

# Abfallverbrennung in der Zukunft

Zusammenfassung  
des Positionspapiers der ProcessNet-Fachgruppe  
„Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung“



# Impressum

**Herausgeber**

ProcessNet-Fachgruppe „Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung“

**Verantwortlich im Sinne des Presserechts**

DECHEMA e.V.

Dr. Kathrin Rübberdt

Theodor-Heuss-Allee 25

60486 Frankfurt am Main

Erschienen im Februar 2022

**Bildnachweise**

Titel: MVA Rüdersdorf (© STEAG GmbH)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Executive Summary</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
Abfallströme, gesetzliche und energiepolitische Rahmenbedingungen	5
Ressourceneffizienz und Wertstoffrückgewinnung	6
Energiepolitische Rahmenbedingungen	6
Verfahrenstechnik der thermischen Abfallbehandlung – Hauptverfahren	7
Verfahrenstechnik der thermischen Abfallbehandlung – Abgasreinigung	7

## Executive Summary

Eine an einer zirkulären Wirtschaft orientierte Gesellschaft ist mit Blick auf Maßnahmen gegen den Klimawandel und die begrenzte Verfügbarkeit von Rohstoffen ein wichtiges und erklärtes Ziel der Europäischen Kommission.

Anstrengungen, um beispielsweise durch Änderungen bei der Materialauswahl oder dem Design der Produkte den Mehrweganteil zu steigern und die Wiederverwendbarkeit sowie die Zerlegbarkeit zu optimieren, sind notwendig. Sie tragen dazu bei, das Recycling der Produkte nachhaltig zu verbessern und somit den stofflich verwertbaren Anteil im Siedlungsabfall zu erhöhen. Gleichzeitig wird es auch zukünftig Abfallströme und Reststoffe geben, für welche eine stoffliche Kreislaufführung aus technischen, ökonomischen oder ökologischen Gründen nicht möglich ist.

Hier leistet die thermische Abfallbehandlung in einer zirkulären Wirtschaft einen wichtigen Beitrag, um mit etablierten thermischen Verfahren wirtschaftlich und emissionsarm die Lücke zwischen (direkter) stofflicher Verwertung, chemischem Recycling sowie dem Rohstoff- und Energiebedarf der Industrie zu schließen.

Die thermische Abfallbehandlung sorgt bereits heute in Form der Abfall- und Klärschlammverbrennungsanlagen gleichzeitig für:

- » eine sichere und nachhaltige Elimination von Umweltschadstoffen, z.B. POP<sup>1</sup>, aus dem angelieferten Abfall
- » einen aktiven Gesundheitsschutz, u.a. im Sinne der Hygienisierung, insbesondere bei zunehmender Urbanisierung und den steigenden Ansprüchen an eine umfassende Daseinsvorsorge (Siedlungsabfallhygiene)
- » die Vorbereitung zur Rückgewinnung von Rohstoffen aus bis dahin nicht verwertbaren Fraktionen
- » kostengünstige und emissionsarme Wärme- oder Kältebereitstellung
- » Nutzung und Bereitstellung von Strom aus Reststoffen, die (derzeit) nicht stofflich verwertet werden können.

Schon jetzt ist die thermische Abfallbehandlung ein wichtiger Bestandteil zur Erreichung der Ziele des Green Deal der EU. Durch konsequente Weiterentwicklung und Effizienzsteigerung wird sie in den nächsten Jahren, zusätzlich zur Bereitstellung von Energie und Wertstoffen, durch Kombination mit

- » weiter reduzierten Emissionswerten
- » Kraft-Wärme-Kopplung
- » CO<sub>2</sub>-Abscheidung
- » Methanolsynthese (in Verbindung mit grünem Wasserstoff)

eine Kohlenstoffquelle der Zukunft sein. Sie wird somit dazu beitragen, auf primär fossile Kohlenstoffquellen schrittweise zu verzichten und Grundstoffe bereitzustellen für einen möglichst vollständig geschlossenen Rohstoffkreislauf.

Aus Abfall wird Rohstoff, aus „thermischer Abfallbehandlung“ wird „thermische Rohstoffgewinnung“, welche

- » eine verringerte Abhängigkeit von (fossilen) Rohstoffen und deren Förderländern,
- » CO<sub>2</sub>-Neutralität,
- » eine nachhaltige Produktion und Industrie

ermöglicht und somit dazu beiträgt, auch zukünftig die Gesundheit, die Wirtschaftskraft und den heutigen Lebensstandard unserer Gesellschaft zu sichern.

