



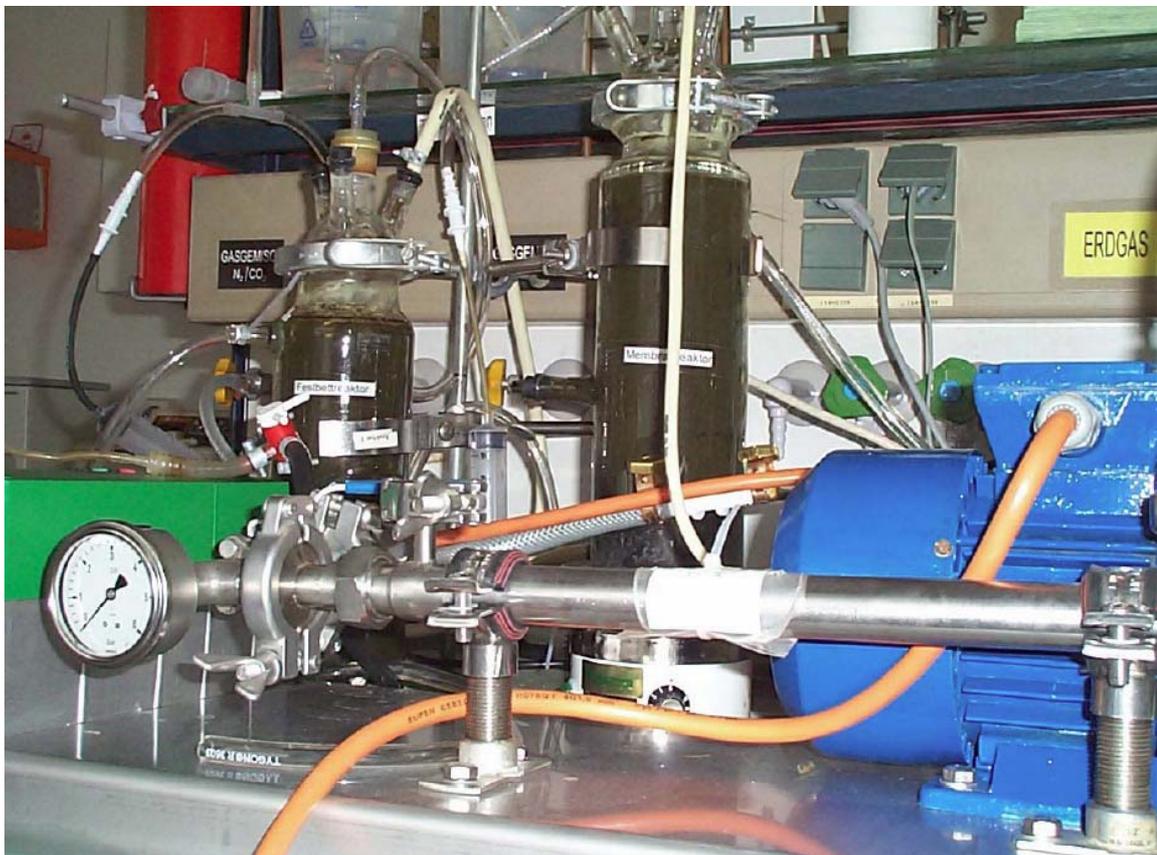
PROGRAMM BIOMASSE

Überblicksbericht zum Forschungsprogramm 2005

Daniel Binggeli

Bruno Guggisberg

daniel.binggeli@bfe.admin.ch bruno.guggisberg@bfe.admin.ch



Labor-Membranbioreaktor (MBR)

Der Labor-MBR ist im Hintergrund (Bildmitte), die Membrantrennanlage im Vordergrund zu sehen. In einer Versuchsanlage wurden verschiedene Güllefraktionen in Batchversuchen vergoren. Flankierend dazu wurden mit dem Labor-MBR Vergärungsversuche mit Dünggülle durchgeführt. (Quelle [7])

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

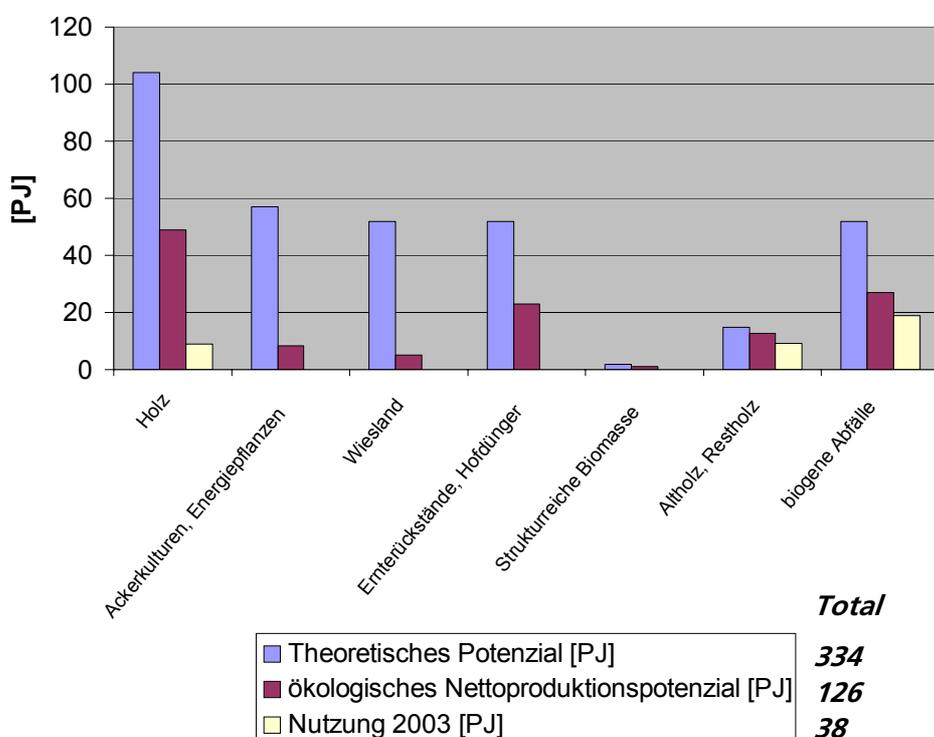
EINLEITUNG

Die Bundesverfassung verpflichtet uns unter anderem zur Förderung der nachhaltigen Entwicklung. Um dieses Ziel im Energiebereich zu erreichen, bedarf es noch grosser Anstrengungen, sowohl im technischen, als auch im politischen Umfeld.

