



# PROGRAMM BIOMASSE

## Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2007

**Daniel Binggeli**

**Bruno Guggisberg**

[daniel.binggeli@bfe.admin.ch](mailto:daniel.binggeli@bfe.admin.ch) [bruno.guggisberg@bfe.admin.ch](mailto:bruno.guggisberg@bfe.admin.ch)



### ***Forschungslabor Bioenergie Horw***

*Das im 2007 etablierte Forschungslabor Bioenergie an der HTA in Horw startet mit Projekten in der Holzverbrennung und Strömungsvisualisierung*

## Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

### EINLEITUNG

Die Bundesverfassung verpflichtet den Bund zur Förderung der nachhaltigen Entwicklung. Für den Energiebereich gelten daher folgende allgemeine Grundsätze und Prioritäten:

1. Energie möglichst sparsam und rationell nutzen (EnG, Art. 3, Abs.1, lit. a)
2. Die eingesetzte Energie möglichst vollständig nutzen → hohe Nutzungsgrade (EnG, Art. 3, Abs.2, lit. c)
3. Erneuerbare Energiequellen einsetzen (EnG, Art. 3, Abs.1, lit. b)
4. Energie möglichst umweltschonend nutzen und Stoffkreisläufe schliessen

Am 16.02.2005 trat das Kyoto-Protokoll in Kraft. Die Schweiz hat sich mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen in den Jahren 2008 – 2012 um 8% gegenüber dem Stand von 1990 zu reduzieren. Die entsprechenden Ziele und Massnahmen sind im CO<sub>2</sub>-Gesetz festgehalten und bilden zusammen mit EnergieSchweiz, dem partnerschaftlichen Programm für Energieeffizienz und erneuerbare Energien, die Basis der schweizerischen Energie- und Klimapolitik. Ab dem Jahr 2009 werden zur Unterstützung dieser Ziele eine kostendeckende Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren Energien und ab 2008 die CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffen eingeführt.

Das Forschungsprogramm *Biomasse* konzentriert sich auf die effiziente Umwandlung von Biomasse in Wärme, Strom und Treibstoff. Es soll mithelfen, den Beitrag der Biomasse zur schweizerischen Energieversorgung stetig zu erhöhen. Einen grossen Einfluss haben auch die politischen Rahmenbedingungen und die begrenzten Ressourcen der Welt. Die Einführung der CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Brennstoffe und die kostenbasierte Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren Energien sowie der starke Anstieg aller Rohstoffe, insbesondere der Energieträger im internationalen Umfeld, bewegen den Energiemarkt zurzeit enorm. Diese Entwicklung gilt es bei der Ausarbeitung des nächsten Biomass-Forschungsprogramms, welches auf dem Konzept der Energieforschung des Bundes 2008-2011 basiert, zu berücksichtigen.

### POTENZIAL UND HEUTIGE NUTZUNG

Zurzeit<sup>1</sup> stammen rund 83% des schweizerischen Endenergieverbrauchs aus nicht erneuerbaren Quellen (fossil und nuklear). Die Schweiz ist damit in starkem Masse vom Ausland abhängig. Zusätzlich ist an den Verbrauch fossiler Energieträger die CO<sub>2</sub>-Problematik gekoppelt.

Biomasse kann vielfältig eingesetzt werden: als Brennstoff, als Treibstoff und zur Stromerzeugung. Gemäss Biomasse-Potenzialstudie<sup>2</sup> könnten gut 10% des heutigen Primärenergieverbrauchs<sup>3</sup> ökologisch vertretbar mit Biomasse gedeckt werden. Damit könnte die Biomasse einen wichtigen Beitrag leisten zur

- a) Erreichung der CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele und der Ziele von EnergieSchweiz;
- b) Reduktion der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Energien;
- c) Versorgungssicherheit und inländischen, regionalen Wertschöpfung.

Die verfügbare Menge an Biomasse und damit das theoretische Potenzial ist in der Schweiz auf Grund der Landesgrösse und der klimatischen Verhältnisse beschränkt. Das unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte energetisch nutzbare Potential liege bei ca. **120 PJ**, wird jedoch lediglich zu knapp **40% (53 PJ)** energetisch genutzt (Figur 1).

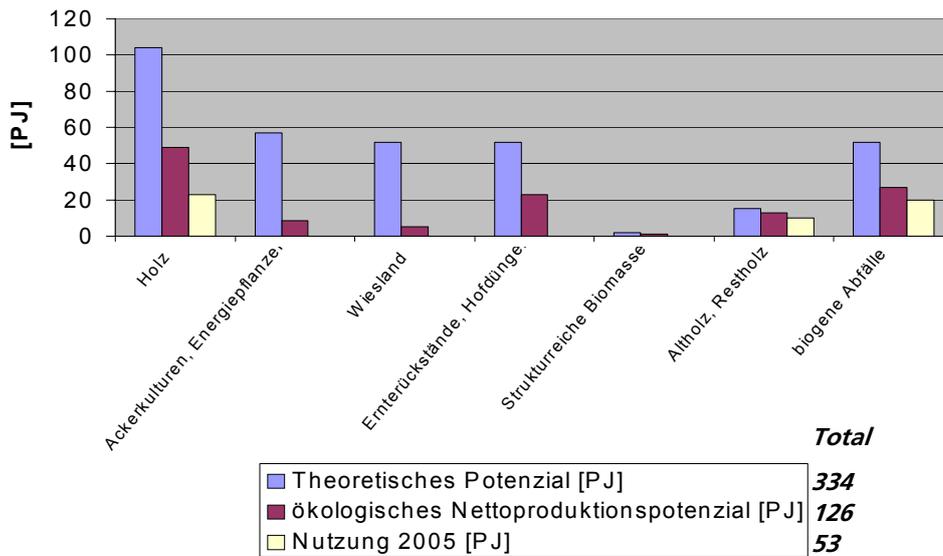
---

<sup>1</sup> Schweiz. Energiestatistik 2006

<sup>2</sup> Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz, BFE 2004

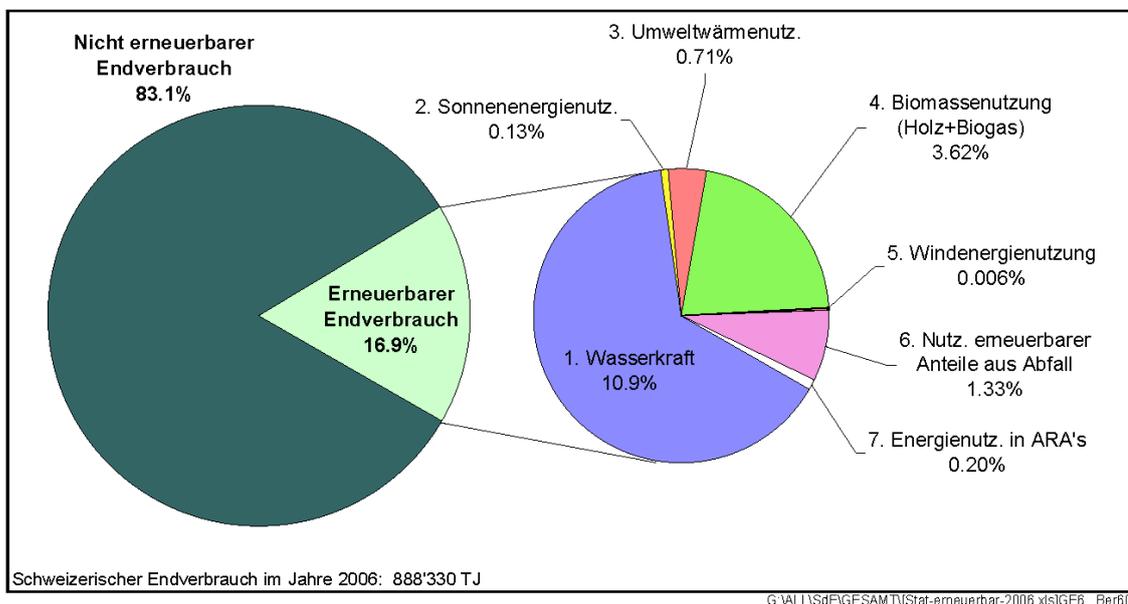
<sup>3</sup> Bruttoenergieverbrauch 2006 gemäss Energiestatistik: 1'166'030 TJ

## Biomassepotenzial 2040



Figur 1: Potenzial Biomasse 2040 (Stand 2005).

Der Anteil der Biomasse am schweizerischen Endverbrauch erreichte 2006 rund 5.15% (thermisch und elektrisch). Dies entspricht einem Anteil am Endverbrauch der erneuerbaren Energien von 30% (Figur 2). Das mittelfristige politische Ziel des Bundes ist jedoch mindestens eine Verdoppelung der energetischen Nutzung von Biomasse.



Figur 2: Schweizerischer Endenergieverbrauch 2006.

## GENERELLE ZIELE FÜR DIE BIOMASSENUTZUNG IN DER SCHWEIZ

Die heutige Biomasseforschung orientiert sich an folgenden Leitlinien:

- Energieträger Biomasse mit maximaler Substitutionswirkung (bezüglich fossil und nuklear) und minimaler Umweltbelastung einsetzen;
- möglichst hohe Ausnutzung der Energie (hohe Wirkungsgrade) bei gleichzeitig minimalen Emissionen der Gesamtkette;
- Bereitstellung von Nutzenergie mit hoher Wertigkeit (Exergie) wo möglich und sinnvoll;
- Förderung von möglichst einfachen und kostengünstigen Technologien mit hoher Verfügbarkeit;
- Schliessen von Stoffkreisläufen;
- Forschung und Entwicklung im Bereich neuer Technologien für die effiziente und umweltschonende Umsetzung von Biomasse.

## PROGRAMMSCHWERPUNKTE

Das Forschungsprogramm musste in den letzten Jahren nicht zuletzt aus finanziellen Gründen stark fokussiert werden. Die primären Aktionsfelder liegen insbesondere dort, wo

- grosses Biomassepotenzial vorhanden ist;
- grosses Optimierungspotenzial zu erwarten ist;
- hohe Fachkompetenz / Know-how vorhanden ist (auch im Hinblick auf den Exportmarkt).

Als Schwerpunktsbereiche ergeben sich folglich **Holz** (mit den entsprechenden Technologien) und **Landwirtschaft** (anaerobe Vergärung). Bis 2007 werden die folgenden Schwerpunkte verfolgt:

- Verfahren optimieren (→ Wirkungsgrad, Emissionen); im Vordergrund: Reduktion Partikelemissionen bei Holzfeuerungen und Verbrennung anderer Biomasse;
- Stoffflüsse analysieren, optimieren; insbesondere landwirtschaftliche Biomasse und biogene Abfälle (→ nasse/wenig verholzte Biomasse in die Vergärung, Nährstoffabtrennung und Qualitätssicherung von Kompost/Gärgut);
- Entwicklung neuer effizienter Umwandlungstechnologien; Bsp.: hydrothermale Vergasung von Biomasse (inkl. verholzter Biomasse), KDV (katalytische drucklose Verölung);
- Grundlagen, Studien, Konzepte; im Vordergrund: Ökobilanz von Bio-Treibstoffen, Wirkung von Verbrennungspartikeln, Stromerzeugung aus Biomasse.

