

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Im Jahr 2009 lag der Schwerpunkt auf der lancierten Ausschreibung zur übrigen Biomasse (ohne Holz), welche **3 Themenkomplexe** beinhaltete. Diese Ausschreibung erfolgte in Anlehnung an das von der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE formulierte quantitative Ziel, dass im Hinblick auf die Biomasse (inkl. Holzenergie) bis 2050 mindestens eine Verdreifachung der Nutzung der Biomasse (inkl. Holzenergie) als Energieträger erfolgen soll (heutige Nutzung: 37 PJ). Das Forschungsprogramm *Biomasse* orientiert sich an diesem Ziel und fördert deshalb Projekte, welche sich mit der **Systemoptimierung und -integration** und der **Qualitätssicherung** auseinandersetzen und gleichzeitig ökologische und ökonomische Kriterien mitberücksichtigen. Des Weiteren werden auch **neue Verfahren und Technologien** gefördert.

Schwerpunkte der Ausschreibung

Emissionen von Biogasanlagen

Das erste Thema legt das Augenmerk auf **Emissionen von Biogasanlagen**. Die Erzeugung von Biogas und der anschliessenden Strom- und Wärmeproduktion mittels BHKW oder die Aufbereitung des Gases zur Einspeisung ins Erdgasnetz ist mit möglichen Leckagen verbunden. Diese gilt es entlang der gesamten Prozesskette zu ermitteln, zu bilanzieren und in Relation zu energie- und umweltrelevanten Parametern zu stellen. Der ökonomische Aspekt ist dabei ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Der messtechnischen Erfassung der Gasverluste soll ebenso Rechnung getragen werden, wie der Bilanzierung im Hinblick auf den Gesamtvolumenstrom. Für diesen Forschungsschwerpunkt ist es auch wichtig, dass verschiedene Prozessketten angeschaut werden (verschie-

dene Gasspeicher, Stromproduktion, Strom- und Wärmeproduktion, verschiedene Verfahren der Gasaufbereitung).

Der gesamte Kreislauf der Biogasherstellung soll in der emissionsseitigen Betrachtung geschlossen werden: von der Produktion des Gases bis zur Ausbringung des Gärrestes mit «sekundären» Gasemissionen. Auch die Komponente der Geruchsbelastung soll messtechnisch erfasst werden, um die vorgeschlagenen oder verfügbaren emissionsmindernden Massnahmen in Relation zu aktuellen Messwerten setzen zu können.

Optimierung des Gesamtsystems Biogasanlage

Die Grundlage für die **Optimierung des Gesamtsystems Biogasanlage** sind verlässliche Daten im Biogasprozess. Mit Hilfe dieser kann dann Optimierungspotenzial von landwirtschaftlichen Biogasanlagen über die ganze Prozesskette hinweg aufgezeigt werden, um diese dann ökologisch und ökonomisch effizienter zu betreiben. Neben der energetischen und ökonomischen Bewertung des Optimierungspotenzials soll auch eine ökologische Bewertung miteinbezogen werden. Des Weiteren sollen auch Hemmnisse bei der Optimierung aufgezeigt werden.

Ökobilanzen

Im dritten Schwerpunkt **Ökobilanzen** gilt es bestehende Daten, welche für Ökobilanzen im Biomassebereich herangezogen werden, zu überarbeiten und zu ergänzen. Diese gilt es dann auf bestimmte aktuelle Biomassethemen anzuwenden, um Entscheidungsgrundlagen und Perspektiven für Technologien und Prozesse aufzuzeigen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2009

Holzige Biomasse

Im Forschungsbereich Holzenergie standen im Jahr 2009 die Emissionen von Holzfeuerungen im Vordergrund ([1, 2, 3, 4, 6]). Weitere Ziele im Jahr 2009 waren die Optimierung von kombinierten Heizsystemen [5], die Optimierung des Nutzungs-

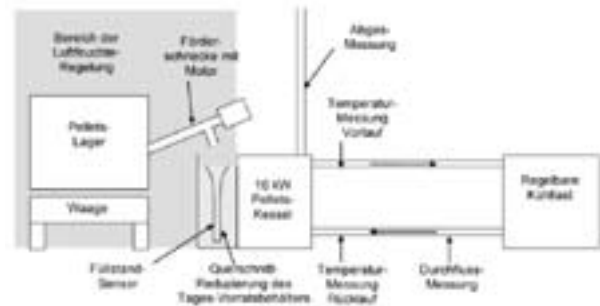
grades von Holzfeuerungen [7] und die Entwicklung und Optimierung neuer Technologien ([8, 9]).

Der Minderung von Feinstaubemissionen durch primäre (feuerungstechnische) Massnahmen ist grosses Gewicht gegeben, da sie Sekundärmassnahmen (Feinstaubabscheider), sofern möglich, vorzuziehen ist. Die Startphase erweist sich dabei

als besonders emittierend, was im Projekt *Prüfverfahren für die Startphase auf der Basis von EN 303-5* [1] für Stückholzkessel genauer untersucht wird. Es soll dabei abgeklärt werden, ob es sinnvoll ist, die auf das Anzünden folgende Startphase bei Stückholzkesseln in die Prüfung nach EN 303-5 einzubeziehen, um damit Kessel mit hohen Emissionen in der Startphase von Gütesiegeln auszuschliessen und Kessel mit gutem Startverhalten zu belohnen. In Bezug auf Emissionen soll aufgezeigt werden, welche Schadstoffkomponenten gemessen werden sollen, um eine Bewertung der Startphase zu ermöglichen. Es wurde ein Konzept erarbeitet, wie die Prüfung der Startphase in die Prüfung nach EN 303-5 integriert werden kann. Es zeigte sich, dass die Emissionen von CO und Gesamtkohlenwasserstoffen während der Startphase um Faktoren grösser sind im Vergleich zur stationären Abbrandphase. Die gravimetrischen Feststoffemissionen dagegen sind während der Startphase nicht wesentlich grösser. Somit könnte die Messung der CO-Emissionen zur Beurteilung der Startphase unter Umständen ausreichen. Weitere Untersuchungen zur Klärung der Frage, ob reproduzierbare Versuche zur Startphase möglich sind, sind für 2010 vorgesehen.

Neben der Erfassung der Emissionen geht es auch um konstruktionstechnische Verbesserungen, welche sich emissionsmindernd auswirken sollen. Das Projekt *Emissionsarme Startphase bei Stückholzkessel* [2] beschäftigt sich mit der Konstruktion eines Prototyps, welche die Reduktion von CO und Feinstaub in der Startphase zum Ziel hat. Dies soll mit einer neuen Geometrie des Rostes, der Anpassung von Primär- und Sekundärluftzufuhr, sowie einer einfachen Bedienungsprozedur erreicht werden. Geprüft wird auch die automatische Zündung des Brennstoffes. Im Laufe der Testmessungen an einem modifizierten Kessel hat sich gezeigt, dass die Form des Rostes eine zentrale Bedeutung für eine optimale Startphase hat. Die Rostform muss eine gute Luftverteilung sowie das sichere Ausbreiten des Feuers vom Zündzeitpunkt auf die ganze Rostfläche gewährleisten. Um den Einfluss diverser Parameter (Regel-Parameter, Anfeuerprozedur, Stückigkeit des Holzes) auf die Güte der Startphase zu ermitteln, wurden 2009 weitere Optimierungstests durchgeführt. Im Anschluss erfolgten Feldmessungen, welche die Einhaltung des Zielwertes von $4000 \text{ mg/nm}^3 \text{ CO}$ (erste 30 Minuten) demonstrierten. Für 2010 stehen

die Optimierung der Steuerung und weitere Messungen (Staub) an. Gleichzeitig soll eine automatische Anfeuerungsart getestet werden.

