

Rapports de synthèse des chefs de programme OFEN Überblicksberichte der BFE-Programmleiter 2007

VERFAHRENSTECHNISCHE PROZESSE VTP

Martin Stettler

martin.stettler@bfe.admin.ch



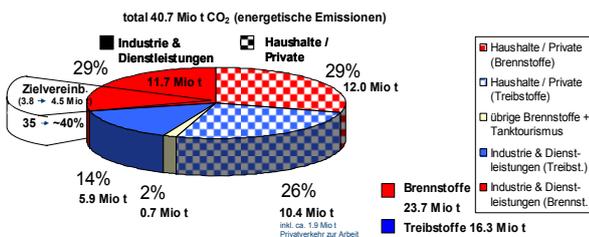
Quelle: Perlen Papier AG / Helbling

Energieintensive Papierproduktion

Die *Perlen Papier AG* ist ein weiteres Beispiel, dass mit einer umfassenden energetischen Prozessintegration (*Pinch*) weiteres (bisher unentdecktes) wirtschaftliches Energiesparpotenzial gefunden wird. Die priorisierten technisch wirtschaftlichen Massnahmen werden der Firma jährlich 3,5 Mio. CHF Energiekosteneinsparungen bei einem Investitionsbedarf von 8 Mio. CHF bringen.

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Fakten: Mit einem jährlichen Ausstoss von knapp 6.7 Mio. Tonnen CO₂ aus fossilen Brennstoffen ist der Industriesektor mit rund 77'000 Betrieben der zweitgrösste Emittent von Kohlendioxid (Figur 1). Der Sektor Dienstleistungen mit rund 240'000 Unternehmen ist für einen Ausstoss von ca. 5 Mio. Tonnen CO₂ verantwortlich. Grösster Emittent bleibt der Sektor Haushalte (Heizungen) mit einem jährlichen Ausstoss von rund 12 Mio. Tonnen CO₂. Am gesamten CO₂-Ausstoss (inkl. Treibstoffe) sind die Wirtschaft mit 43% und die Haushalte mit 55% beteiligt. Diese Verteilung hat sich auch für 2007 nicht wesentlich verändert. Der Verbrauch von fossilen Brennstoffen ist leicht am sinken. Hingegen ist beim Energieträger Elektrizität und Treibstoff ein markantes Wachstum festzustellen. Es beginnt sich ein Elektrizitätsengpass abzuzeichnen. Der Fokus muss künftig also stärker auf die rationelle Elektrizitätsnutzung in industrielle Produktionsanlagen und der Verfahrenstechnik gerichtet werden.



Figur 1: CO₂-Emissionen der Schweiz im 2005. Quelle: CO₂-Inventar BUWAL 2005, Verkehrsmodell Infras und Abschätzung gemäss Mikrozensus Mobilität 2005 (ARE/BfS).

Ab dem 1.1.2008 gilt eine CO₂-Abgabe auf fossilen Brennstoffen von 3 Rp. pro Liter Heizöläquivalent. Dies hat rund 1000 energieintensive Unternehmen bewegt, mit dem Bund eine Reduktionsverpflichtung einzugehen und sich dadurch von der Abgabe befreien zu lassen. Die darin eingebundenen 3,8 Mio. Tonnen CO₂ oder 35% des gesamten CO₂-Ausstosses der Wirtschaft dürften somit bis 2010 um rund 7% reduziert werden. Die geplante Reduktionsleistung der Unternehmen bis 2010 ist mit 18% wesentlich grösser, wird jedoch durch das grosse Wirtschaftswachstum teilweise kompensiert. Mit den hohen Energiepreisen dürfte aber auch neues wirtschaftliches Energiesparpotenzial umgesetzt werden und die energieintensiven Unternehmen vermehrt in neue CO₂-arme Technologien investieren. Das

wirtschaftliche Energiesparpotenzial in der industriellen Produktion liegt nach wie vor zwischen 20% und 50%.

Ausrichtung: Das Forschungsprogramm VTP richtete sich deshalb auch im letzten Programmjahr auf das Netzwerk der Energie-Agentur der Wirtschaft aus, da diese 1500 im Zielvereinbarungsprozess stehenden Unternehmen die nötige Voraussetzung und Bereitschaft für gemeinsame Forschungsprojekte mitbringen. Das Programm unterstützte die Erarbeitung von Methoden, Werkzeugen und Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz und Senkung der CO₂-Emissionen und fördert die Integration von erneuerbaren Energien. Es unterstützte auch die Nutzbarmachung von heute noch ungenutzter Abwärme.