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.

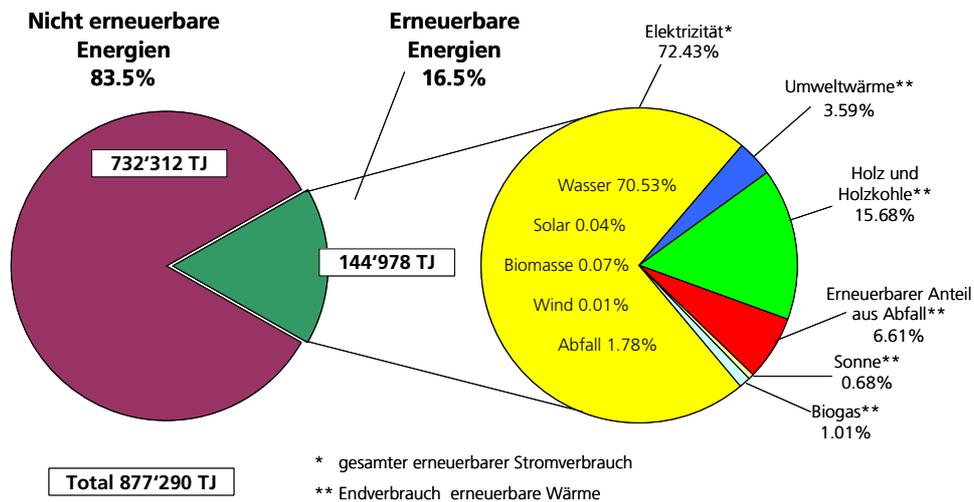
POTENZIAL UND HEUTIGE NUTZUNG

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 Langfristpotential (ökologisches Nettoproduktionspotential 2040) beträgt rund **126 PJ**. Das heutige ökologische Potenzial liegt bei ca. **123 PJ**, wird jedoch lediglich zu knapp **einem Drittel (38 PJ)** energetisch genutzt (Figur 1).



Figur 1 Potenzial Biomasse 2040

Der Anteil der Biomasse am schweizerischen Endverbrauch erbrachte 2004 rund 4.1% (thermisch und elektrisch). Dies entspricht einem Anteil am Endverbrauch der erneuerbaren Energien von 25 % (Figur 2). Das mittelfristige politische Ziel des Bundes ist jedoch mindestens eine Verdoppelung der energetischen Nutzung von Biomasse.



Figur 2: Schweizerischer Endenergieverbrauch 2004

GENERELLE ZIELE FÜR DIE BIOMASSENUTZUNG IN DER SCHWEIZ

- Energieträger Biomasse mit maximaler Substitutionswirkung (bezüglich fossile bzw. nicht erneuerbare Energien) 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, Stromerzeugungen aus Biomasse

ANVISIERTE ZIELE 2005

In Übereinstimmung mit dem Konzept der Energieforschung des Bundes [29] wurden 2005 folgende Ziele verfolgt:

- Qualitätssicherung:
 - bessere Kenntniss über organische Schadstoffe in Kompost/Gärgut und über die Nutzenaspekte in Kompost/Gärgut
 - Auswertung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit Co-Vergärung
 - Diverse Projekte zur Optimierung und Schadstoffminderung bei Holzfeuerungen

- Neue Technologien:
 - Weiterentwicklung hydrothermale Vergasung, Inbetriebnahme einer Laboranlage mit kontinuierlicher Biomassezufuhr
 - erste Versuche mit KDV-Anlage
 - Verbrennungsversuche verschiedener Biomassen
- Ökobilanz von Energieprodukten
 - Abschluss Teilprojekt 1 (Datenerhebung)
 - Start Teilprojekt 2 (ökologische Bewertung) mit konkreten Fragestellungen

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2005

VERFAHRENSOPTIMIERUNG

Gemäss Abschätzungen des Bundesamts für Umwelt tragen die Verbrennungsprozesse zu rund 44% zur gesamten PM10-Belastung bei. Der Anteil der Holzbrennstoffe wird auf 8% des gesamten Feinstaubes geschätzt, weitere 7% werden der offenen Verbrennung und der Verbrennung von Forstabfällen zugeordnet. Die Holzheizungen tragen damit zu 18% der Verbrennungspartikel bei, die offene Verbrennung zu 16%. Holzheizungen und offene Verbrennung verursachen zusammen annähernd gleich viel Feinstaub wie die Dieselmotoren, welche 39% der Verbrennungspartikel ausmachen. Die Holzheizungen verursachen zudem ein Mehrfaches an Feinstaub wie sämtliche Öl- und Gasheizungen, obwohl sie einen geringeren Anteil zur Wärmeerzeugung leisten. In Bezug auf die Überschreitung der Feinstaubgrenzwerte wird die Bedeutung der Holzheizungen noch dadurch verschärft, dass sie während der bezüglich Feinstaub kritischen kalten Jahreszeit betrieben werden und ihre Emissionen zudem im Siedlungsraum anfallen. Der Beitrag der Holzfeuerungen zur lokalen Feinstaubbelastung kann deshalb besonders im Winter noch deutlich höher sein als im Jahresdurchschnitt in der Schweiz. Massnahmen zur Verminderung der Feinstaubemissionen aus Holzfeuerungen sind deshalb vordringlich, wobei Unterschiede bezüglich der verschiedenen Brennstoffe und Feuerungstypen zu berücksichtigen sind. Bei Feuerungsanlagen für Holz und anderer Biomasse hat die Reduktion des Staub- und Stickoxidgehaltes deshalb hohe Priorität. Im Folgenden werden die wichtigsten Projekte aufgeführt:

Mit der **Systemoptimierung automatischer Holzfeuerungen** [12] wird eine neue Dienstleistung für Betreiber von automatischen Holzfeuerungen angeboten. Sie hat zum Ziel, dass bestehende automatische Holzfeuerungen ökologisch und ökonomisch optimal betrieben werden. Den Schwerpunkt bilden Holzkessel zwischen 300 kW und 1 MW, die seit mindestens fünf Jahren in Betrieb sind. Beurteilt werden die Bereiche Brennstoff, Technik und Betrieb in Bezug auf technische und wirtschaftliche Optimierung. Als Verbesserungsmöglichkeiten werden betriebliche, technische und logistische Massnahmen aufgezeigt und wo möglich umgesetzt. Für Massnahmen mit Investitionsfolgen werden Potenzial und Kosten aufgezeigt und die Realisierung unterstützt. Die Erkenntnisse der Systemoptimierung wurden bei der Erarbeitung eines Handbuchs berücksichtigt, an Symposien und Planungskursen an Fachleute vermittelt und in Zeitschriften und Tagungsbänden publiziert.

