

Session IV  
Neue Forschungs- und  
Entwicklungs-Ansätze  
für die Kraftstoffherstellung aus  
erneuerbaren Ressourcen

# Vom Holz zum Methan

## Zusammenfassung

S. Stucki,  
S. Biollaz,  
F. Vogel  
Labor für Energie und  
Stoffkreisläufe,  
Paul Scherrer Institut,  
samuel.stucki@psi.ch

Thermische Vergasung und vollständige Konversion zu Methan ist eine interessante Option aus Biomasse einen Energieträger herzustellen, welcher über existierende Infrastruktur verteilt werden kann. Es werden thermische Verfahren vorgestellt, welche aus Holz ein Gemisch aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  erzeugen. Synthesegas aus einem Holzvergaser mit indirekter Wärmezufuhr kann ohne StöchiometrieEinstellung zu Methan und  $\text{CO}_2$  umgesetzt werden. Längerfristig ist die Entwicklung eines Verfahrens interessant, welches Biomasse in überkritischem Wasser mit einem geeigneten Katalysator direkt zu Methan und  $\text{CO}_2$  umsetzt.

## Einleitung

Die Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien trägt wirksam zur Verminderung der  $\text{CO}_2$ -Emissionen bei und ist eine zentrale Maßnahme zur Erreichung der klimapolitischen Zielsetzungen. Um in der Schweiz erneuerbare Energie als Primärenergie einzusetzen, steht nach der heute praktisch vollständig genutzten Wasserkraft vor allem die Biomasse zur Verfügung.

Neuere Studien des Schweizerischen Bundesamts für Energie (BFE) weisen aus, dass das Potenzial von einzelnen Typen von Biomasse in der Schweiz die heutige Nutzung um ein Mehrfaches übersteigt [1]. So könnte beispielsweise die Energieholznutzung verdoppelt werden, und bei landwirtschaftlichen Abfällen (vor allem Hofdünger) wird ein großes Energiepotenzial heute praktisch nicht genutzt. Biomasse gilt auch in der EU als kurz- bis mittelfristig wichtigste

Ressource für den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung auf der Basis von erneuerbaren Energieträgern. Im Gegensatz zu Europa spielen die landwirtschaftlich produzierten Energiepflanzen (nachwachsende Rohstoffe) in der Schweiz eine untergeordnete Rolle.

Es stellt sich die Frage, welche Voraussetzungen erfüllt werden müssen, damit die Potenziale besser ausgenutzt werden können. Diese Fragestellung steht im Zentrum des Projekts Ecogas, einer Initiative im Rahmen der Strategie Nachhaltigkeit des ETH-Bereichs, welche Optionen für eine umweltgerechte Nutzung dieser Biomasseressourcen über die Vergasung untersucht.

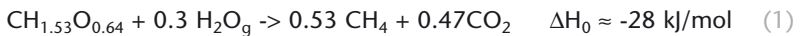
Die Produktion von Treibstoffen aus Biomasse ist eine interessante Alternative zur Stromerzeugung und auf absehbare Zeit kostengünstiger als die Produktion von Treibstoffen aus anderen erneuerbaren Energien (Wasserstoff aus Solar- oder Windanlagen). Es gibt eine Reihe von möglichen Biotreibstoffen, die prinzipiell über thermisch-katalytische Verfahren aus Holz produziert werden können. Diskutiert werden flüssige Energieträger wie synthetisches Benzin bzw. Diesel (Fischer-Tropsch Synthese) oder Methanol sowie gasförmige Treibstoffe wie Wasserstoff, Methan oder Dimethylether (DME). Welcher dieser Energieträger sich im Treibstoffmarkt etablieren wird, hängt von einer Reihe von Kriterien ab: Wichtig ist der Gesamtwirkungsgrad der Energiewandlungskette vom Baum bis zum Rad, welcher die spezifischen Treibstoffkosten pro gefahrenen Kilometer beeinflusst. Daneben spielen aber auch Fragen der Verteilungsinfrastruktur (Tankstellen) und der Marktakzeptanz, z.B. für gasförmige Treibstoffe, eine wichtige Rolle.

Energieträger aus Biomasse müssen kompatibel sein mit den handelsüblichen Energieträgern (heute: Öl, morgen

vermehrt Erdgas, übermorgen Wasserstoff) und entsprechend müssen Biomasse-Konversionsverfahren an das gegebene Umfeld angepasst werden. Thermische Verfahren erlauben die Nutzung eines vielfältigen Biomasseinputs und produzieren gut definierte Produkte (Fischer-Tropsch Diesel oder netzkompatibles Bio-SNG), welche über die etablierte Infrastruktur verteilt werden können.

Methan und CO<sub>2</sub> sind die "natürlichen" Produkte aus Biomasse: sie entstehen durch anaerobe Vergärung von Bio-Abfällen (Biogas, Deponiegas), aber auch bei thermischen Vergasungsprozessen kann bis ca. ein Drittel des gesamten Heizwertes des Rohgases aus Methan oder anderen mit dem Erdgasnetz kompatiblen gasförmigen Kohlenwasserstoffen bestehen. Das sind gute Voraussetzungen für einen effizienten und robusten Prozess.

Die der Konversion von Biomasse zu Methan und CO<sub>2</sub> (z.B. bei der Vergärung) zugrunde liegende Reaktion ist die chemische Disproportionierung des Kohlenstoffs nach der Reaktionsgleichung:



Die Reaktion ist leicht exotherm und entspricht bei Temperaturen bis gegen 500 °C in Gegenwart von Wasser der Einstellung des chemischen Gleichgewichts (s. Abb. 1). Herkömmliche thermische Vergasungsverfahren erfordern aus Gründen der Reaktivität Temperaturen um 800 bis 900 °C und liefern gem. Abb. 1 Wasserstoff und CO, welche in einer zweiten Stufe bei Temperaturen um 400 °C zu Methan umgesetzt werden können: Formal lässt sich die Reaktion (1) in eine endotherme Vergasung und eine exotherme Methanierung aufteilen:

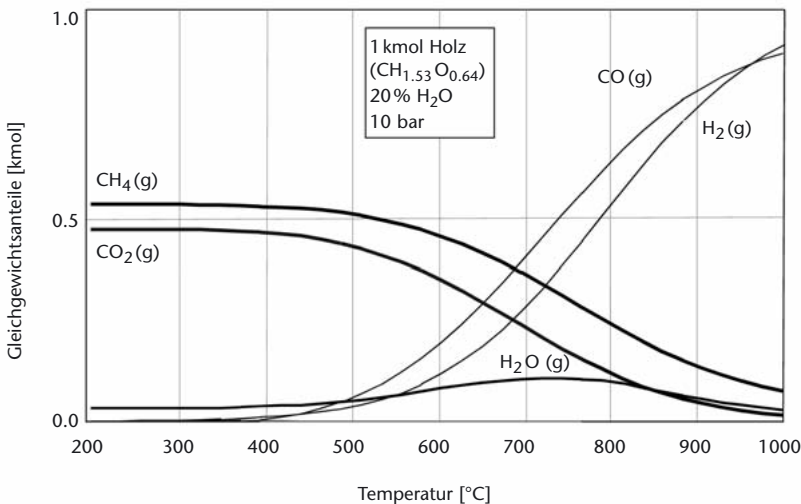


Am PSI untersuchen wir die Vergasung von Biomasse zum Methan nach der direkten Reaktion (1) in überkritischem Wasser als Reaktionsmedium und nach dem konventionellen Verfahren über Bio-Synthesegas.

## Synthetisches Erdgas aus Bio-Synthesegas (Bio-SNG)

Die direkte (mit Sauerstoff als Vergasungsmittel) oder indirekte Vergasung von Holz oder holzartigen Biomassen liefert ein Bio-Synthesegas, welches je nach Verfahren unterschiedliche Zusammensetzung aufweist. Das Synthesegas kann bereits unterschiedliche Anteile an Erdgasbestandteilen (Methan, Ethan, etc.) enthalten. Der Methangehalt ist vor allem eine Funktion der Vergasungstemperatur und

*Abbildung 1:*  
Chemische Gleichgewichtskurven für das System Biomasse und Wasser, als Funktion der Temperatur. Bei niedrigen Temperaturen sind Methan und  $\text{CO}_2$ , bei hohen Temperaturen  $\text{CO}$  und  $\text{H}_2$  die dominierenden Spezies.



liegt bei indirekten Vergasungsverfahren relativ hoch. Die Zusammensetzung des Gases aus dem FICFB-Vergaser der TU Wien, wie er im MW-Massstab in Güssing (A) realisiert wurde, ist in *Tab. 1* angegeben [2]. *Tab. 1* belegt, dass die Erdgasbestandteile des Gases bereits ca. 30% des gesamten Heizwerts ausmachen, d.h. dass dieser Anteil nicht weiter konvertiert werden muss. Für die Konversion des Synthesegases in leitungstaugliches Erdgas müssen die Wasserstoff- und Kohlenmonoxid-Anteile über einen geeigneten Methanierungskatalysator in Methan und CO<sub>2</sub> umgewandelt und am Ende das CO<sub>2</sub> aus dem Gemisch entfernt werden.

Für die Methanierung von Bio-Synthesegas kann auf Technologien abgestellt werden, welche in den 70er und 80er Jahren für die Produktion von SNG aus Kohle entwickelt wurden [3]. Die Arbeiten von Hedden et al [4] haben gezeigt, dass in einem Wirbelschichtreaktor die Methanierungsreaktion bei hohen CO-Konzentrationen in einem breiten Bereich von H<sub>2</sub>/C-Verhältnissen bzw. Dampfverhältnissen gefahren werden kann ohne zu Verkokung und damit Deaktivierung zu führen.

Am PSI wurden die Reaktionsbedingungen der Untersuchungen von [4] in einer 2 kW Wirbelschichtanlage mit

*Tabelle 1:*  
Typische Gaszusammensetzung FICFB Vergaser [2].

Gas	Vol. [%]
H <sub>2</sub>	37.7
N <sub>2</sub>	3.2
CO	26.2
CH <sub>4</sub>	9.9
CO <sub>2</sub>	20.3
Ethen	2.5
Ethan	0.2

Synthesegaszusammensetzungen, wie sie einem typischen Holzvergaser entsprechen, reproduziert. Es konnten dabei Katalysatorformulierungen identifiziert werden, welche mit den im gereinigten Rohgas des FICFB-Vergasers vorhandenen Kohlenwasserstoffen (Benzol, Naphthalin, Alkene) kompatibel sind. Damit erweist sich die katalytische Methanierung als eine robuste Methode, um aus Holzgas ein marktfähiges Gas zu produzieren. Für die Aufbereitung des Gases zu Erdgas-Leitungsqualität (Abtrennung von CO<sub>2</sub>, Trocknung) sind erprobte Technologien verfügbar, die aber für eine technische Anlage angepasst und optimiert werden müssen.

Bei konservativer Modellierung des Gesamtprozesses kann ein Gesamtwirkungsgrad von 55% für die Umwandlung von Holz zu Methan in einer Anlage von 20 bis 100 MW Leistung erwartet werden. In einer neueren holländischen Studie werden Wirkungsgrade von 67% berechnet [5]. Die erzielbaren Wirkungsgrade hängen weitgehend davon ab, in welchem Masse es gelingen wird, die thermischen Prozesse so zu integrieren, dass die endotherme Vergasung und die exotherme Methanierung optimal aufeinander abgestimmt werden können. Die Optimierung der Vergasung hinsichtlich hoher Methananteile ist in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung.

## Vergasung von Biomasse zu Methan unter hydrothermalen Bedingungen

Die chemische Reaktion (1) kann im Prinzip in einem Schritt mit geringer exothermer Wärmetönung durchgeführt werden, wenn dafür die geeigneten Reaktionsbedingungen (Temperatur, Druck, Medium) gefunden werden können. Erste Versuche in einem Batchreaktor haben nachgewiesen, dass die direkte Umsetzung von Biomasse (Holz

als Modellschubstanz) zu Methan und  $\text{CO}_2$  in überkritischem Wasser und in Gegenwart eines geeigneten Katalysators möglich ist [6]. Eine Suspension von Holz (18 Gew.-%), Katalysator (9 Gew.-%) und Wasser (73 Gew.-%) wurde bei  $413^\circ\text{C}$  und einem Druck von 27.4 - 32 MPa zu einem Gasgemisch aus  $\text{CH}_4$  (34 Vol.-%),  $\text{H}_2$  (21 Vol.-%) und  $\text{CO}_2$  (45 Vol.-%) umgesetzt. Die Bildung von CO und Teeren wird unter diesen Reaktionsbedingungen praktisch vollständig unterdrückt. Wenn es gelingt, diese unkonventionellen Reaktionsbedingungen im technischen Maßstab und für kontinuierlichen Dauerbetrieb zu realisieren, ergibt sich eine attraktive Variante Biomasse direkt und effizient zu Methan und  $\text{CO}_2$  umzusetzen. Erste Modellrechnungen lassen Wirkungsgrade bis zu 80% erwarten. Das Verfahren eröffnet auch interessante Anwendungen namentlich bei nassen Biomassen (Schlämme, Gülle, etc.).

