

Rapport de synthèse 2008 du chef de programme OFEN Synthesebericht 2008 des BFE-Programmleiters

Forschungsprogramm Verfahrenstechnik

Martin Pulfer

martin.pulfer@bfe.admin.ch



Bei der mechanischen Entwässerung von Gras anfallendes Presswasser, eingesetzt als Düngemittel, steigert den Ertrag der Agrarflächen. Die mechanische Entwässerung senkt aber insbesondere den Energiebedarf bei der nachfolgenden Trocknung und Herstellung der Futtermittelpellets.

Programmschwerpunkte

Ausgangslage

In der Schweiz werden, wie in anderen stark industrialisierten Ländern, Verfahrens- und Fertigungstechnik intensiv eingesetzt. Entsprechend hoch ist der Anteil einerseits an der Wertschöpfung, andererseits aber auch am Energieverbrauch und damit am CO₂-Ausstoss: Prozesse sind in der Schweiz für etwa 15 % des Endenergieverbrauchs und für 43 % des auf Brenn- und Treibstoff basierten CO₂-Ausstosses verantwortlich. Energetische Aspekte wurden bisher oft nur zweitrangig beachtet. Es wird geschätzt, dass mittels gezielter Optimierung des Ressourceneinsatzes ein beträchtliches Sparpotenzial von 30–50 % realisierbar ist.

Ab dem 1. Januar 2008 gilt in der Schweiz eine CO₂-Abgabe auf fossilen Brennstoffen von 3 Rp. pro Liter Heizöläquivalent. Dies hat über 1 500 energieintensive Unternehmen bewogen, mit dem Bund eine Reduktionsverpflichtung einzugehen und sich dadurch von der Abgabe zu befreien. Die beschlossene Reduktion um 3,8 Mio. t CO₂ entspricht einer Verminderung von 35 % des gesamten CO₂-Ausstosses der Wirtschaft. Die geplante Reduktionsleistung der Unternehmen ist sogar noch grösser, wird jedoch durch Wirtschaftswachstum teilweise wieder egalisiert.

Ziel des Forschungsprogramms Verfahrenstechnik des BFE ist es, die Industrie bei ihren Bemühungen zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs und des CO₂-Ausstosses zu unterstützen und wo nötig koordinierend zu unterstützen. Wichtig dabei sind die gezielte Erforschung von neuen Technologien, die Integration von bestehenden Verfahren und die Initiierung von Realisierungsmaßnahmen. Die dazu verfügbaren Ressourcen des Forschungsprogramms Verfahrenstechnik werden hierzu subsidiär zu den Möglichkeiten der Privatindustrie und den übrigen Mitteln der öffentlichen Hand eingesetzt. Von 2003 bis 2005 betrugen die gesamten öffentlichen Investitionen pro Jahr rund 3,7 Mio. Franken. Gemäss dem Konzept der Energieforschung des Bundes 2008–2011 wird eine Erhöhung der öffentlichen Mittel auf 5 Mio. Franken für die Forschung, sowie auf 1 Mio. Franken für Pilot- und Demonstrationsprojekte (P+D-Projekte) angestrebt.

Stand der Technik

Industrielle Prozesse – d.h. Verfahrens- und Fertigungstechnik – sind eine vielschichtige, industriell etablierte Anwendungs- und Umsetzungsdisziplin. In der Praxis handelt es sich um Anwendung und Kombination reifer Grundverfahren, welche in entsprechenden Reaktoren und Apparaturen

nutzbar gemacht und professionell zu kleinen bis sehr grossen Anlagen zusammen gebaut werden. Aufgrund von neuen Technologien, Materialien, verbesserten Verfahren und Maschinen sowie sich stetig ändernden Marktbedürfnissen bergen die angewendeten Techniken immer wieder neue Optimierungsmöglichkeiten. Zusammen mit den bisher eher vernachlässigten Energieaspekten ergibt dies ein hohes Potenzial für energetische Verbesserungen und somit viel Forschungs- und Umsetzungsbedarf. Für eine künftige nachhaltig und strategisch fokussierte Themenwahl und Lösungssuche ist dabei eine gesamtheitliche, systematische Betrachtungsweise unter Beachtung der einzelnen Grundverfahren, deren Kombination zu Verfahrensstufen und des gesamten Prozesses sowie auch der Energieintensität der Ausgangs-, End- und Nebenprodukte erforderlich.

