

# Konzept der Abfallverbrennungsanlage 2030

Thorsten Moczala, Andreas Steckner und Margit Löschau

1.	Input und Vorbehandlung .....	18
2.	Feuerung und Kessel.....	18
2.1.	Entwicklungen beim Cladding.....	19
2.2.	Flexibilisierung des Anlagenbetriebs.....	19
3.	Abgasreinigung.....	20
4.	Energienutzung .....	20
4.1.	Wärmerückgewinnung aus Abgas .....	21
4.2.	Power-to-X-Technologien.....	22
4.3.	Wärmespeicherung.....	24
5.	Rohstoffrückgewinnung aus der Verbrennung .....	25
5.1.	Rückgewinnung von Nichteisenmetallen aus Schlacke .....	26
5.2.	Rückgewinnung von Zink aus Flugasche.....	27
6.	CO <sub>2</sub> -Abscheidung und Verwertung .....	28
7.	Fazit.....	29
8.	Literatur.....	30

Die Antwort auf die Frage wie die Abfallverbrennungsanlage 2030 aussehen wird, hängt neben technologischen Weiterentwicklungen auch insbesondere von politischen Entwicklungen ab. So haben die viel diskutierten Themen Energiewende, anthropogener Treibhauseffekt und Verknappung von Ressourcen einen starken Einfluss auf die thermische Abfallbehandlung der Zukunft. Sowohl bei Neuanlagen als auch bei Anlagenoptimierungen wird das Augenmerk zunehmend auf

- Energieeffizienz,
- Dekarbonisierung und
- Produktgewinnung

gelegt. Die TBF + Partner AG ist in viele solcher zukunftsorientierten Projekte involviert. Einige davon werden nachfolgend beispielhaft vorgestellt.

## 1. Input und Vorbehandlung

Die Abfallverbrennung dient der möglichst umweltfreundlichen Entsorgung von Restabfällen, deren Inhaltsstoffe sich weder ökologisch noch ökonomisch sinnvoll weiter auftrennen lassen. In den großen Ballungsgebieten wie Berlin liegt das Restabfallaufkommen zum Beispiel bei etwa 230 kg/EW\*a. Das darin theoretisch enthaltene Wertstoffpotenzial beläuft sich auf etwa 170 kg/EW\*a. Selbst bei optimierter Abschöpfung dieser Wertstoffpotenziale über Erhöhung des Anschlussgrads, Behältervolumen und Kampagnen zur Schulung der Bevölkerung ist im Bestfall nur mit einer Steigerung der Wertstoffeffassung um insgesamt 15 kg/EW\*a zu rechnen. Zudem ist das Abfallaufkommen aufgrund der Bevölkerungsentwicklung und dem Konsumverhalten insgesamt steigend.

Vorbehandlungsanlagen für Restabfall in Form von mechanisch-biologischen Behandlungsanlagen (MBA) können so gut wie kein stofflich verwertbares Material ausschleusen (Ausnahme sind Metalle, aber diese können auch aus der Verbrennungsschlacke abgetrennt werden.) Ansonsten bestehen diese Anlagen im Wesentlichen aus einer energieaufwendigen Auftrennung von heizwertreicher und heizwertarmer Fraktion, wobei die heizwertreiche Fraktion als Ersatzbrennstoff (EBS) häufig über weite Strecken zu einer energetischen Verwertung (also ebenfalls Verbrennung) transportiert wird und die heizwertarme Fraktion entweder gerettet oder vergärt wird. Es bleibt auch hier immer ein zu entsorgender Restanteil. Wird die Bilanzgrenze vergleichbar gezogen, so weist die direkte Verbrennung in den meisten Fällen gegenüber der MBA mit anschließender EBS-Verbrennung aus heutiger Sicht immer noch ökologische und ökonomische Vorteile auf.

Insgesamt bedeutet dies, dass die thermische Abfallbehandlung in jedem Fall auch im Jahr 2030 und weit darüber hinaus noch ein entscheidender Bestandteil der Entsorgungssicherheit in unserem Land sein wird und muss, weil der Restabfall nicht vollends vermieden werden kann und es derzeit keine umweltfreundlichere Alternative zur Entsorgung gibt.

## 2. Feuerung und Kessel

Der grundlegende Aufbau der Feuerung einer Abfallverbrennungsanlage wird sich aus heutiger Sicht nicht wesentlich ändern. Für die Verbrennung von Restabfall ist der Verbrennungsrost eine bewährte Technologie und wird fast ausschließlich eingesetzt. Im Rahmen der Instandhaltung werden bei den bestehenden Anlagen Komponenten aufgrund des Verschleißes und der Lebensdauer ausgetauscht, wobei bei der Erneuerung von Anlagenkomponenten zwischenzeitliche, technische Entwicklungen berücksichtigt werden. Eine komplette Umstrukturierung der Verfahrenstechnik in den Bereichen der Feuerung und des Dampferzeugers ist nicht zu erwarten.

Aufgrund des jahrzehntelangen Betriebs und der vielen Erfahrungen bei den jährlichen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sowie bei der Zustandsbeurteilung der einzelnen Anlagenkomponenten können die bestehenden Abfallverbrennungsanlagen in der Regel mit einer hohen Verfügbarkeit und Auslastung betrieben werden.

Mit den neuesten Entwicklungen im Cladding (Kapitel 2.1.) und in der Flexibilisierung des Anlagenbetriebs werden zwei zukunftsweisende Entwicklungen in Teilbereichen der Feuerungs- und Kesseltechnologie vorgestellt.

