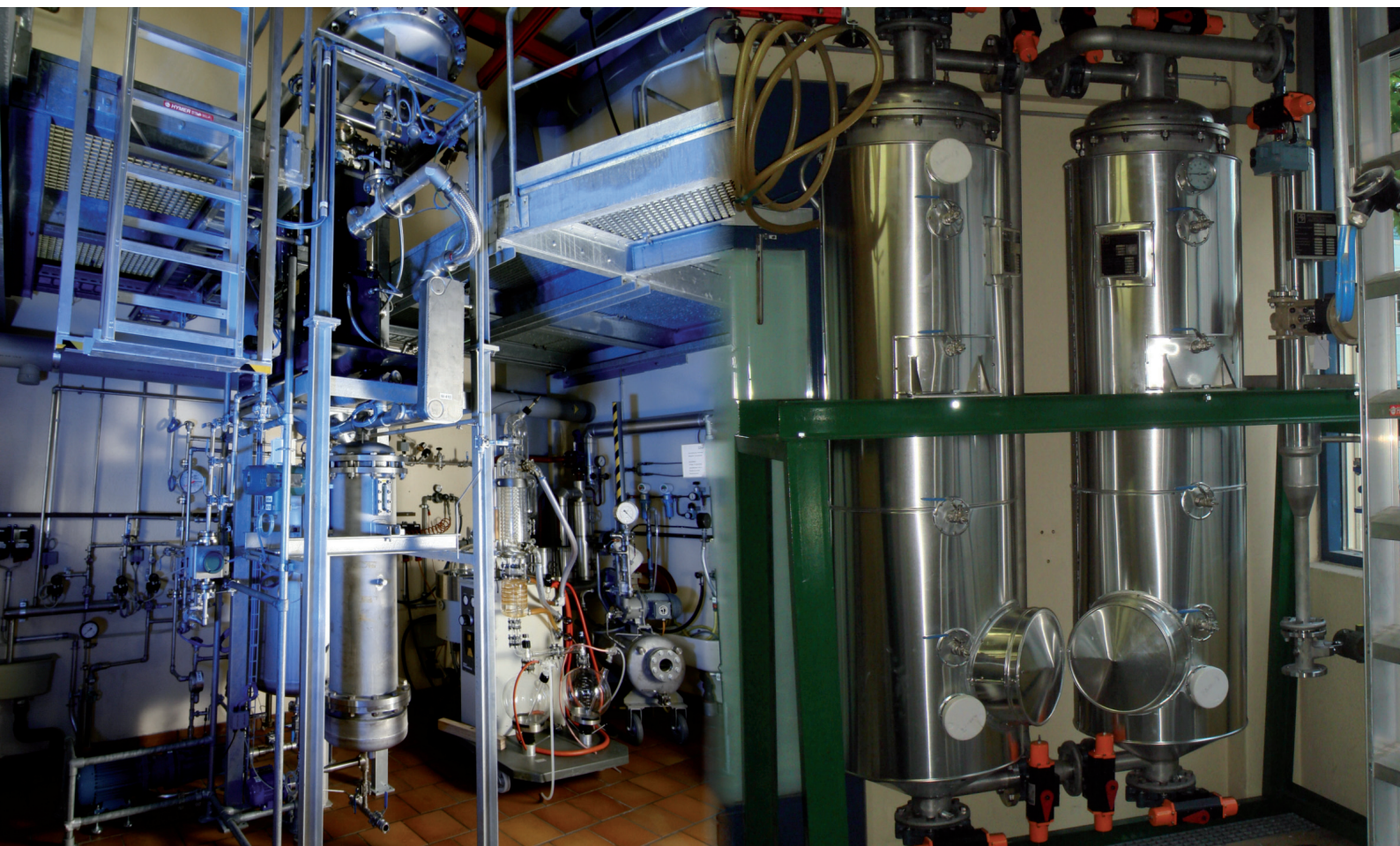


Überblicksbericht 2011

Forschungsprogramm Industrielle Prozesse



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:**Zeolith für künftige industrielle Energie-Anwendungen.**

Zeolith hat ein hohes Adsorptionsvermögen für gelöste Stoffe. Bei der Adsorption von Wasser entsteht viel Adsorptionswärme, was interessante Optionen als Wärmespeicher ergibt. Das Adsorptionsvermögen macht Zeolithe in Form eines Molekularsiebs zur Trennung von Azeotropen auch zu einer Alternative (PSA) gegenüber den üblichen Membrantrennverfahren (PPA). Die ZHAW vergleicht im Projekt «Entwässerung von Bioethanol für die Zugabe in Benzin» diese Verfahren mittels gleich dimensionierten Pilotanlagen (Quelle: ZHAW).

PPA = Pervaporations-Pilotanlage (links), welche mit Folex AG, CM-Membranes, Seewen gebaut wurde und betrieben wird (Membranfläche 1,2–2,7 m², Feedfluss 200 kg/h, Zulauftank 200 l, Permeattank 100 l, Vakuum Permeatseite: < 20 mbar)

PSA = Pressure Swing Adsorption Pilotanlage (rechts), welche mit Zeochem AG gebaut wurde. Gezeigt sind die Adsorptionskolonnen, welche alternierend betrieben und regeneriert werden.