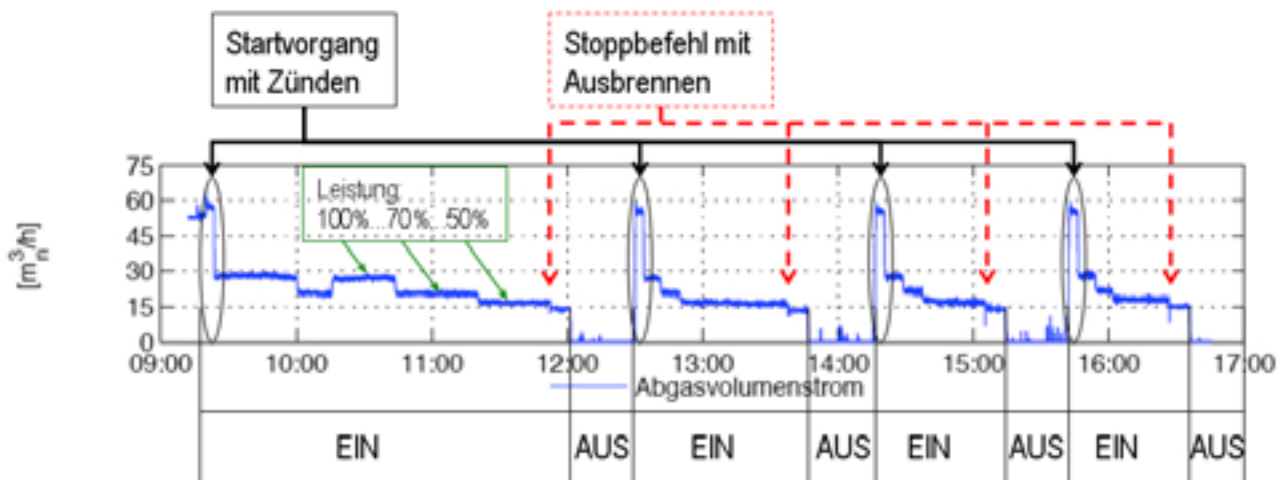


Figur 1: Schematische Darstellung der Messanordnung für die Bestimmung von Nutzungsgraden bei stationären und instationären Betriebszuständen der Pelletkessels (SPF, Rapperswil).

Im Projekt *Partikelemissionen von Holzfeuerungen bis 70 kW* [3] wird der Einfluss der Betriebsweise von Holzfeuerungen auf die Feinstaubemissionen untersucht. Neben der Gesamtmasse an Feinstaub werden dabei auch die kondensierbaren sowie die flüchtigen organischen Verbindungen erfasst, da die organischen Verbindungen besonders gesundheitsrelevant sind. Die Untersuchungen für handbeschickte Holzfeuerungen konnten bereits abgeschlossen werden. Hier zeigte sich ebenfalls, dass während der Startphase wesentlich höhere Emissionen auftreten, als während des stationären Betriebs. Im Ausbrand können ebenfalls erhöhte Emissionen auftreten, in Bezug auf die Feinstaubemissionen ist der Ausbrand in der Regel jedoch weniger kritisch als die Startphase. Die Feinstaubemissionen von handbeschickten Holzfeuerungen weisen eine grosse Bandbreite auf, welche insbesondere in Abhängigkeit der Betriebsart (idealer Betrieb vs. schlechter Betrieb, jeweils abhängig von Holzmenge, Luftzufuhr, Holzqualität) zu sehen sind. Der derzeit vom BAFU (Bundesamt für Umwelt) verwendete Emissionsfaktor für Staub von Holzöfen ist in der Grössenordnung plausibel. Die Emissionsfaktoren für CO und HC (Kohlenwasserstoffe) sind ebenfalls im Bereich der in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Werte. Für den BAFU-Emissionsfaktor bezüglich Staub ist zu beachten, dass dieser Wert nur die Feststoffe umfasst und für die PM_{10} -Belastung in der Umgebungsluft zusätzlich die Kondensate und sekundäre Aerosole (siehe [4]) zu berücksichtigen sind. In der vorliegenden Studie werden deshalb auch Emissionsfaktoren für Kondensate ausgewiesen. Aufgrund der bisherigen Resultate ist davon aus-

zugehen, dass bei Holzöfen der Beitrag zu PM_{10} aus Kondensat denjenigen aus den Feststoffen übersteigt. Die Untersuchungen an Pelletkessel sind zurzeit in Auswertung.

grossen Puffervolumens; (3) Effiziente Verbrennungsregelung, die den Betrieb bei niedrigen Lambdawerten ermöglicht; (4) Einsatz effizienter Pumpen; (5) Konsequente Isolation von Leitungen.



Figur 2: Charakteristisches Betriebsverhalten von Pelletkessel A, dargestellt am Zeitverlauf des Abgasvolumenstroms: Kaltstart (ab 09:10 Uhr) und modulierendes Taktten (ab 12:30 Uhr) (HSLU, Horw).

Emissionsfaktoren wurden u.a. auch im Projekt *PelletSolar-2* [5] bestimmt. Ziel des Projekts ist die energetische Optimierung von Systemen, welche Pelletkessel mit Solaranlagen kombinieren (Fig. 1). Das Zusammenspiel der Einzelkomponenten aufgrund der hydraulischen und regelungstechnischen Einbindung soll in einem annähernd realen Systembetrieb getestet werden. Gleichzeitig erfolgt auch eine quantitative Bewertung von solarkombinierten Pelletsystemen aus emissionstechnischer Sicht. Bei allen drei getesteten Systemen wurde festgestellt, dass der Pelletkessel vorwiegend im taktenden Betrieb arbeitet und die Möglichkeit der Modulation kaum bis gar nicht ausnutzt. Es zeigte sich, dass trotz des ungünstigen Betriebsverhaltens jeweils ein relativ guter Jahresnutzungsgrad der Pelletkessel von mehr als 80 % erreicht wurde. Der Systemnutzungsgrad ist dagegen in allen Fällen niedriger als 70 %. Neben der Effizienz der einzelnen Komponenten wird der gesamte Energieverbrauch des Systems inklusive Stromverbrauch stark durch das Zusammenspiel der Komponenten beeinflusst. Aus diesem Grund ist eine Systemgesamtlösung, die im besten Fall durch einen einzigen Hersteller geplant und umgesetzt wird, zu empfehlen. Eine Verbesserung der Effizienz von Pellet-Solar-kombinierten Systemen kann u.a. durch folgende Massnahmen erreicht werden: (1) Optimierung der Regelstrategie des Kessels und des Speichermanagements; (2) Wahl eines genügend

Die Resultate des Zusatzmoduls *Emissionsfaktoren moderner Pelletkessel unter typischen Heizbedingungen* [4] zeigen bezüglich der Emissionen, dass während der Startphase kurzfristig deutlich erhöhte Emissionen an unvollständig oxidierten Gasen sowie Feststoffen auftreten (Fig. 2). Bei stationärem Betrieb sind die Emissionen gering, jedoch treten beim Ausschalten wieder kurzfristig erhöhte Emissionen auf. Da die Emissionen bei jedem Start- und Stoppvorgang einige Minuten lang bedeutend höher sind als bei stationärem Betrieb, ist taktender Betrieb grundsätzlich unerwünscht. Die Untersuchung zeigt, dass die Emissionen im Taktbetrieb für die untersuchten Kessel nur dann vertretbar sind, wenn die Laufzeit inklusive Starten und Ausschalten mindestens 80 bis 90 Minuten beträgt. Die Startphase führte erwartungsgemäss zu einem Peak an Schadstoffemissionen, welcher besonders ausgeprägt (Anstieg um mehr als den Faktor 10 gegenüber Emissionsfaktoren des BAFU) für CO und VOC (Volatile Organic Compounds) war. Die Emissionen an NO_x liegen bei allen untersuchten Betriebszuständen unter den vom BAFU verwendeten Emissionsfaktoren. Sinkende Lastwechsel zeigten keine signifikant höheren Emissionen und steigende Lastwechsel nur leicht erhöhte Feststoffemissionen. Diese Emissionsfaktoren werden in einem nächsten Schritt dazu benützt, um die Jahresemissionsfrachten zu berechnen.

Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit der Grundlagenerarbeitung für *Design und Optimierung einer Hochtemperatur-Entschwefelung für biogene Produktgase* [9]. Mittels Feldmessungen wurden zunächst die Anforderungen an die Reinigungsstufen überprüft, d.h. Gehalt und Art der Schwefelspezies wurden untersucht. Hierzu war der Aufbau einer speziellen Schwefeldiagnostik (Gaschromatograph mit Schwefelchemolumineszenz-Detektor, SCD) notwendig. Des Weiteren wurde ein stationärer Wirbelschichtvergaser für die Bestimmung dieser Spezies im Rohgas genutzt. Es zeigte sich, dass Thiophen den Hauptanteil des organisch gebundenen Schwefels im Produktgas bildet. Weitere rund 10 % bestehen aus Benzothiophenen. Rund ein Viertel der schwefelorganischen Verbindungen kann den Mercaptanen zugerechnet werden. An der 1-MW-SNG-Pilotanlage in Güssing wurde mit einem zweiten SCD-Messsystem die Gesamtschwefelkonzentration reproduzierbar gemessen. Es zeigt sich, dass die Niedertemperatur-Gasreinigungsstufen in der Lage sind, das Produktgas von hohen Konzentrationen bis hinunter in den 1-ppm-Bereich zu reinigen.