Potenziale

Gemäss Schweizer Energiestatistik des Bundesamt für Statistik (BFS) für das Jahr 2006 verbraucht die Schweizer Industrie 175 PJ, was 20 % des gesamten Schweizerischen Endenergieverbrauchs entspricht. Davon werden 136 PJ von den industriellen Prozessen verbraucht. Prozesswärme, Antriebe, Prozessenergie sowie Raumwärme sind dabei die Hauptverbrauchergruppen. Das auf 30–50 % geschätzte Sparpotenzial ergibt 40–65 PJ, respektive 4–8 % Einsparung des gesamten Schweizerischen Endenergieverbrauchs. International wird das Einsparpotenzial auf etwa das 200-fache des Schweizer Verbrauchs geschätzt.

Schweizer Akteure und Zusammenarbeit mit anderen Forschungsprogramm

13 Institute mit ca. 150 Forschern sind in der Verfahrenstechnik für energierelevante Forschung in der Schweiz aktiv. In der Fertigungstechnik sind es geschätzt dreifach so viele. In der Industrie gibt es mit auf mehr als 3 000 geschätzt energieintensiven Unternehmen sehr viele potenzielle Akteure. Eine energiefokussierte, organisierte Stakeholder-Szene wie bei anderen technologiespezifischen Programmen gibt es aber nicht. Für den aktiven Austausch, die Kombination von Ideen und Kompetenzen sowie zur Erreichung der Ziele wird künftig eine vertiefte Kommunikation und Vernetzung wichtig sein. Dadurch lassen sich auch die aktuell eher noch breit gestreuten Einzelaktivitäten an einer Gesamtstrategie ausrichten und werden damit zu einem wahrnehmbaren Programm. Basis für Information und Vernetzung sind die bestehenden Vereinigungen und Verbände (EnAW,

SGVC, Swissmem, GWF). Da viele Themen auch Forschungsgegenstand von angrenzenden BFE-Forschungsprogrammen wie Elektrizität, industrielle Solarenergienutzung, Solarwärme, Energie in Gebäuden, Wärme-Kraft-Kopplung und Umgebungswärme sind, ist auch der Austausch mit diesen ein wesentlicher Erfolgsfaktor.

Forschungsschwerpunkte und Programmziele

Die momentanen Forschungsschwerpunkte haben sich in der Schweiz aufgrund des bisherigen Fokus auf Verfahrenstechnik und der Auswahl der wichtigsten, entwicklungsfähigen technischen Potenziale in folgenden Bereichen herausgebildet:

- Bessere Wärmeübertragung;
- Kostengünstigere Prozessintegration, Pinch-Light-Methode;
- Thermische Verfahren:

a. Grundlagen und Auslegungstools (Simulation);

b. Neue Verfahren, speziell für Trocknen und Trennen;

- Prozessenergie aus Abwärme und Einsatz erneuerbarer Energiequellen.

