

Überblicksbericht 2010

# Forschungsprogramm Industrielle Prozesse



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**  
**Office fédéral de l'énergie OFEN**

## **Titelbild:**

### **Ökologische Abfallverwertung im Hochofen oder im Zementwerk?**

Solche und andere Fragen lassen sich heute nur mehr mit intelligenten, Computern unterstützten Werkzeugen beantworten, die die Komplexität der industriellen Produktion und energetischer Fragestellungen gewachsen sind. 2010 sind im Programm «Industrielle Prozesse» im Bereich «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erreicht worden. Zwei Engineering- und Decision-Aid-Tools haben die Anwendungsreife erlangt und sollen künftig in Spin-Off-Firmen für kommerzielle Dienstleistungen zur Erreichung von energetischen Verbesserungen eingesetzt werden. Die Schweiz, einem Land in dem die Wertschöpfung besonders auch mittels Dienstleistungen erbracht wird, hat hier eine grosse Chance high-level Energie-Engineering- und Decision-Aid-Services zu entwickeln und künftig zum eigenen Nutzen national anzuwenden sowie zu exportieren (Quelle: Voestalpine).

## **BFE Forschungsprogramm Industrielle Prozesse**

Überblicksbericht 2010

### **Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
CH-3003 Bern

### **Programmleiter BFE (Autor):**

Martin Pulfer (BFE), Dr. Michael Spirig, Fomenta AG (m.spirig@fomenta.ch)

### **Bereichsleiter BFE:**

Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

[www.bfe.admin.ch/forschungsverfahrenstechnik](http://www.bfe.admin.ch/forschungsverfahrenstechnik)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## Einleitung

Zu industriellen Prozessen gehören sowohl verfahrenstechnische als auch fertigungstechnische Prozesse zur Herstellung von Produkten und Dienstleistungen. Diese sind entsprechend weit verbreitet und betreffen eine Vielzahl von Anwendungen und Technologien. Ca. 15 % der gesamten Schweizer Energie werden hierfür benötigt. 55 % davon werden zur Erzeugung von Prozesswärme aus mehrheitlich fossilen Energieträgern eingesetzt. Zudem ist die Industrie der grösste Stromverbraucher in der Schweiz. Es wird geschätzt, dass mittels gezielter Optimierung des Ressourceneinsatzes ein beträchtliches Sparpotenzial von 30–50 % realisiert werden kann.

Hierbei spielt der breite Einsatz von bekannten Technologien (einfache Energiesparmassnahmen, Wärmerückgewinnung, etc.) und entwickelten Methoden wie z. B. die Prozessinteg-

ration (PinCH) oder Lebenszyklusanalysen (LCA) eine wichtige Rolle. Um jedoch theoretisch bekannte und an sich reife Technologien industriell umsetzbar zu machen, besteht ein vielfältiger und komplexer Forschungsbedarf, im Speziellen um mögliche Amortisationszeiten und Risiken kalkulierbarer zu machen sowie Engineering- und Investitionskosten tief zu halten.

Im Berichtsjahr unterstützte das BFE Programm direkt insgesamt vier Projekte aus dem ETH-Bereich (EHTZ, EPFL) und zwei (weitere sind geplant) der Fachhochschulen (FHNW, HSLU, HSW, ZHAW), sowie zwei der Industrie (BMG Engineering, BSB + Partner AG, Pavatex AG). Eine starke Industriebeteiligung, inkl. Finanzierung, bestand in allen Projekten und widerspiegelt das industrielle Interesse am Thema sowie das Forschungspotenzial, welches es künftig intensiver zu nutzen gilt.

IEA-Klassifikation: 1.1 Industry

Schweizer Klassifikation: 1.10 Verfahrenstechnische Prozesse

## Programmschwerpunkte

Die drei Haupt-Forschungsprioritäten sind:

- Die Entwicklung und Anwendung von Methoden und (Entscheidungs-)Tools z. B.: Batch-Prozess-Energie-Modeling und Monitoring, Berechnung und Optimierung von Energie- und Massenflüssen in Prozessen auch unter Life-Cycle-Analys-Aspekten (LCA).
- Die Integration von erneuerbaren Ressourcen, inkl. Reststoffverwertung und Abwärmenutzung bis hin zur Energieträgerproduktion z. B.: Solarenergie, Hochdruckwärmepumpe, Wärmespeicherung, Reststoffreaktoren, Abwärmenutzungskonzepte, etc.
- Die Realisierung effizienter Verfahren und Strategien inkl. P&D-Projekte z. B.: Substitutionsverfahren für die Trocknung und Trennung (Destillation), Schmutz-resistente Wärmeübertrager.

Bezüglich Kommunikation und Vernetzung werden folgende Ziele verfolgt:

- Der Ausbau der nationalen und internationalen Vernetzung und Verbesserung der Wahrnehmung des Programmes inkl. Ausweitung der Forschungsschwerpunkte auf die Fertigungstechnik.
- Zielgruppengerechte Information zur Sensibilisierung und Motivation der Industrie sowie Erweiterung der Unterstützungsressourcen von heute ca. 3,7 Mio CHF/a.
- Langfristig verstärkte Sensibilisierung für das Thema Energie der für die Industrie aktiven Forschergruppen mittels thematischer Ausbildung und Aufbau von grossen Forschungskonsortien, bis hin zur Mit-Initiierung von Kompetenzzentren und Plattformen.

