

Massnahmen Stickstoff- Elimination

**Potential, Kosten und Auswirkungen
durch die Anpassung des
Gewässerschutzgesetzes**

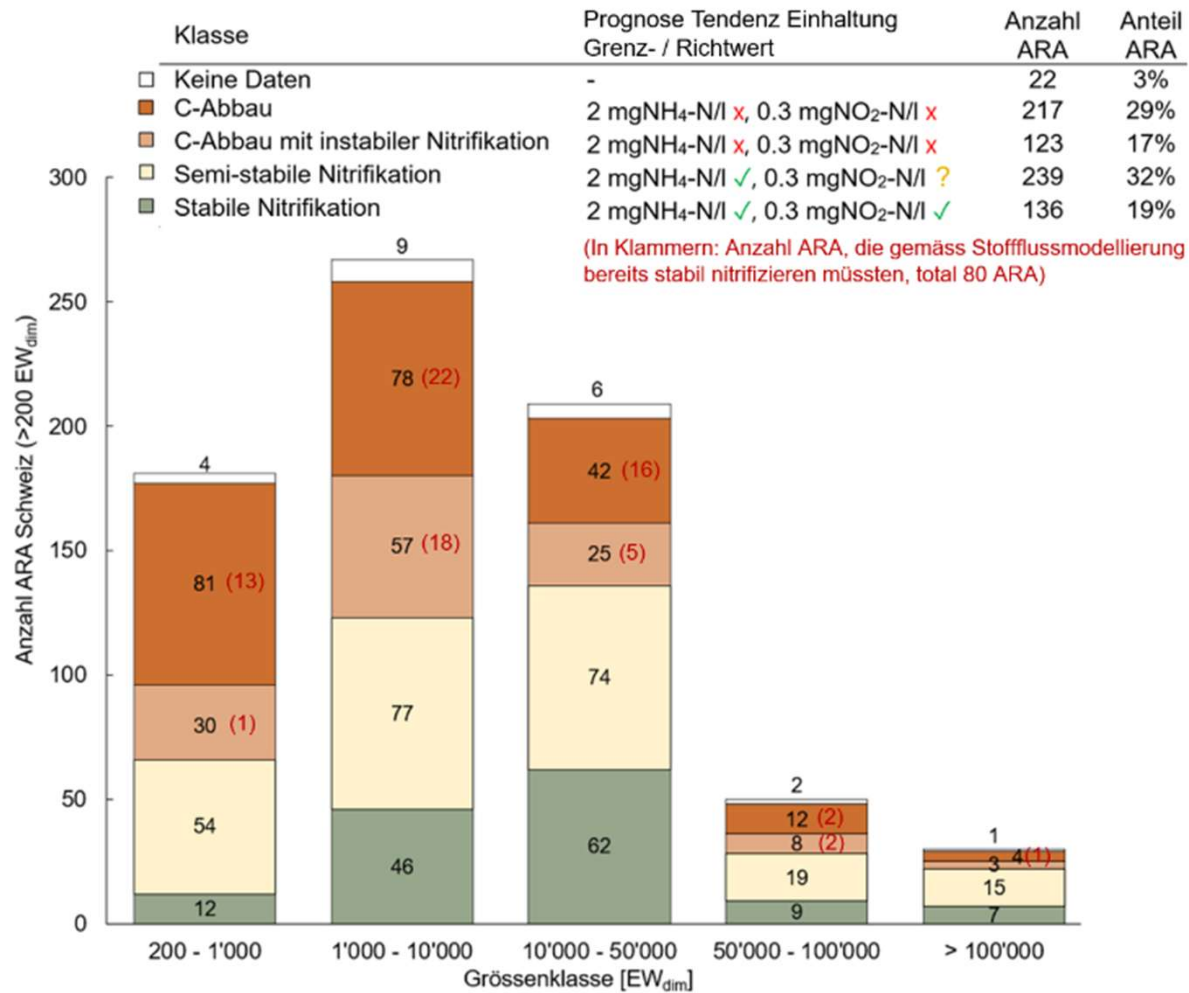
Roman Schäfer
Bartosz Kawecki
Rita Hochstrat
Prof. Dr. Michael Thomann
18.03.2026



Inhalt des Vortrages

- Aktuelle Situation „Nitrifikation“ und „N-Elimination“ bei Schweizer Kläranlagen
- Vorgeschlagenes Gesetz - erforderliche Massnahmen und deren Kosten
- Mögliche Verfahren + Blick über die Grenze nach Deutschland
- Auswirkungen des neuen Gewässerschutzgesetzes