Im Projekt **NOS** [15] wurde an einer stationären und einer mobilen Anlage versucht, mit neuer Geometrie der Ausbrennkammer, wassergekühlten Zyklon und mit einem Keramik-Kondensations-Wärmetauscher die Staubabscheidung und die Stickoxide zu reduzieren. Die Staubemissionen konnten um ca. 40%, die NO_x-Werte jedoch kaum reduziert werden. Das Projekt wird aufgrund des tiefen Umsetzungs-Potenzials nicht weitergeführt.

Aufbauend auf Untersuchungen zum *Low-Particle-Konzept* wird eine **Low-Particle Unterschubholzfeuerung** [12] zur Verbrennung von naturbelassenen Holzschnitzeln für den Leistungsbereich von 200 bis 800 kW entwickelt. Bei Wald- und Sägerestholz mit Rindenanteil von unter 5 Gew.-% sollen Partikelemissionen vor Zyklon von unter 50 mg/m³ (bei 13 Vol.-% O₂) erreicht werden. Dazu ist im Berichtsjahr eine Prototypanlage mit einer Leistung von 300 kW realisiert worden. 2006 wird nach einer Optimierungsphase eine umfangreiche Erfolgskontrolle durchgeführt.

Im Rahmen des BFE-Projekts *Qualitätsmanagement Holzheizwerke* wurden Standard-Schaltungen für Holzheizungsanlagen definiert. Diese beschreiben zwar generell die Schnittstellen, das Regelkonzept und die Mess-Datenerfassung zur Betriebsoptimierung, die detaillierte Planung und Realisierung wird jedoch weitgehend den beteiligten Firmen überlassen. Mit Projekt **Regelkonzepte für bivalente Holzheizungsanlagen** [16] sollen verschiedene definierte Standard-Schaltungen auf ihre Tauglichkeit in einer Feldmessung bestätigt werden. Im Erstprojekt *Azmoos* handelte es sich um eine bivalente Holz-

heizungsanlage mit Speicher. Im vorliegenden Messprojekt *Kaisten* wird eine Anlage ohne Speicher untersucht. Die ersten Zwischenresultate werden im Sommer 2006 vorliegen.

Die Entwicklung eines günstigen **Rohrelektrofilters** [19] für Anlagen im Bereich zwischen 200 und 1000 kW hat die gewünschten Eigenschaften erreicht. Der Aufbau des Filters ist sehr kompakt und kann damit gut für Anlagen für die vorgesehenen Grössen eingesetzt werden. Bei einem hohen Rohstaubgehalt von 530 bis 712 mg/m³ wurden nach dem E-Filter Werte im Bereich von 3 bis 16,5 mg/m³ bei 13 % O₂ erreicht. Die Abreinigung mit Reinigungsbürsten funktioniert.

Gemäss Studie [30] ist das Potenzial anderer verholzter Biomasse als Holz beträchtlich. Die **Thermische Nutzung dieser anspruchsvollen Biomassebrennstoffe** [13] ist aber noch wenig erprobt. Auf einer Pilotanlage wurden in einer ersten Serie Verbrennungsversuche mit Brennstoffmischungen Pferdemist/Holz, Pferdemist/Getreideabgang, Pilzkompost/Holz und 100% Getreideabgang durchgeführt. Die Versuche zeigten, dass bei optimaler Beimischung zum Grundbrennstoff Holz ein kontinuierlicher Abbrand gewährleistet werden kann. Die Staubemissionen lagen zum Teil nach dem Elektrofilter wesentlich höher als mit dem Normbrennstoff Holz. Bei weiteren Verbrennungsversuchen soll deshalb auch die Problematik des Elektrofilters vertieft untersucht werden.

Eine weitere gute Möglichkeit zur Reduktion von Partikel- und NO_x-Emissionen ist die direkte Verbrennung von Holzgas aus Holzvergaser in einem Gaskessel oder mittels BHKW. An der **Vergaseranlage Pyroforce** [18] in Spiez konnte mit weiteren Optimierungen der Betrieb ohne Beobachtung wesentlich auf 6 bis 12 Stunden gesteigert werden und die Verfügbarkeit wurde mit über 90 % bei einzelnen Betriebsphasen ausgewiesen. Aktuelle Daten sind laufend unter www.pyroforce.ch abrufbar.

Folgende Projekte im Bereich Verfahrensoptimierung betreffen die übrige Biomasse (ohne Holz):

BHKW-Optimierung und SCR-Katalysator Kompaktbiogasanlage Küssnacht [6]: Damit weiterhin die hocheffizienten Zündstrahlmotoren zur Nutzung des Biogases auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzt werden können, müssen die Abgase nachbehandelt werden, um die gesetzlichen Grenzwerte einhalten zu können. Die Stickoxidfracht schwankt wegen der ständig ändernden Biogasqualität (Methangehalt) sehr stark. Es wurde ein Abgasreinigungskatalysator entwickelt, der mit diesen Anforderungen und den einzigartigen Rahmenbedingungen auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen umgehen kann. Es gelang, einen standardisierten Katalysator auf SCR-Basis zu entwickeln, der alle Schwankungen im Abgas von BHKW in Biogasanlagen auszugleichen vermag. Die Werte der Luftreinhalteverordnung (LRV) werden mit dem neuen System problemlos eingehalten. Sollten sich in Zukunft die Abgasgrenzwerte weiter verschärfen, so kann der Katalysator entsprechend ausgebaut werden. Es wurden bereits mehrere Katalysatoren erfolgreich auf verschiedenen Biogasanlagen in der Schweiz eingebaut.

Développement d'un concept combiné de production de biogaz et d'élimination de l'ammoniac appliqué aux effluents agricoles [8] : Le projet a pour but de développer un concept intégré de production de biogaz et d'élimination biologique de l'ammoniac dans un contexte caractérisé par un développement de nouvelles installations de biogaz agricole. Il comporte deux parties expérimentales, la première en laboratoire et la seconde sur un système de bioréacteurs pilote, qui pourraient être suivies, en cas de succès, d'un développement pratique sur des unités de méthanisation à la ferme. La première partie a débuté au cours du second semestre 2005.