<sup>1</sup> POP: Persistent Organic Pollutants

# Zusammenfassung

Für viele Materialien haben sich Kreisläufe etabliert, beispielsweise für Papier, Glas und zahlreiche Metalle. Dennoch verbleiben auch hier Reststoffe, die mit dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht weiter einer unmittelbaren stofflichen Nutzung zugeführt werden können.

Im Zusammenhang mit dem Stoffkreislauf muss auch der Energiebedarf gesehen werden. Energie wird sowohl für Herstellungs- als auch für Rückgewinnungsprozesse benötigt. Im Sinne der zirkulären Wirtschaft gehören Stoff und Energie untrennbar zusammen. Ziel muss es dabei sein, den Energiebedarf für die Herstellung und Rückgewinnung klimaneutral bereitzustellen. Es ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft die thermische Abfallbehandlung sowie weitere chemische, physikalische und biologische Verfahren je nach Komplexität der zu behandelnden Stoffströme entweder einzeln oder in Kombination für die Wertstoffrückgewinnung zum Einsatz kommen werden.

Die thermische Abfallbehandlung erfüllt in diesem Zusammenspiel gleich mehrere Aufgaben. Sie ist

- » die Umwandlungsstufe für die Zerstörung von umweltgefährdenden Stoffen unter Ausnutzung vorhandener Potenziale zur Energiebereitstellung- und Wertstoffgewinnung,
- » das Verfahren zum Ausschleusen von Schadstoffen aus dem Stoffkreislauf,
- » das Bindeglied zwischen Stoffumwandlungen und Energie.

Die ProcessNet-Fachgruppe „Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung“ (AuW) sieht sich seit ihrer Gründung dem Prinzip eines nachhaltigen Ressourcenschutzes verpflichtet. Ziel des Positionspapiers „Abfallverbrennung in der Zukunft“ ist es, frei von ökonomischen Interessen eine sachlich fundierte Basis für die im Zusammenhang mit dem Schlagwort „Circular economy“ anstehende Diskussion um die künftige Rolle der thermischen Abfallbehandlung zu schaffen.

Das Positionspapier „Abfallverbrennung der Zukunft“ widmet sich mit aktuellen Beiträgen detailliert folgenden Themen:

- » Abfallströme, gesetzliche und energiepolitische Rahmenbedingungen und Perspektiven

- » Verfahrenstechnik der thermischen Abfallbehandlung – Thermische Hauptverfahren
- » Verfahrenstechnik der thermischen Abfallbehandlung – Abgasreinigung
- » Wertstoffrückgewinnung

Die Kernaussagen des Positionspapiers zu diesen Themen sind im Folgenden zusammengefasst.

## Abfallströme, gesetzliche und energiepolitische Rahmenbedingungen

Thermische Abfallbehandlungsanlagen stellten 2015 in Deutschland fast 320 PJ Endenergie (entsprechend 90 Milliarden kWh) bereit, davon rund 70% als Wärme und rund 30% als Strom. Daraus ergibt sich ein Anteil der abfallbasierten Energie in Deutschland von 3,7 % am Endenergieverbrauch. Hieran haben die Anlagen zur thermischen Behandlung von Siedlungsabfall gemeinsam mit den Ersatzbrennstoff-Kraftwerken (EBS) einen Anteil von ca. 50%.

Für einzelne Stoffgruppen, wie z. B. Papier, Glas oder Getränkeflaschen aus PET, ist eine werkstoffliche Verwertung bereits heute möglich, jedoch existieren für viele Produkte noch keine nachhaltigen Recyclingverfahren. Einerseits werden sich neue Verwertungsverfahren für die Rückgewinnung von Wertstoffen etablieren, wie z.B. Verfahren zur Rückgewinnung von Monomeren aus Kunststofffraktionen durch Pyrolyse. Andererseits ist davon auszugehen, dass sich durch die Entwicklung von neuen Materialien, auch in Verbindung mit der Weiterentwicklung von Montage- und Fertigungsverfahren, die Mengen und die Zusammensetzung von einzelnen Abfallströmen verändern werden. Mit einer signifikanten Veränderung des gesamten Aufkommens an zu behandelnden Abfällen ist allerdings in den nächsten Jahren kaum zu rechnen.