Für die Hochtemperatur-Entschwefelung mussten geeignete Katalysatoren und Betriebsweisen identifiziert werden. Für den getesteten HDS-Katalysator wurde festgestellt, dass es für die getesteten Bedingungen keine messbare katalytische Aktivität für Methanisierung, der Wassergaskonvertierung und der Schwefelkonvertierung gibt. Bei den CPO-Katalysatoren und den hochtemperaturfesten Nickelkatalysatoren stellte sich heraus, dass aromatische Verbindungen mit Heteroatomen erheblich leichter unter Dampfreformierungsbedingungen abgebaut werden können, als z.B. Toluol. Hierbei war jedoch die organische Schwefelverbindung stabiler als die sauerstoffhaltige.

Übrige Biomasse

Wie im Abschnitt Programmschwerpunkte erwähnt, wurde im Jahre 2009 eine Ausschreibung lanciert, welche die Vertiefung der Themen **Emissionen von Biogasanlagen, Optimierung des Gesamtsystems Biogasanlage** und **Ökobilanzen** zum Ziel hat.

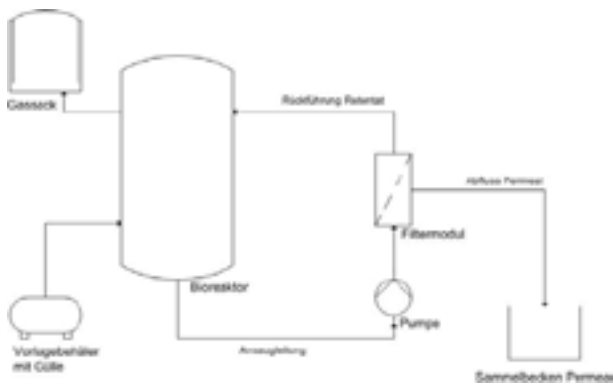
Bezüglich der **Emissionen von Biogasanlagen** sind verschiedene Projekte gestartet, welche sich sowohl mit Geruchsemissionen im Allgemeinen und Methanemissionen im Speziellen befassen. Methan hat einen höheren Treibhauseffekt als

Kohlendioxid, weshalb es für Biogasanlagen unabdingbar ist, die CH₄-Emissionen durch technische und organisatorische Massnahmen auf ein Minimum zu reduzieren. Das Projekt *Methanverluste bei Biogasanlagen* [10] hat die Identifizierung von Leckagequellen, d.h. sowohl Flächenquellen (Membranen, Gärrestbehälter etc.), als auch Punktquellen (Biogasaufbereitung, Abgas BHKW etc.) zum Ziel. Daraus sollen anschliessend die CH₄-Emissionen für verschiedene Typen von Biogasanlagen quantifiziert und die CH₄-Emissionen in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren modelliert werden, um Strategien und Massnahmen zur Emissionsreduktion zu entwickeln.

Vertiefend mit Methanemissionen von Folienabdeckungen beschäftigt sich das Projekt *CH₄-Emissionen bei EPDM Gasspeichern und deren wirtschaftliche und ökologische Folgen* [11]. Auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird Biogas häufig in einem Gasspeicher mit einer EPDM-Folie (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) zwischengelagert. Das Ziel des Projektes ist die Untersuchung, ob nach einer gewissen Einsatzdauer und unter bestimmten Bedingungen (z. B. erhöhte Säurewerte im Fermenter, Substratzusammensetzung) diese Folie an Qualität einbüsst. Es soll evaluiert werden, ob und in welchem Masse Methanemissionen auftreten, und wie sich diese wirtschaftlich und ökologisch auswirken.

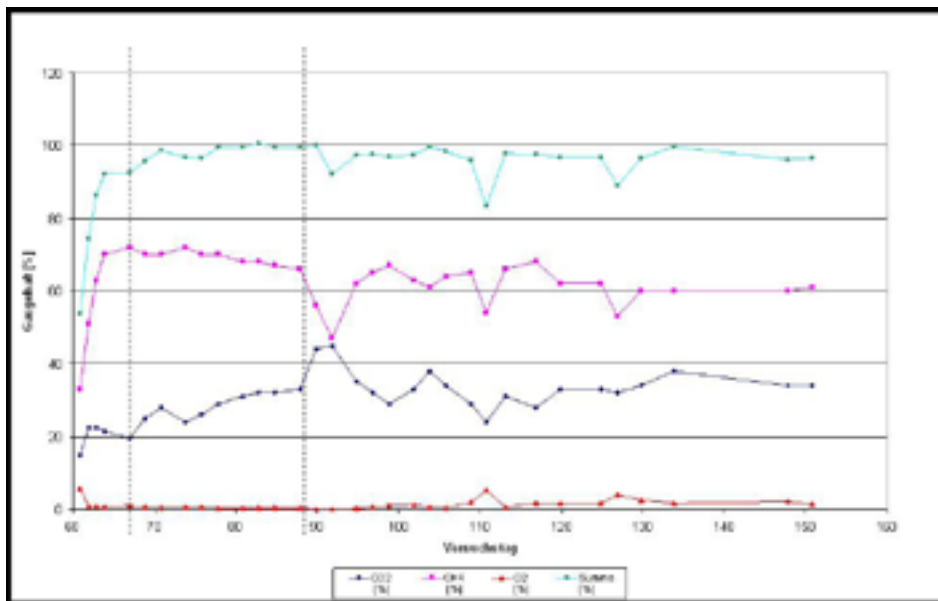
Mit Geruchsemissionen allgemein beschäftigen sich zwei weitere Projekte. Das Projekt *Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen* [12] fokussiert auf die messtechnische Erfassung von Geruchsemissionen, um eine breite Datengrundlage zu schaffen. Aufbauend auf dieser soll ein Geruchsemissionsmodell für Biogasanlagen erstellt werden, welches als Softwareprogramm verarbeitet werden soll. Das Programm soll den Vollzug in der Genehmigungsphase einer Biogasanlage vereinfachen, indem Geruchsemissionen und die Wirkung von geruchsmindernden Massnahmen schon in der Planungsphase abgeschätzt werden können. Im Projekt *Geruchsquellen bei Biogasanlagen* [13] gilt es zu klären, inwieweit Bau und Betrieb der Biogasanlage einen Einfluss auf Geruchsemissionen haben. Ziel ist, die relevanten Geruchsquellen landwirtschaftlicher Biogasanlagen sowie ihre Einflussgrössen (meteorologische Rahmenbedingungen, Verfahrenstechnik, Substrate etc.) zu identifizieren und zu quantifizieren. Gleichzeitig soll

auch die Ausbreitung von Geruch mittels systematischer Begehungen untersucht werden, um anschliessend Lösungsansätze zur Minderung von Geruchsemissionen abzuleiten.



Figur 4: Schema der 20-Liter-Labor-Versuchsanlage (ZHAW Wädenswil).

All diese Projekte, welche sich mit der Emissionsthematik von Biogasanlagen beschäftigen, arbeiten eng zusammen und ergänzen sich sehr gut, um eine breite Datenbasis zu schaffen und zu fundierten Aussagen zu gelangen.



Figur 5: Biogaszusammensetzung: Der CH_4 -Gehalt liegt in der kontinuierlichen Phase (siehe Markierung) sehr konstant bei rund 70 % (ZHAW, Wädenswil).

Der zweite Themenbereich der Ausschreibung legte den Schwerpunkt auf die **Optimierung von Biogasanlagen**. Seit fast 25 Jahren gibt es ein Standard-Verfahren zur Bestimmung des Faulverhaltens von organischen Substraten, dennoch wird die Biogasproduktion oft unter- bzw. überschätzt.