## 2.1. Entwicklungen beim Cladding

Das Aufbringen von hitze- und korrosionsbeständigen Schweißplattierungen (Cladding) auf Heizflächen von Dampferzeugern wird zur Verlängerung der Standzeiten von Heizflächen bereits seit 25 Jahren in Abfallverbrennungsanlagen durchgeführt. Dadurch werden zwar nicht die Ursachen der Korrosionserscheinungen im Kessel behoben, jedoch werden die Abzehrungen an den Heizflächen verringert. Diese Schweißplattierungen bestehen üblicherweise aus einer Legierung mit hohem Nickelanteil.

Aus den Erfahrungen der letzten Jahre bei der Herstellung von Schweißplattierungen lässt sich ableiten, dass noch nicht alle Entwicklungspotenziale in dieser Technologie ausgeschöpft sind. Neben den schon heute verwendeten Robotern und Schweiß-Vollautomaten zum Aufbringen des Claddings werden zukünftig neue Verfahren (z.B. Laser-Cladding, MAG-Puls-, WIG-Heißdraht- oder WIG-Twindraht-Verfahren) die Qualität der Schweißplattierung und die Variabilität bei der Plattierungsschichtdicke weiter verbessern. Dadurch können gegebenenfalls Kostenreduktionen entstehen. Zum Beispiel könnten Rohre von Überhitzerpaketen, die bisher nicht gecladdet wurden, bei geringeren Kosten mit einem *dünnen* Cladding zusätzlich schweißplattiert werden, sodass sich dadurch die Standzeiten der Heizflächen verlängern und damit die Instandhaltungskosten verringern [3].

## 2.2. Flexibilisierung des Anlagenbetriebs

Aufgrund der Energiewende und der Netzstabilisierung ist im kommenden Jahrzehnt mit erhöhten Anforderungen an die Flexibilisierung des Anlagenbetriebs zu rechnen.

Ein Schlüsselkonzept der Energiewende stellt die Sektorenkopplung, d. h. die Vernetzung der Sektoren Strom, Wärme, Transport und Industrie, dar. Die Sektorenkopplung stellt jedoch erhöhte Anforderungen an die Flexibilität der Strom- und Wärmeproduktion. Flexibilität kann einerseits durch Variation der Abfallzufuhr in die Verbrennung oder andererseits durch Lastverschiebung zwischen Stromproduktion und Wärmeauskopplung/Prozessdampfexport erreicht werden. In Kombination mit Wärmespeichern, Power-to-Heat und Bunkerung von Abfall kann die bedarfsgerechte Bereitstellung von Energie über die Sektorengrenzen in einem gewissen Rahmen realisiert werden.

Modellrechnungen zeigen, dass in einer Beispielanlage bei einer technisch machbaren stündlichen Flexibilität von bis zu 40 % bereits im heutigen Marktumfeld Mehrerlöse von 11,4 % erzielt werden können [4]. Zusätzliche, politisch initiierte Marktanreize können das Ziel der Flexibilisierung des Anlagenbetriebs weiter begünstigen.

Ein Aspekt, der unter anderem im Zuge der Energiewende zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist die Vorhaltung ausreichender Regelreserven zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit im Stromnetz. Bei weiter abnehmenden Anteilen der fossilen und

Kernenergie-basierten Stromerzeugung am Energiemix, wird der Stromerzeugung aus Abfall eine größere Rolle für die Sicherstellung der Netzstützung zukommen. Die Präqualifizierung weiterer stromproduzierender Abfallverbrennungsanlagen für die Sekundär- und Tertiärregelung wird daher voraussichtlich vorangetrieben werden.

### 3. Abgasreinigung

Im Bereich der Abgasreinigung ist in den letzten Jahren für den Bereich der Abfallbehandlung eine deutliche Entwicklung von nassen Verfahren auf halbtrockene, konditioniert-trockene oder trockene Verfahren zu verzeichnen.

Allerdings werden sich die Anforderungen an die einzuhaltenden Emissionswerte künftig verschärfen, da sich das Merkblatt zur besten verfügbaren Technik (BVT) für Abfallverbrennungsanlagen gerade in der Aktualisierung befindet. Im Dezember 2018 wurde der finale Entwurf durch das European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB) vorgelegt. Mit der Richtlinie über Industrieemissionen und ihrer nationalen Umsetzung im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) im Jahr 2013 haben die BVT-Merkblätter einen sehr viel höheren Status als zuvor erhalten. So dienen die BVT-Schlussfolgerungen (die zentralen Elemente der BVT-Merkblätter) künftig nicht nur bei der Festlegung der Genehmigungsaufgaben als Referenz, sondern die Genehmigungsaufgaben müssen auch innerhalb von vier Jahren nach Veröffentlichung von Entscheidungen über BVT-Schlussfolgerungen entsprechend angepasst werden. Der derzeitige Status enthält auch eine umfangreiche Zusammenstellung von Abgasreinigungstechnologien sowie typischen Verbrauchswerten und erreichbaren Emissionswerten, die für Abfallverbrennungsanlagen einzuhalten sind.

Daraus ergeben sich die folgenden künftig zu berücksichtigenden Aspekte:

- Einhaltung verschärfter Emissionsgrenzwerte (aufgrund der in den BVT-Schlussfolgerungen angegebenen erreichbaren Emissionswerte),
- Berücksichtigung einer kontinuierlichen Hg-Überwachung (da die Ausnahmeregelung stark eingeschränkt ist) und
- jährliche Kontrolle des  $N_2O$ -Emissionswertes (gilt für Wirbelschichtverbrennungsanlagen und SNCR mit Harnstoff).

Je nachdem welche Emissionswerte der Gesetzgeber auf Basis der BVT-Schlussfolgerungen umsetzen wird, ergibt sich ggf. ein Handlungsbedarf, um bei den bestehenden Abgasreinigungsanlagen höhere Abscheideleistungen zu erreichen.

