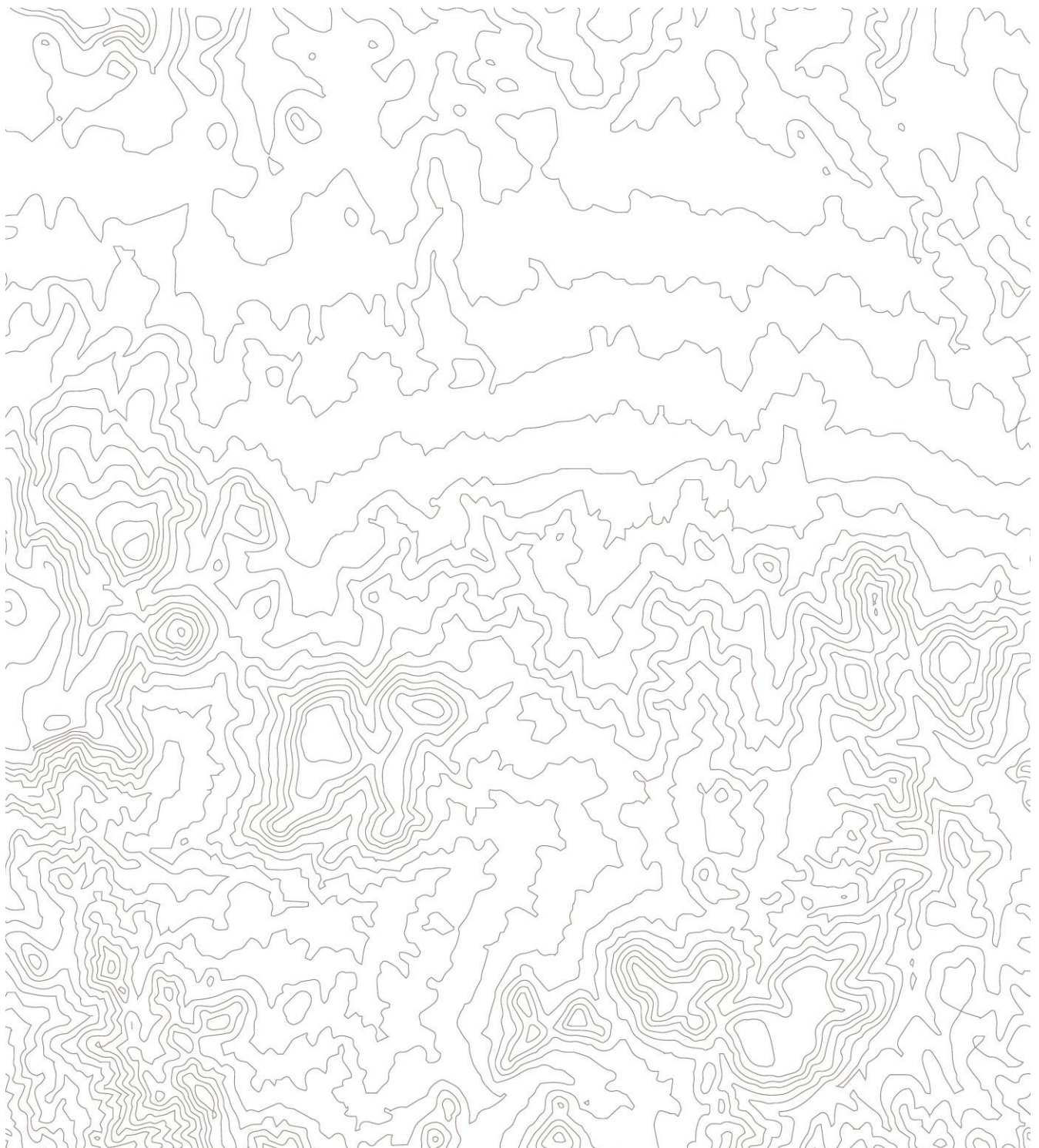


Grundlagenbericht Verknappung Flockungshilfsmittel

18. Dezember 2025



Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Wasser, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: EBP Schweiz AG

Autor/Autorin:

Selina Derksen

Ivo Fölmlí

Christine Steinlin

Franziska Lindström

Julian Bosshard

Begleitung BAFU:

Patrick Fischer

Damian Dominguez

Fachliche Begleitung:

Klaus Biermann, ARA Glarnerland

Nathalie Hubaux, ARA Neugut

Klaus Schramm, ARA Werdhölzli, Entsorgung + Recycling Zürich (ERZ)

Nina Gubser, ARA Werdhölzli, Entsorgung + Recycling Zürich (ERZ)

Sibylla Hardmeier, BAFU Abt. Abfall und Rohstoffe

Reto Manser, Kanton Bern und Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA)

Britta Gaussen-Freidl, Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallwertungsanlagen (VBSA)

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

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
1.1	Ausgangslage	5
1.2	Ziel Grundlagenbericht Verknappung Flockungshilfsmittel	6
1.3	Rechtsgrundlagen	6
2.	Methodik	8
2.1	Schwerpunktthemen	8
2.2	Systemgrenze	9
2.3	Vorgehen	9
2.4	Szenarien	11
3.	Massenbilanz Klärschlamm	12
4.	Versorgung mit Flockungshilfsmitteln	15
4.1	Produkte	15
4.2	Lieferkette	17
4.3	Produktion	20
4.4	Marktsituation	21
4.5	Lagerbestände	22
4.6	Marktüberwachung und -steuerung	23
5.	Entwässerung von Klärschlamm	25
5.1	Einsatz von Flockungshilfsmittel	25
5.2	Schlammengen	27
5.3	Stapelmöglichkeiten	28
6.	Verbrennung von Klärschlamm	30
6.1	Klärschlammverwertungswege	30
6.2	TS-Gehalt	30
6.3	Kapazitäten	32
6.4	Zwischenlagerung und Transport	33
7.	Schlussfolgerungen	34
7.1	Diskussion Szenarien	34
7.2	Prüfenswerte Massnahmen	34
7.3	Empfehlungen	37
7.4	Fazit	39

Anhang

A1 Referenzen

A2 Szenario Ausfall Versorgung Flockungshilfsmittel (BABS)

A3 Auszüge aus relevanten Rechtsgrundlagen

A4 Projektorganisation und involvierte Fachpersonen

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Flockungshilfsmittel (FHM) sind essenzielle Betriebsmittel für den effizienten Betrieb einer Abwasserreinigungsanlagen (ARA). Sie ermöglichen die Eindickung und Entwässerung des Klärschlamm, wodurch das Schlammvolumen um ein Vielfaches reduziert wird und der Klärschlamm dadurch einfacher transportiert und weiterverwertet werden kann.

Flockungshilfsmittel

Im Jahr 2022 kam es in der Schweiz zu spürbaren Engpässen vor allem bei Fällmitteln, aber auch bei FHM. Deutliche Preissteigerungen sowie Lieferverzögerungen charakterisierten die Situation, eine tatsächliche Verknappung der FHM gab es jedoch nicht. Dieses Ereignis zeigte jedoch auf, wie verwundbar die Abwasserbranche gegenüber Störungen in der Lieferkette ist, und wie entscheidend die funktionierende Versorgung mit Betriebsmitteln für eine umweltgerechte Entsorgung des Abwassers ist.

Engpässe Fäll- und Flockungshilfsmittel 2022

Im Rahmen der Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen der Schweiz untersuchte das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) zusammen mit einer Expertengruppe mit Vertretern des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), des Schweizerischer Verband Kommunale Infrastruktur (SVKI) und Vertretern von ARA 2024 die *Resilienz des kritischen Teilsektors (KTS) Abwasser [1]*. Dazu wurde eine Risiko- und Verwundbarkeitsanalyse für den Teilsektor erarbeitet. In der darin vorgenommenen Risikoanalyse wurden für verschiedene Gefährdungen (Erdbeben, Stromausfall, etc.) Szenarien erarbeitet und deren Eintretenswahrscheinlichkeit und Schadensausmass eingeschätzt.

BABS Studie Resilienz des KTS Abwasser

Die Risikoanalyse beschreibt u.a. ein Szenario «Ausfall Versorgung Flockungshilfsmittel» (Anhang A2). Bei der Erarbeitung des Szenarios und den Diskussionen an den Workshops für dieses Projekt, ist man zu folgenden Erkenntnissen gekommen:

Szenario Ausfall Versorgung Flockungshilfsmittel

- Ohne FHM für die Eindickung des Klärschlamm fällt rund fünfmal mehr Klärschlamm an.
- Es gibt aktuell keine Einigkeit, wie dieser verdünnte Klärschlamm weiterverarbeitet würde. Die normalen Verwertungswege scheinen nicht geeignet, resp. werden als technisch nicht möglich eingeschätzt.
- Ohne Klärschlamm Entsorgung müsste im Extremfall der Klärschlamm mit dem gereinigten Abwasser wieder in die Gewässer geleitet werden, was einem Ausfall der Abwasserreinigung gleichkommt.
- Es ist unklar, wie wahrscheinlich ein solches Szenario tatsächlich ist. Die Lieferengpässe der vergangenen Jahre zeigen aber, dass die Wahrscheinlichkeit geprüft werden sollte.

In Anhang A2 wird das Szenario im Extremfall beschrieben, d.h. wenn kein alternativer Entsorgungspfad gefunden, alle ARA ausfallen und eine grossflächige Gewässerverschmutzung drohen würde.

Im Rahmen dieser Studie wurden Massnahmen zur Erhöhung der Resilienz des KTS Abwasser identifiziert, wobei Massnahme 1 vertiefte Abklärungen zum Szenario «Ausfall Versorgung Flockungshilfsmitteln» vorsieht (siehe Tabelle 1).

Massnahme 1: Vertiefte Abklärungen zum Szenario Ausfall Versorgung Flockungshilfsmitteln (FHM)		
OUTCOME	Verwundbarkeit	Ohne Flockungshilfsmittel kann der Klärschlamm nicht ausreichend entwässert und über die konventionellen Entsorgungswege entsorgt werden.
	Adressierter Prozess	Wenn kein alternativer Entsorgungspfad und keine Möglichkeit für eine Zwischenlagerung des Klärschlammes gefunden werden können, muss der Klärschlamm mit dem gereinigten Abwasser in den Vorfluter eingeleitet oder die ARA ausser Betrieb genommen werden. Dadurch ist der gesamte Prozess der Abwasserreinigung betroffen.
	Massnahmenbeschreibung	— Studie zur vertieften Abklärung von verschiedenen offenen Fragen (siehe Ziel).
IMPACT	Ziel	<ul style="list-style-type: none"> — Die Eintretenswahrscheinlichkeit für ein Ausfall der Versorgung mit FHM ist auf bessere Grundlagen abgestützt. — Die Zweckmässigkeit eines Monitorings der Verfügbarkeit der FHM oder eine Erhöhung der Lagermengen sind geprüft. — Die technischen Herausforderungen bei der Klärschlammmentwässerung ohne FHM sind geklärt. — Die Möglichkeiten der Zwischenlagerung sind geklärt. — Ein alternativer Entsorgungspfad mit möglichst geringem Schadensausmass ist identifiziert. — Die relevanten Akteure sind informiert und sensibilisiert.
	Verantwortlichkeit	BAFU

Tabelle 1: Massnahme 1 der Studie *Resilienz des kritischen Teilsektors Abwasser [1]* des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz.

1.2 Ziel Grundlagenbericht Verknappung Flockungshilfsmittel

Der Grundlagenbericht zur Verknappung von FHM soll einerseits die Informationsgrundlage für eine adäquate Einschätzung des Risikos einer Verknappung oder eines Ausfalls der Versorgung mit FHM verbessern. Andererseits sollen Massnahmen zur Reduktion des Risikos identifiziert und geprüft werden.

1.3 Rechtsgrundlagen

Zur Entsorgung des Klärschlammes machen sowohl die Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) als auch die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA, SR 814.600) Vorgaben. Auszüge der relevanten Artikel aus der Gewässerschutzverordnung und der Abfallverordnung sind in Anhang A3 zu finden.

Gewässerschutzverordnung

Die GSchV verpflichtet Inhaber von ARA zur Verminderung des Risikos einer Gewässerverunreinigung durch ausserordentliche Ereignisse, geeignete und wirtschaftlich tragbare Massnahmen zu treffen (Art. 16). Ist das Risiko trotz dieser Massnahmen nicht tragbar, ordnet die Behörde die erforderlichen zusätzlichen Massnahmen an.

Massnahmen ausserordentliche Ereignisse (Art. 16)

Zudem sind die Kantone verpflichtet, einen Klärschlamm-Entsorgungsplan zu erstellen (Art. 18), welcher festlegt, wie der Klärschlamm der zentralen ARA entsorgt werden soll.

Klärschlamm-
Entsorgungsplan
(Art. 18)

Weiter müssen Inhaber von ARA Lagerkapazität für Klärschlamm von mindestens zwei Monaten bereithalten, für den Fall, dass Klärschlamm nicht umweltverträglich beseitigt werden kann (Art. 19 Abs 2).

Lagereinrichtungen
(Art. 19)

Das Risiko einer Gewässerverunreinigung sowie die wirtschaftlich tragbaren Massnahmen und die möglicherweise zusätzlich erforderlichen behördlich anzuordnenden Massnahmen bei einer Verknappung des Angebots von FHM sind nicht weiter spezifiziert.

Gemäss Einschätzung des BAFU lässt sich Art. 19 Abs 2 auch dahingehend auslegen, dass zur Erfüllung dieser gesetzlichen Vorgabe Flockungshilfsmittel für mindestens zwei Monate an Lager gehalten werden müssen, wenn die zweimonatige Lagerkapazität für Klärschlamm auf entwässerten Klärschlamm ausgelegt ist¹.

Interpretation
Lagereinrichtungen
Art. 19

Abfallverordnung

Die Abfallverordnung ordnet an, dass Klärschlamm thermisch behandelt werden muss. Für Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen ist eine Lagerhaltung von Betriebsmitteln für die Dauer von zwei Monaten in der VVEA (Art. 32) vorgeschrieben. Eine identische Vorgabe zur Lagerhaltung von Betriebsmitteln für Inhaber von ARA gibt es nicht.

Thermische Be-
handlung von Klär-
schlamm vorge-
schrieben

1 Alle im Verlauf des Projekts erhaltenen Informationen (Interviews, Begleitgruppe) weisen darauf hin, dass aktuell das Volumen auf entwässerten Klärschlamm ausgelegt wird.

2. Methodik

2.1 Schwerpunktthemen

Um das Szenario einer Verknappung von FHM einerseits besser einzuschätzen und andererseits Massnahmen zu identifizieren, die das Risiko reduzieren, können zwei Strategien verfolgt werden:

Vorsorge und Bewältigung

- **Vorsorge:** Reduktion der Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses
- **Bewältigung:** Reduktion des Ausmasses des Schadens bei Eintreten des Ereignisses

Sowohl in der Vorsorge als auch in der Bewältigung einer FHM-Knappheit gibt es diverse zu beantwortende Fragen. Der vorliegende Grundlagenbericht gliedert diese Fragen in drei Schwerpunktthemen. Einer dieser Schwerpunkte befasst sich mit dem Bereich der Vorsorge (Versorgung mit FHM), während die anderen beiden den Bereich der Bewältigung einer FHM-Knappheit adressieren.

3 Schwerpunktthemen

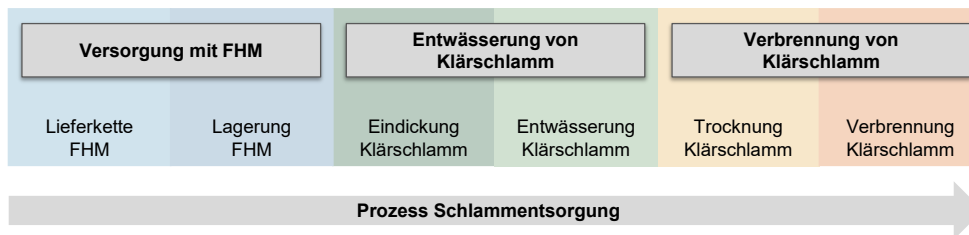


Abbildung 1: Die für den Grundlagenbericht definierten 3 Schwerpunktthemen entlang des Klärschlammmentsorgungsprozesses.

Um die Wahrscheinlichkeit einer Verknappung einzuschätzen und zu reduzieren, ist einerseits der Markt der FHM-Hersteller und Importeure zu identifizieren und zu verstehen. Andererseits können Lager von FHM entweder bei Herstellern und Importeuren oder auf den ARA eine Verknappung oder einen Lieferunterbruch überbrücken. Diese Themen werden im Schwerpunktthema Versorgung mit FHM in Kapitel 4 behandelt.

