



**Wirbelschicht-Mono-Verbrennung
mit Asche-Klassierung
und Schadstoffabreicherung
für ein effektiveres Phosphorrecycling**

VDI Wissensforum

Vortrag im Rahmen der

11. VDI-Fachkonferenz Klärschlammbehandlung,

16.-17.09.2020, Hamburg



WEHRLE-WERK AG

Bismarckstr. 1-11

79312 Emmendingen

Deutschland

Wirbelschicht-Mono-Verbrennung mit Asche-Klassierung und Schadstoffanreicherung für ein effektiveres Phosphorrecycling

EINLEITUNG UND MOTIVATION:

Bedingt durch die novellierte Klärschlammverordnung wird nach dem Auslaufen der gesetzlichen Übergangsfristen bis 2029/2032 die Rückgewinnung des im Klärschlamm vorhandenen Phosphors (P) verpflichtend. Bundesweit sind derzeit verschiedene Verfahren zur P-Rückgewinnung in der Erprobung. Vor allem liegt der Fokus bei den Verfahren auf die thermische Verwertung der Klärschlämme mit anschließender Nutzung der Monoverbrennungsaschen, da gleichzeitig die Frage nach der Entsorgung des Klärschlammes gelöst wird und sich in der Regel eine höhere P-Rückgewinnungsquote erzielen lässt. Angestrebte Verwendung der Aschen ist zum einen die Weiterverarbeitung zu z.B. Phosphorsäure in nass-chemischen Aufschlussverfahren und zum anderen in der Nutzung eines möglichst direkt einsetzbaren P-Aschedüngers unter Einhaltung der DüMV. Gerade letztere Anwendung ist auf eine optimale Gestaltung des thermischen Prozesses angewiesen, da die Schadstoffentfernung aus der Asche ohne aufwendige Nachbehandlungsverfahren kaum möglich ist. In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, wie die Ausgestaltung der Wirbelschichttechnologie mit Heißgasentstaubung einen Beitrag für eine Verbesserung des Intermediats „P-Asche“ leisten kann, indem Schadstoffe angereichert und die P-Konzentration verbessert wird.

DIE TECHNOLOGIE

Die Wirbelschichtverbrennungsanlagen von WEHRLE sind neben dem Einsatz in der klassischen, Abfallwirtschaft zur Verbrennung von Produktionsabfällen, Produktionsschlämmen, Ersatzbrennstoffen, Siebüberläufen etc. mit sehr unterschiedlichen Heizwerten auch sehr gut geeignet für den Einsatz in der Mono-Verbrennung von kommunalem Klärschlamm.

DIE WIRBELSCHICHT

Herzstück der Anlagentechnik ist eine stationäre Wirbelschicht, integriert in den 1. Zug eines Wasserröhrenkessels, mit einem offen gestalteten Düsenboden. Durch die verfahrenstechnische Ausführung der Wirbelschicht wird bereits im Wirbelbettbereich eine Klassierung der Interstoffe und Aschen durchgeführt: Vor allem bei Ersatzbrennstoffen aber auch bei Klärschlämmen werden mit den organischen Anteilen auch Asche, grobe Sande und Störstoffe mit eingetragen. Hierbei wird der Klassierungseffekt ausgenutzt, um die groben Sande und Störstoffe („phosphorarme Phase“) von den feineren Aschen (phosphorreiche Phase), die sich im Reaktionsverlauf bilden, zu trennen. Bei der Verbrennung wird das Wirbelbett zur Pflege kontinuierlich nach unten durch den offenen Düsenboden über einen Austragsstößel unterhalb des nachrutschenden Aschekonus abgezogen. Der so ausgetragene Wirbelbettmaterialstrom fällt nun in einen frei einstellbaren Windsichter und wird dort über die Sichtergebläseluft aufgeteilt in zwei Materialströme. Zum einen die „leichte Fraktion“ (u.a. Kokspartikel und Feinaschen), diese wird über eine Blasleitung zurück oberhalb der Wirbelschichtzone in die Wirbelschichtfeuerung geblasen, um einen hohen Ausbrand zu erreichen. Die „schwere Fraktion“, also die eher phosphorarme Phase, fällt durch den Windsichter, der ohne Einbauten ist, hindurch und wird über eine Doppelpendelklappe in den Wirbelbettaische-Container ausgetragen.