### 4. Energienutzung

Die Steigerung der Energieeffizienz wird auch im kommenden Jahrzehnt eine wichtige Rolle bei Neubau, Umbau und Weiterentwicklung von Abfallverbrennungsanlagen einnehmen. Darüber hinaus führt die Forderung nach sektorübergreifender Energienutzung im Rahmen der Energiewende zu neuen Anbindungsformen bei den Abfallverbrennungsanlagen.

Bedeutende Entwicklungen sind in den Bereichen

- Wärmerückgewinnung aus Abgas,
- Power-to-X-Technologien und
- Wärmespeicherung anzutreffen.

In der klassischen Energienutzung wie Stromerzeugung in Dampfturbinen und Auskopplung von Fernwärme sind keine signifikanten technischen Weiterentwicklungen zu beobachten oder zu erwarten.

#### 4.1. Wärmerückgewinnung aus Abgas

Der Wärmerückgewinnung aus Abgas kommt eine besondere Bedeutung zu, da hier mit der Abgaskondensation und Wärmepumpen Technologien zum Einsatz kommen, die im Maßstab des Großanlagenbaus in Deutschland bisher nicht eingesetzt wurden. Da jedoch in Skandinavien bereits mehrere Abgaskondensationsanlagen in Abfallverbrennungsanlagen erfolgreich in Betrieb sind, kann von einer ausgereiften Technik ausgegangen werden.

Trotz Mehraufwand bei der Neutralisation und Reinigung des Abgaskondensats stellt sich die Wirtschaftlichkeit positiv dar, wie bisherige Untersuchungen und erste Realisierungen belegen. Beispielhaft werden die Ergebnisse einer Studie zur Nachrüstung von Komponenten zur Wärmerückgewinnung aus Abgas an der Energiezentrale Forsthaus (Bern/CH) vorgestellt. In Bild 1 ist das Anlagenkonzept schematisch für den Winterbetriebsfall dargestellt. Im IST-Zustand gelangt das Abgas ohne weitere Wärmerückgewinnung mit einer Temperatur von 140 °C durch den Kamin in die Umgebung. Das Wärmerückgewinnungskonzept sieht die folgenden neuen Komponenten im Abgaspfad vor:

- Kondensatvorwärmung Wasser-Dampf-Kreislauf:

Das Kondensat am Ausgang des Luftkondensators wird mit Hilfe des Abgases von 40 auf 60 °C vorgewärmt und nach der anschließenden zweiten Kondensatvorwärmung in den Speisewasserbehälter geleitet. Dem Abgas wird bei einer Abkühlung von 140 auf 70 °C eine thermische Leistung von 2,8 MW<sub>th</sub> entzogen.

- Absorptionswärmepumpe:

In einer zweistufigen Anordnung wird der Kaltwasserkreislauf der Wärmepumpe von 30 auf 40 °C aufgeheizt. Dabei wird dem Abgas insgesamt 5,6 MW<sub>th</sub> bei einer weiteren Abkühlung auf 40 °C entzogen. In diesen Wärmetauschern fällt Kondensat aus dem Abgas von durchschnittlich 6,5 t/h aus. Da dieses Kondensat mit Aschen belastet ist, muss es neutralisiert und gereinigt werden. Mit einem MD-Treibdampfverbrauch von 11 MW<sub>th</sub> speist die Wärmepumpe 6,6 MW<sub>th</sub> in das Fernwärmenetz ein.

- Aufwärmung des Abgases:

In der vorliegenden Anlage muss Dampfschwadenbildung am Kaminaustritt weitgehend vermieden werden. Aus diesem Grund wird das in der vorherigen Stufe anfallende Kondensat abgeschieden und das Abgas anschließend mit Hilfe von Niederdruckdampf wieder leicht aufgeheizt.

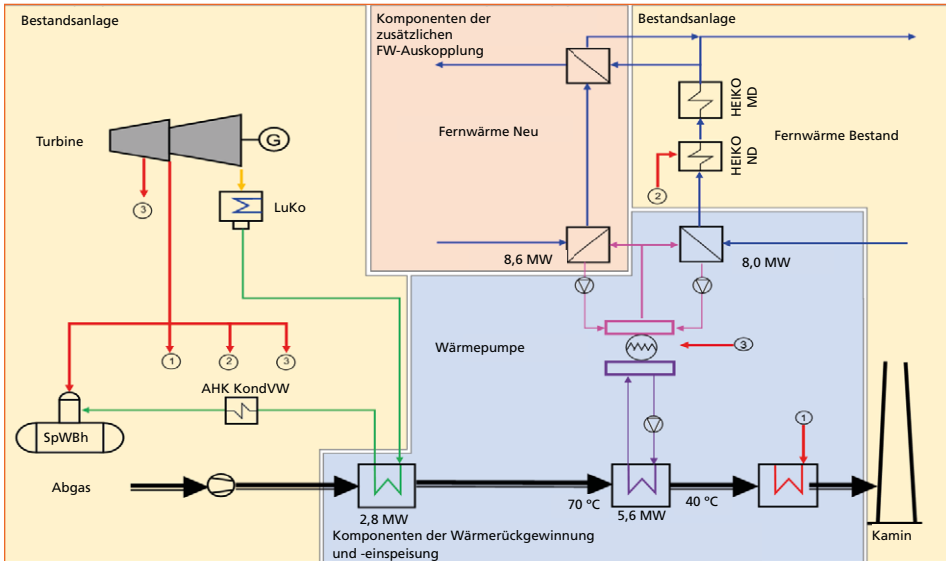


Bild 1: Wärmerückgewinnung aus Abgas am Beispiel der EZF Bern

Die Bruttowärmerückgewinnung aller Wärmetauscher beträgt  $8,4 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Aus der energetischen Gesamtbetrachtung ergibt sich eine rückgewinnbare Wärme aus dem Abgas von  $43 \text{ GWh/a}$ .

