



BIOENERGIESYSTEME GmbH

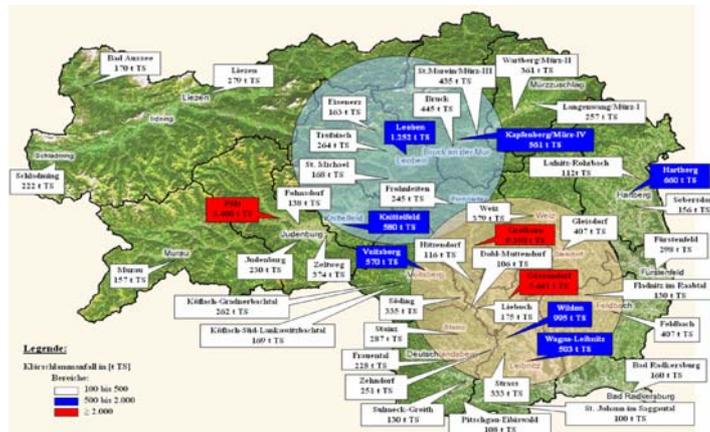
Forschung, Entwicklung und Planung von Anlagen zur Wärme- und Stromerzeugung aus Biomasse

Inffeldgasse 21b A-8010 GRAZ, AUSTRIA
TEL.: +43 (0)316-481300; FAX: +43 (0)316-481300-4
EMAIL: OFFICE@BIOS-BIOENERGY.AT
HOMEPAGE: HTTP://BIOS-BIOENERGY.AT



Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvollen Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark

Endbericht



erstellt im Auftrag

des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung 19D-
Abfall- und Stoffflusswirtschaft,
8010 Graz, Bürgergasse 5a
Mai 2007

**LEBENSRESSORT
STEIERMARK**



Das Land
Steiermark

→ FA19D
Abfall- und Stoffflusswirtschaft

Mit freundlicher Unterstützung durch



Projektleiter: Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ingwald Oberberger
Dipl.-Ing. Klaus Supancic
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Andreas Polzer
Auftraggeber: Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Fachabteilung 19D - Abfall- und Stoffflusswirtschaft
A-8010 Graz, Bürgergasse 5a
Tel: +43 (0) 316 / 877 - 2153
Fax: +43 (0) 316 / 877 - 2416
E-Mail: fa19d@stmk.gv.at
Leiter: Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Himmel
Projektbegleitung: Mag. Dr. Ingrid Winter



www.abfallwirtschaft.steiermark.at
www.nachhaltigkeit.steiermark.at
www.win.steiermark.at
www.gscheitfeiern.at

Mit freundlicher Unterstützung durch

ANDRITZ AG – **ANDRITZ**

ASH DEC Umwelt AG –



UEG Umwelt- und Entsorgungstechnik AG –



Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	3
2	ERHEBUNG UND EVALUIERUNG VON BASISDATEN FÜR DIE ERARBEITUNG EINES KLÄRSCHLAMMVERWERTUNGSKONZEPTES	4
2.1	DATENGRUNDLAGE UND PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG	4
2.1.1	<i>Anfall von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark 2000 - 2004</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Verwertung von kommunalen Klärschlamm in der Steiermark 2004 und 2005 und Klärschlammrockensubstanzgehalte 2005</i>	<i>8</i>
2.1.3	<i>Verwertungs- und Entsorgungskosten von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark</i>	<i>17</i>
2.1.4	<i>Schwermetallgehalte des kommunalen Klärschlamm in der Steiermark.....</i>	<i>17</i>
2.1.5	<i>Nährstoffgehalte im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark</i>	<i>31</i>
2.1.6	<i>Aschegehalte und Heizwerte des kommunalen Klärschlamm in der Steiermark.....</i>	<i>39</i>
2.2	ERGEBNISSE.....	41
2.2.1	<i>Massenbilanz für kommunale Klärschlämme in der Steiermark.....</i>	<i>41</i>
2.2.2	<i>Ermittlung geeigneter Standorte für dezentrale Klärschlammverwertungs- Demonstrationsanlagen.....</i>	<i>44</i>
3	KONZEPTERSTELLUNG FÜR DIE KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG UND STOFFFLUSSBILANZIERUNG.....	57
3.1	GENERELLES ANLAGENKONZEPT.....	57
3.2	FESTLEGUNG DER ANLAGENGRÖßEN	59
3.3	VERFÜGBARE TECHNOLOGIEN ZUR BEHANDLUNG UND VERWERTUNG VON KOMMUNALEN KLÄRSCHLÄMMEN	62
3.3.1	<i>Klärschlammrocknung</i>	<i>62</i>
3.3.2	<i>Klärschlammverbrennung.....</i>	<i>69</i>
3.3.3	<i>Klärschlammaschenverwertung</i>	<i>75</i>
3.4	KONKRETE AUSFÜHRUNGSVARIANTEN ZUR UMSETZUNG DES GEPLANTEN STEIERMÄRKISCHEN KLÄRSCHLAMMVERWERTUNGSKONZEPTES	80
3.4.1	<i>Klärschlammrocknung und -verbrennung</i>	<i>80</i>
3.4.2	<i>Klärschlammaschenverwertung</i>	<i>97</i>
3.5	STOFF- UND ENERGIESTRÖME EINER DEZENTRALEN KLÄRSCHLAMMVERWERTUNGSANLAGE	97
3.5.1	<i>Stoff- und Energiebilanz der Klärschlammrocknung und -verbrennung</i>	<i>98</i>
3.5.2	<i>Stoff- und Energiebilanz der Klärschlammaschenverwertung.....</i>	<i>117</i>
3.5.3	<i>Stoff- und Energiebilanz über die Gesamtanlage</i>	<i>126</i>
4	BEURTEILUNG DER AUSWIRKUNG DES EINSATZES DES KLÄRSCHLAMMVERWERTUNGSKONZEPTES AUF STOFF-FLÜSSE IN DER STEIERMARK.....	134
4.1	RÜCKFÜHRBARE NÄHRSTOFF- UND SCHWERMETALLMENGEN DURCH DIE AUSBRINGUNG VON P- ROHSTOFF AUF BASIS DES VORGESCHLAGENEN KLÄRSCHLAMMVERWERTUNGSKONZEPTES FÜR DIE STEIERMARK.....	134
4.2	SCHWERMETALLREDUKTIONSPOTENZIAL BEI EINSTELLUNG DER DIREKTEN KLÄRSCHLAMMVERWERTUNG AUF LANDWIRTSCHAFTLICHEN BÖDEN UND IM LANDSCHAFTSBAU	135
4.3	SUBSTITUIERBARE MENGE AN KUNSTDÜNGER DURCH EINSATZ DES STEIERMÄRKISCHEN KLÄRSCHLAMMVERWERTUNGSKONZEPTES	136
5	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	137
6	LITERATUR	144
Anhang I Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des betrachteten Klärschlammverwertungskonzeptes für die Steiermark		

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Entwicklung der kommunalen Klärschlammengen in der Steiermark 2000-2004.....	6
Abbildung 2:	Verwertung kommunalen Klärschlamm in der Steiermark 2004.....	9
Abbildung 3:	Vergleich der Verwertungswege des kommunalen Klärschlamm in der Steiermark 2004 - 2005	13
Abbildung 4:	Abhängigkeit des Klärschlamm-trockensubstanzgehalts von der Kläranlagengröße (Stand 2005).....	16
Abbildung 5:	Entwicklung der Konzentrationen von Zn im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	23
Abbildung 6:	Entwicklung der Konzentrationen von Cu im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	23
Abbildung 7:	Entwicklung der Konzentrationen von Cr im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	24
Abbildung 8:	Entwicklung der Konzentrationen von Pb im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	24
Abbildung 9:	Entwicklung der Konzentrationen von Ni im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	25
Abbildung 10:	Entwicklung der Konzentrationen von Co im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zum Grenzwert laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung.....	25
Abbildung 11:	Entwicklung der Konzentrationen von Mo im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zum Grenzwert laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung.....	26
Abbildung 12:	Entwicklung der Konzentrationen von Cd im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	26
Abbildung 13:	Entwicklung der Konzentrationen von Hg im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung.....	27
Abbildung 14:	Entwicklung der Konzentrationen von N im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot).....	34
Abbildung 15:	Entwicklung der Konzentrationen von P im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot).....	34

Abbildung 16:	Entwicklung der Konzentrationen von K im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot).....	35
Abbildung 17:	Entwicklung der Konzentrationen von Ca im kommunalen Steiermärkischen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot).....	35
Abbildung 18:	Entwicklung der Konzentrationen von Mg im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot).....	36
Abbildung 19:	Entwicklung der Konzentrationen von Na im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2004-2006 (Box-Plot).....	36
Abbildung 20:	Entwicklung der Trockensubstanz Steiermärkischer kommunaler Klärschlämme über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)	37
Abbildung 21:	Übersicht über Aschegehalte und Heizwerte von kommunalem Klärschlamm auf Basis von Firmenangaben, Analysenwerten und Literaturangaben	40
Abbildung 22:	Durchschnittliche Schwermetallmengen im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark in [kg/a].....	41
Abbildung 23:	Durchschnittliche Nährstoffmengen im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark in [t/a]	42
Abbildung 24:	Häufigkeitsverteilung der Kläranlagen auf Basis des jährlichen Klärschlammaufkommens (Stand 2004)	45
Abbildung 25:	Geographische Verteilung des kommunalen Klärschlammmanfalls für Kläranlagen mit einem zwischen 2000-2004 durchschnittlichen Klärschlammaufkommen ≥ 100 t TS pro Jahr in der Steiermark	46
Abbildung 26:	Standorte von Biogasanlagen in der Steiermark	49
Abbildung 27:	Entwicklung des Klärschlammaufkommens der Einzugsgebiete Graz und Leoben 2000-2004 (Kläranlagen ≥ 100 t TS/a).....	50
Abbildung 28:	Prinzipielles Verfahrensfliessbild des Klärschlammverwertungskonzeptes für die Steiermark	58
Abbildung 29:	Verfahrensprinzip eines Bandtrockners	63
Abbildung 30:	Querschnitt durch einen Trommeltrockner	63
Abbildung 31:	Querschnitt durch einen Wirbelschichttrockner	65
Abbildung 32:	Trocknungshalle für solare Klärschlamm-trocknung	67
Abbildung 33:	Elektrisches Schwein.....	68
Abbildung 34:	Wendewolf.....	68
Abbildung 35:	Querschnitt durch eine Zyklonfeuerung.....	72
Abbildung 36:	Schnitt durch eine ALDAVIA-Feuerung mit Schleuderrad-Technologie.....	83
Abbildung 37:	Grobes Anlagenschema des ECO-DRY-Verfahrens von Andritz.....	87
Abbildung 38:	Anlagenansicht der KALOGEO-Anlage in Bad Vöslau	91
Abbildung 39:	Verfahrensfliessbild und Stoffflüsse für die Klärschlammverbrennungsanlage mit 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr der ALDAVIA-BioEnergy GmbH	102

Abbildung 40:	Verfahrensfließbild und Stoffflüsse für die Klärschlammverbrennungsanlage mit 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr der ANDRITZ AG	105
Abbildung 41:	Verfahrensfließbild und Stoffflüsse für die Klärschlammverbrennungsanlage mit 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr der KALOGEO Anlagenbau GmbH	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklung der kommunalen Klärschlammengen in der Steiermark 2000-2004 (Bezirksweise).....	7
Tabelle 2:	Kommunales Klärschlammaufkommen der Steiermark 2004.....	8
Tabelle 3:	Verwertung und Beseitigung des kommunalen Klärschlammes der Steiermark-2004.....	10
Tabelle 4:	Vergleich der direkt verwerteten Klärschlammengen mit den durch Dritte verwerteten Klärschlammengen in der Steiermark für die Jahre 2004 und 2005.....	12
Tabelle 5:	Kommunale Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte bei Abtransport aus den Kläranlagen in der Steiermark 2005.....	14
Tabelle 6:	Verwertungs- und Entsorgungskosten von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark.....	17
Tabelle 7:	Entwicklung der Konzentrationen von Zn, Cu und Cr im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm-1996-2005.....	20
Tabelle 8:	Entwicklung der Konzentrationen von Pb, Ni und Co im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm-1996-2005.....	21
Tabelle 9:	Entwicklung der Konzentrationen von Mo, Cd und Hg im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm-1996-2005.....	22
Tabelle 10:	Vergleich der Mittelwerte der von der FA 17C gemessenen Schwermetallkonzentrationen im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über den Zeitraum von 1996-2001 mit Werten aus der Literatur.....	29
Tabelle 11:	Durchschnittliche Schwermetallgehalte in den Klärschlämmen von zwei Steiermärkischen kommunalen Kläranlagen und deren Standardabweichungen im Vergleich zu Durchschnittswerten für Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm.....	30
Tabelle 12:	Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen bzw. der Trockensubstanz Steiermärkischer kommunaler Klärschlämme über die Jahre 2001-2006 (FA 10B).....	32
Tabelle 13:	Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen bzw. der Klärschlamm-trockensubstanz 2001-2006 (FA 10B) (Fortsetzung).....	33
Tabelle 14:	Durchschnittliche Nährstoffgehalte bzw. Trockensubstanzgehalt im kommunalen Steiermärkischen Klärschlamm über die Jahre 1996-2001 der FA 10B im Vergleich mit Werten aus der Literatur.....	38
Tabelle 15:	Durchschnittlicher jährlicher Stofffluss von Schwermetallen und Nährstoffen auf landwirtschaftliche Böden durch den Einsatz von kommunalen Klärschlämmen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau in der Steiermark.....	43
Tabelle 16:	Einzugsgebiet und dadurch bedingtes Klärschlamm-potenzial des möglichen Klärschlammverwertungsstandortes Graz-Gössendorf.....	47
Tabelle 17:	Einzugsgebiet und dadurch bedingtes Klärschlamm-potenzial des möglichen Klärschlammverwertungsstandortes Leoben.....	48

Tabelle 18:	Kommunale Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte des Einzugsgebietes Graz für das Jahr 2005.....	52
Tabelle 19:	Kommunale Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte des Einzugsgebietes Leoben für das Jahr 2005	54
Tabelle 20:	Auslegungsdaten für die Einzugsgebiete der dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen in der Steiermark.....	56
Tabelle 21:	Festgelegte Anlagengrößen für das Klärschlammverwertungskonzept in der Steiermark	62
Tabelle 22:	Gegenüberstellung technischer Daten der gebräuchlichsten Konvektionstrocknungsanlagen	64
Tabelle 23:	Gegenüberstellung technischer Daten der gebräuchlichsten Kontaktstrocknungsanlagen	66
Tabelle 24:	Technische Daten einer solaren Trocknungsanlage	69
Tabelle 25:	Gegenüberstellung technischer Daten der gebräuchlichsten Klärschlammverbrennungstechnologien für dezentrale Anwendungen.....	75
Tabelle 26:	Gegenüberstellung technischer Daten einzelner Anlagenkomponenten der Klärschlammverbrennungsanlagen der Anlagenbauer ALDAVIA, ANDRITZ und KALOGEO auf Basis der eingeholten Richtpreisangebote	95
Tabelle 27:	Klärschlammzusammensetzung und Gegenüberstellung der steiermärkischen Klärschlamm-Inputströme der einzelnen Klärschlammverbrennungsanlagen mit Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalem Klärschlamm pro Jahr	98
Tabelle 28:	Stoffflüsse der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ALDAVIA-BioEnergy GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr.....	101
Tabelle 29:	Stoffflüsse der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ANDRITZ AG bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr	104
Tabelle 30:	Stoffflüsse der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der KALOGEO Anlagenbau GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr.....	106
Tabelle 31:	Vergleich von den errechneten Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in den Klärschlammaschen mit Referenzwerten	109
Tabelle 32:	Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ALDAVIA-BioEnergy GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr	111
Tabelle 33:	Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ANDRITZ AG bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr	112

Tabelle 34:	Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der KALOGEO Anlagenbau GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr	114
Tabelle 35:	Inputparameter für die Klärschlammaschenaufbereitungsanlage.....	118
Tabelle 36:	Entfrachtungsfaktoren für Nährstoffe und Schwermetalle bei der thermischen Behandlung von Klärschlammasche in einem Drehrohrofen.....	119
Tabelle 37:	Stoffflüsse der Klärschlammascherverwertungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die Jahresdurchsatzmengen von rund 6.370 t bei der Herstellung eines Düngemittelmix aus verschiedenen Mehr-Nährstoffdüngern	121
Tabelle 38:	Stoffflüsse der Klärschlammascherverwertungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die Jahresdurchsatzmengen von rund 6.370 t bei der Herstellung eines Düngemittelmix aus verschiedenen Mehr-Nährstoffdüngern (Fortsetzung).....	122
Tabelle 39:	Vergleich von den errechneten Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in den entfrachteten Klärschlammaschen mit Grenzwerten der Düngemittelverordnung 2004.....	124
Tabelle 40:	Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammascherverwertungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die Jahresdurchsatzmengen von 5.100, 5.570 und 5.700 t an Klärschlammasche pro Jahr.....	125
Tabelle 41:	Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 1 - Basisauslegung	128
Tabelle 42:	Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 1 – dezentrale Trocknungsanlagen	129
Tabelle 43:	Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 2 - Basisauslegung	131
Tabelle 44:	Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 2 – dezentrale Trocknungsanlagen	132
Tabelle 45:	Durchschnittliche jährlich über die Ausbringung von P-Rohstoff aus der Klärschlammaschenaufbereitung in den Boden rückführbare Nährstoffe und Schwermetalle	135
Tabelle 46:	Gegenüberstellung der Stoffflüsse von Nährstoffen und Schwermetallen auf landwirtschaftliche Böden durch den Einsatz von kommunalen Klärschlämmen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau in der Steiermark bei direkter Verwertung und bei Verwertung über das vorgestellte Klärschlammverwertungskonzept	136

Abkürzungen, chemische Formelzeichen und Indizes

Ca	Kalzium
Cd	Cadmium
Co	Kobalt
Cu	Kupfer
EW	Einwohnerwert
FA	Fachabteilung
Fe	Eisen
FeCl ₃	Eisen(III)-Chlorid
FS	Frischsubstanz
GW	Grenzwert
Hg	Quecksilber
HOK	Herdofenkoks
K	Kalium
KA	Kläranlage
KS	Klärschlamm
Mo	Molybdän
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
Na	Natrium
TS	Trockensubstanz
Pb	Blei
TSP	Triplesuperphosphat
Zn	Zink

Vorwort

Die im vorliegenden Bericht erläuterte Studie über die Stoffflüsse und sinnvolle Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus kommunalem Klärschlamm in der Steiermark hatte zum Ziel, die Möglichkeiten der nachhaltigen dezentralen Nutzung von kommunalen Klärschlämmen in der Steiermark anhand einer innovativen Kombination von Klärschlamm-trocknung, Klärschlammverbrennung und einer neu entwickelten Klärschlamm-schneidenaufbereitung aufzuzeigen. Dabei wurde im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft besonderes Augenmerk auf eine möglichst weitgehende stoffliche Nutzung des im kommunalen Klärschlamm enthaltenen Wertstoffes Phosphor sowie anderer Nährstoffe bzw. bodenverbessernder Stoffe (K, Ca, Mg) bei gleichzeitig signifikanter Reduktion der in den Klärschlämmen enthaltenen umweltrelevanten Schwermetalle (z.B.: Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Pb, Zn) bzw. Zerstörung eventuell enthaltener organischer Schadstoffe gelegt.

Wir möchten uns an dieser Stelle für die Finanzierung dieser Studie durch das Land Steiermark sowie die finanzielle Unterstützung durch die Firma ANDRITZ AG, die Firma ASH DEC Umwelt AG und die Firma UEG Umwelt- und Entsorgungstechnik GmbH bedanken. Unser besonderer Dank gilt Frau Mag. Dr. Ingrid Winter und Herrn Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Wilhelm Himmel von der Fachabteilung 19D, Abfall- und Stoffflusswirtschaft, des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung für die tatkräftige Unterstützung bei der Sammlung und Zusammenstellung von klärschlammrelevanten Daten für die Steiermark.

Weiter möchten wir uns für die gute Zusammenarbeit mit den unterstützenden Firmen, insbesondere bei Herrn DI Trattner von der ANDRITZ AG, bei Herrn Hermann von der ASH DEC Umwelt AG und bei Herrn Mag. Hattenberger von der UEG Umwelt- und Entsorgungstechnik GmbH bedanken.

Kurzfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Datengrundlage, Ergebnisse und Schlussfolgerungen der vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19D, mit Unterstützung der ANDRITZ AG, der ASH DEC Umwelt AG und der UEG Umwelt- und Entsorgungstechnik GmbH finanzierten Studie über die Stoffflüsse und sinnvolle Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus kommunalem Klärschlamm in der Steiermark. Ziel der Studie war es, die Umsetzungsmöglichkeiten eines kombinierten thermischen und stofflichen Klärschlammverwertungskonzeptes unter steirischen Rahmenbedingungen zu prüfen und die Auswirkungen des Einsatzes dieses Konzeptes auf Stoffflüsse von Nährstoffen und Schwermetallen in der Steiermark zu ermitteln.

Anhand der von der FA 19D und den Partnerfirmen bereitgestellten Daten wurde zunächst der IST-Zustand des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark hinsichtlich Quantität und Qualität sowie derzeit vorhandener Verwertungsmöglichkeiten erhoben.

Der jährliche Klärschlammfall der Steiermark stieg seit dem Jahr 2000 durchschnittlich um 1,9% pro Jahr an und betrug im Jahr 2004 24.981 Tonnen Trockensubstanz (t TS), davon 4.650 t Nährstoffe (N, P, K, Ca, Mg, Na) und 34 t Schwermetalle (Zn, Cu, Cr, Pb, Mo, Ni, Co, Cd, Hg). Im Vergleich zu Daten aus Großkläranlagen weist kommunaler Klärschlamm in der Steiermark einen relativ geringen Phosphorgehalt (590 t pro Jahr bzw. nur etwa 2,4% der TS) auf. Von den rund 25.000 t TS werden etwa 60% (15.400 t) des kommunalen Klärschlammes direkt über die Landwirtschaft und den Landschaftsbau verwertet, weitere 20% werden thermisch verwertet. Die restlichen 20% werden entweder zwischengelagert, deponiert oder sonstigen Verwertungswegen zugeführt.

Unter Berücksichtigung der derzeitigen Klärschlammverwertungsschienen wurde die jährlich realistisch verfügbare Klärschlammmenge für eine kombinierte thermische und stoffliche Verwertung mit insgesamt 12.000 t TS definiert. Das neue Verfahren könnte an ein oder zwei Standorten in der Steiermark eingesetzt werden.

Das geplante Klärschlammverwertungskonzept besteht aus drei wesentlichen Abschnitten, einer Klärschlamm-trocknung, einer Klärschlamm-verbrennung und einer Klärschlamm-aschen-aufbereitung mit Düngemittelherstellung. Die gängigsten Verfahren zur Klärschlamm-trocknung und -verbrennung wurden anhand drei konkreter Anlagenvarianten österreichischer Hersteller evaluiert. Für die Ascheverwertung wurde ein innovatives, von der ASH DEC Umwelt AG in Zusammenarbeit mit dem Austrian Bioenergy Center und der BIOS BIO-ENERGIESYSTEME GmbH entwickeltes Verfahren, untersucht, das die thermochemische Abscheidung von Schwermetallen aus Klärschlamm-aschen unter gleichzeitiger Verfügbarmachung des in den Aschen enthaltenen Phosphors für Pflanzen (Verarbeitung zu Dünger) zum Ziel hat.

Die Ergebnisse der durchgeführten Stoffflussberechnungen zeigen, dass mithilfe des vorgestellten Klärschlammverwertungskonzeptes bei einer jährlichen Klärschlamm-durchsatzmenge von 12.000 t TS etwa 256 t Phosphor, das sind 90% des im Klärschlamm enthaltenen Anteils, wieder als Düngemittel für Pflanzen verfügbar gemacht werden könnten. Gleichzeitig könnten etwa zwei Drittel der im Klärschlamm enthaltenen Schwermetalle abgetrennt und somit der Eintrag in den Boden deutlich verringert werden.

Die Abscheidung von Schwermetallen aus den Klärschlamm- im Rahmen des vorgestellten dezentralen Klärschlammverwertungskonzeptes birgt daher ein großes Potenzial zur Verringerung der Schadstoffbelastung der Steiermärkischen Böden und des Grundwassers und schon die zur Neige gehenden Rohphosphatlager. Das geprüfte technische Konzept der Klärschlamm-verbrennung und Klärschlamm-aschen-aufbereitung ist daher aus ökologischer und kreislaufwirtschaftlicher Sicht als zukunftsweisend und positiv zu bewerten.

1 Einleitung und Zielsetzung

Kommunale Klärschlämme zeichnen sich einerseits durch einen vergleichsweise hohen Phosphorgehalt aus, können aber auch erhebliche Mengen an umweltrelevanten Schwermetallen (z.B.: Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Pb, Zn) sowie an organischen Schadstoffen enthalten. Im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft sollte eine möglichst weitgehende stoffliche Nutzung des im Klärschlamm enthaltenen Wertstoffes Phosphor sowie anderer Nährstoffe bzw. bodenverbessernder Stoffe (K, Ca, Mg) angestrebt werden.

Um die im Klärschlamm enthaltenen Wertstoffe (primär P, sekundär Ca, Mg und K) als Pflanzennährstoffe bzw. bodenverbessernde Stoffe verfügbar zu machen und gleichzeitig die umweltrelevanten Schadstoffe (insbesondere Cd, Cu, Hg, Zn, Pb sowie organische Schadstoffe) weitgehend abzutrennen, wurden in den vergangenen Jahren neue Technologien zur dezentralen thermischen Nutzung sowie zur Aufbereitung von Klärschlammaschen entwickelt.

Neben mehreren neuen dezentralen Klärschlammverbrennungstechnologien (Flugstromverbrennung, Wirbelschichtverbrennung) zur energetischen Nutzung des erneuerbaren Energieträgers kommunaler Klärschlamm wurde in der Firma ASH DEC in Kooperation mit BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH und der Austrian Bioenergy Center GmbH ein neues Verfahren zur Aufbereitung der bei der Klärschlammverbrennung anfallenden Aschen entwickelt, welche auf eine weitgehende Schwermetallabtrennung abzielt und somit den Weg in Richtung einer nachhaltigen Rückführung der Nährstoffe in die Landwirtschaft öffnet.

Ziel des Verfahrens ist es einerseits die energetische Nutzung des Klärschlammes sicherzustellen und andererseits, im Rahmen der Aschenaufbereitung, ein nährstoffreiches und schwermetallarmes Düngemittel zu produzieren, sowie die Schwermetalle in aufkonzentrierter Form auszuschleusen (Deponierung oder industrielle Verwertung). Im Rahmen der vorliegenden Studie sollen die Umsetzung dieses neuen Klärschlammverwertungskonzeptes unter Steiermärkischen Rahmenbedingungen sowie deren Bedeutung für die Steiermark genau untersucht werden.

2 Erhebung und Evaluierung von Basisdaten für die Erarbeitung eines Klärschlammverwertungskonzeptes

2.1 Datengrundlage und Plausibilitätsprüfung

Als Datengrundlage dienten die von der Fachabteilung 19D des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung zur Verfügung gestellten Unterlagen, die im Wesentlichen Daten von folgenden Fachabteilungen des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung enthalten:

- Fachabteilung 10B des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung - Landwirtschaftliches Versuchszentrum (FA 10B): Klärschlammbefunde-2001-2005 mit Informationen über Nährstoffgehalte, Trockensubstanzgehalt sowie ab 2004 Schwermetallgehalte der analysierten Klärschlämme; Klärschlammaufbringungsmengen in der Landwirtschaft 2002-2005.
- Fachabteilung 17C des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung - Technische Umweltkontrolle und Sicherheitswesen (FA 17C): Schwermetallanalysedaten von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen in der Steiermark von 1974-2003.
- Fachabteilung 19A des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung - Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft (FA 19A): kommunaler Klärschlammfall in der Steiermark von 2000-2004, Verwertung von kommunalen Klärschlämmen in der Steiermark von 2004 und 2005 und Klärschlamm-trockensubstanzgehalte 2005, Schwermetallanalysedaten von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen in der Steiermark von 1996-2005.
- Fachabteilung 19D des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung - Abfall- und Stoffflusswirtschaft (FA 19D): Sammlung und Weitergabe der Daten der oben genannten Fachabteilungen des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung.

Weiters wurden von folgenden Firmen zusätzliche Daten erhalten:

- ASH DEC Umwelt AG - Informationen über den Phosphorgehalt von Klärschlamm-aschen.
- ANDRITZ AG – Informationen über Klärschlammheizwerte und Aschegehalt, sowie über verschiedene Klärschlamm-trocknungstechnologien
- UEG Umwelt- und Entsorgungstechnik AG - Informationen über Klärschlamm-Aschegehalt, Heizwert der Klärschlämme sowie Verwertungs- bzw. Entsorgungskosten von Klärschlamm.
- Abwasserverband Leibnitzerfeld Süd – Informationen über Entsorgungskosten von Klärschlamm in der Steiermark.

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die zur Verfügung gestellten Daten.

2.1.1 Anfall von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark 2000 - 2004

Die Daten über Klärschlammanfall der gesamten Steiermark stammen von der FA 19A. Die anfangs übermittelten Daten beschränkten sich auf das Jahr 2004, wobei nach Anfrage bei Fr. Dr. Winter (FA 19D) die Angaben um die Jahre 2000-2003 erweitert wurden. Das Datenmaterial beinhaltet folgende Informationen zu den einzelnen Kläranlagen:

- Kläranlagennummer und -name,
- Ortsbezeichnung (Gemeinde und Bezirk),
- Einwohnergleichwert-Konsens und
- jährlicher Klärschlammanfall in Tonnen Trockensubstanz (t TS) der jeweiligen Kläranlage.

In den übermittelten Daten sind auch die jährlichen Klärschlammmengen der Verbandskläranlagen Gratkorn (Nr. 192) und Pöls (Nr. 196) enthalten. Diese sind gemischte Kläranlagen in denen kommunale und betriebliche Abwässer aufbereitet werden, wobei der kommunale Anteil von untergeordneter Bedeutung ist.

Der anfallende Klärschlamm der Verbandskläranlage Gratkorn (10.080 t TS im Jahr 2004) wird in der firmeneigenen Reststoffverbrennungsanlage der Sappi Austria Produktions-GmbH & Co KG thermisch verwertet. Dadurch kann ein Teil des Primärenergiebedarfs des Papierkonzerns SAPPI in Gratkorn gedeckt werden. Die bei der Verbrennung des Klärschlammes anfallende Asche wird in der Zementindustrie und im Bergbau einer stofflichen Verwertung zugeführt [1].

Der Klärschlamm des Verbandskläranlage Pöls (3.300 t TS im Jahr 2004) wird in der von der Zellstoff Pöls AG betriebenen Schlamm-trocknungsanlage auf ca. 90-95 % Trockensubstanz getrocknet. Der getrocknete Klärschlamm wird danach von der Zellstoff Pöls AG zur thermischen Verwertung an ein Zementwerk abgegeben [2].

Aufgrund der bestehenden Verwertungswege kann davon ausgegangen werden, dass die in diesen beiden Kläranlagen anfallenden Klärschlammmengen für die geplanten dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen sowohl hinsichtlich Klärschlammverbrennung als auch hinsichtlich Aschenverwertung nicht zur Verfügung stehen. Somit wurden diese Verbandskläranlagen bei der Ermittlung des Gesamtaufkommens des kommunalen Klärschlammes der Steiermark ausgenommen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Entwicklung der kommunalen Klärschlammmengen in der Steiermark.

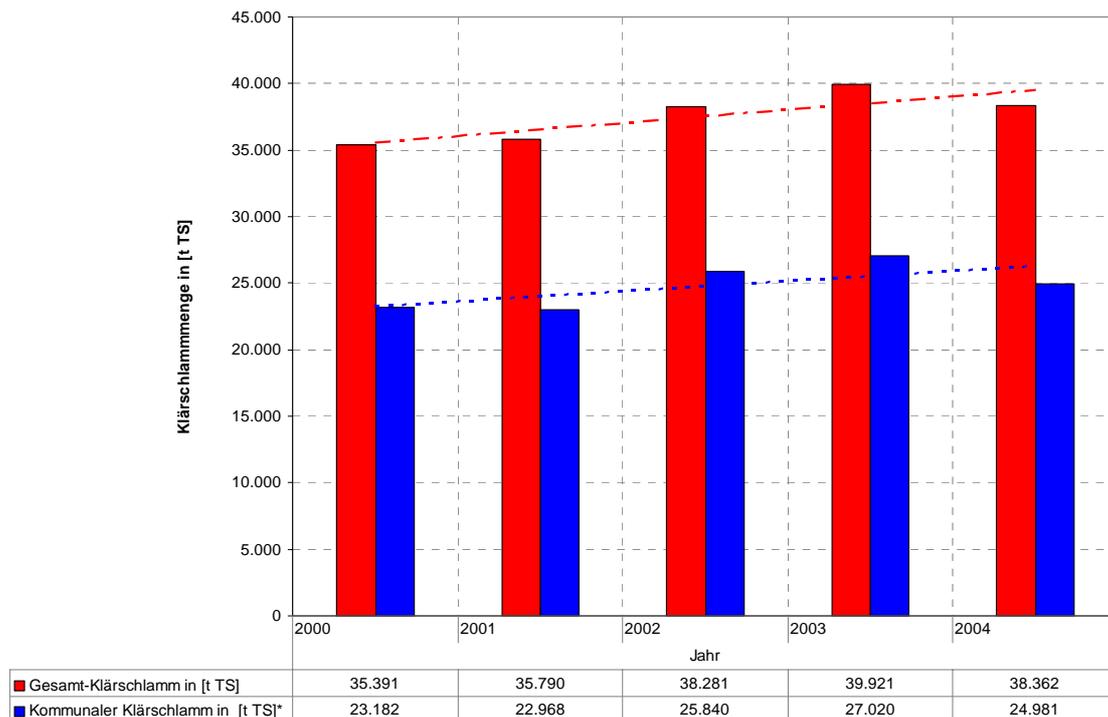


Abbildung 1: Entwicklung der kommunalen Klärschlammengen in der Steiermark 2000-2004

Erläuterung: Quelle: FA 19A; * Gesamt-Klärschlammmenge ohne die Verbandskläranlagen Gratkorn und Pöls

Mit Stand 2004 waren in der Steiermark 510 Abwasserreinigungsanlagen in Betrieb, das entspricht einem Zuwachs an Kläranlagen in der Steiermark von ca. 18 % seit 2000. Dieser Ausbau des öffentlichen Kanalnetzes führte seit dem Jahr 2000 zu einer durchschnittlichen Steigerung des gesamten Klärschlammaufkommens von durchschnittlich 2,0% pro Jahr (siehe Tabelle 1). Ohne Berücksichtigung der Kläranlagen Gratkorn und Pöls betrug die Steigerung 1,9% pro Jahr.

Vergleicht man die für das Jahr 2003 ermittelte Klärschlammfallmenge von 27.020 t TS (ohne Verbandskläranlagen Gratkorn und Pöls) aus Tabelle 1 mit dem Klärschlammaufkommen 2003 laut Landes-Abfallwirtschaftsplan Steiermark-2005 von 22.650 t TS Klärschlamm [3], ergibt sich eine Differenz von rund 4.400 t TS Klärschlamm. Diese Differenz erklärt sich durch die Tatsache, dass einzelne Kläranlagenbetreiber ihre Meldungen über den Klärschlammfall verspätet an die FA 19A weiterleiten. Dadurch steht das vollständige Klärschlammaufkommen nicht immer rechtzeitig für amtliche Veröffentlichungen, wie z.B. den Landesabfallwirtschaftsplan, zur Verfügung.

Tabelle 1: Entwicklung der kommunalen Klärschlammmengen in der Steiermark 2000-2004 (Bezirksweise)

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Klärschlammanfall ohne Verbandskläranlagen Gratkorn (Graz-Umgebung) und Pöls (Judenburg)

Bezirke	Klärschlammanfall									
	2000 [t TS]		2001 [t TS]		2002 [t TS]		2003 [t TS]		2004 [t TS]	
	Gesamt	Kommunal*	Gesamt	Kommunal*	Gesamt	Kommunal*	Gesamt	Kommunal*	Gesamt	Kommunal*
Bruck an der Mur	1.850	1.850	1.903	1.903	1.537	1.537	1.605	1.605	1.684	1.684
Deutschlandsberg	1.040	1.040	977	977	1.216	1.216	1.494	1.494	1.375	1.375
Feldbach	1.077	1.077	788	788	948	948	915	915	990	990
Fürstenfeld	506	506	450	450	466	466	516	516	532	532
Graz-Stadt	4.236	4.236	4.035	4.035	7.401	7.401	6.793	6.793	4.849	4.849
Graz-Umgebung	10.143	1.143	10.497	1.057	9.823	950	10.300	940	10.971	891
Hartberg	1.062	1.062	1.776	1.776	1.463	1.463	1.529	1.529	1.557	1.557
Judenburg	4.048	839	4.271	888	4.359	791	4.523	983	4.254	952
Knittelfeld	575	575	133	133	692	692	693	693	900	900
Leibnitz	2.565	2.565	2.522	2.522	2.316	2.316	2.215	2.215	2.336	2.336
Leoben	1.829	1.829	1.686	1.686	1.499	1.499	2.495	2.495	2.256	2.256
Liezen	1.935	1.935	1.851	1.851	2.051	2.051	2.016	2.016	2.016	2.016
Murau	668	668	483	483	498	498	612	612	505	505
Mürzzuschlag	755	755	784	784	548	548	530	530	561	561
Radkersburg	542	542	578	578	452	452	479	479	448	448
Voitsberg	1.099	1.099	1.555	1.555	1.358	1.358	1.521	1.521	1.394	1.394
Weiz	1.461	1.461	1.503	1.503	1.653	1.653	1.683	1.683	1.736	1.736
Gesamtanfall	35.391	23.182	35.790	22.968	38.281	25.840	39.921	27.020	38.362	24.981

Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, betrug der Klärschlammanfall im Jahr 2004 in den kommunalen Kläranlagen der Steiermark (ohne die Verbandskläranlagen Gratkorn und Pöls) 24.981 t TS. Aufgrund dieses ermittelten Klärschlammaufkommens und der Einwohnerwerte (Einwohnergleichwert-Konsens) der jeweiligen Kläranlagen konnte ein durchschnittlicher Klärschlammanfall in der Steiermark von 12,15 kg TS/EW.a ermittelt werden. Dieser Wert stimmt relativ gut mit dem Referenzwert aus der Steiermark aus dem Jahr 2003 von 14 kg TS/EW.a [3] überein. Vergleiche mit Referenzwerten aus anderen Bundesländern (Salzburger Klärschlamm-Konzept 2001, 7,66 bis 15,70 kg TS/EW.a [1]) und Gesamtösterreich (Umweltbundesamt, 11 bis 32 kg TS/EW.a [2]) zeigen auch eine gute Übereinstimmung. Die moderate Schwankungsbreite der Werte aus den einzelnen Bezirken (siehe Tabelle 2) bestätigt ebenfalls die Plausibilität der Daten.

Tabelle 2: Kommunales Klärschlammaufkommen der Steiermark 2004

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Klärschlammanfall ohne VKA Gratkorn (10.080 t TS) ** Klärschlammanfall ohne VKA Pöls (3.300 t TS) *** Standardabweichung bezieht sich auf die Variation der Bezirkswerte untereinander.

Bezirke	Anzahl der Kläranlagen	Einwohnerwerte	Klärschlammanfall	
			[t TS]	[kg TS/EW.a]
Bruck an der Mur	25	140.669	1.684	11,97
Deutschlandsberg	44	92.520	1.375	14,86
Feldbach	27	88.235	990	11,22
Fürstenfeld	12	43.711	532	12,17
Graz-Stadt	2	400.200	4.849	12,12
Graz-Umgebung*	59	89.801	891	9,93
Hartberg	44	105.783	1.557	14,72
Judenburg**	21	69.938	952	13,62
Knittelfeld	8	63.310	900	14,21
Leibnitz	36	217.555	2.336	10,74
Leoben	10	167.970	2.256	13,43
Liezen	59	197.838	2.016	10,19
Murau	32	51.224	505	9,86
Mürzzuschlag	8	44.257	561	12,68
Radkersburg	27	51.265	448	8,74
Voitsberg	25	88.040	1.394	15,83
Weiz	71	143.389	1.736	12,11
Gesamtanfall 2004	510	2.055.705	24.981	12,15
			Standardabweichung***	2,00

2.1.2 Verwertung von kommunalen Klärschlamm in der Steiermark 2004 und 2005 und Klärschlamm-trockensubstanzgehalte 2005

2.1.2.1 Klärschlammverwertungsmengen der Steiermark 2004

Die von der FA 19A zur Verfügung gestellten Klärschlammverwertungsdaten einzelner Bezirke der Steiermark 2004 gaben Aufschluss über:

- die Aufschlüsselung der steiermärkischen Klärschlammverwertungsmengen auf einzelne Verwertungsmöglichkeiten (Landwirtschaft, Landschaftsbau, Deponie, Thermische Verwertung, Sonstige Verwertung und Zwischenlagerung) und

die bezirkswise Gliederung der direkt verwerteten kommunalen Klärschlammengen und der Klärschlammverwertungsmengen über Dritte in Tonnen Trockensubstanz.

Die Gesamtmenge an verwerteten kommunalen Klärschlamm aller 17 steiermärkischen Bezirke betrug im Jahr 2004 laut FA 19A 25.923 t TS und teilte sich prozentuell auf die in Abbildung 2 dargestellten Verwertungsmöglichkeiten auf. In der Abbildung wurde das Augenmerk auf den Verwertungspfad und nicht auf den Verwerter (direkt oder Dritte) gelegt. Von der Gesamtmenge von 25.923 t TS wurden etwa 25% (6.410 t TS/a) direkt von den Kläranlagen und etwa 67% (17.418 t TS/a) durch Dritte verwertet. Die restlichen 8% (2.095 t TS/a) wurden zwischengelagert.

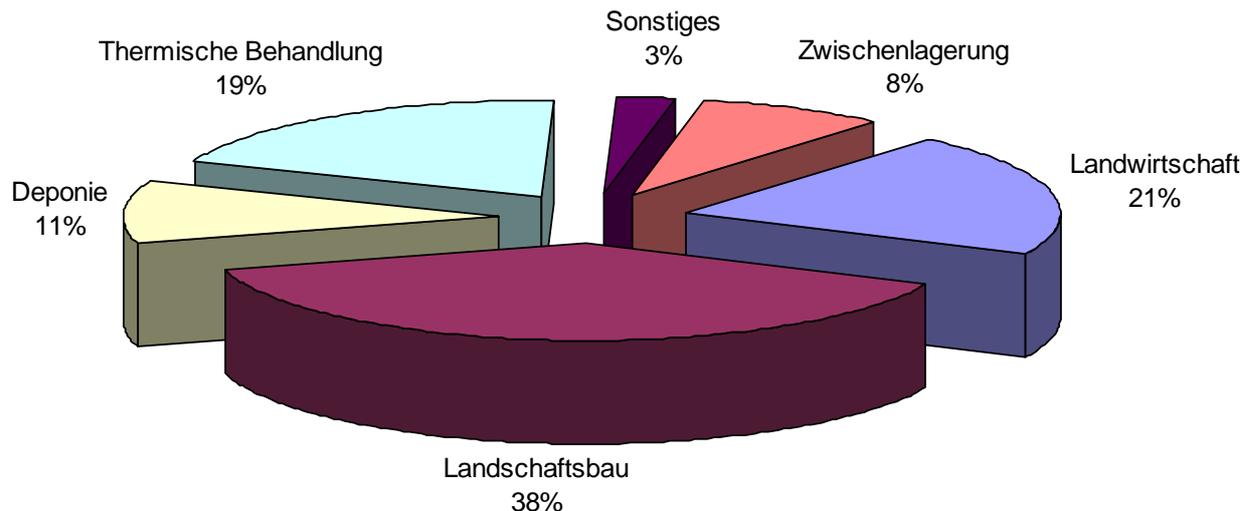


Abbildung 2: Verwertung kommunalen Klärschlammes in der Steiermark 2004

Erläuterungen: Quelle: FA 19A. In der Darstellung wird nicht zwischen direkter Verwertung und Verwertung durch Dritte unterschieden.

Vergleicht man die Angaben über die Klärschlammverwertung 2004 (25.923 t TS) mit jenen des Klärschlammmanfalls 2004 (24.981 t TS), so ergibt sich eine Differenz von 942 t TS Klärschlamm (siehe auch Tabelle 3). Daraus lässt sich ableiten, dass in einigen Bezirken mehr Klärschlamm verwertet wurde, als in den eigenen Bezirks-Kläranlagen angefallen ist. Dies kann auf folgende Ursachen zurückzuführen sein:

- Klärschlammtransfer innerhalb der Bezirke der Steiermark,
- Klärschlammtransfer zwischen einzelnen Bundesländern oder über Staatsgrenzen,
- verspätete Bekanntgabe über das Klärschlammaufkommen einzelner Kläranlagen durch die betroffenen Kläranlagenbetreiber.

Tabelle 3: Verwertung und Beseitigung des kommunalen Klärschlammes der Steiermark-2004

Erläuterungen: Quelle: FA 19A.

Bezirke	Verwertung und Beseitigung 2004 [t TS]						Klärschlamm- verwertung 2004 [t TS]	Klärschlamm- anfall 2004 [t TS]	Differenz Anfall und Verwertung [t TS]
	Land- wirtschaft	Land- schafts- bau	Deponie	Thermische Behandlung	Sonstiges	Zwischen- lage- rung			
Bruck a.d. Mur	132	283	968	0	13	243	1.639	1.684	45
Deutschlandsberg	758	460	3	14	231	182	1.648	1.375	-274
Feldbach	489	385	0	0	0	484	1.358	990	-368
Fürstenfeld	47	555	187	6	0	30	825	532	-293
Graz-Stadt	0	42	1	4.141	0	0	4.184	4.849	665
Graz-Umgebung	47	555	187	6	0	30	825	891	66
Hartberg	1.451	103	0	33	1	148	1.736	1.557	-179
Judenburg	302	252	0	59	140	30	783	953	170
Knittelfeld	16	960	0	98	0	11	1.085	900	-186
Leibnitz	727	1.060	437	283	0	77	2.584	2.336	-248
Leoben	160	2.515	0	38	88	220	3.021	2.256	-765
Liezen	89	1.330	0	108	2	360	1.889	2.016	127
Mürzzuschlag	0	0	554	0	0	12	566	561	-5
Murau	179	27	0	208	1	28	443	505	62
Radkersburg	52	287	0	2	20	33	394	448	54
Voitsberg	23	759	400	0	0	5	1.187	1.394	207
Weiz	918	457	17	0	162	202	1.756	1.736	-20
Gesamt Steiermark 2004	5.390	10.030	2.754	4.996	658	2.095	25.923	24.981	-942
Davon Verwertung durch Dritte	3.021	7.199	1.633	4.996	569	0	17.418		
	17,34%	41,33%	9,38%	28,68%	3,27%	0,00%	100,00%		

Die Auswertung der Daten zeigt, dass in den meisten Bezirken der Klärschlamm hauptsächlich in der Landwirtschaft und im Landwirtschaftsbau verwertet wird. In den Bezirken Bruck a. d. Mur und Mürzzuschlag wird Klärschlamm hingegen hauptsächlich über Deponien entsorgt. Im Bezirk Graz-Stadt wird praktisch das gesamte Klärschlammaufkommen thermisch verwertet. Diese Daten decken sich auch mit den Angaben der AEVG [1], die mit der Entsorgung des Klärschlammes der Kläranlage Graz-Gössendorf betraut ist. Der Klärschlamm (ca. 4% TS) wird von der angrenzenden Kläranlage übernommen und zunächst mit Siebbandpressen mechanisch auf etwa 25 bis 30% TS entwässert. Der entwässerte Klärschlamm wird danach in einer Trommeltrocknungsanlage zu einem Granulat mit rund 90% TS (Heizwert rund 9.000 kJ/kg) getrocknet. Das Granulat wird anschließend an Kraftwerke und Industrieanlagen als Zusatzbrennstoff weitergegeben.

2.1.2.2 Klärschlammverwertungsmengen der Steiermark 2005

Die Klärschlammverwertungsmengen der Steiermark 2005 wurden ebenfalls von der FA 19A zur Verfügung gestellt. Im Gegensatz zu Daten für das Jahr 2004 (Aufteilung auf Bezirksebene) wurde das vorhandene Datenmaterial zur Klärschlammverwertung 2005 auf einzelne steiermärkische Kläranlagen bezogen und wie folgt gegliedert:

- Kläranlagennummer,
- Erhebungsdatum,
- Direkt verwertete kommunale Klärschlammmenge in Tonnen Frischsubstanz mit zugehörigem Trockensubstanzgehalt in Prozent, aufgegliedert auf die Klärschlammverwertungspfade Landwirtschaft, Landschaftsbau, Thermische Verwertung, Deponie, Sonstige Verwertung und Zwischenlagerung,
- Verwertete kommunale Klärschlammmenge über Dritte in Tonnen Frischsubstanz mit zugehörigem Trockensubstanzgehalt in Prozent, ohne Zuordnung auf einzelne Klärschlammverwertungswege.

Die FA 19A sammelte im Jahr 2005 die kommunalen Klärschlammverwertungsmengen von insgesamt rund 400 Kläranlagen. Dabei lieferten rund 180 Kläranlagen Daten über direkt verwertete Klärschlämme (gegliedert nach den Klärschlammverwertungswegen Landwirtschaft, Landschaftsbau, thermische Verwertung, Deponie, sonstige Verwertung und Zwischenlagerung), die restlichen 220 Kläranlagen gaben lediglich an, die anfallenden Klärschlämme über Dritte (ohne Zuordnung auf einzelne Klärschlammverwertungspfade) zu entsorgen.

Aus den übermittelten Daten ergab sich für die Steiermark eine Gesamtverwertungsmenge an kommunalen Klärschlamm von rund 291.910 t FS pro Jahr. Mit Hilfe der angegebenen Klärschlamm-trockensubstanzgehalte der einzelnen Kläranlagen (siehe Kapitel 2.1.2.3) konnte eine Klärschlammverwertungsmenge von rund 24.030 Tonnen Trockensubstanz pro Jahr ermittelt werden.

Vergleicht man die im Jahre 2005 verwertete Menge an kommunalem Klärschlamm mit jener des Jahres 2004 (25.923 t TS/a; siehe Kapitel 2.1.2.1) ergibt sich eine Differenz von rund 1.900 t TS/a. Der Unterschied könnte auf die bereits erwähnte Tatsache zurückgeführt werden, dass einzelne Kläranlagenbetreiber ihre jährlich verwerteten Klärschlamm-mengen verspätet bekannt geben. Diese Vermutung wird dadurch bestätigt, dass in den Daten von 2005 nur rund 400 von insgesamt mehr als 500 Kläranlagen in der Steiermark erfasst sind.

Zur weiteren Beurteilung des vorliegenden Datenmaterials wurde für den Zeitraum 2004 und 2005 ein Vergleich der einzelnen Klärschlammverwertungspfade der Steiermark durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass in den Daten aus dem Jahre 2005 keine Aufschlüsselung der Klärschlammverwertung durch Dritte auf die einzelnen Verwertungswege verfügbar ist, wurden zunächst die Mengen an direktem und durch Dritte verwertetem Klärschlamm gegenüber gestellt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Vergleich der direkt verwerteten Klärschlammengen mit den durch Dritte verwerteten Klärschlammengen in der Steiermark für die Jahre 2004 und 2005

Erläuterungen: Quelle: FA 19A. In den Daten aus dem Jahre 2005 erfolgte keine Aufteilung der Klärschlammverwertung durch Dritte auf die einzelnen Entsorgungswege.

Klärschlammverwertungswege steiermärkischer Kläranlagen	Verwerteter Klärschlamm 2004 [t TS/a]	Verwerteter Klärschlamm 2005 [t TS/a]
Klärschlammverwertung direkt	6.410	4.315
<i>Landwirtschaft direkt</i>	2.369	2.501
<i>Landschaftsbau direkt</i>	2.831	985
<i>Deponierung direkt</i>	1.121	824
<i>Thermische Verwertung direkt</i>	0	3
<i>Sonstige Verwertung direkt</i>	89	2
Klärschlammverwertung durch Dritte	17.418	18.528
Zwischenlagerung	2.095	1.178
Gesamte Klärschlammverwertungsmenge in der Steiermark	25.923	24.021

Die Gegenüberstellung zeigt eine gute Übereinstimmung der beiden Datensätze. Die Daten sind daher als plausibel einzustufen. Im Jahr 2005 war der Anteil der Klärschlammverwertung durch Dritte mit 77% um rund 10%-Punkte höher als 2004. Die direkt verwerteten und zwischengelagerten Klärschlammengen nahmen 2005 gegenüber 2004 etwas ab.

Aufgrund der Vergleichbarkeit kann für eine erste Näherung angenommen werden, dass sich die im Jahr 2005 durch Dritte verwerteten Klärschlammengen in ähnlicher Weise wie 2004 auf die einzelnen Verwertungswege aufteilen. Demnach wurden die 18.528 t TS/a, die 2005 durch Dritte verwertet wurden, gemäß der in Tabelle 3 dargestellten prozentuellen Aufteilung auf die einzelnen Verwertungswege für das Jahr 2004 (Landwirtschaft 17,34%, Landschaftsbau 41,33%, Deponie 9,38%, thermische Verwertung 28,68%, sonstige Verwertung 3,27%) aufgegliedert und zu den entsprechenden direkt verwerteten Klärschlammengen 2005 addiert.

Das Ergebnis dieser Hochrechnung wurde mittels einer Gegenüberstellung der Verwertungsmengen der Klärschlammverwertungswege der Steiermark 2004 und 2005 in Abbildung 3 graphisch dargestellt. Demnach gibt es lediglich bei der Verwertung im Landwirtschaftsbau und der Zwischenlagerung, wo die verwerteten Klärschlammengen jeweils 2005 gegenüber 2004 zurückgingen, signifikante Unterschiede.

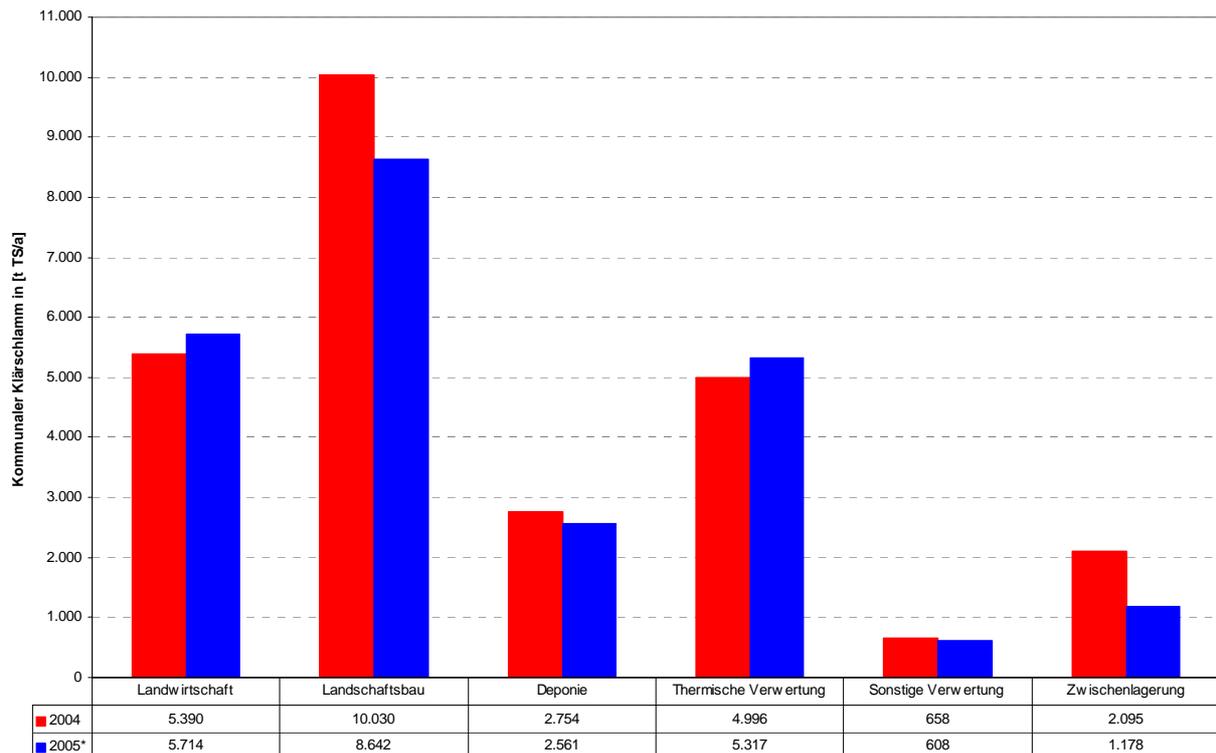


Abbildung 3: Vergleich der Verwertungswege des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark 2004 - 2005

Erläuterung: Quelle: FA 19A; * Für das Jahr 2005 wurden die Klärschlammverwertungsmengen der einzelnen Verwertungswege mit Hilfe der Klärschlammverwertungswege über Dritte 2004 ermittelt (siehe oben).

2.1.2.3 Trockensubstanzgehalte des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark 2005

Die Daten über Trockensubstanzgehalte von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark wurden gemeinsam mit den Daten über die Klärschlammverwertung im Jahre 2005 von der FA 19A übermittelt.

Die zur Verfügung gestellten Klärschlamm-trockensubstanzgehalte dienen, wie im Kapitel 2.1.2 erwähnt, zur Umrechnung der Klärschlammverwertungsmengen der Steiermark 2005 von Tonnen Frischsubstanz auf Tonnen Trockensubstanz. Frischsubstanz- und Trockensubstanzmengen gegliedert nach Verwertungswegen und die korrespondierenden Trockensubstanzgehalte des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Kommunale Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte bei Abtransport aus den Kläranlagen in der Steiermark 2005

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; die angegebenen Trockensubstanzgehalte geben die mengengewichteten Trockensubstanzgehalte der Klärschlämme zum Zeitpunkt des Abtransports aus den Kläranlagen wieder.
 * Aufgrund fehlender Aufschlüsselung auf einzelne Klärschlammverwertungswege wurde die Klärschlammverwertungsmenge über Dritte 2005 als Gesamtverwertungsmenge angegeben.

Klärschlammverwertungswege steiermärkischer Kläranlagen	Verwerteter Klärschlamm [t FS/a]	Mengengew. KS-TS-Gehalt [% TS]	Verwerteter Klärschlamm [t TS/a]
Landwirtschaft direkt	28.201	8,87	2.501
Landschaftsbau direkt	4.250	23,17	985
Deponierung direkt	3.945	20,88	824
Thermische Verwertung direkt	13	24,00	3
Sonstige Verwertung direkt	41	5,63	2
Zwischenlagerung	32.165	3,66	1.178
Gesamt-Klärschlammverwertung über Dritte*	223.293	8,30	18.528
Gesamt Klärschlammverwertungsmenge in der Steiermark 2005	291.908	8,23	24.021
Statistische Auswertung Trockensubstanzgehalt		[% TS]	
Median		5,00	
1. Quartile		3,00	
Minimaler Messwert		0,42	
Maximaler Messwert		90,00	
3. Quartile		22,88	
Arithmetisches Mittel		12,39	
Standardabweichung		12,84	

Gemäß Tabelle 5 liegt der durchschnittliche Klärschlamm-trockensubstanzgehalt in der Steiermark bei 12,39 % TS mit einer Schwankungsbreite von 12,84 % TS. Die Unterschiede in der Klärschlamm-trockensubstanz ergeben sich durch unterschiedliche Entwässerungsmethoden in den einzelnen Kläranlagen. Werte mit extrem niedrigen Trockensubstanzgehalten könnten durch Probenahmen vor der Entwässerung oder Messfehlern erklärbar sein. Durch Eindickung kann ein Trockensubstanzgehalt von 2% bis 5%, mittels mechanischer Entwässerungsmethoden ein Trockensubstanzgehalt von bis zu 35% erreicht werden. Höhere Trockensubstanzgehalte können nur durch Trocknung erreicht werden.

Der vom Umweltbundesamt angegebene durchschnittliche Trockensubstanzgehalt liegt mit $28,93 \pm 13,71$ % TS [2] deutlich über dem Mittelwert der Daten der FA 19A. Die Schwankungsbereiche (Mittelwerte \pm Standardabweichung) aus den beiden Quellen überlappen sich aber, somit können die Werte der FA 19A als plausibel eingestuft werden.

Die Abweichung kann vermutlich damit erklärt werden, dass bei den vom Umweltbundesamt untersuchten Kläranlagen der Anteil kleinerer Kläranlagen (mit tendenziell niedrigen Klärschlamm-trockensubstanzgehalten) geringer ist als bei den von der FA 19A untersuchten Kläranlagen (etwa 81% weisen ein jährliches Klärschlammaufkommen unter 50 t TS auf). Eine genaue Aufschlüsselung der Werte nach Anlagengröße bzw. Art der Klärschlammaufbereitung liegt vom Umweltbundesamt allerdings nicht vor.

Aufgrund der Tatsache, dass die von der FA 19A bereitgestellten Klärschlamm-trockensubstanzgehalte nur die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt des Abtransportes aus den Kläranlagen darstellen, aber nachgeschaltete Entwässerungs- und Trocknungsprozesse nicht

berücksichtigen, geben diese Daten nur bedingt Auskunft über die tatsächlichen Trockensubstanzgehalte von behandeltem Klärschlamm in der Steiermark.

Im Falle der Kläranlage Graz-Gössendorf wird zum Beispiel der stabilisierte Nassschlamm von den Kläranlagenbetreibern nicht direkt verwertet, sondern an die AEVG (Abfall-, Entsorgungs- und Verwertungs-GmbH) übergeben. Diese betreibt am Standort der Kläranlage eine Anlage zur Behandlung von Klärschlamm, die den Klärschlamm direkt nach Verlassen der Kläranlage übernimmt, entwässert und auf einen Trockensubstanzgehalt von etwa 90% trocknet (siehe auch Kapitel 2.1.2.1). In den vorliegenden Daten aus dem Jahre 2005 scheint die Kläranlage Graz-Gössendorf demnach mit einem Klärschlammmanfall von 148.700 t FS/a bei einem Trockensubstanzgehalt von 3,5 % TS bei Abtransport aus der Kläranlage auf.

Dieser hohe Anteil an nicht entwässertem Schlamm beeinflusst den mengengewichteten Klärschlamm-trockensubstanzgehalt erheblich und erklärt den im Vergleich zum Mittelwert geringen Wert von nur 8,23 % TS. Ohne Berücksichtigung von Graz-Gössendorf liegt der steiermarkweite mengengewichtete Klärschlamm-trockensubstanzgehalt bei 13,14 %.

Eine weitere Analyse der Daten zeigt, dass abgesehen von der Kläranlage Graz-Gössendorf der Trockensubstanzgehalt des kommunalen Klärschlammes mit der Kläranlagengröße ansteigt (siehe Abbildung 4). Dieser Trend wird auch durch die Daten des Umweltbundesamts weitgehend bestätigt [2]. Dies kann damit erklärt werden, dass hauptsächlich kleinere Kläranlagen (jährliches Klärschlammaufkommen < 50 t TS) den anfallenden Klärschlamm direkt über die Landwirtschaft verwerten (hier ist keine Entwässerung notwendig), während größere Kläranlagen (jährliches Klärschlammaufkommen > 50 t TS) zunehmend andere Verwertungswege wählen bzw. den Klärschlamm über weitere Distanzen transportieren müssen, was eine vorherige Entwässerung sinnvoll oder notwendig macht.

Der Klärschlamm-trockensubstanzgehalt spielt neben der Kläranlagengröße eine wichtige Rolle bei der Auswahl der Kläranlagen für ein Steiermarkweites Klärschlammverwertungskonzept (siehe Kapitel 2.2.2.2). Da, wie in Kapitel 2.2.2.2 erläutert, nur Kläranlagen mit einem jährlichen Klärschlammaufkommen von mindestens 50 t TS für die Ermittlung des verwertbaren Klärschlamm-potenzials berücksichtigt werden, wurden die Trockensubstanzgehalte dieser Gruppe separat untersucht. Demnach liegt der mengengewichtete Klärschlamm-trockensubstanzgehalt dieser Gruppe (ohne Graz-Gössendorf) bei 19,17 % und somit deutlich über dem in Tabelle 5 angeführten Wert für die gesamte Steiermark. Für weitere Details dazu siehe Kapitel 2.2.2.4.

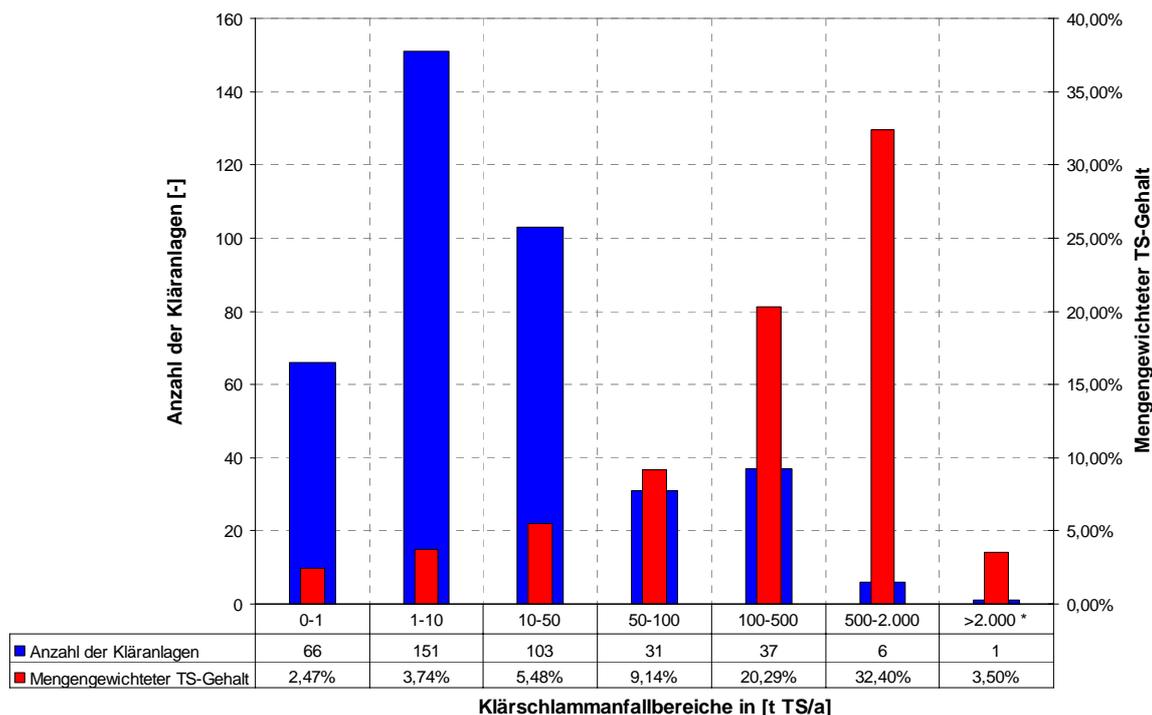


Abbildung 4: Abhängigkeit des Klärschlamm-trockensubstanzgehalts von der Kläranlagen-größe (Stand 2005)

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Die Verbandskläranlagen Gratkorn (10.080 t TS) und Pöls (3.300 t TS) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Da die Daten über den Trockensubstanzgehalt von der FA 19A nur für ein Jahr zur Verfügung gestellt werden konnten, sind Aussagen über die zeitliche Entwicklung des Klärschlamm-trockensubstanzgehaltes anhand dieser Daten nicht möglich. Die von der FA 10B zur Verfügung gestellten anonymisierten Daten über Klärschlamm-trockensubstanzgehalte im kommunalen Klärschlamm (siehe Kapitel 2.1.5) zeigen über einen Zeitraum von 2001 bis 2006 keinen statistisch signifikanten Trend. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Daten der FA 19A aus dem Jahre 2005 repräsentativ sind.