Dieses Wirbelbettmaterialpflegesystem ist in der Lage Störstoffe, wie z.B. Metallteile, Steine, Schotter, usw. sicher aus dem Wirbelbett auszuschleusen. Die Anlagentechnik ist so konstruiert, dass alles was größentechnisch durch den Brennstoffeintrag hineingelangt auch wieder mit dem Wirbelbettmaterialpflegesystem ausgetragen werden kann. Somit erhöht sich die Reisezeit gegenüber einem geschlossenen Düsenboden beträchtlich.

Weiterhin wird durch dieses Pflegesystem auch die Wirbelbetthöhe reguliert falls der Brennstoff sehr aschereich ist, was beim Klärschlamm der Fall sein kann.

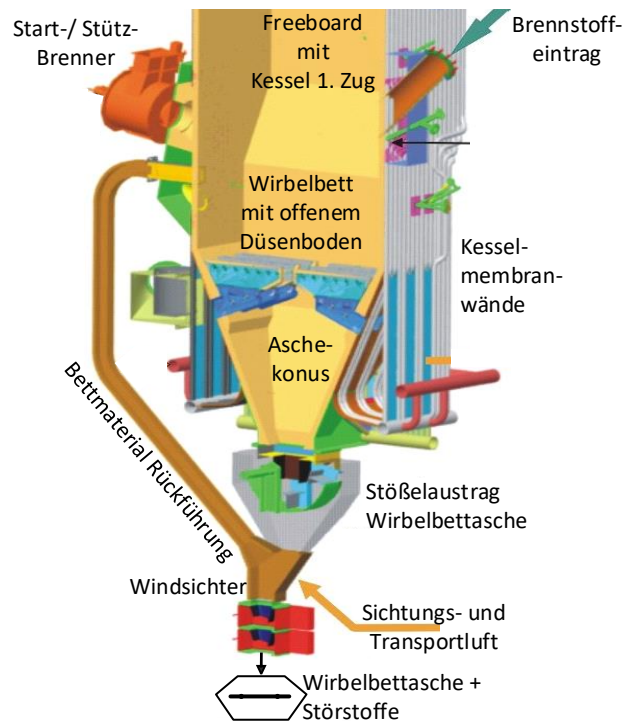


Abbildung 1: Detailskizze offener Düsenboden mit Ascherückführung [WEHRLE]

Ab einer Korngröße kleiner 0,5 mm werden die Partikel in der Wirbelschicht durch die dort herrschende Gasgeschwindigkeit flugfähig und verlassen die Wirbelschicht in Richtung Freeboard.

Im Freeboard, der „Freiraum“ oberhalb der Wirbelschichtzone, wird durch weitere gestufte Luftzugabe die Temperatur auf über 900°C erhöht, um auf jeden Fall die Vorgaben der 17. BImSchV mit > 850 °C bei >2 s einzuhalten. Bei dieser erhöhten Temperatur werden auch Schwermetalle und -verbindungen aufgrund des höheren Dampfdrucks freigesetzt, die sich dann in der Gasphase befinden und sich so die Möglichkeit zur Abtrennung von der Asche bietet (siehe Kapitel Heißgas-Doppelzyklon).

Die hier eingesetzte Wirbelschichttechnologie in Abbildung 2 arbeitet mit einer gestuften Verbrennung, um im ersten Kesselzug ein kontrolliertes Temperaturprofil mittels Zumischung von Rezirkulationsgas einzustellen. Durch dieses kontrollierte Temperaturprofil werden Temperaturspitzen vermieden und bereits durch die Feuerungsregelung sehr geringe NO_x-Werte realisiert. Oberhalb der Ausbrandzone wird bei einer Temperatur von ca. 930°C Ammoniakdampf über mehrere Düsen eingeblasen und NO_x zu Luftstickstoff (N₂)

reduziert (SNCR-Verfahren), so dass die NO_x-Werte unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte realisiert werden. Dieses Temperaturfenster wirkt sich auch positiv auf geringere Lachgaskonzentrationen aus.

