

TNO-rapport

**COMETT Expert Workshop "Biomass  
Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994**

Bezoekverslag

Referentienummer 94-271  
Dossiernummer 112326-25595  
Datum juli 1994  
NP

Auteur  
Ing. S. van Loo

Trefwoorden  
— biomassa  
— verbranding  
— energiewinning  
— emissies  
— research & development

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten aan TNO', dan wel de  
betreffende terzake tussen partijen  
gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

In opdracht van  
Novem b.v.  
Ir. K.W. Kwant  
Postbus 8242  
3503 RE Utrecht

## **Samenvatting**

In de periode van 16 tot en met 18 mei jl. is in Graz, Oostenrijk de COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" gehouden. De doelstelling van deze workshop was:

- het geven van een overzicht van de state-of-the-art van de verbranding van biomassa in de range tot circa 5 MW<sub>th</sub>;
- het aangeven van benodigd onderzoek en ontwikkeling met betrekking tot een intensivering van het gebruik van biomassa als energiebron.

Aan de workshop werd deelgenomen door circa 100 personen, werkzaam bij onderzoeksinstituten en apparatenbouwers uit geheel Europa en de USA.

Met betrekking tot onderwerpen op het gebied van de kleinschalige verbranding van biomassa waarvoor onderzoek gewenst is, kunnen worden genoemd:

- Het aanpassen van bestaande installaties aan nieuw geformuleerde emissiegrenswaarden;
- Toepassing van simulatietechnieken voor verbetering van het ontwerp;
- NO<sub>x</sub>-emissiereductie.



## Inhoudsopgave

|          |                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
|          | <b>Samenvatting .....</b>                                 | <b>2</b>  |
| <b>1</b> | <b>Inleiding .....</b>                                    | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Presentaties.....</b>                                  | <b>5</b>  |
|          | 2.1 Fundamentals of Biomass Combustion .....              | 5         |
|          | 2.2 Emission Reduction .....                              | 7         |
|          | 2.3 Special Applications .....                            | 10        |
|          | 2.4 Dissemination of Bioenergy Systems .....              | 12        |
| <b>3</b> | <b>Werkgroep sessies .....</b>                            | <b>15</b> |
|          | 3.1 Wood Chip Furnaces .....                              | 15        |
|          | 3.2 Fire Wood Furnaces.....                               | 17        |
|          | 3.3 Combustion of Non Woody Biomass .....                 | 18        |
|          | 3.4 Conclusies met betrekking tot benodigd onderzoek..... | 18        |
| <b>4</b> | <b>Excursies .....</b>                                    | <b>20</b> |
|          | 4.1 Joanneum Research.....                                | 20        |
|          | 4.2 Stadsverwarmingsproject Markt Hartmannsdorf.....      | 20        |
|          | 4.3 Plantage voor energieteelt.....                       | 20        |
| <b>5</b> | <b>Referenties .....</b>                                  | <b>21</b> |
| <b>6</b> | <b>Verantwoording .....</b>                               | <b>22</b> |

|                  |                                                     |
|------------------|-----------------------------------------------------|
| <i>Bijlage 1</i> | <i>Deelnemerslijst</i>                              |
| <i>Bijlage 2</i> | <i>Abstracts van de presentaties</i>                |
| <i>Bijlage 3</i> | <i>Hand-out: Dissemination of Bioenergy systems</i> |
| <i>Bijlage 4</i> | <i>Gegevens excursies</i>                           |

---

*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

## **1 Inleiding**

In de periode van 16 tot en met 18 mei jl. is in Graz, Oostenrijk de COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" gehouden. De doelstelling van deze workshop was:

- het geven van een overzicht van de state-of-the-art van de verbranding van biomassa in de range tot circa 5 MW<sub>th</sub>;
- het aangeven van benodigd onderzoek en ontwikkeling met betrekking tot een intensivering van het gebruik van biomassa als energiebron.

De workshop werd georganiseerd door:

- Joanneum Research, Graz, Oostenrijk
- in samenwerking met:
- Deens Technologisch Instituut, Aarhus, Denemarken;
  - Universiteit Stuttgart, Stuttgart, Duitsland;
  - Wilhelm Klauwitz-Instituut, Braunschweig, Duitsland;
  - Universiteit Wenen, Wenen, Oostenrijk.

De workshop bestond uit een drietal onderdelen, te weten:

- Presentaties;
- Werkgroepen:
  - Wood Chip Furnaces;
  - Fire Wood Furnaces;
  - Combustion of Non Woody Biomass;
- Excursies:
  - testfaciliteiten houtverbranding;
  - stadsverwarmingsproject;
  - plantage voor energieteelt.

In opdracht van NOVEM (EWAB) werd door TNO-ME deelgenomen aan de workshop.

In onderstaande wordt verslag gedaan van de Expert Workshop. Een overzicht van de deelnemers is weergegeven in bijlage 1.

## 2 Presentaties

De presentaties zijn ingedeeld in een viertal hoofdonderwerpen, te weten:

- Fundamentals of Biomass Combustion;
- Emission Reduction;
- Special Applications;
- Dissemination of Bioenergy Systems.

De abstracts van de presentaties zijn weergegeven in bijlage 2.

### 2.1 Fundamentals of Biomass Combustion

#### Analysis of Biofuels

A. Zsetzsche, Universiteit Wenen, Oostenrijk

In het kader van IEA, Task X "Straw utilization" is een ringtest uitgevoerd met betrekking tot de karakterisering van stro en van de as van stro. Deze ringtest was aanleiding voor de Universiteit van Wenen op een uitgebreid databestand op te bouwen van de gegevens van verschillende biomassa-grondstoffen. Van meer dan 100 biomassa-monsters werd onder andere vastgesteld:

- asgehalte, vochtgehalte, percentage vluchtig, stookwaarde;
- hoofdelementen C, H, O, N, S, Cl;
- samenstelling en gedrag van de as.

Naast een kort overzicht van de resultaten wordt voornamelijk aandacht gevraagd voor het gedrag van de assen van verschillende biomassa-soorten. Opgemerkt wordt dat de temperatuur waarbij sintering van de assen optreedt wezenlijk verschilt tussen de verschillende biomassa-grondstoffen:

- hout: 1.650 °C;
- stro en verschillende grassoorten: 1.100 °C.

Getracht is een correlatie te vinden tussen het gedrag van de assen en het gehalte aan CaO. Geconcludeerd werd echter dat er geen correlatie tussen deze grootheden bestaat.

Met betrekking tot de analysemethode van de assen wordt opgemerkt dat hier verschillende methoden voor bestaan. Het principiële verschil tussen de methoden is de temperatuur waarbij het biomassa-monster wordt verwerkt. Deze temperatuur varieert van circa 400 °C tot 850 °C. Hierbij wordt gesteld dat verwerking bij 850 °C (gebaseerd op de analyse van kolen) ten koste gaat van 20 - 25% van de in de biomassa aanwezige zouten. Verder kan er bij hogere temperaturen calcinatie van de as optreden.

Uit een Zweeds voorbeeld blijkt dat het tijdstip van oogsten van stro een grote invloed heeft op de samenstelling (en de emissies bij verbranding) van de stro. Ten opzichte van in de zomer geoogst stro heeft in het volgend voorjaar geoogst stro een aanmerkelijk lager gehalte aan N, S, Cl, en K. Hierbij wordt opgemerkt dat een Zweedse winter nogal streng is en dat het niet zeker is of dit ook bij minder strenge winters geldt.



COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994  
Bezoekverslag

Met betrekking tot de samenstelling van *Miscanthus* wordt gesteld dat er geen invloed vastgesteld kon worden op het N-gehalte van:

- de locatie;
- het klimaat;
- de toeslag N door bemesting.

Voor *Miscanthus* werden de volgende gegevens vastgesteld:

- N 0,45 gew%;
- S 0,04 gew%;
- Cl 0,23 gew%.

### Characterisation and Utilization of Wood Ashes

I. Obernberger, Universiteit van Graz, Oostenrijk

In Oostenrijk staat momenteel circa 255 MW<sub>th</sub> opgesteld aan biomassa-verbrandingsinstallaties. Het gemiddeld vermogen van deze installaties bedraagt circa 1,5 MW<sub>th</sub>. Bij de verbranding van de biomassa ontstaat jaarlijks circa 4,300 ton as. De verdeling van de as over de plaats in de installatie waar het vrijkomt is weergegeven in onderstaande tabel.

| Plaats in de installatie<br>waar de as vrijkomt | Bijdrage aan de totale hoeveelheid as [%] |         |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|
|                                                 | Hout/schors                               | Zaagsel |
| Vuurhaard (bodemas)                             | 70 - 90                                   | 20 - 30 |
| Cyclonen                                        | 10 - 30                                   | 55 - 65 |
| E-filter, rookgascondensaat                     | 3 - 6                                     | 10 - 15 |

Opvallend is dat bij de verbranding van zaagsel circa 60% van de totale hoeveelheid as in de cycloon wordt afgevangen ten opzichte van circa 20% bij de verbranding van hout of schors. De oorzaak hiervan zullen de zeer kleine deeltjesafmetingen van het zaagsel zijn.

Met betrekking tot de samenstelling van de assen blijkt dat Cu, Pb en Zn voornamelijk op het as uit het E-filter worden geconcentreerd. Voorgesteld wordt derhalve ook om deze hoeveelheid as afzonderlijk te verwerken van de overige hoeveelheid as.

In het Bundesland Steiermark wordt momenteel gewerkt aan het opstellen van grenswaarden waaraan de assen dienen voor de toepassing van de as als meststof. As van de verbranding van schone biomassa bevat alle nutriënten behalve N.

Uit onderzoek is gebleken dat de as van schone biomassa uitermate geschikt is voor de toepassing in de compostering. De as heeft een positief effect op zowel het gehalte aan nutriënten als op de fysische gesteldheid van het compost.

### **Drying, Pyrolysis and Combustion of Biomass**

J.J. Saastamoinen, VTT, Finland

Door VTT is een model ontwikkeld voor de verbranding van een enkelvoudig biomassa-deeltje. Bij het model vindt vooralsnog geen terugkoppeling van de vuurhaardomstandigheden naar het deeltje plaats; de vuurhaardomstandigheden zijn bijvoorbeeld onafhankelijk van de gevormde hoeveelheid CO. Enkele resultaten van het model worden kort besproken.

Het effect van de vochtigheid op de verbranding van een biomassa-deeltje betreft:

- het vocht ontwijkt later uit een 'vochtig' deeltje in vergelijking tot een 'droog' deeltje;
- de maximale hoeveelheid vocht dat per tijdseenheid het deeltje verlaat, is bij een 'vochtig' deeltje lager dan bij een 'droog' deeltje'.

Behalve het model wordt ook een grafiek gepresenteerd van de relatie van de verhouding  $N_2O/NO$  in de rookgassen met de verhouding O/N in de brandstof. Hieruit blijkt dat bij kolen deze verhouding relatief hoog is ten opzichte van biomassa.

## **2.2 Emission Reduction**

### **Measures for NO<sub>x</sub> Reduction in Biomass Combustion**

T. Nussbaumer, ETH, Zürich, Zwitserland

Door Nussbaumer worden de vormingsmechanismen van NO<sub>x</sub> toegelicht. Uit experimenten met O<sub>2</sub> in Argon (geen N<sub>2</sub> in de verbrandingslucht) blijkt dat dit geen effect heeft op de vorming van NO<sub>x</sub>. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de NO<sub>x</sub> uitsluitend wordt gevormd uit de in de brandstof aanwezige N.

Van de brandstof N gaat globaal 20% naar de char en 80% naar de rookgassen.

Als primaire maatregel voor verlaging van de NO<sub>x</sub>-emissie wordt de toepassing van een reductiekamer genoemd. De omstandigheden in deze reductiekamer zijn:

- minimaal een verblijftijd van 0,3 - 0,6 sec.;
- een minimale temperatuur van 1150 °C;
- een luchtvermaat van 0,6 - 0,8.

Het effect van de reductiekamer op de NO<sub>x</sub>-emissie is maximaal 50% bij de verbranding van schoon hout. Bij de verbranding van bijvoorbeeld spaanplaat is een hoger rendement haalbaar, waarbij de NO<sub>x</sub>-emissie beperkt blijft tot circa 300 mg/nm<sup>3</sup> (11% O<sub>2</sub>).

Een andere conclusie uit het onderzoek is dat rookgasrecirculatie nauwelijks invloed heeft op de NO<sub>x</sub>-emissie.

Naast primaire maatregelen wordt tevens de toepassing van SNCR en SCR besproken.



Bij SNCR is een verwijderingsrendement van maximaal 90% haalbaar. Hierbij wordt opgemerkt dat getrapte verbranding een negatief effect op het verwijderingsrendement van  $\text{NO}_x$  kan hebben. Als oorzaak hiervan wordt de consumptie van OH-radicalen bij de getrapte verbranding genoemd, terwijl deze radicalen eveneens nodig zijn bij de omzetting van  $\text{NO}_x$  in  $\text{N}_2$ .

Bij SCR is een verwijderingsrendement van meer dan 95% haalbaar bij een molverhouding  $\text{NH}_3/\text{NO}$  van ongeveer 1. De hierbij optredende  $\text{NH}_3$ -slip bedraagt  $< 10 \text{ mg/nm}^3$ .

### Emissions from Optimized Biomass Furnaces

R. Paddinger, Joanneum Research, Graz, Oostenrijk

De ontwikkeling van een verbrandingsinstallatie met lage emissies wordt besproken. De ontwikkeling heeft plaatsgevonden in een samenwerking tussen Joanneum Research en AWINA. De verbeteringen ten opzichte van de huidige systemen bestaat uit:

— Regelsysteem:

De capaciteit van de installatie wordt geregeld aan de hand van de in de installatie gebrachte hoeveelheid brandstof, terwijl de verbrandingskwaliteit in de hand wordt gehouden door regeling van de hoeveelheid primaire en secundaire verbrandingslucht aan de hand van de concentratie van oxideerbare componenten in de rookgassen.

— Brandstoftoevoer:

In de installatie wordt de zogenaamde Awinator toegepast. Met dit systeem wordt de brandstof in de vuurhaard geworpen. De voordelen van dit systeem ten opzichte van bijvoorbeeld het onderschroef systeem zijn:

- een homogeen bed op een horizontaal rooster;
- geen mechanische beïnvloeding van het bed;
- goede prestaties bij lage warmte output.

— "Low-cost" E-filter:

De kosten van het ontwikkelde/geoptimaliseerde E-filter bedraagt circa 25% van de kosten van de vuurhaard. Als vergelijking worden bij navraag investeringskosten van een vuurhaard genoemd van  $1 \cdot 10^6 \text{ ÖS/MW}_{\text{th}}$  (160.000 Hfl/MW). Bij vergelijking van deze cijfers met de huidige kosten van een E-filter betekent dit ongeveer een halvering van de investeringskosten.

