

Theresa – Ein neues Forschungsinstrument zur Verbrennung spezieller Abfälle

H. Seifert, H.-G. Dittrich, ITC; L. Malcher, PSA

Eine halbertechnische Versuchsanlage zur thermischen Entsorgung spezieller Abfälle (Theresa) ist nach sehr kurzer Bauzeit von nur anderthalb Jahren zum Ende des letzten Jahres in Betrieb genommen worden. Es handelt sich um eine Drehrohrofenanlage mit Wärmenutzung und kostenoptimaler einfacher Rauchgasreinigung, die dennoch die scharfen Grenzwerte der 17. BImSchV einhalten wird.

Mit dieser nach neuesten Erkenntnissen konzipierten Anlage wird das experimentelle Instrumentarium zur thermischen Abfallbehandlung im Forschungszentrum Karlsruhe in idealer Weise ergänzt. Wurden bisher vor allem Fragestellungen zur Hausmüllverbrennung an der Versuchsanlage TAMARA (Testanlage zur Müllverbrennung, Abgasreinigung, Rückstandsverwertung, Abwasserbehandlung) untersucht, können jetzt auch andere Abfälle unterschiedlicher Konsistenz (z.B. fest, flüssig oder pastös) und variabler Stückigkeit (z.B. auch Gebinde) in das Untersuchungsspektrum aufgenommen werden.

Als wesentliche Zielsetzung für das anstehende Theresa F+E-Programm sollen durch ein besseres Verständnis des Drehrohrofenverbrennungsprozesses die Prozessketten unter sowohl ökologischen als auch ökonomischen Vorgaben optimiert werden. Dazu wurden neben dem Forschungsverbund innerhalb der Programme des Forschungszentrums auch Kooperationen mit verschiedenen Universitäten und Industriepartnern gestartet.

Sicherlich wird unter dem Eindruck häufig berichteter Auslastungsprobleme der Abfallverbrennungsanlagen „mangels Abfall“ die Frage nach der Sinnhaftigkeit weiterer F+E-Arbeit und damit weiterer Pilotanlagen wie z.B. der Theresa gestellt. Doch genau an den Ursachen dieser Fehlentwicklungen setzt die aktuelle Zielsetzung für die Pilotanlagen an.

Einerseits ist der durch verstärktes Recycling bedingte Rückgang des Abfallaufkommens deutlich schwächer, als dass damit die Auslastungsprobleme der Verbrennungsanlagen erklärt werden könnten. So ist z.B. in Baden-Württemberg das Restmüllaufkommen beim Hausmüll in den letzten beiden Jahren sogar nahezu konstant geblieben. Andererseits haben gesetzliche Regelwerke wie das Kreislaufwirtschaftsgesetz und die „Technische Anleitung Siedlungsabfall“ entgegen ihrer ursprünglichen

Absicht eine beschleunigte Vorverfüllung von Deponien mit Restkapazitäten vor dem Stichtag 2005, nach dem unbehandelte Abfälle nicht mehr deponiert werden dürfen, ausgelöst. Zudem werden viele thermisch verwertbare Abfallfraktionen aus Kostengründen über den Weg des Ersatzbrennstoffs in andere Prozesse eingeschleust und damit den Abfallverbrennungsanlagen mit den meist besseren Umweltstandards entzogen.

Von den hohen, in der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionschutzgesetz (BImSchV) vorgegebenen Umweltzielen wird selbstverständlich auch mit der neuen Anlage nicht abgerückt, aber als Hauptentwicklungsziel sollen durch technische und verfahrenstechnische Entwicklungen die spezifischen Kosten für die Abfallverbrennung in Drehrohrofenanlagen gesenkt werden. Wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, ist vorgesehen, durch For-