ANALYSE UND OPTIMIERUNG DER STOFFFLÜSSE

MBR-Messkampagne [7]: Ziel des Projekts ist die Abklärung der Eignung des Membranreaktors (MBR) im Einsatz sowohl mit Gülle allein als auch mit Gülle und Co-Substraten. Anhand von Laboruntersuchungen und einer Versuchsanlage wurden Erkenntnisse erarbeitet, die in den Betrieb einer P&D-Anlage einfließen sollen. Die Versuchsanlage ist prozesstechnisch geprüft und in Betrieb gesetzt worden. Die Biomasse kann im Fermenter vollständig zurückgehalten werden. Dies erlaubt eine Reduktion des Fermentervolumens um derzeit mindestens 75 %. Der Gärprozess im MBR verläuft stabil.

Organische Schadstoffe in Kompost und Gärgut der Schweiz [9]: 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 soll eine solide Datenbasis als Grundlage für Qualitätssicherung und Risikomanagement erarbeitet werden. Der Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung wird massgeblich mit potenziellen, nicht genügend bekannten Auswirkungen des Eintrags von organischen Schadstoff-

fen durch Klärschlammdüngung in die Böden begründet. Eine ähnliche Entwicklung muss bei Kompost und Gärgut wegen deren grossen ökologischen und volkswirtschaftlichen Bedeutung vermieden werden.

Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit [10]: In der Schweiz werden zurzeit rund 600'000 t TS biogene 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 EPFL bzw. EAWAG und der FAL koordiniert.

Teilstatistik Biogas 2004 [11]: In der Biogasstatistik 2004 wurden die Daten der Produktion und Nutzung von Biogas der Bereiche Landwirtschaft, Industrieabwasservorreinigung, Bioabfallvergärung sowie Co-Vergärung in den Faulanlagen von Kläranlagen präsentiert und kommentiert. Die Daten sind in die Statistik der erneuerbaren Energien 2004 eingeflossen.

NEUE UMWANDLUNGSTECHNOLOGIEN

Im Projekt **Biogenes Methan durch hydrothermale Vergasung** [4] wird ein hydrothermales Vergasungsverfahren für nasse Biomassesortimente entwickelt, mit dem Ziel, die Biomasse vollständig zu Methan und CO₂ zu vergasen und Nährsalze zurück zu gewinnen. Die Laborversuche mit 9-10 Gew% Holz in einem absatzweise betriebenen Hochdruck-Reaktor bei 390-400°C und ca. 300 bar waren erfolgreich. Es konnte gezeigt werden, dass Holz vollständig zu CH₄, CO₂ und H₂ vergast werden kann. Für die kontinuierliche Anlage im Labormassstab haben sich wiederholte apparative Schwierigkeiten zur Förderung gemahlener Holz suspensionen ergeben. Es wurde deshalb beschlossen, feststoffreies Gülle-Retentat ab Ultrazentrifuge zu verwenden. Dadurch ist sowohl die Verwendung reeller Biomasse gewährleistet – eine der Leitideen dieses Projekts – als auch die Umschiffung weiterer vermeidbarer Probleme durch die kleine Grösse der Anlage. Im Weiteren wurde die Suche nach stabilen Katalysatoren als prioritär eingestuft (Ziel: keine nennenswerte Deaktivierung während 100-120 Stunden). Als sehr aussichtsreich hat sich ein Ruthenium/Kokosnussskohlenstoff Katalysator herausgestellt. Bis jetzt konnten ca. 50 h Dauerversuch akkumuliert werden, ohne dass eine Deaktivierung beobachtet wurde.

Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes im unteren Leistungsbereich mit eigener Ölmühle [5]: 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 indes die aktuellen Abgasvorschriften nicht. Für Pflanzenöl-BHKW im Leistungsbereich von 50 bis 500 kW besteht zudem eine Angebotslücke. Ein breit abgestütztes Konsortium will deshalb ein mit Rapsöl betriebenes Blockheizkraftwerkes (BHKW) mit eigener Ölversorgung entwickeln, welches die Schweizer Abgasnormen erfüllt. Besonders untersucht werden dabei auch die Möglichkeiten des ökologisch optimierten Anbaus von Ölkulturen. Das Projekt erfährt eine zusätzliche Unterstützung vom Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern.

Im EU-Projekt **Bio-Pro** [20] fokussiert sich der Schweizer Partner auf die Entwicklung der Brenner-technologie mit flammloser Oxidation der Firma WS-Wärmeprozess-technik (D). In einem ersten Schritt galt es, den Verbrennungsprozess des Prototypenbrenners auf den vom Projektkonsortium definierten Referenzbrennstoff Erdgas zu untersuchen. Prozesstechnisch konnte der Brennerstart vereinfacht werden. Dadurch gelang es, die Aufheizphase der Brennkammer auf die erforderliche Prozesstemperatur für die flammenlose Verbrennung zu verkürzen. Die Emissionswerte des Referenzbrennstoffs Erdgas unterschritten für NO_x mit 5 bis 30 mg/m³ den Zielwert von 40 mg/m³ deutlich. Die Kohlenmonoxidwerte erreichten bis 5 mg/m³ bei einem Zielwert von 10 mg/m³. Ein zweiter Projektschritt beinhaltete den Betrieb des Brenners mit Gasen von geringem Heizwert bis um 5 MJ/m³. Es wurde eine Mischeinrichtung aufgebaut, mit der sich aus Erdgas und Abgas, Schwachgas mit verschiedenen Heizwerten erzeugen lässt. In Versuchsreihen konnte gezeigt werden, dass sich der flammlose Betrieb auch mit Brenngasen mit geringem Heizwert einstellt. Die NO_x-Emissionen lagen unter denen des Referenzbrennstoffs Erdgas.

