dies für den IST-Zustand sowie für den Fall einer flächendeckenden Nitrifikation, in dem alle ARA ganzjährig eine stabile Nitrifikation betreiben. Ergeben hat sich Folgendes:

- **Ammonium- und Nitrit-Einleitungen belasten die Fließgewässer**
Rund 18% der ARA führen zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen für Ammonium im Gewässer. Zudem belasten 17% der ARA das Fließgewässer mit Nitrit so stark, dass eine nachteilige Auswirkung auf die Wasserlebewesen möglich ist.
- **Grenzwertüberschreitungen im Gewässer liessen sich mit der aktuellen Gesetzgebung reduzieren**
Rund 16% der ARA - nämlich jene, die zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen für Ammonium im Gewässer führen - müssten bereits heute nitrifizieren. Weitere 2% der ARA nitrifizieren bereits, sollten aber tiefere Ablaufwerte erreichen um Überschreitungen der Anforderungen im Gewässer zu vermeiden. Auch hier existieren die gesetzlichen Grundlagen bereits heute.
- **Eine flächendeckende Nitrifikation würde die Gewässer zusätzlich entlasten**
Bei einer ganzjährigen stabilen Nitrifikation, die sowohl den Ammonium-Grenzwert von 2 mgN/L als auch den Nitrit-Richtwert von 0.3 mgN/L im ARA-Ablauf im 90%-Quantil einhält, wären nach einer Schätzung von Thomann et al. im Jahresmittel eine Ammonium-Ablaufkonzentration von unter 0.2 mgN/L notwendig. Solch eine Nitrifikation für alle ARA hätte folgende Auswirkungen für die Ammonium- und Nitrit-Belastungen: Zum einen würden die im obigen Punkt erwähnten Überschreitungen im Gewässer reduziert werden. Bei 6% aller ARA gäbe es trotzdem leichte Überschreitungen von Ammonium und Nitrit im Gewässer. Dies weil die Verdünnung im Vorfluter sehr gering ist. Diese ARA müssten noch tiefere Ablaufwerte im Jahresmittel als 0.2 mgN/L für Ammonium und 0.06 mgN/L für Nitrit erreichen. Zum anderen würde sich der Gewässerzustand von rund 80-100 ARA-Einleitungen von einem guten zu einem sehr guten Zustand entwickeln. Dies sind 15-20% der beurteilbaren ARA.

2 HINTERGRUND

In der Schweizer Abwasserreinigung werden in den nächsten Jahren entscheidende Weichen neu gestellt. Neben Massnahmen, um mehr Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen, müssen die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) künftig auch mehr Stickstoff eliminieren. Das fordert eine aktuelle Motion 20.4261¹ auf nationaler Ebene. Damit ARA aber effizient Stickstoff eliminieren können, müssen sie stabil nitrifizieren

Schaut man etwas genauer hin, fällt auf, dass über die Hälfte der ARA immer wieder erhöhte Mengen an Ammonium oder Nitrit im Ablauf auftreten [1]. Beide Stoffe wirken sich negativ auf Wasserlebewesen aus (siehe Box 1). Ammonium wird in ARA durch die sogenannte Nitrifikation abgebaut.

In der Schweiz ist nicht jede ARA gesetzlich zur Nitrifikation verpflichtet. Hierzulande müssen lediglich jene ARA nitrifizieren, deren Ammonium-Einleitungen nachteilige Wirkung auf die Wasserqualität haben. Dies betrifft v.a. Flüsse mit geringer Verdünnung des Abwassers². Wie stark die Schweizer ARA die Fließgewässer durch Ammonium- und Nitrit-Einleitungen belastet ist jedoch schwer zu sagen. Es mangelt an flächendeckenden Messungen im Gewässer nach den ARA-Einleitstellen.

Deshalb wird in der vorliegenden Studie modelliert...

- ... wie stark die Ammonium- und Nitrit-Einleitungen der Schweizer ARA die Fließgewässer belasten.
- ... wie die Situation bei einer konsequenten Umsetzung der aktuellen Gesetzgebung wäre.
- ... wie die Gewässerbelastung im Fall einer flächendeckenden Nitrifikation wäre, d.h. dass alle ARA ganzjährig stabil nitrifizieren würden.

Box 1: Was ist Stickstoff und wie wirkt er sich auf die Gewässer aus?

Stickstoff kommt in verschiedenen Formen vor. Beispielsweise gibt es Stickstoff in Ammonium-, Nitrit- oder Nitrat-Verbindungen. Zuviel Nitrat im Gewässer kann zu einem massiven Algenwachstum führen. Nitrat ist zudem unerwünscht im Grund- und Trinkwasser, weil es für den Menschen gesundheitlich problematisch ist. Nitrit ist im Gewässer weniger stabil als Nitrat, ist aber stark fischgiftig. Beispielsweise für Lachse oder Forellen. Auch Ammonium ist wenig stabil im Gewässer. Für Fische ist insbesondere Ammoniak, eine Form des Ammoniuns, problematisch.

¹ 20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen»

² Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, SR 814.201.

3 GELTENDE GESETZLICHE ANFORDERUNGEN

3.1 Anforderungen an gereinigtes Abwasser

Ammonium

In der Schweiz haben lediglich jene ARA Einleitanforderungen bezüglich Ammonium, deren Einleitungen nachteilige Wirkung auf die Gewässer hat. Dies betrifft v.a. Flüsse mit einer geringen Verdünnung des Abwassers. Diese ARA müssen ganzjährig nitrifizieren. Es gilt ein Ammonium-Grenzwert im gereinigtem Abwasser von 2 mgN/L bei Abwassertemperaturen von über 10°C. Zusätzlich müssen die betroffenen ARA 90% des Ammoniums aus dem Abwasser eliminieren.

Nitrit

Für Nitrit existiert kein Grenzwert im gereinigten Abwasser, sondern lediglich ein Richtwert von 0.3 mgN/L.

3.2 Anforderungen an Fließgewässer

Ammonium

Ammonium und Ammoniak wirken sich negativ auf aquatische Lebewesen aus. Dies verschlimmert sich mit zunehmender Wassertemperatur. Deshalb ist die numerische Anforderung für Ammonium im Fließgewässer temperaturabhängig³, siehe Tabelle 1.

Tabelle 1: Numerische Anforderungen der GschV für Ammonium in Fließgewässer

Ammonium (Summe aus $\text{NH}_4^+\text{-N}$ und $\text{NH}_3\text{-N}$)	
Numerische Anforderung	Bei Temperaturen
0.2 mg/L N	>10°C
0.4 mg/L N	<10°C

Die zuständige kantonale Behörde überwacht mit monatlichen Stichproben die Ammonium-Konzentration in den Gewässern. Sie beurteilt die Resultate in der Regel gemäss der Vollzugshilfe für Nährstoffen, dem sogenannte Modulstufenkonzept (MSK) [2]. Dies empfiehlt anhand des 90. Perzentils zu beurteilen. Das heisst, dass sie beispielsweise bei 12 Messungen pro Jahr die höchste gemessene Konzentration streichen und das Gewässer anhand der zweithöchsten, gemessenen Konzentration beurteilen.

³ Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, SR 814.201.

Beurteilung		Ammonium ⁸ [mg/L N] (> 10 °C oder pH > 9)	Ammonium [mg/L N] (< 10 °C)
	sehr gut	bis < 0,04	bis < 0,08
	gut	0,04 bis < 0,2	0,08 bis < 0,4
	mässig	0,2 bis < 0,3	0,4 bis < 0,6
	unbefriedigend	0,3 bis < 0,4	0,6 bis < 0,8
	schlecht	0,4 und mehr	0,8 und mehr

Abbildung 1: Beurteilung der Ammonium-Konzentrationen im Gewässer gemäss MSK [2].

Das MSK unterteilt die Wasserqualität in fünf Kategorien (siehe **Abbildung 1** und **Abbildung 2**). Liegen die gemessenen Konzentrationen tiefer als die numerische Anforderung, ist die Beurteilung «grün» oder «blau» beziehungsweise «gut» oder «sehr gut». Liegen die gemessenen Konzentrationen über den numerischen Anforderungen, ist die Beurteilung «gelb», «orange» oder «rot» beziehungsweise «mässig», «unbefriedigend» oder «schlecht».

Nitrit

Die Gewässerschutzverordnung enthält keine numerische Anforderung für Nitrit in Fliessgewässern, obwohl es sich negativ auf die aquatischen Lebewesen auswirkt. Stattdessen gibt das MSK Beurteilungswerte vor, siehe **Abbildung 2**. Der Zielwert ist ab der gelben Kategorie «mässig» überschritten. Die Beurteilung hängt von der Chlorid-Konzentration im Fliessgewässer ab. Das heisst, je mehr Chlorid vorliegt desto höher sind die Werte für Nitrit.

Beurteilung		Nitrit [mg/L N] ⁷ (< 10 mg/L Cl ⁻)	Nitrit [mg/L N] (10 bis 20 mg/L Cl ⁻)	Nitrit [mg/L N] (> 20 mg/L Cl ⁻)
	sehr gut	bis < 0,01	bis < 0,02	bis < 0,05
	gut	0,01 bis < 0,02	0,02 bis < 0,05	0,05 bis < 0,10
	mässig	0,02 bis < 0,03	0,05 bis < 0,075	0,10 bis < 0,15
	unbefriedigend	0,03 bis < 0,04	0,075 bis < 0,10	0,15 bis < 0,20
	schlecht	0,04 und mehr	0,10 und mehr	0,20 und mehr

Abbildung 2: Beurteilung der Nitrit-Konzentration im Gewässer gemäss MSK [2].

