



## 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

[www.tbf.ch](http://www.tbf.ch)

**TBF** TBF + Partner AG  
Planer und Ingenieure

# Errichtung der Klärschlammverwertung in Zürich

## – Auswahl der Technik und Projektfortschritt –

Ralf Decker und Dieter Müller

1.	Einführung.....	715
2.	Projekt.....	717
3.	Verfahrenstechnik.....	717
4.	Wirbelschichtofen .....	721
5.	Unterschied Emissionen (Schweiz/EU) .....	722
6.	Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung.....	723
7.	Terminplan und Projektfortschritt .....	723
8.	Phosphorrückgewinnung.....	726
9.	Literatur .....	729

### 1. Einführung

Im Klärwerk Werdhölzli der Stadt Zürich (Schweiz) wird seit 1926 Abwasser gereinigt. In diesem Klärwerk stellt sich – wie in den weltweit zahlreich in Betrieb befindlichen Anlagen – die Frage nach dem Umgang mit dem anfallenden Reststoff, dem Klärschlamm. Zunächst stellt sich die Frage welche Lösungen es gibt, um größere Mengen an Klärschlämmen langfristig, sicher, umweltgerecht und umweltschonend zu entsorgen:

#### Landwirtschaft

Bei der Verwendung von Klärschlamm als Dünger in der Landwirtschaft sind heute nicht mehr allein die Schwermetalle im Fokus der Kritik, auch die Auswirkung auf unsere Nahrung und Umwelt durch andere organische Stoffe wie Rückstände von Medikamenten, Hormonen usw. werden heute hinterfragt. Dadurch hat die Akzeptanz durch Lebensmittelketten für Nahrung aus mit Klärschlamm gedüngtem Anbau abgenommen. Felder können auch nicht zu jeder Jahreszeit mit Klärschlamm beaufschlagt werden. Darüber hinaus spielt auch die Entfernung zur Kläranlage eine signifikante Rolle (Transport von großen Wassermengen mit LKW ist ökologisch und ökonomisch fragwürdig). In der Schweiz besteht ein Klärschlammausbringungsverbot in die Landwirtschaft seit 2006.

## Rekultivierung

Entwässerter Klärschlamm kann auch zu Rekultivierungszwecken zum Einsatz kommen, hier sind jedoch die Mengen und Möglichkeiten limitiert. Grundsätzlich stellen sich die gleichen Probleme wie bei der landwirtschaftlichen Nutzung.

## Mitverbrennung

Die Mitverbrennung von Klärschlamm erfolgt hauptsächlich in Kohlekraftwerken, Zementöfen und Abfallverbrennungsanlagen. Bei all diesen Entsorgungswegen wird ein wichtiger Wertstoff – das Phosphat (siehe auch Abschnitt 8.) – mehr oder weniger unnutzbar gemacht, da es in der Asche stark verdünnt wird. Sofern nur vollgetrockneter Klärschlamm mitverbrannt werden kann, kommt hier der hohe Energieverbrauch für die Trocknung zu den Entsorgungskosten dazu. Ein weiterer Kritikpunkt ist die Frage nach dem letztendlichen Verbleib der Schwermetalle – wie beispielsweise das Quecksilber.

## Deponie

Eine Lagerung auf Deponien ist, zumindest in Europa, keine Alternative mehr. In der Regel entweichen auf den Deponien außerdem Gase wie Methan (klimaschädlich), Schwefelwasserstoff, usw.

## Volltrocknung

Nachteile bei der Volltrocknung sind der hohe Energieverbrauch, pro Tonne Schlamm müssen 700 bis 800 kg Wasser verdampft werden. Außerdem bleibt am Ende ein organischer Reststoff übrig, welcher in der Regel weiter behandelt werden muss. Bedingt durch den hohen Trocknungsgrad und der Beschaffenheit des Materials müssen bei der Lagerung Vorkehrungen hinsichtlich Staubexplosion vorgesehen werden, die sowohl für die Investition als auch für den Betrieb höhere Kosten bedeuten.

## Monoverbrennung

Eine verfahrenstechnisch sinnvoll geplante Monoverbrennung kommt im Normalbetrieb ohne Zusatzbrennstoffe aus und durch eine eigene Stromerzeugung (energetische Nutzung der Prozessabwärme) kann außerdem der elektrische Eigenbedarf gedeckt werden. Die dabei entstehende Asche kann durch einen weiteren Behandlungsschritt wie hier beschrieben in einen marktfähigen Dünger (15-20 Prozent  $P_2O_5$ ) verwandelt werden. Alternativ lässt sich die inerte Asche problemlos lagern, vorzugsweise auf einer Monodeponie und stünde damit einer späteren Verwertung zur Verfügung. Die darüber hinaus anfallenden kleinen Reststoffmengen sind ein Konzentrat an Verunreinigungen welche in der Regel auf besondere Deponien endgelagert werden.

Mit der Monoverbrennung im Wirbelschichtofen steht eine langjährig erprobte zuverlässige technische Lösung zur Verfügung. Anlagenlaufzeiten von 30 – 40 Jahren sind nicht unüblich. Von den großen, in Deutschland gebauten Wirbelschichtverbrennungen sind viele seit Jahrzehnten zuverlässig in Betrieb.