Versorgung mit FHM

Sollte auf dem Markt eine Verknappung oder ein Lieferunterbruch eintreten, kann der Schaden mit einer gelungenen Bewältigungsstrategie eingegrenzt werden. Im Rahmen der Risikoanalyse des BABS [1] wurden verschiedene Lösungsansätze besprochen, um das Schadensausmass zu reduzieren. Dabei stellten sich aber oft rechtliche und technische Fragen sowie Fragen der Machbarkeit (z. B. Logistik, Kapazitäten, Koordination der Akteure), welche im Rahmen der Risikoanalyse des BABS nicht weiter geklärt werden konnten.

Das Schwerpunktthema Entwässerung von Klärschlamm befasst sich mit denjenigen Fragen, die für die Bewältigung einer FHM-Knappheit auf den ARA relevant sind, wie z. B. alternative Verfahren zur Klärschlammmentwässerung, reduzierte FHM-Dosierungen, Lagerkapazitäten für flüssigen Klärschlamm.

Entwässerung von Klärschlamm

Das dritte Schwerpunktthema Verbrennung von Klärschlamm beleuchtet die Fragen zur Klärschlamm Entsorgung wie z. B. den Anforderungen von Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), Schlammverbrennungsanlagen (SVA) und Anlagen zur Trocknung und anschliessenden Verwertung in der Zementindustrie (TuZ) an den zu verbrennenden Klärschlamm und deren Kapazitäten bei erhöhten, flüssigeren Klärschlamm mengen.

Verbrennung von Klärschlamm

2.2 Systemgrenze

Ansätze zu alternativen Entsorgungswegen von Klärschlamm im Krisenfall (Deponieren von Klärschlamm, Austrag in der Landwirtschaft, Einleiten in grosse Vorfluter, Verzicht auf Phosphor-Fällung) werden im vorliegenden Grundlagenbericht nicht betrachtet, da die Abfallverordnung (VVEA) die thermische Behandlung von Klärschlamm vorschreibt (Art. 10).

Alternative Entsorgungswege werden nicht betrachtet

2.3 Vorgehen

Für jedes der drei Schwerpunktthemen (Abbildung 2, blaue Kästen) wurden im Verlauf der Studie je eine Frageliste und eine Massnahmenliste (grüne Kästen) geführt. Mit jedem Arbeitspaket (AP) wurden Fragen beantwortet, ggf. Fragen ergänzt und Massnahmen ergänzt, geschärft oder verworfen. Zur Faktenbeschaffung dienten Interviews mit Expertinnen und Experten (Anhang A4) sowie Internetrecherchen. Eine Begleitgruppe unterstützte das Projekt zur Validierung und kritischen Diskussion der Erkenntnisse.

Recherche, Frage- und Massnahmenliste, Begleitgruppe und Interviews

Um die Schwerpunktthemen möglichst effizient zu bearbeiten und den Fokus und die Bearbeitungstiefe fortlaufend anpassen zu können, wurde das Projekt iterativ aufgebaut. Die Bearbeitungstiefe und der Fokus wurden jeweils nach Vorliegen weiterer Resultate angepasst. Das Projekt bestand aus drei Arbeitspaketen (AP), die in den folgenden Unterkapiteln kurz beschrieben sind.

Iteratives Vorgehen

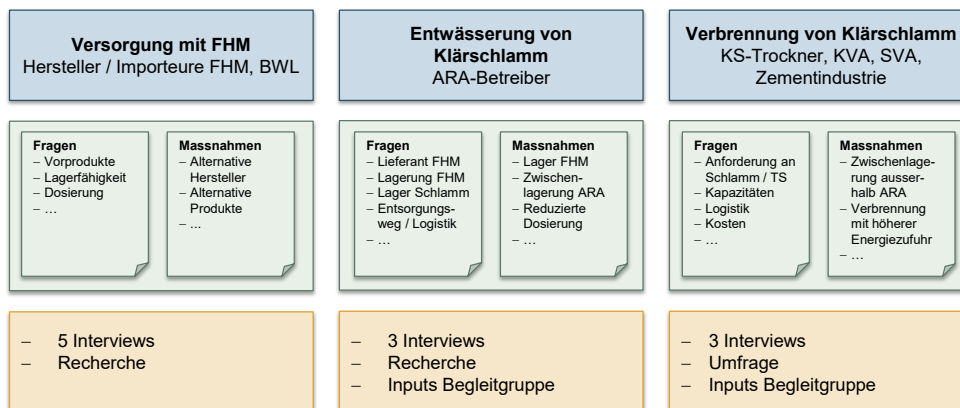


Abbildung 2: Struktur der drei Schwerpunktthemen (blaue Kästen), der Zuordnung der Fragen und Massnahmen (grüne Kästen) und Vorgehen zur Faktenbeschaffung (gelbe Kästen).

AP1: Projektstart und Systemanalyse

In AP1 wurden bestehende Grundlagen gesichtet und eine Recherche durchgeführt, um eine Übersicht über die Marktsituation, die kritischen Vorprodukte von FHM und die internationalen Abhängigkeiten bei der

Frage- und Massnahmenliste

Versorgung mit FHM zu erhalten. Pro Schwerpunktthema wurde die Frage- und Massnahmenliste ergänzt.

Basierend darauf wurden drei Szenarien mit unterschiedlichen Intensitäten zu einer möglichen Verknappung oder eines Lieferunterbruchs von FHM ausgearbeitet (Kapitel 2.4). Die Szenarien enthalten unterschiedliche Ausprägungen bezüglich Dauer, Verteilung und Intensität der FHM-Verknappung. Die Szenarien dienen als Arbeitshypothese, um Massnahmen zu identifizieren, die die Resilienz des KTS Abwasser generell stärken und in unterschiedlichen Szenarien ihre Wirkung entfalten, resp. das Schadensausmass reduzieren.

Drei Szenarien als Hypothese

Im Falle einer FHM-Knappheit sind die schweizweit anfallenden Klärschlammvolumina ausschlaggebend, um die Umsetzbarkeit der Massnahmen beurteilen zu können. Die grobe Massenbilanz des Klärschlammes sowie der schweizweite FHM-Verbrauch für die Eindickung und für die Entwässerung (Kapitel 3) wurde basierend auf schweizweiten Kennzahlen [2], [4] hergeleitet und fehlende Informationen über Schätzungen aus Begleitgruppenworkshops und -interviews ergänzt.

Massenbilanz Klärschlamm und FHM

Ein erster Begleitgruppenworkshop in AP 1 diente dem Ziel, das Vorgehen zu konkretisieren, mögliche Interviewpartner zu identifizieren, die Frage- und Massnahmenlisten kritisch zu hinterfragen, zu ergänzen und teilweise schon zu beantworten.

Workshop 1 Begleitgruppe

AP2: Faktenbeschaffung

Basierend auf den Erkenntnissen des Begleitgruppenworkshops in AP1 wurde das Vorgehen für AP2 geschärft. In jedem Schwerpunktthema dienten mehrere Interviews mit Expertinnen und Experten (Anhang A4) dazu, offene Fragen zu beantworten und die identifizierten Massnahmen zu schärfen und nach Bedarf zu ergänzen.

Interviews mit Expertinnen und Experten

Um das Bild der Annahmebedingungen und Kapazitäten von KVA, SVA und Klärschlamm Trocknung und Zementwerke (TuZ) zu vervollständigen, wurde eine Umfrage unter den grösseren KVA, SVA und TuZ durchgeführt.

Umfrage bei KVA, SVA und TuZ

AP3: Dokumentation und Abschluss

Der 2. Begleitgruppenworkshop diente dazu, die Erkenntnisse aus den Interviews mit der Begleitgruppe zu validieren und Aufwand und Wirkung der möglichen Massnahmen zu diskutieren. Dabei schätzte die Begleitgruppe für jede vorgeschlagene Massnahme qualitativ die Kosten und die risikomindernde Wirkung ein (hoch/mittel/tief). Für Massnahmen, die im Rahmen der Dokumentation angepasst wurden, erstellte das Projektteam einen Vorschlag für Einschätzung der Kosten und Wirkung.

Workshop 2 Begleitgruppe

Im Rahmen der Dokumentation wurden die drei Szenarien (Arbeitshypothese) basierend auf den Ergebnissen aus AP2 kritisch reflektiert und die Wirkung der identifizierten Massnahmen in den verschiedenen Szenarien eingeschätzt.

Einschätzung Szenarien

Der vorliegende Schlussbericht dokumentiert die Ergebnisse aller AP. Die Rückmeldungen der Begleitgruppe und der interviewten Expertinnen und Experten wurden im Rahmen einer Feedbackrunde darin aufgenommen. Die

Dokumentation

Kapitel 4 bis 6 beschreiben die Erkenntnisse in den 3 Schwerpunktthemen. Jedes Unterkapitel enthält eine Beschreibung sowie eine tabellarische Zusammenfassung möglicher Massnahmen. Dabei sind alle Massnahmen, die im Rahmen des Projekts diskutiert wurden, kurz beschrieben. Massnahmenansätze, die sich als wenig wirksam oder schwer umsetzbar herausgestellt haben, sind der Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit halber ebenfalls beschrieben.

2.4 Szenarien

Als Grundlage für die Diskussionen in den Workshops mit der Begleitgruppe sowie in den Interviews wurden drei Szenarien zu einer möglichen Verknappung oder eines Lieferunterbruchs von FHM entwickelt. Die Szenarien decken drei unterschiedliche Intensitäten ab, die sich bezüglich Dauer, Verteilung und Intensität der FHM-Verknappung unterscheiden.

3 Szenarien für
FHM-Verknappung

Die Szenarien dienten im ersten Workshop mit der Begleitgruppe als Gedankenstütze, um zu identifizieren, welche konkreten Fragen in den Interviews zu klären sind. Die in den Kapitel 4, 5 und 6 empfohlenen Massnahmen werden dann im Kapitel 7.1 hinsichtlich ihrer Wirkung auf die 3 Szenarien überprüft. Damit wird sichergestellt, dass Massnahmen identifiziert werden, die die Resilienz des KTS Abwasser generell stärken und in unterschiedlichen Szenarien ihre Wirkung entfalten.

Szenarien als
Grundlage

Szenario 1: Komplettausfall

- Reduktion der Verfügbarkeit: 100 %
- Dauer der reduzierten Verfügbarkeit: 4 Monate (3 Monate keine FHM)
- Räumliche Ausdehnung: Internationale Lieferschwierigkeiten, ganze Schweiz betroffen
- Vorratshaltung auf ARA: schweizweit ca. 4 Wochen

Szenario 2: Teilausfall

- Reduktion der Verfügbarkeit: 50 %
- Dauer der reduzierten Verfügbarkeit: 1 Jahr
- Räumliche Ausdehnung: Internationale Lieferschwierigkeiten, ganze Schweiz betroffen
- Vorratshaltung auf ARA: schweizweit ca. 4 Wochen

Szenario 3: Ungleiche Verteilung

- Reduktion der Verfügbarkeit: 50 %
- Dauer der reduzierten Verfügbarkeit: 4 Monate
- Räumliche Ausdehnung: Internationale Lieferschwierigkeiten, ganze Schweiz betroffen
- Vorratshaltung ARA: Unterschiedliche verteilt, zwischen wenigen Tagen und mehreren Monaten. Austausch unter ARA möglich.

Prozessschritt	TS-Gehalt	TS-Menge pro Jahr	Volumen / Bemerkungen
Schlammproduktion (Frischschlamm)			
Primärschlamm (PS)	2.5 %	191'000 t TS	7.5 Mio. m ³ aus Vorklärung (vereinfachte Annahme)
Überschussschlamm (ÜSS)	0.6 %	191'000 t TS	32 Mio. m ³ aus Nachklärung oder Biologie (vereinfachte Annahme)
Schlamm entwässerung			
Eingedickter Frischschlamm (vor der Faulung / Stabilisierung)	4.5 %	382'000 t TS	8.5 Mio. m ³ entspr. gesamtem Schlammanfall vor der Faulung (vereinfachte Annahme)
Gefaulter / stabilisierter Schlamm (vor der Entwässerung)	2.25 %	191'000 t TS	8.5 Mio. m ³ entspr. gesamtem Schlammanfall nach der Faulung; Reduktion des TS in der Faulung / Stabilisierung um ca. 50 %, Wassermenge bleibt unverändert
Entwässerter Schlamm (nach der Faulung / Stabilisierung)	25 %	191'000 t TS	760'000 m ³ entspr. gesamtem Schlammanfall nach der Faulung
Getrockneter Schlamm (Teilmenge des entw. Schlammes)	90 %	41'500 t TS	46'000 m ³ entspr. dem Anteil, welcher in Zementwerken verwertet wird

Tabelle 2: Prozessschritte und Annahmen zu Klärschlammanfall und -verarbeitung (exkl. Verbrennung); Angaben in blauer Schrift sind Annahmen zu schweizweiten Mittelwerten

Die überwiegende Mehrheit des Klärschlammes (rund 80 %) in der Schweiz wird über eine mesophile Faulung stabilisiert und weitere knapp 10 % werden aerob stabilisiert [2]. Daraus wird die vereinfachende Annahme abgeleitet, dass die gesamte jährliche Menge von 191'000 t TS stabilisiert und dabei die TS um rund 50 % reduziert wird. Folglich sind die Klärschlamm-mengen bezogen auf die Trockensubstanz vor der Stabilisierung mit 382'000 t TS doppelt so hoch. Es wird weiter davon ausgegangen, dass Primär- und Überschussschlamm gemessen am TS-Gehalt zu gleichen Teilen (je 50 %) anfallen. Daraus lässt sich das gesamte Volumen des in der Schweiz jährlich produzierten Primär- und Überschussschlammes abschätzen:

Jährlich 40 Mio. m³ Frischschlamm

— ca. 32 Mio. Tonnen bzw. m³ Überschussschlamm pro Jahr

— ca. 7.5 Mio. Tonnen bzw. m³ Primärschlamm pro Jahr.

Stehen keine Flockungshilfsmittel mehr zur Verfügung, müssten somit bis zu rund 39.5 Mio. m³ Frischschlamm (Überschuss- + Primärschlamm) pro Jahr bzw. rund 108'000 m³ pro Tag zwischengelagert oder entsorgt werden.

Stehen noch ausreichend FHM für die Eindickung zur Verfügung (Betrieb Faulung bleibt möglich), müssten rund 8.5 Mio. m³ Faulschlamm pro Jahr bzw. rund 23'000 m³ pro Tag zwischengelagert oder entsorgt werden. Aufgrund des hohen Wassergehalts wirkt sich die Reduktion des TS-Gehalts von ca. 50 % durch die Faulung, d.h. von ca. 4.5 % TS (382'000 t TS) auf ca. 2.25 % TS (191'000 t TS) unwesentlich auf das Volumen aus.

Jährlich 8.5 Mio. m³ Faulschlamm

Es wird im vorliegenden Bericht davon ausgegangen, dass die Klärschlamm-mengen gleichmässig anfallen, auch wenn saisonale Unterschiede auftreten und kurzfristige Schwankungen bei Fremdschlammannahmen vorkommen. Folglich kann der Bedarf an Flockungshilfsmittel durch den ARA-Betrieb vorausschauend über mehrere Monate geplant werden.

Gleichmässige Klärschlammproduktion

Für die Eindickung wird der FHM-Verbrauch gemäss Expertenauskünften auf rund 400 t Wirksubstanz (WS) pro Jahr geschätzt. Der spezifische Bedarf von FHM für die Eindickung variiert stark, da einige ARA auch eine mechanische Eindickung, z.B. mittels Dekanter, ohne FHM betreiben. Im Mittel wird für die Schweiz von rund 2 kg WS pro t TS_{ÜSS} ausgegangen.

Eindickung: 2 kg
WS / t TS

Für die Entwässerung beläuft sich der geschätzte FHM-Verbrauch gemäss Experteneinschätzungen schweizweit auf rund 2'000 t Wirksubstanz pro Jahr. Dies entspricht rund 10.5 kg WS pro t TS unter der Annahme, dass die gesamten rund 191'000 t TS Klärschlamm mit FHM entwässert werden.

Entwässerung:
10.5 kg WS / t TS

Für die Eindickung wird nur rund 1/6 der gesamten FHM-Menge gebraucht. Da die Eindickung und Stabilisierung einerseits bzgl. Volumen- und TS-Reduktion und andererseits bzgl. Klärschlamm-Handling sehr wichtige Prozesse sind, sollte, während einer FHM-Knappheit, die Eindickung mit höchster Priorität betrieben werden.