4 MODELLIERUNG DER AMMONIUM- UND NITRIT-KONZENTRATIONEN IM FLIESSGEWÄSSER

4.1 Methodische Grundlagen

Die Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen in den Schweizer Fließgewässern wurden jeweils unterhalb der ARA-Einleitstellen modelliert⁴. Das Modell kumuliert die Ammonium- und Nitrit-Einträge aus stromaufwärtsliegenden ARA nicht auf. Es betrachtet einzig die lokale Situation, da Ammonium und Nitrit in den Gewässern zu Nitrat oxidiert wird oder der Stickstoff von Bakterien und anderen aquatischen Kleinstlebewesen aufgenommen wird [3]. Das schließt aber nicht aus, dass sich in gewissen Situationen, z.B. abhängig von den Jahreszeiten, Ammonium und Nitrit entlang einer Fließstrecke kumulieren können.

Ammonium

Die Ammonium-Konzentration im Gewässer wird gemäss nachfolgender Gleichung berechnet.

$$Ammonium_Konz_{Gewässer} = Ammonium_Konz_{ARA} \frac{Q_{TW_{ARA}}}{Q_{347_{Gewässer}}}$$

- $Ammonium_Konz_{Gewässer}$: zu berechnende Ammonium Konzentration im Gewässer
- $Ammonium_Konz_{ARA}$: Ammonium Konzentration im ARA-Ablauf, wird folgendermassen berechnet: $Ammonium_Konz_{ARA} = \frac{Ammonium_Fracht_{ARA}}{Q_{ARA}}$
- $Ammonium_Fracht_{ARA}$: Ammonium ARA-Ablauffracht als Jahresmittelwert
- Q_{ARA} : Jahres-Abwassermenge ARA-Zulauf
- $Q_{TW_{ARA}}$: Abwassermenge ARA-Zulauf bei Trockenwetter als Jahresmittelwert
- $Q_{347_{Gewässer}}$: Minimalabfluss im Gewässer, die gemittelt über die letzten zehn Jahre, an 347 Tagen pro Jahr erreicht oder überschritten wurde.

Die Input-Daten für die Ammonium ARA-Ablauffracht und die Abwassermengen aus den ARA stammen aus der VSA-Kennzahlenerhebung aus dem 2020 [4]. Eingeflossen sind die Daten für 737 ARA, die alle eine Ausbaugrösse von mehr als 200 EW_{dim} haben. Es handelt sich um den gleichen Datensatz wie in Thomann et al. verwendet [1]. Für den Minimalabfluss Q347 wurden dieselben Daten verwendet wie in Gulde et al. [5]⁵.

⁴ Die VSA Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» hat in einer weiteren Studie mit einer ähnlichen, etwas komplexeren Modellierung, ARA identifiziert, die zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen für Arzneimittel im Gewässer führen [5].

⁵ BAFU-Datensatz: Das Bundesamt für Umwelt hat Q347-Werte abgeschätzt, die auf Abflussdaten vor dem Jahr 1999 basieren [9] [8]. Es wurden die Werte der Kategorie Q347IIK verwendet.

Kanton-Datensatz: In der VSA Kennzahlenerhebung des Jahres 2020 gaben die Kantone Werte für den Q347 an den ARA-Einleitstellen an.

Die Q347-Werte aus beiden Datensätzen beschreiben die Abflussmenge unterhalb einer ARA. Darin enthalten ist sowohl das Wasser vom Oberstrom als auch die entsprechende ARA-Einleitung. Keiner der beiden Datensätze ist vollständig. Bei Lücken wurde jeweils der Wert des anderen Datensatzes verwendet. Waren für ARA-Einleitstellen Werte aus beiden Datensätzen enthalten, wurde der kleinere Wert verwendet.

Nitrit

Die Nitrit-Konzentration im Gewässer wird gemäss nachfolgender Gleichung berechnet.

$$\text{Nitrit_Konz}_{\text{Gewässer}} = \text{Nitrit_Konz}_{\text{ARA}} \frac{Q_{TW_{\text{ARA}}}}{Q_{347_{\text{Gewässer}}}}$$

- $\text{Nitrit_Konz}_{\text{Gewässer}}$: zu berechnende Nitrit Konzentration im Gewässer
- $\text{Nitrit_Konz}_{\text{ARA}}$: Die Nitrit-Ablaufkonzentrationen als Jahresmittel.

Die Nitrit-Ablaufkonzentrationen werden aus den Jahresmittelwerten für Ammonium abgeleitet, da die VSA-Kennzahlen keine Nitrit-Ablaufwerte erfasst hat. Thomann et al. haben aus den hochaufgelösten Daten von 245 ARA aus den Kantonen Bern, Zürich und Waadt die mittleren Nitrit-Konzentrationen mit den mittleren Ammonium-Konzentrationen korreliert, siehe Abbildung 3 [1]. Es ergeben sich die folgenden drei in lila dargestellten Bereiche:

- Ammonium < 0.2 mgN/L → Nitrit 0.06 mgN/L
- Ammonium 0.2 - 2 mgN/L → Nitrit 0.2 mgN/L
- Ammonium > 2 mgN/L → Nitrit 0.49 mgN/L

Basierend auf diesen drei Bereichen haben wir für jede Schweizer ARA die mittlere Nitrit-Ablaufkonzentration aus den mittleren Ammonium-Daten der Kennzahlenerhebung hergeleitet.

$$\text{Ammonium_Konz}_{\text{ARA}} = \frac{\text{Ammonium_Fracht}_{\text{ARA}}}{Q_{\text{ARA}}}$$

Die Verwendung der Jahresmittelwerte unterschätzt die Nitrit-Ablaufkonzentrationen beispielsweise im Winter, wenn Nitrit in nitrifizierende ARA wegen den tiefen Temperaturen ansteigen kann.

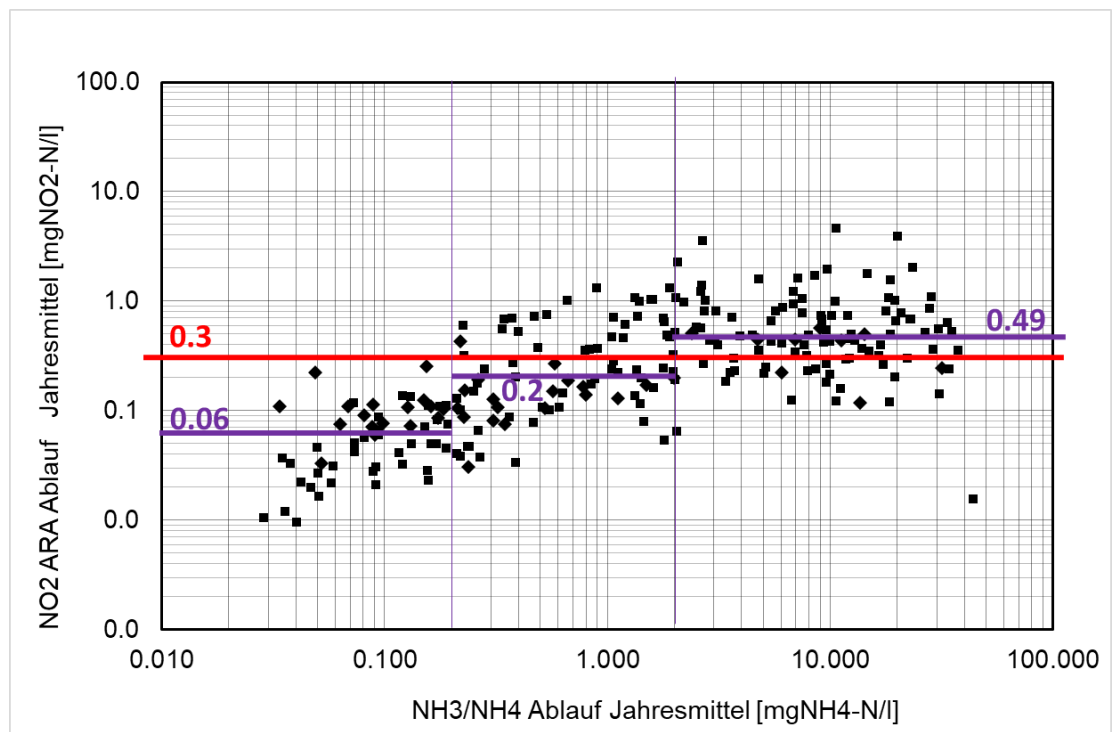


Abbildung 3: Korrelation zwischen den Ammonium- und Nitrit-Jahresmittelwerten von 245 ARA aus den Kantonen Bern, Zürich und Waadt [1]. Rot: Richtwert für Nitrit im gereinigten Abwasser. Lila: Hergeleitete mittlere Nitrit-Konzentrationen im gereinigten Abwasser, abhängig von den Ammonium -Konzentrationen.

Modellierte Szenarien

Es wurden zum einen der «IST-Zustand» und zum anderen ein Szenario mit «flächendeckender Nitrifikation» modelliert. Thomann et al. teilt die Nitrifikation je nach Jahresmittel der Ammonium-Ablaufkonzentration ein in «stabil», «semi-stabil», «C-Abbau mit instabiler Nitrifikation» und «C-Abbau», siehe Tabelle 2.