Aktuelle Nitrifikation in Schweizer ARA



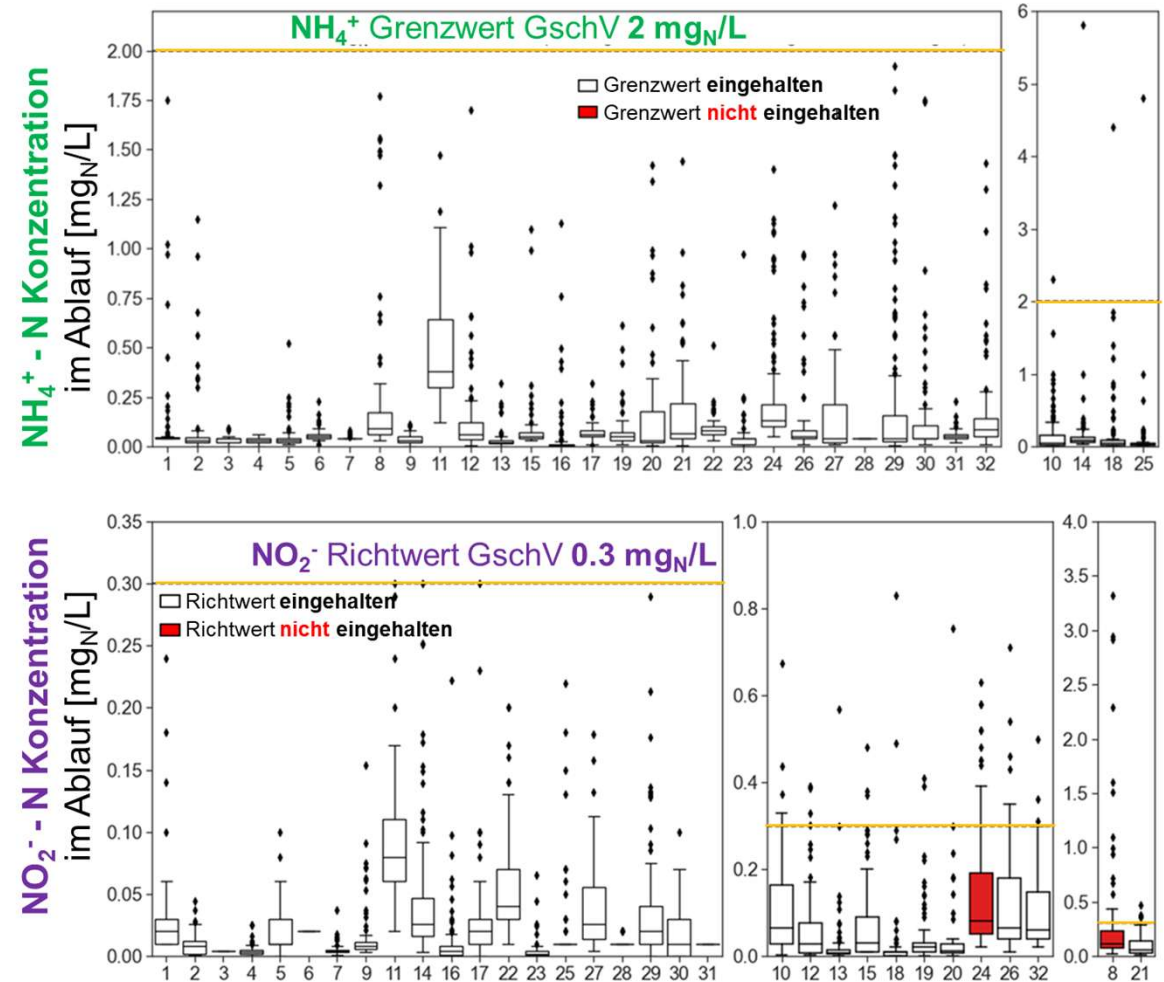
Aktuelle Nitrifikation in Zürcher ARA

32 ARA im Kanton Zürich
(Ablaufwerte, Datengrundlage 2020)

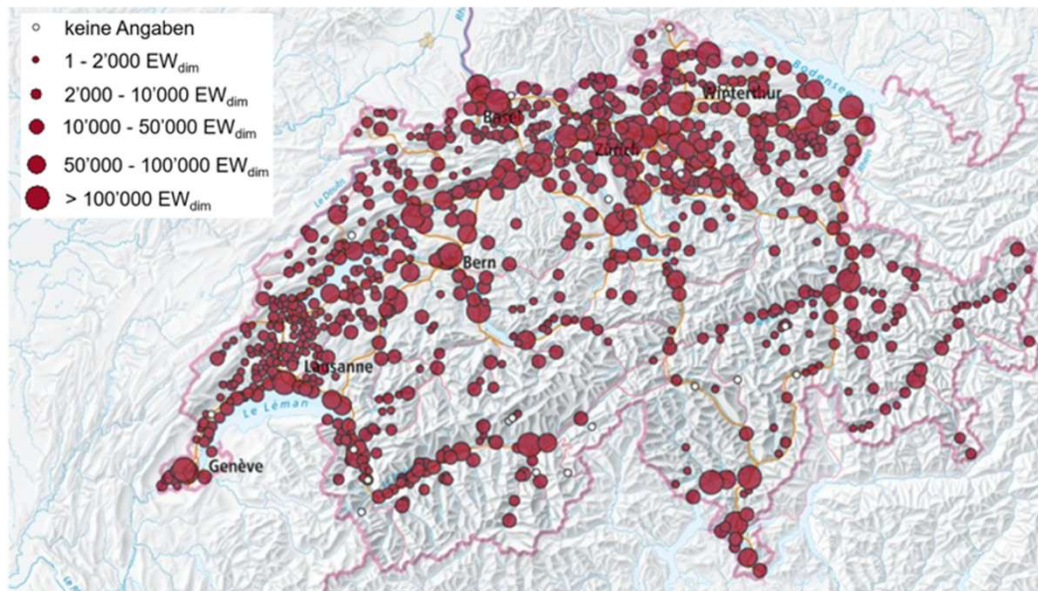
➔ **Die Überschreitungen von Ammonium und Nitrit sind nicht immer korreliert**
(da es verschiedene Mikroorganismenpopulationen sind - AOB und NOB)

