

SCHLUSSBERICHT – 16.11.2022

Auslegeordnung zu Massnahmen bei ARA zur Elimination von Stickstoff und Mikroverunreinigungen

Grundlagen zur Umsetzung der Motionen
20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den
Abwasserreinigungsanlagen»
und
20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen
für alle Abwasserreinigungsanlagen»

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan und Hunziker Betatech
Titel: Auslegeordnung zu Massnahmen bei ARA zur Elimination von Stickstoff und Mikroverunreinigungen
Untertitel: Grundlagen zur Umsetzung der Motionen
20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen»
und
20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen für alle Abwasserreinigungsanlagen»
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt
Ort: Bern und Winterthur
Datum: 16.11.2022

Begleitung seitens Bund

Damian Dominguez (Projektleitung, BAFU)
Michael Schärer, BAFU
Saskia Zimmermann-Steffens, BAFU
Antoine Magnollay, BAFU
Simona Weber, BAFU
Philipp Röser, BAFU

Begleitgruppe / Fachausschuss

Markus Antener, Stadt Zürich
Dominique Zürcher, Stadt Lausanne
Reto Battaglia, Kanton Bern sowie VSA
Christoph Bitterli, Kanton Solothurn
Florence Dapples, Kanton Waadt
Guido Derungs, Kanton Basel-Stadt
Edith Durisch, Kanton Zürich
Stefan Schmid, Kanton Zürich
Jörg Kaufmann, Kanton Aargau
Antonio Pessina, Kanton Tessin
Tabea Schutter, Kanton Freiburg
Fabrice Bachmann, Gewässerschutzverband der Region Zugersee-Küssnachtersee-Ägerisee (GVRZ)
Christian Abegglen, VSA
Max Maurer, Eawag
Eberhard Morgenroth, Eawag

Projektteam Ecoplan

Corinne Spillmann (bis 6/22)
Felix Walter
Tanja Engel

Projektteam Hunziker Betatech

Philipp Beutler
Daniel Baumgartner
Ruedi Moser
Anna Steinegger

Dieser Bericht wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt sind allein die Auftragnehmer verantwortlich.

ECOPLAN AG

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik
www.ecoplan.ch
Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch
Dätwylerstrasse 25
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

Hunziker Betatech AG

Ingenieurunternehmen und Gesamtplaner
in den Bereichen Wasser, Bau und Umwelt
www.hunziker-betatech.ch
Pflanzschulstrasse 17
CH - 8400 Winterthur
Tel +41 52 234 50 50
Jubiläumsstrasse 93
CH - 3005 Bern
Tel +41 31 300 32 00

Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis	1
1	Einleitung	2
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Ziele des Projekts.....	2
1.3	Vorgehen und Aufbau des Berichts	3
1.3.1	<i>Vorgehen: Auslegeordnung, Priorisierung und Auswahl von vier Massnahmen</i>	<i>3</i>
1.3.2	<i>Aufbau des Berichts</i>	<i>4</i>
2	Massnahmen zur Stickstoffelimination	6
2.1	Überblick.....	6
2.2	Beschrieb der Massnahmen.....	7
2.2.1	<i>N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen (ARA > 10'000 EW_{CSB,dim}).....</i>	<i>7</i>
2.2.2	<i>N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen (ARA < 10'000 EW_{CSB,dim})</i>	<i>7</i>
2.3	Mögliche Umsetzungsinstrumente.....	8
2.3.1	<i>Information / Schulung.....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Instrumente der Planung</i>	<i>9</i>
2.3.3	<i>Finanzielle Mechanismen</i>	<i>10</i>
2.3.4	<i>N_ U7 Gebote/Verbote</i>	<i>12</i>
2.3.5	<i>Fazit zu den Umsetzungsinstrumenten.....</i>	<i>12</i>
2.4	Grobbeurteilung	13
2.4.1	<i>Einleitung: Wichtigste Eckpunkte der Massnahmen</i>	<i>13</i>
2.4.2	<i>Umwelt</i>	<i>14</i>
2.4.3	<i>Wirtschaft und Haushalte.....</i>	<i>17</i>
2.4.4	<i>Innovation.....</i>	<i>19</i>
2.4.5	<i>Öffentliche Hand (Bund, Kantone, Gemeinden)</i>	<i>20</i>
2.5	Fazit und Empfehlung	21
3	Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen.....	22
3.1	Überblick.....	22
3.2	Generelle Auswirkungen auf die Umwelt	22
3.3	MV1: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang	23
3.3.1	<i>Beschrieb der Massnahme</i>	<i>23</i>
3.3.2	<i>Mögliche Umsetzungsinstrumente</i>	<i>24</i>
3.3.3	<i>Grobbeurteilung</i>	<i>26</i>
3.4	MV2: Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA.....	30
3.4.1	<i>Beschrieb der Massnahme</i>	<i>30</i>
3.4.2	<i>Mögliche Umsetzungsinstrumente</i>	<i>30</i>
3.4.3	<i>Grobbeurteilung</i>	<i>31</i>
3.5	Fazit und Empfehlung	33
4	Anhang A: Ergänzung zu N1: Stickstoffelimination	35
5	Anhang B: Ergänzung zu MV1: Mikroverunreinigungen	38
6	Anhang C: Ergänzungen zu MV2: Mikroverunreinigungen	41
7	Anhang D: Regulierungspyramide	42
8	Anhang E: Auslegeordnung von weiteren Massnahmen	43
8.1	Stickstoffelimination	46
8.2	Elimination von Mikroverunreinigungen	49
	Literaturverzeichnis	51

Abkürzungsverzeichnis

A/I Verfahren	Alternierende Beschickung, intermittierende Belüftung
ARA	Abwasserreinigungsanlage
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
Eang	Angeschlossene Einwohnerinnen und Einwohner
EMV	Elimination von Mikroverunreinigungen
EW _{CSB,dim}	Aktuelle Ausbaugrösse gemäss Dimensionierung
GAK	Granulierte Aktivkohle
GSchG	Gewässerschutzgesetz
GSchV	Gewässerschutzverordnung
MBR	Membranbioreaktor
MW	Mischabwasser
PAK	Pulveraktivkohle
RFA	Regulierungsfolgeabschätzung
TS	Trockensubstanz
VOBU	Volkswirtschaftliche Beurteilung
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Abwasserreinigung in der Schweiz hat einen guten Stand. Die Abwasserinfrastruktur ist in einem guten Zustand und die Vorgaben werden grösstenteils eingehalten. Trotzdem gibt es nach wie vor ARA, die das Abwasser lediglich nach minimalen Anforderungen reinigen. In der Folge werden die Gewässer mit Stickstoffverbindungen wie Ammonium, Nitrit und Nitrat belastet. Deshalb sollen die ARA betreffend der Stickstoffelimination sowie der Elimination von Mikroverunreinigungen zusätzlich ausgebaut werden, damit die Qualitätsforderungen eingehalten und die organischen Spurenstoffe eliminiert werden können. Nur so kann eine gute Wasserqualität der Gewässer gewährleistet werden.

Die Erhöhung der Reinigungsleistung von Abwasserreinigungsanlagen ist auch in der Politik ein aktuelles Thema. Mit dem Ziel, problematische Stoffe aus ARA in Gewässern zu reduzieren, wurden im Eidgenössischen Parlament zwei Motionen zum Thema lanciert und am 15.06.2021 vom Zweitrat (Ständerat) angenommen:

- **Motion 20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen»:**¹ Der Bundesrat wird beauftragt, die Stickstoffeinträge aus den ARA in die Gewässer anzugehen und Massnahmen zur Reduktion zu treffen.
- **Motion 20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen für alle Abwasserreinigungsanlagen»:**² Der Bundesrat wird beauftragt, das GSchG anzupassen, damit alle ARA Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen müssen. Der Ständerat hat die Motion im Juni 2021 mit der folgenden Änderung angenommen: Alle ARA, deren Ausleitungen Grenzwertüberschreitungen zur Folge haben, müssen Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigung umsetzen.

1.2 Ziele des Projekts

Mit dem Ziel, die Wasserqualität der Fliessgewässer zu verbessern, soll im vorliegenden Projekt im Sinne einer ersten Auslegeordnung geprüft werden, welche Massnahmen zur Umsetzung der Motionen ergriffen werden könnten. Dies mit dem Fokus darauf, die Reinigungsleistung von ARA zu erhöhen, um Stoffeinträge in die Gewässer weiter zu reduzieren.

Die Studie versteht sich als Auslegeordnung und Grundlage für die Entscheidungsfindung im BAFU und soll dem BAFU und dem UVEK beim Entscheid Unterstützung bieten, welche Massnahmen für eine Anpassung der Gewässerschutzgesetzgebung (Verordnung, evtl. Gesetz) vorgeschlagen werden könnten.

¹ Kommission für Wirtschaft und Abgaben des Nationalrates (2021a)

² Kommission für Wirtschaft und Abgaben des Nationalrates (2021b)

1.3 Vorgehen und Aufbau des Berichts

1.3.1 Vorgehen: Auslegeordnung, Priorisierung und Auswahl von vier Massnahmen

In einem ersten Schritt wurde durch Hunziker Betatech und Ecoplan eine Auslegeordnung von möglichen Massnahmen für die «Erhöhung der Reinigungsleistung von ARA» erstellt. Dabei wurden sechs Massnahmen zur Stickstoffelimination und vier Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen ausgearbeitet (siehe Abbildung 1 für eine Übersicht der Massnahmen). Die vorgeschlagenen technischen Massnahmen wurden in einem Inputpapier für einen Workshop mit Expert/innen zusammengefasst.

Abbildung 1: Übersicht über die Massnahmen

Nr.	Massnahmenbeschrieb	Kapitel
Stickstoffelimination		2
N1	Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend umsetzen	2.2.1
N2	Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen	2.2.2
N3	Faulwasserbehandlung bei 50 grössten Kläranlagen	8.1
N4	Verzicht auf Schlammfaulungen in Schweizer ARA	8.1
N5	Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen	8.1
N6	Zusammenarbeit mit Betrieben, die C-Quellen entsorgen	8.1
Elimination von Mikroverunreinigungen		3
MV1	Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang	3.3
MV2	Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA	3.4
MV3	Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 200 Eang	8.2
MV4	Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen zur MV-Elimination	8.2

Im Rahmen des Workshops und einer vorangehenden Umfrage wurden Expertinnen und Experten danach gefragt, welche Massnahmen aus ihrer Sicht weiterverfolgt werden sollen. Ziel des Workshops war, mögliche Massnahmen für die Umsetzung des Themas «Erhöhung der Reinigungsleistung von ARA» zu diskutieren, sowie die prioritären Massnahmen für eine anschliessende Grobbeurteilung zu bestimmen. Teilgenommen haben verschiedene Stakeholder wie das BAFU, ausgewählte Kantone sowie Fachleute der Eawag³, des VSA⁴ und des GVRZ⁵ (siehe Abbildung 2). Als Vorbereitung wurden die Teilnehmenden gebeten, die Massnahmen der Auslegeordnung nach drei Kriterien zu beurteilen:

- Besteht ein Bedarf für die technische Massnahme (unabhängig von der Frage der Umsetzbarkeit)?

³ Eawag = Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz

⁴ VSA = Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

⁵ GVRZ = Gewässerschutzverband der Region Zugersee-Küssnachtsee-Ägerisee

- Wie schätzen Sie die Umsetzbarkeit und Realisierbarkeit der Massnahme ein (z.B. personelle und finanzielle Ressourcen)?
- Welche Instrumente würden sich für die Umsetzung der technischen Massnahme eignen?

Aufgrund der Beurteilungen der Teilnehmenden (siehe Kapitel 8) wurden die folgenden Massnahmen ausgewählt, welche im Workshop in Gruppenarbeiten engagiert diskutiert, weiter vertieft und bezüglich ihrer Chancen und Risiken bewertet wurden:

- Im Bereich Stickstoffelimination:
 - Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend anpassen (Abschnitt 2.2.1)
 - Die Regionalisierung in organisatorischer und technischer Sicht soll auch im Rahmen der erweiterten Stickstoffelimination gefördert werden. Dieser wichtige Aspekt ist keine eigene Massnahme, sondern in der Massnahme «Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend anpassen» enthalten (siehe Abschnitt 2.2.1).
 - Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen (Abschnitt 2.2.2)
- Im Bereich Elimination von Mikroverunreinigungen:
 - Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang (Abschnitt 3.3)
 - Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA (Abschnitt 3.4)

Basierend auf den Erkenntnissen aus dem Workshop hat das Projektteam gemeinsam mit dem BAFU prioritäre Massnahmen bestimmt:

- Zwei Massnahmen zur Stickstoffelimination: Siehe Kapitel 2
- Zwei Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen: Siehe Kapitel 3

Die gewählten Massnahmen wurden anhand möglicher Umsetzungsinstrumente konkretisiert und im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Umwelt, Wirtschaft und öffentliche Hand grob beurteilt.

1.3.2 Aufbau des Berichts

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 widmet sich den zwei **aufgrund des Workshops** ausgewählten **Massnahmen zur Stickstoffelimination**. Zuerst werden die beiden Massnahmen «Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend anpassen» und «Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen » beschrieben (Abschnitt 2.2), mögliche Umsetzungsinstrumente vorgestellt (Abschnitt 2.3), eine Grobbeurteilung der beiden Massnahmen vorgenommen (Abschnitt 2.4) und daraus abgeleitet ein Fazit gezogen und Empfehlungen formuliert (Abschnitt 2.5).
- In Kapitel 3 werden die beiden priorisierten **Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen** beschrieben. In Abschnitt 3.3 wird die Massnahme «gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen» samt möglichen Umsetzungsinstrumenten vorgestellt und eine Grobbeurteilung der Massnahme vorgenommen. Dasselbe folgt im Abschnitt 3.4 für

die Massnahme «Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA». Anschliessend wird ein Fazit gezogen und eine Empfehlung abgegeben (Abschnitt 3.5).

- Die Beschreibung der nicht priorisierten Massnahmen ist im Anhang E (Kapitel 8) zu finden.

Abbildung 2: Teilnehmende des Workshops zu der groben Beurteilung von prioritären Massnahmen

Kanton / Stadt / Organisation	Name
Stadt Zürich	Markus Antener
Stadt Lausanne	Dominique Zürcher (teilweise)
Kanton Solothurn	Christoph Bitterli
Kanton Waadt	Florence Dapples (teilweise)
Kanton Zürich	Edith Durisch Stefan Schmid
Kanton Aargau	Jörg Kaufmann
Kanton Tessin	Antonio Pessina
Kanton Freiburg	Tabea Schutter
Gewässerschutzverband der Region Zugersee-Küssnachersee-Ägerisee (GVRZ)	Fabrice Bachmann
VSA	Christian Abegglen
Eawag	Max Maurer
Eawag	Eberhard Morgenroth
ARE	Melanie Gicquel
BAFU, Sektion Hochwasserschutz	Antoine Magnollay
BAFU, Sektion Ökonomie	Röser Philipp
BAFU, Sektion Gewässerschutz	Damian Dominguez Michael Schärer Saskia Zimmermann-Steffens (teilweise)
Hunziker Betatech	Philipp Beutler Daniel Baumgartner Ruedi Moser Anna Steinegger
Ecoplan	Corinne Spillmann Felix Walter Tanja Engel

2 Massnahmen zur Stickstoffelimination

2.1 Überblick

Insgesamt entfernen in der Schweiz die ARA etwa 50 % des Stickstoffs aus dem Abwasser. Dies entspricht nicht dem Stand der Technik. Die Stickstoffelimination kann bei den meisten Schweizer ARA mit der Umsetzung des Stands der Technik (ganzjährige stabile Nitrifikation und Denitrifikation) verbessert werden. In der EU muss gemäss «Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser» der Stickstoff zu mindestens 70 % aus dem Abwasser eliminiert werden. Diese Anforderung ist seit Jahren auch in Deutschland und Österreich gültig und die Anlagen sind dementsprechend auf eine höhere Stickstoffelimination ausgelegt. Im Vergleich werden in Deutschland und Österreich über 80 % des Stickstoffs aus dem Abwasser eliminiert.

Der Bundesrat wird mit der Motion 20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen»⁶ beauftragt, die Problematik der Stickstoffeinträge in Gewässer anzugehen und Massnahmen zur Reduktion zu treffen.