### Rückblick und Bewertung 2010

Im Jahr 2010 konnten trotz geringen Mittel in den Bereichen «effiziente Verfahren» und «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erzielt werden. In zwei Tool-Entwicklungsprojekten bestehen zudem über die Gründung von Spin-Off Firmen grosse Chancen auf eine Kommerzialisierung des erarbeiteten Know-hows. Im Bereich «Integration erneuerbare Ressourcen und Abwärmenutzung» läuft eine Marktübersicht-Studie und bestehen einige Umsetzung- resp. P&D-Projektideen zur Wärmerückgewinnung. Ein Hauptforschungsbedarf besteht hier in der Vereinfachung des erforderlichen Engineerings, so dass der notwendige Aufwand und der resultierende Nutzen schneller und günstiger aufgezeigt werden können. Dies würde eine entscheidende Hürde zur konkreten Realisierung aus dem Weg räumen. Nach wie vor offen ist ein Gemeinschaftsprojekt zur Integration von erneuerbaren Ressourcen, d. h. im Speziellen zur Erzeugung von solarer Wärme zwischen 200–400 °C. Zur Ausweitung der Aktivitäten auf die Fertigungstechnik wurde mit entsprechenden Stakeholdern Gespräche geführt, jedoch aufgrund Budgetmangel noch keine Projekte konkretisiert. Mit dem Impulstag «Energie- und Kosteneffizienz in industriellen Prozessen» bei IBM Schweiz, sowie einer Veranstaltung zum Thema «Effizient Trocknen», dem Aufbau von Factsheets, Vorträgen und Präsenz an diversen Veranstaltungen konnten wichtige Schritte in Richtung breitere Bekanntmachung und Vernetzung gemacht werden.

### Ausblick 2011

Der Aufbau von qualitativ hochstehenden Lösungen zur Verbesserung von industriellen Prozessen erfordert neben dem spezifischen Know-how auch Kontinuität und Durchhaltewillen in der Forschung. Priorität hat die kontinuierliche Fortsetzung der begonnenen Aktivitäten bis hin zur kommerziellen Anwendung. Wo erforderlich, sollen diese gestärkt und/oder national und international koordiniert werden. Spezielles Augenmerk gilt der erfolgreichen Tool-Entwicklung im Bereich Energie-Monitoring, LCA resp. Decision-Aid-Tools, welche ein hohes Umsetzungspotenzial haben. Wo sinnvoll sind auch verschiedenen, relativ kleinen Gruppen zu vernetzen und auf gemeinsame Zielekataloge zu fokussieren. Ziel wäre u. a. daraus 2011 ein gemeinsames Entwicklungsprojekt zu starten und eine Beteiligung im IEA IETS Implementing Agreement, sowie eine aktive Vermarktung der entwickelten marktreifen Tools. Im Bereich «effiziente Verfahren» – Trocknen – sind die erreichbaren Vorteile den potentiellen Anwender noch spezifischer u. a. mittels P&D-Projekten aufzuzeigen. Zu klären sind die Zusammenarbeitsmöglichkeiten mit anderen Programmen und Förderinstitutionen für Bioraffinerien und (mobile) Bioreaktoren. Dies gilt auch für die «Integration erneuerbarer Ressourcen und Abwärmenutzung», wo weitere Projekte anzustreben sind. Themen sind z. B. Schmutz-resistente Wärmetauscher sowie die Vereinfachung des Engineerings und Risikoabschätzungen inkl. plausible und vollständige Amortisationsrechnung. In der Fertigungstechnik sollen weitere Projektoptionen geprüft werden und auf Programmebene sollen die Vernetzungs- und Kommunikationsaktivitäten ebenfalls kontinuierlich fortgesetzt werden.

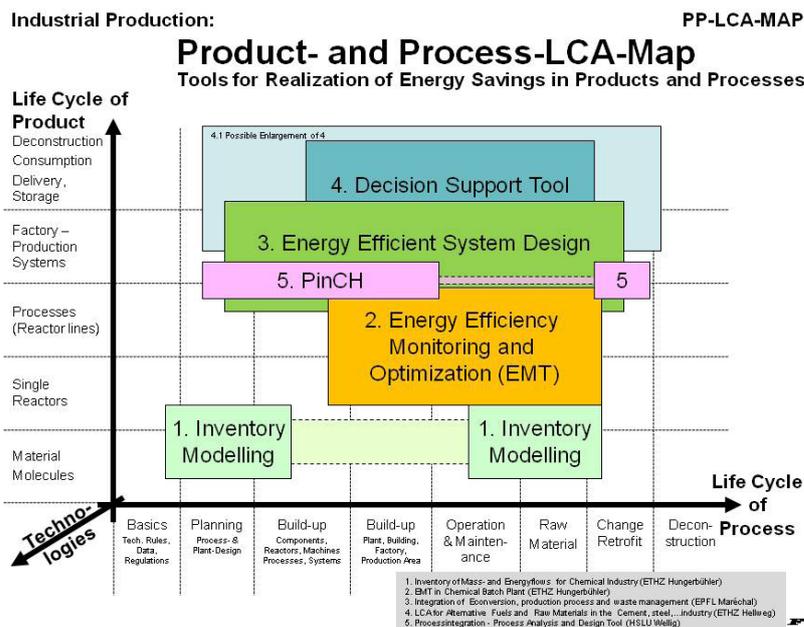
## Highlights 2010

Im Jahr 2010 konnten bei «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erzielt werden. Die Herausforderung aufgrund der Komplexität der industriellen Produktion und energetischen Fragestellungen, die Schweizer Kompetenzen und ausgewählte Resultate sowie der Bedarf an Engineering und Decision-Aid-Tools als Chance für die Schweiz sind nachfolgend erläutert.