Laut den Informationen von Herrn Kohl (Geschäftsführer des Abwasserverbandes Leibnitzerfeld Süd) ist zwar ein leichter Rückgang beim TS-Gehalt des mechanisch entwässerten Klärschlammes in der Steiermark in den nächsten Jahren zu erwarten, da die bisher häufig eingesetzten Kammerfilterpressen (30 bis 35% TS) derzeit durch Dekanter (25 bis 30% TS) ersetzt werden [3]. Andererseits wird langfristig mit einem Rückgang des Einsatzes von Klärschlamm in der Landwirtschaft gerechnet, wodurch der Anteil an mechanisch entwässertem Klärschlamm insgesamt ansteigen wird. Bezogen auf den insgesamt anfallenden kommunalen Klärschlamm in der Steiermark wird sich der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt daher nicht wesentlich ändern.

Daher werden für die weiteren Berechnungen die Daten der FA 19 aus dem Jahre 2005 verwendet.

2.1.3 Verwertungs- und Entsorgungskosten von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark

Im Zuge der Recherchen zu dieser Studie wurden auch Informationen über Verwertungs- und Entsorgungskosten von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark erhoben. Die Daten dazu kamen zum einen von der Fa. UEG (Herr Mag. Hattenberger) [4] und zum anderen vom Abwasserverband Leibnitz Süd (Herr Ing. Kohl) [3].

Die gesammelten Daten sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Verwertungs- und Entsorgungskosten von kommunalem Klärschlamm in der Steiermark

Erläuterungen: Quellen: [3, 4]; Angaben exklusive Transportkosten; AWVL-S... Abwasserverband Leibnitz-Süd

Verwertungs-/ Entsorgungsweg	Einheit	Kosten	Anforderungen	Quelle
Landwirtschaft	[€/t FS]	40-50	Steirische Klärschlammverordnung	UEG
Kompostierung für kommunale Klärschlämme (Tabelle 2 b)	[€/t FS]	60-70	Kompostverordnung, Tabelle 2 b	UEG
Kompostierung für kommunale Klärschlämme (Tabelle 2 c)	[€/t FS]	50-60	Kompostverordnung, Tabelle 2 c	UEG
Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA)	[€/t FS]	100-120		UEG
Thermische Verwertung	[€/t FS]	55-75	je nach Qualität	UEG
Thermische Beseitigung	[€/t FS]	90-150	je nach Qualität	UEG
Thermische Verwertung Zementwerk	[€/t FS]	35	>80% TS	AWVL-S
Thermische Verwertung Kraftwerk	[€/t FS]	70-75	unabhängig von Qualität	AWVL-S
Thermische Beseitigung Müllverbrennungsanlage	[€/t FS]	105-115	unabhängig von Qualität	AWVL-S

Die Übersicht zeigt, dass die Entsorgungskosten zwischen den einzelnen Verwertungs- und Entsorgungswegen stark schwanken und abhängig von der Qualität des Klärschlammes (i.e. Trockensubstanzgehalt, Heizwert, Aschegehalt) auch innerhalb der einzelnen Verwertungs- und Entsorgungswege schwanken. Demnach ist die thermische Verwertung in einem Zementwerk mit 35 €/t FS am günstigsten, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass der Klärschlamm vorher auf einen Klärschlamm-trockensubstanzgehalt >80% getrocknet wird. Am teuersten sind die Entsorgung über MBA (mechanisch-biologische Abfallbehandlung), sowie die thermische Beseitigung.

Klärschlämme, welche die Anforderungen der Steirischen Klärschlammverordnung [5, in der gültigen Fassung] bzw. Kompostverordnung [6] einhalten, werden hauptsächlich direkt in der Landwirtschaft aufgebracht bzw. kompostiert. Hinsichtlich des erforderlichen minimalen Trockensubstanzgehalts des Klärschlammes für die einzelnen Verwertungswege wurden keine weiteren Angaben gemacht. Vor allem in der Landwirtschaft wird der Klärschlamm aber oft ohne vorherige Entwässerung (3 bis 5% Trockensubstanzgehalt) eingesetzt.

2.1.4 Schwermetallgehalte des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark

2.1.4.1 Analysedaten der FA 17C

Ein Teil der Basisdaten der Klärschlammzusammensetzung wurden von der FA 17C zur Verfügung gestellt, die als unabhängiges Umweltkontrollamt im Zeitraum von 1974-2003 den Klärschlamm auf Schwermetallkonzentrationen (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Mo, Cd und Hg) analysierte. Die Klärschlammanalysen beinhalten folgende Punkte:

- Mess- und Entnahmestelle des Klärschlammes,
- Messzeitraum,
- Art und Konzentration der untersuchten Schwermetalle (vgl. Tabelle 7 bis Tabelle 9).

Die FA 17C analysierte dabei im Beobachtungszeitraum von 1996-2001 jährlich zwischen 80 und 260 Anlagen. Im Jahr 2002 wurden hingegen nur mehr 4 Kläranlagen analysiert und im Jahr 2003 schließlich nur mehr eine Kläranlage. Aufgrund der geringen Anzahl der Analysen in den Jahren 2002 und 2003 wurden diese für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Laut Auskunft von Fr. Dr. Winter wurden die Klärschlammuntersuchungen stets mit denselben Messmethoden im eigenen Labor durchgeführt. Dadurch konnte die objektive Vergleichbarkeit einzelner Kläranlagen gewährleistet werden. Diese Analysedaten dienten zur Darstellung des Verlaufs des Schwermetallgehalte der vergangenen Jahre und zur Auswertung eventueller Grenzwertüberschreitungen.

2.1.4.2 Analysedaten der FA 19A

Weitere Daten über Schwermetallgehalte (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Mo, Cd und Hg sowie zusätzlich Fe, Mn) lieferte die FA 19A. Diese Analysedaten dienten einerseits ebenfalls zur Betrachtung der Entwicklung des Steiermärkischen Klärschlammes im Zeitraum 1996-2005 und zum anderen zur Überprüfung der Plausibilität der Messwerte der FA 17C. Das Klärschlammmaterial gab Aufschluss über:

- Messstelle und -zeitraum des Klärschlammes und
- Konzentration der untersuchten Schwermetalle (vgl. Tabelle 7 bis Tabelle 9).

Die von der FA 19 zur Verfügung gestellten Daten stellen eine Sammlung der von den Kläranlagenbetreibern selbst durchgeführten Analysen dar. Die Messwerte stammen ausschließlich von Klärschlämmen, die für die Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen bzw. die Kompostierung bestimmt waren. Im Beobachtungszeitraum von 1996-2005 übermittelten jährlich zwischen 74 und 114 Kläranlagenbetreiber Analysedaten an die FA 19A. Die eingesetzten Messmethoden sind aufgrund der unterschiedlichen Herkunft der Analysen möglicherweise nicht einheitlich.

2.1.4.3 Plausibilitätsprüfung und Diskussion der Analyseergebnisse

Zur Bewertung der Schwermetall-Messwerte wurde eine Grenzwertbetrachtung laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung LGBl. Nr. 89/1987 durchgeführt, bei der jede Grenzwertüberschreitung aufgenommen wurde. Eine Auswertung der Grenzwertüberschreitungen ergab, dass im Laufe der Jahre die Grenzüberschreitungen bzgl. Schwermetallgehalte kontinuierlich zurückgingen.

Weiters erfolgte ein Vergleich der Messwerteaufzeichnungen beider Fachabteilungen. Hierbei wurden zunächst jene Kläranlagen ermittelt, von denen von beiden Fachabteilungen im gleichen Zeitraum Daten verfügbar waren. Im Schnitt waren im Zeitraum von 1996-2001 pro Jahr Analysedaten von 77 Kläranlagen von beiden Fachabteilungen verfügbar. Der Vergleich der Messergebnisse zeigte, dass bzgl. der Schwermetalle Zn, Cu, Cr, Mo, Cd und Hg durchwegs große Abweichungen (zum Teil von über 100%) festgestellt werden konnten.

Dies könnte auf folgende Ursachen zurückzuführen sein:

- Unterschiedlicher Zeitpunkt der Klärschlammprobenahme beider Fachabteilungen (saisonale Schwankungen der Schwermetallgehalte).
- Unterschiedliche Messmethoden (einheitliche Messmethode der FA 17C gegenüber Messungen der einzelnen Kläranlagenbetreiber).

Die Daten der FA 19A stammen nur von Klärschlämmen, die für die Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen bzw. die Kompostierung vorgesehen sind. Im Gegensatz dazu stammen die Daten der FA 17C zusätzlich auch von Klärschlämmen mit anderen Verwertungswegen. Dies zeigt sich auch in der Tatsache, dass vor allem bei den hinsichtlich der Grenzwertüberschreitungen kritischen Schwermetallen (z.B. Zn, Cu) die Werte der FA 17C tendenziell über jenen der von der FA 19A gesammelten Messwerte liegen. Darüber hinaus analysiert die FA 17C als unabhängiges Umweltkontrollorgan den Klärschlamm jeder einzelnen Kläranlage stets mit einer standardisierten Messmethode, im Gegensatz dazu werden die Messwerte der FA 19A von den Kläranlagenbetreibern selbst bereit gestellt. Aufgrund der oben genannten Gründe sind die Klärschlammanalysen der Fachabteilung für Technische Umweltkontrolle und Sicherheitswesen (FA 17C) als repräsentativer für die gesamte Steiermark einzustufen.

Aus diesem Grund wurden für den weiteren Datenvergleich und die weitere Diskussion nur mehr die Werte der FA 17C verwendet.

In Tabelle 7 bis Tabelle 9 ist die Entwicklung der Schwermetallgehalte des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark im Zeitraum 1996-2005 auf Basis der Analysedaten beider Fachabteilungen (FA 17C und FA 19A) dargestellt. In Abbildung 5 bis Abbildung 13 ist die Entwicklung der Schwermetallkonzentrationen auf Basis der Analysedaten der FA 17C auch graphisch dargestellt.

Tabelle 7: Entwicklung der Konzentrationen von Zn, Cu und Cr im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm-1996-2005

Erläuterungen: Gegenüberstellung der Daten der FA 17C und 19A; die Spalte 1996-2001 bzw. 1996-2005 berücksichtigt alle Werte innerhalb des jeweiligen Betrachtungszeitraums.

Zn [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	1.070,00	990,00	874,50	870,00	899,00	985,50	953,00
1. Quartile	838,00	800,00	677,50	709,00	724,00	837,00	739,50
Minimaler Messwert	281,00	285,00	149,00	257,00	228,00	337,00	149,00
Maximaler Messwert	3.670,00	4.134,00	3.789,00	5.000,00	2.155,00	5.001,00	5.001,00
3. Quartile	1.350,00	1.218,50	1.125,75	1.147,00	1.093,00	1.207,50	1.190,00
Mittelwert	1.113,46	1.060,84	955,27	964,67	922,62	1.108,86	1.021,81
Standardabweichung	458,52	521,25	438,37	518,91	321,26	737,72	537,46

Zn [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	984,50	855,30	807,11	849,29	795,50	807,00	644,00	608,00	643,00	646,25	789,09
1. Quartile	659,90	541,88	592,63	627,75	613,38	547,09	450,00	430,25	435,00	441,76	527,00
Minimaler Messwert	1,23	39,44	126,00	39,82	58,79	0,44	7,51	1,13	9,64	4,40	0,44
Maximaler Messwert	3.670,00	6.220,00	3.789,00	1.949,50	2.057,00	1.803,00	1.698,00	2.000,00	1.695,00	1.413,00	6.220,00
3. Quartile	1.267,25	1.190,50	971,14	1.147,05	1.078,50	952,50	953,00	982,00	863,00	918,34	1.057,50
Mittelwert	973,16	876,75	798,93	871,50	859,81	724,45	705,10	713,90	674,34	619,67	800,03
Standardabweichung	522,22	684,53	465,80	393,45	410,98	382,23	356,47	397,96	341,58	330,59	464,24

Cu [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	206,00	174,00	163,00	161,00	167,50	192,00	175,00
1. Quartile	168,25	139,00	125,50	123,00	133,50	141,50	134,00
Minimaler Messwert	41,00	38,00	35,00	43,00	25,00	70,00	25,00
Maximaler Messwert	801,00	1.276,00	903,00	1.850,00	669,00	485,00	2.001,00
3. Quartile	254,50	216,00	207,00	227,00	221,50	225,00	223,00
Mittelwert	220,77	194,41	180,32	191,39	188,36	197,70	195,72
Standardabweichung	98,32	117,65	95,57	145,94	91,02	76,15	122,39

Cu [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	170,00	166,30	160,00	155,00	151,50	152,00	150,00	158,19	146,52	153,00	156,50
1. Quartile	118,00	115,80	120,00	117,25	115,50	129,25	119,00	117,00	104,00	120,25	116,00
Minimaler Messwert	27,90	24,00	22,00	26,00	5,98	0,09	40,73	1,20	57,86	59,55	0,09
Maximaler Messwert	500,00	500,00	611,08	1.667,00	669,00	479,00	420,00	500,00	440,20	455,50	1.667,00
3. Quartile	216,50	229,00	222,25	211,17	201,50	195,00	199,00	200,00	189,00	210,06	209,25
Mittelwert	177,01	172,69	175,14	191,91	173,35	154,93	159,35	162,21	158,34	160,80	170,30
Standardabweichung	94,32	101,60	105,66	174,66	94,83	77,18	75,10	82,40	80,26	81,49	104,00

Cr [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	48,50	46,00	44,00	45,00	41,50	41,00	45,00
1. Quartile	37,25	37,50	36,00	34,00	31,00	31,50	35,00
Minimaler Messwert	18,00	13,00	17,00	12,00	13,00	14,00	12,00
Maximaler Messwert	229,00	163,00	1.373,00	1.090,00	342,00	1.677,00	1.677,00
3. Quartile	60,00	57,50	58,50	64,00	55,75	51,50	59,00
Mittelwert	54,15	48,58	56,54	55,90	49,80	82,73	55,22
Standardabweichung	26,60	18,14	86,09	73,65	35,01	242,30	83,97

Cr [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	42,00	36,90	37,00	39,62	36,00	28,00	27,20	24,75	24,90	26,70	33,00
1. Quartile	33,00	27,20	26,00	29,13	25,90	22,98	17,70	15,70	18,20	20,93	23,00
minimaler Messwert	0,10	0,30	0,50	1,99	10,46	0,02	2,58	1,78	11,80	7,30	0,02
maximaler Messwert	500,00	500,00	150,00	455,00	455,00	312,00	123,09	500,00	103,00	168,20	500,00
3. Quartile	62,25	52,30	49,75	56,47	46,70	41,34	35,10	35,08	35,75	33,00	46,40
Mittelwert	51,99	46,69	39,48	52,79	46,19	42,23	28,43	32,57	27,93	27,46	41,05
Standardabweichung	50,18	59,90	23,20	56,60	54,94	56,23	18,22	57,63	16,09	20,71	46,87

Tabelle 8: Entwicklung der Konzentrationen von Pb, Ni und Co im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm-1996-2005

Erläuterungen: Gegenüberstellung der Daten der FA 17C und 19A; die Spalte 1996-2001 bzw. 1996-2005 berücksichtigt alle Werte innerhalb des jeweiligen Betrachtungszeitraums.

Pb [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	54,00	47,00	46,00	46,00	43,00	44,00	47,00
1. Quartile	39,00	39,00	35,00	35,00	32,00	33,50	36,00
Minimaler Messwert	12,00	16,00	10,00	10,00	5,00	3,99	3,99
Maximaler Messwert	213,00	165,00	579,00	449,00	171,00	495,00	579,00
3. Quartile	74,00	62,00	63,50	62,00	56,00	65,00	64,00
Mittelwert	61,62	54,09	55,13	52,74	47,42	57,37	54,29
Standardabweichung	31,13	24,32	43,32	37,71	25,01	57,83	36,15

Pb [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	50,00	41,70	41,30	43,80	40,74	33,00	35,55	36,49	30,30	29,83	38,25
1. Quartile	35,15	32,45	29,50	28,74	27,13	23,95	26,70	26,95	24,00	24,05	27,50
Minimaler Messwert	9,77	0,06	6,51	5,50	3,48	0,05	4,70	9,69	9,69	8,08	0,05
Maximaler Messwert	500,00	500,00	205,00	258,00	256,00	204,50	233,00	500,00	111,00	174,85	500,00
3. Quartile	69,95	58,05	56,86	65,37	59,25	48,50	45,00	49,50	39,50	38,06	55,65
Mittelwert	60,88	53,02	44,72	53,58	52,80	38,72	41,39	49,34	32,53	33,49	47,38
Standardabweichung	56,71	61,36	27,29	42,76	45,06	33,03	31,94	64,29	16,01	27,00	45,00

Ni [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	33,50	30,00	30,00	31,00	29,00	32,00	31,00
1. Quartile	25,25	24,00	23,00	23,00	23,00	26,00	24,00
Minimaler Messwert	10,00	9,00	9,00	10,00	8,00	16,00	8,00
Maximaler Messwert	176,00	132,00	197,00	543,00	120,00	72,00	543,00
3. Quartile	42,75	37,50	39,50	44,00	38,75	38,50	40,00
Mittelwert	40,36	34,21	36,16	38,74	34,24	34,00	36,54
Standardabweichung	27,31	19,26	24,59	39,47	19,35	10,98	26,67

Ni [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	32,60	29,00	27,00	30,00	28,00	23,90	22,70	22,45	23,50	25,63	26,00
1. Quartile	21,95	23,00	21,29	21,95	21,50	16,12	18,00	18,17	16,50	19,00	19,45
Minimaler Messwert	10,00	0,02	8,70	4,00	3,00	0,01	2,70	5,20	1,70	6,80	0,01
Maximaler Messwert	130,00	140,00	93,96	99,00	105,00	74,30	90,40	100,00	99,00	70,50	140,00
3. Quartile	41,65	39,00	35,50	39,50	35,85	30,42	27,00	30,42	32,00	32,81	36,00
Mittelwert	36,06	32,08	29,82	35,33	31,27	24,79	24,87	26,25	26,64	25,77	29,97
Standardabweichung	22,18	21,77	15,97	20,05	16,57	15,46	14,46	16,64	16,67	13,94	18,32

Co [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	5,50	5,70	5,30	5,50	5,20	5,70	5,50
1. Quartile	3,70	4,10	3,90	3,80	3,90	4,60	4,00
Minimaler Messwert	1,00	1,10	1,50	1,20	1,30	1,60	0,79
Maximaler Messwert	99,80	82,20	91,10	64,40	54,50	43,00	99,80
3. Quartile	8,98	7,80	8,25	8,40	8,08	8,60	8,30
Mittelwert	8,03	7,56	7,71	7,40	6,93	8,08	7,56
Standardabweichung	10,48	7,76	8,09	7,51	6,45	7,12	8,03

Co [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	6,70	8,40	6,30	6,55	6,73	5,70	5,34	5,21	5,60	5,50	6,12
1. Quartile	4,05	3,40	3,60	3,73	3,63	3,47	3,60	3,24	3,27	3,82	3,60
Minimaler Messwert	0,01	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	1,10	0,32	1,85	1,03	0,01
Maximaler Messwert	100,00	602,00	39,29	62,30	512,00	61,00	24,40	100,00	242,00	34,40	602,00
3. Quartile	11,95	15,10	10,51	14,55	14,76	10,00	7,73	8,78	9,44	10,22	11,90
Mittelwert	10,81	18,58	7,85	10,88	14,39	7,12	6,88	7,78	10,18	6,61	10,53
Standardabweichung	16,55	65,52	6,63	11,26	50,63	8,04	5,32	12,47	29,47	6,04	30,94

Tabelle 9: Entwicklung der Konzentrationen von Mo, Cd und Hg im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm-1996-2005

Erläuterungen: Gegenüberstellung der Daten der FA 17C und 19A; die Spalte 1996-2001 bzw. 1996-2005 berücksichtigt alle Werte innerhalb des jeweiligen Betrachtungszeitraums.

Mo [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	3,50	4,10	4,00	3,90	3,50	3,30	3,70
1. Quartile	2,50	3,40	3,20	3,20	2,40	2,30	2,90
Minimaler Messwert	1,00	1,40	1,00	1,10	1,00	0,99	0,99
Maximaler Messwert	46,00	25,30	124,90	72,60	42,70	53,00	124,90
3. Quartile	4,50	5,20	5,23	5,00	4,35	5,00	4,90
Mittelwert	3,96	4,90	5,32	4,62	4,03	5,21	4,68
Standardabweichung	4,44	3,55	8,69	5,26	5,27	7,99	6,03

Mo [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	5,15	4,37	4,33	4,50	3,30	4,42	2,87	3,04	3,19	3,39	3,80
1. Quartile	2,95	2,67	2,98	3,28	2,35	2,34	1,96	1,80	1,64	2,25	2,45
Minimaler Messwert	0,70	0,10	0,01	0,60	0,80	0,02	0,02	0,10	0,19	0,51	0,01
Maximaler Messwert	33,20	20,00	124,90	13,00	29,80	17,10	90,86	90,86	16,00	27,00	124,90
3. Quartile	8,28	7,38	6,40	5,70	5,92	6,57	5,37	4,93	4,25	4,30	5,92
Mittelwert	5,95	5,08	5,63	4,73	4,77	4,59	5,07	4,69	3,12	3,25	4,80
Standardabweichung	4,66	4,15	11,83	2,28	4,26	3,85	10,72	10,86	2,47	3,83	6,87

Cd [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	1,30	1,10	0,80	1,00	1,10	1,10	1,00
1. Quartile	1,00	0,90	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80
Minimaler Messwert	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,39	0,39
Maximaler Messwert	4,60	2,80	8,40	10,60	8,30	6,30	10,60
3. Quartile	1,60	1,30	1,00	1,30	1,40	1,45	1,30
Mittelwert	1,30	1,15	0,89	1,06	1,15	1,20	1,11
Standardabweichung	0,49	0,37	0,68	0,85	0,83	0,79	0,70

Cd [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	1,26	1,00	1,00	1,20	1,02	0,92	0,85	0,83	0,73	0,66	0,96
1. Quartile	0,90	0,67	0,70	0,80	0,80	0,62	0,62	0,65	0,59	0,50	0,67
Minimaler Messwert	0,10	0,01	0,07	0,10	0,01	0,20	0,20	0,10	0,01	0,10	0,01
Maximaler Messwert	10,00	10,00	7,00	7,00	11,90	46,00	1,69	10,00	4,96	4,79	46,00
3. Quartile	1,70	1,71	1,53	1,52	1,52	1,25	1,12	1,04	1,03	0,99	1,40
Mittelwert	1,53	1,54	1,34	1,52	1,34	1,54	0,85	1,00	0,91	0,73	1,27
Standardabweichung	1,53	1,79	1,29	1,25	1,28	5,41	0,34	1,17	0,74	0,61	1,96

Hg [mg/kg TS]							
FA 17C	1996	1997	1998	1999	2000	2001	1996-2001
Median	1,50	2,20	2,00	1,30	1,00	0,90	1,40
1. Quartile	1,00	1,40	1,20	0,80	0,70	0,70	0,90
Minimaler Messwert	0,20	0,50	0,20	0,40	0,20	0,40	0,09
Maximaler Messwert	12,30	27,10	26,40	43,10	19,40	29,50	43,10
3. Quartile	2,30	3,65	3,25	2,20	1,50	1,80	2,50
Mittelwert	1,73	3,23	2,67	2,53	1,36	1,89	2,31
Standardabweichung	1,51	3,38	2,66	4,60	1,60	3,56	3,14

Hg [mg/kg TS]											
FA 19A	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	1996-2005
Median	1,20	1,30	1,20	1,16	1,00	0,76	0,97	0,86	0,73	0,60	0,98
1. Quartile	0,80	0,80	0,70	0,70	0,70	0,56	0,54	0,50	0,46	0,40	0,60
Minimaler Messwert	0,10	0,02	0,01	0,10	0,05	0,07	0,07	0,04	0,08	0,12	0,01
Maximaler Messwert	10,00	10,00	9,52	6,38	4,70	8,30	8,90	10,00	3,62	9,60	10,00
3. Quartile	2,00	2,27	2,10	1,76	1,40	1,18	1,30	1,73	1,10	0,91	1,70
Mittelwert	1,75	1,77	1,69	1,39	1,23	1,02	1,15	1,30	0,88	0,82	1,35
Standardabweichung	1,93	1,87	1,77	1,01	0,89	1,23	1,16	1,55	0,68	1,24	1,47

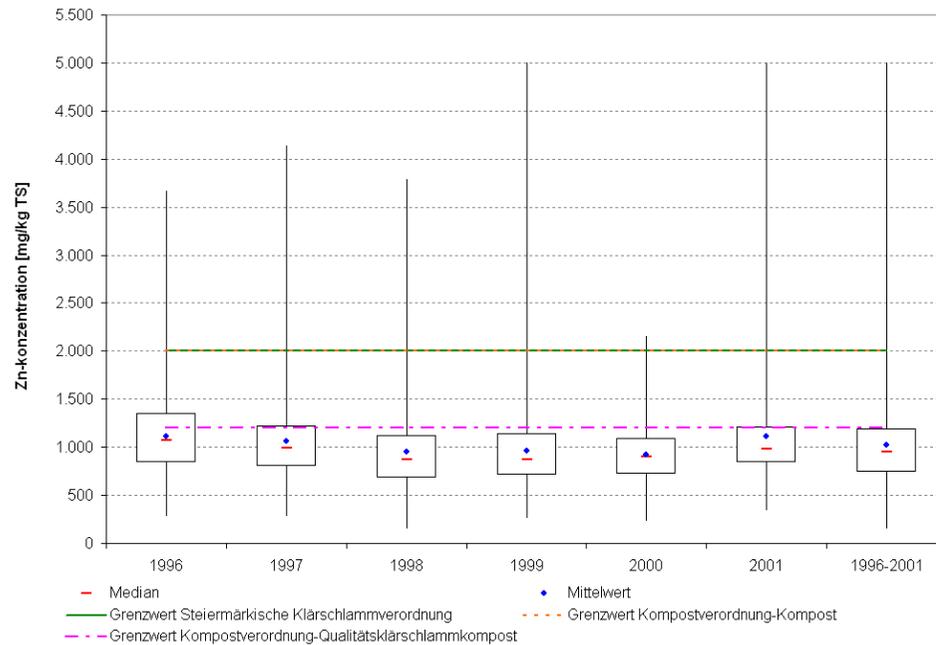


Abbildung 5: Entwicklung der Konzentrationen von Zn im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C, [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

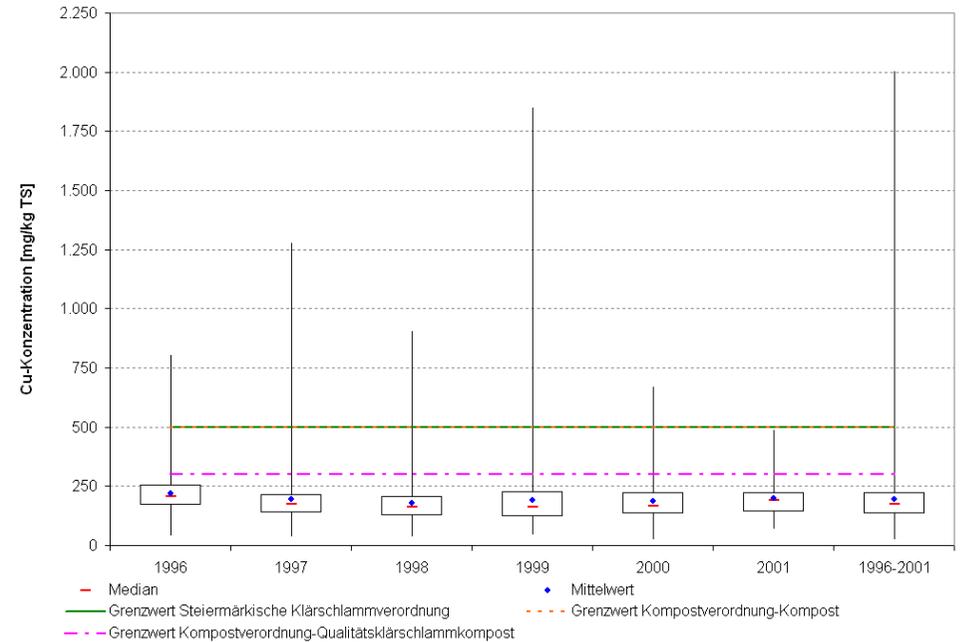


Abbildung 6: Entwicklung der Konzentrationen von Cu im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C, [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

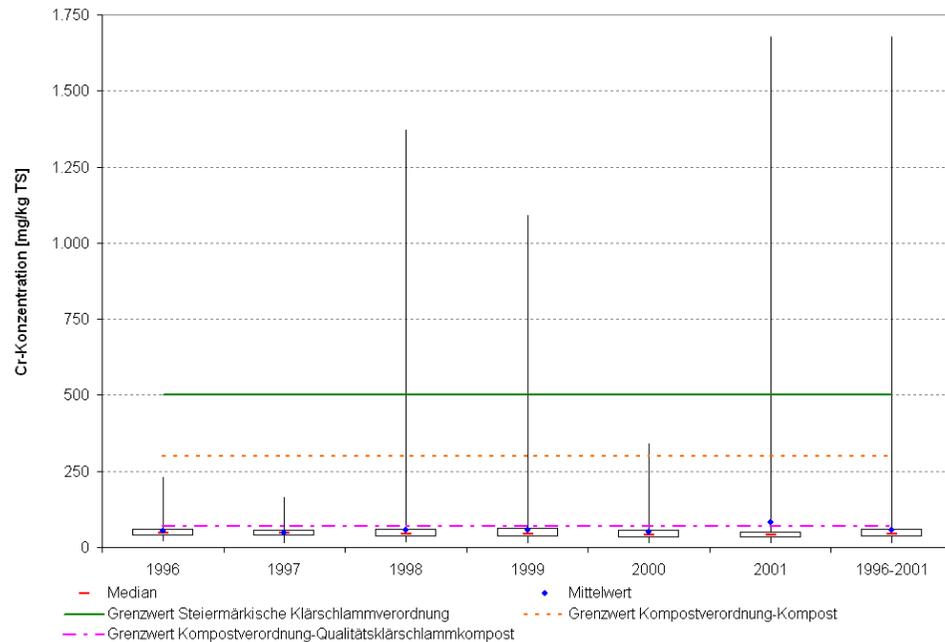


Abbildung 7: Entwicklung der Konzentrationen von Cr im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C, [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

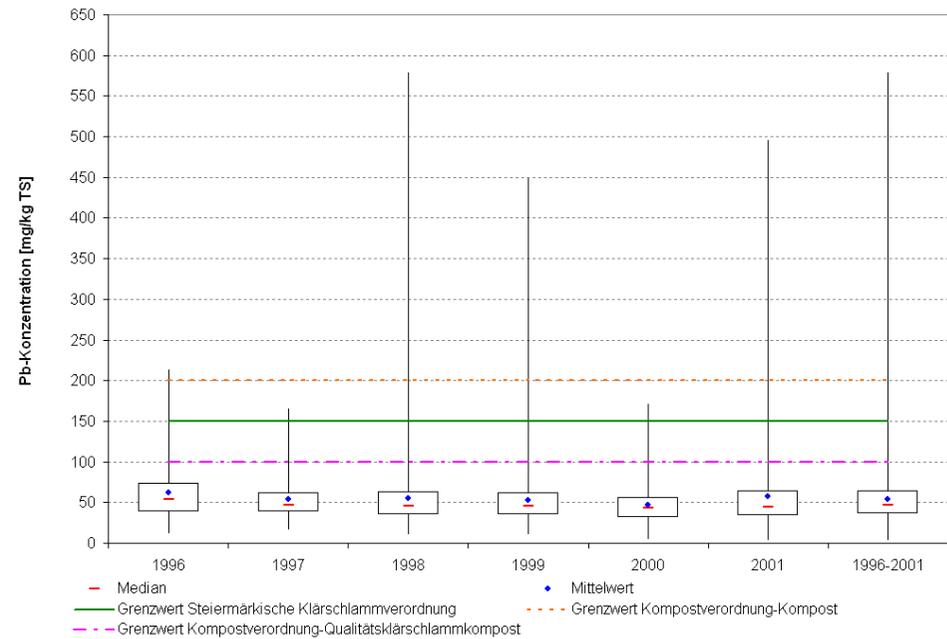


Abbildung 8: Entwicklung der Konzentrationen von Pb im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C, [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

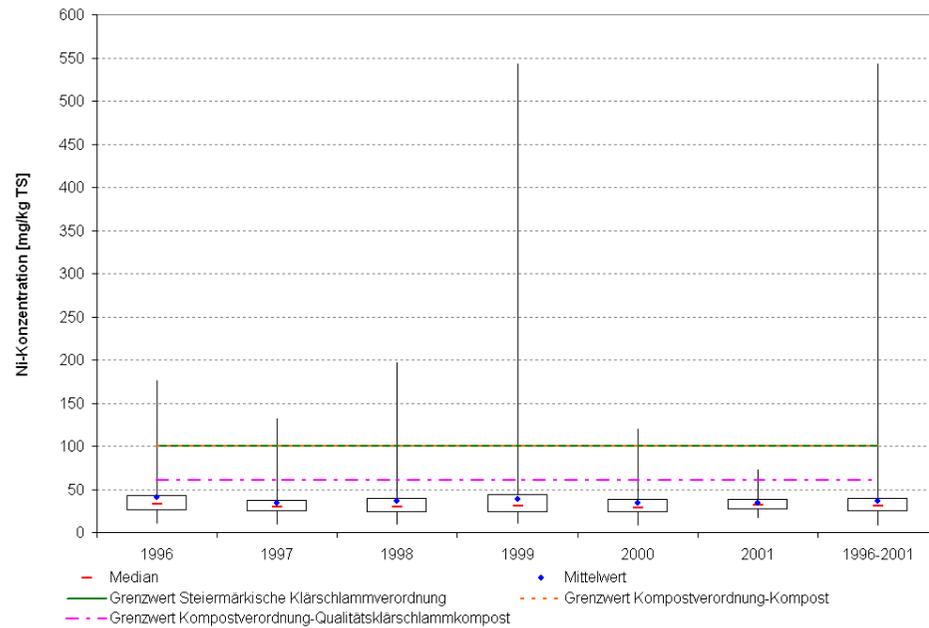


Abbildung 9: Entwicklung der Konzentrationen von Ni im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C, [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

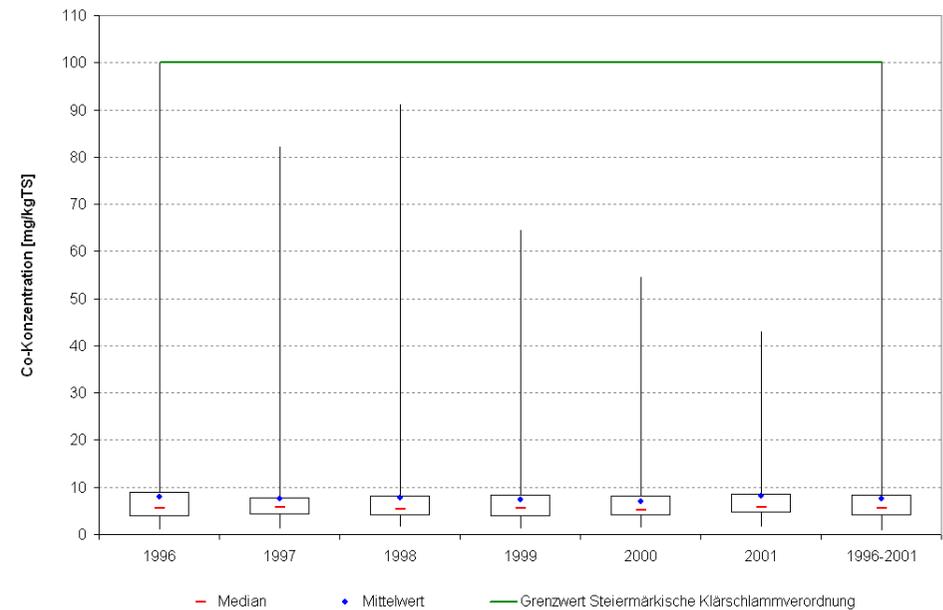


Abbildung 10: Entwicklung der Konzentrationen von Co im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zum Grenzwert laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C und [5]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001; in der Kompostverordnung des Bundes sind keine Grenzwerte für Co angeführt

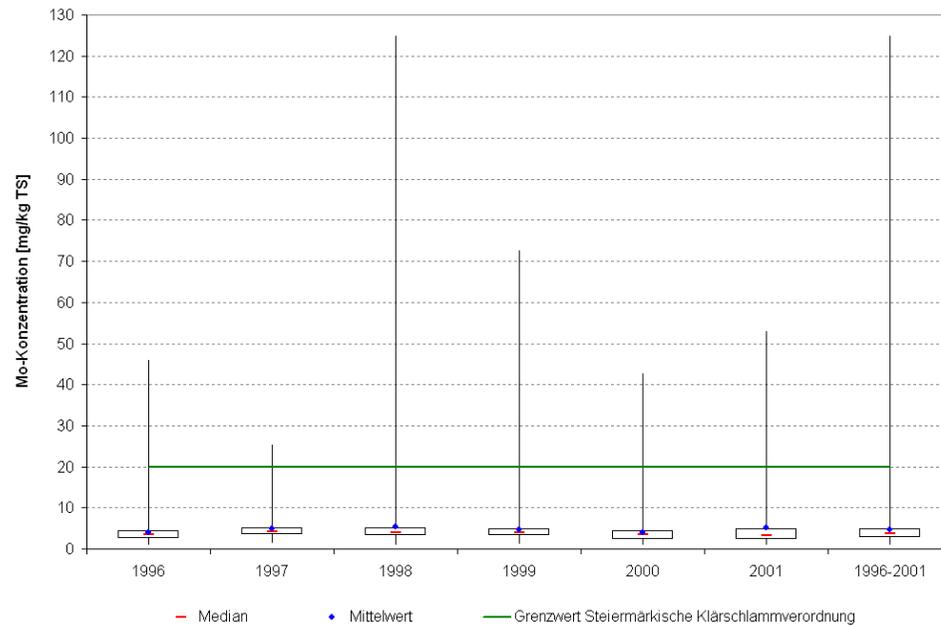


Abbildung 11: Entwicklung der Konzentrationen von Mo im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zum Grenzwert laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C und [5]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001; In der Kompostverordnung des Bundes sind keine Grenzwerte für Mo angeführt

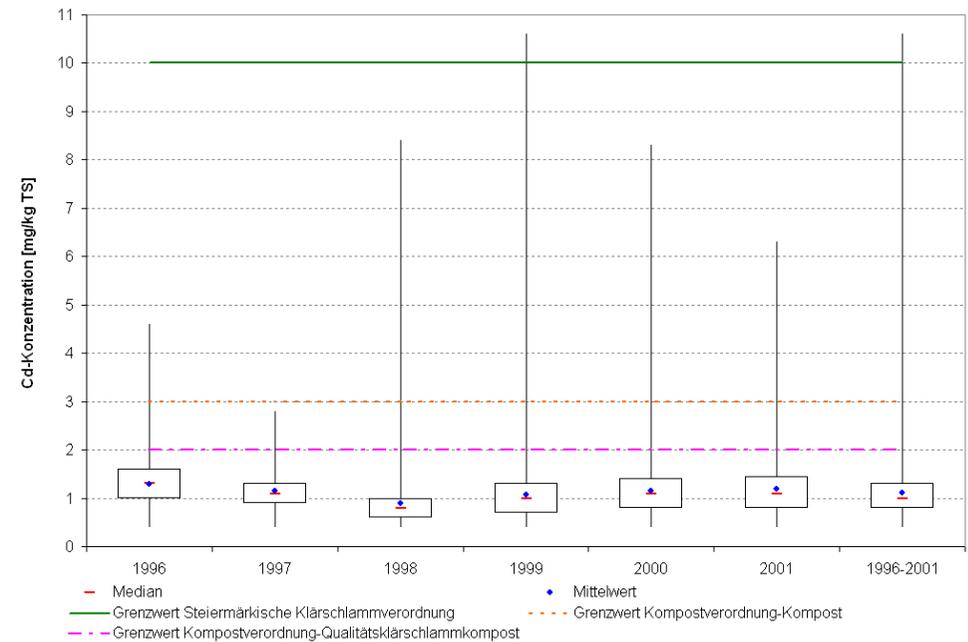


Abbildung 12: Entwicklung der Konzentrationen von Cd im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C, [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

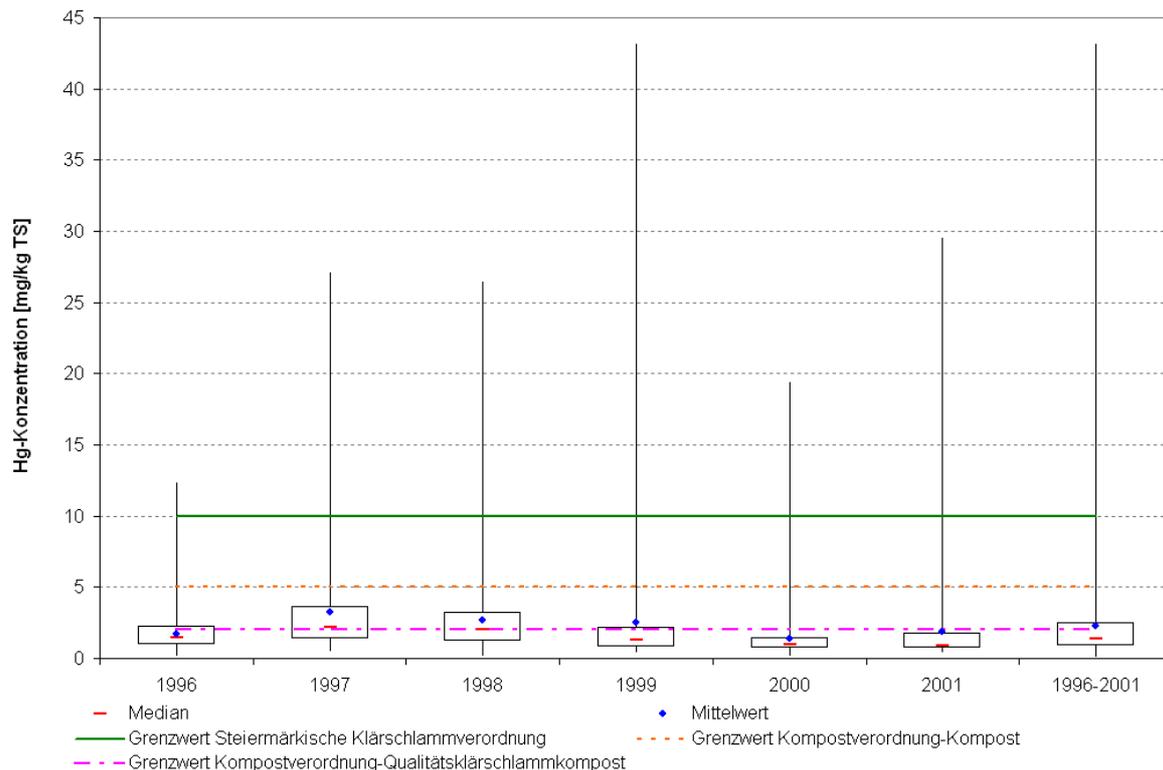


Abbildung 13: Entwicklung der Konzentrationen von Hg im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark über die Jahre 1996-2001 (Box-Plot) im Vergleich zu Grenzwerten laut Steiermärkischer Klärschlammverordnung und Österreichischer Kompostverordnung

Erläuterungen: Quellen: FA 17C; [5] und [6]; die Spalte 1996-2001 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2001

Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass bei der FA 19A für alle Schwermetalle ein leichter Trend nach unten zu erkennen ist. Bei den von der FA 17C gemessenen Schwermetallkonzentrationen konnten keine signifikanten Änderungen festgestellt werden.

Abbildung 5 bis Abbildung 13 stellen die Entwicklung der von der FA 17C gemessenen Schwermetallkonzentrationen im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 1996-2001 im Vergleich zu den Grenzwerten der Steiermärkischen Klärschlammverordnung dar, welche die Anforderung über die Ausbringung von kommunalen Klärschlamm auf landwirtschaftliche Böden definiert. Zum weiteren Vergleich wurden auch die für Klärschlamm geltenden Grenzwerte zur Herstellung von Kompost und Qualitätsklärschlammkompost (Kompost aus höherwertigen Einsatzstoffen) gemäß Kompostverordnung des Bundes in den Abbildungen dargestellt.

Der Vergleich mit den Grenzwerten der Steiermärkischen Klärschlammverordnung und den Grenzwerten zur Herstellung von Kompost der Kompostverordnung zeigt, dass die Mittel- und Medianwerte, sowie das 1. und 3. Quartil der gemessenen Schwermetallkonzentrationen jeweils deutlich unterhalb der Grenzwerte liegen. Mit Ausnahme von Co treten aber bei allen Schwermetallen vereinzelt Grenzwertüberschreitungen auf. Bei den strengeren Grenzwerten zur Herstellung von Qualitätskompost gibt es bei Zn Überschreitungen beim 3. Quartil und bei Hg auch Überschreitungen der Median- und Mittelwerte.

Zur Bewertung und Einordnung der von der FA 17C gemessenen Schwermetallgehalte wurden sowohl die Mittelwerte der einzelnen Schwermetallkonzentrationen sowie die nach Klärschlammanfall gewichteten Durchschnittskonzentrationen der einzelnen Elemente über den Zeitraum 1996 bis 2001 mit Mittelwerten aus der Literatur verglichen, dargestellt in Tabelle 10.

Die Berechnung der gewichteten Mittelwerte erfolgte nach folgender Methodik: Zunächst wurden jene Kläranlagen herausgefiltert, von denen im Zeitraum 1996 bis 2001 mindestens 5 Messwerte der FA 17C der jeweiligen Schwermetallkonzentrationen vorhanden waren. Kläranlagen mit 4 oder weniger Messwerten wurden nicht berücksichtigt, um den Einfluss von eventuell vorhandenen Ausreißern zu verhindern. Insgesamt wurden 177 Kläranlagen mit einem Klärschlammaufkommen im Jahre 2004 von 21.900 t TS ausgewertet, wodurch mehr als 87% des gesamten kommunalen Klärschlammaufkommens in der Steiermark mit den ausgewählten Kläranlagen abgedeckt werden können. Da aufgrund der Boxplot-Analyse (siehe Abbildung 5 bis Abbildung 13) davon ausgegangen werden kann, dass sich die Konzentrationen über den betrachteten Zeitraum nicht signifikant verändert haben, wurde für jede der ausgewählten Kläranlagen ein Mittelwert gebildet.

Für die Gewichtung nach Klärschlammaufkommen wurde das kommunale Steiermärkische Klärschlammaufkommen aus dem Jahre 2004 gewählt, da wie in Abbildung 1 dargestellt, das Klärschlammaufkommen seit dem Jahr 2000 im Mittel um etwa 1,9% pro Jahr angestiegen ist.

Die Mittelwerte der Schwermetallkonzentrationen jeder ausgewählten Kläranlage wurden mit dem Klärschlammaufkommen des Jahres 2004 der jeweiligen Kläranlagen multipliziert, um die im Jahre 2004 im Klärschlamm enthaltenen Schwermetallmengen zu ermitteln. Die so erhaltenen Schwermetallmassenströme wurden summiert und durch die Summe der im Jahr 2004 anfallenden Klärschlammmenge der ausgewählten Kläranlagen dividiert. Die so gewichteten durchschnittlichen Schwermetallkonzentrationen im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm wurden mit Referenzdaten verglichen.

Die Referenzdaten bzgl. der Zusammensetzung kommunalen Klärschlammes wurden von 85 Betreibern österreichischer kommunaler Kläranlagen für die Jahre 1998-2000 zur Verfügung gestellt, die durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft ausgewertet wurden [2].

Der statistische Vergleich (arithmetisches Mittel und Standardabweichung) zeigt, dass die vom Umweltbundesamt ermittelten Mittelwerte im Schwankungsbereich der ermittelten Schwermetallgehalte der FA 17C liegen.

Die nach Klärschlammaufkommen in den einzelnen untersuchten Kläranlagen gewichteten Durchschnittswerte auf Basis der Daten der FA 17C weisen im Vergleich zum arithmetischem Mittel niedrigere Werte bei Zn und Cu und höhere Werte bei allen anderen Elementen (Cr, Pb, Ni, Co, Mo, Cd, Hg) auf. Da die gewichteten Daten die durchschnittlich im kommunalen Klärschlamm vorhandenen Schwermetallmengen besser wiedergeben, werden diese daher in weiterer Folge für die Berechnung der Stoffströme (siehe Kapitel 2.2) verwendet.

Tabelle 10: Vergleich der Mittelwerte der von der FA 17C gemessenen Schwermetallkonzentrationen im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über den Zeitraum von 1996-2001 mit Werten aus der Literatur

Erläuterung: Quellen: Analysedaten der FA 17 bzw. [2].

Parameter	Schwermetall-Konzentration				
	FA 17C Mittelwert 1996-2001		FA 17C Mengengewichte ter Mittelwert 1996-2001	Umweltbundesamt Mittelwert 1998-2000	
	MW	Stabw.		MW	Stabw.
Zn [mg/kg TS]	1.021,81	537,46	953,78	831,95	353,00
Cu [mg/kg TS]	195,72	122,39	187,06	215,16	105,49
Cr [mg/kg TS]	55,22	83,97	75,13	53,60	37,68
Pb [mg/kg TS]	54,29	36,15	74,62	75,56	76,85
Ni [mg/kg TS]	36,54	26,67	52,42	32,24	19,38
Co [mg/kg TS]	7,56	8,03	9,35	9,66	8,08
Mo [mg/kg TS]	4,68	6,03	7,56	4,59	2,56
Cd [mg/kg TS]	1,11	0,70	1,37	1,30	0,61
Hg [mg/kg TS]	2,31	3,14	2,84	1,09	0,48

Neben den in Tabelle 10 angeführten Referenzwerten wurden die Analysedaten der FA 17C mit internen Ascheanalysedaten aus zwei Klärschlammverbrennungsanlagen verglichen. Da bei diesen Analysen der Aschegehalt des verbrannten Klärschlammes nicht genau bekannt war, konnte nur ein grober Vergleich durchgeführt werden.

Bei Annahme eines Aschegehaltes von durchschnittlich 50 Gew. % d. TS liegen die Werte für Zn und Mo für beide Klärschlammaschen innerhalb des Bereichs (arithmetisches Mittel +/- Standardabweichung) der Messwerte der FA 17C. Weiters liegen Schwermetallkonzentrationen der Asche aus der Klärschlammverbrennung 1 bei den Elementen Cu, Pb und Cd und bei der Klärschlammverbrennung 2 bei den Elementen Cr, Ni und Co innerhalb der Schwankungsbreite der Werte der FA 17C. Die Hg-Konzentrationen in den Aschen liegen aufgrund der hohen Flüchtigkeit des Elements deutlich unterhalb der Schwankungsbreite. Bei den anderen Elementen liegen die errechneten Konzentrationen oberhalb der Schwankungsbreite. Diese Unterschiede sind möglicherweise auf regionale Schwankungen der Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm (unter anderem bedingt durch die Verbrennung von etwa 10% bzw. 20% industrieller Klärschlämme in Anlage 2 bzw. in Anlage 1) sowie dem Einfluss der gewählten Verbrennungstechnologie zurückzuführen.

Zur weiteren Überprüfung der Schwermetallanalysenwerte wurden auch die Schwankungen der Schwermetallgehalte untersucht.

Beurteilung der Schwankungen der Schwermetallgehalte zwischen einzelnen Kläranlagen

Die Unterschiede in den Schwermetallkonzentrationen der einzelnen Kläranlagen sind starken Schwankungen unterworfen und sind daher schwer zu beurteilen. Zwischen Kläranlagen mit den niedrigsten Mittelwerten und jenen mit den höchsten mittleren Schwermetallgehalten können die Unterschiede zwischen Faktor 10 (Zn und Ni) bis zu Faktor 500 (Cr) variieren.

Weiters wurden die Konzentrationsschwankungen der Schwermetalle innerhalb einzelner Kläranlagen betrachtet.

Betrachtung der Schwermetall-Konzentrationsschwankungen innerhalb einzelner Kläranlagen

Die Analyse der Schwermetallkonzentrationsschwankungen innerhalb einzelner Kläranlagen ergab ebenfalls kein einheitliches Bild. Beispielhaft sind in der folgenden Tabelle die Mittelwerte der Schwermetallkonzentrationen für zwei Kläranlagen gegenübergestellt.

Tabelle 11: Durchschnittliche Schwermetallgehalte in den Klärschlämmen von zwei Steiermärkischen kommunalen Kläranlagen und deren Standardabweichungen im Vergleich zu Durchschnittswerten für Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm

Erläuterung: Quelle: Analysedaten der FA 17C.

Parameter	Kläranlage 1 (1996-2000)		Kläranlage 2 (1996-2000)		Gesamtanzahl der steiermärkischen Kläranlagen (1996-2001)		
	Mittelwert	Standard- abweichung	Mittelwert	Standard- abweichung	Mittelwert	Standard- abweichung	Mengengew. Mittelwert
Zn [mg/kg TS]	1090,0	106,5	904,8	280,9	1021,8	537,5	953,8
Cu [mg/kg TS]	188,4	20,3	148,3	40,8	195,7	122,4	187,1
Cr [mg/kg TS]	115,4	43,5	133,6	44,6	55,2	84,0	75,1
Pb [mg/kg TS]	111,6	19,7	125,1	59,6	54,3	36,1	74,6
Ni [mg/kg TS]	61,2	19,5	111,6	23,4	36,5	26,7	52,4
Co [mg/kg TS]	6,2	1,4	12,5	1,8	7,6	8,0	9,3
Mo [mg/kg TS]	6,4	2,2	18,6	14,1	4,7	6,0	7,6
Cd [mg/kg TS]	1,5	0,4	4,0	4,0	1,1	0,7	1,4
Hg [mg/kg TS]	3,1	1,4	4,4	2,0	2,3	3,1	2,8

Tabelle 11 zeigt, dass die Schwankungen der Schwermetallgehalte innerhalb einer Kläranlage unterschiedlich stark ausfallen können. Während in der 1. Kläranlage relativ geringe Schwankungen zu erkennen sind, variierten im gleichen Zeitraum in der 2. Kläranlage die Schwermetallgehalte stärker. Bei den Elementen Pb, Ni, Co und Mo liegen die Mittelwerte einer oder beider betrachteter Kläranlage(n) außerhalb der statistischen Schwankungsbreite der Analysen der FA 17C.

Vergleicht man die Mittelwerte der einzelnen Kläranlagen mit den mengengewichteten Mittelwerten, fällt der Unterschied geringer aus. Dies ist damit zu erklären, dass beide betrachteten Kläranlagen zu den größeren Kläranlagen (> 500 t TS/a) gehören.

Für die Schwankungen der Schwermetallgehalte im Klärschlamm können folgende Ursachen verantwortlich sein [1]:

- Korrosion von Wasser- und Abwasserleitungen (Cu und Zn und in Ausnahmefällen Pb durch Hausinstallationen)
- Erhöhte Niederschlagswassermengen (Zn und Cu von Metalldächern und Dachrinnen, sonstige Schwermetalldeposition über den Niederschlag)
- Erhöhter Straßenabfluss bei Mischkanalisationen (Zn und Cu aus Abrieb von Fahrbahn- und Bremsbelägen, Zn aus Motoröl)
- Schwermetalleintrag aus dem medizinischen Bereich (Hg)
- Metalle durch den Gebrauch von Wasch- und Reinigungsmitteln (Ni, Cu und Cr)

Für die Stoffflussanalyse und Stoffflussberechnungen werden in weiterer Folge die gewichteten Durchschnittsgehalte der Schwermetalle im Steiermärkischen kommunalen Klärschlamm (siehe Tabelle 10) herangezogen. Für die Anlagenauslegung werden die Mittelwerte plus der Standardabweichung verwendet, um Schwankungen in den Schwermetallgehalten abzusichern.

2.1.5 Nährstoffgehalte im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark

Die Klärschlammuntersuchungsbefunde der FA 10B geben Aufschluss über die Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen und den Trockensubstanzgehalt des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark über die Jahre 2001 bis 2006. Pro Jahr wurden zwischen 38 und 50 Kläranlagen untersucht. Laut Auskunft von Frau Dr. Winter (FA 19D) stammen die Daten ausschließlich von Kläranlagen, die ihre Klärschlämme in der Landwirtschaft bzw. im Landschaftsbau verwerten. Im Gegensatz zum Datenmaterial der FA 19A (Klärschlammfall und -verwertung, Schwermetallgehalte und Klärschlamm-trockensubstanzgehalte des Klärschlammes) fehlen hier bezüglich Klärschlamm-trockensubstanzgehalte, als auch für die Nährstoffgehalte die Verknüpfungen zu den einzelnen Kläranlagen.

Infolgedessen war es im Gegensatz zu den Analysen der Schwermetallkonzentrationen (FA 17C und FA 19A), der Klärschlammverwertungsmengen und der Trockensubstanzgehalte (FA 19A) nicht möglich, für die von der FA 10B zur Verfügung gestellten Nährstoff- und Trockensubstanzgehalte gewichtete Mittelwerte für den kommunalen Klärschlamm in der Steiermark zu errechnen. Die Ermittlung der Massenströme konnte daher nicht mit derselben Genauigkeit wie für die Schwermetalle durchgeführt werden. Im Zuge der Datenauswertung konnte nach Absprache mit der FA 19D eine bezirksweise (9 von 17 Bezirken) Zuordnung der Nährstoffe für das Jahr 2005 erarbeitet werden. Die Gewichtung der Messwerte war aber auch damit nicht möglich.

Dadurch konnten nur pauschal für die gesamte Steiermark Aussagen über die Nährstoffgehalte in den Klärschlammern getroffen werden. Aus den Untersuchungsbefunden der FA 10B wurden folgende anonymisierte Informationen entnommen:

- Nährstoffgehalte (N, P, Ca, Mg, K, Na) des Klärschlammes

- %-Trockensubstanz des Klärschlammes

Die folgenden Tabellen (Tabelle 12 und Tabelle 13) und Abbildungen (Abbildung 14 bis Abbildung 20) zeigen die Entwicklung der durchschnittlichen Nährstoffgehalte sowie des Trockensubstanzgehalts im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark.

Tabelle 12: Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen bzw. der Trockensubstanz Steiermärkischer kommunaler Klärschlämme über die Jahre 2001-2006 (FA 10B)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; Die Werte in der Spalte 2001-2006 beziehen sich auf alle im Zeitraum von 2001 bis 2006 verfügbaren Daten.

N [kg/t TS]							
FA10B	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Median	49,85	40,42	41,87	44,55	46,58	39,03	42,90
1. Quartile	41,75	32,75	31,88	31,21	32,24	31,98	32,30
Minimaler Messwert	15,10	18,39	1,43	10,43	11,10	10,05	1,43
Maximaler Messwert	94,90	89,70	86,90	99,00	83,70	92,00	99,00
3. Quartile	54,01	55,91	53,37	60,18	57,03	51,50	55,00
Mittelwert	48,57	44,13	42,99	47,60	46,19	42,00	44,93
Standardabweichung	18,03	17,56	17,32	21,04	16,28	17,22	17,85

P [kg/t TS]							
FA 10B	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Median	24,43	22,91	22,28	19,95	22,26	24,11	22,48
1. Quartile	20,60	17,46	15,31	15,34	16,36	18,62	16,17
Minimaler Messwert	7,33	5,55	4,92	1,14	7,90	7,77	1,14
Maximaler Messwert	33,70	66,33	51,80	58,20	47,97	51,90	66,33
3. Quartile	28,23	28,57	29,36	27,75	30,03	31,97	28,85
Mittelwert	23,10	23,56	22,98	22,18	23,89	26,39	23,69
Standardabweichung	7,31	10,50	10,20	10,08	8,97	12,14	10,13

K [kg/t TS]							
FA 10B	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Median	3,79	4,02	4,15	3,35	3,07	1,89	3,43
1. Quartile	2,76	2,95	2,94	2,18	1,59	1,18	2,02
Minimaler Messwert	0,90	0,47	0,89	0,42	0,45	0,05	0,05
Maximaler Messwert	8,07	23,40	44,38	10,10	11,10	14,20	44,38
3. Quartile	5,32	5,27	5,60	4,67	4,49	4,16	4,93
Mittelwert	4,05	4,60	5,57	3,55	3,32	3,09	4,07
Standardabweichung	1,88	3,42	7,27	2,13	2,18	3,05	4,06

Ca [kg/t TS]							
FA 10B	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Median	64,30	39,71	98,60	78,19	87,48	117,50	84,35
1. Quartile	23,33	23,18	31,35	32,19	26,50	48,72	27,50
Minimaler Messwert	6,23	3,96	4,43	2,34	2,37	5,70	2,34
Maximaler Messwert	299,00	254,47	488,00	386,80	378,84	397,00	488,00
3. Quartile	118,99	133,21	169,99	164,89	172,08	181,55	170,80
Mittelwert	92,40	78,98	113,09	109,80	110,02	128,45	105,81
Standardabweichung	92,20	72,84	101,10	97,06	97,68	95,66	93,48

Mg [kg/t TS]							
FA 10B	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Median	4,24	4,42	4,19	4,59	4,02	4,02	4,26
1. Quartile	3,89	3,71	3,72	3,60	3,44	3,54	3,67
Minimaler Messwert	0,20	2,50	2,72	2,15	1,65	2,72	0,20
Maximaler Messwert	11,00	12,24	54,70	8,51	10,21	11,40	54,70
3. Quartile	5,22	5,24	5,60	5,27	4,77	4,74	5,21
Mittelwert	4,75	5,02	6,05	4,66	4,41	4,39	4,91
Standardabweichung	2,07	2,18	7,60	1,47	1,75	1,73	3,74

Tabelle 13: Entwicklung der Nährstoffkonzentrationen bzw. der Klärschlamm-trockensubstanz 2001-2006 (FA 10B) (Fortsetzung)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; Die Werte in der Spalte 2001-2006 beziehen sich auf alle im Zeitraum von 2001 bis 2006 verfügbaren Daten. Genauere Werte bzgl. Klärschlamm-trockensubstanz ergeben sich aus den Daten der FA 19A (siehe Kapitel 2.1.2.3).

FA 10B	Na [g/kg TS]						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2004-2006
Median	-	-	-	3,68	2,58	1,80	2,51
1. Quartile	-	-	-	3,01	1,31	1,09	1,27
Minimaler Messwert	-	-	-	0,54	0,14	0,25	0,14
Maximaler Messwert	-	-	-	12,89	7,55	6,93	12,89
3. Quartile	-	-	-	4,23	4,03	3,70	3,90
Mittelwert	-	-	-	4,26	2,76	2,36	2,75
Standardabweichung	-	-	-	3,48	1,81	1,69	2,04

FA 10B	KS-TS [%]						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2001-2006
Median	3,95	4,20	3,60	3,55	4,08	4,55	3,87
1. Quartile	2,89	2,58	2,80	2,77	3,05	3,50	2,85
Minimaler Messwert	1,60	0,26	1,60	1,50	1,80	1,18	0,26
Maximaler Messwert	44,48	56,50	54,30	39,21	38,35	47,75	56,50
3. Quartile	4,49	18,00	9,36	6,08	6,12	19,60	6,94
Mittelwert	7,76	11,94	10,13	8,36	9,22	11,85	10,09
Standardabweichung	10,39	14,95	13,25	11,33	11,17	13,81	12,77

Die Auswertung der Klärschlamm-befunde des Zeitraums 2001-2006 ergab für keines der betrachteten Elemente bzw. dem Trockensubstanzgehalt einen statistisch signifikanten Trend. Die größten Konzentrationsschwankungen konnten bei Kalzium und der Klärschlamm-trockensubstanz festgestellt werden.

Die Schwankungen bei den Kalziumkonzentrationen sind durch die unterschiedliche Zugabe von Kalk zur Konditionierung des Klärschlammes erklärbar.

Die Unterschiede in der Klärschlamm-trockensubstanz ergeben sich durch unterschiedliche Entwässerungsmethoden in den einzelnen Kläranlagen (siehe Kapitel 2.1.2.3). Da aber keine Zuordnung zu einzelnen Kläranlagen möglich war, konnten diese auffällig niedrigen Werte nicht weiter hinterfragt werden.

Ein Vergleich mit den von der FA 19A zur Verfügung gestellten Daten über den Klärschlamm-trockensubstanzgehalt (siehe Tabelle 5) zeigt, dass Mittelwert bzw. Median der Daten der FA 10B tendenziell niedriger als jene der FA 19A sind. Die Schwankungsbreite ist bei beiden Datenquellen ähnlich. Aufgrund der breiteren Datenbasis der Daten der FA 19A (395 Werte aus dem Jahr 2005) gegenüber jenen der FA 10B (40 bis 50 Werte pro Jahr) sowie der zusätzlichen Verknüpfung der Trockensubstanzgehalte mit dem Klärschlammaufkommen wurden die Daten der FA 19A für die weiteren Berechnungen bezüglich Klärschlamm-trockensubstanzgehalt herangezogen.

