



Klärschlamm

Materialien zur Abfallwirtschaft





umweltbundesamt^U

KLÄRSCHLAMM

Materialien zur Abfallwirtschaft

Judith Oliva
Antonia Bernhardt
Hubert Reisinger
Manfred Domenig
Hans-Jörg Krammer

REPORT
REP-0221

Klagenfurt, 2009

Projektleitung

Manfred Domenig

AutorInnen

Judith Oliva

Antonia Bernhardt

Hubert Reisinger

Manfred Domenig

Hans-Jörg Krammer

Übersetzung

Brigitte Read

Lektorat

Eva Sacher

Maria Deweis

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagfoto

Kläranlage (© Bernhard Gröger, Umweltbundesamt)

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erstellt.

Zitiervorschlag

Umweltbundesamt (2009): Oliva, J.; Bernhardt, A.; Reisinger, H.; Domenig, M. & Krammer, H.-J.: Klärschlamm – Materialien zur Abfallwirtschaft. Report, REP-0221. Umweltbundesamt, Klagenfurt, Wien.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung, gedruckt auf Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Klagenfurt, 2009

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-019-5

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
SUMMARY	7
1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	9
2 SPEZIFIKATION VON KLÄRSCHLAMM	10
2.1 Definition und Herkunft	10
2.2 Abfallbezeichnungen für Klärschlamm	11
2.3 Beschreibung von Klärschlamm	13
2.3.1 Stoffdaten	13
2.3.2 Eigenschaften von Klärschlamm	14
2.3.3 Zusammensetzung von Klärschlamm	17
3 MASSENSTRÖME VON KLÄRSCHLAMM	22
3.1 Klärschlammaufkommen	22
3.1.1 Klärschlammaufkommen in der EU.....	22
3.1.2 Österreich	23
3.1.3 Burgenland	25
3.1.4 Oberösterreich.....	25
3.1.5 Restliche Bundesländer	26
3.2 Importe/Exporte	26
3.3 Massenströme bei der Klärschlammbehandlung	28
3.3.1 Klärschlammbehandlung in der EU.....	28
3.3.2 Behandlung österreichweit	29
3.3.3 Behandlung in den Bundesländern Burgenland, Kärnten, Salzburg, Steiermark, Tirol	32
3.3.4 Behandlung in Niederösterreich	32
3.3.5 Behandlung in Oberösterreich	33
3.3.6 Klärschlammbehandlung in Vorarlberg	35
3.3.7 Klärschlammbehandlung in Wien.....	35
4 RECHTLICHER RAHMEN	36
4.1 EU-Gesetzgebung	36
4.2 Bundesgesetzliche Regelungen	37
4.3 Regelungen der Bundesländer zum Bodenschutz und zur Klärschlammnutzung	43
4.3.1 Burgenland	43
4.3.2 Kärnten	44
4.3.3 Niederösterreich	45
4.3.4 Oberösterreich.....	45
4.3.5 Salzburg	47
4.3.6 Steiermark	47



4.3.7	Tirol	48
4.3.8	Vorarlberg.....	49
4.3.9	Wien	49
5	ABFALLVERMEIDUNG.....	50
6	BEHANDLUNGSWEGE VON KLÄRSCHLAMM	52
6.1	Vorbehandlung (Klärschlamm-trocknung)	52
6.2	Direkte landwirtschaftliche Verwertung	54
6.3	Klärschlammkompostierung.....	57
6.4	Klärschlammvererdung und Landschaftsbau.....	59
6.5	Vergärung – Biogasanlagen.....	60
6.6	Behandlung in der MBA	61
6.7	Thermische Behandlung	63
6.7.1	Abfallverbrennungsanlagen	69
6.7.2	Monoverbrennungsanlagen für Klärschlamm	72
6.7.3	Mitverbrennungsanlagen.....	78
6.8	Phosphor-Rückgewinnung	81
6.9	Deponierung	95
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	97
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	100
9	TABELLENVERZEICHNIS	102
10	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	106
11	LITERATURVERZEICHNIS	108



ZUSAMMENFASSUNG

Klärschlämme fallen in Abwasserreinigungsanlagen an und dienen als Schadstoffsenke für die zu reinigenden Abwässer. Klärschlämme beinhalten einerseits Nährstoffe wie Stickstoff oder Phosphor, andererseits können sie mit biologisch schwer abbaubaren organischen Substanzen, mit hohen Konzentrationen an Schwermetallen, mit pathogenen Organismen (z. B. Viren und Bakterien) sowie mit hormonell wirksamen Substanzen belastet sein.

Im Zeitraum 2001–2007 ist das Aufkommen an kommunalen Klärschlämmen in Österreich um rund 1 %/a gestiegen. Dies kann auf das Bevölkerungswachstum, eine Erhöhung des Anschlussgrades der Abwässer an das öffentliche Kanalnetz und auf den gestiegenen Lebensstandard zurückgeführt werden. Das Aufkommen der industriellen Klärschlämme ist im selben Zeitraum um 2,3 %/a gestiegen. Dies entspricht dem realen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts.

Bei der Behandlung der Klärschlämme kommt es zu einem Konflikt zwischen den abfallwirtschaftlichen Zielen

- Kreislaufschließung (umgesetzt vor allem durch eine landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme) und
- Schaffung sicherer Senken der Schadstoffe (umgesetzt vor allem durch Verbrennung mit anschließender Deponierung der Rückstände).

Die thermische Verwertung in der Klärschlamm-Monoverbrennung mit anschließender Phosphor-Rückgewinnung könnte in Zukunft einen Ausweg aus diesem Zielkonflikt weisen.

In Bezug auf die Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Flächen bestehen in den Bundesländern spezifische Regelungen, wobei diese meist per Verordnung umgesetzt sind. Neben der möglichen direkten Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen können Klärschlämme gemäß Kompostverordnung als Inputstoffe in Kompostanlagen zur Herstellung von

- Qualitätsklärschlammkompost oder
- Kompost, der auf nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen (z. B. im Zuge des Landschaftsbaus) aufgebracht werden kann

Eingang finden.

Durch definierte Behandlungsschritte und die Beimischung entsprechender anderer Abfallfraktionen können die Eigenschaften des resultierenden Komposts an die Nutzungserfordernisse (z. B. die Düngeparameter des Bodens) angepasst werden.

Aufgrund der BSE-Krise und des Vorkommens von Schwermetallen und organischen Schadstoffen, Krankheitskeimen, Wurmeiern usw. in Klärschlämmen wird eine Verwertung in der Landwirtschaft bzw. eine Aufbringung auf Böden (Rekultivierung, Landschaftsbau) oftmals in Frage gestellt. Eine Verschiebung der landwirtschaftlichen Verwertung hin zur Verbrennung (Mono-, Mitverbrennung) ist in Österreich seit einigen Jahren zu beobachten.

Dieser Klärschlammbericht fasst das bestehende Wissen zu

- Klärschlammzusammensetzungen,
- Klärschlammströmen in Österreich,



- rechtlichen Rahmenbedingungen,
- Abfallvermeidung im Bereich des Klärschlammes und
- Klärschlammbehandlung

zusammen.

Bei der Klärschlammbehandlung werden die zurzeit in Österreich eingesetzten Verfahren und für die Bereiche dezentrale Monoverbrennung und Phosphor-Rückgewinnung innovative Konzepte beschrieben. Das abschließende Kapitel leitet aus den vorgestellten Informationen Grundsätze für die zukünftige Klärschlammbehandlung ab.

SUMMARY

Sewage sludge is a residue from waste water treatment plants containing the hazardous substances recovered from the waste water undergoing the cleaning process. The hazardous substances may include organic substances persistent in terms of biological degradation, heavy metals, pathogenic organisms – such as viruses or bacteria – or endocrine substances. Sewage sludges, however, also contain nutrients such as nitrogen and phosphorus.

In the period 2001 to 2007, municipal sewage sludge arisings in Austria increased at an average rate of 1%/a. This growth can be related to the growth of the population, the increased level of connection of waste water with the public sewage system and to a higher standard of living. The arisings of industrial sewage sludge in Austria increased at an average rate of 2.3%/a during the period 2001 to 2007. This growth corresponds to the GDP growth in this period.

When treating sewage sludge, two conflicting objectives need to be balanced:

- Closing the material cycle for substances of value (primarily by agricultural use of sewage sludge).
- Destruction/separation of hazardous substances (primarily by incineration and land-filling of the incineration residues).

Thermal treatment in sewage sludge mono-incineration with subsequent phosphorus recovery might have the potential to achieve both objectives simultaneously.

The Austrian provinces have issued regulations (mostly in the form of ordinances) concerning the use of sewage sludge on agricultural land. Apart from the direct use of sewage sludge in agriculture, sewage sludge may also be used as input for the preparation of compost. When the resulting compost contains low concentrations of heavy metals it may be used in agricultural production as substitute for fertilizers. If the heavy metals concentrations are somewhat higher but still below certain limit values the compost may be used to improve areas which are not used for agricultural production.

Certain treatment techniques and an appropriate mix of sewage sludge with other waste fractions allow the production of a type of compost which meets the requirements for subsequent use (e.g. fertilization needs of the relevant soil).

Because of the BSE crisis as well as heavy metals, organic substances, bacteria and viruses etc. contained in sewage sludge, its agricultural use is frequently put into question. Consequently, a shift towards incineration can be observed in Austria.

The present sewage sludge report summarizes the existing knowledge of

- Sewage sludge compositions,
- Sewage sludge flows in Austria,
- Legal framework conditions,
- Waste prevention measures concerning sewage sludges and
- Sewage sludge treatment.



With respect to the latter point, this report describes the techniques currently used in Austria and innovative concepts (for de-centralised sewage sludge incineration and phosphor recovery).

In the concluding chapter, general principles are derived, from the information presented, for the future treatment of sewage sludge.



1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Aufgrund der Bestimmungen der Deponieverordnung darf unbehandelter Klärschlamm nicht mehr deponiert werden. Auch der Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft ist seit Jahrzehnten umstritten. Es müssen zum Teil neue Wege gefunden werden, um die Bewirtschaftung von Klärschlamm zu optimieren bzw. die Behandlung von Klärschlamm sicherzustellen. Vor allem im Bereich der dezentralen Klärschlammverbrennung und der Phosphor-Rückgewinnung sind aktuell viele Entwicklungen im Gange.

Ziel dieses Berichtes ist es, das bekannte Wissen über den Klärschlamm in Österreich und eine effiziente Klärschlammbehandlung zusammenzufassen. Es sollen die wichtigsten Informationen über

- das Aufkommen und die Eigenschaften von Klärschlamm in Österreich,
- die gesetzlichen Rahmenbedingungen,
- die Abfallvermeidung in Zusammenhang mit Klärschlamm,
- die Behandlung und Nutzung von Klärschlamm in Österreich sowie
- Behandlungsverfahren

gegeben werden.

Um den Bestimmungen der Deponieverordnung nach einem Brennwert von mechanisch biologisch vorbehandeltem Material $< 6.600 \text{ kJ/kg}$ oder einem TOC $< 5 \%$ nachzukommen, sind Klärschlämme einer Behandlung zu unterziehen. Da die verschiedenen Behandlungsmöglichkeiten sehr stark von den gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen, wird dieses Kapitel ausführlicher behandelt.

Die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe werden in der Landwirtschaft zur Produktivitätssteigerung genutzt. Vor allem Phosphor als begrenzte Ressource gewinnt immer mehr an Bedeutung. Daneben sind aber auch Stickstoff, Kalzium, Magnesium, Schwefel und Mikronährstoffe wie Eisen, Kupfer, Zink und Bor für den Pflanzenbau wichtig (KROISS 2007). Andererseits kann der anfallende Schlamm mehr oder weniger stark mit gelösten und ungelösten organischen und anorganischen Stoffen belastet sein. Als Schadstoffe sind Schwermetalle und die organischen Summenparameter (PCDD/PCDF, PCB, PAK), aber auch bestimmte Krankheitserreger und Wurmeier zu beachten.

Bedenken über die Ausbringung von Klärschlämmen auf Böden wurden vor allem durch die BSE-Krise (Rinderwahnsinn), Erkenntnisse über Stoffe, die endokrin wirksam sind (z. B. Hormone), ausgeschiedene Arzneimittel, Schwermetalle, Wurmeier usw. ausgelöst, welche dazu geführt haben, dass z. B. in Teilen von Deutschland oder der Schweiz die Ausbringung von Klärschlämmen untersagt wurden.

2 SPEZIFIKATION VON KLÄRSCHLAMM

2.1 Definition und Herkunft

In Kläranlagen werden kommunale bzw. industrielle Abwässer, die über ein Kanalnetz gesammelt und abgeleitet werden, gereinigt. Dabei entsteht Klärschlamm, der als Senke für Schadstoffe aus kommunalen und industriellen Abwässern dient.

Laut Anforderungen der Richtlinie 91/271/EWG sind in Österreich geschlossene Siedlungsgebiete mit mehr als 2.000 Einwohnerinnen und Einwohnern an eine Kanalisation angeschlossen.

Bei konventionellen kommunalen Abwasserreinigungsanlagen werden im Wesentlichen mechanische, biologische und chemische Reinigungsstufen sowie die Schlammbehandlung unterschieden.

Das zu reinigende Abwasser enthält feste Inhaltsstoffe, die sich in der Kläranlage absetzen (sedimentiert werden) und den Primärschlamm bilden (siehe Abbildung 1). Durch mikrobielle Prozesse entsteht zusätzlich zum Primärschlamm der Bakterien-schlamm (Überschussschlamm). Primärschlamm und Bakterien-schlamm werden in der Regel einer Voreindickung, einer anaeroben Behandlung, einer Nacheindickung und einer Entwässerung unterzogen. Der gebildete Klärschlamm wird in vielen Fällen getrocknet.

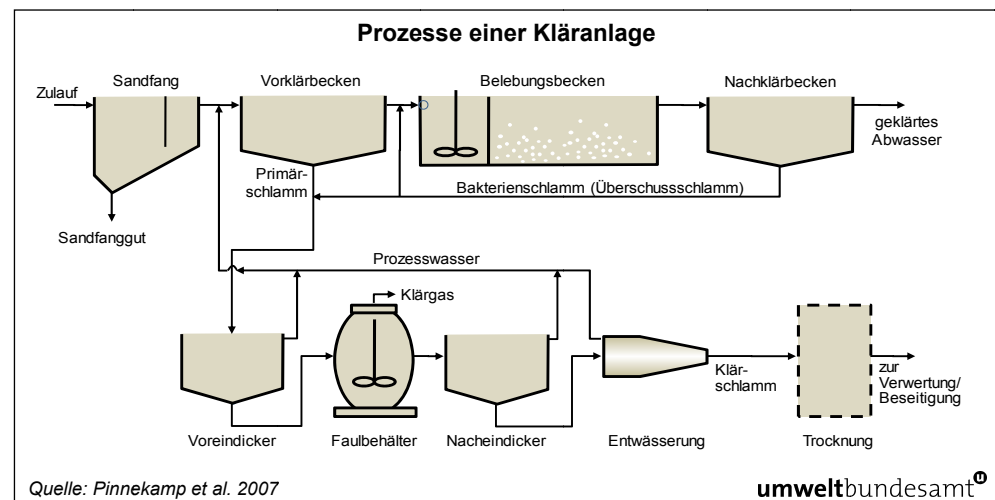


Abbildung 1: Vereinfachtes Fließbild einer Kläranlage mit aerober und anaerober Behandlung (nach PINNEKAMP et al. 2007).

Kommunale Klärschlämme entstehen in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen und Fäkalschlämme in privaten Kleinklär- und Sammelanlagen.

Industrielle Klärschlämme entstehen bei der Reinigung von industriellen Abwässern und bei verschiedenen Produktionsprozessen und unterscheiden sich stark in Qualität und Aufkommen. Ein Beispiel für einen industriellen Klärschlamm ist Phosphatierschlämme.

Weitere Definitionen:

- Primärschlamm
 - entsteht während der mechanischen Reinigungsstufe,
 - fault schnell,



- hat grauschwarze, graubraune bis gelbe Farbe,
- Qualität hängt von den Verweilzeiten des kommunalen Abwassers in der mechanischen Reinigungsstufe ab.
- Sekundärschlamm (Bakterienschlamm)
 - ist der während des biologischen Verfahrens gebildete Zuwachs an nicht zurückgeführtem belebtem Schlamm,
 - entsteht aus der Lebenstätigkeit der am Reinigungsprozess beteiligten Mikroorganismen.
- Tertiärschlamm
 - entsteht durch die dritte Abwasserreinigungsstufe, z. B. Phosphatfällung.
- Rohschlamm
 - ist der Oberbegriff für unbehandelte Schlämme.
- Faulschlamm
 - entsteht durch Faulungsprozess,
 - ist schwarz, riecht erdig.

Ziele der Klärschlammbehandlung sind es,

- das Volumen des Klärschlammes durch Abtrennung von Wasser zu reduzieren (Eindicken, Entwässern, Trocknen, Verbrennen),
- den Schlamm zu hygienisieren, so dass keine Krankheitserreger (Keime) in die Umwelt gelangen,
- den Klärschlamm in eine Form überzuführen, in welcher er ohne Geruchsbelästigung gelagert und in die Umwelt zurückgegeben werden kann.

2.2 Abfallbezeichnungen für Klärschlamm

In Tabelle 1 sind die Abfallbezeichnungen für Schlämme aus der kommunalen Abwasserbehandlung nach dem Europäischem Abfallkatalog (EAK), nach der ÖNORM S 2100 (Abfallkatalog) und der Abfallverzeichnisverordnung (Umschlüsselung mittels ONR 1921 – Umschlüsselungshilfe) angegeben. Nach der ÖNORM S 2100 wird kommunaler Klärschlamm den Schlüsselnummerngruppen 922, 943 und 945 zugeordnet.



Klärschlamm – Spezifikation von Klärschlamm

Tabelle 1: Fraktionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung gemäß Europäischem Abfallkatalog (EAK), ONR 1921 und ÖNORM S 2100.

EAK		ÖNORM S 2100			
Abfallcode	Abfallbezeichnung	Schlüsselnummer (SN)	Spez.	g	Abfallbezeichnung
		92201			kommunale Qualitätsklärschlämme
		92212			kommunale Klärschlämme
190805	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser	94302			Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung
		94302	77	g	Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung – gefährlich kontaminiert
		94501			anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm)
		94502			aerob stabilisierter Schlamm
190899	Abfälle a.n.g.	94301			Vorklärschlamm
		94301	77	g	Vorklärschlamm – gefährlich kontaminiert
200304	Fäkalschlamm	94303			Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben
		94303	77	g	Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben – gefährlich kontaminiert

Spez. 77... Spezifikation 77 = gefährlich kontaminiert; g...gefährlich, a.n.g. ... anderswo nicht genannt

Tabelle 2 zeigt die Abfallbezeichnungen in Zusammenhang mit industriellen Klärschlämmen gemäß ÖNORM S 2100 und Tabelle 3 gemäß Europäischem Abfallkatalog.

Tabelle 2: Fraktionen aus der industriellen Abwasserbehandlung nach ÖNORM S 2100.

SN	Spez.	g	Abfallbezeichnung
92202			Gering belastete Schlämme aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie ausschließlich pflanzlicher Herkunft
92501			Gering belastete Schlämme aus der Nahrungs-, Genuss- und Futtermittelindustrie tierischer Herkunft
92503			Gelatinerückstände
92504			„Flotat“-Schlamm, Pressfilterrückstände von Mast- und Schlachtbetrieben, für Qualitätsklärschlammkompost
94801		g	Schlamm aus der Abwasserbehandlung, mit gefährlichen Inhaltsstoffen
94801	91	g	Schlamm aus der Abwasserbehandlung, mit gefährlichen Inhaltsstoffen – verfestigt
94802			Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung
94802	91		Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung – verfestigt
94803			Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung
94804			Schlamm aus der Abwasserbehandlung, ohne gefährliche Inhaltsstoffe
94804	91		Schlamm aus der Abwasserbehandlung, ohne gefährliche Inhaltsstoffe – verfestigt

SN... Schlüsselnummer; Spez. ... Spezifikation; g ... gefährlich



Tabelle 3: Fraktionen aus der industriellen Abwasserbehandlung nach Europäischem Abfallkatalog (EAK), ONR 1921 und ÖNORM S 2100.

EAK		ÖNORM S 2100
Abfallcode	Abfallbezeichnung	Schlüsselnummer (SN)
030310	Faserabfälle, Faser-, Füller- und Überzugsschlämme aus der mechanischen Abtrennung	94801
		94802
		94803
060502	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	94801
060503	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung mit Ausnahme derjenigen, die unter 060502 fallen	94801
070711	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, die gefährliche Stoffe enthalten	94801
070712	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung, mit Ausnahme derjenigen, die unter 070711 fallen	94801
190811	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser, die gefährliche Stoffe enthalten	94801
190812	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser, mit Ausnahme derjenigen, die unter 190811 fallen	94801
190813	Schlämme, die gefährliche Stoffe aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser enthalten	94801
190814	Schlämme aus einer anderen Behandlung von industriellem Abwasser, mit Ausnahme derjenigen, die unter 190813 fallen	94801
190902	Schlämme aus der Wasserklärung	94101

2.3 Beschreibung von Klärschlamm

2.3.1 Stoffdaten

Tabelle 4 zeigt die charakteristischen Eigenschaften von Roh- und Faulschlamm.

Tabelle 4: Charakteristik von Roh- und Faulschlamm (IWA-TU-Wien, 2008).

Eigenschaften	Rohschlamm	Faulschlamm
Farbe	gelblich-grau	schwarz
Geruch	nach Fäkalien	teerig/erdig
Entwässerbarkeit	schlecht	gut
Fließfähigkeit	schlecht	gut
Wassergehalt	92–96 %	94–97 %
Trockensubstanzgehalt (TS)	4–8 %	3–6 %
Glühverlust (GV)	60–80 %	45–55 %
pH-Wert	5,8–7,0	7,0–8,0
Organische Säuren	1.500–3.000 mg/l	< 500 mg/l



2.3.2 Eigenschaften von Klärschlamm

Vorklärschlamm – ÖNORM-SN 94301

Der so genannte Primärschlamm entsteht im Vorklärbecken. Dabei fließt das Schmutzwasser sehr langsam durch dieses Becken. Schwere Inhaltsstoffe (absetzbare Stoffe) setzen sich aus diesem Grund am Boden ab (UMWELTBUNDESAMT 2005b).

Tabelle 5 zeigt die wichtigsten Eigenschaften von Vorklärschlamm.

Tabelle 5: Beschreibung von Vorklärschlamm (UMWELTBUNDESAMT 2005b).

Parameter	Beschreibung
ÖNORM-SN	94301
Beschreibung	Vorklärschlamm
Abfallgruppe	Abfälle aus Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und Gewässernutzung – nichtstabilisierte Schlämme aus mechanisch-biologischer Abwasserbehandlung, soweit sie nicht in anderen Positionen enthalten sind (Rohschlamm, Frischschlamm)
Gefährlichkeit	nicht gefährlich
Branche	k. A.
Aufkommen BAWP 2001	50 t
Herkunft	Aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (biologische, mechanische)
Allgemeine Zusammensetzung	Verunreinigungen je nach Einzugsgebiet der Kläranlage; infektiöses Material kann nicht ausgeschlossen werden
Eigenschaften	Flüssig bis pastös (je nach Entwässerungsgrad); schlammig bis erdig; Farbe graubraun; Geruch süßlich bis faulig

Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung – ÖNORM-SN 94302

Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung ist der Belebtschlamm, der zur Konstanthaltung einer vorgewählten Biomassekonzentration bzw. eines vorgewählten Schlammalters aus einer Belebungsanlage abgezogen und in die Vorklärung gepumpt wird (www.wasser-wissen.de).

Tabelle 6 zeigt die wichtigsten Eigenschaften von Überschussschlamm.

Tabelle 6: Beschreibung von Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung (UMWELTBUNDESAMT 2005b).

Parameter	Beschreibung
ÖNORM-SN	94302
Beschreibung	Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung
Abfallgruppe	Abfälle aus Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und Gewässernutzung – nichtstabilisierte Schlämme aus mechanisch-biologischer Abwasserbehandlung, soweit sie nicht in anderen Positionen enthalten sind (Rohschlamm, Frischschlamm)
Gefährlichkeit	nicht gefährlich
Branche	k. A.
Aufkommen BAWP 2001	70 t
Herkunft	Aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen, biologischen Kläranlagen
Allgemeine Zusammensetzung	Mögliche Verunreinigungen je nach Einzugsgebiet der Kläranlage
Eigenschaften	Flüssig bis pastös (je nach Entwässerungsgrad), schlammig bis erdig; infektiöses Material kann nicht ausgeschlossen werden; Geruch nach Klärschlamm (süßlich bis faulig); Farbe graubraun; manchmal mit Kalk vermischt

Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben – ÖNORM-SN 94303

Als Fäkalschlamm kann der Klärschlamm aus Hauskläranlagen angesehen werden. Fäkalschlämme bestehen überwiegend aus fäkalen Ausscheidungen, enthalten jedoch auch Speisereste und Toilettenpapier (<http://www.wasser-wissen.de>). Die Zusammensetzung des Fäkalschlammes hängt von der Art der Kleinkläranlage, der Größe und Ausstattung der angeschlossenen Haushalte, der Leerungshäufigkeit und der Art der Entnahme ab.

Tabelle 7 zeigt die wichtigsten Eigenschaften von Fäkalschlamm.

Tabelle 7: Beschreibung von Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben (UMWELTBUNDESAMT 2005b).

Parameter	Beschreibung
ÖNORM-SN	94303
Beschreibung	Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben
Abfallgruppe	Abfälle aus Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und Gewässernutzung – nichtstabilisierte Schlämme aus mechanisch-biologischer Abwasserbehandlung, soweit sie nicht in anderen Positionen enthalten sind (Rohschlamm, Frischschlamm)
Gefährlichkeit	nicht gefährlich
Branche	k. A.
Aufkommen BAWP 2001	1.000.000 t
Herkunft	Aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen, Senkgruben, Hauskläranlagen
Allgemeine Zusammensetzung	Papier- und Textilreste möglich
Eigenschaften	Flüssig bis pastös (je nach Entwässerungsgrad); schlammig; Farbe grau bis braungrau; Geruch nach Fäkalien; Infektionsgefahr gegeben



Anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm) – ÖNORM-SN 94501

Anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm) stammt vorwiegend aus kommunalen Kläranlagen und biologischen Kläranlagen mit einer Faulanlage.

Tabelle 8 zeigt die wichtigsten Eigenschaften von anaerob stabilisiertem Schlamm.

Tabelle 8: Beschreibung von anaerob stabilisiertem Schlamm (UMWELTBUNDESAMT 2005b).

Parameter	Beschreibung
ÖNORM-SN	94501*
Beschreibung	Anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm)
Abfallgruppe	Abfälle aus Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und Gewässernutzung – stabilisierte Schlämme aus mechanisch-biologischer Abwasserbehandlung, soweit sie nicht in anderen Positionen enthalten sind
Gefährlichkeit	nicht gefährlich
Branche	k. A.
Aufkommen BAWP 2001	k. A.
Herkunft	Aus kommunalen Kläranlagen; biologischen Kläranlagen mit Faulanlage
Allgemeine Zusammensetzung	Manchmal mit Kalk vermengt (hellgraubraun); Verunreinigungen je nach Einzugsgebiet der Kläranlage
Eigenschaften	Flüssig bis pastös (je nach Entwässerungsgrad); Farbe schwarz-braun bis schwarz; Geruch süßlich bis faulig

* Neben der Schlüsselnummer 94501 können für anaerob stabilisierten Schlamm bei entsprechender Qualität (geringe Schwermetallgehalte) auch die Schlüsselnummern SN 92201 oder SN 92212 verwendet werden.

Aerob stabilisierter Schlamm – ÖNORM-SN 94502

Tabelle 9 zeigt die wichtigsten Eigenschaften von aerob stabilisiertem Schlamm.

Tabelle 9: Beschreibung von aerob stabilisiertem Schlamm (UMWELTBUNDESAMT 2005b).

Parameter	Beschreibung
ÖNORM-SN	94502*
Beschreibung	Aerob stabilisierter Schlamm
Abfallgruppe	Abfälle aus Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und Gewässernutzung – Stabilisierte Schlämme aus mechanisch-biologischer Abwasserbehandlung, soweit sie nicht in anderen Positionen enthalten sind
Gefährlichkeit	nicht gefährlich
Branche	k. A.
Aufkommen BAWP 2001	k. A.
Herkunft	Aus kommunalen Kläranlagen, biologischen Kläranlagen ohne Faulanlage (z. B. Trockenbeet)
Allgemeine Zusammensetzung	Verunreinigungen je nach Einzugsgebiet der Kläranlage
Eigenschaften	Flüssig bis pastös (je nach Entwässerungsgrad); schlammig bis pastös; Farbe braun bis grau; Geruch erdig bis faulig-süßlich

* Neben der Schlüsselnummer 94502 können für aerob stabilisierten Schlamm bei entsprechender Qualität (geringe Schwermetallgehalte) auch die Schlüsselnummern SN 92201 oder SN 92212 verwendet werden.

2.3.3 Zusammensetzung von Klärschlamm

Die Zusammensetzung von Schlämmen aus der Abwasseraufbereitung variiert sehr stark in Abhängigkeit von der Herkunft und der damit verbundenen Zusammensetzung und den Inhaltsstoffen der zufließenden Abwässer sowie der Aufbereitungsmethode und den eingesetzten Zusatzstoffen in der jeweiligen Anlage. Im Klärschlamm werden jene Schadstoffe akkumuliert, die aus dem Abwasser abgetrennt werden und nicht durch Mikroorganismen mineralisiert werden konnten.

Klärschlämme beinhalten Pflanzen-Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Schwefel oder Kalk. Andererseits können Klärschlämme mit hohen Konzentrationen an Schwermetallen, mit biologisch schwer abbaubaren organischen Substanzen, mit pathogenen Organismen – wie etwa Viren und Bakterien – sowie mit hormonell wirksamen Substanzen belastet sein.

Schwermetalle

Tabelle 10 zeigt neben pH-Wert, Wassergehalt, AOX-Wert und wichtigen anorganischen Komponenten des Klärschlammes den Schwermetallgehalt von kommunalem Klärschlamm, wie er sich aus der Auswertung von Meldungen von 85 Betreibern von Kläranlagen aus dem Zeitraum 1998–2000 ergibt.

Tabelle 10: pH-Wert und Zusammensetzung von kommunalem Klärschlamm in Österreich (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Parameter	Median	90-Perzentil	Anzahl
pH-Wert	7,7	11,9	55
	in Masse- %	in Masse- %	
Trockensubstanz	30,5	47,0	79
Wassergehalt	67,0	95,6	54
	in g/kg TS	in g/kg TS	
N	25,2	42,1	72
Ca	71,0	260	70
K	2,63	4,83	73
Mg	9,17	18,2	67
P	31,0	63,5	73
	in mg/kg TS	in mg/kg TS	
As	6,05	14,9	16
Pb	53,8	157	84
Cd	1,19	2,1	83
Cr	43,4	96,7	84
Co	6,53	24	41
Cu	197	368	84
Mn	221	679	42
Mo	3,9	8,8	26
Ni	27,7	55,7	84
Hg	1,0	1,8	83
Zn	810	1.280	84
AOX	147	278	30



Tabelle 11 zeigt den durchschnittlichen pH-Wert und die durchschnittliche Zusammensetzung der Klärschlämme für

- Dörfer/ländliche Kleingemeinden mit Kläranlagen mit einem Einwohnerwert < 2.000,
- Kleinstädte mit Kläranlagen mit einem Einwohnerwert von 15.001 bis 50.000 und
- Großstädte mit Kläranlagen mit einem Einwohnerwert > 150.000.

Auffällig sind der geringe Anteil an Trockensubstanz bei den kleinsten Kläranlagen und der hohe Anteil an Trockensubstanz bei den mittelgroßen Kläranlagen der Kleinstädte. Weiters fallen bei den kleinsten Kläranlagen der hohe Stickstoff- und vor allem der hohe Kupfer- und Nickelgehalt auf. Bei den Kläranlagen der Großstädte hingegen fallen die größten Konzentrationen an Calcium, Phosphor, Blei und Quecksilber an. Auch ist dort der pH-Wert sehr hoch.

Tabelle 11: pH-Wert und Zusammensetzung des kommunalen Klärschlammes in Österreich nach Einwohnerwert-Klassen der Kläranlagen, Medianwerte gerundet (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Parameter	Einheit	< 2.000	15.001–50.000	> 150.000
pH-Wert		7,2	7,8	10
Trockensubstanz	Masse- %	14	36	21
Wassergehalt	Masse- %	86	64	71
Stickstoff (N)	g/kg TS	41	23	35
Ca	g/kg TS	14	111	247
K	g/kg TS	3	2	2
Mg	g/kg TS	4	9	18
Phosphor (P)	g/kg TS	32	31	69
As	mg/kg TS	-	7	6
Pb	mg/kg TS	40	53	90
Cd	mg/kg TS	1,7	1,1	1,9
Cr	mg/kg TS	52	44	53
Co	mg/kg TS	30	7	8
Cu	mg/kg TS	306	180	211
Mn	mg/kg TS	123	330	117
Mo	mg/kg TS	4	5	5
Ni	mg/kg TS	56	28	28
Hg	mg/kg TS	0,7	1,0	2
Zn	mg/kg TS	764	877	840

Tabelle 12 zeigt einerseits, dass der Schwermetallgehalt in Bayern im Zeitraum 1983–2000 außer bei Kupfer deutlich zurückgegangen ist und andererseits, dass das Schwermetallniveau der österreichischen Klärschlämme im Jahr 2004 außer bei Quecksilber unter jenem von Bayern im Jahr 2000 lag. Daraus lässt sich ableiten, dass die Schwermetallbelastung der kommunalen Klärschlämme in den letzten Jahrzehnten auch in Österreich deutlich zurückgegangen ist.

Tabelle 12: Schwermetallgehalt in bayrischen und österreichischen Klärschlämmen in mg/kg TS (BAYRLE et al. 2002, UMWELTBUNDESAMT 2004a).

	Bayern		Österreich
	1983	2000	2004
Pb	471	64	53,8
Cd	6,1	1,4	1,19
Cr	174	46	43,4
Cu	358	343	197
Ni	72	29	27,7
Hg	4,2	0,8	1
Zn	1.720	984	810

Organische Schadstoffe

In Klärschlämmen wurden bisher über 300 organische Schadstoffe nachgewiesen. Eine vollständige analytische Bestimmung aller organischen Stoffe und ihrer Konzentrationen im Klärschlamm ist nicht möglich. Nur wenige Einzelsubstanzen oder Substanzgruppen können verlässlich quantitativ erfasst werden (BAYRLE et al. 2002). Besonders kritisch ist der Gehalt an Arzneimitteln und hormonell wirksamen Substanzen, da diese bereits in kleinsten Konzentrationen schädigende Wirkungen hervorrufen können.

„Die Bedeutung der organischen Schadstoffe wird sehr kontroversiell diskutiert, weil noch nicht für alle Stoffe eine Risikoanalyse in Hinblick auf die Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft durchgeführt wurde und für organische Schadstoffe die vorgeschlagenen Grenzwerte nicht in jedem Fall risikobezogen festgesetzt wurden. Durch verbesserte analytische Methoden werden immer neue Gruppen von Umweltchemikalien in der Umwelt nachweisbar. Besondere Beachtung fanden in diesem Zusammenhang Alkylphenole und ihre kurzkettigen Ethoxylate, Organozinnverbindungen, polybromierte Diphenylether (PBDE) und polyzyklische Moschusverbindungen.“ Für diese Verbindungen erlaubt die Datenlage noch keine hinreichend gesicherte toxikologische Bewertung. *„Eine Klärschlammverwertung ist aber nur zulässig, wenn eine gesundheitsgefährdende Exposition von Mensch und Umwelt gegenüber Organozinnverbindungen, polybromierten Diphenylethern (PBDE) und polyzyklischen Moschusverbindungen ausgeschlossen werden kann“.* (FÜRHACKER & BURSCH 2007)

In Tabelle 13 sind die wichtigsten organischen Schadstoffgruppen, die im Klärschlamm bisher nachgewiesen wurden und deren Herkunft dargestellt.

Tabelle 14 zeigt die Konzentrationsbereiche ausgewählter organischer Schadstoffe, wie sie in Klärschlämmen der Europäischen Union aufgefunden wurden und deren zeitliche Entwicklungen. Auch bei den bekannten analysierbaren organischen Schadstoffen scheint es meist eine Tendenz in Richtung geringerer Schadstoffbelastung der Klärschlämme zu geben.

Der in Tabelle 10 ausgewiesene Median liegt etwas unter dem für Europa in Tabelle 14 angegebenen Bereich.



Tabelle 13: Organische Schadstoffe im Klärschlamm und ihre Herkunft (FÜRHACKER & BURSCH 2007).

Schadstoffkurzbezeichnung	Schadstoffbezeichnung	Herkunft
AOX	Adsorbierbare Organische Halogenverbindungen	Chlorhaltige Reinigungsmittel, chlorierte Lösungsmittel, Insektizide, natürliche Verbindungen
LAS	Lineare Alkylbenzo-Sulfonate	Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe	Unvollständige Verbrennung (z. B. Hausbrand, Dieselmotoren)
PCB	Polychlorierte Biphenyle	Kondensatoren, Weichmacher in Kunststoffen, Imprägnier- und Flammschutzmittel, Insektizide
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzodioxine/Furane	Unvollständige Verbrennung von Kohlenstoffverbindungen und Chlor; Nebenprodukte bei der Synthese chlororganischer Verbindungen
DEHP	Di(2-Ethyl-Hexyl)Phthalat	Weichmacher für PVC und Polystyrol, Bestandteil von Parfums bzw. Deodorants
NPE	Nonylphenol und Nonylphenol-ethoxylate	Phenolharze – in Klebstoffen, Lackzusätzen, Epoxidharzen, Ethoxylaten; Tenside, Emulgatoren, Dispergiermittel, Industriereiniger, Papierbeschichtungen, Teppichrücken, Bauchemie; Abbauprodukt nichtionischer Tenside
BPA	Bisphenol A	Polycarbonat: Kunststoffe, Platten, Scheiben, CDs, Flaschenhohlkörper; Epoxidharz: Industrie-, Dosen-, Autogrundierungs-, Pulverlacke, Fußböden Sonstiges: Zahnmedizinische Composite, Flammschutzmittel, Thermopapier, Kabel
PBDE	Bromierte Diphenylether	Flammschutzmittel in Haushaltsgegenständen und Kunststoffen
	Triclosan	Antimikrobieller Wirkstoff in Desinfektionsmitteln, kosmetischen Präparaten wie Seifen, Deodorants, Zahnpasta
	Kurzkettige Chlorparafine	Zusatzstoff für Schmier-, Bohr- und Schneideöl; Einsatz bei der Lederverarbeitung, Herstellung von Flammschutzmitteln, Weichmacher, Bindemittel
OZV	Organozinnverbindungen	Holzschutz, Desinfektionsmittel, Kleiderimprägnierung, PVC-Stabilisator, Glasbeschichtung, Katalysator
	Synthetische Moschusverbindungen (Galaxolid, Tonalid, Moschus-Xylol)	Duftstoffe im Haushalt
PFT	Perfluorotenside	In Textilien, Teppichen, Ledermöbeln, Papier, Verpackungen, Farben, Reinigungsmitteln, Kosmetika, Pflanzenschutzmitteln, Feuerlöschern, hydraulischen Flüssigkeiten
EE2	17 α -Ethinylöstradiol (synthetisches Hormon)	Kontrazeptiva aus Ausscheidungen
	Arzneimittel, Antibiotika, Hormonpräparate	Aus Ausscheidungen
BSE	Prionen	Aus kontaminierten tierischen Produkten



Tabelle 14: Konzentration ausgewählter organischer Schadstoffe in den Klärschlämmen der EU (FÜRHACKER & BURSCH 2007).

Organischer Schadstoff	Konzentrationsbereich in mg/kg	Tendenz des Schadstoffgehalts
AOX	200–400	gleichbleibend/leicht fallend
PCB ₆	0,01–0,02	abnehmend
PCDD/F	5–100 ng/kg TE	abnehmend
LAS	5–18.000	abhängig von Behandlung
Nonylphenol	1–600	abhängig von Behandlung
PAK	1–50	gleichbleibend
DEHP	1–200	gleichbleibend/leicht fallend
PBDE	10–400 µg/kg	gleichbleibend



3 MASSENSTRÖME VON KLÄRSCHLAMM

Die jüngste vollständige Darstellung über das Aufkommen und die Behandlung von kommunalen und industriellen Klärschlämmen in Österreich findet sich im Gewässerschutzbericht 2002 (BMLFUW 2002b). Ergänzt wird diese Darstellung um die verfügbaren Informationen aus den Jahren 2004–2007, primär aus dem Bereich der kommunalen Klärschlämme. Für industrielle Klärschlämme können aktuelle Entwicklungen nur punktuell (für Oberösterreich und das Burgenland) gezeigt werden.