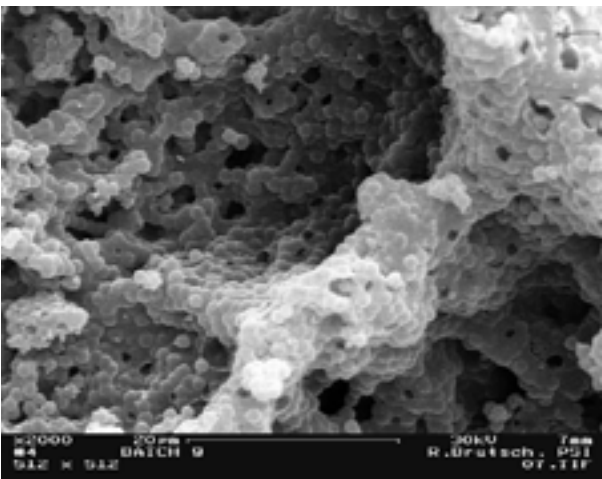
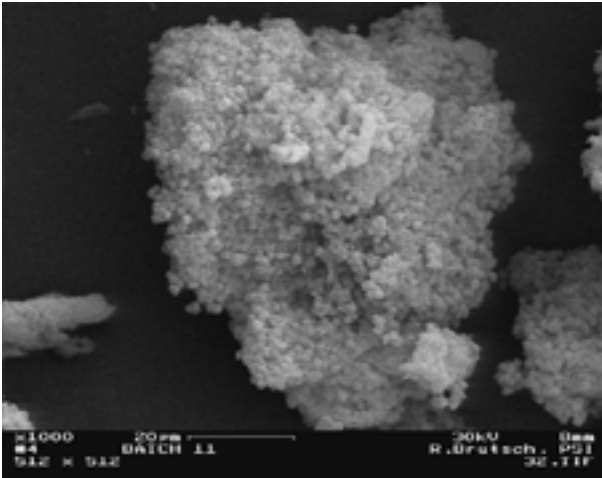
Dies hängt mit der Wahl des Inokulums, der Medienzusammensetzung, der Temperatur, des Volumens des Testreaktors usw. zusammen. Das Projekt *Optimisation des tests standardisés de digestibilité dans des réacteurs batch et continus* [14] soll die Hauptparameter, welche zur Unter- bzw. Überschätzung der Biogasproduktion führen, identifizieren, um ein neues, besser adaptiertes Testsystem zu erarbeiten. Das Biogasproduktionspotenzial wird sowohl in Batch-, als auch Durchflussreaktoren getestet.

Neben Flüssiggülle als Substrat für Biogasanlagen fällt in fast allen landwirtschaftlichen Betrieben auch Festmist an, welcher im Vergleich zu Flüssiggülle bei der Lagerung und der Austragung tiefere Ammoniumemissionen aufweist und gleichzeitig Strukturelemente in den Boden bringt. Dieses Potenzial gilt es in der Landwirtschaft ebenfalls zu nutzen, weshalb die Studie *Evaluation und Auswahl einer Feststoffanlage zur Biogasproduktion* [15] der Auswahl einer geeigneten Feststoff-Vergärungsanlage (Pilotanlage) für einen Westschweizer Hof dient.

Auch neue Verfahren zielen auf eine optimale Nutzung der Substrate zur Biogasproduktion bei gleichzeitiger Schliessung der Stoffkreisläufe ab. Beim Projekt *Vergärung von Gülle und Co-Substraten in einem Membran-Bio-Reaktor (MBR)* [16] geht es um ein Vergärungssystem, bei dem mit Hilfe einer Ultrafiltrationsmembran die Bakterien und organischen Stoffe abgetrennt und in den Reaktor zurückgeführt werden. Nach bisherigen

Erkenntnissen ist mit dem MBR-System eine Steigerung der spezifischen Gasausbeute im Vergleich zur Vergärung von unbehandelter Rohgülle bzw. separierter Dünggülle in einem Rührkesselreaktor erreichbar. Weder im Labor (Fig. 4 und Fig. 5) noch im halbtechnischen Massstab konnte bisher eine negative Beeinflussung durch die Rückführung des UF-Retentats (UF: Ultrafiltration) auf den Gärprozess beobachtet werden. Hingegen kann

davon ausgegangen werden, dass der Betrieb eines MBR über einen längeren Zeitraum nicht ohne Entnahme von UF-Retentat bewerkstelligt werden kann, da sich anorganische und praktisch inerte Feststoffe im Reaktor akkumulieren.



Figuren 6.1 (oben) und 6.2 (unten): SEM-Aufnahmen der Koksproben aus Versuch 11, 20 %-ige Glycerinlösung, Verweilzeit 60 min, 300 °C, 350 bar (PSI, Villigen).

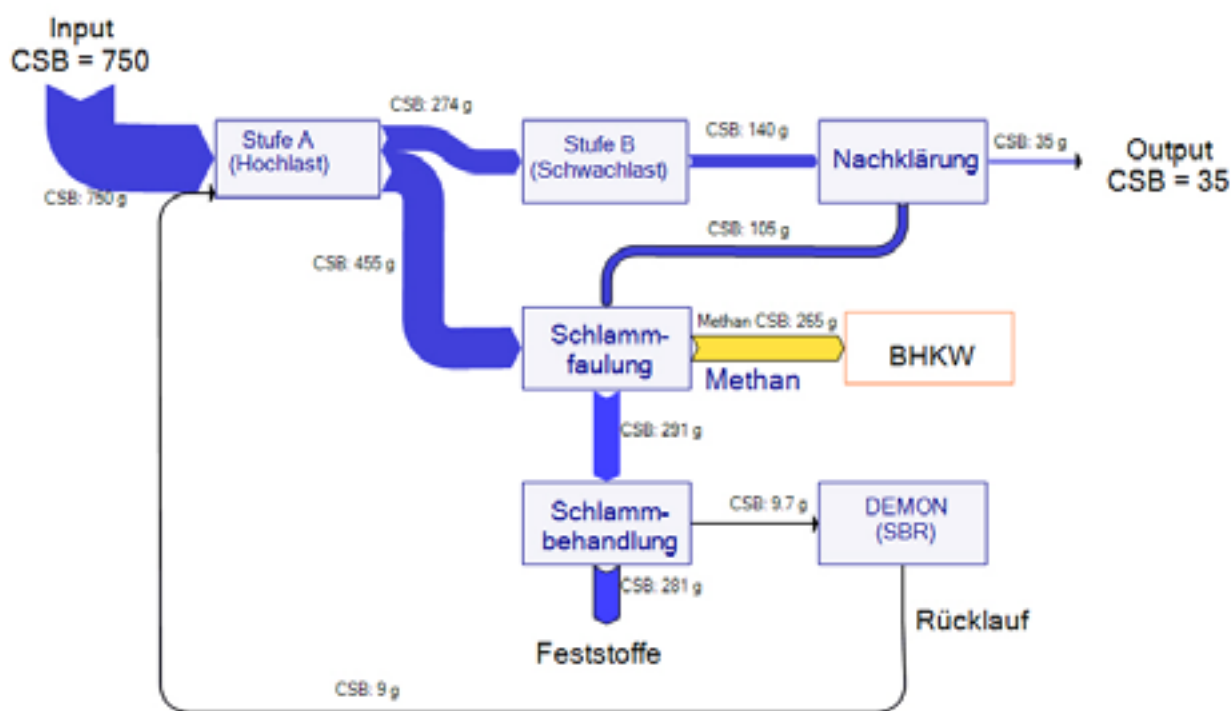
Ein weiteres Projekt im Bereich effiziente Nutzung von nasser Biomasse – *Optimierung der Hydrolyse und Salzabtrennung bei der hydrothermalen Vergasung von Biomasse* [17] – beschäftigt sich mit dem neuen thermo-chemischen Verfahren der hydrothermalen Vergasung (HTV). Dieses Verfahren nutzt Hofdünger als Ausgangsstoff und wandelt diesen in Methangas und CO₂ um, wobei gleichzeitig die im Hofdünger enthaltenen Nährsalze in konzentrierter Form zurückgewonnen werden. Im Rahmen des Projektes wird anhand der Umsetzung verschiedener organischer Modellsubstanzen mit unterschiedlichen Salzen untersucht, welche chemischen Vorgänge bei der Verflüssigung der Biomasse und der anschließenden Salzabscheidung ablaufen. Daraus gewonnene Erkenntnisse sollen

dazu dienen, die Koksbildung (Fig. 6.1 und 6.2) zu unterdrücken, die Abtrennungsrate der Nährsalze zu erhöhen und somit den kontinuierlichen Vergasungsprozess insgesamt zu optimieren. Neben der Nutzung von Hofdünger wird auch die Eignung von Kompogas-Presswasser für den Einsatz in der HTV im Projekt *Stofflich-energetische Verwertung von Kompogas-Presswasser durch hydrothermale Vergasung* [18] evaluiert. Ziel ist es, eine Aussage zum Gasertrag, zur Methanausbeute, zum kombinierten Verfahrensprozess Kompogas-HTV, zur Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen und zu den Kosten einer HTV-Anlage zu erhalten. Momentan werden Presswasserproben hinsichtlich ihrer Eignung für den HTV-Prozess analysiert.