➔ **Die Richtwerte für Nitrit werden im Kanton ZH von 90% der Kläranlagen eingehalten** – nur vereinzelte Überschreitungen von Nitrit treten auf

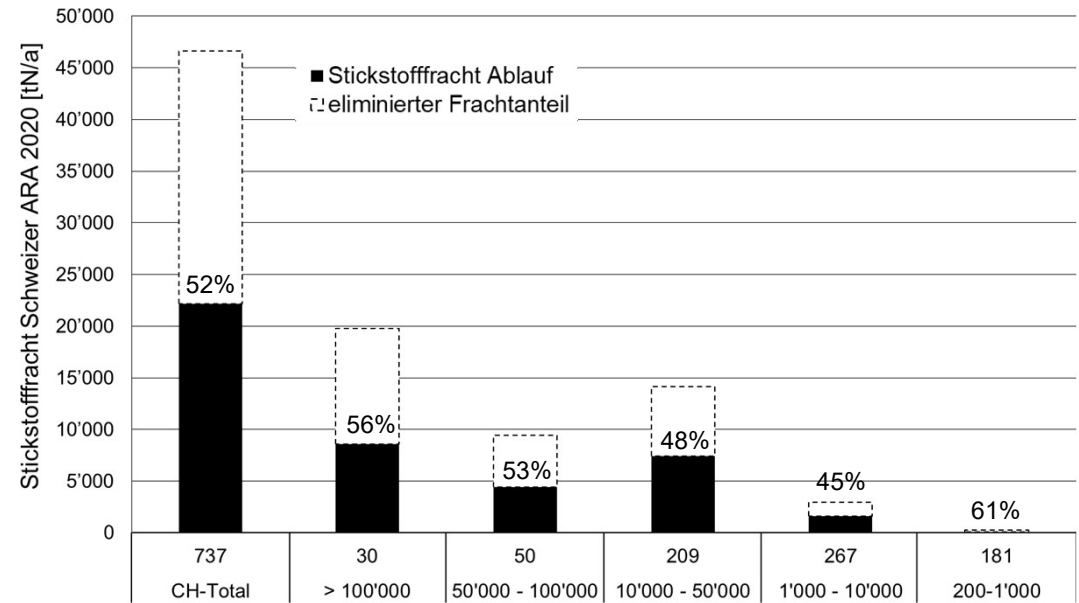
➔ **Die Gründe für die Nitritakkumulation sind noch nicht klar** – es braucht Forschung + robuste Modelle



Aktuelle Stickstoffeinträge Schweizer ARA

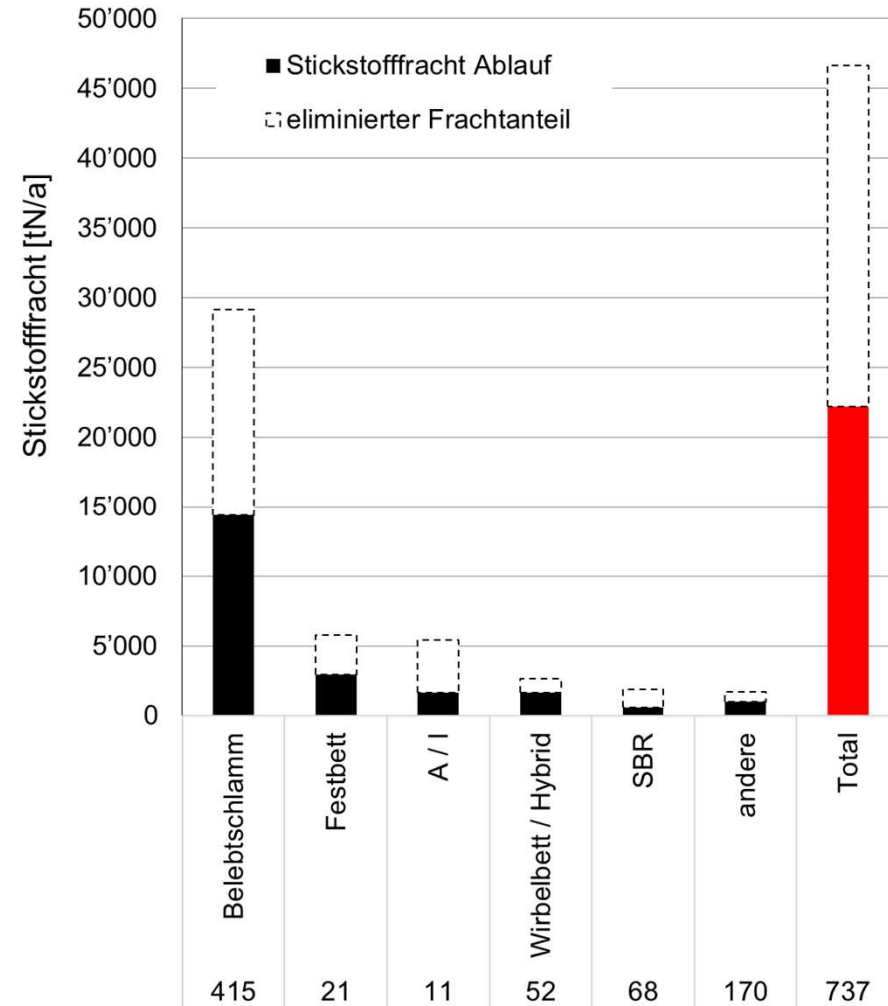
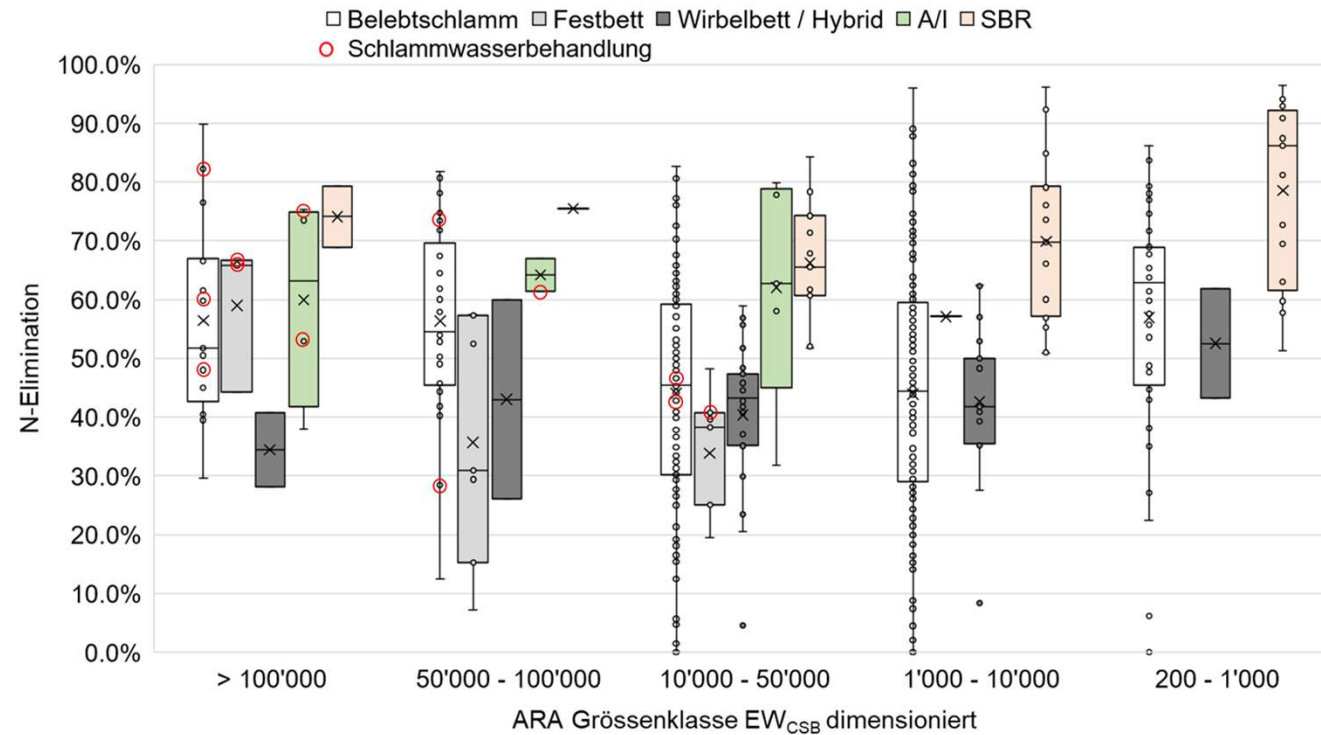