Die industrielle Produktion beinhaltet erstens den Herstellungsprozess, d. h. Komponenten, Reaktoren, Maschinen, Systeme bis hin zur Produktionsanlage einschliesslich Fabrikationsgebäude und ganzen Werken resp. Industriezonen mit vielen Fabriken. Zweitens umfasst sie auch das resultierende Produkt, von den erforderlichen Ressourcen (Rohmaterial, Energie, Information, andere Produkte) bis hin zu Auslieferung, Verbrauch und Entsorgung, resp. Wiederverwertung als Ressource. Neben Herstellungsprozess und resultierendem Produkt ist dann die Art der Leistungserbringung – also die eingesetzten Technologien – ein dritter zu beachtender Teil.

Die Komplexität der industriellen Produktion und energetische Fragestellungen sind eine weitere Herausforderung: Die industrielle Produktion kann bezüglich Lebenszyklus (Live Cycle, LC) unter den zwei Hauptaspekten «Herstellungs-Prozess» sowie «Resultierendes Produkt» betrachtet werden, welche als LC-Achsen ein 2-dimensionales Feld aufspannen: Eine weitere Achse ist die Art der Leistungserbringung oder die dafür möglichen Technologien (siehe Figur 1). Um in der industriellen Produktion energetische Verbesserungen zu erreichen, sind sehr komplexe und vielfältige Fragestellungen zu lösen. Es ist auch leicht zu erkennen, dass die Optimierung lediglich einzelner Gesichtspunkte, Komponenten oder Anlagenteile zwar notwendig ist, aber nur suboptimale Lösungen bringt. Ein Perspektivwechsel von der Einzel-Detail-Lösung hin zum Gesamt-Energie-System, durchaus über die Werkgrenzen hinaus, ist daher auch erforderlich.

Diese Vielfältigkeit, Abhängigkeit und damit auch Komplexität bedeutet auch, dass für energetische Verbesserungen kaum auf gängige Rezepte und vorhandene Lösungen zurück



Figur 1: Lebenszykluskarte der industriellen Produktion: Positionierung von Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen (Engineering und Decision-Aid-Tools) für energetische Verbesserungen im Livecycle von Produkten und Herstellungs-Prozessen.

gegriffen werden kann. Im Gegenteil: optimale Ergebnisse sind meist sehr spezifisch aus einem Gesamtzusammenhang und unter Anwendung von interdisziplinärem Know-how neu zu erarbeiten. Dies sind grosse Hürden für die Realisierung der häufig irgendwie erkennbaren, aber nicht so einfach zu quantifizierenden und umzusetzenden energetischen Verbesserungspotenziale.

Um in der industriellen Produktion den Ressourceneinsatz zu optimieren, d. h. im Speziellen den Energie- und Materialeinsatz zu minimieren und zu ökologisieren, sind flexibel einsetzbare Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeuge unentbehrlich und können viel zur Entscheidungsfindung (Decision-Aid-Tools) beitragen. Der hohe Nutzen liegt hier in der Unterstützung bei der Beherrschung der Informationsvielfalt, sowie einer möglichst systematischen, nachvollziehbaren Verarbeitung der hohen Komplexität industrieller Prozesse und der Verflochtenheit energetischer Fragestellung.

Im ETH-Bereich und auch an den Fachhochschulen sind in diesem Bereich in der Schweiz hohe und breite Kompetenzen vorhanden und entsprechende

Projekte lanciert. Ein weiterer grosser schweizerischer Vorteil ist die gute Vernetzung und die kurzen Distanzen zwischen den verschiedensten Fachkräften.

In Figur 1 sind in der Lebenszykluskarte der industriellen Produktion die Positionierung von in der Schweiz in Entwicklung und Anwendung befindlichen Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen (Engineering und Decision-Aid-Tools) für energetische Verbesserungen im Live Cycle von Produkten und Herstellungsprozessen dargestellt.

Nachfolgend seien zwei starke Projekte (Figur 1, Kasten 2 und 3) zusammenfassend dargestellt sowie der Bedarf für Engineering und Decision-Aid-Tools in der Schweizer Industrielandschaft analysiert. Es resultieren gute Chancen für die Schweiz, einträgliche Dienstleistungsprodukte zu entwickeln, national anzuwenden und künftig auch zu exportieren. Eine Fortsetzung der F&E bis hin zur Umsetzung ist daher anzustreben.

## Energy Monitoring Tool ermöglicht Energieeinsparungen in chemischen Batch-Prozessen

Im Forschungsprojekt «Implementation of monitoring tool for targeting energy saving potential in batch chemical industry» hat das Institut für Chemie- und Bioingenieurwesen (ICB) der ETHZ ein Energy-Monitoring-Tool (EMT, siehe Figur 1, Kasten 2) entwickelt, welches als Energiebedarfsprognose- und Optimierungsinstrument für verfahrenstechnische Mehrprodukte-Batchanlagen genutzt werden kann (Figuren 2 und 3). Die Entwicklung des EMT ist 2010 in die dritte und letzte Phase gestartet. Aufbauend auf den Resultaten vorangehender Projekte, wie der Erarbeitung der Grundlagen, oder der Programmierung der technischen Verarbeitungs- und Eingabe Routinen wurde nun im laufenden Projekt das Tool in einem Batch-Betrieb in Grenzach (BASF) installiert, validiert und die Feinabstimmung vorgenommen. Dabei wurden verschiedene zusätzliche Funktionalitäten des Tools erfolgreich umgesetzt: u. a. Verbesserung der Auswertung und Interpretierbarkeit der Monitoring-Resultate, Updateverfahren für Standard-Prozess-Setups und langfristige Software-Wartung und bessere Implementierbarkeit in anderen, ähnlichen Produktionsanlagen. Mit dem EMT liess sich der 5-Bar Dampfverbrauch in der Anlage konsistent mit lediglich einer durchschnittlichen Abweichung von 15 % nachvollziehen (Figur 4). Diese guten Resultate wurden sowohl mit früheren (2009) wie auch gegenwärtigen (2010) Datenerhebungen bestätigt und zeigen Dank der speziellen Modell-Methodologie eine zuverlässige Aufschlüsselung des Energieverbrauchs bis auf Anlagen-, Reaktor- resp. Produkt-Ebene.