Eine Ausweitung der Forschungsschwerpunkte auch auf die Fertigungstechnik und damit auf alle energierelevanten industriellen Prozesse ist ein wichtiges Ziel der nächsten Jahre. Auf Programmebene ergeben sich aufgrund der Analyse der Grundsätze der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) zudem folgende drei Haupt-Aktionsbedürfnisse:

- Verbesserung der nationalen Vernetzung;
- Zielgruppengerechte Information, welche die Industrie für das Thema Energie sensibilisieren soll.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2008

Das Projekt *Advanced integration of energy conversion production processes and waste management in batch chemical plants* [1] der ETH Zürich und der EPFL Lausanne verbessert die energetische Ausbeute und das Abfallmanagement in Batch-Chemieanlagen. Hauptziel ist die Entwicklung eines neuen Konzepts, das die Integrationspotenziale zwischen Produktionsprozessen und der Abfallwirtschaft erschliesst. Die Studie betrachtet alle wesentlichen Grenzbedingungen und Restriktionen in den chemischen Anlagen. Die Methodenentwicklung wird im Rahmen eines Projektes des Schweizerischen Nationalfonds finanziert. Die Tätigkeiten in diesem zweiten Projektjahr haben sich auf die Entwicklung der Modelle konzentriert. Die Modelle sind mit den Prozessdaten, die 2007 gesammelt wurden, kalibriert worden.

Das Projekt *Optimierung Wärmerückgewinnung in der Batch-Polymerisation* [2] der Hochschule Luzern untersucht die Möglichkeiten zur verbesserten Wärmerückgewinnung mit Wärmetauschern. Versuchsobjekt ist die Nexis Fibers AG, die in ihrem Werk in Emmenbrücke einen Batch-Polymerisationsprozess betreibt. Die aus den Autoklaven austretenden Brüden werden in einer Wärmerückgewinnungsanlage (WRG-Anlage) kondensiert. Diese Anlage weist verschiedene Mängel auf. Die organischen Brüdenbestandteile (Oligomere, Aerosole) führen zu Fouling in den Wärmeüberträgern, wodurch die Leistungsfähigkeit der WRG markant reduziert wird. Weiter entstehen durch die Schwadendampfvernichtung grosse Exergieverluste, die sich negativ auf die

Effizienz des Gesamtsystems auswirken. Zudem weist der Prozess relativ hohe Schadstoffemissionen auf. Die Hauptziele des Projektes sind, die WRG-Anlage zu ersetzen, die Mängel zu beseitigen und die Effizienz markant zu verbessern. Dazu wurde der Prozess mit Hilfe von theoretischen Berechnungen und Messungen systematisch analysiert. Die Analyse des Foulings zeigt, dass bereits sehr dünne Schichten den Wärmestrom massiv reduzieren.

Verschiedene Varianten zur Reduktion bzw. zur Beherrschung des Foulings wurden untersucht und verglichen. Die zunächst viel versprechende Lösung mit Brüdenwäsche, die verhindern soll, dass Fouling verursachende Stoffe in die WRG gelangen, wurde aus verschiedenen Gründen verworfen (u. a. hoher Essigsäurebedarf, Verwendung eines neuen Antischaummittels). Stattdessen wurde ein System mit teilredundanten Wärmeüberträgern, «kontrolliertem» Fouling (überwachter Druckanstieg des Brüdendampfes infolge Fouling) und einem automatisierten Reinigungssystem konzipiert und ausgelegt. In einem Mischkondensator sollen der Schwadendampf und der Abdampf aus dem Polymerisationsprozess niedergeschlagen werden. In einer Abschätzung des Einsparpotenzials wurde mit konservativen Annahmen eine Reduktion des CO₂-Ausstosses von rund 600 t und Kosteneinsparungen von rund CHF 340 000 pro Jahr berechnet.

Die Nexis Fibers AG befindet sich seit dem 3.11.2008 in der Nachlassstundung. Aus diesem Grund wurde das Projekt am 19.11.2008 ge-

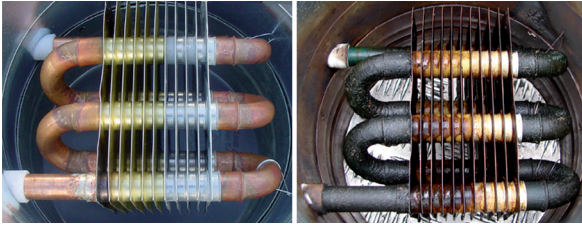


Bild 2: Auch sehr dünne Fouling-Schichten beeinträchtigen den Wärmetransport sehr massiv. Das Bild zeigt den Rohrboden eines von Fouling betroffenen Wärmetauschers.