In Zürich hat man sich seit langem mit der oben genannten Problematik beschäftigt und schliesslich den Entschluss gefasst eine Monoverbrennung zu bauen. Mit dem Bau einer neuen Klärschlammverwertungsanlage schafft Zürich die Grundlage, um Klärschlamm aus der Abwasserreinigung fachgerecht zu entsorgen und gleichzeitig wirtschaftlich und ökologisch für die Energiegewinnung zu nutzen. Die zentrale Anlage in Werdhölzli verwertet den gesamten Klärschlamm des Kanton Zürich – jährlich rund 100.000 Tonnen entwässerten Klärschlamm. Darüber hinaus erlaubt diese Anlage eine deutlich kostengünstigere Verwertung des Klärschlammes, als dies heute mit den verschiedenen Kleinanlagen (verteilt über den ganzen Kanton) der Fall ist.

## 2. Projekt

Im April 2012 wurde in einem internationalen Wettbewerb der Generalunternehmer (nach Schweizer Recht *Totalunternehmer*) für die neu zu errichtende Klärschlammverwertungsanlage am Standort Klärwerk Werthölzli ausgewählt. Die Ermittlung erfolgte anhand verschiedener technischer und kommerzieller Bewertungskriterien. Unter anderem wurden neben den Investitionskosten auch die Technik sowie die langfristigen Betriebskosten bewertet. Wichtige Einzelaspekte waren beispielsweise das Gesamtenergiekonzept oder der Aufbau des Abgasreinigungssystems zur sicheren Einhaltung der strengen Schweizer Emissionsvorschriften.

Die Ausschreibungsunterlagen haben seinerzeit 12 Firmen bzw. Bieterkonsortien erworben, wovon letztendlich 6 ein vollständiges Angebot eingereicht haben.

Zum schlüsselfertigen Liefer- und Leistungsumfang gehören neben der eigentlichen Prozesstechnik, das notwendige Gebäude und die EMSRL-Infrastruktur. Ebenfalls Bestandteil der Beauftragung war die Erstellung der notwendigen, technischen Unterlagen für die behördliche Baueingabe sowie die Begleitung des Kunden bis zum Erhalt verschiedener Genehmigungen.

Vor der wirksamen Beauftragung des Totalunternehmers hatte der Bauherr noch für die öffentliche Akzeptanz des Neubauprojektes zu sorgen. Der Stadtrat und der Gemeinderat haben die Umsetzung des Projektes empfohlen (Abstimmungsergebnis im Gemeinderat Ende Juni 2012 mit 118:0 Ja-Stimmen). Gemäss des Schweizer Rechtes muss der Volkssouverän die letzte Freigabe gewähren. In der Gemeindeabstimmung vom 3. März 2013 wurde über die Klärschlammverwertungsanlage entschieden. Mit einem Rekordergebnis von 93,9 Prozent Ja-Stimmen erhielt das Projekt seine letztendliche Legitimation.

## 3. Verfahrenstechnik

Im Rahmen der Angebotsbearbeitung wurde unter technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine vergleichende Untersuchung und Bewertung der verschiedenen, auf dem Markt verfügbaren Abgasreinigungssysteme durchgeführt. Als Ergebnis dieser Betrachtungen wurde ein kombiniertes Verfahren bestehend aus SNCR-Prozess,

Elektrofilter, konditionierter Trockensorption mit Einsatz eines Kalkhydrat-Kohle Adsorbens sowie einer nachgeschalteten Feinreinigung in Form einer zweistufigen Nasswäsche als die unter den vorgegebenen Bedingungen insgesamt günstigste Variante ermittelt.

Die für den Vergleich der gewählten kombinierten und der rein trockenen Gasreinigung relevanten Emissionsgrenzwerte betreffen vorrangig Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in Kombination mit Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) sowie Quecksilber (Hg). Bei der Schlammverbrennung liegen die  $\text{SO}_2$ -Rohgaswerte in der Regel zwischen 1.000 und 3.000  $\text{mg/m}^3\text{n, tr}$ , mit Spitzenwerten von bis zu 5.000  $\text{mg/m}^3\text{n, tr}$ . und damit erheblich höher als bei einer Abfallverbrennung.

Die Einhaltung des Emissionsgrenzwertes von  $< 50 \text{ mg/m}^3\text{n, tr}$  erfordert mit rein trockenem Verfahren, das eine geringere Abscheide-Effizienz besitzt als nasse Verfahren, besondere Anstrengungen, nämlich entweder eine Vorabscheidung von  $\text{SO}_2$  im Ofen, z.B. durch Zudosierung von Kalkstein, oder eine 2-stufige Trockensorption (2 x Additivdosierung und Schlauchfilter in Serie) mit verstärkt überstöchiometrischer Additivdosierung.

Die Dosierung von Kalkstein in den Ofen bedeutet eine Behinderung für das zukünftig beabsichtigte Phosphorrecycling aus der Asche und erübrigt sich damit. Eine 2-stufige Trockensorption mit überstöchiometrischer Additivdosierung hingegen ist verbunden mit entsprechend erhöhten Anlagen- und Betriebskosten.