De restemissie die met dit filter bij de huidige installaties wordt gerealiseerd bedraagt circa  $30 \text{ mg/nm}^3$ .

Het E-filter is eveneens toegepast achter zeer kleine systemen ( $< 100 \text{ kW}_{\text{th}}$ ). De hier gerealiseerde restemissie bedroeg over het algemeen  $100 - 110 \text{ mg/nm}^3$ . Bij 10% van de installaties werd een restemissie  $< 25 \text{ mg/nm}^3$  gerealiseerd.

Los van de gerealiseerde restemissies (lagere restemissies zullen mogelijk zijn bij uitbreiding van het filteroppervlak) betekent de ontwikkeling van dit filter mogelijk een verschuiving van de grens waarbij kleinschalige verbranding mogelijk is naar kleinere capaciteiten.

Verder wordt een overzicht gegeven van de emissies van de huidige systemen. Uit dit overzicht blijkt dat circa 25% van de installaties een (belangrijk) hogere  $\text{CO}$ -emissie heeft dan circa  $250 \text{ mg/nm}^3$ . Met betrekking tot de  $\text{C}_x\text{H}_y$ -emissie is het percentage installaties met een emissie  $> 50 \text{ mg/nm}^3$  aanmerkelijk lager. In Nederland wordt er vooralsnog vanuit gegaan dat het percentage van de huidige installaties dat niet aan de NeR-eisen voldoet aanmerkelijk groter is [1].



### **Reduction of emissions by Using Catalytic Converters in Small Heating Appliances**

H. Oravainen, VTT, Jyväskylä, Finland

Bij VTT wordt onderzoek uitgevoerd naar de toepassing van katalysatoren bij vaste-brandstofstoestellen voor huishoudelijk gebruik. Reden voor dit onderzoek is dat in Finland circa 70% van de CO-emissie en meer dan 90% van de PAK-emissie wordt veroorzaakt door dit type verbrandingstoestellen.

De toegepaste katalysator betreft een Pt/Rh katalysator. De gepresenteerde resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel:

| Component       | Effect op de emissie [%] |                |
|-----------------|--------------------------|----------------|
|                 | Hout                     | Stro-briketten |
| CH <sub>4</sub> | 0                        | wel, maar?     |
| Tar             | 50                       | 10             |
| PAK             | 50 - 80                  | 50             |

Als problemen bij de toepassing van katalysatoren bij vaste-brandstofstoestellen voor huishoudelijk gebruik worden genoemd:

- de drukval over de katalysator (ventilator nodig?);
- vervuiling;
- de temperatuur van de katalysator moet boven 500 °C bedragen.

Met betrekking tot de vervuiling van de katalysator kan worden opgemerkt dat de werking van de katalysator in de USA voor 10.000 bedrijfsuren gegarandeerd.

Met betrekking tot de toepassing van een katalysator bij een kleine industriële installatie is een verkennend experiment uitgevoerd. De resultaten zijn echter niet bruikbaar omdat de onderstoker niet goed functioneerde en de CO-concentratie daardoor hoger was dan het meetbereik van de gebruikte analyser.

### **Advanced Techniques for Wood Log Combustion - Emission Comparisons**

O. Skreiberg, SINTEF, Trondheim, Noorwegen

De resultaten van een vergelijkend onderzoek tussen een tweetal vaste-brandstofstoestellen voor huishoudelijk gebruik wordt gerapporteerd. De toestellen betreffen:

- een toestel werkend volgens het principe van getrapte verbranding;
- een toestel uitgerust met een katalysator.

Een opvallend resultaat bij het toestel is dat de CO-emissie met getrapte verbranding in het begin relatief laag is en in de charverbrandingsfase relatief hoog. Bij het toestel met de katalysator is dit juist omgekeerd; in de ontgassingsfase een hoge CO-emissie

en in de charverbrandingsfase (hogere temperaturen) een lage CO-emissie. Voor de emissie van  $C_xH_y$  geldt hetzelfde.

Op basis van deze gegevens ligt de conclusie voor de hand om een toestel met beide voorzieningen uit te rusten.

Naast het feit dat de emissies door de katalysator worden gereduceerd, wordt tevens het rendement van het toestel verhoogd indien de katalysator in het toestel zelf is ingebouwd. Het temperatuurverschil over de katalysator bedraagt circa 120 °C.

De vastgestelde  $N_2O$ -concentraties bedragen in alle gevallen < 4 ppm. Dit komt overeen met de in Nederland gemeten waarden bij industriële verbranding [1].

Uit de gepresenteerde resultaten blijkt verder dat de emissie van  $NO_x$  bij toepassing van een katalysator toeneemt. Dit effect werd tevens vastgesteld door het in opdracht van NOVEM/VRROM uitgevoerde onderzoek naar de emissies van vaste brandstoftoestellen voor huishoudelijk gebruik [2].

De gerapporteerde emissies zijn weergegeven in onderstaande tabel.

| Toestel           | Emissie ten opzichte van het toestel met katalysator |        |       |          |
|-------------------|------------------------------------------------------|--------|-------|----------|
|                   | Deeltjes                                             | $NO_x$ | CO    | $C_xH_y$ |
| Traditioneel      | 9,62                                                 | 0,33   | 16,67 | 12,17    |
| Staged combustion | 0,4                                                  | 0,31   | 5,78  | 1,76     |
| Katalysator       | 1                                                    | 1      | 1     | 1        |

## 2.3 Special Applications

### Overview of R&D Issues in Biomass Power Generation in the United States

R.P. Overend, National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, USA

In de Verenigde Staten is een aantal relatief grote biomassa gestookte elektriciteitscentrales (circa 25 MW<sub>e</sub>) in bedrijf. Voor een overzicht van deze installaties wordt verwezen naar [3].

Het voornaamste probleem dat bij deze installaties optreedt, is de vervuiling van zowel de vuurhaard als de ketel en de oververhitter door asafzetting/slakvorming. Dit heeft geleid tot een onderzoek naar de parameters die deze asafzetting/slakvorming veroorzaken. Uit het onderzoek werd geconcludeerd dat het Kalium-gehalte van de biomassa de bepalende factor is.

In het onderzoek is tevens een database opgebouwd van circa 150 analyses van verschillende biomassa-soorten. Naar verwachting worden de resultaten van het onderzoek aan het eind van dit jaar gepubliceerd in Biomass & Bioenergy.



De as uit de centrales wordt momenteel in de landbouw gebruikt als meststof. De as heeft een positieve restwaarde van circa 40 Hfl/ton.

### **Wood Combustion as Source for Small Scale Combined Heat and Power Production**

H.H. Jakobsen, dk Technik, Soborg, Denemarken

In het kader van de IEA Bioenergy Agreement, task X "Biomass Combustion", is door dk Technik een vergelijkende studie uitgevoerd van de verschillende energieconversiesystemen die toegepast kunnen worden bij de kleinschalige ( $\approx 5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) energiewinning uit biomassa. De resultaten van dit onderzoek zijn reeds in een ander kader gerapporteerd [4].

In het onderzoek is onder andere gekeken naar de:

- stoom turbine;
- stoom motor;
- stirling motor.

De systemen werden vergeleken op basis van onder andere de volgende aspecten:

- stand van ontwikkeling;
- investerings- en bedrijfskosten;
- elektrisch rendement.

Van de verschillende systemen werd een overzicht gegeven van leveranciers en onderzoeksinstituten die zich met de commercialisering c.q. ontwikkeling van deze systemen bezig houden. Met betrekking tot de stand van ontwikkeling werd gesteld dat alleen de stoom turbine en de stoom motor van Spilling commercieel beschikbaar zijn.

Met betrekking tot de 'all-in'-prijzen van de geproduceerde elektriciteit werd de volgende vergelijking gepresenteerd:

- stoom turbine 11,12 US \$/MJ;
- stoom motor 9,11 US \$/MJ;
- spilling motor 6,38 US \$/MJ.

Bij dit overzicht moet opgemerkt worden dat dit geldt voor de Deense situatie met betrekking tot CO<sub>2</sub>-taxes en teruglevertarieven etc. Verder geldt dat de stirling motor nog niet commercieel beschikbaar is op een schaal groter dan 1- 5 kW<sub>e</sub>.

Als ondergrens voor de economisch haalbare toepassing van co-generation wordt 3,5 - 5 MW<sub>th</sub> genoemd.

### **Danish Experience with Straw Combustion in District Heating Plants**

L. Nikolaisen, Centre of Biomass Technology, Aarhus, Denmark

De Centre of Biomass Technology is een door de Danish Energy Agency gefinancierde organisatie die de toepassing van hout en stro als energiedrager pro-



moot. Zij doet dit voornamelijk door het verlenen van technische adviezen en door projectontwikkeling.

In Denemarken zijn 64 met stro gestookte stadsverwarmingsinstallaties in bedrijf. De laatste jaren worden 2 tot 3 nieuwe installaties per jaar gebouwd. Het is de verwachting dat deze groei van het aantal installaties in de toekomst zal blijven bestaan. De installaties hebben gemiddeld een capaciteit van de circa 3,5 MW<sub>th</sub> en produceren heet water van circa 6 bar en 120 °C.

Het gemiddelde boilerrendement bedraagt 85%. Bij het transport van het warme water naar de gebruiker treedt een verlies op van 20% zodat het totale energetische rendement circa 65% bedraagt.

De kosten van de stro bedragen 460 DKK/ton exclusief de oogst.

De bij de verbranding vrijkomende as (2 tot 10 gew%) wordt in de regel door de boeren in de omgeving opgehaald (zonder betaling) en toegepast als meststof in de landbouw. De overheid geeft in alle gevallen dispensatie van de voor de toepassing in de landbouw geldende voorschriften.

## **2.4 Dissemination of Bioenergy Systems**

### **Sweden**

L. Guldbrand, NUTEK, Stockholm, Zweden

In Zweden bestaat de totale energieproductie voor circa 15% uit energieproductie uit biomassa. Om een verdere toename te bevorderen, stelt NUTEK gelden ter beschikking voor onderzoek en demonstratieprogramma's. Voor onderzoek op het gebied van energiewinning uit biomassa bedraagt de begroting 250 \* 10<sup>6</sup> SEK/jr. De belangrijkste onderwerpen hierbij zijn:

- vergassing/verbranding 38 \* 10<sup>6</sup> SEK/jr;
- energieteelt 38 \* 10<sup>6</sup> SEK/jr;
- hout als energiedrager 32 \* 10<sup>6</sup> SEK/jr;
- kleinschalige verbranding 30 \* 10<sup>6</sup> SEK/jr.

Voor demonstratieprojecten is eveneens een programma gestart, gericht op systemen met een hoog elektrisch rendement. Voorwaarde bij dit programma is echter dat 50% van het project door de industrie zelf wordt gefinancierd. De interesse in dit programma van de elektriciteitsmaatschappijen is zeer gering.

Als niet technisch knelpunt van de energieteelt wordt de verandering van het landschap genoemd. Door energieteelt ontstaat een continue wisselend landschap waar- tegen in het verleden door de bevolking heftig is geprotesteerd.

### Switzerland

R. Bühler, Swiss Federal Office of Energy, Bern, Switzerland

In Zwitserland bestaat de totale energieproductie voor minder dan circa 2% uit energieproductie uit biomassa. Als knelpunten worden genoemd:

- slechte reputatie door:
  - oude techniek;
  - slechte planning en constructie;
- kosten.

Met betrekking tot de slechte reputatie wordt voornamelijk gewerkt aan de voorlichting van de industrie op het gebied van de toepassing van biomassa als energiedrager.

Voor wat betreft de kosten wordt het volgende overzicht gepresenteerd:

| Brandstof    | Brandstofkosten<br>[Rp/Kwh] | Totale kosten<br>[Rp/Kwh] |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|
| Olie         | 3,7                         | 5                         |
| Hout         | 4,4                         | 7,5                       |
| Miscanthus   | 8,5                         | 13                        |
| Energie gras | 12,6                        | 17                        |

Uit dit overzicht volgt dat hout als energiedrager ongeveer een factor 1,5 duurder is dan olie. Zelfs als de voorgestelde CO<sub>2</sub>-tax van  $\approx 1$  Rp/kWh ( $\approx 1,3$  ct/kWh) ingesteld wordt, dan blijft olie de goedkopere brandstof.

Naast het boven gegeven overzicht speelt er in Zwitserland nog een ander marktmechanisme. Door de overcapaciteit van de daar aanwezige AVT's wordt de prijs voor oud hout gedrukt. In plaats van de normale verbrandingsstarieven  $> 200$  SF/ton ( $> 260$  Hfl/ton) worden prijzen gerekend  $< 100$  SF/ton oud hout. Verder kan oud hout geëxporteerd worden naar onder andere Italië voor  $< 50$  SF/ton.

Oplossingen om de financiële problemen van de benutting van hout als energiedrager worden niet behandeld, behalve dat wordt gesteld dat export van oud hout door wetgeving zal worden beperkt/voorkomen.

### Austria

M. Paula, Austrian Federal Ministry of Science and Research, Wenen, Oostenrijk

Om, naast zonne- en windenergie, de energiewinning uit biomassa te stimuleren is een onderzoek uitgevoerd naar de mechanismen die de invoering van alternatieve energiebronnen stimuleren danwel frustreren. Tevens werd aandacht besteed aan de voor de implementatie van alternatieve energiebronnen benodigde randvoorwaarden. In het project is een algemeen model ontwikkeld voor de implementatie van

*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

alternatieve energiebronnen. In bijlage 3 wordt het model, aan de hand van een hand-out, nader toegelicht.

Een opmerkelijk feit is dat installaties voor de energiewinning uit alternatieve bronnen in toenemende mate tot stand komen door middel van samenwerking tussen verschillende partijen.



### 3 Werkgroep sessies

In drie parallel sessies werden voor de verschillende systemen:

- met hout chips gestookte systemen;
- met stukhout gestookte systemen;
- de verbranding van niet-houtachtige biomassa;

de technische problemen en oplossingen geïnventariseerd met als doelstelling een overzicht te krijgen van de benodigde research op dit gebied. De sessies worden gestructureerd aan de hand van een overzicht van technische problemen met de bijbehorende te verwachten oplossingen en de hiervoor benodigde research & development. Deelgenomen is aan de werkgroep "Wood Chip Furnaces".

#### 3.1 Wood Chip Furnaces

De verschillende onderwerpen die tijdens de discussie aan de orde zijn geweest, worden onderstaand kort weergegeven.

##### *Vervuiling*

Met name bij de verbranding van schors of hout met een hoog gehalte aan schors kunnen problemen optreden met betrekking tot de slakvorming op het rooster. Gesteld wordt dat dit probleem opgelost is door het aanpassen van het rooster. De roosterbanen zijn korter en hoger gemaakt waardoor een betere luchtverdeling wordt verkregen en de slakvorming zo goed als vermeden wordt.