4. Versorgung mit Flockungshilfsmitteln

4.1 Produkte

Flockungshilfsmittel (FHM) sind Polymere, die in unterschiedlichen physikalischen Formen, chemischen Strukturen und spezifischen Anwendungseigenschaften vorliegen. FHM sind in verschiedenen Darreichungsformen erhältlich, die sich in Wirkstoffgehalt [$\text{kg}_{\text{Aktivsubstanz}} / \text{t}_{\text{TS im Klärschlamm}}$], Handhabung und Lagerfähigkeit unterscheiden:

Arten von FHM

Pulverförmige FHM weisen einen hohen Anteil an Aktivsubstanz auf und sind in der Regel weniger hochmolekular. Sie sind mindestens zwei Jahre (Herstellergarantie), bei optimalen Lagerbedingungen sogar bis zu fünf Jahre haltbar und eignen sich daher besonders für die Bevorratung. Der Transport ist aufgrund der hohen Wirkstoffdichte effizient und kostengünstig. Nach Schätzung der Hersteller und Lieferanten verwenden rund 50 % der ARA pulverförmige FHM (50 % bezogen auf die Menge, nicht auf die Anzahl ARA).

Pulverförmige FHM

Öl-basierte Emulsionen enthalten rund 40 % Aktivsubstanz, sind höhermolekular und können variantenreicher hergestellt werden als pulverförmige FHM. Sie ermöglichen höhere TS-Konzentrationen im Klärschlamm als pulverförmige FHM. Die Haltbarkeit beträgt mindestens sechs Monate (Herstellergarantie) und kann durch regelmässiges Aufrühren auf zwei Jahre verlängert werden. Die Produkte sind weniger stabil als pulverförmige FHM, da sich die Wirksubstanz mit der Zeit abbaut. Der Transport ist aufgrund des höheren Gewichts pro Aktivsubstanz (Flüssigkeit) teurer als bei pulverförmigen FHM.

Emulsionsprodukte (Öl-basiert)

Wasserbasierte FHM enthalten maximal 1–3 % Aktivsubstanz. Bei höheren Konzentrationen von Aktivsubstanz steigt die Viskosität stark an, was die Handhabung erschwert. Wasserbasierte FHM werden vor allem in industriellen Anwendungen, als Verdickungsmittel oder in der Farben- und Lackindustrie eingesetzt. Auf kommunalen ARA ist keine Anwendung bekannt.

Flüssige FHM (wasserbasiert)

FHM-Arten	Eigenschaften / Chemie	Haltbarkeit	Transport	Marktanteil ARA
Pulver	— Weniger hoch molekular	— Mindestens 2 Jahre (Herstellergarantie) — bei guten Lagerbedingungen bis 5 Jahre — für Bevorratung geeignet	Günstiger, da mehr Aktivsubstanz pro Tonne	~50 %
Emulsionen (Öl-Basis)	— ca. 40 % Aktivsubstanz — höher molekular: variantenreicher — höhere TS-Konzentrationen im Klärschlamm erreichbar	— Mindestens 6 Monate (Herstellergarantie) — Phasentrennung bei längerer Lagerdauer — kann durch regelmässiges Aufrühren bis ca. 2 Jahre verwendet werden	Teurer (Transport von Flüssigkeit), instabiler	~50 %
Flüssig (Wasserbasis)	— Maximal 1-3 % Aktivsubstanz, bei höherer Wirkstoffkonzentration zu viskos — Branchen: Industrie, Verdickungsmittel, Farben und Lacke			

Tabelle 3: Überblick über die verschiedenen Arten von Flockungshilfsmitteln (FHM).

FHM lassen sich weiter nach ihrer chemischen Ladung und Vernetzungsstruktur differenzieren:

Kationische und anionische Polymere

- Kationische Polymere sind besonders wirksam bei der Klärschlammmentwässerung, da viele Klärschlämme negativ geladen sind. Für die Klärschlammmentwässerung werden fast ausschliesslich hochkationische Polyacrylamide verwendet. Rund 40 % der weltweiten Produktion von FHM-Polymeren sind kationische Polymere. Rund 90 % der Produktion kationischer Polyacrylamide werden von ARA verwendet. Die verbleibenden 10 % gehen in die Papierindustrie und zu Industriekläranlagen.
- Anionische Polymere werden bei bestimmten Schlammarten oder in Kombination mit anderen Chemikalien eingesetzt, beispielsweise in der Öl- und Gasindustrie, in der Lebensmittelindustrie, im Berg- und Tunnelbau, in Kiesgruben oder in der Textil- und Kosmetikbranche. Rund 60 % der weltweiten Produktion von FHM-Polymeren sind anionische Polymere.

Hersteller und Lieferanten bieten eine breite Produktpalette mit unterschiedlichen Eigenschaften an. Die Auswahl des effizientesten Produkts erfolgt in der Regel durch spezifische Tests mit dem Klärschlamm der jeweiligen ARA. Einige Lieferanten bieten auch spezialangefertigte Polymere an, die je nach Anforderungen der ARA mit chemischen Zusätzen versehen werden. Im Falle von Lieferengpässen können auch weniger effiziente oder alternative Produkte eingesetzt werden, um die Betriebsfähigkeit aufrechtzuerhalten.

Produktpalette für ARA

Neben den Polymeren gibt es anorganische Produkte, die früher zur Klärschlammmentwässerung und Eindickung verwendet wurden.

Anorganische Alternativen

- Kalk diente früher zur Eindickung von Klärschlamm und kann grundsätzlich als anorganische Alternative zu polymerbasierten FHM eingesetzt werden. Kalk wirkt einerseits entwässernd, andererseits erhöht es den TS auch einfach durch die zugegebene Menge an Kalk, was die Gesamtmenge an Klärschlamm erhöht. Technisch ist Kalk nur auf ARA mit Filterpressen einsetzbar.

- Aluminium- und Eisensalze werden primär zur Phosphorfällung eingesetzt und werden im Kies- und Tunnelbau zur Koagulation sehr feiner Partikel verwendet. Für die Eindickung von Klärschlamm werden sie jedoch nicht mehr genutzt. Bei schlechter Klärschlammqualität können sie zur Schlammkonditionierung eingesetzt werden, um die Entwässerungseigenschaften zu verbessern.

Diskutierte Massnahmen
<p>FHM aus anderen Branchen für ARA nutzen Da ARA nur kationische FHM verwenden können und nur 10 % derer Produktion in andere Branchen geht, wäre die Wirkung dieser Massnahme relativ gering. Es wäre aber denkbar, dass die Papierindustrie für einen Zeitraum auf die normalerweise verwendeten FHM verzichten könnte, da die Produktion im Ereignisfall weniger zeitkritisch wäre. Die Bedeutung der Papierindustrie nahm in der Schweiz in den letzten Jahren ab.</p>
<p>Einsatz von anorganischen FHM als Alternative Kalk könnte vereinzelt auf kleineren bis mittleren ARA eingesetzt werden, sofern Filterpressen vorhanden sind. Aufgrund der daraus entstehenden Erhöhung der Klärschlamm-Menge ist diese Massnahmen nur in einzelnen Anwendungsfällen zielführend, wenn keine anderen Lösungen möglich sind.</p>
Prüfungswerte Massnahmen
Keine Massnahme identifiziert.

4.2 Lieferkette

Für die Herstellung polymerer FHM beurteilen die befragten Fachpersonen die Verfügbarkeit zweier Vorprodukte als kritisch: Acrylonitril und Methylchlorid (Abbildung 4). Acrylonitril wird sowohl für die Herstellung anionischer wie auch kationischer FHM gebraucht. Für die Herstellung kationischer FHM wird für die Quaternierung³ des Polymers zusätzlich Methylchlorid benötigt. Da dieser Schritt bei anionischen FHM entfällt, sind anionische FHM in der Herstellung günstiger. Die Verfügbarkeit beider Vorprodukte ist von Aktivitäten anderer Firmen in der Chemieindustrie abhängig. Beide gelten als Gefahrgut und haben bzgl. Lagerung und Transport erhöhte Anforderungen. In einigen grossen Häfen gibt es Zwischenlager. Bezüglich Haltbarkeit sind beide Chemikalien unkritisch. Beide Vorprodukte werden gleichermassen für pulverförmige FHM und Emulsionen benötigt.

2 kritische Vorprodukte

3 Quaternierung: Chemischer Prozess, bei dem aus tertiären Aminen durch Reaktion mit beispielsweise Methylchlorid quartäre Ammoniumverbindungen entstehen. Durch die Quaternierung entsteht eine stabile positive Ladung am Molekül, die für die Funktion von Flockungshilfsmitteln in der Entwässerung und Eindickung von Klärschlamm unerlässlich ist.

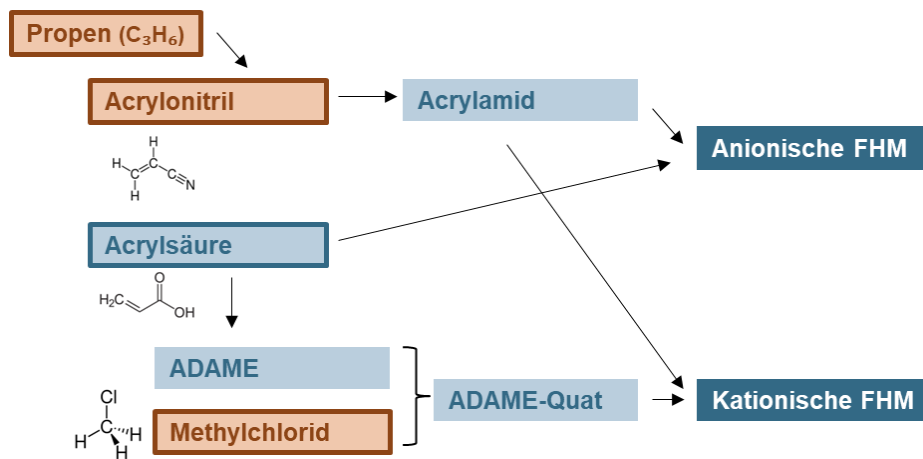


Abbildung 4: Grafische Darstellung der wichtigsten Vorprodukte für die Herstellung von anionischen und kationischen FHM.

Die Verfügbarkeit von Acrylonitril hängt direkt von der Verfügbarkeit von Propen ab. Propen ist eine zentrale Basischemikalie für die Kunststoff-, Chemie- und Raffinerieindustrie. Es wird nicht primär hergestellt, sondern fällt als Nebenprodukt in Raffinerien⁴ und Steamcrackern⁵ an. Die Auslastung dieser Anlagen ist für die Verfügbarkeit und den Marktpreis von Propen entscheidend.

Acrylonitril

- Wenn Raffinerien wegen sinkender Nachfrage nach Benzin oder Diesel (z. B. bei hohen Erdölpreisen oder der Energiewende) weniger ausgelastet sind, entsteht auch weniger Propen als Nebenprodukt.
- Bei den Steamcrackern kann es bei einem Anstieg des Erdölpreises zu einer Verschiebung von Erdöl (resp. Naphta) als Ausgangschemikalie zu Erdgas (resp. Ethan) kommen. Beim Steamcracking von Erdgas fällt als Nebenprodukt hauptsächlich Ethen und kaum Propen an.

Der Erdölpreis hat sowohl auf die Auslastung der Raffinerien als auch der Steamcracker einen starken Einfluss. Ein ansteigender Erdölpreis ist deshalb ein guter Indikator für eine mögliche Verknappung von FHM. Aufgrund der Energiewende besteht generell der Trend zu einem Rückgang dieser energieintensiven Industrien, was die langfristige Verfügbarkeit von Propen beeinflussen kann.

Erdölpreis als Indikator

4 In Raffinerien entsteht Propen als Nebenprodukt bei der Benzinproduktion.

5 Ein Steamcracker, auch Dampfspaltung genannt, ist eine petrochemische Anlage, die lange Kohlenwasserstoffketten in kürzere, ungesättigte Kohlenwasserstoffe zerlegt. Dies geschieht durch Erhitzen von Rohstoffen wie Naphtha oder Ethan mit Wasserdampf auf sehr hohe Temperaturen (ca. 800-850°C) in Rohrreaktoren.

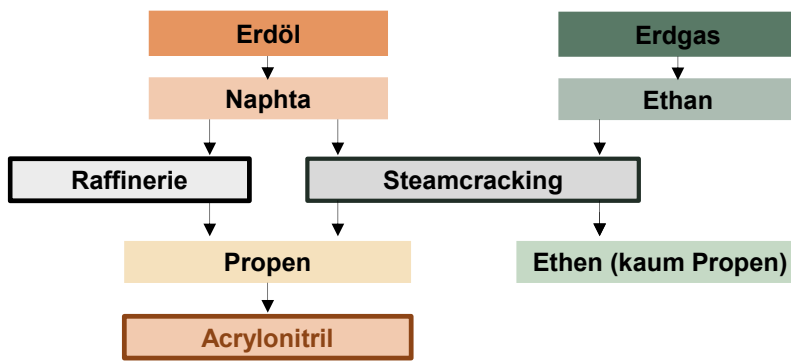


Abbildung 5: Propen als Nebenprodukt der Prozesse in Raffinerien und Steamcrackern

Die Verfügbarkeit von Methylchlorid hängt massgeblich von der Produktion chlorierter Lösungsmittel ab, da Methylchlorid als Nebenprodukt bei Chlor-Alkali-Elektrolysen entsteht. Da chlorierte Lösungsmittel aufgrund ihrer gesundheitlichen und umweltbezogenen Risiken zunehmend reguliert werden, ist deren Herstellung stark zurückgegangen. Dies führt dazu, dass auch die Produktionskapazitäten für Methylchlorid reduziert werden. Methylchlorid ist sehr toxisch, was einen Transport dieses Vorprodukts sehr schwierig macht.

Methylchlorid

Neben diesen 2 Vorprodukten benötigt die FHM-Produktion weitere hochspezialisierte Chemikalien. Diese werden speziell für die FHM-Produktion hergestellt. Sie werden in kleineren Mengen eingesetzt und können einfacher transportiert werden. Entsprechend wird deren Verfügbarkeit als wesentlich weniger kritisch eingeschätzt.

Weitere hochspezialisierte Chemikalien

Um die Versorgungssicherheit mit Vorprodukten hochzuhalten, versuchen Hersteller Beziehungen zu verschiedenen Lieferanten aus verschiedenen Weltregionen zu pflegen. Die Engpässe im Jahr 2022 haben die Hersteller diesbezüglich sensibilisiert.

Vorprodukte aus versch. Weltregionen

Die befragten Fachpersonen gehen davon aus, dass sich auf dem Markt bei einem Engpass innert 3 bis 4 Monaten neue Produktionswege etablieren würden. Miteingeschlossen in der Schätzung sind die ca. 6 Wochen Schiffs-transport aus Asien.

Neue Produktionswege innert weniger Monate

Ein Engpass mit längeren Lieferzeiten oder eingeschränkter Verfügbarkeit von FHM wird als durchaus realistisch eingeschätzt. Ein kompletter Ausfall der FHM-Produktion über mehrere Monate schätzen Hersteller und Lieferanten hingegen als unwahrscheinlich ein, da der Markt flexibel auf Veränderungen reagieren kann. Massgebend ist dabei, was die Ursache für die Einschränkungen (Anstieg Erdölpreis, Einschränkung Schiffstransport, Grenzschliessungen, Kriegsfolgen, höhere Gewalt, etc.) ist, resp. welche Anpassungsmöglichkeiten die Hersteller im Ereignis noch haben.

Komplettausfall unwahrscheinlich

Die Verfügbarkeit von alternativen Produkten zur Eindickung und Entwässerung von Klärschlamm wie Kalk(milch) oder Eisen- und Aluminiumsalze ist weitgehend unabhängig von der Verfügbarkeit polymerer FHM. Diese anorganischen Produkte werden lokaler hergestellt und sind nicht in gleichem Masse von globalen Lieferketten abhängig.

Kalk(milch) und Eisen- und Aluminiumsalze

Diskutierte Massnahmen
Pflichtlager für Vorprodukte Siehe Kapitel 4.5
Prüfungswerte Massnahmen
Keine Massnahme identifiziert.

4.3 Produktion

Produktionsanlagen für pulverförmige FHM unterscheiden sich grundsätzlich von Anlagen für die Produktion von Emulsionen, da unterschiedliche Prozesse durchlaufen werden. Anlagen, welche kationische oder anionische Polymere herstellen, sind jedoch sehr ähnlich. Eine Anlage für anionische Polymere könnte in kurzer Zeit mit geringem Aufwand umgestellt werden auf eine Produktion von kationischen Polymeren – und umgekehrt.

Umstellung von Produktionsanlagen

Die Produktion kationischer Polymere findet idealerweise in derselben Region (Kontinent) statt wie die Produktion des kritischen Vorprodukts Methylchlorid, da der Transport des toxischen Gases aufwändig und gefährlich ist (siehe Kapitel 4.2). Die Produktion der in Europa verkauften FHM befindet sich mehrheitlich in Europa. Weitere Produktionsanlagen gibt es in Nordamerika, Asien, Australien und Südamerika. In Asien werden bislang vorrangig anionische FHM produziert, die für die Entwässerung von Klärschlamm nicht angewendet werden können.