Für Abfall- und Biomasseverbrennungen, mit erheblich geringeren  $\text{SO}_2$ -, aber höheren Cl-Konzentrationen im Rohgas, sind die Grenzwertanforderungen mittels rein trockenem Verfahren mit Kalkprodukten bzw. Natriumbikarbonat häufig technisch und wirtschaftlich erfüllbar. Daher ist dieser Verfahrenstyp auch häufiger realisiert.

Zur Unterschreitung des niedrigen  $\text{NO}_x$ -Grenzwertes kommt eine SNCR mit Ammoniakwasserdosierung in den Ofen zum Einsatz. Hierdurch können erhöhte Ammoniakemissionen auftreten. Die sichere Unterschreitung des Grenzwertes von  $< 5 \text{ mg/m}^3\text{n, tr}$  ist mit einem entsprechend dimensionierten Wäscher möglich. Bei rein trockenem Verfahren muss ein zusätzlicher SCR-Katalysator nachgeschaltet werden, verbunden mit einer entsprechenden Erhöhung der Betriebskosten (Gasverbrauch zur Wiederaufheizung, Ersatz des Katalysator-Materials).

Zur sicheren Unterschreitung des Hg-Grenzwertes ( $< 0,1 \text{ mg/m}^3\text{n, tr}$ ) ist als zusätzliches Adsorbens Aktivkohle oder Herdofenkoks in den Abgasstrom zu dosieren. Während das trockene Abgasreinigungsverfahren mit  $\text{NaHCO}_3$  zur optimierten Adsorbenausnutzung bei möglichst hohen Temperaturen ( $\geq 180 \text{ }^\circ\text{C}$ ) betrieben werden sollte, funktioniert die Hg-Abscheidung an kohlenstoffhaltigen Adsorbentien umso besser, je niedriger die Abgastemperatur ist. Auch diese Feststellung weist in Richtung eines 2-stufigen trockenen Verfahrens (z.B. 1. Stufe mit  $\text{NaHCO}_3$  bei höherer Temperatur, 2. Stufe mit Kalk-Kohle Adsorbens bei geringerer Temperatur).

### Jahreskosten

In der nachfolgenden Aufstellung werden die jährlichen Betriebskosten der verschiedenen Abgasreinigungsalternativen gegenübergestellt hinsichtlich der Chemikalienverbräuche und der zu entsorgenden Reststoffe

**Kombiniertes Verfahren**

NaOH:	128.440 CHF
Ca(OH) <sub>2</sub> :	30.000 CHF
Reststoffe:	180.000 CHF
Total:	338.440 CHF

**Trockenes Verfahren mit Ca(OH)<sub>2</sub>**

NaOH:	0 CHF
Ca(OH) <sub>2</sub> :	116.000 CHF
Reststoffe:	285.000 CHF
Total:	401.000 CHF

**Trockenes Verfahren mit NaHCO<sub>3</sub>**

NaOH:	0 CHF
NaHCO <sub>3</sub> :	219.000 CHF
Reststoffe:	167.000 CHF
Total:	386.000 CHF

Wie ersichtlich, bewegen sich die Chemikalien- und Reststoffkosten bei den trockenen Verfahren mit Ca(OH)<sub>2</sub> oder NaHCO<sub>3</sub> in vergleichbarer Größenordnung. Die pro Zeiteinheit benötigte Adsorbensmenge ist im vorliegenden Fall für NaHCO<sub>3</sub> geringfügig niedriger, die Beschaffungskosten sind jedoch fast doppelt so hoch. Teilweise wird dies wieder kompensiert durch eine geringere Reststoffmenge im Falle von NaHCO<sub>3</sub>. Verglichen mit dem kombinierten Prozess liegen die Kosten für beide trockenen Varianten, Kalk oder Natriumbikarbonat, merklich höher.

Eine Wiederaufbereitung der gebildeten Reaktionssalze – wie im Falle von trockenen Abgasreinigungen in Abfallverbrennungsanlagen durchführbar, dient der Rückgewinnung von Natriumchlorid. Bei der Schlammverbrennung sind jedoch die Chloridkonzentrationen im Abgas deutlich niedriger und die SO<sub>2</sub> Konzentrationen deutlich höher, womit die Aufbereitung der Reaktionssalze unwirtschaftlich wird.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Kosten für eine Reststoffverwendung als Bergversatz im Falle der Bikarbonatvariante höhere sein können als bei der Kalkvariante, da Na-haltige Reaktionssalze durch ihre geringere Festigkeit hierfür weniger gut geeignet sind.

Zusammenfassend bleibt festzustellen: Auch wenn eine 1-stufige trockene Abgasreinigung im Vergleich zur Vorgesehenen apparativ einfacher wäre, ist abgesehen von insgesamt höheren Kosten für Chemikalien und Reststoffe hiermit die sichere Einhaltung der strengen Emissionsgrenzwerte nach LRV nicht zu gewährleisten.