Die Abgrenzung zwischen „kommunalen“ und „industriellen“ Klärschlämmen ist in vielen Fällen unklar bzw. nicht möglich. Beispielsweise werden in Wien alle Abwässer, ob aus Haushalten oder aus der Industrie, gemeinsam in einer kommunalen Kläranlage behandelt. Beim gemeldeten „kommunalen Klärschlammaufkommen“ Wiens handelt es sich daher eigentlich um ein „Klärschlammaufkommen aus kommunalen Kläranlagen“, welches noch in ein kommunales und industrielles Klärschlammaufkommen aufzutrennen wäre. Da diese Auftrennung aber mit großen Unsicherheiten verbunden wäre, werden „Klärschlämme aus kommunalen Kläranlagen“ gänzlich den „kommunalen Klärschlämmen“ zugezählt.

3.1 Klärschlammaufkommen

3.1.1 Klärschlammaufkommen in der EU

Abbildung 2 zeigt das Aufkommen der kommunalen Klärschlämme in den EU-Mitgliedstaaten je EinwohnerIn für das Jahr 2003.

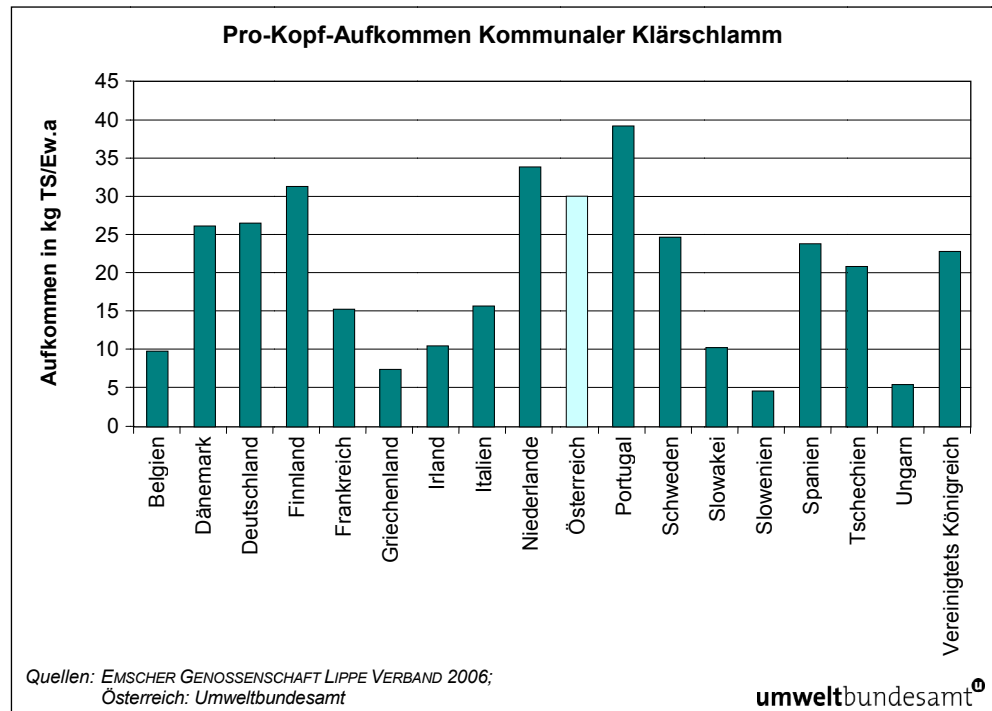


Abbildung 2: Spezifisches Aufkommen der kommunalen Klärschlämme in den EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2003 in kg TS/Ew.a (errechnet aus: EMSCHER GENOSSENSCHAFT LIPPE VERBAND 2006; Österreich: eigene Schätzung).

3.1.2 Österreich

In Österreich gibt es für die Aufbereitung von Abwässern ca. 1.570 kommunale Kläranlagen (> 50 EW₆₀). Von 2003 auf 2006 stieg der Anschlussgrad an ein öffentliches Kanalnetz von 88,9 % auf 91,7 % an. Der Anstieg ist auf eine Verbesserung der technischen Möglichkeiten zum Anschluss ländlicher Gebiete und der zunehmenden Verstädterung zurückzuführen. Ein 100%iger Anschluss ist aufgrund des Siedlungscharakters (Streusiedlungen) in Zukunft nicht realistisch. Die restlichen 8,3 % der Bevölkerung entsorgen über Hauskläranlagen ≤ 50 EW₆₀, Senkgruben etc. Während des Reinigungsprozesses der Abwässer fallen Klärschlämme an, welche einer anschließenden Behandlung unterzogen werden (BMLFUW 2008d).

Pro Tag und EinwohnerIn fallen folgende Klärschlammengen an (IWA TU-WIEN 2008):

- Primärschlamm: 45 g/E*d
- Sekundärschlamm: 35 g/E*d
- Fällungsschlamm: 10 g/E*d
- Trockensubstanz: 10–30 kg/E*a (in Abhängigkeit von der Abwasserzusammensetzung, des Stabilisierungsgrades und der Zuschlagstoffe).

Tabelle 15 zeigt das Aufkommen kommunaler Klärschlämme für ganz Österreich und – soweit bekannt – der einzelnen Bundesländer für das Jahr 2001 sowie die Periode 2004–2007. Während es innerhalb der einzelnen Bundesländer durchaus Schwankungen gibt, wurde für das Aufkommen an kommunalen Klärschlämmen österreichweit für die Periode 2001–2007 ein stetiges Wachstum von durchschnittlich 1 %/a ermittelt.

Tabelle 15: Aufkommen von kommunalem Klärschlamm in Österreich in t TS/a (gerundete Werte für 2001: BMLFUW 2002b, Quellen für restliche Werte: siehe Spalte „Quellen“).

Bundesland	2001	2004	2005	2006	2007	Quellen
B	7.600	7.900	8.400	8.000		2004: BAWP 2006; 2005 und 2006: Amt d. Bgl. LR
K	12.800	12.100	12.300	12.600		BMLFUW 2008c
NÖ	42.200	41.400	44.000	44.400		2004 und 2006: Amt d. NÖ. LR 2005 geschätzt.
OÖ	41.800	45.800	44.200	47.200	46.100	2004–2006: BMLFUW 2008c; 2007: Amt d. OÖ. LR
S	11.200	13.600	13.400	13.300		BMLFUW 2008c
St	23.700	25.500	26.700	27.100		BMLFUW 2008c
T	22.700	23.400	23.600	23.900		geschätzt
V	10.200	10.600	10.400	10.200	10.800	Amt d. Vbg. LR
W	71.500	64.900	66.600	66.100	69.200	2004: BAWP 2006; 2005–2007: Entsorgungsbetriebe Simmering
Österreich	243.700	245.100	249.600	252.800	258.200	2007: geschätzt aus dem Trend OÖ, V, W



Das Aufkommen an industriellem Klärschlamm wurde für Österreich aus den Werten des Gewässerschutzbericht 2002 (BMLFUW 2002b) und den Meldungen aus Oberösterreich (dem Bundesland mit dem bei weitem größten Aufkommen an industriellem Klärschlamm) abgeschätzt (siehe Tabelle 16). Im Mittel wird über die Periode 2001–2007 ein Wachstum des Aufkommens an industriellem Klärschlamm in Österreich von 2,3 %/a verzeichnet.

Tabelle 16: Aufkommen von industriellem Klärschlamm in Österreich in t TS/a (Werte für 2001: BMLFUW 2002b, Quellen für restliche Werte: siehe Spalte „Quellen“).

Bundesland	2001	2005	2006	2007	Quellen
B	2.600	2.300	2.200	k.A.	Amt d. Bgl. LR
K	0	k.A.	k.A.	k.A.	
NÖ	39.400	k.A.	k.A.	k.A.	
OÖ	70.500	69.100	80.200	80.800	Amt d. OÖ. LR
S	15.000	k.A.	k.A.	k.A.	
ST	11.900	k.A.	k.A.	k.A.	
T	15.700	k.A.	k.A.	k.A.	
V	0	k.A.	k.A.	k.A.	
W	0	0	0	0	Entsorgungsbetriebe Simmering
Österreich	155.100	152.000	177.000	178.000	geschätzt aus dem Trend von OÖ

k.A. keine Angaben

Aus dem Aufkommen an kommunalem und industriellem Klärschlamm ergibt sich das gesamte Klärschlammaufkommen Österreichs (siehe Tabelle 17 und Abbildung 3). Für die Periode 2001–2007 wurde ein durchschnittliches Wachstum von 1,5 %/a und für das Jahr 2007 ein Gesamtklärschlammaufkommen in Österreich von rund 436.000 t TS/a abgeschätzt.

Tabelle 17: Klärschlammaufkommen Österreich gesamt (in t TS/a, gerundet, eigene Schätzungen).

	2001	2005	2006	2007
Kommunaler Klärschlamm	243.700	249.600	252.800	258.200
Industrieller Klärschlamm	155.100	152.000	177.000	178.000
Gesamtes Klärschlammaufkommen	399.000	402.000	430.000	436.000

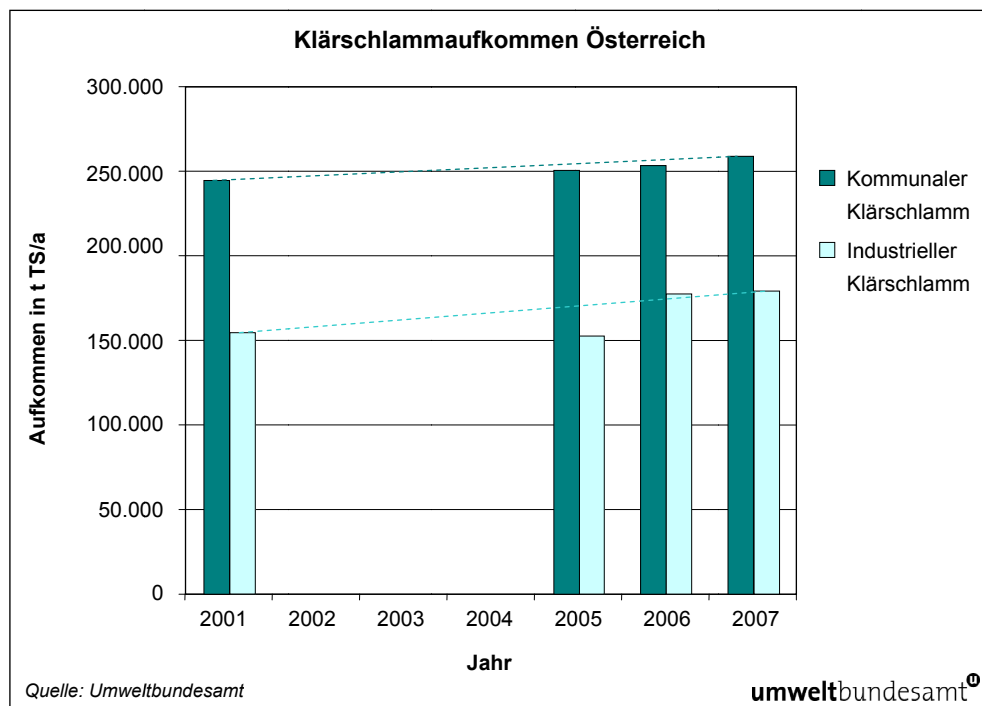


Abbildung 3: Klärschlammaufkommen Österreich (in t TS/a, eigene Schätzungen).

3.1.3 Burgenland

Tabelle 18 zeigt das Klärschlammaufkommen im Burgenland, aufgeschlüsselt nach kommunalem und industriellem Klärschlamm. In diesem Bundesland stagniert das Klärschlammaufkommen.

Tabelle 18: Klärschlammaufkommen im Burgenland, in t/TS/a (pers. Mitt. Christian Skartis, Amt d. Bgl. LR, 27.06.2008).

	2001	2005	2006
Kommunaler Klärschlamm	7.600	8.409	7.957
Industrieller Klärschlamm	2.600	2.255	2.215
Gesamtes Klärschlammaufkommen	10.200	10.664	10.172

3.1.4 Oberösterreich

Tabelle 19 zeigt das Aufkommen an kommunalem und industriellem Klärschlamm in Oberösterreich. In der Periode 2001–2007 ist das Aufkommen an kommunalem Klärschlamm mit einer durchschnittlichen Rate von 1,6 %/a moderat gestiegen (siehe Abbildung 4).

Beim Aufkommen an industriellem Klärschlamm in Oberösterreich liegt der Wert von 2005 unter dem von 2001. Von 2005 auf 2006 gab es aber einen ausgeprägten Sprung von rund 70.000 t auf rund 80.000 t TS (siehe Abbildung 4). Das Wachstum des Aufkommens an industriellem Klärschlamm in Oberösterreich betrug in der Periode 1999–2007 im Schnitt 2,3 %/a.



Tabelle 19: Klärschlammaufkommen in Oberösterreich, in t TS/a (BMLFUW 2002b, pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR., 26.07.2008).

	2001	2005	2006	2007
Kommunaler Klärschlamm	41.800	44.164	47.240*	46.065*
Industrieller Klärschlamm	70.500	69.087	80.231	80.781
Gesamtes Klärschlammaufkommen	112.300	113.251	127.471	127.573

* definiert als „kommunaler und betrieblicher Klärschlamm“ (ohne Papier- und Zellstoffindustrie)

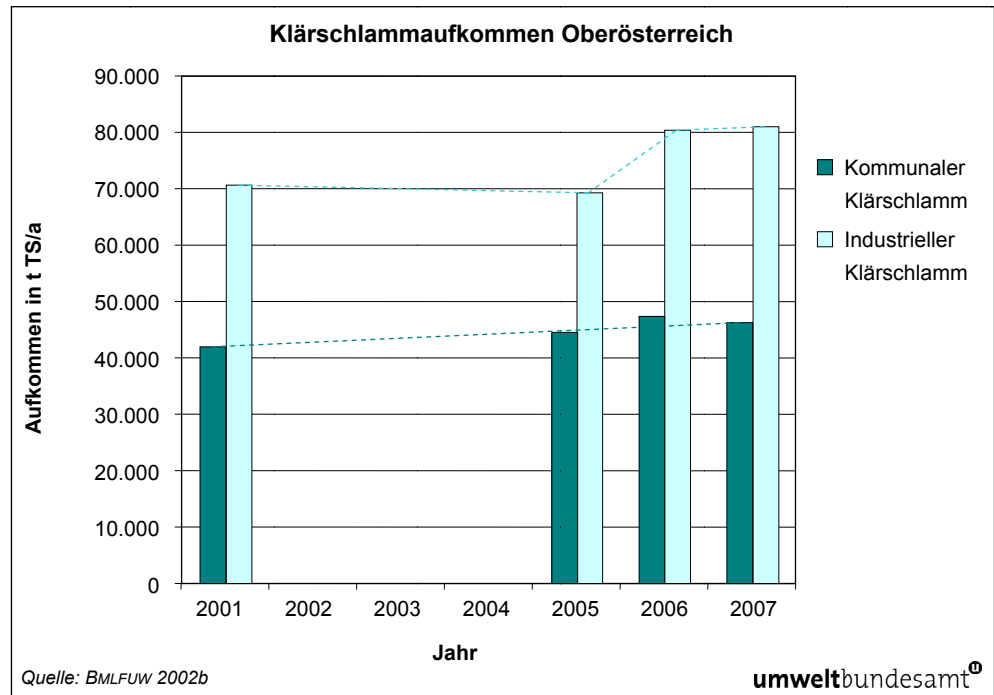


Abbildung 4: Entwicklung des Klärschlammaufkommens in Oberösterreich (BMLFUW 2002b, pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR., 26.07.2008).

3.1.5 Restliche Bundesländer

Das Aufkommen an kommunalem Klärschlamm in Kärnten, Niederösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg und Wien ist Tabelle 15 zu entnehmen. Für industriellen Klärschlamm stehen seit 2001 keine Angaben zur Verfügung.

3.2 Importe/Exporte

Tabelle 20 und Abbildung 5 zeigen die Massen an exportiertem und importiertem Klärschlamm aus bzw. nach Österreich in der Periode 2003–2007. Die Exporte sind von 2003 auf 2006 kontinuierlich gestiegen, sind dann von 2006 auf 2007 aber wieder um rund 25 % zurückgegangen. Gleichzeitig sind die importierten Klärschlamm-Massen aber weiter angestiegen. Insgesamt hat sich der Exportüberschuss von 2006 auf 2007 von rund 15.400 t TS/a auf rund 7.900 t TS/a annähernd halbiert.

Tabelle 20: Masse der exportierten und importierten Klärschlämme in t TS/a (errechnet aus BMLFUW 2008b unter Annahme von durchschnittlich 30 % TS-Gehalt).

		Massen in t TS/a				
		2003	2004	2005	2006	2007
Exporte	Kommunaler Klärschlamm	800	3.900	12.000	15.100	12.000
	Industrieller Klärschlamm	100	1.000	1.700	3.700	1.800
	Export gesamt	900	4.900	13.700	18.800	13.800
Importe	Kommunaler Klärschlamm	1.500	1.300	1.900	3.400	5.900
	Industrieller Klärschlamm	0	0	10	0	0
	Import gesamt	1.500	1.300	1.900	3.400	5.900
Export-überschuss	Kommunaler Klärschlamm	-700	2.600	10.100	11.700	6.100
	Industrieller Klärschlamm	100	1.000	1.700	3.700	1.800
	Klärschlamm gesamt	-600	3.600	11.800	15.400	7.900



Abbildung 5: Klärschlamm-Exporte und -Importe, in t TS/a (errechnet aus BMLFUW 2008b unter Annahme von durchschnittlich 30 % TS-Gehalt).



3.3 Massenströme bei der Klärschlammbehandlung

3.3.1 Klärschlammbehandlung in der EU

Tabelle 21 zeigt die Anteile der Klärschlammbehandlung und der Klärschlammbe-seitigung in den EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2003. In Abbildung 6 sind die Anteile der verschiedenen Behandlungsarten für die Europäische Union im Jahr 2005 dar-gestellt.

*Tabelle 21: Behandlung von Klärschlamm in Europa im Jahr 2003 (EMSCHE-
GENOSSENSCHAFT LIPPE VERBAND 2006).*

EU-Mitgliedstaat	Verwertung (Landwirtschaft, Kompostierung, Rekultivierung)	Beseitigung (Deponie, Verbrennung), Sonstiges
Belgien	25 %	75 %
Dänemark	55 %	45 %
Deutschland	60 %	40 %
Finnland	90 %	10 %
Frankreich	60 %	40 %
Griechenland	0 %	100 %
Irland	90 %	10 %
Italien	55 %	45 %
Niederlande	10 %	90 %
Österreich	17 %	83 %
Portugal	47 %	53 %
Schweden	80 %	20 %
Slowakei	65 %	35 %
Slowenien	20 %	80 %
Spanien	68 %	32 %
Tschechien	75 %	25 %
Ungarn	50 %	50 %
Vereinigtes Königreich	80 %	20 %

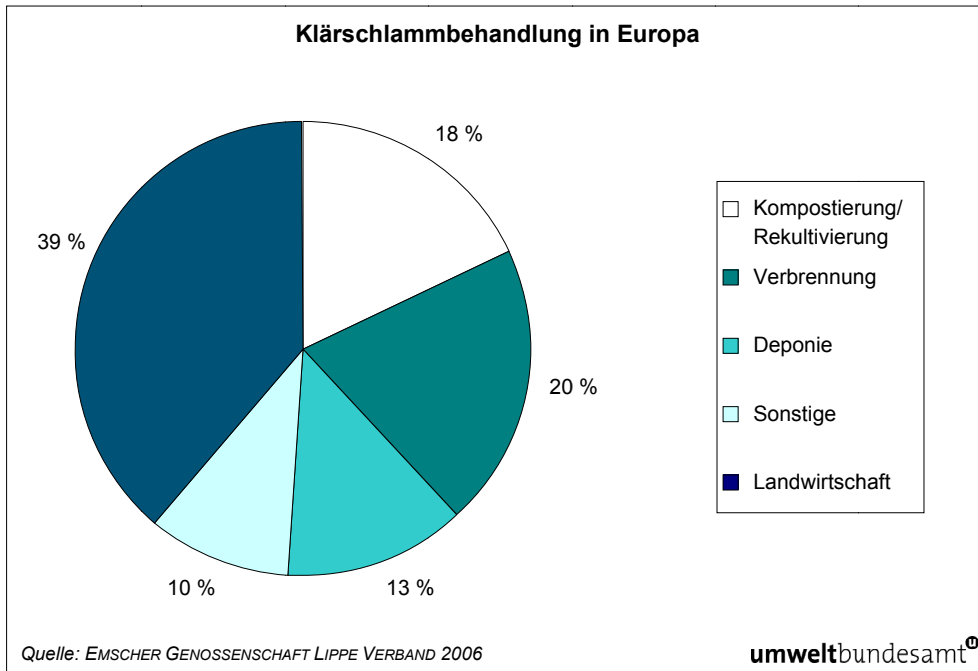


Abbildung 6: Klärschlammfall und -verwertung in Europa 2005 (EMSCHER GENOSSENSCHAFT LIPPE VERBAND 2006)

3.3.2 Behandlung österreichweit

Tabelle 22 zeigt die Behandlungswege für kommunalen Klärschlamm in Österreich für die Jahre 2001, 2004 und 2006 aufgesplittet, wenn verfügbar auch nach Bundesländern. In Abbildung 7 sind die Behandlungswege in Österreich gesamt für die Jahre 2001 und 2006 dargestellt. Deutlich zu sehen ist eine starke Abnahme der deponierten Massen und eine Verlagerung in Richtung Verbrennung und sonstige Behandlung (Kompostierung, Verwendung im Landschaftsbau, Zwischenlager). Die Verwendung in der Landwirtschaft stagniert.



Klärschlamm – Massenströme von Klärschlamm

Tabelle 22: Behandlung von kommunalem Klärschlamm in Österreich, in t TS/a.

Bundesland	Deponierung	Verbrennung	Landwirtschaft	sonstige Behandlung	Summe	Quellen
2001						BMLFUW 2002b
B	1.400	0	5.000	1.200	7.600	
K	200	2.100	400	10.100	12.800	
NÖ	5.700	200	8.900	27.400	42.200	
OÖ	19.400	4.600	13.200	4.600	41.800	
S	5.500	0	1.500	4.200	11.200	
ST	8.200	400	5.900	9.200	23.700	
T	2.600	0	400	19.700	22.700	
V	0	600	1.500	5.100	7.200	pers. Mitt. Wolfgang Eberhard, Amt d. Vbg. LR, 20.05.2008
W	0	68.900	0	2.600	71.500	
Österreich	43.000	76.800	36.800	84.100	240.700	
2004						BAWP 2006 (BMLFUW 2006)
B	460	20	6.100	1.300	7.900	
K	100	2.200	900	8.600	11.700	
NÖ	3.400	3.900	6.800	27.400	41.500	pers. Mitt. Dietmar Moser, Amt d. NÖ LR, 21.05.2008
OÖ	16.700	7.100	17.500	2.600	44.000	
S	0	8.300	2.000	2.700	13.000	
ST	5.400	2.000	6.100	9.100	22.700	
T	600	2.400	200	16.700	19.900	
V	0	200	1.800	5.200	2.200	pers. Mitt. Wolfgang Eberhard, Amt d. Vbg. LR, 20.05.2008
W	0	62.800	0	2.200	64.900	
Österreich	26.700	88.900	41.400	75.800	232.800	
2006						Landwirtschaft: BMLFUW 2008c
B	k.A.	k.A.	4.900	k.A.	k.A.	
K	k.A.	k.A.	850	k.A.	k.A.	
NÖ	k.A.	4.800	8.000	k.A.	44.000	pers. Mitt. Dietmar Moser, Amt d. NÖ LR, 21.05.2008.
OÖ	k.A.	8.500	17.700	k.A.	47.200	pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR, 26.07.2008
S	k.A.	k.A.	0	k.A.	k.A.	
ST	k.A.	k.A.	3.900	k.A.	k.A.	
T	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
V	0	100	2.800	5.200	8.100	pers. Mitt. Wolfgang Eberhard, Amt d. Vbg. LR, 20.05.2008
W	0	66.100	0	0	66.100	pers. Mitt. Peter Hora, EBS, 05.11.2008
Österreich	24	96.600	38.400	106.100	241.100	Deponierung: UMWELTBUNDES- AMT 2008; Verbrennung: Ver- änderungen von NÖ + OÖ + W gegenüber 2004 repräsen- tativ für Österreich; Sonstige: Rest auf Aufkommen minus Exportüberschuss

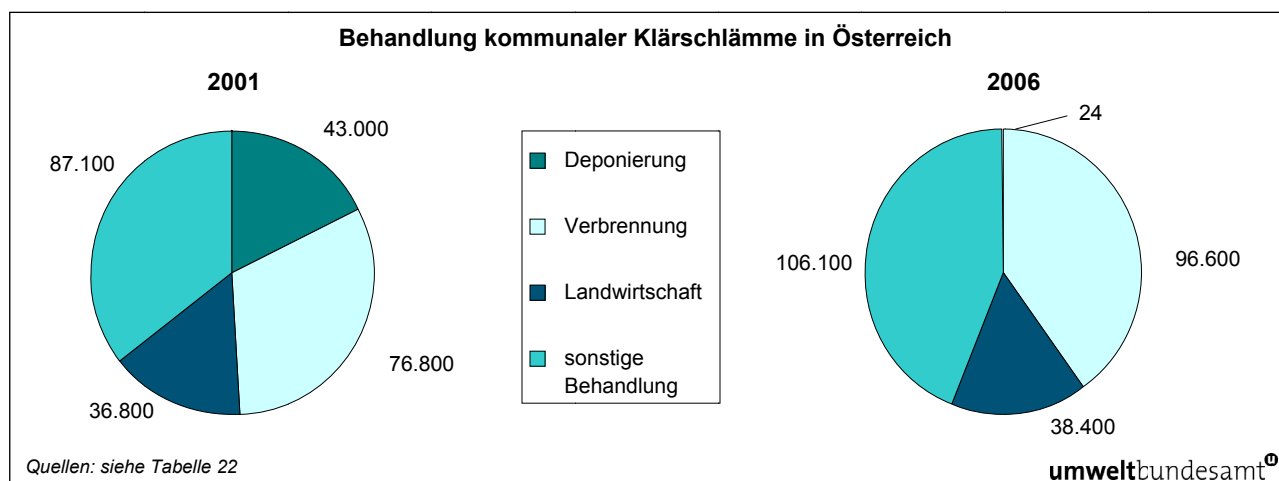


Abbildung 7: Behandlung von kommunalen Klärschlämmen in Österreich 2001 und 2006 in t TS/a (Quellen siehe Tabelle 22).

Tabelle 23 zeigt die Massen an industriellem Klärschlamm, die in Österreich im Jahr 2001 und im Jahr 2006 deponiert, verbrannt, landwirtschaftlich genutzt oder sonstig behandelt wurden. Als sonstige Behandlung ist dabei vor allem die stoffliche Verwertung in der Ziegelindustrie zu zählen. Die Abschätzung für Österreich 2006 basierte in erster Linie auf Angaben aus Oberösterreich.

Tabelle 23: Behandlung der industriellen Klärschlämme in Österreich, in t TS/a.

Bundesland	Deponierung	Verbrennung	Landwirtschaft	sonstige Behandlung	Summe	Quellen
2001						BMLFUW 2002 b
B	2.600	0	30	0	2.630	
K	0	0	0	0	0	
NÖ	1.400	1.000	4.800	32.300	39.500	
OÖ	0	64.300	0	6.100	70.400	
S	0	15.000	0	0	15.000	
ST	0	11.900	0	0	11.900	
T	0	0	0	15.700	15.700	
V	0	0	0	0	0	
W	0	0	0	0	0	
Österreich	4.000	92.200	4.830	54.100	155.130	
2006						
B	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
K	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
NÖ	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
OÖ	0	74.430	0	5.800	80.200	pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR, 26.07.2008
S	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
ST	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
T	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
V	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
W	0	0	0	0	0	pers. Mitt. Peter Hora, Entsorgungsbetriebe Simmering, 05.11.2008
Österreich	200	106.700	4.800	61.500	173.300	aus Daten 2001 und OÖ 2006 abgeschätzt; Deponierung: UMWELTBUNDESAMT 2008

sonstige Behandlung: z. B. stoffliche Verwertung in der Ziegelindustrie; k.A... keine Angaben



Tabelle 24 fasst die Behandlung von kommunalem und industriellem Klärschlamm in Österreich 2006 zusammen. Die thermische Verwertung liegt in der Größenordnung von 203.000 t TS, wobei annähernd gleich viel kommunaler und industrieller Klärschlamm thermisch behandelt wurden.

Tabelle 24: Behandlung der österreichischen Klärschlämme gesamt 2006, in t TS (eigene Schätzungen).

	Deponierung	Verbrennung	Landwirtschaft	sonstige Behandlung	Summe
Kommunaler Klärschlamm	24	96.600	38.400	106.100	241.100
Industrieller Klärschlamm	200	106.700	4.800	61.500	173.300
Gesamt	224	203.300	43.200	167.600	414.400

Tabelle 25 zeigt eine Zeitreihe der deponierten Massen an Klärschlamm in Österreich. Diese Massen beziehen sich auf die Trockensubstanz und wurden aus den Deponiemeldungen (siehe Tabelle 74 und Abbildung 29 in Kapitel 6.9) unter Annahme von durchschnittlich 30 % Trockensubstanz abgeschätzt. Jedenfalls ist die Masse an deponiertem Klärschlamm von 2003 auf 2007 auf weniger als 1 % gesunken.

Tabelle 25: Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich, in t TS (errechnet aus UMWELTBUNDESAMT 2008 unter der Annahme, dass der Feuchtegehalt des deponierten Klärschlammes im Schnitt 30 % betrug).

	Deponierung in t TS						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kommunale Klärschlämme	27.200	32.000	26.900	18.300	27	24	0
Industrielle Klärschlämme	3.900	2.800	77.400	300	422	199	644
Deponierung von Klärschlämmen gesamt	31.100	34.800	104.300	18.600	449	223	644

3.3.3 Behandlung in den Bundesländern Burgenland, Kärnten, Salzburg, Steiermark, Tirol

In Tabelle 22 sind die Massen an kommunalem Klärschlamm die im Jahr 2001 und im Jahr 2004 in den Bundesländern Burgenland, Kärnten, Salzburg, Steiermark, Tirol und Vorarlberg deponiert, thermisch behandelt, landwirtschaftlich genutzt oder sonstig behandelt wurden, dargestellt.

3.3.4 Behandlung in Niederösterreich

Tabelle 26 zeigt die Massen an kommunalem Klärschlamm, welche in Niederösterreich jeweils in den Jahren 2001, 2002, 2004 und 2006 behandelt wurden. Zu sehen ist, dass die Deponierung ab- und die Verbrennung zugenommen hat, während die Verwertung in der Landwirtschaft stagniert. Die größten Massen gelangen aber

in die „sonstige Verwertung“ (dazu zählt vor allem die Nutzung von kompostiertem Klärschlamm im Landschaftsbau) und in die sonstige Behandlung. Darunter ist die Abgabe des Klärschlammes an einen Abfallentsorger zu verstehen, wobei die weitere Abfallbehandlung unbekannt ist.

Tabelle 26: Behandlung von kommunalem Klärschlamm in Niederösterreich, in t TS/a (BMLFUW 2002b, pers. Mitt. Dietmar Moser, Amt d. NÖ LR, 21.05.2008).

	2001	2002	2004	2006
Deponierung	5.700	5.860	3.400	k.A.
Verbrennung	200	50	3.900	4.800
sonstige Entsorgung		400	11.500	13.400
Landwirtschaft	8.900	13.400*	6.800	8.000
sonstige Verwertung		21.500**	15.900	17.800
sonstige Behandlung	27.400			
Summe Behandlung	42.200	41.210	41.500	44.000

* davon 5.650 t nach Kompostierung

** im Landschaftsbau (davon 13.000 t nach Kompostierung)

3.3.5 Behandlung in Oberösterreich

Tabelle 27 zeigt die Massen an kommunalem Klärschlamm, die in Oberösterreich in den Jahren 2001, 2005, 2006 und 2007 jeweils behandelt wurden. Die im Jahr 2001 noch unbehandelt deponierten Klärschlämme werden nun nach vorheriger MBA-Behandlung deponiert, zum Teil aber auch verbrannt oder landwirtschaftlich genutzt. Die Masse an thermisch behandeltem Klärschlamm nimmt stetig zu. Die landwirtschaftliche Verwertung stagniert, ist aber immer noch die häufigste Behandlungsart. Bedenklich ist, dass rund 6 % des Klärschlammes zwischengelagert werden. Abbildung 8 zeigt die Massen des behandelten und zwischengelagerten kommunalen Klärschlammes in Oberösterreich 2007 nach Behandlungsart. Eindeutig sind die großen Anteile an MBA-Behandlung und landwirtschaftlicher Verwertung erkennbar.

Tabelle 27: Behandlung der kommunalen Klärschlämme in Oberösterreich, in t TS (BMLFUW 2002b, pers. Mit. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR, 26.07.2008).

	2001	2005	2006	2007
Deponierung	19.400	16.708		
Verbrennung	4.600	7.096	8.518	8.895
Landwirtschaft	13.200	17.546	17.723	17.306
MBA-Behandlung			16.718	15.638
Kompostierung		949	1.320	1.415
Zwischenlager		1.865	2.961	2.811
sonstige Behandlung	4.600			
Summe Behandlung	41.800	44.164	47.240	46.065

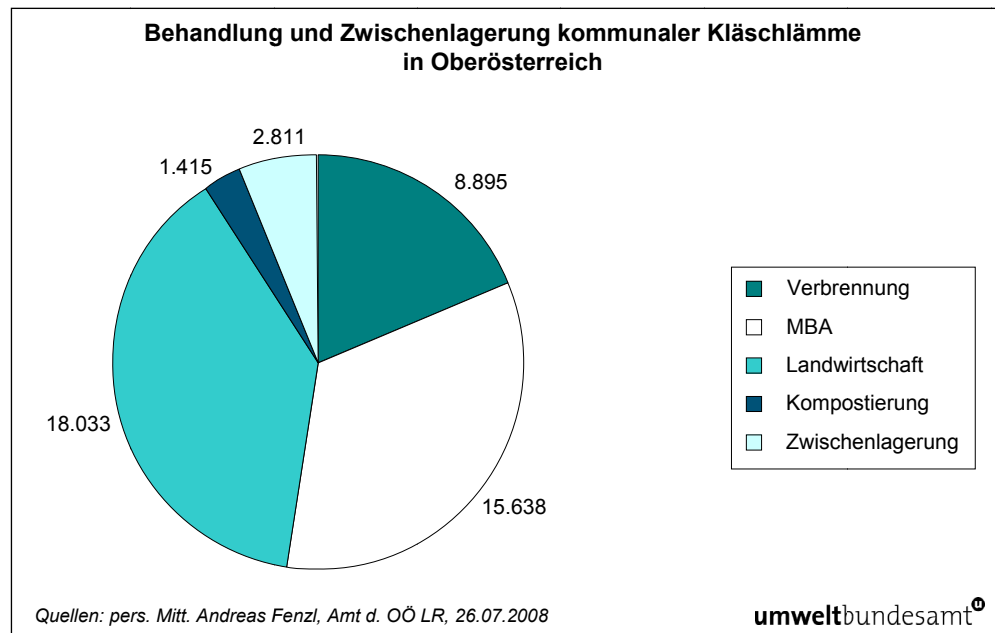


Abbildung 8: Behandlung und Zwischenlagerung von kommunalem Klärschlamm in Oberösterreich 2007, in t TS (pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR, 26.07.2008).

Rund 92 % des industriellen Klärschlammes aus Oberösterreich werden verbrannt (siehe Tabelle 28). Die restlichen 8 % werden in der Ziegelindustrie stofflich verwertet.

Tabelle 28: Behandlung der industriellen Klärschlämme in Oberösterreich in t TS (BMLFUW 2002b, pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR, 26.07.2008).

	2001	2005	2006	2007
Verbrennung	64.300	62.698	74.430	74.383
Stoffliche Verwertung in der Ziegelindustrie	6.100	6.389	5.801	6.398
Summe Behandlung	70.400	69.087	80.231	80.781

Tabelle 29 zeigt die Masse an insgesamt verbranntem Klärschlamm aus Oberösterreich für die Jahre 2001, 2005, 2006 und 2007. Ein stetiger Anstieg der Klärschlammverbrennung in Oberösterreich, mit einem starken Sprung nach oben zwischen 2005 und 2006 ist zu verzeichnen. Im Durchschnitt der Periode 2001–2007 ist die Klärschlammverbrennung in Oberösterreich um 3,2 %/a angestiegen.

Tabelle 29: Masse an verbrannten Klärschlämmen aus Oberösterreich in t TS (BMLFUW 2002b, pers. Mitt. Andreas Fenzl, Amt d. OÖ LR, 26.07.2008).

	2001	2005	2006	2007
Kommunaler Klärschlamm	4.600	7.096	8.518	8.895
Industrieller Klärschlamm	64.300	62.698	74.430	74.383
Summe	68.900	69.794	82.948	83.278



3.3.6 Klärschlammbehandlung in Vorarlberg

Tabelle 30 zeigt die Aufteilung der Behandlung von Vorarlberger Klärschlamm auf Export und Behandlungsmethoden. Auffällig ist, dass als größte Fraktion „Kleinmengen“ angegeben sind.

Tabelle 30: Behandlung von Vorarlberger Klärschlamm in t TS/a (pers. Mitt. Wolfgang Eberhard, Amt d. Vbg. LR, 20.05.2008).

	2001	2004	2005	2006	2007
Export	1.852	1.053	111	877	554
Stoffliche Verwertung in Österreich	1.601		195		512
Thermische Verwertung Österreich	648	152	91	125	0
Kleinmengen*	2.474	1.582	1.204	2.237	3.078
Rekultivierung	1.025	3.622	3.721	2.915	2.689
Landwirtschaft	1.496	1.816	2.207	2.774	2.456
Summe der in Österreich behandelten Vorarlberger Klärschlämme	7.244	7.172	7.418	8.051	8.735

* Klärschlamm der in kleinen Mengen überwiegend an Haushalte, Sportplätze und Landwirte zur Bodenaufbesserung abgegeben wird.

3.3.7 Klärschlammbehandlung in Wien

Der gesamte in der Hauptkläranlage Wien angefallene Klärschlamm (siehe Tabelle 15) wird an die Fernwärme Wien – Werk Simmeringer Haide zur thermischen Behandlung übergeben¹.

¹ pers. Mitt. Peter Hora, Entsorgungsbetriebe Simmering, 05.11.2008



4 RECHTLICHER RAHMEN

4.1 EU-Gesetzgebung

Die Klärschlammrichtlinie der EU setzt auf europäischer Ebene die legislativen Rahmenbedingungen für die Behandlung und Nutzung von Klärschlamm.

„Diese Richtlinie bezweckt, die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft so zu regeln, dass schädliche Auswirkungen auf Böden, Vegetation, Tiere und Menschen verhindert und zugleich eine ordnungsgemäße Verwendung von Klärschlamm gefördert werden.“

Die Richtlinie legt erstmals gemeinschaftliche Maßnahmen zum Schutz des Bodens fest. Aufgrund des Nährstoffgehaltes (vor allem Phosphor) des Klärschlammes kann dieser nutzbringend in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Durch den Einsatz von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden darf die Qualität der Böden, der Oberflächengewässer und des Grundwassers nicht negativ beeinflusst werden. Die Richtlinie enthält Grenzwerte

- für Konzentrationen von Schwermetallen in den Böden (Anhang I A) (siehe Tabelle 31),
- für Konzentrationen von Schwermetallen in den für die Landwirtschaft bestimmten Schlämmen (Anhang I B) (siehe Tabelle 32) und
- für Mengen von Schwermetallen, die auf landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage eines Mittelwertes innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren aufgebracht werden dürfen (Anhang I C) (siehe Tabelle 33).

In Anhang II A sind Zeiträume, Häufigkeiten und Parameter für die Analysen von Schlämmen geregelt. Anhang II B enthält Bestimmungen betreffend die Analyse von Böden, auf welche Schlämme aufgebracht werden sollen. Anhang II C beschreibt Probenahme und Analyseverfahren bei Böden und Schlämmen.

