

Amt der Salzburger Landesregierung

Abteilung 5

Natur- und Umweltschutz, Gewerbe

Abteilung 7

Wasser

**Klärschlamm-Behandlung
Optionen 2033
im Bundesland Salzburg**

Studie 2024

Erläuterungsbericht

Revision 1

Dezember 2024

819-ad-201_r1_eb.docx



Fakultät für Technische Wissenschaften
Institut für Infrastruktur | Arbeitsbereich Umwelttechnik
Abfallbehandlung und Ressourcenmanagement
6020 Innsbruck, Technikerstraße 13
T: +43 512 507 62101
umwelttechnik@uibk.ac.at
www.uibk.ac.at/de/umwelttechnik



di harald karl winkler
staatlich befugter und beeideter
ingenieurkonsulent für verfahrenstechnik
eingetragener mediator
a-6460 imst • römerweg 2
T +43 5412 63721 • M +43 664 357 8985
hkW@hkWinkler.com
www.hkWinkler.com

Erstellt von:

Dr. Christian Ebner
Prof.ⁱⁿ Dr.-Ing.ⁱⁿ Anke Bockreis
Universität Innsbruck
Arbeitsbereich für Umwelttechnik
Fachgebiet Abfallbehandlung und Ressourcenmanagement
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck
www.uibk.ac.at/umwelttechnik

DI Harald Karl Winkler
Staatlich befugter und beeideter
Ingenieurkonsulent für
Verfahrenstechnik
Eingetragener Mediator
Römerweg 2
6460 Imst
www.hkwinkler.com

Revisionsverzeichnis

1	05.12.2024	Update nach Präsentation am 26.11.2024	hkw	CE
0	28.10.2024	Erste Ausgabe	hkw, CE	CE, AB
Rev.	Datum	Ausgabe/Änderung	Bearbeitet	Geprüft

Zusammenfassung | Executive Summary

Die Klärschlämme von 26 der 29 in der vorliegenden Studie betrachteten kommunalen Salzburger Kläranlagen werden derzeit im Rahmen der „Salzburger Lösung“ thermisch verwertet.

Diese Kläranlagenbetreiber transportieren ihre Klärschlämme selbst zur Reststoffverwertungsanlage (RVA) in Lenzing. Die Verbrennungskosten für Klärschlämme aus 19 Kläranlagen werden von SAB und ZEMKA mit der Energie AG ab- und an die Kläranlagenbetreiber weiterverrechnet. Sieben Kläranlagenbetreiber rechnen direkt mit der Energie AG ab.

Drei Kläranlagenbetreiber verwerten ihre Klärschlämme stofflich in Ober- und Niederösterreich.

Die Salzburger Kläranlagenbetreiber scheinen mit diesem Procedere insgesamt zufrieden zu sein und möchten diese Form der Abwicklung grundsätzlich beibehalten.

Ab 1. Jänner 2033 müssen Klärschlämme aus Kläranlagen ≥ 20.000 EW gemäß § 20 (1) AVV 2024 verbrannt werden, damit in weiterer Folge zumindest 80% des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors zurückgewonnen werden können.

Die Variante der Phosphor Rückgewinnung vor Ort in den Kläranlagen gemäß § 20 (2) AVV 2024 ist für die kommunalen Salzburger Kläranlagen derzeit keine Option. Die verfügbaren Verfahren können Phosphor nicht ausreichend abscheiden. Weiters könnten Zulassung und Vermarktung der erzeugten Düngeprodukte für einzelne Kläranlagenbetreiber einen erheblichen Zusatzaufwand verursachen.

Grundsätzlich können die kommunalen Salzburger Kläranlagen ihre Klärschlämme auch ab Jänner 2033 im Rahmen einer „modifizierten Salzburger Lösung“ verwerten, wenn externe Partner die Dienstleistungen „*Klärschlamm-Monoverbrennung inklusive P-Rückgewinnung aus der Asche (oder Abgabe der Klärschlammmasche an einen weiteren befugten Partner zur P-Rückgewinnung) nach § 20 (1) AVV 2024*“ übernehmen.

Ob in Österreich ab Jänner 2033 geeignete Kapazitäten für die Monoverbrennung der kommunalen Salzburger Klärschlämme zur Verfügung stehen werden, kann derzeit allerdings noch nicht seriös prognostiziert werden.

Im Sinne einer „modifizierten Salzburger Lösung“ wird dementsprechend empfohlen, dass SAB und ZEMKA zeitnah mit der Energie AG und weiteren potenziellen Partnern die zukünftige Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme gemäß § 20 (1) AVV 2024 verhandeln.

Die Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme in Deutschland ist aus heutiger Sicht mangels verfügbarer Kapazitäten in Süddeutschland und wegen zusätzlicher administrativer und organisatorischer Herausforderungen (Notifizierung, Logistik, unterschiedliche gesetzliche Rahmenbedingungen [AVV 2024 vs. AbfKlärV 2017, etc.]) keine realistische Option.

Insgesamt wurden 2023 im Land Salzburg ca. 10.600 Tonnen Trockenmasse kommunaler Klärschlamm produziert; knapp die Hälfte davon (ca. 5.000 toTM/a) in der Kläranlage Siggerwiesen des RHV Großraum Salzburg; ungefähr ein Viertel (ca. 2.700 toTM/a) in den fünf großen Kläranlagen der Bezirke St. Johann und Zell am See.

Aktuell bieten mehrere Hersteller Anlagen an, die technisch für die Monoverbrennung der kommunalen Salzburger Klärschlämme geeignet sind. Referenzanlagen werden derzeit in Österreich und Deutschland erfolgreich betrieben und können bei Interesse besichtigt werden.

Das Projekt „Autonome Salzburger Klärschlammverwertung“ ist eine Alternative zur „modifizierten Salzburger Lösung“ und umfasst die Planung, die Errichtung und den Betrieb einer Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage (KSMVA) in der ausschließlich kommunale Salzburger Klärschlämme verbrannt werden.

Dieses Projekt kann durch ein Privatunternehmen oder einen Rechtsträger unter Kontrolle der Salzburger Kläranlagenbetreiber umgesetzt werden.

Im Rahmen der Studie wurden dazu drei Varianten näher betrachtet:

- Kleine Lösung (4.100 toTM/a) für die Kläranlagen aus den Bezirken St. Johann, Tamsweg und Zell am See
- Mittlere Lösung (5.600 toTM/a) für die Kläranlagen aus den Bezirken Hallein, Salzburg-Land, St. Johann, Tamsweg und Zell am See
- Große Lösung (10.600 toTM/a) für alle kommunalen Salzburger Kläranlagen

Die Kläranlagenbetreiber transportieren ihre Schlämme zur KSMVA und übergeben diese der Betreiberin zur Verwertung nach § 20 (1) AVV 2024; Phosphor wird von einem befugten externen Partner aus der Asche zurückgewonnen.

Nach derzeitigem Wissensstand wird in Österreich für die P-Rückgewinnung aus Verbrennungsasche ab Jänner 2033, wenn überhaupt, nur eine Anlage zur Verfügung stehen. In Deutschland werden in absehbarer Zeit keine Kapazitäten für die Behandlung österreichischer Klärschlammaschen verfügbar sein. 2029 werden in Deutschland voraussichtlich nur 10% - 20% der deutschen Klärschlammaschen behandelt werden können.

Alternativ zur P-Rückgewinnung aus der Asche kann nach § 20 (1) AVV 2024 (*...„oder die gesamte Verbrennungsasche muss zur Herstellung eines Düngeproduktes gemäß Düngemittelgesetz 2021 – DMG 2021, BGBl. I Nr. 103/2021, verwendet werden.“*) Asche auch direkt über ein Düngeprodukt genutzt werden.

Diese Möglichkeit ist auch in der EU-Düngeproduktverordnung (EU DÜPV 2019/1009) ausdrücklich vorgesehen (PFC 1c aus CMC 13).

Wenn in der KSMVA durch Zusatz von Additiven eine „Premiumasche“ im Sinne der EU DÜPV 2019/1009 produziert wird, kann Phosphor also direkt über die Asche als Düngeprodukt zurückgewonnen und lokal verwertet werden.

Gegebenenfalls ist eine Einzelzulassung gemäß § 9 DMG 2021 erforderlich.

Inhaltsverzeichnis

1	ALLGEMEINES	9
2	BEGRIFFSBESTIMMUNG	10
3	PLANUNGSRELEVANTE KLÄRSCHLAMM MENGEN	12
3.1	Planungsrelevante kommunale Kläranlagen	12
3.2	Klärschlamm mengen und -qualitäten	14
3.2.1	Allgemeines	14
3.2.2	Entwicklungen 2018 bis 2023	15
3.2.2.1	Klärschlamm Mengen und Qualitäten	15
3.2.2.2	Kosten	18
3.2.3	Datenbasis 2023.....	20
3.2.3.1	Allgemeines	20
3.2.3.2	Klärschlamm mengen	21
3.3	Aktuelle Verwertung der kommunalen Klärschlämme	22
3.3.1	Salzburger Lösung.....	22
3.3.2	Feedback der Kläranlagenbetreiber	24
4	PLANUNGEN DER KLÄRANLAGENBETREIBER	25
4.1	Rechtsformen der Kläranlagenbetreiber	25
4.2	Planungen zur Schlammbehandlung in den Kläranlagen	25
4.3	Planungen zur Phosphor-Rückgewinnung	25
5	GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN	26
5.1	Österreich	26
5.1.1	§ 20 der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) 2024	26
5.1.2	DMG 2021 und DMVO 2004.....	28
5.1.3	EU Düngeproduktverordnung - DÜPV EU 2019/1009	28
5.1.4	Zugelassene Düngeprodukte aus Klärschlamm	29
5.2	Deutschland AbfKlärV 2017	30
5.3	Schweiz Art. 15 der Abfallverordnung VVEA	31
6	TECHNISCHE RAHMENBEDINGUNGEN	32
6.1	Klärschlammverbrennung	32
6.1.1	Allgemeines	32
6.1.2	Klärschlamm als Brennstoff	33
6.1.3	Wirbelschichtverfahren	34
6.1.4	Drehrohrofen	37
6.1.5	Rostfeuerung	39
6.2	Phosphor Rückgewinnung	40
6.2.1	Potenzial und technische Möglichkeiten	40
6.2.2	Struvit-basierte Verfahren	40
6.2.2.1	AirPrex® Verfahren.....	41
6.2.2.2	ELOVAC P Verfahren	41
6.2.2.3	PARFORCE Technologie	41
6.2.2.4	P-RoC-Verfahren	42

6.2.2.5	SIMPhos-Verfahren	43
6.2.2.6	Gifhorn-Verfahren (Seaborne-Verfahren).....	43
6.2.2.7	Stuttgarter Verfahren – System MSE	43
6.2.3	Karbonisierungsverfahren.....	44
6.2.3.1	HTC – Hydrothermale Karbonisierung TerraNova®ultra Verfahren.....	44
6.2.3.2	PYREG®-Verfahren.....	45
6.2.4	Thermochemische Behandlung in der Verbrennung	45
6.2.4.1	EuPhoRe®-Verfahren.....	45
6.2.4.2	Wehrle P-XTRACT – Verfahren.....	46
6.2.4.3	P-Rezyklat aus dem Drehrohrkessel.....	47
6.2.5	Nasschemische Behandlung der Klärschlammasche.....	49
6.2.5.1	Ash2®Phos Verfahren	49
6.2.5.2	PARFORCE Technologie	49
6.2.5.3	TetraPhos®-Verfahren.....	50
6.2.6	Gesamtbewertung in Bezug auf die Salzburger Rahmenbedingungen	51
7	OPTIONEN FÜR DIE ZUKÜNFTIGE KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG.....	54
7.1	Modifizierte „Salzburger Lösung“	54
7.1.1	Szenario 12: Modifizierte Salzburger Lösung.....	56
7.1.2	Szenario 13 Modifizierte Salzburger Lösung mit KSTRO	57
7.2	Autonome Salzburger Klärschlammverwertung	58
7.2.1	Szenario 21: Autonome SKSV Kleine Lösung (JO TA ZE)	59
7.2.2	Szenario 24: Autonome SKSV Mittlere Lösung (HA JO SL TA ZE)	60
7.2.3	Szenario 31: Autonome SKSV Kleine Lösung mit KSTRO (JO TA ZE)	61
7.2.4	Szenario 34: Autonome SKSV Mittlere Lösung mit KSTRO (HA JO SL TA ZE)	62
7.2.5	Szenario 51: Autonome SKSV Große Lösung	63
7.2.6	Szenario 52: Autonome SKSV Große Lösung mit KSTRO.....	64
7.2.7	Organisationsmodelle	65
8	PLANUNGS- UND UMSETZUNGSZEITRÄUME	67
9	RESÜMEE.....	68
10	QUELLEN	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kommunale Salzburger Kläranlagen Quelle: Referat Gewässerschutz	12
Abbildung 2: Planungsrelevante Kläranlagen Quelle: Referat Gewässerschutz	14
Abbildung 3: Kommunale Salzburger Klärschlämme 2018 - 2023 Quelle: Digiprot.....	15
Abbildung 4: Entwässerungsqualität nach Kläranlagen (anonymisiert) Quelle: Digiprot	16
Abbildung 5: Gegenüberstellung der TM Abfuhrmengen Digiprot vs. BMNT/BMK Statusberichte	16
Abbildung 6: Saisonaler Verlauf der Salzburger Klärschlammengen Quelle: Digiprot	17
Abbildung 7: Saisonaler Verlauf der Trockenmasseproduktion Quelle: Digiprot	17
Abbildung 8: Salzburger Klärschlammverwertungskosten (ohne ARA Siggerwiesen)	18
Abbildung 9: Klärschlamm Abfuhrtarife nach Kläranlagen (anonymisiert – ohne ARA Siggerwiesen).	19
Abbildung 10: TM Abfuhrkosten nach Kläranlagen (anonymisiert – ohne ARA Siggerwiesen).....	19
Abbildung 11: Abfuhrkosten bezogen auf EW und Abwassermengen (ohne ARA Siggerwiesen)	20
Abbildung 12: Kommunaler Salzburger Klärschlammmanfall 2023 – OS Quelle: Digiprot.....	21
Abbildung 13: Kommunaler Salzburger Klärschlammmanfall 2023 – TM Quelle: Digiprot.....	21
Abbildung 14: Aktuelle Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme - OS-Bilanz	22
Abbildung 15: Szenario 11 Salzburger Lösung – Aktuelle Praxis: TM-Bilanz.....	23
Abbildung 16: Salzburger Lösung: Feedback der Kläranlagenbetreiber zur aktuellen Praxis	24
Abbildung 17: Salzburger Lösung: Feedback der Kläranlagenbetreiber zu Abhängigkeiten.....	24
Abbildung 18: Rechtsformen der kommunalen Salzburger Kläranlagenbetreiber	25
Abbildung 19: § 20 AVV 2024 Gesetzestext	27
Abbildung 20: Möglichkeiten zur Bereitstellung und Zulassung von Düngeprodukten	29
Abbildung 21: Wege vom kommunalen Klärschlamm zu einem zugelassenen Düngematerial	29
Abbildung 22: Thermochemische Umwandlung von Klärschlamm	32
Abbildung 23: Klärschlamm Heizwert und Monoverbrennungsverfahren (Erfahrungswerte)	33
Abbildung 24: Wirbelschichtfeuerung für die Klärschlamm Monoverbrennung	34
Abbildung 25: Wirbelschicht Verbrennungsanlage mit Heißwasserkessel und Fernwärmeverkauf	35
Abbildung 26: Wirbelschicht Verbrennungsanlage mit KSTRO und Dampfkessel	35
Abbildung 27: Wirbelschicht KSMVA (ca. 2.600 toTM/a) Staufener Bucht (DE)	36
Abbildung 28: Wirbelschicht KSMVA (7.500 toTM/a) Großwilfersdorf (AT)	36
Abbildung 29: Baugrößen für KSMVA der Werkstätten heating systems GmbH.....	37
Abbildung 30: Schema für die 0,5 MW-Baugröße.....	37
Abbildung 31: Referenzanlage Schüttofen Halle für 3 Linien @1.500 toTM/a, 1 Linie in Betrieb	38
Abbildung 32: Referenzanlage Altenkirchen 3 Linien @1.500 toTM/a	38
Abbildung 33: AWINA-Schleuderradtechnologie - Emter GmbH	39
Abbildung 34: Verfahrensfießbild des Airprex® Verfahrens.....	41
Abbildung 35: TerraNova®ultra Verfahrensschema Quelle: Buttmann, Berlin 2022	44
Abbildung 36: Wehrle P-XTRACT® Verfahrensfießbild	46
Abbildung 37: Grenzwertausschöpfung bezogen auf die deutsche DÜMV und die EU DÜPV	48
Abbildung 38: Übersicht zum Remondis TetraPhos® - Verfahren.....	51

Abbildung 39: Szenario 12 Modifizierte Salzburger Lösung TM-Bilanz	56
Abbildung 40: Szenario 13 Modifizierte Salzburger Lösung mit KSTRO	57
Abbildung 41: Szenario 21 Autonome SKSV Kleine Lösung (JO TA ZE)	59
Abbildung 42: Szenario 24 Autonome SKSV Mittlere Lösung (HA JO SL TA ZE)	60
Abbildung 43: Szenario 31 Autonome SKSV Kleine Lösung mit KSTRO (JO TA ZE)	61
Abbildung 44: Szenario 34 Autonome SKSV Mittlere Lösung mit KSTRO (HA JO SL TA ZE)	62
Abbildung 43: Szenario 51 Autonome SKSV Große Lösung	63
Abbildung 44: Szenario 52 Autonome SKSV Große Lösung mit KSTRO	64
Abbildung 45: Organisationsmodell für den Rechtsträger unter Kontrolle der Kläranlagenbetreiber ...	66
Abbildung 46: Planungs- und Umsetzungszeiträume von KSMVA	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Planungsrelevante kommunale Salzburger Kläranlagen	13
Tabelle 2: Referenzprojekte der WERKSTÄTTEN heating-systems GmbH	47
Tabelle 3: Überblick über die gängigen Phosphorrecyclingverfahren (Auswahl)	52
Tabelle 4: Transportwege nach Lenzing, Zell am See und Bergheim	55

1 ALLGEMEINES

Das Land Salzburg, vertreten durch die Abteilung 5 Natur- und Umweltschutz, Gewerbe und die Abteilung 7 Wasser haben am 6. Dezember 2023 die Erstellung der Studie

Klärschlamm-Behandlung – Optionen 2030 im Bundesland Salzburg
ausgeschrieben und am 30. Jänner 2024 an die

Universität Innsbruck
Fakultät für Technische Wissenschaften
Institut für Infrastruktur
Arbeitsbereich für Umwelttechnik
Fachgebiet Abfallbehandlung und Ressourcenmanagement
vergeben.

Die Studie wurde vom Institut für Infrastruktur Arbeitsbereich für Umwelttechnik
Fachgebiet Abfallbehandlung und Ressourcenmanagement
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Anke Bockreis (Projektleitung)
Dr. Christian Ebner (Projektleitung Stellvertretung)
DI Julika Knapp

und

DI Harald Karl Winkler, staatlich befugter und beeideter Ingenieurkonsulent für
Verfahrenstechnik (verfahrenstechnische Fachberatung)

in Zusammenarbeit und Abstimmung mit dem Amt der Salzburger Landes-
regierung

Abteilung 5, Natur- und Umweltschutz, Gewerbe,
Referat 5/01 Zentrale Dienste, Planung und Controlling
DI Dr. Angelika Brunner

und

Abteilung 7 Wasser
Referat 7/05 Gewässerschutz
HR Dr. Andreas Unterweger

ausgearbeitet.

2 BEGRIFFSBESTIMMUNG

Im Rahmen dieser Studie werden unter anderem die folgenden Begriffe verwendet und bei Bedarf wie folgt abgekürzt:

AbfklärV	Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung (DE)
AGES	Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ASL	Amt der Salzburger Landesregierung
AT	Österreich
AVV	Abfallverbrennungsverordnung (AT)
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz (AT)
BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan (AT)
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (AT)
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (AT)
BVergG	Bundesvergabegesetz (AT)
CAPEX	Investitionskosten
CH	Schweiz
CMC	Komponentenmaterialkategorie in der EU DÜPV
DACH	Region Deutschland-Österreich-Schweiz
DE	Deutschland
DMG	Düngemittelgesetz (AT)
DMVO	Düngemittelverordnung (AT)
DÜPV	Düngeproduktverordnung (EU)
EU	Europäische Union
EW	Einwohnerwert
GU	Generalunternehmer
HA	Bezirk Hallein
JO	Bezirk St. Johann im Pongau
KAPO	ÖWAV Kläranlagenportal (AT)
KSMVA	Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage

KS	Klärschlamm
KSA	Klärschlammasche
KSTRO	Klärschlamm-trocknungsanlage
KVA	Klärschlammverwertungsanlage
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (DE)
MAP	Magnesiumammoniumphosphat (Struvit)
MEKS	Mechanisch entwässerter Klärschlamm
OPEX	Betriebskosten
OS	Originalsubstanz (MEKS oder TG)
oTM	Organische Trockenmasse
oTR	Organischer Trockenrückstand
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
P	Phosphor
PFC	Produktfunktionskategorie in der EU DÜPV
RHV	Reinhalteverband
RVL	Reststoffverwertung Lenzing GmbH
RVA	Reststoffverwertungsanlage
SAB	Salzburger Abfallbeseitigung GmbH
SGVG	Salzburger Gemeindeverbände-gesetz (AT)
SKSV	Salzburger Klärschlammverwertung
SN	Schlüsselnummer (in der AbfallverzeichnisVO, (AT))
TA	Bezirk Tamsweg
TG	Trockengranulat
TM	Trockenmasse
TR	Trockenrückstand
TS	Trockensubstanz
VO	Verordnung
VVEA	VO über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (CH)
WFA	Wirkungsorientierte Folgenabschätzung (AT)
WRG	Wasserrechtsgesetz (AT)
ZE	Bezirk Zell am See
ZEMKA	ZEMKA GmbH (Zentrale Müllklärschlammverwertungsanlagen)

3 PLANUNGSRELEVANTE KLÄRSCHLAMMEN

3.1 Planungsrelevante kommunale Kläranlagen

Im Land Salzburg gibt es (Stand 2021) gemäß Referat Gewässerschutz 32 kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von zumindest 2.000 EW („Großanlagen“). Die weiteren Betrachtungen in dieser Studie beziehen sich auf die Klärschlämme dieser Kläranlagen.

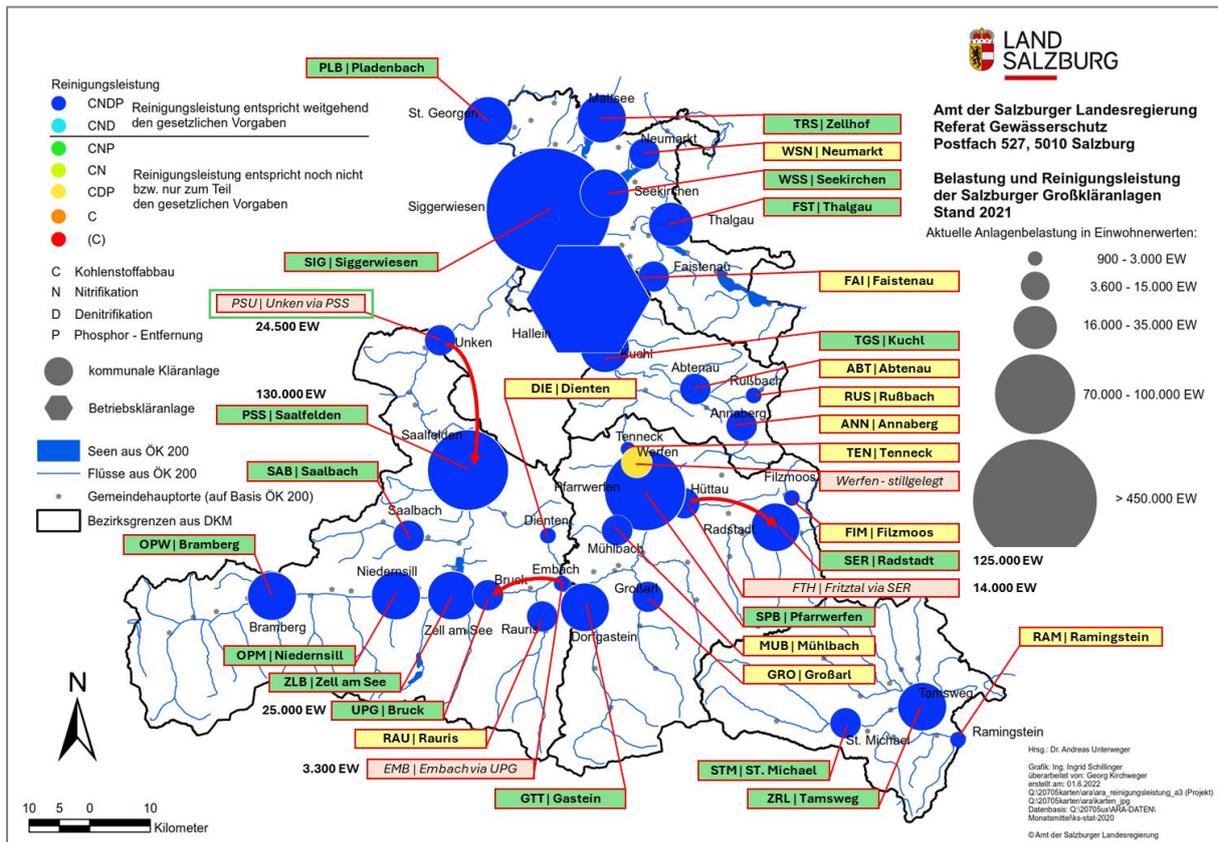


Abbildung 1: Kommunale Salzburger Kläranlagen (Großanlagen) | Quelle: Referat Gewässerschutz

Die folgenden Kläranlagen verwerten ihre Klärschlämme indirekt und übergeben sie an kooperierende Kläranlagen für die weitere Behandlung und Verwertung:

- ARA Unken liefert an ARA Saalfelden
- ARA Fritztal liefert an ARA Radstadt
- ARA Embach liefert an ARA Bruck

Die von diesen Kläranlagen übernommenen Klärschlämme werden von den kooperierenden Kläranlagen gemeinsam mit den eigenen Schlämmen für die Verwertung abtransportiert und sind damit in deren Klärschlammengenen dokumentiert.

Damit verbleiben 29 planungsrelevante kommunale Kläranlagen mit externer Klärschlammverwertung als Basis für diese Studie.

Tabelle 1: Planungsrelevante kommunale Salzburger Kläranlagen

Kläranlage	Eigentümer Betreiber	Rechtsform	Bezirk
ARA Abtenau	Gemeinde Abtenau	Gemeinde	HA
ARA Annaberg	Gemeinde Annaberg	Gemeinde	HA
ARA Kuchl	RHV Tennengau-Süd	Verband nach Wasserrecht	HA
ARA Rußbach	Gemeinde Rußbach	Gemeinde	HA
ARA Filzmoos	Gemeinde Filzmoos	Gemeinde	JO
ARA Gasteinertal	RHV Gasteinertal	Verband nach Wasserrecht	JO
ARA Großarl	Gemeinde Großarl	Gemeinde	JO
ARA Mühlbach	Gemeinde Mühlbach am Hochkönig	Gemeinde	JO
ARA Pfarrwerfen	RHV Salzach-Pongau	Verband nach Wasserrecht	JO
ARA Radstadt	RHV Salzburger Ennstal	Verband nach Wasserrecht	JO
ARA Tenneck	Gemeinde Werfen	Gemeinde	JO
ARA Siggerwiesen	RHV Großraum Salzburg Stadt	Verband nach Wasserrecht	S
ARA Faistenau	Gemeinde Faistenau	Gemeinde	SL
ARA Neumarkt	RHV Wallersee-Nord	Verband nach Wasserrecht	SL
ARA Seekirchen	RHV Wallersee-Süd	Verband nach Wasserrecht	SL
ARA Pladenbach	RHV Pladenbach	Verband nach Wasserrecht	SL
ARA Thalgau	RHV Fuschlsee - Thalgau	Verband nach Wasserrecht	SL
ARA Zellhof	RHV Trumerseen	Verband nach Wasserrecht	SL
ARA Ramingstein	Gemeindeverband Ramingstein-Thomatal	Verband nach SGVG	TA
ARA St. Michael	RHV St. Michael	Verband nach Wasserrecht	TA
ARA Tamsweg	RHV Zentralraum Lungau	Verband nach Wasserrecht	TA
ARA Bramberg	RHV Oberpinzgau West	Verband nach Wasserrecht	ZE
ARA Bruck	RHV Unterpinzgau	Verband nach Wasserrecht	ZE
ARA Dienten	Gemeinde Dienten	Gemeinde	ZE
ARA Niedernsill	RHV Oberpinzgau-Mitte	Verband nach Wasserrecht	ZE
ARA Rauris	Gemeinde Rauris	Gemeinde	ZE
ARA Saalbach	Gemeinde Saalbach-Hinterglemm	Gemeinde	ZE
VKA Saalfelden	RHV Pinzgauer Saalachtal	Verband nach Wasserrecht	ZE
ARA Zell am See	RHV Zellerbecken	Verband nach Wasserrecht	ZE

Alle 29 planungsrelevanten Kläranlagen werden von ihren Eigentümern betrieben:

- 17 Kläranlagen von Wasserrechtsverbänden
- 11 Kläranlagen von Gemeinden
- 1 Kläranlage von einem Verband nach SGVG

Die zukünftige Klärschlammverwertung gemäß § 20 AVV 2024 betrifft nur kommunale Kläranlagen mit zumindest 20.000 EW Ausbaugröße.