## ANVISIERTE ZIELE 2007

In Übereinstimmung mit dem Konzept der Energieforschung des Bundes [39] wurden 2007 folgende Ziele verfolgt:

- Qualitätssicherung:
  - bessere Kenntnis über organische Schadstoffe in Kompost/Gärgut und über die Nutzenaspekte in Kompost/Gärgut;
  - Auswertung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Co-Vergärung;
  - Übersicht Sicherheit von Biogasanlagen (Risikoabschätzungen)
  - Etablierung Systemprüfung PelletSolar;
  - Zertifizierung für Festbett-Gleichstrom-Vergaser;
  - Diverse Projekte zur Optimierung, Schadstoffminderung, Normierung und Erforschung von Biomasseverbrennung, insbesondere Holzfeuerungen;
  - Entwicklung neuer Anfeuerungsmethode zur Minderung der Staubemissionen für Stückholzfeuerungen;
  - Initiierung von Grundlagenarbeiten zur Bewertung von Technologien und von Holz als Rohstoff und Energieträger.
- Neue Technologien:
  - Weiterentwicklung hydrothermale Vergasung: Inbetriebnahme einer Laboranlage mit kontinuierlicher Biomassezufuhr, stabile Katalysatoren, Salzabscheidung;
  - Marktbeobachtung der Vergasung;
  - Verbrennungsversuche verschiedener biogene Energieträger abschliessen.
- Ökobilanz von Energieprodukten:

- Abschluss Teilprojekt 2 (ökologische Bewertung) und Publikation der Resultate.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2007

### VERFAHRENSOPTIMIERUNG

Gemäss Abschätzungen des Bundesamts für Umwelt emittieren Holzheizungen ein Mehrfaches an Feinstaub als sämtliche Öl- und Gasheizungen zusammen, obwohl sie einen geringeren Anteil zur Wärmeerzeugung leisten. Massnahmen zur Verminderung der Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen sind deshalb vordringlich, wobei Unterschiede bezüglich der verschiedenen Brennstoffe und Feuerungstypen zu berücksichtigen sind. 2006 hat der Bundesrat einen Massnahmenplan gegen Feinstaub verabschiedet. 2007 wurden die vorgeschlagenen Änderungen der Luftreinhalteverordnung (LRV) verabschiedet, die auf eine Verringerung des Ausstosses von gesundheitsschädigendem Feinstaub abzielen. Grosse Holzfeuerungen müssen schrittweise mit Filtersystemen ausgerüstet werden. Neue kleinere Holzheizungen müssen den Normen der Europäischen Union entsprechen und die neuen schweizerischen Grenzwerte erfüllen. Zudem wird der Staubgrenzwert für Industrieanlagen um mehr als die Hälfte gesenkt. Bei Feuerungsanlagen für Holz und anderer Biomasse hat die Reduktion des Staub- und Stickoxidgehaltes deshalb hohe Priorität. Im Folgenden werden die wichtigsten Projekte aufgeführt:

Im Berichtsjahr wurde an der neuen Versuchsanlage im Projekt **Low-Particle Unterschubholzfeuerung** [25] gezeigt, dass ein "Low-Particle-Betrieb" grundsätzlich möglich ist. Aufgrund der kontinuierlichen grössenaufgelösten Staubmessung kann der Zusammenhang zwischen Betriebsparametern und Emissionen direkt erfasst werden. Für eine weitere Optimierung der Anlage bei trockenem Brennstoff wurde eine Abgasrezirkulation eingebaut und die Luftmenge bei kalter Anlage einreguliert. Die automatische Regelung für einen "Low-Particle-Betrieb" mit Luftmengensensoren und Temperaturregelung des Glutbetts wurde installiert und erfolgreich vorgetestet. Wegen personeller Engpässe konnte noch kein Dauerbetrieb mit der neuen Steuerung realisiert werden. Der Zeitplan für die Testmessungen musste daher verschoben werden. Es ist geplant, die Messungen im Frühjahr 2008 wieder aufzunehmen.

Mit der Messserie **Regelkonzepte für bivalente Holzheizungsanlagen** [29] wurden verschiedene definierte Standardschaltungen auf ihre Tauglichkeit in einer Feldmessung getestet. Im Erstprojekt **Azmoos** handelte es sich um eine bivalente Holzheizungsanlage mit Speicher. Im vorliegenden Messprojekt **Kaisten** wird eine Anlage ohne Speicher untersucht. Der warme Winter 06/07 und Ausfälle bei der Datenübertragung hatten zur Folge, dass nicht alle Daten auswertbar waren. Trotzdem konnten die zu bevorzugenden und die zu vermeidenden Regelkonzepte für verschiedene Anlagentypen verglichen werden. Allgemeinen Erfahrungen aus diversen Betriebsoptimierungsprojekten erlauben zudem folgende Bemerkungen: Die Wege Planer-Verkäufer-Schemabüro-Servicetechniker sind meist zu lang. Die Betriebsoptimierung erfordert oft zwei Jahre und der Aufwand wird häufig unterschätzt. Ausserdem sollte sichergestellt werden, dass die Einstellungen nicht wieder verstellt werden.

In der ersten Phase des Projektes **Erweiterte Partikelanalytik für Holzfeuerung** [4] ging es darum, das neue Aerosolmassenspektrometer am Paul Scherrer Institut (PSI) zu testen. Dabei wurden unter anderem Smogkammeruntersuchungen durchgeführt. Am Ökozentrum Langenbruck wurden dann im Oktober und November 2007 die ersten Untersuchungen zu Holzfeuerungsmissionen durchgeführt. Dabei wurden ein Pellet- und 3 Stückholzöfen getestet. Die Auswertungen haben erst begonnen und belastbare Resultate sind noch nicht vorhanden. Erste Resultate zu den Smogkammeruntersuchungen, den Gerätetests und zu einem Beispiel der Holzfeuerungsmissionen zeigen jedoch, dass in der Startphase einer Pelletfeuerung signifikante organische Partikelkonzentrationen gemessen werden. Weitere Synergien dieses Projektes werden mit dem kürzlich bewilligten **IMBALANCE (Impact of Biomass burning Aerosol on Air quality and Climate)**-Projekt des ETH-Bereichs und der Fachhochschule Nordwestschweiz/Institut für Aerosol- und Sensortechnik (FHNW/IAST) erwartet. In diesem Projekt ist eine Untersuchung der Alterungsprozesse der Biomasse-Verbrennungsemissionen in der Atmosphäre, insbesondere eine Abschätzung und Charakterisierung der sekundär gebildeten Feinstaubmasse aus gasförmigen Emissionskomponenten der Holzfeuerungen, im Fokus der Untersuchungen.

Die Emissionen an Feinstaub und unverbrannten gasförmigen Schadstoffen von Holzfeuerungen können durch das Anfeuern und die Betriebsweise teilweise drastisch beeinflusst werden. Dies gilt insbesondere für handbeschickte Holzfeuerungen, in untergeordnetem Mass aber auch für automatische Feuerungen und Pelletheizungen. Im Projekt **Partikelemissionen von Holzfeuerungen bis 70 kW** [25], das vom Bundesamt für Umwelt mitfinanziert wird, wird der Einfluss der Betriebsweise auf die Feinstaubemissionen untersucht. Nebst der Gesamtmasse an Feinstaub werden auch die kondens-

sierbaren und die flüchtigen organischen Verbindungen erfasst, da diese besonders gesundheitsrelevant sind. Aus der Untersuchung werden Empfehlungen für eine optimale Betriebsweise in der Praxis und Vorschläge zum Vollzug der Emissionsgrenzwerte und der Messungen während der Typenprüfung für erhöhte Anforderungen abgeleitet. Damit soll in Zukunft verhindert werden, dass Holzfeuerungen auf dem Prüfstand ideal betrieben tiefe Emissionswerte ausweisen, bei normalem Praxisbetrieb aber unzulässig hohe Emissionen verursachen. Dies soll auch ermöglichen, dass Feuerungen oder Heizsysteme die im Praxisbetrieb tatsächlich tiefe Werte erzielen bevorzugt werden können. Im Berichtsjahr wurde das Forschungslabor an der Hochschule Luzern für die Untersuchungen aufgebaut und mit der erforderlichen Messtechnik und Datenerfassung ausgerüstet. Im Weiteren wurde mit den Industriepartnern das Versuchsprogramm festgelegt und die Messanordnungen in Anlehnung an die europäischen Normen, jedoch mit teilweise notwendigen Ergänzungen, ausgelegt. Die zu untersuchenden Feuerungsanlagen umfassen zwei moderne Stückholzkessel mit zweistufiger Verbrennung und unterem Abbrand, einen Pelletkessel, einen konventionellen Holzofen mit schamottiertem Feuerraum und einen Holzofen mit Zündholzabbrand. Als Vergleich für einfache Feuerungssysteme werden zudem ein aus dem Verkehr genommener alter Stückholzkessel sowie ein einfacher metallischer Holzofen untersucht.

Im ersten Schritt des Forschungsvorhabens **Brennkammer für Holzfeuerstätten mit geringen Partikelemissionen** [33] wurden auf dem Markt erhältliche Feuerungen auf die Partikelemissionen in den Betriebsphasen Anfeuern, Brennstoffnachlegen und Teillast untersucht. In Ergänzung zu den gravimetrischen Staubmessungen analysierten das Labor für Atmosphärenchemie am Paul Scherrer Institut und die Fachhochschule Nordwestschweiz mit Projekt [4] online die Grössenverteilung und die chemische Zusammensetzung der Partikel. Diese erweiterte Partikelanalytik bietet die einmalige Chance, die bezüglich Lufthygiene relevanten Innovationen in der geplanten Weiterentwicklung der Brennkammern angehen zu können. Erste Auswertungen zeigen, dass die nach dem Stand der Technik gebauten Brennkammern sowohl im Anfeuern wie im Nennlastbetrieb Verbesserungspotenzial haben. Die im Verdünnungstunnel gemessenen Staub-Emissionsfaktoren bei Nennlast der Cheminée-Feuerungen überschreiten den Zielwert des Projektes in einem Mass von 60% bis 180%. Der Speicherofen unterschreitet den Wert um 20%.

Das von der KTI mitunterstützte Eureka-Projekt **Biopoly-Heat** [33] hatte zum Ziel, Lösungen zur emissionsarmen Verbrennung von trockenen, nicht holzigen (pelletierbaren) Brennstoffen zu entwickeln. Das Schweizer Konsortium fokussierte die Entwicklung auf einen möglichst produktenahen Prototyp eines automatischen Heizkessels für pelletierte Brennstoffe im Leistungsbereich zwischen 50 und 100 kW. Dabei wurde parallel die Prüfung und Weiterentwicklung eines seriennahen Prototypen *Biolyt 70* vorangetrieben und ein Funktionsmuster *Bioflox IDDEA*© entwickelt, aufgebaut und mit verschiedenen Brennstoffen getestet. *Bioflox IDDEA* (*IDDEA = Integrated Dust and Dioxine Avoidance*) stellt ein nun geprüftes Konzept dar, wie sowohl Stickoxid- ( $\text{NO}_x$ ), Staub- und Dioxin-Emissionen wirkungsvoll vermindert werden können. Das Resultat des Projektes umfasst auf der einen Seite ein im Dauereinsatz erprobtes Produkt, sowie Erfahrungen mit dem Funktionsmuster *Bioflox-IDDEA*, das auch mit Chinaschilf-Pellets sehr gute Emissionswerte aufweist. Die Dioxin-Verhinderungsstrategie soll im Anschluss an den Projektabschluss noch verifiziert werden.

Bei der **Thermische Nutzung anspruchsvoller Biomassebrennstoffe** [26] wurden im November und Dezember 2006 Versuche mit den Brennstoffsportimenten «Riedstreu + Hackschnitzel» und «Pferdemist + Hackschnitzel + Riedstreu» durchgeführt. Die Versuche zeigen, dass unter optimalen Bedingungen die beiden Brennstoffsportimente mit tiefen Emissionen und ohne wesentliche Schlackenbildung energetisch genutzt werden können. Im Berichtsjahr wurden noch Auswertungen gemacht und das Projekt abgeschlossen.