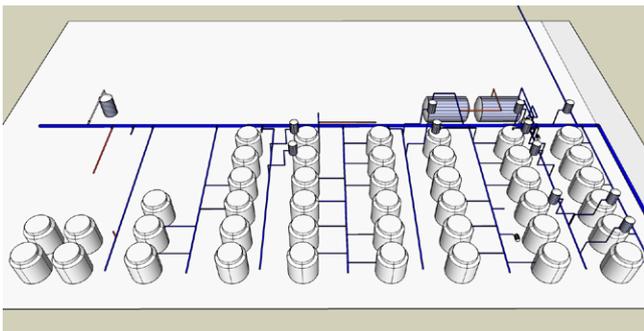
Eine erste Auswertung der Resultate von Grenzach ergab eine durchschnittliche Dampfverbrauchseffizienz von 60 %, was etwa einen jährlichen Wärmeverlust von 5'000 t Dampf gleichkommt. Dies bedeutet einen monetären Verlust von ca. 0,2 Mio CHF oder einem globalen Erwärmungs-Potenzial von ca. 1'200 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Dies entspricht etwa der CO<sub>2</sub>-Belastung, welche durch 300 Autos beim Zurücklegen einer typischen Schweizer Jahresdistanz verursacht wird. Frühere Studien auf Anlagenbetriebsebene haben gezeigt, dass mit geeigneten Energiesparstrategien theoretisch 10–20 % dieses Wärmeverlustes gespart werden könnte. Um die Einsparpotenziale systematisch zu erfassen, darzustellen und damit auf Anlagen-, Reaktor- resp. Produktebene realisierbar zu machen, wurde eine Reihe von Key Performance Indikatoren (KPIs) entwickelt. Die vollständige Integration der KPIs in die Methodologie resp. in das EMT ist Teil der finalen Phase des Projekts im Jahr 2011.

Das EMT hat eine hohe Anwendungsreife und hat auch das Interesse beteiligter Firmen geweckt. Es laufen Gespräche, einen ETH-Spin-off zu gründen oder das Tool einer bestehenden Engineering und IT-Firma zu übergeben. In diesem Zusammenhang laufen auch Diskussionen mit weiteren Pilotkunden um das EMT auf anderen Anlagen zu implementieren und zusätzlich zu validieren, so dass glaubhafte Referenzen für künftige Engineering-Dienstleistungen vorhanden sind. Es besteht zudem auch das Potenzial das EMT für andere Anlagentypen zu erweitern und In-Outputs mit anderen Tools auszutauschen (Figur 1, Kasten 1 und 3).

## Decision-Support-Tool zur Optimierung von Energie- und Abfallströmen

Am Institut für Umweltingenieurwissenschaften der ETH Zürich wird in einer fortlaufenden Projektserie ein Entscheidungsunterstützungswerkzeug (Decision-Support-Tool) für Kommunen oder grössere Industriezonen entwickelt. Gestartet wurde mit der Entwicklung eines Ökobilanzmodells, welches die Umweltauswirkung der Abfallmitverwertung in der Zementindustrie bewertet (Projekt «Decision-Support Tool to Optimize Co-Processing of Waste in the Cement Industry (LCA4AFR)», Figur 5). Prinzipiell sind Einsparungen von grossen Mengen (50 %) an hochwertigen Energieträgern zu erwarten. Es ist jedoch auch zu klären und dann zu entscheiden, ob sich gewisse Abfälle nicht nachhaltiger in anderen Branchen verwenden liessen. Daher wurden zuerst auf der Basis von input- und technologiespezifischen Massenflussmodellen flexible Ökobilanzmodelle von den verschiedenen Zementöfen erstellt. Dann wurden Modelle zu Kehrrechtverbrennungsanlagen und Deponien entwickelt, so dass die Abfallmitverwertung in der Zementindustrie mit der traditionellen Abfallverwertungs- und Entsorgungsoptionen verglichen werden konnten.

Die Hauptaussagen sind, dass die Abfallmitverwertung eher eine erhöhte Schwermetallemission erzeugt, sonst aber ökologischer ist als das Deponieren, besonders weil dadurch Methanbildung verhindert wird, und auch ökologischer als das Einäschern mit Low-tech-Anlagen wegen der Verminderung von CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die High-tech-Einäschung mit Stromgeneration ist dagegen ähnlich ökologisch, wenn dadurch CO<sub>2</sub> belasteter Strom aus Kohle ersetzt werden kann.



Figur 2: Modell einer verfahrenstechnischen Batch-Produktionsanlage mit vielen Reaktoren.