Unter Zugrundelegung von Investitionskosten für die erforderlichen Anlagenkomponenten und die Installation/Umbau sowie den abgeschätzten Betriebskosten und den Zusatzerlösen ergibt sich für diesen Fall eine Amortisationsdauer von neun Jahren. Je nach Komplexität der Integration neuer Komponenten in den Bestand und genehmigungsrelevanter Randbedingungen (z.B. Vermeidung von Dampfschwadenbildung am Kaminaustritt) kann die Wirtschaftlichkeit jedoch variieren. Aufgrund des positiven Studienergebnisses steht die EZF Bern kurz vor der Realisierungsentscheidung des untersuchten Wärmerückgewinnungskonzepts.

## 4.2. Power-to-X-Technologien

Die Power-to-X-Technologien beinhalten im Wesentlichen die folgenden Prozesse:

- Power-to-Gas (z.B. Wasserstoff, synthetisches Erdgas),
- Power-to-Liquid (z.B. synth. Diesel, Benzin, Kerosin) und
- Power-to-Chemicals.

Der Bereich Power-to-Heat wird hier nicht betrachtet. Allen oben genannten Prozessen gemein ist die Elektrolyse, bei der Wasserstoff mit Hilfe von Strom gewonnen wird. Mit Ausnahme der direkten Nutzung von Wasserstoff wird dieser mit Hilfe eines zweiten Stoffes chemisch gebunden, sodass dadurch das gewünschte Endprodukt entsteht. Sowohl bei der Methanisierung als auch bei der Methanolsynthese dient dazu in der Regel Kohlendioxid. Abfallverbrennungsanlagen könnten bei dieser Technologie einerseits den Strom zur Elektrolyse bereitstellen und andererseits als  $\text{CO}_2$ -Quelle dienen. Die Methanisierung kann entweder durch einen Katalysator auf Nickelbasis oder unter Einsatz von Mikroorganismen biologisch erfolgen.

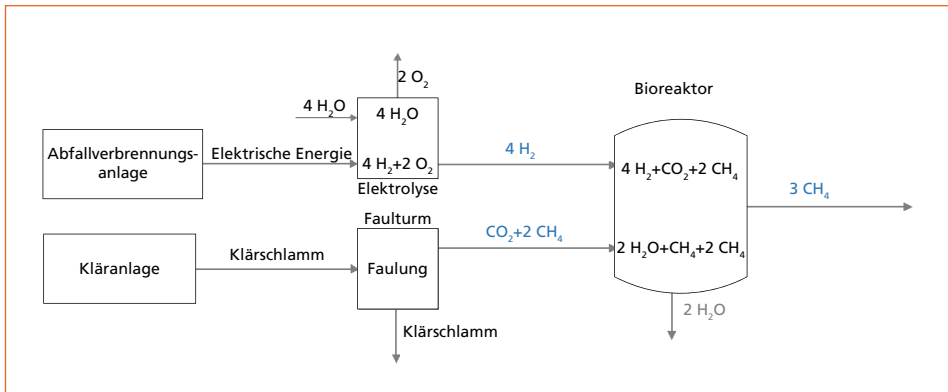


Bild 2: Methanisierungsprozess unter Einsatz von Mikroorganismen

Beispielhaft für diese Technologie soll das Projekt eines *Hybridkraftwerks* bei der Abfallverbrennungsanlage der Firma Limeco in Dietikon in der Schweiz vorgestellt werden, das im Endzustand aus

- der vorhandenen Abfallverbrennungsanlage mit Stromproduktion durch eine Dampfturbogruppe,
- der vorhandenen Kläranlage mit Klärgasproduktion sowie
- einer neuen Power-to-Gas-Anlage einschließlich
  - Elektrolyse-Anlage und
  - biologischer Methanisierungsanlage besteht.

Mit Hilfe des in der Elektrolyse erzeugten Wasserstoffs und des Kohlendioxids aus der Klärschlammfäulung wird innerhalb eines Bioreaktors Methan und damit synthetisches Erdgas erzeugt, das in das Niederdruck-Erdgasnetz eingespeist wird. Die Inbetriebnahme der Anlage ist für den Sommer 2020 geplant.

Da sich die spezifischen Investitionskosten für dieses Verfahren bis 2030 aufgrund von zunehmenden Anlagengrößen voraussichtlich um etwa ein Drittel verringern werden [2], werden Projekte mit Integrationen von Abfallverwertungsanlagen in Power-to-X-Technologien in Zukunft voraussichtlich vermehrt auftreten.