Tabelle 31: Konzentrationsgrenzwerte von Schwermetallen in den Böden (Anhang 1 A Klärschlammrichtlinie; Grenzwerte in mg/kg TS von einer repräsentativen Probe von Böden, deren pH-Wert 6–7 beträgt).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	1–3	50–140	30–75	50–300	150–300	1–1,5	–

Tabelle 32: Konzentrationsgrenzwerte für Schwermetalle in den für die Verwendung in der Landwirtschaft bestimmten Schlämmen, in mg/kg TS (Anhang 1 B Klärschlammrichtlinie).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	20–40	1.000–1.750	300–400	750–1.200	2.500–4.000	16–25	–

Tabelle 33: Grenzwerte für Mengen von Schwermetallen, die auf landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage eines Mittelwertes innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren aufgebracht werden dürfen, in mg/kg TS (Anhang 1 C Klärschlammrichtlinie).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	0,15	12	3	15	30	0,1	–

Die vorgegebenen Grenzwerte für Klärschlämme werden in den meisten Mitgliedstaaten der Europäischen Union deutlich unterschritten.

Die EU-Mitgliedstaaten sind verpflichtet, der EU-Kommission alle drei Jahre einen Bericht über die ordnungsgemäße nationale Umsetzung der Klärschlammrichtlinie vorzulegen (RL 91/692/EWG, Art. 5). Der aktuelle Berichtszeitraum umfasst die Klärschlammdaten der Jahre 2004–2006.

Konzepte und Arbeitspapiere für eine Novellierung der Klärschlammrichtlinie betreffend

- Ausweitung der Richtlinie auf sonstige Flächen,
- zeitlich gestaffelte Absenkung der Grenzwerte für Schlämme zur Anpassung an den gegenwärtigen Kenntnisstand,
- Aufnahme von zusätzlichen Grenzwerten für organische Schadstoffe (z. B. Dioxine/Furane, PCB und AOX) und von hygienischen Anforderungen,
- Anpassung der Häufigkeit der Schadstoffuntersuchungen in Abhängigkeit von der aufzubringenden Menge und
- Festlegung einheitlicher Untersuchungsmethoden

wurden mit den Mitgliedstaaten ausgearbeitet, jedoch noch nicht umgesetzt.

Aufgrund der BSE-Krise und der medialen Berichterstattungen über andere Probleme mit Klärschlämmen (Schadstoffanreicherungen in den Böden, Dissipation von Schadstoffen, ...) wurden in einigen Mitgliedstaaten schärfere gesetzliche Regelungen zum Klärschlamm, insbesondere zu dessen Behandlung (z. B. Verbot der Verwertung in der Landwirtschaft), eingeführt.

In Österreich werden Klärschlämme und Komposte sowohl auf Bundesebene als auch auf Landesebene durch gesetzliche Bestimmungen geregelt.

4.2 Bundesgesetzliche Regelungen

Verschiedene Bundesgesetze sind für den Umgang mit und die Behandlung von Klärschlamm von Bedeutung:

- Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (**Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002**)

Im Abfallwirtschaftsgesetz sind die Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft festgelegt. Abfallmengen und deren Schadstoffgehalte sollen vorrangig vermieden werden. Anfallende Abfälle sind zu verwerten, soweit dies ökologisch zweckmäßig und technisch möglich ist. Die dabei entstehenden Mehrkosten dürfen im



Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sein. Nicht verwertbare Abfälle sind vor der Beseitigung so zu behandeln, dass sie auf der Deponie kein Umweltrisiko darstellen.

Klärschlamm dient aus Sicht des Gewässerschutzes als Schadstoffsene. Er soll daher prinzipiell nicht vermieden werden. Mengenmäßig kann der Klärschlammanfall jedoch durch die Wahl der Schlammbehandlungsverfahren bei gleichzeitiger Optimierung der Schadstoffabtrennung aus dem Abwasser minimiert werden.

Weiters kann der Schadstoffeintrag in das Abwasser und damit in weiterer Folge der Schadstoffgehalt im Klärschlamm verringert werden (qualitative Vermeidung). Ist eine Verwertung des Klärschlammes nicht möglich, so ist dieser so zu konditionieren, dass er möglichst reaktionsarm abgelagert werden kann.

Das Vermischen oder Vermengen eines Abfalls, z. B. Klärschlamm mit anderen Abfällen oder Materialien ist unzulässig, wenn dadurch abfallrechtlich erforderliche Untersuchungen oder Behandlungen erschwert oder behindert werden. Ebenso unzulässig ist es, wenn sowohl abfallspezifische Grenzwerte als auch Qualitätsanforderungen und/oder anlagenspezifische Grenzwerte in Bezug auf die eingesetzten Abfälle nur durch einen Mischvorgang und „Verdünnen“ eingehalten werden können.

- Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006 (BAWP 2006)

Der Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006 legt den Stand der Technik und Behandlungsgrundsätze unter anderem für Klärschlamm fest. Gemäß diesen Behandlungsgrundsätzen

- ist die Deponie als Entsorgungsweg für Klärschlamm nicht mehr zulässig;
- sollte aufgrund der bislang noch nicht vollends abgeklärten Gefahrenpotenziale von hormonell wirksamen Substanzen, organischen Schadstoffen und Schwermetallen sowie auch aus hygienerechtlichen Aspekten, die Aufbringung von Klärschlamm auf den Boden sehr restriktiv erfolgen;
- sind für die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Flächen die Grenzwerte von Tabelle 34 einzuhalten, für die nicht-landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm die Grenzwerte von Tabelle 35.
- stellt die thermische Behandlung in Abfallmonoverbrennungsanlagen unter Einhaltung der Bestimmungen der Abfallverbrennungsverordnung eine ökologisch verträgliche, geeignete Behandlungsoption auch für schadstoffbelastete Klärschlämme dar;
- ist bei der Mitverbrennung von Klärschlämmen in industriellen Feuerungsanlagen eine Limitierung der durch die Ersatzbrennstoffe eingebrachten Schadstofffrachten in Reststoffe oder Produkte erforderlich;
- kann die mechanisch-biologische Behandlung nach dem Stand der Technik eine Behandlungsoption für Klärschlamm darstellen – Voraussetzungen dazu sind unter anderem
 - die Einhaltung der Bestimmungen der Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen (BMLFUW 2002a);
 - bei IPPC-Anlagen die Berücksichtigung des IPPC „Reference Document on Best Available Technologies for the Waste Treatment Industries“ (EUROPEAN IPPC BUREAU 2006);
 - eine Prüfung der Eignung der MBA-Anlage für die Mitbehandlung von Klärschlämmen;



- die Prüfung der Qualität der Klärschlämme;
 - die Optimierung des anlagenspezifischen Verfahrensablaufes;
 - die Gewährleistung einer guten Vermischung/Homogenisierung der Klärschlämme mit den anderen Abfällen;
 - die Gewährleistung optimaler Rottebedingungen;
 - die Gewährleistung der gewünschten Qualitäten der Outputmaterialien.
- **Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008)**

In der Deponieverordnung sind neben betriebsbezogenen und technischen Vorgaben auch Anforderungen an die abzulagernden Stoffe enthalten. Nach § 6 dürfen mit bestimmten Ausnahmen gemäß § 6 Abs.1 nur behandelte Abfälle deponiert werden. Das Vermischen oder Vermengen eines Abfalls mit anderen Abfällen oder Materialien ist unzulässig, wenn erforderliche Untersuchungen oder Behandlungen erschwert, behindert oder verhindert werden bzw. die Abfallnahmekriterien nur durch den Mischvorgang erfüllt werden. Aus Sicht der Klärschlammabeseitigung ist besonders § 7 Absatz 7 von Bedeutung, welcher die Ablagerung von Abfällen verbietet, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) im Feststoff mehr als fünf Masseprozent beträgt. Ausnahmen bilden unter anderem Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung, die in einer Massenabfalldeponie unter Einhaltung bestimmter Grenzwerte (Anhang 1 Tabellen 9 und 10) sowie der Bestimmungen im Anhang 4 Teil 2 Kapitel 4 (Abfälle auf der mechanisch biologischen Behandlung/MBA-Modell) abgelagert werden dürfen. Die Vermischung von Abfällen aus der mechanisch-biologischen Behandlung mit heizwertarmen Materialien oder Abfällen mit dem Ziel der Grenzwertunterschreitung ist verboten.

Laut Verordnung ist die mechanisch-biologische Behandlung zum Zweck der Deponierung eine verfahrenstechnische Kombination mechanischer und biologischer Prozesse für die Behandlung von Siedlungsabfällen und ähnlichen Gewerbeabfällen. Klärschlämme und andere Abfälle, die entsprechend dem Stand der Technik für eine mechanisch-biologische Behandlung geeignet sind, können gemeinsam mit diesen Abfällen mitbehandelt werden. Ziel der mechanischen Prozesse ist die Separierung von Stoffen, die für eine biologische Behandlung wenig geeignet sind sowie von Stör- und Schadstoffen. Weiters wird eine Optimierung des biologischen Abbaus der verbleibenden Abfälle durch Erhöhung der Verfügbarkeit und Homogenität angestrebt. Ziel der biologischen Prozesse ist der Abbau organischer Substanzen (Ab- und Umbau biologisch abbaubarer Bestandteile) durch die Anwendung aerober Verfahren oder anaerober Verfahren mit nachfolgenden aeroben Behandlungsschritten. Mechanisch-biologisch behandelte Abfälle zeichnen sich durch eine deutliche Reduzierung von Volumen, Wassergehalt, Gasbildungspotenzial und Atmungsaktivität sowie durch eine deutliche Verbesserung des Auslaug- und Setzungsverhaltens aus.

- **Altlastensanierungsgesetz (ALSAG)**

Von der Beitragspflicht ausgenommen sind Rekultivierungsschichten für Deponien und Verfüllungen oder für Geländeanpassungen unter Nachweiserbringung bestimmter Voraussetzungen. Die Rekultivierungsschicht soll aus kulturfähiger Erde (§ 2 Abs. 15) hergestellt werden, wobei Hausmüll oder hausmüllähnliche Abfälle (einschließlich Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung) nicht als Ausgangsmaterial verwendet werden dürfen. In Anlage 1 sind unter anderem Höchstkonzentrationen für Blei, Cadmium und Quecksilber in Rekultivierungsschichten für Altlasten definiert.



- Bundesgesetz, mit dem das Forstwesen geregelt wird (**Forstgesetz 1975**)
Gemäß § 16 Forstgesetz ist die Ablagerung von Klärschlamm auf Waldflächen verboten.
- Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (**Bundeskompostverordnung**)
Um qualitativ hochwertigen Kompost herzustellen und dadurch seine Absatzchancen als Produkt zu steigern, ist besonderes Augenmerk auf das Ausgangsmaterial zu richten, welches zur Kompostierung eingesetzt wird. Es werden daher strenge Anforderungen an die Herstellung von Komposten aus Klärschlämmen gestellt:
 - Schadstoffgrenzwerte für das Ausgangsmaterial Klärschlamm;
 - Schadstoffgrenzwerte für fertigen Kompost (Schwermetall-Gehalte, seuchenhygienische Unbedenklichkeit), Inverkehrsetzungsverbot von Komposten minderer Qualität;
 - Aufzeichnungspflichten;
 - Meldepflichten;
 - spezielle Untersuchungsanforderungen;
 - Kenzeichnungspflichten und Aufbringungsempfehlungen für das Produkt.

Im Zuge einer fachgerechten Kompostierung werden sowohl pathogene Keime weitgehend abgetötet als auch organische Schadstoffe ab- und/oder umgebaut. In der Landwirtschaft dürfen nur Qualitätsklärschlammkomposte eingesetzt werden, die strengen Grenzwerten unterliegen (siehe Tabelle 34). Komposte, welche die Grenzwerte der Tabelle 35 erfüllen, werden für die Herstellung von Reaktivierungsschichten, im Landschaftsbau, bei Grünanlagen von Sportstätten und Freizeitanlagen eingesetzt.

In Anlage 1 Teil 2 der Kompostverordnung sind Ausgangsmaterialien für Kompost und Qualitätsklärschlammkompost beschrieben. Die Eignung der Ausgangsmaterialien muss grundsätzlich durch Herkunftsnachweis, Kenntnis des Entstehungsprozesses (verbindliche Erklärung des Prozessbetreibers) oder analytische Kontrolle sichergestellt sein.

Tabelle 34 und Tabelle 35 zeigen die Grenzwerte, die von Schlamm als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Qualitätsklärschlammkomposte bzw. von Komposten einzuhalten sind.

Tabelle 34: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost, in mg/kg TM (Anlage 1 Teil 2 Kompostverordnung) bzw. für die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Flächen (BAWP 2006).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	2	300	60	100	1.200	2	70

Tabelle 35: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost, in mg/kg TM (Anlage 1 Teil 2 Kompostverordnung) bzw. für die nicht-landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm (BAWP 2006)

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	3	500	100	200	2.000	5	300

- Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959)

Das Wasserrechtsgesetz (WRG) verpflichtet durch das Reinhaltegebot für Gewässer (§ 30 WRG) zu einer ordnungsgemäßen Reinigung der anfallenden Abwässer. Im Zuge der Verwertung bzw. Entsorgung der dabei angefallenen Klärschlämme dürfen die Gewässer nicht beeinträchtigt werden. Die Einleitung von Klärschlämmen in Oberflächengewässer ist verboten. Eine wasserrechtliche Bewilligung ist notwendig, wenn eine Klärschlammausbringung mehr als nur geringfügige Auswirkungen auf die Gewässergüte hat. Als Schwellenwerte, bis zu denen eine Geringfügigkeit angenommen werden kann, können im Fall von Klärschlamm z. B. in Bezug auf die Stickstoff-Fracht, die Regelungen der Düngung herangezogen werden. Weitere Einschränkungen für die Ausbringung von Klärschlämmen ergeben sich in Wasserschutz- und Wasserschongebieten (§ 34ff WRG) und in anderen wasserrechtlich besonders geschützten Gebieten.

- Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (**Düngemittelgesetz 1994 – DMG 1994**)

Das Düngemittelgesetz regelt das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln. Diese genannten Substanzen dürfen nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie einem in der Düngemittelverordnung festgelegten Typ oder der EG-Verordnung Nr. 2003/2003 entsprechen.

Gemäß § 4 ist das Düngemittelgesetz nicht anzuwenden auf „Komposterden, die nicht als Kultursubstrate in Verkehr gebracht werden, Produkte gemäß Abfallwirtschaftsgesetz sowie die Verwertung von Abwässern und Abfällen, wie Klärschlamm, Klärschlammkompost, Fäkalien und Müllkompost.“

Gemäß § 5 Düngemittelgesetz ist es verboten, Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenmittel in Verkehr zu bringen, welche unbehandelten oder kommunalen Klärschlamm(kompost) enthalten.

- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (**Düngemittelverordnung**)

Laut Düngemittelverordnung dürfen nur Produkte in Verkehr gebracht werden, wenn sie bei bestimmungsgemäßer Verwendung keine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit, die pflanzliche, tierische und menschliche Gesundheit und die Umwelt darstellen.

Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel dürfen nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn

- a) die in Tabelle 36 gezeigten Schwermetallfrachten, gemäß der in der Kennzeichnung angegebenen maximalen Aufwandmenge, auf landwirtschaftlichen Nutzflächen nicht überschritten werden, und
- b) die Düngemittel, Bodenhilfsstoffe bzw. Pflanzenhilfsmittel geringere Schwermetallkonzentrationen aufweisen als in Tabelle 37 angegeben.

Tabelle 36: Zulässige Frachten an Schadstoffen in einem Zeitraum von zwei Jahren, in g/ha (Anlage 2 Düngemittelverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer*	Nickel	Blei	Zink*	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte (g/ha in 2 Jahren)	10	700	400	600	3.000	10	600

* ausgenommen mineralische Spurennährstoffdünger



Tabelle 37: Zulässige Schwermetallgrenzwerte für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel, in mg/kg TM (Anlage 2 Düngemittelverordnung).

Parameter	Cadmium	Nickel	Blei	Vanadium	Quecksilber	Chrom
Düngemittel*, Bodenhilfsstoffe, Pflanzenhilfsmittel	3	100	100	-	1	100
Mineralische Düngemittel mit mehr als 5 % P ₂ O ₅	75 mg/kg P ₂ O ₅	100	100	4.000	1	2.700
Kultursubstrate	1	70	50	-	0,5	70

* ausgenommen mineralische Düngemittel mit mehr als 5 % P₂O₅

● **Österreichisches Aktionsprogramm Nitrat 2008** zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie

Mit dem Aktionsprogramm Nitrat wird in Österreich die EU-Nitratrichtlinie 91/676/EWG umgesetzt. Grundlage für das Aktionsprogramm Nitrat 2008 bildet das Aktionsprogramm Nitrat 2003. Die neuen Bestimmungen sind mit 1. Februar 2008 in Kraft getreten und bringen Änderungen bei der Düngung entlang von Gewässern (Randzonen). Weiters sind für Acker-, Grünland- und Gemüsekulturen Stickstoffobergrenzen festgeschrieben:

- Obergrenze für Wirtschaftsdünger – max. 170 kg N/ha im Betriebsschnitt;
- Grenzen für alle stickstoffhaltigen Düngemittel – max. 175 bzw. 210 kg N/ha im Betriebsschnitt (wasserrechtliche Bewilligung bei Überschreitung).
- Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (**ÖPUL 2007**)

Dieses Programm umfasst in Hinblick auf Klärschlammausbringung:

- Maßnahmen mit generellem Klärschlammausbringungsverbot auf der gesamten landwirtschaftlichen Betriebsfläche;
- Maßnahmen mit einem Klärschlamm-Ausbringungsverbot auf der von der Förderung betroffenen Fläche.

Zu den Maßnahmen mit generellem Klärschlammausbringungsverbot auf der gesamten landwirtschaftlichen Betriebsfläche zählen:

- Biologische Wirtschaftsweise;
- Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerflächen;
- Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Ackerfutterflächen und Grünlandflächen;
- Silageverzicht in bestimmten Gebieten (nicht im Bgld.);
- Ökopunkte (NÖ).

Die Maßnahmen mit einem Klärschlamm-Ausbringungsverbot auf der von der Förderung betroffenen Fläche umfassen:

- Integrierte Produktion Obst und Hopfen;
- integrierte Produktion Wein;
- Bewirtschaftung von besonders auswaschungsgefährdeten Ackerflächen
- Erhaltung und Entwicklung naturschutzfachlich wertvoller oder gewässerschutzfachlich bedeutsamer Flächen (auf Projektflächen in Naturschutzdatenbank);
- Bewirtschaftung von Bergmähdern;
- Alpeng und Behirtung.

4.3 Regelungen der Bundesländer zum Bodenschutz und zur Klärschlammnutzung

Die Regelung der Aufbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich genutzte Böden und Böden generell fällt in die Bodenschutzkompetenz der einzelnen Bundesländer und wird in Form von Bodenschutzgesetzen, Klärschlammgesetzen und Klärschlammverordnungen umgesetzt. Basis bildet die EU-Klärschlamm-Richtlinie, welche Mindestanforderungen vorgibt.

Die Bundesländer Salzburg, Wien und Tirol haben ein generelles Ausbringungsverbot von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Grundflächen erlassen.

4.3.1 Burgenland

- Gesetz über den Schutz landwirtschaftlicher Böden (**Burgenländisches Bodenschutzgesetz**)

Ziel des Burgenländischen Bodenschutzgesetzes ist die Erhaltung und Verbesserung der Fruchtbarkeit landwirtschaftlicher Böden. Im Abschnitt drei werden die Voraussetzungen für das Aufbringen von Klärschlamm und Müllkompost, Aufbringungsverbote, Aufzeichnungspflichten und die Überwachung geregelt.

- Verordnung der Burgenländischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden (**Burgenländische Klärschlamm- und Müllkompostverordnung**)

Die Klärschlamm- und Müllkompostverordnung regelt die Beschaffenheit von Klärschlamm, welcher vor Aufbringung auf landwirtschaftlichen Böden auf bestimmte Parameter hin zu untersuchen ist. Landwirtschaftliche Böden, auf denen erstmalig Klärschlamm aufgebracht werden soll, sind ebenfalls einer Untersuchung zu unterziehen. In der Verordnung sind zulässige Grenzwerte für Klärschlamm und Böden sowie die jährlich zulässigen Schadstofffrachten in Gramm pro Hektar festgelegt. Aufgrund von Schadstoffgehalten ist Klärschlamm, der zum Aufbringen auf landwirtschaftliche Böden geeignet ist, den Güteklassen I und II zuzuordnen (siehe Tabelle 38).

Tabelle 38: Zulässige Grenzwerte für Klärschlämme (§ 3 (1) Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung), welche auf landwirtschaftliche Böden aufgebracht werden dürfen, in mg/kg TS.

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Güteklasse I	2	300	60	100	1.000	2	100
Güteklasse II	10	500	100	500	2.000	10	500

Durch das Aufbringen von Klärschlamm oder Müllkompost darf der Schadstoffgehalt der Aufbringungsflächen die in Tabelle 39 gezeigten Werte nicht überschreiten.

Tabelle 39: Grenzwerte für Schadstoffe im Boden (§ 3 (5) Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung), in mg/kg TS.

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	2	100	60	100	300	1,5	100



In der Burgenländischen Klärschlamm- und Müllkompostverordnung sind zusätzlich jährliche Schadstofffrachten, welche auf landwirtschaftliche Böden jährlich durch Klärschlämme aufgebracht werden dürfen, enthalten (siehe Tabelle 40).

Tabelle 40: Jährlich zulässige Frachten an Schadstoffen, in g/ha/a (§ 4 (1) Bgl. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Ackerland	25	1.250	250	1.250	5.000	25	1.250
Wiesen, Weiden	12,5	625	125	625	2.500	12,5	625

4.3.2 Kärnten

- Verordnung der Landesregierung über die Aufbringung von behandeltem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall auf landwirtschaftlich genutzte Böden (**Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung – K-KKV**)

Die Verordnung regelt die Verwertung von biogenen Abfallstoffen wie Klärschlamm, Kompost und Vergärungsrückständen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau. In Anlage 1–9 der Verordnung sind Schwermetallgrenzwerte für biogene Abfallstoffe (siehe Tabelle 41), hygienische Parameter, Anforderungen für Klärschlämme aller Qualitätsklassen, organische Schadstoffe, maximale Aufbringungsmengen für biogene Abfallstoffe in der Landwirtschaft, Bodengrenzwerte (siehe Tabelle 42), agronomische Parameter und Grenzwerte für die Menge an Schwermetallen, die gemittelt über zehn Jahre den Böden jährlich zugeführt werden dürfen (siehe Tabelle 43), enthalten.

Tabelle 41: Schwermetallgrenzwerte für biogene Abfallstoffe, in mg/kg TM (§13 Anlage 1 K-KKV).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Klasse B	2,5	300	80	150	1.800	2,5	100
Klasse AB	2	300	60	150	1.200	2	70
Klasse A	1	150	60	150	500	0,7	70
Klasse I	0,7	70	25	45	200	0,4	70

Tabelle 42: Bodengrenzwerte, in mg/kg TM (§13 Anlage 7 K-KKV).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
5 < pH < 5,5	0,5	40	30	50	100	0,2	50
5,5 < pH < 6,5	1	50	50	70	150	0,5	75
pH > 6,5	1,5	100	70	100	200	1	100

Tabelle 43: Grenzwerte für die Menge an Schwermetallen, die gemittelt über zehn Jahre den Böden jährlich zugeführt werden dürfen, in g/ha.a (§13 Anlage 9 K-KKV).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	6	1.800	300	600	4.500	6	350

4.3.3 Niederösterreich

- **Niederösterreichisches Bodenschutzgesetz (NÖ BSG)⁵**

Das Niederösterreichische Bodenschutzgesetz enthält Bestimmungen über die Verwertung von Klärschlamm, Kompost und Rückständen aus der Wein- und Obstbereitung.

- **Niederösterreichische Klärschlammverordnung**

Die NÖ Klärschlammverordnung trifft nähere Regelungen über die Voraussetzungen zur Ausbringung von Klärschlamm. Von besonderer Bedeutung sind dabei Bodenverträglichkeit und Ausbringungszeitraum. Böden, auf die erstmalig eine Aufbringung von Klärschlamm erfolgen soll, sind nach dem Bodeneignungsklassenschema einzustufen. Anlage A beschreibt die Methodik der Bestimmung von Bodeneignungsklassen für die Klärschlammaufbringung (Verträglichkeitsgutachten).

Böden, auf die erstmalig eine Aufbringung von Klärschlamm erfolgen soll, sind auf die in Tabelle 44 gezeigten Parameter des Oberbodens zu untersuchen.

Tabelle 44: Grenzwerte für Schadstoffe im Boden, in mg/kg TS (§ 3 (1) NÖ Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte	1,5/1 (bei pH < 6)	60	50	100	200	1	100

Für die Aufbringung auf Böden sind nur Klärschlämme der Qualitätsklassen I und II zulässig. Klärschlamm, der zur Aufbringung auf Böden bestimmt ist, ist auf die in Tabelle 45 gezeigten Parameter unter Anwendung der in Anlage D beschriebenen Methoden und Vorschriften zu untersuchen (Unbedenklichkeitszeugnis).

Tabelle 45: Schadstoffgrenzwerte für Klärschlämme der Qualitätsstufe II, in mg/kg TS (§ 5 (3) NÖ Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom	AOX
Grenzwerte	2	300	60	100	1.500	2	70	500

Die Zeiträume, innerhalb derer jeweils ein weiteres Unbedenklichkeitszeugnis nach erfolgter Erstuntersuchung eingeholt werden muss, hängen von der Klärschlammqualität ab. Die Aufbringungsmengen sind von der Klärschlammqualität, der Bodeneignungsklasse und der Bodennutzung abhängig.

4.3.4 Oberösterreich

- **Verordnung der Oberösterreichischen Landesregierung betreffend Bodengrenzwerte (OÖ. Bodengrenzwerte-Verordnung)**

Die OÖ. Bodengrenzwerte-Verordnung legt Grenzwerte für Schadstoffe beim Aufbringen von Stoffen auf den Boden einerseits als Vorsorgewerte und andererseits als Prüfwerte fest. Festgelegt wurden auch Grenzwerte für die zulässigen jährlichen Schadstofffrachten der verschiedenen Eintragspfade (siehe Tabelle 46).



Des Weiteren werden auch landwirtschaftliche Betriebsmittel beschrieben, deren Ausbringung auf Böden im Rahmen einer ordnungsgemäßen landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung zulässig ist.

Tabelle 46: Vorsorgewerte, Limits für Jahreseintragsfrachten und Prüfwerte gemäß OÖ.-Bodengrenzwerte-Verordnung 2006.

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Vorsorgewert (in mg/kg luftgetrockneter Boden)	0,5	60	60	100	150	0,5	100
Maximal zulässige jährliche Frachten über alle Eintragspfade (in g/ha)	6	360	100	400	1.200	1,5	300
Prüfwert (in mg/kg luftgetrockneter Boden)	1	100	100	200	300	1	200

- Landesgesetz vom 3. Juli 1991 über die Erhaltung und den Schutz des Bodens vor schädlichen Einflüssen sowie über die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln (**OÖ. Bodenschutzgesetz**)

Im OÖ. Bodenschutzgesetz werden im Abschnitt II Bestimmungen über Klärschlamm und Komposte geregelt (z. B. Eignungsbescheinigung, Eignung des Bodens, Beschränkungen der Ausbringungsmengen, Ausbringungsverbote).

- Verordnung der Oberösterreichischen Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden (**OÖ. Klärschlammverordnung 2006**)

Die OÖ. Klärschlammverordnung 2006 legt Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Klärschlamm und im Boden fest.

Für Klärschlamm, der auf Böden ausgebracht werden soll, wurden die in Tabelle 47 gezeigten Schadstoffgrenzwerte festgelegt.

Tabelle 47: Schadstoffgrenzwerte für Klärschlamm, in mg/kg TS (§ 1 OÖ. Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom	AOX
Grenzwerte	5	400	80	400	1.600	7	400	500

Für Böden, auf die Klärschlamm aufgebracht werden soll, sind die in Tabelle 48 angeführten Schadstoffgrenzwerte festgelegt.

Tabelle 48: Schadstoffgrenzwerte im Boden (§ 2 Oö. Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte (in mg/kg luftgetrockneter Boden)	0,5	60	60	100	150	0,5	100

Auf Böden mit einem pH-Wert unter 5,0 ist die Aufbringung von Klärschlamm verboten.

Innerhalb von drei Jahren dürfen auf Böden insgesamt 10 t Trockensubstanz pro Hektar an Klärschlamm ausgebracht werden.

4.3.5 Salzburg

- Gesetz zum Schutz der Böden vor schädlichen Einflüssen (**Salzburger Bodenschutzgesetz**)
- Verordnung der Salzburger Landesregierung zum Schutz des Bodens bei der Verwendung von Klärschlamm und klärschlammhaltigen Materialien (**Salzburger Klärschlamm-Bodenschutzverordnung**)

Die Klärschlamm-Bodenschutzverordnung verbietet die Verwendung von Klärschlamm und Klärschlammisierungen auf Böden. Von diesem Verbot ausgenommen sind mit landwirtschaftlichen Abwässern vermischte und durch mindestens dreimonatige Lagerung hygienisierte Klärgrubeninhalte oder Klärschlämme aus häuslichen Abwässern des eigenen landwirtschaftlichen Betriebes unter bestimmten Voraussetzungen sowie Klärschlämme und Klärschlammisierungen aus Abwasserreinigungsanlagen aus Einzelobjekten in Extremlagen mit wasserrechtlicher Bewilligung.

Die Ausbringung von unvermischten oder beigemengten Klärschlammkomposten ist nur unter bestimmten Voraussetzungen und sehr eingeschränkt möglich. Auf landwirtschaftlichen Flächen dürfen nur Qualitätsklärschlammkomposte im Sinne der Bundeskompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) ausgebracht werden, wenn diese Flächen weder direkt noch indirekt der Nahrungsmittelproduktion dienen.

4.3.6 Steiermark

- Gesetz zum Schutz landwirtschaftlicher Böden (**Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz**)

Im Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzgesetz zum Schutz landwirtschaftlicher Böden wird im Abschnitt II die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkomposten geregelt. Voraussetzung für eine Klärschlammaufbringung ist die Durchführung einer Bodenuntersuchung nach bestimmten Untersuchungsparametern vor dem erstmaligen Aufbringen. Die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm ist nur bei nachgewiesener Klärschlammqualität und Bodeneignung sowie auf der Grundlage eines Aufbringungszeugnisses zulässig. Bei jeder Klärschlammaufbringung ist eine Bestätigung in dreifacher Ausfertigung auszustellen, wobei eine Ausfertigung der Behörde zu übermitteln ist. Die jährliche Aufbringung ist in Abhängigkeit von der Nutzung limitiert (max. 2,5 t Trockensubstanz auf Ackerland, max. 50 m³ pro Einzelgabe und max. 1,25 t Trockensubstanz auf Grünland pro Hektar und Jahr; doppelte Mengen, wenn im Vorjahr keine Aufbringung erfolgt ist) bzw. auf bestimmten Flächen verboten.

- Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden (**Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007**)

Klärschlamm, welcher für die landwirtschaftliche Verwertung vorgesehen ist, muss auf bestimmte Parameter untersucht werden. Die in Tabelle 49 gezeigten, gesetzlich festgelegten Grenzwerte für anorganische und organische Schadstoffe dürfen nicht überschritten werden.



Tabelle 49: Schadstoffgrenzwerte für Klärschlamm, in mg/kg TS (§ 3 (1) Steiermärkische Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom	AOX	PAK*
Grenzwerte	2	300	60	100	1.200	2	70	500	6

* 16 EPA-Leitsubstanzen

In landwirtschaftlichen Böden darf der Schadstoffgehalt keinen der in Tabelle 50 wiedergegebenen Grenzwerte überschreiten (bezogen auf luftgetrockneten Feinboden).

Tabelle 50: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost (Teil 2 Bundeskompostverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte (in mg/kg luftgetrockneter Feinboden)	0,5	60	60	100	150	0,5	100

Jährlich dürfen auf landwirtschaftlichen Böden höchstens die in Tabelle 51 gezeigten Frachten an Schadstoffen in Gramm pro Hektar über Klärschlamm (alternativ dazu Klärschlammkompost) aufgebracht werden.

Tabelle 51: Jährlich zulässige Frachten an Schadstoffen, in g/ha.a (§ 4 (1) Steiermärkische Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Ackerboden	5	750	150	250	3.000	5	175
Grünland	2,5	375	125	125	1.500	2,5	88

Die jährlich zulässigen Frachten können bei landwirtschaftlichen Böden verdoppelt werden, wenn im vorangegangenen Jahr eine Aufbringung von Klärschlamm oder Klärschlammkompost unterblieben ist. Die Aufbringung von Klärschlamm oder Klärschlammkompost und Gülle bzw. von Klärschlamm und Klärschlammkompost im selben Jahr ist verboten.

4.3.7 Tirol

- Gesetz über den Schutz des Feldgutes und die Ausbringung von Klärschlamm (**Tiroler Feldschutzgesetz 2000**)

Im Tiroler Feldschutzgesetz wird die Ausbringung von Klärschlamm und Produkten, die Klärschlamm enthalten, auf landwirtschaftliche Grundflächen verboten.

4.3.8 Vorarlberg

- Verordnung der Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm (**Vorarlberger Klärschlammverordnung**)

Laut dieser Verordnung darf Klärschlamm nur in Form von Klärschlammdünger ausgebracht werden. Betreiber kommunaler Abwasserreinigungsanlagen haben jährlich die Menge des erzeugten Klärschlammes sowie seine Verwertung und Entsorgung zu melden. Hersteller von Klärschlammdünger haben über die Menge des übernommenen Klärschlammes, die Art, dessen Behandlung und Verwertung sowie über die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Klärschlammdüngers zu berichten. Weiters sind Anforderungen an den Klärschlammdünger, an Grenzwerte ausgewiesener Parameter, zulässige Ausbringungsmengen, Ausbringungsflächen und Überwachung der Ausbringungsflächen beschrieben.

Zur Herstellung von Klärschlammdünger darf nur biologisch stabilisierter Klärschlamm von Abwasserreinigungsanlagen verwendet werden, bei denen Untersuchungen des Klärschlammes keine Überschreitungen der in Tabelle 52 ausgewiesenen Grenzwerte ergeben.

Tabelle 52 Grenzwerte für Klärschlamm, in mg/kg TM (§ 2 Vorarlberger Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom	PCB*	PCDD/ PCDF
Grenzwerte	4	500	100	150	1.800	4	300	0,2	100 ng

* Komponenten Nr. 28, 52, 101, 138, 153, 180

Klärschlammdünger darf nicht auf Flächen ausgebracht werden, wenn der Gehalt des Bodens an Schwermetallen einen der in Tabelle 53 gezeigten Grenzwerte überschreitet.

Tabelle 53 Grenzwerte für Böden (§ 6 Vorarlberger Klärschlammverordnung).

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte (in mg/kg luftgetrockneter Boden)	2/1 *	100	60	100	300/200*	1	100

* gilt bei einem pH-Wert des Bodens unter 6

4.3.9 Wien

- Gesetz über das Verbot der Ausbringung von Klärschlamm (**Wiener Klärschlammgesetz**)

In Wien ist die Ausbringung von Klärschlamm verboten. Ausgenommen vom Verbot sind hygienisch unbedenkliche Produkte (unter Einhaltung bestimmter Voraussetzungen), die behandelten Klärschlamm beinhalten und deren Inverkehrbringung, insbesondere als Düngemittel, Komposte und Erden, nach bundesrechtlichen Vorschriften zulässig ist.

5 ABFALLVERMEIDUNG

Aus Sicht der Abwasserwirtschaft stellt Klärschlamm jene Senke dar in der die in Abwässern enthaltenen Schadstoffe möglichst konzentriert und von den Wasserströmen abgetrennt werden. Eine Vermeidung des Klärschlammes an sich kann daher kein Ziel der Abfallvermeidung sein.

Jedoch ist es möglich, in der Kläranlage die im Schlamm enthaltenen Zellen aufzuschließen (zu desintegrieren), dadurch die Zellinhaltsstoffe für den biologischen Abbau (z. B. im Faulbehälter) besser zugänglich zu machen und so die Masse an anfallendem Klärschlamm zu verringern, ohne die Reinigungswirkung der Kläranlage zu beeinträchtigen. Abbildung 9 zeigt zur Illustration ein vereinfachtes Verfahrensfliessbild einer Kläranlage mit Schlammdesintegration.

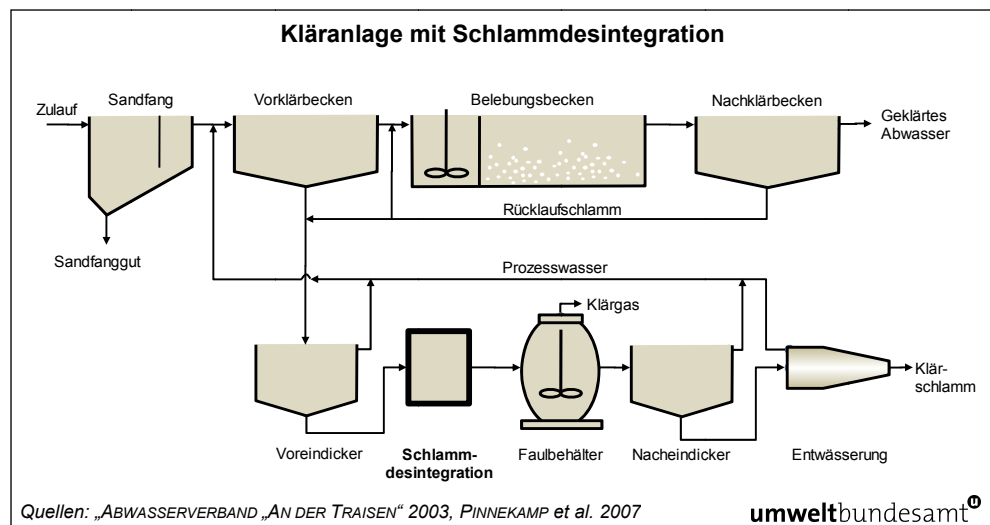


Abbildung 9: Vereinfachtes Fließbild einer Kläranlage mit Schlammdesintegration (ABWASSERVERBAND „AN DER TRAISEN“ 2003, PINNEKAMP et al. 2007).

Folgende Verfahren zur Schlammdesintegration wurden bisher untersucht:

- Die Thermische Desintegration beschleunigt die Hydrolyse des Schlammes und verkürzt damit die Faulzeit. Jedoch kommt es zu Geruchsentwicklungen, Korrosions- und Regelungsproblemen.
- Für die Chemische Desintegration gibt es derzeit fast nur Untersuchungen im Labormaßstab. Das Verfahren erfordert einen relativ hohen Chemikalieneinsatz. Eine Kombination mit der Thermischen Desintegration erscheint möglich.
- Oxidationsverfahren sind im Allgemeinen sehr effizient. Jedoch sind sie prozesstechnisch aufwändig und energieintensiv.
- Zu den mechanischen Verfahren zählen Rührwerkskugelmühle, Ultraschall und Lysatzentrifuge. Ein Pilotversuch an der Kläranlage Traismauer hat die Effizienz des Ultraschallverfahrens nachgewiesen (ABWASSERVERBAND „AN DER TRAISEN“ 2003).

Abfallvermeidung im Zusammenhang mit Klärschlamm umfasst jedoch auch alle Maßnahmen, die verhindern, dass Schadstoffe ins Abwasser gelangen. Eine umfassende Darstellung aller effizienten Maßnahmen, die den Eintrag von Schadstoffen ins Abwasser vermeiden, würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Deshalb sollen hier nur einige Beispiele kurz dargestellt werden.



Eine Hauptquelle der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink im Klärschlamm sind die künstlichen Oberflächen einer Gemeinde (z. B. Gebäudeoberflächen, Rohre, Stromleitungen der Eisenbahn), Bremsbeläge etc. Eine Stoffstromanalyse für die Stadt Villach zeigt, dass rund 11 % des von den städtischen Oberflächen gelösten bzw. abgeriebenen Kupfers in den Klärschlamm gelangt. Bei Zink sind es 16 %, bei Cadmium 21 % und bei Blei 32 %. Besonders die Oberflächen von Gebäuden stellen aufgrund ihrer langen Verwendungsdauer langzeitwirksame Emissionsquellen für Zink und Cadmium dar. In Zukunft sollten keine zinkhaltigen Dachmaterialien mehr verwendet werden. Blei stammt vornehmlich aus Bleirohren. Diese sollten daher ersetzt werden (REBERNIG 2007).