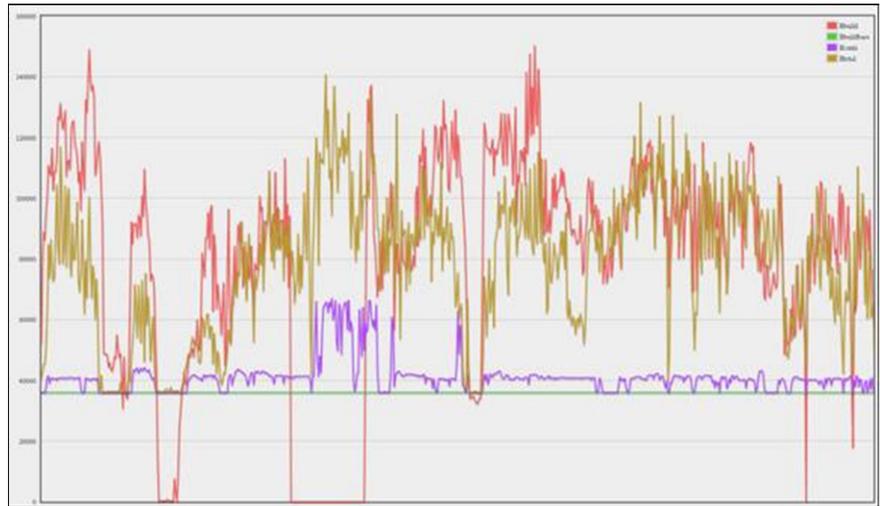
Figur 3: Reaktorenreihe einer realen, verfahrenstechnischen Batch-Produktionsanlage.

Vorteile des Tools sind die flexible Anpassbarkeit an verschiedene Abfallcharakteristiken und dem jeweiligen technologischen Stand der betreffenden Anlagen. Dies erlaubt Analysen mit höherem Detaillierungsgrad und geringerem Zeitaufwand, als mit konventionellen Ökobilanzdatenbanken möglich ist. Die Vorhersagen für Treibhausgase, Stickstoff- und Schwefeloxide sind relativ exakt, während die Genauigkeit für die Schwermetallemission niedriger ist. Dies kann durch Ungewissheiten bezüglich der Konzentration der Schwermetalle in den Betriebsmitteln (Eingang) und in den Luftemissionen (Ausgang) erklärt werden, da diese Konzentrationen oft nahe an- oder unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Mit dem entwickelten Computerwerkzeug für die Lebenszyklusanalyse (LCA) kann also die Entscheidungsfindung zur optimalen Verwertungsart von Abfällen in Regionen mit unterschiedlich ausgerüsteten Zementwerken unterstützt werden. Tool und Beschreibung sind unter [www.ifu.ethz.ch/ESD/research/TEDST/cement/index\\_EN](http://www.ifu.ethz.ch/ESD/research/TEDST/cement/index_EN) zu finden. Zur Etablierung des Tools wurden konkreten Fallstudien mit Unterstützung durch das BFE und das BAFU ausgearbeitet, so dass eine weltweite Anwendung angegangen werden kann. Die Resultate zeigen, dass ein erheblicher Klima- und Umweltnutzen durch den Einbezug der «Kleberanlage» erzielt werden kann. Das Tool kann zudem auch als Basis zur ökobilanziellen Bewertung von Baumaterialien wie Zement oder Beton verwendet werden.

Im Folgeprojekt «Energy Efficiency and Sustainable Regional Management of Waste and Industrial By-Products» wird das Tool um ein Berechnungsmodell für die Stahlerzeugung erweitert. Weitere Modelle können folgen und einfach integriert werden, was eine Stärke des Tools ist, ebenso wie die Integration weiterer Methoden für die Systemanalyse und die Optimierung innerhalb eines LCA-Systems. Das Tool ermöglicht letztlich eine energetische und ökologische Optimierung der Verwertung von industriellen Abfall- und Nebenprodukten, respektive liefert die relevanten Informationen für den Austausch unter Interessensgruppen, wie Behörden, Industrie, Gemeinwesen und NGOs und unterstützt dadurch wesentlich die Consensbasierte Entscheidungsfindung.

Auch das Decision-Support-Tool zur Optimierung von Energie- und Abfall-



Figur 4: EMT zur Vorhersage des Dampfverbrauches in einer Chemischen Batchanlage. Rot: gemessene; Braun: modellierte Werte; Grün: Basisverbrauch; Violett: permanent laufende Anlagenteile.

strömen LCA4AFR hat heute ein hohe Anwendungsreife (Figur 6) und ein vielfältiges kommunales und industrielles Anwendungspotenzial u. a. Holcim und voestalpine. An der ETH wird das Tool laufend weiter entwickelt und erweitert. Die künftige industrielle Anwendung und Umsetzung wird durch eine im Aufbau befindliche ETH-Spin-off-Firma übernommen, was eine ausserordentlich gute Zukunftsperspektive darstellt.

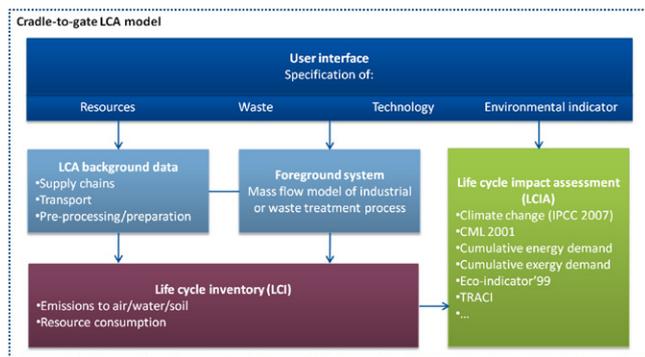
### Bedarf an Engineering und Decision-Aid-Tools in der Schweizer Industrielandschaft

Die schweizerische Industrielandschaft kann bezüglich der Bedürfnissen bezüglich Energieoptimierung in die Bereiche 1a) grosse energieintensive und 1b) durchschnittlich energieverbrauchende Unternehmen, sowie 2) KMUS und 3) Energiedienstleister und öffentlichen Hand eingeteilt werden.