stoppt. Über eine Wiederaufnahme des Projektes kann zurzeit keine Aussage gemacht werden. Bei einer Weiterführung des Projektes wird das Detail-Engineering abgeschlossen, die WRG-Anlage realisiert und mit einer Messkampagne die Effizienzsteigerung bzw. die Reduktion der CO_2 - und Schadstoff-Emissionen quantifiziert (Erfolgskontrolle).

Das Projekt *Effizienzsteigerung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen für Futtermittel* [3] der FH Nordwestschweiz untersucht den Einfluss einer mechanischen Vortrocknung mit Schneckenpresse auf den Energieverbrauch und auf die Futtermittelqualität. Die Analysen im Berichtsjahr haben das Einsparpotenzial des neuen Trocknungsverfahrens mit Vorpressung für die Gras- und Maispelletsherstellung erneut nachgewiesen. Durch die mechanische Entwässerung mit Hilfe einer Vorpresse werden die Produktionskosten und der Heizölverbrauch reduziert, ohne den Nährstoffgehalt der Futtermittel negativ zu beeinflussen. Bei den energieintensiven Trocknungsprozessen kann durch die Vorpressung eine Einsparung von ca. 25 % an Heizöl extraleicht und damit eine Reduktion der CO_2 -Emission um ca. 130 t CO_2 pro Jahr erzielt werden. Die Wirtschaft-



Bild 3: Das mechanische Auspressen der Pflanzenfeuchte reduziert den Energiebedarf bei der nachfolgenden Trocknung des Futtermittels und steigert dessen Qualität.

lichkeit des Verfahrens ist bei schlechten Wetterbedingungen während der Futtermittelernte besonders hoch. Durch die Vorpressung können so wetterbedingte Schwankungen der Trocknungskosten abgefedert werden, da der Restfeuchtegehalt des Futtermaterials nach der Pressung auf konstantem Niveau liegt.

Aber auch bei den in der Schweiz relativ seltenen optimalen Wetterbedingungen rechnet sich das Verfahren. Die praktischen Versuche haben gezeigt, dass die Produktion von Trockenfuttermitteln überregional bzw. global in relevanten Größenordnungen verbessert werden kann. Neben der Einsparung fossiler Energieträger und einer Kostensenkung findet eine bedeutende Reduktion der CO_2 -Emissionen statt. Die Bodenuntersuchungen zeigten, dass bei Ausbringung von Presswasser auf die Felder der Boden mit Nährstoffen wie Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium angereichert wird. Die Ausbringung von Graspresse-saft auf die Bodenoberfläche kann also den Nährstoffkreislauf positiv beeinflussen.

Das Institut für Chemie und Bioingenieurwissenschaften der ETH Zürich setzte ihre Forschungsarbeiten am Projekt *FINE-CHEM – an inventory estimation tool for fine chemicals* [4] fort. Im Jahr 2008 wurden die strukturbasierten Modelle auf der Basis neuronaler Netze weiter entwickelt und fertige, zur Anwendung bereite Modelle erstellt. Die im Jahr 2007 gewonnenen Daten wurden aufgearbeitet und in einen für die neuronalen Netze verwendbaren Trainingsdatensatz verarbeitet. Ein Datensatz von insgesamt 392 Datensätzen wurde verwendet. 96 Datensätze wurden der Ecoinvent-Datenbank entnommen, die restlichen wurden durch die Kooperationen mit der nationalen und internationalen Chemieindustrie gewonnen. Die Modelle wurden in ihrer Struktur optimiert. Fertige Modelle wurden für den kumulierten Energiebedarf (CED), das *Global Warming Potential* (GWP) und *Eco-Indicator 99-Punkte* (eine Life Cycle Assessment Methode zur Bestimmung eines aggregierten Umweltschadens) erstellt. Durch die breite Datenbasis sind die Modelle für