## Schlussbemerkungen

Es gibt gute Gründe, welche für Methan als Biotreibstoff sprechen:

- Erdgas ist ein etablierter Energieträger, welcher zunehmend auch als Treibstoff eingesetzt wird;
- Optimierte Gasfahrzeuge zeichnen sich durch sehr niedrige Emissionen und potenziell hohe Wirkungsgrade aus;
- Gasfahrzeuge werden in vielen Ländern aus klimapolitischen Überlegungen gefördert.
- Methan ist das "natürliche" Abbauprodukt von Biomasse und ist das thermodynamisch sinnvolle Produkt.
- Methan aus Biomasse als Treibstoff hat gegenüber Fischer-Tropsch-Diesel ökologische Vorteile, vor allem wenn die möglichen Weiterentwicklungen bei Gasmotoren in Betracht gezogen werden [7].

## Literatur

- [1] J.-L. Hersener, U. Meier, "Energetisch nutzbares Biomassepotential in der Schweiz sowie Stand der Nutzung in ausgewählten EU-Staaten und den USA", Bundesamt für Energie, Bern (April 1999)
- [2] Institut für Verfahrens- Brennstoff- und Umwelttechnik, TU Wien (<http://www.ficfb.at/>)
- [3] Advanced Coal Gasification Technical Analyses, Gas Research Institut Chicago Illinois, (1982-1985) GRI-86/0009.1
- [4] K. Hedden, A. Anderlohr, J. Becker, H.-P. Zeeb, Y-H.Cheng, Gleichzeitige Konvertierung und Methanisierung CO-reicher Gase, BMFT-FB- T 86-044 (1986)
- [5] M. Mozaffarian, R.W.R. Zwart, "Feasibility of Biomass/Waste-Related SNG Production Technologies"; Final Report, ECN-CX-02-119, ECN, Energy Research Centre of the Netherlands, 2003
- [6] F. Vogel, F. Hildebrand, "Catalytic hydrothermal gasification of woody biomass at high feed concentration" 4th International Symposium on High Pressure Technology and Chemical Engineering, Venice, Italy, Chemical Engineering Transactions, 2, 771-776 (2002)
- [7] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, "Bedeutung von Erdgas als neuer Kraftstoff im Kontext einer nachhaltigen Energieversorgung" Kurzfassung, 2003 (<http://www.wupperinst.org/Seiten/home1.html>)

# Kraftstoffe aus Biomasse mit dem Carbo-V<sup>®</sup>- Vergasungsverfahren

## 1. Einleitung

A. Althapp  
UET Umwelt- und  
Energietechnik Freiberg  
GmbH  
anton.althapp@  
uet-freiberg.de

Die CHOREN Industries GmbH in Freiberg/Sachsen verfügt über das weltweit patentierte Carbo-V<sup>®</sup>-Vergasungsverfahren. Die UET Umwelt und Energietechnik Freiberg GmbH – Tochter der CHOREN Industries GmbH – hat dieses Vergasungsverfahren entwickelt.

Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es das erste technisch verfügbare Vergasungsverfahren für Biomasse ist, das ein absolut teerfreies Gas liefert, das unmittelbar in einem Gasmotor verstrombar oder auch zur Herstellung von Synthesegas verwendbar ist.

In einem vom BMWi bzw. BMWA geförderten Verbundprojekt mit DaimlerChrysler AG (DC AG) bestand die Aufgabe für die UET den Nachweis für die Herstellung von Methanol und verbrennungsmotorische Kraftstoffe aus Biomasse zu erbringen, wobei die erneuerbaren Kraftstoffe von DC AG zu testen sind.

## 2. Carbo-V<sup>®</sup>-Vergasung

Die UET betreibt eine Carbo-V<sup>®</sup>-Pilotanlage mit einer thermischen Leistung von 1 MW.

Die Carbo-V<sup>®</sup>-Vergasung ist ein für alle organischen Stoffe universelles Vergasungsverfahren. Daher ist diese Anlage nach den Kriterien der 17. BImSchV beantragt und genehmigt worden.

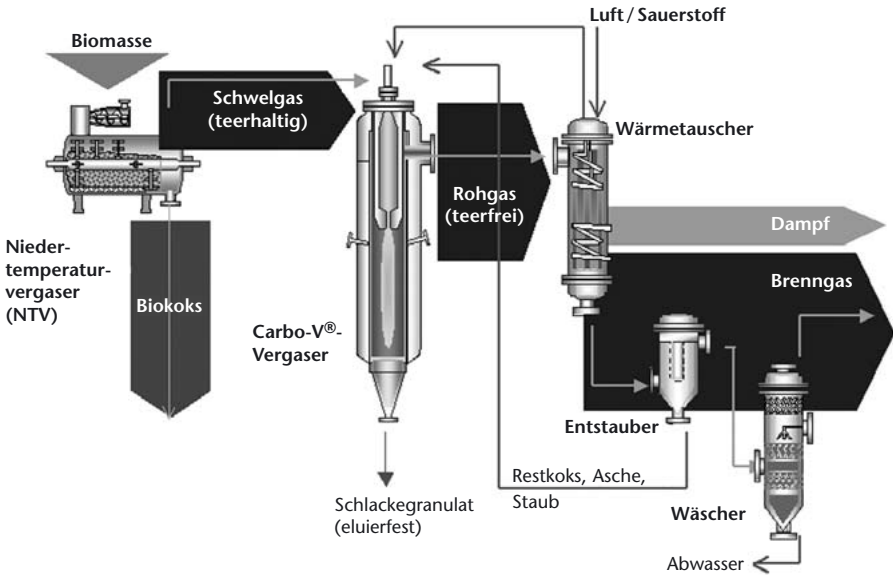


Abbildung 1:  
Anlagenschema Carbo-V®-Vergasung

Bisher wurden neben naturbelassenem Holz auch Kohle, Schredderleichtfraktionen, Restöle, Trockenstabilat sowie Tiermehl vergast.