Wie oben (vgl. 1.3) erwähnt, wurden im Rahmen eines Workshops sowie in einer anschließenden Diskussion des BAFU und des Projektteams prioritäre Massnahmen bei ARA bestimmt. Die nicht weiterverfolgten Massnahmen sind in Anhang E (Kapitel 8.1) beschrieben. Mit dem Ziel, die Stickstoffelimination in der Schweiz zu verbessern, steht folgende Massnahme im Vordergrund:

- Bei den ARA mit mehr als 10'000 EW_{CSB,dim} die «Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend umsetzen»: Abschnitt 2.2.1 (als N1 bezeichnet)

Als ergänzende Massnahme wird folgende Massnahme beschrieben:

- Bei den ARA mit weniger als 10'000 EW_{CSB,dim} die «Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen »: Abschnitt 2.2.2 (als Massnahme N2 bezeichnet)

Die Massnahme N1 kann entweder einzeln oder in Kombination mit der Massnahme N2 umgesetzt werden. Zur Umsetzung der beiden Massnahmen wurden verschiedene mögliche Umsetzungsinstrumente definiert (siehe Abschnitt 2.3).

Als Grundlage für die im Folgenden beschriebenen Massnahmen enthält die Abbildung 3 einen Überblick über die Stickstoffeinträge und -elimination in Abhängigkeit der ARA-Grösse.

⁶ Kommission für Wirtschaft und Abgaben des Nationalrates (2021a)

Abbildung 3: Stickstoffeintrag und -elimination in Abhängigkeit der ARA-Grösse⁷

	Grosse ARA (> 50'000 EW _{CSB,dim})	Mittelgrosse ARA (> 10'000 EW _{CSB,dim})	Kleine ARA (<10'000 EW _{CSB,dim})
Anzahl ARA (Total 737 ARA)	80	209	448
Anteilmässiger Stickstoffeintrag in Gewässer	59%	33%	8%
Aktuelle Stickstoffelimination (in %)	54%	45%	51%

EW_{CSB,dim} = aktuelle Ausbaugrösse gemäss Dimensionierung

2.2 Beschrieb der Massnahmen

2.2.1 N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen (ARA > 10'000 EW_{CSB,dim})

Eine Stickstoffelimination nach dem Stand der Technik auf ARA wird dann erreicht, wenn eine stabile Nitrifikation mit Denitrifikation gewährleistet ist. Die Massnahme richtet sich an Abwasserreinigungsanlagen mit mehr als 10'000 EW_{CSB,dim}, weil deren anteilmässiger Stickstoffeintrag in der Schweiz über 90% beträgt. Mit dieser Massnahme wird somit eine bedeutende Frachtreduktion erreicht. Damit wird die heutige Stickstoffelimination von 52% erhöht. Zum Vergleich: In Deutschland und Österreich werden aufgrund der Anforderung der EU (mindestens 70% Stickstoffreduktion für Anlagen grösser 10'000 EW) bereits jetzt Stickstoffeliminationen über 80% erreicht.

Eine Umsetzung des Stands der Technik entspricht einer Stickstoffelimination von über 70%. Von dieser Massnahme betroffen sind rund 253 mittelgrosse und grosse ARA (>10'000 EW_{CSB,dim}). Die Umsetzung der Massnahme erfolgt durch bauliche und verfahrenstechnische Anpassungen. Dabei sind verschiedene Ansätze denkbar, diese sind in Anhang A (Kapitel 4) ausführlich beschrieben.

2.2.2 N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen (ARA < 10'000 EW_{CSB,dim})

Mit dieser ergänzenden Massnahme soll die in der GSchV geforderte Stickstoffelimination flächendeckend in ARA mit weniger als 10'000 EW_{CSB,dim} umgesetzt werden. Mit dieser Ergänzung werden alle ARA in der Schweiz in die Pflicht genommen ihren Beitrag zum Gewässerschutz zu leisten. Insbesondere bedeutet das für die rund 448 ARA mit weniger als 10'000 EW_{CSB,dim}, dass eine ganzjährige stabile Nitrifikation gefordert wird.

Bei rund einem Drittel der Anlagen (ca. 160 ARA), welche bisher noch nicht nitrifizieren, sind Massnahmen notwendig, um eine ganzjährige stabile Nitrifikation zu gewährleisten.

⁷ Auskunft BAFU / FHNW: Daten stammen aus einer Datenerhebung im Jahr 2020 von der Firma Infraconcept, Bern

Rund 160 ARA sind bereits nitrifizierend, und die saisonale Stickstoffelimination steht darum im Vordergrund. Im Sommer kann wegen den warmen Abwassertemperaturen die anoxische Phase häufiger für die Denitrifikation genutzt werden als im Winter. Im Winter ist eine (Teil-) Denitrifikation anzustreben.

2.3 Mögliche Umsetzungsinstrumente

Im folgenden Abschnitt werden Instrumente zur Umsetzung der Massnahmen beschrieben. Im Grundsatz lassen sich die Massnahmen über verschiedene Instrumente und Interventionsstärken umsetzen, mit Richtlinien/Information bis hin zu Ge- und Verboten. Siehe hierzu auch die «Regulierungspyramide» in Anhang D (Kapitel 7). Die Massnahmen können z.T. auch kombiniert werden.

In der folgenden Abbildung 4 sind die Massnahmen zur Stickstoffelimination sowie die möglichen Instrumente (in den Spalten) zu deren Umsetzung aufgeführt.

Abbildung 4: Massnahmen zur Stickstoffelimination sowie Umsetzungsinstrumente

Massnahmen	Information		Planung		Finanzielle Mechanismen		Gebote / Verbote
	Schulung und Erfahrungsaustausch (N_U1)	VSA-Richtlinie zum Stand der Technik (N_U2)	Pflicht zur kantonalen Planung (N_U3)	Pflicht zur kantonalen Planung mit Zuteilung von Kontingenten (N_U4)	Erhöhung der Abwassergebühr (N_U5)	Finanzierungslösung (N_U6)	Gebote und Verbote (N_U7)
N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen	X	X	X	X	X	X	X
N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen	X	X	X	X	X	X	X

Grundsätzlich brauchen alle Massnahmen der öffentlichen Hand und damit alle Umsetzungsinstrumente eine Rechtsgrundlage (Verfassung, Gesetz, Verordnung und z.T. Kreditbeschlüsse). Daher ist die «Anpassung von Rechtsgrundlagen» bzw. «Gesetze» kein Instrument per se und deshalb in der Tabelle und in der Regulierungspyramide auch nicht aufgeführt. Welche rechtlichen Grundlagen angepasst oder allenfalls – insbesondere für neue Vorschriften (Gebote, Verbote) – neu geschaffen werden müssen, ist nicht Gegenstand der Auslegung.

2.3.1 Information / Schulung

N_U1: Schulung und Erfahrungsaustausch

Der VSA bietet für ARA-Betreiber Schulungen und Erfahrungsaustausche zu betrieblichen Optimierungsmöglichkeiten an, z.B. zur verstärkten saisonalen Stickstoffelimination. Von Schulung und Erfahrungsaustausch ist ein indirekter Effekt auf die N-Elimination zu erwarten, indem betriebliches und technisches Wissen weitergegeben wird.

N_U2: VSA-Richtlinie zum Stand der Technik

Der VSA hält in Publikationen und Fachtagungen fest, wie der Stand der Technik umgesetzt werden kann. Es handelt sich dabei um eine konsolidierte fachliche Einschätzung und bewährte Praxis. Auch bei diesem Instrument sind indirekte Wirkungen zu erwarten (Innovationsdiffusion), die allerdings davon abhängig sind, wie die gesetzlichen Anforderungen formuliert sind.

Fazit: Die Umsetzungsinstrumente im Bereich Information/Schulung sind als flankierende Instrumente wichtig, erzielen aber alleine keine direkte Wirkung.

2.3.2 Instrumente der Planung

N_U3: Pflicht zur kantonalen Planung

Alle Kantone werden zu einer kantonalen Planung verpflichtet. Im Rahmen der kantonalen Planung soll der weitere Ausbau der ARA zur Elimination von Stickstoff und Mikroverunreinigungen sowie die saisonale Stickstoffelimination in einer Gesamtbetrachtung geplant werden.

Damit die kantonale Planung auch umgesetzt wird, ist eine Rechtsgrundlage auf Bundesebene unabdingbar (eine freiwillige Variante wäre zwar denkbar, hätte aber erfahrungsgemäss wohl eine lückenhafte und verzögerte Umsetzung zur Folge). Folgende Eckpunkte wären denkbar:

- Die kantonale Planung muss nach einer vorgegebenen Frist beim Bund abgegeben werden. Der Bund hält Termine für die kantonale Planung und Umsetzung der Massnahmen fest.
- Zudem wird eine periodische Rapportierungspflicht an den Bund zum Stand der Umsetzung eingeführt, z.B. alle 5 Jahre.
- Es ist zu prüfen, ob sich der Bund an den Planungskosten finanziell beteiligen kann. Die Planungen sind zwar grundsätzlich Kantonsaufgabe, dienen aber auch einem übergeordneten Gesamtinteresse.

Dank der bundesrechtlich vorzuschreibenden kantonalen Planung werden die Massnahmen möglichst optimal auf die bereits laufenden Massnahmen abgestimmt.

Fazit: Eine Planungspflicht scheint ein sinnvolles Instrument.

N_U4: Pflicht zur kantonalen Planung mit Zuteilung von Kontingenten

Wie beim Instrument N_U3 werden alle Kantone zu einer kantonalen Planung verpflichtet. Im Rahmen der kantonalen Planung soll der weitere Ausbau der ARA zur Elimination von Stickstoff und Mikroverunreinigungen sowie die saisonale Stickstoffelimination in einer Gesamtbeurteilung geplant werden.

Im Unterschied zum Instrument N_U3 erhalten die Kantone Kontingente für die maximale Emission von Stickstoff und Mikroverunreinigungen, welche sie mittels ihrer Planungen und Massnahmen einhalten müssen. Die Kriterien für die Kontingente basieren auf der Grundwassernutzung bzw. dem Grundwasserschutz eines Kantons (Immissionsansatz) oder auf der Anzahl Einwohner/innen eines Kantons (Emissionsansatz). Die Aufteilung des Kontingents auf die Regionen bzw. die ARA obliegt dem Kanton.

- Wie beim Umsetzungsinstrument N_U3 muss die kantonale Planung nach einer vorgegebenen Frist beim Bund abgegeben werden. Sie hält die Umsetzung der Massnahmen fest.
- Die Kantone werden periodisch über den Stand der Umsetzung Bericht erstatten.
- Es ist zu prüfen, ob sich der Bund an den Planungskosten finanziell beteiligen kann.

Dank der kantonalen Planungen werden die Massnahmen möglichst optimal auf die bereits laufenden Massnahmen abgestimmt. Weiter werden mit der Zuteilung von Kontingenten die Bedürfnisse der einzelnen Kantone berücksichtigt.

Allerdings ist zu beachten, dass die Schweizer Abwasserbranche bisher wenig Erfahrung mit einer Aufteilung von Kontingenten hat. Verschiedene Fragen müssten noch geklärt werden, u.a. wie die Kontingente festgelegt werden, ob nur Emissionen aus ARA oder auch aus anderen Quellen einbezogen werden sollen, wie mit Einzugsgebieten umgegangen wird, welche die Kantonsgrenzen überschreiten. Zudem wäre wohl die Frage der Bestimmung und Aufteilung der Kontingente auf Kantone, Regionen und ARA umstritten und könnte als ungerecht wahrgenommen werden.

Fazit: Kontingente sind auf den ersten Blick ein interessanter Ansatz, jedoch wirft die Umsetzung viele heikle Fragen auf, so dass dieser Ansatz momentan nicht im Vordergrund stehen dürfte.

2.3.3 Finanzielle Mechanismen

Für die Finanzierung der Massnahmen gemäss Abschnitt 2.2 sind z.B. folgende zwei Mechanismen denkbar:

- **N_U5: Erhöhung der Abwassergebühr**

Die Verursacher von Stickstoff im Abwasser, d.h. die angeschlossenen Einwohner/innen der betroffenen ARA, finanzieren die zusätzlichen Kosten der Stickstoffelimination über eine

Erhöhung der jeweiligen Abwassergebühr. Der Zuschlag erfolgt i.d.R. auf der Verbrauchsgebühr: Die angeschlossenen Einwohner leisten einen finanziellen Beitrag an die Stickstoffelimination i.d.R. in Abhängigkeit des eingeleiteten Abwassers.⁸

- **N_U6: Finanzierungslösung**

Grundsätzlich können Bund und/oder Kantone Tätigkeiten, welche für die Öffentlichkeit von Bedeutung sind, finanziell unterstützen. Ein Beispiel dafür ist die Abgeltung von Massnahmen bei ausgewählten ARA zu Reduktion von Mikroverunreinigungen via Abwasserfonds bzw. -abgabe. Analog wäre auch denkbar, dass sich der Bund an Massnahmen zu einer weitergehenden Stickstoffelimination beteiligt. Ein solcher «Stickstoff-Fonds» würde z.B. analog zum Abwasserfonds durch eine Abgabe gespeisen, welche jährlich bei den ARA erhoben wird. Die Höhe der Abgabe richtet sich nach der Anzahl der an die ARA angeschlossenen Einwohner/innen. Grundsätzlich wäre auch eine direkte Abgeltung aus Bundesmitteln (ohne Fonds) denkbar, es drängt sich aber auf, eine analoge Lösung wie bei den Mikroverunreinigungen zu prüfen.

Bei der **Ausgestaltung** wären verschiedene Fragen zu klären, insbesondere:

- was als «weitergehende» Stickstoffelimination gilt
- welchen Anteil der Investitionen (oder allenfalls: welche Pauschale) als Abgeltung vorgesehen wird
- wer die Abgabe bezahlt bzw. von einer Zahlung befreit wird
- ob statt einer nach Einwohner/innen bemessenen Abgabe auch eine frachtabhängige Abgabe erwogen werden soll (was am Workshop als zu kompliziert erachtet wurde).

Bei der **Beurteilung** spielt es eine Rolle, wie stark man das Verursacherprinzip im Vergleich zum Solidaritätsgedanken gewichtet und wie weit man die Abgeltungen als Anreizinstrument einsetzen will. Man könnte argumentieren, dass bei der Stickstoffelimination ein Grossteil der ARA betroffen ist und daher kein Solidaritätsbeitrag («Quersubventionierung») nötig ist. Zudem muss bei der Abgeltung von Massnahmen beachtet werden, dass gewisse ARA die Massnahmen bereits umgesetzt haben, ohne eine Abgeltung erhalten zu haben. In dem Fall würde die Abgeltung der Massnahmen zu einer Ungleichbehandlung führen und ARA benachteiligen, welche bereits Massnahmen umgesetzt haben (beispielsweise verlangen viele Kantone bereits von sich aus Nitrifikation ohne Anforderungen in der GSchV). Durch eine Abgabebefreiung wäre dieser Nachteil allenfalls teilweise kompensierbar.

⁸ Die zusätzliche Stickstoffelimination führt zu höheren jährlichen Betriebskosten der ARA, welche von den angeschlossenen Gemeinden zu tragen sind. Diese überwälzen wiederum die Mehrkosten auf ihre Gebührenzahler. Der Kanton kann den Gemeinden jedoch i.d.R. nicht vorschreiben, wie sie die Mehrkosten in ihrem kommunalen Gebührenmodell zu berücksichtigen haben. Somit kann ohne zusätzliche Gesetzesgrundlage nur empfohlen werden, dass die Gemeinden den Zuschlag über die Verbrauchsgebühr weiterverrechnen. Hinweis zur Akzeptanz: Wenn eine ARA neue Massnahmen trifft, wird die Abwassergebühr automatisch erhöht. Wenn aber der Reinigungseffekt ohne eine gesetzliche Anforderung stark erhöht wird, ist eine Gebührenerhöhung oft umstritten.

Da die spezifischen Kosten pro Einwohner/in bzw. pro Abwassermenge mit zunehmender Anlagengrösse abnehmen, also kleine ARA höhere spezifische Kosten aufweisen, kann eine solidarische Finanzierungslösung diese Kostendifferenzen dämpfen (bei einem linearen Abgeltungssatz verbleiben den kleinen ARA allerdings höhere Restkosten). Ob dies erwünscht ist oder ob dies die Solidarität zu sehr strapaziert, ist eine politische Frage. Dabei ist darauf zu achten, dass der kostenseitige Anreiz für Zusammenschlüsse kleiner ineffizienter ARA resp. Anschlüsse an grössere ARA nicht unterlaufen wird.

Für eine Finanzierungslösung spricht der Anzeizeffekt, d.h. die Massnahmen werden eher auf Akzeptanz stossen und realisiert werden, wenn es Abgeltungen gibt.