Der Betrieb thermischer Abfallbehandlungsanlagen stellt heute einen Wirtschaftszweig mit einer der vergleichsweise höchsten rechtlichen Regelungsdichten dar.

Die absehbaren Entwicklungen zielen auf eine weitere Absenkung der Emissionswerte, optimierte Energieausnutzung, Recycling von Endprodukten aus der thermischen Behandlung sowie die Öffnung hin zu technologisch nahestehenden Energiedienstleistungen, sofern die politischen Rahmenbedingungen hierfür geschaffen werden.

### Ressourceneffizienz und Wertstoffrückgewinnung

Für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft ist die thermische Abfallbehandlung ein unverzichtbarer Bestandteil. Dies wird deutlich an den Endprodukten der thermischen Abfallbehandlung: Rostasche kann nach einer Aufbereitung als Ersatzbaustoff verwendet werden. Die Abtrennung elementarer Metalle wie Eisen, Aluminium und Kupfer aus der Rostasche ist ein wichtiger Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. Die Feinfraktion der Rostasche enthält Metalle in Konzentrationen, die durchaus denen natürlicher Lagerstätten entsprechen. Die Nutzung dieses Potenzials erfordert einen weiteren Ausbau der Aufbereitungstechnik. Die Aschen aus der Verbrennung kommunaler Klärschlämme stellen in der Zukunft eine wichtige Ersatz-Quelle für Phosphat aus schwindenden natürlichen Vorkommen zur Herstellung mineralischer Dünger und anderer Phosphat-haltiger Produkte dar.

Mit der thermischen Abfallbehandlung gelingt es auch, nicht-recyclbare Sortierreste und schadstoffbelastete Materialien, die trotz des hohen Entwicklungsstands der Aufbereitungsverfahren anfallen, aus dem Wertstoffkreislauf auszuschleusen. Hier gibt es aktuell auch keine Konkurrenz von thermischer Abfallbehandlung und funktionierendem Recycling, da die Kosten für die thermische Abfallbehandlung viel höher sind.

### Energiepolitische Rahmenbedingungen

Die thermischen Abfallbehandlungsanlagen werden sicher nicht die Abschaltung aller Kohle- und Kernkraftwerke kompensieren, aber sie können in lokalen Netzen neben der Verstromung von Biogas und Wasserkraftwerken zu einer gesicherten Grundlastversorgung für Strom beitragen. Hierzu ist eine Stärkung des Verbundgedankens und eine Erleichterung der kartellrechtlichen Beschränkungen notwendig, um z.B. durch Revisionsstillstände entstehende regionale Engpässe in Ver- und Entsorgung zu vermeiden. Gleichzeitig verfügen Abfallverbrennungsanlagen grundsätzlich über die Möglichkeit, die Strom- und Wärmeerzeugung in gewissen Grenzen dem Bedarf anzupassen.

Im Rahmen der Nutzung bzw. Verbrennung von Siedlungsabfall in thermischen Abfallbehandlungsanlagen ist die Energieauskopplung aus dem Verbrennungsprozess und den heißen Rauchgasen der wichtigste energetische Ansatz. Hierbei sind der Verbrennungsprozess, z.B. der Verbrennungsluftüberschuss, der Abkühlprozess der Rauchgase und die Kessel- bzw. die Energietechnik, im Zusammenhang mit dem Wirkungsgrad zu betrachten.

Thermische Kraftwerke mit festen Regelbrennstoffen (z.B. Kohle) erreichen heute elektrische (Brennstoff-) Wirkungsgrade von bis zu 46%. Dabei sind spezielle Werkstoffe, Wasserdampfschaltungen und Prozessbe-

dingungen im Wasserdampfkreislauf, Frischdampfdrücke von 260 bis 270 bar und Frischdampftemperaturen von 600 bis 640 °C zu verwirklichen, um diese Wirkungsgrade möglich zu machen. Zusätzlich wird innerhalb des Prozesses bereits über die Turbine entspannter Dampf mehrfach wieder neu überhitzt und den unterschiedlichen Turbinenstufen zugeführt. Diese optimierten Anlagen sind auf einen höchstmöglichen Ertrag an Exergie, elektrischem Strom, ausgelegt und verfahrens- sowie materialtechnisch dem Brennstoffband angepasst. Wird eine solche Anlage jedoch auch zur Erzeugung von Dampf- oder Wärmeenergie genutzt (Kraftwärmekopplung, KWK), reduziert sich der Anteil an Exergie, d.h. elektrischem Strom, bei Erhöhung der Brennstoffausnutzung auf der Wärmeseite. Somit sind diese KWK- Anlagen nicht eins zu eins mit den rein elektrisch geführten Anlagen zu vergleichen.

Bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen ist eine Optimierung zu so hohen Dampfparametern und elektrischen Wirkungsgraden aufgrund der folgenden Punkte nicht möglich:

- » Der Brennstoff Abfall unterliegt kurzfristigen qualitativen Schwankungen bzw. das Brennstoffband und prozessschädigende Begleitstoffe im Abfall führen zu Korrosionen im Kessel. Den Prozessen sind somit physikalische und chemische Grenzen gesetzt.
- » Der Brennstoff Abfall besitzt eine so große Bandbreite an Schadstoffen, Heizwerten und Brennstoffparametern, dass er für optimierte Anlagen nicht einzusetzen ist. Der angelieferte Abfall kann aber aufgrund der Annahmepflicht nicht abgelehnt oder gar zurückwiesen werden und ist somit zu verbrennen.
- » Der Brennstoff Abfall enthält hohe Gehalte an Chlor, Alkali- und Erdalkaliverbindungen, die aufgrund ihres Schmelz- und Korrosionsverhaltens die Grenzen für den Wasserdampfprozess und somit für die Frischdampf-temperatur und den Frischdampfdruck vorgeben. Die Kesselwerkstoffe sind einem Angriff dieser Substanzen nur unterhalb von 450 °C über einen gewissen Zeitraum (bis zur Reparatur) gewachsen.

Aufgrund der daraus resultierenden niedrigen Dampfparameter ist ein maximaler elektrischer Wirkungsgrad von ca. 25 - 35% physikalisch möglich. Um eine höhere Brennstoffausnutzung zu erreichen, ist daher die zusätzliche Auskopplung von Wärme in Form von Dampf oder Heißwasser unumgänglich. Der Vorteil der Abfallverbrennung, der aus der Kraftwärmekopplung im Zusammenhang mit einem Grundlastbetrieb über 8.000 h im Jahr resultiert, ist somit an einen optimalen Wärme- und Dampfnutzer (Standort) gebunden. Die Wahl des Standorts einer Abfallverbrennungsanlage muss dieser Rahmenbedingung Rechnung tragen. Zudem sind diese Nutzungskriterien in der 17. BImSchV. und dem Durch-

führungsbeschluss (EU) 2019/2010 der Kommission vom 12.11.2019 verankert. Im KWK-Betrieb sind so Wirkungsgrade von 65 % und mehr möglich.

Voraussetzung und Hilfsmittel einer sinnvoll geplanten Betriebsweise im Verbund bzw. innerhalb kommunaler Versorgungsstrukturen ist eine weitergehende Digitalisierung des Verbrennungsprozesses. Es steht ein breites Band ausgereifter Sensorik zur Verfügung, um durch Auswertung der erfassten Prozessdaten eine gezielte Anlagenoptimierung zu ermöglichen.

### Verfahrenstechnik der thermischen Abfallbehandlung – Hauptverfahren

Die in Deutschland und Europa nahezu durchgehend eingesetzte Verfahrenskombination aus Verbrennung, Energienutzung und Abgasreinigung hat sich als universell und verlässlich etabliert. Trotz aufwändiger Bemühungen erwiesen sich alternative Verfahren für die thermische Behandlung von gemischten Abfällen, die auf Pyrolyse oder Vergasung beruhen, bisher stets als großtechnisch nicht realisierbar.

Mehrstufige Verfahren, die z.B. Pyrolyse und Vergasung in separaten Reaktoren zur thermischen Behandlung von Abfällen einsetzen, sind im Zuge der Diskussion zum „chemischen Recycling“ wieder verstärkt in die Öffentlichkeit gerückt. Derzeit laufende Forschungsarbeiten in Verbindung mit Industriepartnern müssen nachweisen, dass diese Technologien für bestimmte Abfallfraktionen verwertbare Produkte (Öle, Synthesegas, Kokse) erzeugen, die in den Stoffkreislauf und die Wertschöpfungskette ökonomisch einfließen können. Dieser Nachweis steht großtechnisch bisher noch aus.