Ziel des im Oktober 2007 begonnenen Nachfolgeprojektes **PelletSolar-2** [28] ist die energetische Optimierung von Systemen, welche Pelletkessel mit Solaranlagen kombinieren. Das vorausgegangene Projekt *PelletSolar-1* konnte am Beispiel eines ausgewählten Pellet-Solar-Systems das Potential zur energetischen und der damit einhergehenden emissionstechnischen Optimierung von Pelletsystemen aufzeigen. Der energetisch optimierte Betrieb wurde über eine verbesserte Regelungsstrategie und hydraulische Einbindung erzielt. Insbesondere liess sich die Frequenz von Start-Stop-Zyklen durch eine optimierte Betriebsführung stark reduzieren. Unter der Einberechnung der elektrischen Hilfsenergie ging dies einher mit einem verbesserten Nutzungsgrad und reduzierten Emissionswerten. Im Rahmen des Folgeprojektes soll die Allgemeingültigkeit dieser Resultate anhand von zwei weiteren Systemen geprüft werden. Dazu werden wiederum einzelne Komponenten (Kessel, Pufferspeicher) sowie das System als Gesamtes im dynamischen Systemprüfstand ausgemessen. Ein weiterer zentraler Bestandteil des Folgeprojektes ist es, die Voraussetzungen für eine standardmässige Prüfung von Pelletsystemen zu schaffen. Diese Prüfung hat den Fokus auf der Systemebene und grenzt sich

klar von der klassischen Kesselnormprüfung ab. Die seit Projektstart erfolgten Arbeiten umfassen eine ergänzende Systemmessung zu *PelletSolar-1*, eine Recherche zum Stand des Wissens bzgl. Feinstaubemissionsfaktoren sowie die hard- und softwaremässige Vorbereitung des Systemprüfstandes für die anstehenden Messungen. Hinsichtlich der Verbreitung der Resultate wurde das Projekt für einen Konferenzvortrag an der OTTI-Solarthermie-Konferenz 2008 und die BioEnergyWorld-Konferenz 2008 in Schweden eingereicht. Der OTTI-Vortrag wurde zwischenzeitlich bereits angenommen.

Im Projekt ***Evaluation von Messverfahren zur Messung der Wirksamkeit von Partikelabscheidern bei kleinen Holzfeuerungen*** [30] sollen einerseits Resultate über die Effizienz eines elektrostatischen Partikelabscheiders (ESP) aufgezeigt und andererseits ein Vorschlag ausgearbeitet werden, wie in Zukunft Prüfungen von Partikelabscheidern bei Holzfeuerungen kleinerer Leistung an Prüfstellen möglichst einfach und zuverlässig durchgeführt werden können. Die Projektführung und Hauptfinanzierung liegt beim BAFU. Im Rahmen des Projektes wurde an der Prüfstelle für Holzfeuerungen der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) eine Messstrecke für ESP aufgebaut sowie die erforderliche Messinfrastruktur erweitert. Anschliessend wurden mit mehreren unabhängigen Messmethoden Untersuchungen zur Abscheideeffizienz eines ESP durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass die durch eine gravimetrische Gesamtmassenmessung bestimmte Effizienz (56%) deutlich tiefer ist, als die Messung der Anzahlkonzentration der Partikel unter 10 µm (>70%). Im nächsten Projektteil soll diesem Unterschied nachgegangen werden, indem auch die Gesamtstaubmessung auf Partikel kleiner als 10 µm beschränkt wird.

#### **FOLGENDE PROJEKTE IM BEREICH VERFAHRENSOPTIMIERUNG BETREFFEN DIE ÜBRIGE BIOMASSE (OHNE HOLZ):**

***Développement d'un concept combiné de production de biogaz et d'élimination de l'ammoniac appliqué aux effluents agricoles*** [13] : Le traitement biologique de l'ammoniac par le procédé classique de nitrification/dénitrification se heurte à deux problèmes majeurs : le coût et la complexité. Ce projet a développé un concept intégré de production de biogaz et d'élimination biologique de l'ammoniac contenu dans le lisier en tirant parti des nouvelles recherches dans ce domaine afin de limiter les besoins d'aération, la consommation d'une source externe de carbone et de simplifier l'exploitation. Une étude expérimentale, menée sur l'effluent de l'installation de biogaz de la famille Martin à Puidoux, a été réalisée au Laboratoire de Biotechnologie Environnementale de l'École Polytechnique de Lausanne et a montré que: 1) Le processus de nitrification est obtenu avec cet effluent dans un réacteur aérobique; 2) Le processus de dénitrification est aussi obtenu dans le réacteur aérobique en utilisant un support mobile fixant la biomasse. Les rendements obtenus sont très élevés : 90% de l'ammonium est transformé et 80% est éliminé sous forme de N<sub>2</sub>; 3) Le processus ANAMMOX (Anaerobic Ammonia Oxidation) peut également être obtenu, mais est instable et n'est donc pas recommandé. L'énorme avantage de la nouvelle méthode est que l'ensemble des réactions se déroulent dans un seul réacteur, sans modifier le fonctionnement du digesteur. Le bilan d'azote montre que, si la totalité de l'effluent est traité dans le réacteur aérobique, l'élimination de l'azote total initial dans la configuration retenue est de 50%. Au niveau du bilan énergétique, le concept n'a pas d'incidence sur la production de biogaz.

***Strömungstechnische Optimierung eines Biomasse-Rührwerks*** [14]: Ziel des Projektes war die strömungstechnische Optimierung eines Biomasse-Rührwerks. Um einen hohen Anlagenwirkungsgrad zu erzielen, sollte die Antriebsleistung möglichst gering sein. Zudem werden hohe Anforderungen an die Festigkeit und den Korrosionsschutz einer Anlage gestellt. Anhand von Simulationen wurde ein neues Flügelprofil entwickelt, das im Vergleich zum Originalflügel eine homogenere Abströmung aufweist. Durch die optimierte Umströmung der Propeller ist das Verhältnis von Schub- zu Antriebsleistung stark gestiegen. Die Simulationen des ganzen Beckens zeigen, dass der Wirkungsgrad des Rührwerks mehr als verdoppelt werden kann. Das bedeutet, dass die gleiche Mischwirkung mit der Hälfte des Aufwandes möglich ist. Die Struktur der Propeller ist mit *Finite Elements Method* (FEM)-Berechnungen qualitativ überprüft worden. Erste Feldversuche bestätigen den Erfolg dieser Untersuchung.

***Monovergärung von Glycerin*** [15]: Im Rahmen dieses Projekts wird untersucht, wie eine Vergärungsanlage konzipiert und betrieben werden muss, um ein spezifisches Substrat in dominierender Menge vergären zu können (Monovergärung). Die mit der Monovergärung zu erwartenden Probleme wie Hemmungen und Limitationen sowie Pump- und Mischprobleme werden untersucht und entsprechende Lösungen aufgezeigt. Durch die Versuche im Jahr 2007 wurden folgende Resultate gewonnen: Der maximale Biogasertrag von Rohglycerin aus der RME (*Rapeseed Methyl Ester*)-Produktion beträgt im kontinuierlichen Praxisbetrieb (anaerobe Vergärung) 1100 l/l Glycerin, bzw. 870 l/kg Glycerin.

rin. Der mittlere Methangehalt im Biogas liegt bei 70%. Die Adaptionsgeschwindigkeit der Biologie an das Substrat Glycerin ist hoch. Zwei bis drei Tage nach dem Start der Glycerinzugabe werden bereits 100%-ige Abbauraten erreicht. Bei einer adaptierten Biologie wird die Biogasproduktion durch Änderungen der Beschickungsmenge in weniger als einem Tag entsprechend beeinflusst. Aufgrund der bisherigen Versuche kann festgehalten werden, dass eine gut adaptierte Biologie innerhalb von 5 Stunden auf eine Steigerung der Beschickung mit Zunahme der Gasproduktion reagiert.

**Klein-Biogasanlagen in der Landwirtschaft** [16]: Es wurde die Realisierbarkeit von landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlagen in der Schweiz untersucht. Im Rahmen dieser Studie wurde eine standardisierte Kleinbiogasanlage entworfen, welche den heutigen Ansprüchen genügt. Diverse bestehende Anlagen, welche hauptsächlich in den 70er- und 80er-Jahren gebaut wurden, sind technisch analysiert worden. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung der entworfenen Kleinbiogasanlage wurde durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass die Rahmenbedingungen für Kleinbiogasanlagen nach wie vor sehr schlecht sind. Nur eine deutliche Erhöhung der Stromeinspeisegebühren könnte einen rentablen Betrieb der Anlagen ermöglichen. Gaseinspeisung ins Erdgasnetz und ausschliessliche Wärmeproduktion sind heute bei Kleinanlagen wirtschaftlich kaum realisierbar. Eine Befragung hat gezeigt, dass nur sehr wenige ehemalige Betreiber von stillgelegten Kleinbiogasanlagen eine Wiederinbetriebnahme ihrer Anlage für technisch möglich halten und Interesse daran haben. Viel eher sind sie am Bau einer neuen Biogasanlage interessiert. Kaum ein Betreiber von einer Anlage, welche heute noch in Betrieb ist, möchte sie in näherer Zukunft stilllegen. Diverse Betreiber erwägen jedoch den Ausbau ihrer bestehenden Kleinbiogasanlage.

**Sicherheit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen** [17]: Die Zahl und die Grösse der Biogasanlagen in der Schweiz nehmen in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Damit gewinnt auch der Aspekt der Sicherheit der Anlagen für den Betreiber, die Bevölkerung und die Umwelt an Bedeutung. Neben den Konsequenzen für die unmittelbar Betroffenen durch Unfälle, sind Ereignisse auch aus Sicht der Förderung der Energie aus Biomasse zu sehen. Grosse Unfälle können die Förderung und Verbreitung einer Technologie erheblich bremsen, indem sie Verunsicherung bei Betreibern der Anlagen und der Gesellschaft hervorrufen und zu möglicherweise ungerechtfertigt hohen Auflagen für den Bau und Betrieb führen. Es ist daher wichtig, vorbeugend und umfassend die Sicherheitsfrage anzugehen. Abklärungen zur Sicherheit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen liegen für verschiedene Teilbereiche und einzelnen Fragestellungen vor (schweizerische und internationale Arbeiten). Es fehlt aber ein Überblick, der das Thema aus Risikosicht beleuchtet und die schweizerischen Besonderheiten (Betriebsart und -grösse) berücksichtigt. Im Rahmen dieses Projekts wurde in einem ersten Schritt eine Auslegeordnung geschaffen, die den Kenntnisstand zum Thema wiedergibt und eine Grobbeurteilung mit Hinweisen zu Schwachstellen oder Kenntnislücken enthält. Die Gefahrenbeurteilung wurde anlässlich eines Workshops mit Fachleuten aus der Praxis verifiziert.