Schwerpunkte: Auf der Basis des *Konzepts der Energieforschung des Bundes 2004-2007* sowie den Ergebnissen diverser Plattformveranstaltungen des Sektors Industrie und Dienstleistungen von EnergieSchweiz, bestätigen sich die Programmschwerpunkte:

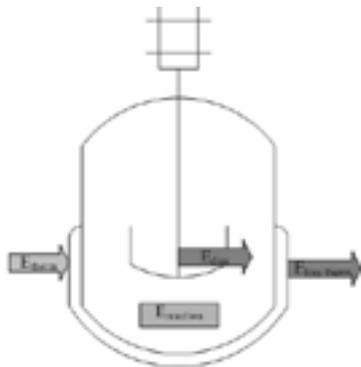
- I. **Prozessoptimierung / Prozessintegration;**
- II. **Verbesserung komplexer Produktionsverfahren;**
- III. **Effizientere Trocknungs- und Trennverfahren;**
- IV. **Nachhaltiger Umgang mit Energie und Ressourcen.**

Umsetzung: Die oben genannten Programmschwerpunkte sind u.a. in Form einer Projektausschreibung auf Internet und bei diversen Veranstaltungen der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) publiziert worden. Ein Umsetzungsdurchbruch gelang im Berichtsjahr mit der Einführung/Ausbildung von fünf EnAW-Moderatoren in die Prozessintegration (*Pinch-Analyse*) und Umsetzung in fünf Pilotunternehmen der EnAW. Die Resultate dieses *Pinch*-Pilots konnte anlässlich der EnAW-Fachtagung im November erfolgreich vorgestellt werden (siehe <http://www.bfe.admin.ch/energie>, Rubrik Unternehmen). Basis dazu wurde mit dem Programm VTP gelegt. Damit ist die Prozessintegration als Thema in der Umsetzung angelangt und wird von EnergieSchweiz (Bereich Prozess- und Betriebsoptimierung PBO) weiter verbreitet. Dort wird nun auch die Entwicklung eines vereinfachten, kostengünstigen *Pinch*-Ansatzes (*Top-Down Pinch*) für KMU vorangetrieben, die Methode sollte 2008 vorliegen und bei der EnAW in die Pilotanwendung gehen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2007

I. PROZESSOPTIMIERUNG UND -INTEGRATION

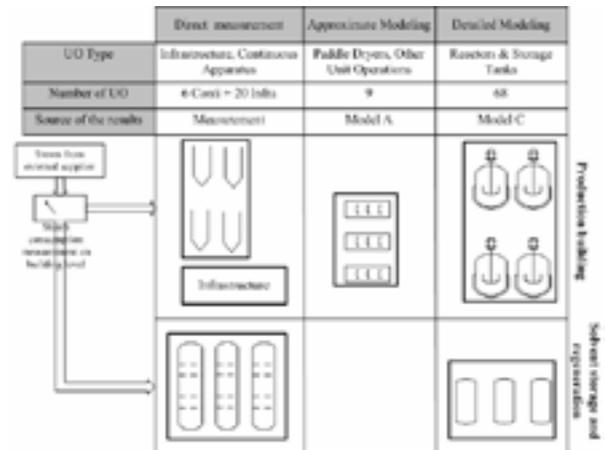
Das 2004 gestartete Projekt **Modeling and Optimization of Energy Consumption in Multi-purpose Batch Plants** [1] hatte zum Ziel, mit geeigneten Modellen (*Top-down* und *Bottom-up*) ein verlässliches Vorhersage- und Optimierungsinstrument für den Energiebedarf chemischer Mehrprodukte-Batchbetriebe zu entwickeln. Dabei soll der produktespezifische Energiebedarf (Elektrizität, thermische Energie) aufgrund der jeweiligen Prozessdaten (Betriebsvorschrift) prognostiziert werden, damit Herstellprozesse energetisch optimiert werden können. Eine Erkenntnis war, dass verlässliche Vorhersagen des Energiebedarfs und damit auch die Erkennung von Optimierungspotenzial bei Mehrprodukte *Batch*-Betrieben nur mit *Bottom-up*-Modellen möglich ist.



Figur 2: Energieströme Heizung/Kühlung eines UO.