Standorte der Produktionsanlagen

Die Produktionsanlagen der für Europa relevanten Hersteller werden i.d.R. nicht an ihrer Kapazitätsgrenze betrieben. Sie könnten somit bei Bedarf die Produktionskapazitäten bis zu einem gewissen Grad erhöhen (z. B. Produktion am Wochenende). Der limitierende Faktor für die Produktion sind nicht die Produktionskapazitäten der Anlagen, sondern die Verfügbarkeit der kritischen Vorprodukte. Entsprechend würde auch der Betrieb oder Aufbau einer Produktionsanlage im Inland die Versorgungslage der Schweiz nicht verbessern. Zudem bedarf der Aufbau einer neuen Produktionsanlage eines Planungs-, Bewilligungs-, Bau- und Inbetriebnahmeprozesses in der Gröszenordnung von 10 Jahren.

Produktionskapazitäten sind nicht limitierend

Diskutierte Massnahmen
Umstellung zwischen anionischen und kationischen Produktionsanlagen Die Umstellung von anionischen Produktionsanlagen auf kationische Produkte ist möglich. Dies löst aber das Problem der FHM-Knappheit nicht, da die Produktionskapazitäten nicht limitierend sind, sondern die Verfügbarkeit der Vorprodukte.
Umstellung zwischen Pulver- und Emulsionsanlagen Die Umstellung von Produktionsanlagen zwischen Pulver- und Emulsionsanlagen ist technisch nicht möglich. Auch sind nicht die Produktionskapazitäten limitierend, sondern die Verfügbarkeit der Vorprodukte.
Aufbau einer Produktionsanlage in der Schweiz Der Aufbau einer neuen Produktionsanlage braucht rund 10 Jahre. Zudem sind nicht die Produktionskapazitäten, sondern die Verfügbarkeit der Vorprodukte limitierend.
Prüfungswerte Massnahmen
Keine Massnahme identifiziert.

4.4 Marktsituation

Die hier beschriebene Marktsituation in Europa und in der Schweiz basiert auf Internetrecherchen und Auskünften der befragten Expertinnen und Experten. Sie dient der Einordnung der Marktverhältnisse (Anzahl und Grösse der Firmen) und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Überblick über die Marktsituation

In Europa dominieren drei grosse, international tätige Hersteller von Flockungshilfsmitteln den Markt. Mit einem Marktanteil von rund 50 % ist die französische Firma SNF (www.snf.com) die grösste Produzentin in Europa. Der finnische Hersteller Kemira (www.kemira.com) und die US-amerikanische Solenis (www.solenis.com) weisen je einen Marktanteil von rund 10 % auf. Solenis hat 2024 die FHM-Produktion des Chemiekonzerns BASF (www.basf.com) übernommen. Die verbleibenden rund 30 % des Marktes werden von diversen, mehrheitlich chinesischen Firmen versorgt, welche aber hauptsächlich anionische Polymere im Angebot haben. Aqua plus Tech (<https://aquatechglobal.com>) ist ein Hersteller mit Sitz in der Schweiz, produziert jedoch ebenfalls keine kationische Polymere.

3 grosse Hersteller

Schweizer ARA beziehen ihre FHM in der Regel von Schweizer Lieferanten, die ihre Produkte bei internationalen Herstellern beziehen. Einige der Lieferanten stellen auf Basis der eingekauften Produkte auch eigene FHM her, indem sie den FHM weitere Substanzen beimischen, um auf die Bedürfnisse der ARA-Betreiber einzugehen. Folgende Lieferanten wurden im Rahmen der Recherche identifiziert (alphabetisch sortiert):

Rund 10 Schweizer Lieferanten

- Applied Chemicals International Group (ACAT): www.acat.com
- Ballauf AG: <https://ballauf.ch>
- Brenntag Schweizerhall AG: www.brenntag.com
- Ensola AG: www.ensola.com
- Feralco Switzerland: <https://feralco.de>
- Flonex AG: offizielle Schweizer Vertretung von SNF, <https://flonex.ch>
- IMPAG AG: www.impag.ch
- Niederer Schneider AG: <https://n-schneider.ch>
- Saronfloc GmbH: <https://saronfloc.ch>
- Thommen-Furler Group: www.thommen-furler.ch

Diskutierte Massnahme
Keine Massnahme identifiziert.
Prüfungswerte Massnahmen
Redundante Beziehungen zu FHM-Lieferanten pflegen
ARA-Betreibern wird empfohlen, Handelsbeziehungen zu mehr als einem FHM-Lieferanten zu pflegen, um im Falle einer FHM-Knappheit auf mehrere Lieferantenbeziehungen zurückgreifen zu können. Im Ereignisfall behandeln Lieferanten ihre aktuellen Kunden i.d.R. prioritär.

4.5 Lagerbestände

Lagerbestände bei Herstellern, Lieferanten und direkt auf den ARA können bei einer Verknappung von FHM die Zeit überbrücken, in welcher keine oder unzureichend FHM geliefert werden können. Die aktuellen Lagerbestände bei Herstellern⁶ umfassen aktuell schätzungsweise 2 Monate (Rohstofflager, Material in den Produktionsanlagen sowie Lager an Fertigprodukten).

~ 2 Monate bei Herstellern

Die Lagerbestände bei den Lieferanten⁷ bewegen sich im Bereich von 1 – 2 Monaten Lieferreserve.

~ 1-2 Monate bei Lieferanten

Die Lagerbestände auf ARA sind sehr variabel und reichen von wenigen Tagen (kurz vor der Bestellung) bis zu 6 Monaten (bei komplett gefülltem Lager). Seit den Engpässen 2022 sind einige ARA sensibilisiert und führen etwas grössere Lagerbestände. In der Regel wird die nächste Bestellung aber erst ausgelöst, wenn die Lagerbestände fast aufgebraucht sind, sodass im Durchschnitt von einem permanenten Lagerbestand von wenigen Wochen auszugehen ist.

Wenige Wochen auf ARA

Das Bewusstsein, dass eine grössere Lagerhaltung von FHM auf den ARA die Abhängigkeit von unterbruchfreien Lieferungen stark reduzieren und die Betriebssicherheit entsprechend erhöhen würde, ist bei den ARA-Betreibern noch nicht so weit verbreitet. Eine Erhöhung der Lagermenge sollte in vielen Fällen relativ unproblematisch und zu tiefen Kosten umsetzbar sein.

Sensibilisierung der ARA-Betreiber

In der Schweiz sind Pflichtlager ein zentrales Instrument der wirtschaftlichen Landesversorgung (WL). Sie dienen dazu, die Versorgung der Bevölkerung und der Wirtschaft mit lebenswichtigen Gütern wie Nahrungsmitteln, Energie (z. B. Erdölprodukte), Heilmitteln und gewissen Industrieprodukten auch in Krisenzeiten sicherzustellen. Der Bund legt fest, welche Produkte in welchen Mengen gelagert werden müssen, die Lagerhaltung selbst ist dann Aufgabe der betroffenen Unternehmen. Die Vorräte sind so bemessen, dass sie den Bedarf der Schweiz für mehrere Monate abdecken. Die Finanzierung wird durch Bundesgarantien und Umlagen auf die Preise der entsprechenden Güter unterstützt. Im Krisenfall kann der Bund die Freigabe der Pflichtlager anordnen, um Versorgungsengpässe zu überbrücken. Weder für FHM noch für deren Vorprodukte gibt es in der Schweiz Pflichtlager.

Pflichtlager

Diskutierte Massnahme
<p>Langfristige Lieferverträge mit Hersteller/Lieferanten zur Erhöhung der Versorgungssicherheit</p> <p>Langfristige Lieferverträge bewirken keine grössere Lagerhaltung bei Herstellern oder Lieferanten.</p>
<p>Erhöhung der Lagermenge von FHM bei Herstellern oder Lieferanten</p> <p>Eine zusätzliche Lagerung könnte bei Hersteller oder Lieferanten eingekauft werden. Die Kosten für eine Lagerhaltung bei Herstellern oder Lieferanten werden aber als hoch eingeschätzt und könnte günstiger bei lokalen Lagerplatzanbietern eingekauft werden.</p>
<p>Pflichtlager</p> <p>Eine grobe Einschätzung gemäss der Methodik der WL zur Einschätzung des Beschaffungsrisikos einer Chemikalie zeigt auf, dass FHM und deren Vorprodukte die Bedingungen für die Einführung eines Pflichtlager nicht erfüllen.</p>

6 1 Auskunft

7 2 Auskünfte von Lieferanten + Schätzung (Experte Chemikalienmarkt)

Prüfungswerte Massnahmen
<p>Erhöhung der Lagermenge von FHM auf ARA</p> <p>Die Erhöhung der Lagermenge von FHM auf 2 bis 4 Monate reduziert die Abhängigkeit der ARA von unterbrechungsfreien Lieferungen stark. Die Lagerung von pulverförmigen FHM sollte in der Regel dank der guten Haltbarkeit und des kleinen Volumens problemlos umsetzbar sein. Auch bei Emulsionen sollte eine erhöhte Lagermenge meist umsetzbar sein. Sollten lokale Gegebenheiten die Erhöhung der Lagermenge erschweren, können ARA zusammenarbeiten. So könnte beispielsweise eine benachbarte ARA ihr Lager an pulverförmigen FHM erhöhen, sodass sie im Falle eines Versorgungsengpasses die ARA, die normalerweise Emulsionen verwendet, mit pulverförmigen FHM versorgen könnte.</p>
<p>Leitfaden zum Umgang mit einer Verknappung an FHM</p> <p>Ein Leitfaden für ARA-Betreiber könnte aufzeigen, wie abhängig sie von unterbrechungsfreien FHM-Lieferungen sind, und die Wichtigkeit eines erhöhten FHM-Lagers auf ARA erklären.</p> <p>In demselben Leitfaden könnten auch Massnahmen zur Bewältigung einer FHM-Knappheit, wie die Reduktion der Dosierung von FHM, die Umstellung von emulsionsbasierten auf pulverförmige FHM oder den Einsatz von Ersatzprodukten (siehe Kapitel 5.1) aufgezeigt werden. Für die Umsetzung und Publikation eines solchen Leitfadens wird der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) empfohlen.</p>
<p>BAFU-Vollzugshilfe «Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen» oder GSchV um konkrete Vorgaben zur Bevorratung von FHM auf den ARA ergänzen.</p> <p>Eine Vorgabe zur Bevorratung von FHM auf den ARA könnte in die BAFU-Vollzugshilfe (VH) «Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen» aufgenommen werden. Weiter ist zu prüfen, ob die Verpflichtung aus dem bereits existierenden Art. 19 Abs. 2 GSchV (siehe Kapitel 1.3) abgeleitet werden kann.</p> <p>Alternativ könnte analog zur VVEA (Art. 32 Ziff. 2 lit. h)⁸ eine konkrete Auflage in der GSchV die ARA-Betreiber dazu verpflichten, Betriebsmittel oder konkret FHM zu bevorraten, mit denen sie den Betrieb während 2 bis 4 Monaten sicherstellen könnten.</p>

4.6 Marktüberwachung und -steuerung

Die Wirtschaftliche Landesversorgung (WL) stellt die Versorgung der Schweizer Bevölkerung mit lebenswichtigen Gütern und Dienstleistungen in Krisenzeiten sicher. Die WL setzt sich aus dem Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung (BWL), einem Milizkader, kantonalen Delegierten sowie weiteren Bundesstellen und der Armee zusammen. Die WL koordiniert die Vorbereitung und in Mangellagen die Umsetzung von geeigneten Massnahmen und beaufsichtigt die Pflichtlagerhaltung (siehe Kapitel 4.5). Der WL stehen dabei verschiedene mögliche Massnahmen zur Verfügung. Im Folgenden werden die möglichen Massnahmen in Bezug auf eine FHM-Knappheit erläutert.

Wirtschaftliche Landesversorgung

Die WL betreibt ein systematisches Monitoring versorgungskritischer Produkte und Dienstleistungen. Ziel ist es, potenzielle Engpässe frühzeitig zu erkennen und die Versorgungslage laufend zu beurteilen. Weder die kritischen Vorprodukte (siehe Kapitel 4.2) oder die FHM selbst stehen aktuell auf der Liste der kritischen Chemikalien.

Monitoring kritischer Chemikalien

In einer Mangellage kann der Delegierte der WL Massnahmen zur Verbrauchslenkung von lebenswichtigen Gütern und Dienstleistungen beim Bundesrat beantragen. Dies umfasst beispielsweise die Priorisierung der Versorgung kritischer Infrastrukturen (wie Abwasserreinigung, Gesundheitswesen, Energieversorgung) und die Einschränkung des Verbrauchs in weniger kritischen Sektoren. Die rechtliche Grundlage hierfür bildet das

Verbrauchslenkung

8 Inhaberinnen und Inhaber von Anlagen müssen diese so betreiben, dass: [...] bei einem Unterbruch der Versorgung mit notwendigen Betriebsmitteln eine Reserve zur Verfügung steht, mit welcher der Regelbetrieb für mindestens zwei Monate sichergestellt ist.

Landesversorgungsgesetz (LVG, siehe Anhang A3). Die in Artikel 4 des LVG enthaltenen Aufzählungen zu lebenswichtigen Gütern erwähnt FHM oder den Abwassersektor nicht explizit. Die Aufzählung ist jedoch nicht abschliessend. Die Umsetzung solcher Massnahmen erfolgt in enger Abstimmung mit den Kantonen und weiteren Bundesstellen. Da jedoch 90 % der produzierten kationischen FHM an ARA verkauft werden, liegt nur ein beschränktes Potenzial in der Priorisierung der Abwasserbranche.

Im Falle einer fortgeschrittenen FHM-Knappheit, könnte die Priorisierung der ARA das Ausmass der Gewässerverschmutzung reduzieren, wenn beispielsweise die FHM-Versorgung für ARA an sensiblen oder kleinen Vorflutern gegenüber ARA an grösseren Gewässern priorisiert würde. Da bei dieser Massnahme die geltenden Rechtsgrundlagen nicht mehr eingehalten würden, wird sie in diesem Bericht nicht weiter vertieft. Eine temporäre Anhebung von Grenzwerten gehört jedoch zum Spektrum von Massnahmen, die die WL beim Bundesrat beantragen könnte.

Priorisierung von ARA und Anhebung von Grenzwerten

Die WL ist organisatorisch in die sechs Fachbereiche Energie, Heilmittel, Ernährung, Logistik, IKT und Industrie gegliedert. Der Fachbereich Industrie ist in drei Abteilungen gegliedert und die Versorgung mit FHM passt inhaltlich zur Abteilung Chemie, welche auch andere versorgungskritische Chemikalien monitort. Einen Fachbereich oder eine Abteilung Abwasser gibt es in der WL nicht. Es ist entsprechend nicht eindeutig, welche Rolle die WL einnehmen könnte, wenn es bei einer fortgeschrittenen FHM-Knappheit bspw. um eine Priorisierung von ARA oder die Anhebung von gesetzlichen Grenzwerten gehen würde.

Keine Abteilung Abwasser in der WL

Diskutierte Massnahme
Pflichtlager Siehe Kapitel 4.5
Verbrauchlenkung bei effektiver Knappheit Da rund 90 % der produzierten kationischen FHM an ARA verkauft werden, liegt nur ein beschränktes Potenzial in der Priorisierung der Abwasserbranche gegenüber anderen Branchen. Eine Priorisierung der ARA könnte jedoch das Ausmass der Gewässerverschmutzung reduzieren, wenn z. B. ARA an sensiblen oder kleinen Vorflutern gegenüber ARA an grösseren Gewässern priorisiert würden. Dies bedingt jedoch eine temporäre Anhebung der Einleitbedingungen. Diese Massnahme müsste vom Delegierten der WL beim Bundesrat beantragt werden.
Prüfungswerte Massnahmen
Monitoring der Verfügbarkeit von Vorprodukten und FHM durch die WL Bisher stehen weder die kritischen Vorprodukte (siehe Kapitel 4.2) noch die FHM selbst auf der Liste der kritischen Chemikalien und werden deshalb vom Monitoring der WL nicht erfasst. Eine grobe Einschätzung gemäss der Methodik der WL zur Einschätzung des Beschaffungsrisikos einer Chemikalie zeigt auf, dass die Bedingungen für eine Aufnahme von FHM als kritische Chemikalie eventuell erfüllt wären. Eine Aufnahme der kritischen Vorprodukte und/oder der FHM als kritische Chemikalie wird empfohlen. In einem weiteren Schritt müssen unter Einbezug der WL, des BAFU, der Kantone und der Branche die Massnahmenkaskade nach der Früherkennung einer möglichen FHM-Knappheit diskutiert werden. Bei der Kommunikation einer sinkenden Verfügbarkeit ist darauf zu achten, dass dies nicht zu kontraproduktiven Hamsterkäufen bei den ARA führt, was die Versorgungssituation zusätzlich verschärfen würde.
Klären der Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten (AKV) im Ereignisfall Die Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten der verschiedenen Akteure (WL, BAFU, Kantone, ARA-Betreiber) im Ereignisfall sind nicht abschliessend geklärt. Es sollte geprüft und festgelegt werden, wie die Zusammenarbeit bei einer fortgeschrittenen FHM-Knappheit, wenn bspw. die Einleitbedingungen nicht mehr eingehalten werden können, funktionieren soll.