BFE Forschungsprogramm Industrielle Prozesse

Überblicksbericht 2011

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

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

Bereichsleiter BFE:

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

<http://www.bfe.admin.ch/forschungsverfahrenstechnik>

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

Einleitung

Industrielle Prozesse benötigten 2010 18,8 % der Endenergie in der Schweiz. Dabei ist die Industrie der grösste Stromverbraucher. Von diesen 18,8 % Endenergie werden 55 % zur Erzeugung von Prozesswärme aus mehrheitlich fossilen Energieträgern eingesetzt. Das summierte Einsparpotenzial wird auf 30 bis 50 % geschätzt, was eine Energieverbrauchsverminderung für die Schweiz um 5 bis 8 % bedeuten würde.

Für die Herstellung von Produkten ist eine enorme Vielzahl von verfahrens- und fertigungstechnischen Prozessen im Einsatz. Entsprechend vielfältig und breit ist das dazugehörige Technologieportfolio und das spezifische Know-how. Ebenso vielfältig, spezifisch und auch neu ist das Wissen um den jeweiligen Energieverbrauch und das energetische Verbesserungspotenzial dieser Prozesse. Für eine industrielle Umsetzung von durchaus bekannten Massnahmen zum Energiesparen und zur Wärmerückgewinnung spielt die Entwicklung des Engineerings eine wichtige Rolle. Ein grosser Forschungs- und Klärungsbedarf besteht bei der Entwicklung, Verbesserung und energetischen Analyse von bestehenden und neuen Herstellverfahren. Dasselbe gilt auch für die Integration von erneuerbaren Energiequellen und neuen Speichertechnologien. Hierbei ist eine ganzheitliche Betrachtungsweise mit Methoden wie z. B. der Prozessintegration (PinCH) oder Lebenszyklusanalysen (LCA) wesentlich, speziell auch um effektive Investitionen, Amortisationszeiten und Risiken kalkulierbarer und damit deren Mehrwert sichtbar zu machen.

Dem entsprechend konnten im Jahre 2011 im Programm in den Bereichen «effiziente Verfahren» und «Methoden und Tools» wichtige Erweiterungen und Validierungen, sowie Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erzielt werden. Die geplanten ETH-Spin-Off-Firmen wurden zwar aufgrund mangelnder Ressourcen bisher leider nicht gegründet. Dafür wurden aber die Informationen als open-source Software aufbereitet resp. als Downloadtool allgemein verfügbar gemacht (www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR). Dies ist bezüglich der Dissemination von Informationen und Resultaten, mit denen weltweit energetische Verbesserungen erreicht werden können, ein grosser Erfolg. Denn gerade im Bereich industrielle Prozesse manglt es in der Schweiz an effektiven Mechanismen zum Überwinden des sogenannten «Valley of Death» resp. am gezielten, nachhaltigen Wissens- und Technologietransfer von der Hochschule in die industrielle Nutzung. Es fehlt der Innovationsmechanismus, eine ganze Entwicklungsphase vom Grundlagenprojekt bis zum Pilot- und Demonstrationsprojekt (P&D), resp. bis zum Prototypen konsequent auf eine unternehmerische und damit langzeitige Resultatnutzung auszurichten. In diesem Sinne wäre es auch wichtig, dass die eher zu kleinen Toolentwicklungs-Gruppen, die an ähnlichen, längerfristig vernetzbaren Lösungen arbeiten, zu einer überkritischen, in internationalen Projekten führenden Einheit vernetzt würden.

Im Bereich «Integration erneuerbare Ressourcen und Abwärmenutzung» wurde eine Marktübersicht fertigge-

stellt und neue Projekte zur Wärmerückgewinnung eingegeben. Projekte zur Nutzung von erneuerbaren Ressourcen, d.h. im Speziellen zur Erzeugung von solarer Wärme zwischen 200–400 °C, laufen im Programm «industrielle Solarenergienutzung». Sehr aufschlussreiche Aussagen wurden im Bereich Abwärmenutzung mittels mobiler Zeolith-Speicher erreicht (siehe Projekt Highlights). Bei der Realisierung «effizienter Verfahren» wurde ein Projekt zum Vergleich von verschiedenen Verfahren zur Entwässerung von Bioethanol für die Zugabe in Benzin gestartet. Ebenso wurde ein P&D-Projektantrag mit einer mobilen Gastrocknungsanlage zur Futtermittelherstellung ausgearbeitet.

Zur Ausweitung der Aktivitäten auf die Fertigungstechnik wurden mit entsprechenden Stakeholdern interessante, neue Lösungsoptionen eruiert. Realisationspotenzial, Umsetzungs- und Projektmöglichkeiten sind nun mit potenziellen Industriepartnern zu diskutieren. Insgesamt ist weiterhin eine gute Industriebeteiligung, inkl. Finanzierung in den Projekten vorhanden und widerspiegelt das industrielle Interesse am Thema sowie das Forschungspotenzial, welches es künftig intensiver zu bearbeiten 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, wie z. B. Batch-Prozess-Energie-Modeling und Monitoring, Berechnung und Optimierung von Energie- und Massenflüssen in Prozessen unter Life-Cycle-Analysis-Aspekten (LCA);
- Integration von erneuerbaren Ressourcen, inkl. Reststoffverwertung und Abwärmenutzung bis hin zur Energieträgerproduktion wie z. B. Solarenergie, Hochdruckwärmepumpe, Wärmespeicherung, Reststoffreaktoren, Abwärmenutzungskonzepte, usw.;
- Realisierung effizienter Verfahren und Strategien inkl. P&D-Projekte, wie z. B. Substitutionsverfahren für die Trocknung und Trennung, schmutzresistente Wärmeübertrager, usw.