Die *Bottom-up* Methode besteht aus der energetischen Modellierung der wichtigen Einheitsoperationen (UO=Reaktoren) eines typischen *Batch*-Betriebes (Figur 3). Die Validierung erfolgte anhand diverser Direktmessungen auf Stufe Prozessanlagen und Gebäude. Für die UO wurde jeweils eine detaillierte Energiebilanzierung erstellt (Figur 2). Um die Modelle zu eichen, wurden über zwei Monate die Messwerte der Prozessparameter als Inputdaten aufgenommen. Damit die Energieeffizienz des dominierenden Energieverbrauchers, Dampf überprüft werden konnte, beschränkte sich das Modell auf die einzelnen UO und verzichtete auf eine weitere Aufsplittung nach Produkten (Figur 4). Als Modell-Input wurden Messdaten von über 1000 Messstellen in über 100 UO erfasst und in Zeitreihen mit gemeinsamer Zeitbasis zugeordnet. Spezielles Augenmerk wurde auf die möglichst reale Bestimmung der thermischen Verluste der UO gelegt. Es konnte ein allgemein gültiges Modell für die Reaktorverluste entwickelt und validiert werden. Einerseits konnte die Energieeffizienz der UO so ermittelt aber auch gerade die punktuellen Optimierungsmöglichkeiten identifiziert werden. Im untersuchten *Batch*-Betrieb der *Ciba* konnte mit der Methode bei bisher 6 Reaktoren Reduktionsmassnahmen von 3500 Tonnen Dampf resp. 390 t CO₂ ermittelt werden.

Die Überprüfung und Massnahmenplanung läuft über das abgeschlossene Forschungsprojekt bei der *Ciba* weiter.



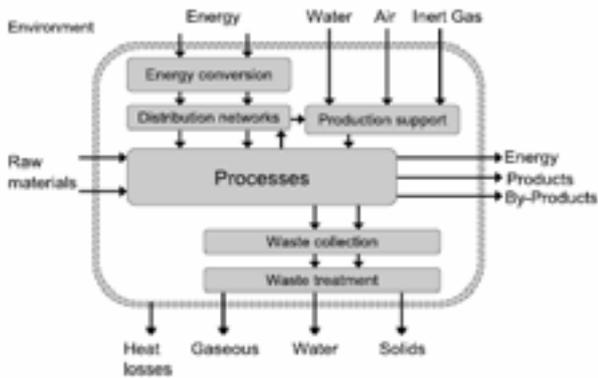
Figur 3: Bottom-up Modell des untersuchten Batch-Betriebs.



Figur 4: Effizienz des Dampfverbrauchs in verschiedenen Reaktoren unter Berücksichtigung verschiedener Nominalvolumen (NV), Materialien – Rostfreier Stahl (SS), verglaster Stahl (SE) und Typen des H/C-Systems – half-pipe coil (HP) und Doppelmantel (DJ)

Das Forschungsprojekt **Efficient Energy Conversion in the Pulp and Paper Industry, EECPI** [2] fügt sich mit einer Fallstudie in das internationale Projekt *Novel Technologies for Energy Efficiency and Eco-Industrial Clusters in the Pulp and Paper Industry*, E³PAP ein. Am Beispiel von Borregaard konzentrieren sich die schweizerischen Forschungsarbeiten auf die energetische Integration der energieintensiven Prozesse der Lignin-, Cellulose, Ethanolherstellung. Die Energieversorgungssysteme (utilities) werden ebenfalls mit der *Pinch*-Methode untersucht und einer energetischen Integration unterzogen. Ziel der Prozessintegration ist es, in einem Prozesssystem (Figur 5) die horizontalen Ströme zu maximieren und die vertikalen Ströme möglichst zu minimieren.

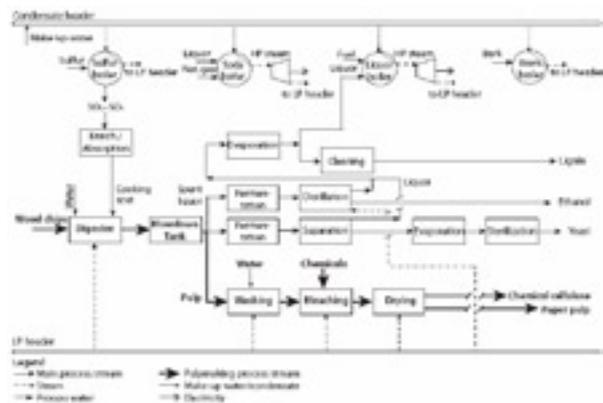
Anhand von Modellen (*data reconciliation Models*) für die Energieumwandlung, -verteilung und



Figur 5: System der Prozessanalyse.

