



Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung: Wir planen von A bis Z.

Über 40 Jahre erfolgreich am Markt

- Projektentwicklung
- Standort- und Verfahrensevaluation
- Anlagenkonzept
- Vorplanung, Genehmigungsplanung
- Ausschreibung
- Überwachung der Ausführung
- Betriebsoptimierung
- Betriebs-, Störfall-, Risikoanalysen
- Umweltverträglichkeitsberichte
- Gesamtanlagen
- Verfahrenstechnik
- Prozessautomation und Elektrotechnik (EMSRL-T)
- Bauteil inklusive Logistik

Planung von Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung

Felix Trachsel

1.	Einführung.....	987
2.	Thermische Behandlungsmöglichkeiten.....	988
2.1.	Trocknung.....	988
2.2.	Mitverbrennung in einer MVA	988
2.3.	Integrierte Verbrennung in einer MVA.....	989
2.4.	Monoverbrennung	989
3.	Phosphorrückgewinnung.....	989
4.	Die Planung der neuen KSV Zürich.....	990
4.1.	Vorgeschichte.....	990
4.2.	Konzept zur Klärschlammverwertung	990
4.3.	Standortwahl.....	990
4.4.	Datenermittlung am Standort	991
4.5.	Ausschreibung und Vergabe	992
4.6.	Projektfahrplan.....	993
4.7.	Projektorganisation in der Projektierungsphase.....	995
5.	Literatur	995

1. Einführung

Klärschlamm wird aller Voraussicht nach in der Zukunft nicht mehr in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. Die Belastung der Landwirtschaftsflächen durch die im Klärschlamm enthaltenen anorganischen und organischen Schadstoffe, darunter Spuren von Medikamenten und Hormonen soll damit unterbunden werden. Europaweit werden Beschränkungen eingeführt und gleichzeitig neue Entsorgungswege vorgegeben. Grundsätzlich müssen unsere Landwirtschaftsflächen aber nach wie vor gedüngt werden, unter anderem mit dem essentiellen Nährstoff Phosphor, der im Klärschlamm reichlich vorhanden ist. Die natürlichen Phosphorvorkommen sind dagegen zwar wohl noch nicht knapp, aber begrenzt. Daher ist es zur Schliessung des Phosphorkreislaufs

sinnvoll, den Phosphor aus dem Klärschlamm zurückzugewinnen. In der Schweiz ist seit 2006 nicht nur die Deponierung sondern auch die landwirtschaftliche Ausbringung von Klärschlamm untersagt, seit 2008 sind auch Ausnahmen nicht mehr zugelassen. Auch in den übrigen europäischen Ländern steht die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm zunehmend unter Kritik. Wahrscheinlich werden aber nicht die gleichen drastischen Lösungen wie die der Schweizer Regierung übernommen, aber die allgemeine Entwicklung wird auf jeden Fall diesem Trend folgen. Ein heute mehr und mehr begangener Weg ist die thermische Verwertung des Klärschlammes in einer Monoverbrennung und die nachfolgende Rückgewinnung des Phosphors aus der Asche. Thermische Verfahren werden seit langer Zeit angewendet und haben darum eine hohe Zuverlässigkeit erreicht. Es gibt verschiedene Verfahren, die im nächsten Kapitel kurz beschrieben werden.

2. Thermische Behandlungsmöglichkeiten

Grundsätzlich gibt es heute vier alternative Wege für die thermische Behandlung von entwässertem Klärschlamm:

- Trocknung und anschliessend Verbrennung in einem eigenen Ofen, einer MVA, in einem Kohlekraftwerk oder einem Zementwerk
- Mitverbrennung mit festen Abfällen in einer MVA oder einem Kohlekraftwerk
- Integrierte Verbrennung, das heisst in eigenen Öfen innerhalb einer MVA, kombiniert mit einer gemeinsamen Abgasreinigung für die Klärschlamm- und Abfallverbrennung
- Monoverbrennung in eigenen Öfen

2.1. Trocknung

Das Trocknen von entwässertem Schlamm hat das Ziel, eine Feststoffkonzentration von mindestens 90 Prozent zu erreichen. Dazu werden in der Regel Bandtrockner, Trommeltrockner oder Fliessbettrockner eingesetzt.