Damit unterliegen in Salzburg zukünftig 17 Kläranlagen diesen Regelungen. Die 12 Kläranlagen mit <20.000 EW Ausbaugröße könnten ihren Klärschlamm grundsätzlich wie bisher (Mitverbrennung, stoffliche Verwertung in Ober- oder Niederösterreich) weiter verwerten.

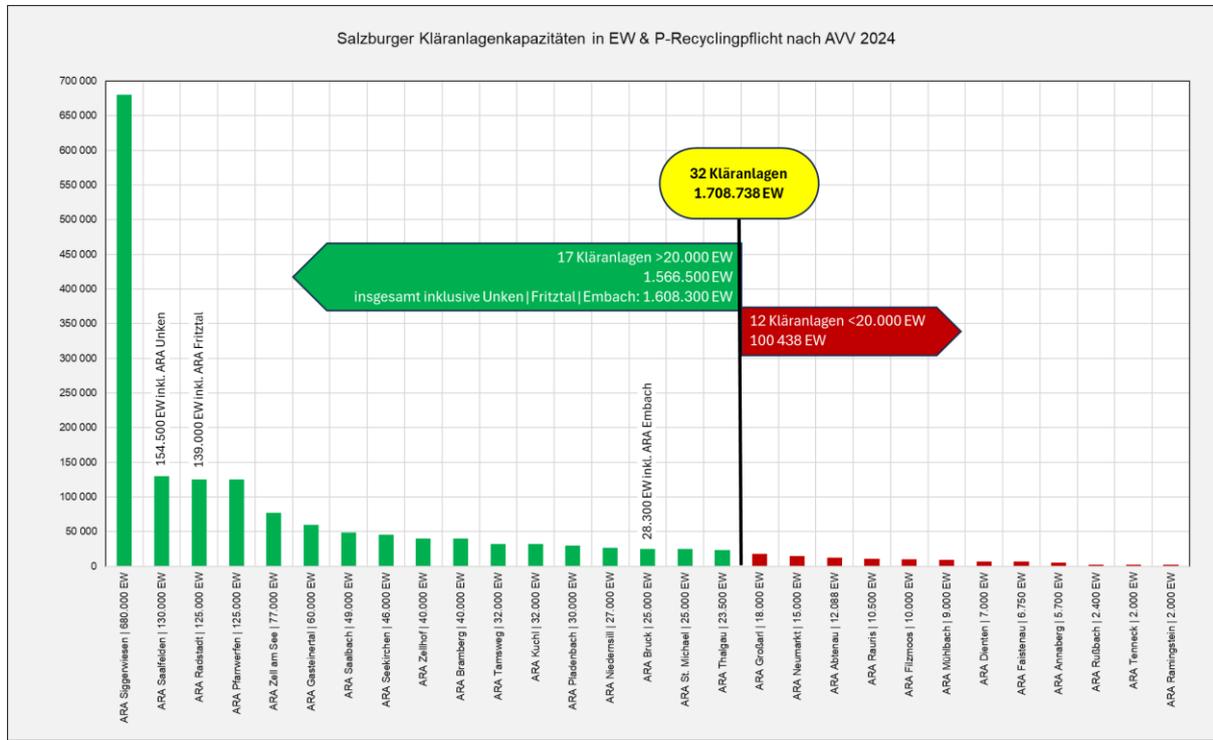


Abbildung 2: Planungsrelevante Kläranlagen nach Ausbaugröße, Quelle: Referat Gewässerschutz

Auf Basis der gelebten Praxis der aktuellen Klärschlammverwertung („Salzburger Lösung“ – die Klärschlämme von 26 der 29 planungsrelevanten Kläranlagen werden derzeit in der RVA der RVL in Lenzing verbrannt) wird für den Zweck dieser Studie davon ausgegangen, dass zukünftig alle 29 planungsrelevanten kommunalen Salzburger Kläranlagen ihre Klärschlämme nach den Anforderungen des § 20 AVV 2024 verwerten werden.

3.2 Klärschlammengen und -qualitäten

3.2.1 Allgemeines

Die im Rahmen dieser Studie angesetzten Klärschlammtdaten basieren auf den von den einzelnen Kläranlagen in das Kläranlagenportal (KAPO) hochgeladenen Betriebsdaten für das Kalenderjahr 2023.

Alle planungsrelevanten kommunalen Salzburger Kläranlagenbetreiber haben ihre Betriebsdaten für die Ausarbeitung dieser Studie zur Verfügung gestellt und insbesondere den Verfassern den direkten Zugang zu ihren Digiprot Daten im Kläranlagenportal freischalten lassen.

Dafür bedanken sich die Verfasser der Studie ausdrücklich bei den Kläranlagenbetreibern.

Im Sinne einer transparenten Vorgangsweise haben alle Kläranlagenbetreiber eine Dokumentation mit einer Auswertung der abgerufenen Betriebsdaten für ihre Kläranlage erhalten. Diese Auswertungen werden ausschließlich den jeweiligen Kläranlagenbetreibern zur Verfügung gestellt und nicht veröffentlicht.

3.2.2 Entwicklungen 2018 bis 2023

3.2.2.1 Klärschlamm Mengen und Qualitäten

Aus den im Kläranlagenportal (Digiprot) veröffentlichten Daten wird erkennbar, dass der Klärschlamm – Trockenmasseanfall im Beobachtungszeitraum 2018 bis 2023 praktisch konstant war und insbesondere auch in den „Corona-Jahren“ nur geringfügige Verringerungen von ca. 7% bezogen auf den Trockenmasseanfall 2019 dokumentiert sind.

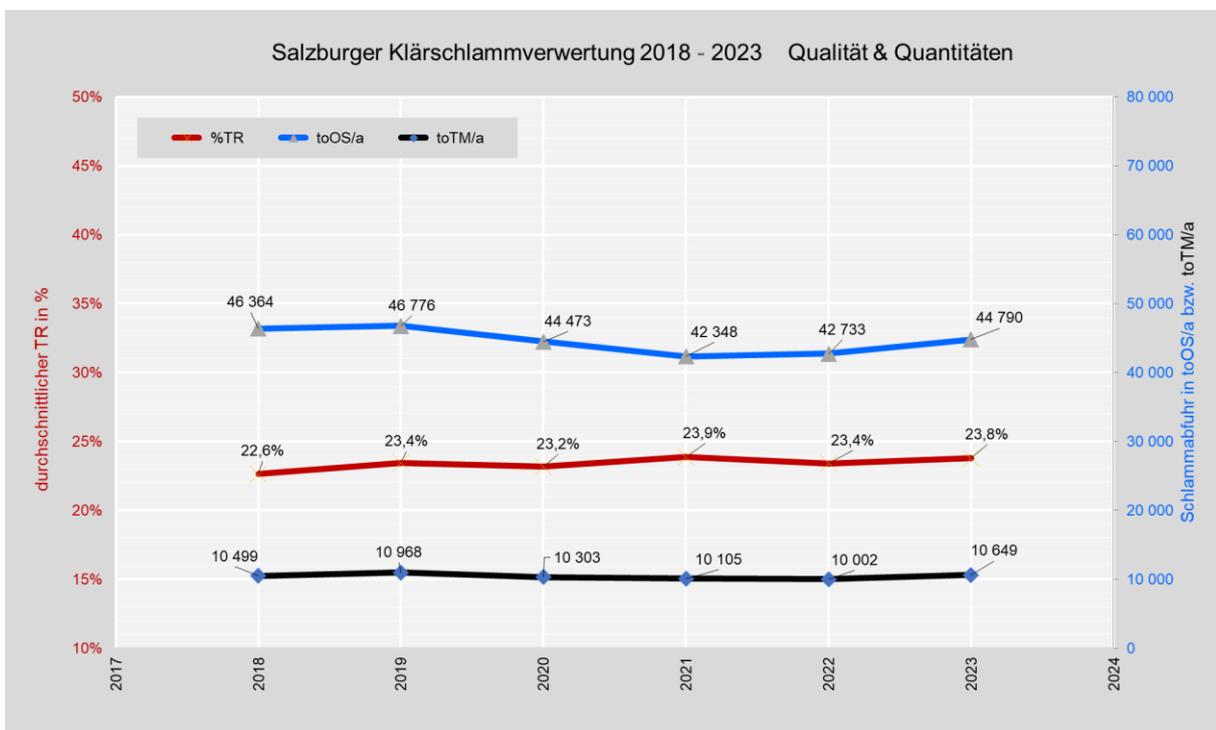


Abbildung 3: Kommunale Salzburger Klärschlämme 2018 - 2023 | Quelle: Digiprot

Alle kommunalen Salzburger Klärschlämme werden mechanisch entwässert und als MEKS aus den Kläranlagen zur Verbrennung abtransportiert.

Die Qualität der mechanischen Klärschlammwässerung stieg seit 2018 im Schnitt praktisch kontinuierlich von 22,6 %TR 2019 auf 23,8%TR 2023.

Die Qualität der mechanischen Klärschlammwässerung entspricht größtenteils dem Stand der Technik. Einzelne Kläranlagen haben im Bereich der mechanischen Klärschlammwässerung Optimierungsbedarf, siehe Abbildung 4.

Diese Einschätzung wurde den betroffenen Kläranlagenbetreibern im Zuge der Digiprot Datenauswertung individuell kommuniziert.

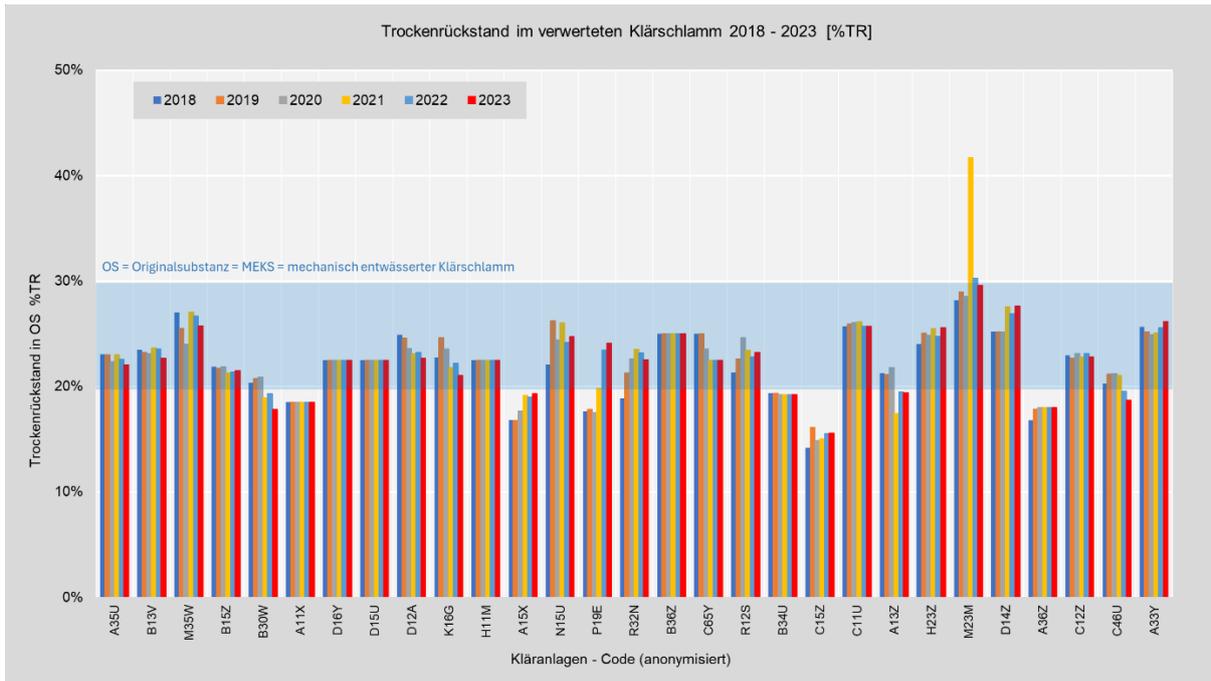


Abbildung 4: Entwässerungsqualität nach Kläranlagen (anonymisiert) | Quelle: Digiprot

Beim Vergleich der Digiprot Daten mit den Daten aus den Statusberichten der zuständigen Ministerien (BMNT, bzw. BMK) fällt auf, dass in den Statusberichten deutlich höhere Mengen für die Klärschlammabfuhr aus den Kläranlagen dokumentiert sind.

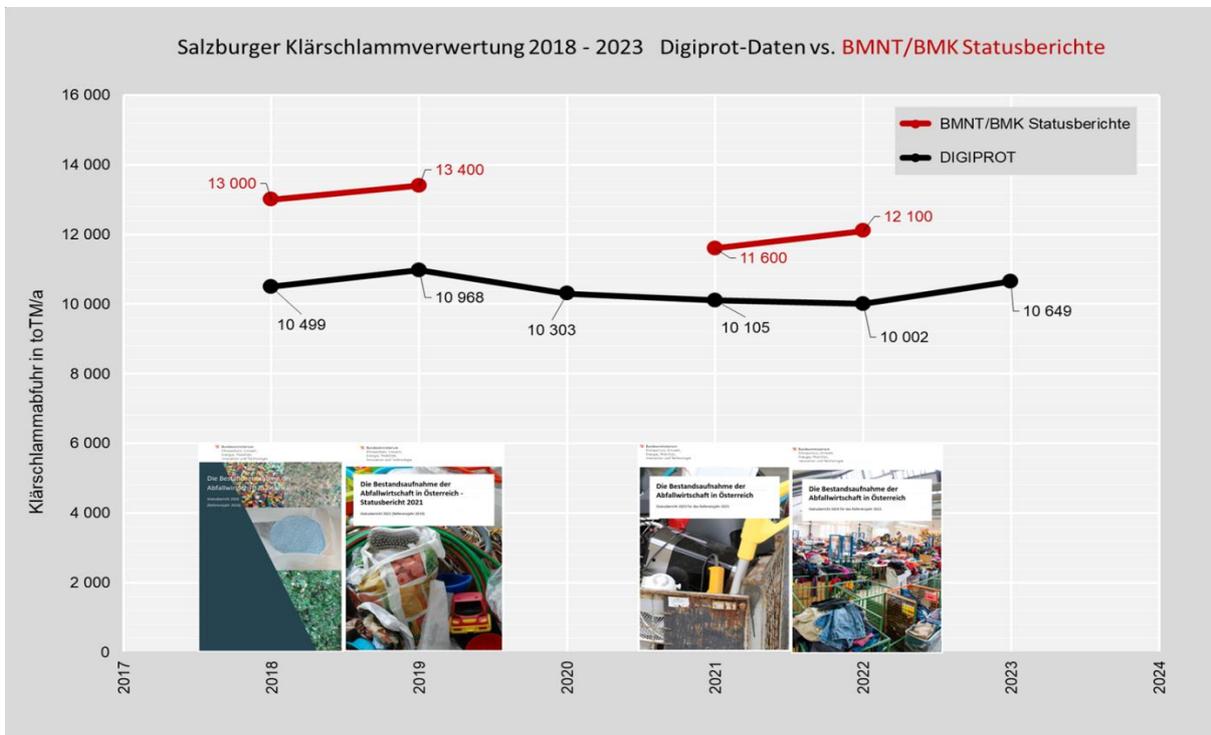


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Trockenmasse Abfuhrmengen Digiprot vs. BMNT/BMK Statusberichte

Der saisonalen Schwankungen beim monatlichen Klärschlammanfall sind mit ca. +/-15% bezogen auf den Jahresmittelwert überschaubar.

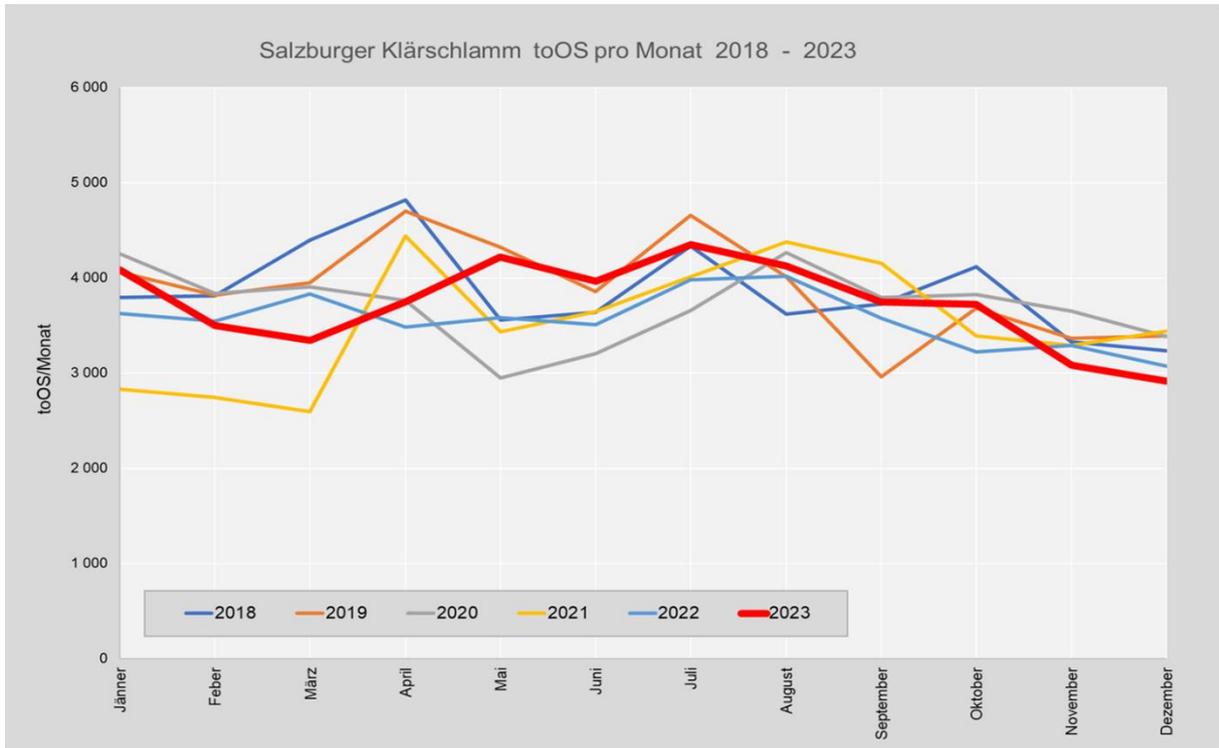


Abbildung 6: Saisonaler Verlauf der kommunalen Salzburger Klärschlammmengen | Quelle: Digiprot

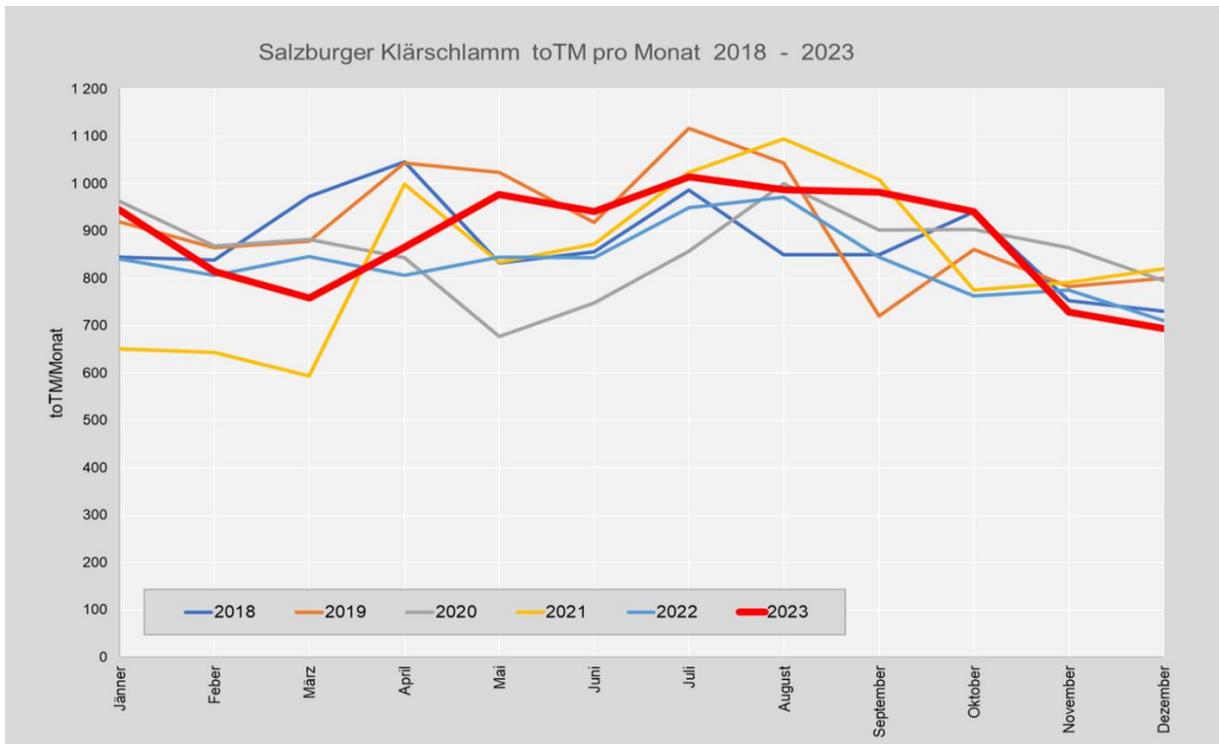


Abbildung 7: Saisonaler Verlauf der Trockenmasseproduktion | Quelle: Digiprot

3.2.2.2 Kosten

Die Kosten für die Klärschlammverwertung wurden im Rahmen der Eingangsdatenerhebung bei allen Kläranlagenbetreibern abgefragt.

Seitens der Verfasser dieser Studie wurde den Kläranlagenbetreibern explizit zugesichert, dass alle Kosteninformationen vertraulich behandelt werden und ausschließlich in anonymisierter Form verarbeitet werden, um Bandbreiten und Trends im Bundesland Salzburg darzustellen.

Alle Kläranlagenbetreiber mit Ausnahme des RHV Großraum Salzburg Stadt (ARA Siggerwiesen) haben uns für die Ausarbeitung der Studie die Jahreskosten für die Klärschlammverwertung unter diesen Bedingungen zur Verfügung gestellt.

Dementsprechend beziehen sich die Kosten und Trends in Abbildung 8 nur auf ca. die Hälfte der im Bundesland Salzburg anfallenden Klärschlammmenge.

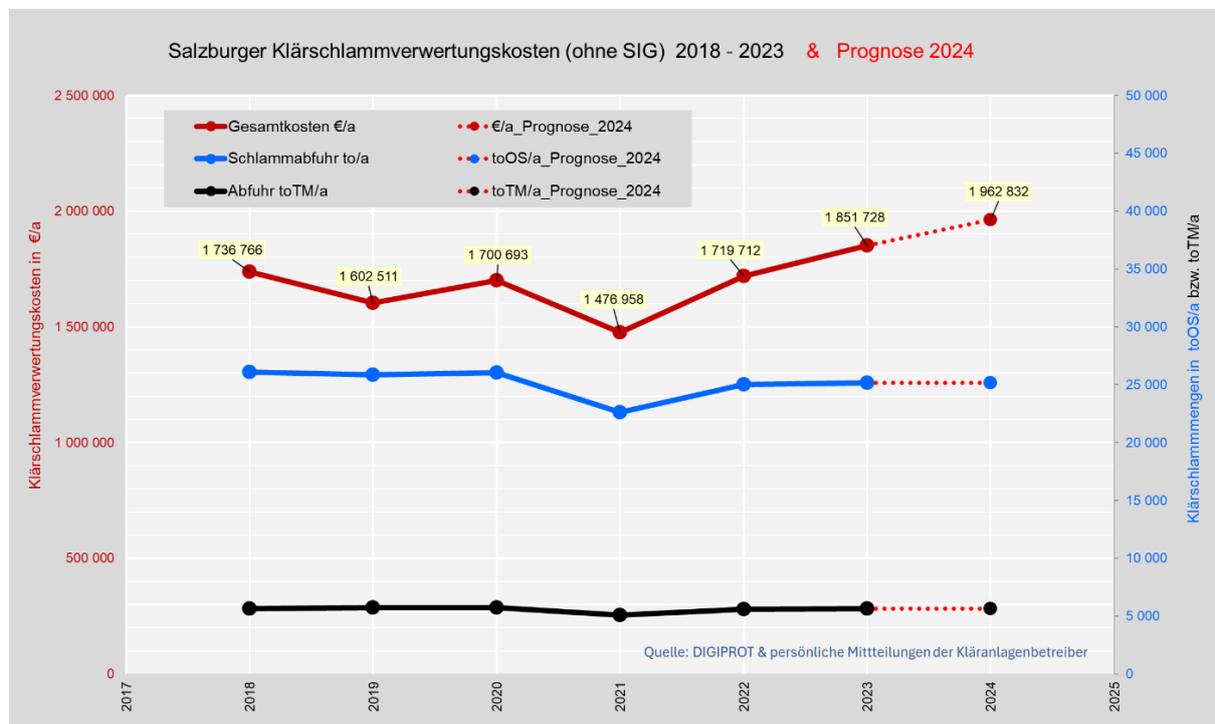


Abbildung 8: Salzburger Klärschlammverwertungskosten (ohne ARA Siggerwiesen)

Sehr wohl kann auf der vorhandenen Datengrundlage die Bandbreite der spezifischen Klärschlamm Verwertungskosten

- für die entwässerten Klärschlämme („Abfuhrtarife“ in €/toOS, Abbildung 9)
- und die Klärschlamm Trockenmasse (in €/toTM, Abbildung 10)

für die Kläranlagen dargestellt werden, die ihre Daten für diese Auswertung zur Verfügung gestellt haben.