Unser Modell berechnet die Gewässer-Konzentrationen gemäss den erläuterten Gleichungen. Das Szenario «flächendeckende Nitrifikation» soll sowohl den Ammonium-Grenzwert von 2 mgN/L als auch den Nitrit-Richtwert von 0.3 mgN/L im ARA-Ablauf im 90%-Quantil einhalten. Dafür ist nach Thomann et al. eine stabile Nitrifikation notwendig, die im Jahresmittel unter einer Ammonium-Konzentration von 0.2 mgN/L bleibt, siehe Tabelle 2. Folgende Annahmen wurden für die Modellierung des Szenarios «flächendeckende Nitrifikation» getroffen:

- Ammonium: Liegt die Ammonium-Konzentration im ARA-Ablauf über 0.2 mg/L N im Jahresmittel rechnet das Stoffflussmodell mit 0.2 mg N/L. Sind die Ammonium-Konzentrationen kleiner als 0.2 mg N/L rechnet das Modell mit den effektiven Konzentrationen.
- Nitrit: Das Modell rechnet mit einer Konzentration von 0.06 mgN/L Nitrit im Jahresmittel, damit der Nitrit-Richtwert von 0.3 mgN/L im ARA-Ablauf im 90%-Quantil eingehalten wird [1], siehe Abbildung 3.

Tabelle 2: Klassierung ARA nach Nitrifikationsleistung aus [1]

Klasse und Beschreibung	Kriterien zur Klassierung	Prognose Einhaltung Grenzwert/Richtwert
C-Abbau Nitrifikation findet nicht statt oder nur in einem sehr geringen Mass.	Ammonium 90%-Quantil Ablauf >8mgN/L (≈Jahresmittel Ablauf >4mgN/L) oder keine Auslegung auf Nitrifikation*	2 mg _{NH4-N} /L X 0.3 mg _{NO2-N} /L X
C-Abbau mit instabiler Nitrifikation Nitrifikation ist instabil und findet nur saisonal statt.	Ammonium 90%-Quantil Ablauf 2-8mgN/L (≈Jahresmittel Ablauf 0.9-4mgN/L)	2 mg _{NH4-N} /L X 0.3 mg _{NO2-N} /L X
Semi-stabile Nitrifikation Nitrifikation findet ganzjährig statt wobei teilweise erhöhte Nitrit-Ablaufkonzentrationen beobachtet werden.	Ammonium 90%-Quantil Ablauf 0.4-2mgN/L (≈Jahresmittel Ablauf 0.2-0.9mgN/L oder Auslegung auf Nitrifikation*)	2 mg _{NH4-N} /L ✓ 0.3 mg _{NO2-N} /L ?
Stabile Nitrifikation Nitrifikation findet ganzjährig statt und Ablaufkonzentrationen von Nitrit und Ammonium sind sehr tief.	Ammonium 90%-Quantil Ablauf <0.4mgN/L (≈Jahresmittel Ablauf <0.2mgN/L)	2 mg _{NH4-N} /L ✓ 0.3 mg _{NO2-N} /L ✓

X = tendenziell nicht erfüllt

✓ = tendenziell erfüllt

? = unklar, ob erfüllt

* Angabe in Kennzahlenerhebung «Auslegung auf 90% Ammoniumabbau» «Ja / Nein»

4.2 Plausibilisierung der berechneten Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen

Ob die berechnete Gewässerbelastungen an den ARA-Einleitstellen plausibel sind, haben wir anhand von Messungen im Gewässer überprüft. Zur Verfügung standen Gewässermessungen aus den Kantonen Zürich [6] und Waadt [7]. Die entsprechenden Messstellen befinden sich jedoch an für die Kantone repräsentativen Gewässern und nicht nur nach ARA-Einleitungen. Es wäre komplex geworden, nur Gewässermessstellen nach ARA zu definieren und die Daten herauszusuchen. Deshalb haben wir lediglich verglichen, ob der Anteil der Gewässer-Messstellen mit Überschreitungen in der gleichen Grössenordnung liegt als der Anteil von ARA, für die Überschreitungen im Gewässer vorhergesagt werden. Der Vergleich zeigt, dass die Modellierung plausible Ergebnisse liefert, wie im Folgenden detailliert erklärt wird.

Ammonium

Für den Kanton Zürich werden kaum Überschreitungen der numerischen Anforderungen für Ammonium durch ARA-Einleitungen vorhergesagt, siehe Tabelle 3. Diese Vorhersagen sind plausibel, denn es werden auch fast keine Überschreitungen in den Gewässern gemessen.

Tabelle 3: Ergebnisse der Ammonium-Modellierung im Vergleich zu Gewässermessungen in den Kantonen Zürich und Waadt.

Ammonium		
	Modellierung: Anteil ARA, die zu Überschreitungen im Gewässer führen ⁶ . In Klammer: Anzahl modellierter ARA.	Messungen: Anteil Gewässermessstellen mit Überschreitungen. In Klammer: Anzahl Gewässermessstellen.
Kanton Zürich	2-6% (47)	~1% ⁷ (157)
Kanton Waadt	34-43% (109)	18% ⁸ (83)

Für den Kanton Waadt haben wir abgeschätzt, dass ein gutes Drittel der ARA zu Überschreitungen der Ammonium-Grenzwerte im Gewässer führt. Die Messungen bestätigen, dass Ammonium in den Gewässern über dem Grenzwert vorkommt, dies bei rund einem Fünftel der Messstellen.

Nitrit

Für den Kanton Zürich wird vorhergesagt, dass knapp 10% der ARA-Einleitstellen zu Überschreitungen des Nitrit-Zielwertes im Gewässer führen. Im Gewässer werden hingegen fast keine Überschreitungen gemessen. Das Modell überschätzt also den Nitrit-Eintrag aus den Zürcher-ARA. Ein Grund dafür ist, dass die verwendete mittleren Nitrit-Ablaufkonzentrationen höher sind als die tatsächlichen sehr tiefen Nitrit-Werte der Zürcher ARA.

⁶ Es ist ein Bereich angegeben, da die Anzahl der Überschreitungen von der Wassertemperatur abhängt. Bei einer Wassertemperatur <10°C sind es weniger Überschreitungen als bei >10°C.

⁷ Aus der Abbildung auf Seite 26 des Gewässerberichts des Kanton Zürichs [6]

⁸ Wir haben die Messergebnisse vom Kanton Waadt erhalten und selbst ausgewertet. Weitere Informationen zu den Messungen stehen in ihrem Bericht [7]

Für den Kanton Waadt werden Überschreitungen bei 20-30% der ARA vorhergesagt. Betrachtet man die Gewässermessungen, scheint die Vorhersage plausibel, denn für 27% der Messstellen werden Überschreitungen festgestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Nitrit-Modellierung im Vergleich zu Gewässermessungen in den Kantonen Zürich und Waadt.

Nitrit		
	Modellierung: Anteil ARA, die zu Überschreitungen im Gewässer führen ⁹ . In Klammer Anzahl modellierter ARA	Messungen: Anteil Gewässer-Messstellen mit Überschreitungen ¹⁰ . In Klammer Anzahl Gewässer-Messstellen
Kanton Zürich	8.5% (47)	~1% ¹¹ (157)
Kanton Waadt	20-30% (109)	27% ¹² (74)

⁹ Bei der Beurteilung wurde für den Kanton Zürich von einer Chlorid-Konzentration in den Flüssen von über 20 mg/L ausgegangen. Messungen zeigen, dass dies so ist bei Gewässern, die wie im Kanton Zürich einen hohen Anteil an gereinigtem Abwasser kumulieren. Für die Flüsse des Kantons Waadt zeigen Messungen, dass der Chlorid-Gehalt in zwei für die Beurteilung relevanten Bereichen auftreten kann, nämlich 10-20 mg/L und >20 mg/L.

¹⁰ Die Gewässer-Messstellen der Kantone sind nicht ausschliesslich nach ARA-Einleitstellen lokalisiert, sondern repräsentieren möglichst die Vielfalt der Gewässer in den Regionen. Das heisst, es sind unterschiedliche Fliessgewässergrößen, verschiedene Belastungen und unterschiedliche Einzugsgebiete vertreten. An manchen Standorten wird die Wasserqualität von ARA-Einleitungen beeinflusst, an andere von landwirtschaftlichen Einträgen und wieder andere haben kaum anthropogene Einträge.

¹¹ Aus der Abbildung auf Seite 26 des Gewässerberichts des Kantons Zürichs [6]

¹² Wir haben die Messergebnisse vom Kanton Waadt erhalten und selbst ausgewertet. Weitere Informationen zu den Messungen stehen in ihrem Bericht [7].

5 AMMONIUM- UND NITRIT-BELASTUNG IM GEWÄSSER NACH ARA

5.1 IST-Zustand: Ammonium und Nitrit aus ARA belasten die Fliessgewässer

Ammonium

Wie stark die Ammonium-Einleitungen aus ARA die Gewässer belasten, zeigen die Ergebnisse der Modellierung in Abbildung 4 und Tabelle 5¹³. An den meisten beurteilbaren ARA-Einleitstellen wird die vorhergesagte Ammonium-Konzentration als «gut» bis «sehr gut» eingestuft. Jedoch führen insgesamt 89 ARA zu Ammonium-Konzentrationen im Gewässer, die als «mässig», «unbefriedigend» oder «schlecht» eingestuft werden und damit über den numerischen Anforderungen liegen. Dies sind 18% der 499 beurteilbaren¹⁴ ARA. Die numerischen Anforderungen im Gewässer werden vor allem von jenen ARA nicht eingehalten, die eine schlechte bzw. keine Nitrifikation haben.