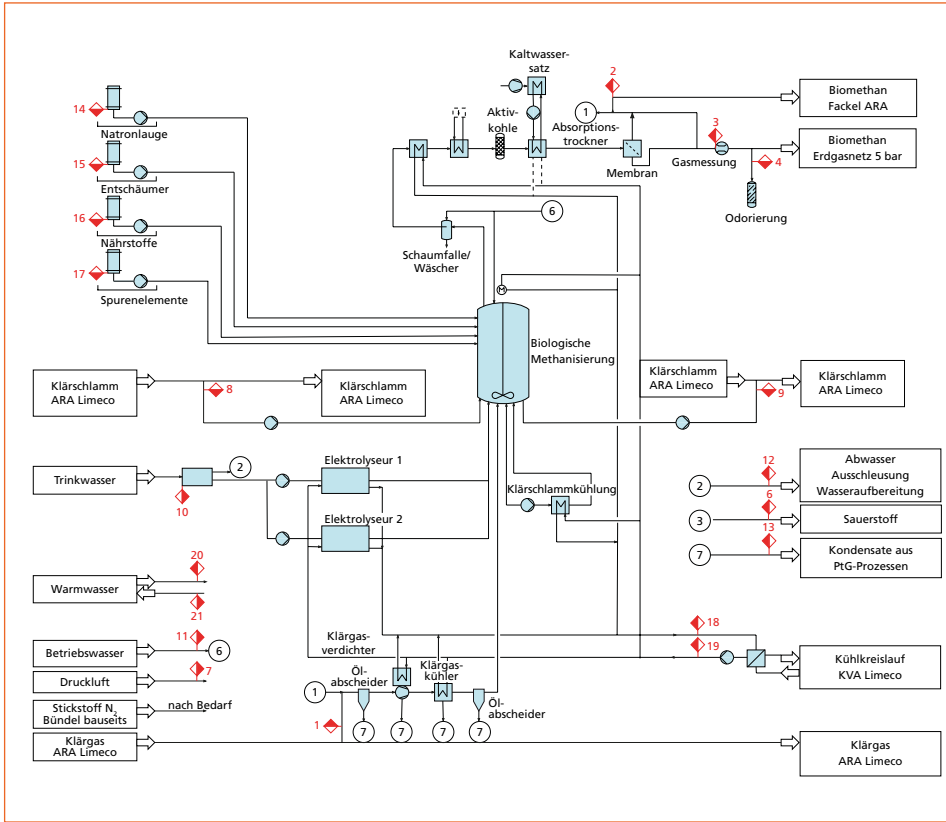


Bild 3: Prinzipschema des Power-to-Gas-Prozesses bei der Firma Limeco

### 4.3. Wärmespeicherung

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 2.2. beschriebenen Flexibilisierung des Anlagenbetriebs nimmt die Speicherung von Energie zunehmend eine größere Bedeutung ein. Das Spektrum an elektrischen, thermischen und chemischen Energiespeichern ist sehr vielfältig. Ihr Einsatz dient entweder zur Effizienzsteigerung und Flexibilisierung bestehender Systeme (z.B. Vergleichmäßigung von Leistungsspitzen) oder zur Integration erneuerbarer Energiesysteme mit sehr schwankender Energieerzeugung. Die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Speichertypen ergeben sich unter anderem aufgrund der gespeicherten Energieart, dessen Speicherzeit und -kapazität sowie deren Systemintegration. Da Abfallverbrennungsanlagen in der Regel bereits über eine intensive Wärmeauskopplung verfügen, eignen sich zur Koppelung des Strom- und Wärmesektors aus heutiger Sicht insbesondere thermische Speicher, bei denen eine Speicherintegration relativ einfach möglich ist. Weil das Temperaturniveau der Fernwärmesysteme in der Tendenz geringer wird, nimmt das Potenzial auskoppelbarer Wärme zu. Mit Hilfe von Wärmepumpen, die zunehmend auch im Großanlagenbau eingesetzt werden, kann das Temperaturniveau bei Bedarf unter Einsatz von zusätzlicher Energie angehoben werden.



Wärmespeicher können in sensible, latente und thermochemische Wärmespeicher aufgeteilt werden. Für die Integration von Wärmespeichern in bestehende Fernwärmenetze wird in der Regel die sensible Wärmespeicherung angewendet. Bei dieser Technologie wird einem Speichermedium ohne seinen Aggregatzustand zu wechseln Energie zu- bzw. abgeführt. Die Technik dieser Speicher ist ausgereift und im Vergleich zu anderen Speicherarten kostengünstig.

Bezüglich der Speicherkapazität können Wärmespeicher in Kurzfristwärmespeicher, Wochen- und Monatspeicher sowie in saisonale Großwärmespeicher eingeteilt werden. Die Speichergröße richtet sich nach dem geplanten Einsatzfall. Beispiele hierfür sind:

- Bereitstellung von Regelleistung (z.B. Sekundärregelung, Minuten- oder Stundenreserve),
- Vergleichmäßigung von täglichen Bedarfsschwankungen,
- Reduzierung von Leistungsspitzen,
- Ausweitung der Kraft-Wärme-Kopplung und
- Ausgleich saisonaler Schwankungen (Sommer/Winter).

Da diese Themen in den nächsten Jahren an Bedeutung zunehmen werden, wird die Wärmespeicherung und deren Integration in bestehende Fernwärmenetze auch in Zusammenhang mit Abfallverbrennungsanlagen ausgebaut werden.

## 5. Rohstoffrückgewinnung aus der Verbrennung

Die Rohstoffrückgewinnung aus Verbrennungsrückständen stellt ein zunehmend wichtiges Thema im Sinne der Kreislaufwirtschaft dar. Feste Rückstände der Abfallverbrennung bilden zu einem Anteil von etwa 20 % der Abfallmenge Schlacke und etwa 2 % Filterasche. Schlacke und Asche enthalten wertvolle Metalle wie Eisen, Aluminium, Kupfer und

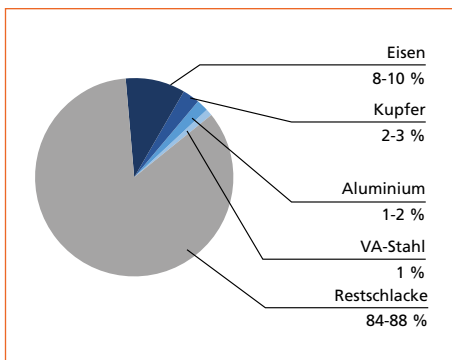


Bild 4: Durchschnittliche Schlackezusammensetzung in Abfallverbrennungsanlagen

Zink (Bild 4), die sich in Schmelzöfen oder mit anderen metallurgischen Prozessen zu Rohstoffen rezyklieren lassen.