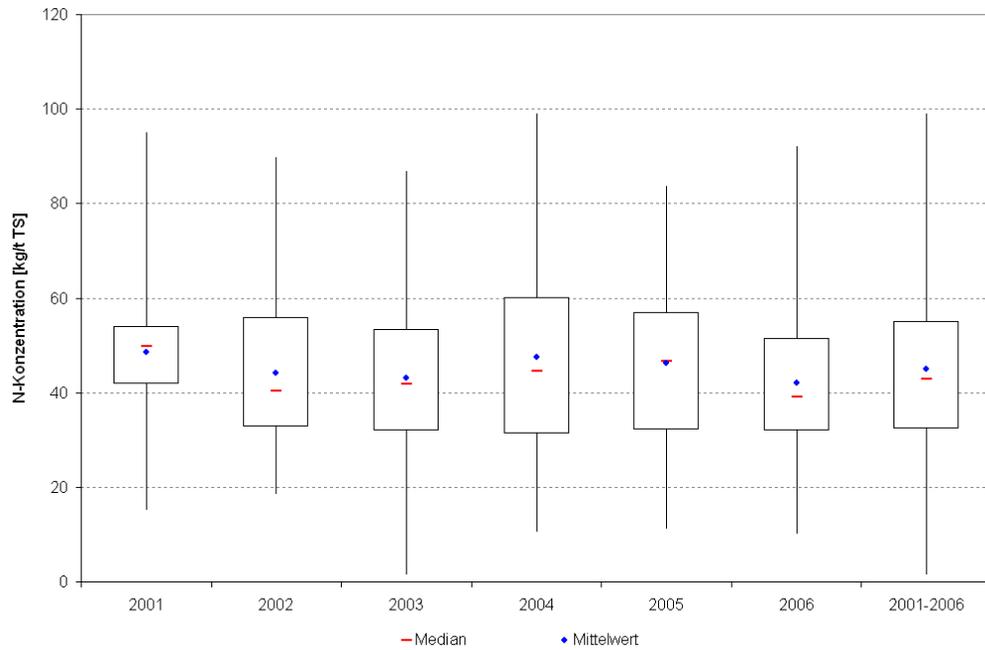


Abbildung 14: Entwicklung der Konzentrationen von N im steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

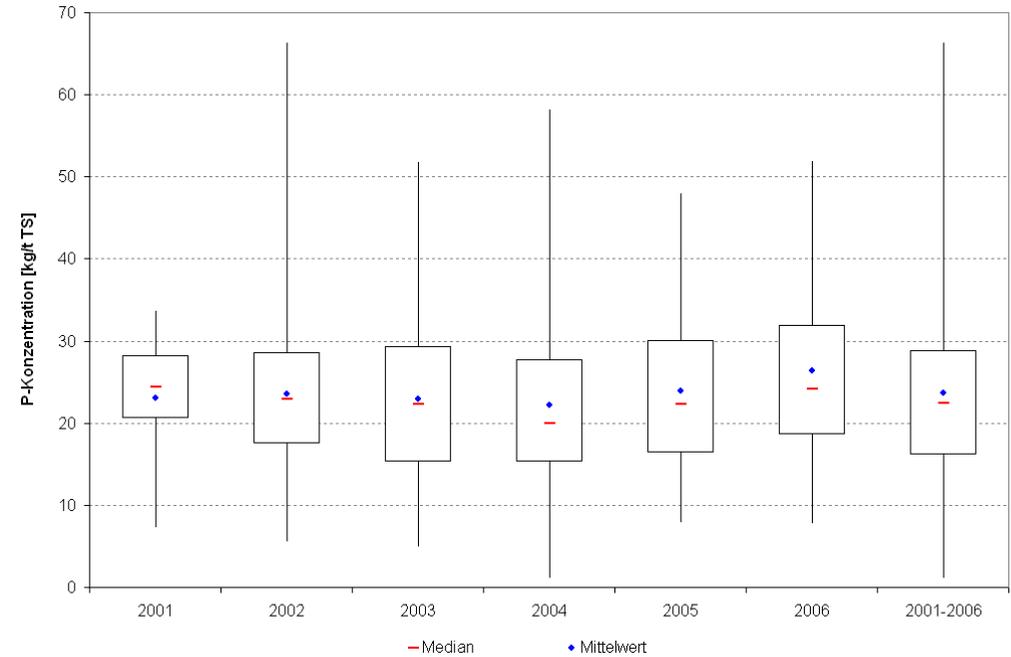


Abbildung 15: Entwicklung der Konzentrationen von P im steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

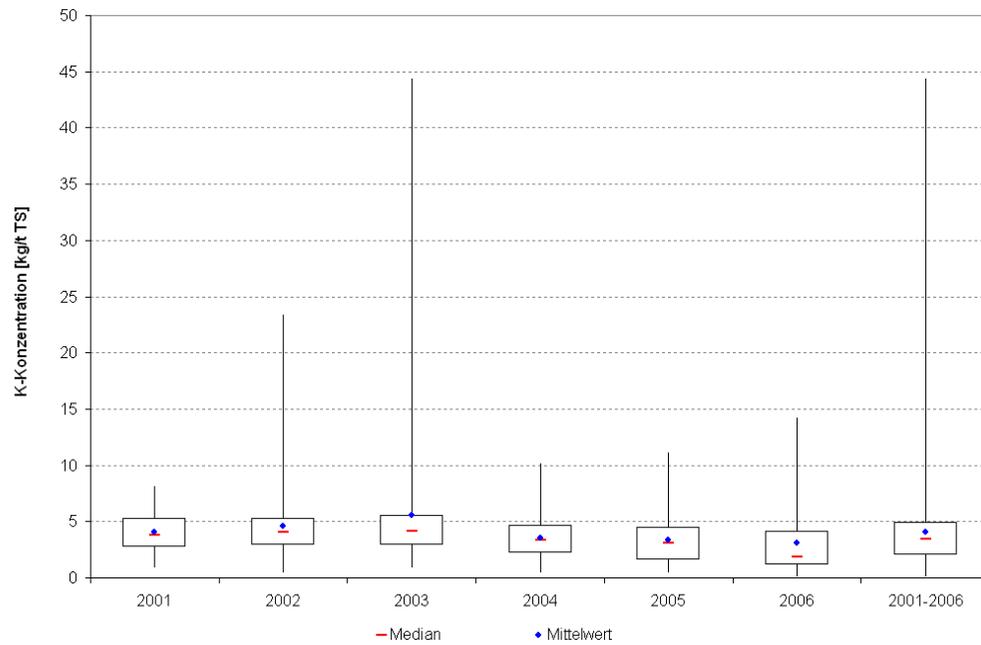


Abbildung 16: Entwicklung der Konzentrationen von K im steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

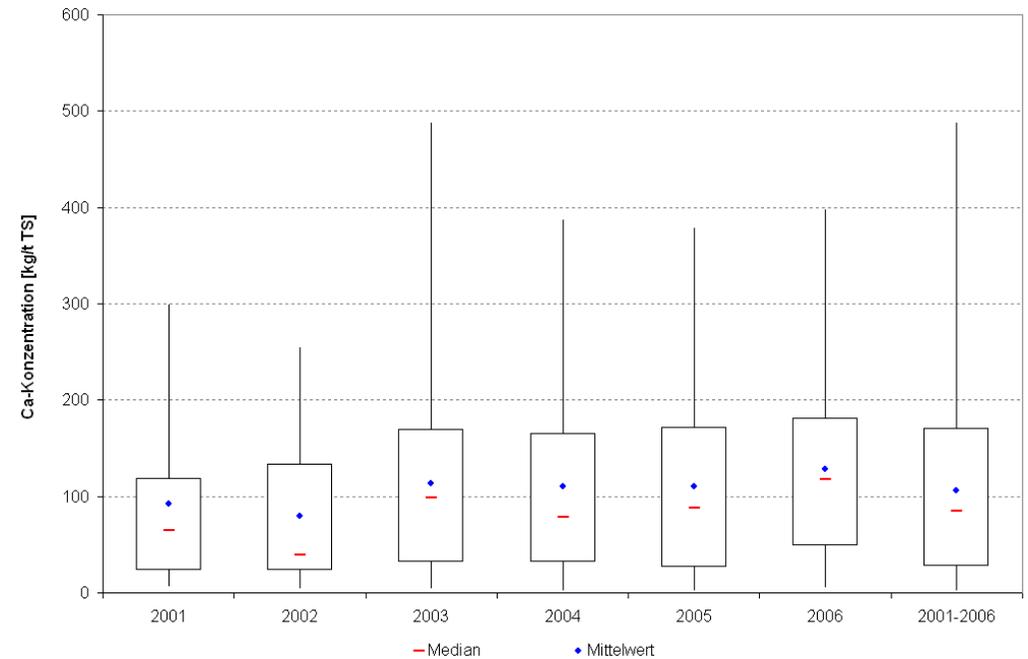


Abbildung 17: Entwicklung der Konzentrationen von Ca im kommunalen steiermärkischen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

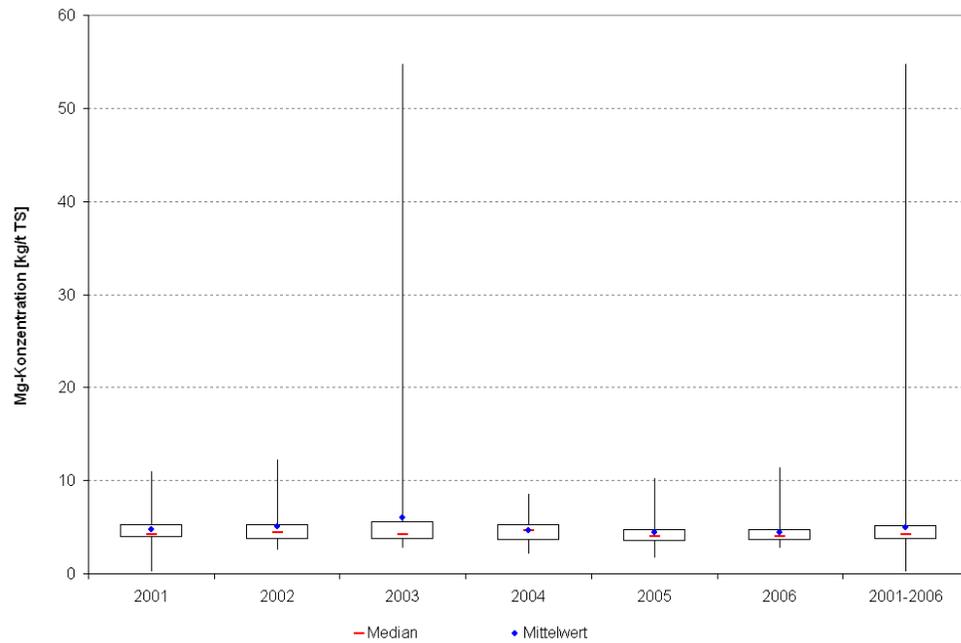


Abbildung 18: Entwicklung der Konzentrationen von Mg im steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

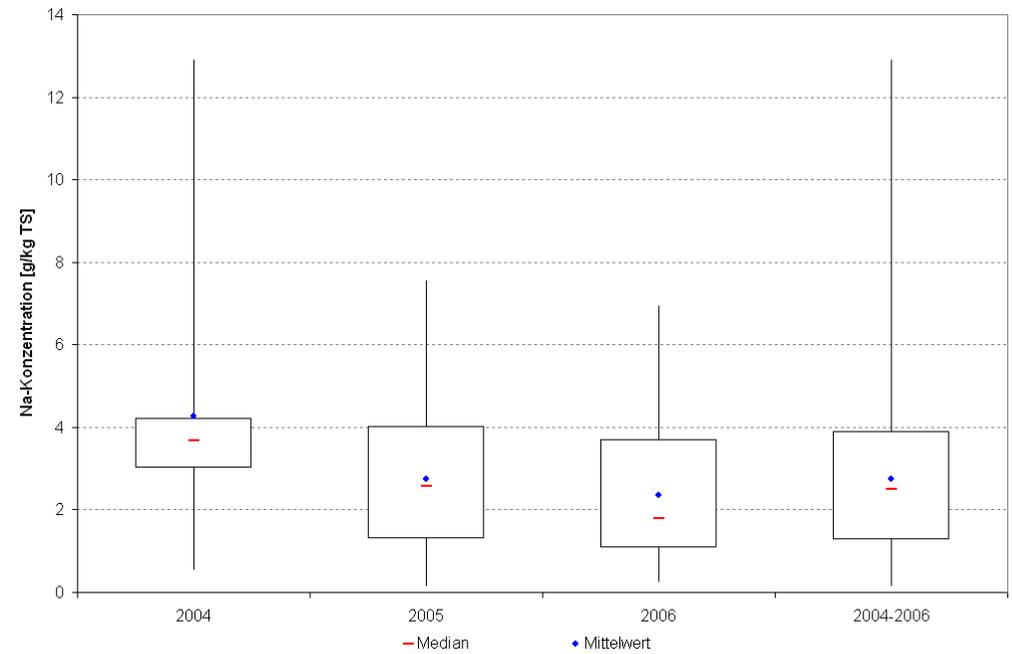


Abbildung 19: Entwicklung der Konzentrationen von Na im steiermärkischen kommunalen Klärschlamm über die Jahre 2004-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

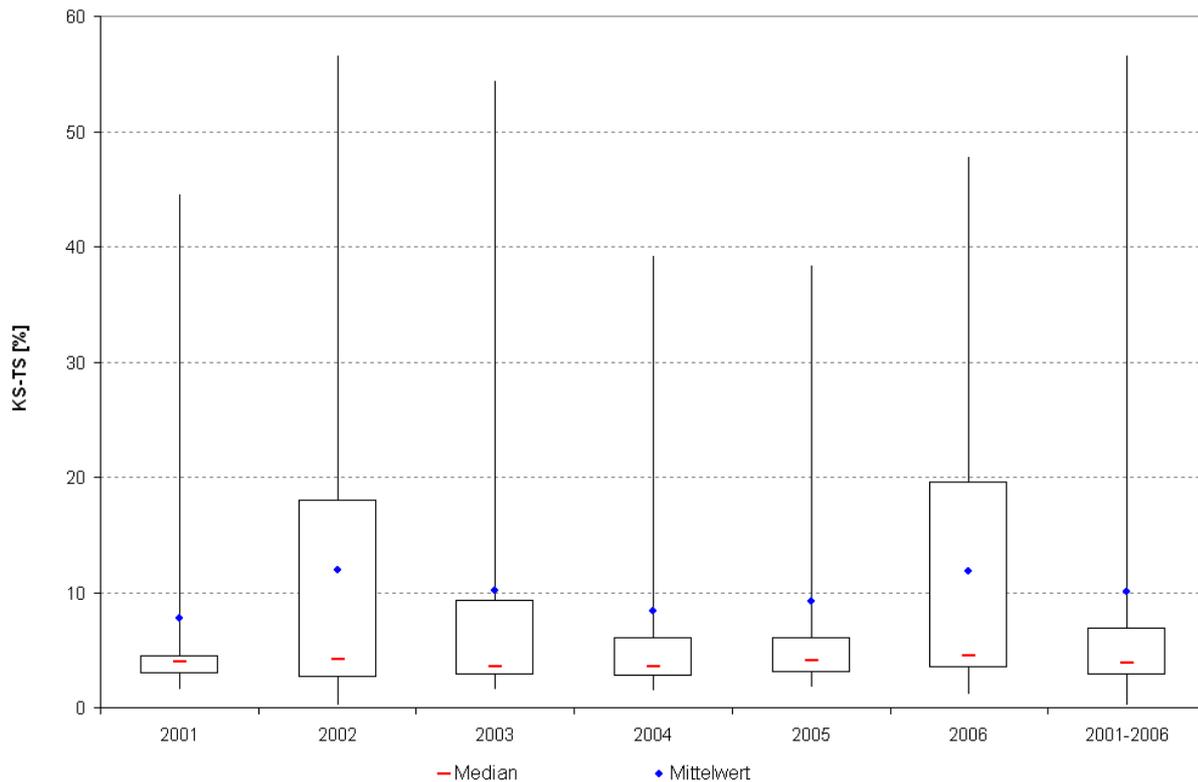


Abbildung 20: Entwicklung der Trockensubstanz Steiermärkischer kommunaler Klärschlämme über die Jahre 2001-2006 (Box-Plot)

Erläuterungen: Quelle: FA 10B; die Spalte 2001-2006 umfasst alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006

Die ermittelten mittleren Nährstoffkonzentrationen, dargestellt in Tabelle 12 und Tabelle 13, wurden wie schon bei den Schwermetallkonzentrationen zuvor, mit Referenzwerten aus der Literatur verglichen.

Wie aus Tabelle 14 zu erkennen ist, zeigt der statistische Vergleich (arithmetisches Mittel berechnet über alle Werte im Betrachtungszeitraum 2001 bis 2006 bzw. 2004 bis 2006 für Na), dass die vom Umweltbundesamt ermittelten Mittelwerte für N, K und Ca im Schwankungsbereich der ermittelten Schwermetallgehalte aus den Daten der FA 10B liegen. Der im Bericht des Umweltbundesamts angegebene Mittelwert für P liegt knapp oberhalb der Schwankungsbreite der Daten der FA 10B, jener von Mg deutlich darüber. Na wurde im Bericht des Umweltbundesamts nicht bewertet. Die Schwankungsbereiche (Mittelwerte +/- Standardabweichung) der Nährstoffkonzentrationen auf Basis der Daten der FA 10 und auf Basis des Umweltbundesamtberichts überlappen sich aber bei allen Parametern, daher können die ermittelten Nährstoffkonzentrationen der FA 10B als plausibel eingestuft werden.

Der vom Umweltbundesamt angegebene durchschnittliche Trockensubstanzgehalt liegt ebenfalls deutlich über der Schwankungsbreite der Daten von der FA 10B. Aufgrund der fehlenden Zuordnung der Trockensubstanzgehalte zu den entsprechenden Kläranlagen kann die Ursache dafür nicht definitiv ermittelt werden. Vermutlich liegt der große Unterschied darin, dass die Daten des Umweltbundesamts von Kläranlagen mit verschiedenen Klärschlammverwertungswegen und dementsprechend unterschiedlichen Anforderungen an den Trockensubstanzgehalt stammen, während die Daten der FA 10B von Kläranlagen

stammen, die ihren Klärschlamm in der Landwirtschaft (keine Entwässerung notwendig) verwerten.

Tabelle 14: Durchschnittliche Nährstoffgehalte bzw. Trockensubstanzgehalt im kommunalen Steiermärkischen Klärschlamm über die Jahre 1996-2001 der FA 10B im Vergleich mit Werten aus der Literatur

Erläuterung: Quellen: Analysedaten der FA 10B und des Umweltbundesamtes-Bericht BE 260 [2]

Parameter	Nährstoff-Konzentration und Trockensubstanz			
	FA 10B Mittelwert 2001-2006		Umweltbundesamt Mittelwert 1998-2000	
	MW	Stabw.	MW	Stabw.
N [kg/t TS]	44,93	17,85	27,12	11,62
P [kg/t TS]	23,69	10,13	34,55	18,35
K [kg/t TS]	4,07	4,06	3,02	1,76
Ca [kg/t TS]	105,81	93,48	108,27	91,96
Mg [kg/t TS]	4,91	3,74	10,28	5,47
Na [g/kg TS]	2,75	2,04	-	-
KS-TS [%]	10,09	12,77	28,93	13,71

Die Nährstoffdaten der FA 10B wurden wieder mit den Referenzdaten interner Ascheanalysen verglichen, mit dem Resultat, dass die Referenzwerte der Ascheanalysen für P und Mg geringfügig höher sind. Na, K, und Ca liegen im Schwankungsbereich der Werte der FA 10B.

Weiters wurden die Nährstoffdaten der FA 10B mit Ascheanalysen der deutschen Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) verglichen, die die Aschen aus großen europäischen Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen untersucht hat [1]. Demnach liegen die Phosphorgehalte dieser Aschen (unter Berücksichtigung des Aschengehalts der Klärschlamm-trockensubstanz) deutlich über dem durchschnittlichen Phosphorgehalt des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark.

Eine Ursache für diesen großen Unterschied könnte in unterschiedlichen Konditionierungsmethoden für die Klärschlamm-entwässerung liegen. In kleineren Kläranlagen wurden und werden häufig Kammerfilterpressen zur Entwässerung des Klärschlammes verwendet. Je nach Qualität des Klärschlammes werden dem Klärschlamm vor der Entwässerung 10 bis 15% Kalk, bezogen auf die Klärschlammfrischsubstanz, zugegeben, um eine Entwässerung in der Kammerfilterpresse zu ermöglichen. Dementsprechend hoch sind die Ca-Gehalte im derart behandelten Klärschlamm. Die Gehalte aller anderen Elemente gehen durch den Verdünnungseffekt zurück. Da aber keine Zuordnung der Messdaten zu einzelnen

Kläranlagen möglich war, konnte der Anteil an mit Kalk behandelten Klärschlamm in den verfügbaren Messdaten nicht ermittelt werden.

In Großkläranlagen werden aus Kapazitätsgründen hauptsächlich Siebbandpressen (so auch in der Kläranlage Graz-Gössendorf) verwendet, die ohne Zugabe von Kalk betrieben werden können. Dementsprechend sind im Vergleich zu mit Kalk konditionierten Schlämmen die Gehalte aller Elemente außer Ca in diesen Klärschlämmen höher.

Laut den Informationen von Herrn Kohl (Geschäftsführer des Abwasserverbandes Leibnitzerfeld Süd) ist zumindest für die Steiermark ein Trend zu höheren Phosphorgehalten zu erwarten, da die bisher hauptsächlich eingesetzten Kammerfilterpressen derzeit durch Dekanter ersetzt werden [3]. Bei der Entwässerung mittels Dekanter werden dem Klärschlamm statt Kalk Polymere zur Verbesserung der Entwässerungseigenschaften zugegeben, wodurch der Verdünnungseffekt für die aschebildenden Elemente (P, K, Mg, Schwermetalle etc.) nicht mehr gegeben ist. Da die Umrüstung von Kammerfilterpressen auf Dekanter aber erst in den letzten ein bis zwei Jahren eingesetzt hat und noch andauert, werden die Nährstoffgehalte (N, P, K, Ca, Mg und Na) und damit auch die Schwermetallgehalte erst in einigen Jahren nachhaltig ansteigen.

Da eine Gewichtung der Messwerte aufgrund der fehlenden Zuordnung zu den untersuchten Kläranlagen fehlt, werden für die Stoffflussanalysen und weiteren Anlagenberechnungen die in Tabelle 14 angeführten arithmetischen Mittelwerte der Nährstoffdaten der FA 10B verwendet. Für den Klärschlamm Trockensubstanzgehalt werden die Daten der FA 19A herangezogen (siehe Kapitel 2.1.2.3).

2.1.6 Aschegehalte und Heizwerte des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark

Hinsichtlich Aschegehalten und Heizwerten von kommunalen Klärschlämmen konnten von der FA 19D keine Daten zur Verfügung gestellt werden. Daher wurden Erfahrungswerte aus der Praxis (Erfahrungswerte der ANDRITZ AG und der UEG), verfügbare Analysedaten sowie Richtwerte aus der Literatur heran gezogen.

Aschegehalt und Heizwert hängen neben lokalen Unterschieden stark vom Faulungsgrad der Klärschlämme ab. Bei der Faulung wird ein Teil der organischen Trockensubstanz des Klärschlammes umgesetzt und dadurch der Aschegehalt erhöht und der Heizwert verringert [2]. Neben Aschegehalt und Faulungsgrad ist der Heizwert auch vom Wassergehalt des Klärschlammes abhängig (in der Literatur wird daher der Heizwert bezogen auf die Trockensubstanz angegeben).

Dementsprechend groß ist die Bandbreite der gesammelten Richtwerte. Seitens der Firma ANDRITZ AG wurden auf Basis aktueller Anlagenerfahrungen Aschegehalte von 40 bis 60% TS und Heizwerte von 8 bis 12 MJ/kg TS angegeben [3]. Laut Angaben der UEG [4] liegen die Aschegehalte von kommunalem Klärschlamm zwischen 25 und 40% TS mit korrespondierenden Heizwerten von 12 bis 16 MJ/kg TS. Vorliegende Analysenwerte von kommunalen Klärschlämmen [4,5] liegen bzgl. Aschegehalt bei 34,7 bzw. 56,7% TS und bzgl. Heizwert bei 12,8 bzw. 7,8 MJ/kg TS.

In der Literatur finden sich die Klärschlammzusammensetzung und der Heizwert des Klärschlammes der Kläranlage Graz-Gössendorf [6]. Demnach liegt der Aschegehalt des Klärschlammes aus der Kläranlage Graz-Gössendorf bei 36,5% TS mit einem korrespondierenden

Heizwert von 13,2 MJ/kg TS. Weitere Daten aus der Literatur [2] geben für den Aschegehalt von ausgefaultem Schlamm Werte zwischen 45 und 55% TS und für den korrespondierenden Heizwert 10,4 bis 12,7 MJ/kg TS an.

Die gesammelten Werte sind in Abbildung 21 zusammengefasst.

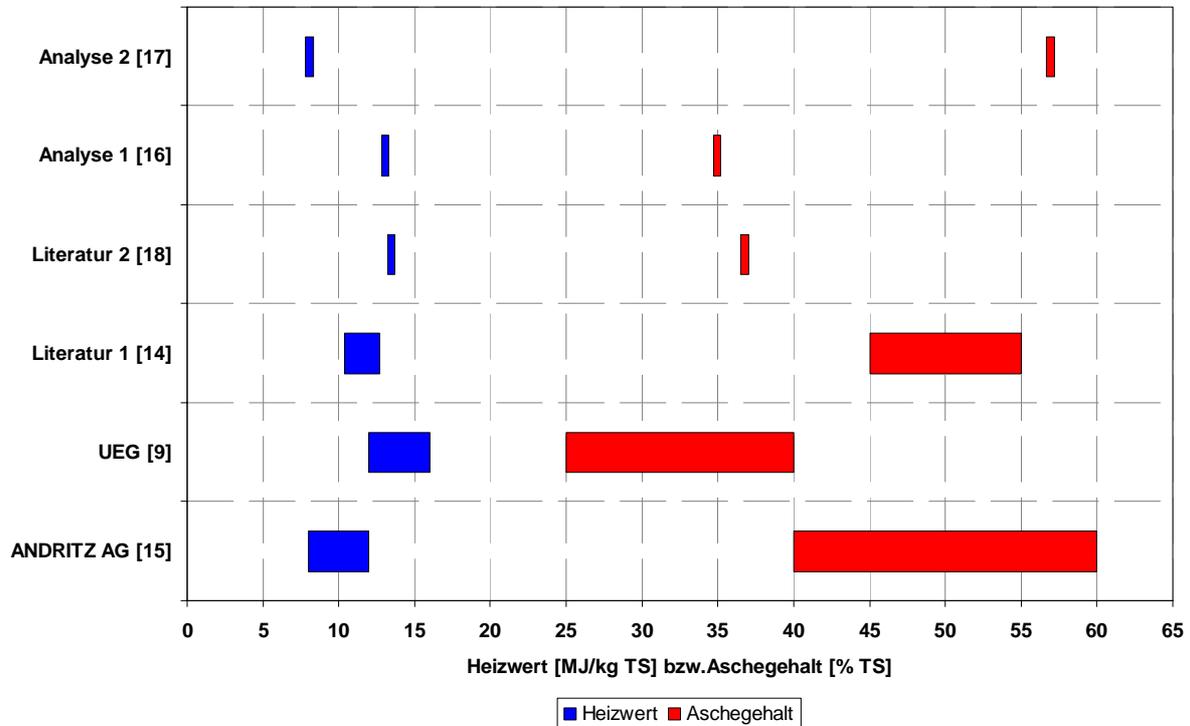


Abbildung 21: Übersicht über Aschegehalte und Heizwerte von kommunalem Klärschlamm auf Basis von Firmenangaben, Analysenwerten und Literaturangaben

Erläuterungen: Quellen: [2,3,4,4,5,6]; Seitens der ANDRITZ AG, der UEG und [2] wurden Bereiche für die entsprechenden Parameter angegeben, die Angaben aus den anderen Quellen stellen jeweils Einzelwerte dar.

Der Überblick in Abbildung 21 zeigt, dass die verfügbaren Werte je nach Datenquelle stark schwanken. Die Angaben der ANDRITZ AG bzgl. Aschegehalts decken sich allerdings gut mit dem angeführten Bereich für Aschegehalte aus der Literatur [2]. Die verfügbaren Werte aus Einzelanalysen liegen etwas unterhalb [4, 6] bzw. am oberen Ende der angegebenen Bandbreite [17]. Die von der UEG angegebenen Aschegehalte liegen hingegen unterhalb der von ANDRITZ AG bzw. der Literatur angegebenen Bandbreite. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Heizwerte, da der Aschegehalt den Heizwert beeinflusst (reduziert).

Für die Stoffflussanalysen und weiteren Anlagenberechnungen werden als konservativer Ansatz die Mittelwerte aus den Daten der Fa. ANDRITZ AG (Aschegehalt 50 Gew.% TS, Heizwert 10 MJ/kg TS) herangezogen.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Massenbilanz für kommunale Klärschlämme in der Steiermark

2.2.1.1 Schwermetalle

Anhand der verfügbaren Daten über das jährliche Klärschlammaufkommen von 2004 (siehe Abbildung 1) und der in Tabelle 10 dargestellten, nach Klärschlammfall gewichteten durchschnittlichen Schwermetallgehalte, konnten die Massenströme der Schwermetalle Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co, Mo, Cd und Hg ermittelt werden.

Dazu wurden die aus den Messwerten der FA 17C aus den Jahren 1996 bis 2001 ermittelten, gewichteten durchschnittlichen Schwermetallgehalte mit dem Aufkommen des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark aus dem Jahre 2004 multipliziert. Die unterschiedliche zeitliche Basis ist zulässig, da die statistische Auswertung des zeitlichen Verlaufs der gemessenen Schwermetallkonzentrationen (siehe Tabelle 7 bis Tabelle 9 und Abbildung 5 bis Abbildung 13) keine signifikanten zeitlichen Änderungen ergab. Aufgrund der jährlichen Steigerung des kommunalen Klärschlammaufkommens in der Steiermark seit 2000 von etwa 2% wurde der aktuellste verfügbare Wert aus dem Jahre 2004 zur Berechnung herangezogen. Abbildung 22 gibt einen Überblick über die jährlich im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark enthaltenen Schwermetallmengen.

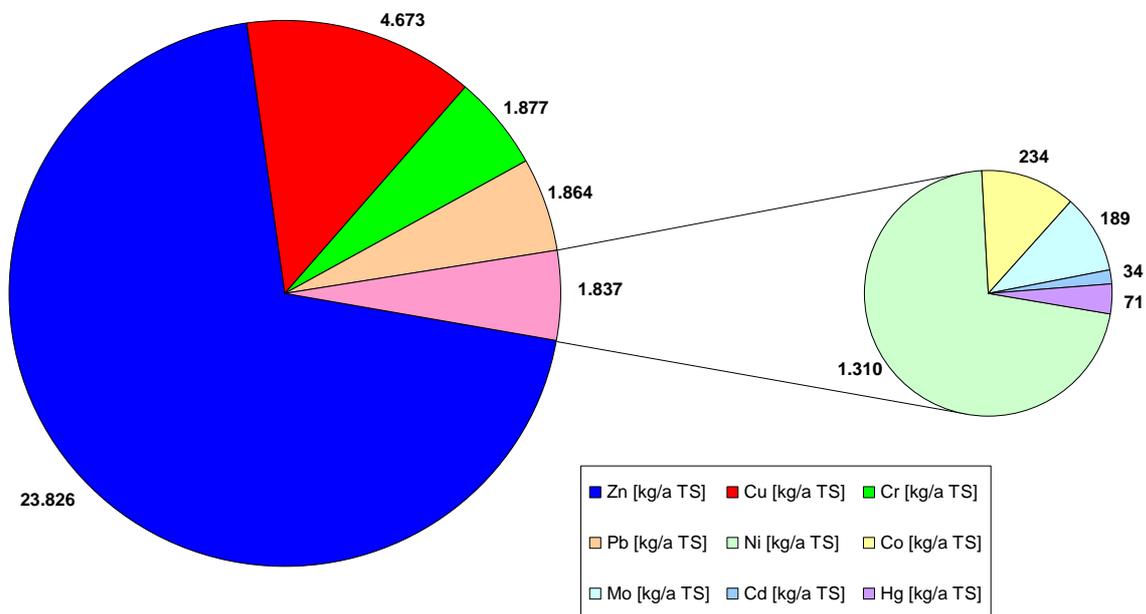


Abbildung 22: Durchschnittliche Schwermetallmengen im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark in [kg/a]

Erläuterungen: Quelle: FA 17C und FA 19A; berechnet aus den gewichteten durchschnittlichen Schwermetallkonzentrationen im Zeitraum 1996 bis 2001 und dem Klärschlammaufkommen aus dem Jahre 2004.

Vom gesamten Schwermetallaufkommen von rund 34.000 kg/a entfallen mit etwa 23.800 kg/a etwas weniger als drei Viertel des jährlichen Anfalls auf Zn, gefolgt von Cu und Cr.

2.2.1.2 Nährstoffe

Die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffmengen an N, P, K, Ca, Mg und Na wurden anhand des kommunalen Klärschlammaufkommens 2004 und den durchschnittlichen Nährstoffgehalten der Jahre 2001-2006 (siehe Tabelle 14) berechnet. Hierzu wurden die ermittelten Mittelwerte (arithmetisches Mittel aus den Messwerten der Jahre 2001 bis 2006) der Nährstoffgehalte mit dem Aufkommen des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark aus dem Jahre 2004 multipliziert. Die erhaltenen Nährstoffmengen stellen einen Näherungswert dar, da aufgrund der fehlenden Zuordnung der Messwerte zu den untersuchten Kläranlagen eine Gewichtung nach Klärschlammfall nicht durchgeführt werden konnte.

Abbildung 23 gibt einen Überblick über die jährlich im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark enthaltenen Nährstoffmengen. Insgesamt fallen im Klärschlamm jährlich etwa 4.650 t Nährstoffe an, wobei Ca aufgrund der Konditionierung des Klärschlammes mit Kalk den größten Anteil aufweist. Die im Klärschlamm insgesamt enthaltene Phosphormenge betrug im Jahr 2004 rund 590 t.

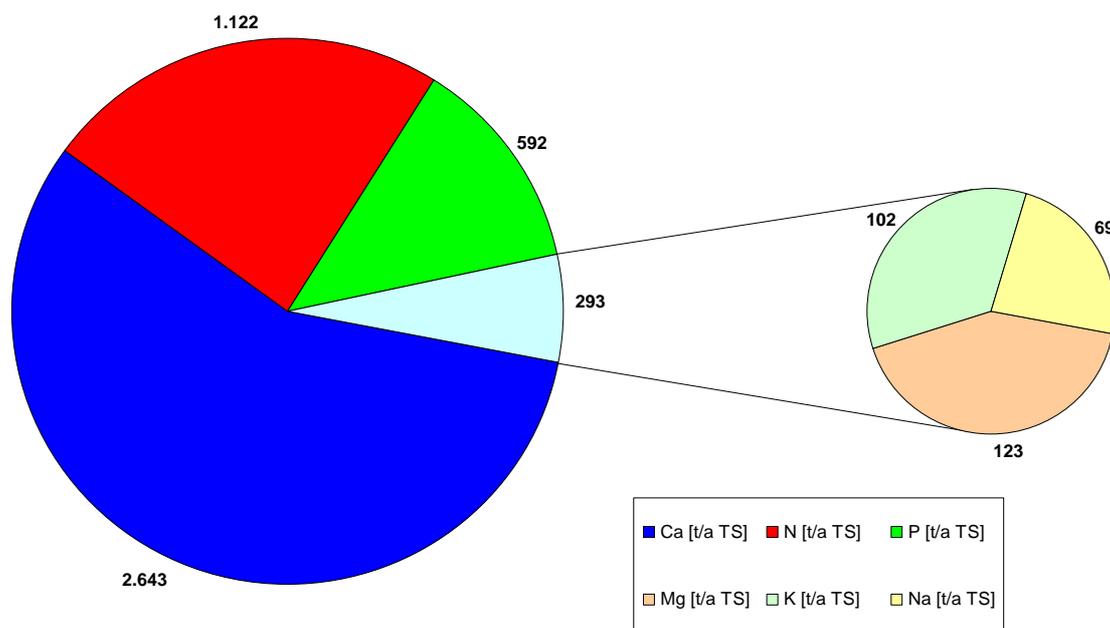


Abbildung 23: Durchschnittliche Nährstoffmengen im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark in [t/a]

Erläuterungen: Quelle: FA 10B und FA 19A; Berechnet aus den durchschnittlichen Nährstoffgehalten im Zeitraum 2001 bis 2006 und dem Klärschlammaufkommen aus dem Jahre 2004.

2.2.1.3 Derzeitiger direkter Stofffluss von Schwermetallen und Nährstoffen auf landwirtschaftliche Böden

Auf Basis der in Abbildung 2 dargestellten Aufteilung des Klärschlammaufkommens auf die verschiedensten Verwertungsschienen und der in Abbildung 22 und Abbildung 23 dargestellten im Klärschlamm enthaltenen Mengen an Schwermetallen und Nährstoffen wurden die derzeit über Einsatz des Klärschlammes in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau auf Böden aufgebrauchten Schwermetall- und Nährstoffmengen ermittelt (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Durchschnittlicher jährlicher Stofffluss von Schwermetallen und Nährstoffen auf landwirtschaftliche Böden durch den Einsatz von kommunalen Klärschlämmen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau in der Steiermark

Erläuterung: Quellen: FA 17C, FA 10B, FA 19A; bei der Berechnung der Stoffflüsse wurden für die Schwermetalle die in Tabelle 10 angeführten mengengewichteten Konzentrationen, für die Nährstoffe die in Tabelle 14 angeführten mittleren Konzentrationen sowie die in Tabelle 3 angeführten Mengen für die Verwertungsschienen Landwirtschaft und Landschaftsbau verwendet.

Parameter	Mengen an Klärschlamm-inhaltsstoffe die im Jahr 2004 durch die Verwertungspfade Landwirtschaft und Landschaftsbau auf landwirtschaftliche Flächen rückgeführt wurden		
	Landwirtschaft	Landschaftsbau	Gesamt
Schwermetalle			
Zn [kg/a]	5.141	9.566	14.707
Cu [kg/a]	1.008	1.876	2.884
Cr [kg/a]	405	754	1.158
Pb [kg/a]	402	748	1.151
Ni [kg/a]	283	526	808
Co [kg/a]	50	94	144
Mo [kg/a]	41	76	117
Cd [kg/a]	7	14	21
Hg [kg/a]	15	29	44
Gesamtmenge Schwermetall [kg/a]	7.353	13.682	21.035
Nährstoffe			
N [kg/a]	242.186	450.672	692.857
P [kg/a]	127.670	237.574	365.244
K [kg/a]	21.938	40.823	62.761
Ca [kg/a]	570.327	1.061.296	1.631.623
Mg [kg/a]	26.490	49.295	75.785
Na [kg/a]	14.841	27.616	42.457
Gesamtmenge Nährstoffe [kg/a]	1.003.452	1.867.276	2.870.728

Demnach werden in der Steiermark derzeit pro Jahr etwa 21 t an Schwermetallen (davon 14,7 t/a Zn) und 2.871 t an Nährstoffen (davon 365 t/a P) über die Verwertungsschienen Landwirtschaft und Landschaftsbau auf Böden aufgebracht, wobei etwa ein Drittel auf die Landwirtschaft und etwa 2 Drittel auf den Landschaftsbau entfallen.

Die Abscheidung von Schwermetallen aus den Klärschlämmen im Rahmen des neuen kombinierten dezentralen Klärschlammverbrennungs- und Aschenaufbereitungskonzeptes, das in

Kapitel 3 untersucht wird, birgt daher ein großes Potenzial zur Verringerung der Schadstoffbelastung der Steiermärkischen Böden und Grundwässer.

Von der FA 10B wurden Daten über die Klärschlammaufbringung auf Basis der von der FA 10B ausgestellten Aufbringungsberechtigungen unter der Annahme, dass die vorgeschriebenen Mengen auch tatsächlich aufgebracht wurden, für die Jahre 2002 bis 2005 zur Verfügung gestellt.

Allerdings gibt es laut FA 10B auch andere befugte Stellen, die Aufbringungsberechtigungen ausstellen. Von diesen liegen aber bisher keine Daten vor, so dass die von der FA 10B bereitgestellten Daten über die Klärschlammaufbringungsmengen alleine nicht zur Überprüfung der in Tabelle 15 angeführten Werte verwendet werden konnten. Für den Fall, dass auch Daten von allen anderen befugten Stellen vorliegen, könnten die aus den vollständig vorhandenen Aufbringungsberechtigungen ermittelten Aufbringungsmengen und mit den von der FA 19A zur Verfügung gestellten Werten über die Verwertung kommunalen Klärschlammes in der Steiermark verglichen werden.

2.2.2 Ermittlung geeigneter Standorte für dezentrale Klärschlammverwertungs-Demonstrationsanlagen

2.2.2.1 Zielsetzung

Neben der Analyse des in der Steiermark anfallenden kommunalen Klärschlammes hinsichtlich Schwermetall- und Nährstoffgehalten ist ein wichtiges Ziel dieser Studie die Auswahl von möglichen Standorten für eine oder mehrere Demonstrationsanlage(n) zur Umsetzung des Klärschlammverwertungskonzeptes. Bei der Auswahl geeigneter Standorte spielen neben der Verfügbarkeit von genügend Klärschlamm auch weitere standortspezifische Rahmenbedingungen, wie die verfügbare Fläche für die Klärschlammverwertungsanlage, mögliche Synergieeffekte durch gemeinsame Nutzung von Ressourcen und Personal, Qualität des anfallenden Klärschlammes und letztendlich der Willen der Kläranlagenbetreiber, das Verwertungskonzept entsprechend zu unterstützen, eine wichtige Rolle.

In einer ersten Abschätzung wurden mögliche Standorte auf Basis der Verteilung des kommunalen Klärschlammaufkommens in der Steiermark ausgewählt, die dann in weiterer Folge durch ergänzende Recherchen und Analysen sowie den direkten Kontakt mit in Frage kommenden Kläranlagenbetreibern präzisiert werden sollen.

2.2.2.2 Standortermittlung

Für die Standortermittlung dezentraler Klärschlammverwertungsanlagen wurden zunächst alle Kläranlagen entsprechend ihres Klärschlammaufkommens in Gruppen eingeteilt. Das in Abbildung 24 dargestellte Ergebnis zeigt, dass in den 47 Kläranlagen (ca. 9 % der Gesamtanzahl Steiermärkischer Kläranlagen) mit einem durchschnittlichen Klärschlammaufkommen von ≥ 100 Tonnen Trockensubstanz pro Jahr mit etwa 19.570 t TS im Jahr über 78 % des gesamten Klärschlammaufkommens in der Steiermark anfallen. Darüber hinaus steigt gemäß Abbildung 4 der durchschnittliche Trockensubstanzgehalt der Klärschlamme mit zunehmender Kläranlagengröße an (ausgenommen Graz-Gössendorf), wodurch eine thermische Verwertung der Klärschlämme erleichtert wird.

Aus diesem Grund konzentrierte sich die Ermittlung des Klärschlammpotenzials für mögliche Standorte für eine Demonstrationsanlage vorerst auf Kläranlagen mit mindestens 100 t TS jährliches Klärschlammaufkommen.

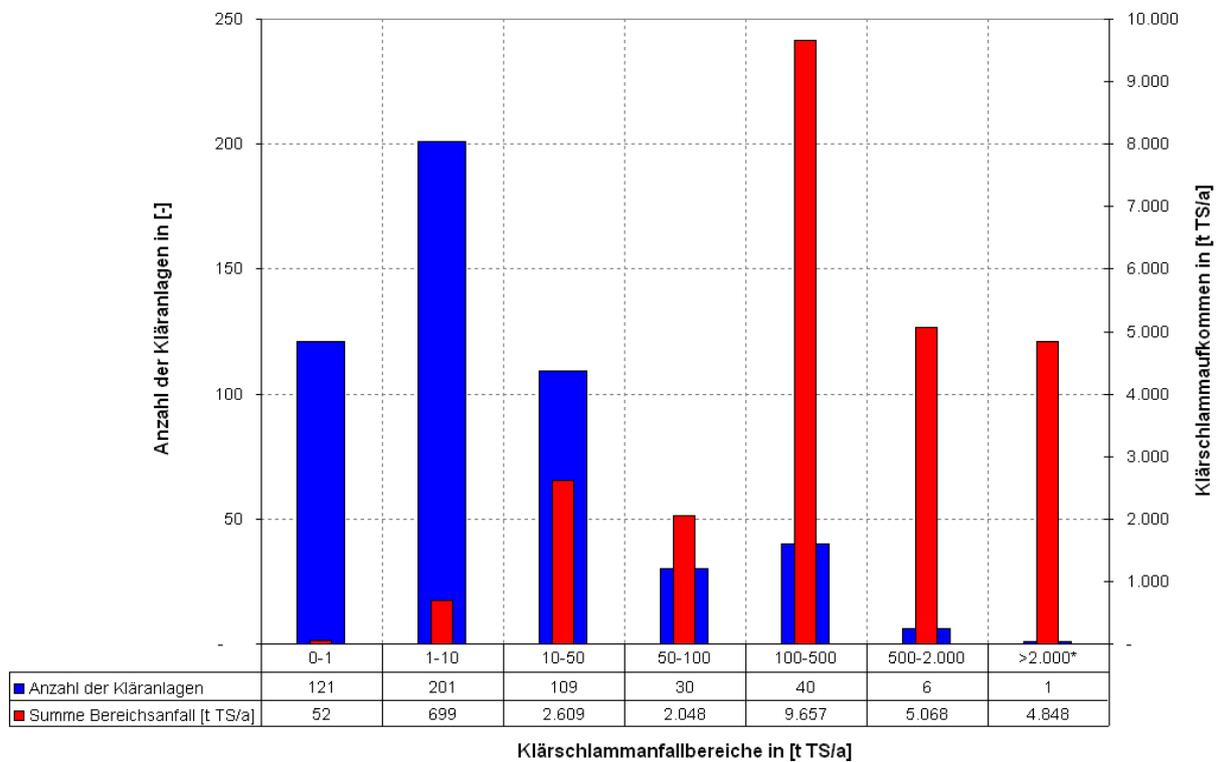


Abbildung 24: Häufigkeitsverteilung der Kläranlagen auf Basis des jährlichen Klärschlammaufkommens (Stand 2004)

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Die Verbandskläranlagen Gratkorn (10.080 t TS) und Pöls (3.300 t TS) wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Abbildung 25 zeigt die geographische Verteilung der Steiermärkischen Kläranlagen mit einem Klärschlammaufkommen von durchschnittlich über 100 t TS/a (im Zeitraum 2000-2004). Anhand dieser geographischen Verteilung des durchschnittlichen Klärschlammaufkommens wurde vorerst jeweils ein Standort für die Obersteiermark und Untersteiermark (West-, Süd- und Oststeiermark) definiert, um die Transportwege sinnvoll einzuschränken.

Als vorläufige Standorte wurden anschließend die Kläranlagen Graz-Gössendorf (5.461 t TS Klärschlamm pro Jahr) und Leoben (1.252 t TS Klärschlamm pro Jahr) ausgewählt, da aufgrund des hohen jährlichen kommunalen Klärschlammaufkommens dieser beiden Anlagen ein großer Teil des benötigten Klärschlammpotenzials für eine dezentrale Klärschlammverwertungs-Demonstrationsanlage direkt vor Ort bereitgestellt werden könnte.

Um diese Standorte herum wurden zwei Einzugsgebiete mit einem Einzugsradius von 35 km (Luftlinie, entspricht in etwa dem halben Abstand zwischen Graz-Gössendorf und Leoben) gebildet, um eine erste Prognose des verwertbaren Klärschlammpotenzials zu erhalten.

Diese erste Abschätzung für einen Einzugsradius von 35 km ergibt für den Standort Graz-Gössendorf ein jährliches Klärschlammaufkommen von rund 10.700 t TS, für den Standort Leoben von etwa 4.100 t TS.

Die Verteilung der Kläranlagen ≥ 100 t TS/a in Abbildung 25 zeigt, dass durch Erweiterung des Einzugsgebiets Graz auf die gesamte West-, Süd und Oststeiermark und Erweiterung des Einzugsgebiets Leoben auf das obere Mur- und Mürztal bzw. Liezen eine deutliche Steigerung des Klärschlammverwertungspotenzial erzielt werden könnte. Diese Erweiterung erscheint auch sinnvoll, da bei vergleichbaren Klärschlammverwertungsanlagen die Transportwege für Klärschlamm bis zu 100 km betragen.

Tabelle 16: Einzugsgebiet und dadurch bedingtes Klärschlammverwertungspotenzial des möglichen Klärschlammverwertungsstandortes Graz-Gössendorf

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Zusätzliche Kläranlagen zur Erhöhung des Klärschlammverwertungspotenzials durch Erweiterung des Einzugsgebiets auf die gesamte West-, Süd- und Oststeiermark (Einzugsradius bis zu 60 km Luftlinie). Die angegebenen Entfernungen beziehen sich auf tatsächlich zurückzulegende Straßenkilometer.

Kläranlage	Klärschlammanfall 2000-2004 [t TS]	Entfernung [km]
Graz-Gössendorf	5.461	0
Wildon	995	21
Hartberg*	660	74
Voitsberg	570	43
Wagna-Leibnitz	503	34
Gleisdorf	407	28
Feldbach	407	52
Weiz	379	42
Söding	335	26
Strass	333	42
Fürstenfeld*	298	58
Stainz	287	33
Köflach-Gradnerbachtal*	262	47
Zehndorf	251	29
Frauental	228	41
Lieboch	175	21
Köflach-Süd-Lankowitzbachtal*	169	47
Bad Radkersburg*	160	73
Sebersdorf*	157	61
Fladnitz im Raabtal	130	42
Sulmeck-Greith-Gasselsdorf*	130	42
Hitzendorf	116	37
Lafnitz-Rohrbach*	112	85
Pitschgau-Eibiswald*	108	61
Dobl-Muttendorf	106	18
St.Johann im Saggautal*	100	49
Klärschlamm- verwertungsmenge	10.683 12.839*	

Unter Einbeziehung der gesamten West-, Ost- und Südsteiermark beträgt das Klärschlammverwertungspotenzial für das Einzugsgebiet Graz 12.840 t TS pro Jahr (siehe Tabelle 16). Dabei ist aber zu beachten, dass wie bereits erwähnt, die AEVG (Abfall-, Entsorgungs- und VerwertungsgmbH) am Standort der Kläranlage Graz-Gössendorf eine Anlage zur Behandlung von Klärschlamm betreibt und den getrockneten Klärschlamm an Kraftwerke und

Industrieanlagen zur thermischen Verwertung abgibt [1]. Daher müsste über das tatsächlich verwertbare Klärschlammpotenzial dieser Anlage erst mit der AEVG bzw. den Kläranlagenbetreibern selbst verhandelt werden.

Tabelle 17: Einzugsgebiet und dadurch bedingtes Klärschlammpotenzial des möglichen Klärschlammverwertungsstandortes Leoben

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Zusätzliche Kläranlagen zur Erhöhung des Klärschlammverwertungs-potenzials durch Erweiterung des Einzugsgebiets auf das obere Mur- und Mürztal bzw. Liezen (Einzugsradius von bis zu 100 km Luftlinie). Die angegebenen Entfernungen beziehen sich auf tatsächlich zurückzulegende Straßenkilometer.

Kläranlage	Klärschlammfall 2000-2004 [t TS]	Entfernung [km]
Leoben	1.252	0
Knittelfeld	580	32
Kapfenberg/Mürz-IV	561	25
Bruck an der Mur	445	16
Sankt Marein/Mürz-III	435	28
Zeltweg*	374	38
Wartberg/Mürz-II*	361	39
Liezen*	279	79
Trofaiach	264	10
Langenwang/Mürz-I*	257	50
Frohnleiten	245	40
Judenburg*	230	47
Sankt Michael	168	9
Eisenerz	163	31
Murau*	157	91
Fohnsdorf*	138	43
Klärschlamm- verwertungsmenge	4.113 5.909*	

Das Einzugsgebiet Leoben erreicht innerhalb des 35 km-Radius eine verwertbare Klärschlammmenge von 4.113 t TS, wobei dieses Klärschlammverwertungspotenzial durch Erweiterung des Einzugsgebiets um die Kläranlagen Zeltweg, Wartberg/Mürz-II, Langenwang/Mürz-I, Judenburg, Fohnsdorf, Murau und Liezen um etwa 33 % auf 5.910 t TS pro Jahr erhöht werden könnte (siehe Tabelle 17). Auch hier liegen alle Kläranlagen weniger als 100 km vom geplanten Anlagenstandort in Leoben entfernt.

Die angeführten Klärschlammverwertungspotenziale für die Standorte Graz-Gössendorf und Leoben berücksichtigen nur Kläranlagen mit einem Klärschlammfall von ≥ 100 t TS/a. Weiteres Potenzial besteht durch die Einbeziehung von Kläranlagen mit einem Klärschlamm-aufkommensbereich von ≥ 50 -100 t TS/a.

So könnte das Klärschlamm-aufkommen im Einzugsgebiet Graz zusätzlich um 1.325 t TS (10 %) und im Einzugsgebiet Leoben um 225 t TS (4 %) Klärschlamm pro Jahr erhöht werden. In wie weit dieses Potenzial in der Praxis ausgeschöpft werden kann, hängt allerdings von der Machbarkeit eines sinnvollen Logistikkonzepts (z.B. Einrichtung von dezentralen Sammelstellen, um die Anzahl an benötigten Fahrten zum Anlagenstandort zu minimieren) ab.

Die sinnvolle Mindestmenge für eine Demonstrationsanlage für die Klärschlamm-aufbereitung liegt nach derzeitigen Erfahrungen bei etwa 5.000 bis 8.000 t Klärschlamm-aufbereitung

pro Jahr (das entspricht bei einem Aschegehalt von 50 % zwischen 10.000 und 16.000 t TS Klärschlamm pro Jahr), wobei die vorgeschaltete Klärschlamm-trocknung und -verbrennung auch ab Klärschlamm-mengen von etwa 2.000 t TS/a möglich wäre. Demnach wäre es denkbar, in Leoben nur eine Anlage zur thermischen Behandlung von Klärschlamm (Trocknung und Verbrennung) zu errichten und die dabei entstehende Asche dann in der Anlage am Standort Graz-Gössendorf weiterzuverarbeiten. Die verschiedenen Anlagenkonzepte werden in Kapitel 3 näher diskutiert.

Neben Standorten in unmittelbarer Nähe von Kläranlagen ist es auch sinnvoll, Standorte mit ähnlichen Synergieeffekten, z.B. Biogasanlagen (Nutzung von Abwärme aus den Gas-BHKWs, Nutzung von Gas zur Reaktorbeheizung), als potenzielle Standorte für Demonstrationsanlagen zu prüfen.

Aus Abbildung 26 ist die Verteilung der Biogasanlagen in der Steiermark ersichtlich.



Abbildung 26: Standorte von Biogasanlagen in der Steiermark

Erläuterung: Quelle: Lokale Energieagentur Oststeiermark.

Aus Abbildung 26 ist ersichtlich, dass der Großteil der Biogasanlagen im Einzugsgebiet Graz liegt. Hier erscheint es durchaus realistisch, dass im Zuge des Klärschlammverwertungskonzeptes für die Steiermark Synergien genutzt werden können. In der Obersteiermark gibt es hingegen nur wenige Anlagen, dementsprechend gering sind die Möglichkeiten Synergien zu nutzen.

2.2.2.3 Zukünftige Entwicklung des Klärschlammmanfalls in der Steiermark

Abbildung 27 stellt die Entwicklung des Klärschlammmanfalls der Einzugsgebiete Graz und Leoben dar. Auffällig sind der sprunghafte Anstieg des Klärschlammaufkommens des Einzugsgebiets Graz von 2001 auf 2002 und ein fast ebenso großer Rückgang von 2003 auf 2004. Über den Zeitraum von 2000 bis 2004 ergibt sich ein durchschnittlicher Anstieg von 2,5% pro Jahr.

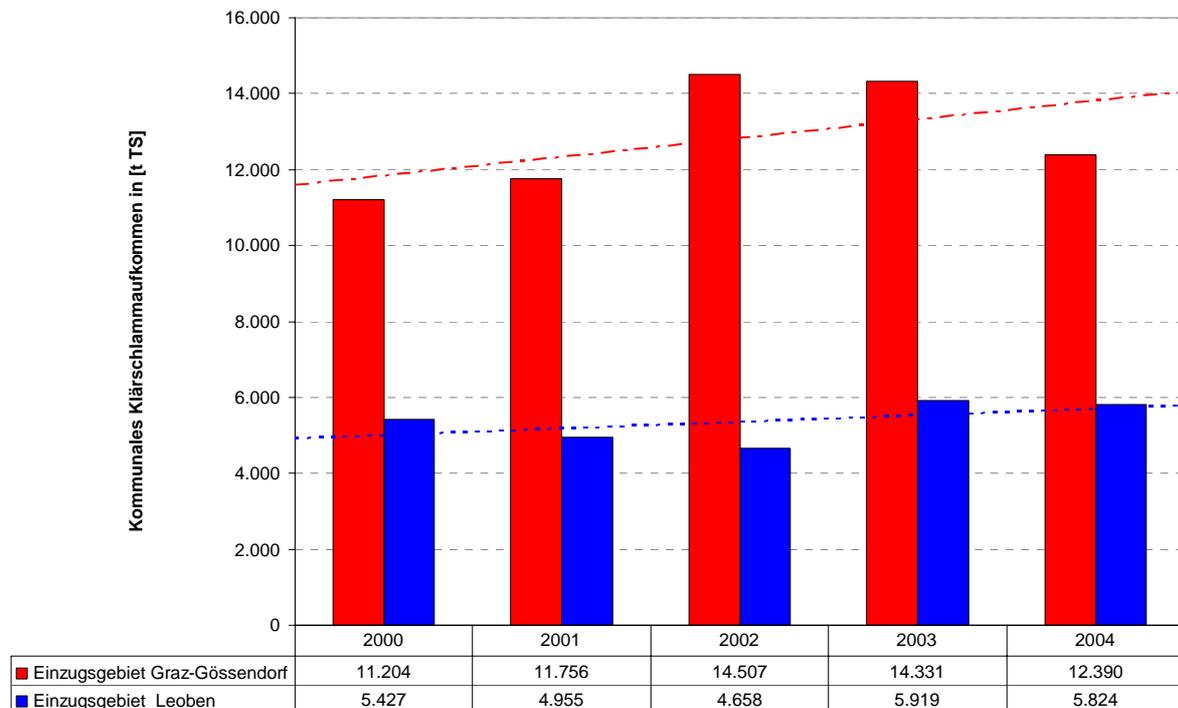


Abbildung 27: Entwicklung des Klärschlammaufkommens der Einzugsgebiete Graz und Leoben 2000-2004 (Kläranlagen ≥ 100 t TS/a)

Erläuterung: Quelle: FA 19A.

Beim Einzugsgebiet Leoben gibt es ebenfalls Schwankungen. Hier erfolgte in den Jahren 2001 und 2002 ein Rückgang des Klärschlammaufkommens, hauptsächlich bedingt durch einen geringeren Klärschlammmanfall in Leoben, bevor im Jahre 2003 ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen war und 2004 das Klärschlammaufkommen auf annähernd gleichen Niveau verblieb. Der durchschnittliche Anstieg des Klärschlammaufkommens betrug von 2000 bis 2004 1,8% pro Jahr. In diesem Zusammenhang ist auf die Gesamtentwicklung des Klärschlammaufkommens in der Steiermark (Abbildung 1), mit einer jährlichen Steigerungsrate von rund 1,9% (ohne Verbandskläranlagen Gratkorn und Pöls) zu verweisen. Laut Auskunft von Fr. Dr. Winter beträgt derzeit der Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation in der Steiermark zwischen 93 und 94%. Allein durch die Erschließung von bisher nicht erschlossenen Gebieten ist daher in Zukunft keine wesentliche Steigerung mehr zu erwarten. Andererseits werden zurzeit die Kläranlage in Graz-Gössendorf sowie zwei größere Anlagen im Leibnitzer Feld erweitert, so dass in den nächsten Jahren noch ein weiterer Anstieg der Klärschlamm mengen erwartet werden kann.

Für eine genauere Prognose des tatsächlich für die geplanten Klärschlammverwertungsanlagen zur Verfügung stehenden Klärschlammaufkommens wird es wichtig sein, mit den Kläranlagenbetreibern der größeren Kläranlagen innerhalb der skizzierten Einzugsgebiete Kontakt aufzunehmen, um einerseits die Bereitschaft zur Abgabe des Klärschlammes an die Klärschlammverwertungsanlage abzuklären und andererseits standortspezifische Entwicklungen (z.B. Ausbau weiterer Kläranlagen, Umstellung von Behandlungsmethoden) berücksichtigen zu können.

2.2.2.4 Auslegungsdaten für die Einzugsgebiete der dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen

Basierend auf den Ergebnissen der Datenauswertung können für die beiden Einzugsgebiete Graz und Leoben Auslegungsdaten hinsichtlich mengengewichteten Klärschlamm-trockensubstanzgehalt, erwarteter Klärschlammmenge sowie Aschegehalt und Heizwert festgelegt werden.

Trockensubstanzgehalt:

Anhand der von der FA 19A bereitgestellten Klärschlamm-trockensubstanzgehalte von 2005 wurden die mengengewichteten Trockensubstanzgehalte für das jeweilige Einsatzgebiet ermittelt. Dazu wurden die Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte für die, bei der Standortermittlung dezentraler Klärschlammverwertungsanlagen (siehe Kapitel 2.2.2.2) ausgewählten Kläranlagen der Einzugsgebiete Graz und Leoben ausgewählt und in Tabelle 18 und Tabelle 19 aufgeführt.

Wie Tabelle 18 zu entnehmen ist, gibt es im Einzugsgebiet Graz große Unterschiede in Bezug auf die Klärschlamm-trockensubstanzgehalte der betrachteten Kläranlagen. Diese Unterschiede können, wie bereits erwähnt, auf unterschiedliche Entwässerungsmethoden oder andererseits auf unterschiedliche Entnahmestellen von Klärschlammproben zurückgeführt werden. Dabei weisen mehr als zwei Drittel aller betrachteten Kläranlagen im Einzugsgebiet Graz einen Klärschlamm-trockensubstanzgehalt von über 20 % TS auf. Daraus lässt sich ableiten, dass mehr als zwei Drittel der relevanten Kläranlagen des betrachteten Einzugsgebiets vor der Abgabe bzw. Übergabe des Klärschlammes an Dritte eine maschinelle Entwässerung durchführen.

Tabelle 18: Kommunale Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte des Einzugsgebietes Graz für das Jahr 2005

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Kläranlagen, die im Einzugsgebiet liegen, für die aber für das Jahr 2005 keine Angaben bzgl. Frischsubstanz-, Trockensubstanzmenge und Trockensubstanzgehalt vorliegen, wurden bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.

Kläranlage	Verwerteter Klärschlamm		
	[t FS]	[% TS]	[t TS]
Graz-Gössendorf	148.681	3,50	5.204
Wildon	4.011	28,00	1.123
Hartberg	2.379	29,00	690
Voitsberg	1.792	16,40	294
Wagna-Leibnitz	2.181	37,40	816
Gleisdorf	2.275	16,20	369
Feldbach	1.200	31,00	372
Weiz	2.500	26,18	655
Söding	952	25,29	241
Strass	1.262	26,60	336
Fürstenfeld	1.189	23,83	283
Stainz	1.490	25,60	381
Köflach-Gradnerbachtal	1.340	26,00	348
Zehndorf	48	35,00	17
Frauental	618	26,87	166
Lieboch	896	23,00	206
Köflach-Süd-Lankowitzbachtal*	-	-	-
Bad Radkersburg	503	24,00	121
Sebersdorf	202	65,00	132
Fladnitz im Raabtal	1.593	3,17	51
Sulmeck-Greith-Casselsdorf	750	20,08	151
Hitzendorf *	-	-	-
Lafnitz-Rohrbach	550	18,55	102
Pitschgau-Eibiswald	150	29,90	45
Dobl-Muttendorf	103	81,00	83
St.Johann im Saggautal	2.370	4,20	100
Mengengewichtung	179.036	6,86	12.283
Median	1.231	25,80	262
1. Quartile	601	19,70	116
Minimaler Messwert	48	3,17	17
Maximaler Messwert	148.681	81,00	5.204
3. Quartile	2.205	29,23	374
Mittelwert	6.886	24,84	472
Standardabweichung	30.095	16,93	1.035
Mengengewichtung	30.355	23,32	7.079
Median	1.200	26,00	241
1. Quartile	584	21,54	111
Minimaler Messwert	48	3,17	17
Maximaler Messwert	4.011	81,00	1.123
3. Quartile	1.987	29,45	370
Mittelwert	1.214	25,69	283
Standardabweichung	977	16,54	277

Mit KA-Graz-Gössendorf

Ohne KA-Graz-Gössendorf

Im Gegensatz dazu weisen die Kläranlagen Graz-Gössendorf, Fladnitz im Raabtal und St. Johann im Saggautal nur sehr geringe Klärschlamm Trockensubstanzgehalte im Bereich von rund 3 bis 4,5 % auf (Entwässerungsbandbreite von Klärschlammstabilisierungsverfahren). Diese geringen Trockensubstanzgehalte sind womöglich mit Ausnahme der Kläranlage Graz-Gössendorf (hier erfolgt die Übergabe des Klärschlammes an die AEVG zur weiteren Entwässerung und Trocknung, siehe auch Kapitel 2.1.2.1) auf eine landwirtschaftliche Nassschlammverwertung dieser Kläranlagen zurückzuführen, bei der der Klärschlamm nur durch Eindickung (2-5% TS) entwässert wird [2,7].

Ferner ist aus Tabelle 18 zu erkennen, dass die Kläranlage Graz-Gössendorf mit einer Klärschlammverwertungsmenge von 148.700 t FS/a und einem Trockensubstanzgehalt von 3,5% als mengenmäßig dominierende Kläranlage des Einzugsgebietes Graz den ermittelten gewichteten Trockensubstanzgehalt von 6,9% enorm beeinflusst.

Diese dominierende Rolle spiegelt sich auch im Vergleich des Ergebnisses der Mengengewichtung (6,9 % TS) mit der durchgeführten statistischen Betrachtung der Trockensubstanzgehalte wider, bei dem eine deutliche Abweichung zum Median von rd. 25,8% und zum Mittelwert von rd. 24,9% (Standardabweichung von 16,9%) zu erkennen ist.

Daraus resultierend wurde unter Ausschluss der Kläranlage Graz-Gössendorf erneut eine Mengengewichtung und eine statistische Auswertung der Klärschlamm Trockensubstanzgehalte des Einzugsgebietes Graz durchgeführt. Die Ergebnisse der zweiten Auswertung sind gleichfalls in Tabelle 18 zusammengefasst.