In einem Langzeittest ist das Gas aus dieser Anlage in einem Gasmotor zur Stromerzeugung getestet worden. Es konnten keinerlei Spuren von Teeren oder deren Spaltprodukten nachgewiesen werden.

Das Anlagenschema ist im Anhang *Abb. 1* dargestellt. Kennzeichnend ist das 3-stufige Vergasungssystem. Die dritte Stufe stellt die chemische Quenchstufe dar, die Wärmeenergie in chemische Enthalpie umwandelt, was zu einer höheren Vergasungsausbeute führt. Die zweite Stufe entspricht einer Flugstromvergasung.

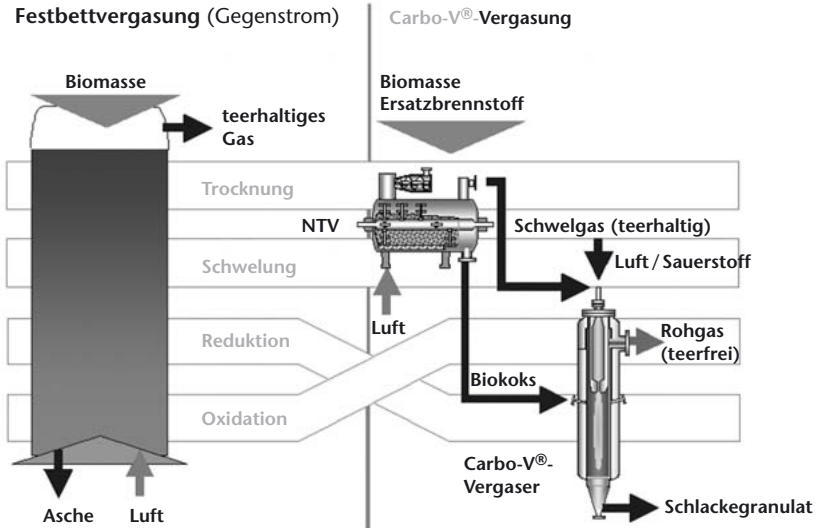


Abbildung 2:  
Festbett- versus Carbo-  
V®-Vergasung

Zum Vergleich zu Gegenstrom-Vergasungsverfahren sind die einzelnen Vorgänge in der Vergasung im Anhang *Abb. 2* dargestellt. Die Einordnung des Verfahrens ist im Anhang *Abb. 3* dargestellt.

Alle Vergasungsverfahren, die nicht das Flugstromprinzip enthalten, sind u.a. dadurch gekennzeichnet, dass sie ein teerhaltiges Gas erzeugen und damit Aufwendungen zur Beseitigung der Teerkondensate erforderlich sind. In der Regel ist damit auch eine aufwändige Abwasserbeseitigung nötig.

Durch das System der Carbo-V®-Vergasung ergeben sich gegenüber anderen Vergasungsverfahren wesentliche Vorteile (s. *Abb. 4*).

Die Anlage hat in einer Betriebszeit von über 8.000 h ihre Eignung nachgewiesen.

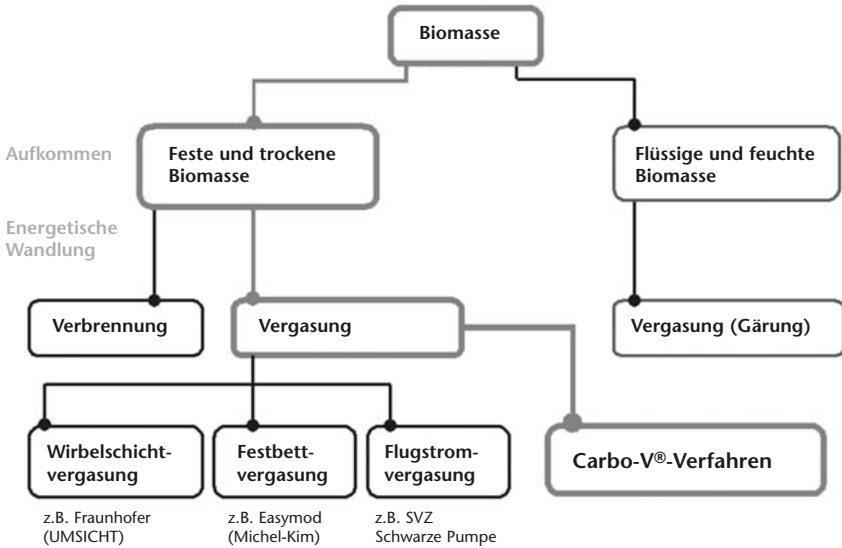


Abbildung 3:  
Einordnung des Carbo-V®-Verfahrens

### 3. CHOREN-Strategie

Auf der Grundlage dieses Vergasungsverfahrens ist von CHOREN ein dezentral-zentrales Strategiekonzept entwickelt worden. Dieses Konzept ist in *Abb. 5* schematisch dargestellt.

Eine Untervariante zur dezentralen Biokokserzeugung stellt die dezentrale Erzeugung einer Maische aus Biokoks und Pyrolysekondensate dar. Diese ist ebenfalls in der 2. Stufe des Carbo-V®-Verfahrens einsetzbar.

Zentral ist in jedem Falle die Herstellung von Erneuerbaren Kraftstoffen.

Abbildung 4:  
Vorteile des Carbo-V®-  
Verfahrens

- Erzeugung eines teerfreien Gases
- Kaltgaswirkungsgrad von über 82%
- elektr. Wirkungsgrad von bis zu 40% möglich
- Einsatz für sämtliche kohlenstoffhaltige Substanzen möglich (universelles Vergasungsverfahren)
- Über 8.000 Stunden erprobt

## 4. F&E-Projekt

In dem bereits in Punkt 1 genannten F&E-Vereinbarungprojekt "Erneuerbare Kraftstoffe/Methanol" sind folgende Teilvorhaben enthalten:

1. Erprobung der Gesamtkette "Biomassenveredlung/regenerative Energie/Methanolerzeugung und verbrennungsmotorische Kraftstoffsynthese" und Herstellung erneuerbarer Kraftstoffe
2. Erprobung der Kraftstoffe im Labor und auf Prüfständen der Automobilindustrie und Einsatzversuche in Verbrennungsmotoren
3. Entwicklung und Errichtung einer Prototypanlage zur Erprobung der Herstellung von Biokoks als Kohlenstoffträger und energetische Verwertung des Schwelgases.