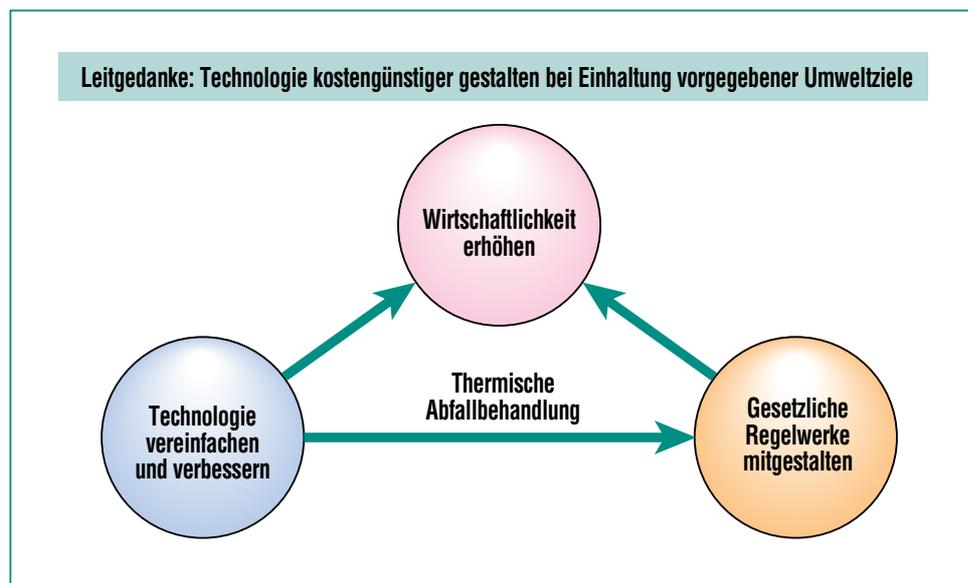


Abb. 1: Zielsetzung der thermischen Abfallbehandlung im Spannungsfeld zwischen Forschung, Gesetzgebung und Ökonomie.

schung und Entwicklung die Technologie der Sonderabfallverbrennung vor allem zu vereinfachen und ihre Effizienz zu steigern. Dadurch wird unmittelbar die Wirtschaftlichkeit des Verfah-

rens erhöht. Aber auch indirekt kann durch deregulierende Mitgestaltung bei überbestimmten Regelwerken eine Kostenreduzierung erreicht werden. Insgesamt wird somit die Wirtschaft-

lichkeit der thermischen Abfallbehandlung verbessert und die Konkurrenzfähigkeit des ökologisch besten Entsorgungswegs wieder hergestellt.

Verfahrenskonzept

Die für THERESA vorgesehenen Abfallstoffe haben ein außerordentlich breites Spektrum an physikalischen und chemischen Eigenschaften. Sie reichen von gasförmigen über pastöse und flüssige bis hin zu festen Stoffen. Das Spektrum der Heizwerte überdeckt dabei den Bereich von hochkalorigen Stoffen wie z. B. Heizöl über Inertstoffe wie Glas oder Sand, die keinen Heizwert haben, hin zu Stoffen mit negativem Heizwert wie z. B. verunreinigte Abwässer.

Für dieses breite Stoffspektrum wurde eine Kombination aus Drehrohrofen und Nachbrennkammer als ein erprobtes und anwendungsreifes Verfahrenskonzept ausgewählt. Dieses gestattet sowohl den Einsatz von aggressiven Stoffen mit hohem Chlor- und Schwefelgehalt als auch die Behandlung bei hohen Temperaturen bis zu 1300 °C.

Verfahrensbeschreibung

Das Verfahrensschema ist in Abb. 2a und b dargestellt.

Feuerung

Aus dem Lager werden die verschiedenen Einsatzstoffe über Beschickungseinrichtungen in das Drehrohr und die Nachbrennkammer gefördert. Das Drehrohr besitzt an der Stirnseite folgende Beschickungseinrichtungen:

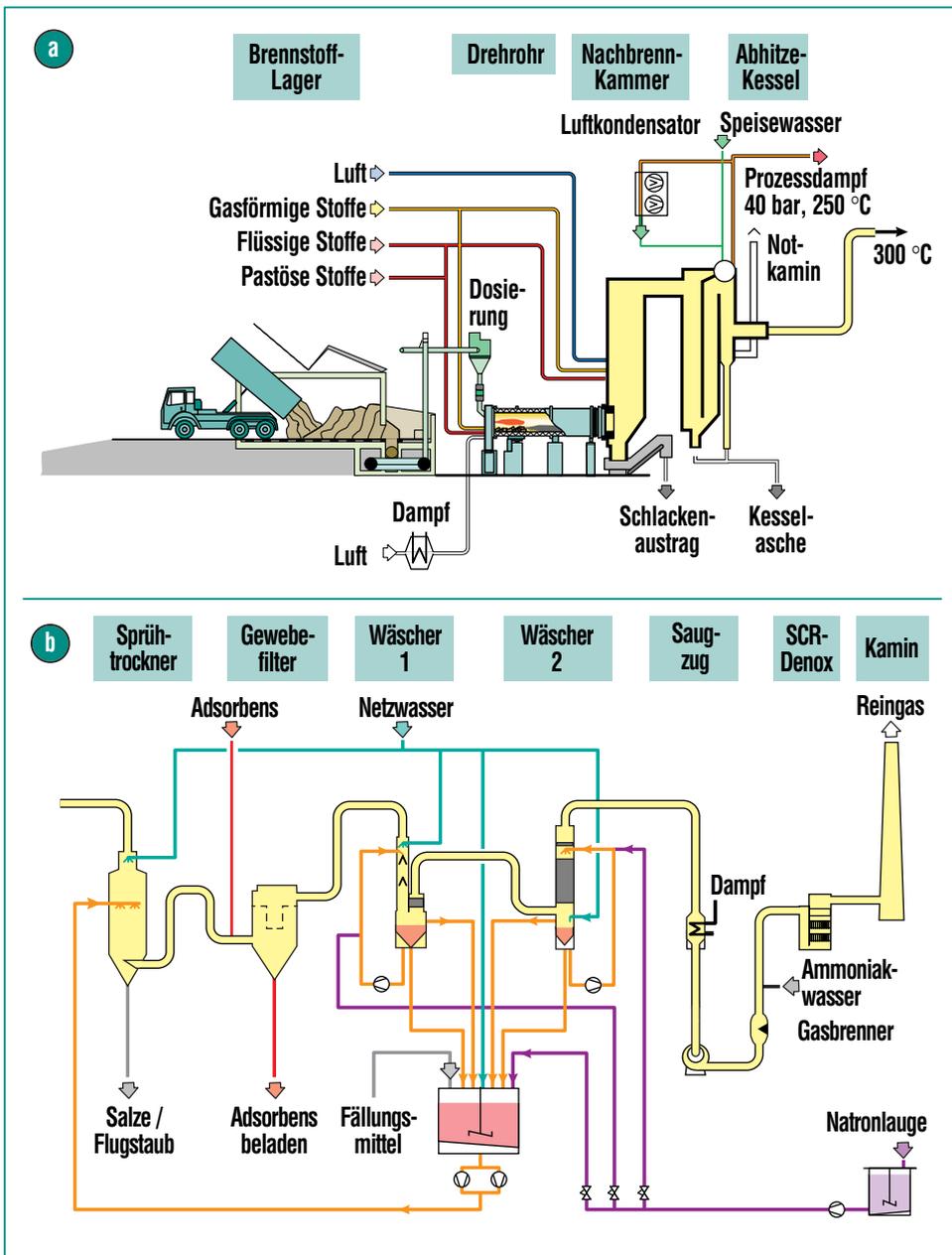


Abb. 2: a) THERESA – Verfahrensfliessbild „Heißer Teil“ mit den Hauptkomponenten Drehrohrofen, Nachbrennkammer und Abhitzekessel. b) THERESA – Verfahrensfliessbild „Rauchgasreinigungsanlage“ mit Sprühtrockner, Gewebefilter, 2-stufiger Nasswäsche und SCR-Denox-Katalysator.

- gekühlte Schurre für Schüttgüter bis 40 mm maximaler Korngröße
- Kombinationsbrenner für Gase und Flüssigkeiten
- Zerstäuberlanze für pastöse Stoffe und Flüssigkeiten
- Luftdüse für Verbrennungsluft
- Schleuse für die Handaufgabe von Gebinden mit maximal 5 Liter Inhalt

Durch die Drehbewegung und die Schrägstellung des Drehrohres werden die festen und pastösen Stoffe langsam weiter bewegt und längs ihres Weges nach und nach entgast und verbrannt, bis sie schließlich am Ende als Schlacke in den Nassentschlacker austreten. Je nach Temperatur im Drehrohr kann die Schlacke entweder flüssig oder fest ausgetragen werden.