Die Schweiz nimmt bei der Rohstoffrückgewinnung eine Vorreiterrolle ein, da hier die Metallrückgewinnung ab dem 1.1.2021 in verschärfter Form gesetzlich vorgeschrieben wird. Deponierte Schlacke darf dann nur noch maximal 1 % Nicht-eisenmetalle enthalten. Zwei Teilaspekte der Rohstoffrückgewinnung werden im vorliegenden Kapitel beleuchtet.

## 5.1. Rückgewinnung von Nichteisenmetallen aus Schlacke

Grundsätzlich werden zwei verschiedene Austragungssysteme für Schlacke in Abfallverbrennungsanlagen unterschieden. Der Nassaustrag ist zurzeit das Standardverfahren und entspricht dem Stand der Technik. Das zweite Verfahren, der Trockenausstrag wird seit seiner Einführung 2007 in insgesamt vier Abfallverbrennungsanlagen der Schweiz betrieben. Dabei entfällt der wassergefüllte Entschlacker nach dem Verbrennungsrast, sodass die Schlacke nicht in Kontakt mit Wasser kommt. Ziel des Trockenausstrags ist es, die Rohstoffrückgewinnung zu erleichtern. Da der Trockenausstrag jedoch einen hohen Staubanteil zur Folge hat, ist die trocken ausgetragene Schlacke nur bedingt für die Behandlung in konventionellen Aufbereitungsanlagen geeignet.

Die konventionell mechanische Aufbereitung der nass ausgetragenen Schlacke ist in Bild 5 dargestellt und umfasst die folgenden Schritte:

1. Trocknung bzw. Zwischenlagerung der nassen Schlacke,
2. Aufgabe auf die Anlage mittels Radlader,
3. Eisenabscheidung mittels Magneten,
4. manuelle Sortierung für spezielle Fraktionen,
5. optionale Zerkleinerung und Freilegung (in D, NL, DK nicht gängig aufgrund der Weiterverwertung als Strukturmaterial in der Bauwirtschaft),
6. Siebung in verschiedene Korngrößen,
7. Gewinnung von Nichteisenmetallen mittels Wirbelstromabscheider, ggf. auch VA-Abscheidung, und
8. Weiterverwertung bzw. Deponierung der Restschlacke.

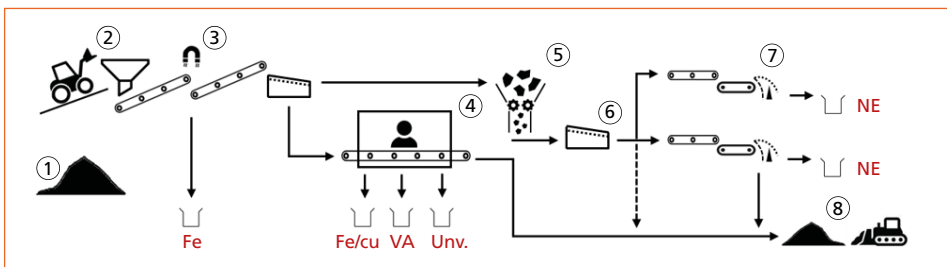


Bild 5: Aufbereitung von nass ausgetragener Schlacke

Die Feinfraktion der Schlacke (Schritte 5-6) enthält einen besonders hohen Anteil an wertvollen Nichteisenmetallen und ist damit attraktiv für die wirtschaftliche Nutzung. Insbesondere finden sich hier die sogenannten schweren Nichteisenmetalle, wie Kupfer, Zink, Blei, Silber und weitere Edelmetalle. Der nasse Austrag erschwert die technische Abtrennung feiner Partikel. Daher galt beim Nassaustrag die Feinschlacke lange Zeit als verloren für die Aufbereitung. Innovative Verfahren und Weiterentwicklungen

bestehender Komponenten haben in den letzten Jahren jedoch auch dieses Potential erschlossen. So ist es heute möglich, auch bei nass ausgetragener Schlacke Nichteisenmetalle aus der Feinschlacke abzutrennen. Allerdings ist die Rückgewinnungsquote für sehr feine NE-Partikel klein und die NE-Fraktion ist stark verunreinigt. Sie enthält immer noch so viel Schlacke, dass ein weiterer Aufbereitungsschritt erforderlich ist, um die Weiterverarbeitung der Metalle in der Hüttenindustrie zu ermöglichen. Hier liegt der Hauptvorteil der trockenen Aufbereitung, da sie die direkte Verwertung der abgeschiedenen Wertstoffe erlaubt.

Seit Einführung des Verfahrens zum trockenen Schlackeaustrag wird deren Wirtschaftlichkeit kontrovers diskutiert. War mit dem konventionellen Nassaustrag eine Rückgewinnung von zwei Prozentpunkten Nichteisenmetalle aus der Schlacke möglich (vgl. [1]), so ist heute mit der Best Available Technology eine Rückgewinnung von drei Prozentpunkten im industriellen Maßstab erreichbar (vgl. [6]). Demgegenüber steht eine Auswertung der Aufbereitungsanlage Hinwil in der Schweiz für Schlacke aus trockenem Austrag, die eine Nichteisenmetall-Rückgewinnung von mehr als vier Prozentpunkten der Schlackenmenge ausweist (vgl. [7]) und damit bei erhöhtem anlagentechnischem Aufwand eine interessante Alternative zum klassischen Nassaustrag darstellt. Je nach Edelmetallgehalt kann mit dem Trockenaustrag ein um Faktor 4 bis 8 höherer Ertrag für die zurückgewonnenen Wertstoffe erzielt werden. Trotz unterschiedlicher Bewertung der Wirtschaftlichkeit innerhalb der Entsorgungsbranche haben sich erste Betreiber entschieden, den Trockenaustrag im Anlagenneubau von Beginn an vorzusehen.