6 BEHANDLUNGSWEGE VON KLÄRSCHLAMM

Die Klärschlammbehandlung liegt oftmals im Spannungsfeld zwischen gesetzlichen Regelungen wie Wasserrechtsgesetz, Abfallwirtschaftsgesetz und Regelungen in Bezug auf Landwirtschaft und Bodenschutz (siehe Kapitel 4). Zur Auswahl des besten Verfahrens zur Behandlung von Klärschlamm sind neben den legislativen Vorgaben aber auch die ökonomischen Parameter zu beachten. Dabei sind die Kosten (siehe Tabelle 54) ein wichtiges, aber nicht das einzige Entscheidungskriterium.

Die Auswahl des Behandlungsverfahrens hängt davon ab, ob der Nutzung der Wertstoffe oder einer Ausschleusung der Schadstoffe der Vorrang gegeben wird. Laut KROISS (2007) ergeben sich daraus drei prinzipielle Verwertungsstrategien:

- Landwirtschaftliche oder landbauliche Verwertung des Klärschlammes mit gewissen Qualitätskriterien nach entsprechender Behandlung – hier erfolgt keine Abtrennung von Schwermetallen aus dem Wirtschaftskreislauf.
- Ausschleusung der Schadstoffe durch Deponierung der Rohstoffe nach weitgehender Inertisierung (Verbrennung, Mitverbrennung in Abfallbeseitigungsanlagen), wobei der Energiegehalt des Klärschlammes genutzt wird, das stoffliche Wertstoffpotenzial (noch) nicht.
- Verwertung des Klärschlammes in der Baustoffindustrie (Zement, Ziegel), wobei der Energiegehalt oder das stoffliche Wertpotenzial genutzt wird; auch hier erfolgt keine Abtrennung von Schwermetallen aus dem Wirtschaftskreislauf.

Tabelle 54: Kosten der Behandlung ohne Entwässerung.

Behandlungsweg	Kosten	Quellen
Landwirtschaft	80–200 €/t TS	DICKER 2006
Kompostierung mit Verwertung in Landwirtschaft oder Landschaftsbau	160–240 €/t TS	DICKER 2006
MBA	160–260 €/t TS	UMWELTBUNDESAMT 2004a
Vererdung	143–286 €/t TS	UMWELTBUNDESAMT 2004a
Mitverbrennung*	200–480 €/t TS	UMWELTBUNDESAMT 2004a
Monoverbrennung	230 €/t TS 330–500 €/t TS	DICKER 2006 ERMEL 2002

* Die Kosten der Mitverbrennung hängen vom Sektor ab, in dem die Mitverbrennung stattfindet:

Zementindustrie < Kohlekraftwerke < Klärschlammmitverbrennung in Abfallmonoverbrennungsanlagen

Die nachfolgenden Unterkapitel sollen Grundprinzipien, aktuelle Entwicklung sowie Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Klärschlammbehandlungsverfahren erläutern.

6.1 Vorbehandlung (Klärschlamm-trocknung)

Der Trockensubstanzgehalt des Klärschlammes ist von der Entwässerungsmethode der Kläranlage abhängig. Unter Einsatz von Konditionierungsmitteln wie Kalk oder Polymeren können mit mechanischen Entwässerungssystemen Trockensub-

stanzergebnisse von max. 45 % Trockensubstanz erreicht werden. Darüber hinaus liegt der Wasseranteil in Bindungsformen vor, die nur durch den Einsatz von thermischen Trocknungsverfahren entfernt werden können (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2007).

Ursprünglich wurde Klärschlamm getrocknet, um Volumen und Gewicht zu reduzieren und damit ein lager- und transportfähiges Gut zu erzeugen. Heute ist das vorrangige Ziel die Erzeugung eines heizwertreichen Produkts. Dieses kann in Verbrennungsanlagen und Kraftwerken eingesetzt werden. Durch die krümelige Struktur des getrockneten Klärschlammes sind eine leichtere Handhabung und auch eine höhere Akzeptanz bei der weiteren Verwertung zu erwarten (MELSA 1998).

Je nach Art der Verwendung wird Klärschlamm auf bis zu 90 % Trockenmasse getrocknet. Der Heizwert des getrockneten Klärschlammes liegt zwischen 8.000 kJ/kg und 10.000 kJ/kg und ist damit ähnlich dem Heizwert von Braunkohle (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 2008).

Wie aus Abbildung 10 hervorgeht, erfolgt die Klärschlamm-trocknung nach der Entwässerung. Die Trocknung kann thermisch durch den Einsatz fossiler Brennstoffe, durch die Nutzung von Prozesswärme oder solar durch Sonnenenergie erfolgen.

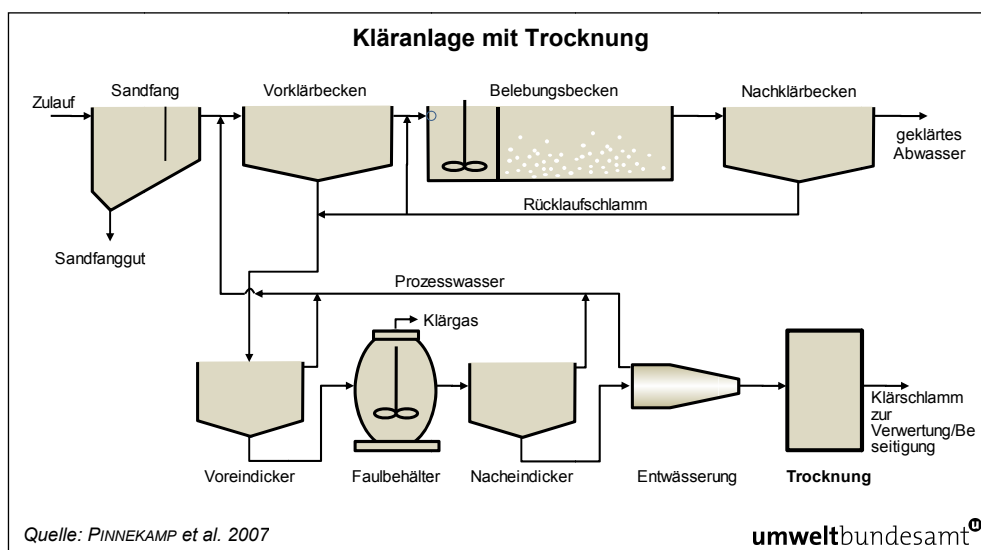


Abbildung 10: Schema einer Kläranlage mit nachfolgender Klärschlamm-trocknung (nach PINNEKAMP et al. 2007).

Trocknungsverfahren (siehe Abbildung 11)

1. Konvektionstrocknung

Bei der Konvektionstrocknung ist der Wärmeträger ein Trocknungsgas, das dem Klärschlamm zugeführt wird. Das Trocknungsgas gibt dem Trockengut Wärme ab, wodurch Wasserdampf freigesetzt wird, welcher mit dem Trocknungsgas abtransportiert wird (SCHREFF & HARBIG 2007). Es kommen folgende Trocknungssysteme zum Einsatz:

- Scheibentrockner
- Trommeltrockner

2. Kontakttrocknung

Die Kontakttrocknung ist eine indirekte Trocknungsform. Ein Wärmeträger (z. B. Thermoöl, Dampf oder Luft) führt die Wärme zu einer Kontaktfläche. Die Wärme wird in das Trockengut eingetragen und der entstehende Wasserdampf mit der Leckluft aus dem System abtransportiert (SCHREFF & HARBIG 2007). In Verwendung stehen folgende Trocknungssysteme:

- Dünnschichttrockner
- Scheibentrockner
- Wirbelschichttrockner

3. Strahlungstrocknung

Bei der Strahlungstrocknung wird Wärme mittels Infrarotlicht oder Elektromagnetismus erzeugt und direkt auf den Klärschlamm übertragen. Dadurch kommt es zur Entstehung von Wasserdampf, welcher mit der Leckluft aus dem System abtransportiert wird (SCHREFF & HARBIG 2007).

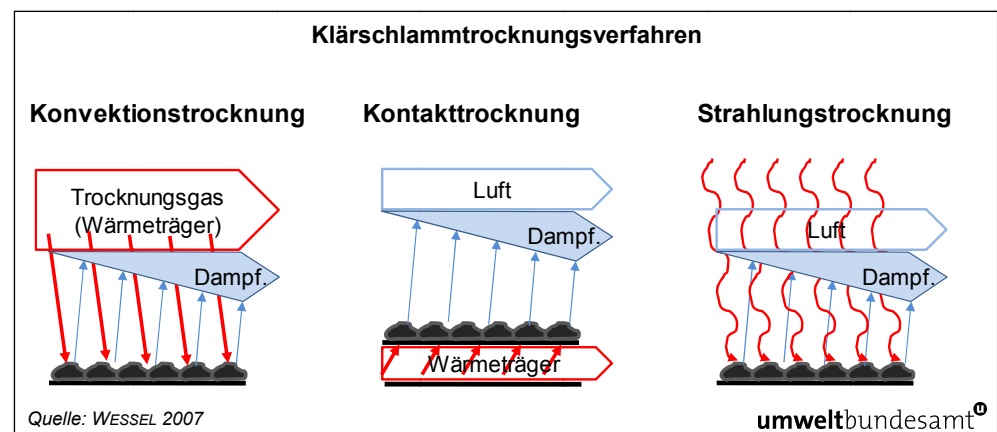


Abbildung 11: Verfahren zur Klärschlamm-trocknung (WESSEL 2007).

Die Klärschlamm-trocknung ermöglicht einen vielseitigen Einsatz von Klärschlamm. Neben der Verwendung als Nährstoffträger wird getrockneter Klärschlamm in Zementwerken, Papierfabriken etc. als Ersatz für fossile Brennstoffe eingesetzt. Dies verringert die Treibhausgasemissionen.

Durch eine möglichst dezentrale Trocknung des Klärschlammes kann der Ressourcenverbrauch, welcher für den Transport erforderlich ist, deutlich verringert werden. Die Trocknung selbst erfordert einen hohen Energieeinsatz. Der Verbrauch von fossilen Ressourcen kann durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern und insbesondere durch die Nutzung von solaren Trocknungssystemen verringert werden.

6.2 Direkte landwirtschaftliche Verwertung

In der Landwirtschaft wird Klärschlamm als Bodenverbesserungsmittel und zu Düngezwecken eingesetzt. Zu den verwertbaren Bestandteilen des Klärschlammes zählen Stickstoff, Phosphor, Kalzium, Magnesium und Kalium (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11). Insbesondere Stickstoff und Phosphor können das Pflanzenwachstum fördern.

Die Ausbringung des stabilisierten und entseuchten Klärschlammes auf die landwirtschaftlichen Flächen erfolgt entweder in flüssiger Form oder nach vorhergehender Entwässerung. Flüssige Klärschlämme weisen einen Trockensubstanzgehalt von 2,5 bis 10 % auf. Der Trockensubstanzgehalt von entwässerten Klärschlämmen liegt bei 20–40 %.

Während der Vegetationszeit wird der behandelte Klärschlamm zwischengelagert. Anschließend wird er mit Flüssigschlamm aufgemischt, mit Tankwagen zur Aufbringungsfläche transportiert und direkt in den Boden eingebracht (MELSA 1998).

Die Verwertung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau ist insbesondere für mittlere und kleinere Anlagen in ländlichen Gebieten wegen des geringen Klärschlammanfalles und des geringen Transportaufwandes von Bedeutung. Umgekehrt ist der Transport von Klärschlamm aus Ballungsräumen in entfernte ländliche Gebiete problematisch (BANK 1994).

Vorteile der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung

Klärschlamm ist reich an Stickstoff und Phosphat und hat einen hohen Gehalt an organischer Substanz (Humuswert) und Pflanzennährstoffen. Der hohe Anteil an organischer Substanz wirkt sich positiv auf den Humusgehalt des Bodens aus, was insbesondere für viehlos wirtschaftende Betriebe von Vorteil ist. Daher wird Klärschlamm seit Jahrzehnten als organisches Dünge- und Bodenverbesserungsmittel eingesetzt. Aufgrund des zur Verfügung stehenden Flächenpotenzials, der geringen Transportwege und des regelmäßigen Entzugs von Pflanzennährstoffen wäre die Landwirtschaft für die Aufbringung von unbelastetem Klärschlamm prädestiniert (MELSA 1998). Durch den Einsatz von Klärschlamm wird der Verbrauch von mineralischem Phosphordünger, welcher eine endliche Ressource und teilweise stark mit Cadmium belastet ist, verringert.

Anorganische Schadstoffe im Klärschlamm

Da Klärschlamm als Schadstoffsенke für die Abwasserreinigung fungiert, ist im Klärschlamm eine ganze Reihe von Schwermetallen (z. B. Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Quecksilber und Zink) in nicht zu vernachlässigenden Konzentrationen zu finden (siehe Tabelle 10 und Tabelle 11). Während einige Metalle essentiell für das Pflanzenwachstum sind, besitzen die meisten Schwermetalle ein bedeutendes Gefahrenpotenzial. Insbesondere Cadmium und Quecksilber und deren Verbindungen sind schon in geringen Mengen für Mensch, Tier und Pflanzen stark schädigend. Mangan stellt im Allgemeinen keine Belastung für die Pflanzen dar und ist daher in den Landesverordnungen nicht begrenzt (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Organische Schadstoffe und Krankheitserreger im Klärschlamm

Der organische Anteil im Klärschlamm ist abhängig von der Herkunft des Abwassers und dem Faulungsgrad und schwankt zwischen 45 und 95 % in der Trockenmasse. Der organische Anteil besteht aus einer Vielzahl von organischen Schadstoffen, die sich aus anthropogenen Aktivitäten herleiten. Zu den organischen Schadstoffen, die im Klärschlamm nachgewiesen wurden, gehören unter anderem PCDD/PCDF, PCB und andere Halogenverbindungen (UMWELTBUNDESAMT-BERLIN 2004). Weitere organische Schadstoffe, die häufig in Klärschlämmen identifiziert



wurden sind in Tabelle 13 aufgelistet. Speziell für die Organozinn-Verbindungen, polybromierten Diphenylether (PBDE), polyzyklischen Moschusverbindungen (FÜRHACKER & BURSCH 2007) und hormonaktiven Arzneimittel besteht noch keine Abschätzung ab welchen Konzentrationen im Klärschlamm ein Risiko für Mensch und Umwelt bei Aufbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen besteht. Auch für die Verbreitung von Krankheitserregern wie BSE gibt es noch keine gesicherte Risikoabschätzung.

Während Schwermetalle hauptsächlich aus industriellen Direkteinleitern in den Klärschlamm gelangen, entstammen sog. organische Problemchemikalien, wie etwa PCB oder Dioxine, zu einem großen Anteil diffusen Quellen der Haushalte (BANK 1994).

Eine mögliche Gesundheitsgefährdung ist von der Mobilität der Schadstoffe im Boden abhängig. Diese Mobilität wird neben deren chemisch-physikalischen Eigenschaften auch von Humusgehalt, Tongehalt, Kalzium-Konzentration und pH-Wert des Bodens beeinflusst. Ob und wie Schadstoffe pflanzenverfügbar sind, hängt auch von der jeweiligen Pflanzenphysiologie ab, d. h. in welchem Pflanzenteil (Knolle, Stengel, Blatt, Frucht) die Schadstoffe vorzugsweise gespeichert werden. Dies müssen nicht unbedingt jene sein, die verzehrt werden (BANK 1994).

Für den Einsatz von Klärschlämmen in der Landwirtschaft ist problematisch, dass immer wieder neue chemische Verbindungen im Wirtschaftskreislauf eingesetzt werden und in den Klärschlamm gelangen, während diese Schadstoffe von den Standardanalyseverfahren nicht erfasst werden. Offene Fragen der Klärschlamm-bewertung betreffen die Belastung von Klärschlämmen mit persistenten organischen Schadstoffen, die Verbreitung der Resistenzen verursachenden Antibiotika sowie die seuchenhygienische Unbedenklichkeit von Klärschlämmen. Weiters werden durch die routinemäßig durchgeführten Schwermetallanalysen Parameter wie Dioxine oder PCB nicht erfasst. Da die chemische Analytik aus Kostengründen nicht auf alle möglichen Schadstoffe, die in den Wirtschaftskreislauf bzw. ins Abwasser gelangen, ausgedehnt werden kann verbleibt ein Risiko. Daher besteht auch die wiederholte Forderung der Landwirtinnen und Landwirte nach Haftung der Klärschlammabgeber (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

Resümee

Es besteht ein gesellschaftlicher Trend zu biologischen, natürlichen Lebensmitteln und zur Positionierung Österreichs als Produzent von qualitativ hochwertigen landwirtschaftlichen Produkten. Dem gegenüber steht die Unsicherheit über die Übertragung von bisher wenig beachteten Schadstoffen aus Klärschlämmen in Lebensmittel und deren mögliche Schadenspotenziale (WITTE et al. 2000, S. 9).

Die Aufbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft ist in Teilen Österreichs gänzlich untersagt bzw. mit einer Reihe von Einschränkungen verbunden. So ist etwa die Klärschlammdüngung im ökologischen Landbau und für bestimmte Kulturen, wie Gemüse- und Beerenobstkulturen, nicht erlaubt. Einschränkungen gibt es für Steilflächen, für Flächen in Gewässernähe oder für geogen bedingte schwermetallbelastete Böden. Ausschlaggebend für eine Klärschlammdüngung sind weiters der pH-Wert des Bodens und die Jahreszeit (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

Generell darf Klärschlammdüngung nur unter Einhaltung der gesetzlichen Regelung und unter Beachtung der guten fachlichen Praxis erfolgen. Dazu gehören die Anpassung der Düngung nach Art, Menge und Zeit an den Bedarf der Pflanzen und des Bodens. Dabei müssen im Boden verfügbare Nährstoffe und die organische Substanz sowie Standort- und Anbaubedingungen berücksichtigt werden. Wenn der Einsatz von Klärschlamm vorgesehen ist, muss dieser in die Düngplanung und in die Nährstoffbilanz miteinbezogen werden (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Um einer allmählichen Schadstoffanreicherung in Böden vorzubeugen ist auf die Aufbringung von Klärschlamm gänzlich zu verzichten oder die Entwicklung von Strategien zur Schadstoffentfrachtung erforderlich (BANK 1994). Neben den bestehenden Grenzwerten für Schadstoffe im Klärschlamm müssen auch Systeme zur Qualitätssicherung und zur Hygienisierung installiert werden.

Letztendlich muss der Zustrom von Schadstoffen ins Abwasser limitiert werden. Um das Gefährdungspotenzial durch diffuse Zuflüsse aus Haushalten eingrenzen zu können, sind Produktverbote bzw. Zulassungsbeschränkungen für Arzneimittel und Chemikalien erforderlich. Es sollen nur solche Stoffe zugelassen werden, die in jenen Konzentrationen, in denen sie ins Abwasser gelangen können, keine toxische Wirkung zeigen. Stoffe, die persistent, d. h. nicht biologisch oder anderweitig abbaubar sind, sollten keinesfalls zugelassen werden (WITTE & STRUNKHEIDE 2000).

Überdies ist ein entsprechendes Monitoring über Bodenuntersuchungen, Klärschlammuntersuchungen, Aufbringung von Klärschlamm und Klärschlammprodukten erforderlich (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

6.3 Klärschlammkompostierung

Verfahren

Die Kompostierung ist ein aerober Vorgang, bei welchem organische Substanz durch Mikroorganismen zu humusbildenden Substanzen abgebaut wird. Als „Humus“ wird die oberste, dunkel gefärbte pflanzentragende Schicht des Bodens bezeichnet, die viele günstige chemische und physikalische Eigenschaften zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit aufweist (BANK 1994).

Der entwässerte Klärschlamm wird mit gehäckseltem Strauchschnitt, Mähgut bzw. Zuschlagstoffen vermischt, da ein Wassergehalt von kleiner 30 % und größer 70 % unerwünscht ist. Im Anschluss erfolgt die Kompostierung. Diese kann in Rotterektoren oder in Form von Mieten erfolgen. Einflüsse auf den Kompostierungsvorgang haben Nährstoffverhältnis, Wassergehalt, Sauerstoffversorgung, Temperatur und pH-Wert.

Die „Intensivrotte“ oder „Vorrotte“ ist durch eine intensive bakterielle Abbautätigkeit mit Anstieg der Temperatur auf 70–80° C gekennzeichnet. Daran anschließend erfolgt die Hauptrotte. In dieser Umbauphase verlangsamen sich die Stoffwechsellätigkeiten. Die mikrobiellen Lebensgemeinschaften verlagern sich auf Myceten und Pilze. In der Nachrotte findet die Humifizierung statt und das Ergebnis ist fertiger Kompost, welcher noch gesiebt wird (BANK 1994). Der Kompost wird häufig direkt von den Gemeinden zur Erhaltung des öffentlichen Grüns verwendet (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001). Weitere Anwendungsbereiche sind Landschaftsbau, Gartenbau und Landwirtschaft.



Vorteile

Durch die Abbauprozesse wird der Gehalt an organischen Feststoffen herabgesetzt und damit eine Stabilisierung des Klärschlammes erreicht. Mit steigendem Humifizierungsgrad werden auch lösliche Schwermetalle gebunden und sind weniger pflanzenverfügbar (BANK 1994).

Im Gegensatz zur direkten landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm steht nicht so sehr die direkte Nährstoffwirkung sondern vielmehr der universelle Einsatz von Kompost als Bodenverbesserungsmittel und Substrat im Vordergrund. Durch die Kompostierung wird neben der strukturellen Verbesserung des Klärschlammes auch dessen hygienische Beschaffenheit optimiert. Je nach Art und Menge des zugeführten Strukturmaterials wird der Schwermetallgehalt durch Vermischung mit weniger belasteten Abfallfraktionen etwas verringert (ZESSNER 2002).

Die Verarbeitung von Klärschlamm zu Kompost stellt jedenfalls eine qualitative Verbesserung des Substrates dar (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001). Unter Einhaltung der relevanten Rechtsvorschriften wird Klärschlamm zu einem marktfähigen Produkt verarbeitet.

Nachteile

Abhängig von der technischen Ausstattung der Kompostanlage ist der Klärschlammanteil ausgehend von einem Trockensubstanzgehalt des Pressschlammes von 20–30 %, mit etwa 20–30 Gewichtsprozent begrenzt. Zudem ist die Frage der realen Verwertungswege von Kompost teilweise offen, da die Anzahl der zur Aufbringung in Frage kommenden betroffenen Flächen begrenzt ist (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

Die Kompostierung von Klärschlamm ist mit einem relativ hohen maschinellen Einsatz, wie z. B. Radlager, Umsetzgeräte, Shredder etc. verbunden. Die Kosten der Klärschlammkompostierung werden von den Kosten für Produktion und Transport bestimmt. Ein weiterer Kostenanteil entsteht durch die Qualitätsüberwachung von Eingangsmaterial und Fertigprodukt (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Resümee

Die Kompostierung führt zu einer Volumensreduktion und damit zu einer Konzentration der Inhaltsstoffe. Wenn das gesamte Kompostmaterial die nötige Einwirkzeit und die erforderliche Temperatur erreicht, führt die Kompostierung in Hinblick auf Desinfektion zu guten Ergebnissen (UMWELTBUNDESAMT 2004a). Ob die enthaltenen organischen Schadstoffe aber zur Gänze abgebaut bzw. die Schwermetalle in ausreichendem Maße gebunden werden, ist in vielen Fällen noch ungeklärt.

Die Gefahr des Schadstoffeintrages durch Kompost aus Klärschlamm wurde durch Handlungsgrundsätze und Grenzwerte für Klärschlamm im Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP Kapitel 5.2.10) sowie durch Qualitätsanforderungen und Grenzwerte für Kompost in der Kompostverordnung minimiert.

6.4 Klärschlammvererdung und Landschaftsbau

Verfahren

Zielsetzung der Herstellung von Erden aus Abfällen ist die Erzeugung von bodenähnlichen-mineralischen oder mineralisch-organischen Substraten. Die Erden sollen die wesentlichen Merkmale von natürlich gewachsenen Böden aufweisen und übernehmen die Bodenfunktionen wie Lebens-, Filter-, Puffer- und Transformatorfunktion. Als Ausgangsmaterialien werden anorganische Abfälle wie Bodenmaterialien, Ziegelbruch oder Gießereisande oder organische Abfälle wie etwa Kompost, Klärschlamm oder Industrieschlamm verwendet (DREHER et al. 2001).

Bei der Klärschlammvererdung werden die mineralischen und organischen Ausgangsmaterialien vermischt und in einem biologischen Prozess verarbeitet. Dabei werden die Inputstoffe gesiebt, nach einer bestimmten Rezeptur gemischt und einem Mietenlager oder einer Freilandrotte zugeführt. Je nach Vererdungsverfahren werden Strukturmaterial, mineralische Stoffe und Zuschlagstoffe Schritt für Schritt beigemischt. Die Mieten werden regelmäßig umgesetzt. Beim Vererdungsprozess folgt der thermophilen Rotte eine Stabilisierungsphase. Das erhaltene Rottegut wird entweder mit Bodenaushub versetzt oder weiteren Stabilisierungs-, Durchmischungs- und Lagerungsphasen zugeführt (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Die entstandene Erde kann in der Folge die relevanten Bodenfunktionen übernehmen und wird als Boden oder Bodenersatz etwa für Landschaftsbau, Rekultivierungen, Schutzbau oder Untergrundverfüllungen verwendet (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

Im Unterschied zu Kompost weisen Erden mineralische Komponenten auf und dienen nur in sehr untergeordneter Menge als Nährstofflieferanten. Daher wird bei der Erdenherstellung organisches, nährstoffreiches Material, wie etwa Klärschlamm nur in prozentmäßig sehr geringem Ausmaß hinzugefügt (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

Ein spezielles Vererdungsverfahren ist die Klärschlammvererdung mit Schilf. Dies ist eine flächenhafte Methode zur Entwässerung und Stabilisierung von Klärschlamm in einem mit Schilf bepflanzten Becken. Die Bauweise dieser Becken ist jener von herkömmlichen Trockenbeeten mit einer Filterschicht aus Sand und Schotter und einer Drainage ähnlich. Der Klärschlamm wird in bestimmten Mengen und Intervallen über einen Zeitraum von mehreren Jahren in das Schilfbecken gepumpt. Durch das Zusammenwirken von Schilf, Mikroorganismen, Filtermaterial und Klärschlamm erfolgen eine Entwässerung und ein Umbau der organischen Substanz (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

Resümee

Die Verarbeitung von ausgewählten Abfallstoffen zu einem vordefinierten neuen Produkt, welches den Qualitätskriterien entspricht, folgt den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft. Wenn strenge gesetzliche Anforderungen in Bezug auf Ausgangsstoffe, Schadstoffgehalte, Aufbringungsmengen etc. eingehalten werden, kann Vererdung als eine sinnvolle ökologische und ökonomische Verwertung bezeichnet werden (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).



Bei der Vererdung mit anschließender landbaulicher Verwertung von Klärschlamm steht nicht die Nährstoffzufuhr im Mittelpunkt. Für landbauliche Maßnahmen ist im Regelfall eine einmalige Aufbringung erforderlich und im Unterschied zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ist die Aufbringungsmenge geringer (ZESSNER 2002). Um einer diffusen Schadstoffverteilung vorzubeugen, wurden im Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP, Kapitel 5.2.14.2) Qualitätsanforderungen an Erden aus Abfällen definiert.

Die Nachfrage für vererdeten Klärschlamm ist von den Preisen für andere Klärschlammbehandlungsverfahren – wie z. B. die thermische Behandlung – abhängig (AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 2001).

6.5 Vergärung – Biogasanlagen

Verfahren

Die Vergärung wird auch als anaerobe Fermentation oder Faulung bezeichnet. Die organischen Substanzen werden in verschiedenen Abbauphasen durch unterschiedliche Bakteriengruppen abgebaut. In der Hydrolysephase werden die festen Substrate in ihre Einzelteile zerlegt. In der darauf folgenden Fermentation werden die gelösten Substanzen zu organischen Säuren, Alkoholen, Aldehyden, CO₂ und Wasserstoff umgesetzt. In der dritten Phase (acetogene Stufe) werden die Zwischenprodukte in Essigsäure umgewandelt und in der anschließenden vierten Phase (Methanphase) erzeugen die Methanbakterien die Endprodukte Methan und CO₂ (JAGER 1988). Ausschlaggebende Faktoren für den Umsetzungsprozess sind die Temperatur, der pH-Wert und der Wasserstoffpartialdruck. (JAGER 1988, S. 1) Die Phasen können im Gleichgewicht in einem Reaktor stattfinden oder in einer zweistufigen Fermentation räumlich von einander getrennt ablaufen. Abhängig vom Wassergehalt des Materials werden entweder Festbettreaktoren oder volldurchmischte Reaktoren verwendet (BANK 1994).

Klärschlämme können entweder direkt in den Faulbehältern der Kläranlagen oder gemeinsam mit biogenen Abfällen verarbeitet werden. Für die gemeinsame Behandlung (Co-Fermentation) kommen Bioabfälle in Frage, die vergärbar, zerkleinerbar, in den Klärschlamm einmischbar, pumpfähig, schadstoffarm und möglichst störstofffrei sind. Dazu gehören etwa Küchen- und Kantinenabfälle, Fettabscheiderinhalte einschließlich Fettabfälle und Speiseöle, sowie kommunale Bioabfälle. Durch die Zugabe von fetthaltigen Substanzen werden die Gasmenge und der Methangehalt des Gases gesteigert (SCHMELZ 2002).

Klärschlamm bzw. das Gemisch von suspendierten Bioabfällen und Klärschlamm wird in den Faulbehälter eingebracht und durchläuft die Vergärungsphasen. Zur Homogenisierung des Materials und zur gleichmäßigen Einbringung in den Faulbehälter ist ein Speicher erforderlich. Dieser sollte mit einer Beheizung und einer Umwälzeinrichtung versehen sein, damit Ablagerungen und Verklumpungen vermieden werden. Nach Durchlaufen des Reaktors findet eine Trennung der festen von den flüssigen Anteilen durch Filter, Pressen oder Zentrifugen statt. Die Endprodukte sind Biogas und ein Gärrückstand, welcher als Dünger und Bodenverbesserungsmittel Verwendung findet (SCHMELZ 2002).



Vorteile

Der hohe Wassergehalt der Eingangsstoffe stellt bei der Verarbeitung von Klärschlamm in Biogasanlagen keinerlei Probleme da. Der Abbau der organischen Substanz erfolgt innerhalb von 2 bis 4 Tagen, ist also sehr beschleunigt. Es wird ein großer Anteil der organischen Substanz abgebaut – bis zu 70 %. Im Gegensatz dazu beträgt der Abbau bei der Kompostierung nur etwa 40–50 %. Da die Vergärung in geschlossenen Behältern erfolgt, ist die Geruchsbelästigung gering (BANK 1994).

Biogas aus Klärschlamm wird als Energieträger genutzt. Je Kilogramm abgebauter organischer Substanz entstehen zwischen 800 und 1.000 l Faulgas mit einem Methangehalt zwischen 60 und 65 % (SCHMELZ 2002).

Nachteile

Die anaerobe Behandlung von Klärschlamm findet zumeist in den Faultürmen der Kläranlagen statt. Hingegen ist die Co-Fermentation von Klärschlamm in Biogasanlagen in Österreich aus wirtschaftlichen Gründen von untergeordneter Bedeutung. So werden Anlagen, welche elektrischen Strom aus Klärschlamm erzeugen, nicht als Ökostromanlagen nach dem Ökostromgesetz anerkannt. Es gibt keine Abnahmeverpflichtung des Stroms zu den festgesetzten Tarifen.

Die Aufbringung der Gärreste auf landwirtschaftliche Flächen ist mit aufwändigen Bodenuntersuchungen verbunden und auf ÖPUL-Flächen nicht möglich. Die Kosten für die Klärschlammbehandlung in Biogasanlagen liegen im mittleren Bereich (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

6.6 Behandlung in der MBA

Verfahren

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) dient der Vorbehandlung von Abfällen. Durch eine Kombination von mechanischen und biologischen Verfahren werden Störstoffe, Schadstoffe und Stoffe, welche für die biologische Behandlung wenig geeignet sind, separiert und die restlichen Abfälle in einen möglichst inaktiven biologischen Zustand überführt (siehe Abbildung 12).

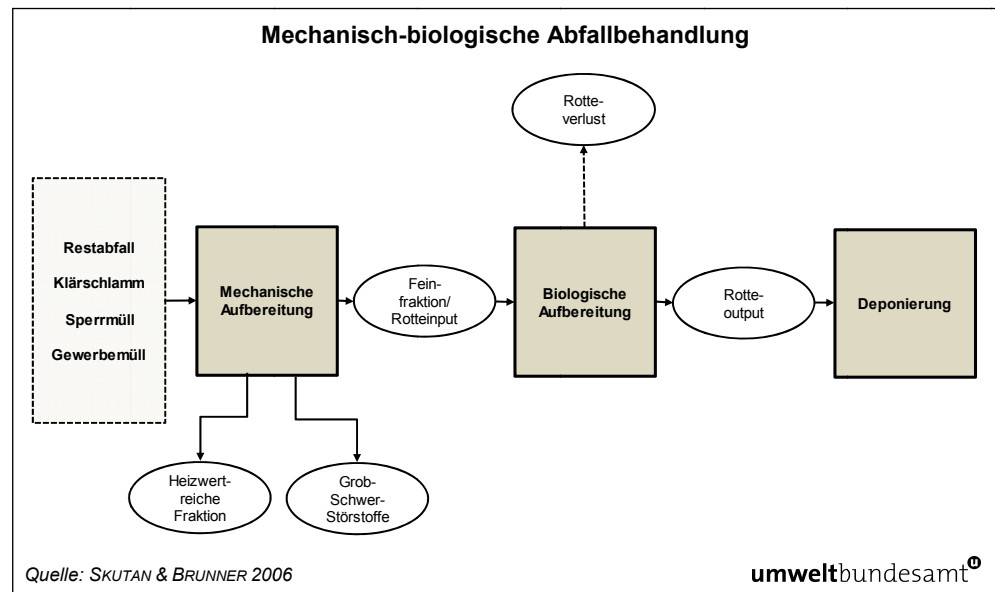


Abbildung 12: Schema einer Anlage zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) (nach SKUTAN & BRUNNER 2006).

Die Abfälle werden nach einer groben Vorsichtung zerkleinert und durch Siebung in mehrere Fraktionen geteilt. Die Feinfraktion wird durch Mikroorganismen in belüfteten Mieten, Reaktoren oder Hallen meist in aeroben Prozessen behandelt. Dabei findet ein deutlicher Ab- und Umbau der organischen Substanz statt. Nach Erfüllung bestimmter rechtlicher Kriterien, u. a. in Hinblick auf die biologische Aktivität, wird die biologisch behandelte Feinfraktion deponiert.

Aus der Grobfraktion werden die Grob-, Schwer- und Störstoffe ausgeschieden. Aus dem Rest werden in der Regel eine oder mehrere heizwertreiche Fraktionen gewonnen und dann thermisch behandelt. Für die Nutzung als „Ersatzbrennstoff“ sind weitere Aufbereitungen und die Einhaltung bestimmter definierter Qualitätskriterien erforderlich (siehe Richtlinie für Ersatzbrennstoffe, BMLFUW 2008a).

Die mechanisch-biologische Behandlung ist ein Verfahren primär zur Behandlung von Siedlungsabfällen oder aufbereiteten Siedlungsabfällen, bei denen Klärschlämme und andere geeignete Abfälle mitbehandelt werden können. Klärschlamm wird in einer Mischung mit mechanisch vorbehandeltem Abfall in die biologische Behandlung eingebracht. Der Klärschlammanteil beträgt max. ein Drittel, im Regelfall liegt er in Österreich aber deutlich darunter.

Die Art der biologischen Behandlung von Klärschlamm hängt von seinem Ausfauungsgrad ab. So werden weitgehend ausgefauelte Klärschlämme dem Rotteprozess zugeführt. Je nach Behandlungsziel sind die biologischen Behandlungsprozesse als Vorbehandlungsstufen vor der Deponierung oder vor der thermischen bzw. energetischen Verwertung geeignet (FRICKE et al. 2002).

Vorteile

Klärschlämme weisen einen hohen Gehalt an biologisch abbaubaren Komponenten auf. Sie gewährleisten für den MBA-Prozess einen ausreichenden Stickstoffgehalt im Reststoffgemisch und haben bei der gemeinsamen Behandlung mit Restabfall die Funktion der Feuchtigkeitsversorgung (FRICKE et al. 2002).



Der Preis für die Klärschlammbehandlung in mechanisch-biologischen Anlagen liegt unter jenem in Verbrennungsanlagen. Da derartige Abfallbehandlungsanlagen in der Regel dezentraler sind, verringern sich zudem auch die Transportkosten.

Nachteile

Durch den hohen Gehalt an organischen Komponenten im Klärschlamm wird die Erreichung des Brennwertes (oberer Heizwert) des Outputmaterials von 6.600 kJ/kg TM (vgl. Deponieverordnung 2008) und damit dessen Deponierbarkeit erschwert. Dies ist bei der Konzeption von entsprechenden Abfallanlagen bzw. bei der Wahl des Abfallbehandlungsverfahrens zu beachten.

In der Rotte kommt es zu keinem Abbau von anorganischen Schadstoffen, daher ist deren Anreicherung aufgrund des Rotteverlustes wahrscheinlich. Dennoch werden die Grenzwerte für die Ablagerung auf Massenabfalldeponien in der Regel nicht überschritten. Der Wissensstand über das Verhalten von organischen Schadstoffen ist nicht ausreichend (SKUTAN & BRUNNER 2006).

Die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe stehen nach einer mechanisch-biologischen Behandlung mit anschließender Deponierung dem natürlichen Kreislauf nicht mehr zur Verfügung.

Bei der Mitbehandlung von Klärschlämmen (insbesondere von nur teilweise ausgefaulten Klärschlämmen) kann es zu erhöhten Geruchsbelastungen kommen. Die Geruchsproblematik ist oft der entscheidende Faktor für die Begrenzung des mitbehandelten Anteils an Klärschlamm.

Weiters kann der Klärschlamminput und der damit einhergehende höhere Stickstoffinput eine erhöhte Emission von Ammoniak bewirken. Neben der Geruchsproblematik sind gegebenenfalls höhere Anforderungen an die Abluftreinigung die Folge. Um die Versauerung von Biofiltern durch Nitratbildung und die teilweise im Biofilter beobachtete Bildung von Lachgas ebenso zu vermeiden bzw. zu minimieren wie eine Bildung von Stickoxiden (NO_x) bei einer thermischen Abluftreinigung kann eine Abscheidung von Ammoniak durch einen sauren Wäscher notwendig werden.

Abhängig von der Art der Klärschlammvorbehandlung kann auch die Rotte selbst durch den Klärschlammehsatz bei der mechanisch-biologischen Behandlung beeinträchtigt werden. Insbesondere bei Mitbehandlung relevanter Anteile von Klärschlämmen, die durch Zugabe von Calciumhydroxid teilstabilisiert wurden, können sich Verzögerungen im Rottefortschritt durch eine anfängliche Hemmung und damit eine länger erforderliche Rottedauer ergeben.

6.7 Thermische Behandlung

Die Vorteile der thermischen Behandlung von Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen sind:

- Die vollständige Zerstörung organischer Schadstoffe,
- die Inertisierung und Hygenisierung des Abfalls,
- die Abtrennung anorganischer Schadstoffe,



- die Gewichts- und Volumenreduktion,
- die Energiegewinnung,
- die Emissionsreduktion treibhausrelevanter Gase (BAWP 2006),
- die resultierende Klärschlammasche aus der Monoverbrennung kann zur Phosphor-Rückgewinnung genutzt werden (siehe Kapitel 6.8).

Grenzwerte für Emissionen in die Luft bei der Klärschlammverbrennung

Tabelle 55 zeigt die Grenzwerte für Emissionen in die Luft, die gemäß Abfallverbrennungsverordnung von Abfallverbrennungsanlagen eingehalten werden müssen. Um diese Grenzwerte einhalten zu können sind alle Abfallverbrennungsanlagen in Österreich mit einer umfangreichen Rauchgasreinigungsanlage ausgestattet. Abbildung 13 zeigt als Beispiel das Verfahrensfliessbild des Wirbelschichtofens 4 Simmeringer Haide der Fernwärme Wien.

Tabelle 55: Emissionsgrenzwerte für Abfallverbrennungsanlagen (Anlage 1 Abfallverbrennungsverordnung; je m³ trockenes Abgas bezogen auf 11 % Sauerstoff).