Bezüglich Kommunikation und Vernetzung werden folgende Ziele verfolgt:

- Ausbau der nationalen und internationalen Vernetzung, sowie 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 überkritischen Gruppen, bis hin zur Mit-Initiierung von Kompetenzzentren und Plattformen.

Rückblick und Bewertung 2011

Im Berichtsjahr unterstützte das BFE Programm direkt insgesamt drei Projekte aus dem ETH-Bereich (EHTZ) und zwei (weitere zwei sind geplant) der Fachhochschulen (FHNW, HSLU, HSR, ZHAW), sowie drei der Industrie (BMG Engineering, BSB + Partner AG, Zeochem AG, Folex AG).

Bei der «Methoden- und Tool-Entwicklung» konnten Erweiterungen und Validierungen, sowie wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit und Verfügbarkeit erzielt werden. Bei der Kommerzialisierung und dem Aufbau einer vernetzten, international führenden Gruppe mangelt es noch.

Im Bereich «Integration erneuerbare Ressourcen und Abwärmenutzung» wurde eine Marktübersicht abgeschlossen, ein Projekt zur Abwärmenutzung mittels stationärer Zeolith-Speicheranlage läuft und eines zur Wärmerückgewinnung ist eingegeben.

Für die Entwicklung «effizienter Verfahren» wurde ein Projekt zum Vergleich von verschiedenen Verfahren zur Entwässerung von Bioethanol erfolgreich gestartet, sowie ein P&D-Projektantrag mit einer mobilen Grastrocknungsanlage ausgearbeitet. Vielversprechende Arbeiten laufen zum Thema Zeolith: Zeolith als Wasser adsorbierendes Wärmespeichermedium, wie auch als Molekularsieb zur Entwässerung von Bioethanol. In der Fertigungstechnik wurden neue Lösungsoptionen eruiert. Diese sind nun für Umsetzungsprojekte mit der Industrie aufzubereiten. Für die weitere Bekanntmachung und Vernetzung des Programms wurde an relevanten Veranstaltungen Präsenz markiert. Ein eigener Anlass wie der Impulstag 2010 und die ExCo Teilnahme am IEA IETS Implementing Agreement sowie eine Mitgliedschaft in einem der passenden Tasks wurden aus Kostengründen nicht in Erwägung gezogen.

Ausblick

Die Entwicklung und Akzeptanz von energetischen Verbesserungen in industriellen Prozessen erfordert professionelle, qualitativ hoch stehende Lösungen, welche neben dem spezifischen Know-how auch Kontinuität in der Forschung voraussetzen. Eine stetige Fortsetzung und, wo erforderlich, eine Stärkung der begonnen Aktivitäten bis hin zur kommerziellen Anwendung hat daher Priorität. Entsprechend sorgfältig sind neue Themen auszuwählen und allenfalls national und international zu koordinieren.

Der erfolgreichen Tool-Entwicklung im Bereich Energie-Monitoring, LCA-resp. Decision-Aid-Tool, welche ein hohes Umsetzungspotenzial haben, gilt daher auch im Jahr 2012 ein spezielles Augenmerk. Künftige Gesuche sollen aber vertieft Umsetzungspotenzial und -motivation des Konsortiums aufzeigen. Eine Ausschreibung für die Weiterentwicklung von Engineering-Tools, u.a. zur Auslegung und energetisch-ökonomischen Beurteilung von Technologien zur Abwärmenutzung, soll geprüft werden.

Im Bereich «effizienter neuer Verfahren» sollen die laufenden Projekte optimal unterstützt werden. Dies gilt auch für die «Integration erneuerbare Ressourcen und Abwärmenutzung» u.a. von heissen Industrieabgasen mittels schmutzresistenter Wärmetauscher.

In der Fertigungstechnik sollen die bestehenden Projektoptionen mit relevanten Stakeholdern diskutiert und entsprechende Projekte lanciert werden. Die Vernetzungs- und Kommunikationsaktivitäten werden kontinuierlich fortgesetzt.

Highlights aus Forschung und Entwicklung

Im Jahr 2011 wurden wiederum bei den «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit gemacht. Die Entwicklung von Energiemonitoring- und Auslegungswerkzeugen, sowie sogenannten Decision-Aid-Tools ist hier Stärke und Chance für die Schweiz zugleich. Im Jahresbericht 2010 wurden der Bedarf an Engineering- und Decision-Aid-Tools und auch die in der Schweiz vorhandenen Entwicklungsrichtungen im Detail erläutert und summarisch in der Lebenszykluskarte der industriellen Produktion dargestellt. An dieser Stelle sei für zwei davon ein kurzes Up-date nachfolgend aufgeführt.