Gegenüber einer 2-stufigen, trockenen Abgasreinigung mit nachgeschaltetem SCR-Katalysator, die zur Einhaltung der Grenzwerte für  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  und Hg nötig wäre, stellt hier die geplante Verfahrenskette gesamtwirtschaftlich die bessere Alternative dar.

### 4. Wirbelschichtofen

Das verfahrenstechnische Herzstück der gesamten thermischen Verwertungsanlage ist der stationäre Wirbelschichtofen. Dieser hat sich seit Jahrzenten für die unterschiedlichsten Anwendungen bewährt und doch gibt es viele spezielle Details welche entscheidend sind und nicht von allen Anbietern berücksichtigt werden.

#### Säuretaupunkt

Bei Klärschlamm ist z.B. der hohe Schwefelgehalt zu nennen, welcher zu einem sehr korrosiven Abgas führt. Wenn der Säuretaupunkt an Metallteilen unterschritten wird nützen auch Wandstärken von 20 mm nichts, da diese innerhalb weniger Wochen durch korrodieren würden. Entscheidend ist hier das Gesamt-design (Wandaufbau, Fugenausführung, Ausmauerung, Isolierung, Auswahl der richtigen Stähle, usw.), das komplett von Outotec stammt und in dem sich viele Jahrzehnte an Erfahrungen widerspiegeln.



Bild 2: 3D-Graphik des Wirbelschichtofens in Zürich

#### Wärmedehnung

Durch die hohen Verbrennungstemperaturen unterliegt der Ofen einer entsprechenden Ausdehnung in alle Richtungen. Diese müssen beim Design (Fundamente, Bühnen, Anschlüsse von Rohrleitungen und Kanälen) hinsichtlich der Fixpunkte und der notwendigen, flexiblen Übergängen (Kompensatoren) entsprechend berücksichtigt werden.

#### Düsenboden

Damit die Verbrennung sicher autark funktioniert und der Schlamm nicht bis in die Leimphase getrocknet werden muss, sollte die Wirbelluft entsprechend vorgewärmt (400 – 600 °C) werden. Als beste Ausführung hat sich hier ein gegossener keramischer Düsenboden bewährt. Im Gegensatz zu Aufbauten mit Gewölbesteinen können damit auch große Bettflächen realisiert werden.



## Düsen

Bei den Düsen ist konstruktiv auf ausreichende Befestigung und die Vermeidung von Sandrückflüssen in die Windbox oder Luftverteiler zu achten. Diese Voraussetzungen und die richtige Materialwahl können zu Düsenstandzeiten von über 20 Jahren problemlos erreicht werden.

## Brennstoffverteilung

Wichtig für niedrige Emissionen und einen guten Ausbrand ist die gleichmäßige Brennstoffverteilung über das gesamte Wirbelbett, welche in vorliegenden Falle durch eine spezielle Aufstreumaschine realisiert wird.

## Weitere Details

Praxisbezogenes Design wie beispielsweise Mannlöcher mit ausreichender Größe, Bühnen mit entsprechender Kopffreiheit, Gaslanzen im Bett zum schnellen Anfahren, und vieles mehr unterstützen im alltäglichen Betrieb das verantwortliche Personal die Anlage sicher zu fahren.

## 5. Unterschied Emissionen (Schweiz/EU)

Der Hauptunterschied für die Anlagenauslegung einer Schweizer Anlage liegt in den niedrigeren Grenzwert für  $\text{NO}_x$  und dem zusätzlichen Grenzwert für  $\text{NH}_3$ .

Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte (Tagesmittelwerte) nach Schweizer Luftreinhaltsverordnung und Richtlinie 2000/76/EG

Parameter	Einheit	Schweiz LRV (Luftreinhalteverordnung)	Europa Richtlinie 2000/76/EG
CO	mg/m <sup>3</sup> i. N.	50	50
SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> i. N.	50	50
HCl	mg/m <sup>3</sup> i. N.	20	10
HF	mg/m <sup>3</sup> i. N.	2	1
Staub	mg/m <sup>3</sup> i. N.	10	10
NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup> i. N.	80	200
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup> i. N.	5	kein
Cd	mg/m <sup>3</sup> i. N.	0,1	
Cd + Tl	mg/m <sup>3</sup> i. N.		0,05
Hg	mg/m <sup>3</sup> i. N.	0,1	0,05
Pb + Zn	mg/m <sup>3</sup> i. N.	1	
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	mg/m <sup>3</sup> i. N.		0,5
Dioxine und Furane	ng TEQ/m <sup>3</sup> i. N.	0,1	0,1

## 6. Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung

Zur Wärmenutzung gibt es bei der thermischen Schlammverwertung eine Reihe von Möglichkeiten. Traditionell wird die Verbrennungswärme in einem nachgeschalteten LUVO und Dampferzeuger (Dampf oder Thermalöl) aufgenommen und anschliessend zur Teiltrocknung verwendet um eine autarke Verbrennung zu erreichen. In neueren Anlagen wird zuerst überhitzter Dampf erzeugt und mit Hilfe einer Turbine Strom erzeugt, dieser deckt in der Regel den Eigenbedarf der Verbrennung. In einzelnen Anlagen kommt ein Abgas/Abgaswärmetauscher zur Wiederaufheizung der Abgase zum Einsatz.