5. Entwässerung von Klärschlamm

5.1 Einsatz von Flockungshilfsmittel

Die Mehrheit der Kläranlagen in der Schweiz nutzt Flockungshilfsmittel sowohl für die Eindickung des Frischschlammes als auch für die Entwässerung des stabilisierten Klärschlammes. Schweizweit wird der jährliche Verbrauch von FHM für die Eindickung auf ca. 400 t Wirksubstanz (WS) bzw. für die Entwässerung auf ca. 2'000 t WS geschätzt. Eine der befragten Kläranlagen setzt Flockungshilfsmittel auch für biologische Reinigungsprozesse ein. Es wird davon ausgegangen, dass FHM nur in wenigen Fällen für andere Prozesse eingesetzt werden.

Eindickung und Entwässerung

Auf Schweizer ARA werden entweder Emulsionen oder pulverförmige Flockungshilfsmittel (siehe Kapitel 4.1) eingesetzt. Die Umstellung von einer auf die andere Form wird von einigen befragten Betrieben als sehr einfach und von anderen als anspruchsvoll beurteilt. Grundsätzlich eignet sich pulverförmiges Flockungshilfsmittel besser als Notvorrat aufgrund längerer Haltbarkeit und einfacherer Lagerung (z.B. Big Bags). Die Zeit für die Lieferung und Inbetriebnahme einer Anrührstation für pulverförmiges FHM wird bei normaler Nachfrage auf rund 4-6 Wochen geschätzt. Im Notfall könnte pulverförmiges FHM jedoch auch mit einfachen Mitteln (IBC-Container und Rührwerk) angerührt werden. Insbesondere für kleinere ARA, die Emulsionen einsetzen, wäre eine solche Notlösung gegenüber einer festinstallierten Anrührstation zu bevorzugen.

Umrüstung zwischen Emulsionen und Pulver-FHM

Aus wirtschaftlichen Überlegungen wird der Klärschlamm oft auf über 25 % TS-Gehalt eingedickt. Beispielsweise entwässern die befragten ARA den Klärschlamm auf einen TS-Gehalt von 27 % bis 33 %, um Transport- und Entsorgungskosten oder Energiekosten für die Trocknung zu sparen. Schätzungen von Lieferanten gehen davon aus, dass auf vielen ARA ein Einsparpotenzial von 10-30 % beim FHM-Verbrauch vorhanden ist, ohne dass die ARA Einbussen bei der Reinigungsleistung erleiden würde. Einerseits wird von einer leichten Überdosierung ausgegangen und andererseits könnten die ARA bei einer FHM-Knappheit den TS-Gehalt des Klärschlammes auf ca. 20-22 % TS reduzieren und diesen weiterhin über die regulären Entsorgungswege (KVA, SVA, TuZ) entsorgen (siehe Kapitel 6). Grundsätzlich fehlen Betriebserfahrungen im Umgang mit einer reduzierten FHM-Dosierung weitgehend. Entsprechend sind keine Erfahrungswerte vorhanden, wie weit die Dosierung mit der vorhandenen Ausrüstung reduziert werden kann, ohne die Reinigungsleistung der ARA durch die abnehmende Qualität des Zentrats (Flüssigphase bei der Entwässerung) zu gefährden. Zusätzliche Versuche wären empfehlenswert, um die Machbarkeit betrieblicher Massnahmen besser einschätzen zu können.

Reduktion des FHM-Verbrauchs

Die Eindickung und die Entwässerung von Klärschlamm können mit unterschiedlicher Ausrüstung erfolgen, welche teils auf spezifische verfahrenstechnische und betriebliche Gegebenheiten optimiert sind. Einige Kläranlagen betreiben eine rein mechanische Eindickung, z.B. mittels Dekanter oder statischer Eindickung und setzen keine FHM ein. Von den befragten sechs ARA verfügte jedoch nur eine ARA über eine mechanische Eindickung

Mechanische Eindickung ohne FHM

mittels Dekanter. Aus Platzgründen stand die ARA kurz vor dem Wechsel auf Scheibeneindicker (FHM erforderlich). Es wird deshalb davon ausgegangen, dass der überwiegende Anteil des Klärschlamm in der Schweiz unter Einsatz von FHM eingedickt wird.

Das Potenzial zur rein mechanischen Eindickung ohne FHM ist abhängig von diversen Faktoren, wie Schlammeigenschaften, Ausrüstung, Stapelvolumen und betrieblichen Gegebenheiten. Da es diverse Methoden für die rein mechanische Eindickung gibt, könnte das betriebliche Potenzial schweizweit relevant sein. Es müssten jedoch betriebliche Erfahrungen gesammelt und den ARA zur Verfügung gestellt werden (z.B. in Form eines Merkblatts), damit die einzelnen Betriebe entsprechend ihrer spezifischen Gegebenheiten das Potenzial bei Bedarf optimal nutzen könnten.

Potenzial der rein mechanischen Eindickung

Es sind keine Fälle bekannt, in welchen stabilisierter Klärschlamm ohne Einsatz von FHM auf einen TS-Gehalt von mehr als 7-12 % entwässert werden kann. Es ist davon auszugehen, dass eine rein mechanische Entwässerung auf 20-22 % TS, die für die regulären Entsorgungswege notwendig ist (siehe Kapitel 6), nicht möglich ist.

Keine Entwässerung ohne FHM bekannt

Die befragten ARA verlassen sich teilweise auf einzelne FHM-Lieferanten und Produkte, teilweise wechseln sie die Lieferanten und Produkte regelmässig. Die Möglichkeit, das normalerweise angewendete Produkt durch ein anderes Produkt zu substituieren (ohne Wechsel zwischen Pulver und Emulsion), wird grundsätzlich als gut eingeschätzt. Hersteller bieten eine Auswahl an Produkten an, welche für unterschiedliche Schlammeigenschaften optimiert sind. Bei der Anwendung eines alternativen Produkts oder eines Produkts eines anderen Herstellers sinkt allenfalls die Effizienz des Prozesses, wodurch die Kosten etwas ansteigen können. Nichtsdestotrotz sollte die Eindickung und Entwässerung in der Regel auf einem akzeptablen Niveau weiterbetrieben werden können.

Substitutionsmöglichkeiten

Diskutierte Massnahme
<p>Umrüstung für mechanische Eindickung</p> <p>Die Machbarkeit der mechanischen Eindickung ist unter anderem abhängig von den Eigenschaften des Klärschlammes. Eine generelle Umrüstung zwecks Eindickung ohne FHM-Einsatz ist deshalb nicht sinnvoll. Zudem ist im Ereignisfall eine Umrüstung nicht innert nützlicher Frist umsetzbar.</p>
<p>Redundanz für emulsionbasierte und pulverförmige FHM</p> <p>Eine redundante Ausrüstung für emulsionbasierte und pulverförmige FHM ist mit betrieblichem Aufwand, Kosten und Platzbedarf verbunden. Diese Massnahme wird grundsätzlich nicht als sinnvoll beurteilt. Bestenfalls auf grossen ARA, welche heute nur Emulsionen einsetzen, könnte die Beschaffung einer vorrätigen Anrührstation mit anderen Massnahmen bezüglich Kosten-Nutzen abgewogen werden.</p>
<p>Umstellung von pulverförmigen auf emulsionsbasierte FHM</p> <p>Die Umstellung von pulverförmigen auf emulsionsbasierte FHM wird technisch als gut machbar beurteilt. Allerdings ist nicht damit zu rechnen, dass während einer FHM-Knappheit mehr emulsionsbasierte FHM verfügbar sein werden, da aufgrund der guten Lagerfähigkeit tendenziell grössere Lager an pulverförmigen FHM vorhanden sind. Bezüglich der Lieferketten unterscheiden sich pulverförmige und emulsionsbasierte FHM nicht.</p>

<p>Ausnützen des betrieblichen Potenzials zur mechanischen Eindickung</p> <p>Das Potenzial der rein mechanischen Eindickung könnte durch weitere Abklärungen beleuchtet werden. Eine Liste von betrieblich günstigen Voraussetzungen könnte in Form eines Merkblatts den ARA bereitgestellt werden. Da die Eindickung nur rund 1/6 des FHM-Verbrauchs ausmacht und ohne eine weitere Entwässerung des Klärschlamm auf 20-22 % nicht mehr die regulären Verwertungswege genutzt werden können, hat die Massnahme nur eine begrenzte Wirkung. Sollte eine kompletter Ausfall der FHM-Versorgung über längere Zeit eintreten, sodass von den regulären Verwertungswegen abgewichen werden muss, könnte auf diese Massnahme zurückgegriffen werden.</p>
<p>Einsatz von anorganischen FHM als Alternative Siehe Kapitel 4.1</p>
<p>Prüfungswerte Massnahmen</p>
<p>Umstellung von emulsionsbasierten auf pulverförmige FHM</p> <p>Sollten im Falle einer FHM-Knappheit aufgrund der guten Lagerfähigkeit grössere Lager an pulverförmigen FHM vorhanden sein, könnten die meisten ARA mit vertretbarem Aufwand auf den Einsatz von Pulver umstellen. Sollten die Lieferfristen von Anrührstationen aufgrund einer ausserordentlichen Nachfrage ansteigen, könnte auf den meisten ARA mit improvisierten Lösungen (IBC-Container und Rührwerk) für das Anrühren von pulverförmigen FHM gearbeitet werden.</p>
<p>Reduktion der Dosierung für Entwässerung</p> <p>Im Falle einer Knappheit, kann in einem ersten Schritt die Dosierung von FHM für den gesamten Schlamm reduziert werden. Das Potenzial einer Reduktion ohne negative Auswirkungen auf die Betriebe wird auf 10-30 % geschätzt. Allerdings ist das Potenzial abhängig von den betrieblichen Gegebenheiten und es fehlt die Erfahrung im Umgang mit reduzierter FHM-Dosierung. Es wird empfohlen, die relevanten Informationen in Form eines Merkblatts/Leitfadens den ARA bereitzustellen.</p>
<p>Teilstrombehandlung anstelle einer Unterdosierung</p> <p>Falls eine ausreichende Entwässerung des gesamten Klärschlammes nicht mehr gewährleistet werden, besteht das Risiko einer Unterdosierung. Eine Unterdosierung würde bei der Entwässerung zu einer Verschlechterung des Zentrats führen und die Reinigungsleistung der ARA negativ beeinflussen. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, einen Teilstrom vollständig zu entwässern und ordentlich zu entsorgen, um die Mengen für die Stapelung bzw. Notent-sorgung zu reduzieren. Es handelt sich dabei bestenfalls um eine Optimierung unmittelbar vor einem absehbaren Komplettausfall bzw. bis neue FHM verfügbar sind. Es wird empfohlen, die relevanten Informationen in Form eines Merkblatts/Leitfadens den ARA bereitzustellen.</p>
<p>Einsatz von Ersatzprodukten (andere Hersteller oder Produkte)</p> <p>Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sich für die meisten ARA mehrere Produkte von unterschiedlichen Herstellern für die Eindickung und Entwässerung eigenen und ein gutes Kosten-/Nutzen-Verhältnis aufweisen. Dennoch wird empfohlen, dass insbesondere mittlere und grössere ARA Erfahrungen mit verschiedenen Produkten sammeln.</p>

5.2 Schlammengen

Die Stabilisierung des Frischschlammes führt zu einer Reduktion des TS-Gehalts von bis zu 50 %. Stabilisierter Klärschlamm lässt sich zudem besser entwässern und die Geruchsbildung ist deutlich geringer im Falle einer Lagerung als bei Frischschlamm. Die Stabilisierung ist deshalb ein kritischer Prozess, welcher aufrechterhalten werden sollte, auch wenn die Reduktion des TS-Gehalts (z.B. von 5 % auf 2.5 %) noch keine Reduktion des Volumens bedeutet, da sich der Wassergehalt durch die Faulung oder andere Arten der Stabilisierung kaum ändert.

Stabilisierung reduziert TS-Gehalt und Geruchsbildung

Die produzierte Schlammmenge kann durch den Betrieb aufgrund verfahrenstechnischer Abhängigkeiten und den geltenden Einleitbedingungen kaum beeinflusst werden. Beispielsweise fällt durch die chemische Phosphorfällung zusätzlicher Klärschlamm an. Allerdings lässt sich dieser kaum reduzieren, ohne die Reinigungsleistung bezüglich Phosphors zu reduzieren. Die Langzeitbelüftung ist auf vielen ARA nicht machbar und das Potenzial müsste betriebsspezifisch ermittelt werden. Zudem ist die

Schlammfall kaum beeinflussbar

Langzeitbelüftung ebenfalls ein Verfahren zur Schlammstabilisierung und führt somit nur zu einer Reduktion vor der Faulung. Der Nutzen ist somit auf den Fall begrenzt, dass die Eindickung nicht mehr möglich ist und die Faulung nicht mehr betrieben werden kann.

Diskutierte Massnahme
<p>Reduktion der Schlammproduktion mittels betrieblicher Massnahmen</p> <p>Die Schlammproduktion hängt massgebend von den verfahrenstechnischen Gegebenheiten der jeweiligen ARA ab. Massgebliche Veränderungen in einem bestehenden Verfahren lassen sich kaum erzielen, ohne erhebliche Risiken in Bezug auf den Gewässerschutz einzugehen.</p>
Prüfungswerte Massnahmen
Keine Massnahme identifiziert.

5.3 Stapelmöglichkeiten

Die Stapelmöglichkeiten für Klärschlamm der ARA sind auf den Normalbetrieb ausgelegt und verfügen je nach Auslastung der ARA über mehr oder weniger Reserven, z.B. in Schlammtrichtern der Vorklärbecken, Frischschlammstapeln, Faulschlammstapel oder Schlamm lager. Die GSchV (Art. 19) verlangt eine Lagerkapazität für Klärschlamm von mindestens 2 Monaten, falls der Klärschlamm nicht jederzeit umweltverträglich beseitigt werden kann. Bei einem Ausfall von FHM wäre die Lagerkapazität schnell aufgebraucht, da das Volumen des anfallenden Frischschlammes rund 50-mal und das Volumen des Faulschlammes rund 10-mal grösser ist als das des regulär entwässerten Klärschlammes. Alle befragten ARA schätzen die vorhandenen Stapelvolumen bezüglich Frischschlamm anfall auf lediglich wenige Tage (max. 1 Woche) ein.

Begrenzte Stapelvolumen für Frischschlamm

Eine Möglichkeit zur Verlängerung der Schlammstapelzeiten besteht darin, zusätzliche Becken wie Havarie-, Regen-, Vorklär- oder biologische Becken temporär (als Notvolumina) für die Schlammstapelung zu nutzen. Auf diese Weise könnte die Lagerdauer für Frischschlamm um bis zu 30 Tage erhöht werden. Dabei treten bei den meisten befragten Betrieben noch keine Überschreitungen der Grenzwerte auf. Allerdings gibt es Betriebe, welche nicht mehr die volle biologische Reinigungskapazität bei Regenwetter zur Verfügung stellen könnten oder solche, welche mehr vereinzelte Grenzwertüberschreitungen bei Trockenwetter in Kauf nehmen müssten. Bei vorsichtiger Nutzung und unter Einhaltung der Einleitbedingungen wird das schweizweite Potenzial zur Lagerung von Frischschlamm in Notvolumina auf etwa 30 Tage geschätzt, ohne dass verbreitet häufige Überschreitungen der Einleitparameter auftreten würden.

Schaffung von Notvolumina

Die Stapelung von Frischschlamm ist nicht nur aufgrund der enormen Mengen problematisch, sondern auch aufgrund der schnell eintretenden, grossen Geruchsentwicklung. Massnahmen im Zusammenhang mit der Stapelung von Frischschlamm werden aufgrund der grossen Mengen und der Geruchsentwicklung deshalb weder als technisch noch wirtschaftlich machbar beurteilt. Entsprechend ist die Stapelung von gefaultem (stabilisiertem) Schlamm anzustreben, d.h. die Eindickung und anschliessende Faulung müssen gewährleistet bleiben. Die Stapelung von gefaultem Schlamm schafft neben weniger Geruch auch zusätzliche betriebliche

Lagerung von Frischschlamm nicht machbar

Optimierungsmöglichkeiten (z.B. statische Eindickung in Notvolumina), um das Schlammvolumen ohne Einsatz von FHM zu reduzieren und entsprechend Zeit zu gewinnen.