Ammonium IST-Zustand (bei >10°C oder pH >9 im Gewässer)						
	Stabile Nitrifikation	Semistabile Nitrifikation	C-Abbau mit instabiler Nitrifikation	C-Abbau	keine Daten	Total
sehr gut	92	112	49	38	0	291
gut	22	39	30	28	0	119
mässig	0	4	5	7	0	16
unbefriedigend	0	2	3	4	0	9
schlecht	0	3	18	43	0	64
ARA, leiten in See ein	10	30	7	31	3	81
Fehlende Daten	12	49	11	66	19	157

Tabelle 5: Anzahl ARA, deren für den «IST-Zustand» vorhergesagte Ammonium-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als «schlecht», «unbefriedigend», «mässig», «gut», «sehr gut» oder «nicht beurteilbar». Beurteilt wurde nach MSK für Bedingungen >10°C oder pH>9. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach Nitrifikationsleistung, siehe Tabelle 2. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet. Der grüne und der blaue Kasten sind in Kapitel 5.2 erklärt.

¹³ Im Haupttext ist die Beurteilung nach MSK bei Gewässerbedingungen von >10°C oder pH>9 diskutiert. Im Anhang in Abbildung 11 und Tabelle 9 sind die Beurteilungen bei <10°C gezeigt.

¹⁴ Die Modellierung berücksichtigt zwar 737 Schweizer ARA, aber nur für 499 sind alle notwendigen Daten vorhanden, um Konzentrationen in den Gewässern vorher zu sagen. Man kann davon ausgehen, dass die Situation für die 238 nicht beurteilbaren ARA mindestens genauso ist wie für die Anderen. Vermutlich ist die Situation sogar eher kritischer. Der Minimalabfluss kann an geraden kleinen Flüssen bzw. Versickerungen im jurassischen Karstgebiet schwer abgeschätzt werden. Der Abwasseranteil ist in diesen Flüssen vermutlich hoch.

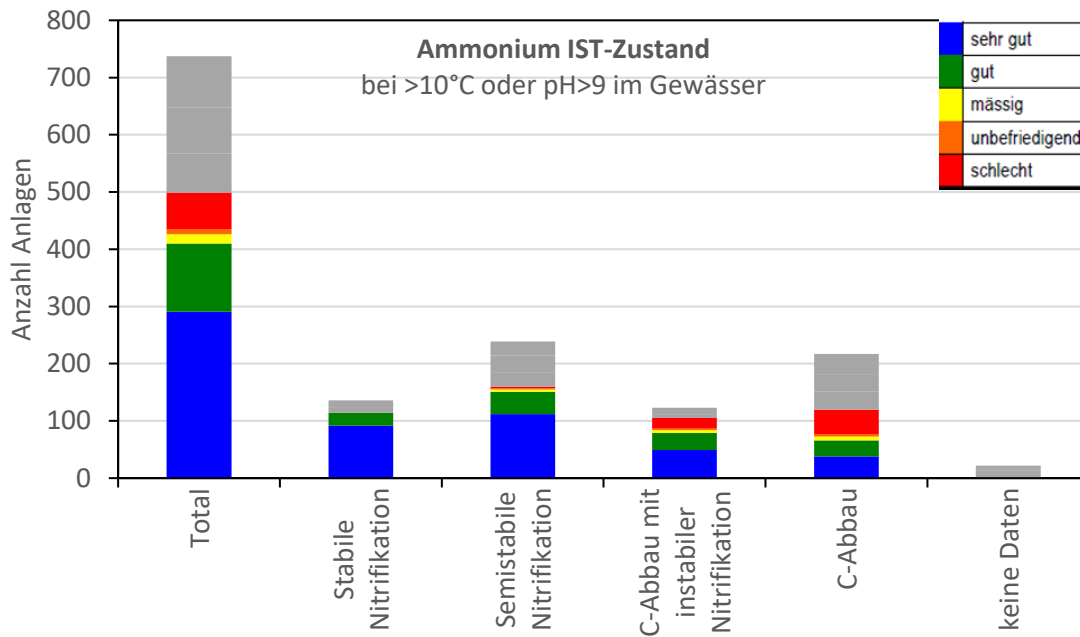


Abbildung 4: Anzahl ARA, deren für den «IST-Zustand» vorhergesagte Ammonium-Einleitung beurteilt wurde als «schlecht» (rot), «unbefriedigend» (orange), «mässig» (gelb), «gut» (grün), «sehr gut» (blau) oder «nicht beurteilbar» (grau). Beurteilt wurde nach MSK für Gewässer-Bedingungen von >10°C oder pH>9. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach Nitrifikationsleistung, siehe Tabelle 2.

Nitrit

Die Belastungen der Gewässer durch Nitrit-Einleitungen von ARA sind in Abbildung 5 und Tabelle 6 gezeigt¹⁵. Wie für Ammonium werden auch die meisten Nitrit-Einleitungen als «gut» bis «sehr gut» beurteilt. Allerdings werden insgesamt 85 ARA-Einleitungen, das sind 17% der beurteilbaren ARA, als «mässig», «unbefriedigend» oder «schlecht» klassifiziert¹⁶. Diese liegen unter dem Zielwert von 0.05 mgN/L des MSK für 10-20mg/L Chlorid. Numerische Anforderungen für Nitrit im Gewässer gibt es keine. ARA, die den Nitrit-Zielwert überschreiten, werden für ARA mit allen Nitrifikationsniveaus vorhergesagt. Allerdings nimmt sowohl die Anzahl ARA als auch die verursachte Stärke der Belastung zu, je schlechter die Nitrifikation ist.

Tabelle 6: Anzahl ARA, deren für den «IST-Zustand» vorhergesagte Nitrit-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als «schlecht», «unbefriedigend», «mässig», «gut», «sehr gut» oder «nicht beurteilbar». Beurteilt wurde für Gewässer-Bedingungen von 10-20 mg/L Chlorid nach MSK. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach Nitrifikationsleistung, siehe Tabelle 2. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Nitrit IST-Zustand (bei 10-20mg/L Chlorid im Gewässer)						
	Stabile Nitrifikation	Semistabile Nitrifikation	C-Abbau mit instabiler Nitrifikation	C-Abbau	keine Daten	Total
sehr gut	83	112	74	76	0	345
gut	19	27	8	15	0	69
mässig	12	6	8	4	0	30
unbefriedigend	0	6	1	3	0	10
schlecht	0	9	14	22	0	45
ARA, leiten in See ein	10	30	7	31	3	81
Fehlende Daten	12	49	11	66	19	157

¹⁵ Im Haupttext ist die Beurteilung nach MSK bei Gewässerbedingungen von 10-20 mg/L Chlorid diskutiert. Im Anhang in Abbildung 12 und Tabelle 10 sind die Beurteilungen bei >20 mg/L Chlorid gezeigt.

¹⁶ Die verwendeten ARA-Ablaufwerte basieren auf Jahresmittelwerten. Das bedeutet, dass Spitzen-Konzentrationen nicht berücksichtigt wurden. Da gerade Nitrit in nitrifizierenden ARA im Winter stark ansteigen kann und viele Flüsse gerade im Winter minimale Abflussbedingungen haben, könnten die Zahl der Überschreitungen tatsächlich noch höher sein.

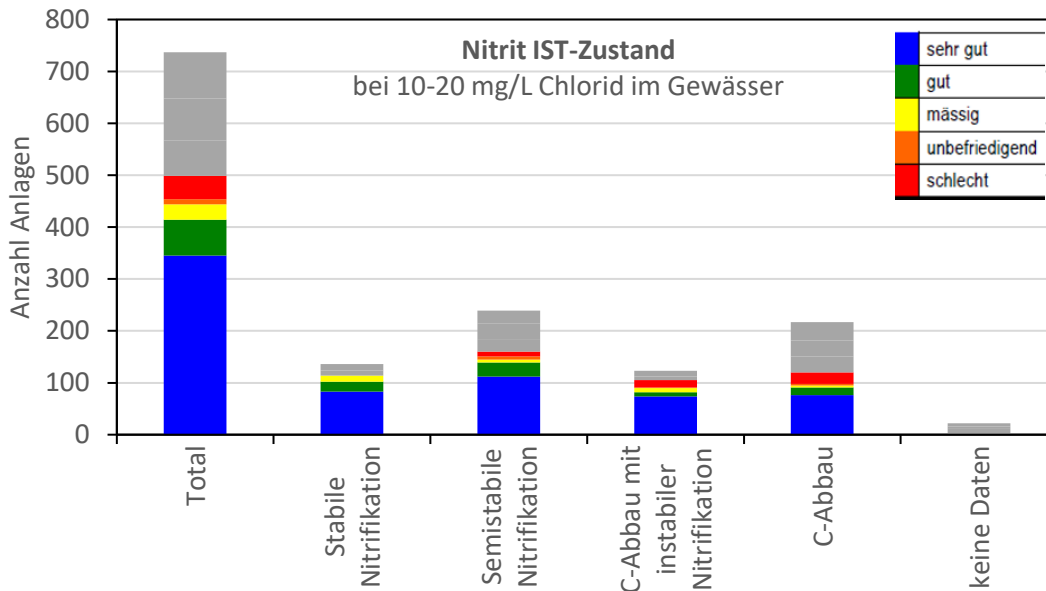


Abbildung 5: Anzahl ARA, deren für den «IST-Zustand» vorhergesagte Nitrit-Einleitung beurteilt wurde als «schlecht» (rot), «unbefriedigend» (orange), «mässig» (gelb), «gut» (grün), «sehr gut» (blau) oder «nicht beurteilbar» (grau). Beurteilt wurde für Gewässer-Bedingungen von 10-20 mg/L Chlorid nach MSK. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach Nitrifikationsleistung, siehe Tabelle 2.