Produktionsprozesse konnten die Prozessanforderungen ermittelt werden. Mit einem *top-down* Ansatz, wurden einerseits der Energieeinkauf des Unternehmens sowie die vorhandenen Energieumwandlungstechnologien unter die Lupe genommen. Eine erste Analyse der Energieumwandlungssysteme ergab Sparpotenzial bei den gasbefeuerten Kesseln durch Abwärmenutzung der Abgase und Erhöhung der Dampfkondensatnutzung. Mit der systematischen Aufnahme aller sich erwärmenden und sich abkühlender Prozessströme (*Pinch-Analyse*) aller wesentlichen Prozesse (90% des Dampfverbrauchs) konnte der minimale Energiebedarf (MER) der Prozesse ermittelt werden (Figur 6). Die Dampferzeugungsleistung beträgt heute ca. 75 MW; könnte die Wärmequellen und Wärmesenken aller wichtigen Prozesse ohne Einschränkung zusammenschaltet werden (MER) so wäre nur ein mittlere Wärmeleistung (Dampferzeugung) von rund 39 MW nötig. Es liegt auf der Hand, dass dieses Sparpotenzial durch Prozessintegration bei bestehenden Prozessanlagen nicht voll realisiert werden kann. Es wurde mit zwei *Pinch-Ansätzen* (*dual representation method*), d.h. dem *Utility-Pinch* und dem *Thermodynamik-Pinch* gearbeitet. Als Resultat dieser dualen Methode konnte im Berichtsjahr Reduktionsmassnahmen beim Dampfverbrauch von 21%, Massnahmen (WRG) zur Senkung des Wärmebedarfs von 48% gefunden werden. Die Optimierung der Dampfturbine für die Stromproduktion führte zu einer Senkung der Energiekosten von 54%. Weiteres Optimierungspotenzial könnte erschlossen werden, wenn die bestehende Energieinfrastruktur umgebaut/erneuert werden könnte und die Analyse somit nach rein thermodynamischen Gesichtspunkten durchgeführt würde. Als letzter Projektschritt (2008) werden die gefundenen Massnahmen einer technisch ökonomischen Beurteilung unterzogen (Triagierung) zur Festlegung konkreter umsetzbaren Massnahmen.

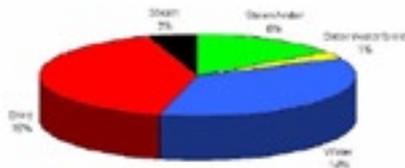
Neu konnte ein gemeinsames Projekt der EPFL und ETHZ **Advanced integration of energy conversion, production processes and waste**



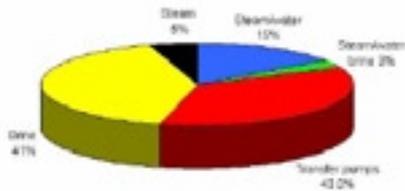
Figur 6: Vereinfachtes Prozess-Diagramm.

management in batch plants [3] gestartet werden. Hauptziel ist es, eine neue Methode zu entwickeln um das Integrationspotenzial zwischen Energieumwandlung und Energieversorgungssystemen, Produktionsprozessen und Abfallbewirtschaftung in *Batch*-Betrieben der chemischen Industrie zu identifizieren und zu realisieren. Dies unter Berücksichtigung einer variablen Produktpalette, der zur Verfügung stehenden Reaktoren und Prozess-Layouts. Vom BFE wird die Erprobung/Validierung der Methode als Fallstudie in einem Chemiebetrieb (*Syngenta*) unterstützt. Die ersten Projektarbeiten galten der Datenaufnahme eines typischen Produktionsgebäudes. Die Daten der Energieumwandlungssysteme, der Abfallbewirtschaftung und der Produktionsprozesse wurden untersucht. Von den Produktionsprozessen wurden die Massen- und Energieflüsse aufgenommen und einfache Modelle der Einheitsoperationen (Reaktoren) erstellt, um umfassende Massen- und Energiebilanzen erstellen zu können. Etwa 40 Energieübertragern, wie Reaktoren, Kondensatoren, Wärmetauscher, Vakuumpumpen und Trockner wurden aufgenommen. Ihr Anteil am thermischen Energieverbrauch ist in Fig. 7 dargestellt. Ebenfalls wurde der Stromverbrauch aufgenommen und den Hauptverbrauchern zugeordnet (Fig. 8).