Projektpartner sind:

- BMWi
- UET
- CHOREN
- DaimlerChrysler AG
- (Volkswagen AG)

Investitionen: ca. 11 Mio. €  
Beginn: September 2001,  
Ende: Dezember 2003

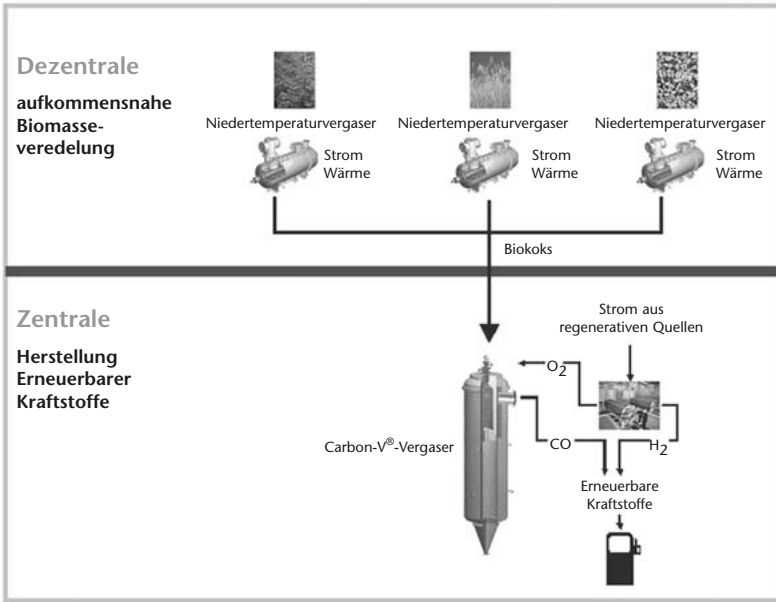


Abbildung 5:  
Die Strategie-  
Erneuerbare  
Kraftstoffe

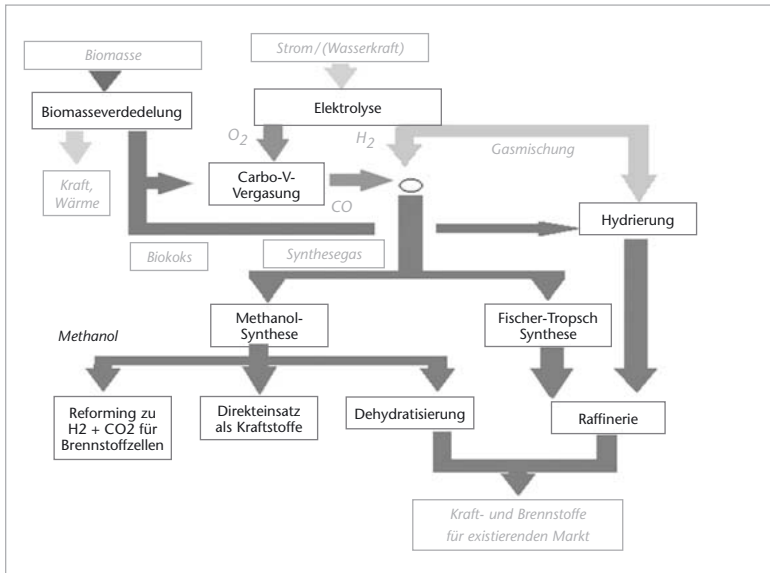


Abbildung 6:  
Erneuerbare  
Kraftstoffe  
aus Biomasse  
und regenera-  
tivem Strom

## 5. Ergebnisse des Verbundprojektes

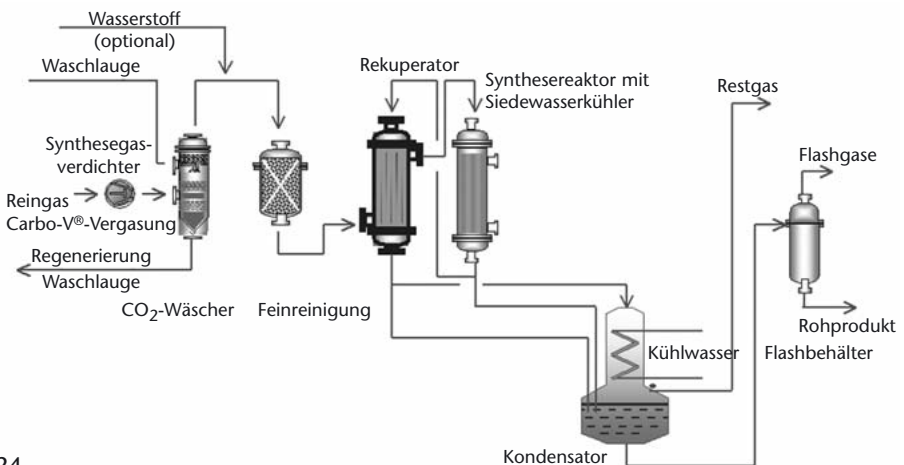
Die Möglichkeiten einer Kraftstofferzeugung aus Biomasse und regenerativem Strom sind in *Abb.6* dargestellt.

Die Umrüstung der Pilotanlage sowie die Errichtung der Syntheseanlagen-Methanolsynthese und Fischer-Tropsch-Synthese (FT-Synthese) waren im März 2003 abgeschlossen (*Abb. 7*).

Die Gründe für die Wahl der Fischer-Tropsch-Synthese für den Weg der Herstellung von BTL (Biomass to Liquid) sind folgende:

- BTL hat die Qualität synthetischer Kraftstoffe hergestellt aus Erdgas:
  - Aromatenfrei
  - hohe Cetanzahl
  - vorzugsweise Kraftstoff für direkte Kraftstoffeinspritzsysteme
- BTL kann ohne Anpassung in Infrastruktur und Antriebssystemen verwendet werden.

Abbildung 7:  
Verfahrensfließbild  
Fischer-Tropsch-Synthese



- BTL hat das größte Potenzial aller Biokraftstoffe, weil verschiedene Einsatzstoffe verwendet werden können.
- BTL bietet mit regenerativem Kohlenstoff als Wasserstoffträger die ideale Plattform für den stabilen Wasserstofftransport einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft.