Ausserdem besteht die Problematik, dass eine Verbesserung der Reinigungsleistung unter Umständen mit betrieblichen Mitteln ohne Investitionen erreicht werden könnte, aber Abgeltungen nur für Investitionen (allenfalls) vorgesehen wären, was zu einer Ungleichbehandlung und zu Fehlanreizen führen könnte.

Je nach Finanzierungsmechanismus müssen somit gesetzliche Anpassungen vorgenommen werden. Dabei ist zu beachten, dass eine Gesetzesanpassung längere Zeit beansprucht.⁹ Eine reine Erhöhung einer Abwassergebühr kann hingegen ohne Gesetzesanpassung umgesetzt werden.

Fazit: Die verschiedenen Finanzierungslösungen müssten vertieft werden. Die Beurteilung hängt wie erwähnt davon ab, wie stark man das Verursacherprinzip und wie stark den Solidaritätsgedanken und die Anreizwirkung von Abgeltungen gewichtet. Aus den erwähnten Gründen ist eine Mitfinanzierung aus dem Abwasserfonds zwar nicht auszuschliessen, aber eher kritisch zu beurteilen.

2.3.4 N_U7 Gebote/Verbote

Die Massnahmen N1 und N2 können direkt über Gebote oder Verbote (Vorschriften) umgesetzt werden, die in der Gewässerschutzverordnung und allenfalls über eine Anpassung des GSchG und/oder in konkreten Verfügungen festzuhalten wären.

2.3.5 Fazit zu den Umsetzungsinstrumenten

Das Zusammenspiel der verschiedenen Umsetzungsinstrumente (Information, Planung bzw. Planungspflicht, finanzielle Mechanismen und Gebote/Verbote) ist im Rahmen von späteren Konkretisierungsarbeiten zu vertiefen. Grundsätzlich dürfte eine geschickte Kombination aller Instrumente die Akzeptanz und die Umsetzung begünstigen.

⁹ Wenn auf der ARA Investitionen nötig sind, kann die Umsetzung viel Zeit beanspruchen. In dem Fall kann die Umsetzung der Investitionen gleich lange wie die Einführung und Umsetzung einer Fondlösung dauern.

2.4 Grobbeurteilung

Gemäss Auftrag werden nur die wichtigsten Auswirkungen der beiden Massnahmen N1 und N2 grob beurteilt. Für eine VOB¹⁰ müssten diese noch ergänzt und vertieft werden.

2.4.1 Einleitung: Wichtigste Eckpunkte der Massnahmen

Erste Schätzungen für eine optimale Umsetzung der in Abschnitt 2.2 aufgeführten Massnahmen ergeben folgende Eckwerte.

Abbildung 5: Eckpunkte der Massnahmen zur Stickstoffelimination¹¹

	N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen	N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen
Anzahl betroffene ARA:	253 mittelgrosse und grosse ARA (>10'000 EW _{CSB,dim})	320 «kleinere» ARA (<10'000 EW _{CSB,dim}) ¹²
Angeschlossene Einwohner/innen:	7.9 Mio. Einwohner/innen	0.5 Mio. Einwohner/innen
Wirkung/Stickstoffelimination		
Zusätzliche Elimination:	12 bis 22%	1 bis 2%
Gesamtschweizerische Elimination:	62 bis 72%	51 bis 52%
		(Total N1 und N2: 63 bis 74%)
Investitionskosten:	1.5 bis 2.8 Mrd. CHF	0.3 bis 0.6 Mrd. CHF
Erwarteter Abschluss:	2050 (Umsetzung: ca. 25 Jahre)	2050 (Umsetzung: ca. 25 Jahre)

Anmerkung: Die Massnahme N1 kann separat angewendet werden oder gemeinsam mit der ergänzenden Massnahme N2.

Durch die Umsetzung der beiden Massnahmen wird die gesamtschweizerische Stickstoffelimination erhöht. Zudem wird eine ganzjährige stabile Nitrifikation und eine Teil-Denitrifikation von kleinen ARA erreicht.

Die Kostenschätzung der FHNW¹³ basiert auf den bereits verbauten Beckenvolumen und den aktuellen Stickstoffeliminationen (Stand 2020). Die Investitionskosten für die zusätzlichen Beckenvolumina wurden mit Hilfe von einer Kostenkurve bestimmt, welche die spezifischen Investitionskosten pro m³ Beckenvolumen in Abhängigkeit vom gebauten Beckenvolumen darstellt.

¹⁰ Eine VOB¹⁰ ist eine volkswirtschaftliche Beurteilung von umweltpolitischen Massnahmen und Zielen. Die VOB¹⁰ ist eine umweltspezifische Umsetzung der Regulierungsfolgeabschätzung (RFA). Meistens erfüllt eine VOB¹⁰ die Anforderungen einer Nachhaltigkeitsbeurteilung (Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU (2020))

¹¹ Basis FHNW (Thomann; Hochstrat; Jovanovic; u. a. (2022b))

¹² Anzahl ARA <10'000 EW_{CSB,dim} mit C-Abbau und Teil-Nitrifikation

¹³ Thomann; Hochstrat; Jovanovic; u. a. (2022b)

In Abbildung 5 sind für die Massnahme N1 die von der FHNW ermittelten Investitionskosten von 2.1 Mrd. CHF mit einem Bereich von $\pm 30\%$ dargestellt. Der Kostenberechnung liegt die Annahme zu Grunde, dass eine Stickstoffelimination von $\geq 70\%$ gefordert wird.

Von der FHNW wurden Investitionskosten für eine flächendeckende, vollständige Nitrifikation von 286 Mio. CHF ermittelt. Für eine Teil-Denitrifikation mit zusätzlichen Investitionen für Installationen werden auf die ermittelten Investitionskosten ein Zuschlag von 50% dazugerechnet. Die ermittelten Investitionskosten von 430 Mio. CHF werden mit einem Bereich von $\pm 30\%$ angegeben. Bei der Kostenberechnung wird davon ausgegangen, dass alle ARA den Ammonium Grenzwert (2 mg N/l im 90%-Quantil) und Nitrit Richtwert (0.3mgN/l im 90%-Quantil) einhalten müssen.

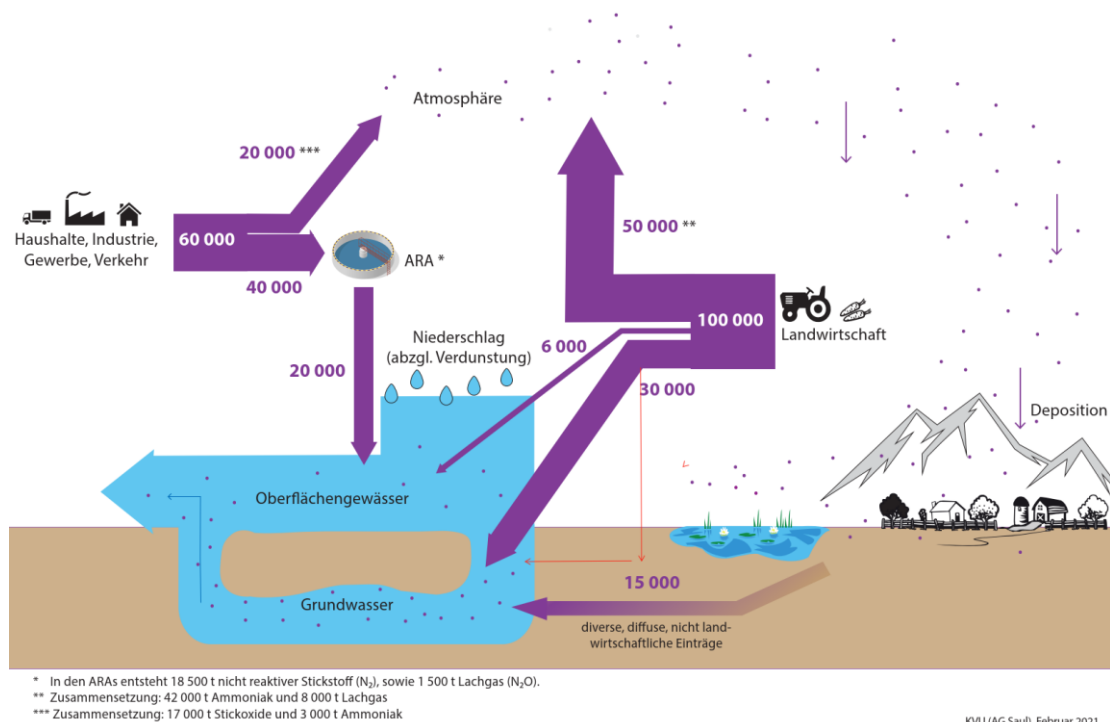
2.4.2 Umwelt

Der Stickstoff in den Nahrungsmitteln wird von den Menschen ausgeschieden und gelangt in die Abwasserreinigungsanlagen. Der Stickstoff-Zulauf in Schweizer ARA beträgt rund 40'000 Tonnen pro Jahr. Hiervon eliminieren die ARA ca. die Hälfte des Stickstoffs aus dem Abwasser. Die restlichen ca. 20'000 Tonnen Stickstoff pro Jahr gelangen hauptsächlich als Nitrat in die Gewässer (siehe folgende Abbildung 6).¹⁴ Zudem gelangen ca. 1'500 Tonnen Stickstoff als Lachgas in die Atmosphäre.¹⁵ Dies entspricht ca. 1.4 % der Schweizer Treibhausgasemissionen.

¹⁴ Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter KVV (2021) sowie Bundesamt für Umwelt BAFU (2014)

¹⁵ Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter KVV (2021) sowie Bundesamt für Umwelt BAFU (2014)

Abbildung 6: Flüsse der reaktiven Stickstoffverbindungen in t N/a¹⁴



Im Hinblick auf die Stickstoffverbindungen, welche aus ARA stammen, ergeben sich insbesondere folgende Auswirkungen auf die Umwelt:¹⁶

- **Gewässer:** Stickstoffverbindungen im Gewässer können insbesondere zu nachteiligen Wirkungen für Wasserlebewesen führen. Zudem kann Ammonium und Nitrit bei Anlagen ohne Nitrifikation das Trinkwasser belasten.
- **Lachgas:** Auf Abwasserreinigungsanlagen wird während des biologischen Stickstoffabbaus Lachgas gebildet. Lachgas ist ein hochwirksames Treibhausgas (265 kgCO₂-eq/kgN₂O), das dem Klima einheizt und die lebenswichtige Ozonschicht angreift.

Die Abbildung 6 zeigt, dass knapp 30 % der Stickstoffeinträge in Gewässer von ARA stammt. Der Grossteil der Stickstoffeinträge in das Gewässer kommt jedoch von der Landwirtschaft sowie aus diversen, diffusen, nicht landwirtschaftlichen Einträgen.

Mit weiteren Massnahmen zur Stickstoffelimination auf ARA (siehe Abschnitt 2.2) ergeben sich positive Auswirkungen auf die Umwelt. Der Nutzen wird im Folgenden zusammengefasst:

¹⁶ Strähli; Ort; Siegrist; u. a. (2013); INFRAS; Schwank Earthpartner (2013) sowie BAFU (2014), Stickstoff, vom Segen zum Umweltproblem: https://www.youtube.com/watch?v=eN_R7RqMOq8 (05.05.2022)

a) N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen

- Stickstoffelimination verbessern: Eine stabile Nitrifikation und insbesondere Denitrifikation sind wichtige Treiber, um die Stickstoffelimination zu verbessern. Mit dem jeweils geeigneten Ansatz kann im Vergleich zu heute zusätzlich ca. 12 bis 22%¹⁷ des Stickstoffs eliminiert werden, sodass eine Gesamtreduktion von ca. 62 bis 72 % erreicht wird.
- Reduktion von Ammonium und Ammoniak: Eine stabile Nitrifikation ist Voraussetzung für eine Stickstoffelimination nach dem Stand der Technik. Die stabile Nitrifikation führt lokal zu einer Reduktion des Ammonium- und Ammoniakgehalts im Gewässer. Dadurch wird eine unkontrollierte Nitrifikation und damit verbunden eine Sauerstoffarmut im Gewässer verhindert.
- Reduktion der Lachgas-Emissionen: Eine stabile, ganzjährige Nitrifikation und Denitrifikation reduziert die Produktion von Lachgas substantiell, was einen positiven Einfluss auf den Treibhausgashaushalt zur Folge hat.¹⁸
- Reduktion von Nitrat: Der Ausbau der ARA mit einer Denitrifikation oder die Optimierung der bestehenden Denitrifikation (z.B. int. Rezirkulation) reduziert die Nitratemission in das Gewässer. Bei Gewässern, welche mit dem Grundwasser verbunden sind, reduziert sich der Nitratreintrag in das Grundwasser.
- Regionalisierung fördern: Wie bei der Elimination von Mikroverunreinigungen ist ein gezielter Zusammenschluss von kleinen, allenfalls ineffizienten Anlagen zu grossen Anlagen, die dem Stand der Technik entsprechen und optimal betrieben werden können, technisch und wirtschaftlich sinnvoll. Jedoch sind bei Regionalisierungen ebenfalls ökologische Auswirkungen zu beachten, wie zum Beispiel die Restwassermengen in kleineren Gewässern, und deshalb fallweise zu beurteilen.
- Stromverbrauch: Zusätzlicher Strom wird für die Umsetzung der stabilen Nitrifikation benötigt und entsprechend sind Auswirkungen auf die Umwelt vorhanden.

b) N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen

- Stickstoffelimination verbessern: Mit dieser Massnahme sollen die kleine ARA ebenfalls ganzjährig stabil nitrifizieren. Falls 320 kleine ARAs ihren Betrieb optimieren oder ausbauen, rechnen wir mit einer zusätzlichen Stickstoffelimination von ca. 1 bis 2%.
- Reduktion Ammonium und Ammoniak: Die stabile Nitrifikation führt lokal zu einer Reduktion des Ammonium- und Ammoniakgehalts im Gewässer. Dadurch wird eine unkontrollierte Nitrifikation und damit verbunden eine Sauerstoffarmut im Gewässer verhindert.
- Reduktion von Lachgasemissionen: Eine stabile Nitrifikation hat einen positiven Einfluss auf die Lachgasemissionen. Zur Reduktion von Lachgasemissionen wird eine Denitrifikation benötigt.

¹⁷ Die von der FHNW ermittelte Stickstoffelimination von 17.3% wird mit einem Bereich von $\pm 30\%$ angegeben.

¹⁸ Gruber; Niederhorfer; Bürgmann; u. a. (2022)

- Reduktion von Nitrat: Die Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen hat nur eine geringe Auswirkung auf die Reduktion von Nitrat. Zur Reduktion von Nitrat wird eine Denitrifikation benötigt.
- Regionalisierung fördern: siehe N1
- Stromverbrauch: Der Stromverbrauch erhöht sich für die Nitrifikation. Durch eine Denitrifikation kann der zusätzliche Stromverbrauch reduziert werden.

2.4.3 Wirtschaft und Haushalte

a) N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen

Die Massnahme hat Auswirkungen v.a. auf die ARA und die Haushalte:

- ARA:
 - Investitionskosten: 253 mittelgrosse und grosse ARA ($>10'000 \text{ EW}_{\text{CSB,dim}}$) müssen den Stand der Technik umsetzen, um die Stickstoffelimination weiter zu verbessern. Der Stand der Technik ist in Publikationen des VSA und der DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) festgehalten. Hierfür ist je nach ARA wie oben beschrieben das Volumen der biologischen Stufe zu erweitern bzw. zusätzliche Beckenvolumen zu bauen oder eine zusätzliche Behandlung des Faulwassers vorzusehen. Die Investitionen (Bau zusätzlicher Kapazitäten an Belebungsbecken, Erweiterung des Belüftungssystems, Rührwerke und die benötigte Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (EMSR) sowie Investitionen in die separate Behandlung des Faulwassers) sind mit Kosten von insgesamt ca. 1.5 bis 2.8 Mrd. CHF verbunden. Bei ca. 7.9 Mio. betroffenen angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner liegen die Investitionskosten bei 190-350 CHF pro Eang.
 - Betriebs- und Unterhaltskosten: Die bessere Stickstoffelimination sowie die Faulwasserbehandlung sind mit höheren Energiekosten für die Belüftung und einem zusätzlichen Unterhaltsaufwand verbunden. Andererseits führt die Denitrifikation zu einer verbesserten Energiebilanz. Wir gehen gesamthaft von zusätzlichen Betriebs- und Unterhaltskosten von jährlich ca. 36 bis 66 Mio. CHF/a¹⁹ aus. Bei ca. 7.9 Mio. betroffenen angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner liegen die Betriebskosten bei 5-8 CHF pro Eang. Falls für die Denitrifikation eine externe Kohlenstoffquelle notwendig ist, hätte dies zusätzliche Kosten in unbekannter Höhe zur Folge. Im Moment ist jedoch davon auszugehen, dass die Verwendung von zusätzlichen Kohlenstoffquellen nur in Einzelfällen erforderlich sein wird.
- Grosseinleiter: Der Stickstoffgehalt ist stark von häuslichem Abwasser geprägt. Grosseinleiter sind deshalb in der Regel nicht betroffen. Falls in Einzelfällen Grosseinleiter von der

¹⁹ Die von der FHNW ermittelten Betriebskosten von 40 Mio. CHF/a werden mit einem Bereich von $\pm 30\%$ angegeben. Die Betriebskosten entsprechen 2.5% der Investitionskosten.