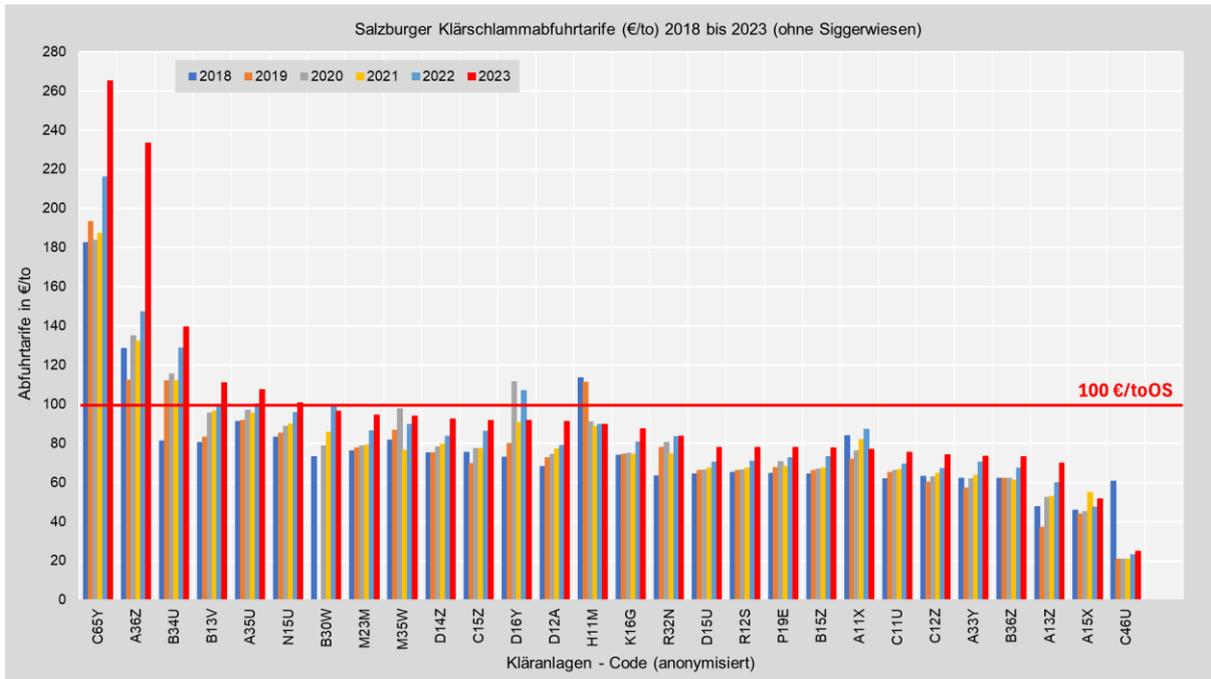


Abbildung 9: Klärschlamm Abfuhrtarife nach Kläranlagen (anonymisiert – ohne ARA Siggerwiesen)

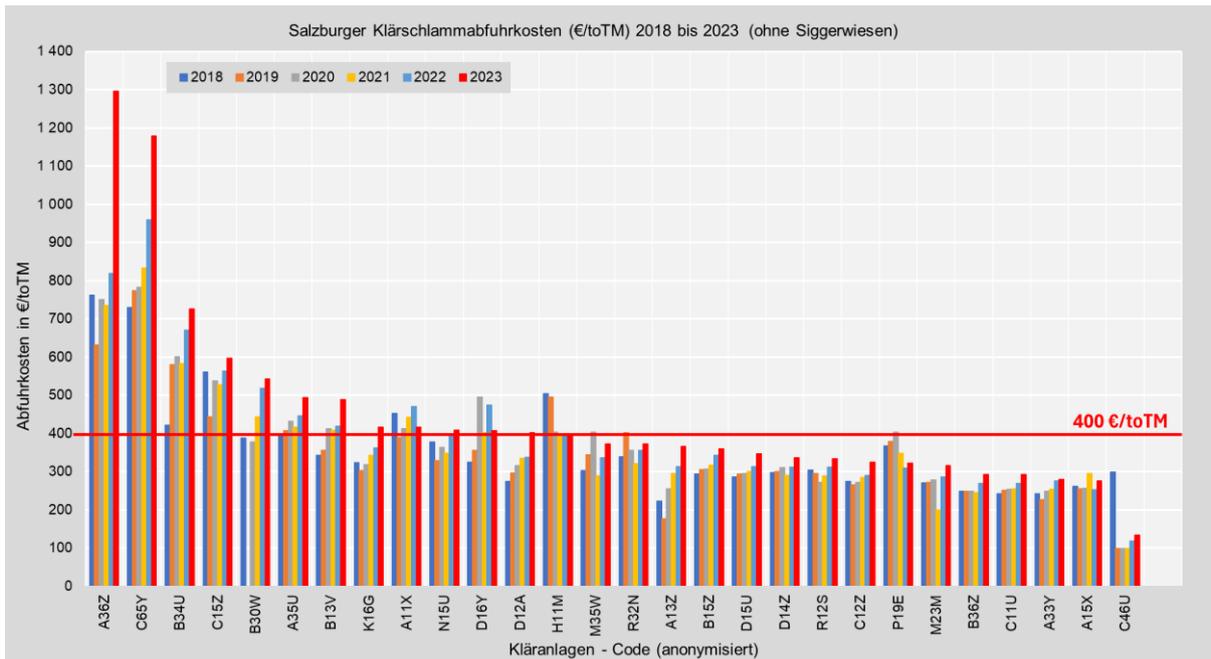


Abbildung 10: Spezifische TM Abfuhrkosten nach Kläranlagen (anonymisiert – ohne ARA Siggerwiesen)

Die spezifischen Kosten („Abfuhrtarife“ aus den Kläranlagen) erscheinen mit durchschnittlich deutlich unter 100 €/toOS insgesamt günstig für eine thermische Klärschlammverwertung inklusive Transportkosten ab Kläranlage.

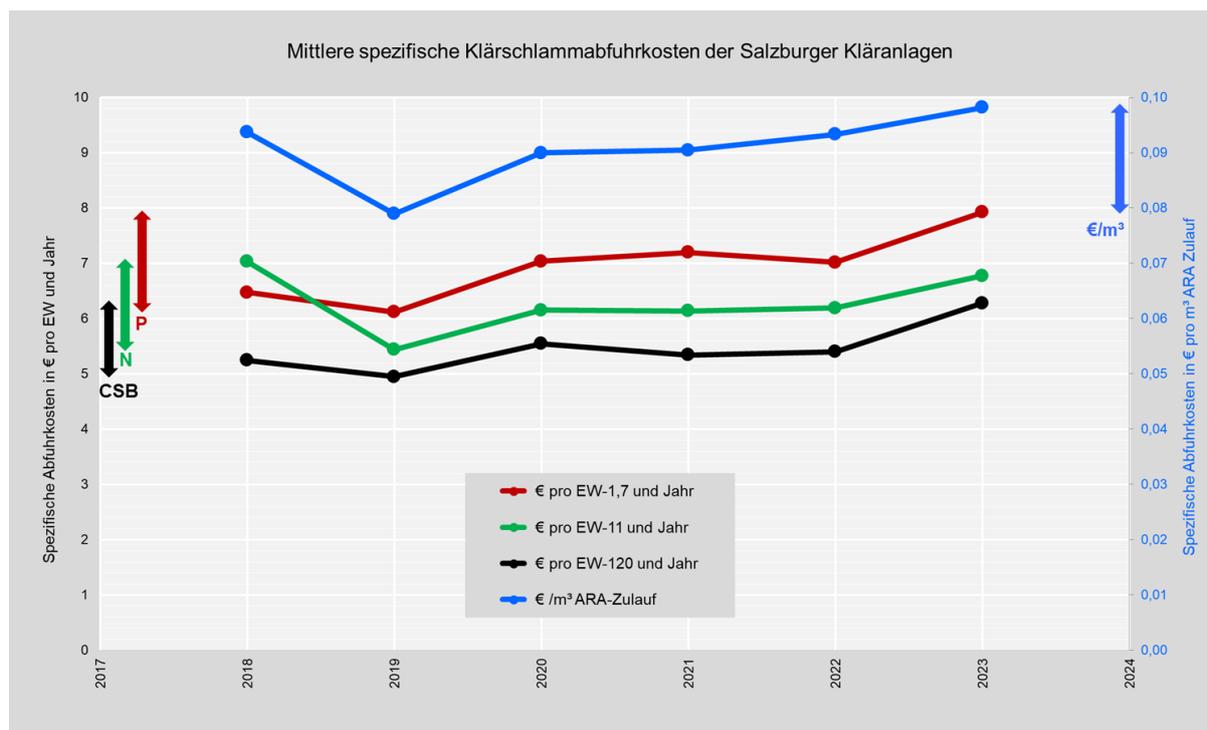


Abbildung 11: Abfuhrkosten bezogen auf EW und Abwassermengen (ohne ARA Siggerwiesen)

Bezieht man die jährlichen Klärschlammabfuhrkosten auf tarifrelevante Parameter wie den jährlichen Abwasserzulauf zu den Kläranlagen und die durchschnittliche EW-Belastung der Kläranlagen im Referenzjahr 2023 ergeben sich die folgenden Kennwerte:

- ca. 0,10 €/m³ bezogen auf die Abwassermenge
- ca. 6,0 bis 8,0 €/EW/a bezogen auf die Schmutzfracht

Die Kosten für die Klärschlammabfuhr zur thermischen Verwertung verursachen also nur einen geringen Teil der Abwasserbehandlungskosten insgesamt.

3.2.3 Datenbasis 2023

3.2.3.1 Allgemeines

Auf Basis der Digiprot Auswertungen wurde mit dem ASL vereinbart, dass die Klärschlammkosten aus dem Jahr 2023 als Basis für die Ausarbeitung der Studie verwendet werden.

Es wurde auf Basis der Betriebsdaten 2018 bis 2023 weiters vereinbart, dass die Klärschlammkosten 2023 auch zukünftig anfallen und verwertet werden.

Potenzielle Optimierungen im Bereich der Schlammbehandlung in den einzelnen Kläranlagen und insbesondere bei der mechanischen Klärschlammwässerung werden im Sinne einer konservativen Betrachtungsweise nicht berücksichtigt.

3.2.3.2 Klärschlammmengen

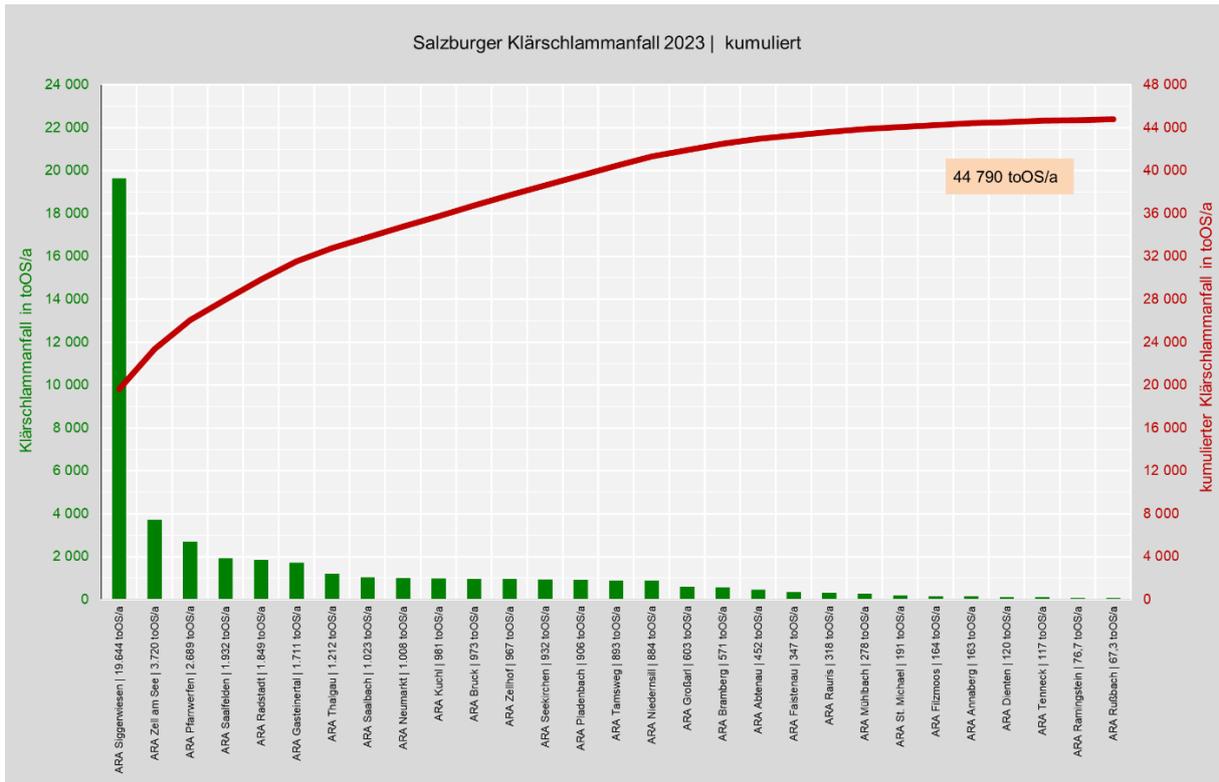


Abbildung 12: Kommunaler Salzburger Klärschlammfall 2023 – Originalsubstanz | Quelle: Digiprot

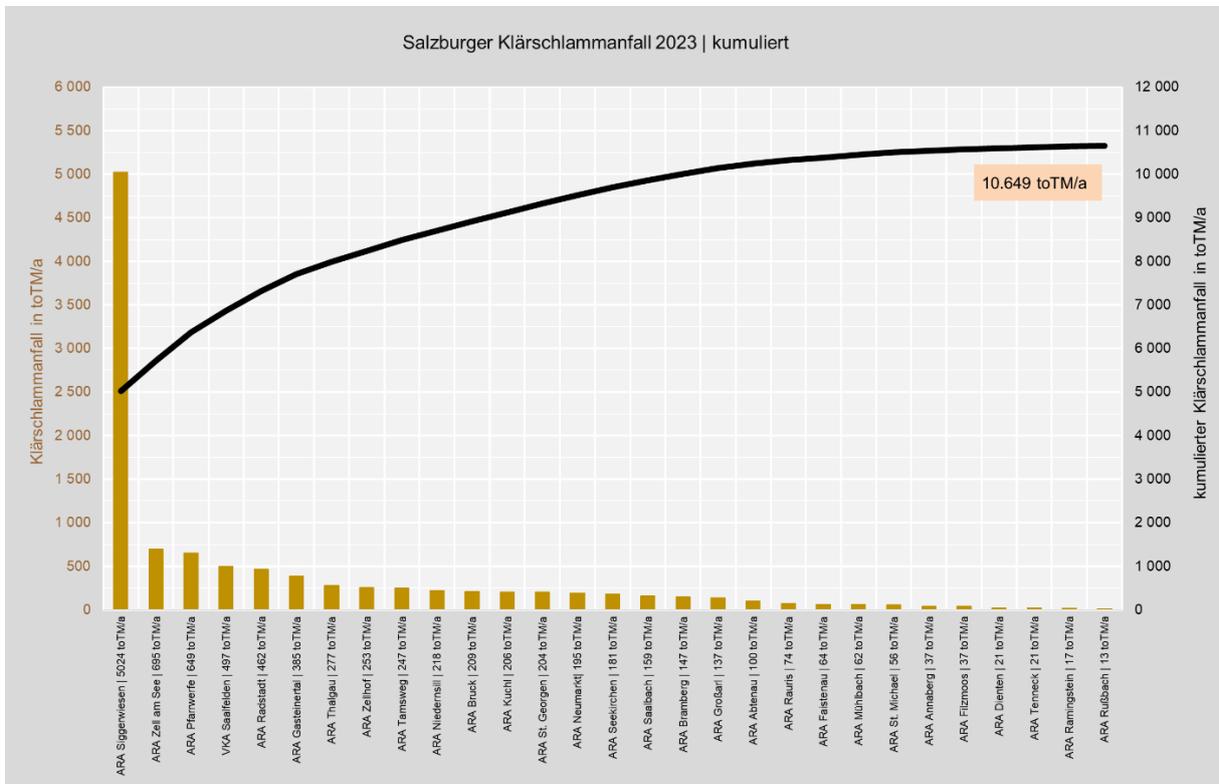


Abbildung 13: Kommunaler Salzburger Klärschlammfall 2023 – Trockenmasse | Quelle: Digiprot

Die ARA Siggerwiesen produziert ca. die Hälfte der kommunalen Salzburger Klärschlämme.

3.3 Aktuelle Verwertung der kommunalen Klärschlämme

3.3.1 Salzburger Lösung

Die „Salzburger Lösung“ ist ein solidarischer Ansatz, bei dem SAB 4 Kläranlagen und ZEMKA 15 Kläranlagen bei der Abwicklung der Klärschlammverwertung in der RVA der RVL in Lenzing unterstützen.

Diese Kläranlagenbetreiber organisieren ihre Klärschlammtransporte nach Lenzing eigenständig, SAB und ZEMKA rechnen die Verbrennungskosten mit der Energie AG ab und verrechnen diese anteilmäßig an die Kläranlagenbetreiber.

10 von 29 Kläranlagen wickeln ihre Klärschlammverwertung eigenständig ab und verwerten ihre Klärschlämme stofflich in Ober- und Niederösterreich oder thermisch in der RVA der RVL in Lenzing.

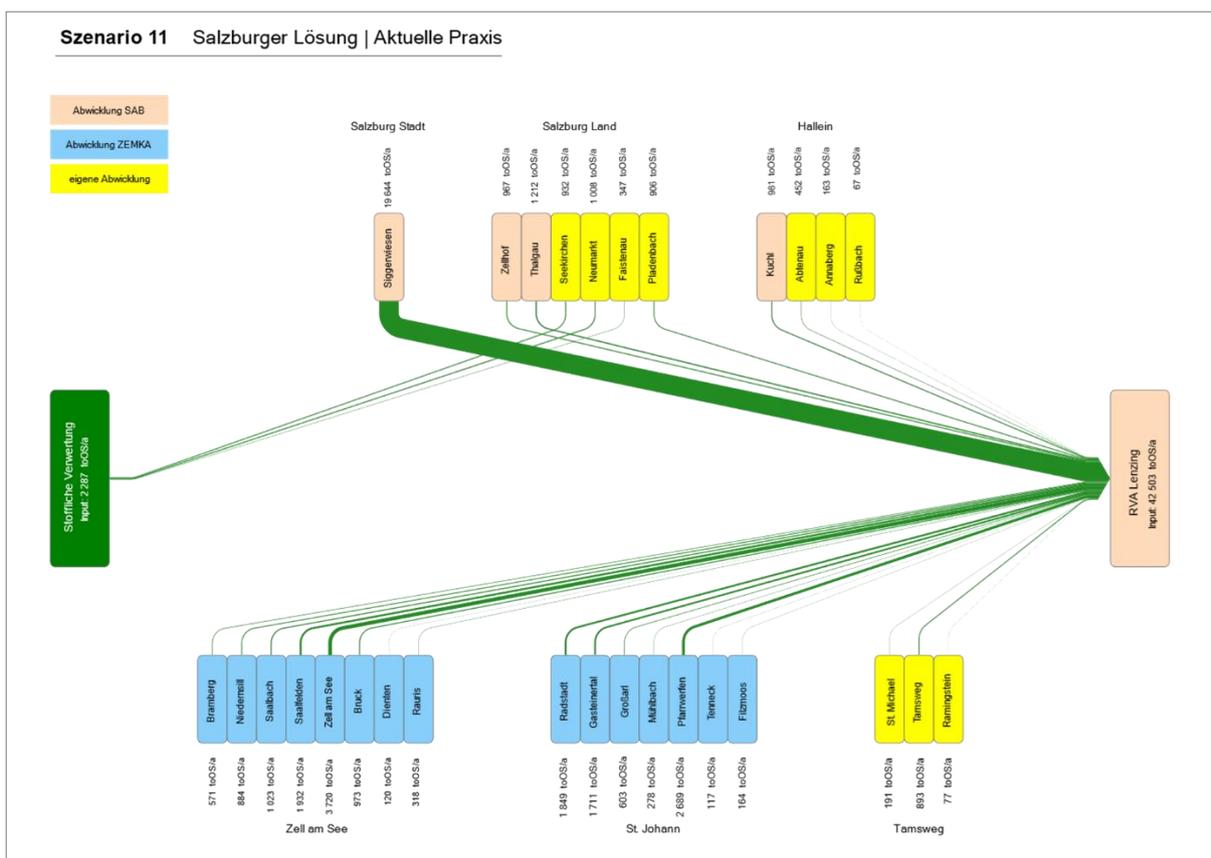


Abbildung 14: Aktuelle Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme - OS-Bilanz

Für die weiteren Betrachtungen zur zukünftigen Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme werden Szenarien definiert und fortlaufend nummeriert.

Die zugehörigen Massenbilanzen werden im Erläuterungsbericht als Trockenmasse (TM) Bilanzen dargestellt. Die Trockenmasse- und Originalsubstanz-Bilanzen aller untersuchten Szenarien werden in einem separaten Dokument zusammengefasst.

In diesem Sinne entspricht die aktuelle Salzburger Lösung dem Szenario 11 und der in Abbildung 15 dargestellten Trockenmassenbilanz.

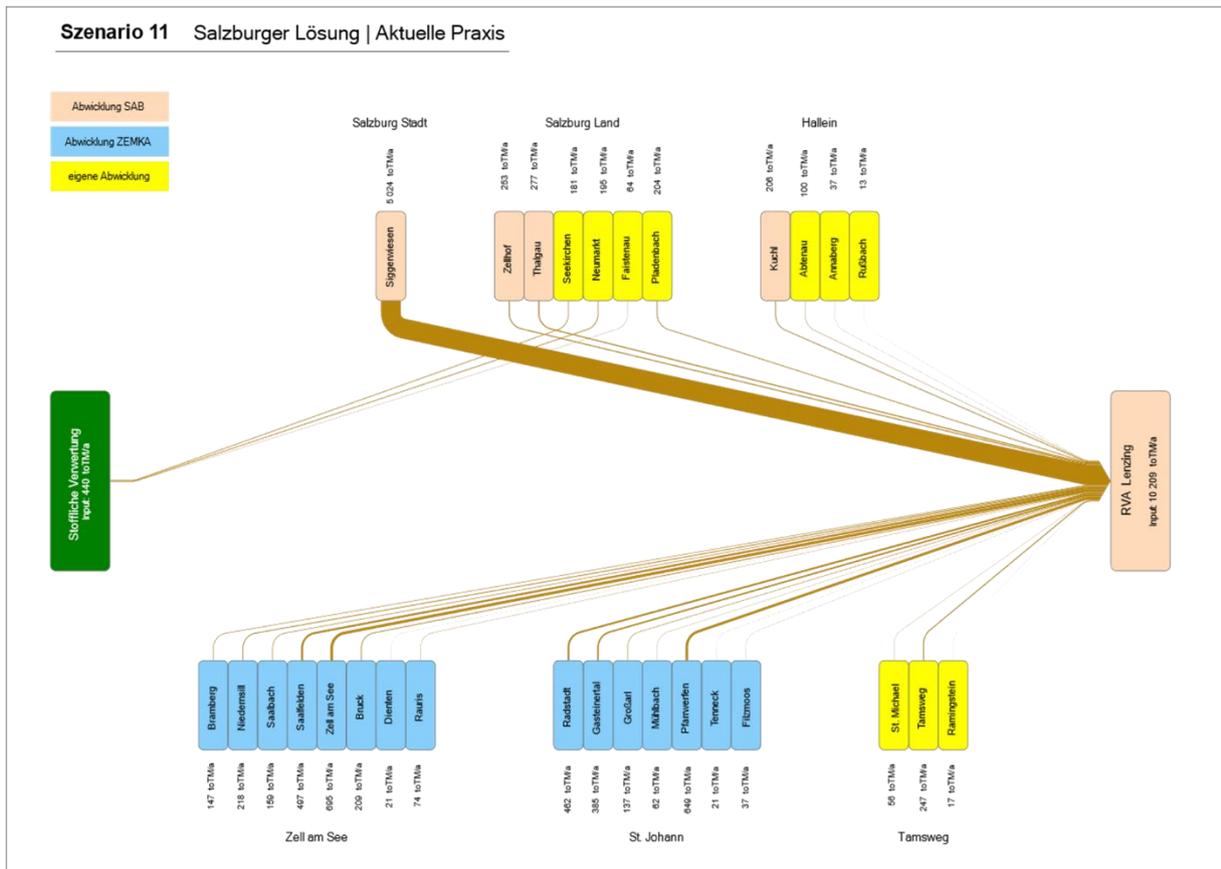


Abbildung 15: Szenario 11 | Salzburger Lösung – Aktuelle Praxis: TM-Bilanz

3.3.2 Feedback der Kläranlagenbetreiber

Alle Salzburger Kläranlagenbetreiber sind mit der aktuellen Klärschlammabfuhr grundsätzlich zufrieden und möchten diese Form der Abwicklung in Zukunft beibehalten.

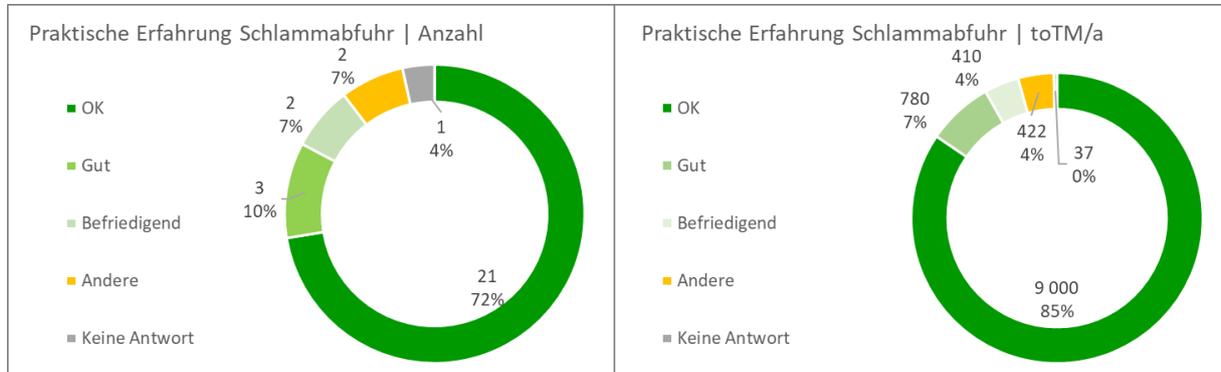


Abbildung 16: Salzburger Lösung: Feedback der Kläranlagenbetreiber zur aktuellen Praxis

24 von 29 Kläranlagenbetreibern (92% des Schlammanfalls) bewerten ihre praktische Erfahrung mit der aktuellen Schlammabfuhr mit „OK“ oder „gut“.

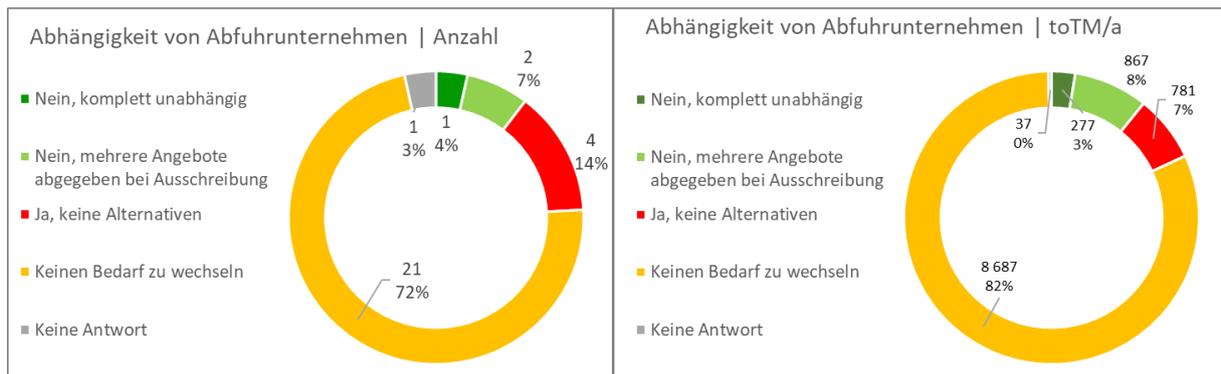


Abbildung 17: Salzburger Lösung: Feedback der Kläranlagenbetreiber zu Abhängigkeiten

Die Zufriedenheit mit der aktuellen Praxis spiegelt sich auch darin, dass 21 von 29 Kläranlagenbetreibern (82% des Schlammanfalls) keinen Bedarf sehen, das Abfuhrunternehmen zu wechseln.

Lediglich 4 Kläranlagenbetreiber (7% des Schlammanfalls) sehen keine Alternative zum aktuellen Anbieter.

Vergleicht man die beiden Grafiken in Abbildung 17, wird deutlich, dass die Betreiber der großen Kläranlagen im Schnitt weniger von Abfuhrunternehmen abhängig sind als die Betreiber kleinerer Kläranlagen.

4 PLANUNGEN DER KLÄRANLAGENBETREIBER

4.1 Rechtsformen der Kläranlagenbetreiber

Die kommunalen Salzburger Kläranlagen werden überwiegend von Verbänden nach WRG und Gemeinden betrieben. Lediglich eine relativ kleine Kläranlage wird von einem Verband nach SGVG betrieben.

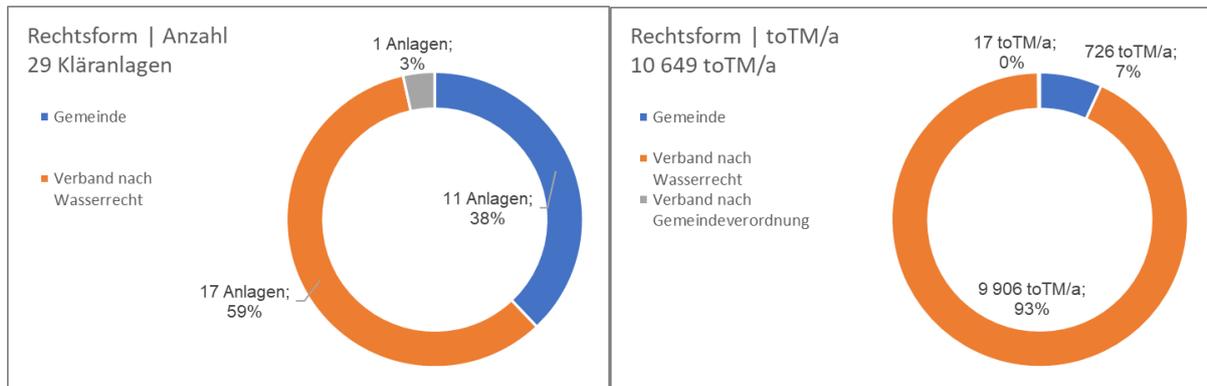


Abbildung 18: Rechtsformen der kommunalen Salzburger Kläranlagenbetreiber

4.2 Planungen zur Schlammbehandlung in den Kläranlagen

Abgesehen von Optimierungsmaßnahmen in der kläranlageninternen Schlammbehandlung plant laut Umfrage derzeit kein Kläranlagenbetreiber besondere Maßnahmen, um sich auf die zukünftigen Anforderungen für die Klärschlammverwertung im Sinne des § 20 AVV 2024 vorzubereiten.

Der RHV Salzburger Ennstal überlegt grundsätzlich, die bestehenden Faulraumkapazitäten in der ARA Radstadt zusätzlich für die Behandlung geeigneter Bioabfälle (Cosubstrate) zu nutzen und mit dem zusätzlich erzeugten Klärgas eine regionale Klärschlamm Trocknung zu betreiben.