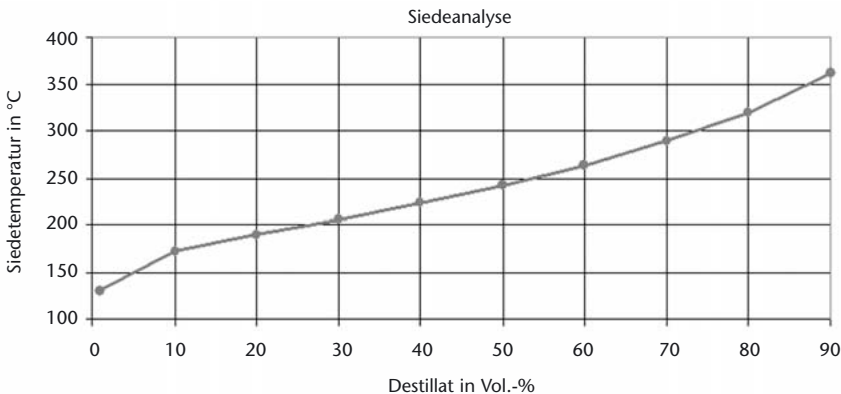
Die Methanolsynthese ging im April 2003 in Betrieb. Es wurden ca. 11 m<sup>3</sup> Methanol produziert. Im Mai 2003 wurden 1 t Methanol mit einer Reinheit von >99,95 % an Daimler-Chrysler AG ausgeliefert.

Die Fischer-Tropsch-Synthese ging im Juni 2003 in Betrieb und die ersten Proben wurden im Juli 2003 an Daimler Chrysler AG übergeben.

Beide Syntheseprodukte – Methanol und Fischer-Tropsch-Produkt – sind faktisch schwefelfrei.

In *Abb. 8* sind ausgewählte Siedefractionen aus der ersten FT-Versuchsserie dargestellt. Ihre Zusammensetzung (Chromatogramm) ist in *Abb. 9* wiedergegeben.

*Abbildung 8:*  
*Analyseergebnisse*



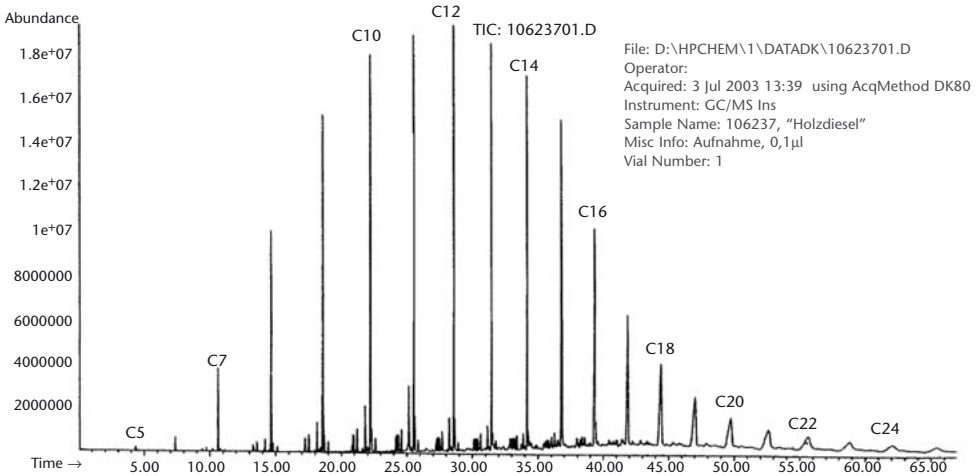
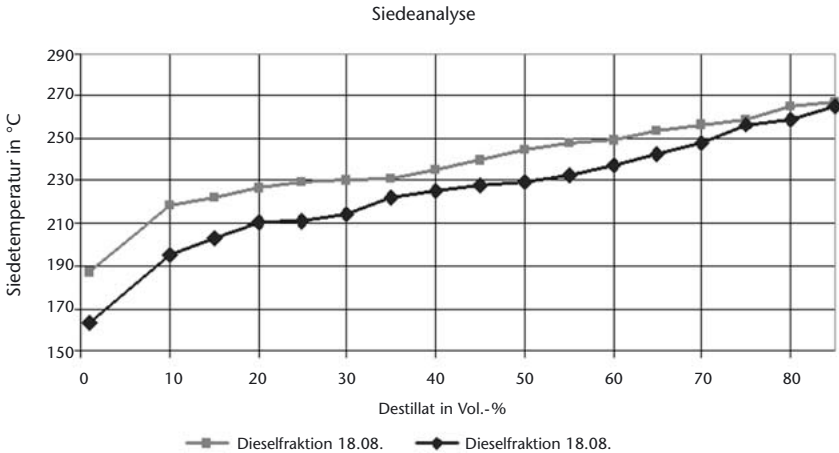


Abbildung 9

Das FT-Rohprodukt weist einen Gehalt an n-Alkanen von ca. 80% aus und die Cetan-Zahl liegt über 70. Der Gehalt an Alkenen liegt bei ca. 20%, wobei diese insbesondere bei den niedrig siedenden Komponenten auftreten. Je höher die Siedelage des Rohproduktes, umso niedriger ist der Gehalt an Alkenen. In den Dieselfractionen lag der Gehalt an Alkenen bei <10%.

In weiteren Versuchsserien werden mit der Automobilindustrie abgestimmte Proben hergestellt und übergeben. Die Proben werden für spezielle Zwecke untersucht und ebenso für ausgewählte Einsatzgebiete "maßgeschneidert" (Abb. 10).

Hervorzuheben ist die Tatsache, dass die Aufgabe der Synthese von Methanol und FT-Produkt aus Biomasse prinzipiell ohne nennenswerte Probleme gelöst wurde.



Die Prototypanlage zur Erprobung der Herstellung von Biokoks als Kohlenstoffträger und energetische Verwertung des Schwelgases wurde im Oktober 2003 in Betrieb genommen (Probetrieb).

Abbildung 10:  
Analyseergebnisse

Damit ist die Möglichkeit gegeben, sowohl erneuerbare Kraftstoffe herzustellen als auch den Weg zu bereiten, vom Erdölmarkt unabhängig zu werden und die Wertschöpfung im eigenen Lande zu gestalten.

# Alcohol production from lignocellulosic feedstock

## Summary

J. Lindstedt,  
BioAlcohol Foundation  
Sweden  
jan.lindstedt@baff.info

In Sweden as in many other countries ethanol is the most spread alternative to gasoline and diesel. Sweden has more than 400 busses running on neat ethanol, about 7.000 Ford Focus flexifuel running on e85 and about 800.000 cars running on e5. It is essential to develop the whole chain from rawmaterial, production, distribution and vehicles to rules and taxexemptions.