Bei den «effizienten neuen Verfahren» eröffnet Zeolith (siehe Kasten auf Seite 8) interessante Möglichkeiten für künftige, industrielle Energie-Anwendungen: Als Wärmespeichermedium, als Molekularsieb zur energiesparenden Trennung von Stoffen und modifiziert als Kohlenstoffdioxidspeicher. Für die ersten zwei Optionen gibt es aus von BFE unterstützten Projekten aufschlussreiche Resultate und weiter laufende Untersuchungen.

Tool-Entwicklung

Energiemonitoring-Tool

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 «Energie-Monitoring-Tool»

(EMT) entwickelt, welches als Energiebedarfs-Prognose- und Optimierungsinstrument für verfahrenstechnische Mehrprodukte-Batchanlagen genutzt werden kann. Im vergangenen Jahr sind eine Reihe von Key Performance Indikatoren (KPIs) entwickelt, integriert und in einer Fallstudie validiert worden. Mit diesen ist es möglich, die Einsparpotentiale systematisch zu erfassen und darzustellen. Diese werden damit auf Anlagen-, Reaktor- resp. Produkt-Ebene realisierbar gemacht. Mit Hilfe des Tools wurden ca. 130'000 CHF jährliche Energiekosteneinsparungen realisiert, was Einsparungen von ca. 800 t CO₂ bedeutet. Zudem war das Tool auch fähig, systematisch Anlage-Produkt-Paarungen zu priorisieren, welche die viel versprechendsten Energieeinsparungen ermöglichen. Das EMT soll demnächst als open-source Software auf dem Internet veröffentlicht werden.

Decision-Aid-Tool

Am Institut für Umweltingenieurwissenschaften der ETH Zürich wird in einer fortlaufenden Projektserie ein «Decision-Aid-Tool» für Kommunen oder grössere Industriezonen entwickelt. Mit dem LCA-Tool konnte bisher die Entscheidungsfindung zur optimalen Verwertungsart von Abfällen in Regionen mit unterschiedlich ausgerüsteten Zementwerken unterstützt werden. Neu kommt nun noch das Modul für die Stahlindustrie dazu. Zur Validierung des Tools wurden konkrete Fallstudien ausgearbeitet, so dass nun

eine globale Anwendung angegangen werden kann. Es wurde auch ein Konzept zur Optimierung von regionalen Abfall- und Ressourcen-Managements vorgeschlagen und mit internationalen Experten diskutiert. Zur Dissemination des Tools wurde eine Download-Website aufgebaut, wo dieses als Shareware interessierten Kreisen verfügbar gemacht wird (www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR [1]).

Zeolith als ad- und desorbierendes Wärmespeichermedium

Zeolithe sind kristalline Alumosilikate, die in zahlreichen Modifikationen in der Natur vorkommen, aber auch synthetisch hergestellt werden können. Mehr als 150 verschiedene Zeolithtypen sind synthetisiert worden, 48 natürlich vorkommende Zeolithe sind bekannt.

Die 1818 gegründete Firma Zeochem AG in Uetikon ZH mit Niederlassung in den USA stellt Zeolith in verschiedener Form, Grösse und Menge für verschiedene Verwendungen gross-industriell her (Figuren 1,2 und 3). Die Zeochem AG beteiligt sich aktiv an den Abklärungen zur Einsetzbarkeit von Zeolith für neue Energie-relevante Anwendungen.

Zwei spezielle Eigenschaften der Zeolithe sind bei technischen Anwendungen von grossem Nutzen:



Figur 1: Bei der Firma Zeochem AG aus Zeolith-Pulver im Granulierteller hergestellte Granulate.



Figur 2: Apparaturen für die Zeolith-Herstellung: Säureaustausch-System zur Modifizierung von Zeolithen (links), Synthesereaktor zur Herstellung der Zeolith-Kristalle (17 m³, oben mitte), Granulierteller zur Herstellung von runden Kugeln (rechts oben), Drehrohröfen zum Trocknen von Zeolithpulver (unten mitte), Filtrationssystem zum Filtrieren und Waschen der Zeolith-Kristallen (unten rechts).

1. Der hohe Ionenaustausch, welcher zum Beispiel für die Wasserenthärtung in Waschmitteln oder die Entfernung von Schwermetallen aus Abwässern ausgenutzt wird.

2. Das hohe Adsorptionsvermögen für Gase, Dämpfe und gelöste Stoffe mit bestimmten Molekülgrößen. Hierbei wird auch die grosse innere Oberfläche (600–700 m²/g) zum entscheidenden Vorteil. Diese Eigenschaften machen sie als Molekularsieb zur Trennung von Stoffen (siehe nächstes Kapitel) oder als starkes Trockenmittel interessant. Insbesondere bei der Adsorption von Wasser entsteht zudem viel Adsorptionswärme bei 130–300 °C, was als Folge interessante Optionen zur Energiespeicherung ergibt. Die Wärmekapazität beträgt bis 270 kWh/m³, in der Praxis lassen sich ca. 130 kWh/m³ erreichen. Das spezifische Gewicht beträgt ca. 2'120 kg/m³ und die spezifische, realisierbare Leistungsdichte ca. 80 W/kg. Zeolithe besitzen somit analog zu NiMH-Akkus eine hohe Energiedichte bei mässiger Leistungsdichte, dafür aber eine hohe Zeitverfügbarkeit (ca. 2–3 h).