Diese Option wird bei den Szenarien für die zukünftige Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme berücksichtigt.

4.3 Planungen zur Phosphor-Rückgewinnung

Kein Kläranlagenbetreiber plant laut Umfrage derzeit zusätzliche Maßnahmen zur Phosphorrückgewinnung in der Kläranlage, insbesondere auch keine Struvit-Fällung im Bereich der mechanischen Klärschlamm entwässerung.

5 GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

5.1 Österreich

Die zukünftigen Anforderungen an die Verwertung kommunaler Klärschlämme werden direkt im § 20 der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) 2024 und den dazugehörigen Erläuterungen spezifiziert.

Das Düngemittelgesetz (DMG) 2021 und die Düngemittelverordnung (DMVO) 2004 spezifizieren die Bedingungen unter denen der aus dem Klärschlamm zurückgewonnene Phosphor, bzw. die Klärschlammasche als Düngeprodukt eingesetzt werden dürfen.

Zusätzlich definiert die EU Düngeproduktverordnung (DÜPV) EU 2019/1009 die Rahmenbedingungen für die Verwendung von Phosphorsalzen (CMC12) und Aschen (CMC13) als Rohstoff für die Erzeugung von EU-weit handelbaren Düngeprodukten, insbesondere Mineraldünger (PFC 1c).

5.1.1 § 20 der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) 2024

Absatz 1 definiert die beiden Pfade für die Phosphorrückgewinnung nach der Klärschlammverbrennung:

1. 80 Masseprozent des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors aus der Verbrennungasche zurückgewinnen oder
2. die gesamte Verbrennungasche zur Herstellung eines Düngeprodukts gemäß Düngemittelgesetz 2021 – DMG 2021, BGBl. I Nr. 103/2021 zu verwenden.

Absatz 2 definiert die Bedingungen für die Phosphorrückgewinnung am Standort der Abwasserreinigungsanlage:

1. 60% der Phosphorfracht im Zulauf der Kläranlage müssen demgemäß in der Kläranlage zurückgewonnen werden.

Absatz 3 regelt die Berichtspflichten für Inhaber von Klärschlammverbrennungsanlagen:

Es wird darauf hingewiesen, dass die Kläranlagenbetreiber keine direkten zusätzlichen Berichtspflichten nach § 20 AVV 2024 haben, wenn sie ihren Klärschlamm an einen befugten Inhaber einer Klärschlammverbrennungsanlage gemäß §20 (1) AVV 2024 zur Verwertung übergeben.

Gemäß Absatz 4 müssen Kläranlagenbetreiber nur berichten (elektronisch im Wege des Emissionsregisters für Oberflächenwasserkörper gemäß § 59a WRG 1959), wenn sie die Ausnahme gemäß Absatz 2 (Phosphorrückgewinnung in der Kläranlage) in Anspruch nehmen.

Originalgesetzestext siehe Abbildung 19.

4. Abschnitt

Klärschlammbehandlung

Klärschlammverbrennung und Phosphorrückgewinnung

§ 20. (1) Klärschlamm aus Abwasserreinigungsanlagen mit einem Bemessungswert ab 20.000 EW₆₀ ist ab 1. Jänner 2033 einer Verbrennung zuzuführen. Aus der dabei entstehenden Verbrennungsasche müssen zumindest 80 Masseprozent des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors durch thermische, chemische oder physikalisch-chemische Verfahren zurückgewonnen werden oder die gesamte Verbrennungsasche muss zur Herstellung eines Düngeproduktes gemäß Düngemittelgesetz 2021 – DMG 2021, BGBl. I Nr. 103/2021, verwendet werden.

(2) Abs. 1 gilt nicht, wenn zumindest 60 Masseprozent des Phosphors bezogen auf den Kläranlagenzulauf am Standort der spezifischen Abwasserreinigungsanlage oder im Nahebereich der Abwasserreinigungsanlage durch thermische, chemische oder physikalisch-chemische Verfahren zurückgewonnen werden.

(3) Vom Inhaber der Verbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage muss – sofern nicht die Ausnahme gemäß Abs. 2 in Anspruch genommen wird – jährlich bis spätestens 30. April ein Bericht an die Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über das vorangegangene Kalenderjahr mit folgenden Inhalten erstellt und elektronisch im Wege des Registers gemäß § 22 AWG 2002 übermittelt werden:

1. für jeden verbrannten Klärschlamm – getrennt nach der Herkunft – der Phosphorgehalt in mg pro kg Trockenmasse und die Phosphorfracht in kg pro Jahr,
2. die Art der Phosphorrückgewinnung,
3. die zurückgewonnene Phosphormenge in kg pro Jahr bzw. die eingesetzte Menge der Verbrennungsasche in kg pro Jahr sowie der Phosphorgehalt der Verbrennungsasche in mg pro kg.

Der erste Bericht ist bis spätestens 30. April 2034 zu übermitteln.

(4) Vom Erzeuger des Klärschlammes müssen bei Inanspruchnahme der Ausnahme gemäß Abs. 2 jährlich bis spätestens 30. April folgende Daten über das vorangegangene Kalenderjahr elektronisch im Wege des Emissionsregisters für Oberflächenwasserkörper gemäß § 59a WRG 1959 übermittelt werden:

1. die Art der Phosphorrückgewinnung,
2. die Phosphormenge im Kläranlagenzulauf in Tonnen pro Jahr,
3. die zurückgewonnene Phosphormenge in Tonnen pro Jahr und
4. die erzeugte Klärschlammmenge in Tonnen Trockenmasse pro Jahr.

Der erste Bericht ist bis spätestens 30. April 2034 zu übermitteln. Die Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie ist ermächtigt diese Daten zur Kontrolle des Abs. 2 zu verarbeiten.

Abbildung 19: § 20 AVV 2024 | Gesetzestext

Weiterführende Dokumente:

- Erläuterungen zur AVV 2022:
<https://www.wko.at/oe/news/erlaeuterungen-avv-2022-neuerlassung.pdf>
- Wirkungsorientierte Folgenabschätzung (WFA) zur AVV 2022:
<https://www.wko.at/oe/news/wfa-avv-2022-neuerlassung.pdf>

5.1.2 DMG 2021 und DMVO 2004

Das DMG 2021 regelt in § 9 die Zulassung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln, die nicht bereits durch Verordnung gemäß § 5 DMG 2021 typenmäßig zugelassen sind durch die Behörde.

Der § 9 DMG 2021 kann für den Einsatz von Verbrennungsasche als Düngeprodukt im Sinne des § 20 (1) AVV 2024 in Österreich relevant sein.

5.1.3 EU | Düngeproduktverordnung - DÜPV EU 2019/1009

Die DÜPV EU 2019/1009 (FPR - Fertilizer Product Regulation) regelt die Zulassung von Düngeprodukten mit CE-Kennzeichnung wie folgt¹².

1. EU Düngeprodukte sind einer Produktfunktionskategorie (PFC) zuzuordnen.
 - a. EU-Düngeprodukte, die aus Klärschlamm oder Klärschlamm Verbrennungsasche gewonnen werden, werden im Regelfall der Produktgruppe PFC 1c (Düngemittel | Anorganisch (Mineraldünger)) zugeordnet.
 - b. Die Anforderungen für die PFC 1c werden wie folgt spezifiziert:
 - i. Grenzwerte für Verunreinigungen
 - ii. Mindestnährstoffgehalte
 - iii. Zulässige Wirkungsweisen
2. Ausgangsstoffe für EU-Düngeprodukte werden einer Komponentenkategorie (CMC) zugeordnet.
 - a. Die Anforderungen an die CMC werden wie folgt spezifiziert:
 - i. Erlaubte Eingangsmaterialien
 - ii. Anforderungen an den Prozess
 - iii. Anforderungen an das Material
 - b. Ausgangsstoffe aus Abwasser und Klärschlamm sind ausschließlich für die folgenden CMC zulässig:
 - i. CMC 12 | Ausgefällte Phosphatsalze und deren Derivate
 - ii. CMC 13 | Durch thermische Oxidation gewonnene Produkte (Aschen)

¹ Arabel Long, Herausforderungen an die P-Rückgewinnung in Österreich, die sich aus AVVneu und dem Expert:innenpapier des ÖWAV zur Qualität der Rückgewinnungsprodukte ergeben, ÖWAV Klärschlammtagung Wels 2022

² ÖWAV-Expert:innenpapier Verwendung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm zur Herstellung von Rohstoffen für EU-Düngeprodukte, Wien 2022

3. Abhängig von der Qualität der Asche sind die folgenden Verwertungspfade für CMC13 Ausgangsmaterialien möglich:
 - a. direkte landwirtschaftliche Verwertung einer „unbehandelten Premiumasche“ („raw premium ashes“)
 - b. weitergehende thermische oder nass-chemische Behandlung zu einem verarbeiteten aschebasierten Material („post-processed ash based product“)

5.1.4 Zugelassene Düngeprodukte aus Klärschlamm

Grundsätzlich können Düngeprodukte national oder EU-weit zugelassen werden.

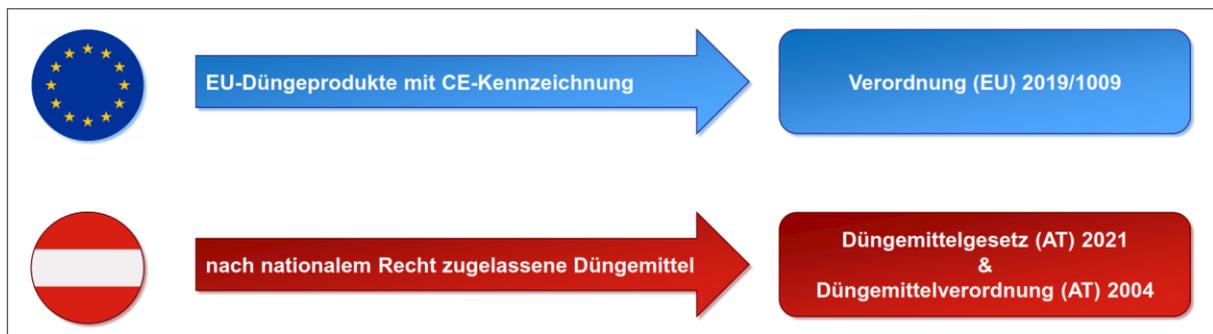


Abbildung 20: Möglichkeiten zur Bereitstellung und Zulassung von Düngeprodukten

Technisch gibt es in diesem Rahmen zwei Wege, geeignete Aschen als Ausgangsmaterial für die Düngemittelproduktion aus Klärschlamm herzustellen.

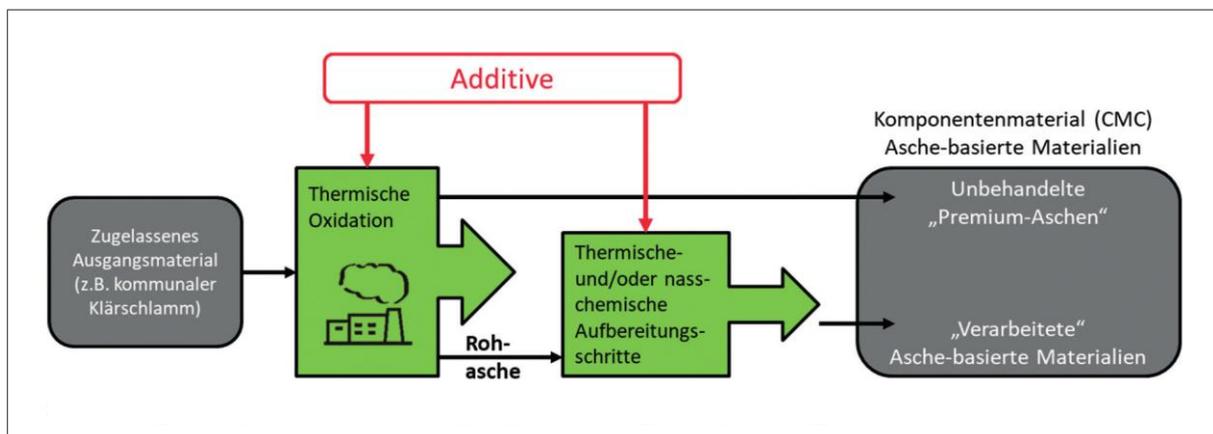


Abbildung 21: Wege vom kommunalen Klärschlamm zu einem zugelassenen Düngematerial

Quelle:

Arabel Long, Herausforderungen an die P-Rückgewinnung in Österreich, die sich aus AVVneu und dem Expert:innenpapier des ÖWAV zur Qualität der Rückgewinnungsprodukte ergeben, ÖWAV Klärschlammtagung Wels 2022

5.2 Deutschland | AbfKlärV 2017

Die aktuell gültige [Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverordnung](#)³ trat am 3. Oktober 2017 in Kraft und umfasst insgesamt 8 Artikel

Die wesentlichen Inhalte können wie folgt zusammengefasst werden⁴:

- Grundsätzliche Pflicht zur Phosphorrückgewinnung, wenn P-Gehalte im Klärschlamm über 20 gP/kgTM liegen.
- Phosphorrückgewinnung kann aus dem Klärschlamm oder der Klärschlammasche (Verbrennungsrückstände; kohlenstoffhaltige Rückstände) erfolgen.
- Asche kann vor Aufbereitung langfristig gelagert werden
- Anforderungen an P- Rückgewinnung:
 - aus Klärschlamm mindestens 50%
 - aus Klärschlammaschen mindestens 80%
- Fristen:
 - Für Kläranlagen ab 100 000 EW ab 01.01.2029
 - Für Kläranlagen ab 50 000 EW ab 01.01.2032
- Abweichungen für Kläranlagen bis zu 100 000 bzw. 50 000 EW.
 - Bodenbezogene Verwertung unabhängig vom P-Gehalt weiterhin möglich
- Mit der Klärschlammverordnung tritt der Ordnungsgeber an vielen Stellen Neuland.
- Vollzugsunterstützung bringt eine Auslegungshilfe der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), die Anfang 2020 fertiggestellt wurde.
- Diese Vollzugshilfe konzentriert sich vorrangig auf Fragen zur bodenbezogenen Verwertung.
- Ein wichtiger Schritt wird der von der Verordnung in Artikel 4 geforderte Bericht über die geplanten und eingeleiteten Maßnahmen zur Sicherstellung der ab 01.01.2029 durchzuführenden Phosphorrückgewinnung sein.
- Berichtspflichtig gegenüber den zuständigen Behörden sind die Klärschlammhersteller, die 2023 eine Abwasserbehandlungsanlage betreiben (Vollzugshilfe enthält ein Berichtsformat, woran sich die Kläranlagenbetreiber orientieren können und dass den Behörden eine zielgerichtete Auswertung erlaubt).

³ https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBL#_bgbl_%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl117s3465.pdf%27%5D_1614781445832

⁴ Ewens: Neue Entwicklungen bei der Klärschlammverordnung, 3. Berliner Klärschlammkonferenz, 2020

Die Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung schreibt lediglich die Phosphorrückgewinnung, jedoch nicht das Recycling des zurückgewonnenen Phosphors vor.

Anders als im BAWP 2017 für österreichische Kläranlagenbetreiber spezifiziert („*Betreiber von größeren Kläranlagen ... sind aufgerufen, zeitnah Planungsprozesse für deren zukünftige Phosphorrückgewinnung zu starten*“) müssen die Großkläranlagenbetreiber in Deutschland bis 2023 eine verbindliche Strategie für die Phosphorrückgewinnung vorlegen.

5.3 Schweiz | Art. 15 der Abfallverordnung VVEA

Die aktuell gültige Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen ([Abfallverordnung, VVEA](#))⁵ trat am 4. Dezember 2015 in Kraft und regelt in Artikel 15 – Phosphorreiche Abfälle, die Klärschlammverwertung wie folgt:

1. Aus kommunalem Abwasser, aus Klärschlamm zentraler Abwasserreinigungsanlagen oder aus der Asche aus der thermischen Behandlung von solchem Klärschlamm ist Phosphor zurückzugewinnen und stofflich zu verwerten.
2. In Tier- und Knochenmehl enthaltener Phosphor ist stofflich zu verwerten, soweit das Tier- und Knochenmehl nicht als Futtermittel verwendet wird.
3. Bei der Rückgewinnung von Phosphor aus Abfällen nach Absatz 1 oder 2 sind die in diesen Abfällen enthaltenen Schadstoffe nach dem Stand der Technik zu entfernen. Wird der zurückgewonnene Phosphor für die Herstellung eines Düngers verwendet, so müssen zudem die Anforderungen Anhang 2.6 Ziffer 2.2.4 ChemRRV⁶ erfüllt sein.

In der VVEA 2015 werden insbesondere nur die Ziele der Maßnahmen grundsätzlich erläutert und keine technischen oder organisatorischen Vorgaben für die Umsetzung spezifiziert.

⁵ <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/de>

⁶ Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2005/478/de>)

6 TECHNISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

6.1 Klärschlammverbrennung

6.1.1 Allgemeines

Die Klärschlammverbrennung kann wie folgt als Wasserverdampfung und dreistufige thermochemische Umwandlung der Trockensubstanz beschrieben werden.

Diese thermochemischen Umwandlungsprozesse sind Pyrolyse, Vergasung und Verbrennung. Sie unterscheiden sich hauptsächlich in Bezug auf die Sauerstoffzufuhr:

- Pyrolyse mit Wärmezufuhr und ohne Sauerstoffzufuhr ($\lambda=0$)
- Vergasung mit unterstöchiometrischer Sauerstoffzufuhr ($0 < \lambda < 1$)
- Verbrennung mit überstöchiometrischer Sauerstoffzufuhr ($\lambda > 1$)

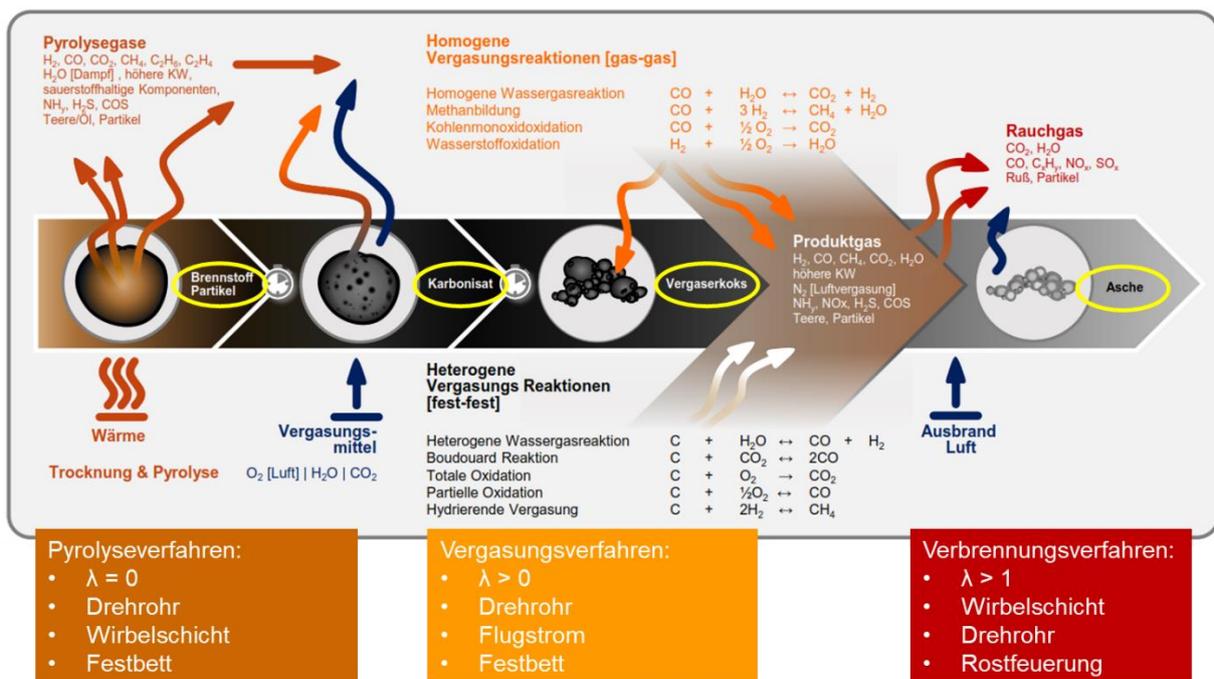


Abbildung 22: Thermochemische Umwandlung von Klärschlamm⁷

Klärschlamm-*pyrolyse* und -*vergasung* werden auch als eigenständige Alternativverfahren für die thermische Behandlung von Klärschlamm angeboten.

Die Klärschlamm Trockenmasse wird in diesen Verfahren zu *Pyrolysekohle* oder *Vergaserkoks* konvertiert.

⁷ Quelle: Peter Quicker, Ansätze zur alternativen thermischen Klärschlammbehandlung, 3. Berliner Klärschlammkonferenz, 2020

Als Nebenprodukt entstehen Pyrolysegas, eventuell Pyrolyseöl, (Teer) und Produktgas. Diese Nebenprodukte müssen jedenfalls nachbehandelt werden und werden in der Regel verbrannt.

Klärschlamm- und Klärschlammvergasung wurden bisher in relativ kleinem Maßstab realisiert und werden dementsprechend meist einzelnen Kläranlagen als Option für die thermische Klärschlammbehandlung angeboten.

Klärschlamm- und Klärschlammvergasung erfüllen nicht die in § 20 AVV 2024 spezifizierten Anforderungen für die zukünftige Verwertung von Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße ab 20.000 EW.

6.1.2 Klärschlamm als Brennstoff

Wassergehalt und oTR-Anteil in der Trockenmasse beeinflussen neben der Zusammensetzung der organischen Trockenmasse den Klärschlamm Heizwert.

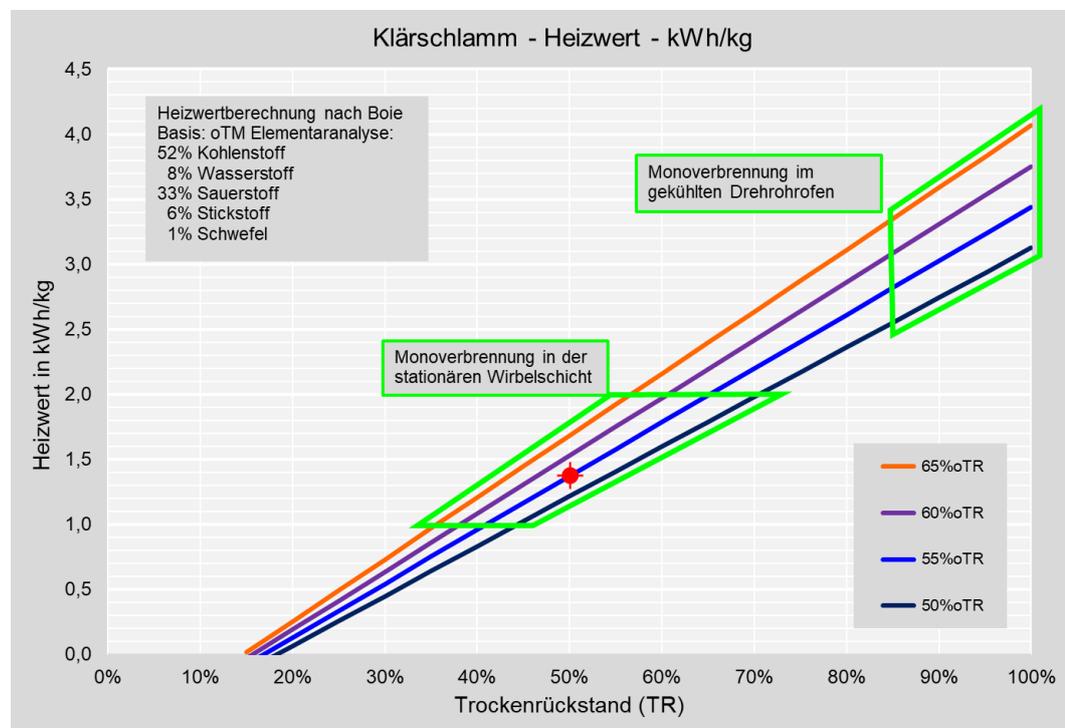


Abbildung 23: Klärschlamm Heizwert und Monoverbrennungsverfahren (Erfahrungswerte)

Die derzeit üblicherweise eingesetzten Standardverfahren (stationäre Wirbelschicht, gekühlter Drehrohrofen) können also unterschiedlich stark entwässerte oder getrocknete Klärschlämme als Brennstoff verarbeiten.

Einzelne Wirbelschichtverfahren können Klärschlämme bis zu einem Heizwert von ca. 11.000 kJ/kg, bzw. 3,0 kWh/kg als Brennstoff verarbeiten.

6.1.3 Wirbelschichtverfahren

Die stationäre Wirbelschicht ist das dominierende und am meisten eingesetzte Verfahren für die Klärschlamm-Monoverbrennung.

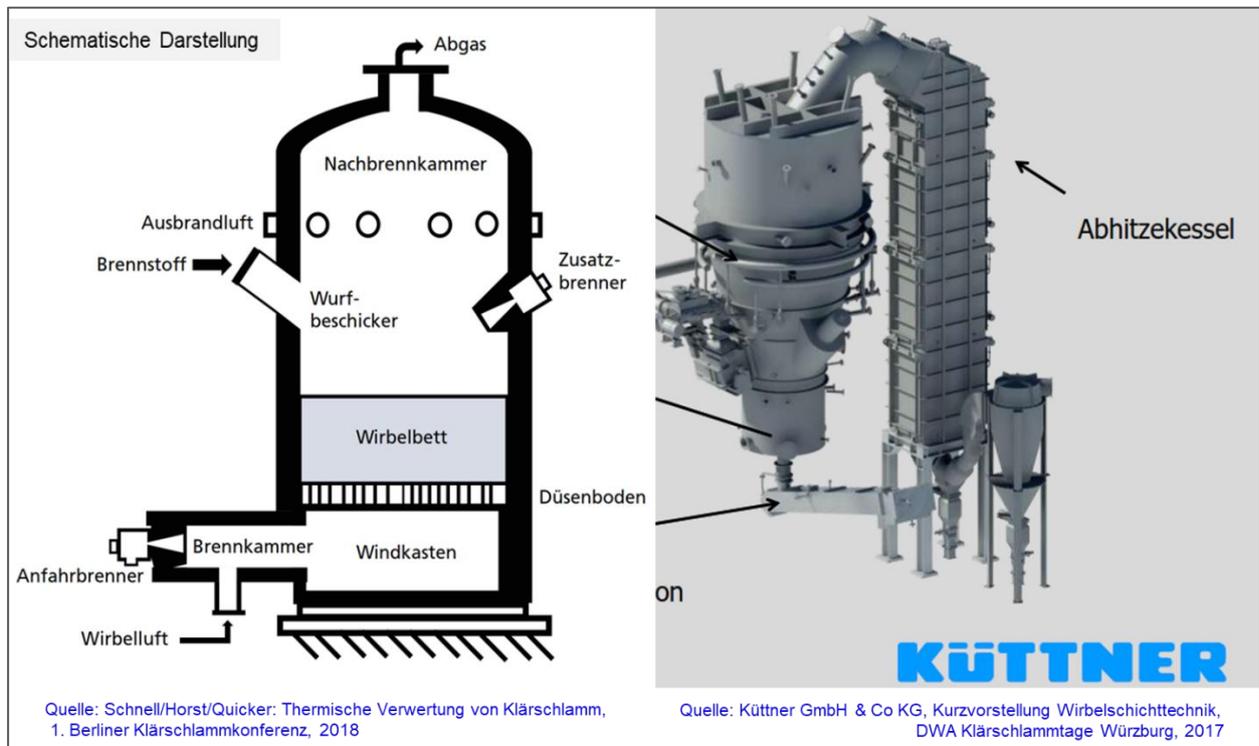


Abbildung 24: Wirbelschichtfeuerung für die Klärschlamm Monoverbrennung

Die Verarbeitungskapazitäten der circa 20 derzeit in Deutschland betriebenen Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen reichen von 2.500 toTM/a (Rügen) bis 106.000 toTM/a (Lünen)⁸

Die für die Verbrennung des gesamten kommunalen Salzburger Klärschlammes (ca. 11.000 toTM/a) in Frage kommende Größenordnung wird von mehreren Herstellern angeboten.

Kleinere Anlagen (ca. 6.000 toTM/a) sind in der Regel wirtschaftlich nur in Ausnahmefällen darstellbar.