Parameter	Halbstundenmittelwert in mg/m ³	Tagesmittelwert in mg/m ³
Staubförmige Emissionen	10	10
Gas- und dampfförmige organische Stoffe (als C _{org})	10	10
HCl	10	10
HF	0,7	0,5
SO ₂	50	50
NO und NO ₂ als NO ₂ bei einer Nennkapazität von:	≤ 2 t _{Abfall} /h	200
	> 2 bis 6 t _{Abfall} /h	150
	> 6 t _{Abfall} /h	70
	Neuanlage	
	> 6 t _{Abfall} /h bestehende Anlage	100
CO	100	50
Hg	0,05	0,05
	Mittelwert über 0,5 bis 8 Stunden in mg/m³	Mittelwert über 6 bis 8 Stunden in ng/m³
Σ Cd + Tl	0,05	
Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,5	
NH ₃	5	
Dioxine und Furane		0,1

C_{org} = organisch gebundener Kohlenstoff insgesamt

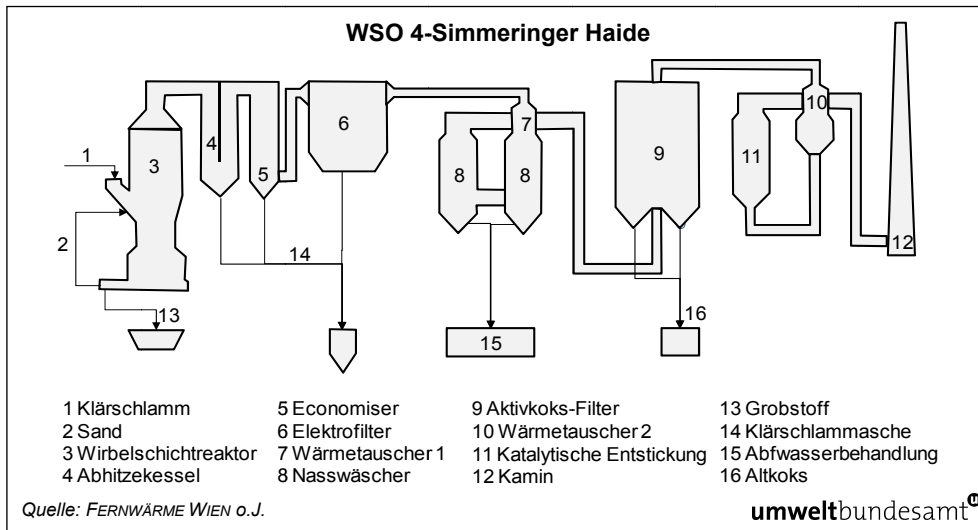


Abbildung 13: Vereinfachtes Verfahrensfliessbild des Wirbelschichtofens WSO 4-Simmeringer Haide (FERNWÄRME WIEN o.J.)

Die Abfallverbrennungsverordnung legt in Anlage 2 Emissionsgrenzwerte für die Mitverbrennung fest, die in der Regel mit deutlich weniger umfangreichen Abgasreinigungsanlagen erzielt werden können als die Grenzwerte der Monoverbrennungsanlagen. Dies jedoch nur dann, wenn die eingesetzten Ersatzbrennstoffe und damit auch der Klärschlamm einen geringen Schadstoffgehalt aufweisen.

Um sicherzustellen, dass die erzeugten Produkte (Zement) und Rückstände (Asche) nur gering mit Schwermetallen belastet sind bzw. um die Schwermetallemissionen zu limitieren (GRECH 2007), legt die Richtlinie für Ersatzbrennstoffe (BMLFUW 2008a) Schwermetallgrenzwerte für den Input in Anlagen zur Zementerzeugung, von Kraftwerken und von sonstigen Mitverbrennungsanlagen fest (siehe Tabelle 56).

Tabelle 56: Grenzwerte für Klärschlamm und Papierfaserreststoffe aus der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe in mg/MJ (BMLFUW 2008a).

Parameter ¹⁾	Beim Einsatz in Anlagen zur Zementerzeugung		Beim Einsatz in Kraftwerksanlagen				Beim Einsatz in sonstigen Mitverbrennungsanlagen	
			Anteil der Brennstoffwärmeleistung ²⁾					
	Median	80er Perzentil	≤ 10 %		≤ 15 %		Median	80er Perzentil
As	2	3	2	3	2	3	1	1,5
Pb	20	36	23	41	15	27	15 ³⁾	27 ³⁾
Cd	0,23	0,46	0,27	0,54	0,17	0,34	0,17 ³⁾	0,34 ³⁾
Cr	25	37	31	46	19	28	19	28
Co	1,5	2,7	1,4	2,5	0,9	1,6	0,9	1,6
Ni	10	18	11	19	7	12	7	12
Hg	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25

¹⁾ Für die Umrechnung ist folgende Formel zugrunde zu legen:

$$(\text{Schadstoffgehalt in mg/MJ}) = (\text{Schadstoffgehalt in mg/kg TS}) / (\text{Heizwert in MJ/kg TS})$$

²⁾ Prozentueller Anteil der Brennstoffwärmeleistung aus der Verbrennung von Abfällen an der Gesamtbrennstoffwärmeleistung

³⁾ Für wiederkehrende produktionsspezifische Ersatzbrennstoffe der Zellstoff-, Papier- und Holzindustrie, die unter Einhaltung des Prinzips der Nähe (inkl. Alternativensuche) thermisch behandelt werden, gelten

für Pb die Grenzwerte: Median 23 mg/MJ, 80er Perzentil 41 mg/MJ;

für Cd die Grenzwerte: Median 0,5 mg/MJ, 80er Perzentil 0,6 mg/MJ.

Abfallverbrennungstechnologien

Bei der Verbrennung von Abfällen kommen am häufigsten zur Anwendung (siehe Abbildung 14):

- Die Rostfeuerung,
- die Wirbelschichtfeuerung,
- die Drehrohrfeuerung.

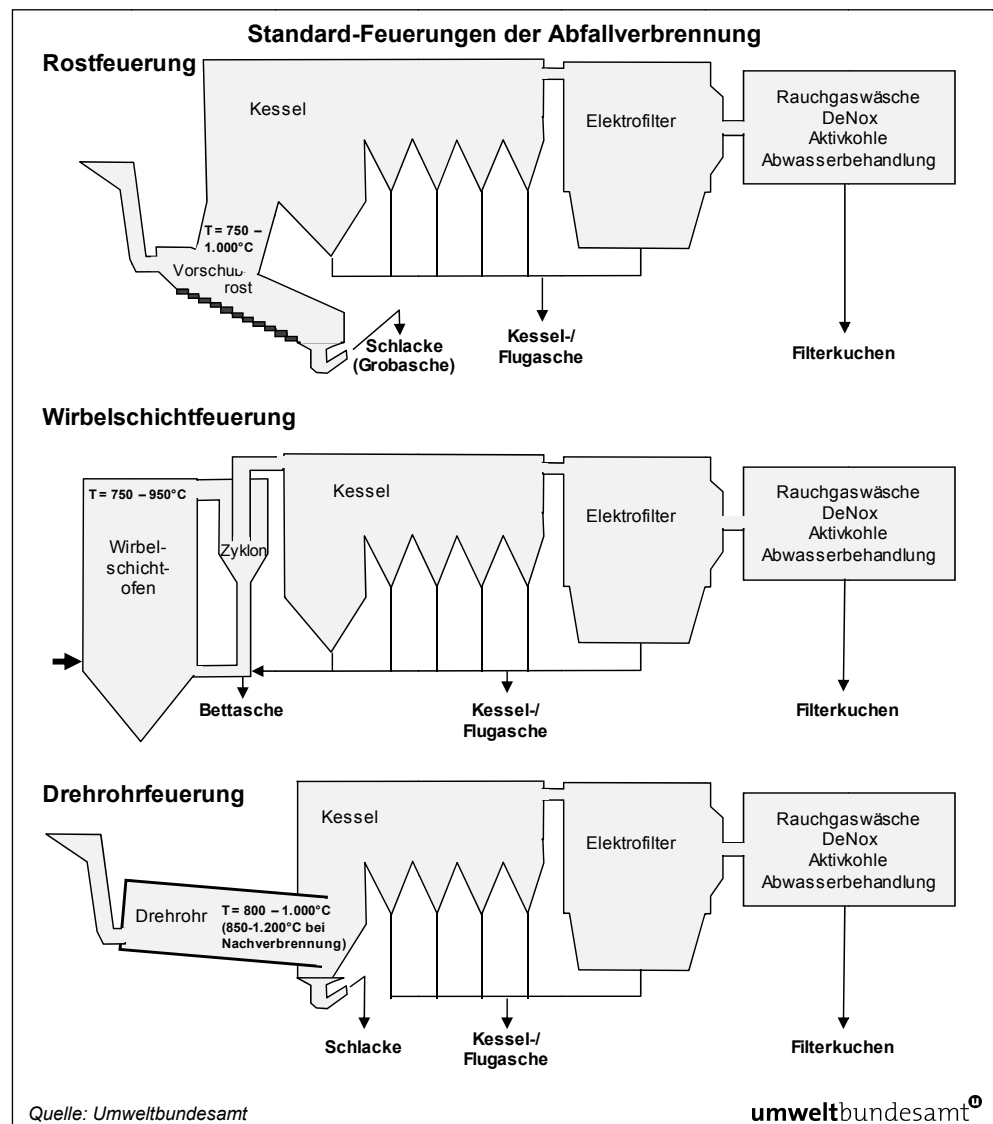


Abbildung 14: Standard-Feuerungsarten von Abfallverbrennungsanlagen

Die im deutschen Sprachraum am häufigsten eingesetzten Technologien zur Klärschlammverbrennung sind:

- Wirbelschichtfeuerung,
- Zyklonfeuerung,
- Etagenofen und
- Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung (OBERNBERGER et al. 2007).

In Österreich kommt für die Klärschlammverbrennung vor allem die Wirbelschichtfeuerung zum Einsatz.



Wirbelschichtfeuerung

Bei der Wirbelschichtverbrennung läuft der Verbrennungsprozess (850–950 °C) innerhalb einer durch senkrecht strömende Verbrennungsluft in Schwebelage gehaltenen Wirbelschicht ab. Der vorgetrocknete Klärschlamm wird dabei kontinuierlich in ein fluidisiertes Sandbett eingebracht, in dem der Klärschlamm getrocknet, ent- und vergast sowie anschließend verbrannt wird. Die dabei entstehenden flugfähigen Aschepartikel werden vom aufsteigenden Rauchgasstrom erfasst und ausgetragen. Grobe Aschepartikel sinken auf den Boden der Brennkammer und werden abgezogen.

In Abhängigkeit von der Art der Fluidisierung des Wirbelbetts wird stationäre und zirkulierende Wirbelschicht unterschieden. In der stationären Wirbelschicht ist die Wirbelbetthöhe auf 0,5–2 m begrenzt. Dort findet die Trocknung, Ent- und Vergasung sowie Teilverbrennung statt. Über dem Wirbelbett verbleibt ein Freiraum, in dem die Nachverbrennung stattfindet. Bei der zirkulierenden Wirbelschicht erstreckt sich das Wirbelbett über die gesamte Reaktorhöhe.

Die Wirbelschichtfeuerung zeichnet sich dadurch aus, dass die Feststoffteilchen untereinander und mit Verbrennungsluft sowie Rauchgas gut durchmischt sind. Daraus resultiert ein guter Stoff- und Wärmeübergang. Die Verbrennung erfolgt im Vergleich zur Rostfeuerung mit niedrigerem Luftüberschuss, geringerem Rauchgasvolumenstrom, geringeren Verbrennungstemperaturen und damit geringeren NO_x-Emissionen (BANK 1994). Korngrößen bis 40 mm (zirkulierende Wirbelschicht) bzw. bis 80 mm (stationäre Wirbelschicht) sind einsetzbar (OBERNBERGER et al. 2007).

Zyklonfeuerung

Bei der Zyklonfeuerung wird der vorgetrocknete Klärschlamm in der Zyklonbrennkammer bei 850–1.000 °C verbrannt. Klärschlamm und Verbrennungsluft werden über unterschiedliche Luftebene tangential eingeblasen. In der unteren Zone der Brennkammer erfolgt die primäre Verbrennung des Klärschlammes, in der oberen Zone die Nachverbrennung (siehe Abbildung 15). Die relativ niedrigen Temperaturen in der Brennkammer (um 850 °C) verhindern Schlackenbildung bzw. Anintern von Inertmaterial in der Primärverbrennungszone. Durch eine homogene Temperaturverteilung und die gute Durchmischung minimiert sich auch die thermische Bildung von NO_x. Jedoch muss der Klärschlamm auf eine Korngröße von 1–2 mm aufgemahlen und bis zu einem Feststoffgehalt > 90 % vorgetrocknet werden (OBERNBERGER et al. 2007).

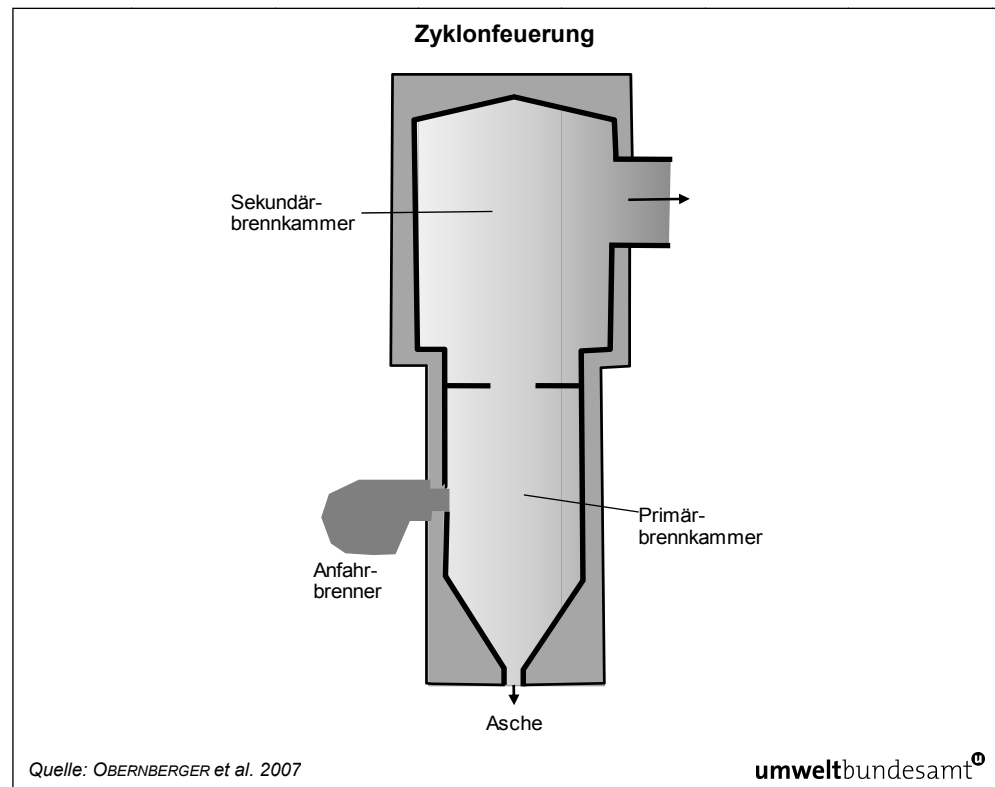


Abbildung 15: Querschnitt durch eine Zyklonfeuerung (OBERNBERGER et al. 2007).

Etagenöfen

Bei Etagenöfen kann feuchter Klärschlamm mit dem entstehenden Abgas vorgewärmt und anschließend bei 850–950 °C verbrannt werden.

Der Etagenofen besteht aus einem zylindrischen Stahlmantel, 3 bis 10 horizontalen Etagen (eingeteilt nach Trocknungs-, Verbrennungs- und Kühletagen) sowie einer drehbaren Mittelwelle mit angeflanschten Rührarmen. Auf der obersten Etage (der obersten Trocknungsetage) wird der Klärschlamm kontinuierlich zugeführt. Der Klärschlamm wird von den Rührarmen erfasst, verteilt und durch die Etagen zwangsbefördert.

Im Gegenstrom zum Klärschlamm wird heißes Rauchgas aus der untersten Verbrennungsetage über die weiteren Verbrennungsetagen und die Trocknungsetagen geleitet, wodurch der Klärschlamm durch das Rauchgas getrocknet wird. In den Verbrennungsetagen erfolgt die eigentliche Oxidation des Klärschlammes. In den Kühletagen werden die verbleibenden Aschepartikel mit Luft gekühlt und ausgelesen. In einer Nachbrennkammer werden mit dem Rauchgas mitgerissene Partikel bei einer Verweilzeit von mindestens 2 Sekunden vollständig oxidiert.

Der Etagenofen kann in einem Teillastbereich von 30–100 % bei annähernd gleicher Wirtschaftlichkeit betrieben werden, erzeugt wenig NO_x und ist besonders für Stoffe mit einem hohen Aschegehalt geeignet. Jedoch ist er empfindlich gegenüber Grobstoffen. Ideal ist eine gemeinsame Verbrennung von Restmüll und Klärschlamm (BILITEWSKI et al. 2000, OBERNBERGER et al. 2007).



Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung

Bei dieser Verbrennungstechnologie wird der vorgetrocknete Klärschlamm durch ein Schleuderrad in die Brennkammer eingetragen. Während der Flugphase trocknen die Klärschlammteilchen aus und beginnen auszugasen. Der vollständige Ausbrand erfolgt anschließend am Rost. Eine integrierte CO-Regelung ermöglicht eine CO-arme Verbrennung. Durch ein gekühltes Glutbett werden NO_x- und Schlackenbildung verhindert.

Die Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung zeichnet sich durch geringe Investitions- und Betriebskosten aus. Korngrößen bis 50 mm sind einsetzbar. Jedoch entsteht durch die beweglichen Teile des Schleuderrades ein zusätzlicher Wartungsaufwand (OBERNBERGER et al. 2007).

Die thermische Behandlung von Klärschlamm kann erfolgen in

- Abfallverbrennungsanlagen, deren Hauptzweck die thermische Behandlung von Abfällen ist;
- Monoverbrennungsanlagen in denen ausschließlich Klärschlamm verbrannt wird oder
- Mitverbrennungsanlagen, deren Hauptzweck in der Energieerzeugung oder der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht

6.7.1 Abfallverbrennungsanlagen

Tabelle 57 gibt einen Überblick über die Abfallverbrennungsanlagen in Österreich. Zurzeit stehen Verbrennungskapazitäten (für alle Abfallarten zusammen) von über 2 Mio. t/a zur Verfügung. Zusätzlich befinden sich rund 1,1 Mio. t/a an Abfallverbrennungskapazität in Planung bzw. in Bau. Dies würde ausreichend Kapazität bringen, um neben den anderen in diesen Anlagen zu behandelnden Abfällen auch den gesamten Klärschlamm Österreichs zu verarbeiten. Die Abfallverbrennungsanlagen sind aber ungleichmäßig über das österreichische Staatsgebiet verteilt, so dass es für belastete Klärschlämme, die nicht in Mitverbrennungsanlagen behandelt werden können, zu langen Transportwegen kommen kann.



Tabelle 57: Abfallverbrennungsanlagen in Österreich (STUBENVOLL 2002, UMWELTBUNDESAMT 2007, WACHTER 2007, AVN 2008).

Anlage	BL	Betreiber	(geplante) Inbetrieb- nahme	Feuerung	Abfallart	genehmigte bzw. durchschnittliche Kapazität in t/a [*]
Arnoldstein (KRV)	K	KRV	2004	Rost	Restabfall, Gewerbeabfall	96.000
Dürrrohr/ Zwentendorf	NÖ	AVN	2003	Rost	Restabfall, Klär- schlamm, Industrie- abfall, Gewerbe- abfall, Sperrmüll	300.000
Wels I	OÖ	WAV	1995	Rost	Restabfall	75.000
Wels II	OÖ	WAV	2006	Rost	Restabfall, Sperr- müll, Gewerbeabfall	230.000
Lenzing	OÖ	AVE-RVL	1998	Zirkulierende WS	Kunststoffabfälle, Altholz, Klär- schlamm, Rejete	300.000
Niklasdorf	St	ENAGES	Dezember 2003	Zirkulierende WS	Schlämme, Indust- rieabfall, Altholz, Re- jekte, MBA-Fraktion	100.000
Flötzersteig	W	Fernwärme Wien	1963	Rost	Restabfall	200.000
Spittelau	W	Fernwärme Wien	1971	Rost	Restabfall	270.000
Pfaffenua	W	Fernwärme Wien	2008	Rost	Restabfall	250.000
Simmeringer Haide WSO 4	W	Fernwärme Wien	2004	Stationäre WS	Rückstände aus der mechanischen Ab- fallaufbereitung, Klärschlamm	110.000
<i>In Planung bzw. in Bau befindliche Anlagen</i>						
Heiligenkreuz	B	BEGAS	2012	WS	Industrieabfall, Klär- schlamm	325.000
Dürrrohr/ Zwentendorf Linie 3	NÖ	AVN	2009	Rost	Restabfall, Klär- schlamm, Industrie- abfall, Gewerbeab- fall, Sperrmüll	225.000
Zistersdorf	NÖ	A.S.A.	2009	Rost	Siedlungsabfall, Klärschlamm (10.000 t/a)	130.000
Linz	OÖ	Linz Strom GmbH	2011	WS	Heizwertreiche Ab- fälle, Klärschlamm	170.000
Frohnleiten	St	MMK	2011/2012	WS	Heizwertreiche Ab- fälle, Schlamm aus der Abwasserbe- handlung	450.000

^{*} Zu den Kapazitätsangaben muss generell angemerkt werden, dass die tatsächlich durchgesetzten Abfallmengen vom Heizwert der eingesetzten Abfälle abhängen, da die Kapazität der meisten Anlagen durch die thermische Nennleistung der Kesselanlage begrenzt ist. Weiters ist die Anzahl der Anlagenstillstände (Revisionen, Störfälle) für die tatsächlich durchgesetzte Menge ein weiterer bestimmender Faktor.

Ø Durchschnitt, BL...Bundesland, DRO...Drehrohrofen, WS...Wirbelschichtreaktor, WSO...Wirbelschichtofen

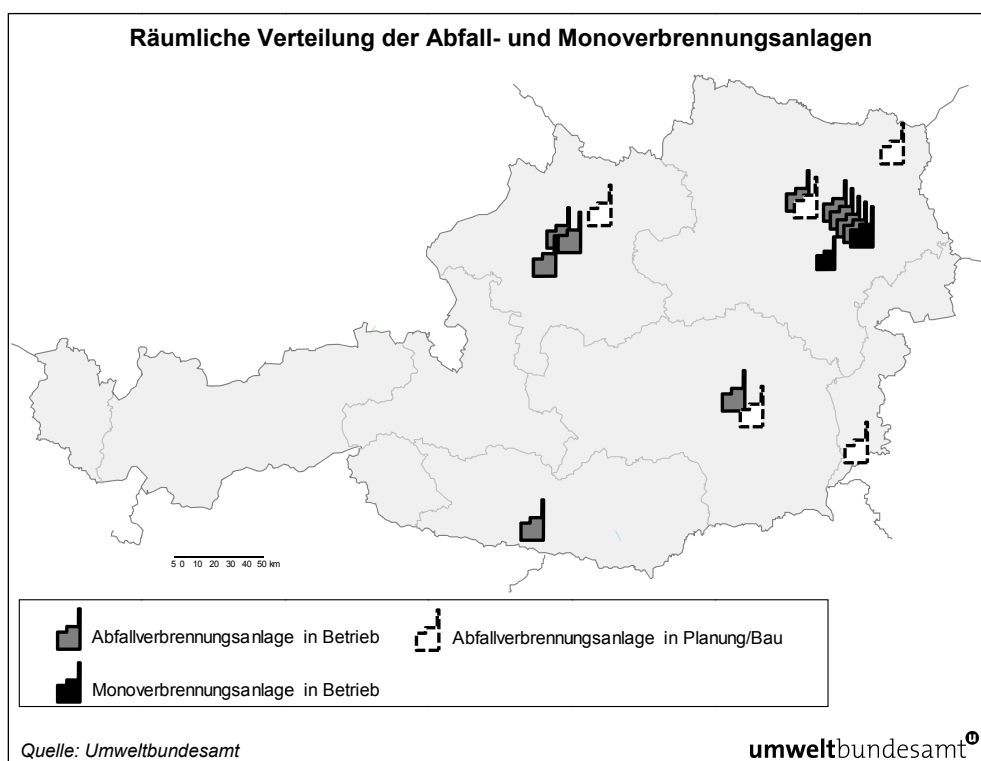


Abbildung 16: Räumliche Verteilung der Abfall- und der Monoverbrennungsanlagen in Österreich.

Tabelle 58 zeigt, dass in Österreich rund 90.000 t TS an Klärschlamm in Abfallverbrennungsanlagen und Monoverbrennungsanlagen (siehe Kapitel 6.7.2) thermisch behandelt werden.

Tabelle 58: Klärschlamm-Verbrennung in Abfallverbrennungs- und Monoverbrennungsanlagen – Klärschlamm-Input, in t TS/a (errechnet aus den angegebenen Quellen unter der Annahme von 30 % TS bzw. bei Dürrrohr 65 % TS).

Anlage	2005	2006	2007	Quellen
Simmeringer Haide WSO 1–4	66.600	66.100	69.200	pers. Mitt. Peter Hora, Entsorgungsbetriebe Simmering, 05.11.2008).
MVA Dürrrohr (AVN)	2.900	2.200	400	pers. Mitt. Gabriele Zehetner, AVN, 16.12.2008
Wels (WAV I + II)	0	4.500	4.500	Schätzung auf Basis einer pers. Mitt. von Josef Bichl, AVE Energie AG, 18.12.2008
Lenzing (AVE-RVL)	13.500	13.500	13.500	
Niklasdorf (ENAGES)	800	600	2.100	pers. Mitt. Michael Resch, ENAGES, 10.12.2008.
Gesamt	83.800	86.900	89.700	



6.7.2 Monoverbrennungsanlagen für Klärschlamm

Dezentrale Monoverbrennung

Traditionell wurde Klärschlamm-Monoverbrennung aufgrund des hohen Abgasreinigungsbedarfs nur in Großanlagen durchgeführt. Seit einigen Jahren werden aber auch Konzepte für eine dezentrale Klärschlamm-Monoverbrennung in kleineren Anlagen erstellt (FERTH 2008). Einen Überblick dazu bietet Tabelle 59. Tabelle 60 gibt einige weitere Informationen zu vier ausgewählten Konzepten. An den geschätzten Klärschlammbehandlungskosten (letzte Zeile in Tabelle 60) ist zu sehen, dass dezentrale Anlagen im Vergleich zu Großanlagen durchaus in den Bereich der Wirtschaftlichkeit kommen könnten.

Tabelle 59: Verfahren und Anbieter dezentraler Kleinanlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung (QUICKER 2008).

Verfahren	Firma	Pyrolyse	Vergasung	Verbrennung
EcoDry	Andritz (ERMEL 2002)			Zyklonofen
AWINA	Aldavia BioEnergy			Rost mit Schleuderrad
sludge2energy	Hans Huber (BOGNER et al. 2008)			Rost
BioCon	Krüger A/S Veolia Water Systems			Rost
PyroFluid				Stationäre Wirbelschicht
KALOGEO	KALOGEO Anlagenbau			Stationäre Wirbelschicht
SWSF-Verfahren	ES*S Energy Systems			Stationäre Wirbelschicht
Pyrobustor	Eisenmann	Drehrohr (1. Kammer)		Drehrohr (2. Kammer)
Kopf Verfahren	Kopf AG			Stationäre Wirbelschicht
G&A-Verfahren	G&A Industrieanlagen Unitechnik	Pyrolysereaktor		
OHLTHERM PYRO-3	OHL Technologies Polytherm Hamburg	Pyrolysereaktor		
HD-PAWA-THERM	UC Prozesstechnik	Drehrohr		
Thermokatalyse	FH Gießen-Friedberg	Schlaufenreaktor		
PYROMEX	PYROMEX AG	Hochtemperaturreaktor		



Tabelle 60: Prozessparameter von 4 ausgewählten Konzepten zur dezentralen Klärschlamm-Monoverbrennung (UMWELTBUNDESAMT 2004a).

	KALOGEO Verfahren von Tecon Engineering	Eco-Dry-Verfahren von Andritz AG	Ultrahochtemperaturentgasung von Pyromex AG	HD-PAWA-THERM von UC Process-technik	Bestehende Monoverbrennung
Trocknung	Solar oder Abwärme	Abwärme	Pyrogas, Abwärme	Pyrolysegas, Erdgas	
Reaktor	Stationäre Wirbelschicht	Zyklonofen	Entgasung im Hochtemperaturreaktor	Pyrolyse im Drehrohr	
Energiezufuhr durch	Erd- oder Biogas	energieautark (Erdgas, Erdöl beim Anfahren)	Induktionsstrom	indirekt durch Erdgas	
Temperatur in °C	650 bzw. 850	> 850	1.200–1.700	700	
Abgasreinigung	Trockene Sorption (Kalkhydrat, Aktivkoks), Quench, Keramikfilter	trocken (Kalkhydrat, Herdofenkoks) oder nass (Venturiwäscher + alkalischer Wäscher	alkalischer und saurer Wäscher	Aktivkohlefilter und Wäscher	
Energienutzung	Strom, Trocknung, Faulturm, Fernwärme	Trocknung	Trocknung, Gasmotor, Strom	Trocknung, Wärme, Strom	
Kosten in €/t TS	143–268	125–225	325–375	160–320	233

Für eine Dezentralisierung der Klärschlammverbrennung könnte auch die Kombination von Klärschlammbehandlung und Biomasse-Heizkraftwerken von Bedeutung sein. Ein Beispiel für diese Option wird in Crailsheim in Deutschland, mit einem Input von 20.000 t/a Klärschlamm (6.400 t TS/a) aus einem Einzugsgebiet mit rund 200.000 Einwohnerinnen/Einwohnern, umgesetzt. Das Biomasse-Heizkraftwerk erzeugt aus 100.000 t Input an Holz und Altholz eine elektrische Leistung von 8,3 MW. Die Abwärme (rund 24 MW) wird zum Teil dazu genutzt, Klärschlamm zu trocknen und in zwei Drehrohren zu verschwelen (EUWID 2008a).

Eine ähnliche Verfahrenskombination wurde für das Illertaler Biomasseheizkraftwerk vorgeschlagen. Die Abwärme der Holzfeuerung wird dazu genutzt, die Zuluft zu einem Klärschlammvergaser auf 300 °C vorzuwärmen. Unter Anwesenheit dieser heißen Luft reagieren der Kohlenstoff und das Wasser des Klärschlammes unter weiterem Aufheizen auf 800 °C zu Synthesegas ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$). Dieses wird der Holzfeuerung als zusätzlicher Brennstoff zugeführt und im Brennraum zu CO_2 und Wasser umgesetzt (SOMMER 2003).

Monoverbrennungsanlagen in Österreich

Die Wirbelschichtöfen 1 bis 3 (WSO 1–3) des Standortes Simmeringer Haide der Fernwärme Wien sind die größten Anlagen Österreichs, in denen fast ausschließlich Klärschlamm verbrannt wird (siehe Tabelle 61). Daneben läuft in Bad Vöslau seit 2004 eine kombinierte Klärschlamm-trocknungs- und -verbrennungsanlage, die aufgrund ihrer geringen Größe (der Durchsatz beträgt lediglich 2.500 t TS/a) (BAYER 2007) beispielgebend für dezentrale Monoverbrennungsanlagen sein könnte. Planungsarbeiten für weitere Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen und für die Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammmasche (siehe Kapitel 6.8) sind im Gange. Beispielsweise wurden solche Anlagen für die Standorte Graz-Gössendorf und Leoben vorgeschlagen (OBERBERGER et al. 2007).



Tabelle 61: Monoverbrennungsanlagen in Österreich (STUBENVOLL 2002, UMWELTBUNDESAMT 2007, BAYER 2007, siehe auch Abbildung 16).

Anlage	BL	Betreiber	Inbetriebnahme	Feuerung	Abfallart	genehmigte bzw. durchschnittliche Kapazität in t/a ¹⁾
Simmeringer Haide WSO 1–3	W	Fernwärme Wien	1980–1992	Stationäre WS	Klärschlamm	180.000
Bad Vöslau	NÖ	Abwasserverband Bad Vöslau	2004	Stationäre WS	Klärschlamm	9.000 ²⁾

¹⁾ Zu den Kapazitätsangaben muss generell angemerkt werden, dass die tatsächlich durchgesetzten Abfallmengen vom Heizwert der eingesetzten Abfälle abhängen, da die Kapazität der meisten Anlagen durch die thermische Nennleistung der Kesselanlage begrenzt ist. Weiters ist die Anzahl der Anlagenstillstände (Revisionen, Störfälle) für die tatsächlich durchgesetzte Menge ein weiterer bestimmender Faktor.

²⁾ 2.500 t TS/a (28 %)

BL...Bundesland, WS...Wirbelschichtreaktor, WSO...Wirbelschichtofen

Als größte Anlage Österreichs, in der die Monoverbrennung von Klärschlamm bereits praktiziert wird, soll die Anlage WSO 1–3 Simmeringer Haide nun etwas genauer beschrieben werden.

WSO 1–3 Simmeringer Haide

Die Wirbelschichtöfen 1–3 Simmeringer Haide wurden im Zeitraum 1980–1992 in Betrieb genommen. Die Verbrennung erfolgt in der stationären Wirbelschicht nach dem System Copeland. Die Anlagen wurden auf einen durchschnittlichen unteren Heizwert von 15, MJ/kg und eine Brennstoffwärmeleistung von zusammen 59,5 MW ausgelegt. Die drei Wirbelschichtöfen können zusammen rund 200.000 t Abfall im Jahr verbrennen.

Der verfahrenstechnische Aufbau der drei Verbrennungslinien gliedert sich im Wesentlichen in folgende Anlagenkomponenten (LOCHER 2007, UMWELTBUNDESAMT 2007):

- Klärschlammmentwässerung zur Erzielung eines Trockensubstanzgehalts von 30–36 %: Zentrifugen, Wärmetauscher, Mazeratoren;
- Wirbelschichtofen mit einer Wirbelbett-Temperatur von 750 °C;
- Abhitzeessel;
- Rauchgasreinigung: Elektrofilter, saurer und basischer Wäscher, Aktivkohlefilter und SCR-Entstickung;
- mehrstufige Abwasserbehandlung (gemeinsame Behandlung der Abwässer aller Öfen der Simmeringer Haide): Schwerkraftabscheidung, Neutralisation zur HCl- und HF-Abscheidung, Flockung, Filtration und Fällung;
- Dampfverteilersystem.

Das Inputmaterial für die WSO 1–3 besteht zu rund 95 % aus Klärschlamm (siehe Tabelle 62). Insgesamt entstehen aus den rund 180.000 t/a Abfallinput (nass) rund 17.000 t/a Flugasche. Rund 2.500 t/a Filterkuchen fallen für alle Öfen des Standortes (2 Drehrohröfen, 4 Wirbelschichtöfen) gemeinsam an (siehe Tabelle 63). Tabelle 64 zeigt die Input- und Outputströme der WSO 1–3 je Tonne TS Abfallinput.

Die Zusammensetzung bzw. Schadstoffgehalte der Flugasche ist in Tabelle 65 angeführt. Die Grenzwerte für die Ablagerung auf einer Reststoffdeponie werden eingehalten. Für die Ablagerung der Flugasche auf Massenabfalldeponien weist die Flugasche zu hohe Blei-, Cadmium-, Silber- und Zinkwerte auf.

Tabelle 62: Übersicht über die in den WSO 1–3 Simmeringer Haide behandelten Abfälle, in t/a (UMWELTBUNDESAMT 2007).

Abfälle	2002	2003	2004	2005
Klärschlamm (Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung)	176.320	159.259	156.043	168.478
Faulschlamm (anaerob stabilisierter Schlamm)	0	0	1.544	6.323
Sonstige rohölverunreinigten Rückstände aus der Erdölförderung	0	39	0	1.149
Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	0	0	0	817
Aerob stabilisierter Schlamm	0	0	0	501
Schlamm aus Öltrennanlagen	0	0	0	333
Schlamm aus der Tankreinigung	0	0	0	255
Futtermittel	7.953	5.307	169	0
Desinfizierte Abfälle (nicht gefährlich)	13.707	13.779	1.499	0
Sonstige Abfälle	8	51	772	241
Summe	197.898	178.443	160.027	178.097

Tabelle 63: Bei den WSO 1–3 Simmeringer Haide entstehende Abfälle, in t/a (UMWELTBUNDESAMT 2007).

Abfallart	2004	2005
Flugasche	15.093	17.272
Filterkuchen (bezogen auf alle Anlagen am Standort Simmeringer Haide)	2.706	2.556

Tabelle 64: Input- und Outputströme der WSO 1–3 Simmeringer Haide, bezogen auf 12 t TS Abfallinput (errechnet aus den Stoffströmen 1999 von BÖHMER 2002).

Inputströme	Outputströme		
Wärmebedarf	19 kWh	Wärmeerzeugung	1.900 kWh
Strombedarf extern	85 kWh	Stromerzeugung	313 kWh
Heizölbedarf	105 kg	Dampferzeugung	4,5 t
Frischwasserbedarf	10.850 l	Filterasche	250 kg
Verbrauch an Kalk	6,7 kg	Filterkuchen	15,8 kg
Verbrauch an Natronlauge (50 %)	11,5 kg	gereinigtes Abwasser	2.234 l
Verbrauch an Ammoniak (25 %)	3,3 kg	gereinigtes Abgas (feucht)	11.700 Nm ³
Verbrauch an Fällungschemikalien	0,2 kg		



Tabelle 65: Gegenüberstellung der Gehalte im Feststoff der Flugasche der Monoverbrennung der WSO 1–3 Simmeringer Haide (UMWELTBUNDESAMT 2007) mit den Grenzwerten der Deponieverordnung 2008.

Parameter	Einheit	Flugasche aus WSO 1-3 (Feststoffgehalte)	Grenzwerte für Gehalte gemäß Deponieverordnung	
			für Reststoffdeponien	für Massenabfalldeponien
Glühverlust	% TS	< 0,04		
P	mg/kg TS	14.400		
Al gesamt	mg/kg TS	19.500		
As	mg/kg TS	73,9	5.000	500
Ba	mg/kg TS	118		10.000
Pb	mg/kg TS	15.155		5.000
Cd	mg/kg TS	310	5.000	30
Cr gesamt	mg/kg TS	846		8.000
Co	mg/kg TS	136		500
Cu	mg/kg TS	4.612		5.000
Ni	mg/kg TS	1.652		2.000
Hg	mg/kg TS	< 0,5	20	20
Ag	mg/kg TS	144		100
Zn	mg/kg TS	42.440		5.000
PCDD/F	ng TE/kg TS	1.296		
C _{org}	mg/kg TS	0,95	50.000	50.000

PCDD/F: Polychlorierte Dibenzo-Dioxine/Furane



Tabelle 66: Gegenüberstellung der Gehalte im Eluat der Flugasche der Monoverbrennung der WSO 1–3 Simmeringer Haide (UMWELTBUNDESAMT 2007) mit den Grenzwerten der Deponieverordnung 2008.