**Emissionsarme Verbrennung und energetische Nutzung von Schwachgasen bis unter 2.5 MJ/m<sup>3</sup>** [18]: Mit Laborversuchen wurde am Ökozentrum Langenbruck nachgewiesen, dass Schwachgase von 6.5% Methan-Gehalt (Rest typische Abgaszusammensetzung ohne O<sub>2</sub>) autotherm verbrennbar sind. Mit weiteren systematischen Versuchen soll nachgewiesen werden, dass ein Gemisch aus 5% Methan und 95% CO<sub>2</sub> (ca. 3.8% CH<sub>4</sub> in typischem Abgas-Gemisch) ebenfalls stabil und ohne Methan-Schlupf verbrennbar ist. Parallel dazu soll mit anderen Mitteln ein Bivalent-Kessel entwickelt werden, welcher die erwähnten Gase, die als Abgase bei der Methanisierung von Biogas im PSA (*Pressure Swing Adsorption*)-Verfahren entstehen, zur Heizung von Fermentern eingesetzt werden können. Die Spitzenkesselfunktion soll mit Biogas ergänzt werden. Methanschlupf bei der Biogasaufbereitung ist in besonderem Masse klimarelevant und belastet entsprechend die Ökobilanz. Mit dem vorliegenden Projekt sollen Verwertungsmöglichkeiten solcher Schwachgase weiter entwickelt werden.

**Entwicklung einer Biogasanlage in Holzbauweise** [19]: Die Studie *Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas* [41] hat gezeigt, dass bei Einsatz des Baumaterials Holz für den Behälter aus Sicht der Umwelt ein Fünftel der gesamten Umweltbelastung, die durch die Bereitstellung der Infrastruktur erzeugt wird, eingespart werden kann, bzw. dass rund 40 mal weniger Umweltbelastung für den Behälterbau entsteht als bei der Bauweise in Beton oder Stahl. Das Baumaterial Holz hat zudem weitere Vorteile wie beispielsweise Korrosionsbeständigkeit, einfache Bearbeitung, Dichtigkeit etc. Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurden technische Konstruktionsdetails, die Auswahl verfahrenstechnischer Komponenten sowie die Kosten für schlüsselfertige Anlagen ermittelt.

## ANALYSE UND OPTIMIERUNG DER STOFFFLÜSSE

**MBR-Messkampagne** [12]: Ziel des Projektes war die Abklärung der Eignung des Membranreaktors (MBR) zur Vergärung sowohl von Gülle als auch von Gülle und Co-Substraten. Anhand von Laboruntersuchungen und von einer Versuchsanlage wurden die Erkenntnisse erarbeitet, die für den Betrieb einer P&D-Anlage nötig waren. Während der Messperiode von Ende November 2006 bis Ende November 2007 wurden rund 14'100 t Biomasse verarbeitet. Davon liegt der Gülleanteil bei rund 8'000 Tonnen. Die verarbeitete Menge entspricht rund 50-60% der maximalen Verarbeitungskapazität. Dies begründet sich mit einer vorsichtigen Beschickung in der Anfahrphase und einer zurückhaltenden Annahme von Abfällen als Folge der anfänglich unzureichenden Fest-Flüssigtrennung sowie der unbefriedigenden Abluftreinigung für den Sektor der Sterilisationsanlage. Aufgrund dieser Schwierigkeiten und der entsprechend vorgenommenen Umbauarbeiten konnte während der gesamten Messkampagne kein genügend langer Zeitraum betrachtet werden, um das MBR-Verfahren ausreichend zu prüfen. Die drei Fermenter lieferten während der Messperiode rund 1.56 Mio. m<sup>3</sup> Biogas mit einem durchschnittlichen Methangehalt von 63%. Die Gasausbeute liegt bei 110 m<sup>3</sup>/t Frischsubstanz (FS) bzw. bei 230 m<sup>3</sup>/t FS bei den Co-Substraten. Das installierte Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer Leistung von 1.1 MW<sub>el</sub> lieferte während des Messjahres 3'870 MWh Strom. Der Eigenverbrauch der Anlage inklusive Lager- und Bürotrakt lag bei rund 1'049 MWh elektrisch. Die Abwärme des BHKW wird für die Sterilisationsanlage, Futterküche und Gebäudeheizung genutzt. Hierdurch konnten seit Inbetriebnahme rund 160'000 kg Heizöl eingespart werden.

**Organische Schadstoffe in Kompost und Gärgut der Schweiz** [20]: In der Schweiz werden jährlich rund 600'000 t biogene Abfälle zu hochwertigem Kompost verarbeitet und so in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Die Kompostierung ist damit von grosser ökologischer und volkswirtschaftlicher Bedeutung. Mit den Ausgangsmaterialien können auch unerwünschte Substanzen (organische Schadstoffe und Schwermetalle) in den Kompost gelangen. Im Rahmen dieses Gemeinschaftsprojekts mit dem BAFU wurde eine solide Datenbasis als Grundlage für Qualitätssicherung und Risikomanagement erarbeitet. Der Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung wird massgeblich mit potenziellen, nicht genügend bekannten Auswirkungen des Eintrags von organischen Schadstoffen durch Klärschlammdüngung in die Böden begründet. Eine ähnliche Entwicklung muss bei Kompost und Gärgut wegen deren grossen ökologischen und volkswirtschaftlichen Bedeutung unbedingt vermieden werden. Die Ergebnisse werden anlässlich eines wissenschaftlichen Kongresses Anfang 2008 der Öffentlichkeit vorgestellt.

**Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit** [21]: In der Schweiz werden zurzeit rund 600'000 t TS (Trockensubstanz) biogener Abfälle rezykliert. Längerfristig werden jedoch nur die Komposte und das Gärgut abgesetzt werden können, die eine Wertsteigerung der Böden bewirken. Ziel des vorliegenden Projektes ist es, die Qualitätsparameter gezielt in diese Richtung zu erweitern und die Auswirkungen von Kompost- und Gärgutapplikationen auf Pflanzenwachstum und -gesundheit, die Bodenparameter und die Umwelt zu evaluieren. Das vorliegende Projekt ist mit dem Projekt *Organische Schadstoffe in Komposten* der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) bzw. des Wasserforschungs-Instituts des ETH-Bereichs (EAWAG) und der Forschungsantalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART koordiniert. Auch diese Ergebnisse werden anlässlich des oben erwähnten wissenschaftlichen Kongresses Anfang 2008 der Öffentlichkeit vorgestellt.

**Methanverluste bei der Biogasaufbereitung** [22]: Die mit der Biogasaufbereitung verbundenen potenziellen und tatsächlichen Methanverluste werden im Rahmen des Projekts anhand von Literaturrecherchen, vor allem aber auch durch konkrete Emissionsmessungen an Schweizer Biogasaufbereitungsanlagen untersucht. Die Projektgruppe, die sich aus Experten aus Forschung, Messtechnik, Gasvertrieb und Energieverwendung zusammensetzt, wählte die ARA Luzern (GALU), welche eine moderne Biogasaufbereitung nach dem Prinzip der Druckwechseladsorption betreibt, als geeignete Referenzanlage für die erste Messkampagne aus. Aus der Voruntersuchung wurden eine Reihe von Problemen und Ungenauigkeiten bei der Messung der relevanten Stoffströme offenbar. Die Problemfelder wurden analysiert und die erarbeiteten Lösungen in Zusammenarbeit mit den Anlagenbetreibern im Laufe des Jahres umgesetzt. Die eigentlichen Messungen erfolgten im Dezember 2007 an der Anlage in Luzern. Weitere Messungen an anderen Anlagentypen, insbesondere an dem in der Schweiz verbreiteten Waschverfahren auf Glykolbasis, sind erwünscht. Aus den Auswertungen der resultierenden Methanschlußpfwerte werden Massnahmen zur Emissionsverminderung und -Vermeidung sowie Empfehlungen für ein zukünftiges Vorgehen bei der Aufbereitung von Biogas in der Schweiz abgeleitet.

**Massen- und Energielassanalyse biogener Güter in der Schweiz (Update 2007)** [23]: Die Fachgruppe Umweltbiotechnologie der damaligen HSW Hochschule Wädenswil erstellte 2001 im Auftrag

des BFE eine umfassende Massen- und Energieflussanalyse biogener Güter für die Schweiz (BFE Projekt 39573). Diese Studie basierte auf der aktuellen Datengrundlage 1998/1999. Während der laufenden Dekade haben sich die Mengen und Qualitäten biogener Güter laufend verändert. So ist z.B. die energetische Nutzung im Hinblick auf die notwendige Substitution fossiler Brenn- und Treibstoffe in den Vordergrund getreten. Mehrere Studien zum Potential unterschiedlicher Bewirtschaftungs- und Verwertungsoptionen einzelner Biomassesortimente sind in Bearbeitung, in Vorbereitung oder bereits abgeschlossen. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen zum Verkehr und zum Einsatz einzelner biogener Güter sind im Umbruch. Vor diesem Hintergrund hat sich das BAFU in Zusammenarbeit mit dem BFE und dem BLW entschlossen, die damalige Studie des BFE auf den aktuellen Stand zu bringen und um neue Aspekte zu erweitern.

**Oberflächen-Ionisationsdetektor zur Online-Messung von Alkalien in Prozessgasen (MOPSID: Monitoring of Process Gases with a Surface Ionization Detector) [24]:** Bei der Umwandlung von Biomasse zu Strom oder Syngas können die in Spuren vorhandenen Alkalien Anlagenteile (Turbinen, Katalysatoren, Wärmetauscher, Brennstoffzellen) schädigen oder Prozessschritte verunmöglichen. Der Alkali-Detektor funktioniert nach dem Oberflächen-Ionisationsprinzip. Mit ihm können die Spuren von Alkalien (K, Na) in Prozessgasen online messbar und kritische Konzentration überwachbar gemacht werden. In einer Dissertation soll der am PSI entwickelte Alkali-Detektor weiterentwickelt, für zeitaufgelöste Messungen 'im Feld' vorbereitet und in Messkampagnen an Biomasse-Vergasern eingesetzt werden. Der Alkali-Detektor ist auch in anderen Biogas erzeugenden Anlagen einsetzbar. Die Arbeiten sollen im Verbund mit einem CCEM (Competence Center for Energy and Mobility)-Projekt (WOODGAS-SOFC) und swisselectric research (TREGAS) erfolgen. Die Entwicklung von verlässlichen Online-Messmethoden für problematische Spurengase ist eine wichtige Basis für die Optimierung von Prozessen zur energetischen Nutzung von Biomasse.

## NEUE UMWANDLUNGSTECHNOLOGIEN

Im Projekt **Biogenes Methan durch hydrothermale Vergasung** [10] wird ein hydrothermales Vergasungsverfahren für nasse Biomassesortimente entwickelt, mit dem Ziel, die Biomasse vollständig zu Methan und CO<sub>2</sub> zu vergasen und Nährsalze zurück zu gewinnen. Während Holz bereits durch konventionelle thermische Verfahren energetisch genutzt wird (vorwiegend durch Verbrennung), stellen insbesondere Hofdünger, Gülle, und Klärschlamm ein nahezu ungenutztes Energiepotenzial dar (Schweizer Güllenutzung 2003: 0.4%). Hier jedoch liefern aufgrund des hohen Wassergehalts konventionelle Gasphasenverfahren einen zu tiefen Wirkungsgrad (Feuchtigkeit wird energetisch aufwändig verdampft). Als Alternative bietet sich die hydrothermale Vergasung an: Der Wassergehalt der Biomasse dient als Reaktionsmedium, welches unter hohem Druck um 30 MPa und erhöhter Temperatur als überkritisches Fluid vorliegt und apolare Eigenschaften besitzt. Teer-Vorläufersubstanzen, die bei der konventionellen Vergasung zu Problemen führen, können so gelöst und vergast werden. Aufgrund der fehlenden Verdampfungswärme oberhalb des kritischen Druckes (22.1 MPa) sind hohe thermische Wirkungsgrade möglich (65-70%). Die in der Biomasse enthaltenen Nährsalze (Gülle: ca. 20 Massenprozent - Ma.-% - der Trockenmasse, TM) können aufgrund ihrer stark reduzierten Löslichkeit in überkritischem Wasser abgeschieden und für Dünge Zwecke weiterverwendet werden. Mit der energetischen Nutzung geht also eine stoffliche einher.