⁸ Patric Heidecke, Jörg Stix, Aktueller Stand der Klärschlammverbrennungskapazitäten in Deutschland, Bestand - Planungen - erwartete Kapazität 2029, Korrespondenz Abwasser, Abfall - Oktober 2024

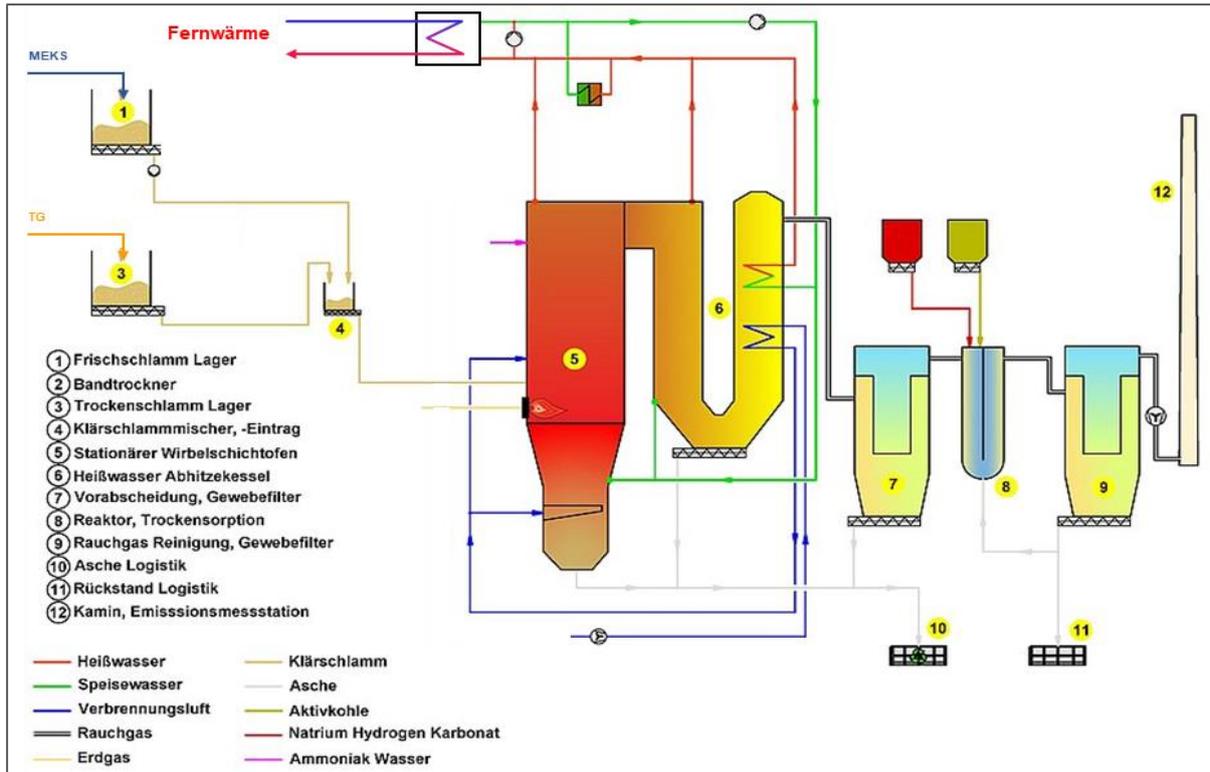


Abbildung 25: Wirbelschicht Verbrennungsanlage mit Heißwasserkessel und Fernwärmeverkauf⁹

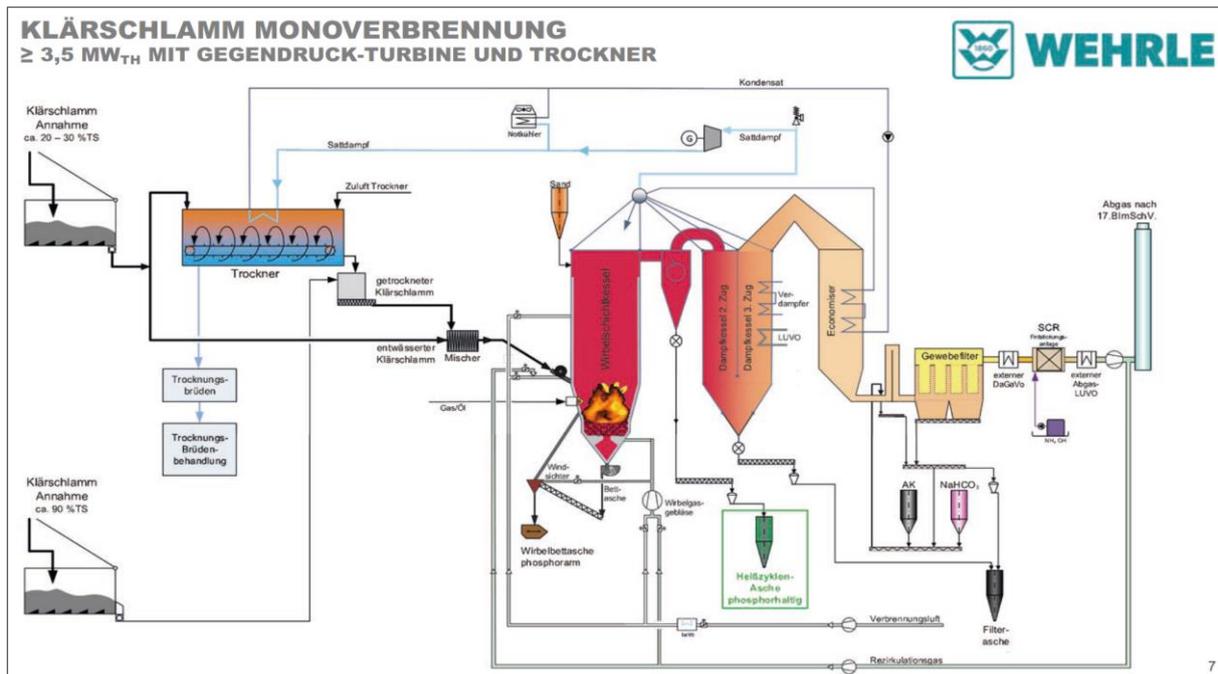


Abbildung 26: Wirbelschicht Verbrennungsanlage mit KSTRO und Dampfboiler¹⁰

⁹ Quelle: sludge2energy GmbH

¹⁰ Christian Eder, P-XTRACT®: P-Verfügbarkeit von Wirbelschichtaschen mit integrierter Schadstoffreduktion, Berliner Klärschlammkonferenz 2021



Abbildung 27: Wirbelschicht KSMVA (ca. 2.600 toTM/a) Staufener Bucht (DE)



Abbildung 28: Wirbelschicht KSMVA (7.500 toTM/a) Großwilfersdorf (AT)¹¹

¹¹ Andreas Feistritzer, Helmut Wilfinger: Erfahrungsbericht über die Inbetriebnahme der Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage Großwilfersdorf, ÖWAV Klärschlammtagung 2022, Wels

6.1.4 Drehrohrofen

Die Monoverbrennung von Klärschlamm-trockengranulat in einem gekühlten Drehrohr wird von einem norddeutschen Hersteller ([Werkstätten heating systems GmbH](#)) vorzugsweise für eher kleine dezentrale Anlagen angeboten.

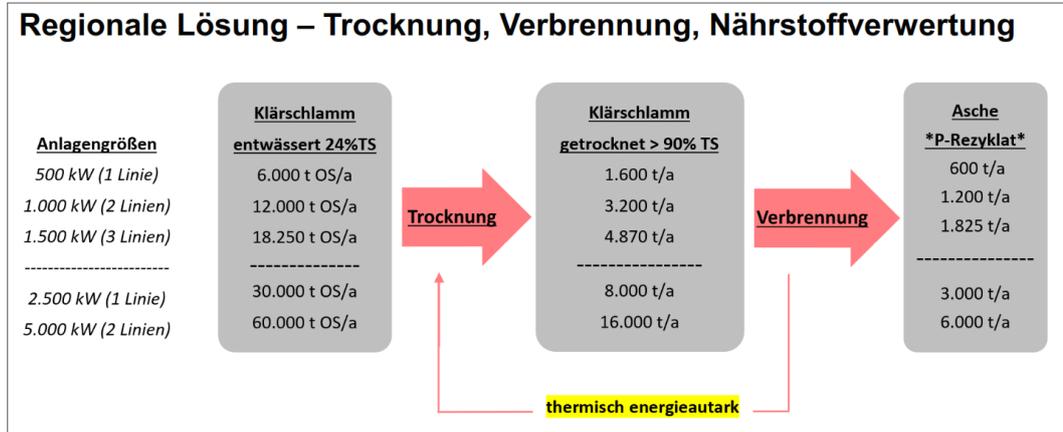


Abbildung 29: Baugrößen für KSMVA der Werkstätten heating systems GmbH¹²

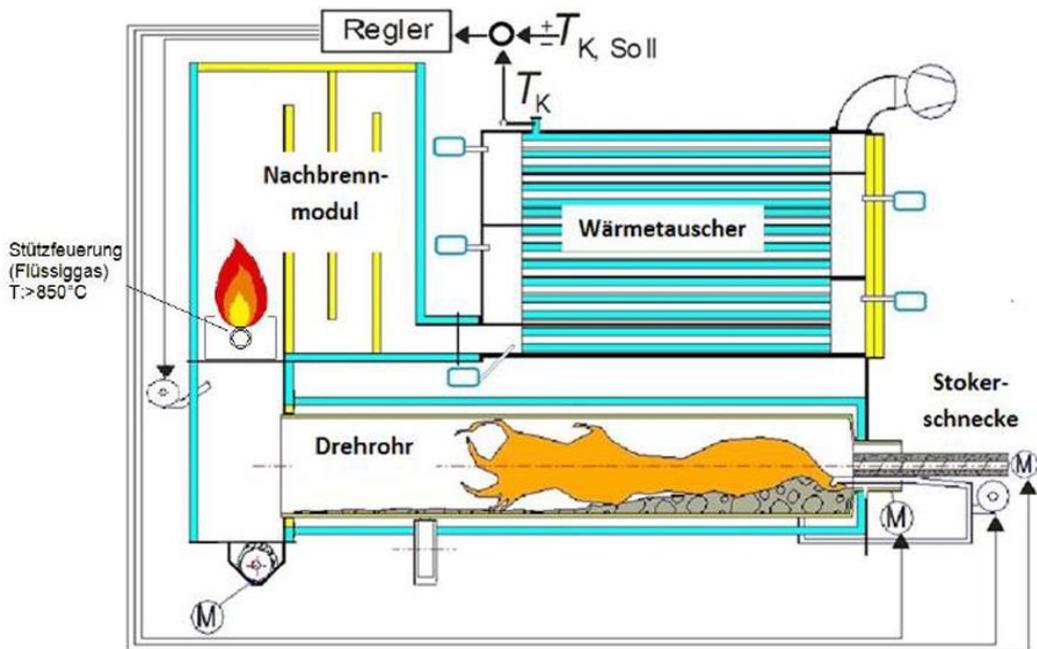


Abbildung 30: Schema für die 0,5 MW-Baugröße

¹² Nils Moggert, Betriebserfahrungen dezentraler Klärschlammverbrennung im Drehrohrkessel, DWA Klärschlammtage, Würzburg 2023

In Deutschland gibt es derzeit 2 Referenzanlagen (0,5 MW Baugröße) für die Klärschlamm Monoverbrennung (1.500 toTM/a in Schüttorf, Niedersachsen und 4.500 toTM/a in Altenkirchen, Rheinland-Pfalz).



Abbildung 31: Referenzanlage Schüttorf | Halle für 3 Linien @1.500 toTM/a, 1 Linie in Betrieb



Abbildung 32: Referenzanlage Altenkirchen | 3 Linien @1.500 toTM/a¹³

¹³ Rüdiger Schmidt, Joachim Schuh, Kommunale Klärschlammverwertung Region Altenkirchen GmbH: Erfahrung bei der Inbetriebnahme eines Drehrohrofens, VDI Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Wolfsburg, 2024

Die derzeit bestehenden Anlagen sind grundsätzlich für den autarken Betrieb in dezentralen KSMVA konzipiert, d.h. die im Drehrohr bei der Verbrennung erzeugte Wärme wird für die Klärschlamm-trocknung verwertet.

Wenn neben MEKS auch TG für die Verbrennung angeliefert wird, kann die bei der Verbrennung erzeugte Wärme, die nicht für die KSTRO benötigt wird in Form von Heißwasser, Thermalöl oder Dampf genutzt werden.

6.1.5 Rostfeuerung

Die Firma Emter GmbH betreibt in Altenstadt eine zweistraßige Rostfeuerungs-anlage und verbrennt unter anderem einen Teil der kommunalen Tiroler Klär-schlämme.

Nach derzeitigem Wissensstand ist diese Anlage die einzige Rostfeuerungs-anlage, die im DACH-Bereich für die Klärschlamm Monoverbrennung eingesetzt wird.

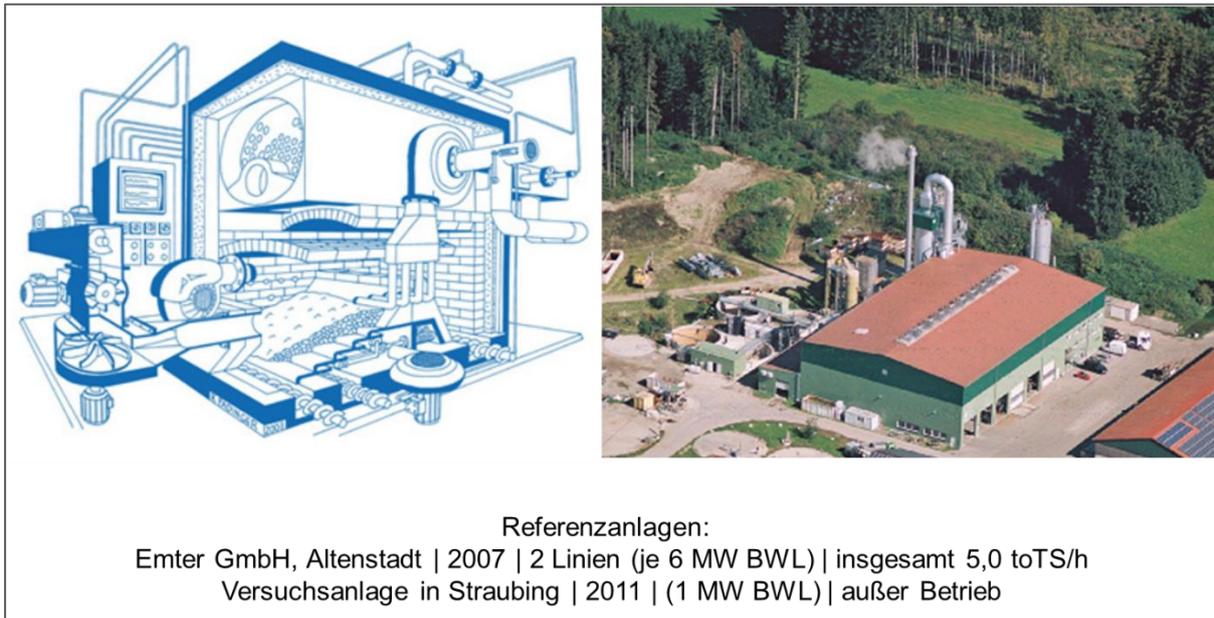


Abbildung 33: AWINA-Schleuderradtechnologie - Emter GmbH¹⁴

¹⁴ <https://emter-gmbh.de/termverwertung.html>;

6.2 Phosphor Rückgewinnung

6.2.1 Potenzial und technische Möglichkeiten

Die Fracht an Phosphor im Zulauf der Kläranlagen > 20.000 EW in Österreich beläuft sich aktuell auf rund 6.500 t/a. Bei einer Rückgewinnung von 80 % des Phosphors aus der Klärschlammasche würden 4.800 t rückgewonnener Phosphor zur Verfügung stehen, was aktuell 36 % des eingesetzten Mineraldüngers in Österreich entspricht.¹⁵

Generell können zwei Konzepte des Phosphorreyclings aus Klärschlämmen unterschieden werden.

Zum einen gibt es Technologien um an der Kläranlage oder im Zuge einer thermochemischen Behandlung des Klärschlammes (dezentral) phosphorhaltige Produkte zu erzeugen, welche als Dünger in der Landwirtschaft Verwendung finden sollen. Zahlreiche Verfahren wurden entwickelt, welche auf der Rücklösung des Phosphates in der Schlammlinie mit nachfolgender Ausfällung des Phosphats, hauptsächlich als Struvit, beruhen (Struvit-Verfahren).

Bei der thermochemischen Behandlung des Klärschlammes kann der Behandlungsweg über eine Hochtemperatur-Karbonisierung (HTC) des entwässerten Schlammes oder über eine Verbrennung erfolgen, wobei bei der Verbrennung durch Zugabe von geeigneten Additiven eine Abscheidung von Schwermetallen aus der Klärschlammasche erreicht werden soll.

Neben diesen, auch in Kläranlagen realisierbaren Verfahren der Phosphorrückgewinnung sind Verfahren in der Umsetzungsphase, bei denen die Asche als Ausgangsprodukt verwendet wird und über mehrstufige chemische Prozesse Sekundärrohstoffe, vor allem in Form von Phosphorsäure gewonnen werden. Es handelt sich hier um chemische Verfahrenstechnik in großen, zentralen Anlagen, Chemieparcs, etc.

6.2.2 Struvit-basierte Verfahren

Zunächst soll ein Überblick über die Möglichkeiten der Rückgewinnung von gelöstem Phosphat im Zulauf bzw. Ablauf des Faulturmes gegeben werden.

Bei Kläranlagen mit vermehrter biologischer P-Elimination kommt es in der Schlammlinie zu erhöhter Rücklösung des gebundenen Phosphors in Form von Phosphat. In Folge kommt es in der Schlammlinie (in Abhängigkeit von pH-Wert und Magnesiumgehalt im Schlammwasser) zur spontanen Bildung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). Dieser Prozess führt zu Ablagerungen in Rohrleitungen, Pumpen und Entwässerungsaggregaten und kann damit verschiedene technische Probleme verursachen.

¹⁵ Long, Arabel (2022) Herausforderungen an die P Rückgewinnung in Österreich, die sich aus AVV neu und dem Expert:innenpapier des ÖWAV zur Qualität der Rückgewinnungsprodukte ergeben. Vortrag ÖWAV Klärschlammtagung 2022, Wels

Die MAP Fällung kann aber auch gezielt als Prozess zur Rückgewinnung des Phosphors eingesetzt werden.

6.2.2.1 AirPrex® Verfahren

Beim AirPrex® Verfahren (CNP CYCLES GmbH, 63755 Alzenau, Deutschland) wird der ausgefaulte Schlamm nach dem Faulbehälter in den AirPrex®-Reaktor geführt und dort einer Luftstrippung unterzogen. Durch das Ausgasen von CO_2 steigt der pH-Wert des Schlammes deutlich an.

Gleichzeitig führt die Zugabe einer geeigneten Magnesiumquelle zur kontrollierten Bildung und Ausfällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (Struvit). Das gebildete MAP kann abgetrennt und als Dünger genutzt werden.

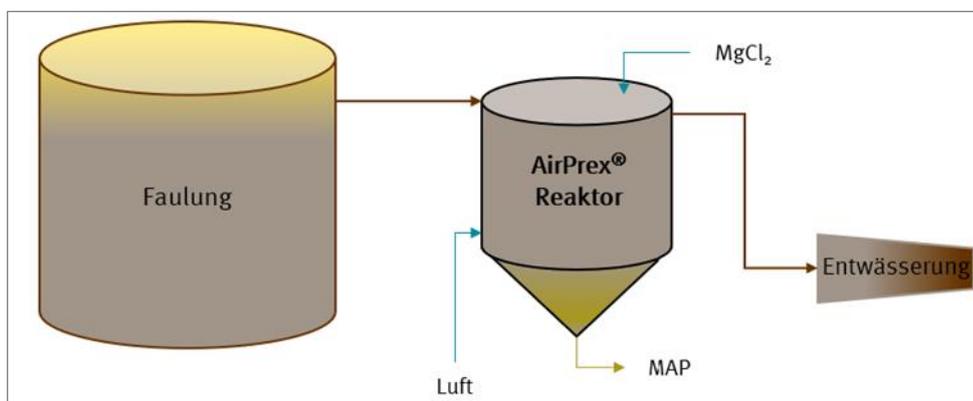


Abbildung 34: Verfahrensfliessbild des Airprex® Verfahrens¹⁶

Das Verfahren ist in 6 Kläranlagen in Deutschland und in drei weiteren Anlagen im Ausland (USA, China) in Betrieb.

6.2.2.2 ELOVAC P Verfahren

Beim ELOVAC P Verfahren (ELIQUO TECHNOLOGIE, 88214 Ravensburg) wird der Faulschlamm unter Vakuum gesetzt. Dabei wird dem Faulschlamm Restgas entzogen und der Gasverwertung (z.B. BHKW) zugeführt.

Durch den Austrag von CO_2 kommt es zu einer pH-Wert Erhöhung. Durch Zugabe von Magnesiumchlorid wird eine gezielte MAP Fällung durchgeführt. Das ELOVAC P Verfahren zieht vor allem auf die Gewinnung des Methans im Faulschlamm und auf die Reduktion des Phosphatgehaltes ab.

Eine Rückgewinnung des gebildeten MAP ist bis jetzt noch nicht vorgesehen.

6.2.2.3 PARFORCE Technologie

Die Parforce-Technologie (PARFORCE Engineering & Consulting GmbH, 09599 Freiberg, Deutschland) ist ein flexibles, umweltfreundliches chemisches Verfahren zur Gewinnung von universell einsetzbarer Phosphorsäure durch Veredelung

¹⁶ <https://cnp-cycles.de/verfahren/airprexr-prozess-zur-schlammoptimierung>

von phosphathaltigen Wertstoffen oder durch Verwertung von phosphathaltigen Abfällen¹⁷.

Bei der Parforce Technologie wird in mehreren Prozessschritten handelsübliche Phosphorsäure (75 -85 %) erzeugt. Der erweiterte Parforce Ansatz hat das Ziel, im Zulauf des Faulturms das Phosphat zu mobilisieren, als MAP (Struvit) auszufällen und abzuscheiden.

Das MAP ist dann in weiterer Folge Ausgangsprodukt für die Phosphorsäureproduktion. Die bei der Veredelung von Struvit entstehende Salzlösung ($MgCl_2$) kann direkt wieder als Magnesiumquelle für die Struviterzeugung auf der Kläranlage eingesetzt werden.

Gemäß Hersteller kann bis zu 2/3 des im Schlamm enthaltenen Phosphors auf diese Weise wiedergewonnen werden. Damit könnte die Vorgabe des § 20 (2) AVV 2024 (60 % der Phosphorfracht im Zulauf der Kläranlage muss zurückgewonnen werden) unter sehr günstigen Umständen erreicht werden.

Die Verfahrensschritte sind

1. Hydrolyse von voreingedicktem Rohschlamm (Überschussschlamm),
2. Rückverdünnung des hydrolysierten Schlammes,
3. Abtrennung der phosphatreichen Flüssigphase,
4. Zuführung des wiedereingedickten Schlammes zur Faulung,
5. MAP/Struvit-Kristallisation in der abgetrennten Flüssigphase,
6. Abzug MAP/Struvit-Suspension aus Reaktor und Entwässerung.

Das Verfahren kann in eine bestehende Schlammbehandlung integriert werden.¹⁸

6.2.2.4 P-RoC-Verfahren

Das P-RoC-Verfahren (Karlsruher Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe, Deutschland) beruht auf der Fällung von Phosphat im Schlammwasser als CaP und MgP-Phasen durch CSH (Calcium-Silikat-Hydrat) induzierte Kristallisation.

Das CSH dient zum einen als Kristallisationskeim, indem es eine reaktive Oberfläche für die Kristallisation von calciumphosphathaltigen Mineralphasen und Struvit bietet. Zum anderen dient es als Reagens, da es Hydroxidionen freisetzt, die zu einer Erhöhung des pH-Wertes in der Reaktionslösung führen. Diese pH-Wert-Erhöhung bedingt die Einstellung der für die Bildung von phosphathaltigen Mineralphasen günstigen Reaktionsbedingungen mit einem pH-Wert von >8.

Das Verfahren wurde im Pilotmaßstab an der Kläranlage Bachgau, Großostheim getestet. Aktuell gibt es noch keine großtechnische Umsetzung.¹⁹

¹⁷ <https://www.parforce-technologie.de/unsere-technologie/>

¹⁸ <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/document/tabelle-zu-p-recycling-technologien/>

¹⁹ Ehbrecht, Anke; Karlsruher Institut für Technologie (KIT), persönliche Mitteilung, 09.10.24

6.2.2.5 SIMPhos-Verfahren

Auch beim SIMPhos-Verfahren (CIRKEL GmbH & Co.KG, Emsdetten, Deutschland) wird das rückgelöste Phosphat durch Kristallisation mittels originärem Calcium-Silikat-Hydrat (CSH SIMPur) durchgeführt, das SiO_2 /Siliziumverbindungen freisetzt und Phosphor aufnimmt.

SIMPur wird originär durch die Verarbeitung des CSH-Minerals Tobermorit in einer maßgeschneiderten Granulometrie hergestellt.

Das Verfahren wurde mehrfach positiv im Pilotmaßstab getestet, an der Kläranlage Neuburg an der Donau (67.000 EW) im Vollmaßstab installiert und steht kurz vor der Inbetriebnahme²⁰.

6.2.2.6 Gifhorn-Verfahren (Seaborne-Verfahren)

Das Gifhorer Verfahren (Firma Seaborne EPM AG, 24811 Owschlag, Deutschland) wurde an der Kläranlage Gifhorn entwickelt und wurde früher als Seaborne Verfahren bezeichnet.

Der Faulschlamm wird mit Schwefelsäure angesäuert, um das Phosphat zu mobilisieren. Nach der Fest-Flüssigtrennung wird das Phosphat als MAP gefällt und abgetrennt.

Nach Aussage des Betreibers der Kläranlage Gifhorn wird das Verfahren nicht mehr weiterbetrieben. Gründe sind der hohe Kostenaufwand für Chemikalien (Schwefelsäure, Natronlauge) sowie das problematische Handling mit dem Endprodukt MAP.

Dieses lag nicht in kristalliner Form vor, sondern war von amorpher Struktur bei einem TS-Gehalt von ca. 30%. Diese pastöse Masse war für eine Anwendung in der Landwirtschaft völlig ungeeignet, für die Weiterverarbeitung in der Düngemittelindustrie mengenmäßig zu gering.²¹

6.2.2.7 Stuttgarter Verfahren – System MSE

Ähnlich dem Gifhorer Verfahren wird der Faulschlamm beim Stuttgarter Verfahren – System MSE (MSE Mobile Schlammentwässerungs GmbH, 76307 Karlsbad-Ittersbach, Deutschland) angesäuert, abgepresst und im Filtrat das Phosphat mittels MAP-Fällung als Struvit gefällt.

Das Verfahren wurde mittels Versuchsanlage an 8 Kläranlagen getestet. Die Firma MSE gibt an, das Verfahren nicht weiter zu verfolgen, sondern sich zukünftig auf die Klärschlammmonoverbrennung und die Behandlung der Asche zu konzentrieren.²²

²⁰ Kolodzi, Katja; CIRKEL GmbH & Co. KG, Emsdetten, persönliche Mitteilung, 12.10.2024

²¹ Baron, Hans-Oskar, Abwasser- und Straßenreinigungsbetrieb Stadt Gifhorn (ASG), persönliche Mitteilung, 14.10.2024

²² Turek, Rudolf, MSE Mobile Schlammentwässerungs GmbH, persönliche Mitteilung, 10.10.24

6.2.3 Karbonisierungsverfahren

6.2.3.1 HTC – Hydrothermale Karbonisierung | TerraNova®ultra Verfahren

Das TerraNova®ultra Verfahren (TerraNova Energy GmbH) zielt darauf ab, den Phosphor aus dem entwässerten Faulschlamm zurückzugewinnen.

Dafür wird der entwässerte Schlamm zunächst bei 180 °C hydrothermal karbonisiert.

Dem entstehenden flüssigen Kohleschlamm wird Säure zugegeben, um den Phosphor zu mobilisieren.

Anschließend werden die Feststoffe z.B. in einer Kammerfilterpresse abgetrennt.

In der Flüssigphase (Filtrat) wird das Phosphat durch Zugabe von CSH (Calcium-Silicat-Hydrat) in eine unlösliche Form überführt und anschließend als Phosphorprodukt abgetrennt. Dieses besteht aus amorphen P-Verbindungen, Hydroxylapatit und Struvit und hat laut Hersteller eine sehr gute Pflanzenverfügbarkeit, die bis zu 80% jener von Superphosphat entspricht.