Mit dem Projekt **Gesamtenergiestudie mit der Pinch-Methode Perlen Papier AG** [4] konnte gezeigt werden, dass mit einer energetischen Prozessintegration wirtschaftliches Sparpotenzial gefunden werden kann, das bei herkömmlichen Energiestudien im Verborgenen geblieben wäre (Figur 9). In der *Perlen Papier AG* werden pro Jahr rund 175'000 Tonnen LWC-Papier und 132'000 Tonnen Zeitungspapier produziert. Der Primärenergieverbrauch beträgt dabei 482 GWh_{el} Strom (ohne PECO Verfahren), 58 GWh_{th} Erdgas (Hu), 168 GWh_{th} Heizöl S sowie ca. 164 GWh_{th} aus der Verbrennung von Reststoffen. Durch die hohen Preissteigerungen der fossilen Energieträger und des Stroms machen die Energiekosten einen hohen Teil der Gesamtkosten der Produktion aus. Einsparungen des Wärmebedarfs wirken sich

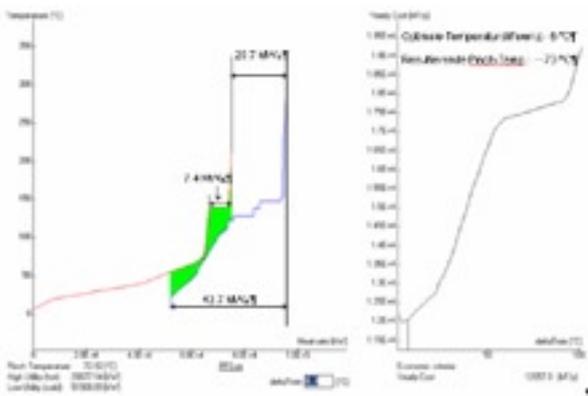


Figur 7: Verteilung der Energieübertragung.



Figur 8: Verteilung des Stromverbrauchs.

direkt auf den kosten- und CO₂-relevanten Verbrauch von Schweröl und Erdgas aus. Es wurden Prozesse mit einem thermischen Leistungsbedarf von insgesamt 43.7 MW_{th} untersucht. Davon werden heute 7.4 MW_{th} durch die Dampfproduktion in der TMP gedeckt, 7 MW_{th} leistet die bereits bestehende Wärmerückgewinnung. Der benötigte Leistungsbedarf an Primärenergie (Erdgas, Heizöl, Reststoffe) könnte theoretisch nochmals um 9.4 MW_{th}, verglichen zu heute, reduziert werden.



Figur 9: Pinch-Analyse ohne Spritzwasservorwärmung.

Unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit und verfahrenstechnischer Umsetzbarkeit konnten 19 Einzelmassnahmen mit einem Einsparpotential von 7.1 MW_{th} resp. 59 GWh_{th}/a evaluiert werden. Dies entspricht etwa 75% des mit der Pinch-Analyse definierten Potentials. Die Hauptmassnahmen sind klassische Wärmerückgewinnungen mit zum Teil wesentlichen Flächenvergrößerungen der Wärmetauscher, welche aufgrund der deutlich gestiegenen Energiekosten möglich und rentabel wurden. Die Massnahmen umfassen auch Prozessanpassungen. So wird zum Beispiel der Trockensubstanzgehalt des Papiers vor der thermischen Trocknung durch Erhöhung der Spritzwasser- und Siebwassertemperatur-

levels vergrößert, so dass weniger thermische Trocknungsenergie notwendig wird. Nach Realisation aller vorgeschlagenen Massnahmen kann der Energiebedarf um bis zu 15% (Wärme) bzw. 0.7% (Strom) verringert werden. Dies entspricht jährlichen Einsparungen von bis zu 3.5 Mio. CHF bei Investitionen von total etwa 8.0 Mio. CHF. Die priorisierten Massnahmen erreichen zusammen einen Payback von 1.9 Jahren.

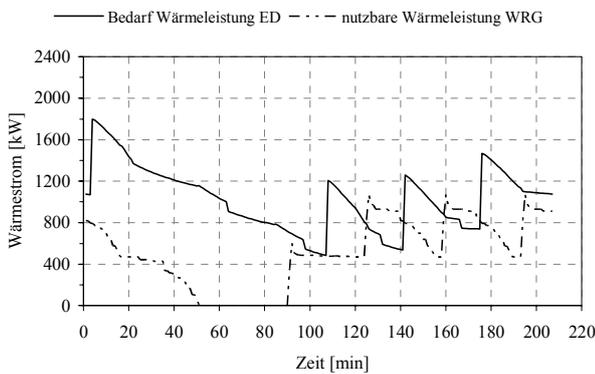
II. VERBESSERUNG KOMPLEXER PRODUKTIONSVERFAHREN