Massnahme betroffen sind, müssen sie sich an den Stand der Technik gemäss dem Regelwerk des VSA zu Grosseinleiter halten, wo die Stickstoffelimination bereits erläutert ist. Es gilt das Verursacherprinzip, weshalb die Grosseinleiter allfällige Mehrkosten selber tragen.

- Haushalte: Die Mehrkosten der ARA werden den Haushalten weiterverrechnet. Die Höhe der zusätzlichen Kosten für die Haushalte hängt davon ab, ob und wie sich der Bund an den Investitionen beteiligt:
 - Falls eine Fonds-Lösung und Bundes-Beteiligung an den Investitionskosten analog zum Abwasserfonds eingeführt werden, dürfte die (zusätzliche) Abgabe ca. 11 bis 23 CHF pro Einwohner/in betragen.
 - Falls die Mehrkosten über eine Erhöhung der Abwassergebühr weiterverrechnet werden, gehen wir für die betroffenen rund 7.9 Mio. Einwohner/innen von einer höheren Abwassergebühr von ca. 15 bis 29 CHF pro Jahr aus. Je nach gewähltem Ansatz kann diese Zahl für eine konkrete ARA deutlich abweichen.

b) N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen

Die ganzjährige Nitrifikation betrifft alle ARA kleiner 10'000 EW_{CSB,dim.}

- Für die ARA rechnen wir mit folgenden Auswirkungen:
 - Investitionskosten: Je nach ARA ist es möglich, eine ganzjährige stabile Nitrifikation mit Optimierungen im Bestand zu erreichen. In diesem Fall kann es sinnvoll sein, in eine bessere Messtechnik oder Steuerung und Regelung zu investieren. Bei den anderen ARA ist eine stabile Nitrifikation nur nach einem Ausbau möglich. Daher gehen wir von einmaligen Kosten von insgesamt ca. 0.3 bis 0.6 Mrd. CHF für Ausbau, Ausbildung, Anpassung der Steuerung oder Regelung, ERFA²⁰ etc. aus. Bei ca. 0.5 Mio. betroffenen angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner liegen die Investitionskosten bei 600-1'100 CHF pro Eing.
 - Betriebs- und Unterhaltskosten: Eine ganzjährige Nitrifikation erfordert einen aufmerksamen Betrieb. Es können zusätzliche Unterhaltskosten von 7 bis 14 Mio. CHF/a für den Betrieb, die Messtechnik, etc. anfallen.
- Grosseinleiter: Grosseinleiter sind von der Massnahme kaum betroffen. Falls in Einzelfällen Grosseinleiter betroffen sind, gilt ein Vorgehen gemäss VSA-Regelwerk.
- Haushalte: Je nach konkreten Verhältnissen und je nach Finanzierungslösung können die zusätzlichen Investitionskosten zu deutlich höheren Gebühren von ca. 24 bis 45 CHF pro Jahr für die Haushalte führen.

²⁰ ERFA - Erfahrungsaustausch

c) Zusammenzug der Kostenschätzungen

Wir rechnen mit folgenden Kosten für die Umsetzung der genannten Massnahmen (siehe auch Abbildung 5).

Abbildung 7: Mehrkosten der Stickstoffelimination pro Einwohner

	Kosten	Kosten pro Einwohner/in
Investitionskosten		
N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen	1.5 - 2.8 Mrd. CHF	190 - 350 CHF pro Eang
N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen	0.3 - 0.6 Mrd. CHF	600 - 1'100 CHF pro Eang
Betriebskosten		
N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen	36- 66 Mio. CHF/a	5 - 8 CHF pro Eang pro Jahr
N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen	7 - 14 Mio. CHF/a	15 - 28 CHF pro Eang pro Jahr

2.4.4 Innovation

Die vorgeschlagenen Ansätze beziehen sich auf lange Umsetzungszeiträume (Jahre bis Jahrzehnte). Es sind Verfahren, welche in der Praxis Stand der Technik sind. Damit ist eine Abschätzung von Kosten, Aufwand und Wirkung möglich. Innovation in Form von neuer Technologie und Konzepte sollte allerdings explizit gefördert werden aufgrund der Langfristigkeit der Zielsetzung und des schweizweiten Umsetzungsperimeters. Innovation bietet die Chance, den Stand der Technik weiterzuentwickeln und dadurch die Umsetzung zukünftig veralteter Lösungen zu vermeiden.

Die Massnahme kann auch Impulse für Innovationen bieten, wie z.B.:

- Herstellung von Stickstoff- und Phosphordünger, wodurch die Kreisläufe geschlossen werden können. Es gibt bereits verschiedene Verfahren zur Rückgewinnung aus Abwasser ("End-of-Pipe"). Alternativ können die Stoffe vor Vermischung mit Abwasser entfernt werden (Verfahren an der Quelle durch Stoffstromseparierung).
- Urinseparation: Zur Elimination von Mikroverunreinigungen sowie zur Elimination von Stickstoff werden in Immobilien die häuslichen Sanitärinstallationen auf stoffstromseparierende Systeme umgestellt. Mikroverunreinigungen, Phosphor und Stickstoff würden bereits dezentral an der Entstehungsquelle vor Vermischung mit dem restlichen Abwasser entfernt.
- Grauwasserseparation: Grauwasser aus Waschmaschine, Dusche, Geschirrspüler und Lavabo ist weniger stark belastet als kommunales Abwasser und enthält den Hauptanteil des im häuslichen Abwasser enthaltenen Wärme. Trennt man Grauwasser an der Quelle ergeben sich folgende Potentiale: Wärmerückgewinnung, Wiederverwendung und dadurch Substitution / Einsparung von Trinkwasser (je nach Reinigungsgrad für WC-Spülung, Waschmaschine und Bewässerung). Ausserdem verbessert sich leicht das

Verdünnungsverhältnis des kommunalen Abwassers, das zur ARA zugeführt wird, was verfahrenstechnische Vorteile mit sich bringt.

- Dynamische Regelung der ARA an variable Zulaufzusammensetzung und Frachten kann erhöhte Stickstoffelimination bei gleichzeitiger Reduktion von Energiebedarf und Lachgasemissionen ermöglichen.
- Eine Reihe von neuen Verfahren (z.B. mit granulärem Schlamm, mit Biofilmen, mit Kombination von Biofilmen und Belebtschlamm) haben das Potential, mehr Reinigung in vorhandenem Beckenvolumen zu ermöglichen.

2.4.5 Öffentliche Hand (Bund, Kantone, Gemeinden)

Der Aufwand für die öffentliche Hand hängt u.a. von den gewählten Umsetzungsinstrumenten ab.

a) N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen

Die öffentliche Hand ist von der Massnahme wie folgt betroffen:

- Bund:
 - Der Bund prüft die kantonalen Planungen.
 - Je nach Finanzierungsmodell beteiligt sich der Bund an den Investitionskosten, wofür es einer Gesetzesanpassung bedarf. Zudem wäre anschliessend der Vollzug sicherzustellen (ähnlich wie bei der aktuellen Abwasserabgabe).
 - Für den Bund entsteht somit ein relativ geringer Mehraufwand durch den Vollzug.
- Kantone:
 - Die Kantone werden zur kantonalen Planung verpflichtet, bei der sie den weiteren Ausbau der ARA zur Elimination von Stickstoff und Mikroverunreinigungen sowie die saisonale Stickstoffelimination in einer Gesamtbetrachtung aufzeigen müssen.
 - Die Überprüfung der Umsetzung der Massnahme kann im Rahmen der bestehenden Kontrollen durchgeführt werden und bedeutet für die Kantone deshalb keinen zusätzlichen Aufwand.
 - Die Kantone haben meist eine wichtige Impuls- und Koordinationsfunktion bei den Bauprojekten.
 - Insgesamt führen die Massnahmen zu einem spürbaren Mehraufwand insbesondere durch die Planung.
- Gemeinden
 - Soweit es sich um Gemeinde-ARAs handelt, haben die Gemeinden bei der Umsetzung der Bauprojekte und auch der Gebührenanpassungen eine zentrale Rolle, ebenso als Beteiligte in den ARA-Verbänden.

b) N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen

- Bund: Eine ganzjährige Nitrifikation bei kleineren ARA umzusetzen bedeutet für den Bund keinen Aufwand.
- Kantone: Die Kantone führen bereits heute jährlich Kontrollen auf den ARA durch und übernehmen für ihre Vollzugstätigkeit in der Regel die Eigenkontrolle der ARA. Eine Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen kann im Rahmen der bestehenden Kontrollen durchgeführt werden und bedeutet für die Kantone deshalb keinen zusätzlichen Aufwand. Die Kantone haben zudem wie bei N1 meist eine wichtige Impuls- und Koordinationsfunktion bei den Bauprojekten.
- Gemeinden: Analog zu N1

2.5 Fazit und Empfehlung

Um die in der Motion 20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen» geforderte Stickstoffreduktion zu erreichen, wird empfohlen, beide Massnahmen «Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend anpassen» und «Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen » umzusetzen. Die Umsetzung der beiden Massnahmen ist kein «Entweder-oder», sondern «Sowohl-als-auch». Damit werden alle ARA in die Pflicht genommen, ihren Beitrag zur Reduktion der Stickstoffeinträge zu leisten. Aus einer Kosten-Nutzen-Sicht ist allerdings die Massnahme N1 deutlich effizienter.

Im Vergleich zu heute könnte mit einer Kombination von beiden Massnahmen die Stickstoffelimination um 13% bis 24% erhöht werden, sodass insgesamt eine Stickstoffelimination von ca. 63% bis 74% resultieren würde. Die Grobbeurteilung zeigt, dass insbesondere die Umsetzung des Stands der Technik (N1) wichtig ist, um die Stickstoffelimination zu verbessern. Die lange Umsetzungszeit bietet dabei die Chance, durch Innovationen den Stand der Technik weiterzuentwickeln und anzuwenden.

Für eine Umsetzung sind noch zahlreiche Fragen zu klären, unter anderem, ob es eine Finanzierungslösung durch den Bund geben soll.

3 Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen

3.1 Überblick

Kläranlagen an belasteten Gewässern müssen bis Ende 2040 eine zusätzliche Reinigungsstufe gegen Spurenstoffe (Mikroverunreinigungen) einbauen. Von dieser Massnahme sind rund 180 bis 220 von den insgesamt 737 Kläranlagen betroffen.²¹ Trotz hohem Ausbaustandard der Abwasserreinigung in der Schweiz besteht auch betreffend Elimination von Mikroverunreinigungen nach wie vor Verbesserungspotenzial: 2020 wurden in der Gewässerschutzverordnung GSchV neue numerische Anforderungen an die Wasserqualität eingeführt, u. a. auch für Arzneimittelwirkstoffe. Mit den heute vorgesehenen Massnahmen zum Ausbau der ARA werden nicht an allen ARA-Einleitstellen die numerischen Anforderungen an die Qualität der Fliessgewässer erfüllt.

Mit dem Ziel, die Gewässerbelastung mit Mikroverunreinigungen weiter zu verringern, verlangen National- und Ständerat mit der Motion 20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen für alle Abwasserreinigungsanlagen», dass auch mittlere und kleinere ARA saniert werden.²² Die Motion wurde im Juni 2021 vom Zweitrat angenommen mit der Präzisierung, dass nur ARA, deren Ausleitungen Grenzwertüberschreitungen zur Folge haben, betroffen sind und nur diese die Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigung umsetzen müssen. Dieser Vorschlag wurde vom Nationalrat am 30.11.2021 angenommen. Damit eine gute Wasserqualität der Fliessgewässer gewährleistet werden kann, müssen zwischen 180 und 220 ARA zusätzlich ausgebaut werden.

Im Folgenden werden Massnahmen für eine bessere Elimination von Mikroverunreinigungen beschrieben:

- Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang: Abschnitt 3.3 (als MV1 bezeichnet)
- Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA: Abschnitt 3.4 (MV2)

Da die Wirkungen der Massnahmen auf die Umwelt im Grundsatz dieselben sind, erfolgt in Abschnitt 3.2 eine generelle Ausführung zu den Auswirkungen auf die Umwelt.

3.2 Generelle Auswirkungen auf die Umwelt

In der Schweiz sind über 30'000 synthetische organische Stoffe täglich in Gebrauch, wie z.B. Arzneimittel, Körperpflege- und Reinigungsmittel, Pestizide usw. Viele gelangen über das kommunale Abwasser oder diffuse Einträge, wie z.B. Landwirtschaft oder Strassenverkehr, in die

²¹ Bundesamt für Umwelt BAFU (2021) & Thomann; Hochstrat; Jovanovic; u. a. (2022a)

²² Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (2021)

Gewässer: Etwa 60 % der Mikroverunreinigungen gelangen via der ARA (stammen aus Haushalt, Industrie und Gewerbe) in die Gewässer. Die restlichen ca. 40 % der Mikroverunreinigungen kommen aus der Landwirtschaft.²³

Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser werden kontinuierlich in die Gewässer eingeleitet und belasten Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen im Gewässer entsprechend permanent. Diese Stoffe können in Gewässern schon in tiefen Konzentrationen nachteilige Wirkungen haben:²⁴

- Wasserlebewesen: Zu den negativen Effekten von Mikroverunreinigungen zählen z.B.:
 - Stoffe mit herbizider Wirkung (z.B. in Algenschutzmitteln in Fassadenanstrichen oder Dachfolien) hemmen die Photosynthese von Algen.
 - Insektizide schädigen das Nervensystem von Wassertieren.
 - Hormonaktive Stoffe (z.B. Medikamentenrückstände im häuslichen Abwasser) beeinträchtigen die Fortpflanzung von Fischen und anderen Lebewesen (z. B. Schnecken).
- Trinkwassergewinnung: Schwer abbaubare Verbindungen aus dem kommunalen Abwasser gelangen ins Grundwasser. Nach heutigen Erkenntnissen stellen sie für die Gesundheit der Menschen keine Gefahr dar. Allerdings bedeuten sie für die Trinkwasseraufbereitung eine zunehmende Herausforderung, da sich die Stoffe teilweise nicht mit einfachen Wasseraufbereitungsmethoden entfernen lassen.²⁵

Wie bereits erwähnt müssen aktuell rund 180 bis 220 von den insgesamt 737 Abwasserreinigungsanlagen in der Schweiz bis Ende 2040 eine zusätzliche Reinigungsstufe gegen Spurenstoffe einbauen. Bis 2040 wird somit rund 70% des Abwassers in der Schweiz in Anlagen behandelt, die Mikroverunreinigungen eliminieren.²⁶

Mit weiteren Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen in den Gewässern können die negativen Auswirkungen auf die aquatische Flora und Fauna sowie auf die Mikroorganismen reduziert werden.

3.3 MV1: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang

3.3.1 Beschrieb der Massnahme

Es sollen gezielt jene ARA ab 1'000 Eang ausgebaut werden, wo die numerischen Anforderungen (für Mikroverunreinigungen) gemäss Anhang 2 GSchV aufgrund von Einleitungen aus der ARA überschritten werden. Diese Massnahme zielt auf ARA mit mehr als 1'000 angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohnern ab, weil deren Anteil an den angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner und somit auch an der MV-Fracht rund 97% ausmacht. Von

²³ Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (2021)

²⁴ EAWAG (2012)

²⁵ Abegglen (2017)

²⁶ Bundesamt für Umwelt BAFU (2021)

dieser Massnahme betroffen sind rund 120 bis 150 ARA > 1'000 Eang. Mit dieser Massnahme werden fallweise Überschreitungen der numerischen Anforderungen im Gewässer bei ARA <1'000 Eang in Kauf genommen.

Für die gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen sind folgende drei Verfahren oder deren Kombinationen möglich: Oxidation mit Ozon, Adsorption an Pulveraktivkohle (PAK) und Adsorption an granulierter Aktivkohle (GAK). Die Verfahren werden ausführlich im Anhang B (Kapitel 5) beschrieben.