Rund 737 ARA in der Schweiz

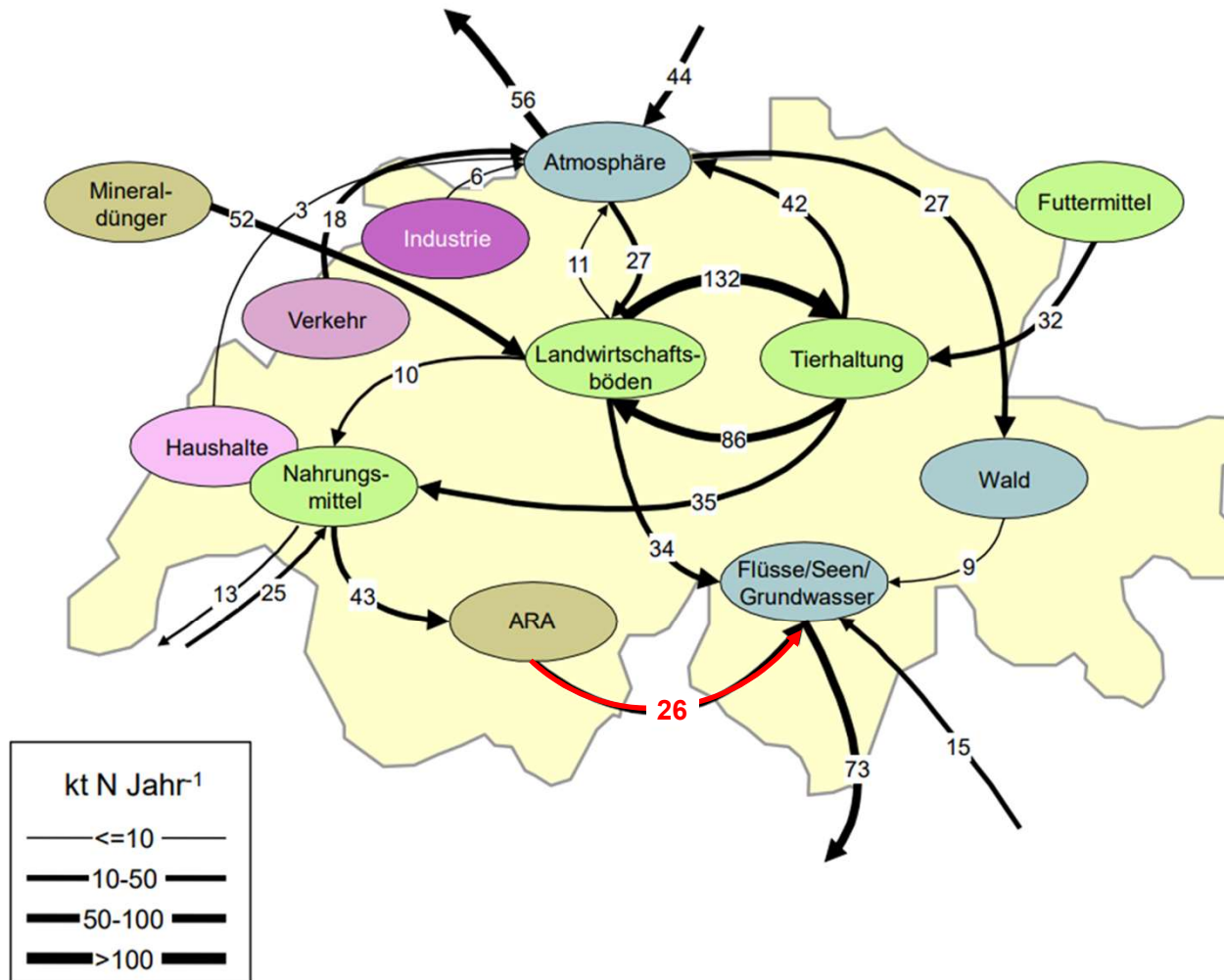


Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung ARA, 2023

Aktuelle Stickstoffeinträge Schweizer ARA



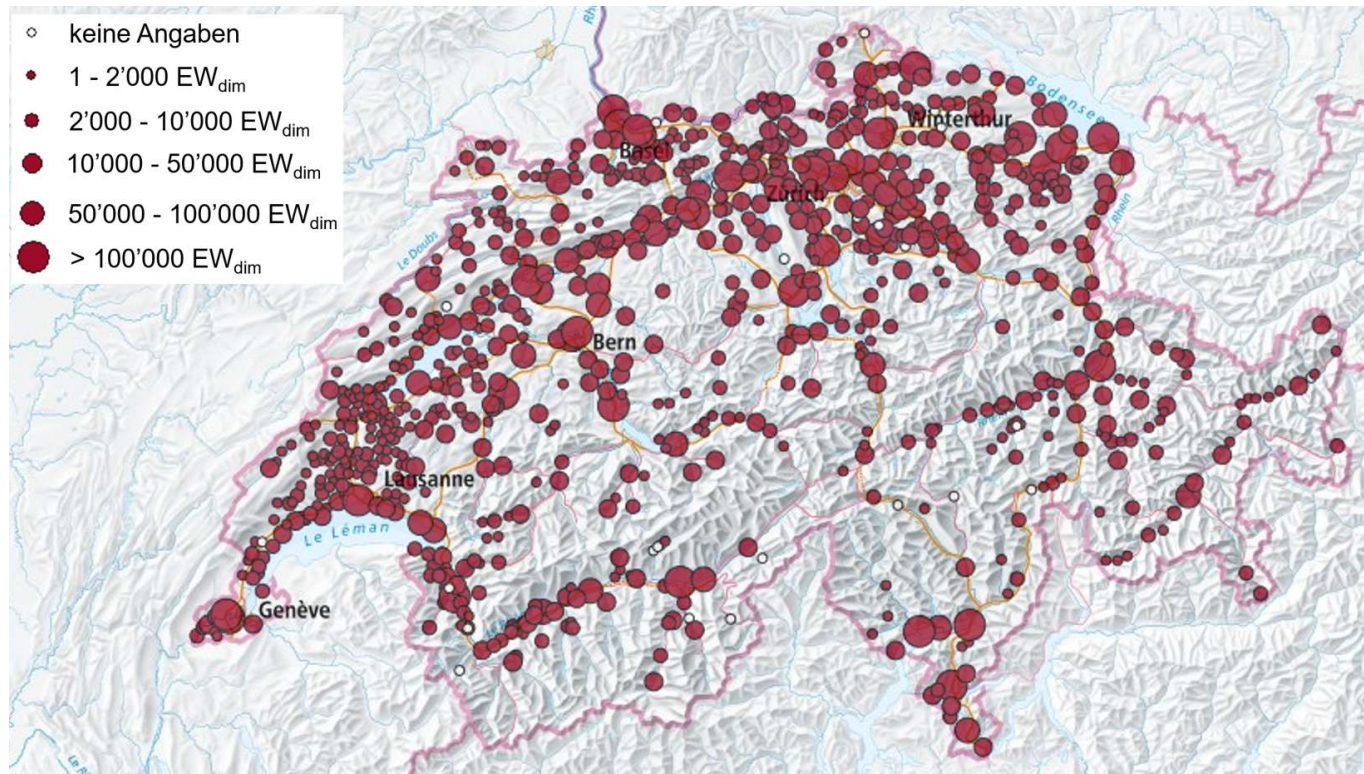
Stickstoff-Bilanz der Schweiz



Inhalt des Vortrages

- Aktuelle Situation „Nitrifikation“ und „N-Elimination“ bei Schweizer Kläranlagen
- Vorgeschlagenes Gesetz - erforderliche Massnahmen und deren Kosten
- Mögliche Verfahren + Blick über die Grenze nach Deutschland
- Auswirkungen des neuen Gewässerschutzgesetzes

Ausgangslage vorgeschlagener Gesetzesentwurf



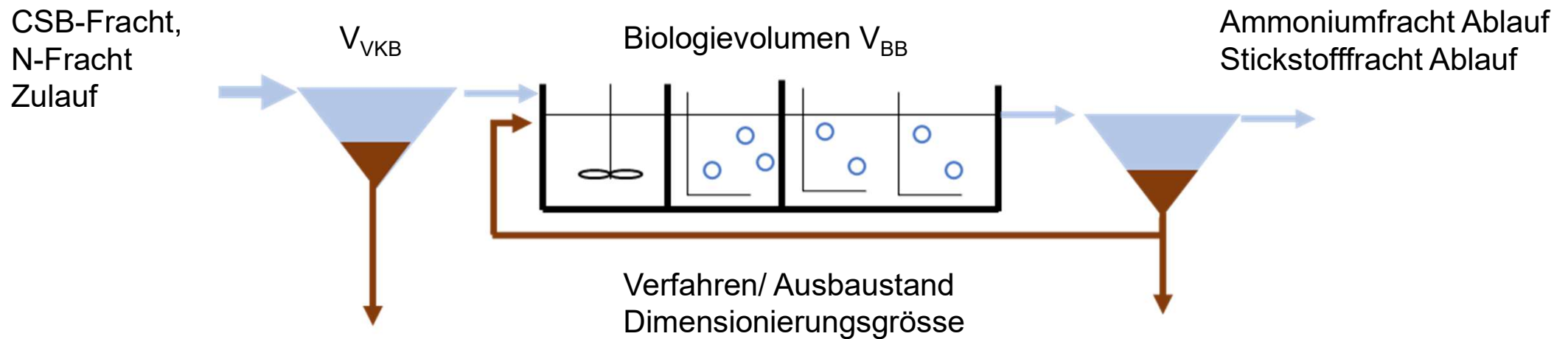
Rund 700 ARA behandeln das anfallende Abwasser

- **ARA > 1'000 EW → Nitrifikation**
- **ARA > 10'000 EW
→ Stickstoffelimination > 80%**

- Wie viele ARA müssen Massnahmen bezüglich Stickstoffelimination treffen?
- Wie viele ARA müssen Massnahmen bezüglich Nitrifikation treffen?
- Wie hoch sind die Kosten für die gesamte Schweiz?
- Wie sieht die Massnahmenkette aus?

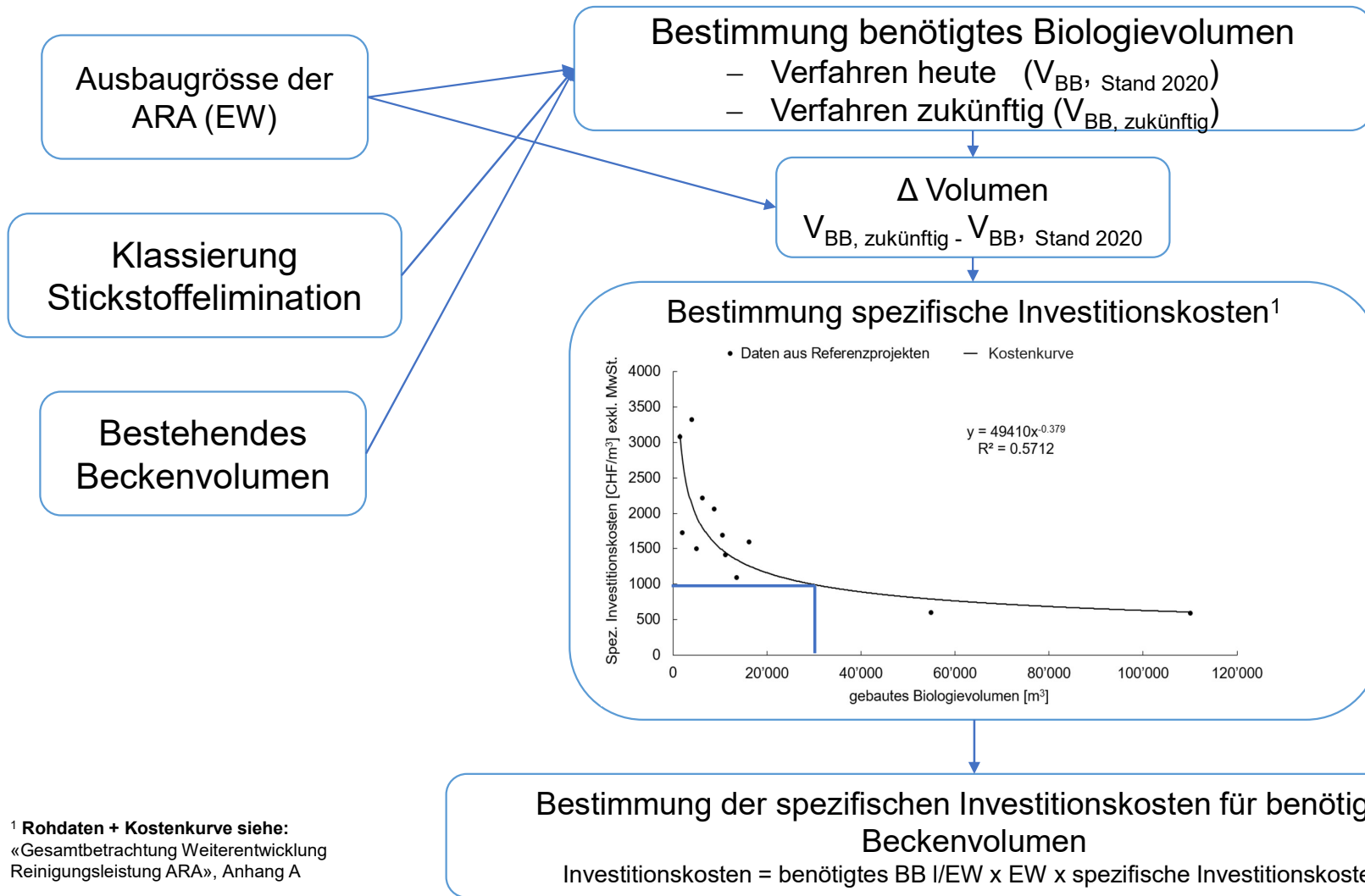
Datengrundlage Kostenschätzung

– VSA-Kennzahlenerhebung 2020 ¹



¹ Details siehe: «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Kapitel 4

Vorgehen Kostenschätzung



¹ Rohdaten + Kostenkurve siehe:
«Gesamt Betrachtung Weiterentwicklung
Reinigungsleistung ARA», Anhang A