### Verfahrenstechnik der thermischen Abfallbehandlung – Abgasreinigung

Die Abgasreinigung hinter Abfallverbrennungsanlagen nahm ihre Anfänge mit dem vermehrten Bau solcher Anlagen und der in den 1960iger Jahren zunehmenden Luftverschmutzung.

Die Notwendigkeit der Abgasreinigung wird heute von niemandem mehr in Frage gestellt und ist zu einer akzeptierten Selbstverständlichkeit geworden.

Die Motivation heutiger Entwicklungen liegt neben einer effizienten Schadgasabscheidung in Themen wie Energieeffizienz, Minimierung der Einsatzstoffe bis hin zur Wertstoffgewinnung aus der Abgasreinigung. Hierin werden auch die zukünftigen Herausforderungen gesehen, hauptsächlich bei der Standortwahl für Neuanlagen zur Nutzung von Synergien.

Die Entwicklung der Verfahren und einzelner Prozessstufen in den vergangenen Jahrzehnten bietet heute eine Vielzahl von Möglichkeiten für die Abscheidung von ein und demselben Schadstoff.

Durch die stetig gestiegenen Emissionsanforderungen und die häufig damit erforderlichen Nachrüstungen stellen die heutigen Abgasreinigungssysteme in der Regel Unikate dar.

Eine bereits bestehende, aber auch zukünftige Herausforderung an die Abgasreinigungsverfahren wird eine gesteigerte Energieeffizienz sein. Das bedeutet, dass für zukünftige Standortüberlegungen und -planungen die Anlagen dort platziert werden müssen, wo eine entsprechende Infrastruktur zur Energienutzung (z.B. Fernwärme) vorhanden ist. Durch die sehr effizienten mehrstufigen Abgasreinigungen stellen die Anlagen keine Umweltbelastung dar. Im Gegenteil findet immer häufiger die parallele Nutzung als Freizeiteinrichtung statt, wie beispielsweise bei der in Kopenhagen neu gebauten Anlage Amager mit einer Ski-Piste auf dem Anlagendach und einer Kletterwand an der Gebäudefassade.

Nichtsdestotrotz gibt es auch Weiterentwicklungen, wie z.B. die Neuentwicklung von DeNOx-Katalysatoren, die als Niedertemperatur-Katalysatoren erstmals in Temperaturbereiche  $< 150$  °C vorstoßen und damit ein vorgeschaltetes, kalkbasiertes Trockensorptionsverfahren ohne zusätzliche Aufheizung ermöglichen, was bislang eine Domäne der mit Natriumbicarbonat betriebenen Verfahren war.

Neben der Energieeffizienz deuten aktuelle Diskussionen auf eine Renaissance der Wertstoffgewinnung aus dem Abgas hin, jedoch diesmal nicht auf die Gewinnung von z.B. Gips oder Salzsäure fokussiert, sondern auf die Überführung des Verbrennungsprodukts  $\text{CO}_2$  zurück in den Kohlenstoffkreislauf, beispielsweise – nach einer  $\text{CO}_2$ -Gaswäsche und einer anschließenden Umwandlung – in Form von Methanol.

Wie es sich bereits bei der Energieeffizienz gezeigt hat, kommt es nicht auf die Entwicklung komplett neuer Systeme oder Verfahren an, sondern vielmehr auf die intelligente Kombination von bestehenden Verfahren und die Nutzung von Synergien.

In diesem Sinne kann eine Symbiose in der Bereitstellung des  $\text{CO}_2$  (Wertstoff) aus dem Abgas zu der volatilen regenerativ erzeugten elektrischen Energie für die Methanol-Synthese entstehen.

Ein anderer Ansatz für die Nutzung des im Abgas vorhandenen  $\text{CO}_2$  wurde im niederländischen Twence durch die vor-Ort-Herstellung von Natriumbicarbonat aus  $\text{CO}_2$  und Soda als Additiv für die Rauchgasreinigung bereits erfolgreich in die Praxis umgesetzt.

DECHEMA

Gesellschaft für Chemische Technik  
und Biotechnologie e.V.

Theodor-Heuss Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

Telefon: 069 7564-0

Telefax: 069 7564-117

E-Mail: [info@dechema.de](mailto:info@dechema.de)