3.3.2 Mögliche Umsetzungsinstrumente

In der folgenden Tabelle sind die Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen sowie Umsetzungsinstrumente (in den Spalten) aufgeführt.

Abbildung 8: Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen sowie Umsetzungsinstrumente

	Info	Planung	Finanzielle Mechanismen		Gebote
	Schulung und Erfahrungsaustausch (MV_U5)	Kantonale Planung (MV_U2)	Finanzierungslösung (MV_U1)	Anpassung der Finanzierungsinstrumente (MV_U4)	Vorschrift (MV_U3)
Massnahmen					
MV1: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang		X	X		
MV2: Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA	X			X	X

Grundsätzlich brauchen alle Massnahmen der öffentlichen Hand und damit alle Umsetzungsinstrumente eine Rechtsgrundlage (Verfassung, Gesetz, Verordnung und z.T. Kreditbeschlüsse). Daher ist die **«Anpassung von Rechtsgrundlagen»** bzw. «Gesetze» kein Instrument per se und deshalb in der Tabelle und in der Regulierungspyramide auch nicht aufgeführt. Welche rechtlichen Grundlagen angepasst oder allenfalls – insbesondere für neue Vorschriften (Gebote, Verbote) – neu geschaffen werden müssen, ist nicht Gegenstand der Auslegeordnung.

Um die Massnahme MV1 zur gezielten Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang umzusetzen sind verschiedene Finanzierungslösungen denkbar. Nachfolgend werden in Abschnitt 3.3.2a) zwei Varianten einer Finanzierungslösung – namentlich «weiter wie bisher» und

«alle beteiligen sich» – sowie das Umsetzungsinstrument der kantonalen Planung beschrieben.

a) **Finanzielle Mechanismen**

MV_U1: Finanzierungslösung

Aktuell werden ARA, die gemäss GSchV eine zusätzliche Reinigungsstufe gegen Mikroverunreinigungen bauen müssen, vom Bund bei der Finanzierung der Erstinvestition unterstützt. Um die Finanzierung sicherzustellen, wird seit Anfang 2016 gesamtschweizerisch eine Abwasserabgabe von jährlich 9 CHF pro Einwohner/in erhoben. Nachdem eine ARA Massnahmen zur Reduktion der Mikroverunreinigungen getroffen hat, ist sie von der Abgabe befreit. Diese Entlastung wird mit den höheren Betriebskosten der ARA nach dem Ausbau begründet. Die Abwasserabgabe soll spätestens Ende 2040 wieder entfallen. Mit Art. 60b des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) wurde die notwendige gesetzliche Grundlage für die Erhebung der Abwasserabgabe geschaffen.

Entsprechend der bisherigen Regelung gehen wir für die folgende Beschreibung von der Annahme aus, dass sich der Bund an den Massnahmen zur Reduktion der Mikroverunreinigungen finanziell beteiligen wird. Für die Finanzierung bedarf es einer Anpassung der Abwasserabgabe.

Eine Ausweitung des Ausbaus zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf weitere ARA und die Anpassung der Finanzierungslösung wird höchstwahrscheinlich zur Folge haben, dass das Gewässerschutzgesetz sowie die Gewässerschutzverordnung anzupassen sind.

Nachfolgend werden zwei mögliche Varianten einer Finanzierungslösung beschrieben: Die genaue Ausgestaltung muss in einem detaillierten Projekt ausgearbeitet werden:

- 1) **«Weiter wie bisher»**: Die aktuelle Finanzierungslösung wird beibehalten. D.h., ARA, die aufgrund der aktuellen Gewässerschutzverordnung bereits Massnahmen ergriffen haben, bleiben weiterhin befreit. Es werden nur diejenigen ARA eine Abgabe bezahlen, die bisher noch keine Massnahmen umgesetzt haben. Sobald eine ARA Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umgesetzt hat, ist sie von der Abgabe befreit. Diese Variante hat folgende Auswirkungen:
 - Im Vergleich zu heute wird entweder der jährliche Abgabesatz erhöht oder die Dauer der Zahlung der Abgabe verlängert.
 - Die Abwasserabgabe wird nur bei den » ARA erhoben, die noch keine Massnahmen ergriffen haben. Da sich die Zahl dieser ARA bald deutlich vermindern dürfte, muss die Abgabe voraussichtlich relativ stark erhöht bzw. die Dauer verlängert werden.
- 2) **«Alle beteiligen sich»**: Alle ARA (auch bisher befreite) beteiligen sich finanziell an den neuen Anforderungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen und bezahlen eine Abwasserabgabe. D.h. auch ARA, die aufgrund der aktuellen Gewässerschutzverordnung be-

reits Massnahmen ergriffen haben, beteiligen sich an der Mitfinanzierung der neuen Anforderungen, allerdings mit einem tieferen Abgabesatz. Diese Varianten hat folgende Auswirkungen:

- ARA, die keine Massnahmen umgesetzt haben, bezahlen eine höhere Abwasserabgabe als heute und/oder bezahlen diese Abgabe länger, wobei die Erhöhung bzw. Verlängerung geringer ausfällt als in der ersten Variante, weil auch die sanierten ARAs mitfinanzieren.
- Sobald eine ARA Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen ergriffen hat, wird für sie die Abwasserabgabe reduziert, um die höheren Betriebskosten der ARA nach dem Ausbau zu berücksichtigen.

b) Instrumente der Planung

MV_U2: Kantonale Planung

Die Motion 20.4262 fordert explizit eine Planungspflicht: «Die Kantone sind zu verpflichten, dem Bund dazu innerhalb von fünf Jahren nach Inkrafttreten der entsprechenden Gesetzesvorschriften eine Planung des Ausbaus aller ARA mit Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen vorzulegen».

Eine solche strategische Planung ist zweckmässig und notwendig, analog zur ersten Phase der gezielten Elimination von Mikroverunreinigungen. Sie ist als Grundlage für die Leistung von Abgeltungen wichtig und besonders dann von Bedeutung, wenn Stickstoffelimination und Mikroverunreinigungen koordiniert angegangen werden sollen.

3.3.3 Grobbeurteilung

a) Einleitung: Wichtigste Eckpunkte der Massnahme

Erste Schätzungen für eine optimale Umsetzung der gezielten Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang ergeben folgende Eckwerte.

Abbildung 9: Eckpunkte der Massnahme «gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang»²⁷

MV1: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang	
Zusätzliche Anzahl betroffene ARA:	120 bis 150 ARA (> 1'000 Eang) ²⁸
Wirkung/Stickstoffelimination	
Anzahl Gewässerabschnitt nach Einleiten ohne Überschreitungen der numerischen Anforderungen:	< 120-150 Gewässerabschnitte
Investitionskosten:	0.5 Mrd. bis 0.7 Mrd. CHF
Betriebskosten:	6 Mio. CHF/a bis 30 Mio. CHF/a
Abwasserabgabe falls heutiges Abgeltungsmodell weitergeführt wird:	13-15 CHF pro Jahr und Einwohner/in
Erwarteter Abschluss:	2055 (Umsetzung: ca. 30 Jahre)

Die FHNW hat für die Kostenschätzung eine Kostenkurve verwendet, welche auf der Grundlage von einem Kostenmodell mit realisierten und als Vor- und Bauprojekt geplanten MV-Stufen basiert. Bei der Kostenschätzung wurden verschiedene Massnahmenkombinationen berücksichtigt, um die Investitionskosten von 0.5 Mrd. bis 0.7 Mrd. CHF zur Umsetzung der Motion zu ermitteln. Die ermittelten Betriebskosten basieren auf einer Kostenkurve von HBT.

b) Umwelt

Die Massnahme hat insbesondere folgende Wirkungen auf die Umwelt (siehe Abschnitt 3.2 für die generellen Auswirkungen von Mikroverunreinigungen auf die Umwelt):

- Mikroverunreinigungen: Mit der gezielten Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang werden weitere Gewässerabschnitte lokal von Mikroverunreinigungen befreit.
- Energie: Sowohl die Ozonung als auch die adsorptiven Verfahren benötigen zusätzliche Energie, wobei sich die Art der Energie je nach Verfahren unterscheidet.²⁹ Im Detail werden die Wirkungen für die einzelnen Verfahren im Anhang B (Kapitel 5) beschrieben:
- Anschluss an ARA:
 - Ein Anschluss an eine andere ARA führt während der Bauphase zu minimalen negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

²⁷ Basis FHNW

²⁸ 180 bis 220 ARA sind von den 737 ARA betroffen, Massnahmen zur gezielten Elimination von Mikroverunreinigungen umzusetzen. Von den 180 bis 220 betroffenen ARA sind ein Drittel kleiner 1'000 Eang. Zwei Drittel der betroffenen ARA (= 120 bis 150 ARA) sind grösser 1'000 Eang. Quelle: Thomann; Hochstrat; Jovanovic; u. a. (2022a)

²⁹ Hunziker Betatech; VSA; Ryser Ingenieure (2018)

- Die grössere ARA, an die angeschlossen wird, muss allenfalls eine MV-Stufe bauen oder ausbauen, was je nach Situation eine positive Auswirkung auf die Umwelt zur Folge hat (siehe oben).
- Mit einem Anschluss an eine andere ARA erfolgt der Ablauf des gereinigten Abwassers nicht mehr in das Gewässer in unmittelbarer Nähe der kleineren anschliessenden ARA. Folglich wird dieses Gewässer vom gereinigten Abwasser entlastet.
- Jedoch sind bei einem Anschluss ebenfalls ökologische Auswirkungen zu beachten, wie zum Beispiel die Restwassermengen in kleineren Gewässern, und deshalb fallweise zu beurteilen.

c) Wirtschaft und Haushalte

Folgende Akteure sind besonders von der Massnahme betroffen:

- **ARA, die keine Massnahmen umsetzen**, bezahlen im Vergleich zu heute einen höheren jährlichen Abgabesatz. Zudem wird die Dauer der Zahlung verlängert. Bei der Finanzierungsvariante «Weiter wie bisher» fällt der Abgabesatz höher aus als bei der Finanzierungsvariante «Alle beteiligen sich».
- Bei den **ARA, die bereits Massnahmen umgesetzt haben**, hängt die Betroffenheit von der Wahl der Finanzierungsvariante ab: Während die ARA mit der Variante «Weiter wie bisher» im Vergleich zu heute keinen zusätzlichen Aufwand haben, müssen sie sich bei der Variante «Alle beteiligen sich» ebenfalls an den neuen Massnahmen beteiligen (aber mit einem tieferen Abgabesatz).
- Die Massnahme führt bei den **ARA, die neu Massnahmen treffen**, zu Investitionskosten sowie höheren Betriebs- und Personalkosten:
 - Investitionskosten: Insgesamt rechnen wir für die Umsetzung der Massnahmen mit Investitionskosten von ca. 0.5 Mrd. bis 0.7 Mrd. CHF. Davon ausgehend, dass sich der Bund wiederum zu 75% an den Kosten beteiligt, resultieren für die ARA schweizweit Kosten von ca. 125 bis 175 Mio. CHF. In einigen Kantonen leisten auch die Kantone einen Beitrag an die Investitionskosten der ARA.
 - Betriebs- und Unterhaltskosten: Es ist mit höheren Betriebskosten zu rechnen. Je nach Verfahren betragen die Kosten 6 Mio. CHF/a bis 30 Mio. CHF/a. Für die Verfahren bedarf es zudem einen zusätzlichen Aufwand für die Analyse der Gewässer und die Durchführung von Stichproben. Im Vergleich zu den restlichen Betriebskosten sind diese Aufwendungen vernachlässigbar.
 - Zusammenschluss von ARA: Bei einem gezielten Zusammenschluss insbesondere von kleinen, allenfalls ineffizienten Anlagen mit grossen Anlagen, die dem Stand der Technik entsprechen und optimal betrieben werden, können die Betriebskosten insgesamt reduziert werden.
 - Jährlicher Abgabesatz: Die Höhe des jährlichen Abgabesatzes zuhanden des Bundes hängt davon ab, ob die ARA Massnahmen umgesetzt hat oder nicht. Solange die ARA

keine Massnahmen umsetzt, gilt ein Abgabesatz entsprechend «ARA, die keine Massnahmen umsetzen». Sobald die ARA Massnahmen ergriffen hat, gilt der Abgabesatz wie bei den «ARA, die bereits Massnahmen umgesetzt haben».

Schlussendlich werden die ARA die zusätzlichen Kosten indirekt über die angeschlossenen Gemeinden deren angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohnern über die Abwassergebühr weiterverrechnen.

- **Grosseinleiter:** Die Ausweitung der Anforderungen auf weitere Anlagen hat keine speziellen Auswirkungen für Grosseinleiter zur Folge, aber sie tragen in üblichen Kostenteilern die höheren Kosten auch anteilmässig mit.
- Die **Haushalte** werden aufgrund der Investitionskosten sowie höheren Betriebs- und Unterhaltskosten der ARA höhere Abwassergebühren haben. Je nach Finanzierungsvariante fällt die Belastung der Einwohner/innen unterschiedlich aus (siehe Abbildung 10).

Abbildung 10: Finanzielle Belastung der Haushalte im Vgl. zu heute

	Variante 1 «Weiter wie bisher»	Variante 2 «Alle beteiligen sich»
Einwohner/innen, die an Anlagen angeschlossenen sind, die <i>bereits Massnahmen umgesetzt</i> haben	Keine Auswirkungen (abgabebefreit)	Reduzierte Abwasserabgabe statt Befreiung
Einwohner/innen, die an Anlagen angeschlossenen sind, die bisher <i>keine Massnahmen umgesetzt</i> haben	Deutlich höhere finanzielle Belastung	höhere finanzielle Belastung als heute

d) Öffentliche Hand

Für die öffentliche Hand bedeutet die Massnahme folgende Auswirkungen unter der Annahme, dass weiterhin subventioniert wird:

- Bund:
 - Abgeltung der Investitionskosten: Der Bund beteiligt sich (verursacherfinanziert aus dem Abwasserfonds) zu 75% an den Massnahmen bzw. Erstinvestitionen zur Elimination von Mikroverunreinigungen.³⁰ Basierend auf der Annahme, dass sich die Investitionskosten insgesamt auf 0.5 Mrd. bis 0.7 Mrd. CHF belaufen, beträgt der Bundesanteil insgesamt 375 bis 525 Mio. CHF.
 - Prüfung der kantonalen Planungen: Der Bund prüft einmalig die kantonalen Planungen.
 - Fondsverwaltung: Ein Mehraufwand entsteht für den Bund insbesondere aufgrund der längeren Dauer der Bewirtschaftung.
 - Einnahmen: Jährliche Einnahmen aus der Abwasserabgabe der ARA.

³⁰ Bundesamt für Umwelt BAFU; Hunziker Betatech; Infraconcept (2016)

- Kantone:
 - Kantonale Planung: Die aktuelle Planung muss angepasst werden.
 - Finanzierung: Je nach Kanton werden Beiträge an die Investitionskosten der Elimination von Mikroverunreinigungen bezahlt, diese wären allenfalls den neuen Gegebenheiten anzupassen.
 - Die Kantone haben meist eine wichtige Impuls- und Koordinationsfunktion bei den Bauprojekten.
- Gemeinden
 - Soweit es sich um Gemeinde-ARAs handelt, haben die Gemeinden bei der Umsetzung der Bauprojekte und auch der Gebührenanpassungen eine zentrale Rolle, ebenso als Beteiligte in den ARA-Verbänden.

3.4 MV2: Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA

3.4.1 Beschrieb der Massnahme

Diese Massnahme wird ergänzend zur Massnahme MV1 zur Diskussion gestellt. Bei der ergänzenden Massnahme können die Kantone im Hinblick auf die Erfüllung der numerischen Anforderungen an die Gewässer, eine Verschärfung der Reinigungsleistung fordern, z.B. von 85% (statt den 80%). Eine Verschärfung der Reinigungsleistung muss bei allen 360 bis 400 MV-pflichtigen ARA (d.h. bei allen bereits betroffenen ARA (rund 180 ARA) und bei allen neu durch die MV-Motion betroffenen ARA (rund 180 bis 220 ARA)³¹ geprüft werden. Es ist je ARA und deren Einzugsgebiet sowie Oberflächengewässer im Einzelfall sorgfältig zu prüfen, ob eine Erhöhung der Reinigungsleistung Sinn ergibt.

Eine genau Aussage über die Anzahl ARA, bei welchen die numerischen Anforderungen im Gewässer nicht ausreichend eingehalten werden, ist nicht möglich. Modelhaft soll angenommen werden, dass bei rund einem Drittel der 360 bis 400 MV-pflichtigen ARA also bei 120 bis 135 ARA eine Erhöhung der Reinigungsleistung notwendig ist.