Das Ergebnis dieser zweiten Auswertung der Klärschlammverwertungsmengen und Trockensubstanzgehalte zeigt, dass ohne Berücksichtigung der Kläranlage Graz-Gössendorf der mengengewichtete Klärschlamm Trockensubstanzgehalt von rund 7 auf über 23 % ansteigt. In diesem Fall weichen Median- bzw. Mittelwert (26,00 bzw. 25,49 % mit einer Standardabweichung von 16,54 %) nur mehr geringfügig vom mengengewichteten Klärschlamm Trockensubstanzgehalt ab.

In Tabelle 19 wurden die Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte aller relevanten Kläranlagen des Einzugsgebietes Leoben zusammenfassend gegenübergestellt. Zur Ermittlung des durchschnittlichen Klärschlamm Trockensubstanzgehaltes im Einzugsgebiet wurde wiederum eine Mengengewichtung der Trockensubstanzgehalte mit Hilfe der Klärschlammverwertungsmengen (Menge Trockensubstanz zu Menge Frischsubstanz) durchgeführt. Der Klärschlamm Trockensubstanzgehalt für das Einzugsgebiet Leoben lag im gewichteten Mittel bei etwa 25,3 %. Im Vergleich zur statistischen Auswertung (Mittelwert: 19,12 %; Standardabweichung: 13,12 %; Median: 23,3 %) liegt der mengengewichtete Klärschlamm Trockensubstanzgehalt innerhalb der Standardabweichung.

Tabelle 19: Kommunale Klärschlammverwertungsmengen und -Trockensubstanzgehalte des Einzugsgebietes Leoben für das Jahr 2005

Erläuterungen: Quelle: FA 19A; * Kläranlagen, die im Einzugsgebiet liegen, für die aber für das Jahr 2005 keine Angaben bzgl. Frischsubstanz-, Trockensubstanzmenge und Trockensubstanzgehalt vorliegen, wurden bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.

Kläranlage	Verwerteter Klärschlamm		
	[t FS]	2005 [% TS]	[t TS]
Leoben	1.877	60,00	1.126
Knittelfeld	1.652	23,00	380
Kapfenberg/Mürz-IV	2.150	29,10	626
Bruck an der Mur*	-	-	-
Sankt Marein/Mürz-III*	-	-	-
Zeltweg*	-	-	-
Wartberg/Mürz-II	1.100	24,10	265
Liezen	340	21,08	72
Trofaiach	1.210	33,00	399
Langenwang/Mürz-I	950	29,30	278
Frohnleiten	891	21,80	194
Judenburg	938	23,50	220
Sankt Michael*	-	-	-
Eisenerz	231	19,20	44
Murau	275	18,30	50
Fohnsdorf	3.314	3,50	116
Mengengewichtung	14.928	25,27	3.771
Median	1.025	23,25	243
1. Quartile	753	20,61	105
Minimaler Messwert	231	3,50	44
Maximaler Messwert	3.314	60,00	1.126
3. Quartile	1.708	29,15	385
Mittelwert	933	19,12	236
Standardabweichung	894	13,12	307

Auf Basis der vorliegenden Daten kann davon ausgegangen werden, dass bei entsprechender Unterstützung der Kläranlagenbetreiber, was die Voraussetzung für ein funktionierendes Klärschlammverwertungskonzept ist, ein durchschnittlicher Klärschlamm-trockensubstanzgehalt von 25 % in beiden Einzugsgebieten realistisch erreicht werden kann. Für die weiteren Berechnungen wurde daher ein durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt des kommunalen Klärschlammes von 25 % angenommen.

Aschegehalt und Heizwert:

Wie in Kapitel 2.1.6 bereits erwähnt, liegen nur wenige Messwerte für Aschegehalt und Heizwert von kommunalem Klärschlamm vor. Angaben der Firmen UEG und ANDRITZ sowie Literaturangaben geben nur Bandbreiten an, innerhalb derer sich die Aschegehalte und Heizwerte bewegen. Wie bereits in Kapitel 2.1.6 erläutert, wurden anhand der vorliegenden Daten die Basiswerte für Aschegehalt mit 50 Gew.% TS und Heizwert mit 10,0 MJ/kg TS festgelegt, mit denen dann weitere Berechnungen durchgeführt werden.

Realistisches Klärschlammpotenzial der dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen in der Steiermark:

Die für die Einzugsgebiete Graz bzw. Leoben in Tabelle 16 bzw. Tabelle 17 ermittelten Klärschlammpotenziale gelten unter der Voraussetzung, dass alle relevanten kommunalen Kläranlagen ihre Klärschlämme in Zukunft in den geplanten Klärschlammverwertungsanlagen verwerten.

Laut den vorliegenden Daten gibt es aber einige Kläranlagen, allen voran Graz-Gössendorf, die bereits jetzt ihre Klärschlämme einer thermischen Verwertung zuführen bzw. über andere vertraglich vereinbarte Entsorgungsmöglichkeiten verfügen (z.B. längerfristige Verträge mit Kompostieranlagen [3]). Es kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht davon ausgegangen werden, dass die bereits jetzt thermisch verwerteten Klärschlammengen für die geplanten dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen zur Verfügung stehen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden für die beiden Einzugsgebiete jeweils realistische jährliche Klärschlammengen ermittelt, auf deren Basis die Größen der Klärschlammverwertungsanlagen festgelegt werden können.

Im Einzugsgebiet Graz wurden 2004 4.485 t TS (davon 4.141 t TS aus der Kläranlage Graz-Gössendorf) an kommunalen Klärschlamm thermisch verwertet. Abhängig vom Wegfall weiterer Klärschlammengen aufgrund langfristiger Entsorgungsverträge und der tatsächlichen Anzahl der teilnehmenden Kläranlagen liegt die Schwankungsbreite etwa zwischen rund 6.200 (Einzugsgebiet mit 35 km Radius und Kläranlagen bis 100 t TS/a mit einem Potenzial von 10.680 t TS/a abzüglich 4.490 t TS/a über thermische Verwertung) und 9.700 t TS pro Jahr (Einzugsgebiet mit 60 km Radius und Kläranlagen bis 50 t TS/a mit einem Potenzial von 14.170 t TS/a abzüglich 4.490 t TS/a über thermische Verwertung).

Im Einzugsgebiet Leoben wurden 2004 511 t TS an kommunalem Klärschlamm thermisch verwertet. Durch den hohen Anteil des Landschaftsbaus (Kompostierung) an der Verwertung des Klärschlammes kann davon ausgegangen werden, dass darüber hinaus noch eine gewisse Menge an Klärschlamm aufgrund bestehender Entsorgungsverträge auf diesem Gebiet nicht für die geplante Klärschlammaufbereitungsanlage zur Verfügung steht. Abhängig von der tatsächlichen Anzahl der teilnehmenden Kläranlagen liegt die Schwankungsbreite etwa zwischen 3.000 (Einzugsgebiet 35 km Radius und Kläranlagen bis 100 t TS/a mit einem Potenzial von 4.110 t TS/a abzüglich 511 t TS/a über thermische Verwertung und weitere 600 t TS/a über Kompostierung) und 5.000 t TS (Einzugsgebiet Mur- und Mürztal sowie bis Liezen und Kläranlagen bis 50 t TS/a mit einem Potenzial von 6.120 t TS/a abzüglich 511 t TS/a über thermische Verwertung und weitere 600 t TS/a über Kompostierung) pro Jahr.

Zusammenfassung:

In Tabelle 20 sind die Auslegungsdaten für die Klärschlammverwertungsanlagen zusammengefasst. Neben den oben besprochenen Annahmen für Klärschlammaufkommen, Trockensubstanz- und Aschegehalt sowie Heizwert wurden auch die durchschnittlichen Nährstoff- und Schwermetallgehalte in der Tabelle angeführt. Diese Daten bilden die Basis für die in Kapitel 3 näher erläuterte Anlagenkonzeption.

Tabelle 20: Auslegungsdaten für die Einzugsgebiete der dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen in der Steiermark

Erläuterung: Quelle: Tabellen 5, 6, 11, 14. * Gemäß Kapitel 2.1.4.3 werden für Schwermetalle Mittelwert plus Standardabweichung als Auslegungswerte verwendet.

Auslegungsparameter	Einheit	Werte		
Klärschlamm				
Aufkommen		Mittelwert	Stabw.	
<i>Einzugsgebiet Untersteiermark</i>				
Durchschnittliches Klärschlammaufkommen	[t/a TS]	12.840		
Verfügbares Klärschlammaufkommen	[t/a TS]	8.000		
Durchschnittlicher Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt	[% TS]	25,69	16,54	
Mengengewichteter Trockensubstanzgehalt	[% TS]	23,32		
Trockensubstanzgehalt für Anlagenauslegung	[% TS]	25,00		
<i>Einzugsgebiet Obersteiermark</i>				
Durchschnittliches Klärschlammaufkommen	[t/a TS]	5.910		
Verfügbares Klärschlammaufkommen	[t/a TS]	4.000		
Durchschnittlicher Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt	[% TS]	19,12	13,12	
Mengengewichteter Trockensubstanzgehalt	[% TS]	25,27		
Trockensubstanzgehalt für Anlagenauslegung	[% TS]	25,00		
Aschegehalt		Mittelwert		
Aschegehalt	[% TS]	50,00		
Heizwert		Mittelwert		
Heizwert	[kJ/kg TS]	10.000		
Nährstoffe		Mittelwert	Stabw.	
Stickstoff	[kg/t TS]	44,93	17,85	
Phosphor	[kg/t TS]	23,69	10,13	
Kalium	[kg/t TS]	4,07	4,06	
Kalzium	[kg/t TS]	105,81	93,48	
Magnesium	[kg/t TS]	4,91	3,74	
Natrium	[kg/t TS]	2,75	2,04	
Schwermetalle		Mittelwert	Stabw.	Auslegungs- wert*
Zink	[mg/kg TS]	1.021,81	537,46	1.559,27
Kupfer	[mg/kg TS]	195,72	122,39	318,12
Chrom	[mg/kg TS]	55,22	83,97	139,19
Blei	[mg/kg TS]	54,29	36,15	90,44
Nickel	[mg/kg TS]	36,54	26,67	63,21
Cobalt	[mg/kg TS]	7,56	8,03	15,59
Molybdän	[mg/kg TS]	4,68	6,03	10,71
Cadmium	[mg/kg TS]	1,11	0,70	1,82
Quecksilber	[mg/kg TS]	2,31	3,14	5,45

3 Konzepterstellung für die Klärschlammverwertung und Stoffflussbilanzierung

3.1 Generelles Anlagenkonzept

Um die im steiermärkischen Klärschlamm enthaltenen Wertstoffe – primär Phosphor – als Pflanzennährstoffe verfügbar zu machen und gleichzeitig die umweltrelevanten Schadstoffe weitgehend abzutrennen, wurde ein Klärschlammverwertungskonzept entwickelt, das im Folgenden kurz erläutert wird.

Unabhängig von der Anlagengröße gliedert sich die Klärschlammverwertungsanlage im Wesentlichen in die folgenden vier Prozessschritte (siehe Abbildung 28):

- Klärschlamm-trocknung und -verbrennung
- Klärschlamm-ascheaufbereitung
- Thermische Behandlung der Asche
- Düngemittelherstellung

Wie aus Abbildung 28 zu erkennen ist, wird eingangs der kommunale Klärschlamm in einer Trocknungsanlage unter möglicher Nutzung der Abwärme aus der thermischen Verwertung vom Ausgangstrockensubstanzgehalt auf den für die thermische Verwertung des Klärschlammes notwendigen Trockensubstanzgehalt getrocknet. Bei der Trocknung können je nach Trocknungstemperatur neben der Verdampfung des im Klärschlamm enthaltenen Wassers auch Geruchsemissionen auftreten. Es ist daher ein Filterkonzept für die Trocknerabluft (Biofilter) vorgesehen.

Im zweiten Schritt erfolgt die thermische Verwertung des getrockneten Klärschlammes. Dabei wird bei der Verbrennung der organische Anteil des Klärschlammes zur Wärmeerzeugung genutzt. Als Rückstand der thermischen Verwertung verbleibt der oxidierte mineralische Anteil (Asche) des Klärschlammes.

Durch die Kombination von Klärschlamm-trocknung und Klärschlamm-verbrennung entsteht in Abhängigkeit vom Eingangswassergehalt des Klärschlammes vor der Trocknung und von der eingesetzten Trocknungs- und Verbrennungstechnologie eine energieautarke thermische Verwertungsmöglichkeit des Klärschlammes, bei der bei entsprechend hohem Heizwert des Klärschlammes auf den Einsatz von anderen Brennstoffen verzichtet werden kann. Bei zu geringem Heizwert bzw. zu hohem Eingangswassergehalt ist eine zusätzliche Energiezufuhr über Primärenergieträger (Erdgas, Heizöl, Biomasse) notwendig. Bei Energieüberschuss besteht die Möglichkeit, die überschüssige Abwärme extern, z.B. in einem Fernwärmenetz, zu verwerten.

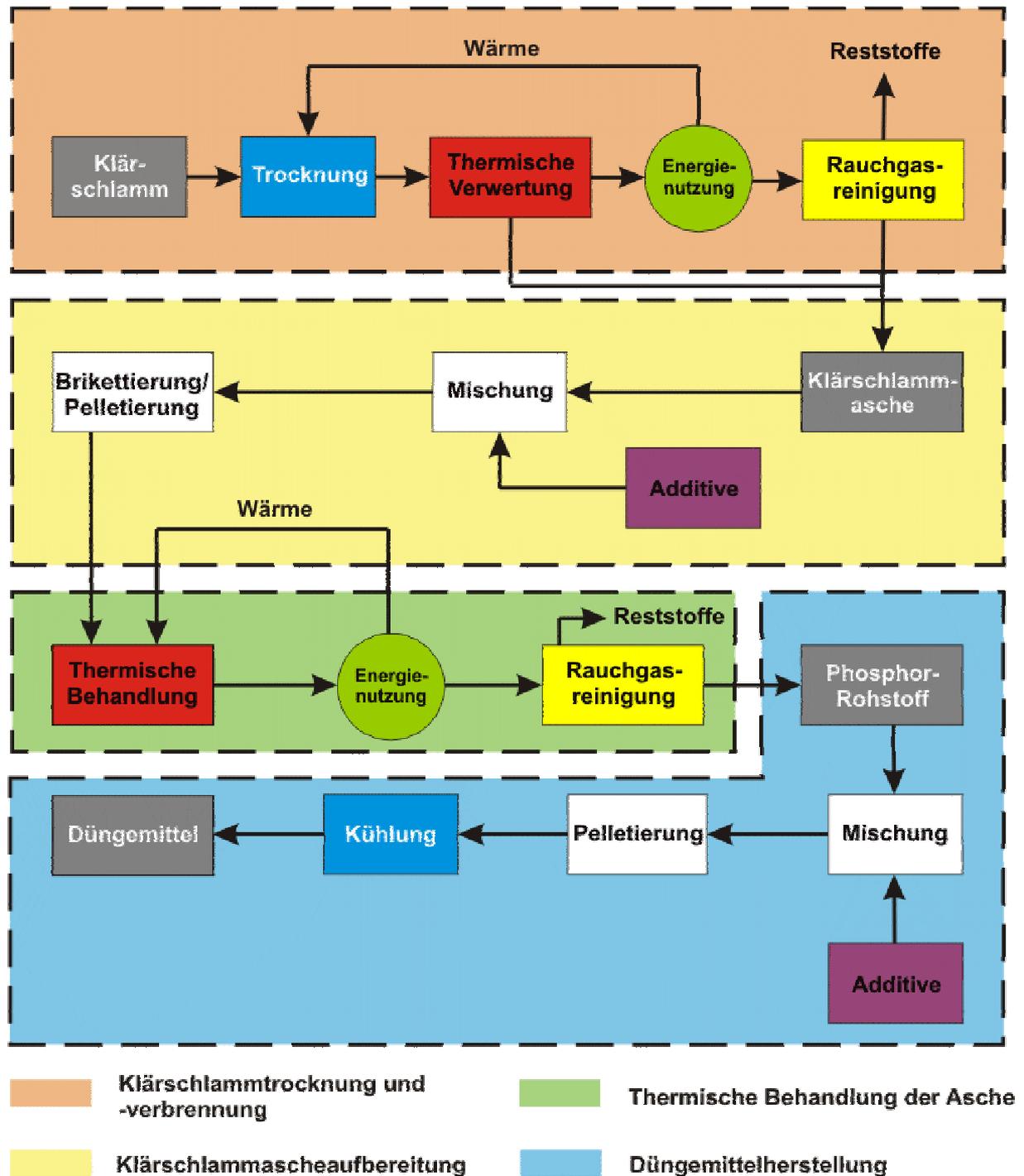


Abbildung 28: Prinzipielles Verfahrensfliessbild des Klärschlammverwertungskonzeptes für die Steiermark

Erläuterung: Quellen: [17, 19, 24, 25].

In der der Klärschlammverbrennung nach geschalteten Rauchgasreinigung werden die entstehenden Abgase je nach verwendeter Verbrennungstechnologie durch entsprechende Maßnahmen, wie Gewebe-, Elektrofilter, Gaswäsche und DENOX-Verfahren gereinigt. Dadurch wird sichergestellt, dass sämtliche im Abgas enthaltenen Schadstoffkomponenten (Staub, HCl, Schwefeldioxid, Schwermetalle, usw.) auf Konzentrationen reduziert werden, die unter den geforderten, gesetzlich bzw. behördlich vorgeschrieben Grenzwerten liegen.

Die bei der Klärschlammverbrennung entstehende Asche wird im Zuge der Klärschlamm-
ascheaufbereitung mit dem für die nachfolgende Schwermetallentfrachtung erforderlichen
Additiv (Cl-Träger) versetzt (Mischer) und anschließend in eine für die thermische Behand-
lung geeignete physikalische Form gebracht (Pelletierung oder Brikettierung).

Danach werden die additivierten Klärschlamm-
aschebriketts/pellets thermisch behandelt, wo-
bei eventuell noch in den Klärschlamm-
aschen enthaltene Kohlenstoffreste durch die hohen
Temperaturen im Drehrohr zerstört und vollständig verbrannt werden. Die Schwermetalle in
den Briketts/Pellets werden bei einer Temperatur von rund 1.000°C großteils zu Schwer-
metallchloriden umgewandelt und verdampfen. In der nachgeschalteten Rauchgasreinigung
werden die bei der thermischen Behandlung entstehenden Schadstoffe (Staub, HCl, SO_x,
Schwermetallverbindungen) in einem mehrstufigen Verfahren abgeschieden.

Die schwermetallentfrachteten Klärschlamm-
aschepellets werden anschließend durch Zusatz
verschiedener Nährstoffadditive, Pelletierung und abschließender Kühlung zu handels-
üblichen Düngemitteln aufbereitet.

3.2 Festlegung der Anlagengrößen

Als Basis für die Festlegung der Anlagengrößen dienen die Ergebnisse aus der im Kapitel 2
durchgeführten Aus- und Bewertung der steiermärkischen Klärschlamm-
daten hinsichtlich örtlicher und mengenmäßiger Verteilung des Klärschlamm-
anfalls unter Berücksichtigung des Klärschlamm-
trockensubstanzgehalts, der Nährstoff- und Schwermetallgehalte sowie be-
stehender Verwertungswege. Die daraus resultierenden Rahmenbedingungen für die Um-
setzung eines Klärschlamm-
verwertungskonzeptes mit Phosphorrückgewinnung sind in
Tabelle 20 zusammengefasst.

Wie in Kapitel 2.2.2.4 erläutert, kann nach derzeitigem Wissensstand nicht davon ausge-
gangen werden, dass die in den beiden Einzugsgebieten vorhandenen Klärschlamm-
potenziale (siehe Tabelle 16 und Tabelle 17) vollständig ausgeschöpft werden können. Es wurde daher
von realistischen jährlich verfügbaren Klärschlamm-
mengen ausgegangen, die in Tabelle 20
angeführt sind. Demnach wird für das Einzugsgebiet Graz von einer jährlich verfügbaren Klär-
schlamm-
menge von etwa 8.000 t TS bzw. für das Einzugsgebiet Leoben von einer jährlich
verfügbaren Klärschlamm-
menge von etwa 4.000 t TS ausgegangen.

Die Mindestdurchsatzmenge für den Betrieb der Klärschlamm-
ascheaufbereitungsanlage
liegt, wie in Kapitel 2.2.2.2 bereits angesprochen, bei 5.000 t Asche pro Jahr (das entspricht
unter den gegebenen Rahmenbedingungen einer Klärschlamm-
menge von 10.000 t TS/a), die
vorgeschaltete Klärschlamm-
trocknung und -verbrennung kann aber auch bei kleineren Durch-
sätzen (etwa 2.000 t TS/a) betrieben werden. Bei einer verfügbaren Klärschlamm-
menge in der
Steiermark von insgesamt 12.000 t TS/a erscheint es daher sinnvoll, in der Obersteiermark
nur eine Anlage zur thermischen Behandlung von Klärschlamm (Trocknung und
Verbrennung) zu errichten und die dabei entstehende Asche dann am Standort der zweiten
Anlage im Gebiet um Graz, wo auch die zentrale Klärschlamm-
ascheaufbereitungsanlage
errichtet wird, weiterzuverarbeiten.

Andererseits ergeben sich durch die Errichtung nur eines zentralen Standorts mit kombinierter
Klärschlamm-
trocknung, Klärschlamm-
verbrennung und Klärschlamm-
ascheaufbereitung Syn-
ergien durch sinkende spezifische Investitionskosten, Einsparungspotenziale beim Personal
und besserer Abwärmemöglichkeiten.

Auf Basis dieser Überlegungen wurden in weiterer Folge zwei Varianten für ein Klärschlammverwertungskonzept in der Steiermark näher untersucht:

- **Variante 1:** ein gemeinsamer Standort für die Klärschlamm-trocknung, -verbrennung und -aschenaufbereitung,
- **Variante 2:** zwei Standorte für die Klärschlamm-trocknung und -verbrennung, wobei am Standort mit dem größeren Klärschlamm-durchsatz auch die Klärschlamm-aschenaufbereitungsanlage errichtet wird.

Ad Variante 1:

In dieser Variante würde für die zu konzipierende Klärschlammverwertungsanlage ein zentraler Standort innerhalb der in Kapitel 2.2.2.2 definierten Einzugsgebiete ausgewählt werden. Der zu verwertende Klärschlamm (insgesamt 12.000 t TS/a) wird in den am Verwertungskonzept teilnehmenden Kläranlagen auf einen durchschnittlichen Klärschlamm-trockensubstanzgehalt von 25 % vorentwässert und dann zum Standort der Klärschlammverwertungsanlage transportiert.

Dort wird der Klärschlamm in der Trocknungsanlage (ausgelegt auf 48.000 t FS pro Jahr) auf den für die thermische Verwertung notwendigen Trockensubstanzgehalt getrocknet und dann der Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage zugeführt. Die bei der Klärschlammverbrennung frei werdende Wärme wird primär zur Trocknung des angelieferten Klärschlammes verwendet. Überschüssige Wärme kann in der nachgeschalteten Klärschlamm-aschenaufbereitungsanlage eingesetzt werden. Der Anteil an überschüssiger Wärme aus der Klärschlammverbrennung kann deutlich gesteigert werden, wenn die Klärschlämme dezentral getrocknet und mit einem höheren Trockensubstanzgehalt angeliefert werden. Die Trocknung in dezentralen Trocknungsanlagen macht bei jenen Standorten Sinn, an denen derzeit ungenutzte Abwärme vorhanden ist. Dies trifft neben Kläranlagen auch auf Blockheizkraftwerke und Biogasanlagen innerhalb des Einzugsgebietes zu. Durch die dezentrale Trocknung des Klärschlammes könnten auch die Transportkosten reduziert werden, da weniger Wasser transportiert werden muss.

Die bei der Verbrennung anfallende Klärschlamm-asche (rund 6.000 t pro Jahr) wird nachfolgend direkt der Klärschlamm-ascheverwertungsanlage zugeführt, in der die Aschen thermisch behandelt und zu Düngemittel weiterverarbeitet werden.

Ad Variante 2:

In dieser Variante würde der jährlich verfügbare Klärschlamm bezüglich Klärschlamm-trocknung und -verbrennung auf zwei Standorte aufgeteilt werden. Entsprechend den erwarteten jährlich verfügbaren Klärschlamm-mengen würde ein Standort für einen Klärschlamm-durchsatz von etwa 4.000 t TS/a (Einzugsgebiet Leoben), der zweite Standort für einen Klärschlamm-durchsatz von 8.000 t TS/a (Einzugsgebiet Graz) ausgelegt werden. Der zu verwertende Klärschlamm (insgesamt 12.000 t TS/a) wird in den am Verwertungskonzept teilnehmenden Kläranlagen auf einen durchschnittlichen Klärschlamm-trockensubstanzgehalt von 25 % vorentwässert und dann zu einem der beiden Standorte der Klärschlammverwertungsanlagen transportiert.

Dort wird der Klärschlamm jeweils in der Trocknungsanlage (ausgelegt auf 16.000 bzw. 32.000 t FS pro Jahr) auf den für die thermische Verwertung notwendigen Trockensubstanzgehalt getrocknet und dann der jeweils nachgeschalteten Klärschlamm-Monoverbrennungs-

anlage zugeführt. Die bei den Klärschlammverbrennungsanlagen frei werdende Wärme wird primär zur Trocknung des angelieferten Klärschlammes verwendet. Am Standort Leoben kann überschüssige Wärme aus dem Prozess an Dritte weiterverkauft werden (z.B. Fernwärme). Die überschüssige Wärme aus dem Klärschlammverbrennungsprozess der Anlage am Standort Graz kann in der nachgeschalteten Klärschlammäschenaufbereitungsanlage eingesetzt werden. Da aber nur etwa zwei Drittel des gesamten verfügbaren Klärschlammes vor Ort thermisch verwertet werden, sind auch nur rund zwei Drittel der insgesamt aus der Klärschlammverbrennung freiwerdenden Wärme (abzüglich der benötigten Wärme für die Trocknung) für eine Nutzung in der Klärschlammäschenaufbereitung verfügbar. Dementsprechend erhöhen sich die Betriebskosten der Aschenaufbereitungsanlage, da teurere Primärenergie (Erdgas, Heizöl, etc.) zugekauft werden muss.

Der Anteil an überschüssiger Wärme aus der Klärschlammverbrennung kann wie bei Variante 1 deutlich gesteigert werden, wenn die Klärschlämme dezentral getrocknet und mit einem höheren Trockensubstanzgehalt angeliefert werden. Die Trocknung in dezentralen Trocknungsanlagen macht wie bei Variante 1 bei all jenen Standorten Sinn, an denen derzeit ungenützte Abwärme vorhanden ist. Durch die dezentrale Trocknung des Klärschlammes könnten auch die Transportkosten reduziert werden, da weniger Wasser transportiert werden muss.

Die bei der Verbrennung anfallende Klärschlammasche wird nachfolgend direkt (rund 4.000 t pro Jahr) der Klärschlammäscheverwertungsanlage zugeführt bzw. vom zweiten Standort per LWK angeliefert (rund 2.000 t pro Jahr). Aschenaufbereitung, thermische Behandlung und Düngemittelherstellung unterscheiden sich nicht weiter von den Prozessschritten in Variante 1.

Anlagengrößen:

Aus den betrachteten Konzeptvarianten ergeben sich für die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlagen jeweils drei miteinander korrespondierende Anlagengrößen. Dementsprechend sind für das Steiermärkische Klärschlammverwertungskonzept je nach ausgewählter Variante Trocknungsanlagen mit einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 16.000 und 32.000 (Variante 2) bzw. 48.000 t FS (Variante 1) und damit korrespondierend Klärschlammverbrennungsanlagen mit einem Durchsatz von 4.000 und 8.000 (Variante 2) bzw. 12.000 t TS pro Jahr (Variante 1) vorgesehen. Die Frischsubstanzmengen sind vom für die Verbrennung notwendigen Klärschlamm-trockensubstanzgehalt abhängig, der je nach eingesetzter Verbrennungstechnologie variieren kann.

Basierend auf einem Aschegehalt von 50% TS ist die Klärschlammäschenaufbereitungsanlage auf einen jährlichen Durchsatz von etwa 6.000 t auszulegen. Die ausgewählten Anlagengrößen sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

Tabelle 21: Festgelegte Anlagengrößen für das Klärschlammverwertungskonzept in der Steiermark

Erläuterungen: Variante 1 sieht einen Standort mit Klärschlamm-trocknung, Klärschlamm-verbrennung und Klärschlamm-aschenverwertung in der Steiermark vor. Variante 2 sieht zwei Standorte mit Klärschlamm-trocknung und Klärschlamm-verbrennung und einen gemeinsamen Standort für die Klärschlamm-aschenverwertungsanlage in der Steiermark vor.

Anlagenteil	Einheit	Variante 1	Variante 2	
			Anlage 1	Anlage 2
Klärschlamm-trocknungsanlage	[t/a FS]	48.000	16.000	32.000
Klärschlamm-verbrennungsanlage	[t/a TS]	12.000	4.000	8.000
Klärschlamm-aschenaufbereitungsanlage	[t/a TS]	6.000	6.000	

3.3 Verfügbare Technologien zur Behandlung und Verwertung von kommunalen Klärschlämmen

In den folgenden Kapiteln wird näher auf verfügbare Technologien für die einzelnen Bereiche der Klärschlammverwertungsanlage und ihre Funktionsweisen eingegangen.

3.3.1 Klärschlamm-trocknung

Mit mechanischen Entwässerungsmethoden unter Einsatz von Konditionierungsmitteln (Kalk oder Polymere) können bestenfalls Klärschlamm-trockensubstanzgehalte bis zu 45 % erreicht werden, was häufig für eine energieautarke thermische Verwertung nicht ausreicht. Aus diesem Grund wird dem zu trocknenden Klärschlamm Wärme zur weiteren Verdampfung der Feuchtigkeit von außen zugeführt oder im Inneren des Klärschlamm erzeugt [2].

Zur Trocknung von Klärschlamm kommen je nach Art der Wärmezufuhr folgende drei Trocknungsarten zum Einsatz:

- Konvektionstrocknung (durch einen heißen Gasstrom),
- Kontaktstrocknung (durch heiße Kontaktflächen),
- Solare Trocknung (durch Sonnenenergie).

3.3.1.1 Konvektionstrocknung

Bei Konvektionstrocknungsanlagen wird die erforderliche thermische Energie durch einem vorgeheizten Gasstrom (Trocknungsgas) zugeführt. Dabei kommt der zu trocknende Klärschlamm unmittelbar mit dem Wärmeträger in direkten oder indirekten Kontakt. Bei dem direkt beheizten Konvektionstrockner kommt der Klärschlamm direkt mit den Abgasen aus der Wärmeerzeugung in Berührung. Beim indirekt beheizten Konvektionstrockner wird die thermische Energie dem Gaskreislauf des Trockners über einen Wärmetauscher zugeführt, wodurch das Abgas der Wärmeerzeugung nicht mit dem Klärschlamm in Berührung kommt.

Gebräuchliche Vertreter dieser Trocknungstechnologie sind:

- Bandtrockner (siehe Abbildung 29),
 - Direkte Beheizung über einen Brenner,

- Indirekte Beheizung über einen Brenner und Wärmetauscher,
- Indirekte Beheizung über Wärmetauscher (Sekundärenergiequellen),
- Trommeltrockner (siehe Abbildung 30),
- Direkte Beheizung über einen Brenner,
- Indirekte Beheizung über Wärmetauscher (Sekundärenergiequellen).

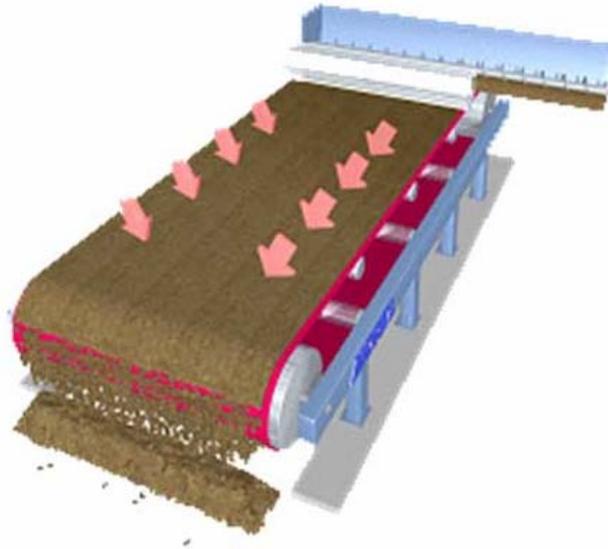


Abbildung 29: Verfahrensprinzip eines Bandrockners

Erläuterungen: Quelle: ANDRITZ AG

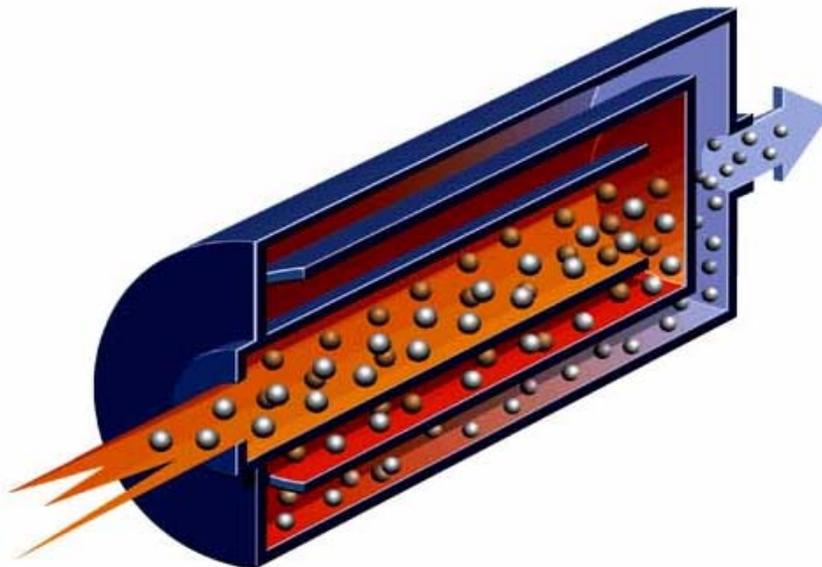


Abbildung 30: Querschnitt durch einen Trommeltrockner

Erläuterungen: Quelle: ANDRITZ AG

Der Bandtrockner wird bei niedrigen Betriebstemperaturen im Bereich von 80 bis 150°C (Gase, Heißwasser oder Niederdruckdampf) betrieben. Im Gegensatz dazu arbeitet der Trommeltrockner mit Eintrittstemperaturen von über 400°C. Während der Bandtrockner somit für alle Formen von Primär- und Sekundärenergiequellen (direkt und indirekt beheizt) geeignet ist, ist der Trommeltrockner in der Bauform eines direkt befeuerten Trockners (Öl, Bio- und Erdgas) am wirtschaftlichsten. Die Verdampfungsleistung von Bandtrocknern liegt im Klärschlammbereich etwa zwischen 500 und 10.000 kg H₂O/h. Im Vergleich dazu verdampft der Trommeltrockner bis zu 15 t Wasser pro Stunde.

Bandtrocknungsanlagen weisen folgende Merkmale auf: [2, 7, 24]

- Robuste Konzeption mit wenigen beweglichen Teilen im Trockner, dadurch einfache und kostengünstige Bauweise, geringer Verschleiß,
- gute Einstellbarkeit der Produktqualität, bei homogenem Aufgabegut,
- hoher Platzbedarf bei Bandtrocknungsanlagen mit hohen Verdampfungsleistungen (Ebenen möglich),
- geringere Abgasemissionen aufgrund niedrigerer Betriebstemperaturen, aber höhere Abluftvolumenströme im Vergleich zu Trommeltrocknungsanlagen.

Trommeltrocknungsanlagen weisen folgende charakteristische Merkmale auf [2, 7, 24]:

- Trocknung von Klärschlämmen wechselnder Konsistenz,
- kompakte Bauweise, jedoch mehrgeschossig erforderlich,
- erhöhter Verschleiß durch mechanische Beanspruchung (Flugstrom),
- gute Produktqualität in Bezug auf ein gleichförmiges, körniges und weitgehend staubfreies Endprodukt durch Absiebung der unerwünschten Fraktionen,
- höhere Abgasemissionen aufgrund der höheren Betriebstemperaturen, aber geringere Abluftvolumenströme im Vergleich zu Bandtrocknungsanlagen.

Tabelle 22: Gegenüberstellung technischer Daten der gebräuchlichsten Konvektionstrocknungsanlagen

Erläuterungen: Quelle: [2, 8, 9, 10, 11, 24]

Trockner-Bauart	Einheit	Band-trockner	Trommel-trockner
KS-Durchsatz bis	[kg/h]	< 15.000	< 25.000
KS-Ausgangstrockensubstanzgehalt von/bis	[% TS]	20/45	20/45
KS-Endtrockensubstanzgehalt von/bis	[% TS]	75/98	92/95
Verdampfungsleistung von/bis	[kg H ₂ O/m ² h]	< 120	10/10.000
Spezifischer Wärmebedarf von/bis	[kWh/kg H ₂ O]	0,55/1,50	0,83/1,11
Maximale Wärmeleistung	[kW]	15.000	10.000
Heizmedium-Temperatur von/bis	[°C]	100/300	350/600
Durchschnittliche Aufenthaltszeit	[min]	40-80	10-20

3.3.1.2 Kontakttrocknung

Kontakttrocknungsanlagen übertragen die Wärme auf den feuchten Klärschlamm über beheizte Kontaktflächen (Wärmetauscherflächen mit einer Temperatur bis zu 250°C). Die Erwärmung des Klärschlammes erfolgt somit ohne direkten Kontakt zum Wärmeträger (z.B. Thermalöl, Verbrennungsabgas, Luft, etc.). Voraussetzung für einen guten Wärmeübergang ist eine gute Durchmischung des Trocknungsgutes, damit ständig feuchter, kühlerer Klärschlamm mit den Wärmetauscherflächen in Kontakt kommen kann.

Gebräuchliche Vertreter dieser Trocknungstechnologie sind:

- Dünnschichttrockner,
- Scheibentrockner,
- Schneckentrockner und
- Wirbelschichttrockner (Kombination aus Konvektions- und Kontakttrocknung, siehe Abbildung 31).

Wirbelschichttrockner verbinden den Vorteil des geringen apparativen Aufwands von Konvektivtrocknern mit den Vorteilen der Schlammerwärmung an Kontaktflächen und nehmen somit eine Zwischenstellung zwischen der Kontakt- und Konvektivtrocknung ein.

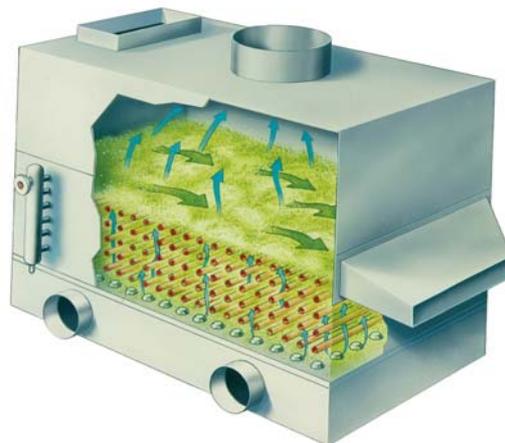


Abbildung 31: Querschnitt durch einen Wirbelschichttrockner

Erläuterungen: Quelle: ANDRITZ AG

Kontakttrocknungsanlagen sind im Wesentlichen gekennzeichnet durch:

- moderate Temperaturen des Heizmediums (durchschnittlich 170°C bis 200°C),
- geringe Abgasemissionen aufgrund der moderaten Betriebstemperaturen,
- keine Rückführung von Trockengut notwendig,
- erhöhter Verschleiß aufgrund der mechanischen Bewegung (z.B. durch Scheiben bzw. Schnecken) des Trockengutes,

- Aufwendigere Trocknerkonstruktion, da das Heizmedium vom Klärschlamm getrennt ist,
- Höherer Platzbedarf für Wartung oder Reparatur.

Tabelle 23: Gegenüberstellung technischer Daten der gebräuchlichsten Kontakt-trocknungsanlagen

Erläuterungen: Quelle: [2, 8, 9, 10, 11].

Trockner-Bauart	Einheit	Dünnschicht-trockner	Scheiben-trockner	Schnecken-trockner	Wirbelschicht-trockner
KS-Durchsatz bis	[kg/h]	< 15.000	< 30.000	< 5000	< 50.000
KS-Ausgangstrockensubstanzgehalt von/bis	[% TS]	20/45	20/45	< 25	20/45
KS-Endtrockensubstanzgehalt von/bis	[% TS]	35/90	35/95	> 90	85/96
Verdampfungsleistung von/bis	[kg H ₂ O/m ² h]	5/150	20/25	20	150/6.000
Spezifischer Wärmebedarf von/bis	[kWh/kg H ₂ O]	0,75/1,11	0,83/0,97	> 0,83	0,71/1,39
Maximale Wärmeleistung	[kW]	k.A.	4.500	500	8.000
Heizmedium-Temperatur von/bis	[°C]	10/700	10/350	< 400	10/450
Durchschnittliche Aufenthaltszeit	[min]	1-5	k.A.	k.A.	k.A.

3.3.1.3 Solare Trocknung

Bei der solaren Trocknung handelt es sich um eine spezielle Form der Strahlungstrocknung, bei der der Klärschlamm mittels elektromagnetischer Wellen erwärmt wird.

Bei der solaren Trocknung wird der Treibhauseffekt in Glashäusern zur Trocknung des Klärschlammes ausgenutzt (siehe Abbildung 32). Dabei verdunstet das Wasser im Klärschlamm durch Sonneneinstrahlung, die durch die transparente Hülle der Trocknungshalle eintritt. Das verdunstete Wasser wird durch Luftaustausch regelmäßig nach außen abgeführt.

Durch die im Vergleich zu anderen Trocknungstechnologien geringen Trocknungstemperaturen (die Temperaturen in der Trocknungshalle liegen bei etwa 55°C) läuft die Trocknung deutlich langsamer ab. Um vergleichbare Trocknungskapazitäten wie Konvektions- oder Kontakt-trockner zu erreichen, muss eine solare Trocknungsanlage daher entsprechend größer dimensioniert werden. Die Trocknungszeit hängt wesentlich von der Lufttemperatur in der Trocknungsanlage, der Wassersättigung der Außenluft (Wetterbedingungen) sowie der Luftaustauschrate innerhalb der Anlage ab und beträgt im Durchschnitt 10 Tage (siehe Tabelle 24). Innerhalb dieses Zeitraums können Klärschlamm-Trockensubstanzgehalte von rund 90% erreicht werden. Regelbare Ventilatoren und Abluftklappen sorgen für einen an die vorherrschenden Verhältnisse angepassten Luftaustausch. Aufgrund der im Verhältnis zur verdampften Wassermenge großen umgewälzten Luftmenge und den niedrigen Temperaturen der Abluft, ist eine Reinigung der Trocknungsabluft z.B. über Biofilter nicht notwendig.

Da die tägliche Sonneneinstrahlung aber durch Witterungseinflüsse und saisonale Unterschiede (Wintermonate) schwanken kann, muss zur Abdeckung des Energiebedarfs der Trocknung zusätzlich anfallende Abwärme von externen Energiequellen mittels Wärmetauscher in die solaren Trocknungshallen eingeleitet werden. Somit wird die Trocknungsleistung auch in den Monaten mit geringer Sonneneinstrahlung gewährleistet. In Zeiträumen mit starker Sonneneinstrahlung kann diese zugeführte Abwärme ausgekoppelt und verkauft werden.



Abbildung 32: Trocknungshalle für solare Klärschlamm-trocknung

Erläuterungen: Quelle: [12]

Durch oftmaliges Wenden des Klärschlammes kann der Trocknungsvorgang beschleunigt werden. Die Durchmischung und Wendung des Klärschlammes kann im Wesentlichen mit zwei verschiedenen Systemen erfolgen, dem elektrischen Schwein® [13] und dem Wendewolf® [14].

Das elektrische Schwein® (siehe Abbildung 33) ist ein vollautomatisch betriebener, fahrbarer Roboter in Edelstahlbauweise, der mittels Ultraschallsensoren die mit Klärschlamm bedeckten Flächen abfährt und dabei den zu trocknenden Klärschlamm durchmischt und wendet. Die Befüllung der Trocknungshallen mit Klärschlamm und gleichmäßige Verteilung des Klärschlammes auf die Trocknungsfläche erfolgt bei diesem System über Radlader. Erst danach kann die Durchmischung und Wendung des Klärschlammes mittels elektrischen Schweins® durchgeführt werden. Nach der Trocknung muss der Klärschlamm erneut mit einem Radlader zu den Klärschlammaustragsorganen am Ende der Trocknungshalle transportiert werden.



Abbildung 33: Elektrisches Schwein

Erläuterungen: Quelle: KALOGEO Anlagenbau GmbH

Im Vergleich zum elektrischen Schwein® ist der Wendewolf® eine über die gesamte Trocknungshallenbreite reichende Wende- und Fördermaschine, die mit geringem Personalaufwand den zu trocknenden Klärschlamm verteilt, wendet und zu den Austragsorganen transportiert. Die Klärschlammbeschickung der Trocknungshallen kann im Gegensatz zum System mit dem elektrischen Schwein® direkt über den LKW erfolgen. Der Klärschlamm wird dabei am Beginn der Trocknungshalle vom LKW abgeladen und anschließend vom Wendewolf® selbstständig über die Trocknungshalle verteilt. Nach der Trocknung transportiert der Wendewolf® den Klärschlamm zu den Austragsorganen am Ende der Halle.



Abbildung 34: Wendewolf

Erläuterungen: Quelle: KALOGEO Anlagenbau GmbH

Tabelle 24: Technische Daten einer solaren Trocknungsanlage

Erläuterungen: Quellen:[13,14]; * der Energieeintrag durch das Sonnenlicht ist beim spezifischen Wärmebedarf nicht berücksichtigt.

Trockner-Bauart	Einheit	Solar-trockner
KS-Durchsatz von/bis	[t TS/a]	100/14.000
KS-Ausgangstrockensubstanzgehalt von/bis	[% TS]	10/40
KS-Endtrockensubstanzgehalt von/bis	[% TS]	50/90
Verdampfungsleistung von/bis	[kg H ₂ O/h]	35/600
Spezifischer Wärmebedarf von/bis*	[kWh/kg H ₂ O]	0,04/1,12
Verbrauch elektr. Energie von/bis	[kWh/kg H ₂ O]	0,02/0,03
Heizmedium-Temperatur von/bis	[°C]	40/55
Durchschnittliche Aufenthaltszeit	[d]	10

Die solare Klärschlamm-trocknung weist im Vergleich zu herkömmlichen Trocknungsverfahren folgende charakteristische Merkmale auf: [15]

- geringe Betriebskosten,
- geringe Investitionskosten Maschinenteknik,
- hohe Investitionskosten Bautechnik,
- schwankende Witterungseinflüsse und saisonale Unterschiede (Wintermonate) beeinflussen die Bereitstellung der solaren Trocknungsenergie, daher ist zur Abdeckung des Energiebedarfs der Trocknung zusätzlich Abwärme aus externen Energiequellen empfehlenswert, um einen gleichmäßigen Trocknungsbetrieb sicherzustellen,
- Endtrockensubstanzgehalt des Trockengutes kann nicht exakt geregelt werden,
- lange Trocknungszeiten,
- großer Platzbedarf erforderlich, ca. 1 m² pro m³ entwässertem Schlamm

3.3.1.4 Einsatzmöglichkeiten der Trocknungstechnologien im Rahmen des Klärschlammverwertungskonzepts in der Steiermark

Vergleicht man die Einsatzbereiche der oben beschriebenen Trocknungstechnologien mit den Rahmenbedingungen des in dieser Studie vorgestellten Klärschlammkonzeptes hinsichtlich Ausgangstrockensubstanzgehalt (Tabelle 20) und Durchsatzmengen (Tabelle 21), so kommen prinzipiell alle untersuchten Trocknungstechnologien in Frage. Bei solaren Klärschlamm-trocknungsanlagen gilt es aber, die Wirtschaftlichkeit mit steigender Jahresdurchsatzmenge kritischer zu hinterfragen, da mit steigender Durchsatzmenge der Klärschlammverwertungsanlage auch der Platzbedarf der Trocknungsanlage enorm ansteigt und demzufolge sich die Standortauswahl schwieriger gestalten könnte.

3.3.2 Klärschlammverbrennung

Im Allgemeinen wird die Verbrennung von Klärschlamm als energetisch und wirtschaftlich sinnvolle Methode zur Klärschlamm-entsorgung eingesetzt, bei der die organischen Bestand-

teile des Klärschlammes vollständig umgesetzt und die Reststoffe weitgehend inertisiert werden. Dies führt neben einer Massen- und Volumenreduktion auch zu einer Stofftrennung, da die anorganische Substanz, die Asche, von der Organischen getrennt wird.

Die bei der Klärschlammverbrennung freigesetzte Abwärme kann zum einen zur Trocknung des feuchten Ausgangsmaterials verwendet und/oder zum anderen zur Fern-/ Prozesswärmeversorgung oder Stromerzeugung ausgekoppelt werden. Das bei der Klärschlammverbrennung entstehende Rauchgas wird mit Hilfe einer nachgeschalteten Rauchgasreinigungsanlage gereinigt, die sich in Abhängigkeit vom Schadstoffgehalt des Brennstoffs Klärschlamm aus unterschiedlichen Baugruppen bzw. Rauchgasreinigungssystemen zusammensetzen kann.

Für die Klärschlammverbrennung werden am häufigsten folgende Technologien eingesetzt: [2, 7]

- Wirbelschichtfeuerung,
- Zyklonfeuerung,
- Etagenofen und
- Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung.

3.3.2.1 Wirbelschichtfeuerung

Bei der Wirbelschichtverbrennung läuft der Verbrennungsprozess (850°C bis 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 Brennstoff getrocknet, ent- und vergast sowie anschließend verbrannt wird.

Die dabei entstehenden flugfähigen Aschepartikel werden vom aufsteigenden Rauchgasstrom erfasst und ausgetragen. Die groben Aschepartikel sinken auf den Boden der Brennkammer und werden abgezogen. Das bei Wirbelschichtverbrennung des Klärschlammes entstehende Rauchgas wird einer nachgeschalteten Rauchgasreinigung zugeführt, damit die enthaltenen Schadstoffkomponenten (Staub, NO_x, HCl, SO₂, etc.) entfernt bzw. reduziert werden können [2, 7].

In Abhängigkeit von der Art der Fluidisierung des Wirbelbetts unterscheidet man: [2, 7]

- Stationäre Wirbelschicht,
- Zirkulierende Wirbelschicht.

In der stationären Wirbelschicht ist die Wirbelbetthöhe, in der Trocknung, Ent- und Vergasung sowie Teilverbrennung des Brennstoffes stattfinden, auf ca. 0,5 bis 2 m begrenzt, dadurch entsteht ein relativ hoher Freiraum (Freeboard), in dem die Nachverbrennung stattfindet. Im Vergleich dazu erstreckt sich das Wirbelbett bei der zirkulierenden Wirbelschicht über die gesamte Reaktorhöhe (kein Freiraum). Bei der stationären Wirbelschicht werden Partikel mit abnehmender Größe vom aufsteigenden Gasstrom erfasst und ausgetragen. Unbrennbare, nicht flugfähige Bestandteile sinken auf den Boden und werden abgezogen. Bei der zirkulierenden Wirbelschicht erfolgt hingegen die Trennung der flugfähigen Partikel vom Rauchgas über einen Heißzyklon außerhalb der Brennkammer.

Die Bettasche sinkt ebenso wie bei der stationären Wirbelschicht auf den Boden und wird abgezogen. Die Geschwindigkeit der eingetragenen Verbrennungsluft bei der stationären Wirbelschicht unterscheidet sich mit 1-2 m/s deutlich von jener der Zirkulierenden mit 5-8 m/s. Grund dafür sind die unterschiedlichen Wirbelbetthöhen der beiden Systeme.

Wirbelschichtsysteme haben folgende charakteristische Eigenschaften [2, 7]:

- Keine beweglichen Einbauten im Feuerraum,
- Durchmischung der Feststoffteilchen untereinander und mit Rauchgas und Verbrennungsluft,
- daraus resultierende gute Stoff- und Wärmeübergänge zwischen den Brennstoffteilchen sowie zwischen Brennstoff, Rauchgas und Verbrennungsluft,
- Verbrennung erfolgt im Vergleich zur Rostfeuerung mit niedrigeren Luftüberschuss, geringeren Rauchgasvolumenstrom und NO_x-Emissionen,
- Mögliche Wärmeabfuhr im Bereich des Wirbelbettes,
- Korngrößen bis 40 mm (zirkulierende Wirbelschicht) bzw. bis 80 mm (stationäre Wirbelschicht) einsetzbar,
- Höhere Staubbelastungen des Rauchgases bei Austritt aus dem Reaktor.

3.3.2.2 Zyklonfeuerung

Bei der Zyklonfeuerung wird der vorgetrocknete Klärschlamm in der Zyklonbrennkammer (Unterteilung in Primär- und Sekundärverbrennungszone) bei einer Verbrennungstemperatur von 850 °C bis 1.000 °C verbrannt. Dabei wird der Klärschlamm und die Verbrennungsluft über unterschiedliche Luftebenen tangential in den Brennraum eingeblasen, wodurch aufgrund der entstehenden Rotationsströmung, Klärschlammgranulat in den unteren zylindrischen Teil der Zyklonbrennkammer aufgegeben und in der Primärverbrennungszone entgast und verbrannt werden kann. Das entstehende Rauchgas wird in der Sekundärverbrennungszone nachverbrannt. Die niederen Temperaturen in der Brennkammer (um 850 °C), die durch eine Rauchgasrezirkulation kontrolliert werden, verhindern Schlackenbildung bzw. An-sintern von Inertmaterial in der Primärverbrennungszone.

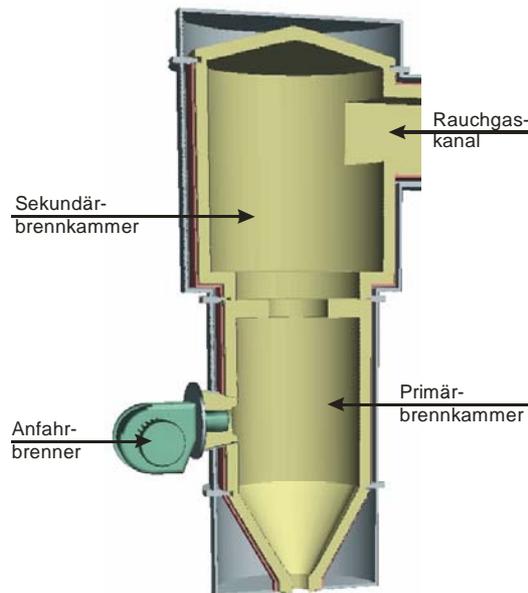


Abbildung 35: Querschnitt durch eine Zyklonfeuerung

Erläuterungen: Quelle: ANDRITZ AG

Durch die gewährleistete Luftstufung in Kombination mit der Rauchgasrezirkulation (zur Temperaturkontrolle) erfolgt eine effiziente NO_x -Reduktion durch Primärmaßnahmen. Die im Zyklon abgeschiedenen Aschepartikel werden über den Austragkonus der Primärkammer abgezogen, der Flugstaub wird mit dem Rauchgas ausgetragen. Der Zyklonbrennkammer ist eine Rauchgasreinigung nachgeschaltet, um sämtliche im Rauchgas enthaltenen Schadstoffkomponenten (Staub, NO_x , HCl , SO_2 , Schwermetalle, etc.) auf Konzentrationen unter den gesetzlich bzw. behördlich vorgeschriebenen Grenzwerten zu reduzieren [2, 7].

Die Zyklonfeuerung zeichnet sich durch folgende Merkmale aus: [2, 7]

- Kompakte Bauweise ohne mechanisch bewegte Teile im Inneren der Zyklonbrennkammer, daher robust und einfach in Betrieb, Bedienung und Wartung,
- Homogene Temperaturverteilung durch gute Durchmischung und Rauchgasrezirkulation in der Brennkammer, dadurch minimiert sich die thermische Bildung von NO_x und die Gefahr der Aschenschmelze wird minimiert,
- Brennstoff muss aufgemahlen (Korngröße 1-2 mm) und trocken (Trockensubstanzgehalt >90% FS) sein, ansonsten kein vollständiger Ausbrand.

3.3.2.3 Etagenöfen

Bei Etagenöfen können feuchte Einsatzstoffe durch direkten Wärmeaustausch mit dem entstehenden Abgas vorgewärmt und anschließend bei 850°C bis 950°C verbrannt werden. Der Etagenofen besteht aus einem zylindrischen Stahlmantel, den horizontalen Etagen (Trocknungs-, Verbrennungs-, und Kühletage) sowie einer drehbaren Mittelwelle mit angeflanschten Rührarmen. Auf der obersten Etage (Trocknungsetage) wird der zu verwertende Klärschlamm kontinuierlich zugeführt. Mittels Rührzähnen wird der Klärschlamm erfasst, verteilt und unter ständigem Wenden durch die Etagen des Ofens zwangsbefördert.

Im Gegenstrom zum Klärschlamm wird heißes Rauchgas aus der Verbrennungsetage über die Trocknungsetagen geleitet, wodurch der Klärschlamm durch das Rauchgas getrocknet wird. Die bei der Trocknung des Klärschlammes entstehende Abluft kann entweder über ein Umwälzgebläse erneut der Verbrennungsetage oder einer Abluftreinigung zugeführt werden.

In der Verbrennungsetage erfolgt die eigentliche Oxidation des Klärschlammes bei Temperaturen über 850°C. In der Kühletage werden die nicht mit dem Abgas ausgetragenen Aschepartikel mit Luft gekühlt und am Boden des Etageofens ausgetragen. Die erwärmte Luft wird der Verbrennungsetage zugeführt. In der Nachbrennkammer werden gasförmige organische Verbindungen und Kohlenmonoxid mit Hilfe einer Mindestverweilzeit von 2 Sekunden bei 850°C vollständig oxidiert [2, 7]. Dem Etageofen ist eine Rauchgasreinigung nachgeschaltet, damit sämtliche im Rauchgas enthaltenen Schadstoffkomponenten (Staub, NO_x, HCl, SO₂, Schwermetalle, etc.) auf Konzentrationen unter den gesetzlich bzw. behördlich vorgeschriebenen Grenzwerten reduziert werden

Im Vergleich zu anderen Verbrennungsreaktoren weist der Etageofen folgende Merkmale auf [2, 7]:

- Geringer elektrischer Energiebedarf,
- großer Teillastbereich von 30 % bis 100 %, bei annähernd gleicher Wirtschaftlichkeit,
- hoher Anteil an direkt ausgetragener Asche, dadurch auch für die Verbrennung von aschereichen Brennstoffen geeignet,
- einfache und preiswerte Gestaltung des Kessels, aufgrund geringer Beladung des Rauchgases mit Asche,
- Empfindlichkeit gegenüber Grobstoffen und
- niedrigere NO_x-Abgaswerte durch mehrstufige reduzierende und oxidierende Verbrennungsreaktion.

3.3.2.4 Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung

Bei dieser Verbrennungstechnologie wird zur thermischen Verwertung von Klärschlamm die Flugverbrennung mit einer konventionellen Vorschubrostfeuerung kombiniert. Hauptmerkmal dieses Verfahrens ist die Brennstoffbeschickung über ein Schleuderrad mit nachfolgender Rostfeuerung.

Der vorgetrocknete Klärschlamm wird unter Verwendung eines Schleuderrades in die Brennkammer eingetragen. Die Brennkammer ist unterteilt in eine Primär- und Sekundärverbrennungszone. Über eine Misch- und Dosieranlage können bis zu drei unterschiedliche Klärschlammfraktionen mit unterschiedlichen Trockensubstanzgehalten und Heizwerten dem Reaktor zugeführt werden. 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 und durch ein kühles Glutbett wird zusätzlich NO_x- und Schlackenbildung verhindert.

Die anfallende Asche wird automatisch über Sammelschnecken ausgetragen und in Aschecontainern zwischengelagert. Dem Verbrennungsreaktor ist eine Rauchgasreinigungsanlage

nachgeschaltet, in der die im Rauchgas enthaltenen Schadstoffkomponenten (Staub, NO_x, HCl, SO₂, Schwermetalle, etc.) soweit reduziert werden, damit gesetzlich bzw. behördlich vorgeschriebene Grenzwerte eingehalten werden.

Im Folgenden sind die charakteristischen Eigenschaften der Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung zusammengestellt [16]:

- Geringe Investitions- und Betriebskosten,
- Vereinigung von Kostenvorteilen der Vorschubrosttechnik mit Vorteilen der Wurfbeschickung,
- Korngrößen bis 50 mm einsetzbar,
- erhöhter Wartungsaufwand durch zusätzliche bewegte Teile (Schleuderrad).

3.3.2.5 Einsatzmöglichkeiten der Verbrennungstechnologien im Rahmen des Klärschlammverwertungskonzepts in der Steiermark

In Tabelle 25 sind zusammenfassend die technischen Daten der oben genannten Verbrennungstechnologien gegenübergestellt.

Aus der Gegenüberstellung der festgesetzten Jahresdurchsatzmengen der zu konzipierenden Klärschlammverwertungsanlage von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS kommunalen Klärschlammes mit den in Tabelle 25 dargestellten Mindestdurchsatzmengen der Klärschlammverbrennungsaggregate lässt sich eine grundsätzliche Eignung aller untersuchten Verbrennungstechnologien ableiten. Bei niedrigen Jahresdurchsatzmengen von ca. 4.000 t TS/a erweisen sich allerdings die Zyklonfeuerung und die Etagenfeuerung im Vergleich zur Wirbelschichtfeuerung und Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung aus wirtschaftlichen Gründen als weniger gut geeignet.

Deutliche Unterschiede ergeben sich zwischen den einzelnen Klärschlammverbrennungstechnologien bei der Betrachtung der notwendigen Eingangs-Trockensubstanzgehalte. Während die Zyklonfeuerung für die Verbrennung von Klärschlamm einen Eingangs-Trockensubstanzgehalt von mehr als 90 % (Volltrocknung) benötigt, können Wirbelschicht- und Etagenöfen sowie Rostfeuerungen bereits ab einem Klärschlamm-trockensubstanzgehalt von etwa 60 % betrieben werden.

Tabelle 25: Gegenüberstellung technischer Daten der gebräuchlichsten Klärschlammverbrennungstechnologien für dezentrale Anwendungen

Erläuterungen: Quelle: [2, 7, 17, 18]; * die angeführten technischen Daten basieren jeweils nur auf den Daten einer Klärschlammverbrennungsanlage.

Feuerungsparameter	Einheit	Wirbelschichtofen	Zyklonofen*	Etagenofen*	Kombinationsfeuerung
KS-Durchsatzmenge	[t TS/a]	> 4.000	> 4.500	> 8000	> 4.000
KS-Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	> 39	> 90	> 57	> 65
Erforderliche Korngröße des getrockneten Klärschlammes von/bis		stat. WS: 0,1/80 zirk. WS: 0,1/40	1/2	k.A.	<50
minimaler Heizwert des Aufgabegutes	[kJ/kg TS]	> 3.190	> 8.000	> 8.600	> 15.400
Verbrennungsleistung	[MW _{th}]	> 1	> 1	> 3,59	> 2
Verbrennungsraumtemperatur von/bis	[°C]	850/950	800/1.000	850	850/950
Art der Zusatzfeuerung	[-]	Duoblock-Zweistoff-Brenner; Öllanzen; Gas Öl-Lanzen; Freiraum-brenner; Gasbrenner	Anfahrbröner	Fest-/Flüssig-Brenner	Gasbrenner
Art des Zusatzbrennstoffes	[-]	variabel	variabel	variabel	variabel

Die Unterschiede in den Eingangs-Trockensubstanzgehalten der Verbrennungsaggregate haben somit rückwirkend Einflüsse auf die Auswahl der Klärschlamm-trocknung der dezentralen Klärschlammverwertungsanlagen. Aufgrund der Tatsache, dass mit Hilfe der solaren Klärschlamm-trocknung maximal ein kontinuierlicher Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt von 90 % erreicht werden kann, kommen folglich bei einer Anlagenkonzeption mit einer Zyklonfeuerung einschränkend bevorzugt Kontakt- und Konvektionstrocknungsanlagen in Frage.

Aus Tabelle 25 sind auch die Unterschiede der erforderlichen Heizwerte der Aufgabegüter der einzelnen Klärschlammfeuerungen auffällig, die in Abhängigkeit des benötigten Trocknungsgrades des Klärschlammes zwischen rd. 3.000 und 13.000 kJ/kg TS Klärschlamm variieren können.

Die erforderlichen Korngrößen des getrockneten Klärschlammes schwanken zwischen den betrachteten Klärschlammverbrennungstechnologien von 1-2 mm (Trockensubstanzgehalt von > 90 % TS) bei der Zyklonfeuerung bis zu < 50 mm (Trockensubstanzgehalt von > 65 % TS) bei der Rostfeuerung mit Wurfbeschickung.

3.3.3 Klärschlammaschenverwertung

Das von der Firma ASH DEC Umwelt AG (ASH DEC) entwickelte Verfahren zur Klärschlammaschenverwertung beruht auf einer thermochemischen Behandlung der Klärschlamm-asche, die sich im Wesentlichen in die folgenden drei Teile gliedert:

- Aschenaufbereitung,
- Thermische Behandlung der Asche inklusive Rauchgasreinigung,
- Düngemittelherstellung.

Die Asche wird dabei mit (Erd-)Alkalichloriden versetzt und anschließend einer thermischen Behandlung in einem Drehrohrofen bei rund 1.000°C unterzogen. Dabei verflüchtigen sich

die in der Asche enthaltenen Schwermetalle in Form von Chloriden, welche in einer anschließenden Rauchgasreinigungsstufe in konzentrierter Form abgeschieden werden. Ein gewünschter Nebeneffekt der thermischen Behandlung ist die vollständige Zerstörung von gegebenenfalls in der Asche enthaltenen organischen Schadstoffen. Das Produkt ist ein schwermetallarmer Rohstoff, in dem die enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar vorliegen.

Die Mindestdurchsatzmenge an zu verwertender Klärschlammasche liegt auf Basis von ersten Erfahrungswerten im Bereich von 5.000 bis 6.000 t Klärschlammasche pro Jahr und ist wirtschaftlich bedingt.

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die einzelnen Verfahrensschritte der Klärschlammascheverwertung genauer eingegangen[19].

3.3.3.1 Ascheaufbereitung

Für die thermische Behandlung der Klärschlammaschen ist eine vorhergehende Aufbereitung erforderlich, d.h. die Aschen müssen mit entsprechenden Additiven (Cl-Donatoren) versehen und stückig gemacht (brikettiert oder pelletiert) werden.

Als Chlorträger werden in der Anlage Alkali- oder Erdalkalichloride eingesetzt. Die Menge der zudosierten Chlorsalze ist abhängig von der Art der eingesetzten Aschen (insbesondere deren Schwermetallgehalt) und liegt im Regelbetrieb bei 90 – 110 g Cl/kg KSA (KSA = Klärschlammasche). Die entsprechende Menge wird vor dem Mischer in einer Behälterwaage den Aschen zudosiert.