Die notwendige Trocknungsenergie wird meist aus fossilen Brennstoffen erzeugt. Aufgrund des starken Anstiegs der Brennstoffkosten ist diese Art der Trocknung teuer geworden.

Dank seinem relativ hohen Heizwert, der je nach organischem Anteil zwischen 7.000 und 14.000 kJ/kg liegt, ist getrockneter Klärschlamm in der Industrie ein beliebter Alternativbrennstoff zu fossilen Brennstoffen.

2.2. Mitverbrennung in einer MVA

In Mitverbrennungsanlagen wird meist entwässerter Klärschlamm (EKS), aber auch getrockneter Klärschlamm (TKS) zusammen mit festen Abfällen verbrannt, wobei

im ersten Fall eine gute Abfall-EKS-Durchmischung für einen störungsfreien Betrieb entscheidend ist. Der maximale EKS-Anteil liegt in der Grössenordnung von 10-15 Prozent der Abfallmenge.

2.3. Integrierte Verbrennung in einer MVA

In diesem Verfahren wird der Klärschlamm innerhalb einer MVA verbrannt, in einer speziell dafür geeigneten Einheit wie beispielsweise einem Drehrohr oder einem Wirbelschichtofen. Die Abgase werden der Abgasreinigung der MVA zugeführt und dort gemeinsam behandelt. Auf diese Weise ergeben sich interessante und profitable Synergien.

2.4. Monoverbrennung

Bei der Monoverbrennung handelt es sich um Anlagen und Prozesse, die vollständig auf die Klärschlammverbrennung ausgerichtet sind. Die derzeit am häufigsten eingesetzte Technologie ist die Wirbelschichtfeuerung.

3. Phosphorrückgewinnung

Phosphor ist ein weltweit begrenztes chemisches Element. Es ist für alle Lebewesen essentiell für den Aufbau und die Funktion des Organismus. Phosphor kann nicht hergestellt oder durch eine Alternative ersetzt werden, wodurch dem Umgang mit dieser Ressource wachsende Aufmerksamkeit zuteil wird.

Klärschlamm enthält grosse Mengen an Phosphor. Aus diesem Grund wurde Klärschlamm lange Zeit in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt. Diese direkte Rückgewinnung wird zukünftig eingeschränkt. Jedoch kann Phosphor aus bei der Klärschlammverbrennung anfallender Asche prinzipiell sehr gut zurückgewonnen werden, da der Phosphor in der Asche konzentriert vorliegt.

Erste chemische Prozesse zur Phosphorrückgewinnung aus Asche wurden bereits erfolgreich im kleinen Massstab eingesetzt und die Weiterentwicklung zu grossmasstäblichen Verfahren ist technisch machbar. Zurzeit sind bestehende Probleme weitgehend wirtschaftlicher Natur, da die Kosten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm-Asche im Vergleich zum aktuellen Marktpreis noch zu hoch sind.

Die Schweizer Regierung beabsichtigt, eine neue Verordnung zu erlassen, welche nur Klärschlammbehandlungsverfahren erlaubt, die eine Phosphorrückgewinnung garantieren.

Aus den oben beschriebenen thermischen Behandlungsmöglichkeiten werden also nur diejenigen Verfahren erlaubt, bei welchen die Klärschlamm-Asche separat gesammelt wird und so in Zukunft einer Phosphorrückgewinnungsanlage zugeführt werden kann.

Bei den Verfahren, bei denen die Klärschlamm-Asche mit anderen Aschen (Kohle, Abfall) gemischt oder in Zement integriert wird, ist eine Phosphorrückgewinnung nicht mehr sinnvoll möglich.