Parameter	Einheit	Flugasche aus WSO 1–3 (Eluatgehalte)	Grenzwerte für Eluatgehalte gemäß Deponieverordnung	
			für Reststoffdeponien	für Massenabfalldeponien
pH-Wert		9,8	6–12	6–13
Elektr. Leitfähigkeit	mS/m	190		
Abdampfrückstand	mg/kg TS	170.000	60.000	100.000
Al gesamt	mg/kg TS	113	100	
Sb	mg/kg TS	k.A.	0,7	5
As	mg/kg TS	< 0,05	2	25
Ba	mg/kg TS	2,8	100	300
Pb	mg/kg TS	< 0,1	10	50
B	mg/kg TS	1,1		
Cd	mg/kg TS	< 0,1	1	5
Cr gesamt	mg/kg TS	1,0	10	70
Cr ⁶⁺	mg/kg TS			20
Co	mg/kg TS	< 0,1	5	50
Fe	mg/kg TS	< 0,1	20	
Cu	mg/kg TS	< 0,1	50	100
Mo	mg/kg TS	k.A.	10	30
Ni	mg/kg TS	< 0,1	10	40
Hg	mg/kg TS	< 0,01	0,1	0,5
Se	mg/kg TS	k.A.	0,5	7
Ag	mg/kg TS	< 0,1	1	10
Zn	mg/kg TS	< 0,2	50	200
Sn	mg/kg TS	< 0,1	20	200
NH ₄ ⁺ als N	mg/kg TS	< 12	300	10.000
Cl	mg/kg TS	324		
CN	mg/kg TS	< 1,0	1	20
F	mg/kg TS	< 8	150	500
NO ₃ ⁻ als N	mg/kg TS	< 13		
NO ₂ ⁻ als N	mg/kg TS	< 1,0	15	1.000
PO ₄ ³⁻ als P	mg/kg TS	< 0,7	50	
SO ₄ ²⁻ als S	mg/kg TS	k.A.		25.000
TOC als C	mg/kg TS	k.A.	500	2.500
Kohlenwasserstoff-Index	mg/kg TS	k.A.	100	200
EOX als Cl	mg/kg TS	< 0,1	30	30
BTXE	mg/kg TS	< 0,4		
Anionenaktive Tenside (Messwert als TBS, Grenzwert als MBAS)	mg/kg TS	< 0,6	20	
Phenolindex	mg/kg TS			1.000



Für die Deponierung von Klärschlammaschen in Deutschland wurde festgestellt, dass die teils hohen Chromat- und Dichromatkonzentrationen im Eluat der Aschen neben dem hohen Gesamtgehalt an Schwermetallen oftmals ein Problem darstellen. Deshalb ist die oberirdische Deponierung von Klärschlammaschen in Deutschland oft nur nach einer Konditionierung oder in geeigneten Behältnissen möglich (SCHNEIDER et al. 2007). Für die Klärschlammaschen der Simmeringer Haide (WSO 1–3) scheint dieses Problem nicht zu bestehen. Sowohl der Chromatgehalt im Feststoff als auch im Eluat liegt weit unter den Grenzwerten der Deponieverordnung (siehe Tabelle 65 und Tabelle 66). Jedoch liegt der Abdampfdruckstand und der Aluminiumgehalt des Eluats über den Grenzwerten der Deponieverordnung (siehe Tabelle 66).

Insgesamt handelt es sich bei der Monoverbrennung um die bestverfügbare Technologie zur Klärschlammbehandlung (FAULSTICH & BARON 2008) insbesondere dann, wenn der Schadstoffgehalt des Klärschlammes eine sonstige Behandlung nicht zulässt.

6.7.3 Mitverbrennungsanlagen

Neben den in den vorigen Kapiteln angeführten Verbrennungsanlagen gibt es rund 175 weitere Anlagen in Österreich, in denen Abfälle thermisch behandelt werden (BMLFUW 2006). In einem Teil dieser Anlagen wird auch Klärschlamm verbrannt.

Klärschlamm hat mit einem unteren Heizwert von 9–18 MJ/kg TS (UMWELTBUNDESAMT 1994, 2001, HACKL & MAUSCHITZ 2007) einen Energieinhalt, der dem von Braunkohle vergleichbar ist. Dennoch unterscheidet sich Klärschlamm, seine Zusammensetzung betreffend, deutlich von Kohle. Insbesondere sind Wasser- und Aschegehalt sowie der Gehalt an Chloriden, Fluoriden und einigen Schwermetallen im Klärschlamm deutlich höher als in Kohle.

Klärschlämme mit geringem Schwermetallgehalt können als Ersatzbrennstoff eingesetzt werden. Üblich ist der Einsatz in Anlagen der Zementerzeugung, der Papier- und Zellstoffindustrie sowie in Kraftwerken.

In der **Ziegelindustrie** werden Schlämme aus der mechanischen Reinigung der Zellstoff- und Papierindustrie (Papierfaserreststoffe) als Porosierungsmittel auch stofflich genutzt (UMWELTBUNDESAMT 2000, 2001).

Tabelle 67 zeigt die Anlagen der österreichischen **Zementindustrie**, in denen Klärschlamm oder Papierfaserreststoffe eingesetzt werden.

Tabelle 67: Österreichische Zementwerke, die Klärschlamm und/oder Papierfaserreststoffe verbrennen (HACKL & MAUSCHITZ 2007).

Anlagenbetreiber	Standort	Bundesland	Brennstoff
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann GmbH	Kirchdorf/Krems	OÖ	Steinkohle, Petrolkoks, Erdgas, Sägemehl, Tiermehl, heizwertreiche Fraktion, Altreifen, Kunststoffabfälle, Klärschlamm
Wiiertsdorfer und Peggauer Zementwerke GmbH	Peggau	ST	Steinkohle, Petrolkoks, Erdgas, Kunststoffabfälle, Altöl, Lösungsmittel, Tiermehl, Tierfett, Klärschlamm
Wiiertsdorfer und Peggauer Zementwerke GmbH	Wiiertsdorf	K	Steinkohle, Petrolkoks, Erdgas, Kunststoffabfälle, Tiermehl, Klärschlamm
Wopfinger Baustoffindustrie GmbH	Wopfing	NÖ	Braunkohlenstaub, Heizöl (S), Erdgas, Papierfaserreststoffe, Kunststoffabfälle, Tiermehl, Tierfett

Die Mitverbrennung von kommunalem Klärschlamm in der Zementindustrie spielt, nach Auskunft der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie, im Ersatzbrenn- und Rohstoffspektrum der österreichischen Zementindustrie zurzeit eine untergeordnete Rolle (SPAUN 2007). Im Jahr 2006 wurden 5.900 t kommunaler Klärschlamm eingesetzt. Demgegenüber werden deutlich größere Mengen an Papierfaserreststoffen in der österreichischen Zementindustrie verwendet. Im Jahr 2005 waren es rund 34.000 t (siehe Abbildung 17).

Erfahrungen insbesondere aus der Schweiz und aus Deutschland zeigen, dass sich Klärschlämme gut als Ersatzbrenn- und Rohstoffe für die Zementerzeugung eignen, solange der Quecksilbergehalt im Klärschlamm sehr niedrig ist (SPAUN 2007).

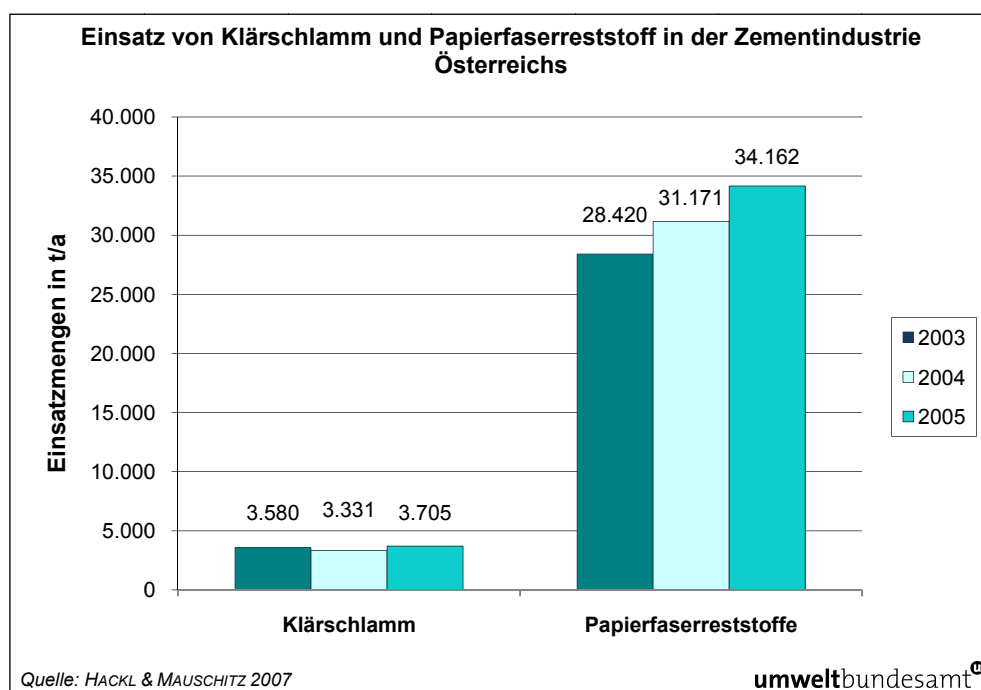


Abbildung 17: Einsatzmengen von Klärschlamm und Papierfaserreststoffen in der Zementindustrie, in t/a (HACKL & MAUSCHITZ 2007).



Tabelle 68 gibt einen Überblick über die Anlagen der österreichischen Zellstoff-, Papier-, Span- und Faserplattenindustrie, in denen Klärschlamm und/oder Papierfaserreststoffe verbrannt werden. Eingesetzt wurden im Jahr 2002 rund 300.000 t TS innerbetriebliche Faserreststoffe und Klärschlämme sowie rund 10.200 t TS außerbetriebliche Faserreststoffe und Klärschlämme (UMWELTBUNDESAMT 2004b).

Tabelle 68: Anlagen der österreichischen Zellstoff-, Papier-, Span- und Faserplattenindustrie, die Klärschlamm und/oder Papierfaserreststoffe verbrennen (UMWELTBUNDESAMT 2004b).

Anlagenbetreiber	Standort	BL	Technologie	BWL in MW	Brennstoff
Frantschach Pulp&Paper Austria AG	Frantschach/St.Gertraud	K	Zirk. WS	61	Erdgas, Kohle, Rinde, Sägespäne, Klärschlamm
W. Hamburger AG	Pitten	NÖ	WS	65	Steinkohle, Klärschlamm
Lenzing AG	Lenzing	OÖ	Zirk. WS	104	Kohle, Erdgas, Heizöl, Rinde, Sägespäne, Klärschlamm , diverse Reststoffe
Norske Skog Bruck GmbH	Bruck/Mur	ST	WS	18	Erdgas, Rinde, Kohle, Papierfaserreststoffe
Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG	Gratkorn	ST	Stat. WS	23,5	Erdgas, Holzreststoffe, Biogas, Klärschlamm
Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG	Gratkorn	ST	Zirk. WS	133,3	Erdgas, Heizöl, Kohle, Holzreststoffe, Biogas, Klärschlamm
EEVG	Steyrermühl	OÖ	WS	50	Erdgas, Rinde, Holzabfälle, Bau-restholz, Papierfaserreststoffe
Ybbstaler Zellstoff GmbH	Kematen/Ybbs	NÖ	Laugenver-brennungskessel	21,5	Dicklauge, Erdgas, Papierfaserreststoffe , Heizöl (S)
Funder Industrie GmbH	St. Veit/Glan	K	Zirk. WS	33	Rinde, Holzabfälle, Papier, Pape, Altpapierreject, Kunststoffverpackung/-folien, Klärschlämme , diverse Reststoffe

BL ... Bundesland, BWL ... Brennstoffwärmeleistung, Stat. WS ... Stationäre Wirbelschicht, WS ... Wirbelschicht, Zirk.

WS ... Zirkulierende Wirbelschicht

Das Potenzial zur Mitverbrennung von Klärschlamm in **Kohlekraftwerken** wurde mit 5 % des Kohleeinsatzes abgeschätzt (UMWELTBUNDESAMT 2001). Demnach könnten maximal 96.000 t TS Klärschlamm in den österreichischen Kohlekraftwerken mitverbrannt werden.

Seit Ende 2005 ist im Fernheizkraftwerk Mellach eine Anlage zur Mitverbrennung von Klärschlamm mit einer Kapazität von 26.000 t TS/a in Betrieb (VERBUND 2006). Dabei besteht die Klärschlammanlage im Wesentlichen aus einem Klärschlammannahmereich, einer Zwischenspeicherung und der Förderung des Klärschlammes (Klärschlammzudosierung) in die Kohlemühle. Dort wird der Klärschlamm mit der Kohle vermischt, vermahlen und über die bestehenden Pulverkohlebrenner der Verbrennung zugeführt (SMOLAK & HOFER 2005).

Tabelle 69 zeigt den Klärschlamm Einsatz in den österreichischen Kohlekraftwerken. Im Kraftwerk Timelkam wird seit 2008 kein Klärschlamm mehr verbrannt².

² pers. Mitt. Josef Bichl, AVE Energie AG, 18.12.2009

Tabelle 69: Klärschlammverbrennung in österreichischen Kohlekraftwerken – Klärschlamm-input, in t TS/a (errechnet aus den angegebenen Quellen unter der Annahme von 30 % TS).

	2005	2006	2007	Quellen
Mellach	900	6.400	5.800	VERBUND 2008
Riedersbach	2.100	2.100	2.100	pers. Mitt. Josef Bichl, AVE Energie AG, 18.12.2009
Timelkam	900	900	900	
Gesamt	3.900	9.400	8.800	

Der Vorteil der Mitverbrennung gegenüber der Abfallverbrennung und der Mono-verbrennung liegt darin, dass in Österreich deutlich mehr Standorte etabliert sind, an denen eine Mitverbrennung möglich ist. Auch sind die Mitverbrennungsanlagen gleichmäßiger über das österreichische Bundesgebiet verteilt.

Der Nachteil der Mitverbrennung besteht darin, dass nur Klärschlämme mit niedrigen Schwermetallgehalten in der Mitverbrennung genutzt werden können, da es sonst zur Emission oder Dissipation dieser Schwermetalle in die Umwelt kommt (ERBE et al. 2007).

Insgesamt handelt es sich bei der Mitverbrennung um eine „dezentralere“ Ergänzung der Monoverbrennung für Klärschlämme mit einer geringen Schwermetallbelastung.

6.8 Phosphor-Rückgewinnung

Phosphat zählt neben Stickstoff, Kalium und Kalzium zu den wichtigsten Hauptnährstoffen landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Phosphor bildet in der Pflanze einen Bestandteil von Zelleiweißen, von zellulären Energieträgern und der DNS. Phosphatmangel wirkt sich ungünstig auf die Blüten-, Samen- und Fruchtbildung und damit auf die Ertragsenerwartungen aus.

Die Kulturpflanzen decken ihren Phosphatbedarf fast ausschließlich aus dem im Bodenwasser gelösten Phosphat. Diese Menge ist mit 2–4,5 kg P₂O₅/ha sehr gering, wenn man sie mit der gesamten Menge an Phosphat im Boden bis zu 25 cm Tiefe von 6.000–7.000 kg P₂O₅/ha vergleicht (WENDLAND 2008). Aufgrund der geringen Löslichkeit des Phosphats aus dem Boden ist es notwendig, Kulturpflanzen auch mit Phosphaten aus Düngemitteln zu versorgen.

Das Vorkommen an schwermetallarmen natürlichen Phosphatvorkommen ist begrenzt und auf wenige Länder konzentriert. Die Nutzung der schwermetallhaltigen natürlichen Phosphat-Erze ist mit Kosten und Risiken verbunden (HUBER 2008). Deshalb sind seit einigen Jahren verstärkte Bemühungen im Gange, Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Abwässern und dem Klärschlamm zu entwickeln.

Abbildung 18 zeigt die Phosphorbilanz für die Aktivität Ernährung. Zu sehen ist, dass nur rund 25 % des mit Hilfe von Düngemitteln und Futtermittelimporten eingeführten Phosphors in die Lebensmittel gelangen, während 75 % in die landwirtschaftlichen Abfälle eingetragen bzw. in die Lithosphäre bzw. Hydrosphäre ausgewaschen bzw. abgeschwemmt werden.

Bodenschutzmaßnahmen oder der Einsatz von Düngemitteln mit einer höheren Pflanzenverfügbarkeit sollten dazu führen, dass weniger Phosphor in die Oberflächengewässer und Grundwasser gelangt.

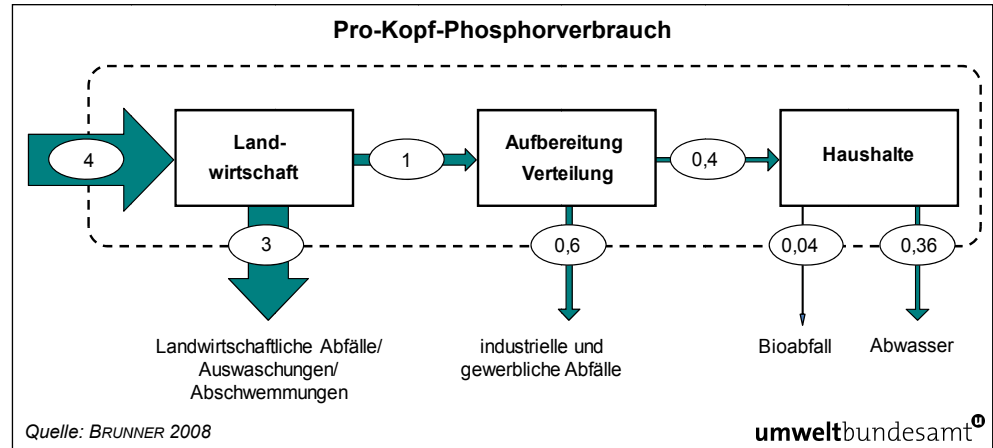


Abbildung 18: Phosphorbilanz der Aktivität Ernährung in kg/Ew.a (BRUNNER 2008).

Rund 9 % des ursprünglich mit Dünge- und importierten Futtermitteln in der Landwirtschaft eingesetzten Phosphors gelangen über die Nahrungsmittel und die menschlichen Exkremente in die Haushaltsabwässer und in weiterer Folge in den Klärschlamm (siehe Abbildung 18). Die Rückgewinnung des im Abwasser bzw. Klärschlamm enthaltenen Phosphors kann einen wertvollen Beitrag zur Verringerung des Düngemiteleinsatzes in der Landwirtschaft leisten. Aufgrund der bislang noch nicht vollends geklärten Gefahrenpotenziale von hormonell wirksamen Substanzen, organischen Schadstoffen und Schwermetallen sowie auch aus hygienerechtlichen Aspekten, sollte gemäß BAWP 2006 die Aufbringung von Klärschlamm auf den Boden sehr restriktiv erfolgen.

Eine Lösung könnte die gezielte Abtrennung des Phosphors aus den Abwässern oder dem Klärschlamm bzw. eine gezielte Behandlung des Klärschlammes darstellen.

Der Marktwert des rückgewonnenen Phosphors richtet sich nach Pflanzenverfügbarkeit und damit der chemischen Verbindung, in welcher der Phosphor vorliegt (HERBST et al. 2007):

- Ein Recyclingprodukt mit Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) als Phosphorträger hat einen Marktwert von 1 €/kg Phosphor;
- ein Recyclingprodukt mit Aluminium-Phosphat als Phosphorträger hat einen Marktwert von 0,5 €/kg Phosphor.

Das Ziel der im Folgenden beschriebenen Verfahren ist es, zu Phosphor-Rückgewinnungskosten zu kommen, die unter diesem Marktwert des Produktes liegen.

In den Prozessen der kommunalen Abwasser- und Klärschlammbehandlung besteht an mehreren Stellen die Möglichkeit der Integration von Anlagen zur Phosphat-Rückgewinnung. Es stehen dabei grundsätzlich vier Einsatzstellen zur Verfügung (siehe Abbildung 19):

- (1) im Kläranlagenablauf,
- (2) aus den Schlammwässern,
- (3) aus entwässertem Klärschlamm,
- (4) aus der Klärschlammmasche (Monoverbrennung) (PINNEKAMP et al. 2007).

Wenn Phosphor in gelöster Form vorliegt, ist die Phosphor-Rückgewinnung mit geringen zusätzlichen verfahrenstechnischen Maßnahmen in bestehende Kläranlagen integrierbar. Diese Bedingung ist im Kläranlagenablauf (1) und in den Schlammwässern (2) gegeben. In entwässertem Klärschlamm (3) und in der Klärschlamm-Asche (4) muss der Phosphor zunächst rückgelöst werden, um ihn dem Recycling zugänglich zu machen. Eine zusätzliche Möglichkeit Phosphor aus Klärschlamm-Asche zu gewinnen besteht darin, dass die Schwermetalle über thermische Verfahren abgetrennt werden. Jedenfalls erhöhen sich für die Phosphor-Rückgewinnung an den Einsatzstellen (3) und (4) gegenüber einer Phosphor-Rückgewinnung an den Einsatzstellen (1) oder (2) der technische und energetische Aufwand sowie die Menge der einzusetzenden Betriebsstoffe erheblich (MONTAG et al. 2008).

Tabelle 70 zeigt für die vier Einsatzstellen die Volumenströme, die Phosphorkonzentrationen und -frachten (je Einwohnerwert und Tag) sowie die Phosphor-Rückgewinnungspotenziale je Standort und für Deutschland in Summe. Die zu behandelnden Volumenströme und damit die notwendige Anlagengröße nehmen von (1) Abtrennung im Kläranlagenablauf über (2) und (3) zu (4) Abtrennung aus der Klärschlamm-Asche ab. Das Phosphor-Rückgewinnungspotenzial ist bei Abtrennung aus Klärschlamm-Asche mit 85 % rund doppelt so hoch wie bei den anderen Einsatzstellen. Dies gilt je Standort. Da es in Deutschland jedoch deutlich mehr Standorte gibt, an denen die Phosphor-Rückgewinnung aus den Schlammwässern (2) eingeführt werden kann (das sind alle Kläranlagen mit einer Faulungsanlage), als es Standorte für eine Rückgewinnung aus der Klärschlamm-Asche gibt (das sind die Standorte der Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen), ist das deutschlandweite Potenzial zur Phosphor-Rückgewinnung bei Einsatzstelle (2) deutlich am höchsten (MONTAG et al. 2008).

Die in Tabelle 70 gezeigten Kosten der Phosphor-Rückgewinnung von 5,8–19,8 €/kg Phosphor liegen bei allen Verfahrensvarianten noch deutlich über dem Marktwert des erzeugten Produktes von 0,5–1 €/kg Phosphor (HERBST et al. 2007). Es wird jedoch angenommen, dass noch große Kostensenkungspotenziale bestehen.

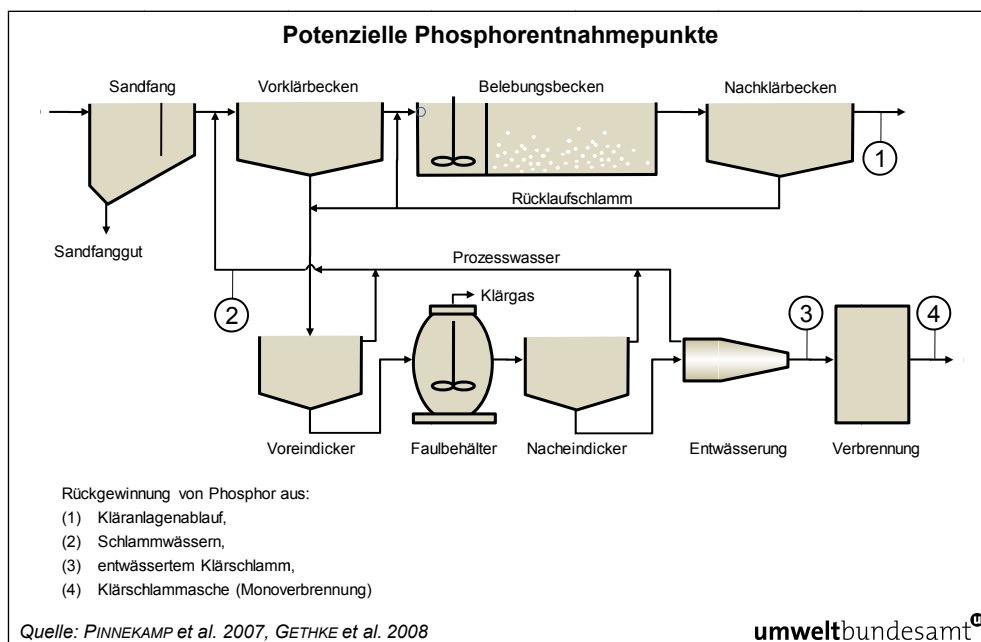


Abbildung 19: Einsatzstellen zur Phosphor-Rückgewinnung auf kommunalen Kläranlagen (PINNEKAMP et al. 2007, GETHKE et al. 2008).



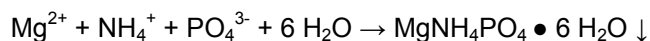
Tabelle 70: Charakterisierung der Einsatzstellen zur Phosphor-Rückgewinnung in kommunalen Kläranlagen und nach der Monoverbrennung (PINNEKAMP et al. 2007, HERBST et al. 2007, MONTAG et al. 2008).

Einsatzstelle	täglicher Strom je Einwohnerwert	Phosphorkonzentration	Phosphorfracht in g/EW.d	Rückgewinnungspotenzial (bezogen auf die Zulaufmenge der Kläranlage)	theoretisch rückgewinnbare Phosphormenge in Deutschland in t/a	geschätzte Kosten in €/kg Phosphor recycled
(1) Kläranlagenablauf	200 l/EW.d	5–8 mg/l	1–1,6	Max. 42 %	18.000	19,8
(2) Schlammwasser	1–10 l/EW.d	20–100 mg/l	0,1–0,2	~ 40 %	27.200	6,7–9,1
(3) entwässerter Klärschlamm	0,15 l/EW.d	~ 10 g/kg	~ 1,5	~ 40 %	17.100	
(4) Klärschlamm-asche	0,03 kg/EW.d	~ 50 g/kg	~ 1,5	~ 85 %	15.300	5,8

6.8.1.1 Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser, Schlammwasser oder Klärschlamm

Es gibt eine große Zahl von Verfahrensvorschlägen zur Phosphor-Rückgewinnung aus den Wässern und Schlämmen einer kommunalen Kläranlage. Tabelle 71 gibt einen Überblick über die am häufigsten genannten Verfahren und ihren aktuellen Status.

Einige dieser Verfahren nutzen die Fällung von Phosphat mit Magnesium und Ammonium-Ionen zur Bildung von schwerlöslichem Magnesiumammoniumphosphat (MAP) (PINNEKAMP et al. 2007):



Insgesamt reichen diese Verfahren von einem einfachen Fällprozess mit nachfolgender Abtrennung (z. B. Berliner Wasserbetriebe) bis zu Verfahren mit einer komplexen Abfolge chemischer und zum Teil thermischer Prozesse unter Anwendung modernster Technologien. Ein Beispiel für eines der einfacheren Verfahren ist das in Abbildung 20 dargestellte „Stuttgarter Verfahren“. Das in einem Forschungsklärwerk in Stuttgart-Büsnau erzeugte Produkt hat eine vergleichbare Düngewirkung wie gebräuchlicher Handelsdünger, enthält aber deutlich weniger Schwermetalle (ZITZLER 2007).

Doch nur für wenige der in Tabelle 71 angeführten Verfahren gibt es bereits großtechnische Demonstrationsanlagen.

Tabelle 71: Übersicht über Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser, Schlammwasser oder Klärschlamm bei der kommunalen Abwasser- und Klärschlammbehandlung (MONTAG et al. 2008).

Verfahren	Verfahrensprinzip	Demonstrationsanlage
Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser		
Adsorptionsverfahren	Adsorption des Phosphors an Aktivtonerde, Desorption des Phosphats mit Natronlauge, Neutralisation der Lösung mit Kohlensäure, Phosphatfällung mit Kalk	
Kristallisationsverfahren	Wirbelschichtreaktor mit Aufwuchsmaterial für Kristalle, Phosphatfällung mit Magnesium oder Kalzium	
Magnetseparator	Zugabe klassisches Fällmittel und magnetisches Trägermaterial (feinkörniger Magnetit) sowie Flockungshilfsmittel, Flokulationsrohr mit zyklisch arbeitendem Magneten, Festhalten der Flocken im Magnetfeld, Spülung bei 80 %iger Beladung des Magneten	
Nachfällung/Flockungsfiltration	Klassisches Verfahren zur Phosphorelimination mit Einsatz von Magnesiumverbindungen oder Tonerde als Fällmittel	
RIM-NUT Ionentauscher	Kationentauscher (natürliche Zeolithe) für Ammoniumionen, Anionentauscher (stark basisches Material) für Phosphationen; Regenerierung der Ionentauscher mit NaCl-Lösung; Phosphatfällung im Waschwasser mit Magnesium und pH-Wert-Anhebung	
Phosphor-Rückgewinnung aus Schlammwässern und Klärschlamm		
Aqua-Reci-Prozess	Überkritische Oxidation des Schlammes (60 s, > 375 °C, 220 bar), basischer Aufschluss des anorganischen Rückstands bei 90 °C, Phosphatfällung mit Kalk	
CAMBI-Prozess	Entwässerung des Schlammes, dreistufige Hydrolyse (165 °C, 12 bar); Extraktion des Phosphors mit Ammoniakstarkwasser, MAP-Fällung	
Eisenbad (ATZ-Verfahren)	Reduzierung der Phosphorverbindungen in einem kohlenstoffhaltigen Eisenbad, Bindung des gelösten Phosphors an die Schlacke durch Eintrag von Sauerstoff; Abzug der Schlacke (MOCKER & FAULSTICH 2006)	
Kristallisation (z. B. DHV-Crystalactor®)	Wirbelschichtreaktor mit Aufwuchsmaterial für Kristalle, Phosphatfällung mit Magnesium oder Kalzium	Großtechnik: Geestmerambacht, Niederlande
LOPROX-Prozess mit Nanofiltration	Katalytische Niederdruck-Nassoxidation des Schlammes, fest-flüssig-Trennung, Abtrennung des Phosphors aus der flüssigen Phase durch Nanofiltration	
Stuttgarter Verfahren	Saurer Aufschluss, Komplexbildung der in der Aufschlusslösung enthaltenen Kationen, MAP-Fällung (siehe Abbildung 20)	Forschungsklärwerk Büsnau
Berliner Wasserbetriebe	MAP-Fällung im Faulschlamm, Abtrennung des MAP durch Hydrozyklon	Großtechnik: Berlin-Waßmannsdorf, Deutschland
PECO-Verfahren	Biologische Remobilisierung des Phosphors aus dem Klärschlamm, thermophile Faulung, Fällung zu Magnesium-Ammonium-Phosphat mit Meerwasser (DOCKHORN 2007)	
Phostrip-Verfahren	Mischung von Rücklaufstrom und vorgeklärtem Abwasser; erhöhte Rücklösung von Phosphat; fest-flüssig-Trennung; Phosphatfällung mit Kalkmilch aus der flüssigen Phase (MONTAG 2004)	Großtechnik: einige Anlagen in den USA
PRISA-Verfahren	Erhöhte biologische Rücklösung von Phosphat ins Überstandswasser (bei geänderter Betriebsweise des Voreindickers), Tuchfiltration, MAP-Fällung (MONTAG 2004, HERBST et al. 2007)	
P-RoC-Verfahren	Flotation, Kristallisationsreaktor mit Kristallisationsmaterial (tobermoritreiches Kalzium-Silikat-Hydrat) für die flüssige Phase, Absetzbecken zur Abtrennung des Kalziumphosphats	
Seaborne-Verfahren	Anaerobe Schlammbehandlung, saure Laugung des Faulschlammes, sulfidische Schwermetallfällung, Phosphatfällung mit Magnesium (MONTAG 2004)	Großtechnik: Gifhorn, Deutschland
KREPRO-Prozess	Entwässerung des Schlammes, saurer Aufschluss, thermische Behandlung (45 min, 140 °C, 4 bar) fest-flüssig-Trennung; Phosphatfällung mit Eisen in der flüssigen Phase (MONTAG 2004).	Pilotbetrieb: Kläranlage Helsingborg, Schweden.

MAP = Magnesiumammoniumphosphat

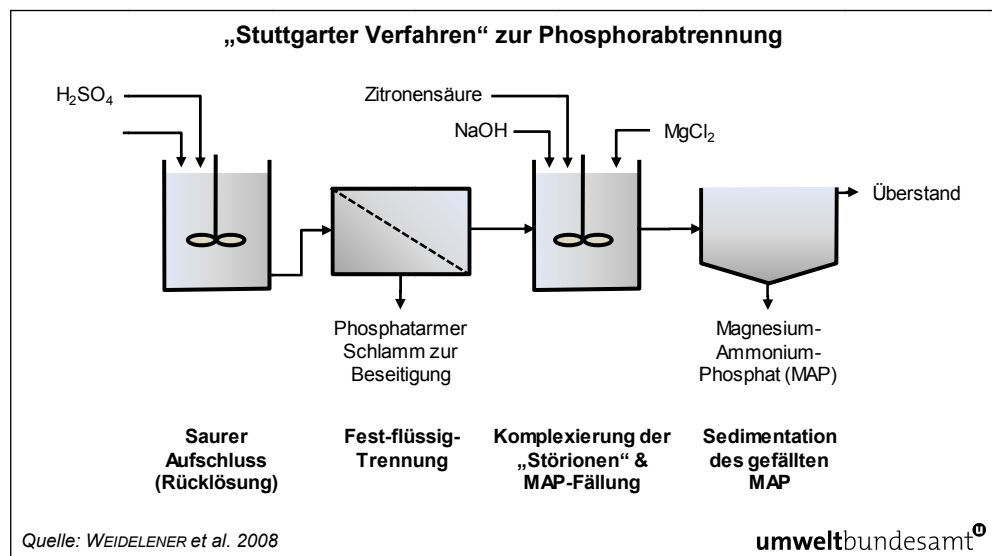


Abbildung 20: Vereinfachtes Fließbild des „Stuttgarter Verfahrens“ (WEIDELNER et al. 2008)

Speziell für Abwässer aus der Lebensmittelindustrie wurde das PEPHOS-Verfahren entwickelt. Eine Magnesium-Ammonium-Phosphat-(MAP)-Fällung erfolgt in zwei Reaktoren. Der erste Reaktor ist belüftet. Durch das Ausstripen von CO_2 steigt der pH-Wert. Hierdurch wird die für die MAP-Fällung notwendige Chemikalienmenge erheblich reduziert. Im nachfolgenden Kristallisationsreaktor wird der pH-Wert durch Zusatz von Natronlauge weiter auf 8,5 erhöht, sowie Magnesiumchlorid und bei Bedarf Ammoniakwasser zugesetzt. Es entstehen MAP-Kugeln von 0,3–0,7 mm Durchmesser, die sich gut absetzen. Der Einschluss von organischen Verbindungen wird weitgehend vermieden. Das sandartige Produkt bedarf keiner weiteren Entwässerung (EUWID 2008b).

6.8.1.2 Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche

Klärschlammasche aus der Klärschlamm-Monoverbrennung eignet sich aufgrund ihrer hohen Gehalte an Phosphor (in Deutschland durchschnittlich 6,2 %; PINNEKAMP et al. 2008) besonders zur Phosphor-Rückgewinnung (ADAM 2007). Asche aus der Monoverbrennung – in der neben Klärschlamm auch andere Abfälle verbrannt werden – und aus der Mitverbrennung ist für die Phosphor-Rückgewinnung weniger geeignet, da das Phosphor in den Rückständen dieser Prozesse in geringeren Konzentrationen vorliegt als in der Klärschlamm-Monoverbrennungsasche.

Ein wichtiger Unterschied der Phosphor-Rückgewinnung aus Asche gegenüber der Phosphor-Rückgewinnung aus wässrigen Lösungen/Schlämmen ist, dass die organischen Schadstoffe durch die thermische Behandlung bereits zerstört wurden. Die Klärschlammaschen sind aber weiterhin mit Schwermetallen belastet.

Um den Phosphor von den Schwermetallen zu trennen, gibt es zwei prinzipielle Vorgehensweisen:

- Nasschemische Verfahren: Saurer Aufschluss der Asche mit nachfolgender selektiver Abtrennung entweder des Phosphors oder der Schwermetalle.
- Thermische Verfahren: Schwermetalle werden bei hoher Temperatur unter Anwesenheit von Chlorid aus der Klärschlammasche „verdampft“.

Tabelle 72 gibt einen Überblick über einige der am häufigsten genannten Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche.

Tabelle 72: Übersicht über Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche (MONTAG et al. 2008).

Verfahren	Verfahrensprinzip	Demonstrationsanlage
BioCon-Verfahren	Saurer Aufschluss der Asche, Ionentauscher, Gewinnung von Phosphorsäure (MONTAG 2004)	Technikumsanlage: Aalborg, Dänemark
RüPA-Verfahren	Saurer Aufschluss der Asche; fest-flüssig-Trennung; flüssig-flüssig-Extraktion zur Schwermetallentfernung; Phosphatfällung als Aluminium- oder Kalziumphosphat unter pH-Wert-Anhebung (HERBST et al. 2007)	
SEPHOS-Verfahren	Saurer Aufschluss der Asche; fest-flüssig-Trennung; Phosphatfällung als Aluminium-phosphat unter pH-Wert-Anhebung; Abtrennung des Aluminium-Phosphats und anschließender basischer Aufschluss; fest-flüssig-Trennung; Phosphatfällung mit Kalzium (siehe Abbildung 21)	
Ash-Dec-Verfahren, BAM-Verfahren, SUSAN-Verfahren	Mischung der Asche mit Chloriden; thermische Behandlung im Drehrohrofen, Verdampfung von Schwermetallchloriden; Rückstand mit Phosphaten in pflanzenverfügbarer Form, Pelletierung (MOCKER & FAULSTICH 2006, ADAM et al. 2008, HERMANN 2008)	Großtechnik in Planung: Altenstadt, Deutschland

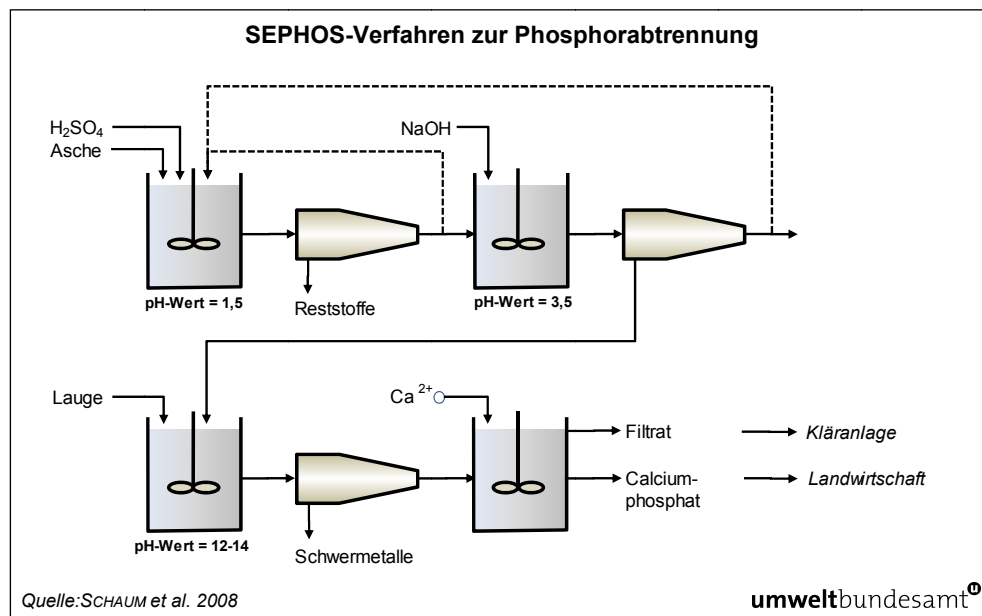


Abbildung 21: Vereinfachtes Fließschema des SEPHOS-Verfahrens (SCHAUM et al. 2008).

Im Folgenden werden das RüPA-Verfahren als Beispiel für ein nasschemisches Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche und das thermische Ash-Dec-Verfahren näher erläutert.

Das RüPA-Verfahren

Beim RüPA-Verfahren (siehe Abbildung 22) werden zunächst der in der Asche gebundene Phosphor und die Schwermetalle durch einen Säureaufschluss in Lösung gebracht. Die nicht löslichen Aschebestandteile werden abfiltriert und deponiert. In einer flüssig-flüssig-Extraktion mit nachfolgender Reextraktion werden die gelösten Schwermetalle von der Phosphatlösung getrennt. Anschließend wird durch Zugabe von Natronlauge das Phosphat als Aluminiumphosphat gefällt.

Tabelle 73 zeigt die Zusammensetzung dieses Produktes im Vergleich zur Zusammensetzung eines MAP-Recyclingproduktes nach der Abtrennung aus Schlammwasser. Das Produkt aus dem RüPA-Verfahren weist zwar niedrige Kupfer- und Zinkwerte auf, Chrom-, Nickel- und Bleigehalte sind aber sehr hoch und liegen deutlich über den Grenzwerten der österreichischen Düngemittelverordnung.

Für eine Anlage zur Behandlung von 15.000 t Klärschlamm-Asche pro Jahr wurden Anlagenkosten von rund 11 Mio. €, jährliche Betriebskosten von 3,6 Mio. € und Gesamtkosten von 5,8 €/kg recyceltem Phosphor errechnet (HERBST et al. 2007).