Mit dem Projekt **Optimierung Wärmerückgewinnung Batch-Polymerisation** [5] soll untersucht werden, wie die Verschmutzung des Wärmerückgewinnungssystems durch die verschmutzten Brüden reduziert werden kann, damit die Wärmeübertragungsleistung möglichst lange erhalten bleibt. Die Nexis Fibers AG betreibt in ihrem Werk in Emmenbrücke Batch-Polymerisationsprozesse. 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 Ablagerungen in den Wärmetauschern (*Fouling*, Fig. 10), wodurch die Leistungsfähigkeit der WRG markant reduziert wird. Des Weiteren entstehen durch die Schwadendampfvernichtung grosse Exergieverluste, die sich negativ auf die Effizienz des Gesamtsystems auswirken. Schliesslich weist der Prozess relativ hohe Schadstoff-Emissionen auf. Das Hauptziel des Projektes ist, die WRG-Anlage zu ersetzen, um die beschriebenen Mängel zu beseitigen, die Effizienz markant zu verbessern und die Anlage auf die zukünftigen Bedürfnisse auszurichten. Dazu wird der Prozess mit Hilfe von Messungen und theoretischen Berechnungen systematisch analysiert. Die Analyse des *Fouling*s zeigt, dass bereits dünne Schichten den übertragenen Wärmestrom markant reduzieren. Verschiedene Varianten zur Reduktion bzw. zur Beherrschung des *Fouling*s werden untersucht und verglichen. Eine viel versprechende Lösung ist die Brüdenwäsche, die verhindern soll, dass *Fouling* verursachende Stoffe in die WRG gelangen. Dieses Verfahren wird im kommenden Jahr weiter ausgearbeitet und mit grosser Wahrscheinlichkeit realisiert. Anschliessend soll eine Messkampagne durchgeführt werden, mit welcher die Effizienzsteigerung bzw. die Reduktion der CO₂- und Schadstoff-Emissionen quantifiziert wird (Erfolgskontrolle). Aufgrund der bisherigen Untersuchungen wird erwartet, dass der prozessenergiebedingte CO₂-Ausstoss um mehrere Tausend Tonnen pro Jahr reduziert werden kann.

In Fig. 11 ist beispielhaft der zeitliche Verlauf der nutzbaren Wärmeleistung aus der WRG (Angebot) und der benötigten Wärmeleistung in den Eindampfern (Nachfrage) dargestellt, wenn 4



Figur 10: Ablagerungen im Wärmeaustauscher (Fouling).



Figur 11: Zeitlicher Verlauf Wärmeangebot und -Nachfrage.

von 6 Produktionsstrassen in Betrieb sind. Es ist ersichtlich, dass in diesem Fall das Angebot die Nachfrage zeitweise übersteigt. Die neue WRG muss in einer Vielzahl von Betriebssituation eine möglichst effiziente Energieregeneration gewährleisten. Die erarbeiteten Ergebnisse dienen als Grundlage für die Auslegung der neuen WRG.

III. ENERGIEEFFIZIENTERE TROCKNUNGS- UND TRENNVORFAHREN

Im Rahmen des Projekts **Effizienzsteigerung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen** [6] geht es darum, den energieintensiven Trocknungsprozess (Wasserverbrennen) zumindest teilweise durch ein mechanisches, CO₂-freies Verfahren zu ersetzen. Die mechanische Vorpressung des Trocknungsgutes ist ein nahe liegender Lösungsansatz. Die qualitativen Auswirkungen auf das Trocknungsgut (Gras, Mais) wurde jedoch bisher nie wissenschaftlich abgeklärt. Durch Vorpressung werden bei der anschließenden thermischen Trocknung von Gras der Energieverbrauch und die CO₂-Emission markant reduziert. Erste Analysen des Nährwertgehaltes haben gezeigt, dass das Vorpressverfahren die Futterqualität nicht mindert. Die mit dem Vorpressungsverfahren hergestellten Futtermittel sind vergleichbar mit äquivalenten handelsüblichen Produkten und der entsprechend publizierten Empfehlung des Handels.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe der Versuchspresse, welche noch nicht optimiert ist, bereits eine Reduktion des Heizölverbrauchs



Figur 12: Einfluss der ersten Vorpressversuche auf den spezifischen Ölverbrauch.

um 35% erreicht wurde (Fig. 12). Die damit verbundene Reduktion der CO₂-Emissionen beträgt ca. 100 Tonnen CO₂ pro Jahr. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Trocknungsprozess durch die auf den Versuchspartellen jahreszeitlich bedingt wesentlich geringer anfallende Biomasse nicht optimal gefahren werden konnte. Die energie- und kostenintensive Produktion von getrockneten Futtermitteln kann also überregional bzw. global durch mechanische Entwässerung mit Hilfe einer Vorpresse in relevanten Größenordnungen verbessert werden. Die Vorpressung bringt auch Trocknungsanlagen, welche mit z.Z. noch günstigerem Erdgas trocknen, wesentliche ökonomische Vorteile. Obwohl die Bodenuntersuchungen noch nicht abgeschlossen sind, deuten die vorliegenden Zwischenergebnisse zum pH-Wert an, dass sich das Presswasser grundsätzlich für die Düngung eignet. Die Ausbringung von Presswasser auf die Felder kann in Kombination mit bereits üblichen Massnahmen zur Senkung des pH-Wertes des Bodens eine ökologisch-effiziente Alternative zur Anreicherung des Bodens mit Nährstoffen wie die Elemente Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium darstellen.