5.2 Konsequente Umsetzung der Gesetzgebung würde Situation verbessern

Die aktuelle Gesetzgebung beinhaltet numerische Anforderungen für Ammonium im Gewässer. Das Gesetz fordert, dass all jene ARA ganzjährig nitrifizieren, die zu Überschreitungen dieser Anforderungen im Gewässer führen. Das bedeutet, dass alle gelb bis rot beurteilten ARA in Abbildung 4 mindestens eine semi-stabile Nitrifikationsleistung erbringen müssten. Dies betrifft 80 ARA, d.h. 16% aller beurteilbaren ARA (grüner Kasten in Tabelle 5). Dieser grosse Teil der Gewässerbelastung liesse sich durch eine konsequente Umsetzung der aktuellen Gesetzgebung bereits reduzieren. 96 ARA (blauer Kasten in Tabelle 5) wurden identifiziert, welche nicht nitrifizieren und bei welchen eine Beurteilung der Ammoniumbelastung im Fließgewässer aufgrund von fehlenden Daten nicht möglich war.

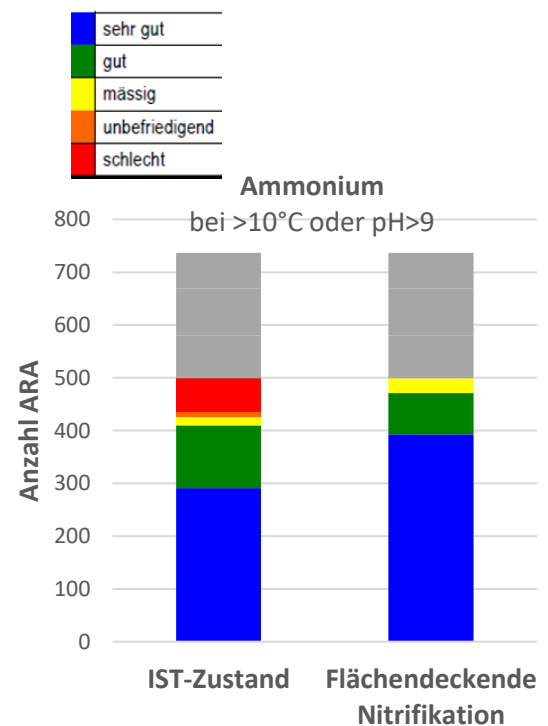
5.3 Was bringt eine flächendeckende Nitrifikation?

Ammonium

Bei einer ganzjährigen stabilen Nitrifikation, die sowohl den Ammonium-Grenzwert von 2mgN/L als auch den Nitrit-Richtwert von 0.3 mgN/L im ARA-Ablauf im 90%-Quantil einhält, wären nach einer Schätzung von Thomann et al. im Jahresmittel eine Ammonium-Konzentration von unter 0.2 mgN/L notwendig. Hätten alle ARA solch eine stabile Nitrifikation würden zum einen keine ARA-Einleitungen mehr auftreten, die zu «unbefriedigenden» (orange) bis «schlechten» (rot) Gewässerbedingungen für Ammonium führen (Tabelle 7 und Abbildung 6). Dies wäre allerdings auch bei einer konsequenten Umsetzung der aktuellen Gesetzgebung der Fall. Verbleiben würden 28 ARA, d.h. rund 6% der beurteilbaren ARA, deren Ammonium-Einleitung «mässig» wäre. Dies weil die Verdünnung im Vorfluter so gering ist, dass die ARA trotz stabiler Nitrifikation die numerischen Anforderungen leicht überschreiten. Für diese ARA müsste ein geringerer Jahresmittelwert als 0.2 mgN/L angestrebt werden, um die Gewässer-Anforderungen einzuhalten. Zum anderen würden aber auch rund 100 ARA-Einleitungen von einer «guten» zu einer «sehr guten» Gewässersituation führen. Dies sind 20% der beurteilbaren ARA. Bei diesen ARA ist die aktuelle gute Gewässersituation bzgl. Ammonium hauptsächlich auf ein günstiges Verdünnungsverhältnis im Gewässer zurückzuführen und nicht auf die ARA-Reinigungsleistung.

Tabelle 7 und Abbildung 6: «IST-Zustand» und Vorhersage für eine «flächendeckende Nitrifikation». Anzahl ARA deren Ammonium-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde für Gewässer-Bedingungen von >10°C oder pH>9 nach MSK. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Ammonium (bei >10°C oder pH >9)		
	IST-Zustand	Flächendeckende Nitrifikation
sehr gut	291	393
gut	119	78
mässig	16	28
unbefriedigend	9	0
schlecht	64	0
ARA, leiten in See ein	81	81
Fehlende Daten	157	157



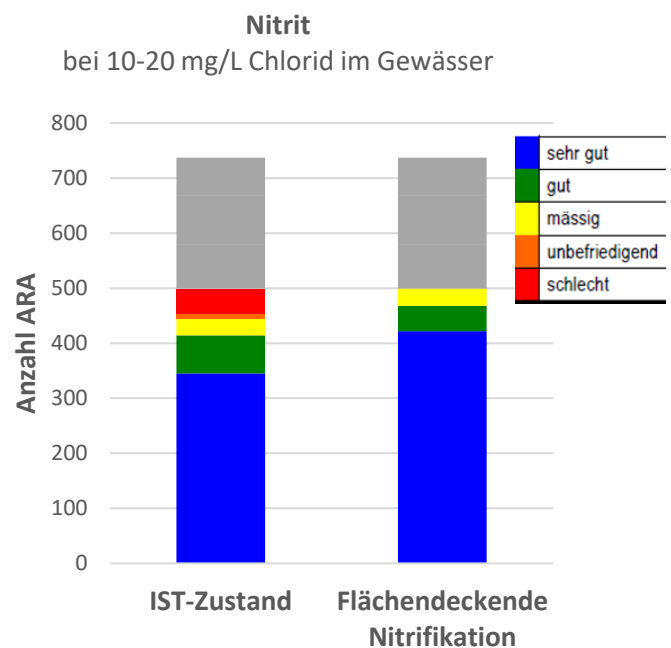
Nitrit

In dieser Studie wird angenommen, dass bei einer flächendeckenden stabilen Nitrifikation alle ARA den Nitrit-Richtwert von 0.3 mgN/L im 90%-Quantil im ARA-Ablauf einhalten würden. Im Jahresmittel läge die Nitrit-Konzentration im ARA-Ablauf nach einer Schätzung von Thomann et al. bei 0.06 mgN/L.

Eine ganzjährig stabile Nitrifikation würde die Gewässern-Situation auch bzgl. Nitrit verbessern. Es würde zum einen keine ARA-Einleitungen mehr auftreten, die zu «unbefriedigenden» (orange) bis «schlechten» (rot) Gewässerbedingungen für Nitrit führen, siehe Tabelle 8 und Abbildung 7¹⁷. Verbleiben würden 31 ARA, d.h. rund 6% der beurteilbaren ARA, deren Nitrit-Einleitung «mässig» wäre. Zum anderen würden rund 80 ARA-Einleitungen von einer «guten» zu einer «sehr guten» Gewässersituation führen. Dies sind 15% der beurteilbaren ARA.

Tabelle 8 und Abbildung 7: Vorhersage für den «IST-Zustand» für eine «flächendeckende Nitrifikation». Anzahl ARA der Nitrit-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde für Gewässer-Bedingungen 10-20mg/L Chlorid nach MSK. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Nitrit (bei 10-20 mg/L Chlorid)		
	IST-Zustand	Flächendeckende Nitrifikation
sehr gut	345	422
gut	69	46
mässig	30	31
unbefriedigend	10	0
schlecht	45	0
ARA, leiten in See ein	81	81
Fehlende Daten	157	157



¹⁷ Im Haupttext ist die Beurteilung nach MSK bei Gewässerbedingungen von 10-20 mg/L Chlorid diskutiert. Im Anhang in Tabelle 12: Vorhersage für den IST-Zustand und für eine flächendeckende Nitrifikation. Anzahl ARA deren Nitrit-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde bei Gewässer-Bedingungen >20mg/L Chlorid nach MSK. Tabelle 12 und Abbildung 14 sind die Beurteilungen bei >20 mg/L Chlorid gezeigt.