Der für die Brikettierung bzw. Pelletierung notwendige Wassergehalt wird durch Zugabe von Wasser in die Behälterwaage eingestellt. Von der Behälterwaage gelangen die verworgenen Stoffe in einen Mischer und werden dort intensiv vermischt.

Nach dem Durchmischen der Aschen, der Additive und des Wassers wird der Mischerinhalt in einen Pufferbehälter entleert und von diesem kontinuierlich in eine Walzenpresse oder Matrizenpresse aufgegeben, in welcher Briketts oder Pellets mit einem Volumen von 3 - 5 cm³ produziert werden.

Die Briketts/Pellets mit einem durchschnittlichen Wassergehalt von rund 8 Gew. % werden einem Sieb zugeführt, in welchem eine Klassierung vorgenommen wird. Der Siebdurchgang (Unterkorn) gelangt in einen Abriebbehälter und wird anschließend mit Hilfe einer Förderschnecke in die Behälterwaage rückgeführt. Der Siebüberlauf (Gutkorn) wird zum Vorlagebehälter des thermischen Aggregats transportiert.

Die Brüden der Brikettier- bzw. Pelletieranlage (Behälterwaage, Mischer und Walzen- bzw. Matrizenpresse) werden über einen eigenen Gewebefilter geleitet, wo die Stäube abgeschieden und in die Behälterwaage rückgeführt werden.

Mit der Klassierung der ist der verfahrenstechnische Schritt der Ascheaufbereitung abgeschlossen und die Briketts/Pellets können der thermischen Behandlung zugeführt werden. Die Brikettierung/Pelletierung ist erforderlich, um zum einen den Staubaustrag aus dem Drehrohr zu minimieren und zum anderen ausreichende Reaktionszeiten der Schwermetalle mit dem additivierten Chlor in den Briketts/Pellets sicherzustellen [19].

3.3.3.2 Thermische Behandlung

3.3.3.2.1 Drehrohrofen

Für die thermische Behandlung der Briketts/Pellets ist ein direkt befeuerter Drehrohrofen in Gleichstrombauweise vorzusehen. Der Wärmeaustausch im Drehrohrofen hat deshalb im Gleichstrom zu erfolgen, um die Pellets einerseits eine möglichst lange Zeit auf der Zieltemperatur zu halten und andererseits Rekondensationserscheinungen der Schwermetallchloride auf den Pellets gesichert zu unterbinden.

Der Innendurchmesser des Drehrohres ist vollständig mit Feuerfeststeinen ausgekleidet. Am Ende des Drehrohrofens befindet sich eine ebenfalls mit Feuerfeststeinen ausgekleidete Trennkammer, in der das Abgas von den entfrachteten Pellets getrennt wird.

Der direkt beheizte Drehrohrofen wird mit Erdgas befeuert (alternativ könnte auch Biogas verwendet werden). Die Briketts/Pellets werden im Drehrohrofen auf eine Temperatur von 900 – 1.050°C aufgeheizt, wobei regelungstechnisch sichergestellt wird, dass die maximale Guttemperatur 1.100°C nicht überschreitet, um unter der Erweichungstemperatur der Briketts/Pellets zu bleiben und Sintererscheinungen zu verhindern. Im Drehrohr herrschen oxidierende Bedingungen.

Die maximale Verweilzeit der Briketts/Pellets in der heißen Zone beträgt 30-90 Minuten und kann durch Änderung der Drehzahl des Drehrohrofens variiert werden.

Durch die hohen Temperaturen im Drehrohrofen werden in den Briketts/Pellets die gewünschten chemischen Reaktionen ausgelöst. Das Chlor verbindet sich mit den Schwermetallen zu Schwermetallchloriden, welche verdampfen und aus den Briketts/Pellets in die Gasphase entweichen. Weiters werden eventuell in den Briketts/Pellets vorhandene organische Komponenten durch die hohen Temperaturen im Drehrohr zerstört und vollständig ausgebrannt. Da es sich bei den Briketts/Pellets um inertes Material (Asche und Salz) handelt, kommt es neben den genannten Reaktionen sowie der Restwasserverdampfung ($w = 8\%$ auf $w = 0\%$) zu keinen weiteren Reaktionen, sodass für die Energiebilanz des Drehrohrofens im Wesentlichen die Erwärmung der Briketts/Pellets auf die gewünschte Endtemperatur relevant ist, sofern der Rest-Kohlenstoffgehalt der Asche unter 5 Gew. % d. TS liegt.

Der Wärmeaustausch im Drehrohrofen erfolgt im Gleichstrom, um die Briketts/Pellets einerseits eine möglichst lange Zeit auf der Zieltemperatur zu halten und andererseits Rekondensationserscheinungen der Schwermetallchloride auf den Briketts/Pellets zu unterbinden.

Nach Durchlaufen des Drehrohrofens treten die schwermetallentfrachteten Briketts/Pellets am Ende des Drehrohrofens aus, und es erfolgt durch entsprechende konstruktive Maßnahmen eine Trennung zwischen Gasphase (Abgas) und Festphase (Briketts).

Zur effizienten Energierückgewinnung durchlaufen die heißen Briketts/Pellets nach Austritt aus dem Drehrohrofen einen Wärmetauscher, in welchem die Briketts/Pellets auf rund 100°C abgekühlt werden. Das im Wärmetauscher auf etwa 100°C aufgewärmte Kühlwasser wird für die Vorwärmung der für den Drehrohrofen erforderlichen Verbrennungsluft verwendet. Im Störfall kann die Wärmeenergie über einen Luftkühler abgeführt werden. Die Briketts/Pellets werden anschließend in einem Brecher zerkleinert und als „Phosphor-Rohstoff“ (P-Rohstoff) für die nachfolgende Düngemittelherstellung in einem Silo zwischengelagert.

Durch die thermische Behandlung können die Schwermetalle auf unbedenkliche Konzentrationen reduziert und die im P-Rohstoff enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar gemacht werden.

3.3.3.2.2 Rauchgasreinigung

Das aus dem Drehrohrofen austretende Abgas wird einer dem Stand der Technik entsprechenden Rauchgasreinigung zugeführt. Dadurch wird sichergestellt, dass sämtliche im Rauchgas enthaltenen Schadstoffkomponenten (Staub, NO_x , HCl, SO_2 , Schwermetalle, etc.) auf Konzentrationen unter den gesetzlich bzw. behördlich vorgeschriebenen Grenzwerten reduziert werden.

Quenche

In einem ersten Schritt wird das rund 1.000°C heiße Abgas in einer Quenche auf rund 200°C abgekühlt.

Gewebefilter

Der nachfolgende Gewebefilter dient zur effizienten Abscheidung der mit dem Rauchgas mitgeführten staubförmigen Partikel (Abrieb der Briketts/Pellets im Drehrohrofen) sowie der rekondensierten Schwermetalle/ Schwermetallchloride, welche zum Teil an die staubförmigen Bestandteile gebunden bzw. als Aerosole im Rauchgas vorhanden sind. Zur sicheren Abscheidung von Hg wird vor dem Gewebefilter eine Mischung aus Kalziumhydroxid, Kalziumcarbonat und Aktivkohle (10%) in den Abgasstrom eingedüst, wodurch es zur Adsorption von Hg an den Aktivkohleteilchen (welche anschließend im Gewebefilter abgeschieden werden) kommt. Die saueren Komponenten im Rauchgas werden durch Adsorption an den Kalziumverbindungen zum Teil abgeschieden.

Der im Gewebefilter anfallende Filterstaub wird in einem Silo zwischengelagert und ordnungsgemäß entsorgt. Um die Menge des anfallenden Filterstaubs so gering wie möglich zu halten, wird durch primäre Maßnahmen sichergestellt, dass der Abrieb der Briketts/Pellets im Drehrohrofen möglichst gering ist.

Saurer Wäscher

Nach Abscheidung der staubförmigen Partikel sowie der rekondensierten Schwermetalle/ Schwermetallchloride im Gewebefilter tritt das Abgas in die erste von zwei Waschstufen ein, in welchen die Komponenten HCl und SO_2 abgeschieden werden. Im sauren Wäscher werden durch Eindüstung von Wasser rund 90% des im Abgas vorhandenen HCl von der Gasphase in die Flüssigphase übergeführt. Die sich dabei bildende verdünnte HCl-Lösung wird im Kreis geführt.

Um die Aufkonzentrierung von HCl in der Lösung zu verhindern, wird ein Teil der HCl-Lösung in regelmäßigen Abständen aus dem Absorber abgezogen und durch Frischwasser ersetzt. Die abgezogene HCl-Lösung wird in einem mit Rührwerk ausgestatteten Neutralisationsbehälter mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vermengt, wodurch sich eine wässrige CaCl_2 -Lösung (Sole) bildet, die in die Quenche rückgeführt werden kann.

Basischer Wäscher

Dem sauren Wäscher ist ein basischer Wäscher nachgeschaltet, in welchem neben den im Abgas verbliebenen restlichen 10% HCl insbesondere die Komponente SO_2 abgeschieden wird. Die Überführung von SO_2 (bzw. Rest-HCl) aus dem Gasstrom in die Flüssigphase erfolgt

durch Eindüsung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$, wodurch sich ein $\text{CaSO}_4/\text{H}_2\text{O}$ -Gemisch (bzw. eine CaCl_2 -Lösung) bildet, das im Kreislauf durch den Wäscher gefahren wird.

Das $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wird in einem eigenen mit Rührwerk ausgestatteten Anmischbehälter mit Wasser vermischt und in den Wäscher eingedüst.

Um die maximal zulässige Feststoffkonzentration im Wäscherkreislauf nicht zu überschreiten, wird in regelmäßigen Abständen das CaSO_4 /Wassergemisch (inklusive geringer Mengen an CaCl_2) aus dem Prozess ausgeschleust. Da CaSO_4 einen für die Düngemittelproduktion adäquaten Schwefelträger darstellt, wird in einem eigenen Absetzbecken das ausgefällte CaSO_4 von der restlichen wässrigen Lösung abgetrennt und dem Aufbereitungsprozess der Düngemittelherstellung zugeführt. Dadurch können weitere Mengen an zu entsorgendem Material und die damit verbundenen Kosten eingespart werden.

Die wässrige Lösung des CaSO_4 -Absetzbeckens des basischen Wäschers wird der Quenche zugeführt, wodurch ein abwasserfreier Prozess der Rauchgasreinigung gegeben ist.

Saugzuggebläse und Kamin

Im Austritt der einzelnen Rauchgaswaschstufen durchströmen die Rauchgase jeweils einen Tropfenabscheider, welcher das Mitreißen von flüssigen Partikeln aus den Waschkreisläufen zum Saugzuggebläse verhindert.

Das aus dem basischen Wäscher austretende Reingas wird über ein Saugzuggebläse dem Kamin zugeführt und an die Umgebung abgegeben. Die Leistung des Ventilators wird über die Drehzahl geregelt. Die gereinigten Brüden aus der Aschenaufbereitung (Absaugung aus dem Brikettier- bzw. Pelletierprozess) und Düngemittelherstellung (Absaugung aus dem Pelletierprozess) werden vor dem Kamin in den Reingasstrom der Rauchgasreinigung zuge-mischt [19].

3.3.3.3 Düngemittelherstellung

Um einen in Qualität und Zusammensetzung handelsüblichen Mehrnährstoffdünger auf den Markt bringen zu können, werden die Klärschlammaschen nach Entfrachtung der Schwermetalle („Phosphor-Rohstoff“) mit Nährstoffadditiven versetzt. Den gewünschten Düngemitteltypen (PK- bzw. NPK-Düngemittel) und den tatsächlichen Gehalten der Ausgangsaschen entsprechend, erfordert dies eine mehr oder weniger starke Anreicherung mit zusätzlichen P-Trägern und eine Ergänzung wichtiger Nährstoffe wie Stickstoff, Kalium, Schwefel und Magnesium in Form von pflanzenverträglichen Verbindungen.

Im verfahrenstechnischen Schritt der Düngemittelherstellung werden die thermisch behandelte Klärschlammasche (P-Rohstoff) und die Nährstoffadditive zunächst in einer Behälterwaage sequenziell verwogen. Die flüssigen Nährstoffadditive werden in einer Flüssigbehälterwaage verwogen und in den Granuliermischer chargiert und durchmischt. Danach wird die für die Granulierung notwendige Menge an Wasser direkt in den Mischer gepumpt. Nach Erreichen der gewünschten Granulations-Korngröße wird der Mischerinhalt in einen Pufferbehälter mit Dosierorgan entleert und von diesem auf eine Ringmatrizenpresse aufgegeben.

Dort werden durch Pressagglomeration Pellets in den für Düngemittel geeigneten Korngrößen produziert. Die Pellets werden anschließend einem Kühler zugeführt und danach in einem Sieb klassiert. Die Brüden der Pelletieranlage (Behälterwaage, Mischer, Ringmatrizenpresse

und Kühler) werden über einen eigenen Gewebefilter geführt und der abgeschiedene Staub in die Behälterwaage rückgeführt.

Die erzeugten Düngemittel werden hinsichtlich der für Mineraldünger geltenden gesetzlichen Vorschriften (Grenzwerte, Zusammensetzung, Wirksamkeit) der Zielländer Österreich, Deutschland und der Schweiz untersucht und einem entsprechenden Zulassungsverfahren zugeführt. Die produzierten Düngemittel werden in Silos zwischengelagert und mittels LKW abtransportiert [19].

3.4 Konkrete Ausführungsvarianten zur Umsetzung des geplanten steiermärkischen Klärschlammverwertungskonzepts

Nach Festlegung der Anlagengrößen (siehe Kapitel 3.2) und Evaluierung der in Frage kommenden Klärschlamm-trocknungs-, Klärschlamm-verbrennungs- und Klärschlamm-asmaufbereitungstechnologien wurde mit potenziellen Lieferanten von Anlagen Kontakt aufgenommen, um weiterreichende Informationen sowie Richtpreisangebote zu erhalten.

3.4.1 Klärschlamm-trocknung und -verbrennung

Zur technologischen Untersuchung und wirtschaftlichen Beurteilung der in Frage kommenden Klärschlamm-trocknungs- und Monoverbrennungstechnologien inklusive Rauchgasreinigung wurden im Vorfeld Richtpreisangebote von drei österreichischen Klärschlamm-feuerungsherstellern (ALDAVIA-BioEnergy Company GmbH, ANDRITZ AG und KALOGEO Anlagenbau GmbH) eingeholt.

Alle drei Firmen können Referenzanlagen auf dem Gebiet der dezentralen Klärschlamm-verbrennung vorweisen. ALDAVIA bietet eine Rostfeuerung mit Wurfbeschickung an, die ANDRITZ AG setzt eine Zyklonfeuerung zur Klärschlamm-verbrennung ein und KALOGEO verbrennt den Klärschlamm in einer stationären Wirbelschichtfeuerung. Somit konnte durch Auswahl dieser Anlagenlieferanten ein breites Spektrum der am Markt vorhandenen Technologien zur Klärschlamm-verbrennung abgedeckt werden.

An alle Anbieter wurde eine standardisierte Anfrage für die festgelegten Anlagengrößen (Jahresdurchsatzmenge von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm) geschickt. Die Richtpreisangebote sollten alle relevanten technischen Daten hinsichtlich der angebotenen Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlage einschließlich nachgeschalteter Rauchgasreinigung (inklusive Kamin) sowie aller Nebenanlagen (Förderung, Lagerung, Regelung und Steuerung, Visualisierung, Aschesilo) für die drei festgelegten Anlagengrößen beinhalten.

Weiters wurden folgende technische Daten angefragt:

- Zu erwartende Betriebszeiten,
- Mindestanforderungen an den eingesetzten Klärschlamm (erforderlicher Heizwert, Trockensubstanzgehalt und Aschegehalt, Schwermetallgehalte sowie zugehörige Schwankungsbreiten),
- Mögliche Wärmeauskopplung aus der Anlage nach Abzug aller anlageninterner Verbraucher wie Trocknung etc.,
- Platzbedarf der Gesamtanlage,

- Betriebsmittel für Rauchgasreinigung,
- elektrischer Eigenbedarf der Anlage inklusive aller Nebenanlagen,
- erwartete Emissionen aus der Klärschlammverbrennung im Vergleich mit den Emissionsgrenzwerten für Verbrennungsanlagen der österreichischen Abfallverbrennungsverordnung (AVV),
- Betriebsmittelspezifikationen,
- prinzipielles Verfahrensschema mit den wichtigsten Stoffströmen.

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick über die erhaltenen Daten und die daraus ableitbaren Ergebnisse.

3.4.1.1 ALDAVIA[®]-ARx Technologie mit integrierter Kontakttdrocknung

3.4.1.1.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage diente das von der Firma ALDAVIA-BioEnergy Company GmbH zur Verfügung gestellte Richtpreisangebot, das im Wesentlichen folgende technische Daten zur Klärschlammtdrocknungs- und -verbrennungsanlage beinhaltet:

Klärschlammtdrocknung:

- Art der Ttdrocknungsanlage,
- Ausgangs- und Endtdrockensubstanzgehalt des Klärschlammes,
- Art der Abwärmennutzung.

Klärschlammverbrennung:

- Allgemeine Verfahrensbeschreibung der energetischen Klärschlammtdbehandlungsanlage und der Rauchgasreinigung,
- Technische Daten (Ausgangsttdrockensubstanzgehalt, Durchsatzmenge, Heizwert, Betriebszeit, Feuerungs- und Kesselleistung) und Investitionskosten (Summe der Gesamtkosten der Anlage) für die Anlagen mit Jahresdurchsatzmengen von 5.600, 7.000 und 20.000 t TS an kommunalem Klärschlamm pro Jahr (Angaben über die angefragten Anlagenrößen wurden nicht übermittelt),
- Leistungs- Verbrauchs- und Emissionsdaten sowie ein Blockschema einer Klärschlammtdverbrennungsanlage mit 20.000 t TS/a,
- Grobkalkulation der Investitionskosten (Anlagentechnik-allgemein und bauseitige Leistungen), Betriebsmittel-, Personal- und Wartungskosten für die Variante mit 7.000 t TS Klärschlamm pro Jahr,
- Angaben zur Finanzierung (Laufzeit, Verzinsung).

Da im Rahmen des steiermärkischen Klärschlammtdwertungskonzept die Anlagenrößen 4.000, 8.000 und 12.000 t TS/a untersucht werden, wurden im Einverständnis von ALDAVIA [20] die zur Verfügung gestellten Daten wie folgt umgerechnet:

- Die Anfallsmengen von Stäuben, Asche, Abwasser sowie die Verbrauchsmengen an Frischwasser, Kalkhydrat, Harnstofflösung, Natronlauge, Erdgas bzw. die Rauchgasmengen wurden anhand der zur Verfügung gestellten Daten auf die Anlagengrößen 4.000, 8.000 und 12.000 T TS Klärschlamm pro Jahr linear erhöht bzw. verringert.
- Die Rauchgastemperaturen wurden für die betrachteten Anlagengrößen konstant gehalten.
- Der elektrische Energiebedarf für die einzelnen Anlagengrößen wurde anhand der angebotenen 7.000 t TS/a Variante mit folgenden prozentuellen Auf- bzw. Abschlägen berechnet:
 - 4.000 t TS/a mit 30%-igem Abschlag,
 - 8.000 t TS/a mit 10%-igem Aufschlag,
 - 12.000 t TS/a mit 40%-igem Aufschlag.

3.4.1.1.2 Verfahrensbeschreibung

Die ALDAVIA[®]-ARx Technologie kombiniert laut Herstellerangaben die Vorteile der Flugverbrennung und der Vorschubrostfeuerung, bei der vorgetrockneter Klärschlamm mit einem Trockensubstanzgehalt von 65 % thermisch verwertet wird. Die auskoppelbare Abwärme der thermischen Verwertung wird ausschließlich zur Klärschlamm-trocknung verwendet [16, 17].

Die Stoff- und Energiebilanz über die Klärschlamm-trocknungs- und -verbrennungsanlage der Fa. ALDAVIA-BioEnergy Company GmbH wird im Kapitel 3.5.1 näher erläutert.

Laut Angaben von ALDAVIA sind zwei Referenzanlagen in Europa in Betrieb:

- Hessheim-Südmüll (Deutschland) - Monoverbrennungsanlage von Klärschlamm (4 MW).
- Mayr-Melnhof (Deutschland) - Anlage zur thermisch energetischen Verwertung von Abfall, Holz und Klärschlamm (5 MW).

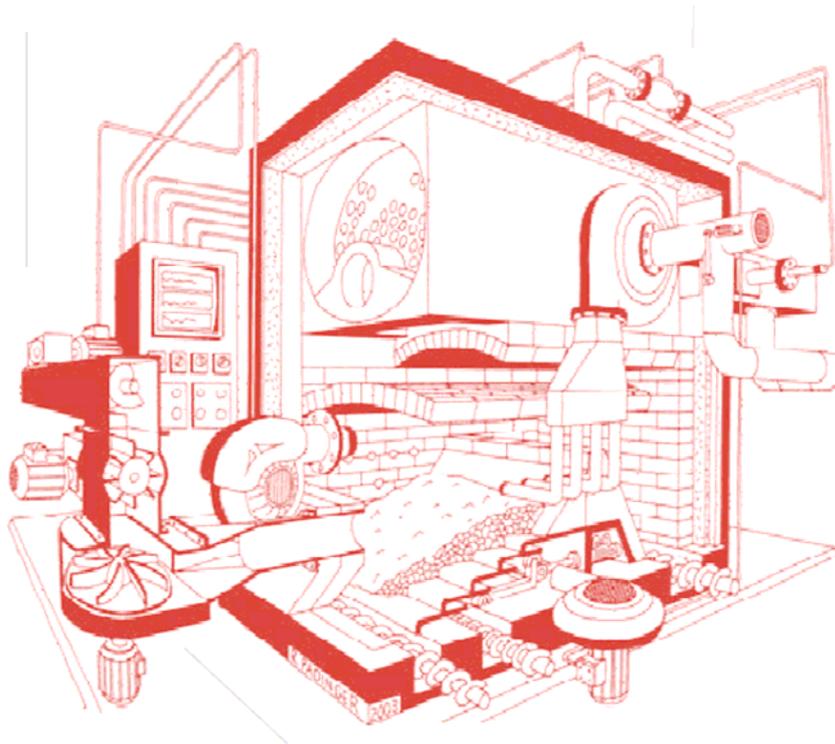


Abbildung 36: Schnitt durch eine ALDAVIA-Feuerung mit Schleuderrad-Technologie

Erläuterung: Quelle: [21]

Trocknung

Hinsichtlich der Verfahrensbeschreibung der Klärschlamm-trocknung wurden von ALDAVIA keine Angaben gemacht. Die folgenden Informationen wurden daher direkt bei einem Hersteller von Kontakttrocknern (Schneckentrockner) eingeholt.

Die Klärschlamm-trocknung arbeitet nach dem Prinzip der Schneckentrocknung. Hierbei werden Trocknungsschnecken mit dem vorentwässerten Klärschlamm ($> 25\%$ TS) über einen Vorlagebehälter beschickt. Die Schnecken werden über einen Thermoölkreislauf vorgeheizt. Das eingesetzte Thermoöl wird in einem Thermoölkessel, welcher der Klärschlamm-verbrennung nachgeschaltet ist, auf ca. $270\text{--}310^\circ\text{C}$ erhitzt. In den beheizten Schnecken wird der Klärschlamm auf 65% TS getrocknet. Durch die stetige Förderung innerhalb der Schnecken wird der Schlamm während des Trocknungsprozesses aufgelockert, wodurch ein feinkörniges Endprodukt (Klärschlammgranulat) entsteht [22].

Die Abluft wird mit den Brüden zusammen aus dem Trockner abgesaugt und mittels eines Luftkühlers gekühlt und kondensiert. Die im Kaskadenkühler vorgereinigte Luft kann durch einen Biofilter geleitet werden, wo es zur Reduktion der Geruchsbelastung auf vorgegebene Grenzwerte kommt [22]. Angaben über die weitere Behandlung des im Luftkühler kondensierten Abwassers wurden von ALDAVIA nicht gemacht.

Thermische Verwertung

Der vorgetrocknete Klärschlamm wird über einen Schubstangenaus-trag in einem Vorlage-schacht zwischengelagert. Durch die emissions- und temperaturgesteuerte ALDAVIA[®] MD_x Technologie (Einwurf- und Eindüsungstechnologie) können gleichzeitig verschiedene Fraktionen mit unterschiedlicher Feuchte und Brennwert verwendet werden. Das Mischungs-

verhältnis kann so gewählt werden, dass auch Heizwert arme Fraktionen (z.B. Rechengut) mitverbrannt werden können.

Der Verbrennungsreaktor wird mit Hilfe eines erdgasbefeueten Stützbrenner aufgeheizt, um die zur Klärschlammverbrennung nötigen Temperaturverhältnisse (950°C) herzustellen. Um eine hohe Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten, wird der getrocknete Klärschlamm entsprechend vorzerkleinert, so dass eine maximale Korngröße von 50 mm sichergestellt wird. Danach wird der Klärschlamm mit Hilfe einer Schleuderradbeschickung (ohne Luftbeigabe) in den Verbrennungsreaktor eingeworfen, entgast und dann am Rost ausgebrannt. Während der Flugphase kommt es nach der Trocknung bereits zu einem Ausgasen und Verschweilen des Brennstoffes, was ein gleichmäßiger brennendes Glutbett zur Folge hat.

Im Gegensatz zur Vorschubrostverbrennung sind keine kalten Zonen vorhanden, in denen der Brennstoff erst aufgeheizt werden muss, bevor er zündet. Mittels einer CO-Regelung (OXY Sonde[®]) kann eine CO-arme Verbrennung erreicht werden. Das relativ kühle Glutbett reduziert NO_x- und Schlackenbildung. Zur NO_x-Minderung mittels Sekundärmaßnahmen wird weiters eine Harnstoffeindüsung in der Sekundärverbrennungszone vorgegeben [23].

Die im Verbrennungsreaktor freiwerdende Wärme wird vom Thermoölkessel über einen Thermoölkreislauf an den Klärschlamm-trocknungsprozess übertragen. Dabei wird das Rauchgas auf etwa 320°C abgekühlt. Thermoöl wird als Wärmeträgermedium verwendet, da dadurch die für den Betrieb des Trocknungsprozesses erforderlichen Temperaturen (Betriebs-temperatur 270-310°C) erreicht werden können. Nach Austritt aus dem Kessel gelangt das Rauchgas in die Rauchgasreinigungsanlage [16, 17].

Rauchgasreinigung

Hinsichtlich der Verfahrensbeschreibung der Rauchgasreinigung wurden von ALDAVIA ebenfalls keine Angaben gemacht. Die folgenden Informationen wurden daher direkt bei einem Hersteller von Rauchgasreinigungsanlagen eingeholt [23].

Zur Rauchgasbehandlung wird ein Nassverfahren mit Rundschauchfilter eingesetzt, das im Wesentlichen aus Filter, Additivanlage, Wäscher und Dosieranlage besteht. Das Rauchgas wird über Einspritzkühler abgekühlt und in einen Flugstromreaktor eingeleitet. Hier erfolgt die Zugabe des Adsorbens (Mischung aus Herdofenkoks und Kalkhydrat), das sich mit dem Rauchgas vermischt und mit den Schadstoffen (Hg) im Rauchgas reagiert. In dem darauf folgenden Rundschauchfilter werden die Stäube sowie beladenes Adsorbens bzw. Reaktionsprodukte abgeschieden. Der Filterstaub wird über einen Sammelbunker mittels Förderschnecken und Zentralschleusen ausgetragen [23].

Das vorgereinigte Rauchgas wird in einem Nasswäscher mittels Eindüsung einer Waschflüssigkeit von den restlichen gas-/ dampfförmigen Schadstoffen (HCl, SO₂, HF) bis unterhalb der gesetzlich bzw. behördlich vorgeschriebenen Grenzwerte gereinigt. Im Wäscherquench werden die Rauchgase durch geregeltes Eindüsen und Verdampfen von enthärtetem Wasser annähernd auf die Kühlgrenztemperatur abgekühlt.

Das gekühlte Rauchgas durchströmt ein horizontal angeordnetes Flügelrad, das mit Waschflüssigkeit bedüst wird. Durch die energiereiche feine Zerstäubung werden große Relativgeschwindigkeiten mit hoher Tropfendichte erzeugt, die die Voraussetzung für die Rauchgasfeinreinigung sind. In dieser Stufe werden die Rauchgase bis auf Kühlgrenztemperatur nachgekühlt und die gas-/dampfförmigen Schadstoffe abgeschieden.

Nach Durchströmen der Nassabscheiderstufe treten die Rauchgase in eine Füllkörperwaschstufe ein und durchströmen die Füllkörperschüttung von unten nach oben im Gegenstrom zur Waschflüssigkeit. Durch die lange Verweilzeit in der Füllkörperschüttung wird eine Rauchgasfeinreinigung bis unter die garantierten Reingaswerte erzielt und evtl. vorhandene Aerosole agglomeriert und abgeschieden [23].

Als Neutralisationsmittel wird in beiden Waschstufen 50%-ige Natronlauge pH-Wert-geregelt zudosiert, wodurch die sauren Rauchgasbestandteile zu Salzen reagieren. Ein Teilstrom der Waschflüssigkeit wird kontinuierlich ausgeschleust. Die Versorgung mit Natronlauge erfolgt aus einem Vorratstank mittels einer Dosierpumpe [23].

Das anfallende Abwasser aus den Wäscherstufen muss vor Einleitung in das öffentliche Kanalnetz möglicherweise aufbereitet werden. Es wurden dazu von ALDAVIA keine weiteren Angaben hinsichtlich Konzeption oder Preisen der Wasseraufbereitungsanlage gemacht.

Ascheaufbereitung

Die anfallende Asche aus der Klärschlammverbrennung wird zu 85 % als Grobasche über Sammelschnecken aus dem Verbrennungsreaktor ausgetragen und in einem Aschecontainer gesammelt. Die restlichen 15 % der Klärschlammasche fallen bei der Rauchgasbehandlung als Flugasche an [16, 17].

3.4.1.2 ANDRITZ – EcoDry-Prozess mit DDS-Trommelrocknung

3.4.1.2.1 Datengrundlage

Das von der Firma ANDRITZ AG gestellte Richtpreisangebot beinhaltet im Wesentlichen folgende technische Daten zur Klärschlammrocknungs- und -verbrennungsanlage:

Klärschlammrocknung:

- Kurzbeschreibung und Gegenüberstellung technischer Daten (Endrockensubstanzen, Trocknungstemperaturen, spezifische Energieverbrauchsdaten) aller zur Verfügung stehenden Trocknungstechnologien,
- Auswahlkriterien für Schlammrocknungsanlagen,
- detaillierte Prozessbeschreibung (inklusive Wärmerückgewinnungskonzepte) und Verfahrensschema der eingesetzten Trocknungstechnologie,
- Auslegungsdaten des Trocknungskonzeptes (Ausgangs- und Endrockensubstanzgehalt, Durchsatzmengen, Betriebszeit, Wasserverdampfung),
- Anlagenumfang der Trocknungsanlage,
- Kosten der Trocknungsanlage.

Klärschlammverbrennung:

- Detaillierte Prozessbeschreibung, Verfahrensschema und Aufstellungsplan der energetischen Klärschlammbehandlungsanlage und der Rauchgasreinigungsanlage,
- Auslegungsdaten (Organik-Gehalt – Gleichung nach Thipkhumthod, Betriebszeit, thermische Leistung; Feuerungswärmeleistung) variiert nach Ausgangstrockensubstanzgehalte (22, 25, 28 %) und Heizwerten (8.000, 10.000 und 12.000 kJ/kg TS)

der Klärschlammverbrennungsanlage für die Varianten mit Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr,

- detaillierte Emissions- und Verbrauchsdaten variiert nach Ausgangstrockensubstanzgehalt (22, 25, 28 %) und Heizwerten (8.000, 10.000 und 12.000 kJ/kg TS) für die Variante mit einem jährlichen Klärschlammumsatz von 8.000 t TS,
- Grobabschätzung der Betriebsmittelkosten,
- detaillierte Schlammspezifikation,
- Emissionsmessung einer Referenzklärschlammverbrennungsanlage,
- Investitionskostenabschätzung inklusive einer Aufstellung der Anlagekosten für die Varianten 8.000 und 12.000 t TS/a Klärschlammumsatz. Für die Anlagenvariante mit 4.000 t TS/a Klärschlammumsatz wurden keine Investitionskostenabschätzung abgegeben, da diese Umsatzleistung laut ANDRITZ AG für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage zu gering ist.

3.4.1.2.2 Verfahrenbeschreibung

Das ECO-DRY-Verfahren der ANDRITZ AG ist eine Kombination aus Klärschlamm-trocknung und -verbrennung, bei dem voll getrockneter Klärschlamm (> 90% TS) in einer Zyklon-brennkammer verbrannt wird. Die gesamte dabei frei werdende Energie wird zur Trocknung des Schlammes mittels eines konvektiven Trocknungsverfahrens (Trommeltrocknung) verwendet, d.h. die Feuchtigkeit des Schlammes wird direkt von dem Rauchgas oder der heißen Luft aufgenommen und ausgetragen [24].

Abbildung 37 gibt einen Überblick über das ECO-DRY-Verfahren der ANDRITZ AG.

Die Stoff- und Energiebilanz über die Klärschlamm-trocknungs- und -verbrennungsanlage der Fa. ANDRITZ AG wurde im Kapitel 3.5.1 dargestellt.

Eine Referenzanlage ist seit 2005 in Eferding (Oberösterreich) in Betrieb.

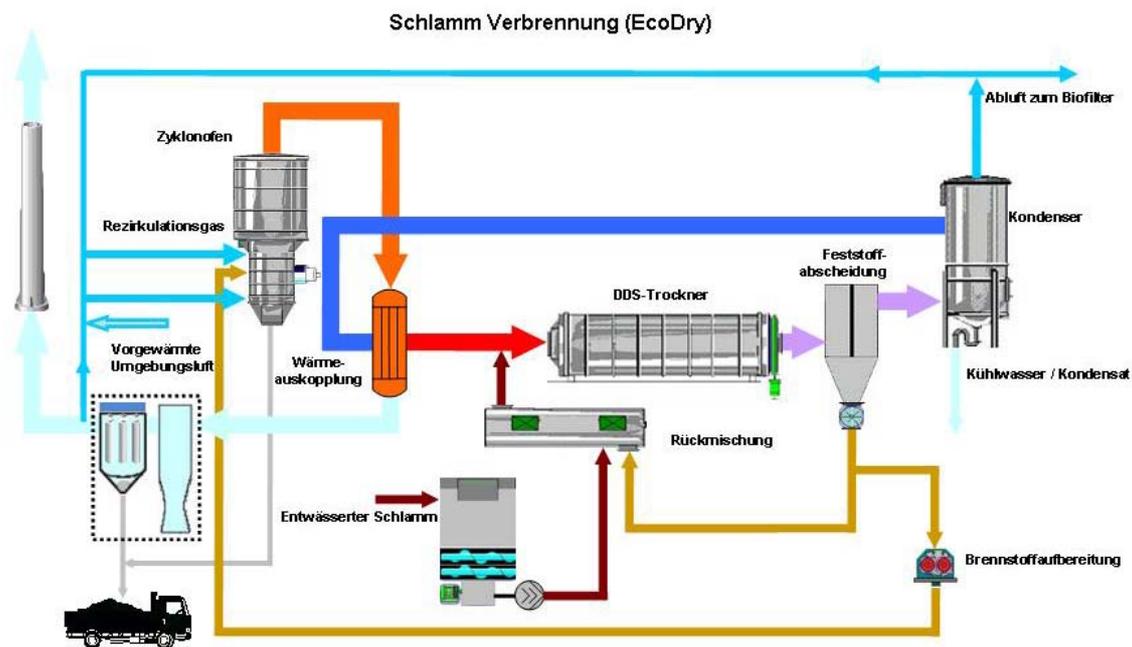


Abbildung 37: Grobes Anlagenschema des ECO-DRY-Verfahrens von Andritz

Erläuterung: Quelle: [24]

Trocknung

Der auf 20-35 % TS entwässerte Schlamm wird in einem Vorlagesilo gelagert und über eine Exzentrerschneckenpumpe in den Mischer aufgegeben, wo der entwässerte Schlamm zur Überwindung der Leimphase¹ mit bereits getrocknetem Granulat vermischt wird. Danach wird das Mischgranulat (65-75 % TS) mit Hilfe eines Umluftstromes in die Trocknungstrommel geblasen. Die Trocknungstrommel ist eine Dreizugtrommel (drei Zylinder mit einer gemeinsamen Achse), die sich mit konstanter Geschwindigkeit dreht. Während sich die Trocknungstrommel dreht, wird der Klärschlamm im Luftstrom vorwärts bewegt und gelangt von inneren in den mittleren und schließlich in den äußeren Zylinder. Durch die Rollbewegung entsteht ein kugelförmiges Granulat. In der rotierenden Dreizugtrommel verdampft das Wasser aus dem Granulat. Durch die Luftströmung und Trommeldrehung wird der Klärschlamm so lange getrocknet (90-95 % TS) bis er pneumatisch aus der Trommel ausgetragen werden kann. Nach Austritt aus der Trocknungstrommel wird das Granulat im Umluftstrom zum Textilfilter (Schlauchfilter) gefördert. Dort wird das getrocknete Granulat aus der Umluft abgeschieden. Das getrocknete Granulat wird durch eine Filteraustragsschnecke aus dem Filter ausgetragen. Die Umluft tritt mit einer Temperatur von ca. 100°C aus dem Filter aus und gelangt in den Kondensator. Im Kondensator wird das verdampfte Wasser der Trocknungsabluft durch Eindüsung von Kühlwasser niedergeschlagen. Zur Abscheidung von feinen Tropfen aus der Umluft ist im Kondensatorkopf ein Tropfenabscheider installiert. Das erwärmte Kühlwasser verlässt die

¹ Als Leimphase wird ein Zustand des getrockneten Klärschlammes bezeichnet, in dem die Förderung des Schlammes sehr schwierig wird, da der Schlamm zum Verklumpen und Anbacken neigt.

Anlage über das Kanalsystem. Ein geringer Teilstrom der Umluft wird zur Geruchseliminierung über den Biofilter geführt. Die Umluft wird nach dem Kondensator zur Erwärmung der Trocknungsluft in einen Wärmetauscher rückgeführt.

Die bei der Kondensation frei werdende Wärme kann bei entsprechender Adaptierung der Anlage zum Teil wieder rückgewonnen werden (siehe Energiebilanz Kapitel 3.5.1.3.2).

Das getrocknete Granulat wird durch die Filteraustragsschnecke ausgetragen und zur Kühlschnecke transportiert. Ein Teilstrom wird zur Vorzerkleinerung über einen Brecher gefahren, um die Korngröße des Granulats zu beeinflussen. Das restliche Rückmischgranulat wird über einen Pufferbehälter bzw. über die Dosierschnecke in den Mischer gefördert. Das vorzerkleinerte Produktgranulat wird in einem luftdurchströmten Kühler auf 50°C abgekühlt und nach einer Zwischenspeicherung in einen Produktsilo transportiert und gelagert. Die Kühlluft und die Aspirationsluft der Schnecke werden gefiltert und dem Biofilter zugeführt. Die freigesetzte Trocknerabluft wird in der Regel in der Zyklonfeuerung nachverbrannt. Für den Fall, dass der Trockner ohne Verbrennungsbetrieb betrieben wird, kann die Trocknungsabluft auch zur Gesamtabluft zugemischt und zur Geruchseliminierung über einen Biofilter geleitet werden.

Der zur Abluftreinigung eingesetzte Biofilter besteht aus einer Trägermaterialschtüttung für Bakterienkulturen, die geruchsintensive Luftinhaltsstoffe abbauen. Mittels einer Abluftkonditionierung (2-stufiger Wäscher) wird sichergestellt, dass die Abluft wassergesättigt und mit einer entsprechenden Temperatur zum Biofilter zugeführt wird. Weiters wird über Dosierung von Schwefelsäure (75%-ig) das in der Abluft enthaltene Ammoniak ausgewaschen [24].

Thermische Verwertung

Bevor das Brennstoffgranulat in die Verbrennung gelangt, wird es aufbereitet. Dazu wird das vorzerkleinerte Granulat aus dem Produktsilo noch einmal über einen Walzenbrecher geführt, um die Korngröße auf ca. 1 mm zu verringern. Nach dem Brecher wird das gemahlene Granulat über ein Sieb geführt, um sicherzustellen, dass kein Korn > 1 mm in die Verbrennung gelangt.

Das aufbereitete Klärschlammgranulat wird in einer Zyklonfeuerung verbrannt. Die Feuerung besteht aus:

- Primärbrennkammer mit Aschenkammer,
- Sekundärbrennkammer,
- Abgaskanal für die Ableitung der heißen Verbrennungsgase und
- Anfahrbrenner.

Die Zyklonfeuerung wird über die Anfahrbrenner (Gasbrenner) aufgeheizt, um die zur Feststoffverbrennung nötigen Temperaturverhältnisse (> 750°C in der Primärbrennkammer, > 850°C in der Sekundärbrennkammer) herzustellen. Der Brenner schaltet sich ebenfalls bei Unterschreiten der minimalen Temperatur (850°C) dazu, bzw. wenn die Anlage vom Feststoffverbrennungsmodus in den Warmhaltemodus geschaltet wird.

Das in die Primärbrennkammer eingetragene Granulat entzündet sich durch die hohe Temperatur und wird von der Drehsenkströmung des Zyklons getragen. Durch die Verbrennung des organischen Materials entstehen poröse Aschepartikel, die über den Konus abgeschieden werden.

Die niederen Temperaturen in der Brennkammer (um 850°C) verhindern Schlackenbildung bzw. Ansintern von Inertmaterial in der Primärbrennkammer. In der Sekundärbrennkammer werden gasförmige organische Verbindungen und Kohlenmonoxid, die sich in der Primärbrennkammer bilden, vollständig oxidiert. Um dies zu gewährleisten, beträgt die Verweilzeit mindestens 2 Sekunden, die Temperatur beträgt mindestens 850°C und der Sauerstoffgehalt wird auf mindestens 6 Vol. % geregelt.

Zur NO_x-Reduktion wird ein SNCR-Verfahren (Selective Non Catalytic Reduction) mit Harnstoff (40%ige Harnstofflösung) als Reduktionsmittel angewandt. Die Harnstofflösung wird über 2-Stoffdüsen in die Sekundärbrennkammer des Ofens gedüst.

Der Ofen wird im Bereich der Primärbrennkammer mit vorgewärmter Frischluft, bzw. sauerstoffarmer Luft (Trocknerabluft oder gereinigtes Rauchgas) begast, wobei durch diese rezirkulierende Gasführung die Temperaturen um die 850°C gehalten werden können.

Das aus der Feuerung austretende Rauchgas gelangt in einen Wärmetauscher, der die Trocknungsumluft erhitzt. Um zu hohe Temperaturen am Eintritt des Wärmetauschers zu verhindern, wird vor dem Wärmetauscher rezirkuliertes Rauchgas zum Rauchgasstrom gemischt. Der Wärmetauscher ist als Rohrbündelwärmetauscher ausgeführt, wobei das Rauchgas mantelseitig und die Trocknungsluft rohrseitig geführt wird. Um die Rauchgasaustrittstemperatur gesichert über dem Schwefelsäuretaupunkt zu halten, wird die Umluftmenge durch den Wärmetauscher über eine umluftseitige Bypassklappe geregelt [24].

Rauchgasbehandlung

Zur Rauchgasbehandlung wird ein trockenes Verfahren eingesetzt, das im Wesentlichen aus einem Reaktor, einem Gewebefilter, den Lagerbehältern für Kalk, Herdofenkoks (HOK) und Reststoff und den erforderlichen Förderequipment besteht. Der Rauchgasstrom wird mit Temperaturen zwischen 180°C und 200°C in den Reaktor eingeleitet. Im Reaktor, der zentral von unten angeströmt wird, kommt es zu einem turbulenten Kontakt zwischen dem Rauchgas, den frischen Sorbentien und dem rezirkulierten Produkt. Weiters wird das Rauchgas mittels Wassereindüsung auf die optimale Betriebstemperatur (ca. 100°C) abgekühlt.

Die Abkühlung und die Erhöhung des Wasseranteiles haben - ebenso wie die zwischenzeitliche Ausbildung einer Flüssigphase an der Oberfläche der Staubpartikel - Anteil an der Abscheideleistung des Verfahrens, wobei die Schadstoffe SO₂, SO₃, HCl, und HF in hohem Maße gebunden werden. Zusätzlich werden die Schwermetalle Cd, Tl und Hg sowie Dioxine und Furane adsorptiv an den Kalkhydratpartikeln bzw. am HOK absorbiert.

Die hohe Effektivität wird auch durch die hochturbulente Bewegung der Feststoffteilchen in der Gasphase im Reaktor und damit durch maximalen Stoff- und Wärmetausch, sowie durch sehr lange Verweilzeit der Sorbenspartikel im System bewirkt.

Ein Teil der Feststoffteilchen verlässt den Turboreaktor mit dem Rauchgas und wird im nachgeschalteten Schlauchfilter abgeschieden. Der Rest der Feststoffpartikel wird im Turboreaktor abgeschieden und in einem Container gesammelt. Der Staubfilter ist die zweite Stufe der Rauchgasreinigung in dem ähnliche chemische Reaktionen wie im Turboreaktor im und am sich aufbauenden Filterkuchen ablaufen.

Der größte Teil des aus dem Staubfilter abgeschiedenen Materials wird mittels zwei Rezirkulationsschnecken in den Reaktor rezirkuliert, wodurch lange Verweilzeiten und damit auch, für das Verfahren charakteristisch, sehr hohe Ausnutzungsgrade des Einsatzstoffes erzielt werden [24].

Ascheaufbereitung

Etwa 93% der inerten Bestandteile des Klärschlammgranulats werden über den im Boden der Zyklonfeuerung befindlichen Austrag abgezogen. Die heiße Asche wird unmittelbar nach dem Austrag mit Wasser gekühlt. Die restlichen 7% der Asche fallen bei der Rauchgasbehandlung als Flugsche an [24].

3.4.1.3 KALOGEO-Verfahren mit solarer Klärschlamm-trocknung

3.4.1.3.1 Datengrundlage

Das von der Firma KALOGEO Anlagenbau GmbH zur Verfügung gestellte Richtpreisangebot enthielt folgende technische Daten zur Klärschlamm-trocknungs- und -verbrennungsanlage:

Klärschlamm-trocknung:

- Kurzbeschreibung aller zur Verfügung stehenden Trocknungstechnologien,
- Auswahlkriterien für Schlamm-trocknungsanlagen,
- Kurze Prozessbeschreibung der eingesetzten Trocknungstechnologie,
- Auslegungsdaten des Trocknungskonzeptes (Ausgangs- und End-trockensubstanz-gehalt, Durchsatzmengen, Wasserverdampfung, solarer und elektrischer Energie-bedarf, Abwärmenutzung) für eine Jahresdurchsatzmenge von 4.000 t TS an kom-munalen Klärschlamm pro Jahr,
- Kosten der Trocknungsanlage für eine Jahresdurchsatzmenge von 4.000 t TS an kommunalem Klärschlamm pro Jahr.

Klärschlamm-verbrennung:

- Konzeptbeschreibung und Verfahrensfließbild der energetischen Klärschlamm-behandlungsanlage und der Rauchgasreinigungsanlage,
- Technische Daten (Ausgangstrockensubstanzgehalt, Durchsatzmenge, Heizwert, Be-triebszeit; thermische Wärmeleistung; elektrischer Energiebedarf, Aschegehalt, ther-mischer Wirkungsgrad) für die Varianten mit Jahresdurchsatzmengen von 4.000 t TS an kommunalem Klärschlamm pro Jahr,
- Investitionskostenabschätzung inklusive einer groben Aufstellung der Anlagekosten für die Varianten 2.000, 4.000, 6.000, 8.000 und 12.000 t TS/a Klärschlamm-durchsatz.
- Betriebsmittelverbräuche und -kosten sowie Personalaufwand und -kosten für die Varianten mit einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 2.000, 4.000, 6.000, 8.000 und 12.000 t TS,
- Angaben zur Finanzierung (Laufzeit, Verzinsung).

3.4.1.3.2 Verfahrensbeschreibung

KALOGEO ist ein patentiertes Verfahren zur thermischen Verwertung von Klärschlamm und besteht im Wesentlichen aus zwei Verfahrensschritten. Im ersten Schritt wird der Klärschlamm in einer "kalten" Trocknung, primär Solartrocknung, bei einer Temperatur um 55°C unter Nutzung der Abwärme aus der thermischen Verwertung teilgetrocknet. Darüber hinaus werden auch andere „kalte“ Trocknungsverfahren wie Bandtrocknung, Umlufttrocknung und Kältetrocknung eingesetzt. Im zweiten Schritt wird der teilgetrocknete Klärschlamm thermisch verwertet. Die Abwärme der thermischen Verwertung wird der Trocknung zugeführt und/oder in ein Fernwärmenetz eingespeist. Die gereinigten Rauchgase werden über einen Kamin abgeleitet. Die inerte Asche kann problemlos deponiert werden und steht somit für eine spätere Rückgewinnung des Phosphors zur Verfügung [25].

Die Stoff- und Energiebilanz über die Klärschlamm-trocknungs- und -verbrennungsanlage der Firma KALOGEO Anlagenbau GmbH wurde im Kapitel 3.5.1 dargestellt.

Eine Referenzanlage ist seit 2003 in Bad Vöslau in Betrieb (siehe Abbildung 38).

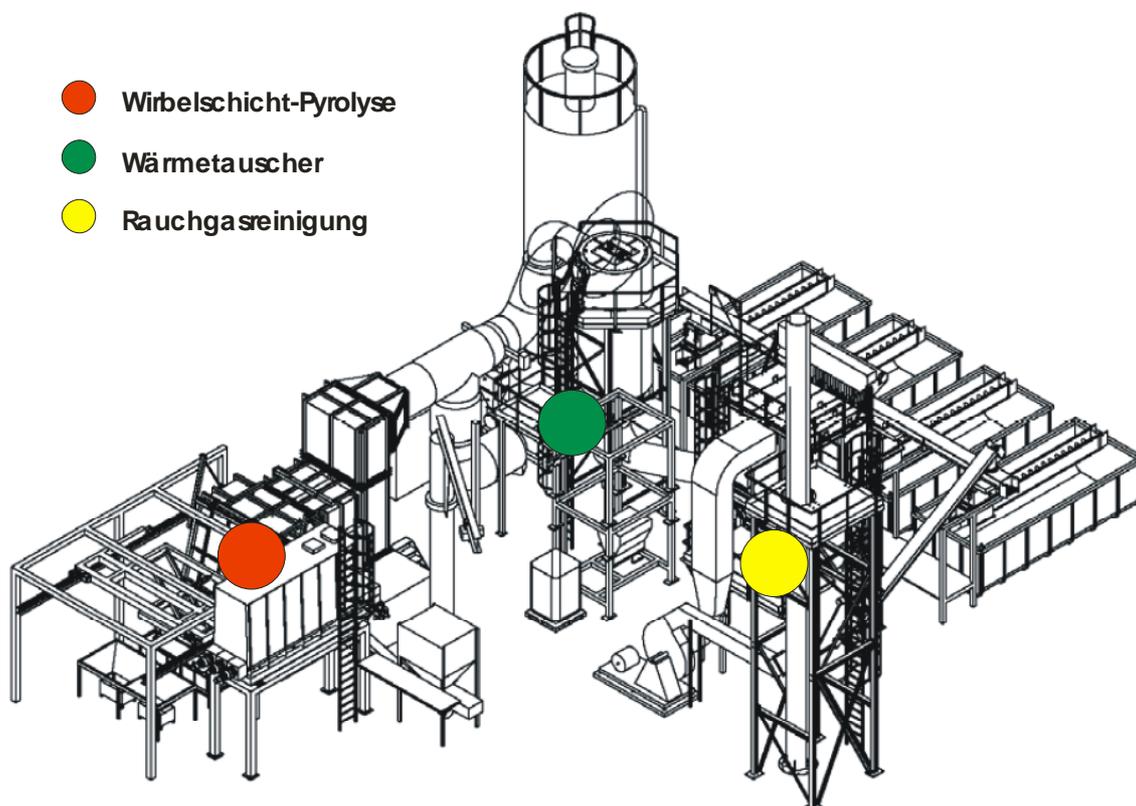


Abbildung 38: Anlagenansicht der KALOGEO-Anlage in Bad Vöslau

Erläuterungen: Quelle: [12]

Trocknung

Grundsätzlich stehen für die „kalte“ Klärschlamm-trocknung nach dem Prinzip KALOGEO vier unterschiedliche Trocknerarten zur Auswahl:

- Solartrocknung,
- Bandtrocknung,

- Umlufttrocknung und
- Kältetrocknung.

Rein energetisch betrachtet stellt die solare Klärschlamm-trocknung die günstige Trocknungs-variante dar, da hauptsächlich die Sonnenenergie zur Trocknung des vorentwässerten Klärschlammes genutzt werden kann. Bei größeren Klärschlamm-durchsätzen nehmen die Investitionskosten bei Solartrocknungsanlagen im Vergleich zu den anderen Trocknungsvarianten aber überproportional zu, sodass der höhere Energiebedarf dieser Trocknungsvarianten kompensiert wird. Da sich die vorliegenden Richtpreisangebote aber auf solare Klärschlamm-trocknung beziehen, werden die anderen möglichen Trocknungsvarianten in dieser Studie nicht weiter behandelt.

Der entwässerte Klärschlamm (20-30 % TS) wird mittels eines Radladers in die Trocknungs-hallen transportiert und dort in einer etwa 20-40 cm hohen Schicht aufgetragen. Durch die Solarenergie wird die Luft und somit der Klärschlamm in den Trocknungshallen auf etwa 55°C aufgewärmt. Bei diesen Temperaturen verdampft das im Klärschlamm enthaltene Wasser. Regelbare Umluft- und Belüftungsventilatoren sowie geregelte Lüftungsklappen sorgen für einen an die vorherrschenden Verhältnisse angepassten Luftaustausch. Zusätzlich wird über Wärmetauscher die Abwärme aus der thermischen Verwertung in die Trocknungshallen geleitet, wodurch die Trocknungsleistung auch in Monaten mit wenig Sonneneinstrahlung gewährleistet wird. Durch die Umwälzung großer Luftmengen, werden die bei der Wasserverdampfung freiwerdenden Geruchsstoffe so verdünnt, dass in der Regel keine Abluft-reinigungsmaßnahmen (Biofilter) erforderlich sind.

Während der Trocknungszeit von durchschnittlich 10 Tagen wird der Klärschlamm durch eine automatische Wendevorrichtung in regelmäßigen Abständen durchmischt, um eine möglichst homogene Trocknung zu gewährleisten. Nach dem Erreichen von Trockensubstanzgehalte von 55-60 % TS wird der Klärschlamm über Austrageinrichtungen (Horizontal- und Vertikalförderer) aus den Trocknungshallen ausgetragen und direkt in einem Pufferbehälter zwischengelagert.

Je nach Anwendungsfall können Band- und Kältetrockner als Alternativen eingesetzt werden [25].

Thermische Verwertung

Der teilgetrocknete Klärschlamm wird thermisch in einer stationären Wirbelschichtfeuerung verwertet. Dabei handelt es sich um einen gestuften Verbrennungsvorgang in dem eine Vergasung der organischen Bestandteile des Klärschlammes mit anschließender Oxidation der gasförmigen Produkte erfolgt.

Der Wirbelschichtreaktor ist im Wesentlichen ein Stahlbehälter gefüllt mit Quarzsand mit einem bestimmten Korngrößenspektrum. Zum Erhitzen des Reaktors wird Erd- oder Biogas mit Wirbelluft vermischt und über einen Luftverteiler eingedüst. Durch die von unten nach oben strömende Wirbelluft wird der Quarzsand fluidisiert. Ein temperaturgeführter Zündbrenner zündet das Luft-Gas-Gemisch, wodurch die Wirbelschicht erhitzt wird bis die für die Pyrolyse des Klärschlammes notwendigen Temperaturen erreicht sind.

Danach wird der Klärschlamm bei einer Temperatur von 700-800°C über eine Vorrichtung in das heiße Wirbelbett eingebracht. Dabei kommt es durch die intensive Turbulenz zu einer schnellen Zerkleinerung, Vermischung und durch die heiße Wirbelschicht zur Aufheizung des

Klärschlamm. Das im Schlamm enthaltene Wasser verdampft und die organischen Bestandteile werden entgast und anschließend in der Nachbrennkammer verbrannt.

Im Normalbetrieb wird deshalb kein zusätzlicher Energieträger für die Pyrolyse berücksichtigt. Die Abgase werden danach in der Nachbrennkammer für mindestens zwei Sekunden auf minimal 850°C gehalten, um eine komplette Oxidation aller organischen Bestandteile zu gewährleisten.

Die Abwärme der thermischen Verwertung wird über ein Thermoölsystem ausgekoppelt und der Trocknung zugeführt und/oder extern verwertet (z.B. Fernwärmenetz). Die Wärmeübertragung auf Thermoöl wird einer Wärmeübertragung auf Heißwasser vorgezogen, um höhere Temperaturen an den Wärmetauscherflächen zu erhalten und somit die Gefahr von Kondensationsvorgängen an kalten Wärmetauscherflächen zu vermeiden. Zur weiteren Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Anlage können auch Sekundärbrennstoffe, wie z.B. Rechengut aus Kläranlagen, in diesen Verwertungsprozess mit eingebracht werden [25].

Rauchgasbehandlung

Durch die primären feuerungstechnischen Maßnahmen wird die Bildung von Kohlenmonoxid, Stickoxiden sowie Dioxinen und Furanen minimiert und der Anteil an unverbranntem Kohlenstoff sehr gering gehalten.

Vor der eigentlichen Rauchgasreinigung wird das Rauchgas über einen Multizyklon geführt, um möglichst viel Asche vor Eindüsung des Trockensorptionsmittels abzuscheiden. Zur Reinigung des Rauchgases wird ein Trockensorptionsverfahren eingesetzt. Hier kommt es durch Eindüsung von Kalkhydrat und Aktivkohle in den Rauchgasstrom zur Abscheidung von HCl, HF, und SO₂ sowie zur Reduzierung der Dioxine, Furane und Schwermetallemissionen durch Adsorption am Kalkhydrat-Aktivkohle-Gemisch. Die Adsorptionsprodukte werden anschließend in einer Filteranlage (Gewebefilter) von den Abgasen abgeschieden. Die gereinigten Abgase werden unter Einhaltung der geltenden Grenzwerte in die Atmosphäre entlassen. Die Eindüsung von Harnstoff zur Reduzierung der NO_x-Emissionen ist laut Angaben von KALOGEO nicht notwendig. Dies wurde auch durch Betriebsdaten der in Bad Vöslau betriebenen Referenzanlage bestätigt [25].

Ascheaufbereitung

Bei der Klärschlammverbrennung in der stationären Wirbelschicht werden die nicht flugfähigen Bestandteile (Störstoffe, grobe Aschepartikel) bei Überschreiten der maximalen Wirbelbetthöhe aus dem Wirbelbett abgezogen, zerkleinert und erneut dem Wirbelschichtreaktor zugeführt. Die beim thermischen Verwertungsprozess entstehende flugfähige Asche wird aus dem Feuerraum ausgetragen und größtenteils (zu ca. 95%) über einen Zyklon abgeschieden. Der Rest fällt bei der Rauchgasbehandlung als Flugstaub an [25].

3.4.1.4 Gegenüberstellung der untersuchten Klärschlammverbrennungstechnologien auf Basis der erhaltenen Unterlagen

In Tabelle 26 sind die technischen Daten der einzelnen Klärschlammverbrennungstechnologien der Anlagenbauer ALDAVIA, ANDRITZ und KALOGEO zusammengefasst und einander gegenübergestellt.

Wie bereits in Kapitel 3.4.1.1 erwähnt, wurden von ALDAVIA keine Unterlagen zu den angefragten Anlagenrößen (4.000, 8.000 und 12.000 t TS pro Jahr) übermittelt. Stattdessen

wurden Daten für Anlagen mit einem Durchsatz von 5.600, 7.000 und 20.000 t TS pro Jahr übermittelt. In Rücksprache mit Herrn Arrich von ALDAVIA [20] wurden die Werte hinsichtlich Betriebsmittelverbräuche und elektrischem Energiebedarf auf die entsprechenden Anlagengrößen angepasst. Die angepassten Werte wurden in den Stoff- und Energiebilanzen berücksichtigt (siehe Kapitel 3.5.1).

Neben den angebotenen Anlagengrößen variieren auch die Heizwerte, die bei der Berechnung der feuerungstechnischen Daten von den einzelnen Firmen eingesetzt wurden. ALDAVIA verwendete hier einen deutliche höheren Heizwert (>15.400 kJ/kg TS) als ANDRITZ (8.000 bis 12.000 kJ/kg TS) und KALOGEO (10.600 bis 11.300 kJ/kg TS).

Die Anlagen der einzelnen Hersteller unterscheiden sich abgesehen von der eingesetzten Feuerungstechnologie insbesondere bei der Flexibilität der Brennstoffe, dem benötigten Eingangstrockensubstanzgehalt, dem Luftverhältnis bei der Verbrennung und der Art der Wärmerückgewinnung.

Ein spezielles Brennstoffmischkonzept vor der Brennstoffaufgabe in den Feuerraum sorgt bei ALDAVIA für Flexibilität bei der Wahl der Brennstoffe. So können neben Klärschlamm auch Rechengut und andere biogene Reststoffe als Brennstoffe genutzt werden, wobei gleichzeitig drei verschiedene Fraktionen über die Mischvorrichtung in den Feuerraum eingebracht werden können. Bei der von KALOGEO konzipierten Anlage kann neben Klärschlamm auch Rechengut parallel über eine eigene Brennstoffdosiereinheit aufgegeben werden.

Die von der Fa. ANDRITZ AG angebotene Zyklonfeuerung benötigt im Vergleich zu den anderen beiden angebotenen Feuerungstechnologien einen Eingangstrockensubstanzgehalt von über 90%. Dementsprechend hoch ist der energetische Aufwand für die Trocknung, der durch den höheren Heizwert des getrockneten Klärschlammes aber wieder kompensiert wird. Die von ALDAVIA angebotene Kombinationsfeuerung benötigt Eingangstrockensubstanzgehalte von 65%, die von KALOGEO eingesetzte stationäre Wirbelschichtfeuerung kann ab einem Trockensubstanzgehalt von 60% betrieben werden.

Aufgrund unterschiedlicher Verbrennungstechnologien unterscheidet sich auch das bei der Verbrennung vorherrschende Luftverhältnis (λ -Wert). In der Kombinationsfeuerung von ALDAVIA liegt das aus den übermittelten Unterlagen errechnete Luftverhältnis mit rund 1,5 am höchsten. Dieser Wert liegt im unteren Bereich von konventionellen Rostfeuerungen, aufgrund der Kombination Wirbelschicht (durch Brennstoffeinwurf) und Rostfeuerung erscheint dieser Wert aber plausibel.

Die Zyklonfeuerung der ANDRITZ AG arbeitet bei einem Luftverhältnis von etwa 1,4, das durch die bessere Durchmischung des getrockneten Klärschlammgranulats mit der Verbrennungsluft in der Zyklonfeuerung im Gegensatz zur Kombinationsfeuerung von ALDAVIA erreicht werden kann. Die Durchmischung von Brennstoff und Verbrennungsluft kann im stationären Wirbelschichtreaktor von KALOGEO im Gegensatz zu den anderen Verfahren noch etwas verbessert werden, wodurch im Betrieb ein durchschnittliches Luftverhältnis von rund 1,35 möglich ist.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Art der Wärmerückgewinnung. Bei ALDAVIA und KALOGEO wird die im Rauchgas enthaltene Wärmeenergie über ein Thermoölssystem ausgekoppelt. Dabei ist beim KALOGEO-Verfahren nach dem Thermoölkessel auch noch ein Thermoöleconomiser nachgeschaltet, der das Rauchgas auf etwa 200°C abgekühlt.

Tabelle 26: Gegenüberstellung technischer Daten einzelner Anlagenkomponenten der Klärschlammverbrennungsanlagen der Anlagenbauer ALDAVIA, ANDRITZ und KALOGEO auf Basis der eingeholten Richtpreisangebote

Erläuterungen: Quellen: [17, 24, 25]; * Werte beziehen sich auf einen Hu von 10.000 kJ/kg TS. ** Werte berechnet aus angegebener Nutzwärmeleistung und Wirkungsgrad.