Das in Vorversuchen chargenweise betriebene Verfahren der **katalytischen Direkt-Verflüssigung (KDV)** [17] von Biomasse soll zu einer kontinuierlichen Versuchsanlage im Technikums-Massstab mit einem Durchsatz von 20 bis 100 kg pro Stunde erweitert und in mehreren Versuchsreihen ausgemessen werden. Anhand von Messungen sollen die wichtigsten Kenngrössen der Anlage bestimmt sowie

die Produktströme zur Analyse erfasst werden. Damit werden eine Stoff- und Energiebilanz im stationären Zustand erstellt und der Umwandlungswirkungsgrad zu Treibstoff bestimmt. Im Weiteren werden die Zusammensetzung der Produkte sowie die Eignung des Hauptprodukts als Dieseltreibstoff nach EN 590 bestimmt. Im Berichtsjahr wurde die Laboranlage planmässig erweitert und eine Rektifikationskolonne zur Produktfraktionierung nachgeschaltet. Ab 2006 erfolgen die Inbetriebsetzung der Anlage sowie die Vorbereitung für die Durchführung der ersten Messreihen.

GRUNDLAGEN, STUDIEN, KONZEPTE

Ökobilanz von Energieprodukten [1]: In diesem Projekt wird die Erarbeitung von Sachbilanzdaten für Energieprodukte aus Biomasse durchgeführt. Diese Daten sollen zur Ergänzung der ecoinvent Datenbank dienen. Im Jahr 2005 wurden Sachbilanzdaten zu den Themen *Biogas*, *BTL/synthetische Treibstoffe*, *Transport* und *Sonstige* erarbeitet. Alle Daten und Berichte wurden durch den Projektleiter mehrmals reviewt. Die Daten wurden eingelagert und die kumulierten Ergebnisse berechnet.

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 Jahr 2005 wurde die Zieldefinition für die Ökobilanz von Biomass-to-liquid (BTL) fuels fertig gestellt. Ausserdem wurde mit der Datenerhebung für die Biomasseproduktion und die Syntheseverfahren begonnen.

RENEW - Erzeugung von synthetischem Erdgas aus Holz, Stroh und Black liquor zur Nutzung als Biotreibstoff [3]: Ziel des EU-Projekts ist die Weiterentwicklung und die Bewertung unterschiedlichster Herstellverfahren für Biotreibstoffe der zweiten Generation. Im Vordergrund stehen flüssige Treibstoffe wie synthetischer Diesel und Benzin, Dimethylether (DME), Methanol und Ethanol, die aus Holz, Stroh oder Black liquor (Schwarzlauge) hergestellt werden. Als gasförmiger Treibstoff wird zu Vergleichszwecken synthetisches Erdgas betrachtet. Alle diese Treibstoffe werden über einen katalytischen Prozess aus Synthese- bzw. Produktgas hergestellt. Je nach erwünschtem Treibstoff muss ein anderer Katalysator verwendet und das Synthesegas entsprechend gereinigt und konditioniert werden. Das Ziel des Arbeitspakets 5.5 ist die Erarbeitung von technischen Konzepten für die Umwandlung von Biomasse in synthetisches Erdgas. Darauf aufbauend sollen techno-ökonomische Daten für viel versprechende Herstellverfahren bereitgestellt werden. Das PSI ist für dieses Arbeitspaket verantwortlich

Partikel aus vollständiger Holzverbrennung sind grösstenteils Salze, während Partikel von Dieselmotoren hauptsächlich aus Russ bestehen. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt **Wirkung von Verbrennungspartikeln** [12] soll einen Beitrag liefern zum Vergleich der Gesundheitsrelevanz von Abgaspartikeln aus vollständiger Holzverbrennung, aus unvollständiger Holzverbrennung sowie aus Dieselmotoren. Dazu werden die Zytotoxizität und die Mutagenität der Partikel mit in-vitro Tests beurteilt. Bis anhin wurden Partikelproben an einer automatischen Holzfeuerung und an einem modernen PW-Dieselmotor ohne Partikelfilter gesammelt und untersucht. Die Resultate der Zytotoxizitätstests an V79-Zellen zeigen, dass der Dieselruss eine stärkere Zellschädigung hervorruft als die gleiche Menge Feinstaub aus der automatischen Holzfeuerung. 2006 werden die standardisierten Zelltests zur Zytotoxizität auf die Proben aus Kleinf Feuerungen ausgeweitet. Ausgehend von diesen Proben soll das potenzielle Krebsrisiko mit Hilfe des Mikrokerntests untersucht werden.

Die Studie **Dezentrale Stromerzeugung mit Feststoff-Biomasse** [20] evaluiert den technischen Forschungsstand und die Wirtschaftlichkeit von Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen im Leistungsbereich <1 MWth. Für den Vergleich werden auch Betriebserfahrungen und ökonomische Daten von Anlagen >1 MWth erhoben. Auch für dezentrale Feststoff-Biomasse-WKK-Systeme mit BHWK-Anlagen, die mit zentral hergestellten Fischer-Tropsch-Biofuels betrieben werden sollen, wurden Kenndaten einer Biomass-to-Liquid (BTL) Anlage erhoben. Das technische Potential für Biomasse WKK-Anlagen in der Schweiz wurde anhand der Statistik über die Verteilung des Heizwärmebedarfs nach Wärmehöchstleistungsklassen berechnet. Für zwei Szenarien wurde angenommen, dass 10% bzw. 25% der WKK-Anlagen realisiert werden könnten. Diese Anlagen würden dann 3.2 - 8.1 PJ Biomasseenergie benötigen. Dies entspricht 13 - 33% der gesamten potentiell ökologisch nutzbaren Biomasse in der Schweiz.

Die Konzeptstudie **Holzgas/Erdgas-Kombikraftwerk für die Schweiz** [12] stellt die kombinierte Nutzung von Holz und Erdgas in einem Kombikraftwerk vor. Im Weiteren werden das Potenzial in Form von Waldholz, Restholz und Altholz für die Schweiz aufgezeigt und die Stromgestehungskosten abgeschätzt. Die Anlagentechnik basiert auf einer grosstechnischen Wirbelschichtvergasung für Holz und

einem für Erdgas und Holzgas ausgelegten Kombikraftwerk, in dem 20% der Gesamtleistung durch Holz erbracht werden. Das gereinigte Holzgas soll dazu in einer Gasturbine genutzt und die Abwärme zum Antrieb einer Dampfturbine eingesetzt werden. Während mit Erdgas nach diesem Prinzip Wirkungsgrade von rund 60% erzielt werden können, wird der Wirkungsgrad für Holz durch die Umwandlung zu Holzgas vermindert. Bei einem Vergasungswirkungsgrad von 75% ist ein Wirkungsgrad von Holz zu Strom von gegen 45% möglich. Allerdings sind sowohl der erzielbare Wirkungsgrad als auch die spezifischen Investitionskosten stark von der Anlagengrösse abhängig. In der Studie wird der Einfluss der Anlagengrösse auf den Wirkungsgrad und die Stromgestehungskosten aufgezeigt und dabei auch der mit zunehmender Anlagengrösse steigende Transportaufwand berücksichtigt. Im Weiteren wird ein Vergleich zwischen einem reinen Holzgas-Kombikraftwerk und einem kombinierten Holzgas/Erdgas-Kombikraftwerk diskutiert.