6 LITERATUR

- [1] Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, «Gesamt Betrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA - Grundlage zur Umsetzung der Motionen 20.4261 und 20.4262,» FHNW, Institut für Ecopreneurship, Bern und Muttenez, 2024.
- [2] L. Paul, «Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe.,» Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2010.
- [3] W. Gujer, «Nitrifikation in Fließgewässern - Fallstudie Glatt,» Eawag, Dübendorf, 1976.
- [4] S. Binggeli, J. Schweizer, H. Diener und B. Kobler, «Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung,» VSA, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute; SVKI, Schweizer Verband kommunale Infrastruktur, Glattbrugg, Bern, 2023.
- [5] R. Gulde und P. Wunderlin, «Grenzwertüberschreitungen im Gewässer mit ARA-Ausbau ARA beseitigen - Stoffflussanalyse identifiziert betroffene ARA,» VSA, Glattbrugg, 2024.
- [6] U. Holliger, B. Känel, P. Niederhauser und S. Schmid, «Wasser und Gewässer 2022,» Kanton Zürich, Zürich, 2022.
- [7] D. G. d. I. (DGE), «De Source Sûre - la Qualité des cours d'eau vaudois,» Canton Vaud, Direction Générale de l'Environnement (DGE), DIREV - Protection des Eaux, 2018.
- [8] E. Staub, M. Blardone, M. Droz, A. Hertig, E. Meier, E. Soller, P. Steiner und D. Zulliger, «Fischnetz-Publikation: Angelfang, Forellenbestand und Einflussgrößen: Regionalisierte Auswertung mittels GIS,» Buwal / EAWAG, 2003.
- [9] P. Schär, «Projektdokumentation Modellstudie Schweiz (GIS-Teil),» 2007.

7 ANHANG

7.1 Details zur Berechnung

Berechnung der Ammonium-Konzentration im Gewässer

Die Ammonium-Konzentration im Gewässer wird gemäss nachfolgender Gleichung.

$$Ammonium_Konz_{Gewässer} = \frac{Ammonium_Fracht_{ARA}}{Q_{ARA}} \frac{Q_{TW_{ARA}}}{Q_{347_{Gewässer}}} * 4224.5$$

$Ammonium_Konz_{Gewässer}$ [mgN/L]: berechnete Ammonium Konzentration im Gewässer

Nachfolgende Input-Daten stammen aus der VSA-Kennzahlenerhebung aus dem 2020 [4]. Eingeflossen sind die Daten von 737 ARA mit einer Ausbaugrösse von mehr als 200 EW_{dim.}. Es handelt sich um den gleichen Datensatz wie in Thomann et al. verwendet [1]. Für den Minimalabfluss Q347 wurden dieselben Daten verwendet wie in Gulde et al. [5].

$Ammonium_Fracht_{ARA}$ [kgN/d]: Ammonium ARA-Abflussfracht als Jahresmittelwert

Q_{ARA} [m³/a]: Jahres-Abwassermenge ARA-Zulauf

$Q_{TW_{ARA}}$ [m³/d]: Abwassermenge ARA-Zulauf bei Trockenwetter als Jahresmittelwert

$Q_{347_{Gewässer}}$ [L/s]: Q347-Abflusswerte aus zwei Datensätze¹⁸

Berechnung der Nitrit-Konzentration im Gewässer

Die Nitrit-Konzentration im Gewässer wird gemäss nachfolgender Gleichung berechnet (2).

$$Nitrit_Konz_{Gewässer} = Nitrit_Konz_{ARA} \frac{Q_{TW_{ARA}}}{Q_{347_{Gewässer}}} * 0.0116 \quad (2)$$

$Nitrit_Konz_{Gewässer}$ [mgN/L]: Berechnete Nitrit Konzentration im Gewässer

$Nitrit_Konz_{ARA}$ [mgN/L]: Berechnet aus den Jahresmittelwerten für Ammonium (siehe nachfolgender Absatz)

Die Nitrit-Abflusskonzentrationen werden aus den Jahresmittelwerten für Ammonium abgeleitet, da die VSA-Kennzahlen keine Nitrit-Abflusswerte erfasst hat. Thomann et al. haben aus den hochaufgelösten Daten von 245 ARA aus den Kantonen Bern, Zürich und Waadt die mittleren Nitrit-Konzentrationen mit den mittleren Ammonium-Konzentrationen korreliert, siehe Abbildung 3 [1]. Es ergeben sich die folgenden drei in lila dargestellten Bereiche:

- Ammonium < 0.2 mgN/L → Nitrit 0.06 mgN/L
- Ammonium 0.2 - 2 mgN/L → Nitrit 0.2 mgN/L
- Ammonium > 2 mgN/L → Nitrit 0.49 mgN/L

¹⁸ Die Q347-Abflusswerte stammen aus zwei Datensätze für ARA-Einleitstellen.

- BAFU-Datensatz: Das Bundesamt für Umwelt hat Q347-Werte abgeschätzt, die auf Abflussdaten vor dem Jahr 1999 basieren [9] [8]. Es wurden die Werte der Kategorie Q347IIK verwendet.
- Kanton-Datensatz: In der VSA Kennzahlenerhebung des Jahres 2020 gaben die Kantone Werte für den Q347 an den ARA-Einleitstellen an.

Die Q347-Werte aus beiden Datensätzen beschreiben die Abflussmenge unterhalb einer ARA. Darin enthalten ist sowohl das Wasser vom Oberstrom als auch die entsprechende ARA-Einleitung. Keiner der beiden Datensätze ist vollständig. Bei Lücken wurde jeweils der Wert des anderen Datensatzes verwendet. Waren für ARA-Einleitstellen Werte aus beiden Datensätzen enthalten, wurde der kleinere Wert verwendet.

Basierend auf diesen drei Bereichen haben wir für jede Schweizer ARA die mittlere Nitrit-Ablaufkonzentration aus den mittleren Ammonium-Daten der Kennzahlenerhebung hergeleitet.

$$Ammonium_Konz_{ARA} = \frac{Ammonium_Fracht_{ARA}}{Q_{ARA}} * 365 * 1000 \quad (3)$$

Die Verwendung der Jahresmittelwerte unterschätzt die Nitrit-Ablaufkonzentrationen beispielsweise im Winter, wenn Nitrit in nitrifizierende ARA wegen den tiefen Temperaturen ansteigen kann.

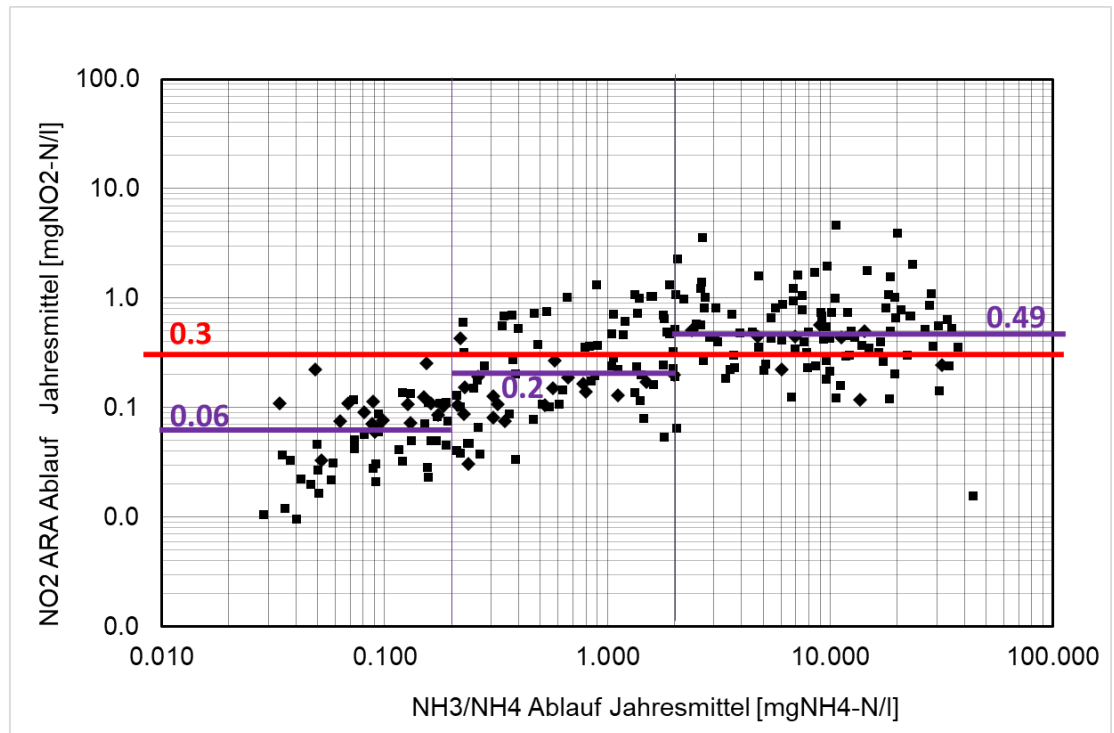


Abbildung 8: Korrelation zwischen den Ammonium- und Nitrit-Jahresmittelwerten von 245 ARA aus den Kantonen Bern, Zürich und Waadt [1]. Rot: Richtwert für Nitrit im gereinigten Abwasser. Lila: Hergeleitete mittlere Nitrit-Konzentrationen im gereinigten Abwasser, abhängig von den Ammonium -Konzentrationen.