Entscheidende Vorteile haben die Zeolithe aufgrund eines 20 bis 200 Mal besseren Preis-Leistungsverhältnis, einer hohen Zyklusstabilität (nach 3'500 Lade-Entladezyklen > 80 %), sowie einem guten Lade-Entlade-Wirkungsgrad (90 %, gesamte technische Systeme ca. 70 %)

Auf der Basis des hohen Adsorptionsvermögens, der anfallenden Adsorptionswärme und auch der Verdampfungsenthalpie beim Adsorbieren von Wasser, haben Zeolithe vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Bekannt sind u.a.: saisonale Speicherung solarer Wärme, Lastausgleich in Fernwärmenetzen, Luftentfeuchtung in Hallenbädern, energiesparendes Trocknen in Geschirrspülmaschinen, Kälte für Raumklimatisierung, Adsorptionswärmepumpen resp. Kurzzeit-Puffer für Solarwärme, selbstkühlendes Bierfass, Solarkühlschrank usw.

In der nachfolgend aufgeführten Projektgruppe «Abwärmenutzung mittels mobilen Zeolith-Akkumulatoren» und «Abwärmenutzung mittels stationärer Zeolith-Speicheranlage» steht die technisch-ökonomische Machbarkeit

und Planung von konkreten Umsetzungsfällen im Vordergrund.

Mobile Zeolith-Akkumulatoren

Im ersten Projekt «Abwärmenutzung mittels mobilen Zeolith-Akkumulatoren» wurde die Rentabilität von mobilen Zeolith-Akkumulatoren anhand einer Vollkostenbetrachtung der ganzen Nutzungskette (Abwärmeübertragung, Speicherung, Transport und Endnutzung) ermittelt. Neben den Kosten für den Aufbau und die eigentlichen Zeolith-Container werden die Kosten für Personal, Transport und LKWs mit einbezogen. Als potentielle Abwärmespenden werden das Stahlwerk Gerlafingen und die Kehrlichtverbrennungsanlage (KVA) Biel betrachtet. Die potenziellen Abnehmer sind Schwimmbäder, Treibhäuser, Nachtclubs, Sägereien mit Heiz-, Kühl- oder Trocknungsbedarf. Als Vergleichsdaten werden mehrere Studien der ZAE (Zentrum für angewandte Energienutzung) Bayern berücksichtigt.

Es konnte gezeigt werden, dass der Transport von Abwärme einer KVA

mittels Zeolith-Containern bis zu einer Entfernung von 30 km kostendeckend zu betreiben ist. Betriebswirtschaftlich sinnvoll ist bei heutigen Energiepreisen ein Transport bis zu einer Distanz von max. 20 km für Verbraucher mit hoher und konstanter Nachfrage (Papierhersteller, Lebensmittel, eingeschränkt Schwimmbäder) zur Substitution von Bandenergie. Dies ermöglicht eine optimale Nutzung der Container. Für eine rentable Anlage ist zudem eine optimale Aufladung des Zeolith-Akkumulators zentral. Hierzu braucht es einen trockenen und sauberen Energiestrom mit einer Temperatur von 230–270 °C zur Desorption des Zeoliths.

Der Vergleich zu handelsüblichen PCM-Containern (PCM = phase-change-material) fällt zugunsten der Zeolith-Technologie aus. So kann der Temperaturbereich sowohl beim Input (150–300 °C) als auch beim Output (80–250 °C) freier gewählt werden. Zudem sind die Gesteungskosten bei der Zeolith-Technologie um den Faktor zwei niedriger anzusetzen.

Im Vergleich zum Fernwärmenetz mit grossem Wärmetransportpotenzial (> 100 GWh/a) ergeben sich differenziertere Resultate. Der Break-Even zwischen den beiden Methoden ist stark vom energetischen Szenario abhängig (Jahresverlaufslinie, Standort KVA, topographische Gegebenheiten, Leistungsdichte, Wärmekosten, Verkaufspreis etc.). Im untersuchten Fall der KVA Biel ist der Transport der Energie ab einer Distanz von 3–4 km mittels Zeolith-Containern günstiger als mit einem Fernwärmenetz. Dabei stehen Investitionen mit 8,2 Mio Euro mit jährlichen Unterhalts- und Betriebskosten (interne Wärmekosten: 25 Euro/MWh) von knapp 2 Mio. Euro einem jährlichen Ertrag von 4,3–5,7 Mio. Euro bei einem Wärmepreis von 50 Euro/MWh gegenüber. Bei diesen Wärmekosten und -preisen können Zeolith-Container bis zu einer Distanz von 5 km rentabel genutzt werden. Die Berücksichtigung des Schweizerischen Klimarappenmodells würde dann die Rentabilität zusätzlich verbessern.

Somit könnte man die Zeolith-Container-Technologie als «den verlängerten, flexiblen Arm der Fernwärme» bezeichnen. Die hohen Freiheitsgrade



Figur 3: «Schwefelentfernung aus Erdgas mittels Zeolith»–Weltklasse-Anlage zur Entfernung von Merkaptanen aus Erdgas: Pro Bett (Turm) sind über 40 Tonnen Zeolith enthalten. Die ganze Anlage besteht aus zwei parallelen Strängen mit je 6 Betten.

für Energie-Contractors ermöglichen eine Optimierung der Abnehmerstruktur ohne Beschränkungen durch teure Verteilnetzinfrastuktur. Im Weiteren ist das unternehmerische Risiko (Investition, schwankende Energienachfrage) bei Zeolith-Containern im Vergleich zur Fernwärme deutlich geringer. Auch stellt die Lagerung von geladenen wie entladenen Zeolith-Containern energetisch kein Problem dar.