Softwood is the feedstock with the biggest potential in Sweden for ethanol production. Softwood residues from harvesting or from sawmills and other wood based production units can be used. Hard wood residues and cultivated energy crops could also be interesting feed stocks in Sweden, when pentoses can be fermented in an industrial environment. In Sweden cultivated energy crops mainly means salix (willow) and reed canary grass.

Ethanol production in a stand alone unit, based on cellulose raw material is hard to motivate today, due to high costs and low energy output. About ten different feasibility studies have been made in Sweden by BioAlcohol Fuel Foundation integrating ethanol production with municipality power plants, sawmills, pulp mills, wood pellets plants etc.

The studies show that Ethanol can be produced in a biocombine at a cost of about 40-50 € ct/l. The first step is to show that the process works in a Pilotplant now under construction and startup during spring 2004.

## Background

The development of ethanol production from cellulose raw material has been going on for 15 to 20 years at the Universities in Sweden and other countries. Several process alternatives for hydrolysis of cellulose materials have been evaluated. Diluted acid in two steps and a third enzyme step seems to be the most suitable for softwood to get high yields of ethanol.

For hardwood and straw probably just one step of diluted acid completed with one enzyme step is necessary.

Based on results from the bench scale unit at the technical university of Lund the next step in the development is to build a pilot plant for verifying and optimising process and technology and further development.

## Bioenergy combines

Regional energy companies are the most committed stakeholders in ethanol development in Sweden at the moment. They have a vision to give energy support to the inhabitants in all fields, electricity, district heating, and fuel for transport. This could be described in the following figure, representing a medium-sized municipality in Sweden with about 60.000 inhabitants.

Sweden have about 35 municipal electric and power plants producing totally 5 TWh<sub>e</sub>/year and 15 TWh<sub>th</sub>/year. By combining these power plants with ethanol production facilities bioenergy combines are created.

A bioenergy combine with a capacity of 60.000.000 liters ethanol/year is what we can call a "normal-sized" Swedish

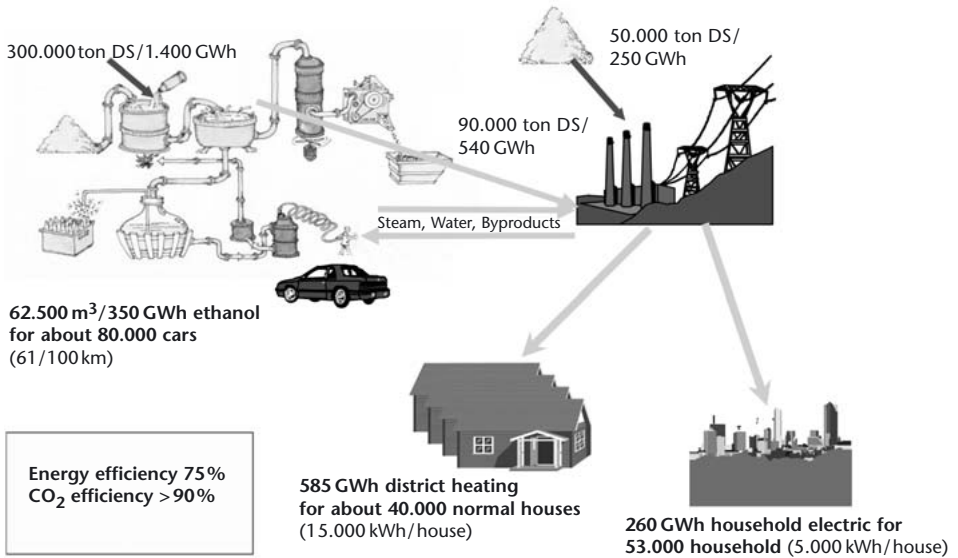


Figure 1:  
Biorefinery &  
Energycombine  
(Ethanol-, Electricity-,  
District heating  
production)

plant. In this case roughly most of the energy demand in the municipality for transport, heating of buildings and small and medium sized enterprises are supported from the combine excluding bigger industry. Energy saving can increase the share even more.

The same result can be reached with an ethanol plant in combination with a sawmill, including a dryer for board and deal or a plant for upgrading biofuels to pellets.

## Pilot plant

To develop the technology for ethanol production from soft wood residues, some regional energy companies formed, five years ago, a new company, called Etek EtanolTeknik (EthanolTechnology) which has made the process design of the pilot plant or Process Development Unit (PDU) that now is erected. Etek is also responsible for the construction and later on the operation of the plant. The plant will be linked to the three Universities in the region, The Univ. of Umeå, Mid Sweden Univ. and the Technical Univ. of Luleå.

Location for the pilot plant will be in Ornskoldsvik in the northern part of Sweden, close to an existing sulphite pulp ethanol plant.

The plant will have a capacity in feedstock input of about 2 tons of dry substance/day. With the expected yield the production of ethanol will be 400-500 litres/day.

The plant is basically designed for development of the continues diluted acid hydrolysis process in two steps with a third step for enzymatic hydrolysis and for softwood residues as cellulose material.

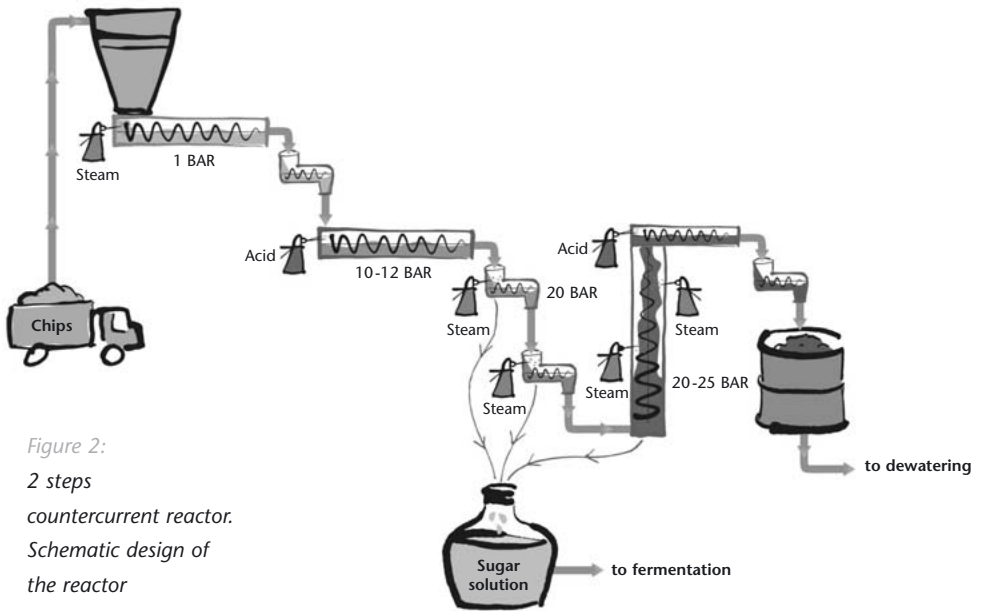


Figure 2:  
2 steps  
countercurrent reactor.  
Schematic design of  
the reactor

The second step in the reactor is a countercurrent reactor which has a good potential to increase the yield and reduce the amount of byproducts. The reactor has basically the same design as the reactor at NREL, Golden, Co, US. (Fig. 2)

As catalyst for the hydrolysis diluted sulphuric acid or sulfur dioxide will be used.