Unabhängig davon stehen neben dieser Wärmenutzung noch weitere Wärmequellen mit erheblichem Energieinhalt zur Verfügung. Zum einen die Brüden aus der Teiltrocknung, diese können in Fernwärmenetzen genutzt werden, das dabei erreichbare Temperaturniveau liegt bei 90 °C. Zum anderen die Kondensationswärme des in Abgasen befindlichen Wassers, das dabei erreichbare Temperaturniveau liegt bei 65 °C. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist die Verwendung der Abgaswärme zur Speisewasserwiederaufheizung.

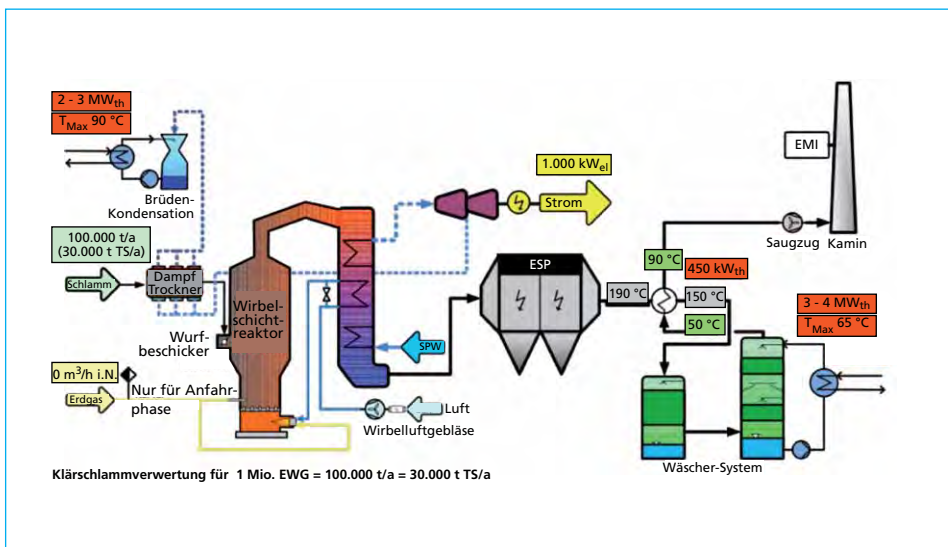


Bild 3: Schema der Wärmenutzung bei Schlammverwertungsanlagen

## 7. Terminplan und Projektfortschritt

Im nachfolgenden Bild wird am Beispiel des Projektes Zürich der Terminplan skizziert, der auch in vielen anderen Klärschlammverwertungsprojekten einen ähnlichen Ablauf aufweist.