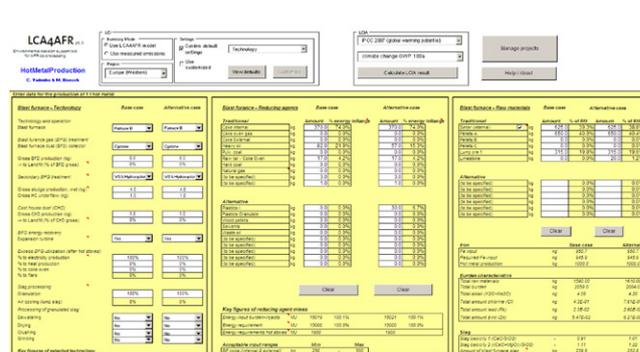
1a) Grosse energieintensive Unternehmen gibt es in der Schweiz etwa 60. Sie verbrauchen ca. 6 % des Stromes und ca. 10 % Erdgases und sind im IGEB = Interessengemeinschaft energieintensiver Branchen zusammengeschlossen. Schon aufgrund von kommerziellen Eigeninteressen fallen in diesen Betrieben Produktions- und Energieverbrauchsoptimierung zusammen. Tools wären hier vor allem zur Vereinfachung und Beschleunigung des Engineerings von Interesse, zum Beispiel für die spezifische Umsetzung

von Wärmerückgewinnungsmassnahmen. Künftig werden Engineering-Werkzeuge (Tools) für eine gezielte Implementierung (Auslegung) und Überwachung (Monitoring) von Technologien zur Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energiequellen wie z. B. grosse industrielle Solarpanel zur Unterstützung bei der Deckung des Wärmebedarfs, eine Nachfrage erzeugen.

1b) Bei den grossen Unternehmen mit durchschnittlichem Energieverbrauch wie z. B. chemische/verfahrenstechnische Produktionsanlagen, macht der Energieverbrauch nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten aus (ca. 2–5 %). Energietechnische Fragestellungen sind daher eher zweitrangig. Bestimmend für Produktionsoptimierungen sind vor allem ökonomische Aspekte sowie Fragen der Sicherheit und Umwelt z. B. Schadstoffvermeidung, Gewässer-, Boden-, Luftschutz. Aufgrund von politischem Druck, schwankenden und längerfristig steigenden Energiepreisen, bestehenden und drohenden Abgaben, Verminderung von Abhängigkeiten und ökologischem Bewusstsein verlangt man heute jedoch auch mehr und mehr eine Minimierung und Ökologisierung des Energieverbrauchs. Ein grosses Hemmnis für die Umsetzung von energierelevanten Massnahmen sind jedoch die oftmals sehr komplexen, über Jahre schrittweise entstandenen Produktionsanlagen, die kaum mehr verändert werden können, oder aber bei Anpassungen ein unbekanntes Produktionsausfall- und/oder Qualitätsänderungsrisiko bergen. Die



Figur 5: Struktur des Decision-Support-Tools LCA4AFR zur Optimierung von Energie- und Abfallströmen.



Figur 6: Eingabe Maske des Decision-Support-Tools LCA4AFR zur Optimierung von Energie- und Abfallströmen.

Folge ist, dass sich unternehmerisch kaum mehr abschätzen lässt, ob die allfälligen Verluste mit dem Gewinn durch eine verbesserte Energiebilanz wett gemacht werden könnten. Hier begünstigen Engineering-Werkzeuge (Tools) mit Simulations- und Analyse-möglichkeiten das Verständnis des Gesamtprozesses. Damit und mit dem Aufdecken und der Kalkulation von versteckten Potenzialen, auch über die Unternehmensgrenzen hinaus (siehe unten 3), sinken Unsicherheit und Risiko, resp. wird der Entscheidungsprozess wesentlich unterstützt (Decision-Aid) und somit Massnahmen vermehrt umgesetzt.

2) Kleinere und mittlere Unternehmen haben kleinere und weniger komplexe Produktionsanlagen, so dass energetische Verbesserungspotenziale je nachdem sogar einfach erkennbar wären. Für die Umsetzung von einmaligen, tendenziell investitionsintensiven Massnahmen fehlt im eigenen Betrieb jedoch häufig die erforderlich Zeit und/oder das entsprechende Energie-Fachpersonal. Auch die Möglichkeiten zur Erarbeitung von Lösungen über den Betrieb hinaus, wie Wärmeverbundnetze, Energiespeicher- und Liefer- oder Abnahmeoptionen, die die Nutzung von erneuerbaren Quellen eventuell über Smartgrid-Technologien ermöglichen, sind beschränkt. Unterstützung durch externe Fachkräfte ist erforderlich, aber je nach dem auch aufgrund des Initialaufwandes zu aufwändig. Engineering-Werkzeuge (Tools) zur technischen und ökonomischen Analyse und Auslegung sind hier für eine Vereinfachung und Beschleunigung des Engineering- und Entscheidungsprozesses unerlässlich. Diese ermöglichen zudem aufgrund einer besseren Informationsaufbereitung den Energiedienstleistern und der öffentlichen

Hand überbetriebliche Lösungen zu erarbeiten und Investitionsentscheide optimal vorzubereiten (siehe 3. unten).