Durch die Nutzung von Abwärme wird CO₂ eingespart, vor allem durch den Ersatz von Heizöl und Erdgas. Dieser Effekt muss sich in einem Abnehmerbezogenen Preismodell widerspiegeln. Eine grosse CO₂-Einsparung erfolgt vor allem auf kurzen Transportstrecken kleiner 5km. Mit zunehmender Transportdistanz nehmen die CO₂-Einsparungen durch den Treibstoffverbrauch der LKWs rapide ab.

Dieses Projekt zeigt insgesamt, dass unter den beschriebenen Randbedingungen (Substitution von Bandenergie, trockener und sauberer Energiestrom mit 230–270 °C, 3–22 km) mobile Zeolith-Akkumulatoren bereits heute rentabel zur Nutzung von Abwärme und damit CO₂-Einsparung eingesetzt werden können. Somit kann durchaus eine Win-Win-Situation für Umwelt/ Klima, Wirtschaft als auch für den Ab-

wärmelieferanten und -verbraucher entstehen. Eine Erprobung der untersuchten Konzeption und Technologie im Rahmen des angedachten Pilotprojekts wäre ein möglicher nächster Schritt.

Stationäre Zeolith-Speicheranlage

Im Projekt «Abwärmennutzung mittels stationärer Zeolith-Speicheranlage» wird überprüft, wie eine stationäre Zeolith-Anlage zur Speicherung thermischer Energie möglichst energieeffizient und rentabel betrieben werden könnte. Mit einem Folgeprojekt für das Holzkraftwerk der industriellen Werke Basel (IWB) wurde diese Untersuchung in die Wege geleitet. Folgendes soll dabei erarbeitet werden: Das Konzept von Lade-Entlademechanismen und -Zyklen; erforderliches Speichervolumen; Abhängigkeit von der Qualität (Verschmutzung, Verfügbarkeit) der Abwärmeluft (hohes Temperaturniveau von 150 °C); technisches und ökonomisches Potenzial. Falls das Potenzial vorhanden ist, werden verschiedene Umsetzungsvarianten auf ihre Realisierbarkeit und die Detail-Kosten geprüft und verglichen. Für die beste Variante soll ein Modellversuch entwickelt und unabhängig evaluiert werden.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Neben oben beschriebener Anwendung von Zeolith als mobiler und stationärer Energiespeicher kann es aufgrund des hohen Adsorptionsvermögens auch als Molekularsieb eingesetzt werden. Damit wird die Trennung von durch Destillation nicht trennbaren Lösungsmittelgemischen möglich. Solche sogenannte Azeotrope wie z. B. Isopropanol-Wasser, Isopropanol-Toluol, Methanol-Toluol oder Ethanol-Wasser fallen in der stoffverarbeitenden Industrie häufig an und eine Trennung und Wiederverwendung ist meist ökologisch und ökonomisch sinnvoller als deren Verbrennung.

Zeolith als Molekularsieb zur Entwässerung von Bioethanol

Der im Projekt «Entwässerung von Bioethanol für die Zugabe in Benzin» angestrebte exemplarische Vergleich von verschiedenen Verfahren zur Abtrennung des Bioethanols ist quasi ein doppeltes Energiethema. Zum einen weil die Herstellverfahren energetisch zu optimieren sind und zum anderen weil das Bioethanol selber zur Verminderung des Einsatzes fossiler Brennstoffe und zur Reduktion des CO₂-Ausstosses dem Benzin bis zu einem Gehalt von 85% zugegeben wird (E85). In der Schweiz wurde die erste Tanksäule für E85 im Juli 2006 in Winterthur in Betrieb genommen (www.e85-fahren.ch). Damit Ethanol ohne Wasserabscheidung dem Benzin beigemischt werden kann, muss es aber wasserfrei sein. Hierzu werden heute vorwiegend

ZEOLITH

ist eine Mineralgruppe (Al-Silikate), die sich durch eine besonders poröse Mikrostruktur auszeichnet, was zu einer extrem grossen inneren Oberfläche führt (600–700 m²/g). Diese schwammartige Struktur der Zeolithminerale macht sie extrem wasseranziehend. Lagert sich Wasserdampf in ihren winzigen Poren ein (Sorption), wird die Bindungsenergie freigesetzt und die Mikrokristalle erwärmen sich. Zum Laden des Speichers wird der Prozess umgekehrt. Die zugeführte Wärme lässt das gebundene Wasser wieder verdampfen (Desorption). Je trockener der Zeolith, desto mehr potentielle Energie ist darin gespeichert. Die besten Zeolithe können je nach Desorptionstemperatur bis zu 270 kWh Wärmeenergie pro Kubikmeter speichern – fast fünfmal so viel wie ein Warmwassertank. Das macht die mikroporösen Kügelchen zum idealen mobilen Wärmeträger – zumal das Laden und Entladen des grossen zeolithhaltigen Speichers (Container) denkbar einfach ist.