Diskutierte Massnahme
<p>Betriebliche Ausnutzung bestehender Zwischenstapel</p> <p>Aufgrund des schweizweit stark beschränkten Potenzials von max. 7 Tagen und dem Umstand, dass das Potenzial zur Ausnutzung von Zwischenstapeln je nach Kapazitätsreserven einer ARA variiert, werden die Massnahmen zur Verzögerung der zu entwässernden Klärschlammengen als begrenzt wirksam beurteilt.</p>
Prüfungswerte Massnahmen
<p>Notvolumina identifizieren</p> <p>Damit im Notfall Frisch- oder besser Faulschlamm gestapelt werden kann, sollten die ARA bestehende Becken (Havarie-, Regen-, Vorklär- oder biologische Becken) identifizieren und deren Ausfall bezüglich Konsequenzen auf die Einhaltung der Einleitbedingungen beurteilen. Es wird empfohlen, wesentliche Voraussetzungen zur Reduktion der Risiken bezüglich Gewässerschutz in Form eines Merkblatts/Leitfadens den ARA bereitzustellen. Die Umsetzung dieser Massnahme könnte die Einhaltung von gesetzlichen Anforderungen beeinträchtigen und sollte erst in Betracht gezogen werden, wenn Massnahmen, welche die geltende Gesetzgebung einhalten, nicht ausreichend Wirkung entfalten.</p>

6. Verbrennung von Klärschlamm

6.1 Klärschlammverwertungswege

Im Jahr 2021 sind in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein total 191'000 t TS an Klärschlamm angefallen [4]. Für die Verwertung von Klärschlamm gibt es drei Verwertungswege:

Klärschlamm-
verwertungswege

- Schlammverbrennungsanlagen (SVA),
- Verwertung in Zementwerken nach vorgängiger Trocknung (TuZ) und
- Kehrrechtverwertungsanlagen (KVA).

Der grösste Teil des Klärschlammes wird gemäss Angabe der Kantone in SVA verwertet, während TuZ und KVA für einen kleineren Teil der Verwertung sorgen (Abbildung 6). Im Jahr 2021 nahmen insgesamt 12 SVA Klärschlamm zur Verbrennung an [4]. Im Verwertungsweg TuZ waren Anlagen an 12 Standorten involviert (Trocknungsanlagen und Zementwerke). Betreffend KVA geschah die Verwertung in 11 Anlagen.

Anteil Verwertungs-
wege und Anzahl
Anlagen

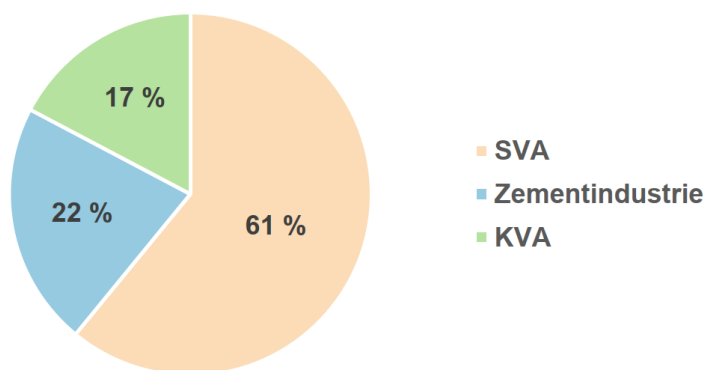


Abbildung 6: Verwertungswege des Klärschlammes im Jahr 2021 (Abbildung 2 aus [4])

In der vorliegenden Studie wurden im Rahmen von Interviews und einer Umfrage bei verschiedenen SVA, TuZ und KVA Informationen zu folgenden Themen eingeholt (siehe dazu auch Anhang A3):

Inhalte des
Kapitels

- TS-Gehalt für die Verbrennung
- Kapazitäten
- Zwischenlagerung und Transport

6.2 TS-Gehalt

Im Alltagsbetrieb nehmen die befragten Anlagen Klärschlamm mit einem TS-Gehalt zwischen 20 und 40 % an (basierend auf Interviews und Umfrage). Die befragten Betriebe nannten folgende TS-Gehalte für die Annahme von Klärschlamm:

TS-Gehalt im
Alltagsbetrieb

- KVA: 20-40 % TS
- SVA: 20-35 % TS
- TuZ: 20-25 % TS

Bei der Frage nach dem Mindest-TS-Gehalt, bei dem eine Annahme auf der Anlage noch möglich ist, nannten die befragten Betriebe folgende Werte:

Mindest-TS-Gehalt für Annahme

- KVA: 6 bis 25 % TS
- SVA: 15-22 % TS
- TuZ: 20-25 % TS.

Die Werte liegen somit leicht tiefer als die Werte im Alltagsbetrieb, jedoch nur in vereinzelt Fällen unterhalb eines TS von 15 %.

Die Verbrennung von flüssigem Klärschlamm (tiefer als Mindest-TS-Gehalt für Annahme) ist in der Hälfte der Anlagen nicht möglich (Abbildung 7, 6 Anlagen). In knapp der Hälfte der Anlagen ist die Verbrennung zwar möglich, aber nur in kleinen Mengen oder nur als Notlösung (insgesamt 5 Anlagen). Nur 2 Anlagen haben die Möglichkeit, flüssigen Klärschlamm zu verbrennen.

Möglichkeit der Verbrennung flüssigen Klärschlamm

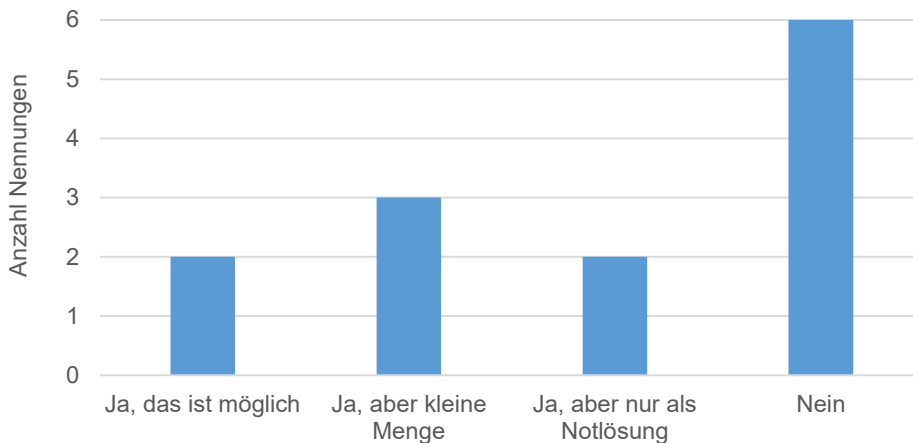


Abbildung 7: Möglichkeit der Verbrennung flüssigen Klärschlamm

Es gibt verschiedene Gründe, warum flüssiger Klärschlamm in den Anlagen nicht verbrannt werden kann. In der Umfrage oder den Interviews wurden folgende Herausforderungen genannt:

Herausforderungen bei der Verwertung von flüssigem Klärschlamm

- Die Förderung in den Ofen (via Schnecken) funktioniert nicht.
- Die Bildung von Wasserdampf im Ofen führt zu erhöhtem Druck.
- Bei flüssigerem Klärschlamm braucht es mehr thermische Energie, was zu einer stärkeren Staubbildung führt und somit heikel ist.
- Der Klärschlamm muss zusammenkleben, sonst funktioniert das System nicht.
- Es muss genügend trockener Abfall vorhanden sein (z. B. Altholz), um eine möglichst homogene Mischung zu erreichen.
- Es ist unklar, welche Auswirkungen die Verbrennung flüssigen Klärschlamm hätte. Die Möglichkeiten müssten vorgängig getestet werden.

Diskutierte Massnahmen
<p>Betriebliche Anpassungen an den Verbrennungsanlagen</p> <p>Es wurde diskutiert, ob betriebliche oder anderweitige Anpassungen an den Verbrennungsanlagen / am Verbrennungsprozess möglich wären, um oben genannte Herausforderungen zu überwinden und damit eine Verbrennung flüssigen Klärschlamm zu ermöglichen. Es bestand Konsens, dass es keine solche Möglichkeiten gibt, um die Verbrennung flüssigen Klärschlamm zu ermöglichen, ausser wo dies sowieso vorgesehen ist (z. B. Müllbunker), jedoch die Kapazitäten sehr klein sind (siehe nachfolgendes Kapitel).</p>
Prüfungswerte Massnahmen
Keine Massnahme identifiziert.

6.3 Kapazitäten

Die befragten Anlagen nannten Kapazitäten für die Verbrennung von Klärschlamm im Alltagsbetrieb zwischen 12 und 250 t/Tag (Abbildung 8). Die Grössenunterschiede der Anlagen sind bedeutend, wobei die Umfrage und Interviews die unterschiedlichen Grössen der Anlagen ziemlich gut abdecken.

Kapazitäten im Alltagsbetrieb

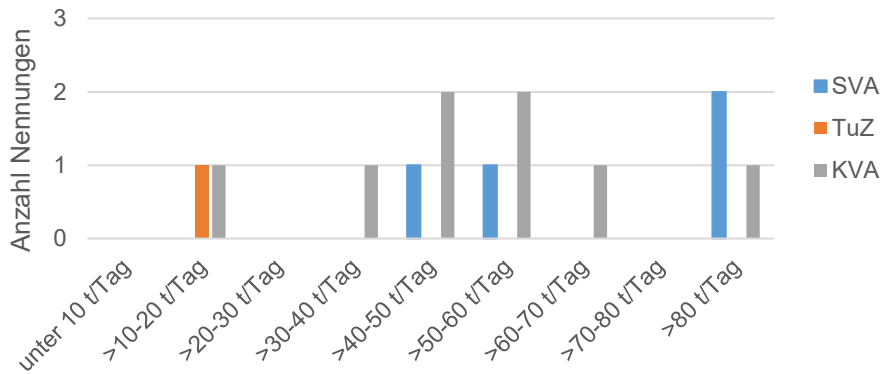


Abbildung 8: Kapazitäten im Alltagsbetrieb für die Verbrennung von normal entwässertem Klärschlamm

Die Kapazitäten für die Verbrennung von flüssigem Klärschlamm, d. h. Klärschlamm mit einem TS-Gehalt tiefer als die Annahmebedingung von rund 20 % sind deutlich tiefer als die Kapazitäten für die Verbrennung von eingedicktem Schlamm im Alltagsbetrieb (Abbildung 9). Nur 5 der 13 Anlagen haben eine Kapazität von über 10 t/Tag. 6 Anlagen können keinen flüssigen Klärschlamm verbrennen (in der Abbildung mit einer Kapazität <10 t/Tag dargestellt).

Kapazitäten für flüssigen Klärschlamm

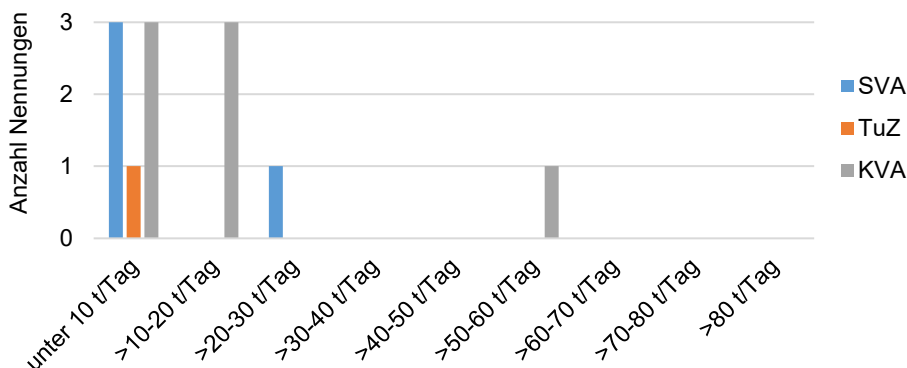


Abbildung 9: Kapazitäten für die Verbrennung flüssigen Klärschlamm

Eine einfache Hochrechnung aus den Umfrage- und Interviewantworten schätzt die gesamte Kapazität für die Verbrennung von eingedicktem Klärschlamm auf 670'000 t/Jahr. Dies liegt in der gleichen Grössenordnung wie die in der Massenbilanz geschätzte jährliche Menge (siehe Kapitel 3).

Gesamte Kapazität eingedickter Klärschlamm

Die hochgerechnete Gesamtkapazität zur Verbrennung flüssigen Klärschlammes liegt bei 76'000 t/Jahr. Dies entspricht rund 0.2 % der gesamten anfallenden Menge an flüssigem Klärschlamm, die gemäss Massenbilanz bei rund 40 Mio. t/Jahr liegt. Auch die Kapazitäten gemäss Sonderabfallstatistik (Statistik, 2021) reichen bei Weitem nicht aus, da eine Gesamtmenge von 650'000 t/Jahr Sonderabfall verbrannt wird.

Gesamte Kapazität flüssiger Klärschlamm

Diskutierte Massnahmen
<p>Kreative Notlösungen für die Entsorgung von Klärschlamm</p> <p>In der Not müssten kreative Lösungen für die Entsorgung von Klärschlamm gefunden werden. Als Beispiel wurde genannt, flüssigen Klärschlamm mit Stroh zu mischen, damit er genug trocken ist, um verbrannt zu werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, bei einem Ereignis Zeit für solche Überlegungen zu haben, z. B. indem ein mehrmonatiger FHM-Vorrat diese Zeit garantieren kann.</p>
Prüfungswerte Massnahmen
<p>Kapazitäten für Verbrennung flüssigen Klärschlammes im kantonalen Klärschlamm-Entsorgungsplan berücksichtigen</p> <p>Die Kapazitäten für die Verbrennung flüssigen Klärschlammes sind im kantonalen Klärschlamm-Entsorgungsplan, der gemäss Art. 18 GSchV zu erstellen ist, zu berücksichtigen. Dabei sollen sich die Kantone eine Übersicht verschaffen, wo welche Kapazitäten vorhanden sind, ob und wie eine Priorisierung der Verbrennung flüssigen Klärschlammes gegenüber anderen Abfällen möglich wäre und welche Handlungsmöglichkeiten im Ereignisfall überhaupt zur Verfügung stehen würden.</p>
<p>Verbrennung flüssigen Klärschlammes bei der Erneuerung von SVA berücksichtigen</p> <p>Die Thematik der Verbrennung flüssigen Klärschlammes ist bei der Erneuerung von SVA für die Phosphorrückgewinnung zu berücksichtigen. Dabei ist abzuklären, ob es wirtschaftlich tragbare Investitionen gibt, damit solche Anlagen im Ereignisfall auch Klärschlamm mit niedrigem TS verwerten könnten.</p>

6.4 Zwischenlagerung und Transport

Gemäss den befragten Anlagen sind keine relevanten Möglichkeiten zur Zwischenlagerung von flüssigem Klärschlamm vorhanden: Eine KVA meldete 200 m³.

Keine Lagermöglichkeiten vorhanden

Betreffend Transport sind gemäss den befragten Anlagen keine Engpässe zu erwarten, weder für entwässerten noch für flüssigen Klärschlamm. Die Transportkapazitäten wurden jedoch nicht im Zusammenhang mit den auftretenden Mengen flüssigen Klärschlammes diskutiert, da insgesamt die Verbrennungskapazitäten und nicht die Transportkapazitäten limitierend sind.

Keine Engpässe beim Transport

Diskutierte Massnahmen
<p>Konzept für Notlagerung des Klärschlammes ausserhalb der ARA</p> <p>Flüssiger Klärschlamm wäre als Notlösung in geschlossenen Mulden aufzubewahren (100'000 t/Tag). Für solche Massnahmen müssten die ARA, KVA, SVA, TuZ sowie Kanton und Gemeinden zusammenarbeiten. Flüssiger Klärschlamm ist jedoch nicht für eine Zwischenlagerung geeignet und die Mengen sind enorm.</p>
Prüfungswerte Massnahmen
Keine Massnahme identifiziert.

7. Schlussfolgerungen

7.1 Diskussion Szenarien

Als Grundlage für die Analyse der Fragestellungen und des Massnahmenkatalogs in den 3 Schwerpunktthemen dienten die 3 Szenarien einer FHM-Verknappung: Komplettausfall, Teilausfall und ungleiche Verteilung (Kapitel 2.4). Im Rahmen der Analyse gab es betreffend die 3 Szenarien folgende neue Erkenntnisse.