Klassierung

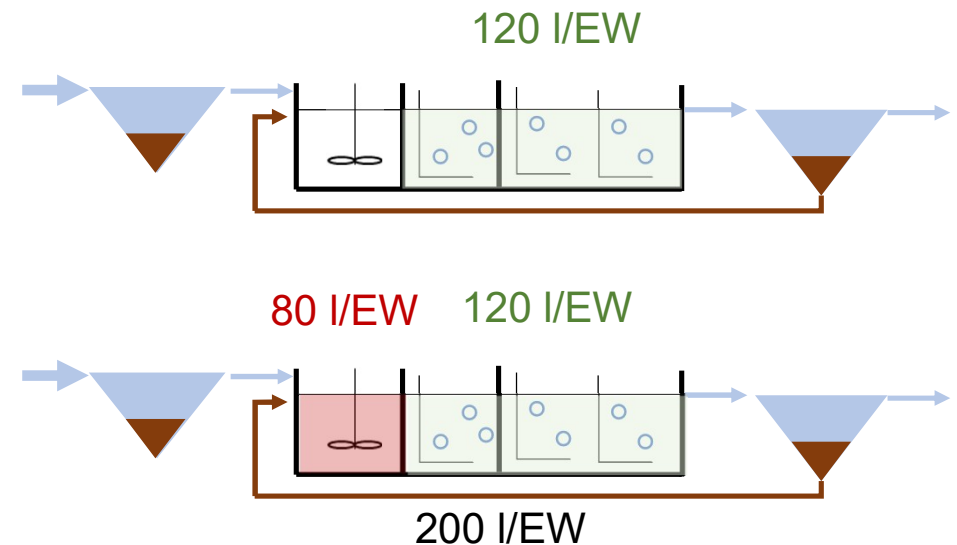
- Nach EW_{dim}
- Nach Stickstoffelimination
- Nach Verfahren
- Falls V_{BB} unbekannt, Klassierung¹ nach Ablaufwerten (NH_4^+ und N-Elimination)

ARA-Grössenklasse [EW_{dim}]	Anzahl ARA	Behandelte Stickstofffracht [tN/a]	Geforderte N-Elimination
> 100'000	30	19'800	≥ 80%
50'000 – 100'000	50	9'500	≥ 80%
10'000 – 50'000	209	14'100	≥ 80%
1'000 – 10'000	267	2'900	
200 – 1'000	181	300	

¹ «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Kapitel 6.2.1

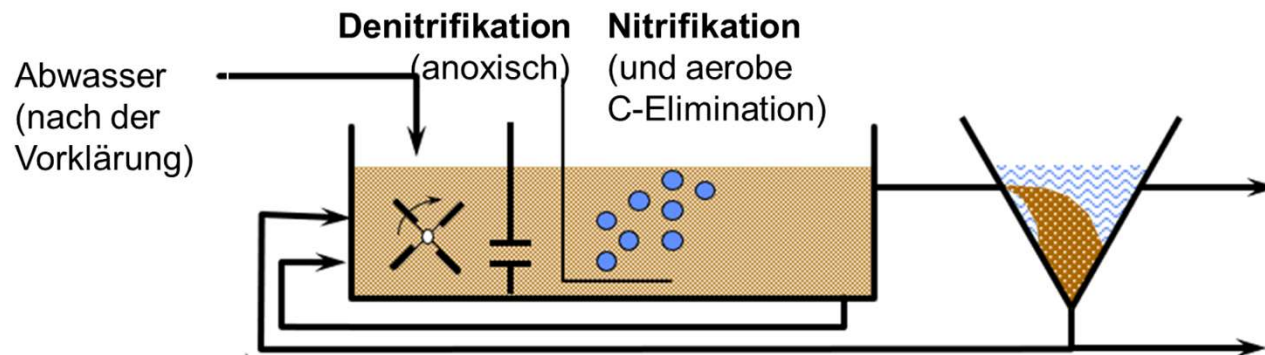
Herleitung benötigtes Beckenvolumen

- Volumen benötigt für Nitrifikation¹
 - Volumenbedarf temperaturabhängig, Sommer < Winter
 - Dynamische Regelung belüftetes Volumen (Bivalent Zonen)
 - Ganzjährig stabile Nitrifikation (Summe von NH_4^+ + NH_3 und NO_2^-)
- Volumen benötigt für Denitrifikation¹
 - Nur bedingt Temperaturabhängig
 - Beeinflusst vom CSB/N-Verhältnis
 - Nitrat muss für die Denitrifikation verfügbar sein
- Herleitung benötigte Volumen
 - Datenauswertung (Nitrit und Ammonium)
 - Statische Auslegung
 - Simulation (ASM 3)

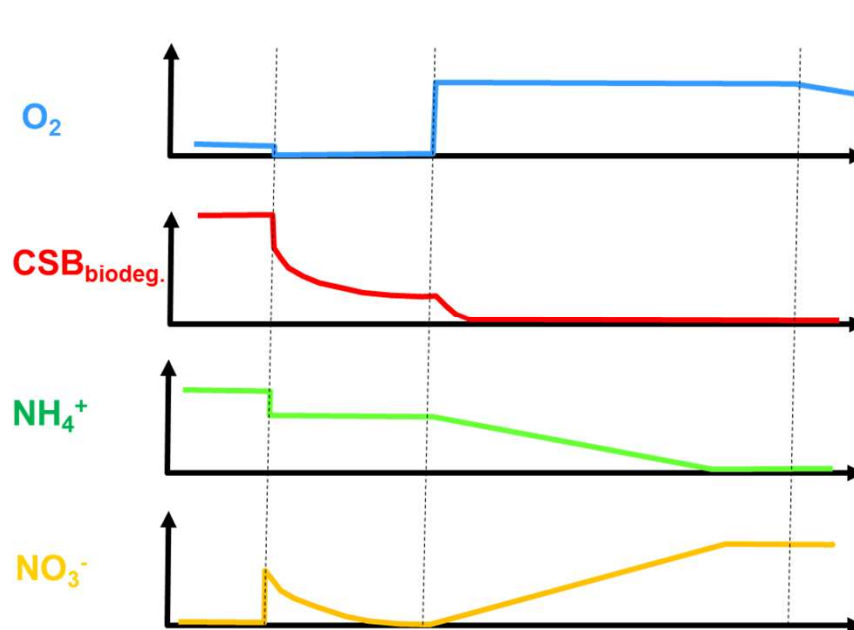


¹ «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Kapitel 6.3.2

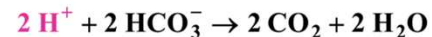
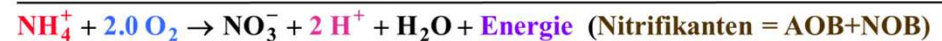
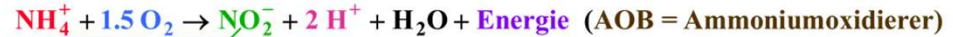
Die vorgeschaltete Denitrifikation



Quelle: Angepasst nach Gujer 1999



Nitrifikation heisst die mikrobiologische Oxidation von Ammonium NH_4^+ über Nitrit NO_2^- zu Nitrat NO_3^-



➡ Die Nitrifikation muss vollständig sein, d.h. auch Konzentrationen von Ammonium NH_4^+ und Nitrit NO_2^- im Ablauf müssen unter Einleitbedingungen liegen.

➡ Das aerobe Schlammalter muss jederzeit genügend hoch sein (=Funktion der Temperatur).

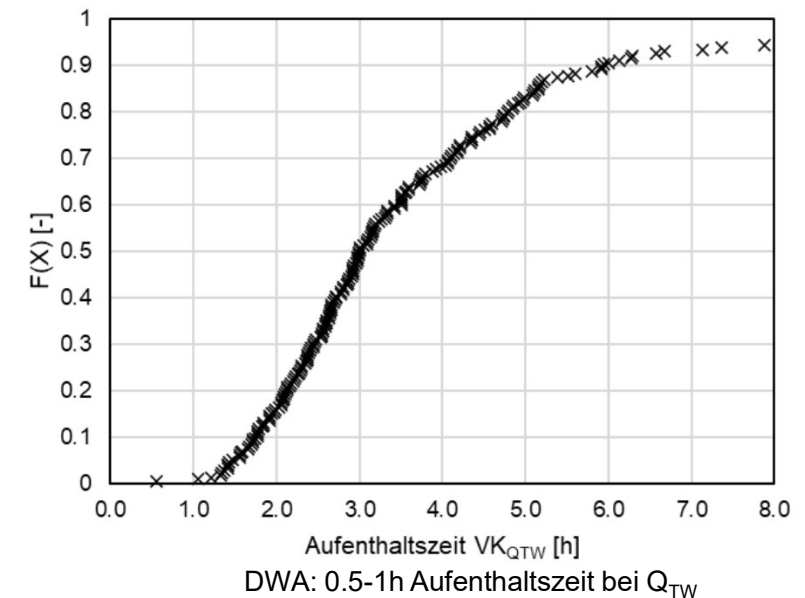
Ausbau Biologievolumen für Stickstoffelimination > 80% bei stabiler Nitrifikation