Im Abwasserreinigungsbereich wurden ebenfalls Projekte realisiert, wobei zum einen ein neuer energieeffizienter Ansatz für kommunale Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Studie *Anaerobe Behandlung kommunaler Abwässer in der Schweiz* [19] evaluiert wurde, und zum anderen die *Vorteile und Grenzen der Vergärung von leicht abbaubaren Industrie- und Lebensmittelabfällen in Abwasserreinigungsanlagen im Vergleich zu landwirtschaftlichen Anlagen* [20] betrachtet wurden. In der Studie *Anaerobe Behandlung kommunaler Abwässer in der Schweiz* [19] wurde die Möglichkeit einer energieeffizienten anaeroben Abwasserbehandlung unter Schweizer Bedingungen untersucht und evaluiert. Durch eine weitgehend anaerobe Behandlung von kommunalem Abwasser kann mehr Biomethan als erneuerbarer Energieträger gewonnen werden, wie dies bei herkömmlichen Anlagen der Fall ist. Neue Membrantechnologien eröffnen ebenso Möglichkeiten, die Energieausbeuten zu steigern und zugleich die Ablaufqualität des Wassers zu verbessern. Was grundsätzlich sehr positiv erscheint, zeigt Tücken im Detail. Emissionen von Treibhausgasen, insbesondere von Methan könnten weitaus klimaschädlicher sein, als die Vorteile der Produktion von erneuerbarer Energie erwirken würden. Deshalb muss gelöstes Methan im Wasser technisch oder biologisch entfernt werden, was zusätzlichen Aufwand und Energieverbrauch bedeutet. Im Projekt wurden verschiedene Modelle von anaeroben ARAs entworfen und berechnet. Es zeigte sich, dass der Unterschied in der Energiebilanz von anaeroben Modellen und energieoptimierten konventionellen ARAs marginal ist. Klassische ARAs haben in den vergangenen Jahren bezüglich

Energieeffizienz durch Optimierungsmassnahmen grosse Fortschritte erzielt (Fig. 7). Da die Infrastruktur von anaeroben ARAs grössere Investitionen erfordert, macht eine Anwendung im Bereich von kommunalem Abwasser nur in Ausnahmefällen Sinn. Wenn konsequent Oberflächen- und Fremdwassereinträge in ARAs verhindert werden, steigt folglich die Konzentration von organischen Inhaltsstoffen im Abwasser an, wodurch die anaerobe Behandlung konkurrenzfähiger wäre, als das heutzutage der Fall ist. Unterhalb eines bestimmten Grenzwerts der organischen Fracht wird eine anaerobe Abwasserreinigung nicht rentabel betrieben werden können. Das durchschnittliche Schweizer Abwasser befindet sich nur knapp über diesem Grenzwert. Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Abwasserbehandlung ist das Nährstoffrecycling (P, N), welches in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird. Die anaerobe Behandlung an sich kann zum Recycling direkt nichts beitragen. Aktuell findet Nährstoffrecycling in Schweizer ARAs noch kaum Anwendung.

Verlust an pflanzenverfügbarem (Stoffe, welche von der Pflanze in der vorliegenden direkt Form aufgenommen werden können) Stickstoff und Phosphor, welche dem Stoffkreislauf entzogen werden. Durch eine Auslastung der vier untersuchten landwirtschaftlichen Anlagen könnte hingegen sogar jährlich Stickstoff und Phosphor dazu gewonnen werden. Bezüglich Energiebilanz kann in der ARA ein Vielfaches der Nettoenergie bereitgestellt werden, verglichen mit der Produktion auf einem landwirtschaftlichen Betrieb. Die Resultate der CO₂-Bilanz sind analog zur Energiebilanz. Bezüglich Wirtschaftlichkeit zeigt die Co-Vergärung der ARA eine sehr gute Rentabilität. In den untersuchten landwirtschaftlichen Anlagen besteht eine grosse Variabilität der Wirtschaftlichkeit. Bei einer besseren Auslastung könnten aber alle Betriebe gute finanzielle Resultate ausweisen. Bei den gesellschaftlichen Faktoren weisen ARA und Landwirtschaft generell eine sehr positive Bilanz aus. Die Studie zeigt, dass die Nachhaltigkeit der Co-Vergärung nicht branchen-, sondern



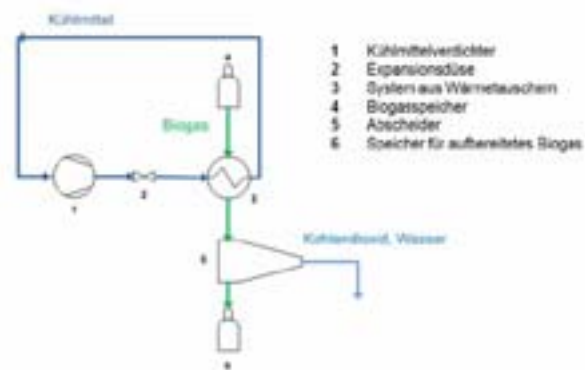
Figur 7: Stoffflussdiagramm einer real bestehenden, betrieboptimierten konventionellen ARA mit Hoch- und Schwachlaststufe (AB-System). Die Daten wurden im Sommer 2004 auf der ARA Zillertal erhoben. Diese weist seit 2005 eine 100 %-ige elektrische Eigenenergieversorgung auf. DEMON = Stickstoffelimination nach dem Anammox-Prinzip. Blau = CSB-Flüsse (gelöst und suspendiertes organisches Material), Gelb = Methanflüsse (als CSB) (ZHAW, Wädenswil).

Bei der Vergleichsstudie [20] wurde die Co-Vergärung in einer ARA und landwirtschaftlichen Betrieben auf ökologischer, ökonomischer und sozialer Ebene untersucht und verglichen. In Bezug auf die Stoffflüsse zeigte die untersuchte ARA einen

anlagenspezifisch beurteilt werden sollte. Parameter, welche die Nachhaltigkeit beeinflussen, sind Anlagegrösse und -auslastung, der Nutzungsgrad der erzeugten Energie, die Transportdistanz der

Co-Substrate und – in der landwirtschaftlichen Co-Vergärung – die Lagerungs- und Ausbringtechnik.

Neben der Produktion von Biogas wurde im Jahr 2009 ein Projekt abgeschlossen, welches sich mit der Biogasnutzung auf landwirtschaftlichen Biogasanlagen auseinandersetzt. Die Aufbereitung von Biogas zu Treibstoff ist eine Alternative zur Strom- und Wärmeproduktion. Im Projekt *Aufbereitungs- und Betankungsanlage für kleinere Biogasproduktionsmengen* [21] wurde ein Funktionsmuster erstellt, welches auf der kryogenen Gastrennung basiert und mit landwirtschaftlichem Biogas betrieben werden kann. Dieses Funktionsmuster (Fig. 8) wurde mit zwei getrennten Kühlkreisläufen gebaut. Im Kühlkreislauf wird trockenes Biogas als Kühlmittel verdichtet und anschliessend in einer Düse entspannt. Der Druckabfall bewirkt eine starke Temperaturabnahme. In speziell entwickelten, kompakten Wärmetauschern wird Biogas durch das Kühlmittel gekühlt, bis Kohlendioxid kondensiert und in einem Abscheider anfällt. Das gereinigte Biogas hatte einen Reinheitsgrad von 70 % bis 80 %, je nach Prozessrahmenbedingungen. Erste Abschätzungen für die Kleinserienanfertigung einer solchen Anlage resultierten in einem Verkaufspreis von ca. CHF 150'000.– und variablen Betriebskosten von ca. 0,86 CHF/Nm³ bzw. 0,74 CHF/Benzin-Äquivalent.



Figur 8: Vereinfachtes Prinzipschema der Aufbereitungs- und Betankungsanlage für kleinere Biogasproduktionsmengen (Apex AG, Dänikon).

Ein weiterer Schwerpunkt der Ausschreibung beinhaltete die **Ökobilanzen**. Die Genauigkeit von Ökobilanzen hängt zum grossen Teil vom Zahlenmaterial ab, auf dem sie beruhen. Daher gilt es, die Zahlen der verschiedenen Technologien und Prozesse ständig zu aktualisieren und auch neueste Entwicklungen und Prozesse mit aufzunehmen. Gemeinsames Ziel der verschiedenen Ökobilanz-

methoden ist es, das betriebliche Geschehen auf mögliche ökologische Risiken und Schwachstellen systematisch zu überprüfen und Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Ökobilanzen im Biomassebereich sind wichtige Entscheidungsgrundlagen, um bestimmte Prozesse und Technologien bezüglich ihrer Umweltwirkungen einzuordnen und gegebenenfalls zu fördern. Verschiedene Projekte befinden sich derzeit in der Start- und somit Koordinationsphase [22 – 26].