Neue Erkenntnisse zu den Szenarien

Szenario 1: Komplettausfall

Ein Komplettausfall der FHM-Versorgung kann nicht ausgeschlossen werden, dessen Eintretenswahrscheinlichkeit wird von den befragten Fachpersonen als eher tief eingeschätzt. Ein Komplettausfall würde nur durch Ursachen mit einer weitreichenden Wirkung ausgelöst. Vorstellbar wären beispielsweise ein massiver Anstieg des Erdölpreises, langanhaltende Einschränkung des Schiffstransports, Grenzschiessungen oder Kriegsfolgen. Eine Dauer von 4 Monaten scheint jedoch realistisch, da dies der Zeit entspricht, in der sich neue Lieferwege etablieren sollten. Der auf rund 4 Wochen eingeschätzte Lagerbestand der ARA entspricht ungefähr den Einschätzungen der Fachpersonen.

Komplettausfall eher wenig wahrscheinlich

Szenario 2: Teilausfall

Ein Teilausfall der FHM-Versorgung mit einer reduzierten Verfügbarkeit ist vorstellbar. Die Dauer von 1 Jahr scheint jedoch überschätzt, da sich nach rund 4 Monaten neue Lieferwege etablieren würden. Das Szenario hätte demnach weniger starke Auswirkungen als das Szenario 1.

Teilausfall eher 4 statt 12 Monate

Szenario 3: Ungleiche Verteilung

Wird die Dauer des Szenarios 2 aufgrund der Anpassung der Lieferwege auf 4 Monate reduziert, so entsprechen sich die Szenarien 2 und 3. Da die ARA meist grössere Mengen FHM auf einmal bestellen, sind die Lagermengen der verschiedenen ARA zu einem bestimmten Zeitpunkt unterschiedlich. Kurz nach der Bestellung sind die Mengen hoch, kurz vor der Bestellung auf einem Tiefstand. Die Zusammenarbeit von ARA, um sich im Ereignisfall gegenseitig mit FHM auszuhelfen, ist in jedem Fall wertvoll.

Zusammenarbeit zwischen ARA in jedem Fall wertvoll

7.2 Prüfwerte Massnahmen

In den Kapiteln 4 – 6 wurden insgesamt 13 prüfwerte Massnahmen identifiziert (Tabelle 4). 6 Massnahmen stammen aus dem Schwerpunktthema Versorgung mit FHM, 5 Massnahmen aus dem Thema Entwässerung von Klärschlamm und 2 Massnahmen aus dem Thema Verbrennung von Klärschlamm.

13 prüfwerte Massnahmen

Am zweiten Workshop mit der Begleitgruppe wurde diskutiert, mehrere dieser Massnahmen v. a. solche, die die ARA betreffen, in Form eines Leitfadens an die ARA umzusetzen. Der Leitfaden sollte gleich alle relevanten Themen abdecken. Diese Massnahmen werden im Folgenden unter der Massnahme «Leitfaden zum Umgang mit einer Verknappung an FHM»

Leitfaden FHM-Verknappung

zusammengefasst und deren Kosten und Wirksamkeit nur als Ganzes eingeschätzt (siehe → Leitfaden in Tabelle 4).

Es handelt sich dabei unter anderem um Vorbereitungsmaßnahmen (z. B. Abklärungen), die dann im Ereignisfall angewendet werden können.

Für jede Massnahme wurde entweder im Rahmen des zweiten Workshops mit der Begleitgruppe oder im Nachgang während der Dokumentation der Arbeiten aufgezeigt, wer für die Umsetzung der Massnahme empfohlen wird und es wurden qualitativ die Kosten und die Wirkung der Massnahme abgeschätzt. Diese Einschätzungen bieten dann die Grundlage für die Empfehlungen.

Umsetzungsverantwortung, Kosten und Wirkung der Massnahmen

Massnahme (Massnahmenempfehlungen für Kapitel 7.3 sind nummeriert.)	Thema	Vorschlag Umsetzungsverantwortung	Kosten (tief/mittel/hoch)	Wirkung (tief/mittel/hoch)
Redundante Beziehungen zu FHM-Lieferanten pflegen → Leitfaden FHM-Verknappung	Versorgung mit FHM — Marktsituation	ARA - Betreiber	--- → Leitfaden	--- → Leitfaden
Erhöhung der Lagermenge von FHM auf ARA → Leitfaden FHM-Verknappung	Versorgung mit FHM — Lagerbestände	ARA - Betreiber	--- → Leitfaden	--- → Leitfaden
1. Leitfaden zum Umgang mit einer Verknappung an FHM (inklusive entsprechende Massnahmen)	Versorgung mit FHM — Lagerbestände	VSA	tief	hoch
2. BAFU-Vollzugshilfe «Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen» oder GSchV mit konkreten Vorgaben zur Bevorratung von FHM auf den ARA ergänzen.	Versorgung mit FHM — Lagerbestände	BAFU	tief	hoch
3. Monitoring der Verfügbarkeit von Vorprodukten und FHM durch die WL	Versorgung mit FHM — Marktüberwachung und -steuerung	WL	tief	mittel
4. Klären der Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten (AKV) im Ereignisfall	Versorgung mit FHM — Marktüberwachung und -steuerung	BAFU	tief	mittel
Umstellung von emulsionsbasierten auf pulverförmige FHM → Leitfaden FHM-Verknappung	Entwässerung von Klärschlamm — Einsatz von FHM	ARA - Betreiber	--- → Leitfaden	--- → Leitfaden
Reduktion der Dosierung für Entwässerung → Leitfaden FHM-Verknappung	Entwässerung von Klärschlamm — Einsatz von FHM	ARA - Betreiber	--- → Leitfaden	--- → Leitfaden
Teilstrombehandlung anstelle einer Unterdosierung → Leitfaden FHM-Verknappung	Entwässerung von Klärschlamm — Einsatz von FHM	ARA - Betreiber	--- → Leitfaden	--- → Leitfaden
Einsatz von Ersatzprodukten → Leitfaden FHM-Verknappung	Entwässerung von Klärschlamm — Einsatz von FHM	ARA - Betreiber	--- → Leitfaden	--- → Leitfaden

Massnahme (Massnahmenempfehlungen für Kapitel 7.3 sind nummeriert.)	Thema	Vorschlag Umsetzungsverantwortung	Kosten (tief/mittel/hoch)	Wirkung (tief/mittel/hoch)
Notvolumina identifizieren → <i>Leitfaden FHM-Verknappung</i>	Entwässerung von Klärschlamm — Stapelmöglichkeiten	ARA - Betreiber	--- → <i>Leitfaden</i>	--- → <i>Leitfaden</i>
Kapazitäten für Verbrennung flüssigen Klärschlamm im kantonalen Klärschlamm-Entsorgungsplan berücksichtigen	Verbrennung von Klärschlamm — Kapazitäten	Kantone	tief	tief
Verbrennung flüssigen Klärschlamm bei der Erneuerung von SVA berücksichtigen	Verbrennung von Klärschlamm — Kapazitäten	Kantone	hoch	mittel

Tabelle 4: Übersicht über die prüfungswerten Massnahmen aus den Kapiteln 4 bis 6. Blau hinterlegt sind die Massnahmen aus dem Schwerpunktthema Versorgung mit FHM, grün hinterlegt diejenigen aus dem Thema Entwässerung und gelb hinterlegt die Massnahmen aus dem Thema Verbrennung.
→ *Leitfaden*: Kosten und Wirkung der Massnahmen, die im Leitfaden aufgenommen werden sollen, sind gesamthaft in Massnahme 1. Leitfaden eingeschätzt.

7.3 Empfehlungen

Massnahmenempfehlung 1: Ein Leitfaden für die ARA zum Umgang mit einer Verknappung an FHM scheint angezeigt.

Ein Leitfaden für die ARA wurde in mehreren Themen erwähnt. Dieser sollte folgende Aspekte enthalten:

1: Leitfaden

- Wichtigkeit der Versorgung mit FHM und mögliche Auswirkungen einer Verknappung auf den Sektor erkennen
- Redundante Beziehungen zu FHM-Lieferanten pflegen, um im Ereignisfall prioritär behandelt zu werden
- Lagermenge von FHM auf ARA erhöhen
- Im Ereignisfall von emulsionsbasierten auf pulverförmige FHM umstellen
- Im Ereignisfall die Dosierung von FHM für die Entwässerung reduzieren
- Im Ereignisfall nur einen Teilstrom vollständig entwässern und entsorgen, um die Mengen für die Stapelung zu reduzieren
- Im Ereignisfall Ersatzprodukte einsetzen
- Mögliche Zusammenarbeit zwischen den ARA in der Vorsorge sowie in der Bewältigung

Die Kosten dieser Massnahme sind tief und die Wirkung ist hoch. Die hohe Wirkung erklärt sich primär durch die Erhöhung der Lagermengen auf den ARA – diese sind entscheidend, um auf eine FHM-Knappheit zukünftig besser vorbereitet zu sein. Zusätzlich enthält der Leitfaden aber auch konkrete Vorschläge, wie die ARA bei Eintreten einer FHM-Knappheit reagieren könnten, um ihren Verbrauch an FHM im Ereignisfall zu senken. Eine Sensibilisierung der ARA ist daher angezeigt. Der VSA eignet sich aufgrund seiner Fachkompetenz und Vernetzung besonders dafür, die Leitung bei der Ausarbeitung und Publikation des Leitfadens zu übernehmen. Die effektive Wirkung wird aber in erster Linie durch die Umsetzung der Empfehlungen durch die ARA-Betreiber erzielt.

Vorschlag
Umsetzungs-
verantwortung:
VSA

Massnahmenempfehlung 2: Die BAFU-Vollzugshilfe «Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen» oder die GSchV könnten um konkrete Vorgaben zur Bevorratung von FHM auf den ARA ergänzt werden.

Falls es Anzeichen dafür gibt, dass die Bevorratung von Flockungshilfsmitteln auf ARA trotz des in der Massnahmenempfehlung 1 vorgeschlagenen Leitfadens ungenügend ist, wird eine entsprechende Anpassung der BAFU-Vollzugshilfe „Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen“ oder gar der GSchV empfohlen. Eine Vorgabe in der Vollzugshilfe des BAFU hätte ein stärkeres Gewicht, als die Empfehlung im Leitfaden. Eine rechtlich bindende Vorgabe in der GSchV würde zusätzlich der Anforderung an Verbindlichkeit entsprechen. Analog zur VVEA könnte eine konkrete Vorgabe folgendermassen aussehen:

2: Bevorratung
FHM in BAFU-Voll-
zugshilfe oder
GSchV

«Inhaberinnen und Inhaber von Anlagen müssen diese so betreiben, dass bei einem Unterbruch der Versorgung mit notwendigen Betriebsmitteln eine

Reserve zur Verfügung steht, mit welcher der Regelbetrieb für mindestens zwei Monate sichergestellt ist.»

Die Kosten dieser Massnahme sind tief und die Wirkung ist hoch. Am zweiten Workshop mit der Begleitgruppe blieb jedoch offen, ob der Zusatzgewinn gegenüber dem Leitfaden den Aufwand einer Gesetzesanpassung rechtfertigt. Bezüglich der Vollzugshilfe wird in jedem Fall empfohlen, die Vorgaben zur Lagerhaltung von FHM bei der nächsten Revision aufzunehmen. Dazu sollte geprüft werden, ob die Verpflichtung aus dem bereits existierenden Art. 19 Abs. 2 GSchV (siehe Kapitel 1.3) abgeleitet werden kann. Es bestand Konsens, dass sich die Massnahmenempfehlungen 1 und 2 nicht ausschliessen, sondern gegenseitig ergänzen. Für die Umsetzung wäre das BAFU verantwortlich.

Umsetzungs-
verantwortung:
BAFU

Massnahmenempfehlung 3: Die FHM und/oder die kritischen Vorprodukte Acrylonitril und Methylchlorid sind in das Monitoring der WL aufzunehmen.

Eine grobe Einschätzung gemäss der Methodik der wirtschaftlichen Landesversorgung zur Einschätzung des Beschaffungsrisikos einer Chemikalie zeigt auf, dass die Bedingungen für eine Aufnahme von FHM als versorgungskritische Chemikalien in das Monitoring der WL eventuell erfüllt wären.

3: Monitoring durch
die WL

Die Kosten dieser Massnahme sind tief und die Wirkung ist mittel. Es ist jedoch noch unklar, wie die Massnahmenkaskade nach der Früherkennung einer möglichen FHM-Knappheit funktionieren müsste, damit wirksame Handlungen eingeleitet und kontraproduktive Hamsterkäufe durch die ARA verhindert würden. Diese Massnahmenkaskade wäre unter Einbezug von WL, BAFU, Kantone und ARA-Branche zu definieren.

Unklare Massnah-
menkaskade nach
der Früherkennung

Massnahmenempfehlung 4: Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten (AKV) bei einer FHM-Verknappung sind zu klären.

Die Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten der verschiedenen Akteure (WL, BAFU, Kantone, ARA-Betreiber) bei der Bewältigung einer FHM-Verknappung sind nicht abschliessend geklärt. Die WL könnte möglicherweise eine Verbrauchslenkung von FHM übernehmen, es gibt jedoch bei der WL keinen Fachbereich Abwasser. Es ist entsprechend nicht eindeutig, welche Rolle die WL einnehmen könnte, wenn es bei einer fortgeschrittenen FHM-Knappheit bspw. um eine Priorisierung von ARA oder die Anhebung von gesetzlichen Grenzwerten gehen würde. Es sollte geprüft und festgelegt werden, wie die Zusammenarbeit der Akteure bei einer FHM-Knappheit funktionieren soll.

4: AKV im Ereignis-
fall

Die Kosten dieser Massnahme sind tief und die Wirkung ist mittel. Der Verlauf eines solchen Ereignisses ist unter Einbezug der involvierten Akteure zu analysieren. Defizite und mögliche Massnahmen zu ihrer Behebung sind zu identifizieren. Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten sind festzulegen. Es wird empfohlen, dass das BAFU die Umsetzungsverantwortung für die Klärung der AKV übernimmt.

Vorschlag
Abklärungs-
verantwortung:
BAFU

Weitere Massnahmen sind nach Möglichkeit umzusetzen.

Die Thematisierung der Verbrennung flüssigen Klärschlammes im kantonalen Klärschlamm-Entsorgungsplan und dessen Berücksichtigung bei der Erneuerung von SVA liegen in der Verantwortung der Kantone. Die eine Massnahme hat tiefe Kosten aber auch eine geringe Wirkung. Die andere Massnahme könnte zu sehr hohen, und damit unverhältnismässigen Kosten führen. Beide Massnahmen werden als weniger prioritär eingestuft als die oben beschriebenen Massnahmen. Es liegt an den Kantonen zu entscheiden, ob und wie sie dieses Thema angehen möchten.

Weitere Massnahmen nach Möglichkeit

Zukünftige Entwicklungen sind zu berücksichtigen.

Zukünftige Entwicklungen in der Abwasserbranche führen zu Veränderungen bei Klärschlammfall und -entsorgung, z. B. weniger Verbrennung in KVA aufgrund der Phosphorrückgewinnungspflicht oder prozesstechnische Anpassungen auf ARA aufgrund erhöhter Anforderungen an die Stickstoffelimination. Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklungen die Aussagen im vorliegenden Bericht nicht massgeblich beeinflussen.

Zukünftige Entwicklungen ARA

Auch die Lieferketten können sich verändern. So sind z. B. ein Abwandern energieintensiver Chemiebetriebe sowie der Rückgang der Produktion chlorierter Produkte in Europa eine mögliche Entwicklung. Dadurch würden sich die Lieferketten oder Produktionsstandorte für die Produktion von FHM verändern. Aus diesem Grund ist die Versorgungssituation mit FHM zukünftig basierend auf diesen Entwicklungen neu zu beurteilen.

Zukünftige Entwicklungen Lieferketten

7.4 Fazit

Eine Verknappung von FHM oder ein Ausfall der FHM-Versorgung sind ernstzunehmende Szenarien, die zukünftig eintreten könnten und weitgehende Konsequenzen auf die Entsorgung von Abwasser, resp. von Klärschlamm hätten. Glücklicherweise ist die Eintretenswahrscheinlichkeit der extremeren Szenarien eher gering. In der Vorbereitung auf eine FHM-Knappheit können wenige Massnahmen eine grosse Wirkung erzielen. Die effektivste der oben genannten Massnahmen ist eine Erhöhung der FHM-Bevorratung auf den ARA. Diese Bevorratung würde die sachgemässe Entwässerung und Entsorgung von Klärschlamm so lange ermöglichen, bis sich nach einigen Monaten neue Lieferwege etablieren. Werden die vier oben empfohlenen Massnahmen umgesetzt, ist ein wesentlicher Schritt Richtung Versorgungssicherheit im Abwasserbereich gemacht. Und zukünftig wäre die Schweiz besser auf eine allfällige FHM-Knappheit vorbereitet.