Die Verweilzeit der festen Abfälle im Drehrohr kann sowohl über eine Veränderung des Neigungswinkels als auch über eine veränderbare Drehzahl beeinflusst werden.

Aus dem Drehrohr werden die Verbrennungsgase nach oben in die Nachbrennkammer geführt. Diese ist im unteren Teil mit folgenden Beschickungseinrichtungen versehen:

- 2 Kombinationsbrenner für Gase und Flüssigkeiten
- Luftdüse für Verbrennungsluft

Die Kombinationsbrenner sind zueinander antiparallel versetzt angeordnet. Dadurch wird in der Nachbrennkammer eine Verwirbelung und damit eine bessere

Durchmischung der Verbrennungsgase erzielt.

Bis auf die Gebindeaufgabe werden alle Stoffe dem Drehrohr und der Nachbrennkammer kontinuierlich zugeführt. Alle Teilströme werden gemessen und registriert, um eine möglichst genaue Bilanzierung vornehmen zu können.

Abhitzeessel

Die heißen ausgebrannten Abgase gelangen aus der Nachbrennkammer in den Abhitzeessel, wo sie auf etwa 300 °C abgekühlt werden. Im Kessel wird Satt-dampf von 40 bar und 250°C erzeugt. Ein Teil dieses Dampfes wird in der Anlage selbst für Heizzwecke verwendet. Der größere Teil wird über Dach in einem Luftkondensator kondensiert und als Speisewasser zurückgeführt.

Abgasreinigung

Zunächst gelangen die Abgase in einen Sprühtrockner. Dort wird Wasser in das Abgas eingesprüht und vollständig verdampft. Die Inhaltsstoffe des Wassers bleiben als feste Partikel übrig und werden teils am unteren Ende des Sprühtrockners ausgetragen und teils mit dem Abgas mitgerissen. Durch die Verdampfung kühlt sich das Rauchgas ab und wird durch Regelung der eingesprühten Wassermenge konstant auf 180 °C gehalten.

Nach dem sogenannten Flugstromverfahren wird in die nachfolgende Rohrleitung eine kleine Menge pulverförmiges Adsorbens, das aus einem Gemisch von Kalk und Aktivkoks besteht, in das Rauchgas eingeblasen. In

dem nachfolgenden Gewebefilter wird das Adsorbens zusammen mit den übrigen Stäuben, die das Abgas mitführt, auf der Oberfläche der Filterschläuche abgetrennt. Dioxine, Furane und andere organische Bestandteile sowie ein Großteil des Quecksilbers werden dort aus dem Rauchgas entfernt und an das Adsorbens gebunden, welches von Zeit zu Zeit zusammen mit den übrigen Stäuben von den Oberflächen abgereinigt und unten aus dem Gewebefilter ausgetragen wird.

Die Entfernung der organischen Bestandteile bereits am vorderen Ende der Abgasreinigungsstrecke hat den Vorteil, dass der Rest der Anlage sauber bleibt und sich somit keine organischen Stoffe in die Kunststoffwände z.B. der Wäscher einlagern können.

In der sich anschließenden zweistufigen Nasswäsche werden gasförmige Schadstoffe aus dem Abgas entfernt. Die erste Stufe wird sauer betrieben. Hier werden HCl, HF und das restliche Quecksilber ausgewaschen. In der zweiten neutral eingestellten Stufe wird SO₂ entfernt. Die pH-Werte in beiden Wäschern werden durch geregelte Zugabe von Natronlauge eingestellt. Die Salzgehalte der Waschwässer werden durch geregeltes Ausschleusen von Waschwasser und Nachfüllen von Frischwasser konstant gehalten.

Die Abwässer aus beiden Wäschern werden in einem Sammelbehälter neutralisiert. Durch Zugabe eines Fällungsmittels wird das gelöste Quecksilber gebunden. Danach gelangt das aufbe-

reitete Abwasser zum eingangs erwähnten Sprühtrockner, wo es eingedampft wird.

Das Abgas verlässt die Nasswäsche mit etwa 70°C und wird mit Hilfe von Prozessdampf und eines Gasbrenners auf 320 °C aufgeheizt. Bei dieser Temperatur wird das Rauchgas im nachgeschalteten Katalysator unter Zugabe von Ammoniakwasser von den Stickoxiden gereinigt.