Ziel des Projekts am PSI war es, ein katalytisches Verfahren zu entwickeln, das die Vergasung nasser Biomasse zu synthetischem Naturgas (SNG) in einer kontinuierlichen Anlage im Labormassstab demonstriert (Biomassedurchsatz 1 kg/h, liefert bei 40 Ma.-% TM ca. 400 L<sub>SNG</sub>/h, was einer thermischen Brennleistung von 2 kW<sub>th</sub> entspricht). Verschiedene Katalysatoren wurden ausgewählt (kommerzielle und selbst synthetisierte) und auf ihre Stabilität im hydrothermalen Medium und auf ihre Salzverträglichkeit (am Beispiel Sulfat) getestet und charakterisiert. Skelettartige Nickelkatalysatoren sowie Ru/Kokosnuss-Aktivkohle (Ru/C) wiesen eine hohe Aktivität und Selektivität bei der Vergasung von Holz auf, wobei die maximal mögliche Methanausbeute von 0.33 g<sub>CH<sub>4</sub></sub>/g<sub>Holz</sub> erreicht wurde. Als hydrothermal langzeitstabil erwies sich jedoch nur Ru/C. Hierbei wurde eine konstante Produktgaszusammensetzung im Gleichgewicht über eine Versuchsdauer von 220 h bei hohen Katalysatorbelastungen erreicht. Die Salzverträglichkeit dieses Katalysators ist jedoch sehr gering, was auf eine chemische Vergiftung des katalytisch aktiven Metalls zurückzuführen war. Daher müssen die in der Biomasse vorhandenen Salze vor dem katalytischen Reaktor abgetrennt werden. In der aufgebauten Prozessdemonstrationsanlage wurden Versuche zur kontinuierlichen Salzabscheidung durchgeführt, wobei sich herausstellte, dass die kontinuierliche Abscheidung möglich ist, jedoch stark vom Phasenverhalten des Salzes abhängt. Ein Vergasungsversuch mit einem Palmöl-Pyrolysekondensat wurde in der Prozessdemonstrationsanlage durchgeführt. Dieser Versuch musste aufgrund der Verstopfung des

Salzabscheiders mit Koks abgebrochen werden. Der gebildete Koks konnte durch Nassoxidation mit Wasserstoffperoxid entfernt werden. Massnahmen, um diese Koksbildung zu unterdrücken, wurden erarbeitet.

Bisherige Untersuchungen im Rahmen des Projektes **Methan aus Holz** [3] haben gezeigt, dass die Lebensdauer des Methanierungskatalysators stark vom Schwefelgehalt abhängt. Im neu gestarteten Projekt sollen Grundlagen für das Design und die Optimierung der Hochtemperatur-Entschwefelung erarbeitet werden. Im ersten Schritt sollen im Labor die Anforderungen der Katalysatoren an die Reingasqualität besser verstanden werden. Auf den erarbeiteten Grundlagen können dann die Hochtemperatur-Entschwefelungsverfahren für den „Methan aus Holz“-Prozess angepasst und geprüft werden.

**Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes im unteren Leistungsbereich mit eigener Ölmühle** [11]: Der Einsatz von unverändertem Pflanzenöltreibstoff im Fahrzeug- und Stationärmotor erfährt als nachwachsende Energiequelle und Produktionsnische für die Landwirtschaft zunehmende Bedeutung. Die wenigen, bisher verfügbaren pflanzenöлтаuglichen Motorumrüstungen erfüllen indessen die aktuellen Abgasvorschriften nicht. Für Pflanzenöl-Blockheizkraftwerke (BHKWs) im Leistungsbereich von 50 bis 500 kW besteht zudem eine Angebotslücke. Ein breit abgestütztes Konsortium will deshalb ein mit Rapsöl betriebenes BHKW mit eigener Ölversorgung entwickeln, welches die Schweizer Abgasnormen erfüllt. Bis Ende Mai 2007 wurden mit der Ölmühle aus 300 Tonnen Rapssaat rund 100'000 Liter Rapsölkraftstoff produziert. Nach den Umbauten im Sommer 2007 konnten weitere 50'000 Liter Rapsölkraftstoff für die von *gretec* umgerüsteten Häcksler und Traktoren der Lohnunternehmen *Stähli*, *Suberg* und *Gautschi*, Herbetswil bereitgestellt werden. Der Rapskuchen konnte nebst dem Direktverkauf an Landwirte als gefragtes Nebenprodukt für die Produktion organischer Spezialdünger der benachbarten Firma *Hauert HBG Dünger AG* geliefert werden. Bei der Kraftstoffgewinnung mit Kaltpressung darf der technisch erreichbare Abpressgrad wegen den limitierten Gehalten an Phosphor und Erdalkalien nicht ausgenutzt werden. Dieses Problem wurde im Rahmen einer Diplomarbeit im Sommer 2007 angegangen. Dabei gelang es, mit einem Additiv auf Silikatbasis Phosphor, Magnesium und Kalzium auf unter 1 bis 2 ppm abzusenken. Wenn diese Werte im Dauerbetrieb bestätigt werden können, ist dies ein enormer Schritt vorwärts. Das BHKW wurde mit Motor, Generator und allen Flüssigkeitstanks bei unserem deutschen Projektpartner in Heitersheim und Grafenhausen vorgebaut und am 07.12.07 nach Suberg überführt. Anfang 2008 wird mit seiner Komplettierung mit Denox/Diesel Particulate Filter (DPF)-Anlage und Not-Kühlaggregat begonnen.

**Aufbereitungs- und Betankungsanlage für kleinere Biogasproduktionsmengen** [34]: Biogas besteht zu etwa gleichen Teilen aus Methan und CO<sub>2</sub> und ist mit Wasser gesättigt. Drei Methoden wurden für die Aufbereitung von kleineren Biogasproduktionsmengen untersucht: Kryogene Gastrennung, Membrantrennung und Druckwechseladsorption. Der Vergleich der Verfahrenseigenschaften zeigt, dass sich grundsätzlich alle drei Verfahren eignen. Sie sind in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, um bei Kleinanlagen eingesetzt zu werden. Die Analyse hat weiter gezeigt, dass Prinzipversuche unerlässlich sind, um die Machbarkeit und die wirtschaftlichen Grenzen zu ermitteln. Der grobe Wirtschaftlichkeitsvergleich mit konventioneller Verstromung von Biogas hat das Potential der Biogasaufbereitung zu Treibstoff weiter erhärtet. In der Phase II soll ein Funktionsmuster für die experimentelle Verfahrensuntersuchung an der Fachhochschule Burgdorf aufgebaut werden. Im Berichtsjahr konnte der Bau eines Funktionsmusters angegangen werden. Aufgrund der hohen Auslastung der *apex AG* hat aber das Projekt Verzögerungen erfahren.

## GRUNDLAGEN, STUDIEN, KONZEPTE

Im Rahmen von verschiedenen Studien wurden bisher Energieprodukte hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen untersucht. Dabei wurden nicht erneuerbare (fossile) Energieträger untereinander, aber auch mit erneuerbaren verglichen. Die Untersuchungen aus der Schweiz beschränkten sich jedoch meist auf einzelne Umweltbereiche oder beleuchteten nur einzelne Aspekte der Umweltauswirkungen. Zudem sind bei biogenen Energieträgern die Anbaumethoden und -varianten nicht systematisch untersucht worden. Um einerseits im Forschungsprogramm Biomasse die richtigen Schwerpunkte setzen zu können und andererseits in der politischen Diskussion im Bereich Energie-, Umwelt- und Klimapolitik über die entsprechenden Entscheidungsgrundlagen zu verfügen, braucht es umfassende Ökoinventare von Energieprodukten, die alle relevanten Umweltbereiche gleichermassen berücksichtigen und sowohl biogene als auch fossile Energieträger umfassen. Die erarbeiteten Ökoinventare sind modular (Prozesse bzw. Prozessketten) aufgebaut, sodass eine Erweiterung und eine Bilanzierung von weiteren Anwendungsfällen einfach möglich ist. Alle Sachbilanzdaten wurden in den Datenbestand der *ecoinvent* Datenbank v2.0 integriert. Für die Erweiterung hinsichtlich neuer Produkte und Verfahren wurden im Projekt klare Richtlinien erarbeitet. Die Ökoinventare bilden die Basis für eine

**Ökobilanzierung** [1] verschiedener Produkte und Herstellungswege. Die Daten wurden in einem Teilprojekt durch die EMPA bewertet. Dabei zeigte sich, dass Biotreibstoffe nicht zwingend umweltfreundlicher sind als fossile Treibstoffe. Bei den meisten Biotreibstoffen zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen der Minimierung der Treibhausgasemissionen und einer positiven ökologischen Gesamtbilanz.

**RENEW - Life Cycle Assessment for BTL-fuel production** [2]: Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes RENEW (*Renewable Fuels for Advanced Powertrains*) werden Verfahren für die Herstellung von Treibstoffen aus Biomasse mittels Vergasung und anschliessender Fischer-Tropsch Synthese entwickelt. Die verschiedenen Umwandlungsverfahren werden mit einer Ökobilanz nach ISO 14040 ff verglichen. Dabei wird der Lebenszyklus von der Biomasse Produktion bis zur Bereitstellung des Kraftstoffs untersucht. Im Berichtsjahr wurde das Projekt abgeschlossen.

**Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz** [5]: Die Bundesverfassung verpflichtet den Bund zur Förderung der nachhaltigen Entwicklung. Für den Energiebereich heisst dies konkret: mehr Energieeffizienz und Ausbau der erneuerbaren Energien. Zurzeit stammen 83.8% des schweizerischen Endenergieverbrauchs aus nicht erneuerbaren Quellen. Gemäss Biomasse-Potenzialstudie könnten gut 10% des heutigen Primärenergieverbrauchs ökologisch vertretbar mit Biomasse gedeckt werden. Damit könnte die Biomasse einen wichtigen Beitrag sowohl zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele der Schweiz als auch zur Reduktion der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Energien sowie zur Verbesserung der Versorgungssicherheit leisten. Es soll eine Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz erarbeitet werden, die aufzeigt, wie das vorhandene Biomasse-Potenzial möglichst vollständig, effizient und umweltschonend genutzt werden kann. Im Vordergrund stehen technische, ökologische und energiepolitische Aspekte. Es sollen aber auch sozio-ökonomische Fragen behandelt werden. Bei der Beurteilung der Biomassesortimente, der Umwandlungstechnologien und der Energieprodukte sollen insbesondere die Ressourcenökonomie (sparsamer und effizienter Einsatz der Biomasse, geschlossene Stoffkreisläufe), die Umweltauswirkungen (Ökobilanz) und die Wertigkeit der Energie (Exergie) berücksichtigt werden. In einem ersten Schritt wurde eine Auslegeordnung als internes Grundlagenpapier erstellt.