Een oplossing wordt ook gevonden in het recirculeren van rookgas. In Denemarken wordt rookgas gebruikt in de eerste onderwindzône van het rooster. In Oostenrijk wordt in sommige gevallen rookgas als secundaire lucht toegepast. In beide gevallen gaat het om het beheersen van de temperatuur op het rooster dan wel in de vuurhaard.

Een secundair probleem bij de vorming van slakken is dat de relatief grote stukken slak niet door de mestverspreiders kunnen worden verwerkt, waardoor het hergebruik van de as in de landbouw wordt bemoeilijkt.

##### *Brandstoftoevoer*

Het wordt als een probleem gezien dat de huidige voedingssystemen gebaseerd zijn op het volume van de brandstof. Er wordt derhalve geen rekening gehouden met de wisselende dichtheid en vochtgehalte van de brandstof. Hierdoor is de belasting van de installatie niet constant.

Gesteld wordt dat een regelsysteem deze schommelingen moeiteloos op kan vangen. Het is derhalve alleen een probleem voor bestaande installaties.

Met betrekking tot de bepaling van de waarde van de bij een decentrale installatie aangeleverde brandstof wordt gesteld dat het vochtgehalte als bepalende factor kan worden gehanteerd. Recent is een snelle (diëlektrische) meetmethode ontwikkeld. Met deze methode kan ter plaatse van deeltjes tot 5 cm diameter de vochtigheid worden vastgesteld. De onnauwkeurigheid bedraagt 2% bij een meetbereik tussen 0 en 50 gew% vocht.

### *Regelsystemen/Emissies*

Algemeen wordt een aan/uit-regeling als een zeer slechte regeling gezien in het geval de warmtevraag fluctueert of niet op de capaciteit van de ketel is afgesteld. Voor nieuwe installaties zijn verschillende regelsystemen beschikbaar die in het algemeen voldoen. Onder voldoen wordt in dit geval het voldoen van de installatie aan de plaatselijke emissiegrenswaarden bedoeld.

Bij navraag bleek bij geen van de partijen ervaring te bestaan met betrekking tot de mogelijke emissiereductie bij het voorzien van een bestaande installatie met een modern regelsysteem. Aangenomen kan worden dat dit een verbetering tot gevolg zal hebben, maar het is de vraag of een vergaande vermindering gerealiseerd kan worden. De onzekerheid wordt veroorzaakt door de mogelijkheid van het optreden van mengingsproblemen in de vuurhaard.

Ook hier wordt gesteld dat de afstemming van de grootte van de vuurhaard op de warmtevraag van groot belang is. Ook het aanbrengen van een warm water buffer kan een oplossing vormen.

Research met betrekking tot het verbeteren van bestaande installaties is gewenst.

Over het algemeen is men van mening dat het ontwerpen van een vuurhaard momenteel meer een kunst is dan een wetenschap. Aangegeven wordt dat numerieke simulatie een belangrijk gereedschap kan zijn bij het vaststellen van een optimaal ontwerp. Ook hier kan een stuk ontwikkeling plaatsvinden.

Van de emissies wordt  $\text{NO}_x$  als probleem onderkend. De regelgeving wordt in de toekomst zodanig aangescherpt dat  $\text{DeNO}_x$  bij de verbranding van verschillende biomassa stromen onvermijdelijk zal worden. Als probleemstoffen worden onder andere spaanplaat, schors en miscanthus genoemd. Met betrekking tot primaire maatregelen wordt gesteld dat dit gezien de benodigde randvoorwaarden (onder andere 1150 °C) vooralsnog geen haalbare kaart is. Secundaire maatregelen zijn, zeker voor de wat kleinere schaal, economisch niet haalbaar. Onderzoek naar  $\text{DeNO}_x$  voor kleine installaties (enkele  $\text{MW}_{\text{th}}$ ) is gewenst.

De reductie van de CO-emissie heeft als neveneffect dat hierdoor de  $\text{NO}_x$ -emissie toeneemt. In Finland worden installaties op een maximaal toegestaan CO-niveau afgeregeld omdat er voor de hoeveelheid geëmitteerde  $\text{NO}_x$  een heffing geldt.

### *Rendement*

In Denemarken wordt, gezien de relatief hoge brandstofprijzen, veel nadruk gelegd op het rendement van de installatie. Men probeert aan de hand van onder ander rookgascondensatie het rendement zo hoog mogelijk te houden. Uit de gepresenteerde gegevens blijkt dat rookgascondensatie van belang wordt bij een vochtgehalte van de brandstof van minimaal 40 - 50 gew%.

Het bij rookgascondensatie ontstane condensaat wordt in Denemarken vooralsnog zonder kosten in het riool gebracht. Men verwacht in de toekomst wel lozingskosten. Wat de uitwerking van deze lozingskosten op de financiële haalbaarheid van rookgascondensatie is, is onzeker.

### *Standaardisatie*

Op Europees niveau wordt een voorschrift voor het bepalen van de emissie van verbrandingsinstallaties tot 350 kW<sub>th</sub> voorbereid. De methode bestaat globaal uit metingen bij:

- nominaal vermogen;
- 50% van nominaal vermogen;
- minimaal vermogen (25 - 30%).

In het geval de installatie is voorzien van een aan/uit-regeling, dan dienen de meetresultaten te worden vermenigvuldigd met een factor 2.

In het voorstel voor een bijzondere regeling voor de verbranding van schoon afvalhout in de NeR is een dergelijke regeling vooralsnog niet opgenomen.

Uit de discussie komt naar voren dat het beter zou zijn als de metingen, vergelijkbaar met emissiemetingen bij bijvoorbeeld auto's, plaats zouden vinden bij een (gestandaardiseerde) wisselende warmtevraag.

## **3.2 Fire Wood Furnaces**

De resultaten van deze werkgroep worden na afloop kort aan de niet bij deze werkgroep aanwezige deelnemers gepresenteerd.

### *Toevoer van verbrandingslucht*

Het wordt als niet ondenkbaar ervaren dat de toekomstige vaste-brandstof-toestellen met enige mate van automatische regeling uitgerust zullen moeten worden.



### *Katalysatoren*

De toepassing van een katalysator dient alleen plaats te vinden na het treffen van primaire maatregelen en alleen wanneer de recycling van de katalysator gegarandeerd kan worden. Verder zal er bij de toepassing van de katalysator altijd een by-pass voor het rookgas aanwezig moeten zijn.

### *Veiligheid*

In verband met de veiligheid dient de primaire luchttoevoer geheel afgesloten te kunnen worden.

### *Bediening*

Bij de bediening wordt vooral de informatie aan de gebruikers van wezenlijk belang geacht. Verder wordt er gesteld dat er onderzoek plaats moet vinden op het gebied van het design, waarbij naast lage emissies aandacht moet worden besteed aan het onmogelijk maken van foutieve bediening.

## **3.3 Combustion of Non Woody Biomass**

De resultaten van deze werkgroep worden na afloop kort aan de niet bij deze werkgroep aanwezige deelnemers gepresenteerd.

Als parameters die bepalen of een biomassa al dan niet toegepast zal worden als energiedrager worden onder andere genoemd:

- N-gehalte;
- as-gehalte;
- kosten voor oogst en opslag;
- opbrengsten per ha.

Opvallend in dit overzichtje is dat het N-gehalte als een bepalende factor wordt gezien. Dit betekent dat de NO<sub>x</sub>-emissie, en voornamelijk de bestrijding hiervan, als probleem wordt gezien. Als oplossingsrichtingen worden aangegeven:

- getrapte verbranding;
- vergassen;
- SNCR.

Hierbij wordt aangegeven dat het onzeker is of er bij de NO<sub>x</sub>-reductie wel of niet een toename van de N<sub>2</sub>O-emissie op zal treden.

## **3.4 Conclusies met betrekking tot benodigd onderzoek**

In onderstaande worden de in bovenstaande aangegeven conclusies met betrekking tot benodigd onderzoek voor "Wood Chip Furnaces" samengevat.

---

*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

Uit onderzoek in Nederland blijkt dat een groot aantal verbrandingsinstallaties niet aan de in de concept-Bijzondere regeling van de NeR gestelde emissie-eisen kunnen voldoen. Met betrekking tot emissiereductie bij bestaande installaties bestaat momenteel nauwelijks ervaring. Onderzoek met betrekking tot het verbeteren van bestaande installaties is derhalve gewenst.

Bij het ontwerpen van een vuurhaard worden momenteel nog geen numerieke modellen toegepast. Aangegeven wordt dat door numerieke simulatie de emissies van nieuwe installaties verder teruggebracht kunnen worden. Door praktijkgericht onderzoek kan één en ander worden aangetoond.

Van de emissies wordt  $\text{NO}_x$  als probleem onderkend. De regelgeving wordt in de toekomst zodanig aangescherpt dat  $\text{DeNO}_x$  bij de verbranding van verschillende biomassa stromen onvermijdelijk zal worden. Als probleemstoffen worden onder andere spaanplaat, schors en miscanthus genoemd. Met betrekking tot primaire maatregelen wordt gesteld dat dit gezien de benodigde randvoorwaarden (onder andere  $1150^\circ\text{C}$ ) vooralsnog geen haalbare kaart is. Secundaire maatregelen zijn, zeker voor de wat kleinere schaal, economisch niet haalbaar. Onderzoek naar  $\text{DeNO}_x$  voor kleine installaties (enkele  $\text{MW}_{\text{th}}$ ) is gewenst.

## **4 Excursies**

### **4.1 Joanneum Research**

Bij de laboratoria van Joanneum Research werd kort stilgestaan bij:

- een proefopstelling van een 250 kW<sub>th</sub> verbrandingsinstallatie voor houtchips;
- een proefinstallatie van een 1-2 kW<sub>e</sub> stirling motor;
- de mobiele meetapparatuur waarmee controle metingen ter plaatse worden uitgevoerd.

### **4.2 Stadsverwarmingsproject Markt Hartmannsdorf**

In het in opdracht van de gemeente uitgevoerde stadsverwarmingsproject wordt naast houtchips gebruik gemaakt van stortgas. Verder is de uitvoering van het project gecombineerd met het aanleggen van een net voor de kabel-TV en 'gebruikswater'. Gebruikswater is water van een mindere kwaliteit dan drinkwater dat echter wel geschikt is voor beregening en dergelijke.

Informatie omtrent het project is weergegeven in bijlage 4.

### **4.3 Plantage voor energieteelt**

In het Bundesland Steiermarken zijn in totaal 9 proefvelden voor energieteelt aanwezig. Het bedrijven van energieteelt wordt vooralsnog als economisch niet haalbaar gezien, mede omdat nog voldoende ander hout voor energiedoeleinden beschikbaar is. Het onderzoek naar de mogelijkheden van energieteelt wordt met name uitgevoerd om een overzicht te krijgen van de mogelijkheden van energiewinning op de langere termijn. Gegevens over het bezochte proefveld zijn eveneens weergegeven in bijlage 4.



## **5 Referenties**

- [1] S. van Loo et. al.  
Praktijkonderzoek aan met schoon-afvalhout gestookte verbrandingsinstallaties te Best, Fase I; Inventarisatie, TNO-rapport, ref.nr. 93-332, november 1993.
- [2] W.F. Sulilatu et. al.  
Onderzoek naar de emissies van vaste-brandstofstoestellen voor huishoudelijk gebruik, TNO-rapport, ref.nr. 93-216, september 1993.
- [3] S. van Loo  
Bezoekverslag van het ETSU-seminar "Wood-fuel, a new business opportunity?", Cambridge, 14 oktober 1993.

---

*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

## 6 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem b.v.

Ir. K.W. Kwant

Postbus 8242

3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers

Ing. S. van Loo, wetenschappelijk medewerker

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

N.v.t.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

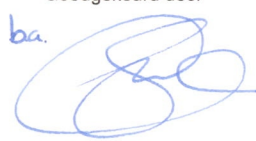
16 - 18 mei 1994

Ondertekening



Ing. S. van Loo  
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J. de Koning  
werkgroep leider

*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

## **Bijlage 1    Deelnemerslijst**



## List of participants at the COMETT Expert Workshop "BIOMASS COMBUSTION"

| Last name           | First name     | Affiliation                                      | Country | Town        |
|---------------------|----------------|--------------------------------------------------|---------|-------------|
| Al-Mansour          | Fouad          | Jozef Stefan Institute                           | SLO     | Ljubljana   |
| Albert              | Frank          | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz        |
| Anzengruber         | Wolfgang       | ABB Energie AG                                   | A       | Wien        |
| Bauer               | Thomas         | Windhager Zentralheizung                         | A       | Seekirchen  |
| Bayer               | Berghold       | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz        |
| Bech                | Niels          | Risoe National Laboratory                        | DK      | Roskilde    |
| Braun               | Herbert        | Zivilingenieur für Maschinenbau                  | A       | Wien        |
| Bühler              | R.             | Ingenieurbüro Umwelt + Energie                   | CH      | Maschwanden |
| Carre               | R.             | C.R.A.                                           | B       | Gembloux    |
| Caserta             | Giuseppe       | ENEA                                             | I       | Roma        |
| Dahl                | Erik           | Industri-Filter A/S                              | DK      | Hvidovre    |
| De Sousa            | Luiz Carlos    | Paul Scherrer Institut                           | CH      | Villigen    |
| Diamant             | Willy          | I/S Bio Energy                                   | DK      | Helsingør   |
| Dufek               | Lubor          | Energy Agency of Czech Republic                  | CR      | Praha       |
| Ettlinger           | Kurt           | Vorarlberger Kraftwerke AG                       | A       | Bregenz     |
| Florian             | Doris          | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz        |
| Felbermayer         | W.             | TÜV Bayern Austria                               | A       | Jenbach     |
| Griesser            | Doris          | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz        |
| Grösslinger         | Erich          | Umweltbundesamt                                  | A       | Wien        |
| Grübl               | Andreas        | OÖ. Energiesparverband                           | A       | Linz        |
| Grüner              | Friedrich      | Krobath und Gruener Infratec GmbH                | A       | Feldbach    |
| Guldbrand           | Lars           | NUTEK                                            | S       | Stockholm   |
| Habsburg-Lothringen | Ulrich         | Zivilingenieur für Forst- und Holzwirtschaft     | A       | Wolfsberg   |
| Hackl               | Albert         | Akademie für Umwelt und Energie                  | A       | Laxenburg   |
| Hansen              | J.Knud         | Danish Technological Institute                   | DK      | Aarhus      |
| Hanser              | Adolf          | Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft  | A       | Wien        |
| Hislop              | Drummond       | Energy for Sustainable Development               | UK      | London      |
| Hofbauer            | Hermann        | Technische Universität Wien                      | A       | Wien        |
| Jakobsen            | Henrik Houmann | dk-TEKNIK                                        | DK      | Soeborg     |
| Jäger               | Johann         | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz        |
| Jank                | Wolfgang       | Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie | A       | Wien        |
| Jilek               | Wolfgang       | Energiebeauftragter des Landes Steiermark        | A       | Graz        |
| Kellermann          | Dietmar        | Amt der Steiermärkischen Landesregierung         | A       | Graz        |