7.2 Details zu Gewässermessungen der Kantone Zürich und Waadt

Zürich

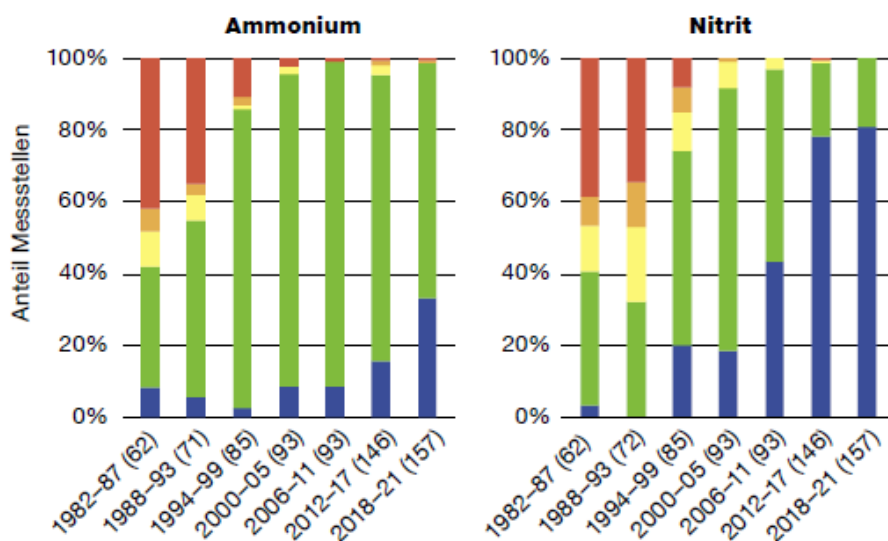


Abbildung 9: Abbildung von Seite 26 des Gewässerberichts des Kantons Zürich [6]. Entwicklung der Ammonium (links) und Nitrit (rechts) Belastung der Zürcher Fließgewässer seit 1982 (In Klammern hinter den Jahreszahlen sind die Anzahl Messstellen angegeben). Die Farbeinteilung erfolgt gemäss. Die Überschreitungen – sichtbar in den Farben «gelb», «orange», «rot» – für Ammonium und Nitrit – gingen über die letzten 40 Jahre deutlich zurück. Der jeweils höchste Konzentrationswert eines Standortes floss in der Regel nicht in die Beurteilung ein.

Waadt

¹ Wir haben die Messergebnisse vom Kanton Waadt erhalten und selbst ausgewertet. Weitere Informationen zu den Messungen stehen in ihrem Bericht [7]

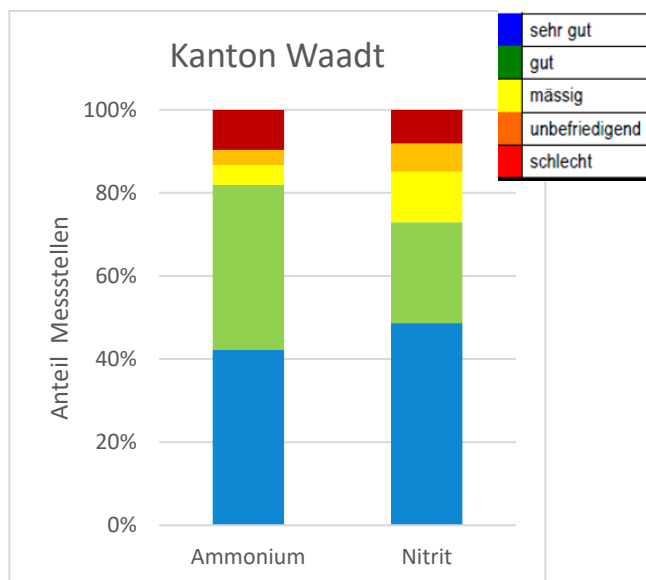


Abbildung 10: Ammonium- und Nitrit-Belastung der Fließgewässer des Kantons Waadt im Zeitraum von 2018 bis 2021. Für Ammonium fließen Daten von 83 Messstellen und für Nitrit von 74 Messstellen ein. Die Farbeinteilung erfolgt gemäss MSK. Überschreitungen sind in den Farben «gelb», «orange», «rot» dargestellt. Der jeweils höchste Konzentrationswert einer Messstelle floss nicht in die Beurteilung ein. Die Daten stammen vom Kanton Waadt und wurden von uns ausgewertet. Weitere Informationen zu den Messungen stehen in ihrem Bericht [7].

7.3 Weitere Ergebnisse zur Ammonium- und Nitrit-Belastung in Gewässern

7.3.1 Ammonium-Belastung im IST-Zustand bei <10°C

Tabelle 9: Anzahl ARA, deren für den IST-Zustand vorhergesagte Ammonium-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde nach MSK für Bedingungen <10°C. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach biologischer Behandlung. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Ammonium IST-Zustand (bei <10°C)						
	Stabile Nitrifikation	Semistabile Nitrifikation	C-Abbau mit instabiler Nitrifikation	C-Abbau	keine Daten	Total
sehr gut	109	133	69	44	0	355
gut	5	24	18	33	0	80
mässig	0	2	5	3	0	10
unbefriedigend	0	1	2	6	0	9
schlecht	0	0	11	34	0	45
ARA, leiten in See ein	10	30	7	31	3	81
Fehlende Daten	12	49	11	66	19	157

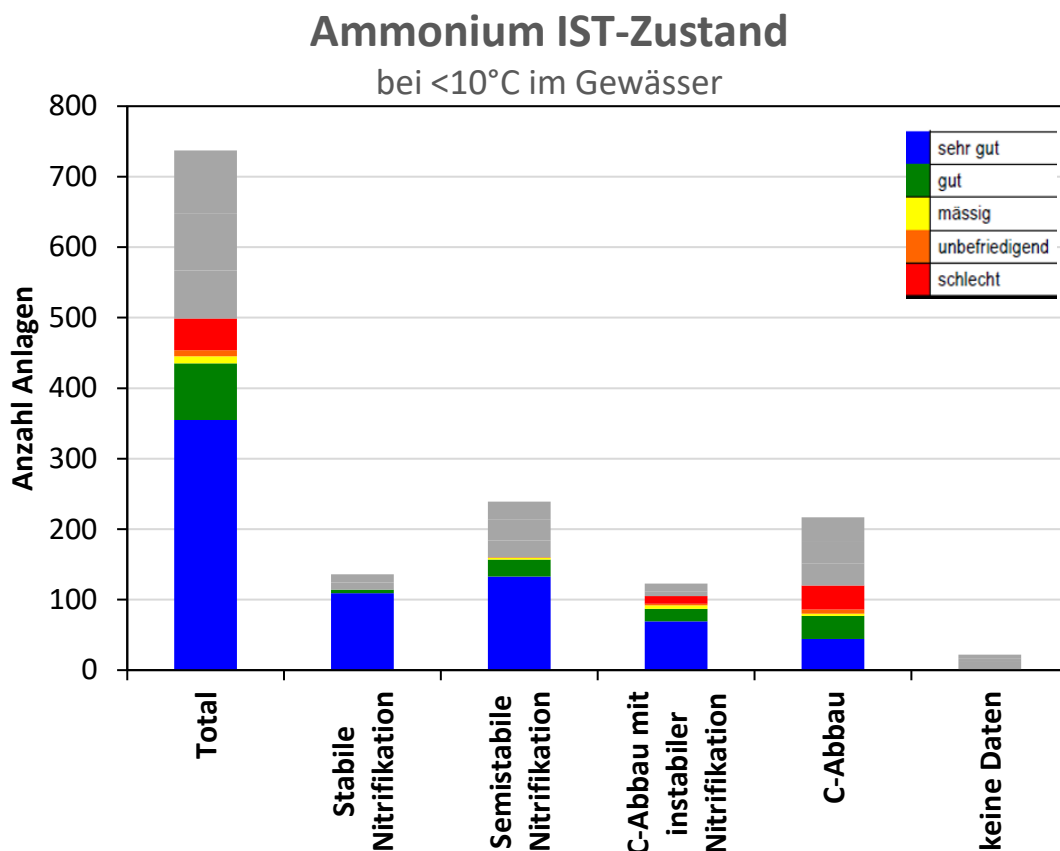


Abbildung 11: Anzahl ARA, deren für den IST-Zustand vorhergesagte Ammonium-Einleitung beurteilt wurde als schlecht (rot), unbefriedigend (orange), mässig (gelb), gut (grün), sehr gut (blau) oder nicht beurteilbar (grau). Beurteilt wurde nach MSK für Bedingungen <10°C. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach biologischer Behandlung.