Membrantrennverfahren (Dampfpermeation, Pervaporation) oder «Pressure Swing Adsorption» (PSA) eingesetzt. Membrantrennverfahren sind zu einem Teil Konkurrenten zur PSA, zum anderen ergänzen sie sich.

Die ZHAW betreibt seit 2008 zusammen mit der Firma Folex AG, CM-Membranes, Seewen (ehem. Celfa AG) in ihrem Ex-Raum eine Pervaporations-Pilotanlage (PPA, Membranfläche 1,2–2,7 m², Feedfluss 200 kg/h, Zulauf tank 200 l, siehe Titelbild links). Für einen optimalen Vergleich wurde auch eine Pressure Swing Adsorption Pilotanlage (PSA, siehe Titelbild rechts) mit Unterstützung der Firma Zeochem AG gebaut. Die Funktionsweise der PSA ist wie folgt: Ethanol-Wasserdampf wird bei etwa 3 bar Druck in

die linke Kolonne geleitet. Das Molekularsieb (Zeolith) nimmt das Wasser auf und das entwässerte Ethanol verlässt die Kolonne. Wenn die linke Kolonne mit Wasser beladen ist, wird auf die rechte Kolonne geschaltet und der Druck in der rechten Kolonne auf 0,2 bar reduziert. 10–30 % des entwässerten Ethanols werden zur Regeneration des Molekularsiebes in die linke Kolonne geleitet. Mit der regenerierten linken Kolonne beginnt die Entwässerung wieder von vorne. Die damit erreichte Ethanolreinheit beträgt 99,9%. Ziel des Projektes sind der energetische und ökonomische Vergleich einerseits der Verfahren und andererseits der unterschiedlichen Molekularsiebe. Damit soll ein entsprechender Beitrag an die energetische Verbesserung von breit angewendeten industriellen Verfahren erreicht werden.

Nationale Zusammenarbeit

Aufgrund der Vielfältigkeit und Inhomogenität der Themen bestehen sowohl in der Verfahrenstechnik als auch in der Fertigungstechnik kleinere projektspezifische Kollaborationen. Die Beteiligung und das Interesse der Industrie in den einzelnen Projekten sind gut. Die Gründe liegen in der Anwendungsnähe der 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 sind in der industriellen Praxis insgesamt noch zuwenig thematisiert. Hier bedarf es einer verstärkten Kommunikation. Für eine energieeffiziente Forschergemeinschaft mit gemeinsamen «grossen» Themen für industrielle Prozesse bräuchte es mehr. Als Zwischenstufe ist der aktive Austausch mit den bestehenden Vereinigungen und Verbänden wie der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW) und der Interessengemeinschaft Energieintensiver Branchen (IGEB) sehr wichtig. Aber auch in

anderen Branchenverbänden ist die Diskussion um die Nutzung und Bereitstellung unterschiedlichster Energietechnologien anzuregen. Zudem ist die Entwicklung von energieoptimierten Verfahren gegebenenfalls zu unterstützen. Es wäre wünschenswert, wenn das Energiethema in der Industrie breit, systematisch und vernetzt angegangen würde. Zwar bestehen solche Bewegungen in der Schweiz, die auch Strategien und Konzepte erarbeiten. Was aber fehlt sind davon abgeleitete, priorisierte Umsetzungs- und Projektroadmaps. Diese würden es gestatten, die erforderlichen Forschungsthemen früh genug zu identifizieren, national abzugleichen und auch Ressourcen für langfristige Projekte zu allozieren. Für die nationale Zusammenarbeit ist auch der Austausch mit den Forschungsprogrammen Elektrizität, Industrielle Solarenergienutzung, Solarwärme, Energie in Gebäuden, WKK und Umgebungswärme verstärkt aufzubauen.

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. So sind 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 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, was auch Ziel für die anderen Analysen- und Decision-Aid-Tools ist.

Vom BFE-Programm aus wurde der Kontakt mit dem Implementing Agreement der Internationalen Energie-Agentur (IEA) Industrial Energy-Related Technologies and Systems (IETS) aufgenommen. Hierzu wurden im Vorjahr die Exco-Meetings in Lausanne und Lissabon besucht

und die Schweizer Kompetenzen vorgestellt. Gegenseitige Interessen und Potenziale zur Projektzusammenarbeit konnten in den Annexes Industrial Heat Pumps, an welchem die Schweiz beteiligt ist, Process integration in the iron and steel industry, Process integration for SMEs, Biorefineries, LCA and tool development ausgemacht werden.

Das BFE reicht jeweils auf Basis von Umfragen bei der Europäischen Kommission die Land spezifischen, prioritären Themenvorschläge für die EU FP7 Calls ein. Eine direkte internationale Zusammenarbeit resp. eine vertiefte Klärung gemeinsamer Interessen mit der EU wurde noch nicht initiiert, da die aktuell verfügbaren Ressourcen entsprechende Aktivitäten kaum breit genug ermöglichen würden. Eine zunehmende Beteiligung an den Ausschreibungen des 7. und bald 8. Forschungsrahmenprogramms z. B. in spezifischen Materialtechnologien, Anwendungen mit erneuerbaren Energie etc. ist nach wie vor anzustreben.