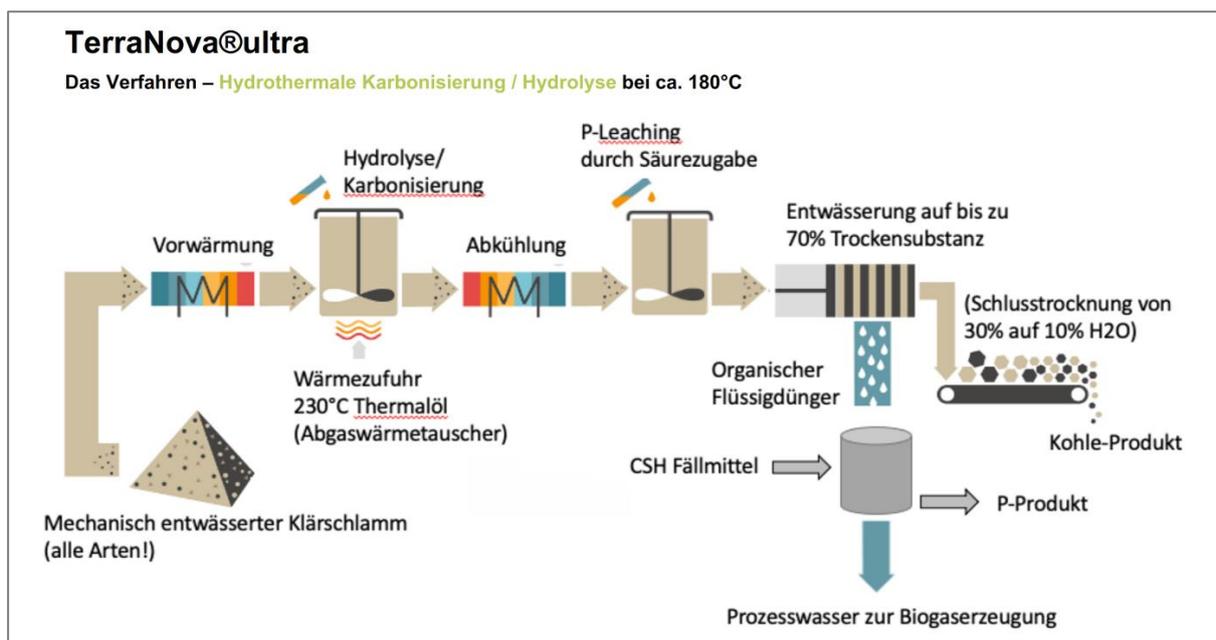


Abbildung 35: TerraNova®ultra | Verfahrensschema | Quelle: Buttman, Berlin 2022²³

In China wurde 2016 eine Anlage mit einer Verarbeitungskapazität von 14.000 toMEKS/a umgesetzt.

²³ Marc Buttman: Das TerraNova®ultra Verfahren (Hydrothermale Karbonisierung): Massenbilanzen, Rückbelastung der Kläranlage und Phosphorrückgewinnung; Berliner Klärschlammkonferenz 2022

6.2.3.2 PYREG®-Verfahren

Beim **PYREG® Verfahren** (PYREG GmbH, 56281 Dörth, Deutschland) wird der entwässerte Schlamm in einer Pyrolyse bei maximal 700 °C karbonisiert.

Das entstehende Karbonisat könnte gemäß PYREG GmbH als P-Düngeprodukt in der Landwirtschaft eingesetzt werden, entspricht jedoch nicht den Anforderungen der deutschen Düngemittelverordnung und der EU DÜPV 2019/1009²⁴.

Die im Pyrolysereaktor entstehenden brennbaren Gase werden in einer nachgeschalteten Brennkammer im Flox-Verfahren (flammlöse Oxidation) bei rund 1.000 °C vollständig verbrannt. Dadurch entsteht nur wenig thermisches NO_x.

Das Verfahren wurde großtechnisch an vier Kläranlagen in Deutschland und 5 Kläranlagen außerhalb Deutschlands realisiert.

6.2.4 Thermochemische Behandlung in der Verbrennung

6.2.4.1 EuPhoRe®-Verfahren

Das **EuPhoRe®-Verfahren** (EuPhoRe® GmbH, 49716 Meppen, Deutschland) basiert auf einer thermochemischen Klärschlammbehandlung bei ca. 1.000°C im Drehrohrofen.

Die Behandlungsschritte umfassen

1. Zugabe von Alkali- und/oder Erdalkalichloriden oder –sulfaten,
2. Trocknung und Übergang in die Reduktionsphase der Pyrolyse. Hier findet die chemische Reduktion von Metallen und Ausschleusung als Chloride in die Gasphase statt,
3. Die an- und abschließende Kohlenstoffverbrennung bei Temperaturen über 900 °C garantiert die Zerstörung sämtlicher organischer Schadstoffe.
4. Gleichzeitig gewährleistet der unmittelbare Temperaturanstieg beim Übergang von der Pyrolyse- zur Verbrennungsphase eine Umkristallisation der ursprünglichen Mineralsubstanz hin zu pflanzenverfügbaren Phosphaten.

Aktuell sind 3 Anlagen im Einsatz (von 15.000 bis 80.000 t/a), 1 Anlage im Bau bis 135.000 t/a und 4 Anlagen in der Planung (30.000 bis 135.000 t/a²⁵).

²⁴Knickel, Tabea (2023) P-Rückgewinnung: aktuelle Verfahrensübersicht. Vortrag Hessischer Phosphordialog Regionales Phosphor-Recycling in Hessen 2023, Kassel

²⁵ <https://www.euphore.de/vorteile.htm>

6.2.4.2 Wehrle P-XTRACT – Verfahren

Das **P-XTRACT®-Verfahren** (Wehrle Werke, 79312 Emmendingen) beruht auf der bewährten Technologie der Wirbelschichtverbrennung von Klärschlamm unter Zugabe von bestimmten (Erd-)Alkali Additiven und speziellem Wirbelschichtbettmaterial.

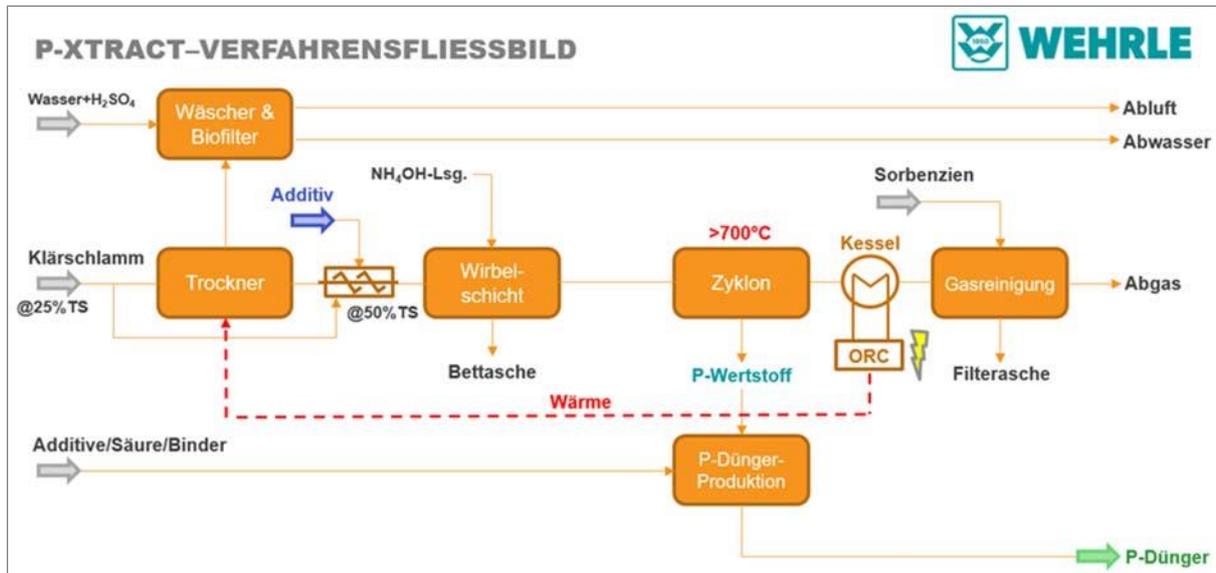


Abbildung 36: Wehrle P-XTRACT® Verfahrensfließbild²⁶

Durch die zweistufige Verbrennung in einer reduzierenden und oxidierenden Atmosphäre wird die Überführung von Schwermetallen in die Gasphase erhöht, so dass die P-haltige Asche im Rauchgas als Flugasche mitgerissen und bei möglichst hohen Temperaturen >700°C aus dem Rauchgas abgeschieden wird.

Schwermetalle verbleiben maßgeblich in der Gasphase und werden bei niedrigeren Temperaturen in der nachfolgenden Rauchgasreinigung abgeschieden.

Ebenso wird durch den P-XTRACT® Prozess die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in der ausgeschleusten Asche durch die speziell am Produkt ausgegerichtete Brennstoff-Konditionierung, Additivzugabe und Verbrennungsführung gegenüber konventionellen Monoverbrennungsaschen verbessert.

Auf dem Gelände des Abwasserzweckverbands Staufener Bucht (AZV) im südbadischen Breisach ist eine P-XTRACT-Anlage zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm 2024 in den Regelbetrieb gegangen²⁷.

²⁶ <https://azv-staufener-bucht.de/p-xtract/>

²⁷ <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/p-rueckgewinnungsanlage-p-xtract-in-breisach-in-den-regelbetrieb-gegangen-091024/>

6.2.4.3 P-Rezyklat aus dem Drehrohrkessel

Bei der Klärschlamm-Monoverbrennung im Drehrohrkessel der WERKSTÄTTEN heating-systems GmbH (Nordhorn, Deutschland) werden während des Verbrennungsprozesses die Schwermetalle abgeschieden und der Phosphor in eine weitgehend pflanzenverfügbare Form überführt. Mit einem TRL von 8-9 weist dieses Verfahren einen der höchsten technologischen Reifegrade auf.

Der getrocknete Klärschlamm wird im gekühlten Drehrohr bei 800-1000 °C verbrannt. Als Additiv zur Volatilisierung von Schwermetallen wird im Gegensatz zum geschützten EuPhoRe®-Verfahren Natriumhydrogencarbonat verwendet.

Die Grobpartikelabscheidung erfolgt in einem Zyklon bei 180 °C gefolgt von einer Rauchgasreinigung mittels Trockensorption und Staubfiltration²⁸.

Das Verfahren wurde bereits an 30 unterschiedlichsten Schlämmen im Versuchsbetrieb getestet. In Bezug auf die aktuelle Umsetzung wurde vom Hersteller folgende Information gegeben

Tabelle 2: Referenzprojekte der WERKSTÄTTEN heating-systems GmbH

Standort	toOS/a	Stand
KSMVA Schüttorf, Baujahr 2019	6.000	Wird derzeit nach Dänemark transferiert und wird zu einer 12.000 t OS-Anlage erweitert
Kommunale Klärschlammverwertung Region Altenkirchen GmbH	18.000	2024: Warminbetriebnahme
Abwasserverband Mittlere Mümling	18.000	Q4/2024: kurz vor Warminbetriebnahme
Kläranlage Schlitz	6.000	Genehmigung

Ein Großversuch zur Behandlung des Klärschlammes der Kläranlage Schlitz in Hessen im Frühjahr 2021 wurde umfassend wissenschaftlich begleitet und der Ergebnisbericht zur Verfügung gestellt.

In Abbildung 37 sind die Gehalte relevanter Inhaltsstoffe in den Aschen vergleichend wiedergegeben.

Die „virtuelle Asche“ entspricht den Schwermetallgehalten im Inputmaterial (getrockneter Klärschlamm), „Asche -“ ist die Asche aus dem Verbrennungsversuch ohne Additivzugabe und „Asche +“ ist die Asche aus dem Verbrennungsversuch mit NaHCO₃ Zugabe.

Die Monoverbrennung an sich führt schon zu einer signifikanten Reduktion der Schwermetallgehalte, die durch Zugabe von Natriumhydrogencarbonat noch verbessert werden konnte.

²⁸ <https://werkstaetten-heating.de/dezentrale-klaerschlammverwertung/>

Gemäß dem Versuchsbericht konnten in den Aschen nach der Verbrennung mit Additivierung alle Höchst- und Grenzwerte der deutschen bzw. europäischen Düngemittelverordnung eingehalten werden.

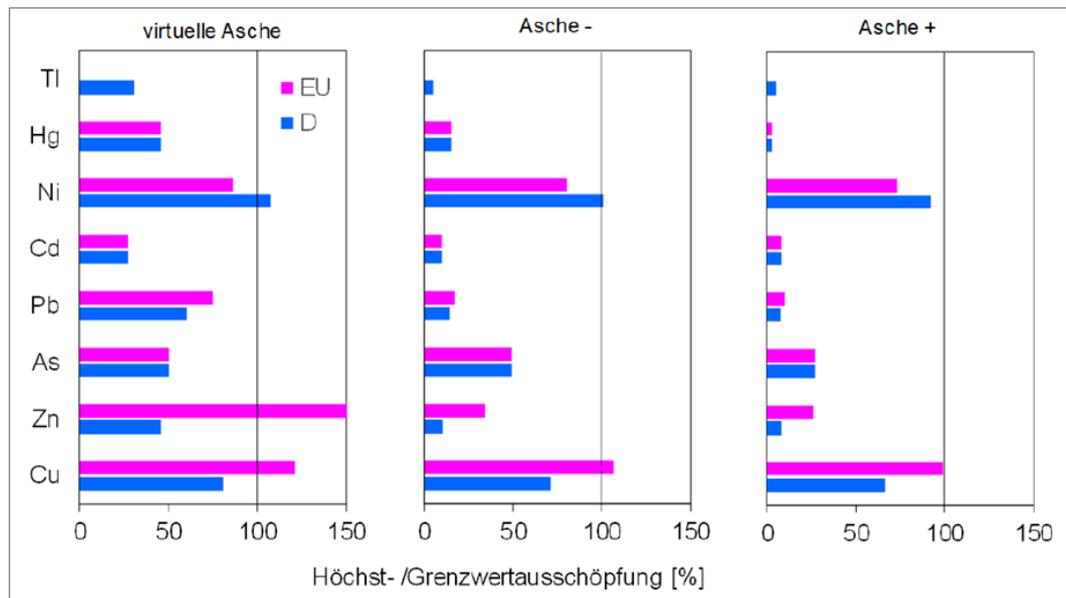


Abbildung 37: Grenzwertausschöpfung bezogen auf die deutsche DÜMV und die EU DÜPV

Demnach wäre eine Zulassung gemäß deutscher Düngemittelverordnung zukünftig möglich, sofern die geplanten Anpassungen (Definition Ausgangsstoffe mit Schadstoffgrenzwerten und Wasserlöslichkeit des Produktes) umgesetzt werden.²⁹

Eine österreichische Zulassung gemäß EU-Düngemittelverordnung 2019/1009 wäre noch zu prüfen, sollte aber gemäß geltendem Recht durch die AGES³⁰ möglich sein.

In Österreich würde die Zulassung aktuell auch noch als Einzelzulassung gemäß § 9 DMG 2021 erfolgen können.³¹

Für eine weitergehende Prüfung des Verfahrens für eine mögliche Umsetzung im Bundesland Salzburg sollten die vorhandenen Daten zu den Schwermetallgehalten in den kommunalen Salzburger Klärschlämmen zusammengefasst werden, mögliche zusätzliche Messkampagnen durchgeführt werden und über die entsprechenden Massen- und Glühverluste der entwässerten Klärschlämme die Schwermetallgehalte im Inputmaterial bezogen auf die mineralische Trockensubstanz („virtuelle Asche“) prognostiziert werden.

²⁹ Knickel, Tabea Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V., persönliche Mitteilung, 17.10.2024

³⁰ <https://www.ages.at/pflanze/duengemittel/eu-duengeprodukte-und-konformitaetsbewertung>

³¹ Paul Riedmann, wpa Beratende Ingenieure, persönliche Mitteilung, 08.10.24

Die Schwermetallabreicherung über die Verbrennung im Drehrohrkessel könnte in weiterer Folge abgeschätzt werden und eine mögliche Einhaltung der geltenden Grenzwerte für eine Zulassung als Düngemittel vorab geprüft werden.

6.2.5 Nasschemische Behandlung der Klärschlammasche

Im folgenden Abschnitt werden die Verfahren angeführt, welche die Asche nach der Klärschlamm-Monoverbrennung als Ausgangsmaterial verwenden.

6.2.5.1 Ash2®Phos Verfahren

Das Ash2®Phos Verfahren (EMG EasyMining Germany GmbH, 12587 Berlin, Deutschland) besteht aus drei Stufen:

- einer sauren Stufe,
- einer alkalischen Stufe (in der die Zwischenprodukte hergestellt werden)
- und schließlich einer Umwandlungsstufe, in der die Zwischenprodukte zu Endprodukten verarbeitet werden.

Typische Endprodukte sind Mono- und Di-Ammoniumphosphat, Eisenchlorid und Aluminiumsulfat.

Typische Rückgewinnungsraten sind 90–95% für Phosphor, 60–80% für Aluminium und 10–20% für Eisen.

Durch diese aufeinanderfolgenden chemischen Reaktionen werden nicht nur die gewünschten Elemente als saubere, gut definierte Handelsprodukte gewonnen, sondern auch unerwünschte und potenziell schädliche Elemente, z. B. Cadmium, zur sicheren Entsorgung abgetrennt.³²

Die Bauphase der weltweit ersten großtechnischen Ash2Phos-Anlage in Schkopau (DE) wurde begonnen. Der Hersteller geht davon aus, dass diese im Laufe des Jahres 2027 in den Regelbetrieb überführt wird. (Ende der Bauphase: 4. Quartal 2026). Die Anlage hat eine Kapazität von 30.000-38.000 toKSA/a.³³

6.2.5.2 PARFORCE Technologie

Die **PARFORCE-Technologie** (PTC – PARFORCE Technology Cooperation GmbH, 45768 Marl, Deutschland) ist ein chemisches Verfahren zur Gewinnung von universell einsetzbarer Phosphorsäure durch Veredelung von phosphathaltigen Wertstoffen oder durch Verwertung von phosphathaltigen Abfällen.

Ausgangsstoffe können Klärschlammaschen aber auch Struvit oder Calciumphosphate sein.

³² https://www.easymining.com/globalassets/easymining.com/documents/ash2phos_folder_2310_de_2.pdf

³³ Kabbe, Christian, EMG EasyMining Germany GmbH, persönliche Mitteilung, 15.10.24

Im ersten Prozessschritt wird mittels Salz- oder Salpetersäure der zu verarbeitende phosphathaltige Primär- oder Sekundärrohstoff in einem Aufschlussreaktor chemisch aufgeschlossen.

Die Aufschluss suspension wird in einem zweiten Schritt filtriert und die Phosphorsäure in einem dritten Prozessschritt durch einen Membranprozess abgetrennt.

Im Anschluss erfolgt als vierter Schritt die Konzentration der Phosphorsäure auf 75% bis 85% (handelsüblicher Standard)³⁴.

In der Kläranlage Bottrop wurde das Verfahren im Vollmaßstab installiert (Ziel: 1.000 toKSA/a).

Im Juli 2024 wurde die mehrstufigen Funktionsprüfungen abgeschlossen und die Anlage steht mit Stand Oktober 2024 kurz vor Abschluss der Inbetriebsetzungsarbeiten und Übergabe an den Betreiber PhosRec^{35,36}

6.2.5.3 TetraPhos®-Verfahren

Beim TetraPhos®-Verfahren (Remondis Aqua, 44536 Lünen Deutschland) wird Klärschlammasche in einem Reaktor mit verdünnter Phosphorsäure gemischt.

Dabei lösen sich die Phosphate bereits innerhalb kurzer Zeit fast vollständig auf.

Nach der Elution wird der unlösliche Anteil der Asche abfiltriert. Das Filtrat ist die Roh-Phosphorsäure.

Die gewaschene Mineralik weist einen TR von >50% auf, ist stichfest und kann deponiert oder verwertet werden.

In Phase 3 wird das aus der Asche gelöste Calcium durch stöchiometrische Zugabe von Schwefelsäure aus der Roh-Phosphorsäure ausgefällt.

Es kristallisiert Calciumsulfat, das als Gips aus der Phosphorsäure abfiltriert wird.

Das Verfahren wurde 2020 in der Kläranlage Hamburg in Betrieb genommen. Mit Stand Juli 2024 läuft die Anlage weiterhin im Probetrieb.

Remondis teilte mit, dass es Ziel des verlängerten Probetriebes sei, die Anlage schrittweise in Betrieb zu nehmen, um diese in den nachhaltigen und sicheren Dauerbetrieb zu überführen³⁷.

Die Recyclinganlage soll im Vollbetrieb aus jährlich rund 20.000 Tonnen Klärschlammasche ca. 7.000 Tonnen hochreine Phosphorsäure produzieren³⁸.

³⁴ <https://www.parforce-technologie.de/unsere-technologie/>

³⁵ <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/phosrec-anlage-gewinnt-erstmal-phosphorsaure-aus-klärschlammasche-190724/>

³⁶ Eschmet, Jürgen, PTC – PARFORCE Technology Cooperation GmbH, persönliche Mitteilung, 14.10.24

³⁷ <https://www.euwid-recycling.de/news/wirtschaft/hamburger-pilotanlage-zur-p-rueckgewinnung-aus-klärschlammasche-laeuft-weiterhin-im-probetrieb-040724/>

³⁸ <http://www.phosphorrecycling-hh.de/recycling/recycling.html>

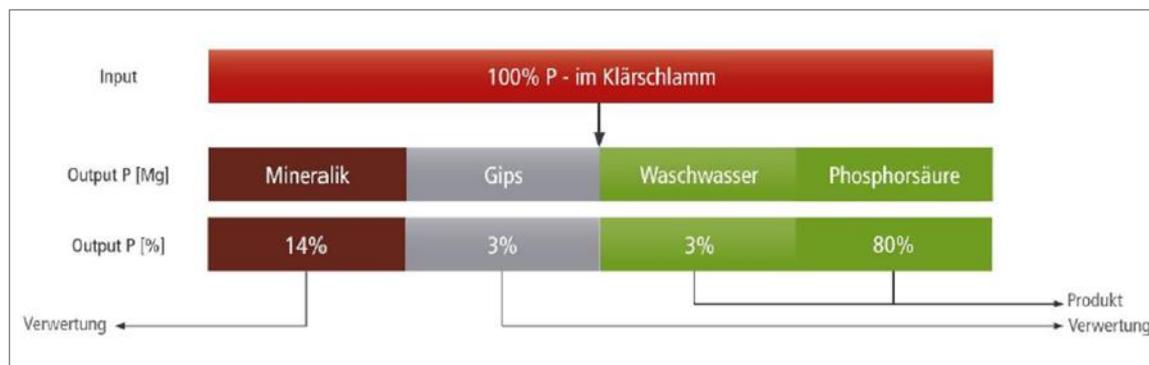


Abbildung 38: Übersicht zum Remondis TetraPhos® - Verfahren

6.2.6 Gesamtbewertung in Bezug auf die Salzburger Rahmenbedingungen

In Tabelle 3 ist ein Überblick und eine systematische Gruppierung der Verfahren zur Phosphorrückgewinnung dargestellt.

Die Struvit-Verfahren, welche auf Rücklösung und Ausfällung des Phosphates beruhen, ermöglichen keine ganzheitliche gesetzeskonforme Lösung der zukünftigen Klärschlammbehandlung im Bundesland Salzburg.

Zum einen ist der wirtschaftliche Einsatz auf den kleinen und mittelgroßen Kläranlagen fraglich und auch die Einhaltung der Regelung in der AVV 2024 (Rückgewinnung von 60 % der P-Zulaufkraft) ungewiss.

Sollten Untersuchungen der Schwermetallgehalte in den Klärschlämmen ergeben, dass eine Verbrennungstechnik mit inkludierter Schwermetallabreicherung die Grenzwerte der geltenden Rechtsvorschriften im Bereich der Düngemittelzulassung ermöglicht, würde sich die Möglichkeit eröffnen, die lokal produzierten Klärschlammaschen direkt als Dünger in der Landwirtschaft im Bundesland Salzburg einzusetzen.

Tabelle 3: Überblick über die gängigen Phosphorrecyclingverfahren (Auswahl)

Verfahren/Standort	Beschreibung	Kommentar
Phosphatfällung in der Schlammlinie in der Kläranlage	Es wird nur das im Zuge der anaeroben Schlammbehandlung rückgelöste Phosphat gefällt	Verfahren werden oft zur Verhinderung von MAP Ablagerungen und zur Steigerung der Entwässerbarkeit eingesetzt. Unsicherheiten bei der Weiterverwendung des Fällungsproduktes 60 % der P Zulauf fracht können in der Regel nicht zurück-gewonnen werden
Phosphatfällung in der Schlammlinie nach vermehrter Rücklösung in der Kläranlage	Die zusätzliche PO ₄ Rücklösung erfolgt durch chemische (Ansäuerung), biologische (biologisch induzierte Rücklösung) oder physikalische (thermische Hydrolyse) Behandlung der Schlämme	Nur auf größeren Kläranlagen umsetzbar Vermarktung der Phosphatsalze notwendig Kann die 60 % Grenze der AVV 2024 erreicht werden? Für Salzburg nur Einzelösungen TerraNova ultra hat Sonderstellung, (Rücklösung aus Karbonisat)
Thermochemische Behandlung, direkte Nutzung des Produktes (Asche) in der Verbrennungsanlage	Entfernung der Schwermetalle durch verschiedene Additive bei der thermischen Behandlung	Erlaubt eine dezentrale Behandlung des Klärschlammes und Nutzung des Phosphors Zulassung der erzeugten P-haltigen Produkte noch ungewiss.
KS Monoverbrennung-> zentrale Aufbereitung der Aschen zu Sekundärrohstoffen z.B. Chemiepark	Chemische Aufbereitung der KS-Aschen in großem Maßstab	Abgekoppelte, spezialisierte Unternehmen, welche die Aschen übernehmen und weiterverarbeiten.

Nach Auskunft der Landwirtschaftskammer Salzburg sind 95 % der landwirtschaftlichen Flächen im Bundesland Salzburg Grünland.

Durch die Produktion von Milch und Fleisch kommt es zu einer gesteigerten Phosphorentnahme aus den landwirtschaftlichen Böden, was in Folge zu einem Phosphormangel führt.

Dieses Bild spiegeln umfassende Bodenanalysen wider, welche regelmäßig im Bundesland Salzburg durchgeführt werden.

Über die Rückführung des über die Lebensmittel aufgenommenen und in Folge ausgeschiedenen Phosphors könnte der Phosphorkreislauf zumindest teilweise lokal geschlossen werden.

Sollten die Schwermetallgehalte für eine Zulassung als Düngemittel schlussendlich zu hoch sein müsste die Asche für eine weitergehende Aufbereitung einem externen Unternehmen übergeben werden.

7 OPTIONEN FÜR DIE ZUKÜNFTIGE KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG

Die in weiterer Folge diskutierten Optionen basieren auf dem für 2023 dokumentierten Klärschlammanfall für die einzelnen Kläranlagen und darauf, dass die Kläranlagen in der bestehenden Form weiter betrieben werden.

Weiters wird konservativ davon ausgegangen, dass alle kommunalen Salzburger Kläranlagen ihre Klärschlämme entsprechend den Anforderungen von § 20 (1) AVV 2024 verwerten werden.

Insbesondere wird weiters davon ausgegangen, dass keine Kläranlage die Ausnahme gemäß § 20 (2) AVV 2024 in Anspruch nehmen wird.

7.1 Modifizierte „Salzburger Lösung“

Die modifizierte Salzburger Lösung entspricht weitgehend der aktuellen Praxis für die Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme.

Zukünftig müssen die Klärschlämme jedoch in einer noch zu errichtenden Mono-verbrennungsanlage anstelle wie derzeit, in einer Reststoffverwertungsanlage gemeinsam mit Abfällen verbrannt werden.

Grundsätzlich kann derzeit noch nicht gesichert davon ausgegangen werden, dass bis Jänner 2033 ausreichende Kapazitäten für die Klärschlamm Monoverbrennung verfügbar sein werden.

Damit könnten insbesondere kleinere Kläranlagen vor der Herausforderung stehen, ihre Klärschlämme bei knappem Angebot an Mono-Verbrennungskapazitäten zu wirtschaftlichen Bedingungen zu verwerten.

Es wird daher grundsätzlich empfohlen, die „Salzburger Lösung“ so weit als möglich weiterzuentwickeln und möglichst viele kommunale Salzburger Klärschlämme über einen Gruppenvertrag mit der Betreiberin der Klärschlamm Monoverbrennungsanlage abzurechnen.

In Bezug auf die Klärschlammtransporte wird darauf hingewiesen, dass Abfalltransporte mit einem Gesamtgewicht von mehr als 10 Tonnen ab Jänner 2026 gemäß § 15 (9) AWG 2022 in Österreich nur noch bis zu 100 km mit konventionellen LKW durchgeführt werden dürfen.

Bei längeren Transportstrecken zur Klärschlammverwertung müssen die einzelnen Kläranlagenbetreiber insbesondere getrocknete Klärschlämme mit über 70%TR zukünftig also z.B. per Bahn oder LKW mit Alternativantrieb transportieren³⁹.

³⁹ https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/digitale-abfrageplattform.html

EVU-Abfallartenliste: Transport von Abfallarten (transport_abfallarten_2023_UA.pdf) Seite 54/56:

Das bedeutet auch, dass auf einzelne Kläranlagen zusätzliche Herausforderungen zukommen können, insbesondere wenn die Bahnverladung vom Kläranlagenstandort aus aufwendig ist.

Inwieweit dieses Thema in der Praxis relevant sein wird, unterscheidet sich also von Kläranlage zu Kläranlage.