(Summe von NH_4^+ + NH_3 und NO_2^-) ¹

- 200 l/EW spezifisches Biologievolumen (80 l/EW Denitrifikation, 120 l/EW Nitrifikation)
 - Belebtschlamm konventionell und A/I- Verfahren 200 l/EW
 - Belebtschlamm SBR 300 l/EW
 - Wirbelbett, Hybrid 250 l/EW
 - Festbett, Tropfkörper 300 l/EW
- Wenn spezifisches Biologievolumen ausreichend, aber Stickstoffelimination unter 80% → Optimierung

Anpassung Vorklärung

- Vorklärungen in der Schweiz relativ gross dimensioniert ²
- Umfahrung/ Ausserbetriebnahme von Vorklärbecken
(Erhöhung CSB:N-Verhältnis im Zulauf Biologie, 17-35% der ARA prüfenswert)

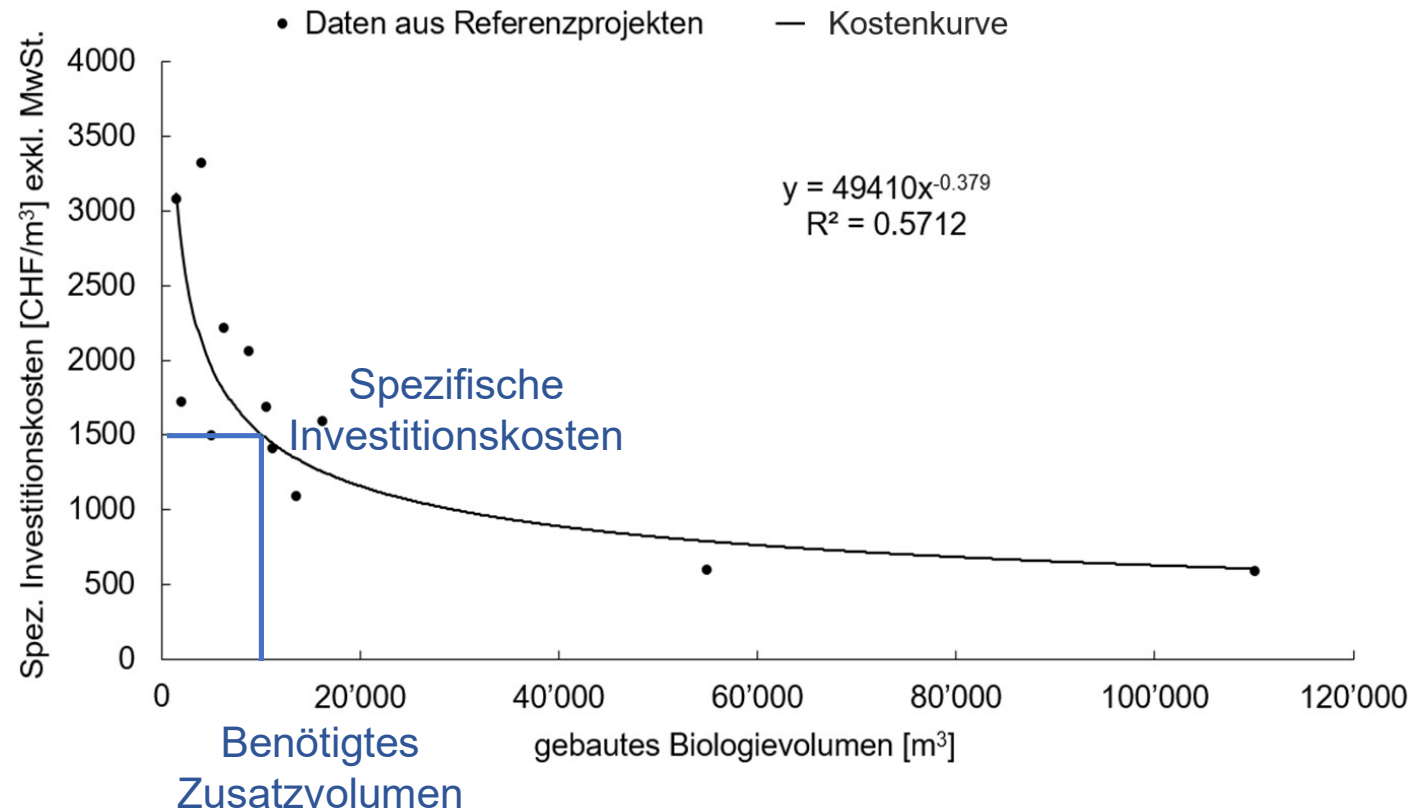


¹ «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Kapitel 6.3.2

² «Einfluss der Abwassereigenschaften und Platzverhältnisse einer ARA auf die Stickstoffelimination gemäss Motion 20.4261», Kapitel 7.1

Kostenschätzung

- N-Elimination > 80% (Stand 2020)
→ keine Zusatzkosten
- Anpassung Vorklärung
→ keine Zusatzkosten berücksichtigt
- N-Elimination < 80%, spez. V_{BB}
aber grösser als 200 l/EW
→ Optimierungskosten¹ abhängig von V_{BB}
- N-Elimination < 80%, spez. V_{BB}
kleiner als 200 l/EW
→ Ausbaukosten basierend auf Kostenkurve²



¹ «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Kapitel 6.3.2

² «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Anhang A

Betriebskosten / Teuerung

- Annahme Betriebskosten
 - Die jährlichen Betriebskosten wurden abgeschätzt mit 2.5% der Investitionskosten
 - Für die Nitrifikation wurde der zusätzliche Energieverbrauch betrachtet
- Annahme Teuerung
 - Gleichmässige Umsetzung der Investitionen bis ins Jahr 2050
 - Jährliche Teuerung 1.7 % ¹

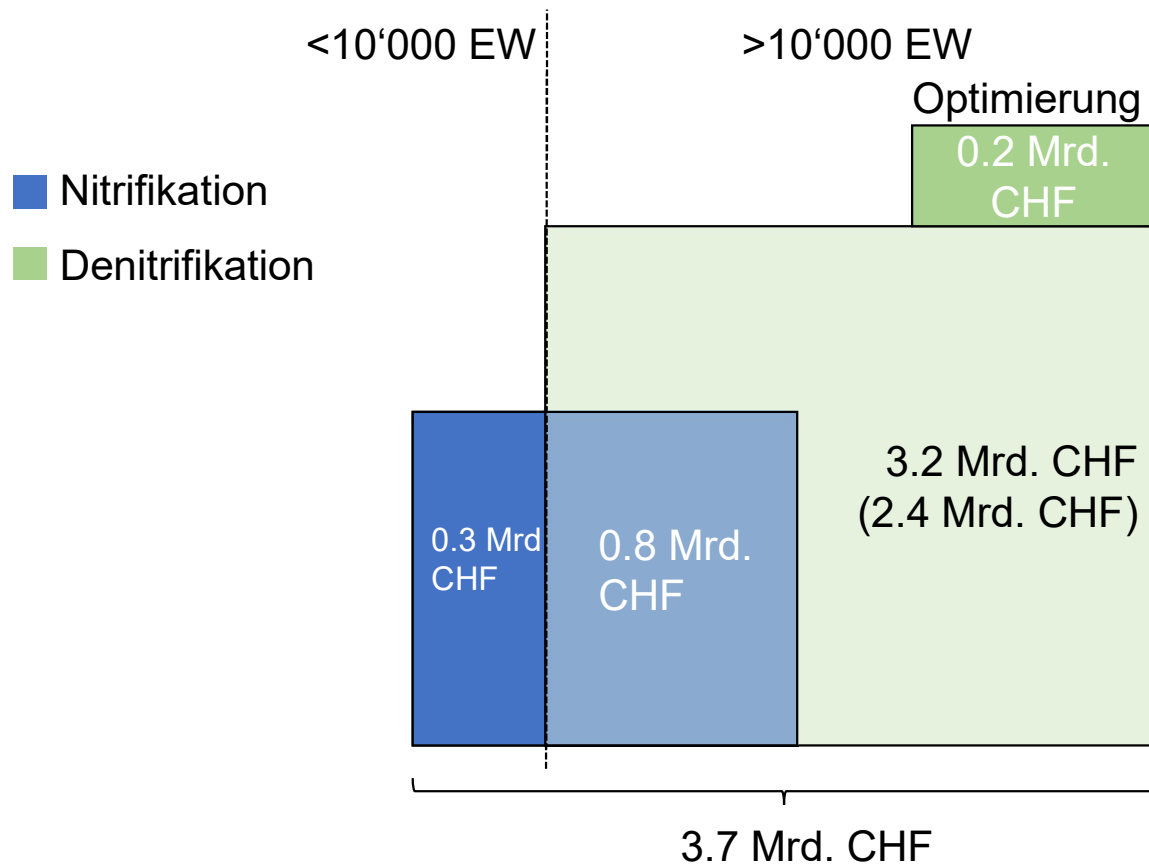
¹ Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (2023). Bundesbeschluss über einen Verpflichtungskredit für die Räumung des ehemaligen Munitionslagers Mitholz, BBl 2023 2332 <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2023/2332/de>