Die Regierung des Schweizerischen Kantons Zürich hat beschlossen, eine neue Klärschlammverwertungsanlage mittels Monoverbrennung zu bauen und eine eigene Deponie für die Klärschlammasche zu schaffen. Diese Deponie dient der Zwischenlagerung, bis die Phosphorrückgewinnung aus der Asche wirtschaftlich machbar wird. Sie ist somit eine Investition in die Zukunft.

4. Die Planung der neuen KSV Zürich

4.1. Vorgeschichte

Im Klärwerk Werdhölzli in Zürich wurde in der Vergangenheit der anfallende Klärschlamm in Faultürmen ausgefault und anschliessend in einer Filterpresse auf durchschnittlich 28 Prozent TS entwässert. Zwei Drittel des EKS gelangte in eine Trocknungsanlage, wurde auf 92 Prozent TS getrocknet und in einem nahegelegenen Zementwerk als Alternativbrennstoff im Drehrohr eingesetzt. Ein Drittel des EKS wurde in der MVA der Stadt Zürich mitverbrannt.

Vor rund vier Jahren wurden Filterpresse und Trocknungsanlage stillgelegt und seither wird sämtlicher Klärschlamm nach der Faulung in Zentrifugaldekantern der neuen Schlammentwässerungsanlage auf durchschnittlich 30 Prozent TS entwässert und anschliessend in Schlammcontainern der MVA zugeführt, wo er mitverbrannt wird.

4.2. Konzept zur Klärschlammverwertung

Im Jahr 2010 hat der Regierungsrat des Kantons Zürich ein Konzept zur Klärschlammverwertung und -entsorgung erlassen, worin festgehalten ist, dass sämtlicher Klärschlamm des Kantons in einer einzigen thermischen Klärschlammverwertungsanlage (KSV) verwertet werden soll, um sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Kriterien am besten zu erfüllen. Im Weiteren wurden in Zusammenarbeit mit dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft sowie Vertretern der Klärwerke folgende Rahmenbedingungen für die KSV definiert:

- Maximale Rückgewinnbarkeit des Phosphors
- Monoverbrennung in einem Wirbelschichtofen
- Optimale bzw. effiziente Energie-Ausnutzung
- Hohe Betriebssicherheit

4.3. Standortwahl

Nachdem die Konzeptentscheide gefallen waren, haben sich vier Trägerschaften mit total fünf Standorten für die Realisierung der zentralen Klärschlammverwertungsanlage interessiert. Jede Trägerschaft hat für ihre Standorte eine Machbarkeitsstudie erstellt. Darin wurde vertieft untersucht, wie der Klärschlamm in einer Monoverbrennungsanlage verwertet und wie eine solche Anlage optimal in die bestehende Infrastruktur

eingegliedert werden kann. Um die Studien vergleichen zu können, wurden die verfahrenstechnischen Konzepte für alle Standorte gleich vorgegeben, die Rahmenbedingungen genau definiert und der Aufbau der Dossiers standardisiert.

Die Beurteilung der Standorte erfolgte nach den Kriterien Wirtschaftlichkeit, Energienutzung, CO₂-Bilanz, Transportaufwand und Platzreserven am Standort.

In der Bewertung schnitt der Standort Klärwerk Werdhölzli Zürich am besten ab. Die wesentlichen Vorteile des Standorts Klärwerk Werdhölzli waren:

- Die Abwärme der Schlammverbrennung kann im Klärwerk genutzt werden.
- Rund ein Drittel der gesamten Klärschlammmenge des Kantons fällt im Klärwerk Werdhölzli an. Diese Menge muss nicht transportiert werden.
- Das Areal verfügt über die Platzreserven für eine zukünftige Anlage zur Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammmasche.
- Das Brüdenabwasser aus der Schlammvortrocknung kann in der bestehenden Rücklaufwasserbehandlungsanlage verarbeitet werden.
- Im Klärwerk besteht bereits ein Schichtbetrieb. Der Betrieb der neuen Anlage kann in die bestehende Organisation eingegliedert werden.