IV. NACHHALTIGER UMGANG MIT ENERGIE UND RESSOURCEN

Ziel des Projekts **FINE-CHEM – an inventory estimation tool for fine chemicals** [7] ist es, ein Werkzeug für die schnelle und einfache Erstellung von Inventardaten (Massen- und Energiebilanzen) der Produktion von Feinchemikalien zu entwickeln. Herkömmliche Methoden führen bei Feinchemikalien zu einem extrem hohen Arbeitsaufwand. Deshalb werden Voll-Inventarisierungen nur selten und im Rahmen von Fallstudien durchgeführt. Das zu entwickelnde Werkzeug soll eine genügende Abschätzung von Inventardaten bereits in der Phase der Produktplanung ermöglichen. Dadurch werden sich mehrere Alternativprodukte bezüglich des wahrscheinlichen Energieverbrauches bei der Produktion vergleichen lassen. Des Weiteren können verschiedene Produktionsmöglichkeiten für ein neues Produkt verglichen werden, so dass energieaufwändige

Prozesse frühzeitig identifiziert und vermieden werden können. Zuletzt werden auch bestehende Prozesse ohne aufwändige Messungen auf übermässigen Energieverbrauch hin untersucht und optimiert werden können.

Im Berichtsjahr konnten die strukturbasierten Modelle auf der Basis neuronaler Netze stark weiterentwickelt werden. Die Modelle wurden mit Trainings- und Testsets erstellt, um sie mit unbekanntem Daten zu testen und so ihre Generalisierungsleistungen zu ermitteln. Aus den Arbeiten ergab sich, dass die strukturbasierten Modelle ein breites Anwendungsfeld haben, für die Erstellung der Modelle jedoch eine solide Datenbasis kritisch ist. Daher wurde die industrielle Zusammenarbeit stark weiterentwickelt. Da das Interesse an den Modellen in der Industrie allgemein hoch ist und die bisherigen Ergebnisse viel versprechend sind, entschlossen sich mehrere Industriepartner zu weiterer, teils sehr umfangreicher Bereitstellung von internen Produktionsdaten, und ein neuer Partner konnte in *GlaxoSmithKline* gewonnen werden. Am bedeutendsten war der Beitrag der *BASF*, welche der ETHZ in Ludwigshafen einen Monat lang Zugriff zu den Inventardaten ihrer Ökoeffizienzgruppe gab. Durch die Kooperationen stieg die Zahl der für den internen Gebrauch vorhandenen Chemikaliendaten für Analysen von 103 auf ca. 350 an. Die Daten müssen teilweise noch detailliert bearbeitet und ergänzt werden.

Das neue Projekt ***Development of an Environmental Decision-Support-Tool to Optimize Co-Processing of Waste in the Cement Industry*** [8] hat zum Ziel, ein Ökobilanzierungsmodell inkl. Bewertungstool der Abfallverwertung bereit zu stellen. Der Brennprozess der Zementgewinnung ist sehr energie- und auch CO₂-intensiv (2005: 13'000 TJ). Die thermische Verwertung von brennbarem Industrieabfall als Substitution teurer, hochwertiger Brennstoffe hat deshalb in die Zementindustrie Tradition und beträgt heute knapp 50%. Diese Abfälle könnten aber auch in anderen Branchen mit anderen Verfahren verwertet respektive wieder aufbereitet (*recycling*) wer-

den. Das vorliegende Projekt wird die heute noch fehlenden Grundlagen und Bewertungsmodelle schaffen, damit Unternehmen und insbesondere auch Behörden ihre Entscheide betreffend Abfallverwertung auf einer ganzheitlichen Beurteilung abstellen können.