Kosten erhöhte Stickstoffelimination

Massnahmen	Klassierung ARA	Anzahl betroffene ARA	Investitionskosten [Mio. CHF]	Zusätzliche Betriebskosten [Mio. CHF/a]
	[Ew _{dim}]			
	> 100'000	27	765	19
Ausbau	50'000-100'000	48	650	16
	10'000-50'000	180	1'125	28
Optimierung	-	26	111	3
Total CH		281	2'651	63

- Rund 280 ARA müssen Massnahmen ergreifen, um die geforderte Stickstoffelimination einzuhalten.
- Dies führt zu Investitionskosten von rund 2.6 Mrd CHF (ohne MwSt. und ohne Teuerung)
3.4 Mrd CHF inklusive MwSt. und Teuerung.

Gesamtinvestitionskosten inkl. MwSt. und Teuerung



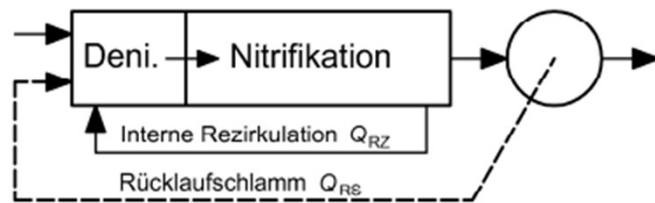
Gesamtinvestitionskosten Massnahmen Stickstoff **3.7 Mrd. CHF** inklusive MwSt. und Teuerung

- 30% Nitrifikation
- 70% Stickstoffelimination

Inhalt des Vortrages

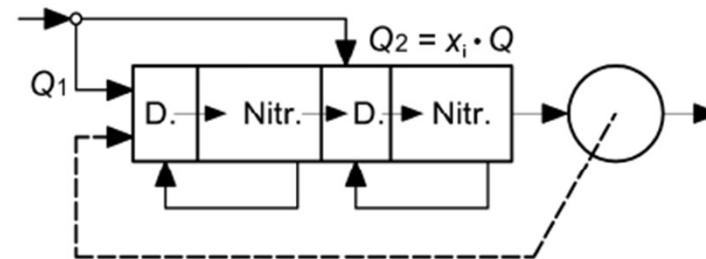
- Aktuelle Situation „Nitrifikation“ und „N-Elimination“ bei Schweizer Kläranlagen
- Vorgeschlagenes Gesetz - erforderliche Massnahmen und deren Kosten
- Mögliche Verfahren + Blick über die Grenze nach Deutschland
- Auswirkungen des neuen Gewässerschutzgesetzes

Vorgeschaltete-Denitrifikation



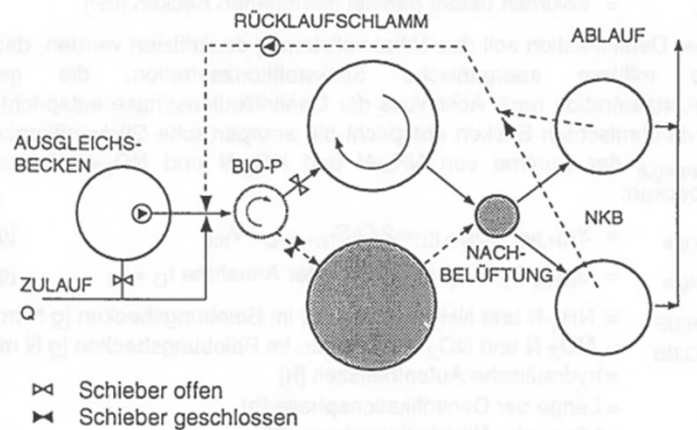
Quelle: DWAA-131 2016

Kaskaden-Denitrifikation



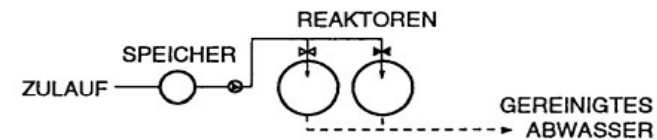
Quelle: DWAA-131 2016

Alternierende / Intermittierende Denitrifikation (A/I)

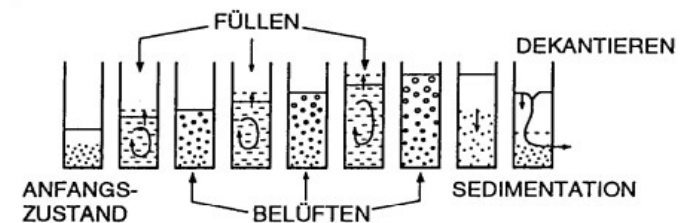


Quelle: Siegrist 1993

Sequencing Batch Reactor (SBR)



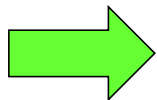
Zeitlicher Verlauf in einem Reaktor



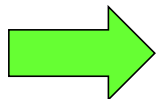
Quelle: Siegrist 1993

Vergleich Schweiz und Deutschland

		CH*	Deutschland# Baden- Württemberg	Deutschland# Nordrhein- Westfalen
CSB Zulauf ARA Ø	[mg _{CSB} / L]	449	472	459
N Zulauf ARA Ø	[mg _N / L]	38.7	43.9	44.5
CSB / N Zulauf ARA Ø	[mg _{CSB} / mgN]	11.6	10.8	10.3
N-Elimination Ø	[%]	52	78.3	83.6
* CH, Daten 2020 # DWA (2018)				