Gestützt auf die Standortevaluation hat sich die Baudirektion des Kantons Zürich zusammen mit den heute für die Klärschlamm Entsorgung verantwortlichen Trägerschaften im Juni 2010 für das Klärwerk Werdhölzli Zürich als Standort für die neue zentrale Klärschlammverwertungsanlage entschieden. Die Stadt Zürich hat im September 2010 beschlossen, dass sie, vorbehaltlich der Kreditgenehmigung durch die Bevölkerung, die Anlage für den gesamten Kanton durch das städtische Entsorgungsunternehmen ERZ (Entsorgung + Recycling Zürich) realisieren wird.

4.4. Datenermittlung am Standort

In enger Zusammenarbeit mit der Bauherrin ERZ hat ein Planer- und Ingenieurteam der Firma TBF + Partner AG aus Zürich die erforderlichen Grundlagen und Daten für die neue KSV zusammen mit dem Amt für Wasser, Energie und Luft ermittelt und in folgende Bereiche untergliedert:

- Technologie
- Energie- und Stoffbilanz
- Aufstellungsmöglichkeit und Anlagenlayout auf dem Areal des Werdhölzli
- Einbindung der KSV ins Klärwerk (Stoffströme, energetisch)
- Ausfallrisiko, Entsorgungssicherheit
- Betriebskonzept
- Investitions- und Betriebskosten

- Umweltverträglichkeit und UVP
- Realisierungsplan mit Zeitreserven für Bau- und Betriebsbewilligungen und Krediteinholung

4.5. Ausschreibung und Vergabe

Das Besondere dieses KSV-Projektes ist seine gesamtkantonale Bedeutung. Mit einem Lenkungsausschuss und einer technischen Begleitgruppe wird gewährleistet, dass die übergeordneten Ziele im Projekt erreicht werden. Die technische Begleitgruppe mit Vertretern der kantonalen Behörden und Betreibern der bisherigen Entsorgungsanlagen überprüft die Einhaltung der technischen Rahmenbedingungen und Zielsetzungen. Sie stellt auch den Informationsfluss zu den Behörden der bisherigen Trägerschaften sicher. Der politische Lenkungsausschuss mit Vertretern des Kantons und den politisch Verantwortlichen der bisherigen Trägerschaften nimmt die Interessen der Gemeinden wahr und bewilligte den Kreditantrag für das ausgewählte Angebot.

Das Ergebnis der im obigen Kapitel erläuterten Datenermittlung floss direkt in die Ausschreibungsunterlagen ein. ERZ beschloss, die KSV als schlüsselfertige Anlage funktional, als Totalunternehmer (TU)-Submission auszuschreiben. Die Anlagenplanung und Erarbeitung der Ausschreibungsunterlagen erfolgte von November 2010 bis Juni 2011. Die Ausschreibung wurde am 8. Juli 2011 veröffentlicht und enthielt die folgenden Hauptkomponenten bzw. Verfahrensschritte:

- Interne EKS-Schlammübernahme vom Klärwerk Werdhölzli
- Externe EKS-Anlieferung von den anderen Kläranlagen des Kantons Zürich per LKW
- Zwischenlagerung des EKS
- Vortrocknung des EKS mit Brüdenkondensation
- Verbrennung des vorgetrockneten EKS und Rückgewinnung der Wärme in einer Kesselanlage
- Wärmenutzung, welche je nach Verfahren auch eine Stromerzeugung beinhaltet
- Mehrstufige Abgasreinigung inklusive Reststoffbehandlung, mit möglichst hoher Staubabscheidung für eine separate Phosphorrückgewinnung
- Nebenanlagen

Die KSV wird wie eine MVA 24 Stunden pro Tag durchgängig das ganze Jahr betrieben, mit Ausnahme der notwendigen Revisions- und Inspektionsstillstände. Es ist Überwachungspersonal vorhanden, das Konzept sieht jedoch vor, die Anlage für einen Betrieb ohne Beaufsichtigung (automatischer Betrieb) zu realisieren.