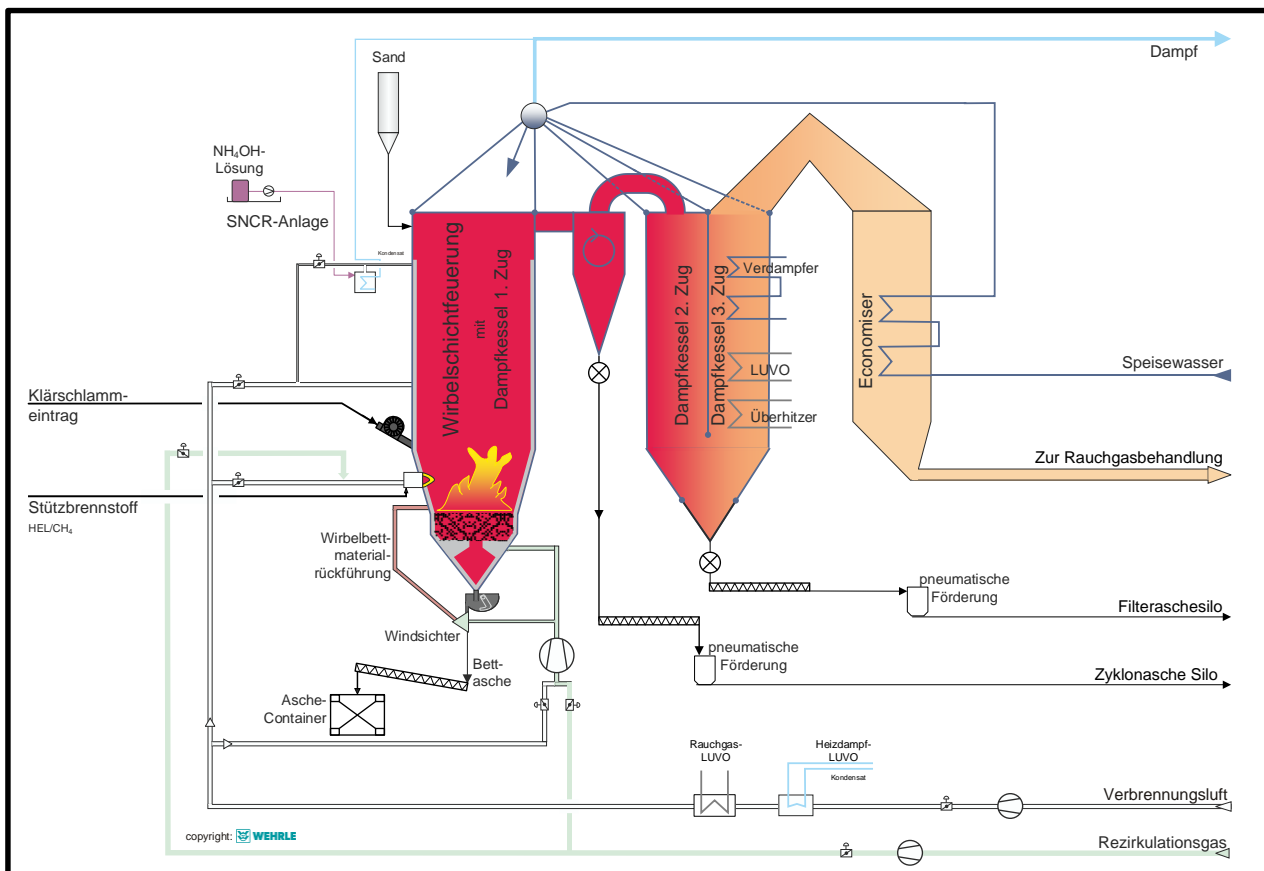


Abbildung 2: Prozessfließbild Wirbelschichtanlage mit Heißzyklon, vereinfacht [WEHRLE]

Beim Eintritt der bereits etwas abgekühlten Rauchgase in die Heiß-Zyklonanlage haben diese noch eine Temperatur bei Volllast von ca. 730°C.

DER HEISSGAS-DOPPELZYKLON

Verbesserung der Partikelabscheidung:

Zyklone, auch als Fliehkraftabscheider bezeichnet, nutzen die Trägheit der im Gasstrom befindlichen Partikel aus, um eine Separationswirkung zu erreichen. Im Einlauf, meist tangential gestaltet, wird eine abwärtsgerichtet spiralförmige Strömung erzeugt und die Partikel bewegen sich durch die Einwirkung der Fliehkraft in Richtung Zyklonwand in die sogenannte „laminare Unterschicht“. Nach einer gewisser Strömungsstrecke wird der Gasstrom in einer einfachen Ausführung abrupt in ein Tauchrohr umgelenkt und über Kopf ausgetragen. Die Partikel, welche sich bis dato in der laminaren Unterschicht an der Wand gesammelt haben, rutschen die steile Zyklonwand nach unten und werden im Sumpf des Apparates gesammelt und ausgetragen.