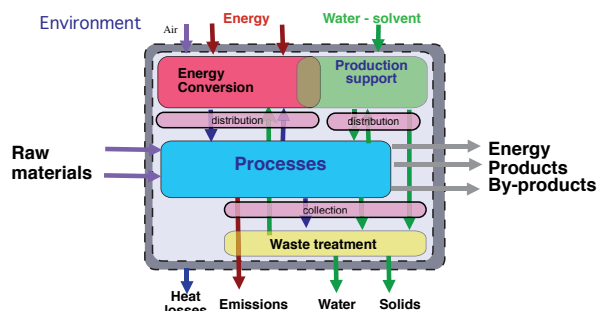


Bild 4: Prinzipskizze des Energie- und Stoffflusses in der Verfahrenstechnik.

eine Vielzahl von Chemikalienklassen anwendbar. Um die bei der Chemikalienproduktion kritischen Parameter zu bestimmen, für die die Modelle generiert werden sollten, wurde die Produktion von Chemikalien allgemein untersucht und die Quellen für die Haupt-Umweltschäden bestimmt. Dabei wurde eine breite Menge von Basischemikalien sowie zwei Pharmazeutika als Vertreter der Feinchemie untersucht. Ein Ergebnis war, dass Energieverbrauch einer der umweltrelevantesten Faktoren überhaupt in der Chemikalienproduktion ist.

Das Institut für Umweltingenieurwissenschaften der ETH Zürich führte seine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Projekt *Decision-Support Tool to optimize Co-Processing of waste in the Cement Industry* [5] fort. Das Projektziel ist die Entwicklung eines Computerwerkzeugs für die Lebenszyklus-Einschätzung (LCA), zum Co-processing des Abfalls in der Zementindustrie festzusetzen und so die verschiedenen Abfallbehandlungsverfahren zu vergleichen. Das Kleberbetriebsmodul wurde abgeschlossen und die grafische Benutzerschnittstelle programmiert. Die Benutzerschnittstelle wurde weiter dem bereits entwickelten Aufschüttungsmodell und dem städtischen Einäscherungsmodell angepasst. Das Einäscherungsmodell wurde mit Emissionsdaten aus einer laufenden Untersuchung über überschüssige Verbrennungsöfen in Europa aktualisiert und ergänzt mit ausführlicheren Daten für das Metallrecycling. Das Modell für Sondermüllverbrennungsöfen wird 2009 hergestellt. Das Modellieren des Hochofenmodells erfolgt 2009 in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner. In der jährlichen Projektsitzung für 2008 wurde entschieden, den Bereich für das Modellieren der Abfallbehandlungsprozesse zu den Zementöfen, den Hochöfen, den städtischen Feststoffverbrennungsöfen, den Sondermüllverbrennungsöfen und den Aufschüt-

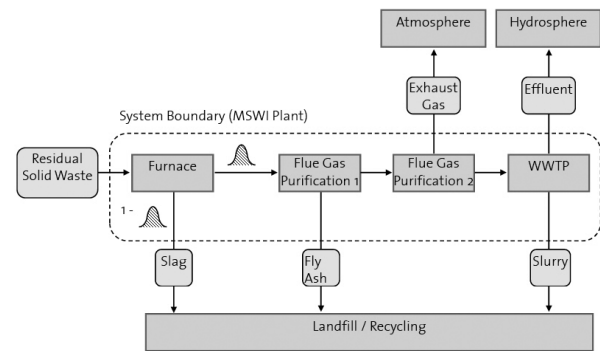


Bild 5: Modellierung der Abfallverbrennung.