## List of participants at the COMETT Expert Workshop "BIOMASS COMBUSTION"

| Last name      | First name   | Affiliation                                      | Country | Town              |
|----------------|--------------|--------------------------------------------------|---------|-------------------|
| Knez           | Friderik     | ZRMK                                             | SLO     | Ljubljana         |
| Koch           | Thomas       | Thomas Koch Energi                               | DK      | Vanlose           |
| Kolare         | Irene        | NUTEK                                            | S       | Stockholm         |
| Kopetz         | Heinz        | Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft       | A       | Graz              |
| Korasa         | Karmen       | ZRMK                                             | SLO     | Ljubljana         |
| Lasselberger   | Leopold      | Bundesanstalt für Landtechnik                    | A       | Wieselburg/Erlauf |
| Lauer          | Maximilian   | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Linsmeyer      | Thomas       | Technische Universität Wien                      | A       | Wien              |
| Marutzky       | Rainer       | Wilhelm-Klauditz-Institut                        | D       | Braunschweig      |
| Nemac          | Franko       | APE-Energy Restructuring Agency                  | SLO     | Ljubljana         |
| Nikolaisen     | Lars         | Danish Technological Institute                   | DK      | Aarhus C          |
| Norin          | Brage        | Division of mechanical engineering               | S       | Lulea             |
| Nußbaumer      | Thomas       | Ingenieurbüro für Verfahrens-,                   | CH      | Zürich            |
| Obernberger    | Ingwald      | Technische Universität Graz                      | A       | Graz              |
| Oravainen      | Heikki       | VTT                                              | SF      | Jyvaskyla         |
| Overend        | Ralph        | NREL                                             | USA     | Golden CO         |
| Overgaard      | Arvid L.     | Industri-Filter A/S                              | DK      | Hvidovre          |
| Padinger       | Reinhard     | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Paula          | Michael      | Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung | A       | Wien              |
| Pedersen       | Lars Germann | Danish Technological Institute                   | DK      | Aarhus            |
| Penz           | Josef        | EVN - AG                                         | A       | Maria Enzersdorf  |
| Pichler        | Ernst        | ALLPLAN GmbH                                     | A       | Wien              |
| Piffl-Percevic | Peter        | Amt der Steiermärkischen Landesregierung         | A       | Graz              |
| Plank          | Josef        | Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft       | A       | Graz              |
| Pollak         | Doris        | Austrian Industrial Research Promotion Fund      | A       | Wien              |
| Posch          | Bernhard     | APS                                              | A       | Graz              |
| Prutsch        | W.           | Magistrat Graz                                   | A       | Graz              |
| Rathbauer      | Josef        | Bundesanstalt für Landtechnik                    | A       | Wieselburg/Erlauf |
| Raupenstrauch  | Harald       | Technische Universität Graz                      | A       | Graz              |
| Reisinger      | Klaus        | Industriellenvereinigung                         | A       | Wien              |
| Renner         | Herwig       | BIT Büro für Internationale                      | A       | Wien              |
| Richard        | Jean         | CNRS-LCSR                                        | F       | Orleans           |
| Saastamoinen   | Jaakko       | VTT                                              | SF      | Jyväskylä         |



## List of participants at the COMETT Expert Workshop "BIOMASS COMBUSTION"

| Last name     | First name | Affiliation                                      | Country | Town              |
|---------------|------------|--------------------------------------------------|---------|-------------------|
| Schenkel      | Jr.Y.      | Belgium Biomass Association                      | B       | Gembloux          |
| Schewig       | Dieter     | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Schima        | Johannes   | Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammer   | A       | Wien              |
| Schlamadinger | Bernhard   | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Schmidl       | Hannes     | ÖAW                                              | A       | Wien              |
| Schmidt       | Alfred     | Technische Universität Wien                      | A       | Wien              |
| Schuster      | Robert     | TPS Termiska Processer AB                        | S       | Nyköping          |
| Schwarz       | Norbert    | Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf   | A       | Seibersdorf       |
| Seyfert       | Norbert    | Apparatebau Rothemühle GmbH                      | D       | Rothemühle        |
| Siegle        | Volker     | Universität Stuttgart                            | D       | Stuttgart         |
| Skreiberg     | Oyvind     | SINTEF                                           | N       | Trondheim         |
| Soba          | Jurij      | ZRMK                                             | SLO     | Ljubljana         |
| Spitzer       | Josef      | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Stanzel       | Wolfgang   | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Stiglbrunner  | Rudolf     | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| Strehler      | Arno       | Technische Universität München                   | D       | Freising          |
| Struschka     |            | Ing.Büro                                         | D       | Weissach          |
| Tacer         | Matija     | Faculty of Mechanical Engineering                | SLO     | Ljubljana         |
| Tauschitz     | Josef      | Österreichische Draukraftwerke AG                | A       | Klagenfurt        |
| Tomsic        | Miha       | Institut Jozef Stefan                            | SLO     | Ljubljana         |
| Traupmann     | Peter      | Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammer   | A       | Austria           |
| Trossoero     | Miguel A.  | Food and Agriculture Organization                | I       | Roma              |
| Utz           | Gerhard    | Landesenergieverein Steiermark                   | A       | Graz              |
| Uranschek     | Rainer     | JOANNEUM RESEARCH                                | A       | Graz              |
| van Loo       | S.         | TNO                                              | NL      | Apeldoorn         |
| Veits         | Veronika   | Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft  | A       | Wien              |
| Wörgetter     | Manfred    | Bundesanstalt für Landtechnik                    | A       | Wieselburg/Erlauf |
| Zankel        | Hubert     | STEWEAG                                          | A       | Graz              |
| Zauner        | Josef      | Firma Fröling GmbH                               | A       | Grieskirchen      |
| Zeleny        | Karel      | Energy Agency of Czech Republic                  | CR      | Praha             |
| Zellhofer     | Otto       | Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung | A       | Wien              |
| Zielke        | Uwe        | Danish Technological Institute                   | DK      | Aarhus            |
| Zschetzsche   | Albert     | Technische Universität Wien                      | A       | Wien              |

*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

## **Bijlage 2   Abstracts van de presentaties**



JOANNEUM



RESEARCH

COMETT Expert Workshop  
**"Biomass Combustion"**

16. -17. May 1994  
Hotel Europa  
Bahnhofgürtel 89  
Graz, Austria

**ABSTRACTS**

**Organized by:**

JOANNEUM RESEARCH, in cooperation with:

- Danish Technological Institute, Aarhus, Denmark
- Stuttgart University, Stuttgart, Germany
- Wilhelm Klauditz Institute, Braunschweig, Germany
- Vienna University of Technology, Vienna, Austria

**Sponsored by:**



The Regional COMETT Bureau for Southern Austria



Austrian Federal Ministry of Agriculture and Forestry



Austrian Federal Ministry of Environment, Youth and Family



Austrian Federal Ministry of Science and Research



Office of the Styrian State Government



Styrian Energy Agency

## INHALTSVERZEICHNIS

|                                                                                                                                                                         | Seite |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Analysis of Biofuels<br><b>A. Zschetzsche, Vienna University of Technology, Vienna, Austria</b>                                                                         | 1     |
| Characterisation and Utilization of Wood Ashes<br><b>I. Obernberger, Graz University of Technology, Graz, Austria</b>                                                   | 2     |
| Drying, Pyrolysis and Combustion of Biomass Particles<br><b>J. Saastamoinen, Technical Research Centre of Finland (VTT), Jyväskylä, Finland</b>                         | 4     |
| Measures for NO <sub>x</sub> Reduction in Biomass Combustion<br><b>T. Nußbaumer, Zurich University of Technology (ETH), Zurich, Switzerland</b>                         | 5     |
| Emissions from Optimized Biomass Furnaces<br><b>R. Padinger, JOANNEUM RESEARCH, Graz, Austria</b>                                                                       | 6     |
| Reduction of Emissions by Using Catalytic Converters in Small Heating Appliances<br><b>H. Oravainen, Technical Research Centre of Finland (VTT), Jyväskylä, Finland</b> | 7     |
| Advanced Techniques for Wood Log Combustion - Emission Comparisons<br><b>O. Skreiberg, The Norwegian Institute of Technology (SINTEF), Trondheim, Norway</b>            | 9     |
| Overview of R&D Issues in Biomass Power Generation in the United States<br><b>R.P. Overend, National Renewable Energy Laboratory, Golden CO, USA</b>                    | 10    |
| Wood Combustion as Source for Small Scale Combined Heat and Power Production<br><b>H.H. Jakobsen, Danish Boiler Owners Association (dkTeknik), Soborg, Denmark</b>      | 11    |
| Special Problems Regarding Combustion of Wood Residues and Waste Wood<br><b>R. Marutzky, Wilhem-Klauditz-Institute, Braunschweig, Germany</b>                           | 12    |
| Danish Experience with Straw Combustion in District Heating Plants<br><b>L. Nikolaisen, Danish Technological Institute, Aarhus, Denmark</b>                             | 13    |
| Dissemination of Bioenergy Systems - Non Technical Barriers<br><b>L. Guldbrand, NUTEK, Stockholm, Sweden</b>                                                            | 14    |
| <b>R. Bühler, Programme Manager for the Swiss Federal Office of Energy, Bern, Switzerland</b>                                                                           | 15    |



## *Analysis of biofuels*

Albert Zschetzsche, Vienna University of Technology,  
 Institut für Verfahrenstechnik, Brennstofftechnik und Umwelttechnik  
 COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion", 16.-17. May, 1994, Graz, Austria

### Abstract

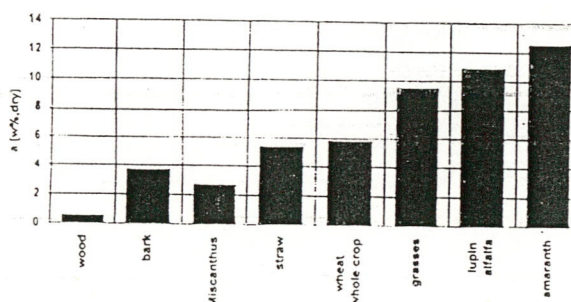
The characterisation of the feedstock biomass is a fundamental requirement for all applications, especially combustion and gasification processes or the production of chemicals.

A database for biomass analyses was installed to give a systematic description of many sorts of biomass and possible energy crops. These energy crops can be planted on agricultural surplus areas. This work was carried out since 1991. The results are stored in the database "BiobiB" at the Institut für Verfahrenstechnik, TU-Wien. At the beginning a round robin test was made for a straw and a straw ash sample.

**Over 100 biomass samples** were analysed. The samples were collected and prepared under defined conditions and the following analyses were made:

- Ultimate analysis
- ash composition
- some minor elements
- heating value
- ash fusibility

Ash content of Biofuels



Another emphasis was the characterisation of *Miscanthus giganteus*, a fast growing energy grass. Dependences of the analyses on the location, N-fertilizing and the age of the plants were investigated.

For the investigation of the influence of the nitrogen content on the emission of nitrogen oxides in combustion processes, ultimate analyses of different kinds of austrian woods were made.

The work was carried out in cooperation with:

IEA-Bioenergy agreement, Task X, Activity "Straw utilization"

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Universität für Bodenkultur, Wien  
 Forschungszentrum Seibersdorf

Mikroanalytisches Laboratorium, Universität Wien

Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg

With financial support from the Austrian Ministry of Science and Research and the  
 Austrian Ministry of Agriculture and Forestry

## Characterisation and Utilization of Wood Ashes

Ingwald Obernberger, Institute of Chemical Engineering, Technical University of Graz

A - 8010 GRAZ, Inffeldgasse 25; Tel.: 0316 - 873 - 7464; Fax: 0316 - 873 - 7469

The energy utilization of biomass, especially of wood chips, sawdust and bark, in decentralized district heatings (plant capacity 0,5 to 10 MW) is an essential alternative to the use of fossil energy in Austria. Despite of difficult economical conditions their advance is quickly continuing. For the environmental compatibility of these district heating plants it is not only necessary to close the CO<sub>2</sub>-cycle, which is possible through a sustainable wood culture, but also to close the elementary cycles of nature (soil/nutrient - root/tree - combustion - ash/fertilizer - soil) by recycling the produced wood ash. At the moment the annual amounts of wood ash from biomass district heatings in Austria come up to 5.100 tons, for the next decade an increase up to 65.000 tons is expected.

In order to get comprehensive state of the art information about wood ashes, their chemical composition (nutrients, heavy metals, organic components) as well as their characteristics (bulk densities, surface structures) were carefully examined. The basis of these research activities was the development of an analytical method that guarantees the complete detection of nutrients and heavy metals in the complex matrix wood ash. Subsequently a great number of ash analyses from various district heating plants using different biomass fuels were carried out and the operating data of a great number of plants were registrated. Furthermore material balances on biomass district heatings were calculated, to examine the fluxes of the inorganic components from the biomass to the different produced ash fractions in order to find out the necessary requirements for a sustainable closed-cycle economy with wood ash.

The results showed that the elementary cycles of nature within the process of energy utilization from biomass are disturbed by dry and wet depositions of heavy metals on the forest ecosystem caused by environmental pollution. Consequently the elementary cycles of nature cannot be completely closed. A small and heavy-metal-rich side stream (the filter fly-ash) has to be cut off in order to be able to utilize the biggest amount of the produced wood ash (a mixture of bottom ash and cyclone fly-ash in the plant-specific ratio as they are collected) in an ecologically effective way.

The aims of technological development to secure a long-term closed-cycle economy with wood ash have to follow the strategy of consequently and gradually reducing the concentrations of environmentally relevant heavy metals (Cd, Zn) in a mixture of bottom ash and cyclone fly-ash and to upgrade them in the filter fly-ash fraction. This research target assigns the development of a combustion technique that makes a high effective fractionated heavy metal separation possible. At the same time it is necessary to reduce the heavy metal input in the forest ecosystem caused by atmospheric depositions through appropriate legal regulations.



For the purposes of a strictly defined sustainable economy, the utilization of wood ash as a fertilizer and liming material should primary take place in forests, and secondary on agricultural fields (if the geographic circumstances or the available ash spreading systems make an ash application in forests impossible).