Ziel des Projektes **Feuchtegehalt-Änderung des Waldfrischholzes bei Lagerung im Wald** [35] ist die Ermittlung der optimalen Lagerdauer und Lagermethodik für frisch geschlagenes Holz im Wald und deren wirtschaftliche Folgen für die Pelletierung. Dabei darf die Lagerung nicht zu lange andauern, da ansonsten der Feuchtegehalt nach einem anfänglichen Absinken wieder ansteigt und das Holz zudem an Brennwert infolge mikrobiologischem Abbaus verliert. Bei einer optimalen Lagerung werden der Trocknungsaufwand und damit der Fremdenergiebedarf verringert. Zudem sinken aufgrund des reduzierten Gewichtes die Transportkosten. Oft hat trockeneres Holz auch einen positiven Einfluss auf Lebensdauer und Wartungskosten von Feuerung und Kessel sowie auf die Rauchgase. Die Resultate des Projektes sollen als Grundlage für die Entwicklung der Logistikkette vom Wald zum Pelletswerk dienen. Zudem können die Resultate auch für die Herstellung von Hackschnitzeln mit reduziertem Feuchtegehalt und somit erhöhtem Brennwert verwendet werden.

**Feststoffvergärung in der Schweiz** [6]: In der Schweiz werden zurzeit vermehrt Biogasanlagen realisiert. Die realisierten Anlagen für gewerblich-industrielle Zwecke basieren vorwiegend auf dem Prinzip Kompogas (Feststoffvergärung). In der Landwirtschaft werden Flüssigvergärungsanlagen gebaut, die flüssigen Hofdünger (Gülle), gemischt mit zusätzlichen organischen Zusatzstoffen (Co-Substraten), zur Produktion von Biogas nutzen. Von Landwirtschaftsbetrieben ohne Tierhaltung, welche keine flüssigen Hofdünger zur Verfügung haben, besteht die Nachfrage nach Vergärungsanlagen, die feste, stapelbare organische Reststoffe direkt verwerten können. Diese Anlagen werden aufgrund des höheren Trockensubstanzgehaltes des Inputmaterials als Feststoffvergärungsanlagen bezeichnet. Derzeit werden schon solche Feststoffvergärungsanlagen im In- und Ausland betrieben. Entsprechende Erfahrungen und Erkenntnisse aus Projekten im In- und Ausland sollen ausgewertet werden.

Die Studie zeigt, dass es derzeit eine Vielzahl von Verfahren im Bereich der Feststoffvergärung gibt, welche in der Abfallwirtschaft zur Entsorgung von Biomüll und in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Kontinuierlich betriebene, gewerblich-industrielle Verfahren, welche bisher nur in der Abfallentsorgung eingesetzt wurden, werden seit Kurzem auch für landwirtschaftliche Bedürfnisse, vorwiegend zur Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen, angepasst. Die Vergärung von organischen Feststoffen ist heute auch bei Flüssigvergärungsanlagen Stand der Technik. Aufgrund tendenziell tieferer Gestehungskosten für Strom sind Flüssigvergärungsanlagen heute konkurrenzfähiger als Feststoffvergärungsanlagen. Die Feststoffvergärung wird jedoch als Technologie mit hohem Entwicklungspotential gesehen. In Deutschland wird diese Technologie derzeit gefördert, damit der wirtschaftliche Betrieb auch in der Landwirtschaft möglich ist. In der Schweiz bestehen derzeit Rahmenbedingungen (Gesetzgebung, Betriebsstrukturen etc.), die eine spezielle Förderung der Feststoffvergärung nicht

vorsehen. Deshalb sind die Flüssigvergärungsanlagen für den Einsatz in der Landwirtschaft derzeit der Feststoffvergärung tendenziell vorzuziehen.

**Abwärmenutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen** [7]: In der Schweiz waren im Jahr 2006 80 landwirtschaftliche Vergärungsanlagen in Betrieb. In diesen Anlagen werden der hofeigene Dünger vergärt, teilweise zusammen mit von Dritten angelieferten organischen Reststoffen. Das so gewonnene Biogas wird auf rund 50 landwirtschaftlichen Betrieben in WKK-Anlagen in Strom und Wärme umgewandelt. Aus der im Biogas enthaltenen Energie entstehen bei der Umwandlung in einer Wärmekraftkopplungs-Anlage rund 35 % Strom und 48 % Wärme. Die restlichen 17 % sind Umwandlungsverluste. Im besten Fall können also rund 83 % der im Biogas enthaltenen Energie genutzt werden, wobei der Eigenbedarf der Biogasanlage noch abgezogen werden muss. Der Strom von Biogasanlagen kann problemlos genutzt werden: ein Teil wird auf dem Betrieb eingesetzt und die überschüssige Menge ins öffentliche Netz eingespeist. Bei der Wärme hingegen sieht es anders aus. Neben der benötigten Wärme zum Heizen des Fermenters der Vergärungsanlage sowie für die Warmwasseraufbereitung und das Heizen der Räume auf dem Hof, bleibt oft ein ungenutzter Wärmeanteil übrig. Die in landwirtschaftlichen Biogasanlagen anfallende Abwärme soll besser genutzt werden. Eine erste Vorabklärung zeigt Möglichkeiten einer verbesserten Abwärmenutzung auf. Diese Varianten sollen im Rahmen eines Folgeprojekts verifiziert, ggf. ergänzt und bewertet werden. Die viel versprechendsten Lösungen sind unter Berücksichtigung der Gegebenheiten in der Landwirtschaft vertieft zu untersuchen.

**Bestimmung der TS- und OS-Gehalte von Ausgangsmaterialien für die Feststoffvergärung** [8]: Ziel des vorliegenden Projekts ist es, den TS- und OS-Gehalt von Ausgangsmaterialien für die Feststoffvergärung zu erfassen. Die Untersuchungen sollen statistisch klar abgegrenzte Bereiche für verschiedene Materialien, wie Grüngut, Haushaltsabfälle und Speisereste aus der Gastronomie liefern, wobei auch weitere Einflussfaktoren, wie Wetterlagen etc. berücksichtigt werden. Diese Erkenntnisse dienen als Grundlage für LCA oder ähnliche vergleichende Analysen.

**Einfluss der Biogasproduktion auf die Keimfähigkeit von Beikrautsamen** [9]: Die Verbreitung von Beikrautsamen über die Gülle kann auf Landwirtschaftsbetrieben mit Biogasproduktion ein besonderes Problem darstellen. Bei der Vergärung werden verschiedenste Substrate eingesetzt, welche naturgemäss einen hohen Besatz an keimfähigen Samen aufweisen (z.B. Grüngut, Getreideabgänge). Im Rahmen dieser Semesterarbeit der Berner Fachhochschule sollte deshalb abgeklärt werden, wie die Keimfähigkeit von Beikräutern und anderen Problempflanzen durch den Gärungsprozess beeinflusst wird. Die Resultate der Untersuchungen ergaben, dass die Vergärung im Biogasfermenter die Samen von Raps, Raigras und Buchweizen nach 24 Stunden keimunfähig machte. Samen von Blacken, Melden und Amaranth keimten nach einer Verweildauer von 72 Stunden im thermophil betriebenen Fermenter nicht mehr. Die nicht mehr keimfähigen Samen zeigten häufig eine aufgeplatzte Schale und einen breiigen Kern. Die hohe Temperatur der Gülle kann als Hauptgrund für die rasche Abnahme der Keimfähigkeit genannt werden. Der Zusatzversuch mit dem 49°C warmen Wasserbad hat gezeigt, dass die Keimfähigkeit aller verwendeter Arten nach 72 Stunden Verweildauer null Prozent beträgt. Obwohl die Beikrautsamen robuster sind als die Samen der Kulturpflanzen, zeigen die Resultate, dass spezifische Arten nach Durchlauf einer thermophilen Biogasanlage mit Nachgärraum nicht mehr keimfähig sind. Diese Biogasgülle kann also ohne Bedenken bezüglich ungewünschter Verbreitung von Beikräutern und anderen Problempflanzen auf die Felder ausgebracht werden.

## Nationale Zusammenarbeit

Die meisten Projekte bilden Zusammenarbeiten der Industrie mit diversen Fachhochschulen, den ETHs oder privaten Organisationen. Dieses Vorgehen erlaubt einen effizienten Technologietransfer von der Forschung in die Wirtschaft. Ausserdem wird laufend mit anderen Bundesämtern wie z.B. BAFU, BLW und ARE zusammengearbeitet. Die Finanzierung von Projekten wird – nicht zuletzt wegen erhöhtem Budgetdruck – möglichst breit abgestützt. Solange die gesetzlichen Rahmenbedingungen beim Bau von Verbrennungs- und Vergärungsanlagen ohne grosse Schwierigkeiten eingehalten werden können, sind neue Forschungsarbeiten mit dem Ziel, tiefere Emissionen und Kosten sowie höhere Wirkungsgrade zu erreichen, mit privaten Unternehmen schwierig zu realisieren. Für neue kostspielige und risikoreiche Entwicklungsprojekte fehlen der Industrie oft die Mittel, d.h. es müssen neue Finanzierungsmöglichkeiten, beispielsweise in Form eines Fonds, angestrebt werden. Hinzu kommt, dass die Branche – insbesondere im Bereich übrige Biomasse (ohne Holz) – finanziell noch nicht sehr potent ist.

Die Zusammenarbeit mit der Begleitgruppe Biomasse (BioBG) hat sich gut etabliert. Die aus den Gesprächen mit den Forschenden „an der Front“ gewonnenen Erkenntnisse sollen unter Mitwirkung der BioBG in das neue Forschungskonzept 2008-2011 des Bundes einfließen.

Weitere Ausbildungs-, Informations- und Imageprojekte zur Verwendung der Ressource Biomasse finden über die Biomasse-Partner des Aktionsprogramms *EnergieSchweiz* statt ([www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch), [www.biomasseenergie.ch](http://www.biomasseenergie.ch)) und ([www.holzenergie-symposium.ch](http://www.holzenergie-symposium.ch)).

## Internationale Zusammenarbeit

Die Schweiz beteiligte sich auch im Berichtsjahr im Rahmen des Implementing Agreements Bioenergy der International Energy Agency (IEA) an 3 Projekte:

- **Biomass Combustion and Co-firing** [25]
- **Thermal Gasification of Biomass** [26]
- **Energy from Biogas and Landfill Gas** [27]

Ziele sind die Förderung des Erfahrungs- und Informationsaustauschs, die Verbreitung der Informationen zur Produktion und Verwendung der verschiedenen Biomassesortimente und Umwandlungstechnologien, die Anregung neuer Projekte in den Bereichen Forschung, Entwicklung, Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie die Markteinführung.

Die EU nimmt ebenfalls eine wichtige Rolle ein. Im Bereich *Biomasse* beteiligt sich die Schweiz an verschiedenen Projekten, sie können über folgende Links eingesehen werden:

- **Biotreibstoffe** [2] und [3]: [www.renew-fuel.com](http://www.renew-fuel.com)
- **Gasification Network** [26]: <http://www.thermalnet.co.uk/>
- **QM-Holzheizwerke** [25]: [www.qmholzheizwerke.ch](http://www.qmholzheizwerke.ch)

## Innovative Pilot- und Demonstrationsprojekte

### VERFAHRENSOPTIMIERUNG

Bemerkung: Aufgrund der fehlenden Budgets können seit längerem vom BFE keine neuen Projekte mehr unterstützt werden. In der Folge werden einerseits noch laufende BFE-Projekte aufgeführt und andererseits neu geplante bzw. realisierte innovative Projekte ohne BFE-Beteiligung beschrieben.