Referenzen

[1] www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/LCA4AFR

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- ABWÄRMENUTZUNG MITTELS MOBILEN ZEOLITH-WÄRMESPEICHER**

R+D 1.1*

Lead:	BSB + Partner	Funding:	BFE
Contact:	Kohli Alexander Alexander.Kohli@bsb-partner.ch	Period:	2009–2011

Abstract: Dieses Projekt ist eine Machbarkeitsstudie, welche die Rentabilität der neuen Zeolith-Akku-Abwärmenutzungstechnologie zeigen soll. Dabei wird eine Vollkostenbetrachtung der ganzen Nutzungskette an klar definierten Beispielen unter Einbezug der beteiligten Industriepartner gezeigt.
- IMPLEMENTATION OF MONITORING TOOL FOR TARGETING ENERGY SAVING POTENTIAL IN BATCH CHEMICAL INDUSTRIES**

R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Hungerbühler Konrad konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2009–2011

Abstract: The goal is to further apply and improve an «Energy Monitoring Tool (EMT)» already installed in a case study batch plant (Ciba/Basf, Grenzach). The tool facilitates model-based energy consumption allocation at different 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.
- EFFIZIENZSTEIGERUNGEN VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN TROCKNUNGSANLAGEN**

R+D 1.1

Lead:	Fachhochschule Nordwestschweiz	Funding:	BFE
Contact:	Sandoval Lisseth lisseth.sandoval@fhnw.ch	Period:	2009–2012

Abstract: In diesem Projekt wurde gezeigt, dass der bei der Trockenfüttermittelherstellung anfallende, gebührenpflichtig zu entsorgende Grasso- sowie Maispresssaft durch biologische Umformungsprozesse zur Biogas-, Bio-Ethanolgewinnung oder Milchsäureherstellung verwendet werden kann. Zudem zeigten die Studien zur biotechnologischen Produktion organischer Säuren, dass eine mikrobielle Produktion von Milchsäure aus beiden Pflanzenpresssäften möglich ist.
- MARKTÜBERSICHT IN ENERGIEINTENSIVEN BEREICHEN DER SCHWEIZERISCHEN INDUSTRIE**

R+D 1.1

Lead:	BMG Engineering AG	Funding:	BFE
Contact:	Reto Müller reto.mueller@bmgeg.ch	Period:	2009–2012

Abstract: Ziel ist eine Marktübersicht in energieintensiven Bereichen der CH Industrie (Chemie, Pharma, Kunststoff, Nahrungsmittel, Baustoff, Technologie). Es soll die Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten von industrieller Abwärme untersucht werden. Langfristig soll eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs durch eine bessere Abwärmenutzung resultieren. Zudem sollen Standortvorteile bei einer integralen Wärmenutzung aufgezeigt werden.
- ABSCHÄTZUNG VON MASSEN- UND ENERGIEFLÜSSEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE**

R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Hungerbühler Konrad 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.
- ABWÄRMENUTZUNG MITTELS STATIONÄRER ZEOLITH-SPEICHERANLAGE**

R+D 1.1

Lead:	BSB + Partner	Funding:	BFE
Contact:	Kohli Alexander Alexander.Kohli@bsb-partner.ch	Period:	2011–2012

Abstract: Ziel dieser Machbarkeitsstudie ist es zusammen mit den industriellen Werken Basel (IWB) zu klären, wie eine stationäre Zeolith-Anlage zur Speicherung thermischer Energie energieeffizienten und rentabel für das Holzkraftwerk Basel betrieben werden kann. Bei vorhandenem Potential werden verschiedene Umsetzungsvarianten auf Realisierbarkeit und Kosten geprüft. Für die beste Variante soll ein Modellversuch entwickelt und unabhängig evaluiert werden.
- ENTWÄSSERUNG VON BIOETHANOL FÜR DIE ZUGABE IN BENZIN**

R+D 1.1

Lead:	Zürcher Hochschule Winterthur	Funding:	BFE
Contact:	Spielmann Thomas spta@zhaw.ch	Period:	2011–2013

Abstract: Zur Schonung fossiler Brennstoffe und Reduktion des CO₂-Ausstosses wird Bioethanol dem Benzin bis zu einem Gehalt von 85% zugegeben (E85). Beizumischendes Ethanol muss wasserfrei sein. Die Absolutierung von Ethanol kann mittels Membranverfahren oder Molekularsiebe erfolgen. Ziel dieses Projektes ist der Vergleich der beiden Verfahren mittels einer Membran-Pilotanlage (Pervaporation) und der PSA-Pilotanlage (pressure swing absorption).

● **LCA4AFR: ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABLE REGIONAL MANAGEMENT OF WASTE AND INDUSTRIAL BY-PRODUCTS**

R+D

1.1

Lead: ETH Zürich

Funding: BFE

Contact: Stefanie Hellweg

hellweg@ifu.baug.ethz.ch

Period: 2011–2013

Abstract: The goal is to contribute to a sustainable and energetically optimal valorization or treatment of wastes and industrial by-products in a regional context. Energy demand and greenhouse gas emissions are addressed. A life cycle assessment LCA method and finally an IT-tool is developed, that supports decision making of e.g. authorities, industry, local communities and non-governmental organizations. The tool is validated in real-world case studies.