To be able to offer the produced wood ash in the right mixture and in a spreadable condition to the farmers, ash preparing and ash delivering systems for biomass district heating plants were planned, built and improved. Various case studies and experiments, carried out in close collaboration with the farmers, made it possible to optimize the logistics of ash storage and ash transport as well as the spreading techniques.



# DRYING, PYROLYSIS AND COMBUSTION OF BIOMASS PARTICLES

Jaakko J. Saastamoinen

Technical Research Centre of Finland, VTT Energy

P.O. Box 1603, SF-40101 Jyväskylä, Finland

## ABSTRACT

The heat and mass transfer phenomena and chemical kinetics that determine the drying, pyrolysis and combustion behaviour of biomass particles is discussed. The modelling and experimental work on this subject in the Nordic countries and especially in Finland is reviewed. The presentation is mainly concentrated in the research on the phenomena occurring in single biomass particles, but interactions of particles and the combustion chamber that determine the rate of combustion and heat release and affect emissions in wood log combustion are also discussed.

# Measures for NO<sub>x</sub> Reduction in Biomass Combustion

**Dr. Thomas Nussbaumer**

Swiss Federal Institute of Technology (ETH), CH - 8092 Zürich (Switzerland) and  
Verenum Engineering, CH - 8006 Zürich (Switzerland)

---

## Abstract

Two main groups of pollutants from wood firings can be distinguished:

- unburnt pollutants: CO, HC, PAH, soot
- oxidized pollutants: NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub>.

The unburnt pollutants can be diminished effectively if the secondary air is mixed homogenously with the combustible gases and the burnout of the gases takes place in a hot combustion chamber. NO<sub>x</sub> as an oxidation product is usually maximally at high combustion quality. Since NO<sub>x</sub> emissions from wood combustion are much higher than from modern oil and gas boilers the reduction of NO<sub>x</sub> from biomass combustion is an important aim of future developments.

It is shown that NO<sub>x</sub> emissions from wood combustion originate mainly from fuel bound nitrogen. The NO<sub>x</sub> emissions increase with the nitrogen content in the fuel. The combustion of grass, straw and miscanthus shows two to three times higher NO<sub>x</sub> emissions than native wood (typically about 500 mg/m<sup>3</sup> for grass and about 200 mg/m<sup>3</sup> for wood). In biomass combustion thermal NO<sub>x</sub> are not of great importance since the temperature is usually below 1'300°C.

## Primary measures for NO<sub>x</sub> reduction

In a 25 kW test reactor an NO<sub>x</sub> reduction of 50% (from 200 mg/m<sup>3</sup> to 100 mg/m<sup>3</sup>) is reached by a staged combustion with a (heated) reduction chamber between the gasification and the combustion chamber. The parameters for a relevant NO<sub>x</sub> reduction are as follows: residence time in the reduction chamber > 0.5 s, reduction temperature = 1'150°C, primary excess air ratio = 0.7. To realize this concept in practice a constant primary air ratio and a reduction temperature of 1'150°C have to be guaranteed. Furthermore it is shown that flue gas recirculation in biomass combustion is of minor influence on NO<sub>x</sub> emissions.

## Secondary measures for NO<sub>x</sub> reduction

*Selective catalytic reduction (SCR):* With injection of ammonia or urea in the flue gas and the use of a catalyst at a temperature of 250°C an NO<sub>x</sub> reduction of 95% can be reached without significant slippage of ammonia (< 5 mg/m<sup>3</sup>).

*Selective non-catalytic reduction (SNCR):* For the SNCR process a temperatur between 850°C and 950°C is needed. To achieve a relevant NO<sub>x</sub> reduction an over stoichiometric amount of ammonia is used. With injection of ammonia in the combustion chamber of a grate firing an NO<sub>x</sub> reduction of 50% was reached. However relevant emissions of ammonia (> 30 mg/m<sup>3</sup>) were found. By use of a separate reduction chamber (residence time 1.5 s) between the combustion chamber and the heat exchanger an NO<sub>x</sub> reduction of 90% can be reached without significant slippage of ammonia.





## EMISSIONS FROM OPTIMIZED BIOMASS FURNACES

Reinhard Padinger - JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft m.b.H, Graz

*Lecture held at the COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion"  
16. - 17. May 1994 in Graz*

Austria has a considerable potential of energy in the form of biomass. Given the wellknown problems of the utilization of fossil sources of energy, this potential is to be more extensively used. However, this requires environmentally friendly, in terms of combustion: optimized emission-free furnaces for both small heating systems ("small size furnaces" with a thermal output of up to 100 kW) and furnaces for commercial use ("large size furnaces" with a thermal output of over 100 kW).

In general, the harmful substances emitted by wood combustion are the following:

- products of incomplete combustion (carbon monoxide, hydrocarbons and carbon black)
- particulates and
- nitrogen oxides

The products of incomplete combustion can be minimized by special measures on the furnace itself (primary measures). In this area, JOANNEUM RESEARCH has carried out R & D work since 1987, first with a 50-kW-pilot furnace, later with a 250 kW-pilot furnace and finally with commercial furnaces with a power output of up to 1.2 MW. The tests with the 50-kW furnace have been subsidized by the Federal Ministry of Science and Research, by the State of Styria and the State Energy Association of Styria. In the field of large size furnaces, the work has been carried under contract by and in cooperation with AWINA G.m.b.H., Gmunden, part of the costs were covered by the Research Promotion Fund for the Austrian Trade and Industry Organization.

The studies have shown that a near-complete combustion can be reached by

- avoiding mechanical disturbances at the glow bed,
- combustion air control based on a permanent measurement of non-burned or oxidizable substances in the flue gas and
- power control via fuel feed based on measurements of the momentary power requirement.

The emissions of particulates are to be minimized in general only by filters (secondary measures). In the last years, "Low Cost"- filters have been developed for use in biomass combustion plants.

To minimize the nitrogen oxides, only the technologies used in power stations for fossil fuels are available. The use of these technologies in biomass furnaces in general is too expensive. In Austria great interest in the development of appropriate technologies for biomass combustion plants has recently been expressed. The problems associated with nitrogen oxides from biomass combustion are basically known, however more research in this field is planned in the near future.



# REDUCTION OF EMISSIONS BY USING CATALYTIC CONVERTERS IN SMALL HEATING APPLIANCES

Lic.Tech. Heikki Oravainen  
Technical Research Centre of Finland  
Combustion and Thermal Engineering Laboratory  
P.O. Box 221 FIN-40101 Jyväskylä  
Finland

## Abstract

There is over a million small heating appliances in Finland where about four million cubic meters of wood fuel is used. Combustion in such heating appliances is a batch-type process. In early stages of combustion the release of carbon monoxide(CO) and other combustible gases are difficult to avoid when using fuels that have high volatile matter content. Greater carbon monoxide formation occurs after fuel adding.

When the CO-content in flue gases is say over 0,5 %, it is obvious that also other harmful emissions will be released. Methane( $\text{CH}_4$ ), hydrogen( $\text{H}_2$ ) and higher hydrocarbons are released and the amount of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH) compounds can be remarkable. Some PAH-compounds are very carcinogenic.

It has been estimated that in Finland even more than 90% of hydrocarbon and PAH emissions are due to small scale wood combustion. That is why it has a net effect on greenhouse gas phenomena. Carbon monoxide emission is two fold compared for example with energy production. Methane emission is of the same order as emission from transportation and seven fold compared with energy production.

Emissions from small heating appliances can be reduced by developing the combustion techniques, but also using for example catalytic converters. When fuel gases flow through a catalyst placed inside a stove, unburned gases oxidize at least partly to compounds that are not harmful to the environment.

Metal catalytic converters manufactured by Kemira Metalkat Oy, catalytic converter plant, were used in the experiments. Platinum and rhodium are used as catalysts. Catalytic converters were prototypes made especially for these experiments. A batch-fed wood stove was used in the experiments. A catalyst was placed in the chimney pipe after a stove. Emission measurements were made simultaneously before and after a catalyst.

A prototype catalyst promoted well the oxidation of carbon monoxide and hydrocarbons. The conversion of carbon monoxide was 70 - 93%, methane

29 - 77%, and conversion of some other volatile hydrocarbons was 80 - 100%. It was worth notice that carbon monoxide conversion was quite stable in spite of great variations in flue gas coming to the catalyst. The catalytic reactions started at the temperature of about 250 °C.

The catalyst lowered PAH-emission 43 - 80%. Tar emission lowered 56 - 60% in wood combustion but only 14% in peat briquette combustion. This can be due to different type of tar coming from peat combustion. Tar compounds were not qualitatively analyzed.

A catalyst was placed in the chimney pipe after a stove. In practise the catalyst should be placed inside a stove in a place where temperature is higher. It improves the working of a catalyst essentially. Especially it has effect on methane oxidation.

## GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM WOODSTOVES

E. Karlsvik<sup>\*</sup>, J. E. Hustad<sup>\*\*</sup>, Ø. Skreiberg<sup>\*\*</sup> and O. K. Sønju<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> The Foundation for Scientific and Industrial Research at the Norwegian Institute of Technology  
<sup>\*\*</sup> The Norwegian Institute of Technology, Thermal Energy Division

### ABSTRACT

The use of biomass for energy accounts for 127 TWh (457 PJ) in the Nordic countries Denmark, Finland, Norway and Sweden which is 9 % of the total energy consumption. Combustion of biomass is CO<sub>2</sub>-neutral in the greenhouse effect balance. However, emissions of NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, CO and CH<sub>4</sub> contribute either direct or indirect to the greenhouse effect. Experiments have been performed in three different wood stove units, a traditional stove and two new stoves. The two new stoves consist of a staged combustion unit and a catalytic stove. The emissions of NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O, CO and UHC in addition to O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> are measured with continuous analyzers. The emissions of NO<sub>x</sub> tend to decrease (in ppm) during the combustion cycle, while the emissions during the combustion cycle in g/kg wood increase in the charcoal phase compared to the pyrolysis phase. The average NO<sub>x</sub> emissions are higher for the catalytic stove than for the staged stove, but the average CO and UHC emissions are lower. The emissions of N<sub>2</sub>O are in general low, below 10 ppm. The total emissions of greenhouse gases for different wood stoves are calculated and compared to oil combustion.

---

Paper presented at the Second International Conference on Combustion Technologies for a Clean Environment, Lisbon, 19 - 22 July 1993.



**Abstract: An Overview of R&D Issues in Biomass  
Power Generation in the United States**

Ralph P. Overend  
National Renewable Energy Laboratory  
1617 Cole Blvd,  
Golden, CO 80401-3393, USA

The 1978 Public Utilities Regulatory Policies Act (PURPA) created the independent power producer (IPP) generation industry which sells electricity to the grid for the avoided cost of the purchasing utility. To meet this need, low cost generating resources including biomass were needed, and in order to obtain environmental permits the IPPs often accepted to burn unusual biomass resources such as agricultural field residues in their facilities to obtain "offsets" for plant emissions. The industry grew rapidly and now has over 7 GW of installed capacity, however, in the case of the IPP biomass stations in California, operational difficulties rapidly emerged when using non-wood biomass fuels. These were caused by the deposition of mineral matter on the heat exchange surfaces (boiler tubes, superheaters, and water walls) and by the agglomeration of ash and inert fluid bed materials. For this reason the USDOE through its National Renewable Energy Laboratory (NREL) initiated a collaborative study with industry on the ash deposition problem with the goal of establishing the root cause of the difficulties in using non-traditional biomass fuels.

While the nature of the direct combustion boiler problem is of current concern, NREL also recognized that these same issues may have to be addressed in the thermochemical non-direct combustion processes such as fast pyrolysis, and gasification that convert biomass into intermediate fuels that would be used in very high efficiency generation systems based on gas turbines. Since high efficiency biomass to electric conversion is a goal of the USDOE Biomass Power Program a program of testing non-woody and short rotation biomass feedstocks in gasifiers and fast pyrolysis processes will be described. The increasing demands of environmental compliance mean that increasing attention has to be paid to air emissions especially of nitrogen oxides and other priority pollutants.

## ABSTRACT

**WOOD COMBUSTION AS SOURCE FOR SMALL SCALE COMBINED HEAT AND POWER PRODUCTION.**

by

M.Sc. Henrik Houmann Jakobsen

Søren Houmøller

dk-TEKNIK (Danish Boiler Owner's Association),  
 Gladsaxe Møllevej 15, dk-2860 Søborg, Danmark  
 Telephone + 45 39 69 95 11, Fax + 45 39 69 60 02

The aim of this study is to describe and compare different technologies for small cogeneration systems (up to 2-3 MW<sub>e</sub>), based on wood as fuel. For decentralized cogeneration, at for instance at district heating network in small villages, it is vital to identify the advantages and disadvantages of the different technologies. A typical obstacle for small wood cogeneration systems is the installation costs. The specific price (per kW) is usually higher than for larger plants or plants using fossil fuels. Whether it is profitable or not to invest in cogeneration is often hard to decide. For many years small wood cogeneration systems have been too expensive, leading to the construction of only heat producing systems due to too high price levels of small steam turbines. In recent years a great deal of effort has been put into research and developing of new technologies to replace this traditional steam turbine. Among these are:

- Steam engines
- Stirling engines
- Indirectly fired gas turbines
- Pressurized down draft combustion.

Along with the small scale traditional steam turbines, these technologies are evaluated and compared in this study. In the evaluation following main topics are included:

- Where R&D goes on
- Stage of development
- Economical aspects
- Feasibility
- Major barriers for technical adaptability

The study has been performed by dk-TEKNIK, Denmark, on behalf of the IEA Bioenergy Agreement.

## **Special Problems Regarding Combustion of Wood Residues and Waste Wood**

**R. Marutzky, W. Horn, M. Strecker**  
**Wilhelm-Klauditz-Institute, Braunschweig/Germany**

Wood residues and wood waste are valuable fuels but the incineration process is aggravated because these materials often contain nonwood compounds such as adhesives, coatings, lacquers or wood preservatives. For that reason, the combustion of wood residues and wood waste may form harmful emissions for the environment. Modern combustion technology is able to overcome these problems, especially for organic-based nonwood compounds which are oxidizable as wood itself. Therefore, a high-quality combustion process is essential for incinerators fueled with wood residues or wood waste.

The basic mechanisms ruling the combustion process of organic nonwood compounds are demonstrated by the results of pyrolysis and combustion tests executed with nitrogen-based polymers and chlorine containing wood preservatives. Especially the formation of polychlorinated dibenzodioxines and dibenzofuranes is discussed with respect to the structure of the chlorine donors and the combustion conditions. The possibilities to use nitrogen-based adhesives and coatings as "internal" inhibitors of dioxine formation are demonstrated by results of special experiments.