Planung und Errichtung der THERESA

Der Erteilung der immissionschutzrechtlichen Genehmigung (nach 17. BImSchV) für 2000 Stunden Betriebszeit pro Jahr inklusive Bau- und abwasserrechtlicher Genehmigung am 22.12.96 durch das Regierungs-



Abb. 3: THERESA – Aufbau Drehrohrofen (rechts) und Nachbrennkammer (Stand März 1999).

präsidium Karlsruhe folgte der Versand der Generalunternehmer-Ausschreibungsunterlagen im Januar 1997. Die von der Bundesregierung am 31.10.97 beschlossene Haushaltssperre reduzierte die finanzielle Basis für das Projekt deutlich: Ein alternatives Abwicklungskonzept musste entwickelt werden, das den sogenannten „Heißen Teil“ der Versuchsanlage nach wie vor beim Generalunternehmer sah, während die Rauchgasreinigungsanlage, das Lagergebäude und die Lager für Feststoffe und Flüssigkeiten vom Forschungszentrum in eigener Regie zu beauftragen waren.

Die technischen Eckdaten für den „Heißen Teil“ – hierzu gehören der Drehrohrofen, die Nachbrennkammer, der Abhitzekeessel, die entsprechenden Bedienungsflächen und das Prozessleitsystem – blieben hierbei völlig unverändert; die Lager sowie die abwasserfreie Rauchgasreinigungsanlage wurden deutlich reduziert.

Der „Heiße Teil“ wurde bei LURGI Umwelt, Frankfurt als Generalunternehmer in Auftrag gegeben, die Gewerke Rauchgasreinigungsanlage (TREMA, Bayreuth), das Lager für feste Stoffe (Technip Germany, Frankfurt) und das Lager für Flüssigkeiten (OAS, Bremen; Winckler, Schwaig) wurden vom Forschungszentrum direkt vergeben; dies gilt auch für die Massiv- und Stahlbauarbeiten des Lagergebäudes. Ein Projektteam des Forschungszentrums koordiniert die Gesamtabwicklung. Die direkt beteiligten Institutionen sind: BTI, EVM, die ehemalige HIT, HVT, IAI, ITC und PSA.

Einige Eckdaten, welche auch die Größe der Versuchsanlage charakterisieren, sind nachfolgend dargestellt:

THERESA-Eckdaten

Drehrohrofen

Thermische Leistung:	1,5 MW
Rauchgasaustrittstemperatur:	800-1200°C
Feststoffdurchsatz:	250 kg/h bzw. 1 m ³ /h
Länge:	8,4 m
Außendurchmesser:	2 m
Neigungsverstellung:	0,5-3°
Drehzahlbereich:	0,1-3 U/min

Nachbrennkammer

Thermische Leistung:	0,5-1,5 MW
Rauchgasaustrittstemperatur:	max. 1300°C
Rauchgasverweilzeit:	2,5 sec bei 1200°C (O ₂ = 6%)
Rauchgasvolumenstrom:	4000 (max. 5000) Nm ³ /h
Höhe:	ca. 15 m

Abhitzekeessel

Thermische Leistung:	2,0 (max. 2,5 kurz.) MW
Sattdampf:	40 bar, 250°C für Prozessnutzung
Rauchgasaustrittstemperatur:	norm. 300°C (Notkamin ≤ 500 °C)
Überschussdampf-Entspannung über Luftkondensator	
Höhe:	ca. 16,5 m

Zwischen März und September 1998 wurden die verschiedenen Aufträge erteilt. Im Winter noch wurde mit der Errichtung des Lagergebäudes begonnen, die Montage der Verfahrenstechnik begann im Februar 1999 mit der Anlieferung des Drehrohrofens und der Nachbrennkammer (siehe Abb. 3). Spektakulärste Aktion war die Anlieferung und die Aufstellung des knapp 50 Tonnen schweren Abhitze-Kessels am 20./21. April 1999 (siehe Abb. 4). Vom 40 m langen Spezialtransporter, der nach 8 Tagen Fahrzeug von Padua (Fa. Idrotermici) hier eintraf, beförderten 3 Mobilkräne den Koloss in seine endgültige Position in der Halle (Geb. 691).