Zwei weitere Projekte im Bereich Biomasse sind erwähnenswert, welche unter der Federführung des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung (TA Swiss) bzw. des BAFU initiiert wurden.

Neben der Aufarbeitung der Literatur zum Thema Biomasse spielen auch Untersuchungen zu Chancen und Risiken neuer Technologien eine Rolle. Die von TA Swiss initiierte Studie zum Thema *Treibstoffe aus Biomasse – zweite Generation* [27] wird vom BFE finanziell aber auch inhaltlich (Einsatz in Begleitgruppe) mitgetragen. Die zweite Generation Biotreibstoffe soll eine bessere Energie- und Umweltbilanz aufweisen: Als Ausgangsmaterialien sollen Holz, Stroh und Pflanzenabfälle dienen, d.h. es wird nicht Zucker oder Stärke, sondern Zellulose zu Treibstoff verarbeitet. Als Schwerpunkt der interdisziplinären Studie sollen dann die Zukunftsperspektiven (Chancen und Risiken) von Biotreibstoffen der zweiten Generation abgeschätzt werden. Diese werden jetzt als zweckmässige Lösung dargestellt – es gibt dabei aber Unsicherheiten, da sich noch mehrere Produktionsmethoden in Entwicklung befinden und unklar ist, welche davon schliesslich für die Herstellung im grossen Massstab am besten geeignet sind. Eine vertiefte Abklärung unter Berücksichtigung der aktuellen Forschungsergebnisse ist deshalb erforderlich, damit diese Technologien umfassend beurteilt werden können. Dabei sind neben Fragen der Energieeffizienz und der Umweltbilanz auch wirtschaftliche und soziale Aspekte zu erörtern und Potenziale für künftige Entwicklungen aufzuzeigen. Diese Studie wird im Jahr 2010 abgeschlossen werden, so dass danach darüber berichtet werden kann.

Auch das Projekt *Infothek Biomasse* [28] lief im Jahr 2008 bereits an. Das BAFU hat sich zusammen mit dem BFE und dem BLW entschlossen, eine zentrale Anlaufstelle einzurichten, über die wichtige Dokumente und Studien zum Thema Bio-

masse verfügbar sind. Dies vor dem Hintergrund, dass eine Vielzahl an Informationen zur Biomasse vorhanden sind, es jedoch eine Herausforderung ist, die gewünschten Informationen in kurzer Zeit zu finden. Dies soll in Form einer Internet-basierenden Plattform realisiert werden. Die *Infothek Biomasse* umfasst die unterschiedlichen Biomasse-Rohstoffe, die unterschiedlichen Verarbeitungsw-

ge und -technologien sowie die unterschiedlichen Nutzungsvarianten (Nahrungs- und Futtermittel, stoffliche Nutzung, Vergärung, Kompostierung, Verbrennung usw.). 2009 wurden zahlreiche weitere Dokumente aufgenommen und die Suchmaske sprachlich mit Französisch ergänzt, so dass im Frühjahr 2010 die Aufschaltung erfolgen kann.

Nationale Zusammenarbeit

Das Forschungsprogramm *Biomasse und Holzenergie* bemühte sich auch 2009 eng mit dem Marktbereich zusammenzuarbeiten und sich abzustimmen. In der Begleitgruppe des Forschungsprogramms haben deshalb sowohl die Marktbereichsleiter *Biomasse* (Sektion Erneuerbare Energien), als auch die Mandatsträger von Energie-Schweiz Einsitz, wodurch sowohl der Informationsfluss, als auch angeregte fachliche Diskussionen gewährleistet sind. Gleichzeitig erfolgt ausserhalb der Begleitgruppe auch ein Austausch mit anderen Forschungsprogrammen des BFE, welche thematisch eng mit dem Forschungsprogramme *Biomasse und Holzenergie* verknüpft sind (z.B. WKK). Auch die Ämter übergreifende Zusammenarbeit mit dem BAFU und dem BLW wurde intensiviert.

Im Rahmen des *Aktionsplans Erneuerbare Energien* des Bundesrats wurde das BFE beauftragt, in Anlehnung an die übergeordnete *Biomassestrategie der Schweiz* [29] eine Strategie zur energetischen Nutzung der Biomasse in der Schweiz zu erarbeiten. Diese soll aufzeigen, wie das vorhandene energetische Biomassepotenzial möglichst vollständig, effizient und umweltschonend genutzt werden kann. Im Berichtsjahr wurde mit der Erarbeitung dieser Strategie unter der Federführung der Sektion *Erneuerbare Energien* begonnen. Auch die Bereichsleitung des Forschungsprogramms *Biomasse und Holzenergie* arbeitet aktiv in dieser Arbeitsgruppe mit. Die Publikation dieser Strategie ist auf Mitte 2010 geplant.

Internationale Zusammenarbeit

Das BFE ist Mitglied beim Implementing Agreement *Bioenergy* der IEA (International Energy Agency) [30], welches aus 13 Tasks besteht. Die Schweiz arbeitet in 3 Tasks aktiv mit. Generell haben die Schweizer Vertreter in dem jeweiligen Task zum Ziel, den internationalen Stand von Technik, Forschung und Marktumsetzung zu kennen und in der Schweiz zu vermitteln, und gleichzeitig die Anliegen der Schweiz in der IEA zu vertreten.

Implementing Agreement *Bioenergy*

Task 32: Biomass combustion and Co-Firing

Dieser Task [31] hat zum Ziel, die Markteinführung der Biomasseverbrennung zur Energieerzeugung zu fördern. Die Arbeitsgruppe setzt sich zur Überwindung technischer und nicht-technischer Hin-

dernisse ein und unterstützt den Einsatz effizienter und schadstoffarmer Technologien. Dazu erfolgen ein umfassender Erfahrungsaustausch unter den Mitgliedsstaaten sowie die Zusammenarbeit in ausgewählten Schwerpunktthemen. Unter anderem leistete die Schweiz einen Beitrag zum *Pellet-Handbook* (Herausgabe: Frühjahr 2010). Für das neue Triennium (2010 – 2012) konnte die Beteiligung auf 14 Mitgliedsstaaten erhöht werden. Die bisherigen Schwerpunkte wie Feinstaub, Kleinfeuerungen, Wärmekraftkopplung und Zufeuerung werden weiter behandelt und um zusätzliche Themen wie Sicherheit, Ascheverwertung und Brennstoffvorbehandlung erweitert. Aus der Schweiz wurde für das nächste Triennium ein besonderes Interesse an den 5 Kategorien «Small scale biomass», «Industrial scale biomass», «Simulation», «Emissions» und «Policy issues» angemeldet. Im Vergleich zu den bisherigen Aktivitäten soll der

Einbezug der Industrie verstärkt werden. Für das kommende Triennium wurden folgende Task-Schwerpunkte festgelegt: (1) Review über Feinstaubabscheider für Kleinanlagen; (2) Evaluation der Eignung «gerösteter» Biomasse für verschiedene Anwendungen; (3) Review über Sicherheitsaspekte bei der Brennstofflagerung; (4) Publikation über Optionen der Ascheverwertung; (5) Erweiterung der Datenbank über Biomasse-Zuführung.

Task 33: Thermal Gasification of Biomass

Auch innerhalb dieses Tasks [32] baute die Arbeit im Jahr 2009 auf den Aktivitäten früherer Perioden auf. Für das von der Europäischen Kommission unterstützte Projekt *Gasification Guide* wurden wichtige Vorarbeiten im Task geleistet, wobei die Schweiz an einer Leitlinie für Vergasungsanlagen bezüglich Gesundheit, Sicherheit und Umweltaspekte mitarbeitete. Themen, welche innerhalb von Task Workshops behandelt wurden und somit auch die Aktualität der Themen widerspiegelt sind: (1) Rohgasreinigung; (2) Gaskonditionierung; (3) Synthesegaskonversion; (4) Verbesserungen beim Betrieb von Vergasungsanlagen. Mit dem Beginn des neuen Trienniums sollen verschiedene Themen vertieft behandelt werden, u.a. Biotreibstoffe der 2. Generation, Vergasungstechnologien inkl. Energie- und Chemikalienproduktion, Fortschritte

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Im Jahr 2009 liefen 2 Projekte im Bereich Pilot- und Demonstrationsprojekte (P&D), wobei 4 weitere bereits vom BFE bewilligt wurden und 2010 realisiert werden.



in der Gasreinigung und Vergaserbeschickung mit unterschiedlichem Ausgangsmaterial.

Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas

Die übergeordnete Aufgabe des Tasks [33] ist die Information über die Technik der anaeroben Vergärung. Dazu gehört, neben der Gärtechnik und den verschiedenen Substraten, die Aufbereitung und Nutzung des produzierten Biogas sowie der Einsatz der Gärguts als organischer Dünger. Die Schwerpunkte 2009 wurden auf die Gasaufbereitung und auf die Verwendung von Energiepflanzen gelegt. Die Gasaufbereitung ist – nach den Vorreitern Schweden und Schweiz – inzwischen bei fast allen Mitgliederländern des Tasks ein Top-Thema geworden. Weltweit stehen rund 100 Aufbereitungsanlagen in Betrieb, die meisten davon in Schweden und Deutschland.

Für das neue Triennium konnte die Beteiligung der Mitgliedsländer auf 15 erhöht werden. Als Schlüsselthemen stehen Nachhaltigkeit und Qualitätsfragen – jeweils für die ganze Produktionskette betrachtet – im Vordergrund. Dies beinhaltet Vergleiche bezüglich Massen-, Energie- und Emissionsbilanzen für verschiedene Verfahren und den Einsatz verschiedener Substrate.

Figur 9: Pilotanlage für die thermische Nutzung von Miscanthus (Feuerungseinheit + Rauschgaswäscher) (Agroscope Reckenholz-Tänikon, ART).

Das Projekt *Traitement de l'azote des digestats issus d'installations de biogaz au moyen d'un réacteur à biofilm sur support mobile* [34] hat zum Ziel, ein kombiniertes Konzept zu entwickeln, welches die Biogasproduktion (Landwirtschaft, Abwasserreinigung etc.) mit der biologischen Abtrennung von Ammoniak verbindet. Dies wird mit Hilfe eines Biofilms, welcher sich auf einer beweglichen Unterlage befindet, erreicht. Auf dieser Unterlage läuft sowohl der Prozess der Nitrifikation, als auch die Denitrifikation ab. Die vorhandene Pilotanlage, welche auf einem landwirtschaftlichen Betrieb in der Westschweiz installiert ist, demonstrierte in den ersten drei Monaten der Inbetriebnahme die grundsätzliche Machbarkeit des Verfahrens. Es gilt nun die Leistung des Verfahrens im Hinblick auf

die hydraulische Aufenthaltszeit und die Ammoniumbelastung herauszufinden.

Im Projekt *Miscanthus-Kleinfeuerung* [35] wurde eine Pilotanlage (35 kW) kombiniert mit einem Rauchgaswäscher für die thermische Nutzung von *Miscanthus* in Betrieb genommen (Fig. 9). Nicht ganz unerwartet führte der hohe Feinstaubgehalt zu einer starken Belastung des Wäscherwassers mit Aschebestandteilen. Um jegliche Abwasserbe-

lastung zu vermeiden wird versucht, die Aschebestandteile mittels gelöschtem Kalt auszufällen und abzuscheiden. Ziel ist es, den Schlamm getrocknet zu entsorgen und das geklärte Wasser wieder im Wäscher einzusetzen. In einem nächsten Schritt wird abgeklärt, welchen Einfluss der pH-Wert und die Verschmutzung des Wäscherwassers auf die Abscheideleistung des Rauchgaswäschers haben.

Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Das Berichtsjahr 2009 wurde von sehr vielen Aktivitäten geprägt. Durch die leider nur einjährige Aufstockung des Budgets konnten dennoch zahlreiche neue Projekte mittels einer Ausschreibung lanciert werden. Der Fokus der Ausschreibung lag auf drei Themenbereichen (siehe Kapitel *Programmschwerpunkte*), welche die übrige Biomasse (ohne Holz) betreffen. Aus 34 eingegangenen Projektskizzen sind 13 Projekte entstanden. Das BFE versuchte hierbei auch konkurrierende Projektvorschläge zusammenzubringen, um die Expertise beider Antragsteller zu vereinen und die Synergien der dargestellten Vorgehensweisen zu nutzen. Neben der Vernetzung der Fachleute innerhalb eines Themenbereichs war eine Zielsetzung des Forschungsprogramms auch die Transparenz nach aussen. Verschiedene Biomasseprojekte wurden im Laufe des Jahres in der Fachpresse und an nationalen oder internationalen Tagungen vorgestellt. Ein weiterer wichtiger Punkt, welcher auch im Jahr 2010 seine Gültigkeit behält, ist die Kontaktaufnahme zu Forschungsgruppen und Firmen in der Schweiz, welche bisher wenig mit dem BFE in Berührung gekommen sind. Hier gilt es die Forschungsaktivitäten der Gruppen besser kennenzulernen und gleichzeitig auch die Industrie besser einzubinden. Dank der bestehenden Netzwerke im Biomassebereich und der bestehenden Begleitgruppe für das Forschungsprogramm funktioniert der Informationsaustausch sehr gut. Die Schweiz ist im Biomassebereich auch international sehr gut verankert (CEN Gremien, European Biogas Association, EU-Projekte), so dass die Interessen der Schweiz und die Information über Schweizer Aktivitäten international platziert werden können.

Wichtig für eine Ziel führende Forschungsprogrammarbeit ist auch die Abstimmung mit anderen

Ämtern, welche ebenfalls im Themenbereich Biomasse aktiv sind. Hier wurde in Bezug auf neue Projekte oder aktuelle Themen ein Austausch mit dem BAFU und dem BLW weiter gepflegt, welcher im kommenden Jahr noch zu intensivieren ist. Zwei etablierte Gruppen sind bis dato die *AG Biomasse* und eine *Gruppe zu Ökobilanzen*. Auch der gegenseitige Einsitz in Projektbegleitgruppen ist als positiv zu bewerten. Innerhalb des BFE ist im Bereich Biomasse die gut etablierte Zusammenarbeit zwischen Markt und Forschung hervorzuheben. Der gemeinsame Besuch von Forschungsprojekten und die gemeinsame Teilnahme an Branchenveranstaltungen erleichtern die Umsetzung von Forschungsergebnissen in der Praxis. Gleichzeitig werden praxisrelevante Fragen und Probleme von der Forschung aufgenommen, um die Forschung auch möglichst marktnah auszurichten. Wichtig für das Forschungsprogramm ist auch die Verknüpfung mit thematisch eng verwandten Programmen wie z.B. WKK, da sich aus der gemeinsamen Unterstützung von Projektanträgen gewinnbringende Synergien ergeben.

Im Hinblick auf die Programmschwerpunkte laufen in allen drei Bereichen (Systemoptimierung und -integration, Qualitätssicherung, neue Verfahren und Technologien) interessante Projekte. Das Thema Systemoptimierung und -integration wurde im Rahmen der Ausschreibung 2009 für die nicht-holzige Biomasse verstärkt angegangen.

Einen guten Einblick in die internationale Forschung vermittelt die jährlich stattfindende europäische Biomassekonferenz. Aus der Sicht der energetischen Biomassenutzung gilt unterdessen als anerkannt, dass Effekte durch direkte oder indirekte Veränderungen von Boden und Stoffströmen die Klimawirkung und die Gesamtökobilanz drastisch

beeinflussen können, jedoch schwierig (Land Use Change) oder fast unmöglich (Indirect Land Use Change) zu quantifizieren sind. Noch praktisch keine Beachtung fand an der Konferenz die Tatsache, dass erst seit Kurzem auch vom IPCC anerkannt wird, dass Russ (Black Carbon) den zweit- oder drittgrössten Beitrag zur Klimaerwärmung aufweist.

Ein Meilenstein im Jahr 2009 war die Präsentation des Detailkonzeptes 2008 – 2011 vor der Com-

mission de la Recherche Énergétique (CORE), welche ein sehr positives Feedback gab. Auch die einmalige Budgetaufstockung im Jahr 2009 und die hohe Resonanz auf die Ausschreibung zeigt die Bedeutung der Biomasseforschung in der Schweiz. 2010 gilt es die Kontinuität aufrecht zu erhalten und die erarbeitete Expertise zu erweitern, was jedoch durch die jährlichen Budgetschwankungen schwierig ist.