Die Arbeit des Totalunternehmers umfasst alle Leistungen für die Realisierung der KSV, einschliesslich der Hauptgruppen:

- (Detail-) Engineering
- Projektbezogenes Qualitätsmanagement
- Ausführungsplanung
- Vorbereitungsarbeiten für die Projektausführung
- Aushubarbeiten
- Hoch- und Tiefbauten
- Mechanische bzw. verfahrenstechnische Anlagen
- Elektroanlagen
- MSR- und leittechnische Anlagen
- Haustechnische Anlagen
- Ausstattung
- Umgebungsarbeiten
- Anschluss an die angrenzende, bestehende Klärschlamm-Entwässerungsanlage (KSE) mit Erweiterung der EKS-Fördereinrichtungen sowie deren baulichen Umgebung (Schnittstellen-Management) und Verbindung zwischen KSE und KSV mittels begehbarem Leitungsgang
- Bauleitung (Gesamt- und Fachbauleitungen, Montageleitung, Koordination)
- Inbetriebsetzung, Tests und Prüfungen
- Schulungen und Instruktionen des Betriebspersonals
- Leistungsnachweise und Probetrieb
- Bauwerksdokumentation und Betriebshandbücher
- Mängelbehebung und Garantieleistungen
- Sämtliche Baunebenkosten (Muster, Vervielfältigungen, Versicherungen, Honorare, Gebühren aus Abnahmen und Bewilligungen, usw.)

Der Endtermin für die Einreichung von Angeboten war der 25. November 2011. Danach wurden die Angebote ausgewertet und ein TU wurde als Wettbewerbssieger für die Realisierung der KSV nominiert. In der Stadt Zürich müssen Kredite über 20 Millionen Franken durch eine Volksabstimmung genehmigt werden. Diese Abstimmung wird im 1. Quartal 2013 stattfinden. Die Vertragsunterzeichnung zwischen der Bauherrin ERZ und dem nominierten TU erfolgte vorbehaltlich dieses Volksentscheides.

4.6. Projektfahrplan

Der übergeordnete Terminplan bzw. Projektfahrplan sieht vor, dass die neue KSV Mitte 2015 in Betrieb geht. Dieses Ziel ist trotz der Verzögerung durch die mittlerweile abgewiesene Einsprache eines Anbieters gegen den Vergabeentscheid immer noch zu erreichen.