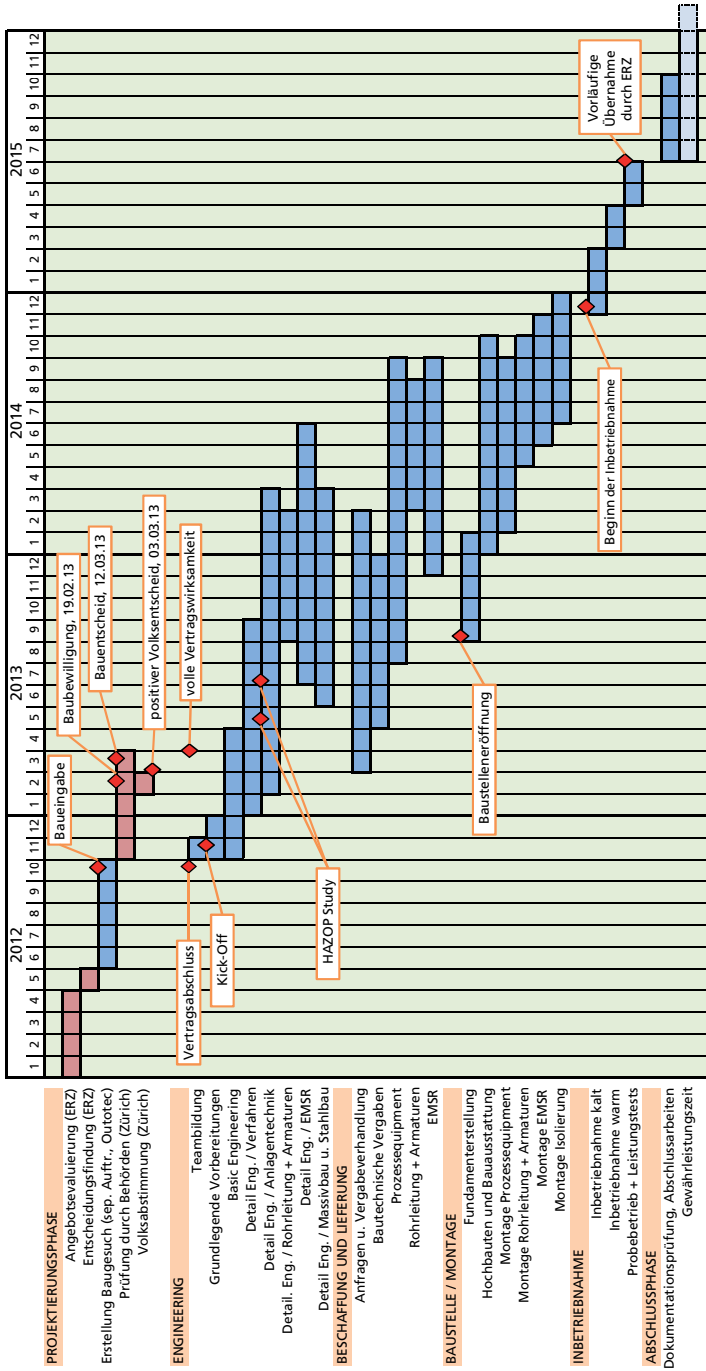


Bild 4: Vereinfachter Terminplan

Die dargestellten blauen Terminbalken stellen die verantwortlichen Aktivitäten der Outotec dar – wohingegen die roten Balken Vorgänge in der Verantwortung von Kunden (ERZ) oder Behörden anzeigen. Dem Gesamtprojekt liegt eine Zeitplanung von ERZ zugrunde, die weit in der Vergangenheit mit der vielfältigen Organisation der Ausschreibung beginnt und mit der endgültigen Übergabe der Anlage nach der Gewährleistungsfrist endet. Dieser detaillierte Plan konnte bisher durch die professionelle und akribische kundenseitige Projektleitung alle gesetzten Meilensteine einhalten. Der hier dargestellte Ausschnitt beschränkt sich auf die Phasen, in der die Outotec in der Verantwortung steht.

Verschiedene Punkte sollen in der folgenden Auflistung erläutert bzw. hervorgehoben werden:

- In einer eigenen – vom Hauptauftrag separaten – Beauftragung wurde Outotec die Aufgabe übertragen die notwendigen Dokumente für ein Baugesuch zu erstellen und für eine Einreichung vorzubereiten.
- Dieses Baugesuch wurde termingerecht im Oktober 2012 bei dem Kreisarchitekten eingereicht, der nach internen Regeln dieses wiederum unter den lokalen (städtischen) und kantonalen Behörden zur Begutachtung weiterverteilte. Im Oktober 2012 wurde der Werkvertrag zwischen ERZ und Outotec geschlossen, unter dem Vorbehalt, dass das Volk die Kosten dieses Projekt in einem Referendum bestätigt und freigibt. Das temporäre Risiko eines Scheiterns wurde von Outotec getragen.
- Die Behörden reagierten sehr frühzeitig mit der positiven Baubewilligung (19.02.2013) und der Baugenehmigung (12.03.2013)
- In der Volksabstimmung vom 03.03.2013 wurden die notwendigen Investitionen für die KSV mit überwältigender Mehrheit genehmigt
- Der Projektablauf innerhalb der Outotec hält sich an den gemeinsam abgestimmten Terminplan. Hilfreich hierzu ist das Outotec Abwicklungsteam – zu einem großen Anteil bestehend aus einer langjährig, erfahrenen Kollegschaft, die auf Erfahrungen anderer Anlagen gleichen Typs zurückgreifen können.



Bild 5:

Baustelle Stand September 2013

- Die Zusammenarbeit mit Kunden ist sehr konstruktiv.
- Die Baustelle wurde im Spätsommer (September 2013) eröffnet
- Eine vorläufige Übernahme der Anlage durch ERZ ist für die Mitte 2015 eingeplant.



Bild 6:

Modell der KSV Zürich

## 8. Phosphorrückgewinnung

Bei der Planung der thermischen Schlammverwertung für den Kanton Zürich ist auch die mögliche spätere Rückgewinnung von Phosphor aus der Klärschlammasche berücksichtigt worden.

Eine Möglichkeit ist das ASH DEC Verfahren. Dieses Verfahren ist in der Literatur ausführlich dokumentiert (Adam, et al. 2008), so dass wir hier vorrangig auf eine vertikal integrierte Verfahrensvariante eingehen möchten, die unmittelbar an die Verbrennung anschließt und insbesondere bei neuen Anlagen die Möglichkeit eröffnet Phosphatdünger herzustellen und nahezu abfallfrei zu arbeiten.

Der Prozess in Kurzform: Aschen werden mit festen Salzen (bevorzugt Magnesiumchlorid-Flocken) vermischt in einem Drehrohrreaktor für rund 15 Minuten einer Temperatur von rund 1.000 °C ausgesetzt. Magnesiumchlorid zerfällt in eine feste Mg- und eine gasförmige Cl-Komponente. Mg ersetzt Calcium (teilweise), Aluminium und Eisen in den Phosphatverbindungen der Asche und bildet Calcium-Magnesium-Phosphate. Al und Fe verbleiben als inerte Oxide in der Asche. Cl bildet gasförmige Metallchlorid-Verbindungen mit Cadmium (Cd), Blei (Pb), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) und (eingeschränkt) weiteren Metallen wie Molybdän und Zinn. Die Metallchloride werden mit den Abgasen ausgetragen und in einem Filtersystem abgeschieden. Die überschüssigen Chloride werden an Magnesium-Trägern adsorbiert und in den Reaktor zurückgeführt.