7.3.2 Nitrit-Belastung im IST-Zustand bei >20mg/L Chlorid

Tabelle 10: Anzahl ARA, deren für den IST-Zustand vorhergesagte Nitrit-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde nach Gewässer-Bedingungen von >20 mg/L Chlorid nach MSK. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach biologischer Behandlung. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Nitrit IST-Zustand (bei >20mg/L Chlorid im Gewässer)						
	Stabile Nit- rifikation	Semistabile Nitrifikation	C-Abbau mit instabi- ler Nitrifika- tion	C-Abbau	keine Daten	Total
sehr gut	102	139	82	91	0	414
gut	12	12	9	7	0	40
mässig	0	3	5	4	0	12
unbefriedigend	0	2	1	3	0	6
schlecht	0	4	8	15	0	27
ARA, leiten in See ein	10	30	7	31	3	81
Fehlende Daten	12	49	11	66	19	157

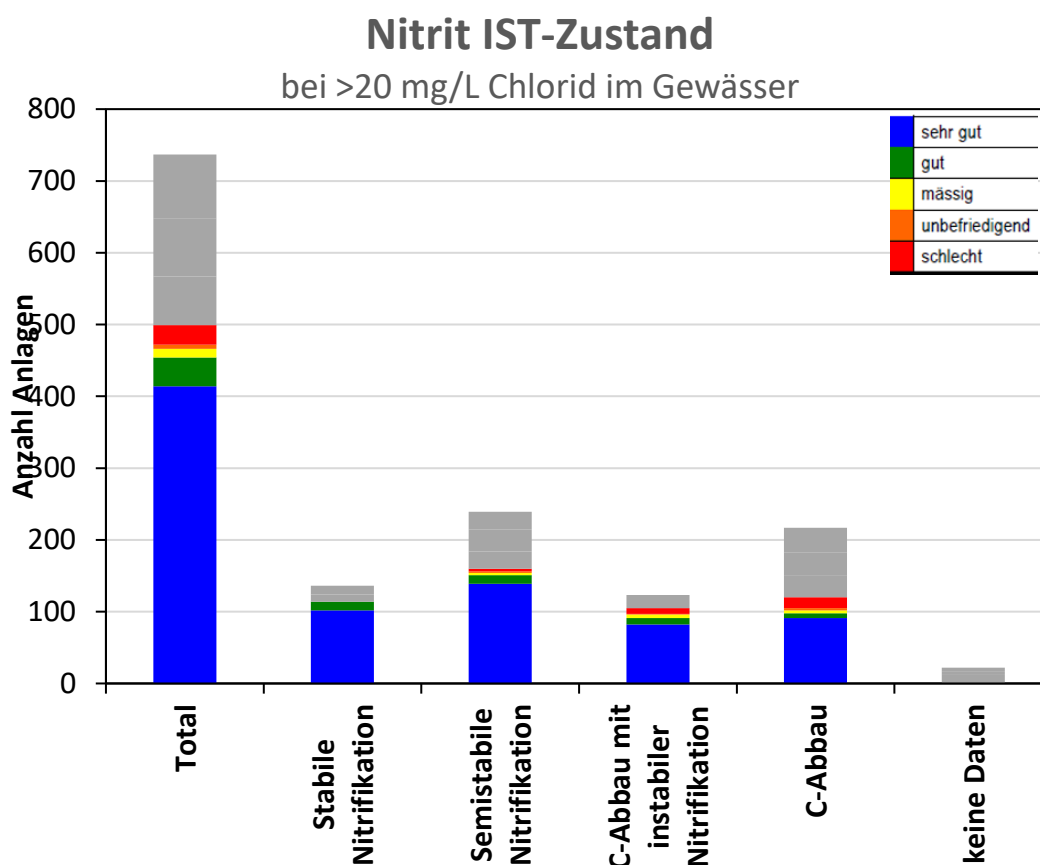


Abbildung 12: Anzahl ARA, deren für den IST-Zustand vorhergesagte Nitrit-Einleitung beurteilt wurde als schlecht (rot), unbefriedigend (orange), mässig (gelb), gut (grün), sehr gut (blau) oder nicht beurteilbar (grau). Beurteilt wurde nach Gewässer-Bedingungen von >20 mg/L Chlorid nach MSK. Dargestellt ist sowohl die totale Anzahl an Anlagen als auch die Anzahl ARA je nach biologischer Behandlung.

7.3.3 Ammonium-Belastung bei flächendeckender Nitrifikation und <10°C

Tabelle 11: Vorhersage für den IST-Zustand und für eine flächendeckende Nitrifikation. Anzahl ARA deren Ammonium-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde bei Gewässer-Bedingungen <10°C nach MSK. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Ammonium, (bei <10°C)	IST-Zustand	Stabile Nit- rifikation
sehr gut	355	434
gut	80	65
mässig	10	0
unbefriedigend	9	0
schlecht	45	0
ARA, leiten in See ein	81	81
Fehlende Daten	157	157

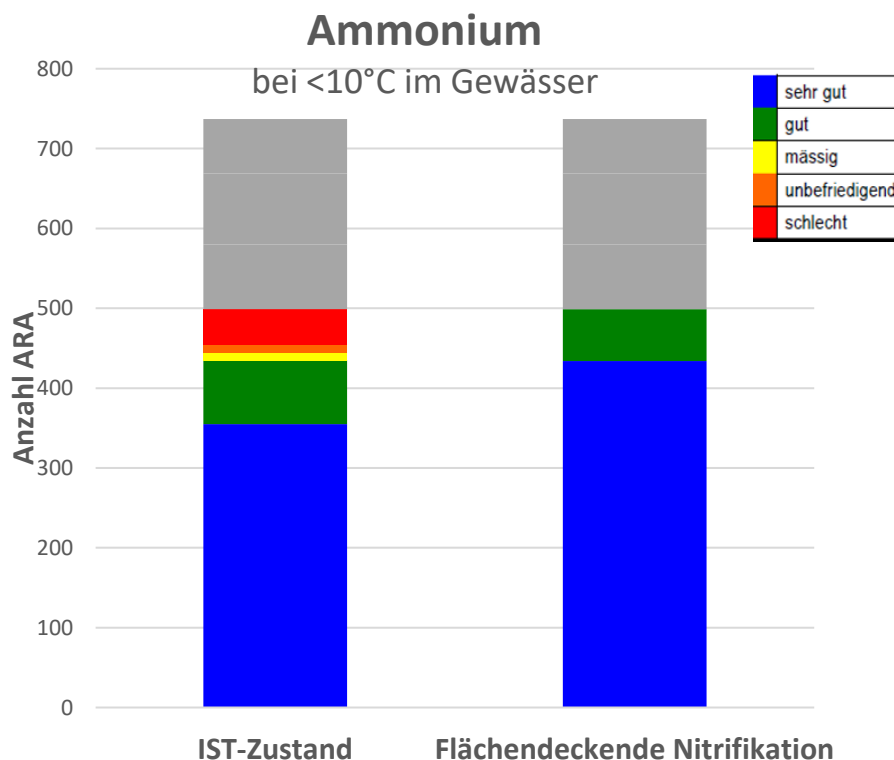


Abbildung 13: Vorhersage für den IST-Zustand und für eine flächendeckende Nitrifikation. Anzahl ARA deren Ammonium-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde bei Gewässer-Bedingungen <10°C nach MSK.

7.3.4 Nitrit-Belastung bei flächendeckender Nitrifikation und >20mg/L Chlorid

Tabelle 12: Vorhersage für den IST-Zustand und für eine flächendeckende Nitrifikation. Anzahl ARA deren Nitrit-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde bei Gewässer-Bedingungen >20mg/L Chlorid nach MSK. ARA, die in einen See einleiten oder für die keine Daten verfügbar waren, wurden nicht nach MSK bewertet.

Nitrit (bei >20 mg/L Chlorid)		
	IST-Zustand	Flächendeckende Nitrifikation
sehr gut	414	468
gut	40	31
mässig	12	0
unbefriedigend	6	0
schlecht	27	0
ARA, leiten in See ein	81	81
Fehlende Daten	157	157

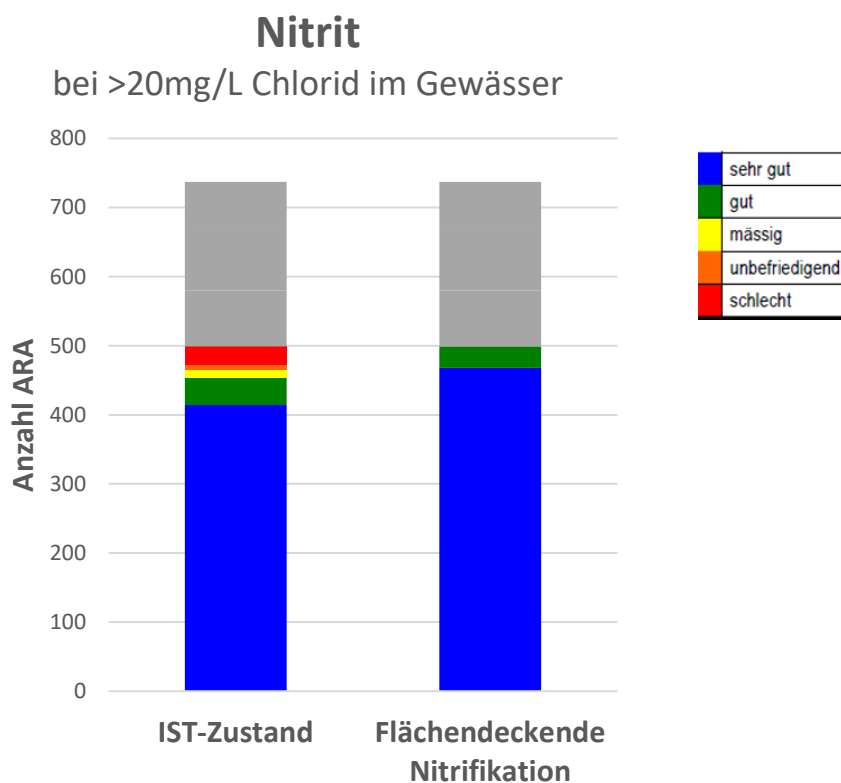


Abbildung 14: Vorhersage für den IST-Zustand und für eine flächendeckende Nitrifikation. Anzahl ARA deren Ammonium-Einleitung ins Gewässer beurteilt wurde als schlecht, unbefriedigend, mässig, gut, sehr gut oder nicht beurteilbar. Beurteilt wurde bei Gewässer-Bedingungen >20mg/L Chlorid nach MSK.