3.4.2 Mögliche Umsetzungsinstrumente

MV_U3: Vorschrift

Der Anhang 3.1 der GSchV fordert eine Reinigungsleistung von 80%. Es liegt in der Kompetenz der Kantone, punktuell Verschärfungen zu definieren, um die numerischen Anforderungen an die Wasserqualität zu erfüllen.

³¹ Im Gegensatz zur Massnahme MV1 wird nicht zwischen ARA grösser oder kleiner 1'000 Eang unterschieden.

MV_U4: Anpassung der Finanzierungsinstrumente

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob die Kosten für die Erhöhung der Reinigungsleistung von den Angeschlossenen (über Gebührenerhöhungen) bezahlt werden sollen, oder ob sich der Abwasserfonds an diesen Kosten beteiligen soll. Falls man die Verschärfungen als Kantonsaufgabe betrachtet, wäre eine Mitfinanzierung aus dem Abwasserfonds eher kritisch zu betrachten. Umgekehrt kann aus dem Solidaritätsgedanken, der dem gesamten Massnahmenpaket zugrunde liegt, auch eine Mitfinanzierung befürwortet werden.

Wir rechnen mit eher geringen Investitionskosten.³² Sollte dies zutreffen, könnte eine Mitfinanzierung mit einer geringen Erhöhung des Abgabesatzes und/oder einer Verlängerung der Abgabelaufzeit erreicht werden.

MV_U5: Schulung und Erfahrungsaustausch

Um die Akzeptanz bei den ARA-Betreibern zu erhöhen, könnten, z.B. durch den VSA, Erfahrungsaustausche und Schulungen durchgeführt sowie Praxisbeispiele aufbereitet werden. Dies wäre als flankierende Massnahme u.E. zweckmässig.

3.4.3 Grobbeurteilung**a) Einleitung: Wichtigste Eckpunkte der Massnahme**

Erste Schätzungen für eine optimale Umsetzung der Erhöhung der Reinigungsleistung bei bisher betroffenen ARA ergeben folgende Eckwerte.

³² Grundsätzlich gehen wir davon aus, dass der Grossteil der ARA die Anlagen so ausgebaut haben, dass die ARA ohne oder mit kleinen Investitionen die zusätzlichen Anforderungen erfüllen können. Bei der Ozonung sind Investitionen in einen zusätzlichen Ozongenerator mit grösseren Rohrleitungen und Massnahmen zur Restozonvernichtung denkbar. Ausserdem kann die Grösse des Sauerstofftanks ein limitierender Faktor sein. Bei PAK-Anlagen sind Investitionen in die Dosiereinrichtung und den Aktivkohlesilo möglich. Bei beiden Verfahren braucht es wohl auch Anpassungen bei der Messtechnik.

Abbildung 11: Eckpunkte der Massnahme «Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA»³³

MV2: Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA	
Anzahl betroffene ARA (modellhafte Annahme)	120-135 ARA
Wirkung/Stickstoffelimination	
Anzahl Gewässerabschnitt nach Einleiten ohne Überschreitungen der numerischen Anforderungen:	< 120-135 Gewässerabschnitte
Investitionskosten:	100 bis 200 Mio. CHF ³⁴
Betriebskosten:	0.4 bis 2 Mio. CHF
Abwasserabgabe falls heutiges Abgeltungsmodell weitergeführt wird:	Weiterhin 9 CHF pro Jahr und Einwohner/in, dafür längerer Zeithorizont
Erwarteter Abschluss:	2030 bis 2040 (Umsetzung: 5 bis 15 Jahre)

Die Anzahl betroffene ARA wurden modellhaft angenommen. Die Kosten basieren auf Schätzungen von HBT.

Umsetzung der Massnahme: Die Massnahme «Erhöhung der Reinigungsleistung bei den bisher betroffenen ARA» richtet sich an alle MV-pflichtigen ARA, bei denen numerische Überschreitungen im Gewässer vorkommen.

b) Umwelt

Die Massnahme «Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA» hat insbesondere folgende Wirkungen auf die Umwelt (siehe Abschnitt 3.2 für die generellen Auswirkungen von Mikroverunreinigung auf die Umwelt):

- Mikroverunreinigungen: Eine Erhöhung der Reinigungsleistung von 80 auf 85% bringt eine geringe Verbesserung für diejenigen Gewässerabschnitte, die bereits in der ersten Phase von Massnahmen profitiert haben. Schweizweit bedeutet die Massnahme keine grossen Verbesserungen für die Gewässer.
- Die Erhöhung der Reinigungsleistung bedarf im Vergleich zu heute je nach Verfahren eines grösseren Einsatzes von Ozon oder Aktivkohle mit den entsprechenden ökologischen Auswirkungen. Die Auswirkungen pro Verfahren sind in Kapitel 6 beschrieben.

Die positiven Auswirkungen auf die Umwelt sind aufgrund der leichten Erhöhung der Reinigungsleistung vergleichsweise gering.

³³ Schätzungen HBT

³⁴ Diese Kosten wurden von HBT grob abgeschätzt.

c) Wirtschaft und Haushalte

Es ist sorgfältig zu prüfen, welche Anlagen für die Umsetzung der Massnahme geeignet sind:

- **ARA, die noch keine Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umgesetzt haben**, werden ihre Anlagen entsprechend den neuen Anforderungen ausbauen. Bei der Umsetzung werden grössere Volumen benötigt. Es können keine Aussagen zu den Investitionskosten gemacht werden.
- **ARA, die Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umgesetzt haben**, sind auf die bisher vorgegebene Reinigungsleistung ausgelegt. Bei der Umsetzung der neuen Anforderung werden bauliche und verfahrenstechnische Anpassungen notwendig sein. Falls die ARA für die Erfüllung der neuen Anforderungen die Reserven einsetzen, hat dies zur Folge, dass die Anlagen früher wieder ausgebaut werden müssen. Insgesamt sind zusätzliche Investitionen notwendig.
- **Betriebs- und Unterhaltskosten**: Alle Situationen werden höhere Betriebs- und Unterhaltskosten zur Folge haben.
- Die **Haushalte** werden aufgrund der Investitionskosten sowie höheren Betriebs- und Unterhaltskosten der ARA höhere Abwassergebühren haben. Zudem wird evtl. der Zeithorizont für die Erhebung der Abgabe verlängert.

d) Öffentliche Hand

Die Auswirkungen sind ähnlich wie bei MV1, vgl. 3.3.3d), in Kürze:

- Je nach Finanzierungslösung müsste der Bund die Abgaberegeln anpassen; eine Verlängerung des Zeithorizonts für die Bezahlung der Abwasserabgabe hätte zur Folge, dass sich auch der Vollzugaufwand des Bundes für die Bewirtschaftung des Fonds entsprechend verlängern wird.
- Die Kantone sind vor allem in der Planung und der Projektbegleitung gefordert.
- Für die Gemeinden, ergeben sich, sofern «ihre» ARA betroffen ist, ebenfalls Aufgaben in der Umsetzung und allenfalls bei der Gebührenanpassung.

3.5 Fazit und Empfehlung

Mit den aktuellen durchgeführten und geplanten Massnahmen der ARA wird Ende 2040 gesamtschweizerisch ca. 70% des Abwassers der Schweiz bzgl. Mikroverunreinigungen behandelt. National- und Ständerat fordern, dass die Reinigungsleistung weiter erhöht wird. Für die Umsetzung wird die Massnahmen «MV1: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang» empfohlen. Ein Ausbau findet gezielt bei jenen ARA statt, bei denen die numerischen Anforderungen für Mikroverunreinigungen aufgrund von Einleitungen aus ARA überschritten werden. Im Vergleich zu allen ARA mit numerischen Überschreitungen werden mit dieser Massnahme 97% der MV-Fracht behandelt.

Die Grobbeurteilung zeigt, dass v.a. eine gezielte Elimination der Mikroverunreinigungen bei ARA ab 1'000 angeschlossenen Einwohner/innen (MV1) eine Verbesserung der Reinigungsleistung zur Folge hat. Herausfordernd ist die Akzeptanz der erneuten gesetzlichen Anpassung und die Finanzierung.

Eine zusätzliche Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA (MV2) wird aus Kosten-Nutzen-Überlegungen nicht empfohlen. Bereits heute liegt die Erhöhung der Reinigungsleistung im Ermessungsspielraum der Kantone.

Da die Massnahmen der Stickstoffelimination in Kombination mit der Elimination von Mikroverunreinigungen grosse Auswirkungen auf viele ARA haben werden, ist eine strategische Planung der Kantone unerlässlich, um die Umsetzung der Massnahmen zu steuern.

4 Anhang A: Ergänzung zu N1: Stickstoffelimination

Stickstoffelimination dem Stand der Technik anpassen (ARA > 10'000 EW_{CSB,dim})

Ergänzend zum Kapitel 2.2.1 werden hier die verschiedenen Ansätze zur Zielerreichung ausführlich beschrieben:

Ausbau ARA: Am offensichtlichsten ist ein Ausbau der ARA zu ganzjähriger Nitrifikation und Denitrifikation. Beim Belebtschlammverfahren wird eine Erhöhung der Stickstoffelimination durch ein höheres Schlammalter, mehr Biomasse im System und daher grössere Biologiebecken erreicht. Falls eine grosszügige anoxische Zone für die Denitrifikation berücksichtigt wird, lässt sich die Stickstoffelimination zusätzlich erhöhen. Bei dieser Massnahme sind nicht nur verfahrenstechnische, sondern auch erhebliche bauliche Veränderungen notwendig (welche i.d.R. auf die ARA-Erneuerung abgestimmt werden müssen). Im Hinblick auf den ARA-Ausbau ist zu beachten, dass auf den ARA der Platz oftmals knapp und die Kosten des Ausbaus hoch sind. Deshalb sollten auch andere Ansätze geprüft werden.

- **Optimierungen mit Steuerung und Regelung:** Bei ARA, welche heute mit einer Nitrifikation und Denitrifikation betrieben werden, ist es je nach Situation und ohne grosse bauliche Veränderungen möglich, die Stickstoffelimination durch Optimierungen im bereits bestehenden Betrieb zu erhöhen. In diesem Zusammenhang sind die Verwendung und Weiterentwicklung von intelligenten und dynamischen Steuerungen notwendig. Abhängig vom bereits bestehenden Ausbaustandard wird zusätzliche Messtechnik zur Überwachung und Steuerung benötigt.
- **Interne Rezirkulation:** Die Stickstoffelimination kann je nach Abwasserzusammensetzung bei vorgeschalteter Denitrifikation durch eine interne Rezirkulation erhöht werden. Die Umsetzung der Massnahme "interne Rezirkulation" ist nur dann sinnvoll, wenn die vorgeschaltete Denitrifikation Nitrat-limitiert ist und genügend leicht abbaubarer CSB vorhanden ist. Durch die interne Rezirkulation wird das, in der belüfteten Zone gebildete Nitrat in die vorgeschaltete anoxische Zone zurückgeführt. Die vorgeschaltete Denitrifikation ist dadurch nicht mehr Nitrat-limitiert und der leicht abbaubare CSB im vorgeklärten Abwasser kann vollständig genutzt werden.

Es sind auch aufwendigere Konzepte mit mehreren internen Rezirkulation denkbar, zum Beispiel bei der Kaskadendenitrifikation. Zusätzlich sind Anpassungen an der Messtechnik, Steuerung und Regelung notwendig.

- **Verfahrenswechsel:** Bei konventionell im Belebtschlammverfahren betriebenen ARA bietet ein Verfahrenswechsel die Möglichkeit, das bestehende Biologiebeckenvolumen intensiver zu nutzen und die Stickstoffelimination zu erhöhen. Mit einem Verfahrenswechsel von einem konventionellen Betrieb zu z.B. einem Membranbiologiereaktor oder aerob granuliertem Schlamm (wie Nereda®, inDense® oder S-Select® o.ä.) kann die Trockensubstanzkonzentration (TS-Konzentration) und somit die Leistung der Biologie gesteigert werden. Dafür sind verfahrenstechnische Anpassungen und z.T. grössere Umbauten notwendig.

Wenn genügend Beckenvolumen / Kapazität vorhanden ist, führt auch ein Umbau vom Belebtschlammverfahren zum A/I Verfahren (alternierende Beschickung, intermittierende Belüftung) zu höherer Stickstoffelimination.

- **Faulwasserbehandlung:** Die Stickstoffelimination kann durch eine zusätzliche Verfahrensstufe, wie zum Beispiel eine Faulwasserbehandlung, gesteigert werden. Das Eliminationspotenzial ist gross, denn etwa 15% der Stickstofffracht auf die Biologie stammt aus dem Faulwasser der Schlammbehandlung. Ein weiterer Vorteil der separaten Behandlung vom Faulwasser ist, dass die Belastung auf die biologische Reinigungsstufe verringert wird und dadurch weniger Biologiebeckenvolumen benötigt wird. Dabei gilt es zu beachten, dass bei einem Ausfall der Faulwasserbehandlung, die Belastung auf die Biologie steigt. Das führt bei grösseren Anlagen zu einem Konzept von mehrstrassigen beziehungsweise redundanten Faulwasserbehandlungen.

Ein Verfahren zur Faulwasserbehandlung ist das Anammox-Verfahren. Beim Anammox-Verfahren wird Ammonium und Nitrit durch anaerob Ammonium-oxidierende Bakterien zu Stickstoff abgebaut. Das Verfahren ist jedoch sehr anspruchsvoll für den Betrieb. Faktisch ist eine Faulwasserbehandlung mit dem Anammox-Verfahren eine eigene ARA innerhalb der ARA. In der Schweiz sind mehrere ARA mit langjähriger Erfahrung und mit unterschiedlicher Betriebsweise vorhanden. Aufgrund von Studien (Wenzel Gruber) kann dieses Verfahren zu hohen Lachgasemissionen führen. Dadurch erfordert das Verfahren eine hohe Aufmerksamkeit und einen sorgfältigen Betrieb.

Zur Faulwasserbehandlung eignet sich auch das Stripping-Verfahren. Der Vorteil dieser Methode ist, dass der Stickstoff gebunden wird. Aus wirtschaftlichen Gründen wird dieses Verfahren in der Schweiz, Deutschland und Österreich kaum angewendet.

Für die Faulwasserbehandlung sind zusätzliche Bauten und elektromechanische Ausrüstung sowie Messtechnik, Steuerung und Regelung notwendig.

- **Schlammversäuerung:** Diese Massnahme kann angewendet werden, wenn genügend Nitrat für die Denitrifikation vorhanden ist, aber das leicht abbaubare CSB limitierend ist. Bei der Schlammversäuerung wird leicht abbaubarer CSB auf der ARA selbst aus dem eigenen Frischschlamm gewonnen. Nach dem ersten anaeroben Abbauschritt werden die Zwischenprodukte (Essig-, Propion- und Buttersäure) vom versäuerten Frischschlamm abgetrennt. Der dadurch hergestellte leicht abbaubare CSB wird als Versäuerungswasser in die anoxische Zone der Biologie zugeführt und ist für die Denitrifikation bzw. die Stickstoffelimination verfügbar. Das Konzept ist seit mehreren Jahrzehnten bekannt und wurde auch grosstechnisch erprobt. In der Schweiz wird es bisher jedoch nicht breit umgesetzt. Für das Verfahren werden zusätzliche Bauten, elektromechanische Ausrüstung, Messtechnik, Steuerung und Regelung benötigt.
- **Regionalisierung der Faulschlammlogistik:** Z.T. geben kleinere ARA den ausgefaulten Klärschlamm zur Schlammmentwässerung und Weiterbehandlung an grössere ARA ab. Dadurch wird die Stickstofffracht der kleinen ARA um ca. 15 % reduziert, was die Stickstoffbilanz beeinflusst. Diese Schlammabgabe ist für die kleinen ARA bezüglich Stickstoffelimination ein Vorteil. Der Nachteil ist, dass sich bei den grösseren ARA die Stickstofffracht erhöht, welche entfernt werden soll. Ein Gesamtnutzen entsteht nur, wenn die annehmende

ARA entweder eine Faulwasserbehandlung oder zumindest eine stabile ganzjährige Denitrifikation hat. Dieses Konzept entspricht einer Regionalisierung wie sie heute z.T. schon besteht.

Anstelle der Abgabe von ausgefaultem Schlamm ist auch die Abgabe von Frischschlamm an eine grössere ARA möglich. Der Fokus liegt hier jedoch auf der Klärgasnutzung und die Stickstoffelimination ist eher ein «Nebennutzen».