Parameter	Einheit	ALDAVIA	ANDRITZ	KALOGEO
Klärschlamm-trocknung				
Art des Trockners	[-]	Schnecken-trockner	Trommel-trockner	Solare Trocknung
Wärmeübertragung von Verbrennung auf Trocknung	[-]	Rauchgas/Thermalöl	Rauchgas/Trocknungsluft	Rauchgas/Thermalöl
Klärschlamm-Durchsatz	[t/a TS]	22.500 28.100 78.000	16.000 32.000 48.000	16.000 32.000 48.000
Klärschlamm-Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	> 25	22-28	25
Klärschlamm-Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	94	60
Spezifischer Wärmeverbrauch	[kWh/kg H ₂ O]	0,83	0,81-0,85	1,12
Betriebszeit	[h/a]	8.000	7.500	8.000
Klärschlamm-verbrennung				
Art der Verbrennung	[-]	Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung	Zykloidfeuerung	Wirbelschichtfeuerung
Einsetzbare Brennstoffe	[-]	Klärschlamm, Rechengut, biogene Reststoffe	Klärschlamm	Klärschlamm, Rechengut
Klärschlamm-Durchsatz	[t/a TS]	5.600 7.000 20.000	4.000 8.000 12.000	4.000 8.000 12.000
Klärschlamm-Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	94	60
Durchschnittlicher Heizwert des Klärschlammes	[kJ/kg TS]	> 15.400	8.000-12.000	10.600-11.300
Feuerungsleistung	[kW]	2.700 3.400 6.200	1.480 2.960 4.444*	1.250 2.500 3.750**
Kesselleistung	[kW]	2.000 2.500 4.700	1.214 2.427 3.644*	1.000 2.000 3.000
Verbrennungsraumtemperatur	[°C]	950	850	850
Rauchgastemperatur nach Wärmerückgewinnung	[°C]	320	200	200
Luftüberschuss des gesamten thermischen Prozesses	[-]	1,47	1,38	1,1-1,6
Gesamtwirkungsgrad bezogen die zugeführte Brennstoffmenge (Hu)	[%]	73-74	82	80
Art der Zusatzfeuerung	[-]	Stützbrenner	Stützbrenner	Stützbrenner
Art des Zusatzbrennstoffes	[-]	Erdgas	Erdgas	Erdgas
Durchschnittlicher Verbrauch an Zusatzbrennstoff	[m ³ /h]	k.A.	k.A. 0-75,8 k.A.	5 13 20
Elektrischer Energiebedarf	[kW]	160 200 570	270 450 670	140 260 330
Betriebszeit	[h/a]	8.000	7.500	8.000
Energienutzung				
Art der Wärmeauskopplung	[-]	Rauchgas/Thermalöl	Rauchgas/Trocknungsluft	Rauchgas/Thermalöl
Auskoppelbare Wärmeleistung	[kW]	820 1.630 2.450	1.230 2.460 3.700	950 1.900 2.850
Temperaturbereich Wärmeauskopplung	[°C]	270-310	90-180	160-240
Rauchgasreinigung				
Art der Rauchgasreinigung	[-]	Nassreinigung	Trockene Rauchgasreinigung	Trockensorptionsverfahren
Rauchgastemperatur-Eintritt Rauchgasreinigung	[°C]	320	200	200
Rauchgastemperatur-Kamin	[°C]	180-200	100	180
Komponenten	[-]	SNCR-Anlage; Rundschauchfilter; Additivanlage; Wäscher; Biofilter; alternativ Trockensortptionsanlage	SNCR-Anlage; Additivanlage; Reaktor; Schlauchfilter; Biofilter	Additivanlagen; Multizyklon; Keramikfilter
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe	[-]	Frischwasser; Sorbalit; Harnstofflösung; Natronlauge	Frischwasser; Kalkhydrat; Aktivkoks; Harnstofflösung; Schwefelsäure	Kalkhydrat; Aktivkohle
Rauchgasreinigungsreststoffe	[-]	Abwasser; Stäube; Asche	Abwasser; Asche	Stäube; Asche

Bei ALDAVIA ist keine Thermoöleconomiser vorgesehen, wodurch das Rauchgas nur auf rund 320°C abgekühlt wird. Beim Verbrennungsverfahren der ANDRITZ AG erfolgt die Wärmeübertragung in einem Rohrbündelwärmetauscher, in dem die Trocknungsluft durch das Rauchgas auf etwa 400°C bis 450°C aufgeheizt wird. Die Austrittstemperatur des Rauchgases aus dem Wärmetauscher beträgt dabei etwa 200°C.

Aufgrund der variierenden Verhältnisse bei der Verbrennung und unterschiedlicher Wärmehückgewinnungsverfahren aber auch wegen der unterschiedlichen Angaben zum Heizwert des eingesetzten Klärschlammes ergeben sich für die Anlagen der einzelnen Anbieter unterschiedliche Wirkungsgrade. Die angegebenen Werte wurden von der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH anhand der in Tabelle 26 zusammengefassten feuerungstechnischen Angaben (Feuerungsleistung, Kesselleistung, Luftverhältnis und Rauchgastemperaturen) mit BioBil ©, einem von der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH entwickelten Bilanzierungsprogramm für Feuerungsanlagen, überprüft und nachgerechnet. Demnach sind die Angaben aller Hersteller plausibel.

Der relativ geringe Wirkungsgrad der von ALDAVIA angebotenen Anlage ergibt sich einerseits durch das im Vergleich zu den anderen Verfahren höhere Luftverhältnis und andererseits durch die relativ hohen Rauchgasaustrittstemperaturen aus dem Kessel. Die beiden anderen Klärschlammverbrennungsverfahren (ANDRITZ AG und ALDAVIA) weisen ähnliche Wirkungsgrade auf, wobei das von ANDRITZ AG angebotene Verfahren aufgrund des hohen Trockensubstanzgehalts des Klärschlammes vor Eintritt in die Feuerung einen etwas besseren Wirkungsgrad erreicht.

Hinsichtlich des Verbrauchs an Zusatzbrennstoffen gab es von ALDAVIA keine Angaben bzw. die Aussage, dass die Anlagen energieautark betrieben werden können. Unter den von ALDAVIA angegebenen Rahmenbedingungen (Heizwert > 15.400 kJ/kg TS) konnte diese Aussage durch Nachrechnung der Anlage mit BioBil © bestätigt werden. Bei niedrigeren Heizwerten ist allerdings der Einsatz von Zusatzbrennstoff notwendig (siehe auch Energiebilanz in Kapitel 3.5.1.3).

ANDRITZ hat für unterschiedliche Rahmenbedingungen (Heizwert des Klärschlammes zwischen 8.000 und 12.000 kJ/kg TS, Eingangstrockensubstanzgehalt vor der Trocknung zwischen 22 und 28%) den Bedarf an Zusatzbrennstoff für die Anlage mit 8.000 t TS Klärschlammumsatz pro Jahr angegeben. Unter günstigen Bedingungen (Heizwert 12.000 kJ/kg TS und Trockensubstanzgehalt von 28%) kann die Anlage laut Angaben von ANDRITZ energieautark betrieben werden, was durch Nachrechnung mit BioBil © verifiziert werden konnte. Bei geringeren Heizwerten und Trockensubstanzgehalten benötigen die Anlagen zusätzlich Erdgas (bis zu 76 Nm³/h), um den Energiebedarf für die Trocknung abdecken zu können.

KALOGEO gibt relativ geringe Erdgasverbräuche an (je nach Anlagengröße 5 bis 20 Nm³/h). Laut Herstellerangaben wäre aufgrund des zusätzlichen Energieeintrags von Sonnenenergie (unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Sonneneinstrahlung über das Jahr) die Energiebilanz der Anlagen positiv, das heißt sie könnten energieautark betrieben werden. Eine Überprüfung der Anlage auf Basis des durchschnittlichen Energieeintrags durch Sonneneinstrahlung mit BioBil © konnte diese Angaben bestätigen. Da die tägliche Sonneneinstrahlung aber durch Witterungseinflüsse und saisonale Unterschiede schwanken kann, muss kurzfristig immer wieder Erdgas zugeführt werden, um die für die Trocknung benötigte Energie bereitstellen zu können. Da der im Verhältnis zu den anderen Anlagengrößen geringe Erdgasbedarf

der 4.000 t TS-Anlage nicht schlüssig erklärt werden konnte, wurde dieser für die weiteren Berechnungen von 5 auf 7 Nm³/h erhöht.

Zur weiteren Bewertung der Anlagen war es notwendig, die Angaben von ALDAVIA und KALOGEO auf die festgelegten Rahmenbedingungen hinsichtlich des Aschegehaltes und des Heizwerts des Klärschlammes anzupassen. Dazu wurde das bereits erwähnte Softwareprogramm BioBil © verwendet. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden zur Erstellung der in den in Kapitel 3.5.1.3 diskutierten Energiebilanzen verwendet.

3.4.2 Klärschlammaschenverwertung

Die Datengrundlage zur technologischen Untersuchung und wirtschaftlichen Beurteilung der Technologie zur Aufbereitung von Klärschlammaschen stammt von der Firma ASH DEC Umwelt AG, die in Kooperation mit BIOS, dem Austrian Bioenergy Centre und dem Institut der Ressourcenschonende und Nachhaltige Systeme, Technische Universität Graz an der anlagentechnischen Umsetzung einer Klärschlammashenaufbereitungsanlage arbeiten. Aufgrund der Zusammenarbeit zwischen ASH DEC und BIOS konnten detaillierte technische Daten bezüglich Klärschlammashenaufbereitung, thermischer Behandlung der Asche inklusive Rauchgasreinigung und Düngemittelherstellung für das geplante steiermärkische Klärschlammverwertungskonzept zur Verfügung gestellt werden.

Derzeit wird an der Errichtung einer ersten Pilotanlage zur Aschenaufbereitung mit einer Durchsatzleistung von 300-500 kg/h gearbeitet.

Die Verfahrensbeschreibung der Klärschlammashenaufbereitung wurde bereits im Kapitel 3.3.3 ausführlich erläutert. Für weitere Anlagendaten siehe Kapitel 3.5.2.

3.5 Stoff- und Energieströme einer dezentralen Klärschlammverwertungsanlage

Für die in Tabelle 20 angeführten steiermärkischen Rahmenbedingungen wurden im Folgenden Massen- und Energiebilanzierungen aller in die Klärschlammverwertungsanlage eintretenden und austretenden Ströme aufgestellt. Als Bilanzierungsgrundlage wurden die für die bei den Varianten bereits definierten Anlagengrößen mit den Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr herangezogen.

Die Stoff- und Energiebilanz der Klärschlammverwertungsanlage wurde in die Systeme „Klärschlamm-trocknung und -verbrennung“ und die „Klärschlamm-ashenverwertung“ unterteilt und getrennt voneinander betrachtet. Die Bilanzgrenze stellt dabei der Aschesilo der Verbrennungsanlage dar.

Die wichtigsten Inputströme für die Klärschlamm-trocknung und -verbrennung sind der Klärschlamm mit den entsprechenden Nährstoff- und Schwermetallgehalten, die Additive für die Rauchgasreinigung, Zusatzbrennstoff und Verbrennungsluft. Outputströme sind die anfallenden nährstoff- und schwermetallhaltigen Aschefraktionen, das Rauchgas und Reststoffe aus der Rauchgasreinigung.

Für die Klärschlamm-ashenverwertung sind die wichtigsten Eingangsgrößen die nährstoff- und schwermetallhaltige Klärschlamm-ashen, Erdgas (für die Beheizung des thermischen Reaktors) und die zur Düngemittelherstellung notwendigen Additive. Ausgangsgrößen sind

die hergestellten Düngemittel sowie Rauchgas und Reststoffe aus der thermischen Behandlung der Aschen.

3.5.1 Stoff- und Energiebilanz der Klärschlamm-trocknung und -verbrennung

Anhand der steiermärkischen Klärschlammzusammensetzung, dargelegt in Tabelle 11, Tabelle 14 und Tabelle 20, wurden mit Hilfe der Jahresdurchsatzmengen der festgelegten Anlagenvarianten die Klärschlamm-inputströme für die Klärschlamm-trocknung und Klärschlamm-verbrennung ermittelt und in Tabelle 27 zusammengefasst. Für die Zusammensetzung der Organik wurde die Klärschlamm-analyse für Graz-Gössendorf [6] herangezogen und an den festgelegten Aschegehalt von 50% TS angepasst.

Tabelle 27: Klärschlamm-zusammensetzung und Gegenüberstellung der steiermärkischen Klärschlamm-Inputströme der einzelnen Klärschlamm-verbrennungsanlagen-größen mit Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalem Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quellen: FA 19A, [6, 17, 24, 25] Tabelle 20; die Angaben bzgl. Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Schwefel- und Chlorgehalt wurden aus der Klärschlamm-analyse der Kläranlage Graz-Gössendorf abgeleitet, an den festgelegten Aschegehalt angepasst und mit Hilfe der Heizwert-Gleichung nach Thipkhuethod berechnet. Der Wert für den Stickstoffgehalt stammt aus Tabelle 14.

Klärschlammparameter	Einheit	Anlagengrößen		
		4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	12.000 t TS/a
Brennstoffzusammensetzung				
Klärschlamm-menge	[t/a TS]	4.000	8.000	12.000
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt	[% TS]	25		
Unterer Heizwert des Klärschlamm-s	[kJ/kg TS]	10.000		
Kohlenstoff-Gehalt	[Gew% TS]	26,95		
Wasserstoff-Gehalt	[Gew% TS]	4,10		
Stickstoff-Gehalt	[Gew% TS]	4,50		
Schwefel-Gehalt	[Gew% TS]	0,70		
Chlor-Gehalt	[Gew% TS]	0,01		
Aschegehalt	[Gew% TS]	50		
Nährstoffmengen im eingesetzten Klärschlamm				
Stickstoff	[t/a TS]	180	359	539
Phosphor	[t/a TS]	95	189	284
Kalium	[t/a TS]	16	33	49
Kalzium	[t/a TS]	423	846	1.270
Magnesium	[t/a TS]	20	39	59
Natrium	[t/a TS]	11	22	33
Schwermetallmengen im eingesetzten Klärschlamm				
Zink	[kg/a TS]	6.237	12.474	18.711
Kupfer	[kg/a TS]	1.272	2.545	3.817
Chrom	[kg/a TS]	557	1.114	1.670
Blei	[kg/a TS]	362	724	1.085
Nickel	[kg/a TS]	253	506	759
Cobalt	[kg/a TS]	62	125	187
Molybdän	[kg/a TS]	43	86	129
Cadmium	[kg/a TS]	7	15	22
Quecksilber	[kg/a TS]	22	44	65

Bei der Verbrennung werden die organischen Verbindungen zu CO_2 und H_2O oxidiert und über das Rauchgas abgeschieden. N reagiert großteils zu N_2 . Ein Teil des N bildet NO_x , das durch Eindüsung von Harnstoff großteils in N_2 umgewandelt werden kann. Der bei der Verbrennung nicht in der Asche gebundene S wird als SO_x emittiert und in der Rauchgasreinigungsanlage zum Großteil wieder abgeschieden und gelangt schließlich in die Filterasche.

Aufgrund der für die Klärschlammverbrennung geltenden strengen Emissionsgrenzwerte der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) sind die Verluste von S sowie von Schwermetallen und Nährstoffen über das Rauchgas gering bzw. vernachlässigbar. Bei Chlor bleiben in Bezug auf den geltenden Emissionsgrenzwert mindesten 6% des im Klärschlamm enthaltenen Chlors in der Asche. Die tatsächliche Einbindungsrate von Chlor in die Asche ist aber in der Regel deutlich höher als 6%, so dass der Emissionsgrenzwert für HCl vermutlich nicht erreicht wird. Die Nährstoffe (außer N) und Schwermetallen verbleiben in der Grobasche oder werden in der Rauchgasreinigung als Flugstaub abgeschieden. Beide Fraktionen werden gemeinsam in der nachgeschalteten Klärschlammaschenverwertungsanlage weiterverwertet.

In den folgenden Kapiteln wurden die Stoff- und Energiebilanzen der definierten Systeme aufgestellt. Dabei wurden für das System „Klärschlamm-trocknung und -verbrennung“ die Stoff- und Energiebilanzen für die bereits oben angeführten Klärschlammverbrennungstechnologien unter Berücksichtigung der beiden in Kapitel 3.2 festgelegten Konzeptvarianten aufgestellt. Basierend auf den Outputströmen der Klärschlamm-trocknung und -verbrennung wurde anschließend die Stoff- und Energiebilanzierung für das System „Klärschlammascheverwertung“ durchgeführt.

3.5.1.1 Stoffbilanz

3.5.1.1.1 ALDAVIA

Die Stoffbilanzen für die festgelegten Anlagengrößen über die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlage der Firma ALDAVIA sind in Tabelle 28 dargestellt.

Wie bereits in Kapitel 3.4.1.1 erwähnt, mussten die im Angebot von ALDAVIA gemachten Angaben für die Anlagengrößen 5.600, 7.000 und 20.000 t TS pro Jahr auf die für die beiden Konzeptvarianten festgelegten Anlagengrößen (4.000, 8.000 und 12.000 t TS pro Jahr) umgerechnet werden.

Beim Verfahren der ALDAVIA-BioEnergy Company GmbH wird die Klärschlamm-trocknungsanlage mit Klärschlamm mit einem Eingangstrockensubstanzgehalt von durchschnittlich 25 % TS beschickt. Abhängig von der Anlagengröße ergeben sich für die Trocknung somit Klärschlamm-durchsatzmengen von 16.000 bis 48.000 t FS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr. Der zu trocknende Klärschlamm wird nach Eintritt in die Trocknungsanlage mit ausgekoppelter Abwärme aus der nachgeschalteten thermischen Klärschlammverwertung auf einen Trockensubstanzgehalt von 65 % getrocknet, was je nach Anlagenvariante einer jährlichen Wasserverdampfung von ca. 9.850 bis 29.550 t Wasser entspricht.

Die getrockneten Klärschlämme werden anschließend der thermischen Verwertung in die Vorschubrostfeuerung mit Wurfbeschickung zugeführt. Die Klärschlammverbrennungsanlage ist je nach Anlagengröße auf eine Klärschlamm-durchsatzmenge von rund 6.150 bis 18.460 t FS ausgelegt.

Aufgrund des relativ niedrigen Heizwertes des Klärschlammes sowie der hohen Abgastemperaturen nach dem Kessel und des damit verbundenen relativ geringen Anlagenwirkungsgrades ist zur Abdeckung des Energiebedarfs der Trocknung Zusatzbrennstoff in Form von Erdgas notwendig (siehe auch Energiebilanz). Je nach Anlagengröße liegt der jährliche Bedarf zwischen 258.000 und 774.000 Nm³ pro Jahr.

Zur Entstickung des in der Verbrennung entstehenden Rauchgases wird Harnstoff in den Verbrennungsraum eingedüst. Der jährliche Verbrauch liegt abhängig von der Anlagengröße bei 37 bis 111 t. In der dem Kessel nachgeschalteten Rauchgasreinigung werden Wasser für den Wäscher (6.860 bis 20.570 m³/a), Sorbalit für die Trockensorption (60 bis 175 t/a) und Natronlauge (37 bis 110 t/a) für die Neutralisation verwendet. Die bei der Neutralisation anfallenden Abwassermengen (rd. 3.450 bis 10.300 m³/a) müssen je nach gesetzlichen Rahmenbedingungen möglicherweise vor Einleitung in die öffentliche Kanalisation noch in einer Abwasseraufbereitungsanlage aufbereitet werden.

Seitens ALDAVIA wurden keine Angaben bzgl. Aufteilung der gesamten Aschemenge auf Rost- und Flugasche gemacht. Zur Berechnung der Ascheströme wurde daher auf Basis der Erfahrungen von BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH auf dem Bereich der Biomasse-rostfeuerungen ein Verhältnis von 85% Rostasche und 15% Flugasche angenommen. Auf Basis des festgelegten Aschegehaltes von 50 % TS und der entsprechenden Aufteilung zwischen Rostasche und Flugasche ergeben sich Klärschlammashemengen für die 3 Anlagengrößen von 1.700 bis 5.100 t pro Jahr, die aus dem Verbrennungsreaktor abgezogen werden. Die restlichen 15% (300 bis 900 t/a) werden gemeinsam mit den Reststoffen aus der Rauchgasreinigung (schadstoffbeladener Sorbalit) als Filterasche abgeschieden.

Da die Klärschlammashemengen nicht deponiert, sondern in einer Klärschlammashenverwertung weiter verwertet werden sollen, gelten diese nicht als Abfall und können daher gemeinsam verwertet werden (kein Vermischungsverbot). Somit steht für die Klärschlammashenverwertung die gesamte bei der thermischen Verwertung anfallende Klärschlammasche von 6.175 t/a zur Verfügung.

Der Anteil des Flugstaubes, welcher über den Kamin ausgetragen wird, beträgt je nach Anlagenvariante zwischen ca. 109 und 327 kg pro Jahr. Die HCl-Emissionen liegen in Abhängigkeit von der Anlagengröße zwischen 218 und 655 kg/a, die SO_x-Emissionen zwischen 1.091 und 3.273 kg/a und die Hg-Emissionen zwischen 1 und 3 kg/a.

Betrachtet man abschließend die Outputströme der Nährstoff- und Schwermetallmengen in den jeweilig anfallenden Klärschlammashen, erkennt man im Vergleich zur Tabelle 27, dass Stickstoff vollständig in die Gasphase übergeht. Chlor verbleibt zu mindestens 6% in der Asche (bedingt durch die geringen Ausgangsgehalte im Klärschlamm verlässt trotz der niedrigen Emissionsgrenzwerte ein Großteil des im Klärschlamm enthaltenen Chlors die Anlage über das Rauchgas, sofern angenommen wird, dass die HCl-Emissionen am Grenzwert liegen), während Quecksilber zu 95% in der Asche und die weiteren Nährstoffe und Schwermetalle zur Gänze in der anfallenden Asche (die Verluste über das Rauchgas sind aufgrund der strengen Emissionsgrenzwerte gemäß Abfallverbrennungsverordnung vernachlässigbar) verbleiben.

Tabelle 28: Stoffflüsse der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ALDAVIA-BioEnergy GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: [17]; Verbrennungsluft- und Rauchgasdaten wurden mithilfe von BioBil © errechnet. Als Basis diente Klärschlamm mit einem Heizwert von 10.000 kJ/kg TS und einem Trockensubstanzgehalt von 25%. * die Mengen an Flugstaub sind auf 5 mg/Nm³ (trockenes Rauchgas, 273 K, 1.013 mbar und 11 % O₂-Gehalt) bezogen, das entspricht dem Stand der Technik bei Gewebefilteranlagen. ** die Mengen an HCl, SO_x und Hg wurden anhand der Grenzwerte laut Abfallverbrennungsverordnung (AVV) ermittelt. *** die Menge an Ca erhöht sich um die im Sorbalit (Einsatzstoff Rauchgasreinigung) enthaltene Menge (90% Ca(OH)₂).

ALDAVIA-Klärschlammparameter	Einheit	Variante 1		Variante 2	
		12.000 t TS/a	4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	Gesamt
Klärschlamm-trocknung					
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	48.000	16.000	32.000	48.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25	25
Restklärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	18.462	6.154	12.308	18.462
Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	65	65	65
Verdunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	29.538	9.846	19.692	29.538
Klärschlamm-verbrennung					
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	18.462	6.154	12.308	18.462
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	65	65	65
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	773.650	257.890	515.770	773.660
Verbrennungsluft-Klärschlamm	[Nm ³ /a]	47.592.000	15.864.000	31.968.000	47.832.000
Verbrennungsluft-Erdgas	[Nm ³ /a]	8.197.000	2.736.000	5.472.000	8.208.000
Verbrennungsluft-Gesamt	[Nm ³ /a]	55.789.000	18.600.000	37.440.000	56.040.000
Rauchgasreinigung					
Rauchgasmenge feucht-Klärschlamm	[Nm ³ /a]	60.363.000	20.121.000	40.242.000	60.363.000
Rauchgasmenge feucht-Erdgas	[Nm ³ /a]	9.039.000	3.017.000	6.034.000	9.051.000
Rauchgasmenge feucht-Gesamt	[Nm ³ /a]	69.402.000	23.138.000	46.276.000	69.414.000
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe					
Frischwasser	[m ³ /a]	20.570	6.860	13.710	20.570
Sorbalit	[t/a]	175	60	115	175
Natronlauge	[t/a]	110	37	73	110
Harnstoff	[t/a]	111	37	74	111
Rauchgasreinigungsreststoffe (zu entsorgen)					
Abwasser	[m ³ /a]	10.290	3.430	6.860	10.290
Emissionen (im gereinigten Abgas)					
Flugstaub*	[kg/a]	327	109	218	327
HCl**	[kg/a]	655	218	436	655
SO _x **	[kg/a]	3.273	1.091	2.182	3.273
Hg**	[kg/a]	3	1	2	3
Klärschlamm-asche-output					
Grobasche	[t/a]	5.100	1.700	3.400	5.100
Filterasche	[t/a]	1.075	360	715	1.075
Anfallende Klärschlamm-asche gesamt	[t/a]	6.175	2.060	4.115	6.175
Nährstoffmengen und Chlor in der anfallenden Klärschlamm-asche					
Stickstoff	[t/a TS]	0,0	0,0	0,0	0,0
Schwefel	[t/a TS]	82,4	27,5	54,9	82,4
Chlor	[t/a TS]	0,04	0,01	0,03	0,0
Phosphor	[t/a TS]	284	95	189	284
Kalium	[t/a TS]	49	16	33	49
Kalzium***	[t/a TS]	1.355	452	903	1.355
Magnesium	[t/a TS]	59	20	39	59
Natrium	[t/a TS]	33	11	22	33
Schwermetallmengen in der anfallenden Klärschlamm-asche					
Zink	[kg/a TS]	18.711	6.237	12.474	18.711
Kupfer	[kg/a TS]	3.817	1.272	2.545	3.817
Chrom	[kg/a TS]	1.670	557	1.114	1.670
Blei	[kg/a TS]	1.085	362	724	1.085
Nickel	[kg/a TS]	759	253	506	759
Cobalt	[kg/a TS]	187	62	125	187
Molybdän	[kg/a TS]	129	43	86	129
Cadmium	[kg/a TS]	22	7	15	22
Quecksilber	[kg/a TS]	62	21	41	62

Hinsichtlich Stoffbilanz gibt es bezogen auf die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlage keine Unterschiede zwischen den beiden Konzeptvarianten.

In Abbildung 39 wurden zusammenfassend die Stoffflüsse für die Anlagengröße 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr graphisch dargestellt.

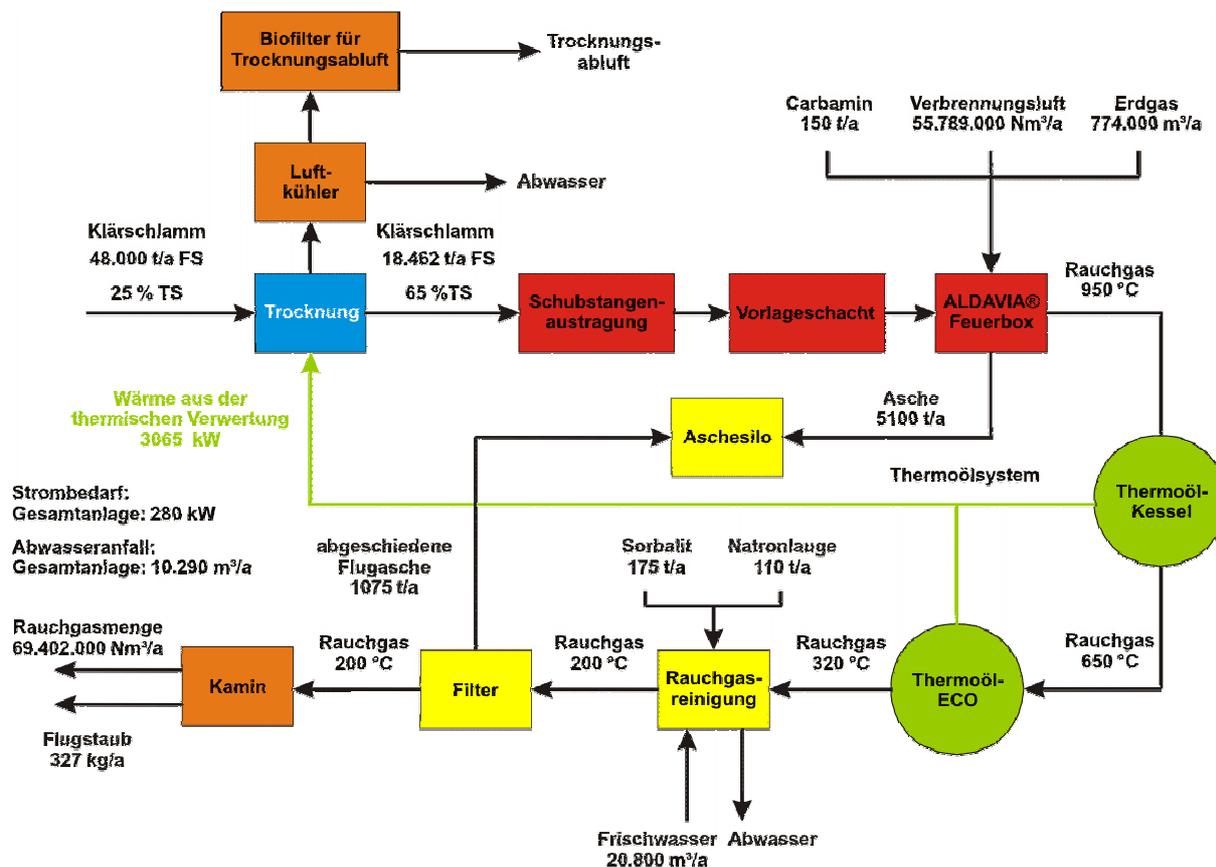


Abbildung 39: Verfahrensfliessbild und Stoffflüsse für die Klärschlammverbrennungsanlage mit 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr der ALDAVIA-BioEnergy GmbH

Erläuterung: Quelle: Tabelle 28 und Tabelle 32. Für eine detaillierte Energiebilanz siehe Tabelle 32.

3.5.1.1.2 ANDRITZ

Die Stoffbilanzen für die festgelegten Anlagengrößen über die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlage der Firma ANDRITZ sind in Tabelle 29 dargestellt.

Beim Verfahren der ANDRITZ AG wird die Klärschlamm-trocknungsanlage mit Klärschlamm mit einem Eingangstrockensubstanzgehalt von durchschnittlich 25 % beschickt. Abhängig von der Anlagengröße ergeben sich für die Trocknung Klärschlamm-durchsatzmengen von 16.000 bis 48.000 t FS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr. Der zu trocknende Klärschlamm wird nach Eintritt in die Trocknungsanlage mit ausgekoppelter Abwärme aus der nachgeschalteten thermischen Klärschlamm-Verwertung auf einen Trockensubstanzgehalt von 94 % getrocknet, was je nach Anlagenvariante einer jährlichen Wasserverdampfung von ca. 11.750 bis 35.240 t Wasser entspricht.

Die getrockneten Klärschlämme werden anschließend der thermischen Verwertung in der Zyklonfeuerung zugeführt. Die Klärschlamm-verbrennungsanlage ist je nach Anlagengröße auf eine Klärschlamm-durchsatzmenge von rd. 4.260 bis 12.770 t TS FS pro Jahr ausgelegt.

Aufgrund des relativ niedrigen Heizwertes des Klärschlammes ist zur Abdeckung des Energiebedarfs der Trocknung Zusatzbrennstoff in Form von Erdgas notwendig (siehe auch Energiebilanz). Je nach Anlagengröße liegt der jährliche Bedarf zwischen rund 105.000 und 316.000 Nm³ pro Jahr. Bei steigendem Heizwert und Trockensubstanzgehalt sinkt der Erdgasbedarf entsprechend. So kann die Anlage bei einem Klärschlamm-trockensubstanzgehalt von 25% ab einem Heizwert von über 12.000 kJ/kg TS energieautark betrieben werden [24].

Zur Entstickung des in der Verbrennung entstehenden Rauchgases wird Harnstoff in die Sekundärverbrennungszone eingedüst. Der jährliche Verbrauch liegt abhängig von der Anlagengröße bei 38 bis 113 t. In der dem Kessel nachgeschalteten Rauchgasreinigung werden Wasser für den Wäscher (rd. 8.630 bis 25.880 m³/a), Kalk (94 bis 281 t/a) und Aktivkohle (8 bis 23 t/a) für die Trockensorption und Schwefelsäure (6 bis 17 m³/a) für die Ammoniakabscheidung in der Trocknerabluft verwendet. Die im Prozess (Kondensat aus dem Trocknungsprozess, Abwasser aus Biofilter und Quenche) anfallenden Abwassermengen (rd. 17.625 bis 52.875 m³/a) können laut ANDRITZ AG in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden. Die anfallende Abwassermenge verringert sich mit steigendem Eingangstrockensubstanzgehalt des Klärschlammes. Die getrocknete Trocknungsluft wird in den Trockner rückgeführt.

Laut ANDRITZ werden rund 93% der Asche aus der Zyklonfeuerung ausgeschleust, die restlichen 7% werden als Flugasche in der Rauchgasreinigung abgeschieden. Auf Basis des festgelegten Aschegehaltes von 50 % TS und der entsprechenden Aufteilung zwischen Feuerasche und Flugasche ergeben sich Klärschlamm-mengen von 1.860 bis 5.570 t pro Jahr, die aus der Feuerung abgezogen werden. Die restlichen 7% (140 bis 430 t/a) werden gemeinsam mit den Reststoffen aus der Rauchgasreinigung (schadstoffbeladener Kalk und Aktivkohle) als Filterasche abgeschieden.

Da die Klärschlamm-sche-fraktionen nicht deponiert, sondern in einer Klärschlamm-schen-verwertungsanlage zu einem Düngemittel verwertet werden sollen, gelten diese nicht als Abfall, sondern als Sekundärrohstoff und können daher gemeinsam verwertet werden (kein Vermischungsverbot). Somit steht für die Klärschlamm-schen-verwertung die gesamte bei der thermischen Verwertung anfallende Klärschlamm-sche von 6.304 t/a zur Verfügung.

Der Anteil des Flugstaubes, welcher über den Kamin ausgetragen wird, beträgt je nach Anlagenvariante zwischen ca. 109 und 327 kg pro Jahr. Die HCl-Emissionen liegen in Abhängigkeit von der Anlagengröße zwischen 218 und 655 kg/a, die SO_x-Emissionen zwischen 1.091 und 3.273 kg/a und die Hg-Emissionen zwischen 1 und 3 kg/a.

Betrachtet man abschließend die Outputströme der Nährstoff- und Schwermetallmengen in den jeweilig anfallenden Klärschlamm-schen, erkennt man im Vergleich zur Tabelle 27, dass Stickstoff vollständig in die Gasphase übergegangen ist. Chlor verbleibt zu mindestens 6% in der Asche (beginnt durch die geringen Ausgangsgehalte im Klärschlamm verlässt trotz der niedrigen Emissionsgrenzwerte ein Großteil des im Klärschlamm enthaltenen Chlors die Anlage über das Rauchgas, sofern angenommen wird, dass die HCl-Emissionen am Grenzwert liegen), während Quecksilber zu 95% in der Asche und die weiteren Nährstoffe und Schwermetalle zur Gänze in der anfallenden Asche (die Verluste über das Rauchgas sind aufgrund der strengen Emissionsgrenzwerte gemäß Abfallverbrennungsverordnung vernachlässigbar) bleiben.

Tabelle 29: Stoffflüsse der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ANDRITZ AG bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: [24]; Verbrennungsluft- und Rauchgasdaten wurden mithilfe von BioBil © errechnet. Als Basis diente Klärschlamm mit einem Heizwert von 10.000 kJ/kg TS und einem Trockensubstanzgehalt von 25%. * die Mengen an Flugstaub sind auf 5 mg/Nm³ (trockenes Rauchgas, 273 K, 1.013 mbar und 11 % O₂-Gehalt) bezogen, das entspricht dem Stand der Technik bei Gewebefilteranlagen. ** die Mengen an HCl, SO_x und Hg wurden anhand der Grenzwerte laut Abfallverbrennungsverordnung (AVV) ermittelt. *** die Menge an Ca erhöht sich um die im Kalk (Einsatzstoff Rauchgasreinigung) enthaltene Menge.

ANDRITZ-Klärschlammparameter	Einheit	Variante 1		Variante 2	
		12.000 t TS/a	4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	Gesamt
Klärschlamm-trocknung					
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	48.000	16.000	32.000	48.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25	25
Restklärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	12.766	4.255	8.511	12.766
Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	94	94	94	94
Verdunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	35.234	11.745	23.489	35.234
Klärschlamm-verbrennung					
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	12.766	4.255	8.511	12.766
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	94	94	94	94
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	316.298	105.434	210.872	316.306
Verbrennungsluft-Klärschlamm	[Nm ³ /a]	44.805.000	14.933.000	29.865.000	44.798.000
Verbrennungsluft-Erdgas	[Nm ³ /a]	4.187.000	1.400.000	2.788.000	4.188.000
Verbrennungsluft-Gesamt	[Nm ³ /a]	48.992.000	16.333.000	32.653.000	48.986.000
Rauchgasreinigung					
Rauchgasmenge feucht-Klärschlamm	[Nm ³ /a]	50.462.000	16.821.000	33.641.000	50.462.000
Rauchgasmenge feucht-Erdgas	[Nm ³ /a]	4.617.000	1.543.000	3.074.000	4.617.000
Rauchgasmenge feucht-Gesamt	[Nm ³ /a]	55.079.000	18.364.000	36.715.000	55.079.000
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe					
Frischwasser	[m ³ /a]	25.875	8.625	17.250	25.875
Kalk	[t/a]	281	94	188	281
Aktivkohle	[t/a]	23	8	15	23
Schwefelsäure	[m ³ /a]	17	6	11	17
Harnstoff	[t/a]	113	38	75	113
Reststoffe aus dem Prozess					
Abwasser	[m ³ /a]	52.875	17.625	35.250	52.875
Emissionen (im gereinigten Abgas)					
Flugstaub*	[kg/a]	327	109	218	327
HCl**	[kg/a]	655	218	436	655
SO _x **	[kg/a]	3.273	1.091	2.182	3.273
Hg**	[kg/a]	3	1	2	3
Klärschlamm-asche-output					
Grobasche	[t/a]	5.570	1.860	3.710	5.570
Filterasche	[t/a]	734	241	493	734
Anfallende Klärschlamm-asche	[t/a]	6.304	2.101	4.203	6.304
Nährstoffmengen und Chlor in der anfallenden Klärschlamm-asche					
Stickstoff	[t/a TS]	0,0	0,0	0,0	0,0
Schwefel	[t/a TS]	82,4	27,5	54,9	82,4
Chlor	[t/a TS]	0,04	0,01	0,03	0,04
Phosphor	[t/a TS]	284	95	189	284
Kalium	[t/a TS]	49	16	33	49
Kalzium***	[t/a TS]	1.422	474	948	1.422
Magnesium	[t/a TS]	59	20	39	59
Natrium	[t/a TS]	33,0	11,0	22,0	33,0
Schwermetallmengen in der anfallenden Klärschlamm-asche					
Zink	[kg/a TS]	18.711	6.237	12.474	18.711
Kupfer	[kg/a TS]	3.817	1.272	2.545	3.817
Chrom	[kg/a TS]	1.670	557	1.114	1.670
Blei	[kg/a TS]	1.085	362	724	1.085
Nickel	[kg/a TS]	759	253	506	759
Cobalt	[kg/a TS]	187	62	125	187
Molybdän	[kg/a TS]	129	43	86	129
Cadmium	[kg/a TS]	22	7	15	22
Quecksilber	[kg/a TS]	62	21	41	62

Hinsichtlich Stoffbilanz gibt es bezogen auf die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlage keine Unterschiede zwischen den beiden Konzeptvarianten.

In Abbildung 40 wurden zusammenfassend die Stoffflüsse für die Anlagengröße 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr graphisch dargestellt.

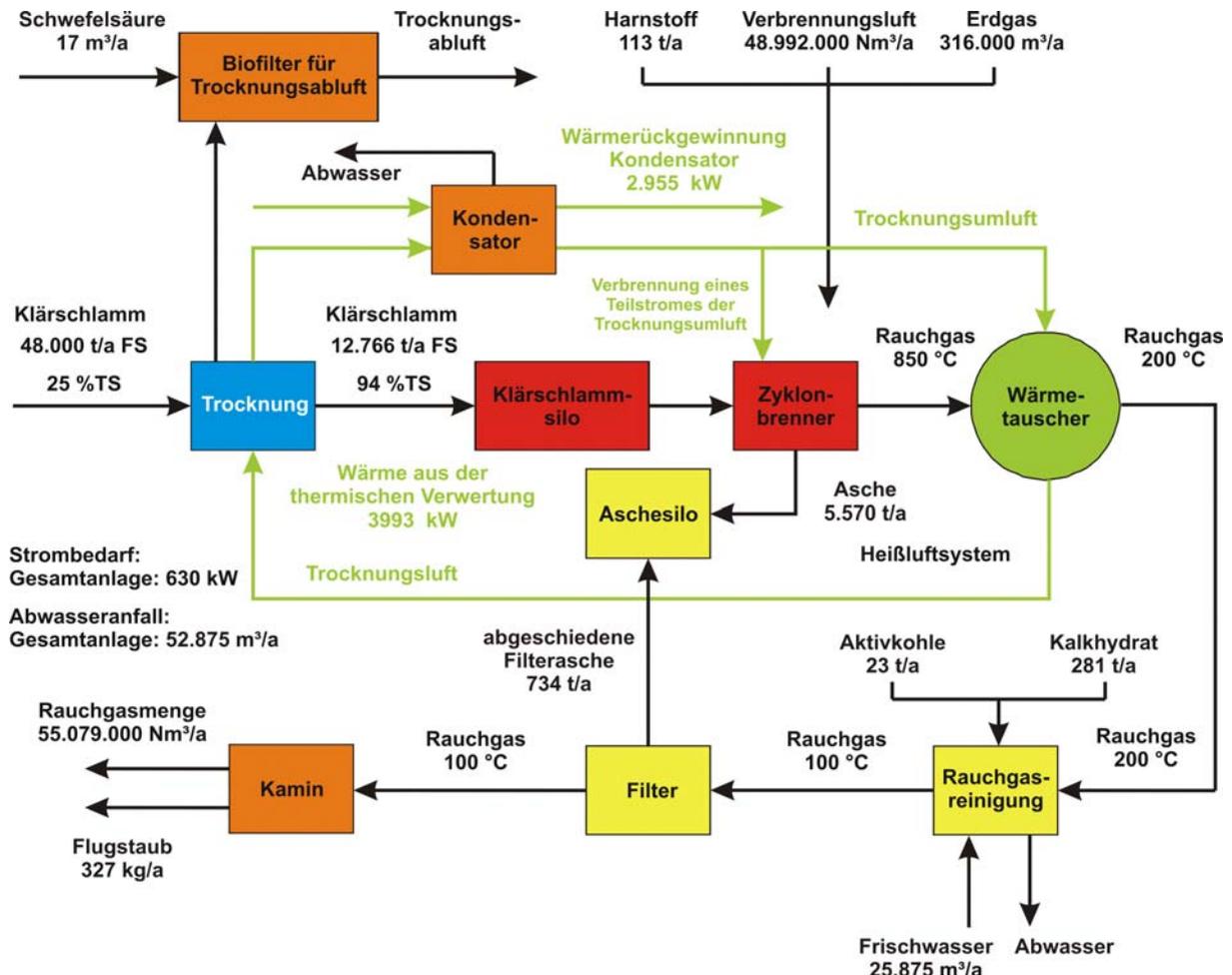


Abbildung 40: Verfahrensfliessbild und Stoffflüsse für die Klärschlammverbrennungsanlage mit 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr der ANDRITZ AG

Erläuterung: Quelle: Tabelle 29 und Tabelle 33. Für eine detaillierte Energiebilanz siehe Tabelle 33.

3.5.1.1.3 KALOGEO

Die Stoffbilanzen für die festgelegten Anlagengrößen über die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlage der Firma KALOGEO sind in Tabelle 30 dargestellt.

Beim Verfahren der KALOGEO Anlagenbau GmbH wird die solare Klärschlamm-trocknungs-anlage (weitere mögliche Trocknungsvarianten sind die Bandtrocknung, Umlufttrocknung und Kältetrocknung, siehe Kapitel 3.4.1.3) mit Klärschlamm mit einem Eingangstrockensubstanzgehalt von durchschnittlich 25 % beschickt. Abhängig von der Anlagengröße ergeben sich für die Trocknung Klärschlamm-durchsatzmengen von 16.000 bis 48.000 t FS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr.

Tabelle 30: Stoffflüsse der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der KALOGEO Anlagenbau GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: [25]; Verbrennungsluft- und Rauchgasdaten wurden mithilfe von BioBil © errechnet. Als Basis diente Klärschlamm mit einem Heizwert von 10.000 kJ/kg TS und einem Trockensubstanzgehalt von 25%.* die Flugstaubmengen wurden anhand des Grenzwertes für staubförmige Emissionen (5 mg/m³ bezogen auf trockenes Rauchgas, 273 K, 1.013 mbar und 11 % O₂-Gehalt) für Verbrennungsanlagen laut Abfallverbrennungsverordnung (AVV) ermittelt.

KALOGEO-Klärschlammparameter	Einheit	Variante 2	Variante 1		Gesamt
		12.000 t TS/a	4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	
Klärschlamm-trocknung					
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	48.000	16.000	32.000	48.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25	25
Restklärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	20.000	6.667	13.333	20.000
Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	60	60	60	60
Verdunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	28.000	9.333	18.667	28.000
Klärschlamm-verbrennung					
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	20.000	6.667	13.333	20.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	60	60	60	60
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	160.000	56.000	104.000	160.000
Verbrennungsluft-Klärschlamm	[Nm ³ /a]	43.648.000	14.552.000	29.024.000	43.576.000
Verbrennungsluft-Erdgas	[Nm ³ /a]	1.701.000	595.000	1.105.000	1.700.000
Verbrennungsluft-Gesamt	[Nm ³ /a]	45.349.000	15.147.000	30.129.000	45.276.000
Quarzsand zum Ausgleich der Wirbelbettverluste	[t/a]	72	24	48	72
Rauchgasreinigung					
Rauchgasmenge feucht-Klärschlamm	[Nm ³ /a]	58.304.000	19.432.000	38.864.000	58.296.000
Rauchgasmenge feucht-Erdgas	[Nm ³ /a]	1.875.000	656.000	1.219.000	1.875.000
Rauchgasmenge feucht-Gesamt	[Nm ³ /a]	60.179.000	20.088.000	40.083.000	60.171.000
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe					
Kalk	[t/a]	480	160	320	480
Aktivkohle	[t/a]	72	24	48	72
Rauchgasreinigungsreststoffe					
Abwasser	[m ³ /a]	0	0	0	0
Emissionen (im gereinigten Abgas)					
Flugstaub*	[kg/a]	327	109	218	327
HCl**	[kg/a]	655	218	436	655
SOx**	[kg/a]	3.273	1.091	2.182	3.273
Hg**	[kg/a]	3	1	2	3
Klärschlamm-asche output					
Zyklonflugasche	[t/a]	5.700	1.900	3.800	5.700
Filterasche	[t/a]	924	308	616	924
Anfallende Klärschlamm-asche	[t/a]	6.624	2.208	4.416	6.624
Nährstoffmengen und Chlor in der anfallenden Klärschlamm-asche					
Stickstoff	[t/a TS]	0,0	0,0	0,0	0,0
Schwefel	[t/a TS]	82,4	27,5	54,9	82,4
Chlor	[t/a TS]	0,04	0,01	0,03	0,04
Phosphor	[t/a TS]	284	95	189	284
Kalium	[t/a TS]	49	16	33	49
Kalzium***	[t/a TS]	1.530	510	1.020	1.530
Magnesium	[t/a TS]	59	20	39	59
Natrium	[t/a TS]	33	11	22	33
Schwermetallmengen in der anfallenden Klärschlamm-asche					
Zink	[kg/a TS]	18.711	6.237	12.474	18.711
Kupfer	[kg/a TS]	3.817	1.272	2.545	3.817
Chrom	[kg/a TS]	1.670	557	1.114	1.670
Blei	[kg/a TS]	1.085	362	724	1.085
Nickel	[kg/a TS]	759	253	506	759
Cobalt	[kg/a TS]	187	62	125	187
Molybdän	[kg/a TS]	129	43	86	129
Cadmium	[kg/a TS]	22	7	15	22
Quecksilber	[kg/a TS]	62	21	41	62

Der zu trocknende Klärschlamm wird nach Eintritt in die solaren Trocknungshallen mit Solarenergie und ausgekoppelter Abwärme aus der nachgeschalteten thermischen Klärschlammverwertung auf einen Trockensubstanzgehalt von 60 % getrocknet, was je nach Anlagenvariante einer jährlichen Wasserverdampfung von ca. 9.333 bis 28.000 t Wasser entspricht.

Die getrockneten Klärschlämme werden anschließend der thermischen Verwertung in der Einwurffuerung zugeführt. Die Klärschlammverbrennungsanlage ist je nach Anlagengröße auf eine Klärschlammumsatzmenge von rd. 6.667 bis 20.000 t TS FS pro Jahr ausgelegt.

Aufgrund der zusätzlichen Wärmezufuhr für die Trocknung durch Solarenergie ist trotz des relativ niedrigen Heizwertes des Klärschlammes kein Zusatzbrennstoff zur Abdeckung des Energiebedarfs der Trocknung notwendig (siehe auch Energiebilanz). Dennoch wird Erdgas während des Betriebs eingesetzt, um wetter- und saisonbedingte Schwankungen des Energieeintrags durch Solarenergie auszugleichen. Je nach Anlagengröße liegt der jährliche Erdgasbedarf zwischen 56.000 und 160.000 Nm³ pro Jahr.

Aufgrund der gestuften Verbrennung im stationären Wirbelschichtreaktor (unterstöchiometrisch) ist laut Herstellerangaben keine Entstickung (keine SNCR-Anlage) notwendig. In der dem Kessel nachgeschalteten Rauchgasreinigung werden Kalkhydrat (160 bis 480 t/a) und Aktivkohle (24 bis 72 t/a) für die Trockensorption verwendet. Der Bedarf an Quarzsand zur Abdeckung der Verluste des Wirbelbettmaterials über das Rauchgas beträgt jährlich zwischen 24 bis 72 t.

Seitens KALOGEO wurden keine Angaben bzgl. Aufteilung der gesamten Aschemenge auf Zyklon- und Flugasche gemacht. Zur Berechnung der Ascheströme wurde daher auf Basis der Erfahrungen der BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH auf dem Bereich Staubabscheidung ein Verhältnis von 95% Zyklonflugasche und 5% Filterasche angenommen. Auf Basis des festgelegten Aschegehaltes von 50% TS und der entsprechenden Aufteilung zwischen Zyklonasche und Flugasche ergeben sich Klärschlammashchemengen von 1.900 bis 5.700 t pro Jahr, die im Multizyklon abgezogen werden. Die restlichen 5% (100 bis 300 t/a) werden gemeinsam mit den Reststoffen aus der Rauchgasreinigung (schadstoffbeladenes Kalkhydrat und Aktivkohle) als Filterasche abgeschieden.

Da die Klärschlammashchefraktionen nicht deponiert, sondern in einer Klärschlammashchenverwertungsanlage zu einem Düngemittel verarbeitet werden sollen, gelten diese nicht als Abfall sondern als Sekundärrohstoff und können daher gemeinsam verwertet werden (kein Vermischungsverbot). Somit steht die Klärschlammashchenverwertung die gesamte bei der thermischen Verwertung anfallende Klärschlammasche von 6.624 t/a zur Verfügung.

Der Anteil des Flugstaubes, welcher über den Kamin ausgetragen wird, beträgt je nach Anlagenvariante zwischen ca. 109 und 327 kg pro Jahr. Die HCl-Emissionen liegen in Abhängigkeit von der Anlagengröße zwischen 218 und 655 kg/a, die SO_x-Emissionen zwischen 1.091 und 3.273 kg/a und die Hg-Emissionen zwischen 1 und 3 kg/a.

Betrachtet man abschließend die Outputströme der Nährstoff- und Schwermetallmengen in den jeweilig anfallenden Klärschlammashchen, erkennt man im Vergleich zur Tabelle 27, dass Stickstoff vollständig in die Gasphase übergegangen ist. Chlor verbleibt zu mindestens 6% in der Asche (beginnt durch die geringen Ausgangsgehalte im Klärschlamm verlässt trotz der niedrigen Emissionsgrenzwerte ein Großteil des im Klärschlamm enthaltenen Chlors die Anlage über das Rauchgas, sofern angenommen wird, dass die HCl-Emissionen am Grenzwert

liegen), während Quecksilber zu 95% in der Asche und die weiteren Nährstoffe und Schwermetalle zur Gänze in der anfallenden Asche (die Verluste über das Rauchgas sind aufgrund der strengen Emissionsgrenzwerte gemäß Abfallverbrennungsverordnung vernachlässigbar) bleiben.

Hinsichtlich Stoffbilanz gibt es bezogen auf die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlage keine Unterschiede zwischen den beiden Konzeptvarianten.

In Abbildung 41 wurden zusammenfassend die Stoffflüsse für die Anlagengröße 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr in Rahmen eines Verfahrensfließbild graphisch dargestellt.

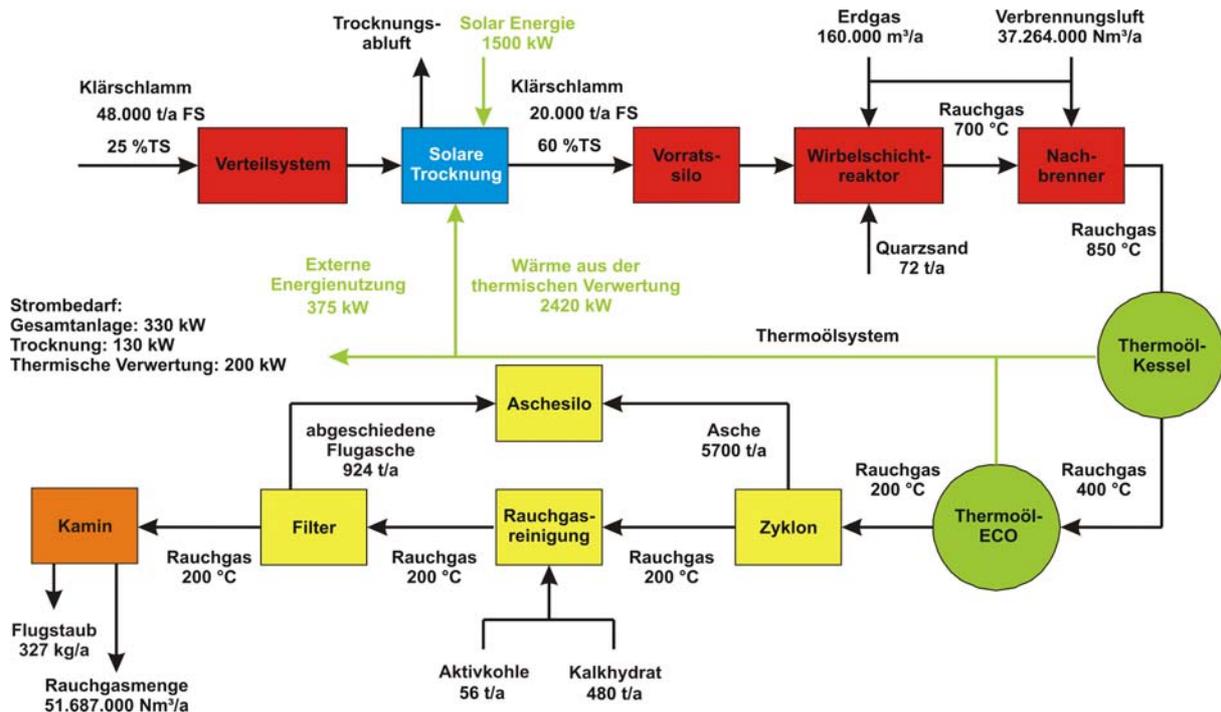


Abbildung 41: Verfahrensfliessbild und Stoffflüsse für die Klärschlammverbrennungsanlage mit 12.000 t TS Klärschlamm pro Jahr der KALOGEO Anlagenbau GmbH

Erläuterung: Quelle: Tabelle 30 und Tabelle 34. Für eine detaillierte Energiebilanz siehe Tabelle 34

3.5.1.2 Spezifikation der bei der Klärschlammverbrennung entstehenden Aschen

Die bei der Klärschlammverbrennung anfallenden Aschemengen (inklusive Einsatzstoffe aus der Rauchgasreinigung) stehen für die nachgeschaltete Klärschlammaschenaufbereitung zur Verfügung. Die unterschiedlichen Mengen an anfallender Klärschlammasche (ALDAVIA 6.175 t/a, ANDRITZ AG 6.304 t/a, KALOGEO 6.624 t/a) ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Mengen an Einsatzstoffen für die Rauchgasreinigung. Da die Klärschlammzusammensetzung und die einzuhaltenen Emissionsgrenzwerte für alle drei Systeme gleich sind, ist zu erwarten, dass auch der Bedarf an Einsatzstoffen für die Rauchgasreinigung für alle Systeme in derselben Größenordnung liegt. Aus diesem Grund wurden für die weiteren Berechnungen die Mittelwerte der drei untersuchten Anlagenvarianten herangezogen. Entsprechend den in Tabelle 28, Tabelle 29 und Tabelle 30 angeführten Stoffströme ergeben sich die in Tabelle 31 angeführten mittleren Nährstoff- und Schwermetallkonzentration in der Klärschlammasche.

Der Vergleich mit Ascheanalysen aus anderen Klärschlammverbrennungen zeigt bei Ca, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Co und Cd eine gute Übereinstimmung. Hier liegen die errechneten Aschekonzentrationen zwischen den beiden Referenzwerten. Die Werte von P, K, Mg und Na liegen unterhalb der Bandbreite der beiden Referenzwerte, wobei vor allem der geringe Phosphorgehalt hinsichtlich Weiterverarbeitung der Aschen zu Düngemittel als ungünstig zu beurteilen ist. Allerdings kann aufgrund der in Kapitel 2.1.5 diskutierten und derzeit laufenden Umstellung bei der Entwässerung des Klärschlammes (Umstieg von Kammerfilterpressen auf Dekanter) in Steirischen Kläranlagen davon ausgegangen werden, dass der Phosphorgehalt aufgrund rückgängiger Ca-Gehalte im Klärschlamm in naher Zukunft ansteigt.

Die Konzentration von Mo liegt deutlich über den Referenzwerten. Bei N gab es nur einen Referenzwert, der deutlich unterschritten wurde. Bei Hg wurde der eine vorhandene Messwert deutlich überschritten. In diesem Zusammenhang ist noch einmal erwähnt, dass für die Schwermetallkonzentrationen im kommunalen Klärschlamm die in Kapitel 2.1.4.3 ermittelten Mittelwerte plus der jeweiligen Standardabweichungen herangezogen wurden.

Die Daten in Tabelle 31 wurden als Eingangsgrößen für die Stoffflussbilanzierung der Klärschlamm-Ascheaufbereitungsanlage (siehe Kapitel 3.5.2.1) verwendet.

Tabelle 31: Vergleich von den errechneten Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in den Klärschlamm-Aschen mit Referenzwerten

Erläuterungen: Quellen: Tabelle 20, Tabelle 28, Tabelle 29 und Tabelle 30; Ascheanalysen von zwei österreichischen Klärschlammverbrennungsanlagen.

		Vorgestelltes Klärschlammverwertungskonzept		Referenzwerte	
Nährstoffe	Konzentration	Klärschlamm	Asche*	Ascheanalyse 1	Ascheanalyse 2
N	[mg/kg TS]	44.932	0	k.A.	4.107
P	[mg/kg TS]	23.686	44.638	91.488	55.400
K	[mg/kg TS]	4.070	7.670	13.361	8.837
Ca	[mg/kg TS]	105.812	225.441	130.164	232.333
Mg	[mg/kg TS]	4.915	9.262	20.024	20.633
Na	[mg/kg TS]	2.753	5.189	8.160	9.250
Schwermetalle	Konzentration	Klärschlamm	Asche*	Ascheanalyse 1	Ascheanalyse 2
Zn	[mg/kg TS]	1.559	2.939	2.990	1.390
Cu	[mg/kg TS]	318	600	1.006	512
Cr	[mg/kg TS]	139	262	176	760
Pb	[mg/kg TS]	90	170	399	63
Ni	[mg/kg TS]	63	119	94	156
Co	[mg/kg TS]	16	29	11	41
Mo	[mg/kg TS]	11	20	11	7
Cd	[mg/kg TS]	1,82	3,42	9,43	1,43
Hg	[mg/kg TS]	5,45	9,75	0,52	k.A.

3.5.1.3 Energiebilanz

Die für die Energiebilanz herangezogenen Werte wurden mittels BioBil ©, auf Basis der von den einzelnen Anlagenlieferanten angegebenen technischen Daten (Trockensubstanzgehalt nach Trocknung, Luftüberschuss, Rauchgasaustrittstemperatur nach Wärmerückgewinnung)

sowie der festgelegten Klärschlammparameter (Heizwert und Aschgehalt) errechnet, um die Ergebnisse untereinander vergleichbar zu machen.

3.5.1.3.1 ALDAVIA

Tabelle 32 zeigt eine Übersicht über die berechneten Energieflüsse und wichtigsten Anlagenkenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ALDAVIA-BioEnergy GmbH.

Wie bereits in Kapitel 3.4.1.1 erwähnt, mussten die im Angebot von ALDAVIA gemachten Angaben für die Anlagengrößen 5.600, 7.000 und 20.000 t TS pro Jahr auf die für die beiden Konzeptvarianten festgelegten Anlagengrößen (4.000, 8.000 und 12.000 t TS pro Jahr) umgerechnet werden. Weiters musste der Wirkungsgrad an den festgelegten Heizwert (10 MJ/kg TS) mittels BioBil © angepasst werden. Über den Gehalt an organischem Kohlenstoff in der Asche wurden keine Angaben gemacht, es wurde daher der von ANDRITZ AG angeführte Wert (<3%, gerechnet wurde mit 3%) verwendet. Bei guter Regelung liegt der Gehalt an organischem Kohlenstoff in der Asche aber deutlich unter 3%. Der Kohlenstoffgehalt in der Asche ist daher auch in der Stoffbilanz nicht berücksichtigt. Hinsichtlich Abstrahlungsverluste wurde von einer Oberflächentemperatur der Kesselanlage von 50°C ausgegangen.

Die benötigte Wärmeleistung für die Trocknung des Klärschlammes von 25 auf 65 % TS beträgt je nach Anlagengröße zwischen 1.022 und 3.065 kW, wobei für die Berechnung ein spezifischer Wärmebedarf des Trockners von 0,83 kWh/kg H₂O (Schneckenrockner; siehe Tabelle 23) angenommen wurde.

Die bei der Verbrennung des vorgetrockneten Klärschlammes (adiabate Verbrennungstemperatur 950°C) auskoppelbare Nutzwärmeleistung, welche der Trocknungsanlage zugeführt wird, beträgt für die verschiedenen Anlagengrößen zwischen rund 810 und 2420 kW (Wirkungsgrad der Feuerungsanlage von 66,6%). Für die Berechnung der Nutzwärmeleistung wurde die in der Tabelle 32 angeführten Anlagenkenngrößen und Betriebsdaten herangezogen.

Stellt man die auskoppelbare Nutzwärmeleistung der benötigten Wärmeleistung für die Klärschlamm-trocknungsanlage gegenüber, ergibt sich je nach Anlagengröße ein zusätzlicher Energiebedarf von 215 und 644 kW, der durch Erdgaszuführung abgedeckt werden muss. Die Anlagen sind demnach bei einem Heizwert von 10 MJ/kg TS nicht energieautark. Bezogen auf die Klärschlamm-trockensubstanz ergibt sich ein spezifischer Erdgasverbrauch von 645 kWh_{th}/t TS für alle Anlagengrößen.

Weiters ist aus Tabelle 32 ersichtlich, dass der spezifische Stromverbrauch (bezogen auf den Klärschlamm-durchsatz) der einzelnen Anlagengrößen mit ansteigendem Jahresdurchsatz an Klärschlamm von 280 auf 187 kWh_{el}/t TS sinkt. Insgesamt hat demnach Variante 2 (ein Anlagenstandort mit einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 12.000 t TS) mit 187 kWh_{el}/t TS einen geringeren spezifischen Strombedarf als Variante 1 (zwei Anlagenstandorte mit einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 4.000 bzw. 8.000 t TS) mit durchschnittlich 240 kWh_{el}/t TS.

Abgesehen vom spezifischen Strombedarf gibt es zwischen den beiden Konzeptvarianten hinsichtlich des spezifischen Energieeinsatzes keine Unterschiede.

Tabelle 32: Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ALDAVIA-BioEnergy GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: [17]; Werte pro Stunde und Leistungen beziehen sich auf 8.000 Betriebsstunden. * der Wirkungsgrad der Feuerung bezieht sich auf die zugeführte Brennstoffenergie (Hu).

ALDAVIA-Energetische Kenngrößen	Einheit	Variante 1	Variante 2		
		12.000 t TS/a	4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	Gesamt
Klärschlamminput					
Klärschlammzusammensetzung					
Klärschlammmenge	[t/a TS]	12.000	4.000	8.000	12.000
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25	25
Brennwert des Klärschlammes (Ho)	[MJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928	10.928
Unterer Heizwert des Klärschlammes (Hu)	[kJ/kg TS]	10.000	10.000	10.000	10.000
Klärschlamm-trocknungsanlage					
Anlagenbetriebsdaten:					
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt nach Trocknung	[% TS]	65	65	65	65
Wasserverdampfung	[kg/h]	3.692	1.231	2.462	3.692
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	0,83	0,83	0,83	0,83
Benötigte Trocknungsleistung	[kW]	3.065	1.022	2.043	3.065
Klärschlammverbrennungsanlage					
Anlagenkenngrößen:					
Eingesetzte Klärschlammmenge	[kg FS/h]	2.308	769	1.538	2.308
Adiabate Feuerraumtemperatur	[°C]	950	950	950	950
O ₂ -Gehalt im Rauchgas	[Vol% RG tr]	6,90	6,90	6,90	6,90
Luftverhältnis l	[-]	1,47	1,47	1,47	1,47
Rauchgastemperatur nach Kessel	[°C]	320	320	320	320
Anteil an Unverbranntem in der Asche (C org.)	[%]	3	3	3	3
Wirkungsgrad h _f der Feuerung*	[%]	66,63	66,63	66,63	66,63
Eintretender Strom (Feuerung)					
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.632	1.211	2.422	3.632
Feuerungswärmeleistung-Erdgas	[kW]	967	322	645	967
Austretende Ströme (Kessel - Rauchgas und Asche)					
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.420	807	1.613	2.420
Nutzwärmeleistung-Erdgas	[kW]	644	215	430	644
Rauchgasverluste	[kW]	1.262	421	841	1.262
Abstrahlungsverluste	[kW]	23	8	15	23
Ascheverluste (thermisch und chemisch)	[kW]	250	83	167	250
Durchschnittliche überschüssige Nutzwärmeleistung	[kW]	0	0	0	0
Elektrische Energie und spezifische Kenngrößen					
Gesamter Elektrischer Energiebedarf	[kW]	280	140	220	360
Spezifischer Strom-Verbrauch	[kWh _{el} /t TS]	187	280	220	240
Spezifischer Erdgas-Verbrauch	[kWh _{th} /t TS]	645	645	645	645

3.5.1.3.2 ANDRITZ

In Tabelle 33 wurden die berechneten Energieflüsse und wichtigsten Anlagenkenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ANDRITZ AG einander gegenübergestellt.

Tabelle 33 zeigt, dass die für die Klärschlamm-trocknung von 25 auf 94 % TS benötigte Wärmeleistung je nach Anlagengröße zwischen 1.331 und 3.993 kW liegt, wobei für die Berechnung ein spezifischer Wärmebedarf des Trockners (Trommeltrockner) von 0,85 kWh/kg H₂O [24] eingesetzt wurde.

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff in der Asche wurde von ANDRITZ AG mit <3% angegeben. Für die Berechnung wurde von einem Wert von 3 % ausgegangen. Bei guter Regelung liegt der Gehalt an organischem Kohlenstoff in der Asche aber deutlich unter 3%. Der Kohlenstoffgehalt in der Asche ist daher auch in der Stoffbilanz nicht berücksichtigt. Hin-

sichtlich Abstrahlungsverluste wurde von einer Oberflächentemperatur der Kesselanlage von 50°C ausgegangen. Der aufbereitete Klärschlamm wird anschließend in der Zyklonfeuerung (berechneter Wirkungsgrad der Feuerungsanlage von 83,0%) bei einer Temperatur von 850°C verbrannt. Die abhängig von der Anlagengröße auskoppelbare Nutzwärmeleistung von 1.463 bis 4.390 kW wird zur Klärschlamm-trocknung verwendet. Für die Berechnung der Nutzwärmeleistung wurden die in der Tabelle 33 angeführten Anlagenkenngrößen und -betriebsdaten herangezogen.