Ende September waren die Montagearbeiten soweit abgeschlossen, dass mit der „kalten“ Inbetriebnahme begonnen werden konnte. Dabei wurden unter anderem Funktionsprüfungen sämtlicher Einzel-Aggregate durchgeführt, das Prozessleitsystem konfiguriert und die einzelnen Messketten durchgeprüft. Anschließend folgte das erste Befüllen des Kessels. Letzte Aktion dieser Phase war der Austrocknungsprozess der Ausmauerung von Drehrohröfen und Nachbrennkammer. Hierbei wurde die Anlage im Dreischicht-Dauerbetrieb zwischen 6. und 13. Nov. 1999 zum ersten Mal nach einem bestimmten Programm mit den Erdgasbrennern auf 850°C aufgeheizt. Die abschließende Inspektion ergab keine Auffälligkeiten.

Am 23. November begann die „heiße“ Inbetriebnahme. Neben umfangreichen Tests mit den gas- und ölbefeuerten Brennern wurden nun erstmals auch Feststoffe (Holzschnitzel, BRAM und Herdofen-Koks) zudosiert. Die automatischen An- und Abfahrprogramme, die Schrittketten und vor allem die Sicherheitsketten und Funktion der Sicherheitseinrichtung wurden intensiv erprobt.

Nach verschiedenen Reparatur- bzw. Restarbeiten und Modifikationen wurde Anfang Februar 2000 der Probetrieb aufgenommen, d.h. dem Nachweis des problemlosen Erreichens der vertraglich vereinbarten Eckdaten Ende März / Anfang April endete. (Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt der fertiggestellten Anlage.)

Forschungs- und Entwicklungsziele

Übergeordnete Ziele

Um die eingangs beschriebene Zielsetzung einer Prozessoptimierung hinsichtlich Ökonomie und Ökologie erreichen zu können, wurden folgende Schwerpunkte festgelegt:

● Verfahren integrativ vereinfachen

Eine Verfahrensvereinfachung durch Reduzierung und Kombination von Verfahrensstufen, vor allem in der häufig sehr aufwendig gestalteten Rauchgasreinigung, kann am besten durch so-



Abb. 4: THERESA – Aufbau des fast 50 Tonnen schweren Abhitze-Kessels (21. April 1999).

genannte „Primärmaßnahmen“ erreicht werden. Darunter versteht man Prozessverbesserungen vor allem im heißen Teil, d.h. beim Drehrohr, an der Nachbrennkammer und beim Abhitze-Kessel.

Durch entsprechende Feuerungs-führung (z.B. durch Modifikationen bei der Verbrennungslufteinleitung) soll die Bildung unerwünschter Gaskomponenten wie NO_x, molekulare Halogene und organische Halogenverbindungen, aber auch die Entstehung von Partikeln insbesondere kritischer Aerosole unterdrückt werden, um die Rauchgasreinigung einfacher gestalten zu können.



Abb. 5: THERESA – Ausschnitt der fertiggestellten Gesamtanlage (Februar 2000).

● Komponenten verbessern

Hier sollen einerseits die spezifischen Aufgaben der einzelnen Verfahrensstufen besser erfüllt, aber auch Weiterentwicklungen bei der technischen Ausführung z.B. zur Standzeiterhöhung der Feuerfestauskleidung in Angriff genommen werden.

Zur Optimierung des Drehrohrs soll beispielsweise der Anteil spezieller fester Abfälle, die anders nur schwer zu entsorgen sind, gesteigert werden, ohne dabei den Feststoffausbrand und die Qualität der verwertbaren Schlacke zu beeinträchtigen.

Bei der Nachbrennkammer ist zur Verbesserung der Heizwertbilanz

eine Kopplung mit der rekonstruierten Pyrolyseversuchsanlage „PYDRA“, die ebenfalls in 2000 in Betrieb geht, geplant. Durch Einleitung von heizwertreichen Pyrolysegasen aus der PYDRA in die Nachbrennkammer von THERESA wird das Heizwertdefizit von niederkalorischen Flüssigabfällen kompensiert.

● Auslegungsinstrumente weiterentwickeln

Die zur Auslegung von Abfallverbrennungsanlagen bisher nur ansatzweise verfügbaren Rechenprogramme, insbesondere zur mathematischen Simulation der Verbrennung fester Abfälle, können mithilfe der Validierung an der neuen Pilotanlage zu voll einsatzfähigen Instrumenten entwickelt werden. Durch den Pilotmaßstab der Anlage ist die Übertragungsgüte auf Großanlagen gewährleistet.