tungen zu reduzieren. Dementsprechend werden andere Co-Verarbeitungsindustrien (Kohleenergieanlagen, ölbefeuerte Kraftwerke, Kalk- und Ziegelöfen) sowie Asphaltproduktion, Vergasung, Pyrolyse, Brennstoffproduktion, Phosphorwiederaufnahme aus Abwasserschläm und die materielle Wiederverwertung vom Projektbereich ausgeschlossen. Die Genauigkeit der Vorhersage der Emissionen an der Kleberanlage wurde durch das Vergleichen der vorausgesagten Emissionen mit gemessenen Emissionen an einer spezifischen Kleberanlage analysiert. Die Entdeckungen sind, dass das Modell zuverlässige Vorhersagen für Treibhausgase, Stickstoff- und Schwefeloxide zur Verfügung stellt, während die Genauigkeit für Schwermetallemission niedriger ist. Dieses kann durch Ungewissheiten in der Konzentration der Schwermetalle in den Betriebsmitteln (Eingang) und in den Luftemissionen (Ausgang) erklärt werden, da die Konzentrationen häufig nah an- oder unterhalb der Nachweisgrenze sind. Die Co-Verarbeitung des getrockneten Abwasserschlamms in den Schweizer Zementöfen wurde für eine Studie festgesetzt, die durch das BFE und das BAFU in Auftrag gegeben wurde. Die Resultate zeigen, dass ein erheblicher Klima- und Umweltnutzen an der Kleberanlage erzielt werden kann.

Nationale und internationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr unterstützte das Programm insgesamt drei Projekte aus dem ETH-Bereich und zwei der Fachhochschulen. Alle diese Projekte weisen eine starke Industriebeteiligung auf und sind überwiegend von den beteiligten Industriepartnern finanziert. Die öffentliche Hand ist praktisch nur mit dem BFE und teilweise mit dem BAFU im For-

schungsbereich der industriellen Prozesse aktiv. Eine internationale Zusammenarbeit mit der EU fand wegen fehlender gemeinsamer Themen nicht statt. Hingegen hat das BFE den Kontakt mit dem Implementing Agreement der Internationale Energie Agentur (IEA) *Industrial Energy-Related Technologies and Systems* (IETS) aufgenommen.

Bewertung 2008 und Ausblick 2009

Betrachtet man die Programmschwerpunkte und die anvisierten Ziele für das Forschungsprogramm, so sind in allen 3 Bereichen (Systemop-

timierung und -integration, Qualitätssicherung, neue Verfahren und Technologien) erfolgreich Projekte durchgeführt worden.

Liste der F+E-Projekte

- [1] F. Maréchal, K. Hungerbühler (francois.marechal@epfl.ch), EPFL/ETHZ: Advanced integration of energy conversion production processes and waste management in batch chemical plants, Laufzeit 2007–2010 (JB).
- [2] B. Wellig (beat.wellig@hslu.ch), CC für Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik, Luzern: Optimierung Wärmerückgewinnung in der Batch-Polymerisation, Laufzeit 2007–2008 (JB).
- [3] L. Sandoval (liseth.sandoval@fhnw.ch), FHNW, Muttenz: Effizienzsteigerung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen, Laufzeit 2007–2008 (JB).
- [4] G. Wernet (gregor.wernet@chem.ethz.ch), ETH Zürich: Fine-Chem – An Inventory Estimation Tool For Fine Chemicals, Laufzeit 2006–2009 (JB).
- [5] Michael E. Bösch (boesch@ifu.baug.ethz.ch), ETH Zürich: Development of an environmental decision support tool to optimize co processing of waste in the cement industry, Laufzeit 2007–2009 (JB).

Impressum

Juni 2009
 Bundesamt für Energie BFE
 CH-3003 Bern
 Druck: Ackermann Druck AG, Bern-Liebelfeld
 Bezug der Publikation: www.energieforschung.ch

Programm- und Bereichsleiter

Martin Pulfer
 Bundesamt für Energie BFE
 CH-3003 Bern
martin.pulfer@bfe.admin.ch