Nationale Zusammenarbeit

Die meisten Projekte wurden direkt mit der Industrie und zusammen mit diversen Fachhochschulen, den ETH oder privaten Organisationen durchgeführt. 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.

Weitere Ausbildungs-, Informations- und Imageprojekte zur Verwendung der Ressource Biomasse finden über die Biomasse-Partner des Aktionsprogramms EnergieSchweiz statt (www.holzenergie.ch, www.biomasseenergie.ch).

Internationale Zusammenarbeit

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

- Task 32: **Biomass Combustion and Co-firing** [12]
- Task 33: **Thermal Gasification of Biomass** [13]
- Task 37: **Energy from Biogas and Landfill Gas** [14]

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
- **Gasification Network** [13]: <http://www.thermalnet.co.uk/>
- **QM-Holzheizwerke** [12]: www.qmholzheizwerke.ch
- **Biopro** [20]: www.eu-projects.de

Pilot- und Demonstrationsprojekte

VERFAHRENSOPTIMIERUNG

Kompaktbiogasanlage Gansner [21]: Die Biogasanlage Gansner ging im Juni 2004 in Betrieb. Während des ersten Betriebsjahres wurden die Eckdaten, welche zum Betrieb einer Biogasanlage gehören, erfasst. Zusätzlich wurde vor allem die nachgeschaltete Kompostiereinheit beobachtet. Damit kann mit der Abwärme des Motors der separierte Feststoffanteil nach dem Fermenter automatisch

nachkompostiert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden konstruktive, betriebliche und analytische Verbesserungsmöglichkeiten für die Nachrotte des Gärguts aufgezeigt. In Versuchsreihen wurde beispielsweise die Animpfstrategie mittels Kompostzugabe zur Nachrotte des Gärgut-Feststoffs optimiert. Optimale Milieubedingungen für den Rotteprozess ermöglichen eine vollständige Hygienisierung. Die effiziente Überführung des anaeroben Materials in die aerobe Heissrotte vermindert Stickstoffverluste in Form von Ammoniak und ermöglicht die optimale Ausnutzung der Rottetrommeln. Um die VKS-Richtlinien 2001 für eine Anwendung im Garten- und Landschaftsbau und ein stabiles Produkt mit bodenverbessernden Eigenschaften zu erreichen, ist jedoch bei dem aktuellen hohen Durchsatz trotz der zwei hintereinander geschalteten Trommeln eine zusätzliche Kompostierung nötig.

Kompaktbiogasanlage Winzeler [22]: Die landwirtschaftliche Biogasanlage Winzeler ging am 19. November 2004 in Betrieb. Nebst den Eckdaten, welche zum Betrieb einer Biogasanlage gehören, wurde vor allem das Wärmemanagement beobachtet. Das Biogas-BHKW liefert mit zwei Holzschnitzelfeuerungen Wärme für ein lokales Fernwärmenetz. Die Biogasanlage liefert mit rund 125 kW thermischer Leistung die Grundauslastung während des ganzen Jahres. Im Sommer 2005 wurde eine 500 kW Holzschnitzelheizung in Betrieb genommen. Zusammen mit der bestehenden 100 kW Schnitzelheizung können insgesamt 725 kW in ein Heizwärmenetz eingespeist werden. Es wurde speziell die Kombination Biogas-BHKW und Holzfeuerung untersucht, da dieses Modell für landwirtschaftliche Betriebe besonders geeignet scheint. Die aufgetretenen Probleme sind allgemeiner Natur und nicht spezifisch für eine Biogasanlage.

Kompakt-Biogasanlage für die Landwirtschaft mit effizienter BHKW-Technik [24]: Im Januar 2005 konnte mit den Bauarbeiten begonnen werden. Im August konnte die Inbetriebnahme der Anlage erfolgen. Bereits im November 2005 produzierte die Anlage durchschnittlich 700 m³ Biogas pro Tag. In verschiedenen Bereichen werden Betriebsoptimierungen durchgeführt. Beim Gülle-Management mit der Zuführung von Co-Substraten liegt noch Potential für Vereinfachungen. Um solchen Anlagen bessere Rahmenbedingungen im Bereich Baubewilligung und Vergütung von Ökostrom zu bieten, hat sich das Komitee *gasgeben.ch* gebildet.

ANALYSE UND OPTIMIERUNG STOFFFLUSS

MBR-Pilot [23]: Die P&D-Anlage zur Vergärung von Schweinegülle und Abfällen mit zusätzlicher Nährstoffaufbereitung ist im Bau und wird mit einer Verarbeitungskapazität von rund 35'000 Jahrestonnen realisiert. Die Inbetriebnahme ist für Mitte 2006 vorgesehen.

NEUE UMWANDLUNGSTECHNOLOGIEN

SwissFarmerPower (Projekt prix pegasus) [25]: Der Bau einer in der Schweiz erstmaligen, überregionalen Biogasanlage mit Einspeisung des aufbereiteten Biogases ins lokale Erdgasnetz und nachgeschalteter, technischer Gülleaufbereitung, ist auf Kurs. Mit dem Baubeginn wird im Juli 2006 gerechnet. Mit jährlich über 45'000 Tonnen Verarbeitungskapazität, über 60 beteiligten Landwirten und Firmen sowie dem innovativen Betriebskonzept, bei welchem nebst der Einspeisung von aufbereitetem Biogas ins Erdgasnetz auch ein nachhaltiger Beitrag zur Nährstoffentlastung in einer tierreichen Region geleistet wird und dem CO₂-Reduktionspotential im Treibstoffbereich von jährlich 2'700 Tonnen, dürfte das Projekt Gesamtschweizerische Ausstrahlung erhalten.

Biogasbetriebene Gelenkautobusse in Bern [26]: 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 CO₂-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.