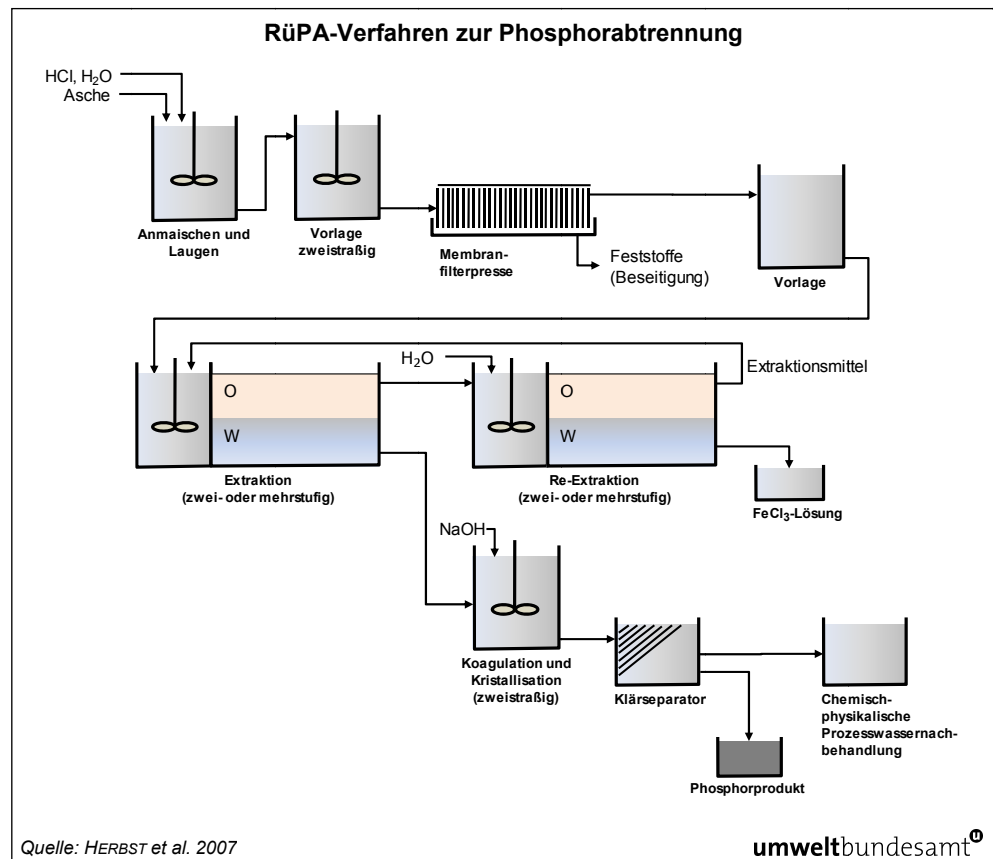


Abbildung 22: Vereinfachtes Fließschema des RüPA-Verfahrens (HERBST et al. 2007).



Tabelle 73: Nährstoff- und Metallgehalte von möglichen Phosphor-Recyclingprodukten bei Gewinnung aus Schlammwasser bzw. aus Klärschlammasche (HERBST et al. 2007, HERMANN 2008).

Parameter	Einheit	Produkt des PRISA-Verfahrens	Produkt des RüPA-Verfahrens	Produkt des Ash-Dec-Verfahrens	Grenzwerte der DüngemittelVO
		MAP aus Schlammwasser (Median)	Al-Phosphat aus Klärschlammasche (typische Zusammensetzung)	Phosphor-Granulat aus Klärschlammasche (typische Zusammensetzung)	
P	g/kg TS	85,0	100–120	100	
N	g/kg TS	10,1	n.b.	n.b.	
Mg	g/kg TS	148	2,3–7	20	
Ca	g/kg TS	99	18–40	180	
Al	g/kg TS	2,01	130–170	40	
Fe	g/kg TS	3,10	5–7	100	
Pb	mg/kg TS	10,3	240–330	7	100
Cd	mg/kg TS	0,50	< 1	< 0,1	3
Cr	mg/kg TS	10,0	300–400	67	100
Cu	mg/kg TS	76	10–20	52	
Ni	mg/kg TS	6,7	75–250	40	100
Zn	mg/kg TS	384	< 10	168	
Hg	mg/kg TS	0,14	< 0,3	< 0,1	1

n.b. = nicht bestimmt

Das Ash-Dec-Verfahren

Beim Ash-Dec(ontamination)-Verfahren wird Klärschlammasche aus der Monoverbrennung nach Zugabe von Kaliumchlorid (KCl) oder Kalziumchlorid (CaCl_2) pelletiert und in einem Drehrohrofen 20–30 Minuten bei 950–1.100 °C behandelt. Mit dem zugegebenen Chlorid entstehen im Drehrohr flüchtige Schwermetallchloride, die in die Gasphase übergehen. Mit dem Abgas werden die Schwermetallchloride aus dem Drehrohr ausgetragen und in der Rauchgasreinigungsanlage aus dem Abgas entfernt. Die schwermetall-abgereicherte Klärschlammasche soll als Düngemittel einsetzbar sein.

Umfangreiche Untersuchungen mit Klärschlammaschen aus den Wirbelschichtöfen WSO 1–3 Simmeringer Haide (siehe Abbildung 23) haben im Labormaßstab gezeigt, dass mehr als 90 % des Bleis, rund 85 % des Zinks und mindestens 75 % des Kupfers abgetrennt werden (MATTENBERGER et al. 2008). Weiters wurden mit deutschen Klärschlammaschen für Cadmium und Quecksilber Abscheidungsgrade größer 90 %, für Molybdän größer 80 % und für Zinn größer 70 % bestimmt (ADAM 2007). Arsen, Chrom und Nickel werden kaum entfernt. Das resultierende Produkt besteht zum überwiegenden Teil aus Phosphor-, Kalzium-, Silizium- und Eisenoxiden (siehe Abbildung 24). Das Produkt hält die Grenzwerte für Schwermetalle nach den Düngemittelverordnungen der Schweiz, der Niederlande und Deutschlands ein. Lediglich beim Grenzwert der deutschen Düngemittelverordnung für Kupfer von 70 mg/kg kam es bei einigen Proben (nicht aber im Durchschnitt) zu einer Überschreitung (siehe Abbildung 25) (ADAM 2007).



Abbildung 23: Klärschlammasche aus der Fernwärme Wien (HERMANN & BACHLEITNER 2008).

Die behandelte Klärschlammasche weist gegenüber der unbehandelten Asche eine erhöhte Pflanzenverfügbarkeit auf. Die Ergebnisse von Wachstumstests mit Raps und Mais zeigen, dass mit dem Produkt des Ash-Dec-Verfahrens vergleichbare Erträge wie mit kommerziell erhältlichen Düngemitteln erzielt werden können (ADAM 2007).

Die in Laborversuchen ermittelte Massenbilanz ist in Abbildung 26 dargestellt. Nach dieser Bilanz gelangen 2–4 % des Inputs in den Drehrohröfen in das Schwermetallkonzentrat aus der Rauchgas/Abwasserreinigung, während 83 % des Inputs im Produkt (= Phosphorgranulat) verbleiben (HERMANN 2008).

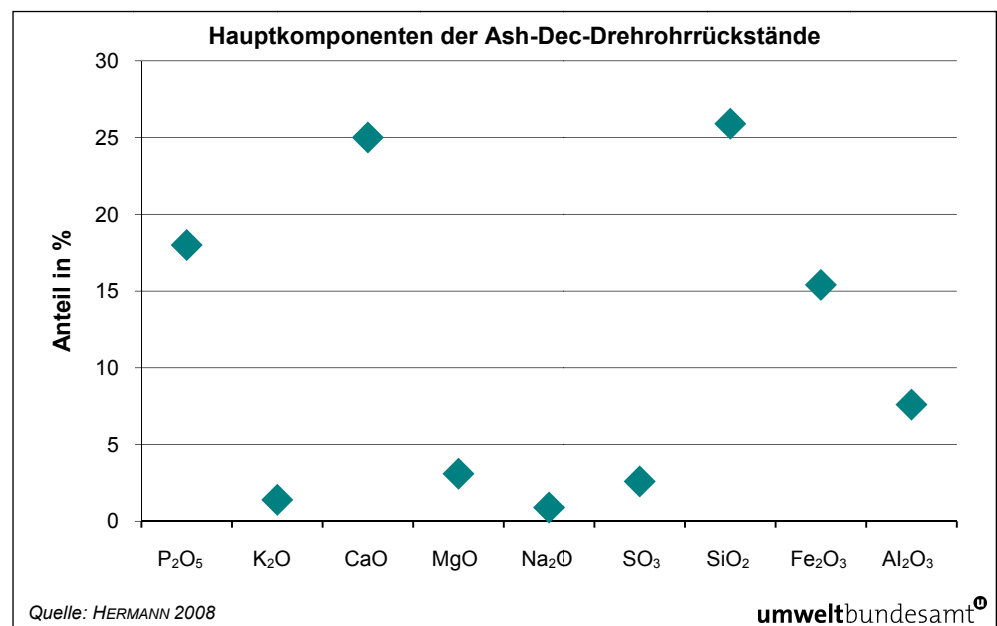


Abbildung 24: Stoffgehalte im Phosphor-Granulat nach der Drehrohrbehandlung beim Ash-Dec-Verfahren (HERMANN 2008).

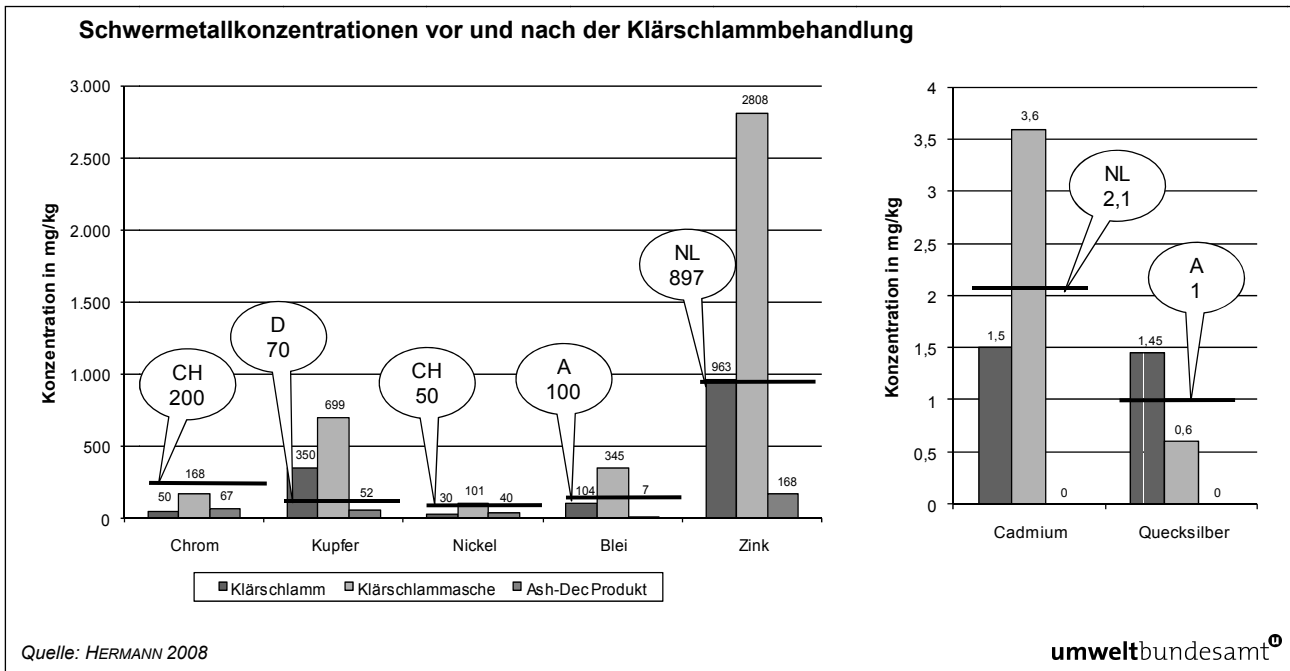


Abbildung 25: Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm (Trockensubstanz), in der Klärschlammasche und im Produkt des Ash-Dec-Verfahrens (Laborversuche) im Vergleich mit den schärfsten Düngemittelgrenzwerten aus der Schweiz (CH), Deutschland (D), Österreich (A) bzw. den Niederlanden (NL) (HERMANN 2008).

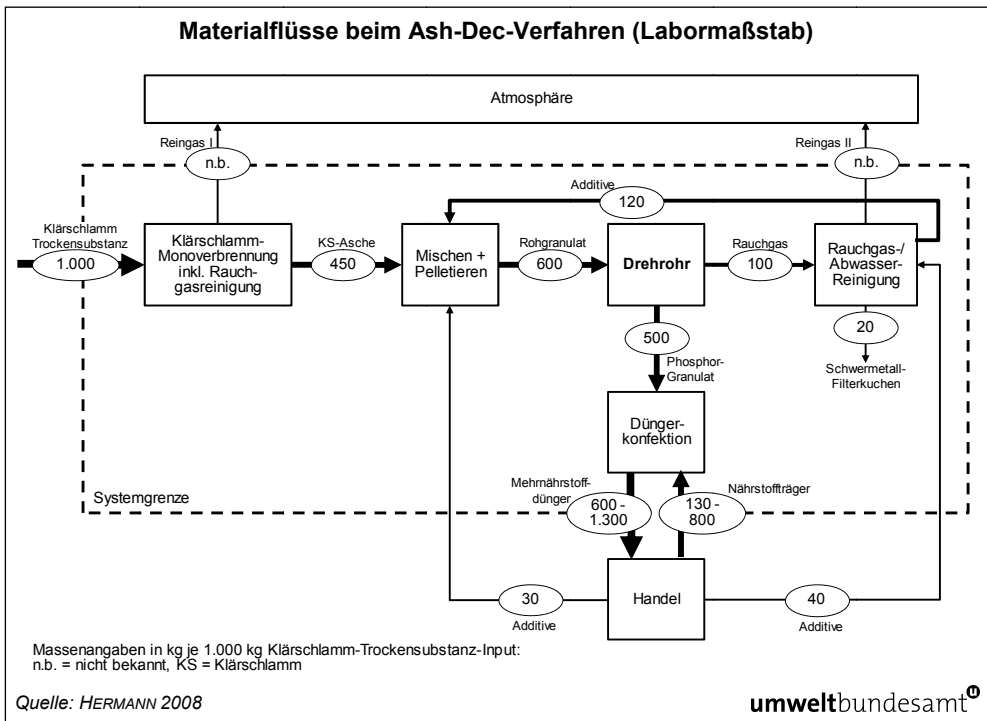


Abbildung 26: Prozess-Flussdiagramm mit Massenbilanz (in kg je 1.000 kg Klärschlamm-Trockensubstanz-Input) des Ash-Dec-Verfahrens aus Laborversuchen (HERMANN 2008).

Seit Sommer 2008 läuft in Leoben eine Pilotanlage mit einem Durchsatz von 150 kg/h Pellets (MATTENBERGER et al. 2008). Aufbauend auf den dort gewonnenen Erfahrungen wird für die Monoverbrennungsanlage der Emter GmbH in Altenstadt, Weinheim/Schongau eine Demonstrationsanlage mit einem Durchsatz von 3 t/h Klärschlammaschenpellets geplant. Die erwarteten Investitionskosten für diese Anlage (ohne Kosten für Bauland, Fundament und Hallenbau) betragen 10–12 Mio. €. Abbildung 27 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Blockschemas für diese Demonstrationsanlage, welche im Juni 2008 präsentiert wurde (HERMANN 2008). Zu sehen ist, dass zur Abtrennung der Schwermetallchloride aus dem Abgas eine aufwändige Rauchgasreinigungs- und nachfolgende Abwasserreinigungsanlage sowie eine Reihe von Betriebsmitteln erforderlich sind. Die Firma Ash-Dec rechnet damit, dass das resultierende Schwermetallfiltrat aus der Abwasserreinigung zur Zinkrückgewinnung verkauft werden kann (HERMANN 2008).

Im November 2008 wurde eine weitere Verfahrensvariante mit einem Pendelofen (eine dem Drehrohr ähnlich Technologie) mit sowohl direkter als auch indirekter Heizung präsentiert. Bei dieser Variante wird die Klärschlammasche ohne Pelletierung direkt in den Ofen eingebracht. Der geplante Durchsatz beträgt 2 t/h bzw. 16.000 t Klärschlammasche/Jahr. Die Chloride werden nun nicht mehr durch Kaliumchlorid oder Kalziumchlorid geliefert sondern durch Salzsäure (siehe Abbildung 28) (HERMANN & BACHLEITNER 2008). Der erwartete Energiebedarf beträgt 0,8 MWh thermisch je Tonne Klärschlammasche³.

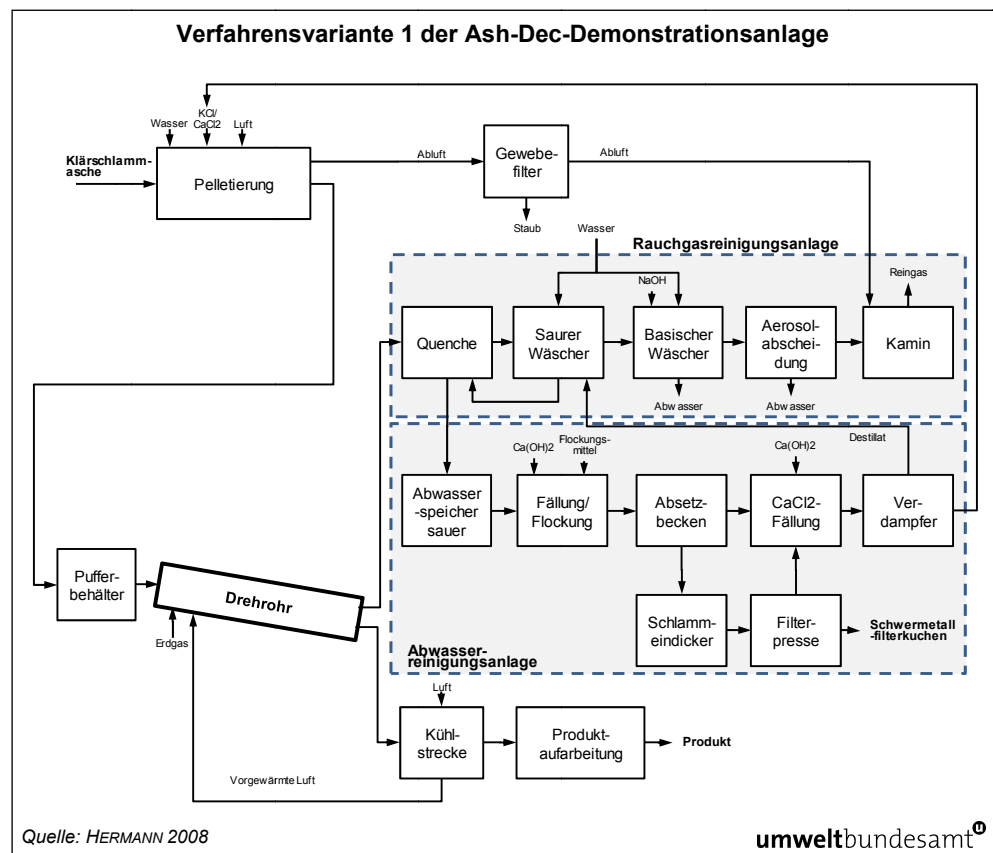


Abbildung 27: Verfahrensvariante der geplanten Demonstrationsanlage des Ash-Dec-Verfahrens im industriellen Maßstab in Altenstadt/Deutschland, Juni 2008 (HERMANN 2008).

³ Pers. Mitt. Harald Mattenberger, Ash-Dec, 19.12.2008.

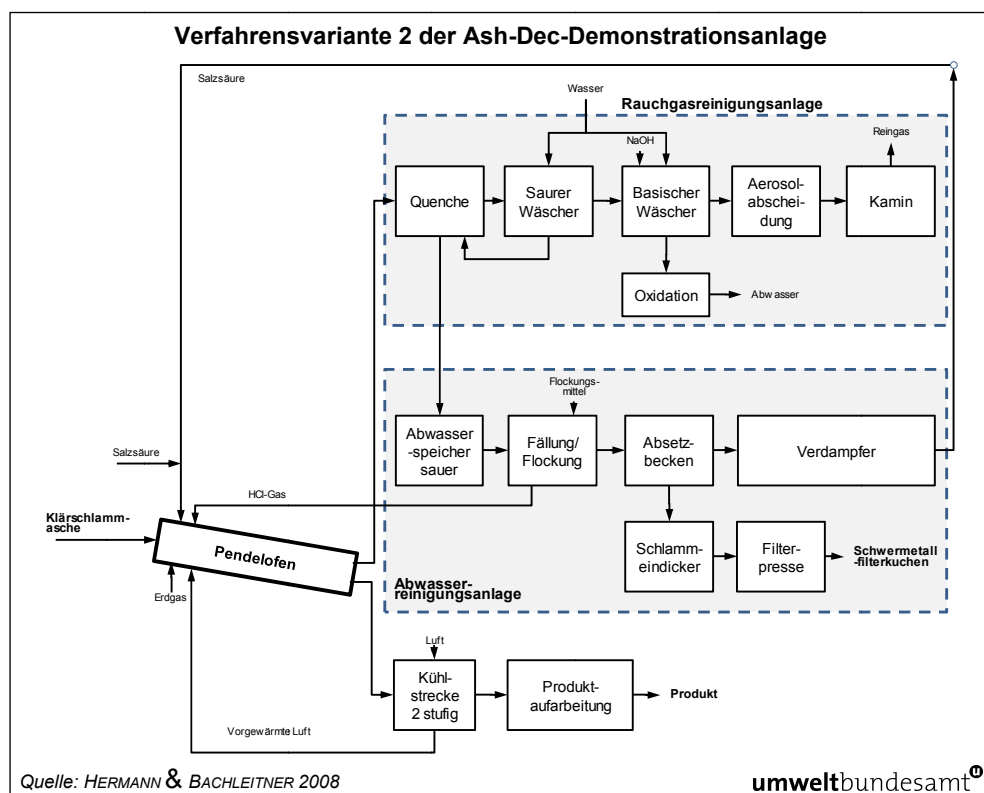


Abbildung 28: Verfahrensvariante der geplanten Demonstrationsanlage des Ash-Dec-Verfahrens im industriellen Maßstab in Altenstadt/Deutschland, November 2008 (HERMANN & BACHLEITNER 2008).

Eine Bewertung des Verfahrens aus abfallwirtschaftlicher und Umweltschutz-Sicht kann erst nach Vorliegen der vollständigen Energie-, Massen- und Kostenbilanz aus dem Dauerbetrieb der Demonstrationsanlage getroffen werden. Erst dann kann abgeschätzt werden ob die relativ geringen Phosphor-Rückgewinnungskosten von 5,3 €/kg Phosphor, die für die Klärschlammaschen-Behandlungsverfahren abgeschätzt wurden (siehe Tabelle 70), auch auf das Ash-Dec-Verfahren zutreffen. Neben den Kosten für Energie und Betriebsmittel werden die Standzeiten der eingesetzten Materialien (insbesondere der Auskleidung des Drehrohrofens) und die Erlöse des Produktes sowie die Kosten oder Erlöse für den Schwermetallfilterkuchen entscheidend sein. Jedenfalls ist besonders auf ein intensives Monitoring der Emissionen in die Luft und in das Abwasser sowie auf die Einhaltung aller Emissionsgrenzwerte zu achten.

6.8.1.3 Vergleich der Phosphor-Rückgewinnung aus wässrigen Lösungen zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche

Prinzipiell hat die Phosphor-Rückgewinnung aus wässrigen Lösungen folgende Vorteile:

- Die Verfahren sind zum Teil relativ einfach in bestehende Kläranlagen mit Faulanlagen zu integrieren.
- Die Verfahren können bei Kläranlagen ab 20.000 Einwohnerwerten (HUBER 2008) relativ dezentral eingesetzt werden.
- Aufgrund dieser dezentralen Verteilung kann im Landesgebiet eine größere Menge an Phosphor gewonnen werden als aus Klärschlammasche.



Die Nachteile der Phosphor-Rückgewinnung aus wässrigen Lösungen sind:

- Das Produkt kann weiterhin mit organischen Schadstoffen verunreinigt sein.
- Unabhängig von der Phosphor-Rückgewinnung muss der Klärschlamm in den meisten Fällen weiterhin verbrannt werden.
- Die Phosphatkonzentration ist geringer als in der Klärschlammasche.
- Die Phosphorausbeute je Standort ist geringer.

Die Hauptvorteile der Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche mit nasschemischen Verfahren sind:

- Zumindest theoretisch ist je Standort eine höhere Phosphorausbeute erzielbar.
- Organische Schadstoffe und BSE-Erreger (BAFU 2006) werden durch die thermische Behandlung zerstört.
- Möglicherweise können auch die abgetrennten Schwermetalle recycelt werden.
- Möglicherweise handelt es sich um das kostengünstigste Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung.

Die wichtigsten Nachteile der Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche mit nasschemischen Verfahren sind:

- Das Verfahren ist an eine Monoklärschlammverbrennung gebunden. Es wird hauptsächlich bei Kläranlagen mit einem Einwohnerwert größer 50.000 zum Einsatz kommen und stellt daher eher eine zentrale Lösung dar. In Österreich wird lediglich in den Wirbelschichtöfen WSO 1–3 Simmeringer Haide Klärschlammasche erzeugt. Es gibt also zurzeit in Österreich nur einen einzigen potenziellen Standort für diese Verfahrensvariante.
- Das Produkt weist hohe Chrom-, Nickel- und Bleigehalte auf, die deutlich über den Grenzwerten der österreichischen Düngemittelverordnung liegen (siehe Tabelle 73).

Die Hauptvorteile der Phosphor-Rückgewinnung mit dem Ash-Dec-Verfahren sind:

- Zumindest theoretisch ist je Standort eine höhere Phosphorausbeute erzielbar.
- Organische Schadstoffe und BSE-Erreger (BAFU 2006) werden durch die thermische Behandlung zerstört.
- Die Masse des zu deponierenden Abfalls wird um mindestens eine Größenordnung verringert.
- Möglicherweise kann auch der Schwermetallfilterkuchen recycelt werden.

Die Nachteile der Phosphor-Rückgewinnung mit dem Ash-Dec-Verfahren sind:

- Das Verfahren ist an eine Monoklärschlammverbrennung gebunden, also eher eine zentrale Lösung. In Österreich wird lediglich in den Wirbelschichtöfen WSO 1–3 Simmeringer Haide Klärschlammasche erzeugt. Es gibt also zurzeit in Österreich nur einen einzigen potenziellen Standort für das Ash-Dec-Verfahren.
- Schwermetalle werden mobilisiert, eine umfangreiche Rauchgas- und Abwasserreinigung sind erforderlich.
- Wenn für den Schwermetallfilterkuchen kein Markt gefunden wird entsteht gefährlicher Abfall, der möglicherweise nachbehandelt werden muss und untertägig zu deponieren ist.
- Der Energieaufwand ist wahrscheinlich höher.



Die in Tabelle 70 gezeigten Kosten der Phosphor-Rückgewinnung von 5,8–19,8 €/kg Phosphor liegen bei allen Verfahrensvarianten noch deutlich über dem Marktwert des erzeugten Produktes von 0,5–1 €/kg Phosphor (HERBST et al. 2007). Es wird jedoch angenommen, dass noch große Kostensenkungspotenziale bestehen.

Eine abschließende ökonomische und ökologische Bewertung kann jedoch erst getroffen werden, wenn die vollständigen Energie-, Material-, Emissions- und Kostenbilanzen aus dem Dauerbetrieb im industriellen Maßstab vorliegen. Dies gilt sowohl für die einzelnen Verfahren selbst als auch für den Vergleich der Verfahren untereinander.

6.9 Deponierung

Die Deponierung von unbehandeltem Klärschlamm ist aus ökologischen Gründen abzulehnen. Aufgrund des hohen Anteils an organischer Substanz kommt es durch biologische Abbauprozesse zu vermehrter Bildung von Sickerwasseremissionen und Gas im Deponiekörper sowie zur Mobilisierung allenfalls enthaltener Schwermetalle.

Laut Deponieverordnung § 5 Absatz 7 ist die obertägige Deponierung von Abfällen, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) mehr als 5 Masse- % beträgt, bzw. deren Heizwert über 6.600 kJ/kg liegt verboten (ZESSNER 2002). Seit 31. Dezember 2008 sind auch diesbezügliche Übergangsfristen abgelaufen. Da der geforderte TOC-Gehalt durch Entwässerung des Klärschlammes nicht erreicht werden kann, ist eine Vorbehandlung, etwa durch Verbrennung bzw. mechanisch-biologische Vorbehandlung, erforderlich (ZESSNER 2002).

Auch in Zukunft kann auf eine Ablagerung von behandelten Klärschlämmen oder deren Reststoffe nicht verzichtet werden, da eine gänzliche Verwertung nicht möglich ist (ZESSNER 2002).

In Tabelle 74 ist die Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich, wie sie von den Deponiebetreibern gemeldet wurden (also inklusive der enthaltenen Restfeuchte) dargestellt. Nicht gezeigt werden die Klärschlamm-Rückstände aus Verbrennung, MBA und Kompostierung, da diese dem Klärschlamm nicht mehr zugeordnet werden können.

Abbildung 29 zeigt, wie in Österreich die Masse an deponiertem Klärschlamm aufgrund der Bestimmungen der Deponieverordnung in wenigen Jahren von rund 100.000 t/a auf wenige 100 t/a zurückgegangen ist.



Klärschlamm – Behandlungswege von Klärschlamm

Tabelle 74: Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich (UMWELTBUNDESAMT 2008).

SN	Abfallbezeichnung	Deponierung in t (inklusive Feuchte)						
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
94301	Vorklärschlamm	11	0	0	0	0	0	0
94302	Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung	64	25	0	0	0	0	0
94303	Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben	0	16	0	0	0	0	0
94501	Anaerob stabilisierter Schlamm (Faulschlamm)	83.643	105.964	88.903	60.849	0	6	0
94502	Aerob stabilisierter Schlamm	6.808	750	746	238	89	73	0
Summe kommunale Klärschlämme		90.526	106.755	89.649	61.087	89	79	0
94801	Schlamm aus der Abwasserbehandlung, mit gefährlichen Inhaltsstoffen	8.026	9.192	4.699	0	330	0	0
94802	Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	5.104	61	253.127	0	0	0	0
94803	Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung	0	0	220	0	0	0	155
94804	Schlamm aus der Abwasserbehandlung, ohne gefährliche Inhaltsstoffe	0	0	0	1.080	673	664	1.991
94804-91	Schlamm aus der Abwasserbehandlung, ohne gefährliche Inhaltsstoffe verfestigt	0	0	0	0	405	0	0
Summe industrielle Klärschlämme		13.130	9.253	258.046	1.080	1.408	664	2.146
Deponierung von Klärschlämmen gesamt		103.656	116.008	347.695	62.167	1.497	743	2.146

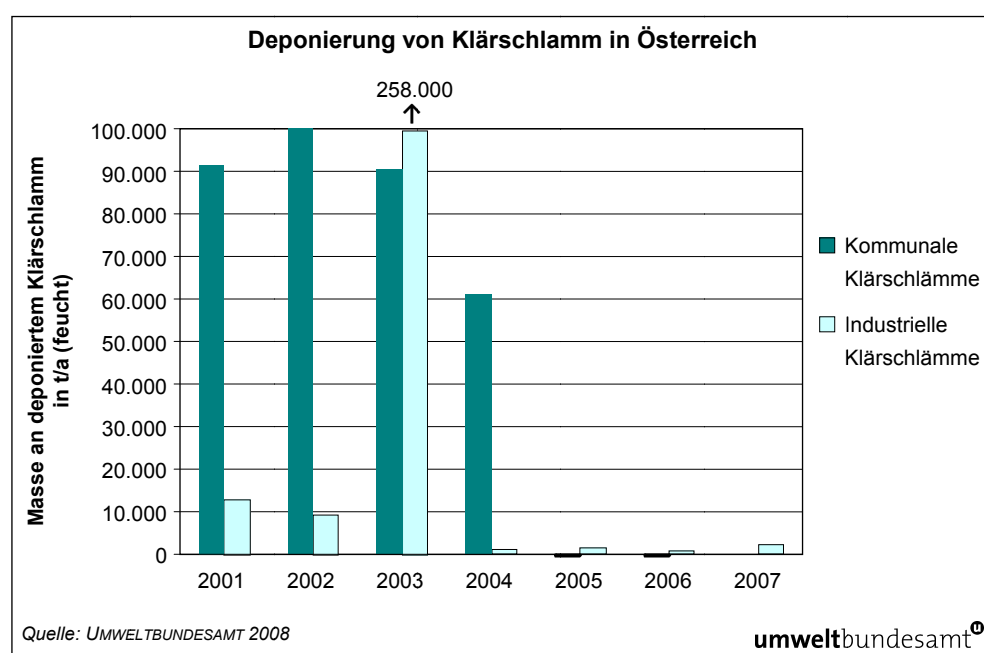


Abbildung 29: Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich (UMWELTBUNDESAMT 2008).



7 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Klärschlammqualität

Klärschlammanalysen deuten darauf hin, dass der Schwermetallgehalt von Klärschlämmen zurückgeht. Der Kupfergehalt scheint jedoch stabil zu sein. Auch bei den aus den frühen 1990er-Jahren bekannten organischen Schadstoffen scheint teilweise ein Rückgang zu verzeichnen zu sein. Durch den Einsatz neuer Verbindungen im Wirtschaftskreislauf und durch verbesserte Analysemethoden sind jedoch neue organische Schadstoffe bekannt geworden. Dies betrifft vor allem Organozinnverbindungen, polybromierte Diphenylether (PBDE) und polyzyklische Moschusverbindungen. Dazu kommen hormonell wirkende Arzneimittel und Krankheitserreger, deren Risikopotenzial noch nicht bewertet werden konnte.

Klärschlammaufkommen

Im Zeitraum 2001–2007 ist das Aufkommen an kommunalen Klärschlämmen in Österreich um rund 1 %/a gestiegen. Dies kann auf das Bevölkerungswachstum (+ 0,55 %/a), eine Erhöhung des Anschlussgrades der Abwässer an das öffentliche Kanalnetz und auf den gestiegenen Lebensstandard zurückgeführt werden.

Das Aufkommen der industriellen Klärschlämme ist im Zeitraum 2001–2007 um 2,3 %/a gestiegen. Dies entspricht dem realen Wachstum des Bruttoinlandsprodukts in diesem Zeitraum von 2,4 %/a.

Behandlung von Klärschlamm

Bei der Behandlung der Klärschlämme kommt es zu einem Konflikt zwischen den abfallwirtschaftlichen Zielen

- Kreislaufschließung (umgesetzt vor allem durch eine landwirtschaftliche Nutzung der Klärschlämme) und
- Schaffung sicherer Senken für Schadstoffe (umgesetzt vor allem durch Verbrennung mit anschließender Deponierung der Rückstände).

Die Monoverbrennung mit anschließender Phosphor-Rückgewinnung könnte in Zukunft einen Ausweg aus diesem Zielkonflikt weisen.

Für die Kläranlagenbetreiber ist eine dem Stand der Technik entsprechende Ausstattung der Kläranlagen hinsichtlich **Faulung, Entwässerung und Trocknung** erforderlich. So führt etwa der Einsatz von Entwässerungs- bzw. Trocknungsverfahren zu einer höheren Flexibilität der Kläranlagenbetreiber. Um die Entsorgungssicherheit gewährleisten zu können und die Abhängigkeit von einzelnen Entsorgungslösungen zu verhindern, ist die Kombination von mehreren Entsorgungs- bzw. Verwertungswegen wichtig. Die Entsorgungswege müssen an die regionalen Strukturen und Erfordernisse angepasst werden (z. B. inneralpine kleinräumige Strukturen).

In Abhängigkeit von seiner Zusammensetzung und seinem Ursprung kann Klärschlamm ein wirkungsvoller Dünger sein und zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft beitragen. Zukünftig werden die Anforderungen an Klärschlämme für eine



landwirtschaftliche Nutzung in Hinblick auf Schadstoffbelastung und Hygiene weiter steigen. Viele Klärschlämme werden diese weiteren Anforderungen nicht einhalten können. Es ist generell damit zu rechnen, dass der Anteil an Klärschlamm, welcher landwirtschaftlich verwertet wird, abnehmen wird und in Zukunft – wenn überhaupt – nur noch qualitativ hochwertige Klärschlämme zum Einsatz kommen werden.

Voraussetzung für einen „akzeptierten Einsatz“ in der Landwirtschaft sind Transparenz und Rückverfolgbarkeit, welche mit Hilfe von etablierten Qualitätssicherungssystemen sichergestellt werden könnten. Extern kontrollierte Klärschlammqualitäten unter Berücksichtigung der geltenden Rechtsvorschriften können den Einsatz von qualitätsgesicherten Klärschlämmen in der Landwirtschaft erhöhen und zu einem positiven Image der Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft beitragen.

Für belastete Klärschlämme stellt die Verbrennung in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen und Abfallverbrennungsanlagen unter Abwärmenutzung die optimale Lösung dar. Die Entwicklung von effizienten Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus der Klärschlammasche könnte einen wertvollen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft bieten.

Klärschlämme mit geringem Schwermetallgehalt können auch in **Mitverbrennungsanlagen** als Ersatzbrennstoffe eingesetzt werden.

Zusammenfassend sind bei der Wahl der Behandlungswege von Klärschlamm neben umweltpolitischen Vorgaben (gesetzlicher Rahmen), Entsorgungssicherheit, technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit insbesondere der Ausschluss von kritischen Folgewirkungen und damit die Erreichung der gesellschaftlichen Akzeptanz zu berücksichtigen.

Folgende Grundsätze sind anzuwenden:

- Minimierung der Einträge anthropogener Stoffe ins Abwasser;
- Umstellung auf Behandlungswege von Klärschlamm, mit denen Schadstoffentfrachtung und Schadstoffzerstörung erreicht wird;
- Erstellung von gleichwertigen umwelt- und agrarpolitischen Standards für Substrate, welche zur Düngung bzw. Bodenverbesserung eingesetzt werden;
- Intensivierung der Forschung und Entwicklung von Verfahren zur Klärschlammverringering und Nährstoffrückgewinnung (BAYRLE et al. 2002).

Phosphor-Rückgewinnung

Im Prinzip kann Phosphor aus den Abwässern einer Kläranlage, aus den Schlammwässern der Kläranlage, aus dem Klärschlamm oder aus der Klärschlammasche gewonnen werden.

Am aussichtsreichsten erscheint die Phosphor-Rückgewinnung

- aus Schlammwässern über nasschemische Verfahren,
- aus der Klärschlammasche über nasschemische Verfahren,
- aus der Klärschlammasche über thermische Verfahren.

Die erste Variante ist für Kläranlagen ab einem Einwohnerwert von 20.000 geeignet und hat damit das größte landesweite Phosphor-Rückgewinnungspotenzial.



Die Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche weist zwar pro Standort die höchste Phosphorausbeute auf, ist aber an Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen gebunden. In Österreich ist derzeit lediglich ein Standort (Simmeringer Haide) mit einer Jahresproduktion von 15.000–23.000 t Klärschlammasche ohne nachgeschalteter Phosphor-Rückgewinnung in Betrieb. Die Phosphor-Rückgewinnung aus der Klärschlammasche über nasschemische Verfahren dürfte, bezogen auf den erzielten Phosphordünger, die günstigste Variante sein, muss aber noch eine Möglichkeit finden, alle Schwermetalle in ausreichendem Maße abzutrennen.

Nur wenige Verfahren wurden bisher im großtechnischen Maßstab umgesetzt. Optimierungspotenzial scheint bei den meisten Verfahren noch vorhanden zu sein. Ob das Kostenniveau so weit gesenkt werden kann, dass Phosphor-Rückgewinnung aus Kläranlagen bzw. aus Klärschlammasche wirtschaftlich wird, kann noch nicht abgeschätzt werden. Dazu sind umfassende Versuche im großtechnischen Maßstab noch durchzuführen. Derzeit liegen die Rückgewinnungskosten deutlich höher als der Importpreis von Rohphosphat.

Klärschlammkonzepte

Die ordnungsgemäße Behandlung von Klärschlamm kann aufwändig und teuer sein. Ein Lösungsansatz sind Zusammenschlüsse zu regionalen Verbänden. Klärschlammkonzepte weisen den Weg zu einer rationellen Nutzung bzw. Beseitigung und sollen Folgendes aufzeigen:

- Wo in der Landwirtschaft ein Nährstoffdefizit vorhanden ist bzw. wo durch den Einsatz von Klärschlamm Düngemittel ersetzt werden könnten, so dass die entsprechende Region Klärschlamm zur Nutzung aufnehmen kann.
- Welche v. a. kleine Anlagen den stabilisierten Klärschlamm direkt flüssig an die Landwirtschaft abgeben können.
- Wo (evtl. zentrale) Klärschlammmentwässerungsanlagen realisiert werden sollen.
- Wo zentrale Klärschlamm-trocknungsanlagen für mehrere Anlagen gemeinsam gebaut werden sollen.
- Wo und wie Klärschlamm verbrannt wird und allenfalls die Asche deponiert werden kann. In Frage kommen Industrieöfen (Zementwerke), spezielle Schlammverbrennungsöfen oder gemeinsame Verbrennung.