## 5.2. Rückgewinnung von Zink aus Flugasche

Filteraschen enthalten bis zu 10 % Zink, 3 % Aluminium, 2 % Eisen, 1 % Titan und 2 % sonstige Nichteisenmetalle. Anders als in Deutschland darf in der Schweiz Flugasche nicht ohne Nachbehandlung deponiert werden, da Untertagedeponien weitgehend fehlen. Die saure Flugaschenwäsche ist das gängige Behandlungsverfahren, mit dem Schwermetalle (Quecksilber, Cadmium) aus der Asche abgeschieden werden und es möglich macht, die Flugasche auf Schlackendeponien abzulagern. Nachdem 2012 auf der Anlage der KEBAG AG in Solothurn/CH das FLUREC-Kombinationsverfahren aus Flugaschenwäsche mit nachgeschalteter Solventextraktion und Elektrolyse zur Gewinnung von hochreinem Zink als Pilotanlage realisiert wurde, ist nun mit dem SwissZync-Verbund die Ausweitung dieser Technologie auf die gesamte Branche anvisiert.

Am Anfang des Verfahrens steht die Flugaschenwäsche. Die daraus resultierende Abwasserbehandlung erlaubt die Abscheidung von Hydroxidschlamm mit 15 bis 25 % Zinkgehalt. Das Verfahren (Bild 6) sieht dann die Laugung und Zementierung des Hydroxidschlammes als Vorstufe zur Abscheidung von Blei, Kupfer und Cadmium vor. Zum Erhalt von Zink schließt sich eine Solventextraktion an, die im Zusammenspiel mit einer Elektrolyse reines Feinzink herstellt.

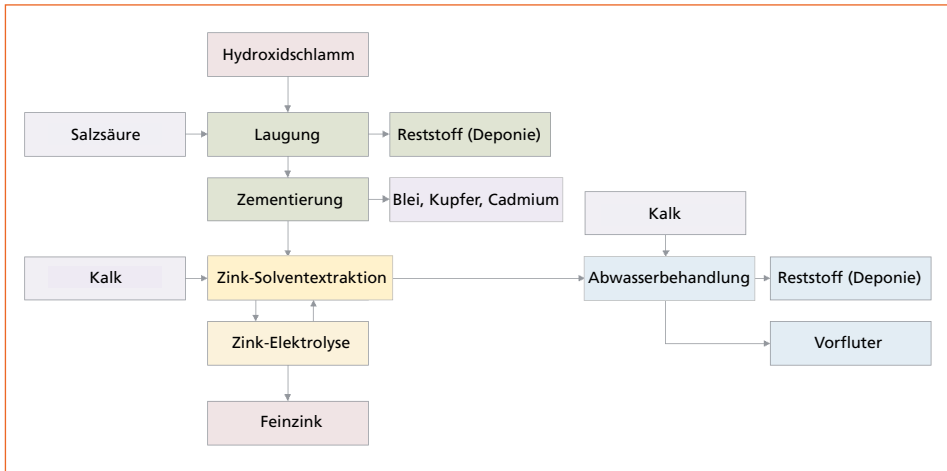


Bild 6: SwissZync-Verfahren zur Zinkrückgewinnung aus Flugasche

Vor dem Hintergrund, dass in der Schweiz die Filteraschebehandlung gesetzlich vorgeschrieben und die Metallrückgewinnung aus Filteraschen ab Januar 2021 verpflichtend wird, ist die Zinkrückgewinnung nicht wirtschaftlich motiviert. Nach dem vorgestellten Geschäftsmodell des geplanten SwissZync-Verbunds stellt sich das Verfahren als bestenfalls kostenneutral dar [5].

## 6. CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Verwertung

Im Jahr 2016 hat die internationale Staatengemeinschaft das Pariser Klimaschutzabkommen (COP 21) beschlossen. Darin wird der Anstieg der globalen Mitteltemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf maximal 2 °C begrenzt. Darüber hinaus ist darin das Ziel enthalten, dass sich die mittlere Erderwärmung maximal um 1,5 °C erhöht. Durch die anschließende Ratifizierung wurde das Abkommen völkerrechtlich bindend.

Durch diese Vereinbarung lässt sich ein für die Menschheit noch verbleibendes Budget für Treibhausgasemissionen ableiten. Bei einer Erhöhung von 2 °C beträgt dieses 1.000 Gt<sub>CO<sub>2</sub>äq</sub>, bei 1,5 °C 400 Gt<sub>CO<sub>2</sub>äq</sub>. Bei Beibehaltung der derzeitigen Treibhausgasemissionen von etwa 40 Gt<sub>CO<sub>2</sub>äq</sub> pro Jahr wären diese Kontingente nach 10 bzw. 25 Jahren aufgebraucht [9].

Vor diesem Hintergrund wird bei Abfallverbrennungsanlagen das Thema der CO<sub>2</sub>-Emissionen zunehmen, auch wenn diese Anlagen im Grunde genommen zur effizienten Verwertung von Abfall dienen. Bei der Frage, wie CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Abfallverbrennungsanlagen vermieden bzw. reduziert werden können, werden neben den in Kapitel 4.2. genannten Power-to-X-Technologien unter anderem auch die Abscheidung und Lagerung von CO<sub>2</sub> (Carbon Capture und Storage Technik (CCS)) als mögliche Lösungsansätze genannt.