Die Fliehkraft F wird vereinfacht durch folgende Formel dargestellt:

$$F = \frac{m \cdot u^2}{r} = \frac{\rho V \cdot u^2}{r}$$

Darin sind m die Masse des Partikels, r der innere Radius des Zyklons und u die lokale Partikelgeschwindigkeit, die in erster Näherung der Gasgeschwindigkeit gleichgesetzt werden kann.

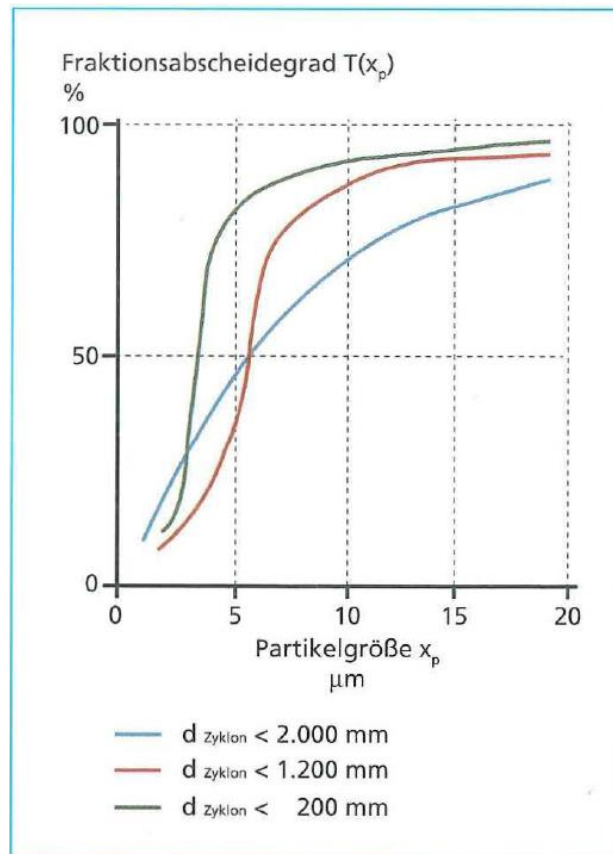


Abbildung 3: Vergleich von Abscheidegraden unterschiedlicher Zyklondurchmesser [1].

Aus der Formel ist ersichtlich, dass gleichgroße Partikel mit höherer Rohdichte ρ sich aufgrund der proportional höheren Fliehkraft wesentlich besser abscheiden lassen. Die Geschwindigkeit scheint durch den quadratischen Zusammenhang den größten Einfluss zu haben, jedoch lässt sich die Abscheideleistung durch Erhöhung der Gasgeschwindigkeit nicht beliebig steigern und nimmt ab einem gewissen Grad sogar wieder ab [1].

Für eine Verbesserung der Abscheideleistung auch im kleineren Partikelspektrum hat sich der Einsatz von parallelgeschalteten Zyklonen bewährt. Zum einen wird die Baugröße durch Aufteilung des Rauchgasstroms zu je 50 % reduziert, was für die Anlagenaufstellung von Vorteil ist. Darüber hinaus ist eine symmetrische An- und Abströmung aus den stromauf- und -abwärts liegenden Kesselsegmenten einfach möglich. Durch die kleineren Radien r bzw. der Durchmesser d zweier Zyklone wird eine höhere, Fliehkraft erzielt, die im Vergleich zu einem großen Zyklon insgesamt zu einer verbesserten Partikelabscheidung führen (siehe Abbildung 3). Dadurch ist es möglich Abscheidegrade von 95 % oder sogar mehr zu erreichen und somit die vorgegebenen 80 % P-Rückgewinnungsquote der AbfklärV durch Nutzung dieser P-Aschen zu erreichen.

Verbesserung der Schadstoffentfrachtung:

Durch die Verbrennung bei Temperaturen $> 900\text{ °C}$ im ersten Zug des Wirbelschichtkessels werden organische Schadstoffe vollständig oxidiert. Auch Schwermetalle und -verbindungen gehen teilweise in die Gasphase über in Abhängigkeit ihres Dampfdruckes und der Verweilzeit in der heißen Zone (siehe Abbildung 4). Durch den Einsatz eines Heißzyklons bei $> 700\text{ °C}$ besteht der Vorteil, dass Schwermetalle, die in die Gasphase überführt werden, sich nicht wieder auf den Aschen niederschlagen, sondern eine gewisse Trennung von Aschen und Schwermetallen erreicht werden kann. Am Beispiel Cadmium (Cd) wird in der Abbildung deutlich, dass beim Zyklon die Temperatur ausreicht, um eine erneute Abscheidung zu vermeiden. Hingegen wird bei Anlagen mit E-Filter im deutlich niedrigeren Temperaturbereich (typisch ca. $200 - 250\text{ °C}$) eine erneute Kontamination der Aschen stattfinden.