3) Energiedienstleister (Strom und andere Energieträger) und die öffentliche Hand (Gemeinden, Regionen, Kantone, Bund) tragen die Verantwortung für eine sichere und optimal ökologische Energieversorgung. Das bedingt relevante Kenntnisse, resp. die Erfassung des Quellen-, Lieferungs- (Infrastruktur-) und Nachfrage-Systemen (siehe 2 oben). Natürlich sind auch graue Energieströme resp. die Materialflüsse von den Eingangsstoffen (Grundstoffe, zugelieferte Produkte) bis zu den Ausgangsstoffen (hergestellte Erzeugnisse, Abfall, belastete Abwässer, ..) zu erfassen. Diese umfassende Aufgabe lässt sich nur mehr über intelligente Inventarisierungs-, Analyse- und Optimierungswerkzeuge (Tools) bewerkstelligen, welche mehr und mehr mit den vorhandenen Datenquellen vernetzt sein müssen. Letztlich ist auch eine langfristig nachhaltige Entwicklungsplanung nur mittels solcher (Decision-Aid-)Tools, mit welchen die erforderliche Faktenbasis aufbereitet wird, möglich.

Allein schon in der Schweizer Industrielandschaft besteht auf verschiedensten Ebenen ein grosser Bedarf an Energie-Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen (Engineering und Decision-Aid-Tools), denn erst diese ermöglichen die erforderliche Klärung und vor allem auch die Realisierung von energetischen Verbesserungen, durchaus auch mittels vorhandener Technologien. Der Nährboden – Bedarf und Know-how – zur Entwicklung und längerfristige Verflechtung solcher Tools, zu umfassenden IT-Systemen ist in der Schweiz sehr gut. Aktuelle Zusammenarbeiten zeigen auch, dass für den künftig verstärkten Einsatz

solcher Tools auch international kaum Grenzen gesetzt sind.

Die Schweiz, ein Land, in dem die Wertschöpfung besonders auch mittels Dienstleistungen erbracht wird, hat hier eine grosse Chance, als Vorreiter Energie-Engineering- und Decision-Aid-Services zu entwickeln und künftig zum eigenen Nutzen national anzuwenden sowie zu exportieren. Eine optimale Vernetzung der Kompetenzen und Verstärkung der relevanten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bis hin zu marktfähigen Produkten ist daher absolut anzustreben.

## Nationale Zusammenarbeit

Aufgrund der Vielfältigkeit und Inhomogenität der Themen bestehen sowohl in der Verfahrenstechnik als auch in der Fertigungstechnik zur Zeit vor allem bilaterale Projekt-basierte Kollaborationen. Für eine Energie-fokussierte Forschergemeinschaft, welche die Verbesserungspotenziale in den industriellen Prozessen breit, systematisch und vernetzt angeht, wurde mit dem 2010 durchgeführten «Impulstag» sowie der Tagung «Effizient Trocknen» ein fortzusetzender Anfang gemacht. Besonders wichtig für die nationale Zusammenarbeit ist auch der aktive Austausch mit den bestehenden Vereinigungen und Verbänden, allen voran mit der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW) und der Interessengemeinschaft Energieintensiver Branchen (IGEB). Es wäre wünschenswert, potentielle Forschungsthemen früh zu

erkennen und in Projekten zu lancieren. Hierzu ist auch der Austausch mit den Programmen Elektrizität, Industrielle Solarenergienutzung, Solarwärme, Energie in Gebäuden, WKK und Umgebungswärme zu intensivieren.

Die Industriebeteiligung in den Projekten ist gut. Der Grund liegt häufig in der Anwendungsnähe gewisser Themen und den guten Kontakten der Forscher zur Industrie. Allerdings ist die Anzahl von Projekten und damit die Involvierung einer grösseren Anzahl industrieller Stakeholder noch ungenügend. Die Energie und die Verbesserungsmöglichkeiten ist in der industriellen Praxis noch ungenügend thematisiert und bedarf verstärkter Kommunikation.

## Internationale Zusammenarbeit

Die in der Schweiz laufenden Aktivitäten sind branchenspezifisch und orientieren sich in erster Linie an den Bedürfnissen der inländischen Industrie. Bei gewissen Themen beteiligen sich jedoch auch international aktive Grossfirmen wie Voestalpine und Holcim. So ist u. a. im Projekt «LCA4AFR» der ETHZ voestalpine und der international operierende Konzern Holcim beteiligt. In einem anderen Projekt der ETHZ beteiligt sich BASF. International Beachtung finden vor allem die an der ETHZ und EPFL [1] entwickelten Tools für das «Energy Monitoring» (EMT) zur Analyse und Planungen chemischer Mehrprodukte-Batchbetriebe und das Tool für die Abschätzung von Ökobilanzdaten für die Produktion von Chemikalien (Finechem). Das Finechem -Tool ist bereits heute international im Einsatz.

Vom BFE Forschungsprogramm aus wurde der Kontakt mit dem Implementing Agreement der Internationalen Energieagentur (IEA) Industrial Energy-Related Technologies and Systems (IETS) aufgenommen. Hierzu wurden die Exco-Meetings in Lausanne und Lissabon besucht und die Interessen der Schweiz vorgestellt. Aufgrund von vorhanden Kompetenzen in der Schweiz könnte eine Zu-

sammenarbeit in verschiedenen Annexes wie z. B. Industrial Heat Pumps, Process integration in the iron and steel industry, Process integration for SMEs, Biorefineries, LCA and tool development von gegenseitigem Interesse sein. Für die Schweiz prioritäre Themenvorschläge wurden beim 7. Forschungsrahmenprogramm eingereicht. Eine direkte internationale Zusammenarbeit resp. eine vertiefte Klärung gemeinsamer Interessen mit der EU hat noch nicht stattgefunden, da auf der Basis der verfügbaren Ressourcen entsprechende Aktivitäten zur Zeit kaum möglich wären. Eine zunehmende Beteiligung an den Ausschreibungen des 7. Forschungsrahmenprogramms z. B. in spezifischen Materialtechnologien, Anwendungen mit Erneuerbaren Energien etc. muss künftig vermehrt geprüft werden.