- **ARA-Zusammenschlüsse:** Ein Zusammenschluss von zwei oder mehreren ARA kann sich aus diversen Gründen lohnen, u.a. weil die Investitionen auf einer zusammengeschlossenen ARA u.U. geringer sind als die Summe der Investitionen in zwei kleineren ARA. Es ist immer eine Beurteilung der konkreten Situation notwendig.

5 Anhang B: Ergänzung zu MV1: Mikroverunreinigungen

Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang

Für die gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen sind folgende drei Verfahren oder deren Kombination möglich:

- **Oxidation mit Ozon (O₃):** Beim Verfahren der Ozonung wird in einem Ozonerzeuger aus Sauerstoff unter Einsatz von elektrischer Energie Ozon (O₃) hergestellt und in das biologisch gereinigte Abwasser eingeblasen. Ozon ist ein sehr reaktives Gas, welches auch mit schwer abbaubaren Wasserinhaltsstoffen reagiert. Eine Nachbehandlung mit einer biologisch aktiven Stufe nach der Ozonung ist unabdingbar, um potenziell toxische Reaktionsprodukte mikrobiologisch zu eliminieren. Nach Stand der Technik ist dafür eine Raumfiltration am besten geeignet.
- **Adsorption an Pulveraktivkohle (PAK):** Für die adsorptiven Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf Kläranlagen wird Pulveraktivkohle (PAK) oder Granulierte Aktivkohle (GAK) eingesetzt. Bei PAK-Verfahren wird die Pulveraktivkohle mit einer Korngrösse von einigen Mikrometern dem Abwasser beigemischt. Sie muss anschliessend mit einem geeigneten Trennverfahren wieder vom Abwasser entfernt werden (z.B. Sedimentationsfiltration, Flockungsfiltration, Membranfiltration, Flotation). Ein PAK-Verfahren besteht klassisch aus einem Kontaktreaktor und einer Sedimentationsstufe. Das Absetzbecken soll ähnlich einem Nachklärbecken die Pulveraktivkohle zurückhalten. Es werden verschiedene Verfahrensvarianten mit PAK eingesetzt.
- **Adsorption an granulierter Aktivkohle (GAK):** Die GAK-Verfahren stellen eine Verfahrensalternative dar, beispielsweise wenn eine PAK-Rückführung in die Biologie nicht möglich und/oder das Abwasser für eine Ozonung ungeeignet ist. Im Gegensatz zur PAK besitzt die GAK eine gröbere Körnung von wenigen Millimetern. Aufgrund der zunehmenden Beladung muss die Aktivkohle periodisch ausgewechselt bzw. reaktiviert werden. Aufgrund der zunehmenden Beladung muss die Aktivkohle periodisch ausgewechselt bzw. reaktiviert werden. Die für die Wirtschaftlichkeit massgebenden Grössen einer GAK-Filtration sind die Standzeiten bzw. die erzielbaren Bettvolumen (BV), bis eine Reaktivierung notwendig wird. GAK bietet gegenüber PAK bedeutende ökologische Vorteile, da die Kohle reaktiviert und wiedereingesetzt werden kann.
- **Verfahrenskombinationen:** Aktuell wird davon ausgegangen, dass bei einer Verfahrenskombination aufgrund der komplementären Wirkung ein grösseres Spektrum an organischen Spurenstoffen eliminiert werden kann. Folgende Kombinationen sind möglich:
 - **Ozonung plus PAK:** Die Kombination der Verfahren bietet eine grössere Flexibilität, da die Dosierleistungen sowohl der oxidativen als auch der adsorptiven Stufe bedarfsgerecht angepasst werden können. Die Optimierung der Reinigungsleistung ist aber mit umfangreichen Investitionen und Mehraufwand im Betrieb verbunden. Die Verfahrenskombination wird nur im Ausnahmefall angewandt.
 - **Ozonung plus GAK:** Bei der Verfahrenskombination wird der Ozonung ein Filter mit granulierter Aktivkohle anstelle eines Sandfilters nachgeschaltet. Damit übernimmt der

GAK-Filter zusätzlich zur MV-Elimination auch die Funktion der biologischen Nachbehandlung des mit Ozon behandelten Abwassers. Durch die vorgängige Teilozonung können die Standzeiten der granulierten Aktivkohle erhöht werden. Auch hier gilt: Die Verfahrenskombination ist teuer und wird nur bei Spezialfällen empfohlen.

Ergänzung zu Kapitel 3.3.3b)

- Energie: Sowohl die Ozonung als auch die adsorptiven Verfahren benötigen zusätzliche Energie, wobei sich die Art der Energie je nach Verfahren unterscheidet:³⁵ Nachfolgend sind die Wirkungen im Detail beschrieben:
 - Ozonung: Es wird Energie in Form von Strom, insbesondere für die Herstellung von Ozon im Ozonerzeuger und für die Sauerstoffherstellung benötigt. Insgesamt erhöht sich der Energieverbrauch einer ARA infolge der Ozonung um ca. 10 bis 30%.
 - Adsorptiven Verfahren: Bei den adsorptiven Verfahren wird auf der ARA Energie hauptsächlich in Form von Kohle verbraucht.
 - PAK (Pulveraktivkohle): Die zentralen Energieverbraucher sind insbesondere die Rührwerke des Kontaktreaktors, die Pumpen für die Rezirkulation sowie die PAK-Abtrennung. Für die ARA erhöht sich der Energieverbrauch um ca. 5% (ohne Filter). Der grosse Energieverbrauch fällt aber ausserhalb der ARA (graue Energie) für die Herstellung von Aktivkohle an: Für die Herstellung von 1kg Aktivkohle wird etwa 3-5kg Kohle benötigt.
 - GAK (Granulierte Aktivkohle): Die GAK-Herstellung ist sehr energieintensiv. Da GAK regeneriert wird ist der CO₂-Fussabdruck bedeutend besser als bei der PAK, wo keine Reaktivierung möglich ist. Der Aktivkohle-Verbrauch dominiert den Primärenergieverbrauch beziehungsweise den CO₂-Fussabdruck des Verfahrens.
 - Zusätzlicher Energiebedarf infolge der Massnahme: Die Massnahmen führen zu einem zusätzlichen Stromverbrauch von ca. 5 bis 6 GWh pro Jahr.

Je nach eingesetztem Verfahren ist zusätzlich mit folgenden Wirkungen zu rechnen:³⁶

- Ozonung:
 - Es wird eine weitgehende Abwasserdesinfektion erzielt.
 - Gewisse Abwässer eignen sich nicht für eine Ozonung, da unerwünschte Oxidationsnebenprodukte in erhöhten Konzentrationen gebildet werden können. Darum sind Abklärungen zur Verfahrenseignung notwendig.
- PAK:
 - Für die Herstellung von Aktivkohle werden kohlenstoffreiche Rohstoffe wie Stein- oder Braunkohle, Torf, Anthrazit, Holz oder Kokosnussschalen benötigt.
 - Die Schlammproduktion steigt um 5 bis 10%. Dies hat Auswirkungen auf die Schlammbehandlung und -entsorgung. Die gebrauchte PAK muss (mit dem Klärschlamm oder nach separater Behandlung) verbrannt werden.

³⁵ Hunziker Betatech; VSA; Ryser Ingenieure (2018)

³⁶ EAWAG (2012)

- Bei Rückführung der Kohle in bestehende Anlagenteile ist zu beachten, dass eine verstärkte Abrasion und Korrosion auftreten können.
- Um die PAK möglichst weitgehend zurückzuhalten, ist als abschliessende Stufe ein Filter vorzusehen.
- GAK:
 - Für die Herstellung von Aktivkohle werden kohlenstoffreiche Rohstoffe wie Stein- oder Braunkohle, Torf, Anthrazit, Holz oder Kokosnussschalen benötigt. Die GAK kann im Gegensatz zur PAK reaktiviert werden.

6 Anhang C: Ergänzungen zu MV2: Mikroverunreinigungen

Ergänzung zu Kapitel 3.4.3b)

Die Erhöhung der Reinigungsleistung bedarf im Vergleich zu heute je nach Verfahren eines grösseren Einsatzes von Ozon oder Aktivkohle mit folgenden ökologischen Auswirkungen:

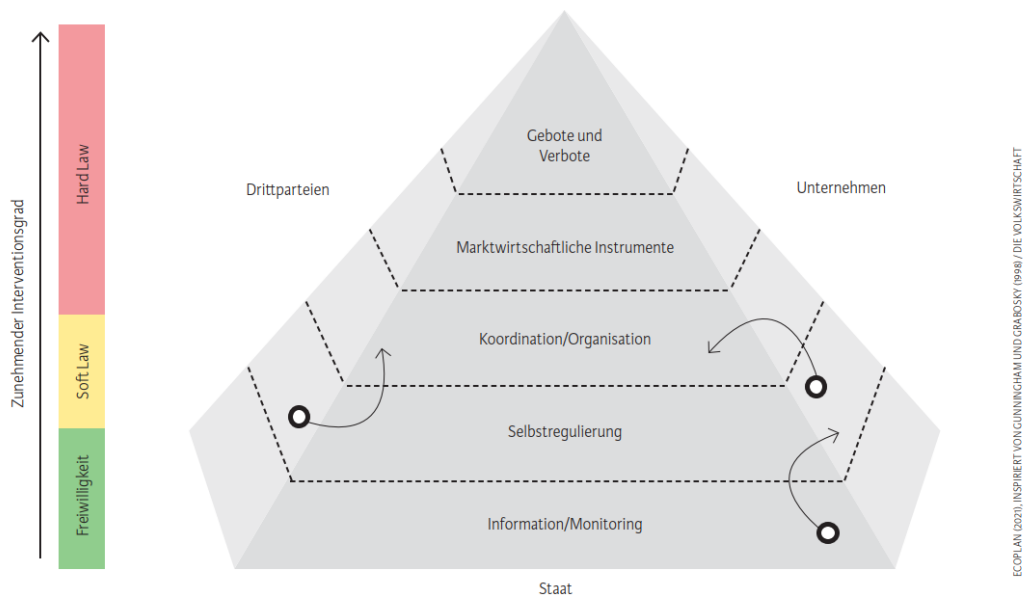
- Ozonung: Die Erhöhung der Reinigungsleistung hat bei der Ozonung insbesondere einen höheren Energiebedarf von ca. 5-10% im Vergleich zu heute zur Folge.
- PAK: Wie bei der Ozonung ist mit einem höheren Energieverbrauch von ca. 5 bis 10% im Vergleich zu heute zu rechnen. Zusätzlich braucht es mehr PAK und dadurch fällt mehr PAK-Schlamm an, der entsorgt werden muss.
- GAK: Bei einer höheren geforderten Reinigungsleistung ist die Reaktivierung der GAK in kürzeren Intervallen nötig.

7 Anhang D: Regulierungspyramide

Im Grundsatz lassen sich die im Bericht dokumentierten Massnahmen über verschiedene Instrumente und Interventionsstärken umsetzen, mit Richtlinien/Information bis hin zu Verboten. Folgende Abbildung 12 zeigt die «Regulierungspyramide», welche die Regulierungsinstrumente nach deren Interventionsgrad illustriert. Solange Umweltziele nicht erreicht werden können, wird empfohlen, die Instrumentenpyramide stufenweise von wenig zu zunehmender staatlicher Intervention «emporzusteigen». Zu Beginn werden Instrumente mit geringem Interventionsgrad eingesetzt, um Einschränkungen der Handlungsfreiheit, Bürokratie und dem Versagen von Instrumenten vorzubeugen.

Abbildung 12: Regulierungspyramide³⁷

Regulierungspyramide gemäss Gunningham und Grabosky



Die Regulierungspyramide illustriert das Zusammenspiel der Smart-Regulation-Prinzipien. Zuerst werden Instrumente mit geringem Interventionsgrad geprüft oder eingeführt. Die Pfeile illustrieren, dass eine Regulierung weitere Ebenen einbeziehen kann (Unternehmen und Drittparteien wie zum Beispiel Verbände) und dass man bei den Instrumentenkategorien eine Verbindlichkeitsstufe höher steigen kann, wenn die Ziele nicht erreicht werden (Kaskadenregulierung).

³⁷ Walter; Strahm; Leimbacher (2021)

8 Anhang E: Auslegeordnung von weiteren Massnahmen

Folgende Abbildung 13 gibt einen Überblick über alle in den folgenden Abschnitten beschriebenen Massnahmen. Einige davon wurden aufgrund der Diskussionen am Workshop priorisiert und im Hauptteil des Berichts beschrieben. Die übrigen Massnahmen wurden nicht weiterverfolgt, beziehungsweise (im Fall der Regionalisierung) in eine weiterzuverfolgende Massnahme integriert.

Nachstehend werden die Massnahmen dargestellt und beschrieben, wie sie im Inputpapier für den Workshop präsentiert wurden.

Abbildung 13: Übersicht der Massnahmen (gemäss Inputpapier für Workshop)

Nr.	Massnahmenbeschrieb
Stickstoffelimination	
N1	Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend umsetzen
N2	Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen
N3	Faulwasserbehandlung bei 50 grössten Kläranlagen
N4	Verzicht auf Schlammfaulungen in Schweizer ARA
N5	Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen
N6	Zusammenarbeit mit Betrieben, die C-Quellen entsorgen
Elimination von Mikroverunreinigungen	
MV1	Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang
MV2	Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA
MV3	Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 200 Eang
MV4	Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen zur MV-Elimination

Vorgängig zum Workshop wurden die Massnahmen von den Workshopteilnehmenden beurteilt. Die Beurteilung ist aus Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16 ersichtlich.

Abbildung 14: Vorgängige Beurteilung der Massnahmen durch die Workshopteilnehmenden

Massnahmen		Zusammenzug	
		Besteht ein Bedarf für die Massnahme? ja =4 eher ja =3 eher nein =2 nein =1	Wie schätzen Sie die Umsetzung der Massnahme ein? einfach =4 eher einfach =3 eher schwierig / aufwendig =2 schwierig / aufwendig =1
Stickstoffelimination			
ARA1	Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend umsetzen	3.4	2.3
ARA2	Faulwasserbehandlung bei 50 grössten Kläranlagen	3.2	2.3
ARA3	Verzicht auf Schlammfaulungen in Schweizer ARA	1.3	1.3
ARA4	Ganzjährige Nitrifikation bei kleineren ARAs umsetzen	3.3	3.1
ARA5	Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen	1.4	1.3
ARA6	Zusammenarbeit mit Betrieben, die C-Quellen entsorgen	3.1	2.6
Elimination von Mikroverunreinigungen			
ARA7	Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1000 Eang	3.1	2.6
ARA8	Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 200 Eang	1.5	1.8
ARA9	Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA	2.3	2.3
ARA10	Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen zur MV-Elimination	1.3	1.3

Abbildung 15: Vorgängige Beurteilung der Massnahmen zur Stickstoffelimination durch die Workshopteilnehmenden

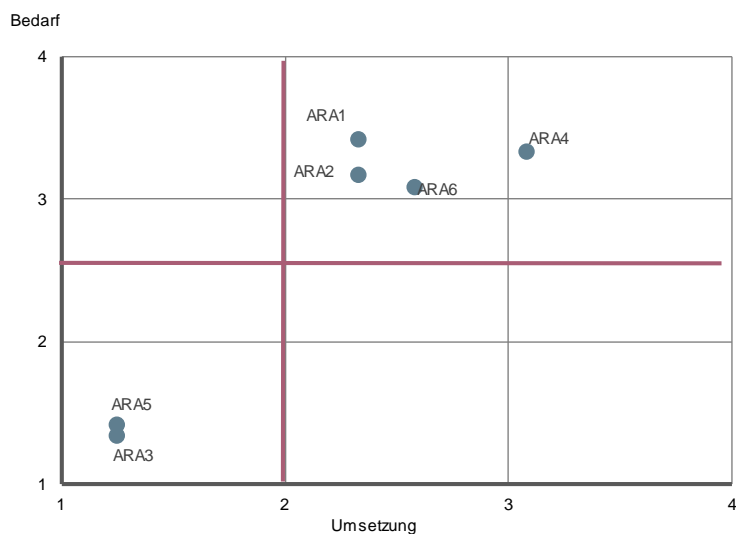
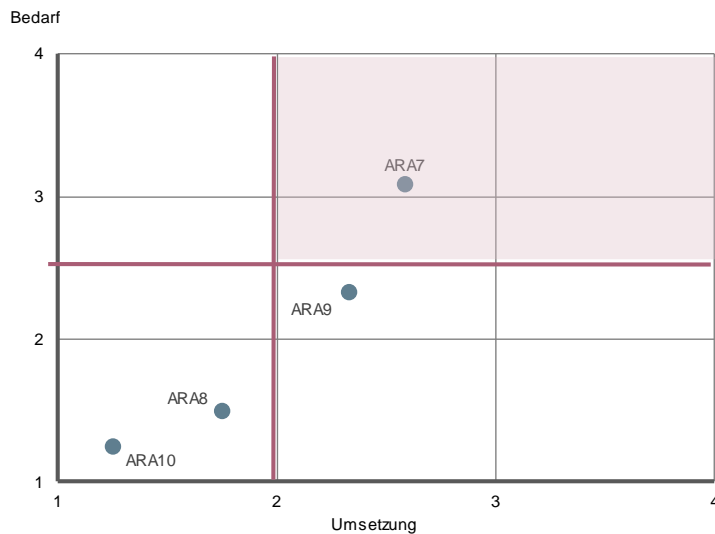