Liste der F+E-Projekte

- [1] J. Good (juergen.good@hslu.ch), Th. Nussbaumer, HSLU Horw: Prüfverfahren für die Startphase auf der Basis von EN 303-5 Teil 1 Stückholzkessel (Jahresbericht Projekt 153827).
- [2] B. Salerno (basso.salerno@sesolar.ch) Salerno Engler GmbH, Langenbruck, A. Jenni, ardens GmbH, Liestal, D. Schlottmann, Lopper AG, Buochs: Buondi-Emissionsarme Startphase bei Stückholzkessel (Jahresbericht Projekt 102525).
- [3] Th. Nussbaumer (thomas.nussbaumer@verenum.ch), J. Good, Verenum, Zürich, A. Doberer, HSLU Horw R. Bühler, Umwelt & Energie, Maschwanden: Partikelemissionen von Holzfeuerungen bis 70kW (Jahresbericht Projekt 101905).
- [4] J. Good (juergen.good@hslu.ch), Th. Nussbaumer, HSLU Horw: Emissionsfaktoren moderner Pelletkessel unter typischen Heizbedingungen (Schlussbericht Projekt 102618).
- [5] R. Haberl (Robert.Haberl@solarenergy.ch), L. Konersmann, E. Frank, SPF, Rapperswil: Pelletsolar-2 Systemoptimierung von Pelletfeuerungen in Kombination mit thermischen Solaranlagen basierend auf dynamischen Simulationen und Messungen im Prüfstand (Jahresbericht Projekt 101792).
- [6] A. Prévôt (andre.prevot@psi.ch), U. Baltensperger, PSI, Villigen : Erweiterte Partikelanalytik für Holzfeuerungsabgase (Jahresbericht Projekt 102207).
- [7] L. Konersmann (Lars.Konersmann@solarenergy.ch), R. Haberl, E. Frank, SPF, Rapperswil: SimPel: Entwicklung einer Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden (JNG) von Biomasse-Kleinfeuerungen (Jahresbericht Projekt 102864).
- [8] M. Wellinger (marco.wellinger@psi.ch), J. Wochele, Ch. Ludwig, PSI, Villigen: Oberflächen-Ionisationsdetektor zur Online Messung von Alkalien in Prozessgasen (MOPSID: Monitoring of Process Gases with a Surface Ionization Detector) (Jahresbericht Projekt 102093).
- [9] T. Schildhauer (tilman.schildhauer@psi.ch), S. Biollaz, PSI, Villigen: Hochtemperatur-Entschwefelung für biogene Produktgase – Design und Optimierung (Schlussbericht Projekt 102133).
- [10] A. Soltermann-Pasca (alina.pasca@art.admin.ch), L. v. Caenegem, Agroscope Tänikon ART: Methanverluste bei Biogasanlagen (Statusbericht Projekt 103310).
- [11] E. Büeler (elmar.bueeler@axpo-genesys.ch), Axpo Genesys AG, Frauenfeld: CH₄-Emissionen bei EPDM-Gasspeichern und deren wirtschaftlichen und ökologischen Folgen (Jahresbericht Projekt 103309).
- [12] H. Frantz (holger.frantz@ebp.ch), Ernst Basler + Partner AG, Zollikon: Messung von Geruchsemissionen und Entwicklung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen (Projekt 103315).
- [13] K. Mager (kerstin.mager@art.admin.ch), S. Schrade, M. Keck, Agroscope Tänikon ART: Geruchsquellen bei Biogasanlagen (Statusbericht Projekt 103306).
- [14] N. Bachmann (nathalie.bachmann@erep.ch), EREP SA, H. Fruteau de Laclos, Ch. Holliger, EPF Lausanne, Y. Membrez, EREP SA, Aclens, A. Wellinger, Novaenergie, Aadorf: Optimisation des tests standardisés de digestibilité dans des réacteurs batch et continus (Jahresbericht Projekt 103311).
- [15] A. Wellinger (arthur.wellinger@novaenergie.ch), Novaenergie, Aadorf, N. Bachmann, EREP SA, Aclens: Evaluation und Auswahl einer Feststoffanlage zur Biogasproduktion (Jahresbericht Projekt 103419).
- [16] J.-L. Hersener (hersener@agrenum.ch), Ingenieurbüro Hersener, Wiesendangen, U. Meier, Meritec GmbH, Guntershausen, U. Baier, M. Kühni, S. Künzli, ZHAW, Wädenswil: Vergärung von Gülle und Co-Substraten in einem Membran-Bioreaktor (MBRII) (Jahresbericht Projekt 102406).
- [17] J. Müller (johannes.mueller@psi.ch), F. Vogel, PSI, Villigen: Optimierung der Hydrolyse und Salzabtrennung bei der hydrothermalen Vergasung von Biomasse (Jahresbericht Projekt 102301).
- [18] F. Vogel (frederic.vogel@psi.ch), PSI, Villigen: Stofflich-energetische Verwertung von Kompogas-Presswasser durch hydrothermale Vergasung (Statusbericht Projekt 103313).
- [19] R. Warthmann (Rolf.Warthmann@zhaw.ch), M. Kühni, U. Baier, ZHAW, Wädenswil: Anaerobe Behandlung kommunaler Abwässer in der Schweiz (Schlussbericht Projekt 102774).
- [20] N. Bachmann (nathalie.bachmann@erep.ch), EREP SA, Aclens: Vorteile und Grenzen der Vergärung von leicht abbaubaren Industrie- und Lebensmittelabfällen in Abwasserreinigungsanlagen – Vergleich zur landwirtschaftlichen Vergärung (Masterarbeit EPFL Projekt 102963).
- [21] U. Oester (info@apex.eu.com), Apex AG, Däniken: Aufbereitungs- und Betankungsanlage für kleinere Biogasproduktionsmengen (Schlussbericht Projekt 101564).
- [22] M. Leuenberger (leuenberger@esu-services.ch), N. Jungbluth, ESU-services, Uster: Ökobilanz der Biogasproduktion aus unterschiedlichen Substraten (Projekt 103298).
- [23] A. Dauriat (arnaud.dauriat@eners.ch), ENERS Energy Concept, Lausanne, Y. Membrez, Nathalie Bachmann, EREP, Aclens, G. Gaillard, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART : Analyse de cycle de vie de la production centralisée et décentralisée de biogaz en exploitations agricoles (Projekt 103304).
- [24] F. Hayer (frank.hayer@art.admin.ch), G. Gaillard, Th. Nemecek, D. Suter, H. Hug, M. Werder, G. Albisser, Ch. Gazzarin, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART: Ökobilanzierung des Anbaus von Zwischenfrüchten zur Biogasproduktion (Projekt 103302).

- [25] F. Dinkel (f.dinkel@carbotech.ch), M. Zschokke, Carbotech AG, Basel, K. Schleiss, UMWEKO GmbH, Grenchen: Ökobilanz zur Biomassenutzung (Projekt 103300).
- [26] M. Faist Emmenegger (mireille.faist@empa.ch), S. Gmünder, M. Lehmann, R. Zah, Empa Dübendorf, Th. Nemecek, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ch. Bauer, PSI, Villigen: Harmonisierung und Erweiterung der Bioenergie-Ökoinventare und –Ökobilanzen (Projekt 103314).
- [27] A. Rügsegger (adrian.ruegsegger@swtr.admin.ch), TA Swiss, Bern: Technology Assessment Studie « Treibstoffe aus Biomasse-zweite Generation » (Sitzungsunterlagen Projekt 102772).
- [28] A. Märki (Alexandra.Maerki@ebp.ch), K. Serafimova, EBP, Zollikon: Konzept für die Infothek Biomasse (Konzeptentwurf Projekt 102782).

Referenzen

- [29] BFE, 2009: Biomassestrategie Schweiz (www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen).
- [30] International Energy Agency (IEA) Implementing Agreement Bioenergy (www.ieabioenergy.com).
- [31] Implementing Agreement Bioenergy Task 32 (www.ieabcc.nl).
- [32] Implementing Agreement Bioenergy Task 33 (www.gastechnology.org).
- [33] Implementing Agreement Bioenergy Task 37 (www.iea-biogas.net).

Liste der P+D-Projekt

- [34] T. Bakx (toine.bakx@erep.ch), S. Roche, Y. Membrez, EREP SA, Aclens : Traitement de l'azote des digestats issus d'installations de biogaz au moyen d'un réacteur à biofilm sur support mobile (Jahresbericht Projekt 102995).
- [35] T. Anken (thomas.anken@art.admin.ch), Agroscope, Tänikon: Miscanthus Kleinfeuerung (Jahresbericht Projekt 102882).