Im Berichtsjahr konnten Lebenszyklus-Modelle für die Klinkerproduktion, Kehrlichtverbrennung, Deponierung, Kompostierung, Altölaufbereitung auf Excel erstellt werden. Es wurde entschieden das Bewertungstool inkl. Benutzer-Interface für die Klinkerproduktion (Zement) den anderen vorzuziehen, damit dieses 2008 in die Testphase gehen kann. Das Zement-Modell wurde in enger Zusammenarbeit mit *Holcim* erstellt. Damit sind die Daten aktuell und von hoher Qualität. Die Daten für die andern Modellfälle wurden aus wissenschaftlichen Publikationen zusammengetragen. Die Datenqualität wird als hoch, die Aktualität (Standard) eher als mittel beurteilt. Die Modelle bieten die Möglichkeit, spezifische Prozessparameter an den jeweiligen Stand der Technik anzupassen. Damit lassen sich weltweit Verwertungsmethoden mit unterschiedlichen Standards vergleichen. Fallstudien zeigen, dass der Energieverbrauch, -rückgewinnung, sowie die energiebezogenen Emissionen die stärkste Umweltwirkung haben. In der Zementherstellung hat die Art des Brennofens wegen der unterschiedlichen Energieeffizienz den grössten Einfluss auf die Umweltwirkung. Einen ebenfalls grossen Einfluss haben die primär eingesetzten fossilen Brennstoffe, welche durch Abfallbrennstoffe ersetzt werden. Wichtig ist aber auch, ob eine Rauchgasbehandlung vorhanden ist oder nicht. Bei der Deponierung ist es für die Umweltwirkung entscheidend, ob die entstehenden Gase gefasst und verwertet werden. Bei der Fermentierung und Kompostierung von Biomasse kommt es auf die Effizienz der Biogasproduktion an. Bei der Raffinierung von Altöl spielen die Rückgewinnungseffizienz und der thermische Energiebedarf die entscheidende Rolle.

Nationale / internationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr unterstützte das Programm insgesamt fünf Projekte aus dem ETH-Bereich. Zwei Projekte konnten aus dem Fachhochschulbereich unterstützt werden. 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 im Energieforschungsbereich 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 IEA Programm *Industrial Energy-Related Technologies and Systems* (IETS) aufgenommen. 2008 wird das Interesse der Schweizer Industrie (EnAW-Unternehmen) an einer Zusammenarbeit mit der IEA ermittelt.

Bewertung 2007 und Ausblick 2008

Zwei laufende Projekte hatten während 2007 einen Stillstand. Das Projekt **Stromproduktion aus Abwärme** muss wegen Ausstieg eines Industriepartners neu aufgesetzt werden. Beim Projekt **Analyse der Trockner bei Pavatex AG** wurde der Stillstand durch einen verschobenen Investitionsentscheid ausgelöst. Diese Projekte werden 2008 wieder aktiviert.

Auf Grund einer BFE-Reorganisation wird das Programm ab Januar 2008 von Martin Pulfer, BFE (martin.pulfer@bfe.admin.ch) übernommen und aufgrund der CORE-Vorgaben (Konzept 2008-2011) neu definiert.

Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2007 vorhanden

(siehe http://www.bfe.admin.ch/energie/00572/00604/index.html?lang=de&dossier_id=00810)

(SB) Schlussbericht vorhanden (siehe www.energieforschung.ch unter der angegebenen Projektnummer)

Unter den angegebenen Internet-Adressen sind die Berichte sowie weitere Informationen verfügbar.

- [1] Andrej Szijarto (andrej.szijarto@chem.ethz.ch), ETH Zürich: **Modeling and Optimization of Energy Consumption in Multipurpose Batch Plants**, Laufzeit 2004-2008 (SB Projekt 100'536)
- [2] F. Maréchal und Z. Perrin-Levasseur (francois.marechal@epfl.ch), EPF Lausanne: **Efficient Energys Conversion in the Pulp and Paper Industry**, Laufzeit 2005-2008 (JB)
- [3] 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)
- [4] R. Morand (raymond.morand@helbling.ch), Helbling, Zürich: **Gesamtenergiestudie mit der Pinch-Methode – Energie- und Produktionskostensenkung Perlen Papier AG**, Laufzeit 2007 (SB Projekt 102'198)
- [5] B. Wellig (beat.wellig@hslu.ch), CC für Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik, Luzern: **Optimierung Wärmerückgewinnung Batch-Polymerisation Nexis AG**, Laufzeit 2007-2008 (JB)
- [6] L. Sandoval (lisseth.sandoval@fhnw.ch), FHNW, Muttenz: **Effizienzsteigerung von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen**, Laufzeit 2007-2008 (JB)
- [7] G. Wernet (gregor.wernet@chem.ethz.ch), ETH Zürich: **FINE-CHEM – AN INVENTORY ESTIMATION TOOL FOR FINE CHEMICALS**, Laufzeit 2006-2009 (JB)
- [8] 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)