Als thermo-chemisches Verfahren wurde der Prozess häufig dafür kritisiert, dass zwar der Rohstoff geschont wird, dafür aber ein unverhältnismäßig hoher Energieaufwand erforderlich ist. Der Aufwand war mit erheblichen Betriebskosten verbunden.

In einem ersten Schritt wurde der Prozess des Aufheizens vom Reaktionsprozess getrennt und in einen eigenen Wirbelschichtreaktor ausgelagert, womit eine weitgehende Energierückgewinnung und der Einsatz von Sekundärbrennstoffen möglich wurden. Von da ist es nur ein kleiner Schritt, die Verbrennungsanlage als Aufheizreaktor zu betrachten und die Asche heiß über einen Zyklon abzuführen. Auf diese Weise wird die Asche mit rund 900 °C in den Drehrohrreaktor aufgegeben und dadurch entfällt die für ihre Aufheizung erforderliche Energie. Demgegenüber steht ein minimaler Energieverlust im Dampferzeuger der Verbrennungsanlage.

Mit dieser Maßnahme sinkt der spezifische Energieverbrauch des Verfahrens auf rund 250 kWh und die spezifischen Brennstoffkosten – je nach Standort – auf <10 Euro, jeweils pro Tonne Produkt. Bezogen auf P bedeutet das, unter der Annahme, dass 10 Prozent P (22,9 Prozent  $P_2O_5$ ) in der Asche enthalten sind, 2,5 MWh. Zum Vergleich: bei der thermischen P-Gewinnung im Schmelzofen von Thermphos betrug der Energieverbrauch 13 MWh pro Tonne P [3] und bei der nasschemischen Herstellung von - im Düngerwert vergleichbarem - Single Superphosphat aus Rohphosphat und Schwefelsäure liegt der durchschnittliche spezifische Energieverbrauch bei 4,26 MWh pro Tonne P [3]. Allerdings entsteht bei der Schwefelsäureproduktion aus der Verbrennung von schwefelhaltigen Mineralen ein Energieüberschuss, so dass der kumulierte Energieverbrauch von Single Superphosphat in Europa bei durchschnittlich 0,95 MWh liegt [2].

Weiteres wurde von manchen Autoren die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphatdüngers aus dem thermo-chemischen Prozess kritisiert. In der Tat hatten die Calcium-Magnesium-Phosphate aus dem Verfahren eine mit rund 30 Prozent begrenzte Löslichkeit in Neutral-Ammoncitrat und in der Praxis eine schlechte Verfügbarkeit auf alkalischen Böden, der aber eine sehr gute Verfügbarkeit auf sauren Böden gegenüberstand.

Nachdem mit der Neufassung der deutschen Düngemittelverordnung vom Dezember 2008 auch die Grenzwerte für die Metalle (Spurennährstoffe) Kupfer und Zink aufgehoben wurden, konnte der Verfahrensschwerpunkt von der Cu-Abscheidung zur Optimierung der Löslichkeit verschoben werden, was die Bandbreite der möglichen Prozessführung und der Zusätze radikal erweitert hat. Kupfer kann im Prozess nur über

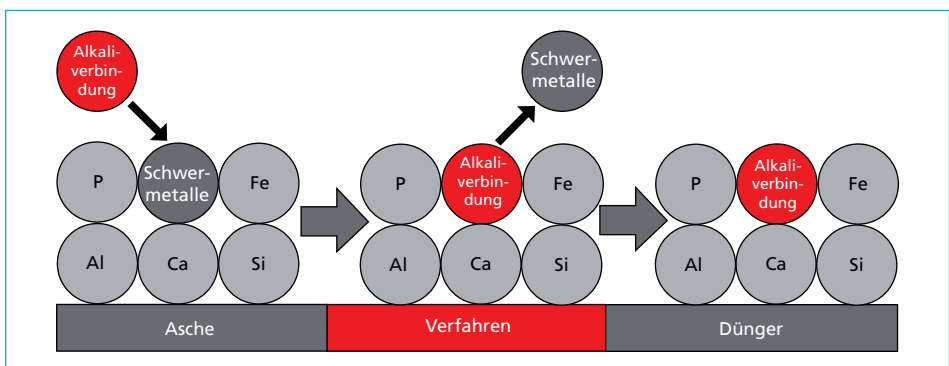


Bild 7: Schematische Darstellung des ASH DEC-Verfahrens

die Umwandlung in Chloride verflüchtigt werden, während die eindeutigen Schadstoffe Blei und Cadmium auch unter reduzierenden Bedingungen entfrachtet werden können.

Kalzinierte Phosphate mit hoher Pflanzenverfügbarkeit hat man in Deutschland bis in die 80er Jahre des letzten Jahrhunderts u.a. als Rhenania Phosphat industriell hergestellt. Als Aufschlussmittel diente Natriumcarbonat (Soda). Es wirkt – mit Aschen genau so gut wie mit Rohphosphat - und bringt einen Phosphatdünger mit nahezu vollständiger Löslichkeit in Neutral-Ammonicitrat und mit hoher Wirksamkeit auf alkalischen Böden hervor, wobei die, auf alle kalzinierten Phosphate zutreffende, sehr gute Wirkung auf sauren Böden vollständig erhalten bleibt.