Tabelle 33: Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der ANDRITZ AG bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: [24]; Werte pro Stunde und Leistungen beziehen sich auf 7.500 Betriebsstunden. * der Wirkungsgrad der Feuerung bezieht sich auf die zugeführte Brennstoffenergie (Hu). ** die aus dem Kondensator der Trocknungsluft rückgewinnbare Wärme kann bei einer Temperatur von etwa 85°C ausgekoppelt werden.

ANDRITZ-Energetische Kenngrößen	Einheit	Variante 1	Variante 2		
		12.000 t TS/a	4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	Gesamt
Klärschlamminput					
Klärschlammzusammensetzung					
Klärschlammmenge	[t/a TS]	12.000	4.000	8.000	12.000
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25	25
Brennwert des Klärschlammes (Ho)	[MJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928	10.928
Unterer Heizwert des Klärschlammes (Hu)	[kJ/kg TS]	10.000	10.000	10.000	10.000
Klärschlamm-trocknungsanlage					
Anlagenbetriebsdaten:					
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt nach Trocknung	[% TS]	94	94	94	94
Wasserverdampfung	[kg/h]	4.698	1.566	3.132	4.698
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	0,85	0,85	0,85	0,85
Benötigte Trocknungsleistung	[kW]	3.993	1.331	2.662	3.993
Klärschlammverbrennungsanlage					
Anlagenkenngrößen:					
Eingesetzte Klärschlammmenge	[kg FS/h]	1.702	567	1.135	1.702
A diabate Feuerraumtemperatur	[°C]	850	850	850	850
O ₂ -Gehalt im Rauchgas	[Vol% RG tr]	6,00	6,00	6,00	6,00
Luftverhältnis l	[-]	1,39	1,39	1,39	1,39
Raughastemperatur nach Kessel	[°C]	200	200	200	200
Anteil an Unverbranntem in der Asche (C org.)	[%]	3,00	3,00	3,00	3,00
Wirkungsgrad h ¹ der Feuerung*	[%]	82,99	82,99	82,99	82,99
Eintretender Strom (Feuerung)					
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	4.390	1.463	2.927	4.390
Feuerungswärmeleistung-Erdgas	[kW]	422	141	281	422
Austretende Ströme (Kessel, Rauchgas, Asche und Kondensationswärmerückgewinnung)					
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.643	1.214	2.429	3.643
Nutzwärmeleistung-Erdgas	[kW]	350	117	233	350
Rauchgasverluste	[kW]	518	173	346	518
Abstrahlungsverluste	[kW]	30	10	20	30
Ascheverluste (thermisch und chemisch)	[kW]	270	90	180	270
Nutzwärmeleistung Wärmerückgewinnung Kondensator*	[kW]	2.955	985	1.970	2.955
Durchschnittliche überschüssige Nutzwärmeleistung	[kW]	2.955	985	1.970	2.955
Elektrische Energie und spezifische Kenngrößen					
Gesamter Elektrischer Energiebedarf	[kW]	630	240	450	690
Spezifischer Strom-Verbrauch	[kWh _{el} /t TS]	394	450	422	431
Spezifischer Erdgas-Verbrauch	[kWh _{th} /t TS]	264	264	264	264

Vergleicht man die auskoppelbare Nutzwärmeleistung aus der Klärschlammverbrennung mit der benötigten Wärmeleistung für die Klärschlamm-trocknungsanlage, ergibt sich je nach Anlagengröße zusätzlicher Energiebedarf von 117 bis 350 kW, der durch Erdgaszuführung ab-

gedeckt werden muss. Die Anlagen können demnach bei einem Heizwert von 10 MJ/kg TS nicht ohne Zusatzbrennstoff betrieben werden. Bezogen auf die Klärschlamm Trockensubstanz ergibt sich ein spezifischer Erdgasverbrauch von 264 kWh_{th}/t TS für alle Anlagengrößen.

Neben der Wärmeengewinnung aus dem Rauchgas der Klärschlammverbrennung kann die bei der Kondensation der Trocknerabluft im Kondensator freiwerdende Wärme zum Teil rückgewonnen werden. Bei entsprechender Adaptierung des Kondensators kann Wärme bei einer Temperatur von 80°C (Rücklauf 60°C) aus dem Kondensator ausgekoppelt werden. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus ist eine anlageninterne Verwendung nicht möglich, bei entsprechenden Abnehmern (z.B. Fernwärmenetz) kann die ausgekoppelte Wärme aber verkauft werden. Je nach Anlagengröße können zwischen 985 und 2.995 kW an Niedertemperaturwärme ausgekoppelt werden.

Tabelle 33 zeigt weiters, dass der spezifische Stromverbrauch (bezogen auf den Klärschlamm durchsatz) der einzelnen Anlagengrößen mit ansteigendem Jahresdurchsatz an Klärschlamm von 450 auf 394 kWh_{el}/t TS sinkt. Insgesamt hat demnach Variante 2 (ein Anlagenstandort mit einem jährlichen Klärschlamm durchsatz von 12.000 t TS) mit 394 kWh_{el}/t TS einen geringeren spezifischen Strombedarf als Variante 1 (zwei Anlagenstandorte mit einem jährlichen Klärschlamm durchsatz von 4.000 bzw. 8.000 t TS) mit durchschnittlich 431 kWh_{el}/t TS.

Abgesehen vom spezifischen Strombedarf gibt es zwischen den beiden Konzeptvarianten hinsichtlich des spezifischen Energieeinsatzes keine Unterschiede.

3.5.1.3.3 KALOGEO

In Tabelle 34 wurden die berechneten Energieflüsse und wichtigsten Anlagenkenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der KALOGEO Anlagenbau GmbH gegenübergestellt.

Die benötigte Wärmeleistung für die Trocknung des Klärschlammes von 25 auf 60 % TS beträgt je nach Anlagengröße zwischen 1.310 und 3.920 kW, wobei für die Berechnung ein spezifischer Wärmebedarf der solaren Trocknungsanlage von 1,12 kWh/kg H₂O (solare Klärschlamm-trocknung; berechnet laut den Angaben aus [25]) angenommen wurde.

Über die solare Trocknungsanlage werden abhängig von der Anlagengröße zwischen 503 und 1.508 kW an Solarenergie für die Trocknung bereitgestellt. Die restlichen 804 bis 2.412 kW müssen über externe Wärmequellen bereitgestellt werden.

Da der von KALOGEO angegebene Heizwert nicht mit dem festgelegten Heizwert (10 MJ/kg TS) übereinstimmt, wurde der Wirkungsgrad an die neuen Rahmenbedingungen mittels BioBil © angepasst werden. Über den Gehalt an organischem Kohlenstoff in der Asche wurden keine Angaben gemacht, es wurde daher der von ANDRITZ AG angeführte Wert (<3%, gerechnet wurde mit 3%) verwendet. Bei guter Regelung liegt der Gehalt an organischem Kohlenstoff in der Asche aber deutlich unter 3%. Der Kohlenstoffgehalt in der Asche ist daher auch in der Stoffbilanz nicht berücksichtigt. Hinsichtlich Abstrahlungsverluste wurde von einer Oberflächentemperatur der Kesselanlage von 50°C ausgegangen. Unter den in Tabelle 34 zusammengefassten Rahmenbedingungen beträgt die aus der thermischen Verwertung auskoppelbare Nutzwärmeleistung je nach Anlagengröße zwischen 910 und 2720 kW. Der Wirkungsgrad der Feuerungsanlage beträgt dabei 77,7 %.

Tabelle 34: Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammverbrennungsanlagenvarianten der KALOGEO Anlagenbau GmbH bei Jahresdurchsatzmengen von 4.000, 8.000 und 12.000 t TS an kommunalen Klärschlamm pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: [25]; Werte pro Stunde und Leistungen beziehen sich auf 8.000 Betriebsstunden. * der Gesamtwärmebedarf der vorgesehenen solaren Klärschlamm-trocknungsanlage wird mittels Solarenergie und Abwärme aus der thermischen Klärschlamm-verbrennung (Verhältnis: rd. 40:60) aufgebracht ** der Wirkungsgrad der Feuerung bezieht sich auf die zugeführte Brennstoffenergie (Hu).

KALOGEO-Energetische Kenngrößen	Einheit	Variante 1		Variante 2																																																																																																															
		12.000 t TS/a	4.000 t TS/a	8.000 t TS/a	Gesamt																																																																																																														
Klärschlamminput																																																																																																																			
Klärschlammzusammensetzung																																																																																																																			
Klärschlammmenge	[t/a TS]	12.000	4.000	8.000	12.000																																																																																																														
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25	25																																																																																																														
Brennwert des Klärschlamm (Ho)	[kJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928	10.928																																																																																																														
Unterer Heizwert des Klärschlamm (Hu)	[kJ/kg TS]	10.000	10.000	10.000	10.000																																																																																																														
Klärschlamm-trocknungsanlage																																																																																																																			
Anlagenbetriebsdaten:																																																																																																																			
Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt nach Trocknung	[% TS]	60	60	60	60																																																																																																														
Wasserverdampfung	[kg/h]	3.500	1.167	2.333	3.500																																																																																																														
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	1,12	1,12	1,12	1,12																																																																																																														
Benötigte Trocknungsleistung *	[kW]	3.920	1.307	2.613	3.920																																																																																																														
davon durch Sonnenenergie bereitgestellt *	[kW]	1.508	503	1.005	1.508																																																																																																														
Extern zuzuführende Wärmeenergie *	[kW]	2.412	804	1.608	2.412																																																																																																														
Klärschlamm-verbrennungsanlage																																																																																																																			
Anlagenkenngrößen:																																																																																																																			
Eingesetzte Klärschlammmenge	[kg FS/h]	2.500	833	1.667	2.500																																																																																																														
Adiabate Feuerraumtemperatur im Wirbelschichtreaktor	[°C]	700	700	700	700																																																																																																														
O ₂ -Gehalt im Rauchgas	[Vol% RG <tr></tr> <tr> <td>Luftverhältnis l</td> <td>[-]</td> <td>1,35</td> <td>1,35</td> <td>1,35</td> <td>1,35</td> </tr> <tr> <td>Rauchgastemperatur in der Nachbrennkammer</td> <td>[°C]</td> <td>850</td> <td>850</td> <td>850</td> <td>850</td> </tr> <tr> <td>Rauchgastemperatur nach Kessel</td> <td>[°C]</td> <td>200</td> <td>200</td> <td>200</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>Anteil an Unverbranntem in der Asche (C org.)</td> <td>[%]</td> <td>3,00</td> <td>3,00</td> <td>3,00</td> <td>3,00</td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad h der Feuerung**</td> <td>[%]</td> <td>77,74</td> <td>77,74</td> <td>77,74</td> <td>77,74</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Eintretender Strom (Feuerung)</td> </tr> <tr> <td>Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm</td> <td>[kW]</td> <td>3.502</td> <td>1.167</td> <td>2.335</td> <td>3.502</td> </tr> <tr> <td>Feuerungswärmeleistung-Erdgas</td> <td>[kW]</td> <td>200</td> <td>70</td> <td>130</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Austretende Ströme (Kessel - Rauchgas und Asche)</td> </tr> <tr> <td>Nutzwärmeleistung-Klärschlamm</td> <td>[kW]</td> <td>2.722</td> <td>907</td> <td>1.815</td> <td>2.722</td> </tr> <tr> <td>Nutzwärmeleistung-Erdgas</td> <td>[kW]</td> <td>155</td> <td>54</td> <td>101</td> <td>155</td> </tr> <tr> <td>Rauchgasverluste</td> <td>[kW]</td> <td>553</td> <td>185</td> <td>368</td> <td>553</td> </tr> <tr> <td>Abstrahlungsverluste</td> <td>[kW]</td> <td>18</td> <td>6</td> <td>12</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Ascheverluste (thermisch und chemisch)</td> <td>[kW]</td> <td>253</td> <td>84</td> <td>169</td> <td>253</td> </tr> <tr> <td>Durchschnittliche überschüssige Nutzwärmeleistung</td> <td>[kW]</td> <td>465</td> <td>158</td> <td>308</td> <td>465</td> </tr> <tr> <td colspan="6">Elektrische Energie und spezifische Kenngrößen</td> </tr> <tr> <td>Gesamter Elektrischer Energiebedarf</td> <td>[kW]</td> <td>330</td> <td>140</td> <td>260</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Spezifischer Strom-Verbrauch</td> <td>[kWh_{el}/t TS]</td> <td>220</td> <td>280</td> <td>260</td> <td>267</td> </tr> <tr> <td>Spezifischer Erdgas-Verbrauch</td> <td>[kWh_{th}/t TS]</td> <td>133</td> <td>140</td> <td>130</td> <td>133</td> </tr>	Luftverhältnis l	[-]	1,35	1,35	1,35	1,35	Rauchgastemperatur in der Nachbrennkammer	[°C]	850	850	850	850	Rauchgastemperatur nach Kessel	[°C]	200	200	200	200	Anteil an Unverbranntem in der Asche (C org.)	[%]	3,00	3,00	3,00	3,00	Wirkungsgrad h der Feuerung**	[%]	77,74	77,74	77,74	77,74	Eintretender Strom (Feuerung)						Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.502	1.167	2.335	3.502	Feuerungswärmeleistung-Erdgas	[kW]	200	70	130	200	Austretende Ströme (Kessel - Rauchgas und Asche)						Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.722	907	1.815	2.722	Nutzwärmeleistung-Erdgas	[kW]	155	54	101	155	Rauchgasverluste	[kW]	553	185	368	553	Abstrahlungsverluste	[kW]	18	6	12	18	Ascheverluste (thermisch und chemisch)	[kW]	253	84	169	253	Durchschnittliche überschüssige Nutzwärmeleistung	[kW]	465	158	308	465	Elektrische Energie und spezifische Kenngrößen						Gesamter Elektrischer Energiebedarf	[kW]	330	140	260	400	Spezifischer Strom-Verbrauch	[kWh _{el} /t TS]	220	280	260	267	Spezifischer Erdgas-Verbrauch	[kWh _{th} /t TS]	133	140	130	133
Luftverhältnis l	[-]	1,35	1,35	1,35	1,35																																																																																																														
Rauchgastemperatur in der Nachbrennkammer	[°C]	850	850	850	850																																																																																																														
Rauchgastemperatur nach Kessel	[°C]	200	200	200	200																																																																																																														
Anteil an Unverbranntem in der Asche (C org.)	[%]	3,00	3,00	3,00	3,00																																																																																																														
Wirkungsgrad h der Feuerung**	[%]	77,74	77,74	77,74	77,74																																																																																																														
Eintretender Strom (Feuerung)																																																																																																																			
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.502	1.167	2.335	3.502																																																																																																														
Feuerungswärmeleistung-Erdgas	[kW]	200	70	130	200																																																																																																														
Austretende Ströme (Kessel - Rauchgas und Asche)																																																																																																																			
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.722	907	1.815	2.722																																																																																																														
Nutzwärmeleistung-Erdgas	[kW]	155	54	101	155																																																																																																														
Rauchgasverluste	[kW]	553	185	368	553																																																																																																														
Abstrahlungsverluste	[kW]	18	6	12	18																																																																																																														
Ascheverluste (thermisch und chemisch)	[kW]	253	84	169	253																																																																																																														
Durchschnittliche überschüssige Nutzwärmeleistung	[kW]	465	158	308	465																																																																																																														
Elektrische Energie und spezifische Kenngrößen																																																																																																																			
Gesamter Elektrischer Energiebedarf	[kW]	330	140	260	400																																																																																																														
Spezifischer Strom-Verbrauch	[kWh _{el} /t TS]	220	280	260	267																																																																																																														
Spezifischer Erdgas-Verbrauch	[kWh _{th} /t TS]	133	140	130	133																																																																																																														

Stellt man die Nutzwärmeleistung aus der Klärschlammverbrennung der für die Klärschlamm-trocknung neben der Solarenergie zusätzlich notwendigen Wärmeleistung gegenüber, ergibt sich ein durchschnittlicher Energieüberschuss in Abhängigkeit von der Anlagengröße zwischen 158 und 465 kW (wovon 103 bis 310 kW aus der Verbrennung von Klärschlamm, die restlichen 54 bis 155 kW aus der Zuführung mit Erdgas stammen). Die überschüssige Wärme steht zu einer weiteren energetischen Nutzung, z.B. Einspeisung in ein Fernwärmenetz, zur Verfügung. Die Anlagen können somit bei einem Heizwert des Klärschlamm von 10 MJ/kg TS über den Jahresschnitt energieautark betrieben werden.

Aufgrund der wetter- und saisonbedingten Schwankungen der Sonneneinstrahlung ist aber zeitweise die Zufuhr von zusätzlicher Energie in Form von Erdgas notwendig, um die für die Trocknung benötigte Wärmeleistung bereitstellen zu können. Je nach Anlagengröße beträgt die durchschnittlich durch Erdgas zuzuführende Feuerungswärmeleistung zwischen 70 und 200 kW. Bezogen auf die Klärschlamm-trockensubstanz ergibt sich ein spezifischer Erdgasverbrauch von 130 bis 140 kWh_{th}/t TS. Die leichten Schwankungen ergeben sich durch die notwendige Anpassung der ursprünglich angegebenen Daten. Betrachtet man die beiden Konzeptvarianten ergibt sich für beide ein spezifischer Erdgasverbrauch von 133 kWh_{th}/t TS.

Weiters ist aus Tabelle 34 ersichtlich, dass der spezifische Stromverbrauch (bezogen auf den Klärschlamm-durchsatz) der einzelnen Anlagengrößen mit ansteigendem Jahresdurchsatz an Klärschlamm von 280 auf 220 kWh_{el}/t TS sinkt. Insgesamt hat demnach Variante 2 (ein Anlagenstandort mit einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 12.000 t TS) mit 220 kWh_{el}/t TS einen geringeren spezifischen Strombedarf als Variante 1 (zwei Anlagenstandorte mit einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 4.000 bzw. 8.000 t TS) mit durchschnittlich 267 kWh_{el}/t TS.

Abgesehen vom spezifischen Strombedarf gibt es zwischen den beiden Konzeptvarianten hinsichtlich des spezifischen Energieeinsatzes keine Unterschiede. Laut Angabe von KALOGEO ist allerdings zu beachten, dass bei Variante 1 der Flächenbedarf für die solare Trocknung bereits enorm ist und knapp 1 ha beträgt. Dieser Flächenbedarf kann aber bei entsprechend verfügbarer Abwärme am Standort auf weniger als die Hälfte reduziert werden.

3.5.1.4 Zusammenfassung und Bewertung

Die untersuchten Technologien unterscheiden sich sowohl hinsichtlich Stoff- als auch Energieströmen.

Hinsichtlich der Einsatzstoffe für die Rauchgasreinigung ist bei den Anlagenkonzepten von ALDAVIA und ANDRITZ AG die Eindüsung von Harnstoff zur selektiven, nichtkatalytischen Reduktion (SNCR) von Stickoxiden notwendig, die bei der KALOGEO-Anlage entfällt (Anmerkung: hierbei handelt es sich um eine Herstellerangabe, die von den Autoren der Studie nicht bestätigt werden kann und sicherlich vom vorgeschriebenen NO_x-Grenzwert abhängt). Andererseits wird in der Rauchgasreinigungsanlage der KALOGEO-Anlage deutlich mehr Kalk als bei den anderen Anlagen zur Trockensorption benötigt.

Der Anfall von Abwasser bei der Rauchgasreinigung bei ALDAVIA und ANDRITZ führt zu zusätzlichen Betriebskosten. Laut ANDRITZ AG ist vor Einleitung in die Kanalisation aber keine weitere Abwasserbehandlung notwendig. Seitens ALDAVIA wurden dazu keine Angaben gemacht.

Insgesamt fällt bei der von ALDAVIA vorgelegten Anlagenkonzeption die größte Menge an Flugasche aus der Rauchgasreinigungsanlage (je nach Anlagengröße zwischen 360 und 1,075 t pro Jahr) an, gefolgt von der von ANDRITZ AG konzipierten Anlage (338 bis 1.013 t pro Jahr) und der KALOGEO-Anlage (308 bis 908 t/a). Der Unterschied zwischen den einzelnen Anlagen ist aber relativ gering. Durch Einbau eines Multizyklons zur Entstaubung vor der Rauchgasreinigung (Reduktion des Flugascheanteils auf 5% der insgesamt anfallenden Asche) könnte die bei der von ALDAVIA konzipierten Anlage anfallende Menge an Filterasche in der Rauchgasreinigung deutlich gesenkt (auf 160 bis 475 t pro Jahr) werden.

Die unterschiedlichen Mengen an anfallender Flugasche sind nur dann relevant, wenn die Asche nicht wie im vorgestellten Klärschlammverwertungskonzept geplant in einer Klärschlammaschenverwertungsanlage weiterbehandelt sondern deponiert wird.

Im Falle der Deponierung gilt ein Vermischungsverbot der einzelnen Aschefraktionen. Die Flugasche müsste in diesem Fall separat und zu höheren Kosten als die Grobasche entsorgt werden.

Bezüglich der Energiebilanzen gibt es aufgrund der unterschiedlichen Trocknungsvarianten und Klärschlammverbrennungstechnologien erhebliche Unterschiede. Aufgrund des angenommenen geringen Heizwerts des eingesetzten Klärschlammes (10.000 kJ/kg TS, 25% Trockensubstanz) kann bezogen auf Klärschlamm-trocknung und Klärschlammverbrennung nur die Anlage nach dem KALOGEO-Konzept energieautark bzw. mit einem leichten Energieüberschuss betrieben werden. Der Hauptgrund dafür liegt in der Mitnutzung von Solarenergie zur Trocknung des Klärschlammes, wodurch ein Teil des für die Trocknung benötigten Energiebedarfs gedeckt werden kann. Der durch die Klärschlammverbrennung abzudeckende Energiebedarf liegt dadurch unter dem Energiebedarf der beiden anderen Trocknungsverfahren (Schnecken-trocknung und Trommeltrocknung). Die bei der Verbrennung des Klärschlammes freigesetzte Wärmeenergie reicht somit aus, den Klärschlamm entsprechend zu trocknen. Bei steigendem Heizwert und Trockensubstanzgehalt können auch die anderen Verfahren energieautark betrieben werden. Beim Konzept der ANDRITZ AG liegt der erforderliche Heizwert für einen energieautarken Betrieb bei etwa 12.000 kJ/kg TS bei 25% Eingangstrockensubstanzgehalt des Klärschlammes, bei ALDAVIA noch etwas höher.

Allerdings ist zu beachten, dass der Flächenbedarf für die solare Trocknung annähernd linear mit dem Klärschlamm-durchsatz ansteigt und so bei Variante 1 bereits fast 1 Hektar erreicht. Der Flächenbedarf kann aber bei entsprechend verfügbarer Abwärme am Standort auf weniger als die Hälfte reduziert werden. Weiters ist auch die geographische Lage (jährliche Sonnenstunden) der Anlage ein wichtiger Einflussfaktor für den wirtschaftlichen Betrieb der Trocknungsanlage. Die Auswahlmöglichkeiten für einen Anlagenstandort sind dadurch deutlich eingeschränkt.

Bei Rückgewinnung der bei der Kondensation der Trocknerabluft freiwerdenden Wärme kann aus der von ANDRITZ AG konzipierten Anlage Wärme bei einer Temperatur von 80°C ausgekoppelt werden. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus kann die Wärme nicht innerhalb der Anlage verwendet werden, ein externer Verkauf an entsprechende Wärmeabnehmer (z.B. Fernwärmenetz) ist aber möglich. Sofern eine entsprechende Wärmeabnahme auf einem Temperaturniveau von 80°C verfügbar ist, können aus der von ANDRITZ AG konzipierten Anlage bis zu 2.955 kW ausgekoppelt werden (Vergleich KALOGEO: maximal 463 kW). Hinsichtlich Standortauswahl für die von der ANDRITZ AG konzipierte Anlage ist unbedingt darauf zu achten, dass ein entsprechender Wärmeabnehmer mit konstantem Wärmebedarf zur Verfügung steht, um die ausgekoppelte Wärme vollständig nutzen zu können.

Hinsichtlich des Wirkungsgrads weist die von ANDRITZ konzipierte Anlage mit 83% den höchsten Wert auf, gefolgt von der Wirbelschichtverbrennung der Firma KALOGEO mit einem Wirkungsgrad von etwas über 77%. ALDAVIA erreicht nur einen vergleichsweise geringen Wirkungsgrad (67%), da ein zweiter Wärmetauscher (Thermoöleconomiser) nach dem Kessel fehlt, der das Rauchgas weiter abkühlt. Aufgrund der hohen Rauchgastemperaturen (320°C) weist die Anlage daher im Vergleich zu den beiden anderen Anlagenvarianten hohe

Rauchgasverluste auf. Durch die Installation eines dem Thermoölkessel nach geschalteten Thermoöleconomisers könnte die Rauchgastemperatur abgesenkt und damit der Wirkungsgrad erhöht werden.

Der elektrische Energiebedarf ist beim von ANDRITZ AG angebotenen Konzept am höchsten, da die Trocknung und Klärschlammverbrennung apparativ sehr aufwändig ausgeführt sind. Die technisch weniger komplexen Verfahren von ALDAVIA und KALOGEO weisen jeweils einen niedrigeren elektrischen Eigenbedarf auf.

Bezüglich realisierter Referenzanlagen weisen alle Hersteller eine Referenzanlage mit Klärschlammmonoverbrennung auf. ALDAVIA hat darüber hinaus noch eine Verbrennungsanlage mit Klärschlammmitverbrennung errichtet. Die Erfahrungen mit Klärschlammverbrennung sind daher bei allen untersuchten Herstellern vergleichbar. In Bezug auf generelle Erfahrungen im Anlagenbau hat die ANDRITZ AG aufgrund langjähriger Tätigkeiten im Industrieanlagenbau gegenüber den anderen Anbietern einen Vorteil.

Hinsichtlich der beiden in Kapitel 3.2 festgelegten Konzeptvarianten gibt es nur bezüglich des spezifischen Strombedarfs Unterschiede. Hier hat Variante 1 mit nur einem gemeinsamen Standort für Klärschlamm-trocknung und -verbrennung sowie Klärschlamm-scheaufbereitung Vorteile gegenüber Variante 2 mit zwei Standorten für Klärschlamm-trocknung und -verbrennung, da bei zunehmender Anlagengröße der spezifische Strombedarf sinkt.

Die Ergebnisse der Stoff- und Energiebilanz zeigen auch, dass der Einsatz von dezentralen Trocknungsanlagen dann Sinn macht, wenn dafür Abwärme zu einem günstigeren Preis als Erdgas verfügbar ist und die Transportwege zu den Trocknungsanlagen und in weiterer Folge zu den Klärschlammverbrennungsanlagen insgesamt nicht wesentlich länger als direkt zur kombinierten Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlage sind.

Jede auf einen Trockensubstanzgehalt von 60% vorgetrocknete Tonne Klärschlamm führt zum Beispiel in Abhängigkeit der eingesetzten Trocknungstechnologie zu einer Energieeinsparung in der Klärschlammverbrennungsanlage von 1.162 kWh bei ALDAVIA, 1.190 kWh bei ANDRITZ AG und 965 kWh bei KALOGEO. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Wirkungsgrade der Klärschlammverbrennungsanlagen entspricht das einer Erdgaseinsparung von 174 Nm³, 143 Nm³ und 124 Nm³ pro Tonne an vorgetrocknetem Klärschlamm.

Weitere Einsparungspotenziale ergeben sich durch die reduzierten Transportkosten, da diese üblicherweise nach transportierten Tonnen und nicht nach transportiertem Volumen abgerechnet werden. Von der Höhe der Einsparungen beim Transport ist es auch abhängig, ob gegebenenfalls sogar ein insgesamt längerer Transportweg vom Anfallsort zur dezentralen Trocknungsanlage und von dort weiter zur Klärschlammverbrennung in Kauf genommen werden kann.

3.5.2 Stoff- und Energiebilanz der Klärschlamm-saschenverwertung

Wie in Kapitel 3.5.1.2 erläutert wurden für die Auslegung der Klärschlamm-sascheverwertungsanlage die Mittelwerte aus den drei Klärschlammverbrennungssystemen (ALDAVIA, ANDRITZ AG und KALOGEO) herangezogen. Die Inputparameter für die Klärschlamm-saschenaufbereitung sind in Tabelle 35 zusammengefasst.

Tabelle 35: Inputparameter für die Klärschlammäschenaufbereitungsanlage

Erläuterungen: Quellen: Tabelle 28, Tabelle 29 und Tabelle 30. Die Klärschlammaschenmenge sowie die Stoffströme der Nährstoffe und Schwermetalle sind für Variante 1 und Variante 2 gleich (siehe Kapitel 3.5.1.4).

ASHDEC-Klärschlammaschenparameter	Einheit	Variante 1 & Variante 2
Klärschlammäschenzusammensetzung		
Klärschlammaschenmenge	[t/a TS]	6.368
Nährstoffmengen in der Klärschlammasche		
Stickstoff	[t/a TS]	0,0
Phosphor	[t/a TS]	284,2
Kalium	[t/a TS]	48,8
Kalzium	[t/a TS]	1.435,5
Magnesium	[t/a TS]	59,0
Natrium	[t/a TS]	33,0
Schwermetallmengen in der Klärschlammasche		
Zink	[kg/a TS]	18.711
Kupfer	[kg/a TS]	3.817
Chrom	[kg/a TS]	1.670
Blei	[kg/a TS]	1.085
Nickel	[kg/a TS]	759
Cobalt	[kg/a TS]	187
Molybdän	[kg/a TS]	129
Cadmium	[kg/a TS]	21,8
Quecksilber	[kg/a TS]	62,1

Weiters wurden für die Stoffbilanzierung der Klärschlammaschenverwertung im Zuge der Forschungsaktivitäten der Fa. ASH DEC in Zusammenarbeit mit den Austrian Bioenergy Center und BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH ermittelten Entfrachtungsfaktoren für Nährstoffe und Schwermetalle bei der thermischen Behandlung der Klärschlammasche im Drehrohrofen herangezogen und in der Tabelle 36 dargestellt.

Gemäß Tabelle 36 gehen N und Hg bei der thermischen Behandlung vollständig und Pb und Cd zu mehr als 90% ins Rauchgas über. Cu wird zu knapp 86% mit dem Rauchgas ausgetragen, K und Na gehen zu 70 bzw. 63% in die Gasphase über. Zn kann schließlich zu 65% entfrachtet werden. Alle anderen Elemente bleiben während der thermischen Behandlung in der Asche.

Tabelle 36: Entfrachtungsfaktoren für Nährstoffe und Schwermetalle bei der thermischen Behandlung von Klärschlammasche in einem Drehrohrofen

Erläuterungen: Quelle: [19]; Faktor 1 bedeutet vollständige Entfrachtung über das Rauchgas und Faktor 0: keine Entfrachtung; * die Nährstoffe Phosphor, Kalzium und Magnesium sowie die Schwermetalle Chrom, Nickel, Cobalt und Molybdän bleiben während der thermischen Behandlung in der Asche; die Ascheverluste durch Staubaustrag im Drehrohrofen sind in den Entfrachtungsfaktoren nicht berücksichtigt.

Element	Entfrachtungsfaktor*
Nährstoffe	
Stickstoff	1,000
Phosphor	0
Kalium	0,701
Kalzium	0
Magnesium	0
Natrium	0,629
Schwermetalle	
Zink	0,650
Kupfer	0,860
Chrom	0
Blei	0,922
Nickel	0
Cobalt	0
Molybdän	0
Cadmium	0,964
Quecksilber	1,000

Die ermittelten Entfrachtungsfaktoren der einzelnen Nährstoffe und Schwermetalle wurden im Folgenden für die Ermittlung der Outputströme der Klärschlammascheaufbereitungsanlage verwendet.

In den folgenden Kapiteln wurden basierend auf den Outputströmen der Klärschlamm-trocknung und -verbrennung die Stoff- und Energiebilanzierung für das System „Klärschlamm-ascheverwertung“ durchgeführt.

3.5.2.1 Stoffbilanz

Die Stoffbilanz für die Klärschlammascheaufbereitungsanlage der Firma ASH DEC Umwelt AG ist in der Tabelle 37 und Tabelle 38 dargestellt.

Beim Verfahren der der Firma ASH DEC Umwelt AG wird die Klärschlammasche zunächst mit einem Chlor-Additiv (im vorliegenden Berechnungsbeispiel wurde CaCl_2 als Additiv verwendet, Jahresbedarf 1.286 t/a) vermischt. Zur Einstellung des vorgegebenen Wassergehaltes der Klärschlammasche für die Brikettierung/Pelletierung beträgt der Wasserbedarf 428 t pro Jahr.

Die Klärschlammaschemischung wird anschließend mittels Brikettierung oder Pelletierung stückig gemacht. Für den Drehrohrofen ergibt sich eine jährliche Durchsatzmenge von 8.081 t/a. Im mit Erdgas (jährlicher Verbrauch rund 443.500 Nm^3) befeuerten Drehrohrofen werden die Briketts/Pellets auf rund 1.000°C aufgeheizt. Dabei verdampft zunächst das Wasser (jährlich verdampftes Wasser 646 t), das über das Rauchgas aus dem Drehrohrofen ausgetragen wird, mit zunehmender Temperatur bilden sich Schwermetallchloride, die aus

den Briketts/Pellets diffundieren und in das Rauchgas gelangen. Am Ende des thermischen Prozesses ist das gesamte additivierte Chlor aus den Aschebriketts/pellets entwichen (rund 662 t/a).

Durch die rollende Bewegung im Drehrohrofen werden die Briketts/Pellets mechanisch beansprucht. Der dabei entstehende Abrieb (etwa 10% des Durchsatzes) wird ebenfalls mit dem Rauchgas aus dem Drehrohrofen ausgetragen. Bezogen auf den Drehrohrofeninput (8.081 t/a) betragen die Verluste (Wasserverdampfung, Additivverdampfung (Cl), Schwermetallentfrachtung und Abrieb) im Drehrohrofen etwa 25%. Somit können pro Jahr 6.115 t entfrachtete Klärschlammasche (in weiterer Folge P-Rohstoff genannt) produziert werden. Der P-Rohstoff wird nach Austritt aus dem Drehrohrofen gekühlt und im nachfolgenden Prozessschritt zu handelsüblichen Mehrstoffdüngern weiterverarbeitet. Dabei kann ein geringer Anteil der bei der Kühlung abgeführten Wärme zur Vorwärmung der Verbrennungsluft verwendet werden (siehe Kapitel 3.5.2.3). Die Nutzung der gesamten, bei der Kühlung der Briketts/Pellets anfallenden Wärme ist aufgrund der geringen benötigten Verbrennungsluftmenge für die Beheizung des Drehrohrofens und des relativ niedrigen Temperaturniveaus im Kühlkreislauf (maximal bis 200°C bei mehrstufiger Kühlung) im Vergleich zu den im Drehrohr benötigten Temperaturen (bis zu rund 1.500°C) nicht möglich

Das aus dem Drehrohrofen austretende feuchte Rauchgas wird zunächst in einer Quenche (Verdampfungskühler) abgekühlt und anschließend in die erste von drei Rauchgasreinigungsstufen, die Trockensorption, geleitet. Hierzu wird hauptsächlich zur Abscheidung von Hg eine Aktivkohle/Ca(OH)₂-Mischung (22 t/a) in das Rauchgas eingedüst. Das mit Schadstoffen beladene Trockensorptionsmittel wird gemeinsam mit dem aus dem Drehrohrofen ausgetragenen Staub, dem Großteil der in der Quenche kondensierten Schwermetallverbindungen (Aerosole) sowie der bei der Verdampfung des Quenchewassers auskristallisierten Salze (siehe unten) am nachfolgenden Gewebefilter abgeschieden. Die jährlich anfallende Menge an zu entsorgender Filterasche liegt bei 1.750 t. Diese Menge könnte durch die Rückführung des bei der Neutralisation des Abwassers aus dem sauren Wäscher gebildeten CaCl₂ deutlich reduziert werden. Derzeit wird im Forschungsprojekt der ASH DEC Umwelt AG an einer technisch und wirtschaftlich sinnvollen CaCl₂-Rückführung gearbeitet.

In der zweiten Reinigungsstufe wird das Rauchgas in einen mit Wasser betriebenen neutralen/sauren Wäscher geleitet, in dem ein Großteil des im Rauchgas enthaltenen HCl sowie SO_x und Aerosole abgeschieden werden. Das salzsäurehaltige Wasser wird im Kreislauf geführt. Bei Erreichen der Grenzkonzentration wird ein Teil des Kreislaufwassers ausgeschleust und mit Ca(OH)₂ neutralisiert, wobei sich CaCl₂ bildet. Gleichzeitig wird Frischwasser nachdosiert. Das neutralisierte Abwasser wird gemeinsam mit dem Abwasser aus dem zweiten Wäscher (siehe unten) in die Quenche geleitet und dort verdampft, sodass kein Abwasser aus der Rauchgasreinigungsanlage entsorgt werden muss. Das bei der Neutralisation entstehende CaCl₂ fällt bei der Verdampfung des Abwassers in der Quenche aus und wird im Gewebefilter abgeschieden.

Tabelle 37: Stoffflüsse der Klärschlammaschenverwertungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die Jahresdurchsatzmengen von rund 6.370 t bei der Herstellung eines Düngemittelmix aus verschiedenen Mehr-Nährstoffdüngern

Erläuterungen: Quelle: im Zuge des Forschungsprojektes der ASH DEC Umwelt AG in Zusammenarbeit mit BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH durchgeführte und auf die Rahmenbedingungen des Steiermärkischen Klärschlammverwertungskonzeptes abgestimmte Berechnungen. Die Nährstoffzusätze bei der Düngemittelherstellung beziehen sich auf einen Düngemittelmix aus PK-12-20+3S, PK-11-11+3S, P18 und P26.

ASHDEC-Klärschlammaschenparameter	Einheit	Variante 1 & Variante 2
Klärschlammaschenzusammensetzung		
Klärschlammaschenmenge	[t/a TS]	6.368
Nährstoffmengen in der Klärschlammasche		
Stickstoff	[t/a TS]	0,0
Phosphor	[t/a TS]	284,2
Kalium	[t/a TS]	48,8
Kalzium	[t/a TS]	1.435,5
Magnesium	[t/a TS]	59,0
Natrium	[t/a TS]	33,0
Schwermetallmengen in der Klärschlammasche		
Zink	[kg/a TS]	18.711
Kupfer	[kg/a TS]	3.817
Chrom	[kg/a TS]	1.670
Blei	[kg/a TS]	1.085
Nickel	[kg/a TS]	759
Cobalt	[kg/a TS]	187
Molybdän	[kg/a TS]	129
Cadmium	[kg/a TS]	21,8
Quecksilber	[kg/a TS]	62,1
Aschenaufbereitung		
Klärschlammascheninput	[t/a]	6.368
Additivierung	[g Cl/kg KSA]	100
Bedarf an Chloradditiv (17% Wassergehalt)	[t/a]	1.286
Cl-Gehalt des Additivs	[Gew%/TS]	62
Wasserbedarf bei 8% Wassergehalt vor Drehrohrofen	[m³/a]	428
Drehrohrofen und Rauchgasreinigung		
Drehrohrofeninput	[t/a]	8.081
Wassergehalt vor Drehrohrofen	[%]	8
Verlust im Drehrohrofen durch Abrieb	[%]	10
Wassergehalt nach Drehrohrofen	[%]	0
Schwermetallentfrachteter P-Rohstoff zur Düngemittelherstellung (0% WG)		
Bedarf Aktivkohlemischung (10% Aktivkohle)	[t/a]	22
Anfall Filterasche	[t/a]	1.747
Gesamtbedarf Ca(OH) ₂	[t/a]	907
Gesamtbedarf Wasser RGR	[m³/a]	4.070
Bedarf Erdgas	[Nm³/a]	532.167
Düngemittelherstellung		
Input P-Rohstoff	[t/a]	6.115
Bedarf TSP (0% WG)	[t/a]	1.393
Bedarf KCl (10% WG)	[t/a]	785
Bedarf K ₂ SO ₄ (0,4% WG)	[t/a]	886
Bedarf Rohphosphat (0% WG)	[t/a]	2.675
Wassergehalt vor Pelletierung	[%]	8
Bedarf Wasser	[m³/a]	942
Wassergehalt nach Pelletierung	[%]	7
Wasserverdampfung bei Pelletierung	[m³/a]	138
Produktion Düngemittel (7% WG)	[t/a]	12.658

In der dritten Reinigungsstufe werden schließlich die restlichen noch im Rauchgas vorhandenen Schadstoffe, allen voran SO_x abgeschieden. Dies geschieht in einem als Füllkörper ausgeführten basischen Wäscher, der mit einer Ca(OH)₂-Lösung betrieben wird. Bei Überschreitung der Konzentration des sich im Wäscher bildenden CaSO₄ (Gips) im Kreislauf wird ein Teil der Ca(OH)₂-Lösung ausgeschleust. Gleichzeitig wird frische Ca(OH)₂-Lösung nachdosiert. Der als Feststoff vorliegende Gips wird in einem Absetzbecken von der Flüssigkeit getrennt und in der nachfolgenden Düngemittelherstellung als Schwefelquelle eingesetzt. Das Abwasser wird gemeinsam mit dem Abwasser aus der ersten Wäscherstufe in die Quenche geleitet.

Insgesamt beträgt der Wasserbedarf der Rauchgasreinigungsanlage 4.070 m³ pro Jahr. Die jährlich benötigte Menge an Ca(OH)₂ für die Neutralisation des Abwassers aus dem neutralen/saueren Wäscher sowie für den Betrieb des basischen Wäschers liegt bei 907 t.

Tabelle 38: Stoffflüsse der Klärschlammaschenverwertungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die Jahresdurchsatzmengen von rund 6.370 t bei der Herstellung eines Düngemittelmix aus verschiedenen Mehr-Nährstoffdüngern (Fortsetzung)

Erläuterungen: Quelle: im Zuge des Forschungsprojektes der ASH DEC Umwelt AG in Zusammenarbeit mit BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH durchgeführte und auf die Rahmenbedingungen des Steiermärkischen Klärschlammverwertungskonzeptes abgestimmte Berechnungen. * durch die Additivierung von CaCl₂ ist der Ca-Gehalt im P-Rohstoff gegenüber dem Ausgangsmaterial angestiegen.

ASHDEC-Klärschlammaschenparameter	Einheit	Variante 1 & Variante 2	Entfrachtung + Verluste über Staub
Nährstoffmengen im P-Rohstoff			
Stickstoff	[t/a]	0	100,0%
Phosphor	[t/a]	256	10,0%
Kalium	[t/a]	13	73,1%
Kalzium*	[t/a]	1.732	-20,6%
Magnesium	[t/a]	53	10,0%
Natrium	[t/a]	11	66,6%
Schwermetallmengen im P-Rohstoff			
Zink	[kg/a]	5.894	68,5%
Kupfer	[kg/a]	481	87,4%
Chrom	[kg/a]	1.503	10,0%
Blei	[kg/a]	76	93,0%
Nickel	[kg/a]	683	10,0%
Cobalt	[kg/a]	168	10,0%
Molybdän	[kg/a]	116	10,0%
Cadmium	[kg/a]	0,70	96,8%
Quecksilber	[kg/a]	0	100,0%

In der Düngemittelherstellung wird der P-Rohstoff jährlich mit den in Tabelle 38 angeführten Nährstoffzusätzen sowie Wasser vermischt und anschließend pelletiert. Die angegebenen Mengen an Nährstoffzusätzen wurden für einen Düngemittelmix aus vier verschiedenen Düngern errechnet, die am Markt gut abgesetzt werden können (PK-12-20+3S, PK-11-11+3S, P18 und P26). In der vorliegenden Kalkulation wurde von industriell hergestellten Nährstoffzusätzen ausgegangen. ASH DEC plant in Zukunft auch Sekundärrohstoffe als

Nährstoffzusätze (z.B. Rückstände aus der Biodieselherstellung) einzusetzen, mit dem Ziel, einen Dünger aus 100% nachwachsenden Ressourcen herzustellen.

Von den zur Einstellung des optimalen Wassergehalts (8%) vor der Pelletierung jährlich eingesetzten Wassermengen (942 m³/a) verdampfen während der Pelletierung 138 m³ pro Jahr.

Insgesamt können rund 12.660 t Düngemittel pro Jahr erzeugt werden.

Betrachtet man abschließend die Outputströme der Nährstoff- und Schwermetallmengen in den jeweilig anfallenden Klärschlammaschen erkennt man im Vergleich zur Tabelle 35 eine vollständige Entfrachtung von N und Hg. Der Phosphoranteil des P-Rohstoffes reduziert sich nur um die Verluste im Drehrohr und beträgt 253 t pro Jahr. Mg wird ebenfalls nur durch die Verluste durch Abrieb im Drehrohrofen reduziert. Die Menge an Ca steigt durch die Additivierung mit CaCl₂ vor der thermischen Behandlung im Drehrohrofen sogar an. Die K- und Na-Gehalte hingegen werden durch die thermische Behandlung deutlich reduziert. Zur Herstellung von Kalidüngern ist ein Kaliumzusatz notwendig.

Bei den Schwermetallen werden neben Hg die Gehalte von Cd, Pb und Cu deutlich reduziert. Zn wird etwa auf ein Drittel der ursprünglichen Menge reduziert, die restlichen Schwermetalle weisen nur Verluste in der Größenordnung des Staubanteils nach dem Drehrohrofen auf.

3.5.2.2 Spezifikation der schwermetallentfrachteten Klärschlammaschen (P-Rohstoff)

Die wesentliche Kenngröße für die positive Bewertung des Klärschlammaschenaufbereitungsverfahrens ist die Verwendbarkeit der entfrachteten Klärschlammaschen zur Düngemittelherstellung.

Dazu müssen die Grenzwerte für Schwermetalle in Düngemitteln eingehalten werden. In Tabelle 39 sind die errechneten Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen im P-Rohstoff den Grenzwerten für Schwermetalle aus der Düngemittelverordnung 2004 [26] gegenübergestellt.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass alle österreichischen Grenzwerte für Düngemittel mit Ausnahme von Ni (Überschreitung um knapp 12%) bereits für den P-Rohstoff eingehalten werden können. Berücksichtigt man den Verdünnungsfaktor von rund 2,1 durch Zumischung von weiteren Nährstoffzusätzen bei der Düngemittelherstellung, sind auch bezüglich Ni sowie bei Schwankungen in den Ausgangskonzentrationen, die über die Standardabweichung hinausgehen (siehe Tabelle 20) keine Probleme bei der Zulassung der erzeugten Düngemittel zu erwarten. Das von ASH DEC Umwelt AG entwickelte Verfahren kann somit als gut geeignet für die Umsetzung des in dieser Studie vorgestellten Klärschlammverwertungskonzeptes bezeichnet werden.

Der Phosphoranteil im P-Rohstoff (in Düngemitteln als P₂O₅ gerechnet) von rund 9,6 % ist im Vergleich zu handelsüblichen Düngern (P 16, PK-10-12) relativ gering. Dadurch ist die Zugabe von großen Mengen an Nährstoffzusätzen notwendig, die die Betriebskosten der Anlage erhöhen und so das wirtschaftliche Ergebnis belasten (siehe Anlage 1). Durch die derzeit laufende Umstellung von Kammerfilterpressen auf Dekanter in Steiermärkischen Kläranlagen und der damit verbundenen verringerten Einbringung von Kalk in den Klärschlamm (siehe Kapitel 2.1.2.3) ist aber in nächster Zeit mit einem Anstieg des Phosphorgehalts im P-Rohstoff zu rechnen.

Tabelle 39: Vergleich von den errechneten Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen in den entfrachteten Klärschlammaschen mit Grenzwerten der Düngemittelverordnung 2004

Erläuterungen: Quellen: Grenzwerte gemäß [26], Anlage 2. Die Elementkonzentrationen wurden anhand der in Tabelle 36 angeführten Entfrachtungsfaktoren aus den in Tabelle 31 zusammengefassten Konzentrationen im steiermärkischen kommunalen Klärschlamm ermittelt. Für Co und Mo gibt es keine Grenzwerte. * Die Grenzwerte für Zn, Cu, und Cd wurden anhand der Schwermetallfrachtenregelung aus Anlage 2 der Düngemittelverordnung unter der Annahme von 450 kg Düngemiteleintrag pro ha und Jahr errechnet.

ASHDEC-Klärschlammaschenparameter	Einheit	Konzentration	Grenzwert im Dünger
Klärschlammaschenzusammensetzung			
Nährstoffmengen im P-Rohstoff			
Stickstoff	[g/kg TS]	0,00	
Phosphor	[g/kg TS]	41,83	
gerechnet als P ₂ O ₅	[g/kg TS]	95,99	
Kalium	[g/kg TS]	2,15	
gerechnet als K ₂ O	[g/kg TS]	2,59	
Kalzium	[g/kg TS]	283,18	
Magnesium	[g/kg TS]	8,68	
Natrium	[g/kg TS]	1,80	
Schwermetallmengen im P-Rohstoff			
Zink*	[mg/kg TS]	963,86	3.333
Kupfer*	[mg/kg TS]	78,66	778
Chrom	[mg/kg TS]	245,83	667
Blei	[mg/kg TS]	12,45	100
Nickel	[mg/kg TS]	111,64	100
Cobalt	[mg/kg TS]	27,53	k.A.
Molybdän	[mg/kg TS]	18,92	k.A.
Cadmium*	[mg/kg TS]	0,11	11
Quecksilber	[mg/kg TS]	0,00	1

3.5.2.3 Energiebilanz

In Tabelle 40 wurden die wichtigsten Anlagenkenngrößen der Klärschlammaschenaufbereitungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die jeweiligen Jahresdurchsatzmengen von 5.100, 5.570 und 5.700 t an Klärschlammasche gegenübergestellt.

Die Hauptenergieverbraucher in der Anlage stellen die thermische Behandlung im Drehrohr mit einem Erdgasbedarf von 554 kW und die Düngemittelaufbereitung (insbesondere die Pelletierung) mit einem Strombedarf von 162 kW dar. Daneben wird in jedem Anlagenabschnitt elektrische Energie zum Betrieb der verfahrenstechnischen Anlagen (Förderaggregate, Mischer, Druckluftanlage etc.) benötigt. Durch die beinahe trockene Mischung und anschließende Agglomeration der Klärschlammasche bzw. des P-Rohstoffs bei der Ascheaufbereitung bzw. der Düngemittelherstellung wird kein weiteres Erdgas für Trocknungszwecke benötigt.

Der Strombedarf der Gesamtanlage liegt, je nach Art der eingesetzten Klärschlammverbrennungstechnologie, zwischen 265 kW. Das entspricht einem spezifischen Strombedarf von 333 kWh_{el} pro t Klärschlammasche. Da die Durchsatzmengen für alle betrachteten Fälle sehr nahe nebeneinander liegen, gibt es keine Unterschiede im spezifischen Strombedarf.

Der spezifische Erdgasbedarf ist mit 696 kWh_{th} pro t Klärschlammmasche etwas mehr als doppelt so hoch wie der spezifische Strombedarf. Auch wirken sich die kleinen Unterschiede im Klärschlammmaschedurchsatz nicht auf den spezifischen Erdgasbedarf aus.

Durch eine signifikante Erhöhung des Klärschlammmaschedurchsatzes könnten die spezifischen Energieverbräuche der Ascheaufbereitungsanlage deutlich reduziert werden. Aus diesem Grund wäre es im Sinne eines wirtschaftlich erfolgreichen Betriebes zielführend, den Klärschlammmaschedurchsatz für die Aufbereitungsanlage zu erhöhen. Dies könnte durch eine Erhöhung der Klärschlammverbrennungskapazitäten in der Steiermark über die in diesem Bericht diskutierten 12.000 t TS pro Jahr oder durch Import von Klärschlämmen aus anderen Bundesländern erreicht werden. Da eine hohe Auslastung unabhängig von der Anlagengröße von großer Wichtigkeit ist, sollten unbedingt langfristige Lieferverträge mit Klärschlammverbrennungsanlagen abgeschlossen werden.

Tabelle 40: Energiebilanz und energetische Kenngrößen der Klärschlammaschenverwertungsanlage der ASH DEC Umwelt AG für die Jahresdurchsatzmengen von 5.100, 5.570 und 5.700 t an Klärschlammmasche pro Jahr

Erläuterungen: Quelle: im Zuge des Forschungsprojektes der ASH DEC Umwelt AG in Zusammenarbeit mit BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH durchgeführte und auf die Rahmenbedingungen des Steiermärkischen Klärschlammverwertungskonzeptes abgestimmte Berechnungen. * Die Einsparung durch Wärmerückgewinnung ist bei der benötigten Leistung bereits berücksichtigt.

ASHDEC-Energetische Kenngrößen	Einheit	Variante 1 & Variante 2
Aschenaufbereitung		
Klärschlammascheninput gesamt	[t/a]	6.368
Strombedarf Aschenaufbereitung	[kW]	64
Drehrohrofen und Rauchgasreinigung		
Feuerungswärmeleistung-Erdgas*	[kW]	554
Wärmerückgewinnung aus Kühlung der Briketts/Pellets nach Drehrohrausgang	[kW]	45
Strombedarf Drehrohrofen und Rauchgasreinigung	[kW]	39
Düngemittelherstellung		
Strombedarf Düngemittelherstellung	[kW]	140
Strombedarf Druckluft	[kW]	22
Gesamtanlage		
Strombedarf Gesamtanlage	[kW]	265
Spezifischer Strom-Verbrauch	[kWhel/t Asche]	333
Erdgasbedarf Gesamtanlage	[kW]	554
Spezifischer Erdgasverbrauch	[kWh/t Asche]	696

3.5.2.4 Zusammenfassung und Bewertung

Die in den Kapiteln 3.5.2.1 und 3.5.2.3 dargestellten Stoff- und Energieflüsse zeigen, dass für die Aufbereitung und thermochemische Behandlung der Klärschlammaschen große Mengen an Zusatzstoffen sowie ein erheblicher Energieeinsatz nötig sind, um die in den Klärschlammaschen enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar zu machen. Aufgrund des niedrigen Phosphoranteils in den Aschen ist der Wert des aufbereiteten P-Rohstoffs relativ gering, wodurch größere Mengen an Nährstoffzusätzen beigemischt werden müssen, um einen verkaufsfähigen

Dünger zu erhalten. Phosphor-reiche Aschen würden die Düngemittelherstellung verbilligen, da weniger Nährstoffzusätze notwendig wären.

Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage wird es daher wichtig sein, den Phosphorgehalt in den Aschen zu steigern bzw. durch Import von phosphorreichen Klärschlammaschen aus anderen Bundesländern anzuheben. Weiters kommt der Standortauswahl große Bedeutung zu, um möglichst günstige Rahmenbedingungen hinsichtlich Energiekosten (z.B. Substitution von Erdgas durch Biogas bzw. Faulgas) für die Anlage zu schaffen.

Da wie in Kapitel 3.5.2.2 gezeigt das Verfahren hinsichtlich Schwermetallreduktion von Klärschlammaschen gute Ergebnisse erzielt und aus einem Abfallprodukt einen Wertstoff mit pflanzenverfügbaren Nährstoffen macht, ist das Verfahren aus ökologischer Sicht positiv zu beurteilen (siehe auch Kapitel 4). Für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage sind Phosphor-reiche Aschen, billige Energie und entsprechende Entsorgungsbeiträge für Klärschlamm ausschlaggebend (siehe ANHANG 1).

3.5.3 Stoff- und Energiebilanz über die Gesamtanlage

Nach der getrennten Betrachtung der Stoff- und Energiebilanzen für die Abschnitte Klärschlamm-trocknung und Klärschlammverbrennung bzw. die Klärschlammaschenaufbereitung wurden die beiden in Kapitel 3.2 festgelegten Varianten als Gesamtanlagen untersucht. Neben den in den vorangegangenen Kapiteln bereits diskutierten Bilanzen der einzelnen Anlagenteile wurde auch auf den Transport des Klärschlamm eingegangen.

3.5.3.1 Variante 1

Bei dieser Variante werden sowohl Klärschlamm-trocknung, -verbrennung und Klärschlammaschenaufbereitung an einem gemeinsamen Standort errichtet. Die Durchsatzmenge für Trocknung und Verbrennung beträgt 12.000 t TS pro Jahr. Unabhängig von der ausgewählten Klärschlammverbrennungstechnologie werden nach der Verbrennung durchschnittlich rund 6.370 t Klärschlammasche pro Jahr zu Düngemittel aufbereitet.

Tabelle 41 gibt einen Überblick über die wichtigsten Eckdaten von Variante 1. Für die Berechnung der Transportwege wurde Graz als vorläufiger Standort ausgewählt.

Der Energiebedarf der unterschiedlichen Anlagenvarianten für Klärschlamm-trocknung und Klärschlammverbrennung sowie der Einsatz von Hilfs- und Einsatzstoffen wurde bereits in den Kapiteln 3.5.1.4, 3.5.2.1 und 3.5.2.3 ausführlich diskutiert.

Hinsichtlich der Wahl eines Standorts können durch die Kombination von Trocknung, Verbrennung und Klärschlammaschenaufbereitung Synergien bei Personal und Energiekosten erzielt werden. So kann Personal teilweise mehrere Anlagenteile überwachen. Durch den gebündelten Einkauf von elektrischer Energie und Erdgas können günstigere Preise erzielt werden als bei zwei getrennten Anlagen.

Hinsichtlich Synergien am Standort sollte ein Standort mit günstig verfügbarer Energie (Abwärme, Biogas, Faulgas) gewählt werden. Abwärme kann vor allem bei der Trocknung des Klärschlamm gut eingesetzt werden. Abhängig von der eingesetzten Trocknungstechnologie ist bereits Abwärme ab einer Temperatur von ca. 60°C (z.B. solare Trocknung) nutzbar. Unabhängig von der eingesetzten Trocknungstechnologie gilt, dass mit ansteigender Temperatur der zur Verfügung stehenden Abwärme die Trocknungsanlage kleiner dimensioniert werden kann. Aufgrund der benötigten hohen Temperaturen im Drehrohrofen (> 1.000°C) ist eine

Nutzung von Abwärme bei der thermischen Behandlung der Klärschlammmasche kaum möglich, wohl aber der Ersatz von Erdgas durch einen billigeren Brennstoff (Biogas, Faulgas). Biogas oder Faulgas kann auch als Stützbrennstoff in der Klärschlammverbrennung eingesetzt werden.

Ein Nachteil von Variante 1 sind ohne Zweifel die zu transportierenden Klärschlammmengen. Insgesamt werden 2,6 Mio. t*km pro Jahr transportiert, da entwässerter Klärschlamm (25% TS) bis zu 150 km transportiert werden muss. Da die Transportkosten unter anderem abhängig von der transportierten Tonnage sind, würde eine Erhöhung des Klärschlamm-trockensubstanzgehalts durch dezentrale Trocknung eine Verringerung der Transportkosten mit sich bringen. Gemäß Informationen einer Firma, die Klärschlammtransporte durchführt [27], liegen die Transportkosten für Klärschlamm zwischen 20 und 40 €/t FS (Distanz bis 200 km). Demnach setzen sich die Kosten aus Miete für Container und Fahrzeug (Fixbetrag) und den kilometerabhängigen Transportkosten (variable Kosten) zusammen. Eine detaillierte Aufteilung zwischen fixen und variablen Kosten konnte aber nicht ermittelt werden. Auf Basis dieser Datenlage ist es daher schwierig, genaue Abschätzungen bzgl. Transportkosten für unterschiedliche Distanzen zu machen. In Bezug auf transportierte Tonnagen ist dies aber möglich.

Durch dezentrale Trocknung auf 60% TS könnten die Transportkosten um rund 60% gesenkt werden. Die Trocknung auf 60% TS hätte neben geringeren Transportkosten auch den positiven Nebeneffekt, dass die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlagen energieautark betrieben werden könnten und darüber hinaus sogar überschüssige Wärmeenergie für externe Nutzungsmöglichkeiten vorhanden wäre (siehe Tabelle 42).

Ein Nachteil von dezentralen Trocknungsanlagen wären die insgesamt höheren Investitionskosten, da mehrere kleinere Trocknungsanlagen mit spezifisch höheren Investitionskosten im Vergleich zu einer Großanlage gebaut werden müssten. Andererseits können mit dezentralen Trocknungsanlagen lokal vorhandene Abwärmepotenziale (z.B. Biogasanlagen) genutzt werden. Bei entsprechend vorhandenen Flächen können die Trocknungsanlagen auch direkt bei den Kläranlagen aufgestellt werden (Beispiel Kläranlage Leibnitzerfeld Süd mit einer solaren Klärschlamm-trocknungsanlage). Weitere Möglichkeiten bestehen durch industrielle Abwärmenutzung. Die geeigneten Trocknungstechnologien sind in Abhängigkeit von den vorhandenen Rahmenbedingungen auszuwählen.

Tabelle 41: Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 1 - Basisauslegung

Erläuterungen: Quellen: Tabelle 28; Tabelle 29; Tabelle 30; Tabelle 32, Tabelle 33, Tabelle 34, Tabelle 37, Tabelle 40. Für die Berechnung der transportierten Klärschlammengen wurden die Entfernungen der in Tabelle 16 und Tabelle 17 angeführten Kläranlagen bis Graz herangezogen.

Parameter	Einheit	ALDAVIA 12.000 t TS/a	ANDRITZ 12.000 t TS/a	KALOGEO 12.000 t TS/a
Klärschlamm-trocknung				
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	48.000	48.000	48.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	25	25	25
Restklärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	94	60
Verdunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	29.538	35.234	28.000
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	0,83	0,85	1,12
Energiebedarf Trocknung	[MWh/a]	24.517	29.949	31.360
davon durch Sonnenenergie bereitgestellt	[MWh/a]	0	0	12.062
Extern zuzuführende Wärmeenergie	[MWh/a]	24.517	29.949	19.298
Klärschlamm-verbrennung				
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Aschegehalt	[% TS]	50	50	50
Brennwert des Klärschlamm (Ho)	[kJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928
Heizwert des Klärschlamm (Hu)	[kJ/kg Brst TS]	10.000	10.000	10.000
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.632	4.390	3.502
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.420	3.643	2.722
Wirkungsgrad der Feuerung	[%]	66,63	82,99	77,74
Energieerzeugung Klärschlammverbrennung	[MWh/a]	19.362	27.324	21.777
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	773.650	316.298	160.000
	[MWh/a]	7.737	3.163	1.600
Energieerzeugung Erdgasverbrennung	[MWh/a]	5.155	2.625	1.244
Überschüssige Energie Klärschlammverbrennung	[MWh/a]	0	0	3.723
Auskoppelbare Niedertemperaturwärme	[MWh/a]		0	
Elektrischer Energiebedarf Trocknung + Verbrennung	[kW]	187	630	220
	[MWh/a]	1.493	4.725	1.760
Quarzsand zum Ausgleich der Wirbelbettverluste	[t/a]	0	0	72
Rauchgasreinigung				
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe				
Frischwasser	[m ³ /a]	20.570	25.875	
Sorbalit	[t/a]	175		
Kalk	[t/a]		281	480
Aktivkohle	[t/a]		23	72
Natronlauge	[t/a]	110		
Schwefelsäure	[t/a]		17	
Harnstoff	[t/a]	111	113	
Rauchgasreinigungsreststoffe (zu entsorgen)				
Abwasser	[m ³ /a]	10.290	52.875	0
Flugstaub (im gereinigten Abgas)				
Flugstaub*	[kg/a]	327	327	327
HCl**	[kg/a]	655	655	655
SO _x **	[kg/a]	3.273	3.273	3.273
Hg**	[kg/a]	3	3	3
Klärschlamm-asche output				
Grobasche	[t/a]	5.100	5.570	5.700
Filterasche	[t/a]	1.075	734	924
Anfallende Klärschlamm-asche gesamt	[t/a]	6.175	6.304	6.624
Klärschlamm-asche verwertung				
Durchschnittlicher Klärschlamm-aschedurchsatz	[t/a]	6.368	6.368	6.368
Bedarf an Chloradditiv (17% Wassergehalt)	[t/a]	1.286	1.286	1.286
Wasserbedarf Klärschlamm-ascheverwertungsanlage	[m ³ /a]	5.439	5.439	5.439
Bedarf Aktivkohlemischung (10% Aktivkohle)	[t/a]	22	22	22
Gesamtbedarf Ca(OH) ₂	[t/a]	907	907	907
Schwermetallentfrachteter P-Rohstoff zur Düngemittelherstellung (0% WG)	[t/a]	6.115	6.115	6.115
Anfall Filterasche	[t/a]	1.747	1.747	1.747
Nährstoffzusätze	[t/a]	5.739	5.739	5.739
Erezugte Düngemittelmenge (7% WG)	[t/a]	12.658	12.658	12.658
Strombedarf Klärschlamm-ascheverwertungsanlage	[kW]	318	318	318
	[MWh/a]	2.542	2.542	2.542
Erdgasbedarf Klärschlamm-ascheverwertungsanlage	[kW]	665	665	665
	[MWh/a]	5.322	5.322	5.322
Energiebedarf Gesamtanlage Variante 1				
Gesamtbedarf Erdgas	[MWh/a]	13.058	8.485	6.922
Gesamtbedarf Strom	[MWh/a]	4.035	7.267	4.302
Transportaufwand Gesamtanlage Variante 1				
Transportierte Menge Klärschlamm	[t FS*km/a]	2.608.320	2.608.320	2.608.320

Tabelle 42: Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 1 – dezentrale Trocknungsanlagen

Erläuterungen: Die in Tabelle 41 angeführten Daten wurden auf den geänderten Eingangstrockensubstanzgehalt von 60% angepasst.