● Betriebliche Prozessführung optimieren

Moderne Prozessführungssysteme (z.B. Fuzzy Logic-Regelungen, Neuronale Netze) haben in jüngster Vergangenheit bei der Abfallverbrennung enorm an Bedeutung gewonnen, unter anderem aufgrund zunehmender Schwankungen bei der Qualität des Abfalls. Hier bietet THERESA ein ideales Testfeld, in dem der gesamte Prozess erfasst wird und auch die gegenseitige Beeinflussung der verschiedenen Prozessstufen untersucht werden kann.

Das grob skizzierte F+E-Programm kann an dieser Stelle nur den mittelfristigen Trend für THE-

RESA aufzeigen. Langfristig muss THERESA als verfahrenstechnische Pilotanlage betrachtet werden, mit der über die Abfallverbrennung hinaus auch andere Hochtemperaturprozesse z.B. für die Grundstoffindustrie entwickelt werden können.

Kurzfristige Ziele und Vorgehensweise

Der Unterschied der Versuchsanlage THERESA zu einer kommerziellen Großanlage besteht darin, dass nicht die Entsorgung von Abfällen im Vordergrund steht, sondern die präzise Beschreibung der Vorgänge in der Anlage sowie die Frage nach der jeweils besten Fahrweise. Dazu muss zunächst die vorhandene Instrumentierung auf einen möglichst hohen Stand gebracht werden. Vor allem müssen diejenigen Messgrößen intensiv überprüft und einjustiert werden, die für Bilanzierungen benötigt werden. Dies betrifft in erster Linie die Mengen und Zustände der zu- und abströmenden Stoffe.

Anhand von globalen Massen- und Energiebilanzen kann die Plausibilität der gewonnenen Messergebnisse überprüft werden. Dazu wird man Zustände an der Anlage einstellen, die gut reproduzierbar sind. Voraussetzung hierzu ist es, dass das eingesetzte Brennstoffmenue genau

bekannt ist. Man verwendet deshalb Mischungen aus Einzelstoffen, deren Eigenschaften gut bekannt und die in der Verbrennung unproblematisch sind. Sie sollen leicht zu beschaffen sein und sich gut dosieren lassen. Für die anfänglichen Versuche sind folgende Einzelkomponenten vorgesehen:

- Erdgas zum An- und Abfahren sowie als Stützbrennstoff
- Heizöl als hochkalorige organische Flüssigkeit
- Kohle, Holzschnitzel und BRAM (Brennstoff aus Müll) als brennbare Feststoffbestandteile
- Blähschiefer und Glas als inerte Bestandteile des Feststoffs.

Diese Einzelkomponenten werden in unterschiedlichen Mengen und Verhältnissen zueinander eingesetzt. Auf diese Weise lassen sich charakteristische und reproduzierbare Einstellungen herausfiltern, die für weitere Experimente als Grundeinstellung dienen. Bei diesen weiteren Experimenten können dann bei bekanntem Grundzustand beispielsweise Profilmessungen im Drehrohr und der Nachbrennkammer vorgenommen werden oder es kann das Verhalten bestimmter Schadstoffe durch gezielte Beprobungen bestimmt werden.

THERESA als Forschungsverbund

Wesentlich ist für das Forschungszentrum auch der Verbundcharakter einer solchen Pilotanlage, an der neben dem ITC die Institute und Hauptabteilungen IKET, IAI und HVT entscheidend beteiligt sind. PSA und HIT waren die verantwortlichen Partner für Planung, Abwicklung und Inbetriebnahme, doch werden die wertvollen Beiträge der beteiligten Mitarbeiter dieser Einheiten auch in der nun beginnenden Betriebsphase unerlässlich sein.

Bei den externen Kooperationspartnern konzentriert sich die Zusammenarbeit zunächst auf den Anlagenlieferanten Lurgi, aber auch mit Betreibern wie der HIM und BASF sowie den Universitäten Karlsruhe, Heidelberg und Stuttgart sind Projekte der Zusammenarbeit in Vorbereitung.