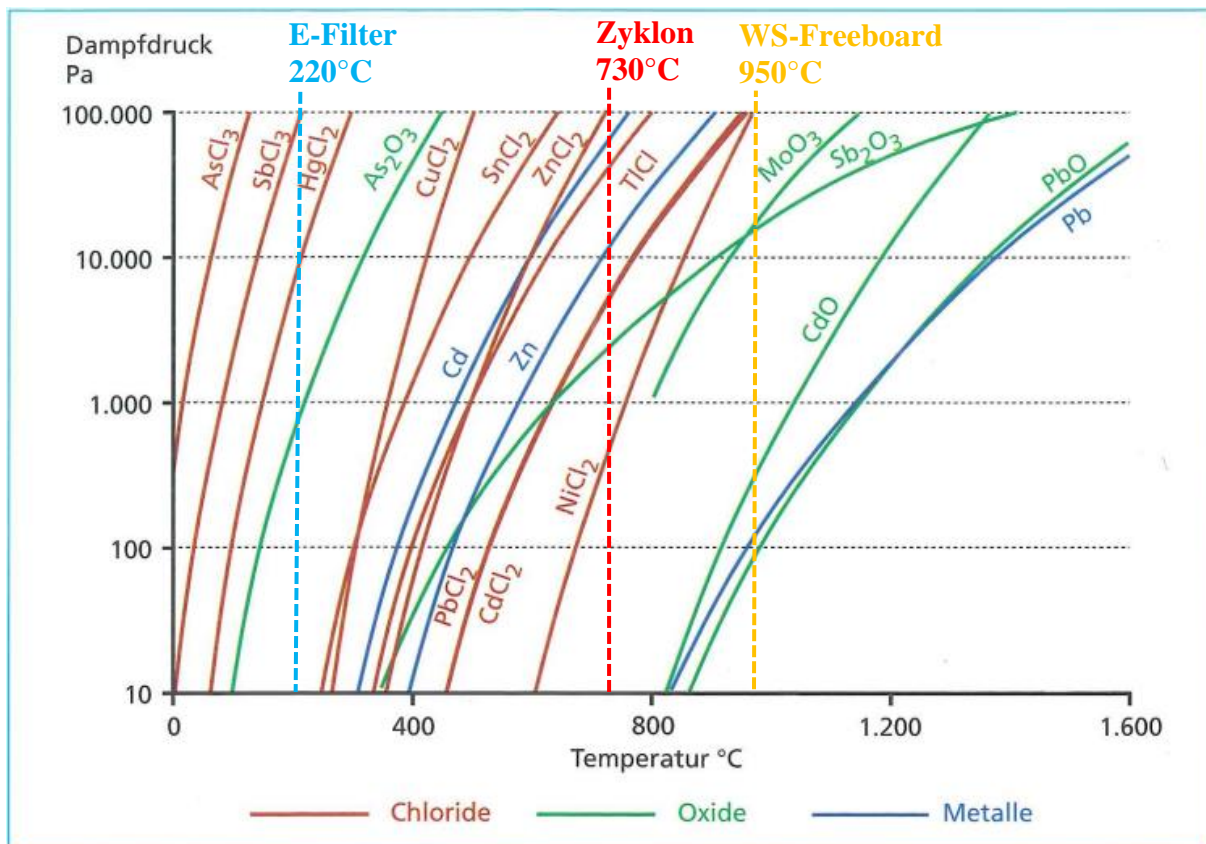


Abbildung 4: Dampfdrucke von Schwermetallen und deren Verbindungen als Funktion der Temperatur [1].

Ziel weiterer Entwicklungen von WEHRLE ist es mit der Zugabe von Additiven die Überführung der Schwermetalle in die Gasphase bei der Monoverbrennung von Klärschlamm zu unterstützen und somit eine noch bessere Schwermetallentfrachtung zu erreichen.