Die letzte Generation der kalzinierten Phosphatdünger aus dem thermo-chemischen Verfahren ist demnach nahezu vollständig löslich in Neutral-Ammonicitrat und auf allen Böden in gemäßigten Klimazonen gleich wirksam wie mit Säureaufschluss hergestellter, wasserlöslicher Dünger. Die verzögerte Löslichkeit (in Reaktion auf Säure-Absonderung der Pflanzenwurzeln) sollte auf sehr sauren Böden mit hoher P-Fixierung sogar einen Vorteil gegenüber wasserlöslichen Düngern bringen, was zurzeit in Pflanzenversuchen mit Intensivkulturen (z.B. Ölpalme) auf mehreren Kontinenten weiteruntersucht wird. Den Vorteil der geringen Schwermetallbelastung gegenüber handelsüblichen Phosphatdüngern hat das Produkt in jedem Fall.

Verfahrenstechnisch wird das verbesserte Konzept weiterhin in einem Drehrohrofen umgesetzt, wobei, wenn verfügbar, Klärschlamm-Trockengranulat als Reduktions- und Soda als Aufschlussmittel zugesetzt wird. Die Behandlungstemperatur bleibt unter dem Schmelzpunkt der Mischung, bei rund 900°. Cadmium und Blei werden überwiegend (> 60 Prozent) aus dem Produkt entfernt, der Zinkgehalt wird reduziert und – bei Bedarf – könnte auch Arsen ausgeschleust werden.

Abgasseitig ist weiterhin eine Senke für die abgeschiedenen Schwermetalle erforderlich – aus Gründen der Energieeffizienz in Gestalt eines Hochtemperatur-Elektrofilters. Mit dem rund 350-400 °C heißen Drehrohrofen-Abgas wird, nach dem Elektrofilter, Soda vorgewärmt. Als Vorwärm-/Kühlstufen dienen die bewährten und hocheffizienten Venturi-Zyklon Systeme, wie sie auch beim Kalzinieren von Mineralstoffen Verwendung finden. Das von den Schwermetallen und vom Staub gereinigte Abgas wird in die Verbrennungsanlage – zur Nachverbrennung - zurückgeführt und in der Abgasreinigungsanlage des Wirbelschichtreaktors gereinigt. Damit entfallen die Kosten für die Abgasreinigung nach der Düngemittelproduktion weitgehend, da nur noch die Kühl-/Vorwärmstufe und der Elektrofilter zusätzlich installiert werden müssen.

Die Kosten der Phosphatdüngerproduktion liegen im Bereich der Kosten für die Herstellung von konventionellen Phosphatdüngern und unter denen des bereits zitierten Single Superphosphats, wenn man die Weltmarktpreise für Rohphosphat und ortsübliche Preise für Schwefelsäure zugrunde legt. Pro Tonne Phosphat ( $P_2O_5$ ) fallen rund 850-900 Euro an, einschließlich Amortisation, Eigenkapitalverzinsung und Kapitaldienst. Mehr als die Hälfte davon entfallen auf den Zusatz von Soda und motivieren uns, Alternativen zu erforschen. Dabei zeichnen sich vielversprechende Ergebnisse ab, auf die wir zu einem späteren Zeitpunkt eingehen werden. Die Investitionskosten

liegen bei rund 30-35 Prozent der Verbrennungsanlage, bei mittleren Anlagen deutlich unter 20 Millionen Euro.

Der Betreiber der Schlammverbrennungsanlage spart die Entsorgungskosten der Asche zu 100 Prozent. Im Gegenzug fallen etwa 2-3 Prozent des ursprünglichen Asche-Aufkommens als Sekundärreststoff an.

Das Produkt ist ein EG-Dünger nach Verordnung (EG) 2003/2003, sofern es als NP oder PK Dünger auf den Markt gebracht wird. Dieser Schritt ist in Zusammenarbeit mit Stickstoffdüngerproduzenten erfolgreich getestet und erste Interessenbekundungen von Produzenten liegen bereits vor. In Deutschland ist das Produkt auch als reiner Phosphatdünger nach Düngemittelverordnung marktfähig.

Wenn nicht europäische oder nationale Gesetzgeber Regelwerke zur verpflichtenden Rückgewinnung von Phosphaten aus Abwasser erlassen oder alternative Anreize entwickeln, müssen mehrere günstige Umstände zusammenkommen, um eine positive Investitionsentscheidung herbeizuführen. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob diese Bedingungen erfüllt werden.

## 9. Literatur

- [1] Adam, C., Kley, G.; Simon, F. G.; Lehmann, A. K.: Recovery of nutrients from sewage sludge – Results of the European Research Project SUSAN. Berlin: Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), 2008.
- [2] Jenssen, T.K.; Kongshaug, G.: Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production. International Fertiliser Society Meeting. London, 2003.
- [3] Schipper, W. et al.: *Phosphate recycling in the phosphorus industry*. Environmental Technology, 2001 (2007): 1337.