**Danish Experience with straw combustion in district heating plants**  
**COMETT Expert workshop "Biomass Combustion" 16-17 May 1994, Graz, Austria**

Author                   Lars Nikolaisen  
Organization       Centre of Biomass Technology  
                          Danish Technological Institute  
City                    Aarhus  
Country               Denmark

**Abstract**

Since 1980 64 district heating plants firing straw have been built in Denmark. The largest extension took place during the latter half of the eighties where up to 11 plants were commissioned in one year. All the plants use Hesston bales of 450 kg. The average size is 3.7 MW, and all boilers are hot-water boilers with max. 6 bar and 120°C.

4 different feeding systems are used:

- cigar firing
- batch firing of whole bales
- firing of cut straw
- firing of scarified straw

Through the eighties the control system and the combustion system of the plants have been currently improved. This means that the average annual efficiency is 85 % and efficiencies of 90 % have been measured at full load.

The plants are nearly all provided with a bag filter. Emission from straw boilers must fulfil the limit values for dust and CO recommended by the environmental authorities.

The limits are: Dust: 40 mg/Nm<sup>3</sup>, CO: 0.05 % at 10 % O<sub>2</sub>.

The Centre of Biomass Technology is an activity supported 100 % by the Danish Energy Agency with the purpose of increasing the use of straw and wood in the energy supply.

Dissemination of Biomass Systems - Non Technical Barriers

Sweden - Some different programmes for the promotion of biomass for energy production

NUTEK, the Swedish National Board for Industrial and Technical Development, is the government agency responsible for the Swedish R&D programme on energy research. Much of the activities in this programme are motivated by the wish to promote the use of renewable energy sources.

Among the different activities, there is a general programme on studies concerning the energy system, taking into account different aspects of introducing new energy technologies. There are also R&D programmes on the supply of biomass for energy production, for instance on forestry and energy crops, as well as research on combustion and gasification technologies. Concerning technology like, for instance, wood fired domestic boilers, information and education projects are being discussed. Also, several different investment programmes have been carried out, giving grants for instance for the building of biofueled cogeneration plants.

A special programme for demonstration of new, more efficient electricity production systems based on biomass has recently been launched.

Lars Guldbrand  
Energy and Environmental Technology,

# **Dissemination of Bioenergy Systems - Non Technical Barriers**

## **Situation In Switzerland**

Ruedi Bühler, Umwelt + Energie, CH-8933 Maschwanden

### **Abstract**

Wood as the main biomass for production of energy is badly exploited. There are mainly non technical reasons for this situation. The main barrier against dissemination of wood firing systems is of economic nature. This is not only true for unprocessed and therefore uncontaminated wood from the forest, but also for wood residues from saw mills as well as from joiners and carpenters' workshops. Because disposal of urban wood waste has a negative price, energy from urban wood waste can be cheaper than energy from oil. For herbage as an energy resource, the economic situation is worse than for wood. Depending on the type of biomass and the size of the installation, the total production costs for heat production from wood, urban waste wood, miscanthus and energy grass are between -.05 to -.20 Fr./kWh, compared with oil with equivalent costs between -.05 to -.06 Fr./kWh. Possibilities to remove the barriers against dissemination of bioenergy systems are discussed in the paper.

Maschwanden, 21. April 1994



*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

### **Bijlage 3    Hand-out: Dissemination of Bioenergy systems**

# **Dissemination of Bioenergy Systems**

contribution to the

**COMETT Expert Workshop  
"Biomass Combustion"**

Graz / Austria, 16.-17. May 1994

**Michael Paula**

**Austrian Federal Ministry of Science and Research**

# "Pathways from Small Scale Experiments to Sustainable Regional Development"

## Participants:

Austrian Academy of Science  
GRAT at University of Technology, Vienna  
Roskilde University, Denmark  
University of Technology, Athens

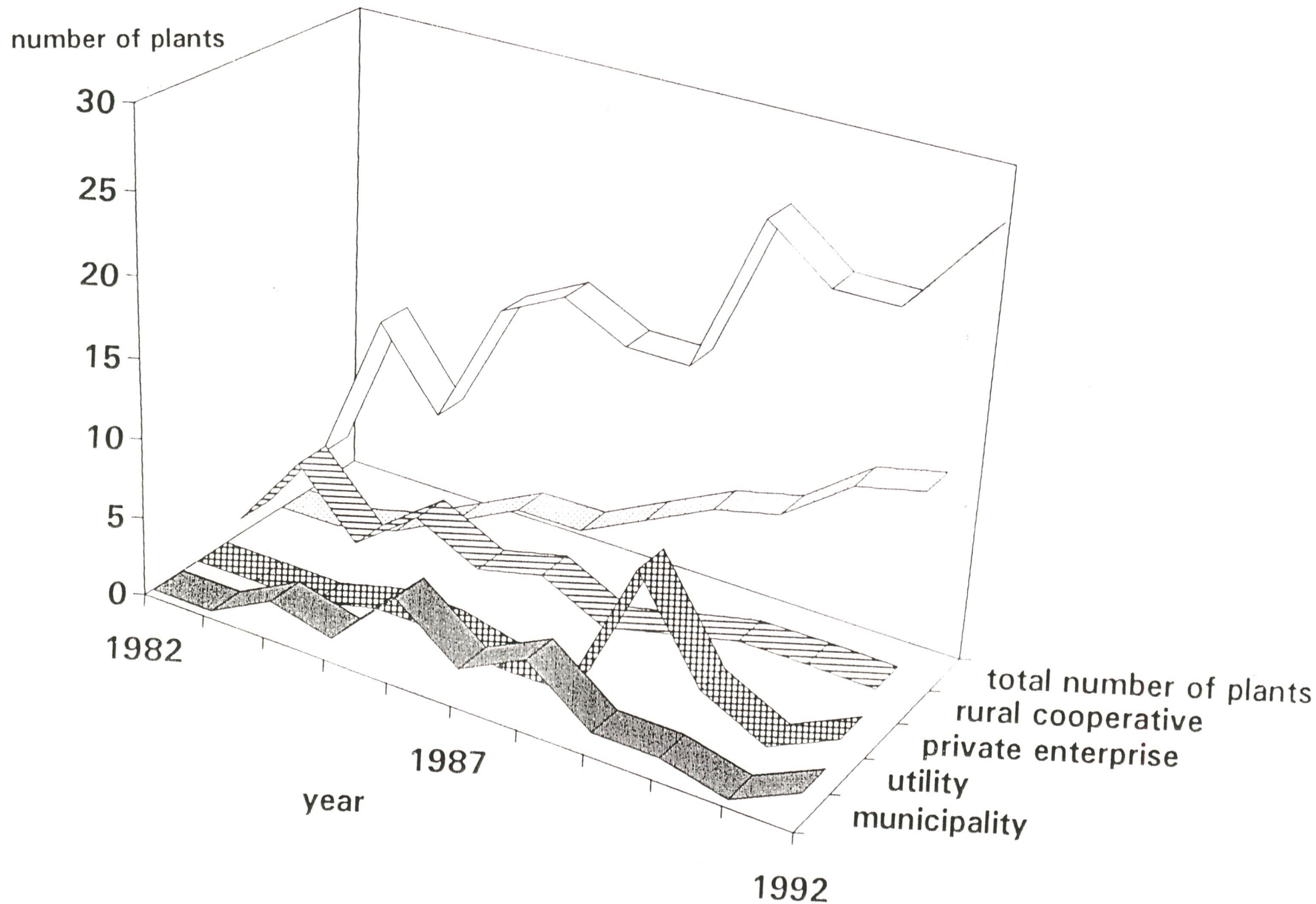
biomass  
solar collectors  
wind energy  
solar collectors

## *Project Intentions*

- *What are the driving forces and obstacles in the dissemination of alternative energy technologies?*
- *Under what conditions can their implementation contribute towards sustainable regional development?*



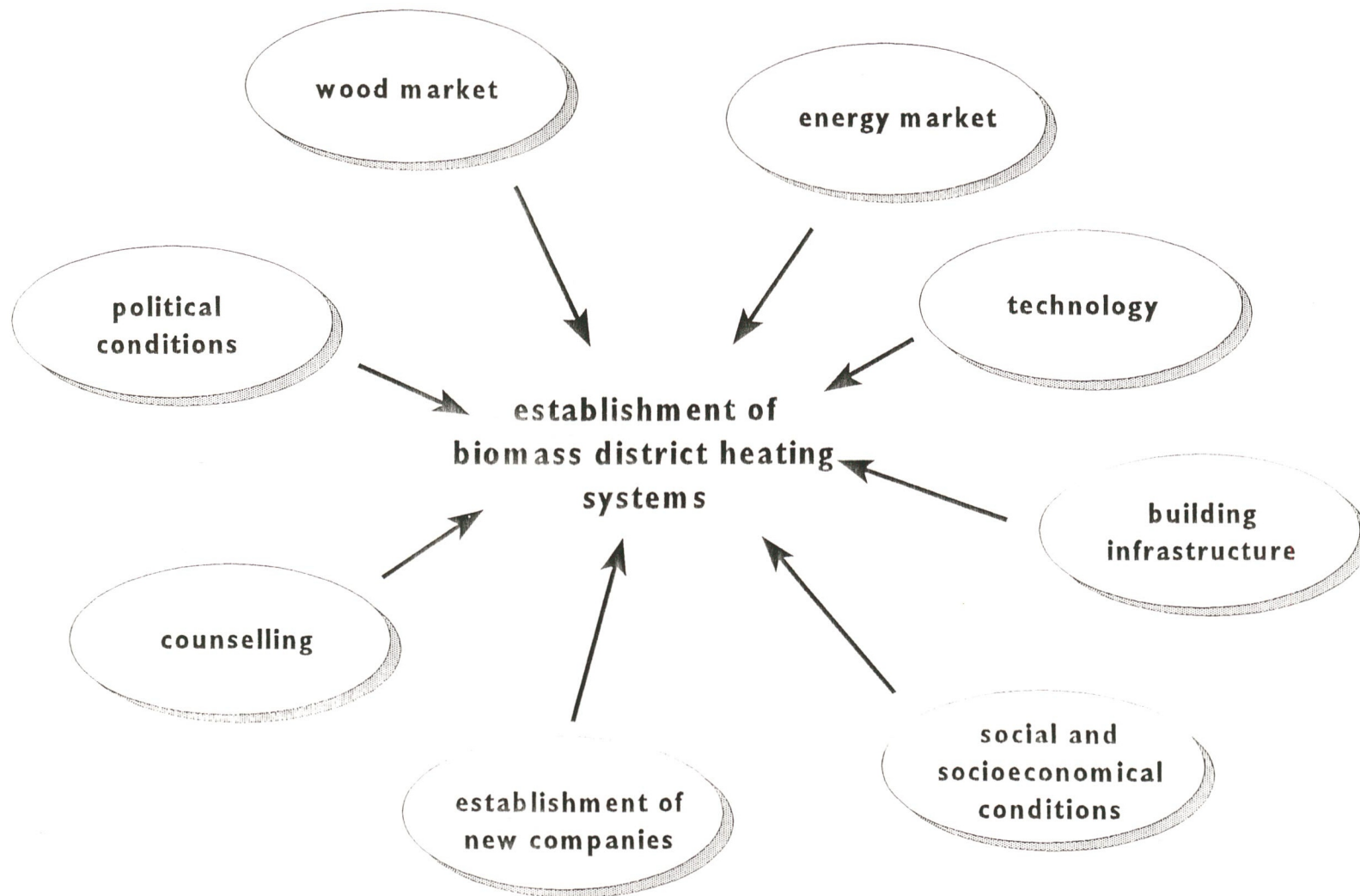
## Per Year Installation of District Heating



# Diffusion-Relevant Technological Developments

|                                               | reliability | fuel efficiency | emission reduction | reduction of "optical emissions" |
|-----------------------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|
| - improvement in mechanical handling system   |             |                 |                    |                                  |
| - improvement of the combustion chamber       |             |                 |                    |                                  |
| - development of electronic control devices   |             |                 |                    |                                  |
| - implementation of flue gas condensation     |             |                 |                    |                                  |
| - system optimization incl. distribution grid |             |                 |                    |                                  |

## Areas relevant for the Diffusion of Biomass District Heatings





## Instruments of environmental policy

### Regulatory instruments

- Legal prohibitions
- Ordinances
- Official requirements
- Product regulations

### Market-based instruments

Change of  
framework conditions

- Ecotaxes
- Environmental liability
- Product responsibility
- Ecolabel

### Stimulating instruments

- Information and awareness-raising
- Counselling
- Co-operation networks
- Grants and key area grants