Biogaz agricole Installation de production de biogaz a partir de fumier et autres cosubstrats [27]: Das Projekt hat in der Bevölkerung Widerstände hervorgerufen, womit Verzögerungen entstanden. Die stetige Information sowie die gegenwärtige Entwicklung im Energiebereich (steigende Preise, Fragen zur Versorgungssicherheit etc.) haben die Problematik nun etwas entschärft.

Erhöhung des Gasertrags durch Co-Vergärung von protein- und fettreichen Stoffen [28]: Vor dem Hintergrund, eine Möglichkeit der besseren energetischen Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur einer ARA aufzuzeigen und gleichzeitig die Leistungsfähigkeit einer Mikrogasturbine darzustellen, fand von Frühjahr bis Herbst 2004 in Frick AG ein Versuch zur Co-Vergärung von kommunal-

lem Klärschlamm mit Frittieröl aus der Gastronomie statt. Dabei wurde dem Klärschlamm ein Substrat aus nicht gereinigtem, verbrauchtem Frittieröl beigemischt. Zur Umwandlung des in der Faulung entstehenden Biogases in elektrische Energie wurde eine Mikrogasturbine mit einer elektrischen Leistung von 30 kW verwendet. Es konnte festgestellt werden, dass das eingesetzte Co-Substrat gut abbaubar ist und eine Steigerung der Biogasproduktion erreicht wurde. Die Prozessstabilität und die Reinigungsleistung der ARA wurden nicht beeinträchtigt, da weder während des Projektes, noch im Nachhinein Veränderungen in den Abläufen der ARA gefunden werden konnten oder sonstige biotechnische Probleme aufgetreten sind. Grundsätzlich ist zu sagen, dass durch das Hinzufügen eines Co-Substrates eine wesentliche Erhöhung der Biogasproduktion möglich ist und man durch sehr geringe Änderungen an der Infrastruktur einer bestehenden Abwasserreinigungsanlage die Biogasproduktion erheblich steigern kann. Die Erfahrungen mit der Mikrogasturbine zeigen, dass die vom Hersteller gepriesenen Vorteile der hohen Verfügbarkeit und des geringen Wartungsaufwand sich in der Praxis bestätigen lassen. Der elektrische Wirkungsgrad der 30 kW-Mikrogasturbine wird vom Hersteller mit 26 +/- 2 % angegeben. Eine Messung bei Inbetriebnahme ergab einen Wert von 25,4 %. Positiv zu vermerken ist, dass dieser Wirkungsgrad seit zwei Jahren praktisch gleich ist; das Degrading ist somit vernachlässigbar.

Bewertung 2005 und Ausblick 2006

- Qualitätssicherung:
 - Kompost-/Gärgut-Projekte: erste Erkenntnisse liegen vor
 - landwirtschaftliche Biogasanlagen mit Co-Vergärung: zwei weitere Projekte konnten erfolgreich abgeschlossen werden; die entsprechenden Schlussberichte und Auswertungen liegen vor
 - Mit sechs Projekten konnte das Wissen für Optimierungen und Schadstoffminderungen ausgebaut und umgesetzt werden. Drei davon sind bereits erfolgreich abgeschlossen. Diese Aktivitäten werden auch in Zukunft weiter geführt.
- Neue Technologien:
 - hydrothermale Vergasung: die Inbetriebnahme einer Laboranlage mit kontinuierlicher Biomassezufuhr konnte nicht wie geplant durchgeführt werden
 - Bei der KDV-Anlage ist eine unwesentliche Verzögerung von rund drei Monaten aufgetreten. Konkrete Resultate sind noch keine verfügbar.
 - Eine erste Serie von Verbrennungsversuchen anderer Biomasse als Holz konnte erfolgreich durchgeführt und dokumentiert werden.
- Ökobilanz von Energieprodukten
 - Teilprojekt 1 (Die Datenerhebung konnte abgeschlossen werden; während der Erarbeitung der Fragestellungen für die ökologische Bewertung hat sich allerdings zusätzlicher Bedarf an Datensätzen ergeben
 - Teilprojekt 2 (ökologische Bewertung) konnte wie geplant gestartet werden

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 der Nutzung von Energieholz. Im Berichtsjahr sind die konventionellen Energiepreise weiter angestiegen und blieben auf hohem Niveau. Folglich ist auch die Holzenergie im Betrieb wirtschaftlicher geworden. Trotz den hohen Investitionen für Holzfeuerungen konnten vor allem Pelletfeuerungen gut verkauft werden. Die aktuellen Diskussionen über Feinstaubimmissionen zeigen nun die Wichtigkeit der Qualitätssicherung von Brennstoff, Planung, Betrieb und Unterhalt von Holzheizungen.

Vergasung: Um Vergasersysteme für Treibstoff, Strom und/oder Wärme zügig weiter zu entwickeln, müssten die nächsten Pilotanlagen realisiert werden können. Dies bedingt jedoch gute Standorte, Einsatz und Wille aller Beteiligten.

Vergärung: Das Interesse am Bau von landwirtschaftlichen Biogasanlagen hat im Berichtsjahr erneut stark zugenommen. Obwohl die Streichung der P+D-Mittel hemmend wirkt, konnten einige Anlagen den Betrieb aufnehmen und daraus wertvolle Erfahrungen gesammelt werden. Weitere Anlagen sind in Planung. Sehr positiv zu werten ist das Engagement von Coop Naturaplan. Im Rahmen des Pro-

jekts Naturaplan_Biogas50 sollen in den nächsten 5 Jahren rund 50 landwirtschaftliche Biogasanlagen unterstützt werden.

Die geplante Teilrevision der Raumplanungsgesetzgebung sieht unter anderem eine zonenkonforme Bewilligung von Anlagen zur Erzeugung von Energie aus Biomasse in der Landwirtschaft vor. Diese Anpassungen sind wichtig, da die Erfahrung zeigt, dass landwirtschaftliche Biogasanlagen 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 Zusammenhang mit der neuen **Biomasse-Potenzialstudie** [30] 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 sollen im Rahmen einer umfassenden Biomasse-Strategie beantwortet werden. Die entsprechenden Grundlagen sind zum Teil vorhanden (Potenzialstudie) oder in Arbeit (Energie-Perspektiven, Ökobilanz von Energieprodukten, Wirtschaftlichkeit von Biomasseanlagen, Holzgas/Erdgas-Kombikraftwerk für die Schweiz, dezentrale Stromerzeugung mit Feststoff-Biomasse).

Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht 2005 vorhanden

(SB) Schlussbericht vorhanden (siehe www.energieforschung.ch)

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

- [1] N. Jungbluth (jungbluth@esu-services.ch), ESU-services, Uster: a) **Vorstudie "Ökobilanz von Energieprodukten"** (SB) b) **Hauptstudie "Ökobilanz von Energieprodukten" (Teilprojekt 1)** (JB) <http://www.esu-services.ch/>.
- [2] N. Jungbluth (jungbluth@esu-services.ch), ESU-services, Uster: **RENEW - Life Cycle Assessment for BTL-fuel production** (JB) <http://www.renew-fuel.com>.
- [3] S. Biollaz (serge.biollaz@psi.ch), PSI Villigen: **RENEW - Erzeugung von synthetischem Erdgas aus Holz, Stroh und Black liquor zur Nutzung als Biotreibstoff** (JB) <http://www.renew-fuel.com>.
- [4] F. Vogel (frederic.vogel@psi.ch), PSI Villigen: **Biogenes Methan durch hydrothermale Vergasung** (JB) <http://www.psi.ch/>.
- [5] M. Meyer (martin.meyer@shl.bfh.ch), Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, SHL, Zollikofen: **Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes im unteren Leistungsbereich mit eigener Ölmühle** (JB) <http://www.shl.bfh.ch/>.
- [6] D. Ruch (ruch@genesys.ch), Genesys GmbH, Frauenfeld: **BHKW-Optimierung und SCR-Katalysator Kompaktbiogasanlage Küsnacht** (SB) <http://www.genesys.ch/>.
- [7] Hersener/Meier (hersener@agrenum.ch), ARGE UF-Membran, c/o Ingenieurbüro HERSENER, Wiesendangen: **Vergärung von Gülle im Membran-Bioreaktor (MBR-Messkampagne)** (JB).
- [8] Y. Membrez et al. (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** (JB).
- [9] T. Kupper (thomas.kupper@eawag.ch), EAWAG, Dübendorf: **Organische Schadstoffe in Kompost und Gärgut der Schweiz** (JB).
- [10] J. Fuchs (jacques.fuchs@fibl.ch), FiBL, Frick: **Auswirkungen von Komposten und Gärgut auf die Umwelt, Bodenfruchtbarkeit und Pflanzengesundheit** (JB).
- [11] H. Engeli (engeli@compuserve.com), engeli engineering, Neerach: **Schweizerische Statistik erneuerbarer Energieträger, Teilstatistik Biogas** (SB).
- [12] Th. Nussbaumer (thomas.nussbaumer@verenum.ch), Verenum, Zürich: a) **IEA, Implementing Agreement Bioenergy, Task 32: Biomass Combustion and Co-Firing** (JB) <http://www.ieabcc.nl/> • b) **Systemoptimierung automatischer Holzfeuerungen** (SB) • c) **Low-Particle Unterschubholzfeuerung** (JB) • d) **Wirkung von Verbrennungspartikeln** (JB), **Holzgas/Erdgas-Kombikraftwerk für die Schweiz** (SB).
- [13] R. Bühler (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=iea/homepage.xml> • b) **Thermische Nutzung anspruchsvollen Biomassebrennstoffe** (SB).
- [14] A. Wellinger (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>
- [15] B. Salerno (info@sesolar.ch), SALERNO ENGELER GMBH, Langenbruck: **NOS** (SB).
- [16] H.R. Gabathuler (gabathuler.ag@bluewin.ch), Diessenhofen: **Regelkonzepte für bivalente Holzheizungsanlagen** (JB)
- [17] H. Ott, W. Müller Konstruktionen AG, Flaach, **Katalytischen Direkt-Verflüssigung (KDV)** (JB).
- [18] H. Gemperle, www.pyroforce.ch, Emmenbrücke: **Vergaseranlage Pyroforce** (JB).
- [19] H.J. Schmid, www.holzfeuerung.ch, Schmid AG, Eschlikon: **Rohrelektrofilter** (SB).
- [20] C. Gaegauf, M. Schmid, www.oekozentrum.ch, Langenbruck: a) **Bio-Pro** (JB) • b) **Dezentrale Stromerzeugung mit Feststoff-Biomasse** (SB).

Liste der P+D-Projekte

- [21] D. Ruch (ruch@genesys.ch), Genesys Gmbh, Frauenfeld: **Kompakt-Biogasanlage Gansner, Graltshausen TG** (JB) <http://www.genesys.ch/>.
- [22] D. Ruch (ruch@genesys.ch), Genesys Gmbh, Frauenfeld: **Kompakt-Biogasanlage Winzeler, Thayngen SH** (JB) <http://www.genesys.ch/>.
- [23] Jakob Bösch AG, Schwellbrunn und Hersener/Meier (hersener@agrenum.ch), ARGE MBR, c/o Ingenieurbüro HERSENER, Wiesendangen: **Vergärung von Gülle im Membran-Bioreaktor (MBR-Pilot)** (JB).
- [24] Bruno Liesch (bruno.liesch@ines-energy.ch), INES Ingenieurbüro, Bern: **Kompakt-Biogasanlage für die Landwirtschaft mit effizienter BHKW-Technik** (JB).
- [25] U. Brücker (ub@itz.ch), ARGE Swiss Farmer Power, Horw: **SwissFarmerPower „Biogas vom Bauer wird zum Treibstoff von morgen“ (prix pegasus)** (SB).
- [26] P. Maurer (peter.maurer@bernmobil.ch) Bernmobil, Bern: **Biogasbetriebene Gelenkautobusse in Bern** (JB).
- [27] R. Bettex (info@fromagerie-bettex.ch), Champtauroz: **Installation de production de biogaz.**
- [28] B. Näf (beat.naef@verdesis.com), Verdesis Suisse S.A., Erlinsbach: **Erhöhung des Gasertrags durch Co-Vergärung von protein- und fettreichen Stoffen** (SB).

Referenzen

- [29] **Konzept der Energieforschung des Bundes 2004 bis 2007**, ausgearbeitet durch die Eidg. Energieforschungskommission CORE, 1. Januar 2004, www.bfe.admin.ch
- [30] **Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz**, BFE, Dezember 2004.