### ANALYSE UND OPTIMIERUNG STOFFFLUSS

**MBR-Pilot** [36]: Die Pilotanlage wurde als Membranbioreaktor (MBR) konzipiert und konnte Ende 2006 ihren Betrieb aufnehmen. Ihre Verarbeitungskapazität liegt vorerst bei rund 20'000 bis 25'000 Jahrestonnen. Davon werden rund 8'000 Tonnen Gülle aus dem eigenen Schweinemast- und zuchtbetrieb vergärt. Die restliche Biomasse sind Abfälle aus dem Lebensmittelhandel, der Nahrungsmittelproduktion und dem Gastgewerbe. Durch zwei getrennte Annahmelinien können sowohl hygienisch unbedenkliche als auch zu sterilisierende Abfälle professionell verarbeitet werden. Durch die installierte Membrantrenntechnik wird einerseits lebende Biomasse (Bakterien) in die Fermenter rückgeführt und andererseits das vergorene Material in wertvolle Düngerfraktionen aufgeteilt. Mehr als die Hälfte der verarbeiteten Materialien fällt anschliessend als Brauchwasser an und reduziert damit den Aufwand der Düngerrückführung in die Landwirtschaft erheblich. Die installierte Leistung liegt bei 1.1 MW elektrisch. Die Anlage wurde so konzipiert, dass ein weiterer Ausbau möglich ist. Die Investitionskosten liegen ohne Büro- und Lagertrakt bei rund Fr. 12.5 Mio.

### NEUE UMWANDLUNGSTECHNOLOGIEN

**SwissFarmerPower** [37]: Der Kanton Luzern weist mit durchschnittlich über 200 und regional bis zu bis 400 GVE (Grossvieheinheiten) pro km<sup>2</sup> sehr hohe und im schweizerischen Mittel weit überdurchschnittliche Tierdichten auf. Diese hohen Tierdichten welche in Bezug auf Ammoniak- und Phosphoremissionen ein Problem darstellen, sind andererseits für die Biogasproduktion (z.B. mit anschliessender Aufbereitung als CO<sub>2</sub>-neutrales Erdgassubstitut) eine optimale Voraussetzung. Im Berichtsjahr wurde der *SwissFarmerPower Inwil AG* die Baubewilligung für die grösste Biogasanlage in der Schweiz erteilt und im September konnte der Baustart erfolgen. Beteiligt sind nebst rund 80 Bauern, die fenaco

(Unternehmensgruppe der Schweizerischen Agrarwirtschaft), die *Erdgas Zentralschweiz AG*, die *Weierherhus-Kompost AG* und die *CTU-Concepte Technik Umwelt AG*.

**Biogasbetriebene Gelenkautobusse in Bern** [38]: Das Gesamtprojekt Biogaserzeugung und -einspeisung ins Erdgasnetz (ARA Bern), Lieferung an *BERNMOBIL* sowie Nutzung als umwelt- und klimafreundlichen Treibstoff im öffentlichen Verkehr besitzt Innovationskraft. Das vorliegende Projekt begleitet die Einführung der Gasbusse und zeigt im Sinne einer Erfolgskontrolle auf, wie weit der Zielbeitrag zu einer ökologischen Mobilität erreicht werden kann. Namentlich sind die CO<sub>2</sub>-Bilanz, energetische Wirkungen und der lufthygienische Nutzen aufzuzeigen. Gleichzeitig sind die Kosten, die technischen und betrieblichen Erfahrungen sowie die daraus ableitbaren Lektionen aufzuzeigen. Die Erfahrungen sollen anderen interessierten Städten zur Verfügung stehen und Anregung und Hilfestellung sein. Im Berichtsjahr wurde das Messkonzept fertig gestellt und mit ersten Messungen/Erhebungen begonnen. Allerdings haben grössere Probleme insbesondere im Bereich der Betankung zu Verzögerungen im Projekt geführt.

**Biomass-Combined-Cycle (BCC)**: Entwicklung und Feldtest eines Biomasse-Kombi-Kraftwerks mit extern befeuerter Gasturbine (EFGT) und Abwärmenutzung (ORC) [18]. Die EFGT in Rümlang ist eine Heissluft-Turbine mit 100 kWe Spitzenleistung und 80 kWe Dauerleistung. Es handelt sich um eine so genannte Mikroturbine, bei der aber statt einer Brennkammer ein Hochtemperatur-Wärmetauscher die nötigen Temperaturen erzeugt. Die immer noch heissen Abgase der Turbine werden ins Holzfeuer eingeblasen und helfen dort Brennstoff zu sparen. Dieses vorgewärmte Holzfeuer beheizt den oben erwähnten Wärmetauscher. Dieses denkbar einfache, robuste und relativ wartungsarme Konzept ermöglicht einen vergleichbar hohen elektrischen Wirkungsgrad von rund 20% und stellt dabei die Abgase auf hohem Temperatur-Niveau (280°C) für eine weitere Nutzung zur Verfügung. Diese Temperatur ist genügend hoch, um Fernwärme und Prozessdampf herstellen zu können, oder wie im Falle des Forschungsprojekts BCC eine Abwärme-Verstromungsanlage mit ORC-Prinzip zu betreiben. ORC ist ein geschlossener Dampfturbinen-Prozess, welches anstatt mit Wasser mit einem organischen (meist alkoholischen) Medium betrieben wird.

Die Holzvergasungstechnologie kann sich aufgrund besserer Rahmenbedingungen wie der kostendeckenden Einspeisevergütung im Markt etablieren. Die Anlage *Woodpower* [32] ist in der Optimierungsphase und eine Anlage von *Pyroforce* ist seit Herbst 07 in der Inbetriebnahmephase. Diese Anlagen können gemäss der Studie **Erarbeitung von Grundlagen für die Zertifizierung von Strom aus Holz-WKK mit Festbett-Gleichstrom-Vergaser** [31] Ökostrom liefern.

## Bewertung 2007 und Ausblick 2008

- Qualitätssicherung:
  - Kompost-/Gärgut-Projekte: die Arbeiten sind abgeschlossen und die Erkenntnisse werden anlässlich des wissenschaftlichen Kongresses CODIS im Februar 2008 vorgestellt.
  - landwirtschaftliche Biogasanlagen mit Co-Vergärung: eine Studie zum Thema Klein-Biogasanlagen konnte abgeschlossen werden; eine Untersuchung der Monovergärung von Glycerin ist noch in Arbeit.
  - Sicherheit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen: eine erste Übersicht / Auslegeordnung konnte erstellt werden; weitere vertiefte Abklärungen folgen.
  - Die Projekte über Feinstaub und Systemoptimierungen liefern Grundlagen zur Qualitätssicherung sowie auch Qualitätsförderung von Feststofffeuerungen. Einige Erkenntnisse sollen am kommenden Holzenergie-Symposium vorgestellt werden.
- Neue Technologien:
  - hydrothermale Vergasung: die Inbetriebnahme einer Laboranlage mit kontinuierlicher Biomassezufuhr ist mit Verspätung erfolgt; das Konzept der Salzausschleusung funktioniert grundsätzlich, mit realer Biomasse sind aber noch grosse Probleme zu lösen (Verkokung, vorzeitige Gasbildung); das Projekt ist abgeschlossen; in einem Folgeprojekt soll die Hydrolyse und die Salzabtrennung optimiert werden.
  - Eine interessante Option zu den Holzvergäsern im unteren Leistungsbereich ist die Heissluftturbine von Talbott. Im laufenden Jahr werden sich die Vor- und Nachteile aufzeigen lassen.
  - Die Verbrennungsversuche anderer Biomasse als Holz konnte erfolgreich durchgeführt und dokumentiert werden. Offene Fragen betreffen die Einhaltung der Luftreinhalteverordnung und die Zuführung und die Vermischung der verschiedenen Biomassen.

- Ökobilanz von Energieprodukten
  - Das Projekt konnte mit einiger Verspätung abgeschlossen werden; der Schlussbericht der EMPA mit der Bewertung verschiedener Biotreibstoffe wurde publiziert.

Umfassend beurteilt konnte das Forschungskonzept 2004-2007 unter Berücksichtigung der finanziellen Mittel erfolgreich umgesetzt werden. Die Erkenntnisse der Resultate wurden mit den Projekten in Zusammenarbeit mit der Industrie, an diversen Veranstaltungen und über die Programmaktivitäten von EnergieSchweiz in die Wirtschaft transferiert. Im Bereich der Pilot- und Demonstrationsanlagen wurden in der letzten Legislatur die Budgets drastisch reduziert, so dass keine neuen Projekte gestartet werden konnten.

Weitere Vorhaben:

- Forschungsprogramm Biomasse 2008-2011 (CORE-Konzept) ist in Arbeit;
- Biomassestrategie: Auslegeordnung liegt vor, Entwurf Grobstrategie in Arbeit.

### Allgemeine Betrachtungen:

**Verbrennung:** Die Verbrennung ist nach wie vor die wichtigste Technik zur energetischen Nutzung von Holz und gleichzeitig die einzige mit bewährten Anlagen und bedeutender Verbreitung. Die Feinstaub- und Stickoxidemissionen sowie die Kosten und Komfortansprüche der Betreiber sind die Haupthemmnisse zur weiteren Verbreitung. Im Berichtsjahr blieben die konventionellen Energiepreise auf hohem Niveau. Dies hatte zur Folge, dass sich auch die Energieholzpreise angeglichen haben und sich die Wirtschaftlichkeit kaum verbessert hat. Trotzdem konnten vor allem automatische Feuerungen gut verkauft werden. Die aktuellen Diskussionen über Feinstaubimmissionen zeigen nun die Wichtigkeit der Qualitätsförderung und -sicherung von Brennstoff, Planung, Betrieb und Unterhalt von Holzheizungen.

**Vergasung:** Um Vergasersysteme für die Wärme-Kraftkopplung im Leistungsbereich kleiner 1 MW zügig weiter zu entwickeln, müssen die nächsten Pilotanlagen realisiert werden können. Dies bedingt jedoch gute Standorte, Einsatz und Wille aller Beteiligten. Mehrere Holzvergaser-Anlagen sind bereits in Planung und einige kommen nächstens in Betrieb.

**Vergärung:** Das Interesse am Bau von landwirtschaftlichen Biogasanlagen hat im Berichtsjahr erneut stark zugenommen. Dies nicht zuletzt im Hinblick auf die Kosten deckende Einspeisevergütung. Sehr positiv zu werten ist aber auch das Engagement von *Coop Naturaplan*. Im Rahmen des Projekts *Naturaplan\_Biogas50* sollen in 5 Jahren rund 50 landwirtschaftliche Biogasanlagen unterstützt werden.

Die Teilrevision der Raumplanungsgesetzgebung ist im September 2007 in Kraft getreten. Sie sieht unter anderem eine zonenkonforme Bewilligung von Anlagen zur Erzeugung von Energie aus Biomasse in der Landwirtschaft vor. Diese Änderung ist für landwirtschaftliche Biogasanlagen wichtig, denn die Erfahrung zeigt, dass sie zurzeit nur wirtschaftlich betrieben werden können, wenn sie vollständig in den Landwirtschaftsbetrieb integriert sind und Co-Vergärung betreiben können. Insbesondere für landwirtschaftliche Betriebe ist die Verstromung von Biogas die einfachste und zurzeit ökonomisch interessanteste Variante. Im Vollzug gibt es aber zurzeit noch offene Fragen, die es noch zu klären gilt.