## Effects on the business level:

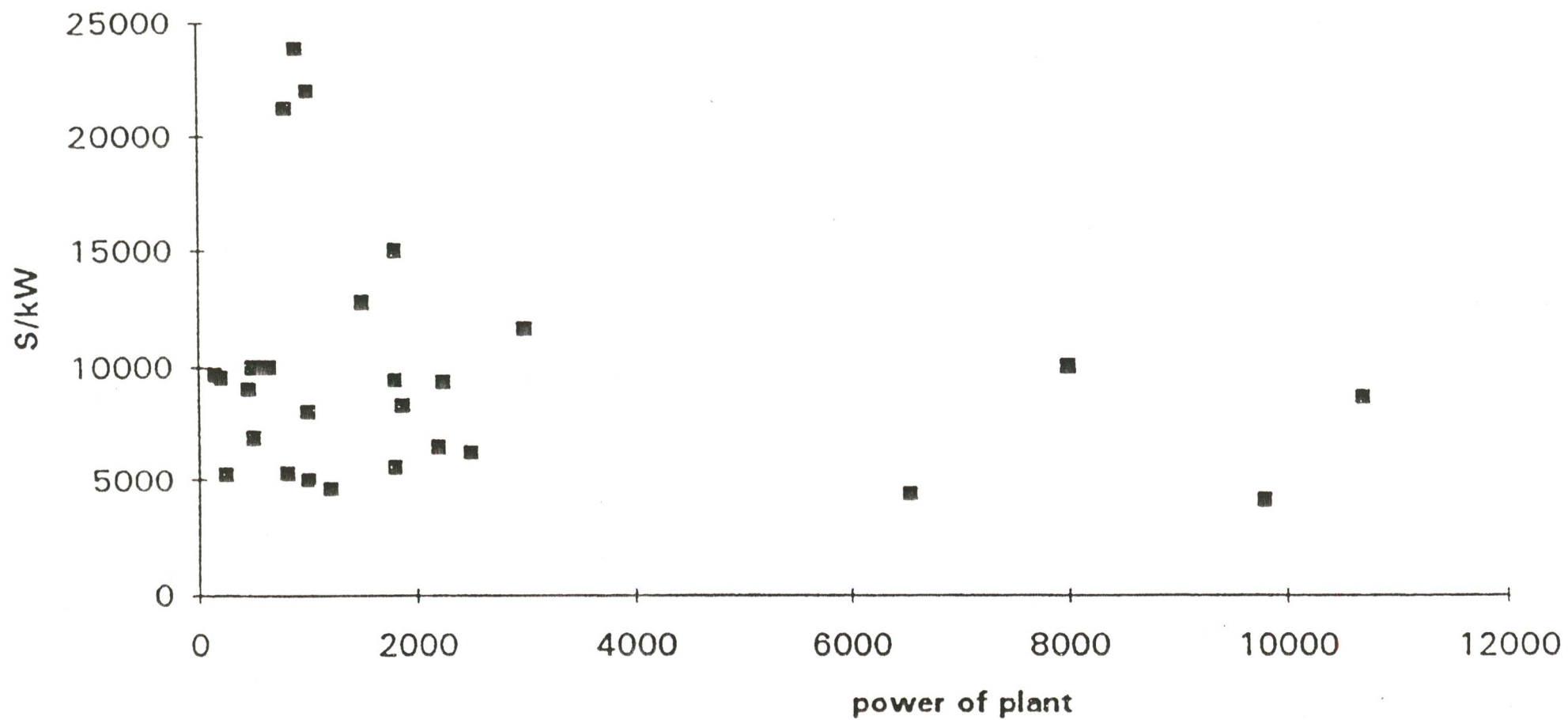
often lead to

- "end-of-pipe" solutions
- Solitary measures

enable

- Long-term strategies in companies
- Preventive innovations, Clean Technology

# Investment per KW vs Power



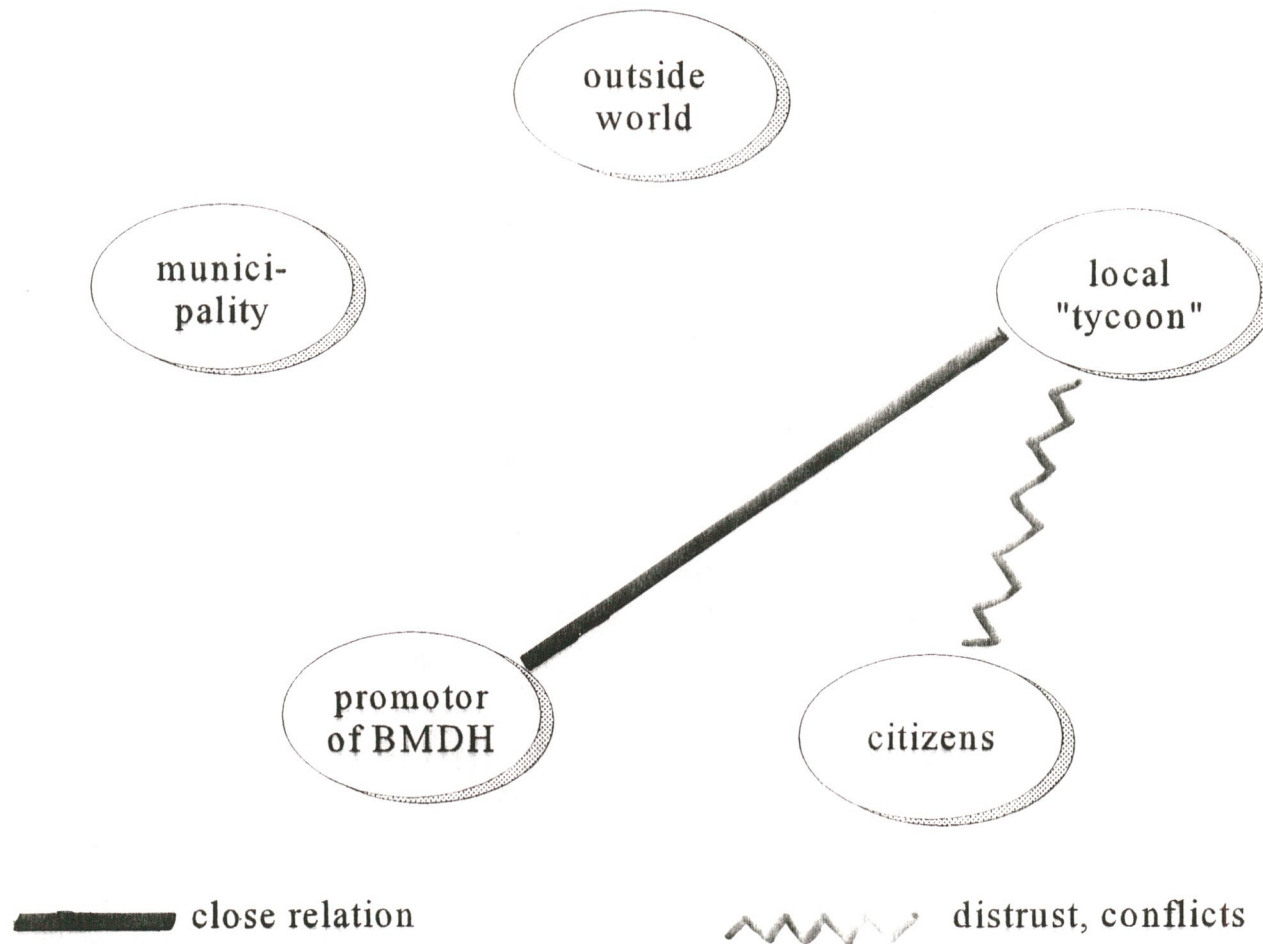


# **Biomass District Heating - A Community Issue !**



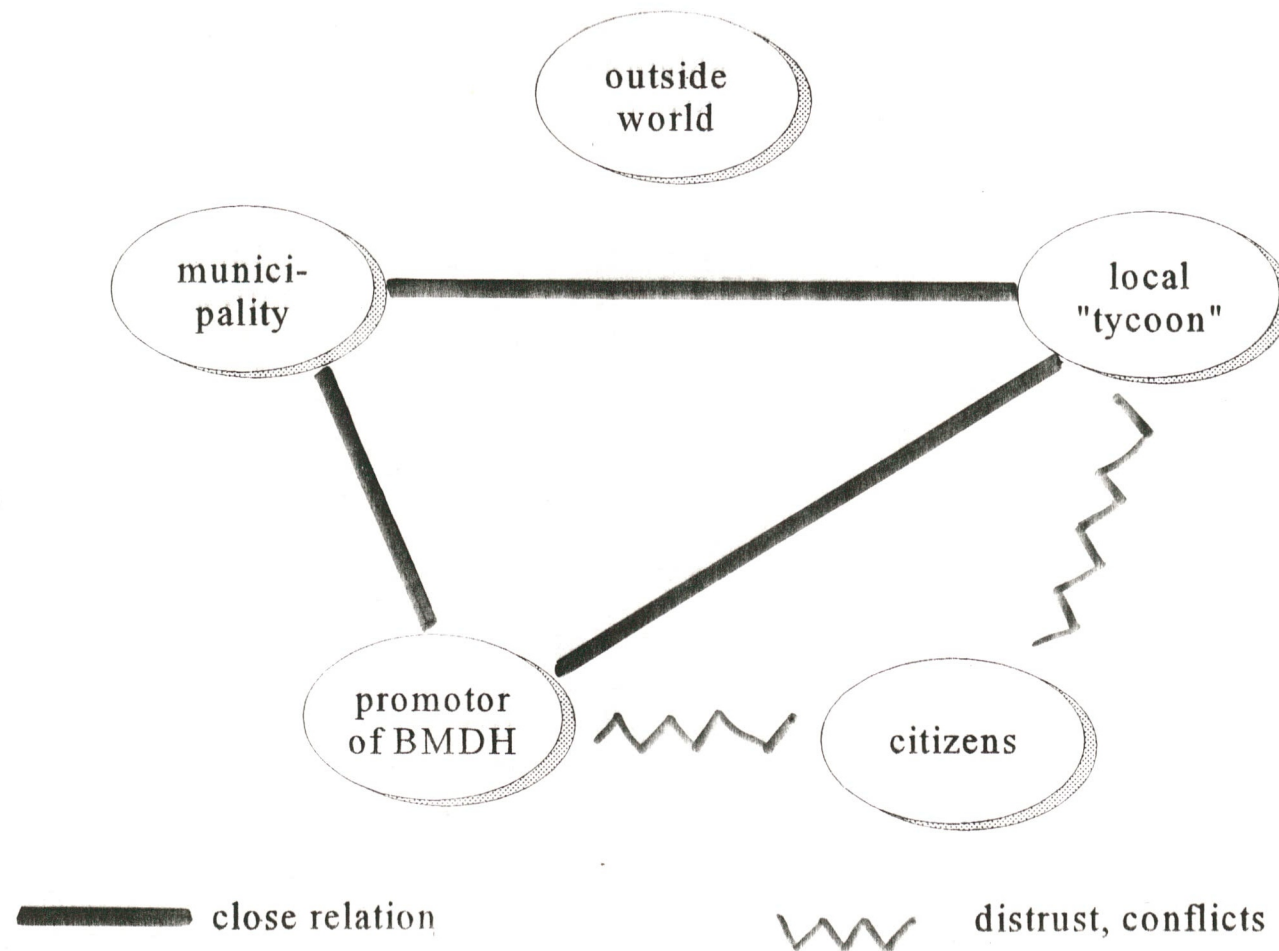
# A Model for Conflictive Implementation Processes

common  
failure  
constellation



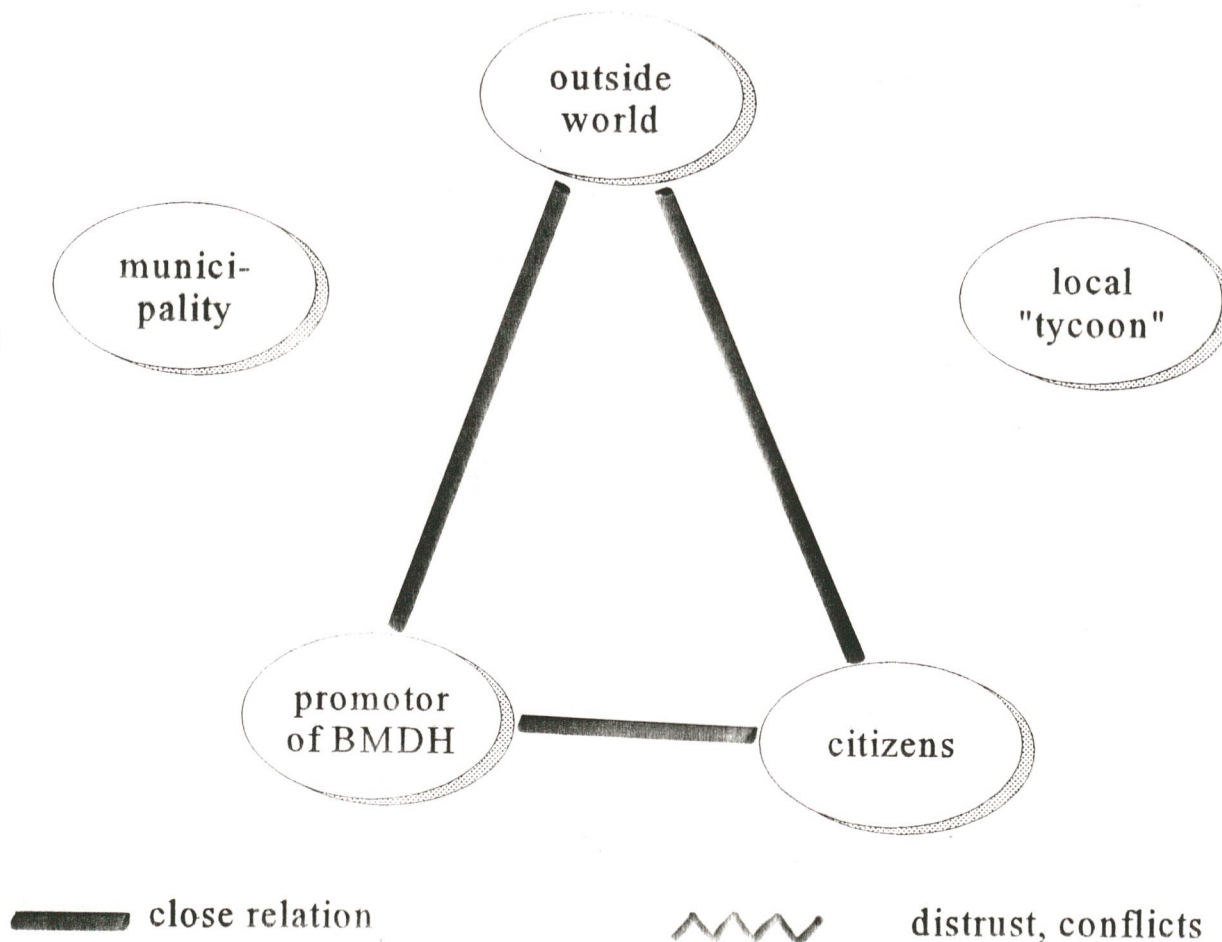
# A Model for Conflictive Implementation Processes