Vorbereitung auf FHM-Knappheit

A1 Referenzen

- [1] BABS (2025), Resilienz des kritischen Teilsektors Abwasser, INTERN
- [2] VSA/SVKI (2023), Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung
- [3] BAFU (2024), Regionalisierung der Abwasserreinigung - IDK-DB
- [4] SwissPhosphor (2023), Grundlagenbericht Arbeitsgruppe «Umsetzung Kantone»

A2 Szenario Ausfall Versorgung Flockungshilfsmittel (BABS)

Das Szenario im Bericht zur *Resilienz des kritischen Teilsektors Abwasser [1]* beschreibt einen mehrmonatigen Lieferengpass in der Versorgung der ARA mit FHM für die Klärschlamm-entwässerung. Die Vorräte in den Lagern der ARA sind nach einigen Wochen aufgebraucht. Normalerweise liegen die Lieferfristen bei rund 2 Wochen. Im Szenario können die Schweizer ARA, nach aufbrauchen der Lagerreserven, während 3 Monaten nicht mit FHM versorgt werden.

Auswirkungen auf die Prozesse und den Teilsektor Abwasser

So gut wie alle ARA sind auf FHM für die Eindickung und Entwässerung des Klärschlammes angewiesen. Durch die Zugabe von FHM kann der Klärschlamm auf durchschnittlich 25 % Trockensubstanz (TS) entwässert werden. Der Klärschlamm wird normalerweise abtransportiert und auf Schlammverbrennungsanlagen, Kehrlichtverbrennungsanlagen und in Zementwerken verwertet. Ohne FHM ist eine Eindickung und Entwässerung auf schätzungsweise 5 % - 10 % TS möglich (Annahme Berechnungen: 5 % TS), was eine Zunahme des Klärschlammvolumens zur Folge hat.

In der Schweiz fallen jährlich Klärschlamm-mengen von rund 200'000 Tonnen TS an⁹. In den 3 Monaten ohne FHM fallen entsprechend 50'000 Tonnen TS an. Wenn der Klärschlamm nur noch einen Gehalt von 5 % TS erreicht, entstehen total rund 1'000'000 m³ Klärschlamm (5 % TS). Dieser sehr flüssige Klärschlamm muss abtransportiert und entsorgt werden. Dies bedeutet einerseits, dass schweizweit während 3 Monaten zusätzlich 440 Tankwagen pro Tag¹⁰ für die Logistik benötigt werden. Andererseits muss eine Lösung für die Verwertung gefunden werden, da so flüssiger Klärschlamm weder in Schlamm- oder Kehrlichtverbrennungsanlagen noch in Zementwerken eingesetzt werden kann. Eine Zwischenlagerung auf den ARA wurde nicht im Detail geklärt, wurde von der Expertengruppe aber als unrealistisch eingeschätzt.

Wird keine Lösung für die Weiterverarbeitung des Klärschlammes gefunden, muss der Klärschlamm mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer eingeleitet werden. Dies hat eine vergleichbare Auswirkung auf die Gewässer, wie wenn alle ARA ausfallen würden. Allerdings können dadurch die biologischen Prozesse auf der ARA aufrechterhalten werden.

Schadensausmass für die Bevölkerung und ihre Lebensgrundlagen

Die Schäden für die Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt aufgrund der Beeinträchtigung der Abwasserreinigung durch einen Ausfall in der Versorgung mit FHM werden wie in Abbildung dargestellt eingeschätzt:

⁹ Quelle: BAFU (2013). Klärschlamm-entsorgung in der Schweiz, Klärschlamm-erhebung 2012.

¹⁰ 40'000 Tankwagen à 20 m³ verteilt auf 3 Monate.

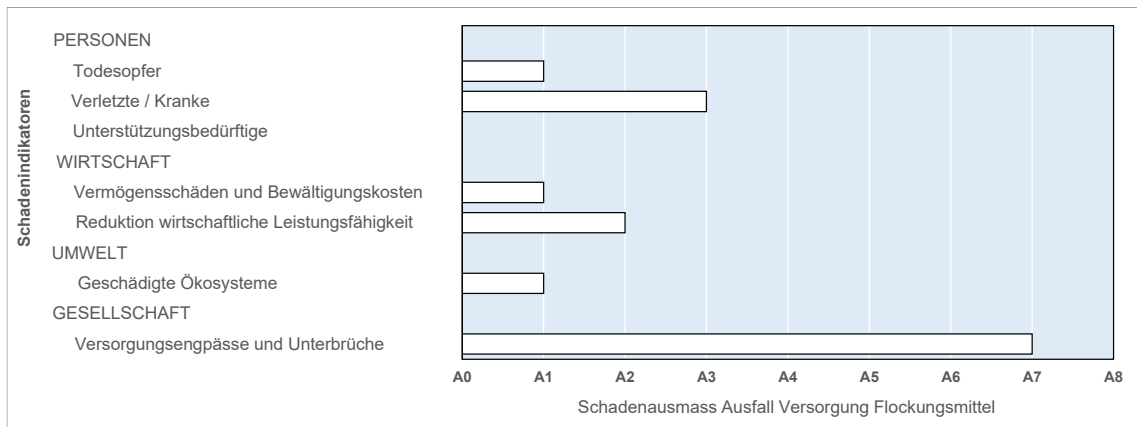


Abbildung A2: Übersicht der Schäden für Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt durch eine Beeinträchtigung infolge eines Ausfalls der Versorgung mit FHM.

- Eine fehlende Abwasserreinigung kann zu Erkrankungen oder Todesopfern führen, wenn Menschen durch Baden in Gewässern mit dem ungereinigten Abwasser in Kontakt kommen. Mit einer Informationskampagne können Badende vorgewarnt werden. Vereinzelt können ufernahe Trinkwasserfassungen betroffen sein. Durch zusätzliche Sicherheitsmassnahmen wie der Chlorierung von Trinkwasser sollte es kaum zu Erkrankungen aufgrund von verschmutztem Trinkwasser kommen (Ausmassklasse A1, resp. A3).
- Da der Transport des Abwassers von den Gebäuden in die Gewässer durch die Kanalisation weiterhin funktioniert, ist nicht mit Unterstützungsbedürftigen zu rechnen.
- Da die ARA weiterbetrieben werden, ist nicht mit Schäden an der Infrastruktur zu rechnen. Ausserordentliche Reinigungs- und Wartungsarbeiten können zu geringen Kosten führen (Ausmassklasse A1).
- Bei einer Einleitung des Klärschlammes in Gewässer während 3 Monaten sind neben der Fischerei auch der Tourismus, Badeanstalten, die Landwirtschaft oder Betriebe, die Oberflächenwasser zur Kühlung verwenden, von einer Reduktion der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit betroffen (Ausmassklasse A2).
- Da die ganze Schweiz betroffen ist, ist auch der Grossteil des Gewässernetzes betroffen. Die aquatischen Ökosysteme werden dadurch nachhaltig geschädigt und brauchen über ein Jahr für eine natürliche Regeneration (Ausmassklasse A4).
- Der Versorgungsunterbruch (resp. Entsorgungsunterbruch) während 90 Tagen von rund 9 Mio. Personen führt zu Schäden der Ausmassklasse A7 (81 Mio. Personentage).

A3 Auszüge aus relevanten Rechtsgrundlagen

Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)

2. Kapitel: Abwasserbeseitigung

Art. 16 Massnahmen im Hinblick auf ausserordentliche Ereignisse

1 Die Inhaber von Abwasserreinigungsanlagen, die Abwasser in ein Gewässer einleiten, und die Inhaber von Betrieben, die Industrieabwasser in eine Abwasserreinigungsanlage ableiten, müssen zur Verminderung des Risikos einer Gewässerverunreinigung durch ausserordentliche Ereignisse die geeigneten und wirtschaftlich tragbaren Massnahmen treffen.

2 Ist das Risiko trotz dieser Massnahmen nicht tragbar, so ordnet die Behörde die erforderlichen zusätzlichen Massnahmen an.

3 Weitergehende Vorschriften der Störfallverordnung vom 27. Februar 199110 und der Verordnung vom 20. November 199111 über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in Notlagen bleiben vorbehalten.

Art. 17 Meldung ausserordentlicher Ereignisse

1 Die Inhaber von Abwasserreinigungsanlagen, die Abwasser in ein Gewässer einleiten, müssen dafür sorgen, dass ausserordentliche Ereignisse unverzüglich der Behörde gemeldet werden, wenn diese dazu führen können, dass die vorschriftgemässe Einleitung des Abwassers in ein Gewässer oder die vorgesehene Verwertung oder Beseitigung des Klärschlammes nicht mehr möglich ist.

2 Die Inhaber von Betrieben, die Industrieabwasser ableiten, müssen dafür sorgen, dass ausserordentliche Ereignisse unverzüglich dem Inhaber der Abwasserreinigungsanlage gemeldet werden, wenn diese dazu führen können, dass der ordnungsgemässe Betrieb der Abwasseranlagen erschwert oder gestört wird.

3 Die Behörde sorgt dafür, dass die von einem ausserordentlichen Ereignis betroffenen Gemeinwesen und Privaten rechtzeitig über mögliche nachteilige Einwirkungen auf Gewässer informiert werden. Wenn erhebliche Einwirkungen über die Kantons- oder Landesgrenze hinaus erwartet werden, sorgt sie zudem dafür, dass die Alarmstelle des Bundes sowie die betroffenen Nachbarkantone und Nachbarstaaten informiert werden.

5 Weitergehende Melde- und Informationspflichten nach der Störfallverordnung bleiben vorbehalten.

3. Kapitel: Entsorgung von Klärschlamm

Art. 18 Klärschlamm-Entsorgungsplan

1 Die Kantone erstellen einen Klärschlamm-Entsorgungsplan und passen ihn in den fachlich gebotenen Zeitabständen den neuen Erfordernissen an.

2 Der Entsorgungsplan legt mindestens fest:

- a. wie der Klärschlamm der zentralen Abwasserreinigungsanlagen entsorgt werden soll;
- b. welche Massnahmen, einschliesslich der Erstellung und Änderung von Anlagen, die der Entsorgung des Klärschlammes dienen, bis zu welchem Zeitpunkt erforderlich sind.

3 Er ist öffentlich zugänglich.

Art. 19 Lagereinrichtungen

1 Die Inhaber von Abwasserreinigungsanlagen müssen dafür sorgen, dass sie den Klärschlamm so lange lagern können, bis eine umweltverträgliche Entsorgung sichergestellt ist.

2 Wenn der Klärschlamm einer zentralen Abwasserreinigungsanlage nicht jederzeit umweltverträglich beseitigt werden kann, muss eine Lagerkapazität von mindestens zwei Monaten vorhanden sein.

Art. 20 Untersuchung und Meldepflichten

1 Die Inhaber von zentralen Abwasserreinigungsanlagen müssen dafür sorgen, dass die Qualität des Klärschlammes in den fachlich gebotenen Zeitabständen untersucht wird.

Art. 21 Abgabe

1 Die Inhaber von zentralen Abwasserreinigungsanlagen müssen über die Abnehmer von Klärschlamm, die abgegebene Menge, die angegebene Entsorgung und den Zeitpunkt der Abgabe Buch führen, diese Angaben während mindestens zehn Jahren aufbewahren und der Behörde auf Verlangen zur Verfügung stellen.

4 Sie dürfen den Klärschlamm nur mit Zustimmung der kantonalen Behörde auf andere Weise entsorgen, als dies der kantonale Klärschlamm-Entsorgungsplan vorsieht. Soll der Klärschlamm in einem anderen Kanton entsorgt werden, hört die kantonale Behörde vorgängig die Behörde des Empfängerkantons an.

Tabelle 5: Auszug von Artikeln aus der Gewässerschutzverordnung betreffend Klärschlamm Entsorgung.

Die Abfallverordnung ordnet an, dass Klärschlamm thermisch behandelt werden muss.

Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA, SR 814.600)

3. Kapitel: Vermeidung, Verwertung und Ablagerung von Abfällen

Art. 10 Pflicht zur thermischen Behandlung

Siedlungsabfälle und Abfälle vergleichbarer Zusammensetzung, Klärschlamm, brennbare Anteile von Bauabfällen und andere brennbare Abfälle müssen in geeigneten Anlagen thermisch behandelt werden, soweit sie nicht stofflich verwertet werden können.

4. Kapitel: Abfallanlagen

Art. 32 Betrieb

1 In Anlagen zur thermischen Behandlung von Abfällen dürfen nur Abfälle behandelt werden, die sich für das angewendete thermische Verfahren eignen.

2 Inhaberinnen und Inhaber von Anlagen müssen diese so betreiben, dass:

[...]

h. bei einem Unterbruch der Versorgung mit notwendigen Betriebsmitteln eine Reserve zur Verfügung steht, mit welcher der Regelbetrieb für mindestens zwei Monate sichergestellt ist.

Tabelle 6: Auszug von Artikel 10 aus der Abfallverordnung betreffend Klärschlammentsorgung.

Bundesgesetz über die wirtschaftliche Landesversorgung (Landesversorgungsgesetz, LVG, SR 531)

Art. 4 Lebenswichtige Güter und Dienstleistungen

1 Lebenswichtig sind Güter und Dienstleistungen, die unmittelbar oder im Rahmen wirtschaftlicher Prozesse zur Überwindung schwerer Mangellagen notwendig sind.

2 Lebenswichtige Güter sind insbesondere:

- a. Energieträger sowie alle dazu benötigten Produktions- und Betriebsmittel;
- b. Nahrungs-, Futter- und Heilmittel sowie Saat- und Pflanzgut;
- c. andere unentbehrliche Güter des täglichen Bedarfs;
- d. Roh- und Hilfsstoffe für die Landwirtschaft, die Industrie und das Gewerbe.

3. Kapitel: Wirtschaftliche Interventionsmassnahmen gegen schwere Mangellagen

Art. 31 Vorschriften über lebenswichtige Güter

1 Im Fall einer unmittelbar drohenden oder bereits bestehenden schweren Mangellage kann der Bundesrat zeitlich begrenzte wirtschaftliche Interventionsmassnahmen ergreifen, um die Versorgung mit lebenswichtigen Gütern sicherzustellen.

2 Er kann Vorschriften erlassen über:

- a. die Beschaffung, Zuteilung, Verwendung und den Verbrauch;
- b. die Einschränkung des Angebots;
- c. die Verarbeitung und die Anpassung der Produktion;
- d. die Nutzung, Rückgewinnung und Wiederverwertung von Rohstoffen;
- e. die Verstärkung der Lagerhaltung;
- f. die Freigabe von Pflichtlagern und anderen Vorräten;
- g. die Lieferpflicht;
- h. die Förderung von Importen;
- i. die Beschränkung von Ausfuhren.

3 Er kann, soweit erforderlich, Rechtsgeschäfte auf Kosten des Bundes abschliessen.

Tabelle 7: Auszug von Artikel 31 aus dem Landesversorgungsgesetz.

A4 Projektorganisation und involvierte Fachpersonen

Projektteam BAFU

- Patrick Fischer, BAFU, Abteilung Wasser, Sektion Siedlungswasserwirtschaft
- Damian Dominguez, BAFU, Abteilung Wasser, Sektion Siedlungswasserwirtschaft

Projektteam EBP

- Selina Derksen, Projektleitung, Expertin Schutz kritischer Infrastrukturen
- Franziska Lindström, Stv. Projektleitung, Expertin Schutz kritischer Infrastrukturen
- Christine Steinlin, Expertin Schutz kritischer Infrastrukturen, Umweltchemikerin
- Ivo Fölmli, Experte Abwasserreinigung
- Julian Bosshard, Experte Abwasserreinigung

Begleitgruppe

- Klaus Biermann, ARA Glarnerland
- Nathalie Hubaux, ARA Neugut
- Klaus Schramm, ARA Werdhölzli, ERZ
- Nina Gubser, ARA Werdhölzli, ERZ
- Sibylla Hardmeier, BAFU Abteilung Abfall und Rohstoffe
- Reto Manser, Kanton Bern (und VSA)
- Britta Gausen-Freidl, Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA)

Interviews

- 1 Interview mit Hersteller
- 2 Interviews mit Lieferanten
- 2 Interviews mit Vertretungen der WL
- 3 Interviews mit ARA
- 1 Interview mit Schlamm Trocknung
- 1 Interview mit Schlammverbrennung
- 1 Interview mit KVA

Umfrage

Eine Umfrage wurde im Oktober 2025 an 24 Anlagebetreiber zur Klärschlammverwertung verschickt (SVA, KVA, TuZ). 10 Anlagebetreiber beantworteten die Umfrage (40 %). Gemeinsam mit den Informationen aus 3 Interviews, konnten so 13 Antworten ausgewertet werden. Die Umfrage fokussierte auf die Themen TS-Gehalt, Herausforderungen, Kapazität, Zwischenlagerung und Transport.