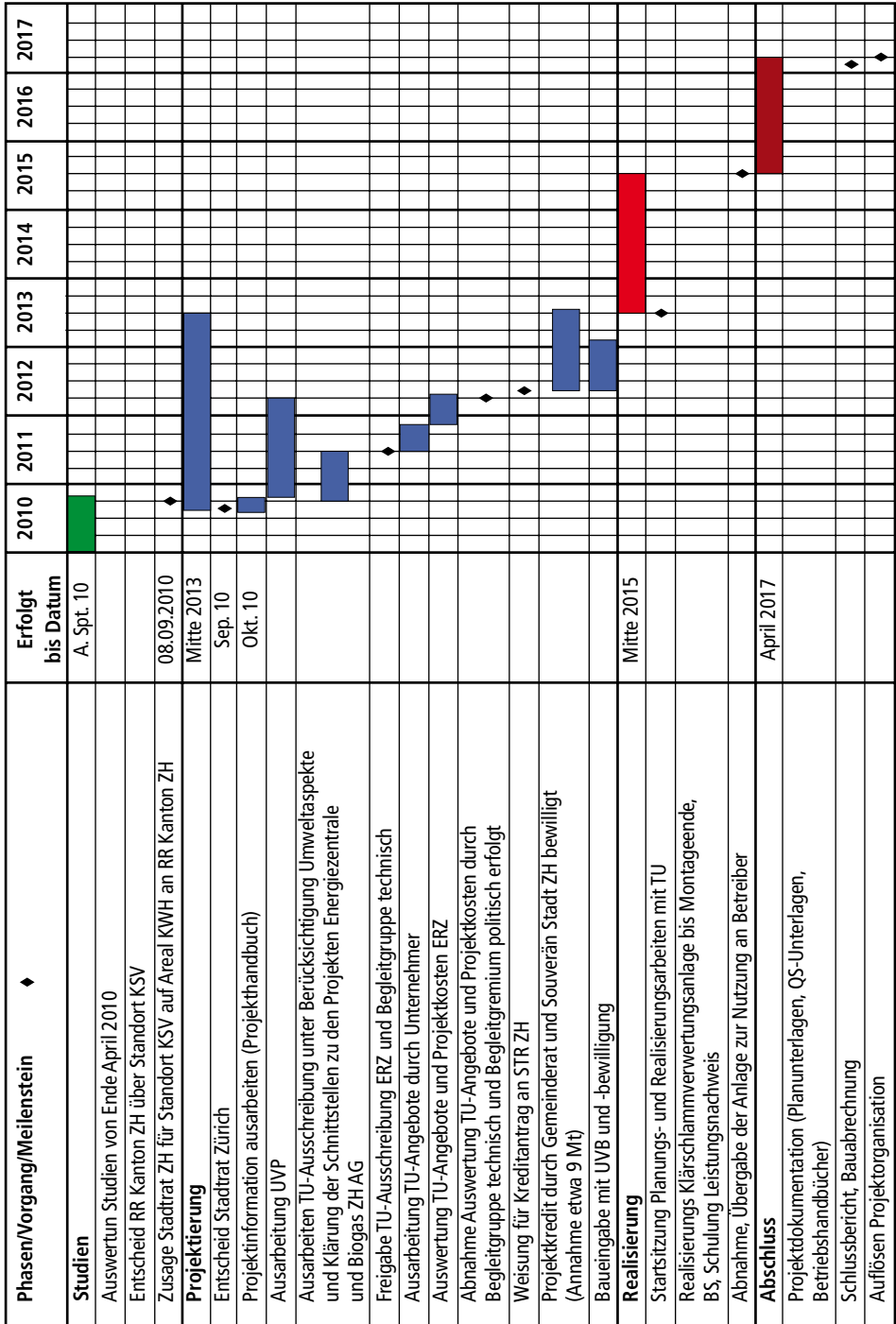


Bild 1: Projektfahrplan

4.7. Projektorganisation in der Projektierungsphase

Das Projekt wird innerhalb der Projektorganisation von ERZ mit dem Geschäftsleiter des Klärwerks Werdhölzli als Projektauftraggeber und einem internen Projektleiter abgewickelt. Als Planer wurde das Ingenieurbüro TBF + Partner AG aus Zürich beauftragt.