Im Zusammenhang mit der neuen **Biomasse-Potenzialstudie** [40] stellt sich die Frage, welche Strategie zur Nutzung der verschiedenen Biomassesortimente verfolgt werden soll. Welche Sortimente sollen beispielsweise für welche Energieprodukte (Strom, Wärme, Treibstoff oder entsprechende Kombinationen) verwendet werden? Welche Technologien sind dazu geeignet? Wie ist ein maximaler Gesamtnutzungsgrad erreichbar und welchen Beitrag leisten die übrigen erneuerbaren Energien? Diese Fragen werden im Rahmen einer umfassenden Biomasse-Strategie beantwortet. Die entsprechenden Grundlagen sind entweder bereits vorhanden oder stehen kurz vor Abschluss (Potenzialstudie, Energie-Perspektiven, Ökobilanz von Energieprodukten, Wirtschaftlichkeit von Biomasseanlagen, Holzgas/Erdgas-Kombikraftwerk für die Schweiz, dezentrale Stromerzeugung mit Feststoff-Biomasse). Eine erste Auslegeordnung konnte im Berichtsjahr erstellt werden.

### Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2007 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden (siehe [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) unter der angegebenen Projektnummer)

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

- [1] N. Jungbluth ([jungbluth@esu-services.ch](mailto:jungbluth@esu-services.ch)), ESU-services, Uster und R. Zah ([rainer\\_zah@empa.ch](mailto:rainer_zah@empa.ch)), EMPA Dübendorf: a) **Vorstudie "Ökobilanz von Energieprodukten"** (SB Projekt 100653) • b) **Life Cycle Inventories of Bioenergy** (SB Projekt 100653) • c) **Hauptstudie "Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen"** (SB Projekt 100653) • d) **ART-Bericht „Ökobilanz von Energieprodukten: Bewertung der landwirtschaftlichen Biomasse-Produktion“** (SB Projekt 100653) • e) Schlussbericht Projektleitung (SB Projekt 100653); <http://www.esu-services.ch/>; <http://www.empa.ch/>; <http://www.art.admin.ch/>
- [2] N. Jungbluth ([jungbluth@esu-services.ch](mailto:jungbluth@esu-services.ch)), ESU-services, Uster: **RENEW - Life Cycle Assessment for BTL-fuel production** (-) <http://www.renew-fuel.com>
- [3] S. Biollaz ([serge.biollaz@psi.ch](mailto:serge.biollaz@psi.ch)), PSI Villigen: **Design und Optimierung der Hochtemperatur-Entschwefelung für den Prozess „Methan aus Holz“** (-)
- [4] A. Prevôt ([andre.prevot@psi.ch](mailto:andre.prevot@psi.ch)), PSI Villigen: **Erweiterte Partikelanalytik für Holzfeuerungen** (JB)
- [5] S. Hammer ([stephan.hammer@infras.ch](mailto:stephan.hammer@infras.ch)), Infras Zürich: **Strategie zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz, Auslegeordnung** (-)
- [6] C. Müller und B. Liesch ([info@ines-energy.ch](mailto:info@ines-energy.ch)), INES Ingenieurbüro für nachhaltige Energiesysteme, Bern: **Feststoffvergärung in der Schweiz** (SB Projekt 101639)
- [7] M. Sommerhalder ([markus.sommerhalder@ebp.ch](mailto:markus.sommerhalder@ebp.ch)), Ernst Basler + Partner AG, Zollikon: **Abwärmenutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen** (SB Projekt 102315)
- [8] W. Edelmann ([info@arbi.ch](mailto:info@arbi.ch)) arbi GmbH, Baar: **Bestimmung der TS- und OS-Gehalte von Ausgangsmaterialien für die Feststoffvergärung** (JB)
- [9] K. Burgermeister, Berner Fachhochschule, Zollikofen: **Einfluss der Biogasproduktion auf die Keimfähigkeit von Beikrautsamen** (SB Projekt 102071)
- [10] F. Vogel ([frederic.vogel@psi.ch](mailto:frederic.vogel@psi.ch)), PSI Villigen: **Biogenes Methan durch hydrothermale Vergasung** (SB Projekt 100131) <http://www.psi.ch/>
- [11] M. Meyer ([martin.meyer@shl.bfh.ch](mailto:martin.meyer@shl.bfh.ch)), Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, SHL, Zollikofen: **Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes im unteren Leistungsbereich mit eigener Ölmühle** (JB und ZB für KTI) <http://www.shl.bfh.ch/>
- [12] Hersener/Meier ([hersener@agrenum.ch](mailto:hersener@agrenum.ch)), ARGE UF-Membran, c/o Ingenieurbüro HERSENER, Wiesendangen: **Vergärung von Gülle und Co-Substraten im Membran-Bioreaktor (Forschung, Pilotanlage und Messkampagne)** (SB Projekt 100517)
- [13] Y. Membrez et al. ([yves.membrez@erep.ch](mailto:yves.membrez@erep.ch)), EREP, Aclens: **Développement d'un concept combiné de production de biogaz et d'élimination de l'ammoniac appliqué aux effluents agricoles** (SB 101290)
- [14] E. Casartelli ([ecasartelli@hta.fhz.ch](mailto:ecasartelli@hta.fhz.ch)), HTA, Luzern: **Strömungstechnische Optimierung eines Biomasse-Rührwerks** (SB Projekt 101847)
- [15] M. Spicher ([spicher@genesys.ch](mailto:spicher@genesys.ch)), Genesys GmbH, Frauenfeld: **Monovergärung von Glycerin** (JB)
- [16] F. Reutlinger ([reutlinger@genesys.ch](mailto:reutlinger@genesys.ch)), Genesys GmbH, Frauenfeld: **Klein-Biogasanlagen in der Landwirtschaft** (SB Projekt 101999)
- [17] C. Fermaud ([charles.fermaud@ebp.ch](mailto:charles.fermaud@ebp.ch)), Ernst Basler + Partner AG, Zollikon: **Sicherheit von landwirtschaftlichen Biogasanlagen** (SB Projekt 102296)
- [18] M. Schmid ([schmid@oekozentrum.ch](mailto:schmid@oekozentrum.ch)), Ökozentrum, Langenbruck: **Emissionsarme Verbrennung und energetische Nutzung von Schwachgasen bis unter 2.5 MJ/m<sup>3</sup>** (JB) • b) **Biomass-Combined-Cycle** (JB)
- [19] W. Edelmann ([info@arbi.ch](mailto:info@arbi.ch)) arbi GmbH, Baar: **Entwicklung einer Biogasanlage in Holzbauweise** (SB BAFU, Technologieförderung)
- [20] T. Kupper ([thomas.kupper@eawag.ch](mailto:thomas.kupper@eawag.ch)), EAWAG, Dübendorf: **Organische Schadstoffe in Kompost und Gärgut der Schweiz** (<http://www.bafu.admin.ch/abfall/01472/01480/01742/index.html?lang=de>)
- [21] J. Fuchs ([jacques.fuchs@fibl.ch](mailto:jacques.fuchs@fibl.ch)), FiBL, Frick: **Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit** (<http://www.bafu.admin.ch/abfall/01472/01480/01742/index.html?lang=de>)
- [22] U. Baier ([urs.baier@zhaw.ch](mailto:urs.baier@zhaw.ch)), ZHAW Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wädenswil: **Methanverluste bei der Biogasaufbereitung** (JB und Artikel im gwa<sup>4</sup> 9/2007)
- [23] U. Baier ([urs.baier@zhaw.ch](mailto:urs.baier@zhaw.ch)), ZHAW Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Wädenswil: **Massen- und Energieflussanalyse biogener Güter in der Schweiz (Update 2007)** (-)
- [24] J. Wochele ([joerg.wochele@psi.ch](mailto:joerg.wochele@psi.ch)), PSI Villigen: **Oberflächen-Ionisationsdetektor zur Online-Messung von Alkalien in Prozessgasen (MOPSIS: Monitoring of Process Gases with a Surface Ionization Detector)** (JB)
- [25] Th. Nussbaumer ([thomas.nussbaumer@verenum.ch](mailto:thomas.nussbaumer@verenum.ch)), Verenum, Zürich: a) **IEA, Implementing Agreement Bioenergy, Task 32: Biomass Combustion and Co-Firing** (JB) <http://www.ieabcc.nl/> • b) **Low-Particle Unterschubholzfeuerung** (JB) • c) **Partikelemissionen von Holzfeuerungen bis 70 kW** (JB)
- [26] R. Bühler ([rbuehler@mus.ch](mailto:rbuehler@mus.ch)), Maschwanden: a) **IEA, Implementing Agreement Bioenergy, Task 33: Thermal Gasification of Biomass** (JB) <http://www.gastechnology.org/webroot/app/xn/xd.aspx?it=enweb&xd=ieahomepage.xml> • b) **Thermische Nutzung anspruchsvollen Biomassebrennstoffe** (JB)
- [27] A. Wellinger ([arthur.wellinger@novaenergie.ch](mailto:arthur.wellinger@novaenergie.ch)), NOVA ENERGIE, Aadorf: **IEA, Implementing Agreement Bioenergy, Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas** (JB) <http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/index.htm>

---

<sup>4</sup> Zeitschrift Gas, Wasser, Abwasser – Organ des SVGW und des VSA

- [28] L. Konersmann, ([info@solarenergy.ch](mailto:info@solarenergy.ch)), SPF Rapperswil: **Pelletsolar** (JB)
- [29] H.R. Gabathuler, ([gabathuler.ag@bluewin.ch](mailto:gabathuler.ag@bluewin.ch)), Diessenhofen: **Regelkonzepte für bivalente Holzheizungsanlagen** (JB)
- [30] T. Griffin, H. Burtscher, ([timothy.griffin@fhnw.ch](mailto:timothy.griffin@fhnw.ch)), Muttenz: **Evaluation von Messverfahren zur Messung der Wirksamkeit von Partikelabscheidern bei kleinen Holzfeuerungen** (JB)
- [31] H. Gemperle, [www.pyroforce.ch](http://www.pyroforce.ch), Emmenbrücke: **Vergaseranlage Pyroforce** (JB)
- [32] Oliver Bosshard, ([o.bosshard@woodpower.ch](mailto:o.bosshard@woodpower.ch)), Wila
- [33] C. Gaegauf, M. Schmid, [www.oekozentrum.ch](http://www.oekozentrum.ch), Langenbruck: a) **Bio-Pro** (JB) • b) **Biopoly-Heat (SB) Brennkammer für Holzfeuerstätten mit geringen Partikelemissionen** (JB)
- [34] U. Oester ([info@apex.eu.com](mailto:info@apex.eu.com)), Apex AG, Däniken: **Aufbereitungs- und Betankungsanlage für kleinere Biogasproduktionsmengen** (JB).
- [35] Urs Elber, [www.visionpellets.ch](http://www.visionpellets.ch), Wangen: **Feuchtegehalt-Änderung des Waldfrischholzes bei der Lagerung im Wald** (SB Projekt 101410)

## Liste innovativer P+D-Projekte

- [36] Jakob Bösch AG, *Schwellbrunn* und Hersener/Meier ([hersener@agrenum.ch](mailto:hersener@agrenum.ch)), ARGE MBR, c/o Ingenieurbüro HERSENER, *Wiesendangen*: kein separater SB, sondern zusammen mit [12]
- [37] U. Brücker ([ub@itz.ch](mailto:ub@itz.ch)), ARGE Swiss Farmer Power, *Horw*: **SwissFarmerPower „Biogas vom Bauer wird zum Treibstoff von morgen“**, [www.swissfarmerpower.ch](http://www.swissfarmerpower.ch)
- [38] P. Maurer ([peter.maurer@bernmobil.ch](mailto:peter.maurer@bernmobil.ch)) Bernmobil, *Bern*: **Biogasbetriebene Gelenkautobusse in Bern** (-)

## Referenzen

- [39] **Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007**, ausgearbeitet durch die Eidg. Energieforschungskommision CORE, 1. Januar 2004, [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)
- [40] **Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz**, BFE, Dezember 2004
- [41] **Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas**, Edelman et al., BFE Projekt 35'408, 2001