Klärschlamm enthält in der Form von organischen Stoffen größere Mengen von chemisch gebundener Energie. Diese kann in Form von Biogas und Verbrennungswärme nutzbar gemacht werden. Andererseits brauchen Hygienisierung, Stabilisierung, Trocknung und evtl. Verbrennung größere Mengen von Prozesswärme, so dass zu einer wirtschaftlichen Schlammbehandlung immer auch ein sorgfältig gestaltetes Energiekonzept gehört (GUJER 2006).

Novellierung EU-Richtlinie

Die bestehende Klärschlammrichtlinie, welche die Verwertungsart EU-weit regelt, sollte in Hinblick auf eine Verschärfung der Grenzwerte für Schwermetalle und eine Aufnahme von Grenzwerten für organische Stoffe (z. B. LAS, DEHP, Nonylphenol) novelliert werden.



8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abbildung 1: Vereinfachtes Fließbild einer Kläranlage mit aerober und anaerober Behandlung</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 2: Spezifisches Aufkommen der kommunalen Klärschlamme in den EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2003.....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 3: Klärschlammaufkommen Österreich.....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 4: Entwicklung des Klärschlammaufkommens in Oberösterreich</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 5: Klärschlamm-Exporte und Importe</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 6: Klärschlammfall und -verwertung in Europa</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 7: Behandlung von kommunalen Klärschlämmen in Österreich 2001 und 2006.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 8: Behandlung und Zwischenlagerung von kommunalem Klärschlamm in Oberösterreich 2007.....</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 9: Vereinfachtes Fließbild einer Kläranlage mit Schlammintegration</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 10: Schema einer Kläranlage mit nachfolgender Klärschlamm Trocknung.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 11: Verfahren zur Klärschlamm Trocknung.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 12: Schema einer Anlage zur Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA)</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 13: Vereinfachtes Verfahrensfließbild des WSO4-Simmeringer Haide.....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 14: Standard-Feuerungsarten von Abfallverbrennungsanlagen</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 15: Querschnitt durch eine Zyklonfeuerung</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 16: Räumliche Verteilung der Abfall- und der Monoverbrennungsanlagen in Österreich</i>	<i>71</i>
<i>Abbildung 17: Einsatzmengen von Klärschlamm und Papierfaserreststoffen in der Zementindustrie.....</i>	<i>79</i>
<i>Abbildung 18: Phosphorbilanz der Aktivität Ernährung.....</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung 19: Einsatzstellen zur Phosphor-Rückgewinnung auf kommunalen Kläranlagen</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung 20: Vereinfachtes Fließbild des „Stuttgarter Verfahrens“</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 21: Vereinfachtes Fließschema des SEPHOS-Verfahrens.....</i>	<i>87</i>
<i>Abbildung 22: Vereinfachtes Fließschema des RüPA-Verfahrens.....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 23: Klärschlammmasche von Fernwärme Wien</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 24: Stoffgehalte im Phosphor-Granulat nach der Drehrohrbehandlung beim Ash-Dec-Verfahren.....</i>	<i>90</i>
<i>Abbildung 25: Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm (Trockensubstanz), in der Klärschlammmasche und im Produkt des Ash-Dec-Verfahrens (Laborversuche) im Vergleich mit den schärfsten Düngemittelgrenzwerten aus der Schweiz (CH), Deutschland (D), Österreich (A) bzw. den Niederlanden (NL).....</i>	<i>91</i>



<i>Abbildung 26: Prozess-Flussdiagramm mit Massenbilanz des Ash-Dec-Verfahrens aus Laborversuchen</i>	91
<i>Abbildung 27: Verfahrensvariante vom Juni 2008 der geplanten Demonstrationsanlage des Ash-Dec-Verfahrens im industriellen Maßstab in Altstadt/Deutschland</i>	92
<i>Abbildung 28: Verfahrensvariante vom November 2008 der geplanten Demonstrationsanlage des Ash-Dec-Verfahrens im industriellen Maßstab in Altstadt/Deutschland</i>	93
<i>Abbildung 29: Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich</i>	96



9 TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: Fraktionen aus der kommunalen Abwasserbehandlung gemäß Europäischem Abfallkatalog (EAK), ONR 1921 und ÖNORM S 2100</i>	12
<i>Tabelle 2: Fraktionen aus der industriell Abwasserbehandlung nach ÖNORM S 2100</i>	12
<i>Tabelle 3: Fraktionen aus der industriellen Abwasserbehandlung nach Europäischem Abfallkatalog (EAK), ONR 1921 und ÖNORM S 2100</i>	13
<i>Tabelle 4: Charakteristik von Roh- und Faulschlamm</i>	13
<i>Tabelle 5: Beschreibung von Vorklärschlamm.....</i>	14
<i>Tabelle 6: Beschreibung von Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung.....</i>	15
<i>Tabelle 7: Beschreibung von Fäkalschlamm aus Hauskläranlagen und Sammelgruben.....</i>	15
<i>Tabelle 8: Beschreibung von anaerob stabilisiertem Schlamm.....</i>	16
<i>Tabelle 9: Beschreibung von aerob stabilisiertem Schlamm</i>	16
<i>Tabelle 10: pH-Wert und Zusammensetzung von kommunalem Klärschlamm in Österreich</i>	17
<i>Tabelle 11: Medianwerte gerundet von pH-Wert und Zusammensetzung des kommunalen Klärschlammes in Österreich nach Einwohnerwert-Klassen der Kläranlagen.....</i>	18
<i>Tabelle 12: Schwermetallgehalt in Bayrischen und österreichischen Klärschlämmen.....</i>	19
<i>Tabelle 13: Organische Schadstoffe im Klärschlamm und ihre Herkunft.....</i>	20
<i>Tabelle 14: Konzentration ausgewählter organischer Schadstoffe in den Klärschlämmen der EU</i>	21
<i>Tabelle 15: Aufkommen von kommunalem Klärschlamm in Österreich.....</i>	23
<i>Tabelle 16: Aufkommen von industriellem Klärschlamm in Österreich</i>	24
<i>Tabelle 17: Klärschlammaufkommen Österreich gesamt</i>	24
<i>Tabelle 18: Klärschlammaufkommen im Burgenland.....</i>	25
<i>Tabelle 19: Klärschlammaufkommen in Oberösterreich</i>	26
<i>Tabelle 20: Masse der Exportierten und Importierten Klärschlämme</i>	27
<i>Tabelle 21: Behandlung von Klärschlamm in Europa im Jahr 2003.....</i>	28
<i>Tabelle 22: Behandlung von kommunalem Klärschlamm in Österreich.....</i>	30
<i>Tabelle 23: Behandlung der industriellen Klärschlämme</i>	31
<i>Tabelle 24: Behandlung der österreichischen Klärschlämme gesamt 2006</i>	32
<i>Tabelle 25: Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich.....</i>	32
<i>Tabelle 26: Behandlung von kommunalem Klärschlamm in Niederösterreich</i>	33
<i>Tabelle 27: Behandlung der kommunalen Klärschlämme in Oberösterreich</i>	33
<i>Tabelle 28: Behandlung der industriellen Klärschlämme in Oberösterreich.....</i>	34



<i>Tabelle 29: Masse an verbrannten Klärschlämmen aus Oberösterreich</i>	<i>34</i>
<i>Tabelle 30: Verwertung von Vorarlberger Klärschlamm</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 31: Konzentrationsgrenzwerte von Schwermetallen in den Böden nach Anhang 1 A der Klärschlammrichtlinie.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabelle 32: Konzentrationsgrenzwerte für Schwermetalle in den für die Verwendung in der Landwirtschaft bestimmten Schlämmen nach Anhang 1 B der Klärschlammrichtlinie</i>	<i>36</i>
<i>Tabelle 33: Grenzwerte für Mengen von Schwermetallen, die auf Landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage eines Mittelwertes innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren aufgebracht werden dürfen (Anhang 1 C der Klärschlammrichtlinie).....</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 34: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Qualitätsklärschlammkompost (Anlage 1 Teil 2 Kompostverordnung) bzw. für die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Flächen</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 35: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost (Anlage 1 Teil 2 Kompostverordnung) bzw. für die nicht-landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabelle 36: Zulässige Frachten an Schadstoffen in Gramm pro Hektar in einem Zeitraum von zwei Jahren (Anlage 2 Düngemittelverordnung)</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 37: Zulässige Schwermetallgrenzwerte für Düngemittel, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel in mg/kg TM (Anlage 2 Düngemittelverordnung).....</i>	<i>42</i>
<i>Tabelle 38: Zulässige Grenzwerte für Klärschlämme (§ 3. (1) Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung), welche auf landwirtschaftliche Böden aufgebracht werden dürfen</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 39: Grenzwerte für Schadstoffe im Boden (§ 3. (5) Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabelle 40: Jährlich zulässige Frachten an Schadstoffen in Gramm pro Hektar (§ 4. (1) Bgld. Klärschlamm- und Müllkompostverordnung).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 41: Schwermetallgrenzwerte für biogene Abfallstoffe (§ 13 Anlage 1 K-KKV)</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 42: Bodengrenzwerte (§ 13 Anlage 7 K-KKV).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 43: Grenzwerte für die Menge an Schwermetallen, die gemittelt über zehn Jahre den Böden jährlich zugeführt werden dürfen (§ 13 Anlage 9 K-KKV).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 44: Grenzwerte für Schadstoffe im Boden (§ 3. (1) NÖ Klärschlammverordnung)</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 45: Schadstoffgrenzwerte für Klärschlämme der Qualitätsstufe II (§ 5 (3) NÖ Klärschlammverordnung).....</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 46: Vorsorgewerte, Limits für Jahreseintragsfrachten und Prüfwerte gemäß Oö.-Bodengrenzwerte-Verordnung 2006</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 47: Schadstoffgrenzwerte für Klärschlamm (§ 1 OÖ. Klärschlammverordnung).....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 48: Schadstoffgrenzwerte im Boden (§ 2 OÖ. Klärschlammverordnung).....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 49: Schadstoffgrenzwerte für Klärschlamm (§ 3 (1) Klärschlammverordnung)</i>	<i>48</i>



<i>Tabelle 50: Grenzwerte für Schlamm als Ausgangsmaterial für Kompost (Teil 2 Kompostverordnung).....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 51: Jährlich zulässige Frachten an Schadstoffen in Gramm pro Hektar (§ 4 (1) Klärschlammverordnung).....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 52: Grenzwerte für Klärschlamm (§ 2 Vorarlberger Klärschlammverordnung).....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 53: Grenzwerte für Böden (§ 6 Vorarlberger Klärschlammverordnung).....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 54: Kosten der Behandlung ohne Entwässerung.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 55: Emissionsgrenzwerte für Abfallverbrennungsanlagen gemäß Abfallverbrennungsverordnung Anlage 1.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 56: Grenzwerte für Klärschlamm und Papierfaserreststoffe aus der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 57: Abfallverbrennungsanlagen in Österreich.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 58: Klärschlamm-Verbrennung in Abfallverbrennungs- und Monoverbrennungsanlagen – Klärschlamm-Input.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 59: Verfahren und Anbieter dezentraler Kleinanlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 60: Prozessparameter von 4 ausgewählten Konzepten zur dezentralen Klärschlamm-Monoverbrennung.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 61: Monoverbrennungsanlagen in Österreich.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle 62: Übersicht über die in den WSO 1-3 Simmeringer Haide behandelten Abfälle.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle 63: Bei den WSO 1-3 Simmeringer Haide entstehende Abfälle.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle 64: Input- und Outputströme der WSO 1-3 Simmeringer Haide bezogen auf eine Tonne TS Abfallinput.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle 65: Gegenüberstellung der Gehalte im Feststoff der Flugasche der Monoverbrennung der WSO 1-3 Simmeringer Haide mit den Grenzwerten der Deponieverordnung 2008.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabelle 66: Gegenüberstellung der Gehalte im Eluat der Flugasche der Monoverbrennung der WSO 1-3 Simmeringer Haide mit den Grenzwerten der Deponieverordnung 2008.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabelle 67: Österreichische Zementwerke die Klärschlamm und oder Papierfaserreststoffe verbrennen.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabelle 68: Anlagen der österreichischen Zellstoff-, Papier-, Span- und Faserplattenindustrie die Klärschlamm und oder Papierfaserreststoffe verbrennen.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabelle 69: Klärschlamm-Verbrennung in Kraftwerken – Klärschlamm-Input.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabelle 70: Charakterisierung der Einsatzstellen zur Phosphor-Rückgewinnung in kommunalen Kläranlagen und nach der Monoverbrennung.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabelle 71: Übersicht über Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Abwasser, Schlammwasser oder Klärschlamm bei der kommunalen Abwasser- und Klärschlammbehandlung.....</i>	<i>85</i>



<i>Tabelle 72: Übersicht über Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlammasche</i>	87
<i>Tabelle 73: Nährstoff- und Metallgehalte von möglichen Phosphor-Recyclingprodukten bei Gewinnung aus Schlammwasser bzw. aus Klärschlammasche</i>	89
<i>Tabelle 74: Masse an deponierten Klärschlämmen in Österreich</i>	96



10 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.d.OÖ-LR	Amt der oberösterreichischen Landesregierung
a.n.g.	anderswo nicht genannt
AOX	adsorbierbare organische Halogenverbindungen (adsorbable organic halogen compounds)
BAWP	Bundes-Abfallwirtschaftsplan
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BL.....	Bundesland
BMLFUW.....	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BPA.....	Bisphenol A
BSB ₅	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
BSE.....	Bovine spongiforme Enzephalopathie (Prionen)
BTXE.....	Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol
BWL	Brennstoffwärmeleistung
DEHP	Di(2-Ethyl-Hexyl)Phthalat
DRO	Drehrohrofen
EE2	17 α -Ethinylöstradiol (synthetisches Hormon)
EGW	Einwohnergleichwert
EOX	Extrahierbare organisch gebundene Halogenverbindungen
EPA.....	U.S. Environmental Protection Agency
Ew	Einwohner
EW	Einwohnerwert (EW = Ew + EGW _{Industrie} etc.)
EW ₆₀	Einwohnerwert organisch (60g BSB5/EW.d)
g.....	gefährlicher Abfall
GLN	Global Location Number
gn.....	gefährlicher Abfall nicht ausstufbar
HF	Fluorwasserstoff
H _u	unterer Heizwert
k.A.	keine Angaben
KS	Klärschlamm
LAS	Lineare Alkylbenzo-Sulfonate
MAP	Magnesiumammoniumphosphat
MBA.....	mechanisch-biologische-Abfallbehandlung
MBAS.....	Methylenblau-aktive Substanzen



MJ	.....	Mega-Joule
n.b.	.....	nicht bekannt
Nm ³	.....	Normkubikmeter
NPE	.....	NonylPhenol und NonylPhenolEthoxylate
OZV	.....	Organozinnverbindungen
PAK	.....	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBDE	.....	Bromierte Diphenylether
PCB	.....	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	.....	Polychlorierte Dibenzo-Dioxine/Furane
PFT	.....	Perfluorotenside
SCR	.....	Selektive Katalytische Reduktion von Stickoxiden
SN	.....	Schlüsselnummer nach ÖNORM S 2100
stat.WS	.....	stationäre Wirbelschicht
TBS	.....	Tetrapropylenbenzolsulfonat
TJ	.....	Tera-Joule
TM	.....	Trockenmasse
TOC	.....	gesamter organischer Kohlenstoff (Total Organic Carbon)
TRK	.....	Technische Richtkonzentration
TS	.....	Trockensubstanz
VK	.....	Variationskoeffizient = Standardabweichung/Mittelwert*100
WS	.....	Wirbelschichtreaktor
WSO	.....	Wirbelschichtofen
zirk.WS	.....	zirkulierende Wirbelschicht



11 LITERATURVERZEICHNIS

- ABWASSERVERBAND „AN DER TRAISEN“ (2003): Verfahrenstechnische Ansätze zur Reduktion von Klärschlamm aus Kläranlagen. St. Pölten, 29.10.2003.
- ADAM, Ch. (2007): Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen: Forschungsergebnisse aus Deutschland. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- ADAM, Ch.; SCHICK, J. & KRATZ, S. (2008): Düngemittel aus Klärschlammasche. Müllmagazin (2008) 3. S. 16–20.
- AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (2001): Salzburger Klärschlamm-Konzept 2001. Salzburg.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2007): Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvollen Verwertung sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark, Endbericht. Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2008): Abfallstrom – Klärschlamm. Homepage: www.steiermark.at. Zugang: 03.12.08.
- AVN – Abfallverwertung Niederösterreich (2008): Linie 3 – Stand der Bauarbeiten Februar 2008. Zwentendorf. <http://www.avn.at/de/linie3/baufortschritt.asp>
- BAFU – Bundesamt für Umwelt (2006): Rohstoff Phosphor. <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/>.
- BANK, M. (1994): Basiswissen Umwelttechnik. Vogel Buchverlag, Ulm-Jungingen.
- BAYER, H. (2007): Thermische Klärschlammverwertung Bad Vöslau. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- BAYRLE, K.; TRONECKER, D.; WAGNER, J.; KREIBE, S.; HOPPENHEIDT, K. & ROMMEL, W. (2002): Alternativen zur landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm aus der kommunalen Abwasserreinigung. BfA-Texte Nr. 16, Augsburg.
- BILITEWSKI, B.; HÄRDTLE, G. & MAREK, K. (2000): Abfallwirtschaft – Handbuch für Praxis und Lehre. Springer, Berlin.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2001): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2001.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2002a): Richtlinie für die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen. Wien.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2002b): Gewässerschutzbericht 2002. Wien.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. www.bundesabfallwirtschaftsplan.at.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008a): Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Wien.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008b): Verbringungsdatenbank gemäß Verbringungsverordnung und eVerbringung. Datenstand 20.11.2008. Wien.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008c): Klärschlamm-Fragebogen – Österreich 2004–2006 an die EU. Wien.

- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008d): Kommunale Abwasserrichtlinie der EU – 91/271/EWG, Österreichischer Bericht 2008. Wien.
- BOGNER, R.; POP, C.; BUCHMEIER, J.; FAULSTICH, M.; MOCKER, M. & QUICKER, P. (2008): sludge2energy – Dezentrale Klärschlammverwertung zur Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie auf der Kläranlage Straubing. Proc. Weg zu einer verantwortungsvollen Klärschlammentsorgung, 30.06–02.07.2008, Veranstaltungsforum Fürstentfeld, Deutschland.
- BÖHMER, S. (2002): Verbrennung und Mitverbrennung von Klärschlamm. Wiener Mitteilungen (2002) Band 177a. S. 67–100.
- BRUNNER, P. (2008): Urban Mining/Phosphor. Vortrag bei der Klausurtagung des wissenschaftlichen Rates für Abfallwirtschaft und Altlastensanierung zum Thema BAWP 2011. Semmering, 26.11.2008.
- BUDEWIG, S. & LANGENOHL, T. (2007): Welche Rolle spielen Qualitätssicherungssysteme künftig bei der Verwertung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft? KA-Abwasser, Abfall 2007 (54), Nr. 10.
- DICKER, F. (2006): Lösungsansätze zur nachhaltigen Klärschlammverwertung. Proc. Umweltforum 2006 – die Zukunft der Steirischen Klärschlammentsorgung, 20.04.2006, Schloss Seggau, Leibnitz.
- DOCKHORN, TH. (2007): Rückgewinnung von Phosphat aus Abwasser und Klärschlamm mit dem Peco-Verfahren. Müll und Abfall (2007) 8. S. 380–386.
- DREHER, P; AMLINGER, F. & MOCHTY, F. (2001): Erden aus Abfälle – Produkte aus Österreich. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hrsg.): Müllhandbuch, 6820. Erich Schmidt Verlag.
- EMSCHER GENOSSENSCHAFT LIPPE VERBAND (2006): Klärschlammmengen und Entsorgungskosten im Vergleich zum europäischen Ausland.
http://www.umweltministerium.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/vortrag_10.pdf.
- ERBE, V; KRISTKEITZ, R. & SCHRADER, R. (2007): Mono- versus Mitverbrennung von Klärschlämmen. UmweltMagazin, Oktober–November 2007. S. 14–17.
- ERMEL, G. (2002): Klärschlammverbrennung in kleinen Anlagen. Wiener Mitteilungen (2002) Band 177a. S. 155–174.
- EUROPEAN IPPC BUREAU (2006): Integrated Pollution Prevention and Control – Reference Document on Best Available Techniques for the Waste Treatments Industries. European Commission, Directorate General JRC, Joint Research Centre, Sevilla, August 2006.
- EUWID – Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH (2008a): Klärschlammverbrennung: Trend zu kleineren dezentralen Anlagen. EUWID Report Klärschlamm 2008, S. 31.
- EUWID - Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH (2008b): Remondis stellt neues Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung vor. EUWID Report Klärschlamm 2008. S. 37.
- FAULSTICH, M. & BARON, M. (2008): Zukunft der Klärschlammentsorgung. Müllmagazin (2008) 3. S. 4–7.
- FERNWÄRME WIEN (o. J): Erweiterung der Schlammentsorgung mit Restmüllverbrennung im Werk Simmeringer Haide – Errichtung des Wirbelschichtofens 4 mit Rauchgasreinigung. Wien.



- FERTH, R. (2008): Klärschlamm Entsorgung in Österreich – Situation und Ziele. Proc. Weg zu einer verantwortungsvollen Klärschlamm Entsorgung, 30.06–02.07.2008, Veranstaltungsforum Fürstenfeld, Deutschland.
- FRICKE, K.; NIESAR, M. & TURK, TH. (2002): Restabfallmengen und -qualitäten für die mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsverfahren. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hg.): Müllhandbuch, 5616. Erich Schmidt Verlag.
- FÜRHACKER, M. & BURSCH, W. (2007): Schadstoffe im Klärschlamm. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- GETHKE, K.; MONTAG, D.; HERBST, H. & PINNEKAMP, J. (2008): Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hg.): Müllhandbuch. 3410 MuA Lfg. 2/08, Erich Schmidt Verlag.
- GRECH, H. (2007): Vorgaben für die thermische Behandlung von Klärschlamm: BAWP 2006, Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- GUJER, W. (2006): Siedlungswasserwirtschaft. Springer Verlag.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G. (2007): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie – Jahresreihe 2003–2005. Weitra/Wien. <http://www.zementindustrie.at/>
- HERBST, H.; MONTAG, D.; GETHKE, K. & PINNEKAMP, J. (2007): Potenziale, Techniken und Kosten der Phosphor-Rückgewinnung aus kommunalem Abwasser. KA – Abwasser, Abfall 54 (2007) 10. S. 1.013–1.024.
- HERMANN, L. (2008): Klärschlamm Monoverbrennung in Altenstadt und Projekt der Phosphor-Rückgewinnung mit Herstellung eines P-Düngers. Proc. Weg zu einer verantwortungsvollen Klärschlamm Entsorgung, Veranstaltungsforum Fürstenfeld, Deutschland. 30.6.–2.7.2008.
- HERMANN, L. & BACHLEITNER, E. (2008): Erneuerbare Phosphatdünger aus Klärschlammaschen. Abfallwirtschaft und Altlastensanierung heute und morgen, Universität für Bodenkultur, Wien. 18.11.2008.
- HUBER, I. (2008): Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten beim Phosphorrecycling. Wasser+Abfall 1–2 (2008). S. 11–13.
- IWA – TU-WIEN – Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft TU-Wien (2008): Klärschlammverwertung. Wien. <http://www.iwa.tuwien.ac.at/>
- JAGER, J. (1988): Verfahrenstechnische Aspekte bei der anaeroben Behandlung fester Abfälle. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hg.): Müllhandbuch, 5910. Erich Schmidt Verlag.
- KROISS, H. (2007): Klärschlamm Entsorgung bzw. -verwertung – Internationale Entwicklung. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- LOCHER, E. (2007): Klärschlamm Entsorgung der Fernwärme Wien. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- MATTENBERGER, H.; HERMANN, L.; NOWAK, B.; WEGERER, H.; WINTER, F.; ASCHENBRENNER, P. & RECHBERGER, H. (2008): „Urban Mining“ – Phosphor und Schwermetalle aus heimischer Produktion. In: Lorber, K.E.; Kreindl, G.; Menapace, H.; Müller, P.; Sager, D. & Wruss, K. (Hg.): DepoTech 2008 – Abfallwirtschaft, Abfalltechnik, Deponietechnik und Altlasten. VGE Verlag, Essen.



- MAUSCHITZ, G. (2004): Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, Berichtsjahr 2003. Zement+Beton Handels- und Werbeges.m.b.H.
- MELSA, A. K. (1998): Strategie der Klärschlamm Entsorgung. Das Beispiel des Niersverbandes. In: Müll und Abfall Nr. 3008. S. 4.
- MOCKER, M. & FAULSTICH, M. (2006). Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm. Müll und Abfall (2006) 9. S. 460–465.
- MONTAG, D.(2004): Möglichkeiten der Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm. Proc. BWK Seminar, Rostock, 23.09.2004.
http://www.bwk-bund.de/haupt/kongress/D_Montag_BWK.pdf.
- MONTAG, D.; GETHKE, K.; HERBST, H. & PINNEKAMP, J. (2008): Phosphor-Rückgewinnung im Bereich kommunaler Kläranlagen – eine Bestandsaufnahme 2008. Wasser+Abfall 1–2 (2008). S. 14–17.
- NEUBACHER, F. (2007): Mono- und Mitverbrennung von Klärschlamm. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- OBERNBERGER, I.; SUPANCIC, K. & POLZER, A. (2007): Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvollen Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark. BIOS, Nachhaltige Wirtschaft, Lebensressort Steiermark, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.
- PINNEKAMP, J.; MONTAG, D.; GETHKE, K.; GOEBEL, S. & HERBST, H. (2007): Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers „Magnesiumphosphat-MAP“ aus Abwasser und Klärschlamm. Umweltbundesamt Dessau Texte 25/07, Dessau.
- PINNEKAMP, J.; GETHKE, K. & MONTAG, D. (2008): Möglichkeiten und Grenzen der Phosphor-Rückgewinnung bei der Abwasser- und Abfallentsorgung. P-Düngers. Proc. Weg zu einer verantwortungsvollen Klärschlamm Entsorgung, Veranstaltungsforum Fürstenfeld, Deutschland. 30.6.–2.7.2008.
- QUICKER, P. (2008): Thermische Klärschlammverwertung im Überblick. Proc. Weg zu einer verantwortungsvollen Klärschlamm Entsorgung, 30.06–02.07.2008, Veranstaltungsforum Fürstenfeld, Deutschland.
- REBERNIG, G. (2007): Methode zur Analyse und Bewertung der Stoffflüsse von Oberflächen einer Stadt. Dissertation TU-Wien.
- SCHAUM, CH.; CORNEL, P. & JARDIN, N. (2008): Untersuchungen zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm asche. Wasser+Abfall 1–2 (2008). S. 18–21.
- SCHMELZ, G. (2002): Co-Vergärung auf kommunalen Kläranlagen.. In: Hösel, Schenkel, Schnurer (Hg.): Müllhandbuch, 3059. Erich Schmidt Verlag.
- SCHNEIDER, O.; BECKER, A. & SCHERER, G. (2007): Untersuchungen zur chemisch-physikalischen Behandlung von Klärschlammverbrennungasche zur Ablagerung auf oberirdischen Deponien. Müll und Abfall (2007) 6. S. 284–293.
- SCHREFF, D. & HARBIG, K. (2007): Klärschlamm Trocknung – Technologien und aktuelle Konzepte. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- SCHWEI, P. (2008): Erfahrungen mit dem Einsatz von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie. Proc. Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2008, 02.–03.04.2008, Villach.



- SKUTAN, S. & BRUNNER, P (2006): Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll. Technische Universität, Wien.
- SMOLAK, A. & HOFER, A. (2005): Verbund – Klärschlamm Mitverbrennung im Fernheizkraftwerk Mellach. in Himmel, W. (Hg.): 50 Jahre Abfallwirtschaft in der Steiermark, Land Steiermark, Graz. S. 319–324.
- SOMMER, J. (2003): Illertaler Heizkraftwerk, kombinierte Vergasung und Verbrennung von Gebrauchtholz und Klärschlamm. VDI Seminar 433623, 13.–15.02.2003, Bamberg.
- SPAUN, S. (2007): Mitverbrennung von Klärschlamm in der Zementindustrie. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen, ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- STUBENVOLL, J. (2004): Entsorgungstechnik – Thermische Systeme – Vertiefungsstudie zur thermischen Behandlung von Abfällen. TB Umwelttechnik, Hinterstoder.
- UMWELTBUNDESAMT (1994): Sedlar, Ch.; Zethner, G. & Chovanec, A.: Energienutzung von Klärschlamm. Berichte, Bd. BE-001. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Grech, H.: Mitverbrennung von Abfällen und Reststoffen in industriellen Feuerungsanlagen. Berichte, Bd. BE-119. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Böhmer, S.; Rumplmayer, A.; Rapp, K. & Baumgartner, A.: Mitverbrennung von Klärschlamm in kalorischen Kraftwerken. Berichte, Bd. BE-0194. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004a): Kügler, I.; Öhlinger, A. & Walter, B.: Dezentrale Klärschlammverbrennung. Berichte, Bd. BE-0260. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2004b): Boubela, G.; Wurst, F.; Prey, Th. & Boos, R. (2004): Materialien zur thermischen Behandlung und Verwertung von Abfällen und Reststoffen in der Zellstoff-, Papier-, Span- und Faserplattenindustrie. Berichte, Bd. BE-0248. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2005a): Winter, B.; Szednyj, I.; Reisinger, H.; Böhmer, S. & Janhsen, Th.: Abfallvermeidung und -verwertung: Aschen, Schlacken und Stäube in Österreich. Reports, Bd. REP-003. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0003.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT (2005b): Neubauer, C.; Kügler, I.; Freudenschuß, A.; Zethner, G.; Tulipan, M. & Rolland, Ch.: Vererdung von Abfällen: Vorarbeiten für eine rechtliche Regelung. Berichte, Bd. BE-0282. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www8.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE282.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Böhmer, S.; Kügler, I.; Stoiber, H. & Walter, B.: Abfallverbrennung in Österreich – Statusbericht 2006. Reports, Bd. REP-0113. Umweltbundesamt, Wien.
http://www.umweltbundesamt.at/publikationen/publikationsliste/?&pub_category_id=1
- UMWELTBUNDESAMT (2008): Weißenbach, Th. & Sacher, E.: Erfassung, Eingabe, Auswertung und Dokumentation der gemäß § 21 Abs. 4 Abfallwirtschaftsgesetz gemeldeten Daten im Jahr 2007. Wien.
- UMWELTBUNDESAMT-BERLIN (2004): Untersuchung von Klärschlamm auf ausgewählte Schadstoffe und ihr Verhalten bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. Berlin.
- VERBUND (2006): Verbund Nachhaltigkeitsbericht 2005. Wien.
<http://reports.verbund.at/2005/nhb>



- VERBUND (2008): Verbund Nachhaltigkeitsbericht 2007. Wien.
<http://reports.verbund.at/2007/nhb/>
- WACHTER (2007): RHKW Reststoff-Heizkraftwerk Linz. Proc. Klärschlammbehandlung heute und morgen. ÖWAV, 21.–22.11.2007, Wels.
- WEIDELNER, A.; KRAMPE, J.; STEINMETZ, H. & MAIER, W. (2008): Phosphorrückgewinnung aus kommunalem Klärschlamm als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP). Wasser+Abfall 1–2 (2008). S. 23–26.
- WENDLAND, M. (2008): Phosphatversorgung landwirtschaftlicher Kulturen. Proc. Weg zu einer verantwortungsvollen Klärschlammensorgung, Veranstaltungsforum Fürstenfeld, Deutschland. 30.6.–2.7.2008.
- WESSEL, M. (2007): Klärschlamm-trocknungsanlagen in der praktischen Anwendung. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hg.): Müllhandbuch 3310, MuA Lfg. 3/07. Erich Schmidt Verlag.
- WITTE, H. & STRUNKHEIDE, J. (2000): Hinweise zur Auswahl des Schlammbehandlungsweges in Abhängigkeit von Schlammeigenschaften. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hg.): Müllhandbuch, 3016. Erich Schmidt Verlag.
- WITTE, H.; STRUNKHEIDE, J. & SOTHEN, F.V. (2000): Systematische Einordnung von Klärschlamm und anderen Reststoffen aus Abwasserkanalisation und -reinigung in der Abfallwirtschaft. In: Hösel, G.; Schenkel, W. & Schnurer, H. (Hg.): Müllhandbuch, 3002. Erich Schmidt Verlag.
- ZESSNER, M. (2002): Klärschlammverwertung und Entsorgung. In: Wiener Mitteilungen, Bd. 177d. Wien.
- ZITZLER, U. (2007): Neues Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm. Pressemitteilung, 25.07.2007, Informationsdienst Wissenschaft e.V.
<http://idw-online.de/pages/de/news220140>

Rechtsnormen und Leitlinien

Internationale Rechtliche Grundlagen

- Berichtspflichtenrichtlinie (RL 91/692/EWG): Richtlinie des Rates zur Vereinheitlichung und zweckmäßigen Gestaltung der Berichte über die Durchführung bestimmter Umweltschutzrichtlinien. ABl. L 377 vom 31.12.1991, S. 48–54.
- Entscheidung Nr. 2000/532/EG: Europäischer Abfallkatalog (EAK): Entscheidung der Kommission (2000/532/EG): vom 3. Mai 2000 zur Ersetzung der Entscheidung 94/3/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß Artikel 1 Buchstabe a) der Richtlinie 75/442/EWG des Rates über Abfälle und der Entscheidung 94/904/EG des Rates über ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle im Sinne von Artikel 1 Absatz 4 der Richtlinie 91/689/EWG über gefährliche Abfälle. ABl. L 226 vom 6.9.2000. S. 3–24.
- Klärschlammrichtlinie (RL 86/278/EWG): Richtlinie des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft 86/278/EWG. ABl. L 181 vom 4.7.1986, S. 6–12.



Nitratrichtlinie (RL 91/676/EWG): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz von Gewässern vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. ABl. Nr. L 375. REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission vom 30. Dezember 2006. ABl. L 396. S. 1.

Kommunale Abwasserrichtlinie (RL 91/271/EWG): Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser, geändert durch die Richtlinie 98/15/EG der Kommission vom 27. Februar 1998. ABl. L 135 vom 30.5.1991. S. 40–52.

Verordnung Nr. 2003/2003/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel. ABl. Nr. L 304 vom 21.11.2003. S. 1–194

Rechtliche Grundlagen Österreich

Abfallverbrennungsverordnung (AVV, BGBl. II 389/2002 idF BGBl. II 2007/296): Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit über die Abfallverbrennung.

Abfallverzeichnisverordnung (BGBl. II 2003/570 idF BGBl. II 2005/89): Verordnung der Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis.

Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002, BGBl. I Nr. 102/2002 idF 54/2008): Bundesgesetz der Republik Österreich, mit dem ein Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft erlassen und das Kraftfahrzeuggesetz 1967 und das Immissionsschutzgesetz-Luft geändert wird.

Altlastensanierungsgesetz (ALSAG; BGBl. Nr. 299/1989 i.d.F. BGBl. I Nr. 40/2008): Bundesgesetz zur Finanzierung der Durchführung der Altlastensanierung.

BAWP 2006 – Bundes-Abfallwirtschaftsplan (2006): Lebensministerium. Wien.

Bundeskompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen.

Burgenländische Klärschlamm- und Müllkompostverordnung (LGBl. Nr. 82/1991 i.d.g.F.): Verordnung der Burgenländischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden.

Burgenländisches Bodenschutzgesetz (LGBl. Nr. 87/1990 i.d.g.F.): Gesetz über den Schutz landwirtschaftlicher Böden.

Deponieverordnung 2008 (DeponieV 2008, BGBl. II 2008/39): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien.

- Düngemittelgesetz 1994 (DMG 1994, BGBl. Nr. 513/1994 i.d.F. BGBl. I Nr. 87/2005): Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln.
- Düngemittelverordnung 2004 (DMV 2004, BGBl. II Nr. 100/2004 i.d.F. BGBl. II Nr. 53/2007): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden.
- Forstgesetz 1975 (BGBl. Nr. 440/1975 idF BGBl. I Nr. 55/2007): Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird.
- Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (K-KKV; LGBl. Nr. 74/2000 i.d.g.F.): Verordnung der Kärntner Landesregierung über die Aufbringung von behandeltem/Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall auf landwirtschaftlich genutzte Böden.
- NÖ Bodenschutzgesetz/(NÖ BSG, LGBl. Nr. 58/1988 i.d.g.F.): Gesetz über den Schutz landwirtschaftlicher Böden.
- NÖ Klärschlammverordnung (LGBl. Nr. 80/1994 i.d.g.F.): Verordnung der Niederösterreichischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden.
- OÖ Bodengrenzwerteverordnung (LGBl. Nr. 50/2006): Verordnung der Oberösterreichischen Landesregierung betreffend Bodengrenzwerte.
- OÖ/Bodenschutzgesetz/(LGBl. Nr. 115/1991 i.d.g.F.): Landesgesetz über die Erhaltung und den Schutz des Bodens vor schädlichen Einflüssen sowie über die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln.
- OÖ Klärschlammverordnung (LGBl. Nr. 62/2006): Verordnung der Oberösterreichischen Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden.
- Salzburger Bodenschutzgesetz (LGBl. Nr. 80/2001): Gesetz zum Schutz der Böden vor schädlichen Einflüssen.
- Salzburger Klärschlamm-Bodenschutzverordnung (LGBl. Nr. 85/2002): Verordnung der Salzburger Landesregierung zum Schutz des Bodens bei der Verwendung von Klärschlamm und klärschlammhaltigen Materialien.
- Steiermärkische Klärschlammverordnung (LGBl. Nr. 89/1987 i.d.g.F.): Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden.
- Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz (LGBl. 66/1987 i.d.g.F.): Gesetz zum Schutz landwirtschaftlicher Böden.
- Tiroler Feldschutzgesetz (LGBl. Nr. 58/2000 i.d.F. LGBl. Nr. 56/2002): Gesetz vom 5. Juli 2000 über den Schutz des Feldgutes und die Ausbringung von Klärschlamm.
- Tiroler Klärschlammverordnung (LGBl. Nr. 89/2000): Verordnung der Tiroler Landesregierung, mit der die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Grundflächen näher geregelt wird.
- Vorarlberger Klärschlammverordnung (LGBl. Nr. 75/1997 i.d.g.F.): Verordnung der Vorarlberger Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm.
- Wasserrechtsgesetz (WRG; BGBl. Nr. 215/1959 i.d.g.F.): 215. Kundmachung der Bundesregierung vom 8.9.1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.



Wiener Klärschlammgesetz (LGBl. Nr. 08/2000): Gesetz über das Verbot der Ausbringung von Klärschlamm.

Normen

ÖNORM S 2088-2: Altlasten. Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Boden. Österreichisches Normungsinstitut. Wien, 01.06.2000.

ÖNORM S 2100 (2005): Abfallverzeichnis. Österreichisches Normungsinstitut (Hg.); Herausgegeben am 10. Oktober 2005. Wien.

ONRegel 1921-00 (2002): Umschlüsselungshilfe – Zuordnung ÖNORM S 2100 zum Europäischen Abfallkatalog (EAK). Österreichisches Normungsinstitut (Hg.), Wien.



Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Klärschlamm fällt bei der Abwasserreinigung an und enthält neben Nährstoffen wie Stickstoff oder Phosphor auch problematische oder toxische Substanzen. Aufgrund von Bestimmungen der Deponieverordnung darf unbehandelter Klärschlamm nicht mehr deponiert werden. Auch der Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft ist seit Jahrzehnten umstritten. Um die Behandlung von Klärschlamm sicherzustellen und dessen Bewirtschaftung zu optimieren, müssen innovative Verfahren entwickelt werden.

Die Studie zeigt aktuelle Entwicklungen in der Behandlung von Klärschlamm wie zum Beispiel Verfahren dezentraler Klärschlammverbrennung und Phosphor-Rückgewinnung. Sie bietet darüber hinaus einen Überblick über Aufkommen, Zusammensetzungen und Behandlung von Klärschlamm in Österreich, rechtliche Rahmenbedingungen und Abfallvermeidung.