Zur Orientierung werden die LKW-Transportentfernungen beispielhaft zwischen den einzelnen Kläranlagen und der Reststoffverwertungsanlage (RVA) in Lenzing, sowie potenziellen Standorten für eine Salzburger KSMVA tabellarisch dargestellt, um darzustellen welche Kläranlagen von der Regelung in § 15 (9) AWG 2002 betroffen sein könnten.

Tabelle 4: Transportwege nach Lenzing, Zell am See und Bergheim

Kläranlage	Adresse		Transport nach Lenzing	Transport nach Zell am See	Transport nach Bergheim
			Kilometer	Kilometer	Kilometer
ARA Abtenau	Erlfeld 50, 5441 Abtenau	ABT	127	81	59
ARA Annaberg	Annaberg 174, 5524 Annaberg	ANN	139	74	72
ARA Dienten	Landesstraße 41, 5652 Dienten	DIE	158	30	91
ARA Faistenau	Almbachstraße 15, 5324 Faistenau	FAI	64	99	40
ARA Filzmoos	Filzmoos 156, 5532 Filzmoos	FIM	156	73	88
ARA Thalgau	Waidachstraße 1, 5303 Thalgau	FST	44	122	28
ARA Großarl	Premsäge 10, 5611 Großarl	GRO	152	45	84
ARA Gasteinertal	Unterberger Straße 20, 5632 Dorfgastein	GTT	165	33	97
ARA Mühlbach	Mühlbach 416, 5505 Mühlbach am Hochkönig	MUB	144	44	77
ARA Niedernsill	Unterrwiesstraße 22, 5722 Niedernsill	OPM	191	15	124
ARA Bramberg	Dorf 68, 5732 Mühlbach/Oberpinzgau	OPW	209	33	142
ARA Pladenbach	Georg-Rendl-Weg 8, 5213 St. Georgen bei Salzbu	PLB	72	127	23
VKA Saalfelden	Marzon 1, 5760 Saalfelden	PSS	140	24	73
ARA Ramingstein	Gemeindeplatz 223, 5591 Ramingstein	RAM	209	127	142
ARA Rauris	Steinbachweg 3, 5661 Rauris	RAU	168	22	101
ARA Rußbach	Rußbachsaag 170, 5442 Rußbach	RUS	141	87	74
ARA Saalbach	Glemmtaler-Landesstraße 554, 5753 Saalbach	SAB	163	19	96
ARA Radstadt	Dechantwiese 3, 5550 Radstadt	SER	155	72	87
ARA Siggerwiesen	Aupoint 15, 5101 Bergheim	SIG	67	107	0
ARA Salzach-Pongau	Ellmauthal 24, 5452 Pfarwerfen	SPB	132	50	64
ARA St. Michael	Mühlweg 146, 5582 St. Michael	STM	191	109	124
ARA Tenneck	Bundesstraße 11, 5451 Tenneck	TEN	123	57	56
ARA Kuchl	Garnei 155, 5431 Kuchl	TGS	107	77	40
ARA Zellhof	Zellhof 7, 5163 Mattsee	TRS	50	123	20
ARA Bruck	Auweg 25, 5662 Bruck	UPG	171	8	104
ARA Neumarkt	Wallbach 100 5202 Neumarkt	WSN	39	124	30
ARA Seekirchen	Gewerbestraße 15, 5201 Seekirchen	WSS	58	114	15
ARA Zell am See	Salzachuferstraße 37,5700 Zell am See	ZLB	174	0	107
ARA Tamsweg	Schießstandstraße 25, 5580 Tamsweg	ZRL	206	124	139

Es zeigt sich, dass die Transportentfernung zu einer vermutlich nächstgelegenen kommerziellen Klärschlamm Monoverbrennungsanlage in Lenzing bereits für die meisten kommunalen Salzburger Kläranlagen über 100 km liegt.

Demgegenüber liegen die Entfernungen zu Standorten von potenziellen lokalen Klärschlamm Monoverbrennungsanlagen im Sinne einer autonomen Salzburger Klärschlammverwertung insbesondere nach Zell am See nur in Einzelfällen über 100 km.

Grundsätzlich sollten bei der modifizierten Salzburger Lösung also auch die folgenden Aspekte mit beachtet werden:

1. Es kann passieren, dass im Jänner 2033 nicht ausreichend Kapazitäten in geeigneten kommerziellen KSMVA zur Verfügung stehen.
2. Die Tarife kommerzieller Anlagenbetreiber unterliegen in der Regel angebots- und nachfragebedingten Marktschwankungen.
3. Es ist mit zusätzlichem betrieblichem und organisatorischem Aufwand zu rechnen, wenn getrocknete Klärschlämme ab 70%TR mit der Bahn zur Verbrennungsanlage transportiert werden müssen.

7.1.1 Szenario 12: Modifizierte Salzburger Lösung

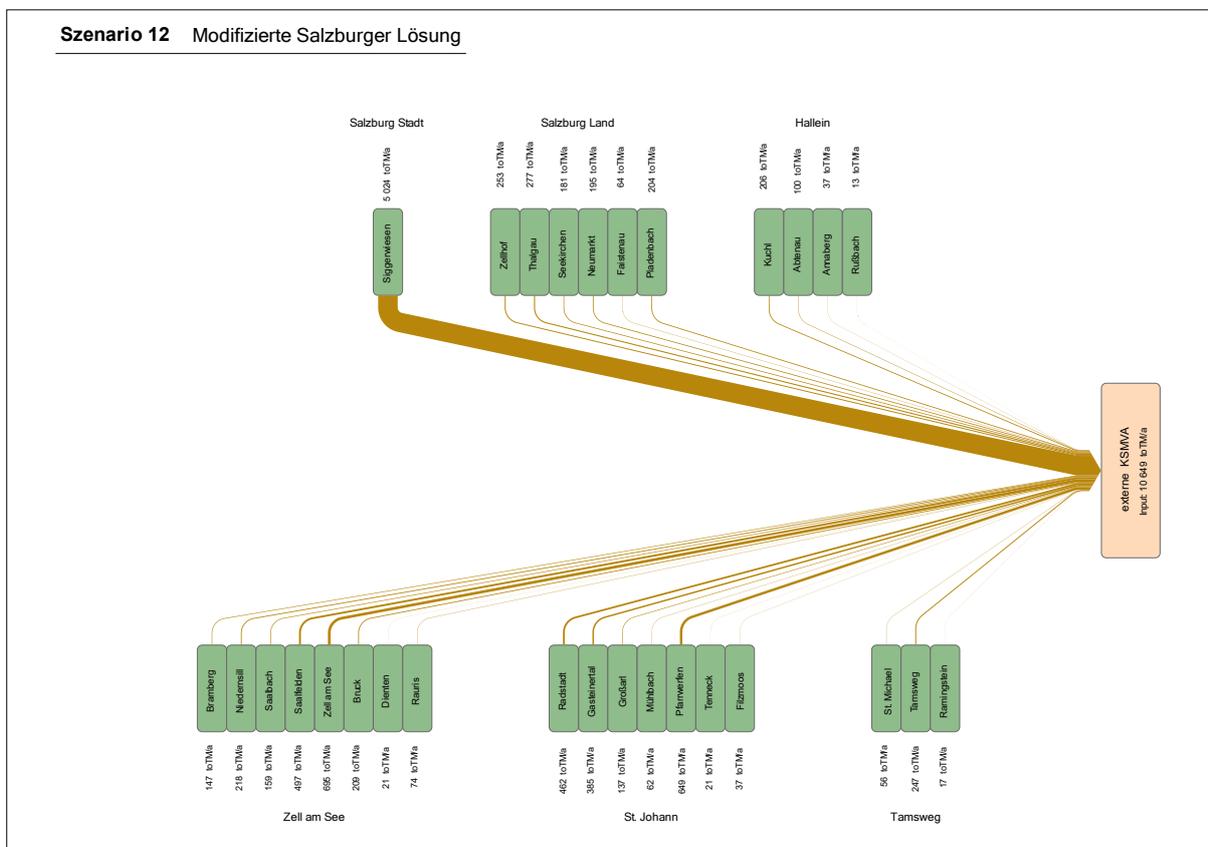


Abbildung 39: Szenario 12 | Modifizierte Salzburger Lösung | TM-Bilanz

Alle kommunalen Salzburger Klärschlämme (ca. 10.600 toTM/a) werden in einer externen KSMVA verbrannt.

Es werden ca. 4.100 toTM/a über den Pass Lueg transportiert

7.1.2 Szenario 13 Modifizierte Salzburger Lösung mit KSTRO

Alle kommunalen Salzburger Klärschlämme werden in einer externen KSMVA verbrannt.

Es werden, wie in Szenario 12, ca. 4.100 toTM/a über den Pass Lueg transportiert.

Die Klärschlämme aus den Kläranlagen Radstadt und Pfarrwerfen werden in der regionalen KSTRO in der ARA Radstadt getrocknet und als TG in die KSMVA Zell am See geliefert.

Dadurch können für die getrockneten Klärschlämme aus den Kläranlagen Radstadt und Pfarrwerfen voraussichtlich günstigere Übernahmetarife bei der Betreiberin der KSMVA lukriert werden.

Auf die Tarife der anderen Kläranlagenbetreiber hat dies voraussichtlich keinen Einfluss.

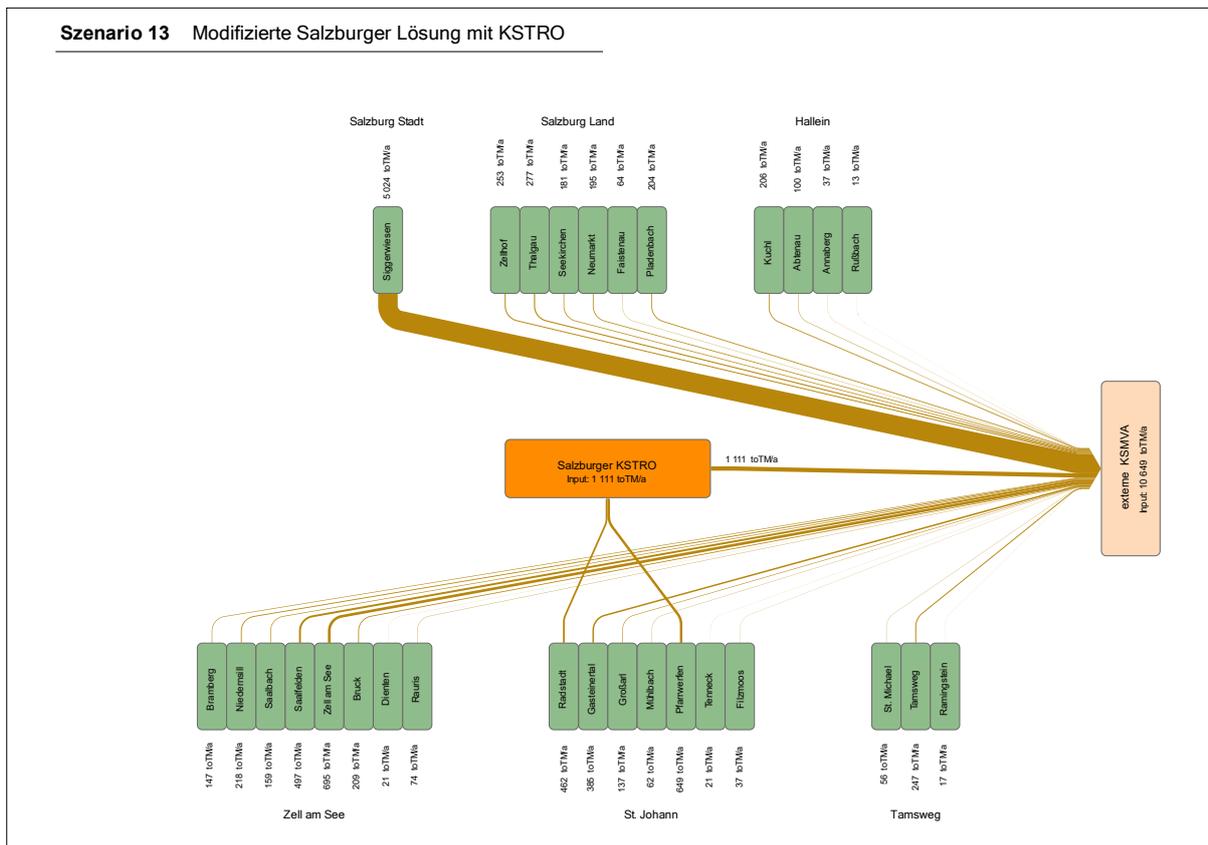


Abbildung 40: Szenario 13 | Modifizierte Salzburger Lösung mit KSTRO

7.2 Autonome Salzburger Klärschlammverwertung

Das Projekt „Autonome Salzburger Klärschlammverwertung“ ist eine Alternative zur „modifizierten Salzburger Lösung“ und umfasst die Planung, die Errichtung und den Betrieb einer Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage (KSMVA) in der ausschließlich kommunale Salzburger Klärschlämme verbrannt werden.

Dieses Projekt kann durch ein Privatunternehmen oder einen Rechtsträger unter Kontrolle der Salzburger Kläranlagenbetreiber umgesetzt werden.

Im Rahmen der Studie wurden dazu drei Varianten näher betrachtet:

- Kleine Lösung (4.100 toTM/a) für die Kläranlagen aus den Bezirken St. Johann, Tamsweg und Zell am See
- Mittlere Lösung (5.600 toTM/a) für die Kläranlagen aus den Bezirken Hallein, Salzburg-Land, St. Johann, Tamsweg und Zell am See
- Große Lösung (10.600 toTM/a) für alle kommunalen Salzburger Kläranlagen

Die Kläranlagenbetreiber transportieren ihre Schlämme zur KSMVA und übergeben diese der Betreiberin zur Verwertung nach § 20 (1) AVV 2024.

Die KSMVA-Betreiberin übergibt die Klärschlammasche einem befugten externen Partner, der Phosphor gemäß § 20 (1) AVV 2024 aus der Asche zurückgewinnt.

Nach derzeitigem Wissensstand wird in Österreich für die P-Rückgewinnung aus Verbrennungsasche ab Jänner 2033, wenn überhaupt, nur ein Unternehmen zur Verfügung stehen.

In Deutschland werden in absehbarer Zeit keine Kapazitäten für die Behandlung österreichischer Klärschlammaschen verfügbar sein.

2029 werden in Deutschland voraussichtlich nur 10% - 20% der deutschen Klärschlammaschen behandelt werden können.

Alternativ zur P-Rückgewinnung aus der Asche kann nach § 20 (1) AVV 2024

(...“oder die gesamte Verbrennungsasche muss zur Herstellung eines Düngeproduktes gemäß Düngemittelgesetz 2021 – DMG 2021, BGBl. I Nr. 103/2021, verwendet werden.“)

Asche auch direkt über ein Düngeprodukt genutzt werden.

Diese Möglichkeit ist auch in der EU-Düngeproduktverordnung (EU DÜPV 2019/1009) ausdrücklich vorgesehen (PFC1c aus CMC 13).

Wenn in der KSMVA durch Zusatz von Additiven eine „Premiumasche“ im Sinne der EU DÜPV 2019/1009 produziert wird, kann Phosphor also direkt über die Asche als Düngeprodukt zurückgewonnen und lokal verwertet werden.

Gegebenenfalls ist eine Einzelzulassung gemäß § 9 DMG 2021 erforderlich.

7.2.1 Szenario 21: Autonome SKSV | Kleine Lösung (JO|TA|ZE)

Die Klärschlämme aus den Bezirken Salzburg, Salzburg Land und Hallein werden in einer externen KSMVA verbrannt.

Die Klärschlämme aus den Bezirken St. Johann im Pongau, Tamsweg und Zell am See werden in der Salzburger KSMVA verbrannt.

Es entfallen die Klärschlammtransporte über den Pass Lueg.

Die Salzburger KSMVA übernimmt ca. 4.100 toTM/a.

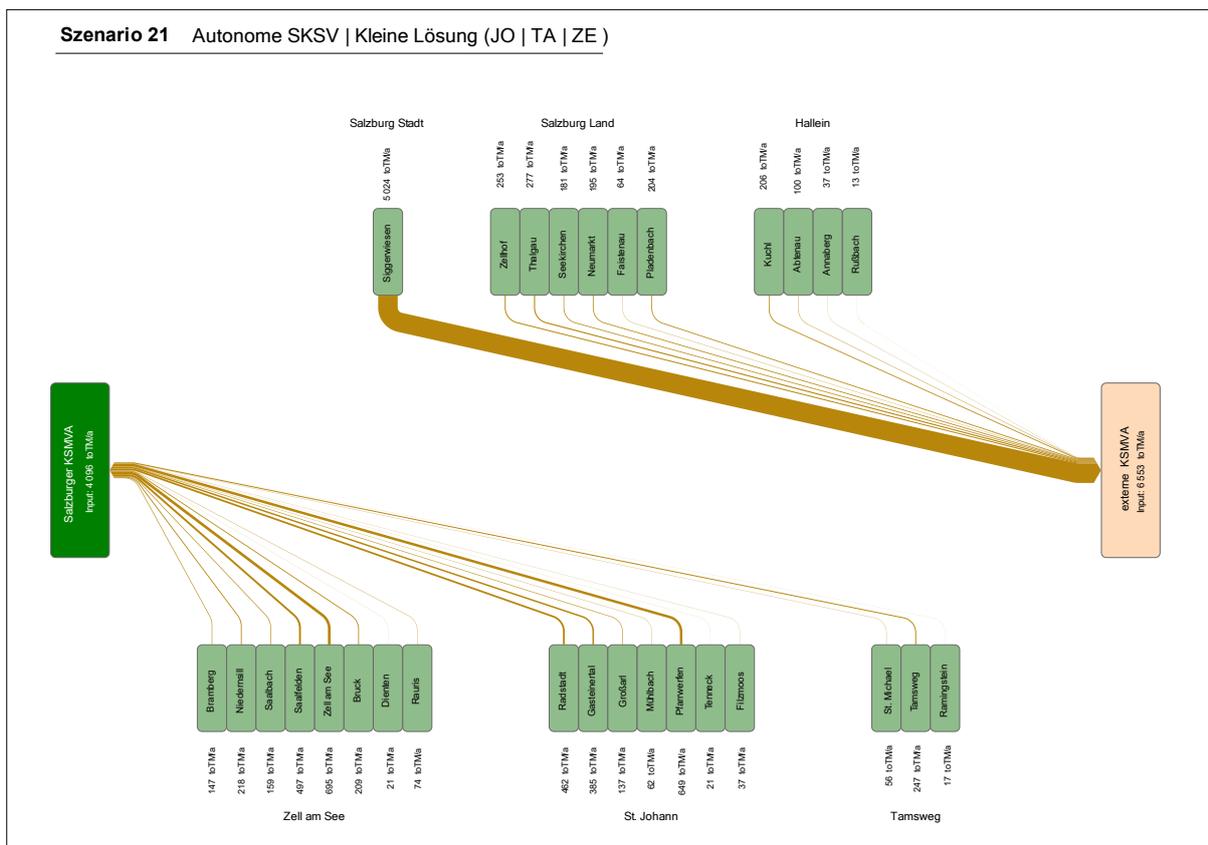


Abbildung 41: Szenario 21 | Autonome SKSV | Kleine Lösung (JO|TA|ZE)

7.2.2 Szenario 24: Autonome SKSV | Mittlere Lösung (HA|JO|SL|TA|ZE)

Alle kommunalen Salzburger Klärschlämme mit Ausnahme der Klärschlämme aus der ARA Siggerwiesen werden in der Salzburger KSMVA verbrannt.

Ca. 1.500 toTM/a müssen über den Pass Lueg transportiert werden.

Die Salzburger KSMVA übernimmt ca. 5.600 toTM/a.

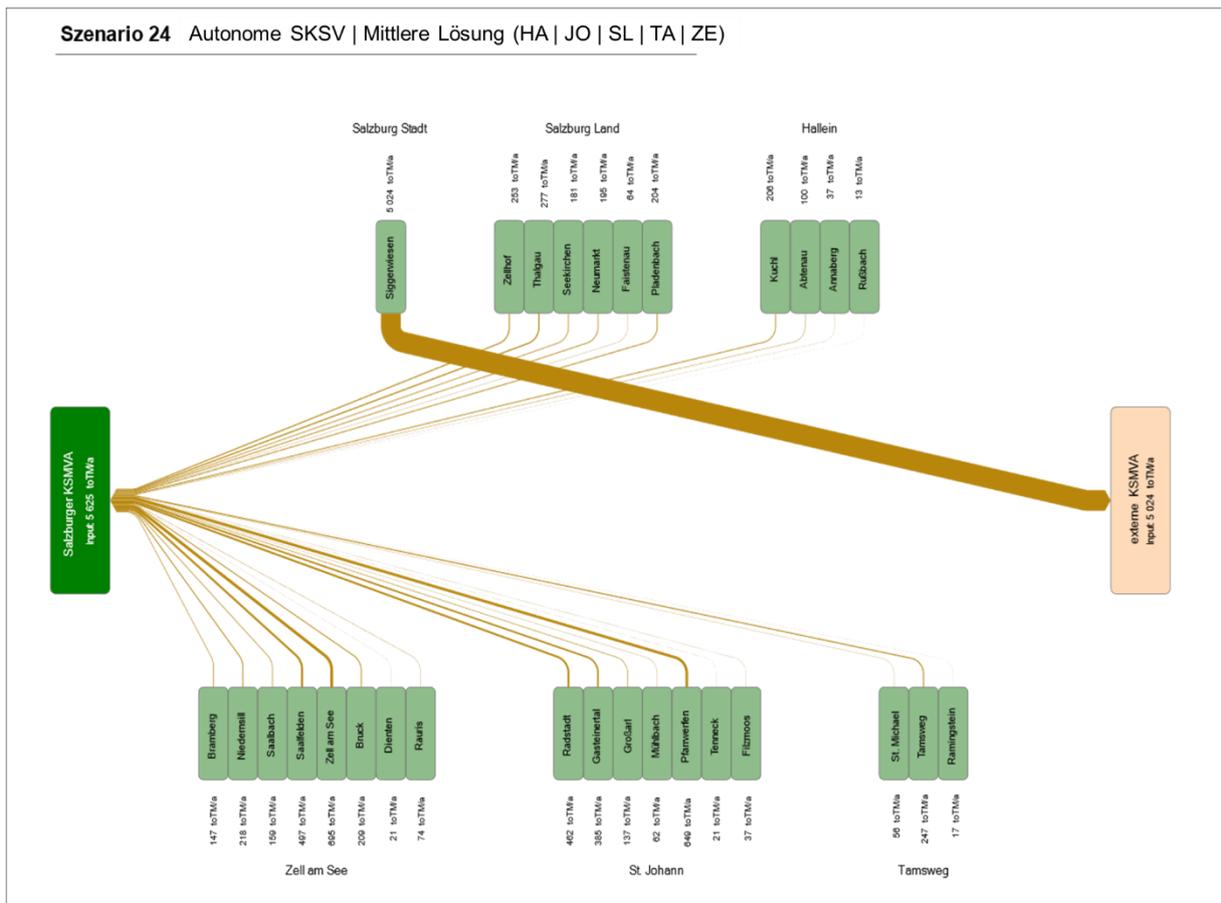


Abbildung 42: Szenario 24 | Autonome SKSV | Mittlere Lösung (HA|JO|SL|TA|ZE)

7.2.3 Szenario 31: Autonome SKSV | Kleine Lösung mit KSTRO (JO|TA|ZE)

Die Klärschlämme aus den Bezirken Salzburg, Salzburg Land und Hallein werden in einer externen KSMVA verbrannt.

Die Klärschlämme aus den Bezirken St. Johann im Pongau, Tamsweg und Zell am See werden in der Salzburger KSMVA verbrannt.

Die Klärschlämme aus den Kläranlagen Radstadt und Pfarwerfen werden in der regionalen KSTRO in der ARA Radstadt getrocknet und als TG in die Salzburger KSMVA geliefert.

Dadurch steigt die der Salzburger KSMVA über den Klärschlamm zugeführte Brennstoffwärmeleistung und es kann, verglichen mit Szenario 21, zum Beispiel mehr Wärme aus der KSMVA in ein Fernwärmesystem eingespeichert werden.

Es entfallen, wie im Szenario 21 die Klärschlammtransporte über den Pass Lueg

Die Salzburger KSMVA übernimmt, wie im Szenario 21 ca. 4.100 toTM/a.

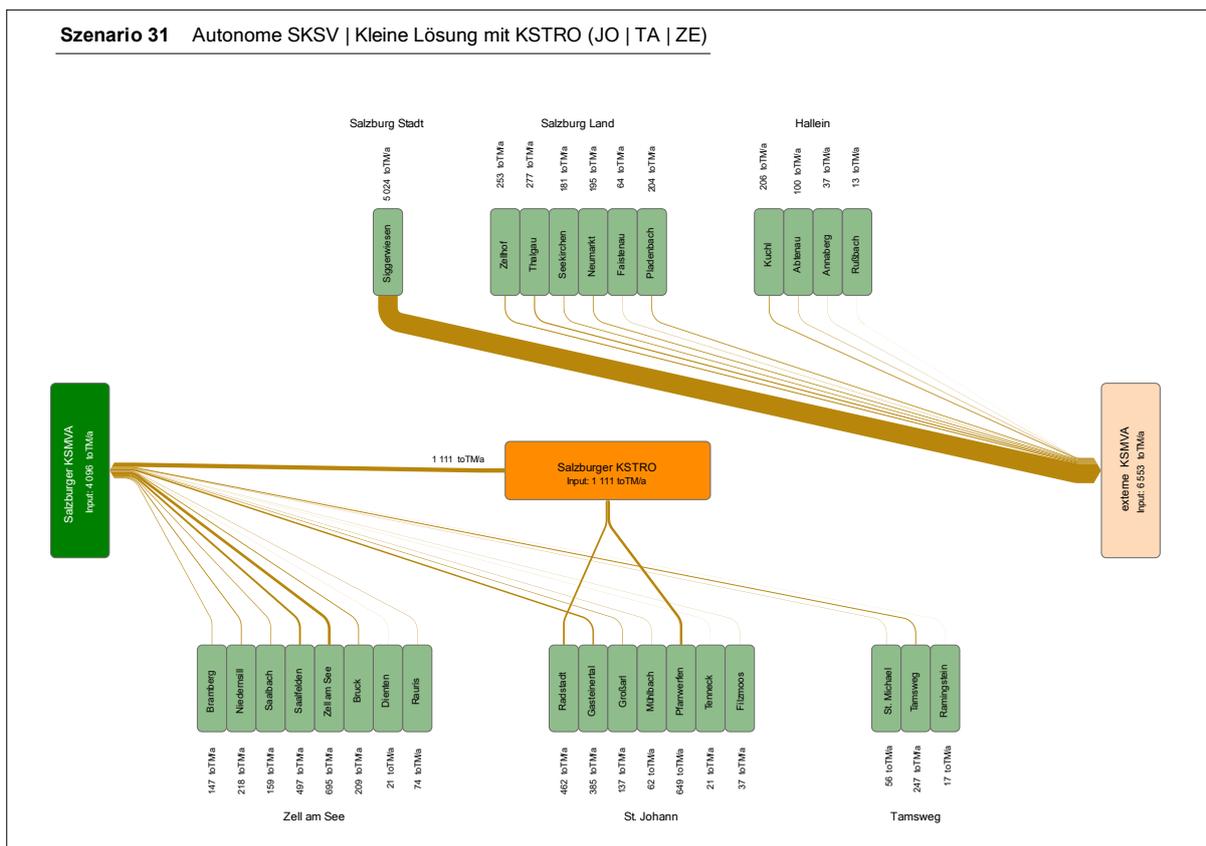


Abbildung 43: Szenario 31 | Autonome SKSV | Kleine Lösung mit KSTRO (JO|TA|ZE)

7.2.4 Szenario 34: Autonome SKSV | Mittlere Lösung mit KSTRO (HA|JO|SL|TA|ZE)

Alle kommunalen Salzburger Klärschlämme mit Ausnahme der Klärschlämme aus der ARA Siggerwiesen werden in der Salzburger KSMVA verbrannt.

Die Klärschlämme aus den Kläranlagen Radstadt und Pfarrwerfen werden in der regionalen KSTRO in der ARA Radstadt getrocknet und als TG in die KSMVA Zell am See geliefert.

Dadurch steigt die der Salzburger KSMVA über den Klärschlamm zugeführte Brennstoffwärmeleistung und es kann, verglichen mit Szenario 31, zum Beispiel mehr Wärme in ein Fernwärmesystem eingespeichert werden.