Abbildung 16: Vorgängige Beurteilung der Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen durch die Workshopteilnehmenden



Zusätzlich wurde von den Workshopteilnehmenden folgende Massnahmen für den Teil Stickstoffelimination vorgeschlagen:

- Regionalisierung fördern -> Ziel-ARA mit hohem technischen Stand (laufender Prozess in den Kantonen)
- Luft-Stripping
- Wissenschaftliche Untersuchung der Anfälligkeit der aufnehmenden Medien und Festlegung des Bedarfs pro Einzugsgebiet
- Massnahmen zur Verringerung der Lachgasemissionen (N₂O) festlegen
- An die Bedürfnisse des jeweiligen Vorfluters angepasste Stickstoffelimination auf ARA
- Kreislauf: Stickstoffrückgewinnung, um Kunstdünger zu produzieren

Für den Teil Elimination von Mikroverunreinigungen wurden folgende zusätzliche Massnahmen von den Workshopteilnehmer vorgeschlagen:

- Entwicklung von Aktivkohle mit geringeren Auswirkungen auf das Klima
- Gezielte (=von Qualität des Vorfluters abhängige) Elimination von MV ab 1'000 Eang nur wenn ein Anschluss nicht möglich ist
- Vorbehandlungsmassnahmen bei spezifischen Einleitern mit erhöhtem MV-Quellen errichten. Rückhaltevolumen + Steuerung für Ableitung bei spezifischen Einleitern mit erhöhten MV-Quellen erstellen. Ziel: Eintrag von MV in Gewässer über Mischwasserentlastungen
- Zusammenschlüsse von kleinen ARA bis 8'000 Eang
- Fremdwasserelimination (mehr Wasser im Bach, Verdünnungsverhältnis verbessert etc)

Im Rahmen des Workshops wurden die Massnahmen diskutiert und beurteilt. In der Gruppenarbeit sind die Vor- und Nachteile der Massnahmen konkretisiert worden. Basierend auf den Ergebnissen des Workshops wurde im Nachgang durch das Projektteam (BAFU, Ecoplan, Hunziker Betatech) eine Auswahl getroffen, welche Massnahmen vertieft betrachtet werden sollen. Diese sind in den Kapiteln 2 und 3 beschrieben.

8.1 Stickstoffelimination

Im Folgenden werden mögliche (teilweise kombinierbare) technische Massnahmen zur Stickstoffelimination beschrieben. Hierzu einige Anmerkungen:

- Die Wahl der ARA-Massnahmen sowie die Abschätzung der Auswirkungen erfolgte durch drei Abwasser-Fachpersonen bei Hunziker Betatech AG. Der Fokus liegt auf einem breiten Massnahmenspektrum im Sinne einer Auslegeordnung.
- Die Wahl der ARA-Grössen und deren Anzahl pro Massnahme entspricht einer Einschätzung im Sinne eines "best guess".

N1: Stickstoffelimination dem Stand der Technik entsprechend umsetzen

Die Massnahme wird in Abschnitt 2.2 beschrieben.

N2: Saisonale Stickstoffelimination dank ganzjähriger Nitrifikation bei kleineren ARA umsetzen

Die Massnahme wird in Abschnitt 2.2 beschrieben.

N3: Faulwasserbehandlung bei 50 grössten Kläranlagen

- Die 50 grössten Kläranlagen werden verpflichtet, das Faulwasser zu behandeln.
- Das Potenzial der Faulwasserbehandlung entspricht ca. 15 % vom Stickstofffluss einer ARA.
- Es sind keine Massnahmen in der Biologie nötig. Die Massnahmen beziehen sich nur auf die Faulwasserbehandlung.

Weitere Eckpunkte:

- Anzahl betroffene ARA: 50 grössten ARA (davon Massnahmen bei 40 ARA)
- Zusätzliche Stickstoffelimination: + 5-10 %
- Stickstoffelimination insgesamt: 55 bis 60 %
- Investitionskosten: 50 bis 150 Mio. CHF
- Frühester Abschluss: Inkrafttreten + 10 Jahre

Chancen (zusätzlich zu positiven Umweltwirkungen)

- Hauptprozesse der ARA werden nicht angetastet (Nebenstromkonzept)
- Faulwasserbehandlung reduziert Ammonium in der Biologie (Entkopplung von Belastung in Biologischer Abwasserreinigung)

Risiken (zusätzlich zu Investitionskosten)

- Faulwasserbehandlung als zusätzlicher sehr anspruchsvoller Prozess
- Falls nicht Anammox als Verfahren angewandt wird, ist unklar ob ausreichend externe C-Quellen verfügbar sind

N4: Verzicht auf Schlammfäulungen in Schweizer ARA

- Frischschlamm wird direkt entwässert und verbrannt. Der Stickstoff bleibt organisch gebunden im Schlamm (Paradigmenwechsel).
- In der Schlammverbrennung entstehen Stickoxide, welche durch die Abluftreinigung entfernt werden.

Weitere Eckpunkte:

- Anzahl betroffene ARA: ca. 300-400 ARA mit Fäulung
- Zusätzliche Stickstoffelimination: + 10-20 %
- Stickstoffelimination insgesamt: 60 bis 65 %
- Investitionskosten: 500 bis 700 Mio. CHF
- Frühester Abschluss: Inkrafttreten + 25 Jahre

Chancen (zusätzlich zu positiven Umweltwirkungen)

- Entfernung von Stickstoff aus dem Gewässer

Risiken (zusätzlich zu Investitionskosten)

- Direkte Entwässerung des Frischschlammes ist aus hygienischer Sicht heikel
- Die Schlamm Entsorgungskosten (Betriebskosten) werden erhöht
- Zusätzliche Transportwege

N5: Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen

- Zur Erhöhung der Stickstoffelimination werden dezentrale ARA gebaut. Die Stickstoffelimination erfolgt mittels Membranbiologiereaktoren (MBR).
- Der Bau von dezentralen ARA ist ein ergänzendes Modul zu den obigen Stickstoffmassnahmen.
- Die Stickstoffeinträge im Abwasser werden an der "Quelle" behandelt. In die Gewässer wird punktuell eingeleitet (positiver Effekt Niedrigwasseraufhöhung). Lokale ARA werden entlastet.
- Es müssen Zonen engmaschig ausgeschieden werden z. B. 50-100 dezentrale ARA für 100'000 Einwohner.

Weitere Eckpunkte:

- Betroffene Akteure: Liegenschaften / Quartiere
- Zusätzliche Stickstoffelimination: + <1 %
- Stickstoffelimination insgesamt: 50 bis 55 %
- Investitionskosten: 100 bis 200 Mio. CHF
- Frühester Abschluss: Inkrafttreten + 10-20 Jahre

Chancen (zusätzlich zu positiven Umweltwirkungen)

- Keine Behandlung von Oberflächenabfluss und Fremdwasser
- Entlastung von lokalen ARA
- langfristig Verzicht auf Teile der Schmutzwasserkanalisation möglich
- Erprobung eines neuen Konzepts
- Wiederverwendung des gereinigten Abwassers möglich (z. B. Versickerung, für Bewässerung blau-grüne Infrastrukturen zur Hitzeminderung)

Risiken (zusätzlich zu Investitionskosten)

- Geringe Zusatzeffekte bzgl. Eliminationsleistung bei vergleichsweise hohen Kosten
- Lange Realisierungsphase
- Energieintensive Abwasserbehandlung
- Es braucht eine neue Finanzierungslösung (z. B. Einbindung MBR-Invest. und -betrieb in Abwassergebührenfinanzierung)

N6: Zusammenarbeit mit Betrieben, die C-Quellen entsorgen

- C-Quellen sind in der biologischen Reinigung z. T. ein limitierender Faktor. In der Folge sind weitere Verfahrensschritte zur Stickstoffreduktion ohne externe C-Quellen nicht möglich.
- Eine Zusammenarbeit mit Betrieben, die C-Quellen entsorgen müssen, bietet eine Möglichkeit, die Reinigungsleistung zu steigern. Dafür eignen sich Betriebe, die z. B. Enteiserabwasser oder Industriealkohole (Methanol) entsorgen müssen.

Weitere Eckpunkte:

- Anzahl betroffene ARA: ca. 5-10 mittelgrosse bis grosse ARA
- Zusätzliche Stickstoffelimination: + 1-2 %
- Stickstoffelimination insgesamt: 50 bis 55 %
- Investitionskosten: 10 bis 20 Mio. CHF
- Frühester Abschluss: Inkrafttreten + 10 Jahre

Chancen (zusätzlich zu positiven Umweltwirkungen)

- Kosten fallen verhältnismässig tief aus
- Nitrifikation/Denitrifikation kann gesteigert werden
- Betriebe, die C-Quellen entsorgen müssen, profitieren ebenfalls (Enteiserabwasser)

Risiken (zusätzlich zu Investitionskosten)

- Rechtlich kollidiert das Konzept mit der Positivliste der Oberzolldirektion (OZD) (KEV, etc.)
- Zusätzliche Transportwege

8.2 Elimination von Mikroverunreinigungen

Im Folgenden werden technische Massnahmen beschrieben, wie die Reinigungsleistung der ARA zur Reduktion von Mikroverunreinigungen weiter verbessert werden kann.

MV1: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 1'000 Eang³⁸

Die Massnahme wird in Abschnitt 3.3 beschrieben.

MV2: Erhöhung der Reinigungsleistung bei den betroffenen ARA

Die Massnahme wird in Abschnitt 3.4 beschrieben.

MV3: Gezielte Elimination von Mikroverunreinigungen ab 200 Eang³⁹

– Ausbau von ARA zur Elimination von Mikroverunreinigungen, deren Ausleitungen Grenzwertüberschreitungen zur Folge haben.

Weitere Eckpunkte:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| – Anzahl betroffene ARA: | ca. 150 ARA zusätzlich |
| – Zusätzliche Elimination von MV: | + ca. 10-30 % |
| – Gesamtreduktion von MV: | ca. 45-55 % |
| – Investitionskosten: | ca. 500 Mio. – 1.1 Mrd. CHF |
| – Finanzierung: | Erhöhung Abwasserabgabe von 9 CHF auf ca. 18 CHF pro Jahr und Einwohner/in |
| – Frühester Abschluss: | Inkrafttreten + 10 – 20 Jahre |

Chancen (zusätzlich zu positiven Umweltwirkungen)

- Optimales Kosten-Nutzen-Verhältnis wird angestrebt

Risiken (zusätzlich zu Investitionskosten)

- Voraussichtlich Verdoppelung der Abwassergebühr (ca. 18 CHF pro Jahr und Einwohner/in)
- Erhöhung Abgabesatz bedingt Änderung des GSchG

³⁸ Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (2021)

³⁹ Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (2021)

MV4: Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen zur MV-Elimination

- Zur Elimination von Mikroverunreinigungen werden dezentrale ARA gebaut. Eine hohe MV-Elimination wird durch Pulveraktivkohle (PAK) in Membranbiologiereaktoren (MBR) erreicht.
- Der Bau von dezentralen ARA ist ein ergänzendes Modul zu den obigen Stickstoffmassnahmen bzw. EMV-Massnahmen. Die Kosten der MV-Elimination addieren sich zu den Kosten des Baus von dezentralen Membranbiologiereaktoren.
- Mikroverunreinigungen werden bereits dezentral aus dem Abwasser entfernt.
- Zonen müssen engmaschig ausgeschieden werden z. B. für total 100'000 EW (50-150 dezentrale ARA).
- Diese Massnahme ist eine Erweiterung der Variante "Dezentrale ARA in ausgewählten Zonen".

Weitere Eckpunkte:

- Betroffene Akteure: Liegenschaften / Quartiere
- Zusätzliche Elimination von MV: < 1 %
- Gesamtreduktion von MV: 41 %
- Investitionskosten: 5 bis 20 Mio. CHF (zusätzlich zur Variante ARA8)
- Frühester Abschluss: Inkrafttreten + 10-20 Jahre

Chancen (zusätzlich zu positiven Umweltwirkungen)

- Verunreinigungen werden an der "Quelle" eliminiert
- Minimierung von MV-Emission in Gewässer bei Entlastungen von Regenüberläufen bzw. Regenbecken
- MBR geeignet für PAK-Einsatz: keine zusätzlichen Abwasserbecken nötig
- Wiederverwendung des gereinigten Abwassers möglich (z. B. Versickerung, für Bewässerung blau-grüne Infrastrukturen zur Hitzeminderung)

Risiken (zusätzlich zu Investitionskosten)

- Fehlende Ausbildung / Personal
- Es braucht eine neue Finanzierungslösung (z. B. Einbindung MBR-Invest. und -betrieb in Abwassergebührenfinanzierung)

Literaturverzeichnis

- Abegglen, Christian (2017): Mikroverunreinigungen - Massnahmen in Abwasserreinigungsanlagen. In: aqua viva, 3, 20–23.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2014): Grundlagenpapier zur Stickstoffproblematik. Luft, Boden, Wasser, Biodiversität und Klimaproblematik.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2020): VOBV Volkswirtschaftliche Beurteilung von Umweltmassnahmen. Leitfaden.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2021): Abwasserfinanzierung / Abwasserfonds. URL https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wasser/wasser-fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/abwasserfinanzierung_abwasserfonds.html, abgerufen am 17. Mai 2022.
- Bundesamt für Umwelt BAFU; Hunziker Betatech; und Infraconcept (2016): Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasseranlagen. Finanzierung von Massnahmen. S. 36.
- EAWAG (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. S. 212.
- Ecoplan und BG Ingenieure und Berater (2011): Finanzierung der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser. Auslegeordnung und Vertiefung einzelner Finanzierungsvarianten. Bern.
- Ecoplan (2021): Smart Regulation: Kurzfassung und Grundlagenbericht im Auftrag des BAFU, Bern.
- Gruber, Wenzel; Niederhorfer, Robert; Bürgmann, Helmut; u. a. (2022): Lachgasemissionen aus ARA. Reduktionsmassnahmen zeichnen sich ab. In: Aqua & Gas, 1.
- Hunziker Betatech; VSA; und Ryser Ingenieure (2018): Leitfaden „Energie in ARA“. Elimination Mikroverunreinigungen. Kapitel „Energieeffizienz in MV-Anlagen“.
- INFRAS und Schwank Earthpartner (2013): Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020. Stoffflussanalyse und Entwicklungen. S. 109.
- Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates (2021): Motion 20.4262. Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen für alle Abwasserreinigungsanlagen. Bericht der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie.
- Kommission für Wirtschaft und Abgaben des Nationalrates (2021a): Motion 20.4261. Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen. URL <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20204261>, abgerufen am 8. September 2021.
- Kommission für Wirtschaft und Abgaben des Nationalrates (2021b): Motion 20.4262. Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen für alle Abwasserreinigungsanlagen. URL <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20204262>, abgerufen am 4. Januar 2022.
- Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter KVV (2021): Flüsse der reaktiven Stickstoffverbindungen.

- Strähl, Sabrina; Ort, Christoph; Siegrist, Hansruedi; u. a. (2013): Stickstoffelimination in Schweizer ARA. Weitere Entlastung der Oberflächengewässer. In: Aqua & Gas.
- Thomann, Michael; Hochstrat, Rita; Jovanovic, Andelina; u. a. (2022a): Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA. Elimination von Mikroverunreinigungen. Stand 30.06.2022. S. 34.
- Thomann, Michael; Hochstrat, Rita; Jovanovic, Andelina; u. a. (2022b): Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA. Nitrifikation und Stickstoffelimination. Stand 01.11.2022.
- Walter, Felix; Strahm, Svenja und Leimbacher, Jörg (2021): Intelligentes Regulieren: Wie geht das? In: Die Volkswirtschaft, 7.