The second step, the countercurrent reactor, can be replaced or changed to a co current reactor.

The pilot plant will be a complete industrial plant with all unit operations like hydrolysis, dewatering, fermentation, distillation and recycling of process streams.

The process can be shown as follows:

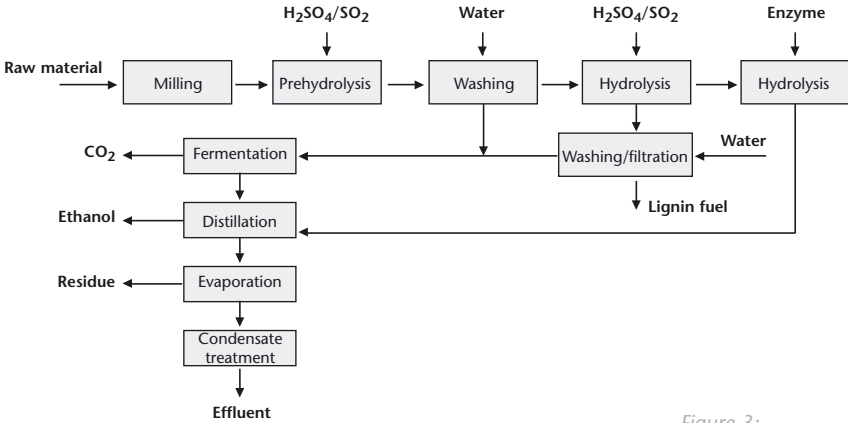


Figure 3:  
Schematic process design of ethanol production from wood. Figures in ton per odt (ton dry matter) raw material.

The plant will be operated 24 hours per day in periods of 3 to 4 weeks to get long time effect on deposits and build up of circulating byproducts. It will be operated by personnel from the existing sulfite pulp ethanol plant.

The products from the pilot plant will not be sold on the market. The energy content in the ethanol, lignin and residues will be used in the boiler at the same site.

A one week stop between the running periods is calculated for cleaning, make changes in the equipment for an other process design or just evaluate the earlier results.

Start up of the plant will be in Decembre 2003 and in April 2004 the hole process will be running. To verify the process and technology and to get more accurate design data for production plants, we need to operate and evaluate the pilot plant for about two years before the design of demonstration plant with the capacity 30 - 60.000.000 litres/year.

## Production plant

In a bioenergy combine with ethanol production some of the hemicellulose and cellulose are not converted to ethanol but solved in the process water and evaporated to a liquid fuel residue, comparable with syrup or spent liquor. This residue is burned in the boiler and could in some applications correspond to the total energy need in the plant.

Most of the lignin remains as a solid product after the process. The lignin is used as a fuel in bioenergy combines, sold as an additive in wood based biofuel pellets or as a biofuel for special purposes. The lignin fuel is very suitable for gas turbines and as an incineration additive, because it has low alkali content and high energy value 6,2 MWh/odt. In the future it may also be a raw material for "green" chemicals.

Based on the design data for the pilot plant Etek also has made a study of a production plant in combination with an existing combined heat, power and wood biofuel pellets plant in the north of Sweden. The production of ethanol was set to 75.000.000 liters a year. The investment costs for the production plant was calculated to about 145 million Euro.

In the economic evaluation, byproducts have a big influence as can be seen in *Fig. 4*.

US\$/litre ethanol	
Raw material	0.18
Energy	0.13
Chemicals	0.03
Credit by products	-0.12
Production costs	0.05
Capital costs	0.14
<b>Total</b>	<b>0.42</b>

Figure 4:  
Production costs for  
ethanol from cellulose

## Financing of the pilot plant

Both the basic design of the pilot plant, the study of a full scale production plant and the investment in the pilot plant has been financially supported by the Swedish National Energy Administration, regional EU-funds, local governments and private and regional energy companies. The investment costs in the pilot plant is about 17 million Euro and the annual running cost about 1,5 - 2 million Euro depending on the research program. An existing infrastructure at the sulphite pulp ethanol plant of a value of 6 million US \$ will also be used.

## Further development in the pilot plant

Different feed stocks like hardwood and annual crops like straw and reed canary grass will also, further on be tested in the pilot plant.

The pilot plant will be open for cooperation with partners all over Europe and other countries.

## Acknowledgments

The authors want to acknowledge the regional EU-funds, the Swedish National Energy Administration, the local governments and all private companies for the financial support in this development. We also wish to acknowledge colleagues and consultants for their excellent work.

## References

- [1] NUTEK, "System study-Techno/Economical Reviews of a number of Process Combinations or Ethanol Processes and other relevant Industrial Processes", Report No. R 1995:13
- [2] Lindstedt, J et al 1995, "Process design of a diluted acid plant in Ornskoldsvik" SSEU Report P-3100. (Swedish)
- [3] Lindstedt, J, 1995, "Feasibility study of a biorefinery in Falun", SSEU report No. P-0630. (Swedish)
- [4] L. Åstrand, et al 1996, "Local planning for extended use of forest resources for renewable energy". Alterner program Contract No. 4. 1030/Z95-123
- [5] Lindstedt, J, L. Åstrand, 1997 "Feasibility study of a biorefinery in Eksjo/Nassjo", SSEU report No. P-9903. (Swedish)
- [6] EnergyCentre North, Project report "Research/pilot plant in Örnsköldsvik" Report No P-98-2280 (Swedish)
- [7] EnergyCentre North, Project report "Demo-plant in Hedensbyn, Skellefteå" Report No. 2000-001 (Swedish, one-paged English summary)
- [8] EnergyCentre North, Final Project report "Diluted acid hydrolysis process of softwood in pilot-and full scale" Report No 2000-002 (Swedish,one-paged English summary)