Parameter	Einheit	ALDAVIA 12.000 t TS/a	ANDRITZ 12.000 t TS/a	KALOGEO 12.000 t TS/a
Klärschlamm-trocknung				
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	20.000	20.000	20.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	60	60	60
Restklärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	94	60
Verdunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	1.538	7.234	0
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	0,83	0,85	1,12
Energiebedarf Trocknung	[MWh/a]	1.277	6.149	0
davon durch Sonnenenergie bereitgestellt *	[MWh/a]	0	0	0
Extern zuzuführende Wärmeenergie *	[MWh/a]	1.277	6.149	0
Klärschlamm-verbrennung				
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Aschegehalt	[% TS]	50	50	50
Brennwert des Klärschlamm (Ho)	[kJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928
Heizwert des Klärschlamm (Hu)	[kJ/kg Brst TS]	10.000	10.000	10.000
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.632	4.390	3.502
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.420	3.643	2.722
Wirkungsgrad der Feuerung	[%]	66,63	82,99	77,74
Energieerzeugung Klärschlamm-verbrennung	[MWh/a]	19.362	27.324	21.777
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	0	0	0
	[MWh/a]	0	0	0
Energieerzeugung Erdgas-verbrennung	[MWh/a]	0	0	0
Überschüssige Energie Klärschlamm-verbrennung	[MWh/a]	18.085	21.175	21.777
Auskoppelbare Niedertemperaturwärme	[MWh/a]		0	
Elektrischer Energiebedarf Trocknung + Verbrennung	[kW]	187	630	220
	[MWh/a]	1.493	4.725	1.760
Quarzsand zum Ausgleich der Wirbelbettverluste	[t/a]	0	0	72
Rauchgasreinigung				
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe				
Frischwasser	[m ³ /a]	20.570	25.875	0
Sorbalit	[t/a]	175	0	0
Kalk	[t/a]	0	281	480
Aktivkohle	[t/a]	0	23	72
Natronlauge	[t/a]	110	0	0
Schwefelsäure	[t/a]	0	17	0
Harnstoff	[t/a]	111	113	0
Rauchgasreinigungsreststoffe (zu entsorgen)				
Abwasser	[m ³ /a]	10.290	52.875	0
Flugstaub (im gereinigten Abgas)				
Flugstaub*	[kg/a]	327	327	327
HCl**	[kg/a]	655	655	655
SOx**	[kg/a]	3.273	3.273	3.273
Hg**	[kg/a]	3	3	3
Klärschlamm-asche-output				
Grobasche	[t/a]	5.100	5.570	5.700
Filterasche	[t/a]	1.075	734	924
Anfallende Klärschlamm-asche gesamt	[t/a]	6.175	6.304	6.624
Klärschlamm-asche-verwertung				
Durchschnittlicher Klärschlamm-asche-durchsatz	[t/a]	6.368	6.368	6.368
Bedarf an Chloradditiv (17% Wassergehalt)	[t/a]	1.286	1.286	1.286
Wasserbedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[m ³ /a]	5.439	5.439	5.439
Bedarf Aktivkohlemischung (10% Aktivkohle)	[t/a]	22	22	22
Gesamtbedarf Ca(OH) ₂	[t/a]	907	907	907
Schwermetallentfrachter P-Rohstoff zur Düngemittelherstellung (0% WG)	[t/a]	6.115	6.115	6.115
Anfall Filterasche	[t/a]	1.747	1.747	1.747
Nährstoffzusätze	[t/a]	5.739	5.739	5.739
Ereuzte Düngemittelmenge (7% WG)	[t/a]	12.658	12.658	12.658
Strombedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[kW]	318	318	318
	[MWh/a]	2.542	2.542	2.542
Erdgasbedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[kW]	665	665	665
	[MWh/a]	5.322	5.322	5.322
Energiebedarf Gesamtanlage Variante 1				
Gesamtbedarf Erdgas	[MWh/a]	5.322	5.322	5.322
Gesamtbedarf Strom	[MWh/a]	4.035	7.267	4.302
Transportaufwand Gesamtanlage Variante 1				
Transportierte Menge Klärschlamm	[t FS*km/a]	1.086.800	1.086.800	1.086.800

3.5.3.2 Variante 2

Bei dieser Variante werden an zwei Standorten je eine Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlage errichtet. Die Durchsatzmengen für Trocknung und Verbrennung betragen 4.000 bzw. 8.000 t TS pro Jahr. Unabhängig von der ausgewählten Klärschlamm-verbrennungstechnologie werden nach der Verbrennung von durchschnittlich 6.370 t Klärschlamm-Asche pro Jahr zu Düngemittel (am Standort der größeren Klärschlamm-verbrennungsanlage) aufbereitet.

Tabelle 43 gibt einen Überblick über die wichtigsten Eckdaten von Variante 2. Für die Berechnung der Transportwege wurden Graz und Leoben als vorläufige Standorte ausgewählt.

Der Energiebedarf der unterschiedlichen Anlagenvarianten für Klärschlamm-trocknung und Klärschlamm-verbrennung sowie der Einsatz von Hilfs- und Einsatzstoffen wurde bereits in den Kapiteln 3.5.1.4, 3.5.2.1 und 3.5.2.3 ausführlich diskutiert.

Durch die Errichtung von zwei Standorten für Trocknung und Verbrennung wird insgesamt mehr Personal benötigt als bei Variante 1. Aufgrund des geringeren Energiebedarfs der beiden einzelnen Anlagen müssen jeweils höhere Preise für elektrische Energie und Erdgas bezahlt werden. Für die Auswahl der Standorte gelten im Prinzip dieselben Überlegungen wie für Variante 2. Standorte mit günstig zur Verfügung stehender Energie (Abwärme, Biogas, Faulgas). Da die Anlagenkapazitäten an den beiden Standorten niedriger als bei Variante 1 sind, können möglicherweise leichter Standorte mit entsprechenden Rahmenbedingungen gefunden werden.

Die zu transportierenden Klärschlamm-mengen sind mit insgesamt 1,9 Mio. t*km pro Jahr (davon 1,8 Mio. t*km pro Jahr für Klärschlamm und je nach Verbrennungsanlage 105.000 bis 118.000 t*km pro Jahr für Klärschlamm-Asche) bei Variante 2 geringer als bei Variante 1, da zwei Standorte für die Anlieferung des Klärschlamm zur Verfügung stehen und nur die Asche von einem Standort (Leoben) zum anderen Standort (Graz) transportiert werden muss.

Eine Erhöhung des Klärschlamm-trockensubstanzgehalts durch dezentrale Trocknung würde auch bei Variante 2 eine Verringerung der Transportkosten mit sich bringen. Durch dezentrale Trocknung auf 60% TS könnten die Transportkosten um fast 55% gesenkt werden. Die Trocknung auf 60% TS hätte neben geringeren Transportkosten auch den positiven Nebeneffekt, dass die Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlamm-verbrennungsanlagen energieautark betrieben werden könnten und darüber hinaus sogar überschüssige Wärmeenergie für externe Nutzungsmöglichkeiten vorhanden wäre (siehe Tabelle 44).

Tabelle 43: Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 2 - Basisauslegung

Erläuterungen: Quellen: Tabelle 28; Tabelle 29; Tabelle 30; Tabelle 32, Tabelle 33, Tabelle 34, Tabelle 37, Tabelle 40. Für die Berechnung der transportierten Klärschlammengen wurden die Entfernungen der in Tabelle 16 und Tabelle 17 angeführten Kläranlagen zum jeweiligen Standort und anschließend von Leoben nach Graz herangezogen.

Parameter	Einheit	ALDAVIA	ANDRITZ	KALOGEO
		12.000 t TS/a	12.000 t TS/a	12.000 t TS/a
Klärschlamm-trocknung				
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	48.000	48.000	48.000
Eingang-trockensubstanz-gehalt	[% TS]	25	25	25
Rest-klärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
End-trockensubstanz-gehalt	[% TS]	65	94	60
Verdunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	29.538	35.234	28.000
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	0,83	0,85	1,12
Energiebedarf Trocknung	[MWh/a]	24.517	29.949	31.360
davon durch Sonnenenergie bereitgestellt	[MWh/a]	0	0	12.062
Extern zuzuführende Wärmeenergie	[MWh/a]	24.517	29.949	19.298
Klärschlamm-verbrennung				
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Aschegehalt	[% TS]	50	50	50
Brennwert des Klärschlamm (Ho)	[kJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928
Heizwert des Klärschlamm (Hu)	[kJ/kg Brst TS]	10.000	10.000	10.000
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.632	4.390	3.502
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.420	3.643	2.722
Wirkungsgrad der Feuerung	[%]	66,63	82,99	77,74
Energieerzeugung Klärschlamm-verbrennung	[MWh/a]	19.362	27.324	21.777
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	773.660	316.306	160.000
	[MWh/a]	7.737	3.163	1.600
Energieerzeugung Erdgas-verbrennung	[MWh/a]	5.155	2.625	1.244
Überschüssige Energie Klärschlamm-verbrennung	[MWh/a]	0	0	3.723
Auskoppelbare Niedertemperaturwärme	[MWh/a]		0	
Elektrischer Energiebedarf Trocknung + Verbrennung	[kW]	240	431	267
	[MWh/a]	1.920	3.234	2.133
Quarzsand zum Ausgleich der Wirbelbettverluste	[t/a]	0	0	72
Rauchgasreinigung				
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe				
Frischwasser	[m ³ /a]	20.570	25.875	
Sorbalit	[t/a]	175		
Kalk	[t/a]		281	480
Aktivkohle	[t/a]		23	72
Natronlauge	[t/a]	110		
Schwefelsäure	[t/a]		17	
Harnstoff	[t/a]	111	113	
Rauchgasreinigungsreste (zu entsorgen)				
Abwasser	[m ³ /a]	10.290	52.875	0
Flugstaub (im gereinigten Abgas)				
Flugstaub*	[kg/a]	327	327	327
HC**	[kg/a]	655	655	655
SO _x **	[kg/a]	3.273	3.273	3.273
Hg**	[kg/a]	3	3	3
Klärschlamm-asche-output				
Grobasche	[t/a]	5.100	5.570	5.700
Filterasche	[t/a]	1.075	734	924
Anfallende Klärschlamm-asche gesamt	[t/a]	6.175	6.304	6.624
Klärschlamm-asche-verwertung				
Durchschnittlicher Klärschlamm-asche-durchsatz	[t/a]	6.368	6.368	6.368
Bedarf an Chloradditiv (17% Wassergehalt)	[t/a]	1.286	1.286	1.286
Wasserbedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[m ³ /a]	5.439	5.439	5.439
Bedarf Aktivkohlemischung (10% Aktivkohle)	[t/a]	22	22	22
Gesamtbedarf Ca(OH) ₂	[t/a]	907	907	907
Schwermetallentfrachter P-Rohstoff zur Düngemittelherstellung (0% WG)	[t/a]	6.115	6.115	6.115
Anfall Filterasche	[t/a]	1.747	1.747	1.747
Nährstoffzusätze	[t/a]	5.739	5.739	5.739
Ereuzte Düngemittelmenge (7% WG)	[t/a]	12.658	12.658	12.658
Strombedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[kW]	318	318	318
	[MWh/a]	2.542	2.542	2.542
Erdgasbedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[kW]	665	665	665
	[MWh/a]	5.322	5.322	5.322
Energiebedarf Gesamtanlage Variante 2				
Gesamtbedarf Erdgas	[MWh/a]	13.058	8.485	6.922
Gesamtbedarf Strom	[MWh/a]	4.462	5.776	4.675
Transportaufwand Gesamtanlage Variante 2				
Transportierte Menge Klärschlamm	[t FS*km/a]	1.789.755	1.789.755	1.789.755
Transportierte Menge Klärschlamm-asche	[t FS*km/a]	105.400	115.113	117.800
Gesamt	[t FS*km/a]	1.895.155	1.904.869	1.907.555

Tabelle 44: Übersicht Stoff- und Energiebilanz Variante 2 – dezentrale Trocknungsanlagen

Erläuterungen: Die in Tabelle 44 angeführten Daten wurden auf den geänderten Eingangstrockensubstanzgehalt von 60% angepasst. Bei der Berechnung der Transportmengen wurde davon ausgegangen, dass der Klärschlamm direkt am Anfallort (Kläranlage) auf 60% TS getrocknet wird.

Parameter	Einheit	ALDAVIA	ANDRITZ	KALOGEO
		12.000 t TS/a	12.000 t TS/a	12.000 t TS/a
Klärschlamm-trocknung				
Klärschlamm-durchsatz-Trocknung	[t/a FS]	20.000	20.000	20.000
Eingangstrockensubstanzgehalt	[% TS]	60	60	60
Restklärschlamm nach Trocknung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Endtrockensubstanzgehalt	[% TS]	65	94	60
Verunstete Wassermenge durch Trocknung	[t/a H ₂ O]	1.538	7.234	0
Spezifischer Wärmebedarf	[kWh/kg H ₂ O]	0,83	0,85	1,12
Energiebedarf Trocknung	[MWh/a]	1.277	6.149	0
davon durch Sonnenenergie bereitgestellt	[MWh/a]	0	0	0
Extern zuzuführende Wärmeenergie	[MWh/a]	1.277	6.149	0
Klärschlamm-verbrennung				
Klärschlamm-durchsatz-Verbrennung	[t/a FS]	18.462	12.766	20.000
Aschegehalt	[% TS]	50	50	50
Brennwert des Klärschlamm (Ho)	[kJ/kg Brst TS]	10.928	10.928	10.928
Heizwert des Klärschlamm (Hu)	[kJ/kg Brst TS]	10.000	10.000	10.000
Feuerungswärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	3.632	4.390	3.502
Nutzwärmeleistung-Klärschlamm	[kW]	2.420	3.643	2.722
Wirkungsgrad der Feuerung	[%]	66,63	82,99	77,74
Energieerzeugung Klärschlamm-verbrennung	[MWh/a]	19.362	27.324	21.777
Zusatzbrennstoffmenge-Erdgas	[m ³ /a]	0	0	0
Energieerzeugung Erdgas-verbrennung	[MWh/a]	0	0	0
Überschüssige Energie Klärschlamm-verbrennung	[MWh/a]	18.085	21.175	21.777
Auskoppelbare Niedertemperaturwärme	[MWh/a]		0	
Elektrischer Energiebedarf Trocknung + Verbrennung	[kW]	240	431	267
	[MWh/a]	1.920	3.234	2.133
Quarzsand zum Ausgleich der Wirbelbettverluste	[t/a]	0	0	72
Rauchgasreinigung				
Rauchgasreinigungseinsatzstoffe				
Frischwasser	[m ³ /a]	20.570	25.875	0
Sorbalit	[t/a]	175	0	0
Kalk	[t/a]	0	281	480
Aktivkohle	[t/a]	0	23	72
Natronlauge	[t/a]	110	0	0
Schwefelsäure	[t/a]	0	17	0
Harnstoff	[t/a]	111	113	0
Rauchgasreinigungsreststoffe (zu entsorgen)				
Abwasser	[m ³ /a]	10.290	52.875	0
Flugstaub (im gereinigten Abgas)				
Flugstaub*	[kg/a]	327	327	327
HCl**	[kg/a]	655	655	655
SO _x **	[kg/a]	3.273	3.273	3.273
Hg**	[kg/a]	3	3	3
Klärschlamm-asche output				
Grobasche	[t/a]	5.100	5.570	5.700
Filterasche	[t/a]	1.075	734	924
Anfallende Klärschlamm-asche gesamt	[t/a]	6.175	6.304	6.624
Klärschlamm-asche-verwertung				
Durchschnittlicher Klärschlamm-asche-durchsatz	[t/a]	6.368	6.368	6.368
Bedarf an Chloradditiv (17% Wassergehalt)	[t/a]	1.286	1.286	1.286
Wasserbedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[m ³ /a]	5.439	5.439	5.439
Bedarf Aktivkohlemischung (10% Aktivkohle)	[t/a]	22	22	22
Gesamtbedarf Ca(OH) ₂	[t/a]	907	907	907
Schwermetallentfrachter P-Rohstoff zur Düngemittelherstellung (0% WG)	[t/a]	6.115	6.115	6.115
Anfall Filterasche	[t/a]	1.747	1.747	1.747
Nährstoffzusätze	[t/a]	5.739	5.739	5.739
Ereuzte Düngemittelmenge (7% WG)	[t/a]	12.658	12.658	12.658
Strombedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[kW]	318	318	318
	[MWh/a]	2.542	2.542	2.542
Erdgasbedarf Klärschlamm-asche-verwertungsanlage	[kW]	665	665	665
	[MWh/a]	5.322	5.322	5.322
Energiebedarf Gesamtanlage Variante 2				
Gesamtbedarf Erdgas	[MWh/a]	5.322	5.322	5.322
Gesamtbedarf Strom	[MWh/a]	4.462	5.776	4.675
Transportaufwand Gesamtanlage Variante 2				
Transportierte Menge Klärschlamm	[t FS*km/a]	745.731	745.731	745.731
Transportierte Menge Klärschlamm-asche	[t FS*km/a]	105.400	115.113	117.800
Gesamt	[t FS*km/a]	851.131	860.845	863.531

Ein Nachteil von dezentralen Trocknungsanlagen wären die insgesamt höheren Investitionskosten, da mehrere kleinere Trocknungsanlagen mit spezifisch höheren Investitionskosten als eine Großanlage gebaut werden müssten. Andererseits können mit dezentralen Trocknungsanlagen lokal vorhandene Abwärmepotenziale (z.B. Biogasanlagen) genutzt werden. Bei entsprechend vorhandenen Flächen können die Trocknungsanlagen auch direkt bei den Kläranlagen aufgestellt werden (Beispiel Kläranlage Leibnitzerfeld Süd mit einer solaren Klärschlamm-trocknungsanlage). Weitere Möglichkeiten bestehen durch industrielle Abwärmenutzung. Die geeigneten Trocknungstechnologien sind in Abhängigkeit von den vorhandenen Rahmenbedingungen auszuwählen.

Unabhängig von der ausgewählten Variante ist der Heizwert des Klärschlammes von entscheidender Bedeutung. Wie der Vergleich zwischen Basisauslegung mit einem Eingangstrockensubstanzgehalt von 25% mit der Auslegung mit einem Eingangstrockensubstanzgehalt von 60% (bei Trocknung in dezentralen Trocknungsanlagen) zeigt, können bei einem höheren Heizwert des Klärschlammes große Mengen Erdgas eingespart und ab einem gewissen Heizwert sogar Wärme ausgekoppelt und verkauft werden. Neben dem Trockensubstanzgehalt des eingesetzten Klärschlammes ist auch der Aschegehalt eine wichtige Einflussgröße für den Heizwert. Je niedriger der Aschegehalt, desto höher wird der Heizwert. Für die weitere Vorgangsweise wird es daher wichtig sein, durch Analysen von kommunalen Klärschlämmen in der Steiermark die Rahmenbedingungen hinsichtlich Heizwert so genau wie möglich festzulegen, um die Anlagenauslegung darauf abstimmen zu können. Der vermehrte Einsatz von Dekantern an Stelle von Kammerfilterpressen lässt einen geringeren Aschegehalt, einen höheren Phosphorgehalt und einen höheren Heizwert (bei gleich bleibender Trockensubstanz) erwarten.

Neben der Qualität des eingesetzten Klärschlammes haben auch die in Kapitel 2.1.3 kurz diskutierten Verwertungs- und Entsorgungskosten von Klärschlamm einen wesentlichen Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis der Klärschlammverwertungsanlagen. Im Sinne eines wirtschaftlichen Betriebes der Anlagen sollte natürlich ein möglichst hoher Entsorgungsbeitrag lukriert werden. Andererseits muss die Wettbewerbsfähigkeit am Entsorgungsmarkt gegeben sein. Nähere Ausführungen dazu finden sich in ANHANG 1.

Diese Diskussion zeigt, dass mehrere Faktoren bei der Standortauswahl und Auswahl der Varianten des in dieser Studie vorgestellten Klärschlammkonzeptes berücksichtigt werden müssen. Eine frühe Einbindung von Kläranlagenbetreibern und Standorten mit potenziellen Synergieeffekten (bestehende Biogasanlagen ohne Wärmenutzung, Biogasanlagen in Bau, Industrie) ist daher wichtig, um ein Steiermarkweites Klärschlammverwertungskonzept sinnvoll umzusetzen.

4 Beurteilung der Auswirkung des Einsatzes des Klärschlammverwertungskonzeptes auf Stoff-Flüsse in der Steiermark

Abschließend werden Auswirkungen des in Kapitel 3 vorgestellten Klärschlammverwertungskonzeptes auf die Steiermark untersucht. Dazu werden die in Kapitel 2.2.1 ermittelten Nährstoff- und Schwermetalleinträge in Steirische Böden durch die derzeit erfolgende direkte Klärschlammaufbringung auf landwirtschaftliche Böden sowie den Einsatz im Landschaftsbau mit dem Eintrag durch Düngemittel aus behandelten Klärschlammaschen verglichen. Weiters werden die Potenziale für den Ersatz von Kunstdüngern untersucht.

4.1 Rückführbare Nährstoff- und Schwermetallmengen durch die Ausbringung von P-Rohstoff auf Basis des vorgeschlagenen Klärschlammverwertungskonzeptes für die Steiermark

Wie Tabelle 38 zeigt, können über das in dieser Studie vorgestellte Klärschlammverwertungskonzept bei einer verwerteten jährlichen kommunalen Klärschlammmenge von 12.000 t TS 256 t P (bzw. 587 t P_2O_5), 13 t K (bzw. 15,8 t K_2O), 1.732 t Ca (wovon etwa 37% über die Eindüsung von in Kalk in der Rauchgasreinigung und aus der Additivierung mit $CaCl_2$ bei der Ascheaufbereitung vor der thermischen Behandlung im Zuge der Klärschlammaschenaufbereitung stammen), 53 t Mg und 11 t Na als pflanzenverfügbarer Dünger in die Landwirtschaft rückgeführt werden. Im Gegensatz zu Phosphor werden die meisten Schwermetalle durch das angewendete Klärschlammaufbereitungsverfahren in den Aschen abgereichert.

Tabelle 45 gibt einen Überblick über die über den P-Rohstoff in den Boden rückführbaren Nährstoffe und Schwermetalle für bei einem P-Rohstoffoutput von 6.115 t. Demnach ergibt sich für die Nährstoffe P und Mg nur ein relativ geringer Verlust im Zuge der Klärschlammverwertung. Die Menge an rückführbaren Ca übersteigt sogar die ursprünglich im Klärschlamm vorhandene Menge, da durch über die Rauchgasreinigung (Eindüsung von Kalk) die Additivierung von $CaCl_2$ bei der Klärschlammaschenaufbereitung zusätzliches Ca eingebracht wird. Die leichter flüchtigen Nährstoffe K und Na können nur zu 25 bzw. 31 % wieder dem Boden rückgeführt werden, Stickstoff geht durch die Verbrennung und anschließende thermische Behandlung vollständig verloren.

Bei den Schwermetallen werden vor allem Cu, Pb, Cd und Hg sehr gut bzw. vollständig entfrachtet. Zn wird zu mehr als 68 % entfrachtet, die übrigen Schwermetalle weisen Entfrachtungsraten von 10 % (aufgrund der Staubverluste im Zuge der thermischen Behandlung der Klärschlammaschen) auf. Die Schwermetallmengen beziehen sich in Tabelle 45 auf die in Kapitel 2.1.4.3 ermittelten mengengewichteten Mittelwerte (siehe Tabelle 10).

Tabelle 45: Durchschnittliche jährlich über die Ausbringung von P-Rohstoff aus der Klärschlammaschenaufbereitung in den Boden rückführbare Nährstoffe und Schwermetalle

Erläuterungen: Quellen: Tabelle 10, Tabelle 27 und Tabelle 38. Für die Berechnung der Schwermetallmengen wurden die in Tabelle 10 angeführten mengengewichteten Durchschnittsgehalte verwendet. * Durch den Eintrag von Kalk über die Rauchgasreinigung und die Additivierung von CaCl₂ im Zuge der Klärschlammascheverwertung wird der Massenstrom von Ca um etwa 37% erhöht.

Elemente	Einheit	Klärschlamm	P-Rohstoff	Verlust/ Entfrachtung
P-Rohstoff				
Output an P-Rohstoff	[t/a]		6.115	
Nährstoffe				
Stickstoff	[t/a]	539,2	0,0	100,00%
Phosphor	[t/a]	284,2	255,8	10,00%
gerechnet als P ₂ O ₅	[t/a]		587,0	
Kalium	[t/a]	48,8	13,1	73,09%
gerechnet als K ₂ O	[t/a]		15,8	
Kalzium*	[t/a]	1.269,7	1.731,7	-36,38%
Magnesium	[t/a]	59,0	53,1	10,00%
Natrium	[t/a]	33,0	11,0	66,60%
Schwermetalle				
Zink	[kg/a]	11.445,35	3.605,28	68,50%
Kupfer	[kg/a]	2.244,68	282,83	87,40%
Chrom	[kg/a]	901,56	811,40	10,00%
Blei	[kg/a]	895,41	62,79	92,99%
Nickel	[kg/a]	629,05	566,15	10,00%
Cobalt	[kg/a]	112,19	100,97	10,00%
Molybdän	[kg/a]	90,78	81,70	10,00%
Cadmium	[kg/a]	16,49	0,53	96,79%
Quecksilber	[kg/a]	34,10	0,00	100,00%

4.2 Schwermetallreduktionspotenzial bei Einstellung der direkten Klärschlammverwertung auf landwirtschaftlichen Böden und im Landschaftsbau

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, wurden im Jahr 2004 insgesamt 15.420 t TS an kommunalem Klärschlamm auf steiermärkische Böden durch direkte Verwertung in der Landwirtschaft sowie durch Verwertung im Landschaftsbau aufgebracht. Dies übersteigt die Jahresdurchsatzmenge des derzeit konzipierten Klärschlammverwertungskonzeptes um 3.240 t TS/a.

In Tabelle 46 wurden die Stoffflüsse von Nährstoffen und Schwermetallen des IST-Zustandes (Klärschlammaufbringung auf landwirtschaftliche Böden und Verwertung im Landschaftsbau 2004) mit den Stoffflüssen bei Verwertung des Klärschlammes über das in dieser Studie vorgestellte Klärschlammverwertungskonzept gegenübergestellt.

Im Vergleich zum IST-Zustand würden durch Umsetzung des in dieser Studie vorgestellten Klärschlammkonzeptes zwar 37 t P pro Jahr weniger auf die Böden in der Steiermark aufgebracht werden können. Gleichzeitig würde aber auch der Eintrag an Schwermetallen in die Böden überproportional zurückgehen. So könnte der Eintrag an Zn um über 10,1 t, jener von

Cu um über 2,5 t pro Jahr reduziert werden. Weiters würden die Einträge an Pb, Co und Cd fast gänzlich, bei Hg vollständig vermieden werden. In Summe könnte der Schwermetalleintrag in steirische Böden um etwa 14 t pro Jahr verringert werden.

Tabelle 46: Gegenüberstellung der Stoffflüsse von Nährstoffen und Schwermetallen auf landwirtschaftliche Böden durch den Einsatz von kommunalen Klärschlämmen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau in der Steiermark bei direkter Verwertung und bei Verwertung über das vorgestellte Klärschlammverwertungskonzept

Erläuterungen: Quellen: Tabelle 15 und Tabelle 45. Für die Berechnung der Schwermetallmengen wurden die in Tabelle 10 angeführten mengengewichteten Durchschnittsgehalte verwendet.

Parameter	Einheit	Verwertungskonzept		Verluste/ Entfrachtung
		Direkte Verwertung (IST-Zustand)	Vorgestelltes Klärschlamm- verwertungskonzept	
Zu verwertende Klärschlammmenge	[t/a TS]	15.420	15.420	
Aschegehalt des Klärschlammes	[%]	-	50	
P-Rohstoff	[t/a TS]	-	7.858	
Nährstoffmengen im P-Rohstoff				
Stickstoff	[t/a TS]	693	0	693
Phosphor	[t/a TS]	365	329	37
Kalium	[t/a TS]	63	17	46
Kalzium	[t/a TS]	1.632	2.225	-594
Magnesium	[t/a TS]	76	68	8
Natrium	[t/a TS]	42	14	28
Summe Nährstoffe	[t/a TS]	2.871	2.653	
Schwermetallmengen im P-Rohstoff				
Zink	[kg/a TS]	14.707	4.633	10.074
Kupfer	[kg/a TS]	2.884	363	2.521
Chrom	[kg/a TS]	1.158	1.043	116
Blei	[kg/a TS]	1.151	81	1.070
Nickel	[kg/a TS]	808	727	81
Cobalt	[kg/a TS]	144	130	14
Molybdän	[kg/a TS]	117	105	12
Cadmium	[kg/a TS]	21	1	21
Quecksilber	[kg/a TS]	44	0	44
Summe Schwermetalle	[kg/a TS]	21.035	7.082	13.952

4.3 Substituierbare Menge an Kunstdünger durch Einsatz des Steiermärkischen Klärschlammverwertungskonzeptes

Laut Marktbericht 2006 für Getreide und Ölsaaten der Agrarmarkt Austria (AMA) [28] wurden in den letzten 10 Jahren (1996-2005) im Schnitt jährlich 8.120 t P₂O₅ in der Steiermark abgesetzt. Bei einem Jahresdurchsatz von 12.000 t TS an kommunalem Klärschlamm könnten so über das Klärschlammverwertungskonzept in der Steiermark 587 t oder 7,2 % an P-Kunstdünger eingespart werden.

Bei voller Ausnutzung des Klärschlammaufkommens in den beiden in Kapitel 2.2.2.2 definierten Einzugsgebieten von 20.298 t TS/a (unter Miteinbeziehung von Kläranlagen mit einem Klärschlammaufkommen von 50 bis 100 t TS pro Jahr) und Verwertung dieser Menge über das vorgestellte Klärschlammkonzept in der Steiermark könnten jährlich 993 t P₂O₅ oder 12,2 % der jährlich in der Steiermark eingesetzten P-Kunstdüngermenge substituiert werden.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der jährliche Klärschlammanfall der Steiermark stieg seit dem Jahr 2000 durchschnittlich um 1,9 % pro Jahr an und betrug im Jahr 2004 (ohne die Verbandskläranlagen Gratkorn und Pöls) 24.981 Tonnen Trockensubstanz (t TS). Vergleiche des Klärschlammaufkommens mit Werten aus der Literatur ergaben eine gute Übereinstimmung.

Unter Einbeziehung der betrieblichen Klärschlammmengen der Verbandskläranlagen Gratkorn (10.080 t TS) und Pöls (3.300 t TS) würde das Klärschlammaufkommen 2004 um 35 % höher liegen. Da für beide Kläranlagen aber energetische (Gratkorn) bzw. stoffliche (Pöls) Verwertungsschienen existieren, kann davon ausgegangen werden, dass die in diesen Kläranlagen anfallenden Klärschlammmengen nicht für dezentrale Klärschlammverwertungsanlagen zur Verfügung stehen.

Für die Analyse der Schwermetallgehalte des Klärschlamms standen zwei Datensätze zur Verfügung, einerseits Messungen der FA 17C (1974-2003), andererseits Messwerte der Kläranlagenbetreiber, die an die FA 19A gemeldet wurden (1996-2005). Ein Vergleich der beiden Datensätze über einen Zeitraum zwischen 1996-2001 ergab, dass die Werte der FA 17C tendenziell über den an die FA 19A gemeldeten Messwerten liegen. Da die Analysen der FA 17C unter einheitlichen Bedingungen durchgeführt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass diese Werte die tatsächlichen Schwermetallgehalte repräsentativer wiedergeben als jene der FA 19A. Da die Analysenwerte der FA 17C statistisch gesehen über den Betrachtungszeitraum konstant blieben, konnten die Daten auch zur Bewertung des aktuellen Schwermetallaufkommens herangezogen werden. Aufgrund der Zuordnung der Messwerte zu den untersuchten Kläranlagen konnten auch gewichtete Durchschnittsgehalte der Schwermetalle im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark ermittelt werden.

Bezüglich Nährstoffgehalte standen Analysenwerte der FA 10B und der FA 19A zur Verfügung. Im Gegensatz zu den Daten für die Schwermetallkonzentrationen fehlte hier eine Zuordnung zu den untersuchten Kläranlagen. Damit war eine Gewichtung der Messwerte auf Basis von unterschiedlichen Klärschlammmengen nicht möglich.

Auf Anfrage konnten von der FA 19A auch Daten über den Trockensubstanzgehalt von kommunalen Klärschlämmen mit dazugehörigem Klärschlammaufkommen aus dem Jahre 2005 übermittelt werden. Die Auswertung ergab, dass der Trockensubstanzgehalt mit zunehmender Kläranlagengröße zunimmt. Einzig die Kläranlage Graz-Gössendorf als die mit Abstand größte kommunale Kläranlage der Steiermark weist einen sehr niedrigen Klärschlamm-trockensubstanzgehalt auf. Dieser ist damit begründet, dass der ausgefaulte Klärschlamm mit einem TS-Gehalt von 3,5 % direkt an die AEVG übergeben wird, die den Klärschlamm entwässert, trocknet und einer thermischen Verwertung zuführt. Der mengengewichtete Trockensubstanzgehalt auf Basis der übermittelten Daten liegt inklusive Graz-Gössendorf bei 8,2 %, ohne Graz-Gössendorf bei 13,1 %. Der statistische Mittelwert von 12,4 % wurde mit Werten aus der Literatur verglichen und kann als plausibel eingestuft werden. Berücksichtigt man alle Kläranlagen mit einem jährlichen Klärschlammaufkommen von mehr als 50 t TS pro Jahr (ohne Graz-Gössendorf), so liegt deren mengengewichteter Klärschlamm-trockensubstanzgehalt bei 19,2 %.

Trotz der umfangreichen, von der FA 19D zur Verfügung gestellten Daten waren einige, speziell für die Anlagenauslegung wichtige Parameter wie Aschegehalt und Heizwert von Klär-

schlamm, nicht mit ausreichender Datenbasis vorhanden. Es wurden daher Daten aus der Literatur, vorliegende Messwerte sowie Informationen von einschlägigen Institutionen und Firmen eingeholt. Sowohl beim Aschegehalt (25 bis 60% TS) als auch beim Heizwert (8 bis 16 MJ/kg TS) schwankten die Angaben deutlich. Für die Anlagenauslegung wurde schließlich auf Basis mehrere übereinstimmender Angaben ein Aschegehalt von 50% TS und ein Heizwert von 10 MJ/kg TS) festgelegt.

Die vorhandenen Messwerte für Schwermetall- und Nährstoffgehalte des kommunalen Klärschlammes in der Steiermark wurden mit Werten aus der Literatur verglichen und können als plausibel angesehen werden. Für die Berechnung der Schwermetallströme konnten die nach Klärschlammaufkommen gewichteten durchschnittlichen Schwermetallgehalte herangezogen werden, für die Ermittlung der Nährstoffströme mussten ungewichtete Mittelwerte verwendet werden.

Die Auswertung der Massenströme ergab einen jährlichen Ausstoß an Schwermetallen mit dem kommunalen Klärschlamm in der Steiermark von rund 34 t. Das jährliche Nährstoffaufkommen beträgt rund 4.650 t. Davon wurden über die Verwertungsschienen Landwirtschaft und Landschaftsbau 20 t Schwermetalle und 2.700 t Nährstoffe direkt auf Böden aufgebracht. Der Gehalt an P in der Klärschlamm-trockensubstanz ist mit 2,4 % im Vergleich zu Gehalten aus Klärschlamm großer Kläranlagen relativ gering. Die Ursache dafür liegt in der Art der bei kleineren Kläranlagen vorwiegend eingesetzten Entwässerung mittels Kammerfilterpressen, die die Zugabe von großen Mengen Kalk (bis zu 15 % der Frischsubstanz) notwendig macht. Dadurch werden die Gehalte aller anderen Elemente im Klärschlamm durch Verdünnung reduziert. Bei Großanlagen werden meist Siebbandpressen eingesetzt, die ohne Zugabe von Kalk betrieben werden können. Derzeit läuft in vielen Kläranlagen die Umstellung von Kammerfilterpressen auf Dekanter, die ebenfalls ohne Kalkzugabe betrieben werden können. Es ist daher in den nächsten Jahren zu erwarten, dass der Phosphorgehalt im kommunalen Klärschlamm in der Steiermark ansteigt.

Mithilfe der vorhandenen Daten über das Klärschlammaufkommen von 2000-2004 konnten weiter die potenziellen Standorte für zwei Klärschlammverwertungsanlagen definiert werden. Es sind dies Graz-Gössendorf mit dem Einzugsgebieten West-, Süd- und Oststeiermark und einem Klärschlammaufkommen von rund 12.800 t TS/a (unter Berücksichtigung von Kläranlagen mit einem jährlichen kommunalen Klärschlammaufkommen >100 t TS) und Leoben mit den Einzugsgebieten oberes Murtal und Mürztal und einem Klärschlammaufkommen von rund 5.900 t TS/a (unter Berücksichtigung von Kläranlagen mit einem jährlichen kommunalen Klärschlammaufkommen > 100 t TS). Die Auswahl erfolgte einerseits nach sinnvollen Einzugsgebieten (West-, Süd- und Oststeiermark für Graz-Gössendorf sowie Mur-, Mürz- und Palten-Liesingtal bis Liezen für Leoben) sowie andererseits aufgrund der Tatsache, dass die Kläranlagen an diesen beiden Standorten das größte kommunale Klärschlammaufkommen pro Jahr in der Steiermark aufweisen. Das nutzbare Klärschlamm-potenzial könnte durch Einbeziehung kleinerer Kläranlagen (< 100 t TS/A) noch weiter gesteigert werden (Graz-Gössendorf um rund 10%, Leoben und etwa 4 %). Die mengengewichteten Klärschlamm-trockensubstanzgehalte in diesen beiden Einzugsgebieten liegen bei 23,3 (ohne Graz-Gössendorf) bzw. 25,3%. Da auch die arithmetischen Mittelwerte in diesem Bereich liegen, wurde für die Anlagenauslegung von einem mittleren Trockensubstanzgehalt von 25% ausgegangen.

Diese Standorte stellen nur eine vorläufige Auswahl dar, da detaillierte Informationen über geeignete Standorte (verfügbare Fläche für die Klärschlammverwertungsanlage, mögliche

Synergieeffekte durch gemeinsame Nutzung von Ressourcen und Personal, Qualität des anfallenden Klärschlammes) im Rahmen dieser Studie nicht genauer untersucht und bewertet werden konnten.

Das geplante Klärschlammverwertungskonzept besteht aus drei wesentlichen Abschnitten, einer Klärschlamm-trocknung, einer Klärschlammverbrennung und einer Klärschlamm-aschenverwertung. Für die Klärschlamm-trocknung kommen prinzipiell drei Trocknungsarten in Frage. Es sind dies Konvektionstrockner (Band- und Trommeltrockner), Kontakt-trockner (Wirbelschicht-trockner, Dünnschicht-trockner, Schnecken-trockner) sowie solare Trocknungsanlagen. Solare Trocknungsanlagen stellen dabei eine Besonderheit dar, weil sie Sonnenenergie nach dem Prinzip eines Glashauses zur Trocknung verwenden und damit den Bedarf an zusätzlich notwendiger Wärmezufuhr reduzieren, aber sehr große Flächen erfordern.

Die Auswahl des Trocknungsverfahrens wird durch die Art der eingesetzten Klärschlammverbrennungstechnologie beeinflusst. Die gängigsten Verfahren stellen Etagenöfen, Wirbelschichtfeuerungen, Zyklonfeuerungen oder Kombinationsfeuerungen dar, die mit Klärschlamm mit einem Trockensubstanzgehalt von 55% (Wirbelschichtfeuerungen) bis etwa 94% (Zyklonfeuerungen) betrieben werden können. Die Klärschlamm-aschenverwertung stellt ein von der Firma ASH DEC Umwelt AG (ASH DEC) entwickeltes Verfahren zur Klärschlamm-aschenverwertung dar, das auf einer thermochemischen Behandlung der Klärschlamm-asche beruht, und sich im Wesentlichen in die Teile Aschenaufbereitung, thermische Behandlung der Asche inklusive Rauchgasreinigung und Düngemittelherstellung gliedert.

Die Asche wird dabei mit (Erd-)Alkalichloriden versetzt und anschließend einer thermischen Behandlung in einem Drehrohrofen bei rund 1.000°C unter oxidierender Atmosphäre unterzogen. Dabei werden relevante Mengen der in der Asche enthaltenen Schwermetalle in Chloride übergeführt und verdampft, welche in einer anschließenden Rauchgasreinigungsstufe in konzentrierter Form abgeschieden und so von den Aschen abgetrennt werden. Ein gewünschter Nebeneffekt der thermischen Behandlung ist die vollständige Zerstörung von gegebenenfalls in der Asche enthaltenen organischen Schadstoffen durch vollständige Verbrennung. Das Produkt aus Aufbereitung und thermischer Behandlung ist ein schwermetallarmer Rohstoff, der relevante Nährstoffmengen P, Ca, Mg und K enthält.

Auf Basis der beiden definierten Einzugsgebiete wurden die zu erwartenden Klärschlammverwertungspotenziale im Rahmen des in der Steiermark geplanten dezentralen Klärschlammverwertungskonzepts ermittelt. Da Kläranlagen, die bereits jetzt ihre Klärschlämme thermisch verwerten (allen voran Graz-Gössendorf, aber auch einige andere kleinere Kläranlagen) oder über andere vertraglich fixierte Verwertungsschienen (z.B. Kompostierung) verfügen, für das geplante Verwertungskonzept kurzfristig nicht zur Verfügung stehen, wurde ein derzeit als realistisch betrachtetes Verwertungspotenzial von 12.000 t TS/a an kommunalem Klärschlamm in der Steiermark definiert. Davon fallen 8.000 t TS pro Jahr auf das Einzugsgebiet Graz und weitere 4.000 t TS pro Jahr auf das Einzugsgebiet Leoben. Bei einem Aschegehalt von 50% TS bedeutet dies einen jährlichen Ascheanfall von 6.000 t, was den minimalen Durchsatz für die geplante Klärschlamm-ascheaufbereitungsanlage darstellt. Eine Aufteilung der Aschebehandlungskapazitäten auf mehr als einem Standort ist daher nicht sinnvoll.

Auf Basis dieser Rahmenbedingungen wurden zwei Konzeptvarianten erstellt. Variante 1 sieht nur einen Standort mit einer kompletten Anlage für einen Jahresdurchsatz an kommunalem Klärschlamm von 12.000 t TS, bestehend aus Klärschlamm-trocknung, Klär-

schlammverbrennung und Klärschlamm-Ascheaufbereitung vor. Variante 2 umfasst je einen Standort in den definierten Einzugsgebieten mit kombinierter Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlage (Klärschlamm-durchsatz Einzugsgebiet Graz 8.000 t TS/a, Einzugsgebiet Leoben 4.000 t TS/a), wobei an einem dieser beiden Standorte (vorzugsweise an jenem mit dem größeren Klärschlamm-durchsatz für Trocknung und Verbrennung) auch die Ascheaufbereitungsanlage errichtet werden soll.

Nach Festlegung der Anlagengrößen wurden von 3 österreichischen Anbietern Richtpreisangebote für Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlagen eingeholt, um mögliche Ausführungsvarianten für das Verwertungskonzept zu ermitteln. Durch die Auswahl der Anbieter (ALDAVIA Bioenergy GmbH, ANDRITZ AG und KALOGEO Anlagenbau GmbH) konnten drei verschiedene Trocknungs- und Verbrennungstechnologien genauer untersucht werden.

ALDAVIA arbeitet mit Schnecken-trocknern, in denen der Klärschlamm auf etwa 65 % Trockensubstanzgehalt getrocknet wird, bevor dieser in eine Kombination aus Flugstrom- und Rostfeuerung verbrannt wird. Die Reinigung der Trockner-abluft erfolgt über einen Biofilter. Der Klärschlamm wird über eine spezielle Mischeinrichtung, die den Einsatz von maximal drei verschiedenen Brennstoffen ermöglicht, auf ein Schleuderrad aufgegeben, das den Brennstoff ohne Zugabe von Luft in den Feuerraum einschleudert. In der Flugphase beginnt bereits die Trocknungs- und Entgasungsphase des Brennstoffs, sodass bei Auftreffen auf dem Rost die Klärschlamm-teilchen bereits getrocknet sind und somit gleichmäßige Bedingungen am Brennstoffbett herrschen. Das entstehende Rauchgas (zur Entstickung wird in der Sekundärverbrennungszone Harnstoff eingedüst) wird in einem Thermoölkessel auf etwa 320°C abgekühlt und dann einer Rauchgasreinigung, bestehend aus Trockensorption (Trockensorptionsmittel Sorbalit) und Wäscher, zugeführt. Das im Thermoölkessel auf etwa 290°C erhitzte Thermoöl dient als Wärmeträger für den Schnecken-trockner. Beim festgelegten Heizwert von 10 MJ/kg TS (Eingangstrockensubstanzgehalt 25%) ist kein energieautarker Betrieb der Anlagen möglich. Neben dem geringen Heizwert trägt auch der relativ niedrige Wirkungsgrad der Anlage (rund 66%) zum hohen Erdgasverbrauch während des Betriebes (rund 773.000 Nm³/a oder 7.730 MWh/a) bei. Der elektrische Energiebedarf der von ALDAVIA konzipierten Anlage ist niedriger (2.240 MWh/a) als jener der anderen Anbieter. ALDAVIA hat nach eigenen Angaben zwei Referenzanlagen in Europa errichtet.

Das von ANDRITZ AG entwickelte Konzept sieht die Trocknung in einem Trommel-trockner vor, wo der Klärschlamm auf einen Trockensubstanzgehalt von 90 bis 95% getrocknet wird. Die Trockner-luft wird aufbereitet (kondensiert) und danach wieder im Rauchgas-wärmetauscher erwärmt. Ein Teilstrom wird dabei abgezweigt und über einen Biofilter abgeführt. Der Klärschlamm wird anschließend in einer Zyklonfeuerung bei etwa 750°C bis 850°C verbrannt. Zur Reduktion von Stickoxidemissionen wird Harnstoff in die Sekundärverbrennungszone (Nachbrennkammer) eingeblasen. In der Nachbrennkammer wird das Rauchgas für mindestens zwei Sekunden auf über 850°C gehalten, um organische Schadstoffe sicher zu zerstören. Durch die Geometrie der Zyklonfeuerung wird bereits ein Großteil (> 93%) der anfallenden Asche in der Feuerung abgeschieden. Der aus der Zyklonbrennkammer ausgetragene Flugstaub wird dann in der Rauchgasreinigung abgeschieden. Die Wärmeübertragung erfolgt über einen Rauchgas/Luft-Wärmetauscher, in dem die für die Trocknung verwendete Luft auf etwa 400°C bis 450°C aufgeheizt und das Rauchgas auf etwa 200 °C abgekühlt wird. Anschließend wird das Rauchgas in einer mehrstufigen Rauchgasreinigung (Trockensorption unter Eindüsung von Kalkhydrat und

Aktivkohle in einen Reaktor mit anschließendem Gewebefilter) gereinigt. Durch den geringen Wassergehalt des Brennstoffs und der geringeren Rauchgastemperatur nach der Wärmerückgewinnung im Vergleich zu ALDAVIA liegt der Anlagenwirkungsgrad bei knapp 83 %. Aufgrund des geringen festgelegten Heizwertes des Klärschlammes (10 MJ/kg TS, Eingangstrockensubstanzgehalt 25%) reicht die bei der Verbrennung gewonnene Wärmeenergie allerdings nicht aus, um den Klärschlamm energieautark zu trocknen. Es werden daher pro Jahr zusätzlich etwa 316.300 Nm³ (3.163 MWh/a) Erdgas benötigt. Steigt der Heizwert über 12 MJ/kg TS bei gleich bleibenden Eingangstrockensubstanzgehalt an, kann die von der ANDRITZ AG konzipierte Anlage energieautark betrieben werden. Durch die teilweise Rückgewinnung der bei der Kondensation der Trocknerabluft frei werdenden Wärme, kann allerdings ein großer Teil der bei der Trocknung eingesetzten Energie als Niedertemperaturwärme optional genutzt werden. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus (80°C) ist eine direkte Nutzung der Wärme in der Anlage nicht möglich, die Wärme kann aber an entsprechende Verbraucher (z.B. Fernwärmenetz) verkauft werden. Für eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung der Niedertemperaturwärme sollte ein Wärmeabnehmer mit konstantem Wärmebedarf in der Nähe des Standortes verfügbar sein. Durch die komplexe Anlagentechnik (Kreislaufführung von getrocknetem Klärschlamm zur Optimierung des Trocknungsvorgangs und teilweise Kreislaufführung der Trocknerluft) ist der elektrische Energiebedarf der Anlage relativ hoch (4.725 MWh/a). Die ANDRITZ AG hat bisher eine Referenzanlage in Österreich (Eferding) errichtet.

KALOGEO setzt bei der Trocknung auf Sonnenenergie bzw. anderer „kalter“ Trocknungsverfahren. Mithilfe einer solaren Trocknungsanlage (alternativ können Bandtrockner, Umlufttrockner oder Kältetrockner eingesetzt werden) wird der Klärschlamm auf etwa 60% Trockensubstanzgehalt getrocknet. Der Klärschlamm wird dabei mittels Radlader in die Trocknungshallen eingebracht und anschließend über automatische Wende- und Transportvorrichtungen gleichmäßig verteilt. Nach Erreichung des gewünschten Trockensubstanzgehalts (Trocknungszeiten liegen im Durchschnitt bei etwa 10 Tagen) wird der Klärschlamm entweder automatisch oder mittels Radlader ausgetragen und der Verbrennungsanlage zugeführt. Der Vorteil des geringeren Energiebedarfs durch Mitnutzung von Sonnenenergie sowie der Wegfall einer Trocknungsabluftreinigung (durch die großen Mengen an umgewälzter Luft in den Trocknungshallen wird die Trocknungsluft so verdünnt, dass keine Reinigung über Biofilter o.ä. notwendig ist) ist mit dem Nachteil des großen Platzbedarfs von Solartrocknungsanlagen abzuwiegen. Für die im Klärschlammverwertungskonzept festgelegte Durchsatzmenge von 12.000 t TS pro Jahr ist bereits annähernd 1 ha Grundfläche notwendig. Durch Einsatz von Abwärme kann der Platzbedarf aber auf weniger als die Hälfte reduziert werden.

Der getrocknete Klärschlamm wird in einer Wirbelschichtfeuerung verbrannt. Die Verbrennung ist zweistufig aufgebaut. Direkt in der Wirbelschicht wird der Klärschlamm unter Sauerstoffmangel bei etwa 700°C vergast (Primärverbrennungszone), in der anschließenden Nachbrennkammer erfolgt bei Temperaturen von über 850°C die vollständige Verbrennung der noch im Rauchgas vorhandenen organischen Komponenten. Durch die niedrigen Temperaturen und die gute Luftführung im Wirbelschichtreaktor sind keine besonderen Maßnahmen zur Entstickung des Rauchgases notwendig (Anmerkung: hierbei handelt es sich um eine Herstellerangabe, die von den Autoren der Studie nicht bestätigt werden kann und sicherlich vom vorgeschriebenen NO_x-Grenzwert abhängt). Das Rauchgas wird im an die Nachbrennkammer anschließenden Thermoölkessel und nachfolgenden Thermoöleconomiser auf etwa 200 °C

abgekühlt. Das Thermoöl wird dabei auf etwa 240 °C erhitzt und zur Unterstützung der solaren Trocknung verwendet. Das abgekühlte Rauchgas wird mittels Trockensorption (Eindüngung von Kalkhydrat und Aktivkohle) und Keramikfilter gereinigt. Vor der Trockensorption ist ein Multizyklon vorgesehen, um die Asche vom Rauchgas abzutrennen. Somit können 95% der Klärschlammasche vor der Rauchgasreinigung als Zyklonflugasche ausgeschleust werden. Der Rest fällt gemeinsam mit den Trockensorptionsmitteln als Flugasche an. Beide Fraktionen werden gemeinsam in der Klärschlammverwertungsanlage weiterverarbeitet. Durch den zusätzlichen Energieeintrag durch Sonnenenergie bei der Trocknung reicht die bei der Verbrennung anfallende Wärmeenergie aus, um die Anlage energieautark zu betreiben. Da der Energieeintrag durch Sonnenenergie aber witterungsbedingten und saisonalen Schwankungen unterliegt, ist für den ganzjährigen Betrieb der Einsatz von Erdgas (160.000 Nm³ pro Jahr oder 1.600 MWh/a) notwendig. In Zeiträumen mit starker Sonneneinstrahlung kann aber auch Wärme (3.754 MWh/a) ausgekoppelt und verkauft werden. KALOGEO betreibt eine Referenzanlage in Österreich (Bad Vöslau).

Die beiden Konzeptvarianten weisen hinsichtlich Stoff- und Energiebilanz nur vereinzelt Unterschiede auf. Variante 1 bietet Vorteile beim elektrischen Energiebedarf und etwas geringeren Personalaufwand. Weiters sind die Investitionskosten für eine Anlage niedriger als für zwei Anlagen mit derselben Kapazität. Variante 2 bietet hingegen Vorteile bei den Transportkosten, da zwei Anlieferungsstellen für den Klärschlamm vorhanden sind und anschließend nur mehr Asche (mit einer Massenreduktion im Vergleich zu Klärschlamm mit 25% TS um mehr als 87 %) von einem Standort zum Standort der Klärschlammascheaufbereitung transportiert werden muss. Ausgedrückt in transportierten Tonnen und Kilometern müssen bei Variante 1 2,6 Mio. t*km und bei Variante 2 1,9 Mio. t*km zurückgelegt werden. Da die Transportkosten neben der transportierten Tonnage auch von der Distanz und den Transportmitteln (Container, Mulden) abhängen, war es im Rahmen dieser Studie nicht möglich, die Unterschiede in den Transportkosten beider Varianten genau zu quantifizieren.

Eine generelle Verbesserung der Wirtschaftlichkeit kann durch einen höheren Heizwert erreicht werden. Da der Aschegehalt meist nicht beeinflusst werden kann, sollte vor allem der Trockensubstanzgehalt der angelieferten Klärschlämme so hoch wie möglich sein. Hier könnten dezentrale Trocknungsanlagen, die direkt an Standorten mit ungenutzten Wärmepotenzialen wie Biogasanlagen, Kläranlagen oder Industriebetrieben betrieben werden und den Klärschlamm vortrocknen, die Energiebilanz und damit die Wirtschaftlichkeit der Klärschlammverbrennungsanlagen entscheidend verbessern. Je nach eingesetzter Trocknungstechnologie kann bereits Abwärme ab einer Temperatur von 60°C eingesetzt werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Klärschlamm-trocknungs- und Klärschlammverbrennungsanlagen hängt neben dem Heizwert des Klärschlamms in großem Maße von den erzielbaren Entsorgungsbeiträgen für den Klärschlamm ab. Abhängig von der Verwertungs- bzw. Entsorgungsschiene liegen die Entsorgungskosten zwischen 35 (thermische Verwertung von getrocknetem Klärschlamm mit >80% TS im Zementwerk) und 150 €/t FS (thermische Entsorgung von Klärschlamm mit niedrigem Trockensubstanzgehalt). Die Entsorgungsbeiträge für die thermische Verwertung außerhalb der Zementindustrie liegen laut durchgeführten Recherchen zwischen 55 und 75 €/t FS. Es ist anzunehmen, dass die erzielbaren Entsorgungsbeiträge für die Annahme von entwässertem Klärschlamm im Rahmen des in dieser Studie vorgestellten Klärschlammverwertungskonzeptes ebenfalls in diesem Bereich liegen würden.

Die weitere Aufbereitung der Klärschlammaschen in der Klärschlammascheverwertungsanlage ist aufgrund des für eine derartige Anlage relativ geringen Durchsatzes aber vor allem

aufgrund des geringen Phosphorgehaltes im Klärschlamm respektive den Klärschlammaschen als derzeit wirtschaftlich schwierig zu betrachten. Für eine Verbesserung des wirtschaftlichen Ergebnisses sollten Aschen mit höheren Phosphorgehalten eingesetzt werden, um einerseits den Durchsatz und damit die spezifischen Kosten zu reduzieren, und andererseits den durchschnittlichen Phosphorgehalt in den aufzubereitenden Aschen zu erhöhen. Im Gegensatz zur Klärschlamm-trocknung kann nur hochwertige Energie im thermischen Prozess der Ascheverwertungsanlage genutzt werden. Hinsichtlich Standortauswahl ist daher die Verfügbarkeit von alternativen Brennstoffen (Biogas oder Faulgas) wichtig.

Bei Umsetzung des in dieser Studie vorgeschlagenen Klärschlammverwertungskonzeptes bleiben rund 90% des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors in der behandelten Klärschlammasche. Im Gegensatz dazu kann ein Großteil der Schwermetalle aus den Aschen weitgehend entfernt werden. Neben Hg, das vollständig aus den Klärschlammaschen entfernt werden kann, werden Cd und Pb zu 96 % bzw. 93 % entfrachtet. Die mengenmäßig am häufigsten im Klärschlamm vorkommenden Schwermetalle Zn und Cu werden zu 68,5 bzw. 87 % aus den Klärschlammaschen ausgeschleust.

Unter der Annahme, dass die gesamte Menge an Klärschlamm, die derzeit über die Verwertungsschienen Landwirtschaft und Landschaftsbau (insgesamt 15.420 t TS pro Jahr) direkt auf Böden aufgebracht wird, in Zukunft über das vorgestellte Klärschlammverwertungskonzept behandelt wird, können damit insgesamt rund 14 t an Schwermetallen aus dem Kreislauf ausgeschleust werden. Hinsichtlich des Ersatzes von Kunstdüngern können bei einem jährlichen Klärschlamm-durchsatz von 12.000 t TS 587 t P_2O_5 , das sind 7,2 % des jährlich in der Steiermark umgesetzten Phosphordüngers, substituiert werden. Bei voller Ausnutzung des Klärschlammaufkommens in den beiden definierten Einzugsgebieten von 20.298 t TS/a (unter Miteinbeziehung von Kläranlagen mit einem Klärschlammaufkommen von 50 bis 100 t TS pro Jahr) und Verwertung dieser Menge über das vorgestellte Klärschlammkonzept in der Steiermark könnten jährlich 993 t P_2O_5 oder 12,2% der jährlich in der Steiermark eingesetzten P-Kunstdüngermenge substituiert werden.

Die Abscheidung von Schwermetallen aus den Klärschlämmen im Rahmen des vorgestellten dezentralen Klärschlammverwertungskonzeptes birgt daher ein großes Potenzial zur Verringerung der Schadstoffbelastung der Steiermärkischen Böden und des Grundwassers und schont die zur Neige gehenden Rohphosphatlager. Das geprüfte technische Konzept der Klärschlammverbrennung und Klärschlammaschenaufbereitung ist daher als ökologisch sehr positiv zu bewerten.

Hinsichtlich der weiteren Vorgangsweise wird empfohlen, mit den Betreibern der definierten Einzugsgebiete Kontakt aufzunehmen, um genauere Informationen über die Qualität des Klärschlammes (Trockensubstanzgehalt, insbesondere Heizwert und Aschengehalt in der Trockensubstanz) und die Rahmenbedingungen vor Ort (zur Verfügung stehende Fläche, Verfügbarkeit von Abwärme oder Faulgas, Wille zur Zusammenarbeit) zu erhalten.

In diesem Zusammenhang sind auch Standorte mit Biogasanlagen zu prüfen, da sich hier vor allem hinsichtlich der Nutzung von Abwärme und Biogas zur Reaktorbeheizung erhebliche Synergieeffekte ergeben könnten.

6 Literatur

- 1 OBERHUMER Max, VÖTSCH Rupert, 2003: Umwelterklärung 2003 – Sappi Werk Gratkorn, Sappi Austria Produktions-GmbH & Co. KG (Hrsg.), Gratkorn, Österreich
- 2 KUTSCHERA Ute, SCHINDLER Ilse, WIESENBERGER Herbert, 2004: Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten - Pöls. In: Monographien, Band 168 - Medienübergreifende Umweltkontrolle in ausgewählten Gebieten, Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), Wien, Österreich
- 3 FELSBERGER Günter, GUNGL Erich, ILLITSCH Günther, 2005: Landesabfallwirtschaftsplan-Steiermark 2005, Ämtern der Steiermärkischen Landesregierung: FA 19 D - Abfall- und Stoffflusswirtschaft (Hrsg.), Gratkorn, Österreich
- 1 BRUNNER Angelika, EISTERT Thomas, RASSAERTS Heinz, 2001: Salzburger Klärschlamm-Konzept 2001, Amt der Salzburger Landesregierung: Abteilung 16 (Hrsg.), Salzburg, Österreich
- 2 SCHARF Sigrid, SCHNEIDER Manfred, ZETHNER Gerhard, 2004: Umweltbundesamtmonographie M 095 – Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich, Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), Wien, Österreich
- 1 AEVG, 2006: Geschäftsbericht 2005, AEVG (Hrsg.), Graz, Österreich
- 2 KÜGLER Ingo, ÖHLINGER Andreas, WALTER Birgit, 2004: Umweltbundesamtbericht BE 260 – Dezentrale Klärschlammverbrennung, Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.), Wien, Österreich
- 3 Gespräch mit Herrn Kohl, Geschäftsführer des Abwasserverbandes Leibnitzerfeld Süd am 13.02.2007 in Straß, Österreich.
- 4 HATTENBERGER, Manfred (UEG), 2007: E-mail vom 16.2.2007, Graz, Österreich
- 5 STEIERMÄRKISCHE LANDESREGIERUNG, 1987: Klärschlammverordnung, 1987, LGBl. Nr. 89/1987, Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.), Graz, Österreich
- 6 ÖSTERREICHISCHE BUNDESREGIERUNG, 2001: Kompostverordnung, 2001, BGBl. II Nr. 292/2001, Österreichische Bundesregierung (Hrsg.), Wien, Österreich
- 1 HRUSCHKA, 2000: Merkblatt Nr. 4.6/1-Schwermetalle im kommunalen Abwasser und Klärschlamm, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.), München, Deutschland
- 1 Brief von Dr. Gerd Kley, Leiter der Arbeitsgruppe IV.33 der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung vom 09.01.2007 an die ASH DEC Umwelt AG
- 2 THOMÉ-KOZMIENSKY Karl J., 1998: Klärschlamm Entsorgung – Enzyklopädie der Kreislaufwirtschaft, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), Neuruppin, Deutschland
- 3 Gespräch mit Herrn Staber, Senior Sales Manager der ANDRITZ AG am 14.12.2006 in Graz, Österreich.
- 4 HASLAUER, Edwin, 2003: Überprüfung des Klärschlammes der KA Passail, Laborgemeinschaft Hutter+Haslauer (Hrsg.), Graz, Österreich
- 5 MÜHLBACHER, M. 2003: Klärschlammanalyse Abwasserverband Wörthersee-West, Hydrologische Untersuchungsstelle Salzburg (Hrsg.), Salzburg, Österreich
- 6 ZITZENBACHER, Daniela, 2004: Untersuchung des Ausbrandverhaltens von getrocknetem Klärschlammgranulat, Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich
- 7 THOMÉ-KOZMIENSKY Karl J., 2001: Verantwortungsbewusste Klärschlammverwertung, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky (Hrsg.), Neuruppin, Deutschland

- 8 CHEMIEINGENIEURTECHNIK, 1999: Marktübersicht: Trockner, , CITplus – Zeitschrift für Chemie-Ingenieur-Technik; GIT Verlag – Fachverlag für Wissenschaft-Technik-Medizin (Hrsg.), Darmstadt, Deutschland
- 9 CHEMIEINGENIEURTECHNIK, 2001: Marktübersicht: Trockner, , CITplus – Zeitschrift für Chemie-Ingenieur-Technik; GIT Verlag – Fachverlag für Wissenschaft-Technik-Medizin (Hrsg.), Darmstadt, Deutschland
- 10 CHEMIEINGENIEURTECHNIK, 2002: Marktübersicht: Trockner, CITplus – Zeitschrift für Chemie-Ingenieur-Technik; GIT Verlag – Fachverlag für Wissenschaft-Technik-Medizin (Hrsg.), Darmstadt, Deutschland
- 11 PROCESS., 2004: Marktübersicht: Trockner für die Verfahrenstechnik, PROCESS – Magazin für die Chemie und Pharmatechnik; Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG (Hrsg.), Würzburg, Deutschland
- 12 KNAUTZ, M., RAMAKRISHNAN, C., RAMHARTER, P. M., ZWEILER, R., 2005: Dezentralized energy utilization in fluidized beds: Incineration of low calorific fuels (< 7 MJ/kg) in small to medium size plants. Paper, IEA Konferenz Mai 2006
- 13 THERMO-SYSTEM, 2006: Broschüre: Solare Klärschlamm-trocknung, THERMO-SYSTEM Industrie- & Trocknungstechnik GmbH (Hrsg.), Filderstadt-Bernhausen, Deutschland
- 14 IST ANLAGENBAU, 2006: Solare Klärschlamm-trocknung-Übersicht der realisierten Anlagen, IST ANLAGENBAU GmbH (Hrsg.), Kandern, Deutschland
- 15 MÜLLER J., 2006: Solare Klärschlamm-trocknung, THERMO-SYSTEM Industrie- & Trocknungstechnik GmbH (Hrsg.), Filderstadt-Bernhausen, Deutschland
- 16 ALDAVIA, 2006: Energetische Schlammverwertung, ALDAVIA – BioEnergy GmbH (Hrsg.), Pfarrkirchen, Deutschland
- 17 ARRICH W. (ALDAVIA), 2007: Richtpreisangebot: Klärschlammverbrennungsanlage inklusive vorgeschalteter Klärschlamm-trocknung und Rauchgasreinigung, ALDAVIA-BioEnergy Company GmbH (Hrsg.), Linz, Österreich
- 18 OBERNBERGER I., 1997: Stand und Entwicklung der Verbrennungstechnik, In: VDI Bericht 1319, pp.47-80,1997, „Thermische Biomassenutzung - Technik und Realisierung“, ISBN 3-18-0913 19-3, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, Deutschland
- 19 HERMANN L., PRINZHORN G. , 2006: Technologiepräsentation A: P-Mehrnährstoffdünger aus Kklärschlammaschen, ASH DEC Umwelt AG (Hrsg.), Wien, Österreich
- 20 ARRICH, Werner (ALDAVIA), E-mail vom 8.2.2007, Linz, Österreich
- 21 ALVAVIA Bioenergy GmbH: Energetische Schlammverwertung, ALDAVIA Bioenergy GmbH (Hrsg.), Linz Österreich
- 22 www.sued-muell.de/, Süd-Müll GmbH + CO.KG für Abfalltransporte und Sonderabfallbeseitigung, Hessheim, Deutschland
- 23 www.trema.de/, TREMA Verfahrenstechnik GmbH, Kemnath, Deutschland
- 24 TRATTNER K. (ANDRITZ), 2007: Richtpreisangebot: Klärschlammverbrennungsanlage inklusive vorgeschalteter Klärschlamm-trocknung und Rauchgasreinigung, ANDRITZ AG (Hrsg.), Graz, Österreich
- 25 RAMHARTER P. (KALOGEO), 2007: Richtpreisangebot: Klärschlammverbrennungsanlage inklusive vorgeschalteter Klärschlamm-trocknung und Rauchgasreinigung, KALOGEO Anlagenbau GmbH (Hrsg.), Leobersdorf, Österreich
- 26 ÖSTERREICHISCHE BUNDESREGIERUNG, 2004: Düngemittelverordnung, 2004, BGBl. II Nr. 100/2004, Österreichische Bundesregierung (Hrsg.), Wien, Österreich
- 27 Telefonat mit Frau Christine Pötler, AVE Entsorgungs-GmbH am 15.3.2007.

- 28 Agrarmarkt Austria (AMA), 2006: Marktbericht Getreide und Ölsaaten Februar 2006, Jahrgang 2006, 2.Stück, Agrarmarkt Austria (Hrsg.), Wien, Österreich