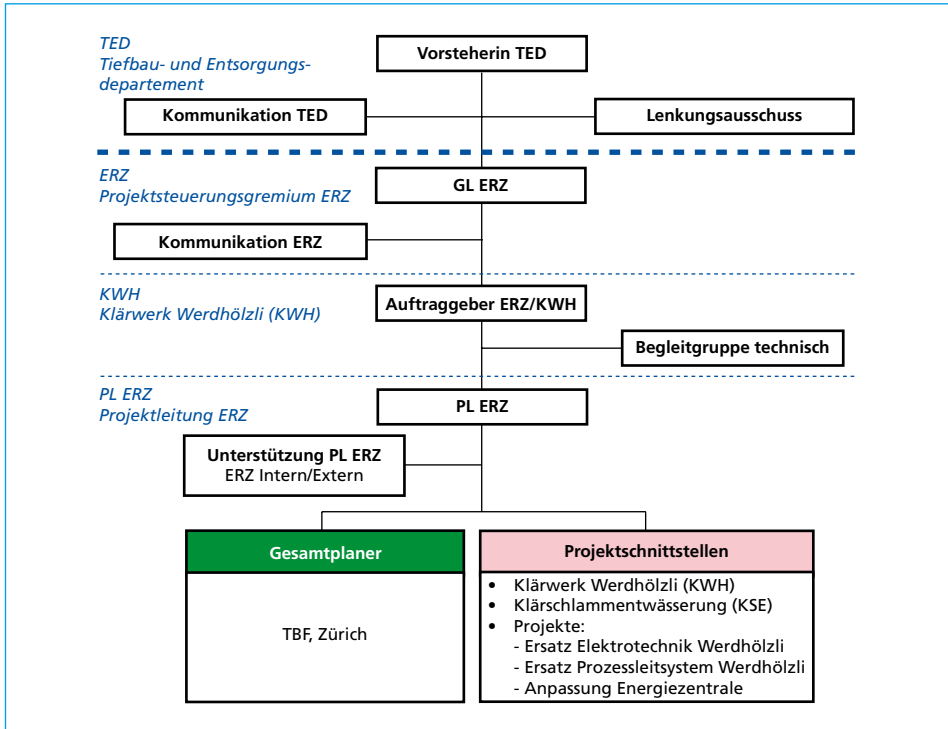


Bild 2: Projektorganisation

5. Literatur

Die nachfolgend aufgelistete Literatur wurde nicht explizit zitiert, ist aber allgemein als Grundlage dieser Publikation berücksichtigt worden:

- [1] Adam, C.; Vogel, C.: Technische Möglichkeiten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen. In VDI-Fachkonferenz *Klärschlammbehandlung*, Offenbach, S. 217-228, 2010
- [2] Jasinski, S. M.: Phosphate Rock. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2012
- [3] Klärschlammagenda 2009, Baudirektion Kanton Zürich, Dezember 2009
- [4] Klärschlammagenda 2010, Baudirektion Kanton Zürich, Dezember 2010
- [5] Mocker, M. et.al.: Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Pelloni, L. (Hrsg.): Waste Management, Vol. 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2011

- [6] Pinnekamp, J. et.al.: Verbundvorhaben Phosphorrecycling – Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzeptes für Deutschland (PhoBe). Abschlussbericht. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 463 S., Bonn, 2011
- [7] Planung der Klärschlamm Entsorgung im Kanton Zürich 2007-2020, Baudirektion Kanton Zürich, Oktober 2007
- [8] Regierungsratsbeschluss 1784 Gewässerschutz (Klärschlamm-Entsorgungsplan), Regierungsrat Kanton Zürich, Dezember 2003
- [9] Regierungsratsbeschluss 572 Gewässerschutz (Umsetzung Klärschlamm-Entsorgungsplan), Regierungsrat Kanton Zürich, April 2007
- [10] Schenk, K.: TVA-Revision – Normkonzept. Bundesamt für Umwelt, Schweiz 2011
- [11] Wiechmann, B. et.al.: Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, 116 S., Dessau 2012
- [12] Vollmeier, T.; Pelloni, L.: Sewage Sludge Management in Switzerland. TBF + Partner AG, Consultant Engineers, Zurich, 2011
- [13] Wehrli, M.: Regionale Klärschlamm Entsorgung am Beispiel des Kantons Zürich. Klärschlammverwertungsanlage Zürich-Werdhölzli, Entsorgung + Recycling, Zürich, 2011
- [14] Ansorg, J.; Vollmeier, T.: Sewage Sludge as a Resource for Phosphorus. TBF + Partner AG, Consultant Engineers, Zurich, 2012

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 10

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-92-4

ISBN 978-3-935317-92-4 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M., Ina Böhme

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.