Ein weiterer Punkt, welcher vor allem chlorhaltige Brennstoffe betrifft ist die Neubildung von Dioxinen und Furanen (PCDD/DF) entlang des Rauchgaspfades über die sogenannte De-Novo-Synthese. Wie in Abbildung 5 gezeigt ist das Haupttemperaturfenster zur Neubildung im Bereich von $250 - 550\text{ °C}$ möglich. Klassische E-Filter arbeiten wie bereits erwähnt im Bereich von $200 - 250\text{ °C}$, so dass mit Durchlaufen des Kessels das komplette Neubildungsfenster durchschritten wird, mit der Gefahr der Bildung von PCDD/DFs,

welche sich nachher in den P-Aschen und im Gewebefilter wiederfinden. Durch die Anwendung des Heißgaszyklons wird die P-Asche vor Erreichen des Bildungsfensters abgetrennt, so dass der Verwendung als P-Aschedünger, hinsichtlich der strengen PCDD/DF-Grenzwerte von < 30 ng TEQ bzw. < 8 ng TEQ nach eigenen Untersuchungen in einer Technikumsanlage im Rahmen des BMBF RePhoR-Förderprojekts, nichts im Wege steht.

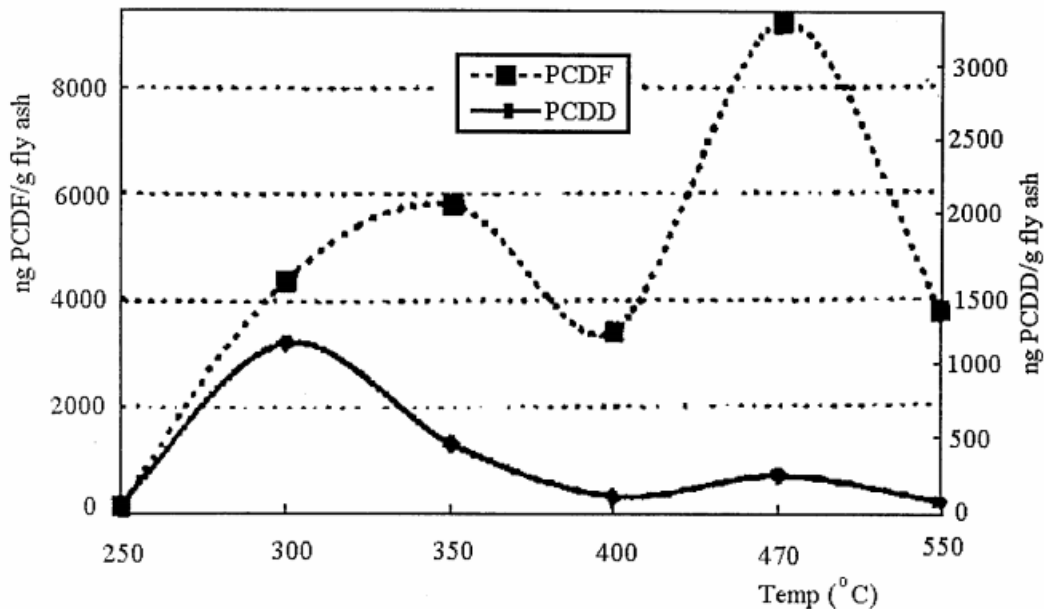


Abbildung 5: Typisches Temperaturfenster für die Bildung von PCDD/DF in der Flugasche [2]

FAZIT UND AUSBLICK

Die Kombination aus stationärer Mono-Wirbelschichtverbrennung mit Heißgaszyklon bietet ideale Möglichkeiten zur thermischen Verwertung von Klärschlämmen bei gleichzeitiger Erfüllung zukünftiger Aufgaben im Bereich der P-Rückgewinnung. Durch den offenen Düsenboden werden bereits Störstoffe und P-arme Phasen aussortiert und der P-Gehalt in den Wertstoffaschen somit angehoben. Eigene Untersuchungen zeigen im Rahmen des BMBF-RePhoR-Projekts einen sehr geringen Gehalt an Schadstoffen wie z.B. PCDD/DF. Hinsichtlich der Schwermetallentfrachtung sind weitere Untersuchungen mit Additiven geplant, die gleichzeitig auch zu deutlichen Verbesserungen der P-Pflanzenverfügbarkeit führen im Vergleich zu einer „Standard“-Mono-Verbrennungs-Asche.

REFERENZEN

[1] Löschau, M.: Reinigung von Abgasen, S.80ff & S.113ff, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2014

[2] Nussbaumer, T: UMWELT-MATERIALIEN NR. 172: Luft, Dioxin- und PAK-Emissionen der privaten Abfallverbrennung (BUWAL) S. 31, Bern 2004