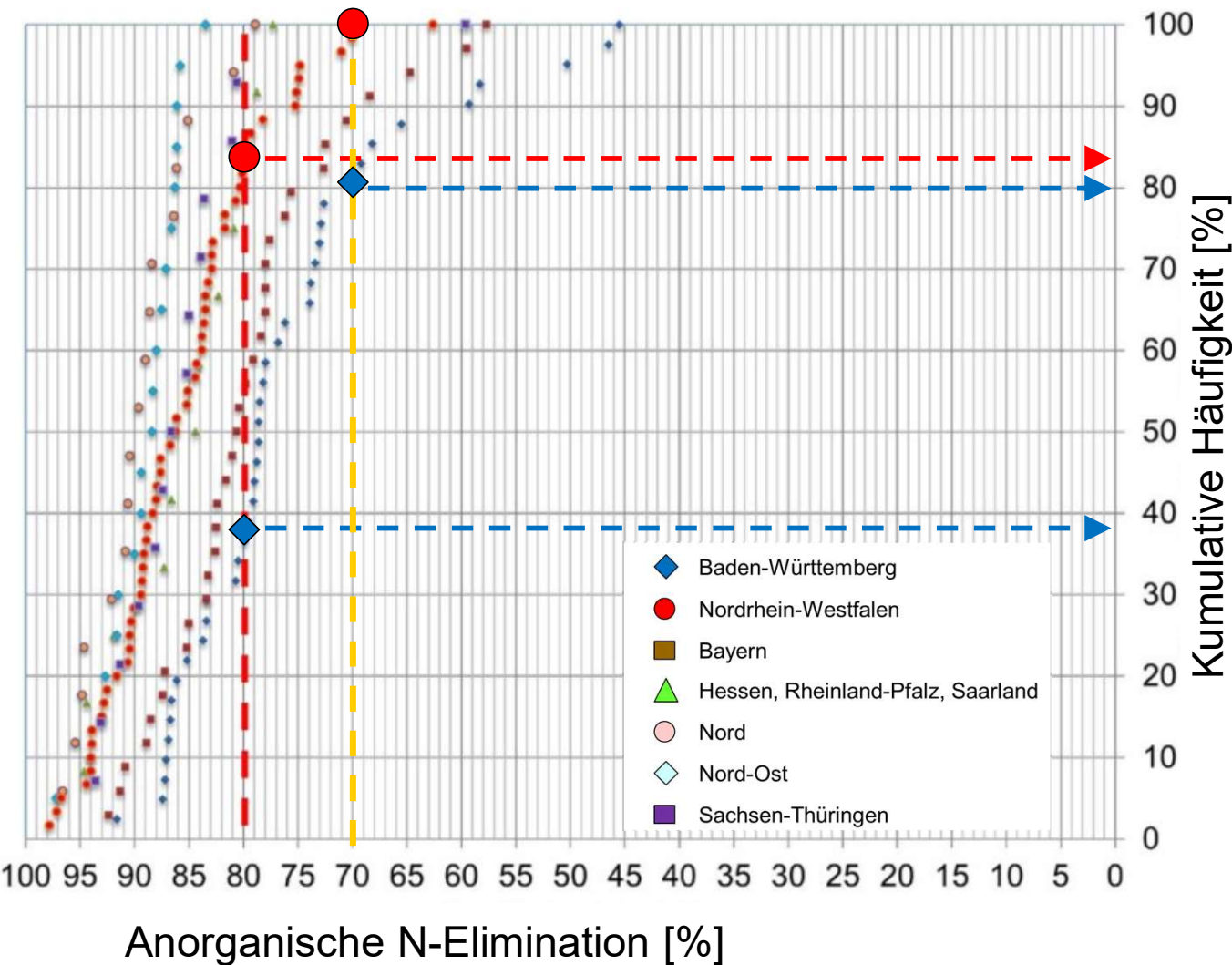


Das kommunale Abwasser in der Schweiz ist vergleichbar mit dem der beiden deutschen Bundesländer Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen

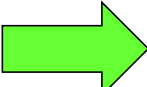


Die Schweiz **kann von den Erfahrungen Deutschlands** in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen **profitieren**

Vergleich Schweiz und Deutschland



N _{anorg} - Elimination	Deutschland	Deutschland
	Baden- Württemberg	Nordrhein- Westfalen
	Anteil ARA, welche erfüllen [%]	Anteil ARA, welche erfüllen [%]
70%	80	100
80%	37	82

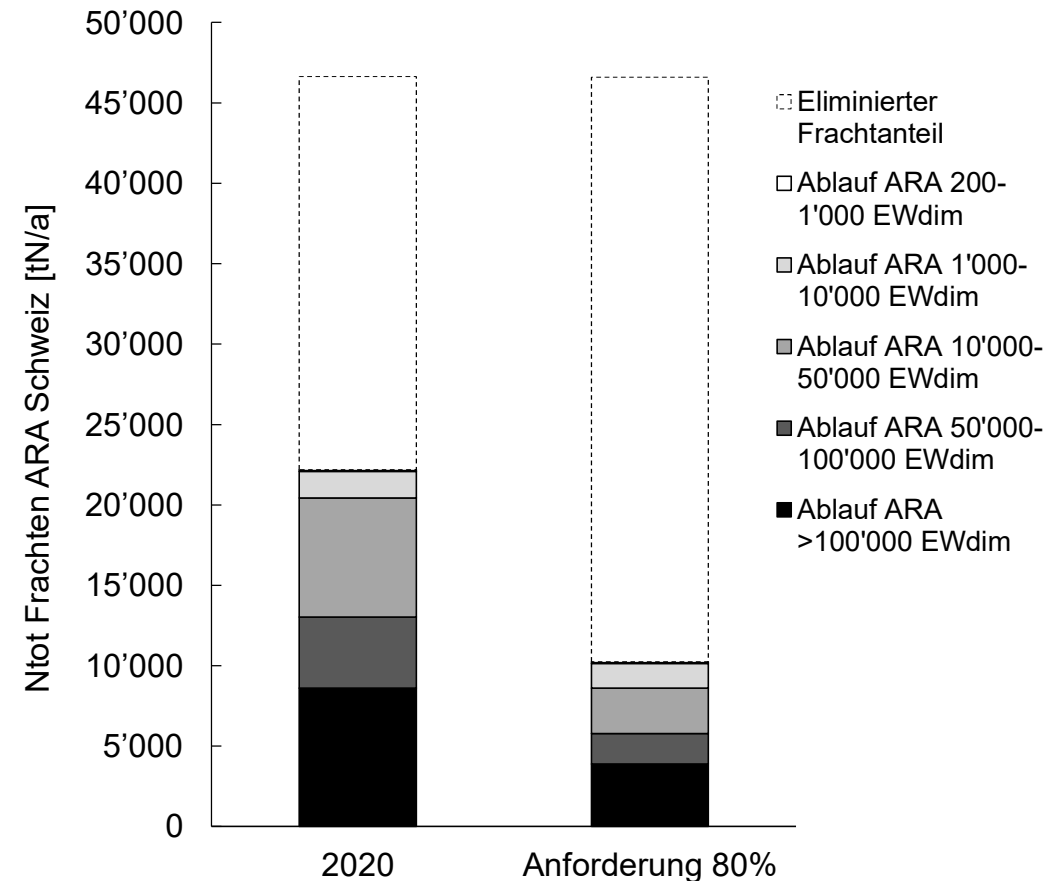
 Robuste N-Elimination von 80% ist möglich

Inhalt des Vortrages

- Aktuelle Situation „Nitrifikation“ und „N-Elimination“ bei Schweizer Kläranlagen
- Vorgeschlagenes Gesetz - erforderliche Massnahmen und deren Kosten
- Mögliche Verfahren + Blick über die Grenze nach Deutschland
- Auswirkungen des neuen Gewässerschutzgesetzes

Auswirkungen

- Erhöhung der Stickstoffelimination in Schweizer ARA auf **78%**, Stickstoff-Eintrag aus ARA wird um **12'000 t_N/a** reduziert
- Entlastung der Gewässer bezüglich Ammonium und Nitrit



- Reduktion Lachgasemissionen¹
 - Durch die stabile Nitrifikation und erhöhte Stickstoffelimination reduzieren sich die jährlichen Lachgasemissionen. Entspricht rund 1% der gesamten CO₂-Emissionen der Schweiz.
- Höherer Energieverbrauch²
 - Durch den Ausbau der Nitrifikation erhöht sich der Energiebedarf für die Belüftung.
 - Die Anpassungen der Vorklärung und das höhere Schlammalter führen zu geringeren Klärgaserträgen
 - Erhöhte Stickstoffelimination reduziert den Sauerstoffbedarf in der belüfteten Zone
- Höheres Schlammalter wirkt sich positiv auf die Reinigungsleistung aus
 - Erhöhte Elimination von organischen Verbindungen
 - Höhere Desinfektionsleistungen
 - Grössere Belebungsbecken resultieren in längeren Aufenthaltszeiten während Regenperioden
- Geringe Nitrit-Konzentrationen ermöglichen eine energieeffiziente Ozonung

¹ «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Kapitel 6.3.2

² «Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA», Anhang A

Schlussfolgerung

- Die Massnahmen bezüglich Stickstoff (Nitrifikation und Stickstoffelimination) werden bei rund **500 ARA (280 N-Elimination, 220 ARA Nitrifikation)** zu Massnahmen führen.
- Dafür wird mit Investitionskosten von rund **3.7 Mrd. CHF** gerechnet (inkl. MwSt und Teuerung).
- Durch die Massnahmen vermindert sich die eingeleitete Stickstofffracht in Schweizer Gewässer um rund **12'000 tN/a**.
- Der erhöhte Energiebedarf wird durch die verminderten Lachgasemissionen überkompensiert.
- Die Gewässerqualität bezüglich Ammonium und Nitrit wird deutlich gesteigert.
- Verfahren mit variabler Bewirtschaftung des belüfteten Beckenvolumens mit Belebtschlamm werden sich durchsetzen (z.B. SBR, AI-Verfahren, Kaskadendenitrifikation, intermittierende Denitrifikation)
- Die robuste Regelung der Nitrifikation (inkl. Minimierung NO_2^-) ist ein Schlüsselfaktor für hohe N-Elimination

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

- BAFU
- Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
- Amt für Umwelt, Kanton St. Gallen
- Amt für Natur und Umwelt, Kanton Graubünden
- Amt für Wasser und Abfall, Kanton Bern
- Direction générale de l'environnement, Kanton Waadt
- Dienststelle für Umwelt, Kanton Wallis
- Begleitgruppe
- Rebekka Gulde, VSA
- Wenzel Gruber, upWater AG
- Alain Meyer, Hunziker Betatech AG