Um die gesetzten Klimaziele zu erreichen, sieht das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) in einer Studie es als erforderlich an, dass CO<sub>2</sub> aus der Luft gefiltert (Direct Air Capture) und anschließend in geologischen Formationen gespeichert werden wird. Aufbauend auf diesem Gedanken kann es sinnvoll sein, das unvermeidlich erzeugte CO<sub>2</sub>, wie beispielsweise bei der thermischen Abfallverwertung, erst gar nicht in die Atmosphäre abzugeben, sondern direkt von den CO<sub>2</sub>-Quellen abzuleiten und zu speichern. Mit der CCS-Technologie wird versucht, diesem Ziel gerecht zu werden. Dabei sollen CO<sub>2</sub>-Quellen, z.B. Abfallverwertungsanlagen, an ein kontinentales CO<sub>2</sub>-Leitungsnetz angeschlossen werden. Mit Hilfe dieses Netzes soll das Kohlendioxid entweder zu CO<sub>2</sub>-Speichern, wie leere Gasfelder oder geologisch geeignete Gesteinsformationen (z.B. Kavernen), oder zu den oben beschriebenen Power-to-X-Anlagen, die CO<sub>2</sub> benötigen, geleitet werden.

Der Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen (VBSA) untersucht derzeit in einer Studie die Machbarkeit dieser Technologie und wie ein Konzept für den Transport des CO<sub>2</sub> in der Schweiz aussehen könnte. Zudem plant der Verband die Realisierung eines Testprojekts für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung in industriellem Maßstab in einer Schweizer KVA. In Norwegen wird bereits durch das Industriekonsortium *Northern Lights* mit den Partnern Equinor, Shell und Total an einer ersten Anlage gearbeitet, in der CO<sub>2</sub> aus einer Osloer Abfallverwertungsanlage und einer Zementfabrik in einer leeren Erdgaslagerstätte in der Nordsee gespeichert werden soll. Darauf aufbauend gibt es Überlegungen, diese Lagerstätte generell für europäische CO<sub>2</sub>-Emittenten zu öffnen. Die Investitionsentscheidungen hierfür sollen in den nächsten Jahren getroffen werden. Damit könnte etwa im Jahr 2024 eine CO<sub>2</sub>-Speicherkapazität für rund 5 Millionen Tonnen zur Verfügung stehen. Ein weiterer Kapazitätsausbau wäre in Abhängigkeit des Interesses darüber hinaus möglich. Für Norwegen wurde die verfügbare Offshore-Speicherkapazität mit 70 Gt abgeschätzt [10]. Ähnliche Aktivitäten gibt es mit dem *Porthos*-Projekt in den Niederlanden, bei dem erschöpfte Offshore-Gasfelder in der Nordsee in CO<sub>2</sub>-Speicher umgewandelt werden sollen. Damit könnten Speicherkapazitäten von etwa 2 bis 5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr allgemein zugänglich gemacht werden. Der Betriebsbeginn dieser Anlage ist für das Jahr 2023 geplant [8].

## 7. Fazit

Abfallverbrennungsanlagen werden auch im Jahr 2030 ein wichtiger Bestandteil der Entsorgungswirtschaft sein. Die in diesem Fachbeitrag betrachteten Themen zeigen jedoch, dass auch in den nächsten zehn Jahren technische, politische und umweltrelevante Entwicklungen zu veränderten Rahmenbedingungen für Abfallverbrennungsanlagen führen werden. Dies betrifft insbesondere die Bereiche Energieeffizienz, Dekarbonisierung und Rohstoffrückgewinnung. Durch eine möglichst frühe Auseinandersetzung mit erkennbaren Marktveränderungen können rechtzeitig Maßnahmen eingeleitet werden, sodass Chancen mit neuen Geschäftsfeldern und Absatzmärkten genutzt und Risiken möglichst vermieden werden.

## 8. Literatur

- [1] Binggeli, B.: Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2019
- [2] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Power to X: Technologien: 2018
- [3] Herzog, T.: Status und Zukunft des Cladding. In: Thiel S., Thomé-Kozmiensky E., Quicker P., Gosten A. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 16. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, 2019, S. 521-538
- [4] Huneke F.; Linkenheil, C. P.; Lenck, T.; Heddrich, M.-L.: Beitrag Thermischer Abfallbehandlungsanlagen zur Energiewende: Energy Brainpool GmbH & Co. KG, 2017, S. 59-63
- [5] Juchli, M.; Schlumberger, S.: Rückgewinnung von Metallen aus Flugaschen: SwissZincAG (Hrsg.): VBSA Fachtagung, 05. Dez. 2017
- [6] Kaiser, M.; Eicher, P.: Ergebnisse der Aufbereitung von nass ausgetragener KVA-Schlacke nach *Best Available Technology*: Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik, 2019
- [7] Meier, H.; Dr. Müller, R.: Geschäftsbericht 2018: ZAV Recycling AG, 2019
- [8] Port of Rotterdam, Gasunie and EBN: Companies register interest for Porthos CO<sub>2</sub> Storage Project, URL: <https://www.rotterdamccus.nl/en/companies-register-interest-for-porthos-co2-storage-project/> (Stand: 04/2019)
- [9] Sterner, M.: Notwendigkeit und Chancen für Power-to-X-Technologien: Institut für Energiespeicher IFES: 2017
- [10] Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallbehandlungsanlagen (VBSA): Beitrag der Abfallwirtschaft zur künftigen Klimapolitik der Schweiz - Diskussionsgrundlage zum Konzept *Carbon Hub*: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2019

## Ansprechpartner



### **Dr.-Ing. Margit Löschau**

TBF + Partner AG

Mitglied der Geschäftsleitung, Niederlassungsleiterin Hamburg

Alsterarkaden 9

20354 Hamburg, Deutschland

+49 40 6963243-30

tbfh@tbf.ch

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Alexander Gosten (Hrsg.):

**Energie aus Abfall, Band 17**

ISBN 978-3-944310-50-3 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2020

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.

Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Claudia Naumann-Deppe,  
Sarah Pietsch, Ginette Teske, Janin Burbott-Seidel, Roland Richter,  
Cordula Müller, Gabi Spiegel

Druck: Universal Medien 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 Funk-sendung, 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.