Ein internationales Highlight war die Durchführung des ECOS 2010 «23<sup>rd</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems» vom 14.–17. Juni 2010 an der EPF in Lausanne ([www.ecos2010.ch](http://www.ecos2010.ch)). Das ECOS 2011 findet am 4.–7. Juli in Novi Sad, Serbien statt ([www.ecos2011.com](http://www.ecos2011.com)).

## Referenzen

[1] Raffaele Bolliger: *Méthodologie de la synthèse des systèmes énergétiques industriels* Diss 4867 EPFL (2010).

## Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(\* IEA-Klassifikation)

**EFFIZIENZSTEIGERUNG VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN TROCKNUNGSANLAGEN** R+D 1.1\*

Lead:	FHNW	Funding:	BFE
Contact:	Liseth Sandoval liseth.sandoval@fhnw.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	In diesem Projekt wurde gezeigt, dass der bei der Trockenfuttermittelherstellung anfallende, gebührenpflichtig zu entsorgende, Gras- (GPS) sowie Maispresssaft (MPS) durch biologische Umformungsprozesse zur Biogasproduktion, Bio-Ethanolgewinnung oder Milchsäureherstellung verwendet werden kann. Vor allem aber zeigten die Studien zur biotechnologischen Produktion organischer Säuren, dass eine mikrobielle Produktion von speziell Milchsäure aus beiden Pflanzenpresssäften möglich ist.		

**ENERGY MODELING AN INTEGRATION AT SYNGENTA CHEMICAL BATCH PLANT** R+D 1.1

Lead:	EPFL/LENI-ISE-STI	Funding:	BFE
Contact:	François Marechal francois.marechal@epfl.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Das Projekt hat zum Ziel, einen neuen Ansatz zu entwickeln, der es erlaubt, die Aspekte des Produktionsprozesses, die energetische Ausbeute und das Abfallmanagement in Batch-Chemieanlagen in gegenseitiger Abhängigkeit zu betrachten und zu optimieren. Dabei werden auch Randbedingungen variable Produktportfolios, Verfügbarkeit der Anlage und Prozessauslegung berücksichtigt.		

**ABWÄRMENUTZUNG MITTELS MOBILEN ZEOLITH-WÄRMESPEICHERN** R+D 3.7

Lead:	BSB + Partner	Funding:	BFE
Contact:	H. Kahlert Alexander.Kohli@bsb-partner.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Dieses Projekt ist eine Machbarkeitsstudie, welche die Rentabilität der neuen Zeolith-Akku-Abwärmennutzungstechnologie zeigen soll. Dabei wird eine Vollkostenbetrachtung der ganzen Nutzungskette an klar definierten Beispielen unter Einbezug der beteiligten Industriepartner gezeigt.		

**MONITORING AND OPTIMIZATION TOOL FOR BATCH CHEMICAL INDUSTRY** R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Konrad Hungerbühler konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Main goal of the project is to develop, test and apply the «Energy Monitoring Tool" (EMT) in the case study plant. EMT represents a convenient way to analyze and localize the energy optimization potential focusing on the production equipment, recipes and the scheduling. Development of the EMT involves design of flexible interfaces between the industrial database and the modeling environment and user friendly graphical user interface.		

**MARKTÜBERSICHT IN ENERGIEINTENSIVEN BEREICHEN DER SCHWEIZERISCHEN INDUSTRIE** R+D 1.1

Lead:	BMG Engineering AG	Funding:	BFE
Contact:	Reto Müller reto.mueller@bmgeng.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Ziel dieser Studie ist eine Marktübersicht in energieintensiven Bereichen der Schweizerischen Industrie (Chemie, Pharma, Kunststoff, Nahrungsmittel, Baustoff, Technologie). Hierbei soll die Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten von industrieller Abwärme untersucht werden. Langfristig soll eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs durch eine bessere gegenseitige Abwärmennutzung resultieren. Zudem sollen Standortvorteile bei einer integralen Wärmenutzung aufgezeigt werden.		

**IMPLEMENTATION OF MONITORING TOOL FOR TARGETING ENERGY SAVING POTENZIAL IN BATCH CHEMICAL INDUSTRY** R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Konrad Hungerbühler konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	The goal of this project is to further apply and improve an «Energy Monitoring Tool (EMT)" already installed in a case study batch plant (Ciba/Basf, Grenzach). The tool in its present form facilitates model-based energy consumption allocation at different user-defined levels of aggregation in a production building (i.e. set of production steps, batches, equipments, product lines etc.). This analysis provides additional process insights compared to the overall building energy consumption.		

**ABSCHÄTZUNG VON MASSEN- UND ENERGIEFLÜSSEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE** R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Konrad Hungerbühler konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	Ziel dieses Projektes ist die Bestimmung und Vorhersage der Energie- und Materialflüsse in chemischen Produktionsprozessen anhand von prozessbasierten Modellen. Auf diese Weise soll eine verbesserte Energieallokation in Mehrzweck-Produktionsgebäuden möglich werden. Material- und Energieverbrauch einzelner Reaktionen und Teilschritte in der Synthese sollen gezielt bestimmt und wenn möglich auf Betriebsparameter zurückgeführt werden können.		