Ca. 1.500 toTM/a müssen, wie im Szenario 24 über den Pass Lueg transportiert werden

Die Salzburger KSMVA übernimmt wie im Szenario 24 ca. 5.600 toTM/a

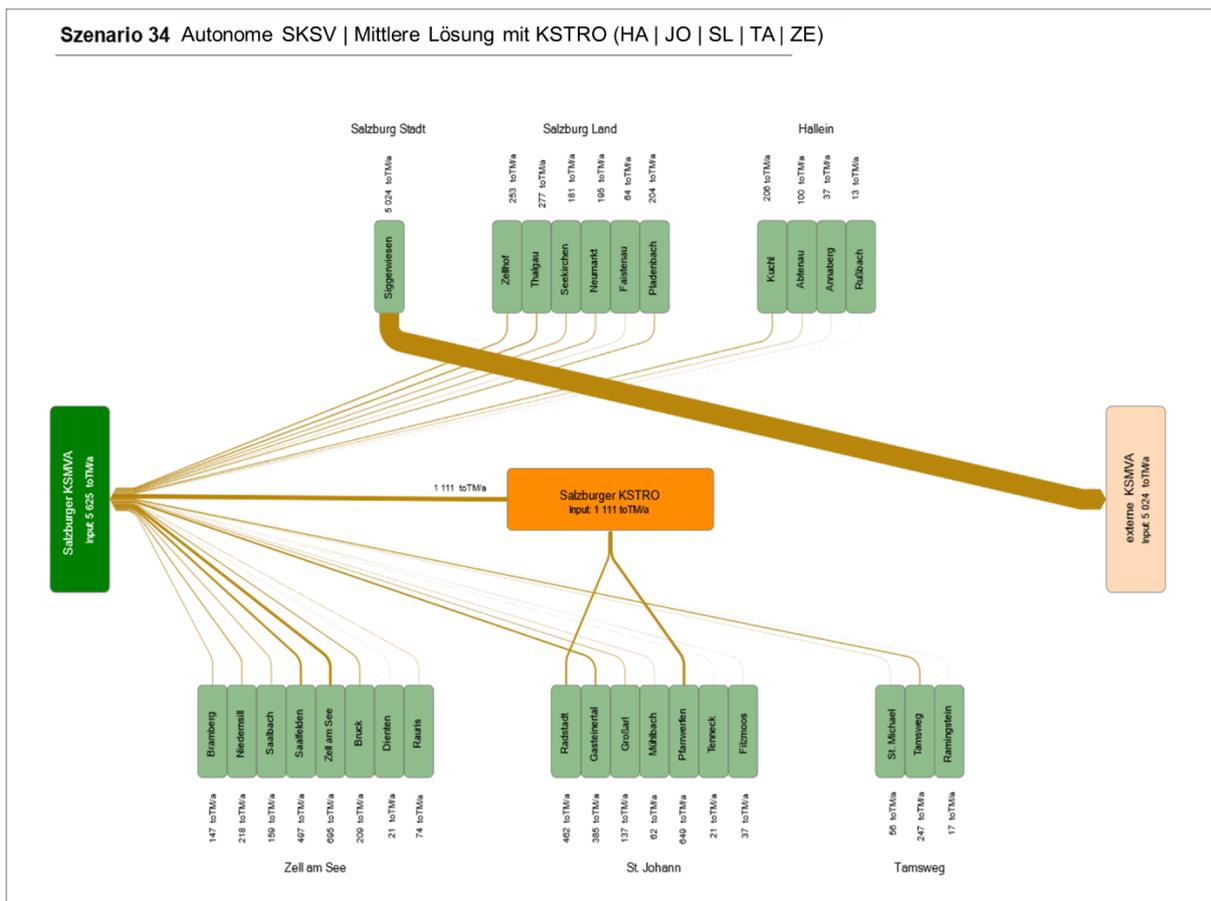


Abbildung 44: Szenario 34 | Autonome SKSV | Mittlere Lösung mit KSTRO (HA|JO|SL|TA|ZE)

7.2.5 Szenario 51: Autonome SKSV | Große Lösung

Die Klärschlämme aller Salzburger Kläranlagen werden im Sinne der autonomen Salzburger Klärschlammverwertung in einer Salzburger KSMVA verbrannt.

Je nach Standort müssen entweder ca. 4.100 toTM/a über den Pass Lueg transportiert werden, wenn die KSMVA im Großraum Salzburg oder in den Bezirken Salzburg Land oder Hallein betrieben wird oder ca. 6.500 toTM/a, wenn die Salzburger KSMVA in den Bezirken St. Johann, Tamsweg oder Zell am See betrieben wird.

Die Salzburger KSMVA übernimmt unabhängig vom Standort ca. 10.600 toTM/a.

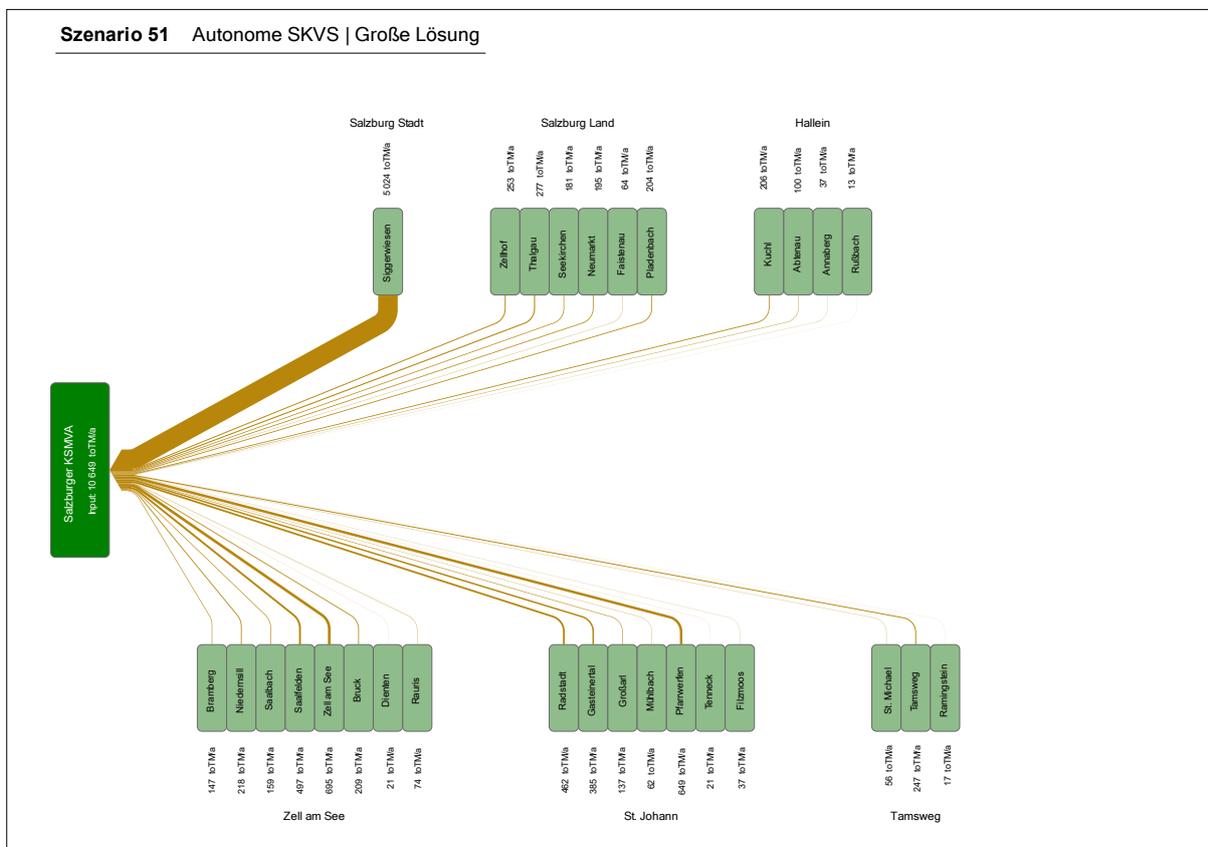


Abbildung 45: Szenario 51 | Autonome SKSV | Große Lösung

7.2.6 Szenario 52: Autonome SKSV | Große Lösung mit KSTRO

Die Klärschlämme aller Salzburger Kläranlagen werden im Sinne der autonomen Salzburger Klärschlammverwertung einer Salzburger KSMVA VA verbrannt.

Je nach Standort müssen entweder ca. 4.100 toTM/a über den Pass Lueg transportiert werden, wenn die KSMVA im Großraum Salzburg oder in den Bezirken Salzburg Land oder Hallein betrieben wird oder ca. 6.500 toTM/a, wenn die Salzburger KSMVA in den Bezirken St. Johann, Tamsweg oder Zell am See betrieben wird.

Die Salzburger KSMVA übernimmt unabhängig vom Standort ca. 10.600 toTM/a.

Die Klärschlämme aus den Kläranlagen Radstadt und Pfarrwerfen werden in der regionalen KSTRO in der ARA Radstadt getrocknet und als TG in die Salzburger KSMVA geliefert.

Dadurch steigt die der Salzburger KSMVA über den Klärschlamm zugeführte Brennstoffwärmeleistung und es kann, verglichen mit Szenario 51, mehr Wärme an externe Verbraucher abgegeben werden.

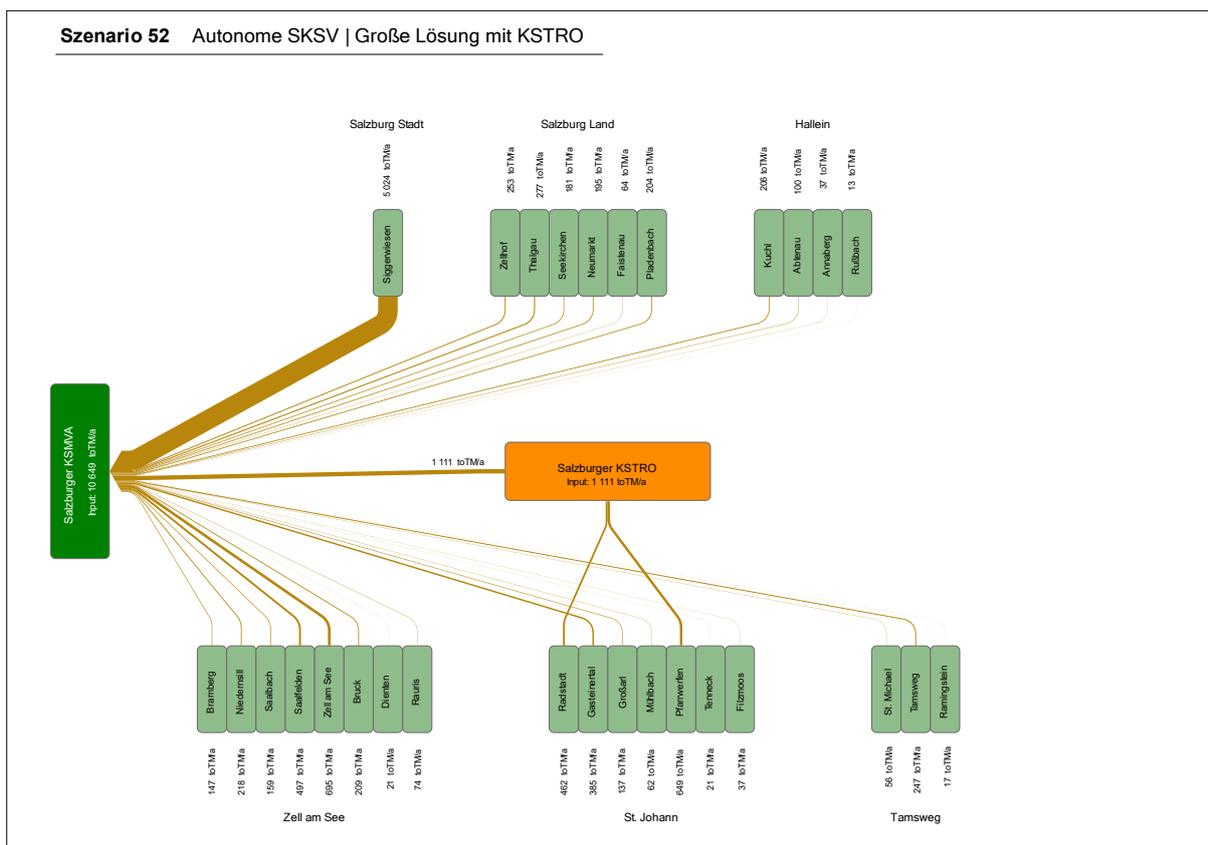


Abbildung 46: Szenario 52 | Autonome SKSV | Große Lösung mit KSTRO

7.2.7 Organisationsmodelle

Für das Projekt „Autonome Salzburger Klärschlammverwertung“ braucht es einen Rechtsträger für die Umsetzung:

- Projektentwicklung
- Planung
- Bewilligung
- Vergabeverfahren
- Errichtung
- Betrieb und Verwaltung

Dafür kommen entweder

- eine Generalunternehmerin, die das Projekt entwickelt und die Anlage plant, errichtet und betreibt und die Dienstleistung „Klärschlammverwertung gemäß § 20 (1) AVV 2024“ an die Salzburger Kläranlagenbetreiber verkauft oder
- ein Rechtsträger unter der Kontrolle der Kläranlagenbetreiber (z.B. GmbH mit ausschließlich Kläranlagenbetreibern als Gesellschafter und Kunden)

in Frage.

Bei der Variante „Generalunternehmerin“ sind zusätzlich vergaberechtliche Aspekte nach der Inbetriebnahme (Kläranlagenbetreiber müssen in der Regel die Klärschlammabfuhr ausschreiben und an Bestbieter vergeben) zu klären, um die dauerhafte Auslastung der Klärschlammverbrennungsanlage abzusichern.

Beim „Rechtsträger unter der Kontrolle der Kläranlagenbetreiber“ ist eine inhouse Vergabe der Schlammverwertung an den Rechtsträger durch die beteiligten Kläranlagenbetreiber möglich.

Die optimale Auslastung der KSMVA wird durch langfristige Verträge für die Klärschlammmanlieferung durch die Gesellschafter sichergestellt.

Den Kläranlagenbetreibern werden Tarife auf Basis der prognostizierten Kosten verrechnet.

Für den Fall, dass die Tarife die Kosten überschreiten, macht der „Rechtsträger unter der Kontrolle der Kläranlagenbetreiber“ einen Gewinn, der entsprechend an die Gesellschafter ausbezahlt werden kann.

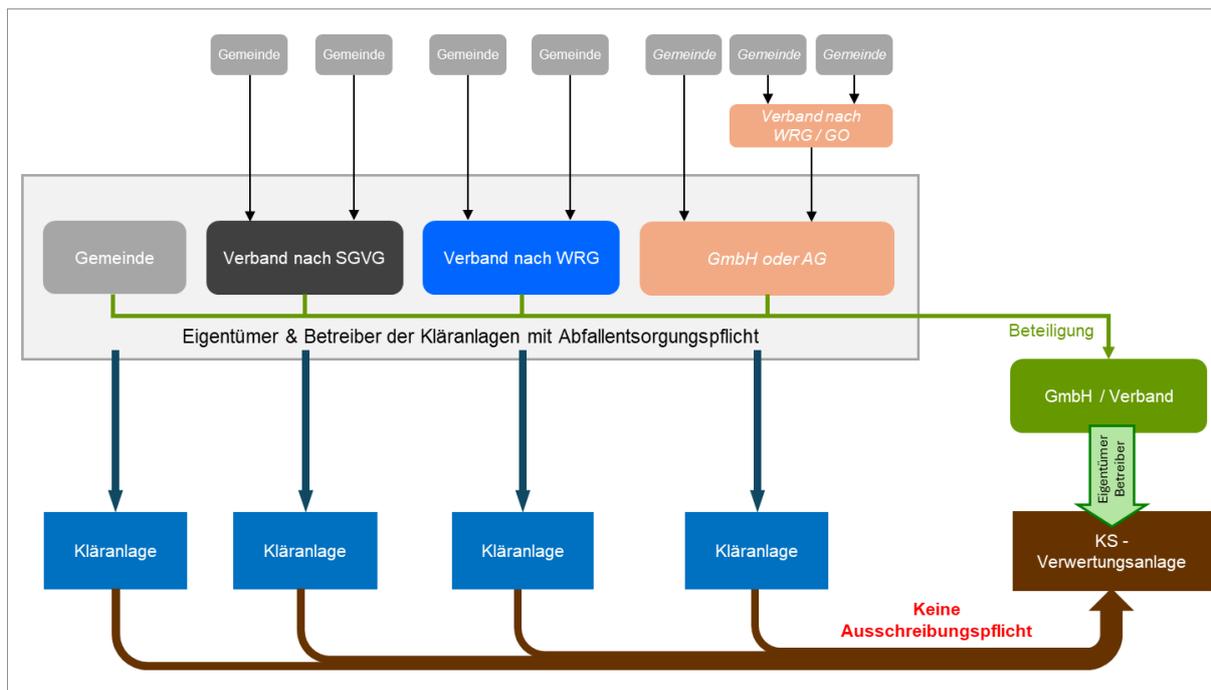


Abbildung 47: Organisationsmodell für den Rechtsträger unter Kontrolle der Kläranlagenbetreiber

Erfahrungsgemäß sollte vor der Gründung des Rechtsträgers auch abgeklärt werden, ob die Satzungen der Kläranlagenbetreiber eine derartige Beteiligung zulassen oder gegebenenfalls angepasst werden müssen.

8 PLANUNGS- UND UMSETZUNGSZEITRÄUME

Erfahrungen aus der Realisierung von Klärschlamm Monoverbrennungsanlagen zeigen, dass zumindest 8 Jahre bei optimalem Projektablauf (Zürich-Werdhölzli, 2008 bis 2015) für die Umsetzung ab Grundsatzentscheidung erforderlich sind.

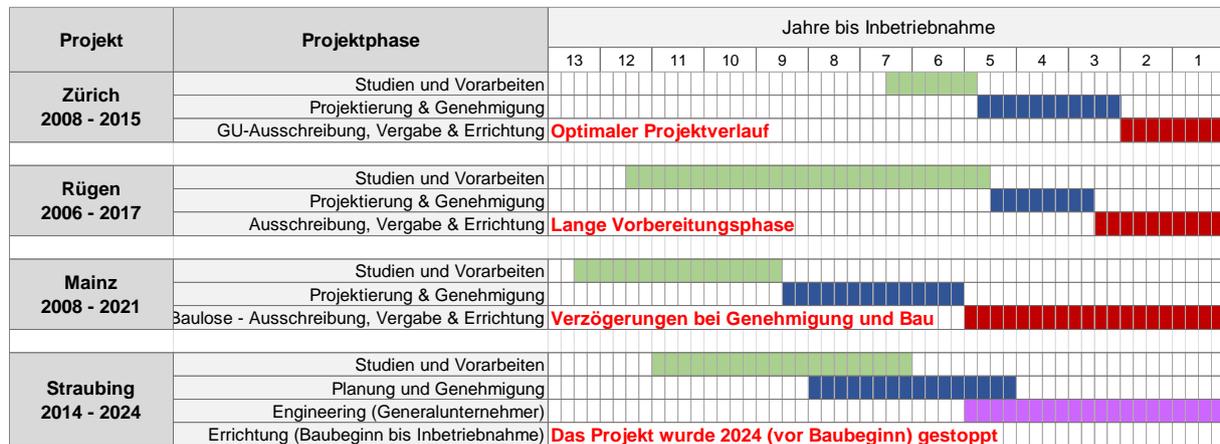


Abbildung 48: Planungs- und Umsetzungszeiträume von Klärschlamm Monoverbrennungsanlagen

Verzögerungen können sich im Projektverlauf insbesondere auch bei der Projektentwicklung und in der Genehmigungsphase (Rügen, Mainz) ergeben, wenn zum Beispiel technische Aspekte (sehr kleine Wirbelschicht-Anlage) oder Standortaspekte kontrovers diskutiert werden.

Die Verzögerungsrisiken bei der Errichtung können unter anderem auch von der gewählten Abwicklung (Auftrag an GU oder Losvergabe für die einzelnen Gewerke) abhängen.

Insbesondere sollten die Lose der Großkomponentenlieferanten und die Bauarbeiten (oft an kleinere lokale Baufirmen vergeben) sorgfältig aufeinander abgestimmt und begleitet werden.

Klärschlamm Monoverbrennungsanlagen und Großkomponenten werden von einer beschränkten Anzahl von Systemanbietern geliefert, die bis Anfang 2029 mit Projekten in Deutschland sehr gut ausgelastet sind.

Inwieweit sich diese Marktlage auf die Vergabe für die Errichtung einer österreichischen KSMVA bis Ende 2032 auswirken wird, kann derzeit nicht seriös prognostiziert werden, zumal in Deutschland aktuell mit Verzögerungen bei der Umsetzung der geplanten KSMVA – Projekte gerechnet wird.⁴⁰

⁴⁰ Korrespondenz Abwasser Abfall, Oktober 2024: Editorial von Rainer Könemann

9 RESÜMEE

Der Widerspruch zwischen

- präzise formulierten Anforderungen für die Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme (§ 20 AVV 2024) ab 1. Jänner 2033
- und derzeit nicht vorhandener Infrastruktur für diese Verwertung

ist die größte Herausforderung für die Planung und Umsetzung der zukünftigen Salzburger Klärschlammverwertungsstrategie.

Die Kläranlagenbetreiber können individuell oder auf Basis der bestehenden positiven Erfahrungen mit der „Salzburger Lösung“ versuchen, sich in Klärschlammverbrennungsanlagen ausreichende Kontingente für die zukünftige Behandlung der kommunalen Salzburger Klärschlämme gemäß § 20 (1) AVV 2024 zu sichern.

Geht man von „großen“ Verbrennungsanlagen aus, ist zu erwarten, dass die aus Deutschland geläufigen Behandlungstarife für die Monoverbrennung (ca. 80 bis 140 €/toMEKS, Preisstand 2023) auch in Österreich erzielt werden können.

Die Übernahmetarife in den kommerziell betriebenen Verbrennungsanlagen werden voraussichtlich allerdings marktbedingten Schwankungen unterliegen.

Alternativ können die kommunalen Salzburger Kläranlagenbetreiber die zukünftige Verwertung der kommunalen Salzburger Klärschlämme selbst in die Hand nehmen und eine von ihnen kontrollierte Rechtspersönlichkeit oder ein Privatunternehmen im Sinne einer „autonomen Salzburger Klärschlammverwertung“ mit der Umsetzung beauftragen.

Die vorgeschlagene autonome Salzburger Klärschlammverwertung umfasst

- eine regionale Klärschlamm Monoverbrennungsanlage an einem logistisch geeignetem Standort (Klärschlammtransporte, Abwärmenutzung, Infrastruktur, etc.)
- mit Additivdosierung für die Erzeugung einer Premium-Klärschlamm- asche, die in Einklang mit der EU Düngeproduktverordnung 2019/1009, dem DMG 2021 und der DMVO 2004 als zugelassenes Düngeprodukt lokal verwertet werden kann.

Die, verglichen mit Großanlagen etwas höheren Kosten in kleineren Verbrennungsanlagen können kompensiert werden, wenn eine hohe Auslastung dauerhaft gesichert wird und mit tatsächlichen Kosten anstelle von Marktpreisen kalkuliert werden kann.

Eine autonome Salzburger Klärschlammverwertung würde sich positiv auf die lokale Wertschöpfung (Errichtung, Betrieb, Abwärme, P-Dünger, etc.) auswirken.

Bis Dezember 2032 verbleiben ca. 8 Jahre für die Realisierung der autonomen Salzburger Klärschlammverwertung.

10 QUELLEN

Für die Ausarbeitung der Studie wurde unter anderem auf die folgenden Quellen zurückgegriffen:

- [1] Abfallverbrennungsverordnung 2024 (AVV 2024)
BGBl II, ausgegeben am 13. Mai 2024 – Nr. 118
- [2] ÖWAV-Expert:innenpapier: Verwendung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm zur Herstellung von Rohstoffen für EU-Düngeprodukte, Wien 2022
- [3] ÖWAV-Expert:innenpapier: Kritische Ressource Phosphor, Wiederherstellung unterbrochener Phosphor-Kreisläufe durch Nutzung der vorhandenen Phosphor-Quellen: Kommunales Abwasser und tierische Nebenprodukte – Aktuelle Hinderungsgründe und Lösungskonzepte, Wien 2018
- [4] ÖWAV-Positionspapier: Klärschlamm als Ressource, Wien 2014
- [5] VSA-Positionspapier: Sinnvolles Phosphor-Recycling aus Abwasser und Klärschlamm, Glattbrugg (CH) 2018
- [6] DWA-Positionspapier: Stellungnahme zur Phosphorrückgewinnung, Hennef 2024
- [7] Plattform SwissPhosphor: Klärschlammverwertung und Phosphorrückgewinnung, Ein aktueller Überblick zu den Klärschlammverwertungswegen und -strategien in der Schweiz und dem Fürstentum Liechtenstein, Ittingen (CH) 2023
- [8] LFU Bayern: Thermische Behandlungsanlagen für Klärschlamm
https://www.lfu.bayern.de/abfall/ueberwachung_aba/klaerschlaemme/index.htm
- [9] Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.: Politikmemorandum zur Phosphor-Rückgewinnung 2023/24, Frankfurt 2024
- [10] AGES: Düngeprodukte nach VO EU 2019/1009 und ihre Konformitätsbewertung
<https://www.ages.at/pflanze/duengemittel/eu-duengeprodukte-und-konformitaetsbewertung>
- [11] DWA: Korrespondenz Abwasser Abfall, 2024 (71) - Nr.10
- [12] Peter Quicker: Ansätze zur alternativen thermischen Klärschlammbehandlung – eine kritische Würdigung, Berliner Klärschlammkonferenz 2020
- [13] Christian Eder: P-XTRACT – P-Verfügbarkeit von Wirbelschichtaschen mit integrierter Schadstoffreduktion, Berliner Klärschlammkonferenz 2021

- [14] Arabel Amann: Towards a National Phosphorous Recycling Policy in Austria, 4th European Sustainable Phosphorous Conference 2022 (ESPC4), Wien 2022
- [15] Leo Morf: Phosphorous Recycling from Sewage Sludge – Strategy of the Canton of Zurich, 4th European Sustainable Phosphorous Conference 2022 (ESPC4), Wien 2022
- [16] Harald Karl Winkler: Klärschlamm-trocknung im Rahmen der zukünftigen Anforderungen an die Klärschlammverwertung, KAN-Sprechertagung, Hagenberg 2022
- [17] Ingo Schoppe: P-Recycling in der Schweiz aus Sicht eines Betreibers, 13. VDI Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Koblenz 2022
- [18] Marc Buttman: TerraNova®ultra (Hydrothermale Karbonisierung), Berliner Klärschlammkonferenz 2022
- [19] Ludwig Hermann: Novellierung der EU-Klärschlammrichtlinie (Sewage Sludge Directive 86/278/EEC) aus Sicht der European Sustainable Phosphorous Plattform, ÖWAV Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [20] Tabea Knickel: Erfahrungen mit und Herausforderungen bei dem Vollzug der AbfKlärV in Deutschland, ÖWAV-Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [21] Arabel Long, Herausforderungen an die P-Rückgewinnung in Österreich, die sich aus AVVneu und dem Expert:innenpapier des ÖWAV zur Qualität der Rückgewinnungsprodukte ergeben, ÖWAV Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [22] Alexander Kirchner: Klärschlammverwertung und Phosphorrecycling in Wien, ÖWAV Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [23] Harald Erber: Erfahrungen beim Transport von Klärschlamm, ÖWAV Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [24] Christopher Prax-Huber: Equipment-Lösungen der RCG für Abfalltransporte per Bahn, ÖWAV Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [25] Andreas Feistritzer, Helmut Wilfinger: Erfahrungsbericht über die Inbetriebnahme der Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage Großwilfersdorf, ÖWAV Klärschlamm-tage, Wels 2022
- [26] Patric Heidecke: Aktueller Stand der Kapazitätsentwicklung zur thermischen Klärschlammbehandlung, DWA Klärschlamm-tage, Würzburg 2023
- [27] Nils Moggert: Betriebserfahrungen dezentraler Klärschlammverbrennung im Drehrohrkessel, DWA Klärschlamm-tage, Würzburg 2023
- [28] Matthias Schnell, Kirsten Stark, Peter Quicker: Thermochemische Phosphorrückgewinnung mittels Additivzugabe bei der Klärschlammverbrennung, Berliner Klärschlammkonferenz 2023

- [29] Kirsten Stark et al: Status Quo der thermischen Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung in Deutschland, Berliner Klärschlammkonferenz 2023
- [30] Rüdiger Schmidt, Joachim Schuh: Erfahrung bei der Inbetriebnahme eines Drehrohrofens, 15. VDI Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Wolfsburg 2024
- [31] Andreas Rak, Remondis TetraPhos® Nachhaltigkeit für eine endliche Ressource, 15. VDI Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Wolfsburg 2024
- [32] Christian Kabbe: Klärschlammasche – erneuerbare heimische Rohstoffquelle – vom entsorgten Abfall zum mineralischen Multielementkonzentrat, 15. VDI Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Wolfsburg 2024
- [33] Jürgen Eschment, Stand und Möglichkeiten zur Umsetzung der AbfklärV, 15. VDI Fachkonferenz Klärschlammbehandlung, Wolfsburg 2024
- [34] EVU-Abfallartenliste: Transport von Abfallarten (transport_abfallarten_2023_UA.pdf) Seite 54/56
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/digitale-abfrageplattform.html