only  
few  
grid-  
connections



# A Model for Conflictive Implementation Processes

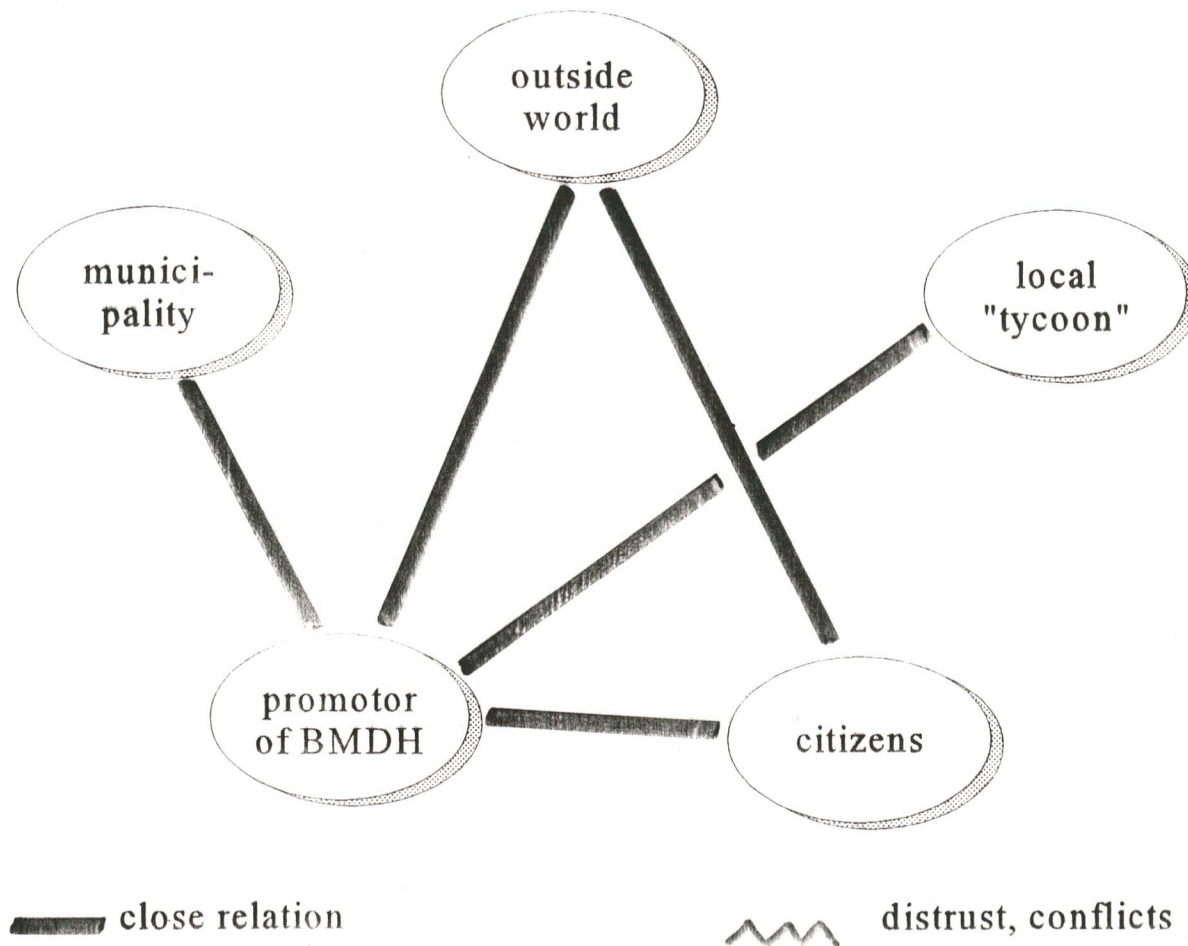
Success  
Constellation





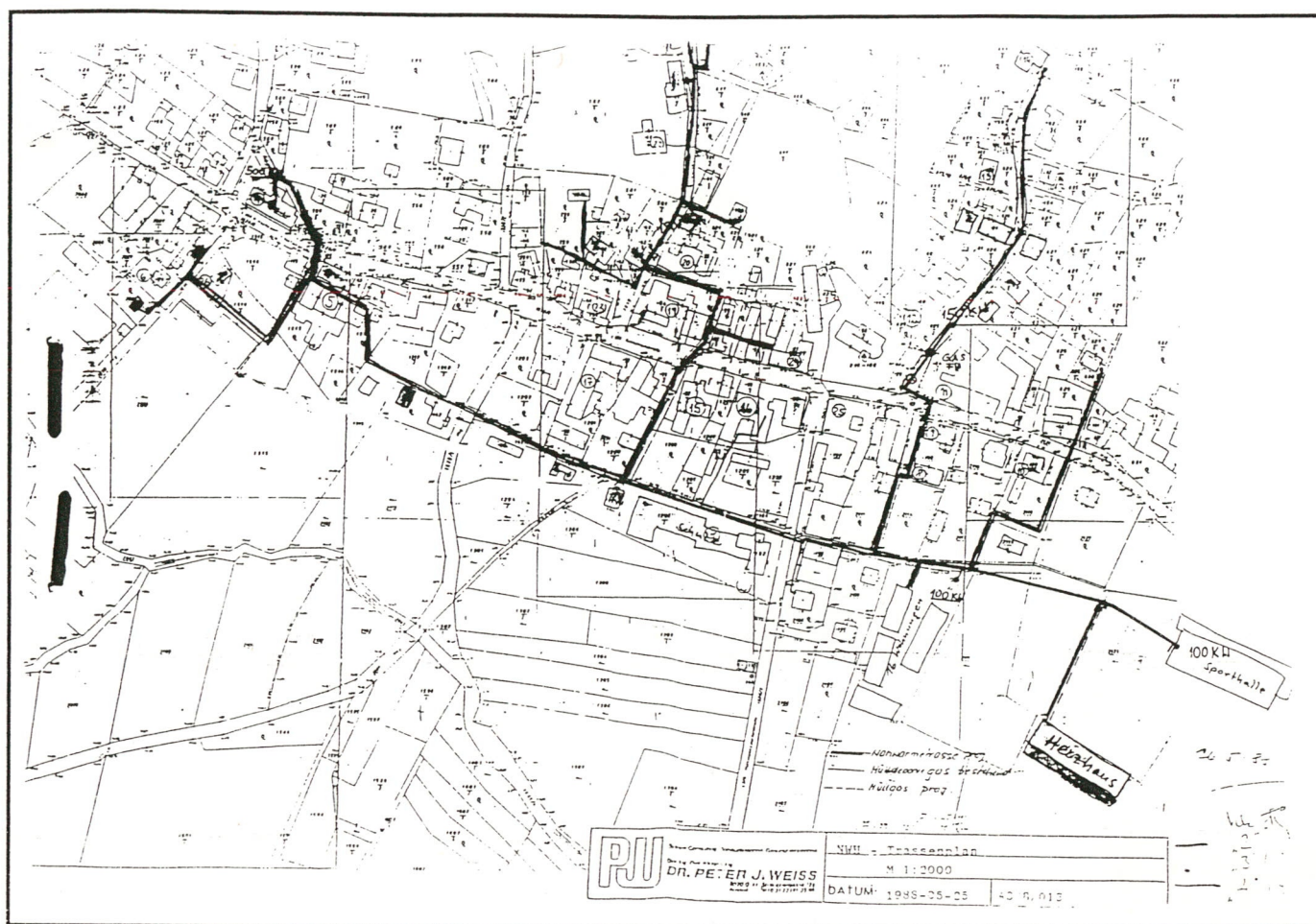
# A Model for Conflictive Implementation Processes

Optimal !



*COMETT Expert Workshop "Biomass Combustion" Graz, Oostenrijk, 16-18 mei 1994*  
*Bezoekverslag*

## **Bijlage 4    Gegevens excursies**



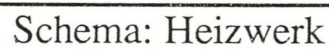
Ortsnetz Markt Hartmannsdorf

|                                               |          |
|-----------------------------------------------|----------|
| Länge des Ortsnetzes:                         | 2.700 m  |
| Anzahl der versorgten Objekte:                | 32       |
| Anschlußwert der versorgten Objekte:          | 1.341 kW |
| Anschlußmöglichkeit vorbereitet<br>25 Objekte | 700 kW   |

In den Leitungstrassen wurden zum Teil mitverlegt:

Verrohrung für Brauchwasser  
Verrohrung für Kabel TV



Planung und Bauleitung: Dr. Peter J. WEISS

|                                                   |
|---------------------------------------------------|
| <b>Planung und Bauleitung: Dr. Peter J. WEISS</b> |
|---------------------------------------------------|

Anschluß- und Betriebskosten

Basis: 1993

Anschlußkosten:

|           |   |                    |
|-----------|---|--------------------|
| Althäuser | S | <b>1.400,00/kW</b> |
| Neubauten | S | <b>3.500,00/kW</b> |

Wärmetarif:

|                  |   |                  |
|------------------|---|------------------|
| Grundgebühr/Jahr | S | <b>250,00/kW</b> |
| Wärmeverbrauch   | S | <b>0,63/kWh</b>  |

|                  |   |   |                                |
|------------------|---|---|--------------------------------|
| Brennstoffkosten | Ø | S | <b>140,00 je m<sup>3</sup></b> |
|------------------|---|---|--------------------------------|

|                                                              |                     |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|
| Stromverbrauch für Steuerung, Pumpen und Beleuchtung je Jahr | <b>S 112.000,00</b> |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|

|                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| Gesamtverkauf an Energie 1991/1992 | <b>1,621.000 kW</b> |
| Gesamtverkauf an Energie 1992/1993 | <b>1,649.000 kW</b> |

|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| Gesamterlös an Energie 1991/1992 | <b>S 1,358.000,00</b> |
| Gesamterlös an Energie 1992/1993 | <b>S 1,367.000,00</b> |

## Energieholzversuchsfläche Schellauf

St. Marein bei Graz

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                         |                 |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Anlage:                           | April 1989                                                                                                                                                                                                                                              |                 |
| Ausmaß:                           | 1,5 ha                                                                                                                                                                                                                                                  |                 |
| davon reine Versuchsfläche:       | 1.344 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                    |                 |
| Vorkultur:                        | Mais                                                                                                                                                                                                                                                    |                 |
| Versuchsziel:                     | Prüfung von 8 Pappelklonen auf Wuchsleistung bei gleichem Abstand und gleichem Umtrieb.                                                                                                                                                                 |                 |
| Verwendete Klone:                 | I 130                                                                                                                                                                                                                                                   | Schwarzpappel   |
|                                   | J 105 = Max 4                                                                                                                                                                                                                                           | Balsampappel    |
|                                   | Oxford                                                                                                                                                                                                                                                  | Balsampappel    |
|                                   | Rap                                                                                                                                                                                                                                                     | Balsampappel    |
|                                   | Weser 6                                                                                                                                                                                                                                                 | Balsampappel    |
|                                   | Muhle Larsen                                                                                                                                                                                                                                            | Balsampappel    |
|                                   | Max 1                                                                                                                                                                                                                                                   | Balsampappel    |
|                                   | Rochester                                                                                                                                                                                                                                               | Balsampappel    |
| Behandlung der Fläche:            | Im Herbst 1988 wurde die Fläche gepflügt und vor Auspflanzen der Stecklinge im Frühjahr 1989 geeeggt.                                                                                                                                                   |                 |
| Bodenproben:                      | Die Bodenproben wurden am 4. April 1989 gezogen. Einstichtiefe 30 cm an 20 zufällig ausgewählten Stellen.                                                                                                                                               |                 |
| Ergebnisse der Bodenuntersuchung: | Gehalt                                                                                                                                                                                                                                                  | Versorgung      |
|                                   | Lösl. Phosphat                                                                                                                                                                                                                                          | 14 mg/100g gut  |
|                                   | Lösl. Kali                                                                                                                                                                                                                                              | 14 mg/100g gut  |
|                                   | Magnesium                                                                                                                                                                                                                                               | 14 mg/100g hoch |
|                                   | pH-Wert in CaCl <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                            | 5,6             |
|                                   | Gesamt C                                                                                                                                                                                                                                                | 1,62%           |
|                                   | Gesamt N                                                                                                                                                                                                                                                | 0,17%           |
|                                   | C:N Verhältnis                                                                                                                                                                                                                                          | 9,53            |
| Düngung:                          | Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung wiesen auf eine gute Nährstoffversorgung aus der Vorkultur hin. Es wurde daher auf eine weitere Düngung verzichtet.                                                                                                |                 |
| Versuchsdesign:                   | 3 Wiederholungen mit 8 Versuchsgliedern, ergibt 24 Versuchsparzellen à 11 x 12 m (= 132 m <sup>2</sup> ). Reihenabstand 2 m, Abstand in der Reihe 1 m. 4 x 7 = 28 Bäume stehen in der Kernzone (56 m <sup>2</sup> ) jeder Versuchsparzelle. 1 Randreihe |                 |



je westlich und östlich (= 3 m Abstand der Kernzone zur nächsten Versuchsparzelle) und je 2 Randreihen nördlich und südlich (= 2,5 m Abstand der Kernzone zur nächsten Versuchsparzelle). Ausgewertet wird nur die Kernzone.

Ein Parallelversuch mit gleichem Design wurde in Fehring, im Bezirk Feldbach angelegt.

**Pflege:**

Im Anlagejahr wurde auf der Versuchsfläche das Unkraut mit einem selbstfahrenden Motormäher mehrmals gemäht. Zusätzlich wurden die Standräume der einzelnen Pflanzen händisch aufgehackt. Gegen Wildverbiß wurde die gesamte Fläche rehwildsicher eingezäunt.

**Ernte:**

In der Zeit vom 2. bis 4. Februar 1994, also 5 Jahre (Vegetationsperioden) nach der Auspflanzung der Stecklinge, wurde die erste Ernte durchgeführt. Parzellenweise wurden die Stämme mit einer Motorsäge umgeschnitten und abgewogen. Gleichzeitig wurden Stammanalysen (Brusthöhendurchmesser, Höhe, Gewicht, Stammanteil, Reisiganteil) durchgeführt und Arbeitszeitanalysen angestellt. Bisher wurden nur die Ernteerträge ausgewertet. Das Erntegut wurde anschließend in der Nähe der Versuchsfläche in lockeren Haufen gelagert und soll über den Sommer zur Trocknung liegen bleiben. Es ist geplant, die Stämme samt den Ästen im Herbst zu hacken. Der Besitzer wird das Hackgut in der betriebseigenen Heizanlage verfeuern.

**Erträge:**

Aus der nachfolgenden Tabelle ist ersichtlich, daß der Klon RAP mit durchschnittlich ca. 14,7 t/ha/Jahr Trockensubstanz, die höchste Produktionskapazität hat. Dies entspricht, unter der Annahme, daß das Holz bis zum Zeitpunkt der Verfeuerung auf 30% Wassergehalt abtrocknet einem Öläquivalent von ca. 6,4 t/ha und Jahr. Es folgt an zweiter Stelle Klon WESER 6 mit ca. 12,4 t/ha/Jahr. Die geringste Trockensubstanzproduktion war bei Klon ROCHESTER mit ca. 7,6 t/ha/Jahr zu beobachten.

Die auf dieser Versuchsfläche erzielten Erträge sind im Vergleich zu denen auf anderen Pappelversuchsflächen Spitzenerträge. Die Ertrags-Rangfolge deckt sich nicht mit der anderer Versuchsflächen und hat daher ausschließlich für diese Versuchsfläche und Behandlung Gültigkeit.

| PAPPEL - Versuch Schellauf, St. Marein b. Graz |                           |                                      |
|------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Reihung nach durchschnittlichen Erträgen       |                           |                                      |
| Pappel-<br>klon                                | Mittlerer<br>Wassergehalt | Durchschnittliches<br>Trockengewicht |
|                                                | [w=%]                     | [kg/ha/a]                            |
| RAP                                            | 62,8                      | 14.702                               |
| WESER 6                                        | 59,0                      | 12.445                               |
| MAX 1                                          | 64,6                      | 11.830                               |
| MUHLE L.                                       | 61,4                      | 10.439                               |
| J 105                                          | 66,7                      | 9.136                                |
| I 130                                          | 65,5                      | 8.607                                |
| OXFORD                                         | 59,9                      | 8.271                                |
| ROCHESTER                                      | 62,2                      | 7.641                                |

Wassergehalt:

Der Wassergehalt zum Zeitpunkt der Ernte hat keinen unmittelbaren Einfluß auf die Trockensubstanzproduktion. Er liegt bei allen untersuchten Klonen weit über 50% und damit im Vergleich zu anderen bisher untersuchten Baumarten verhältnismäßig hoch.

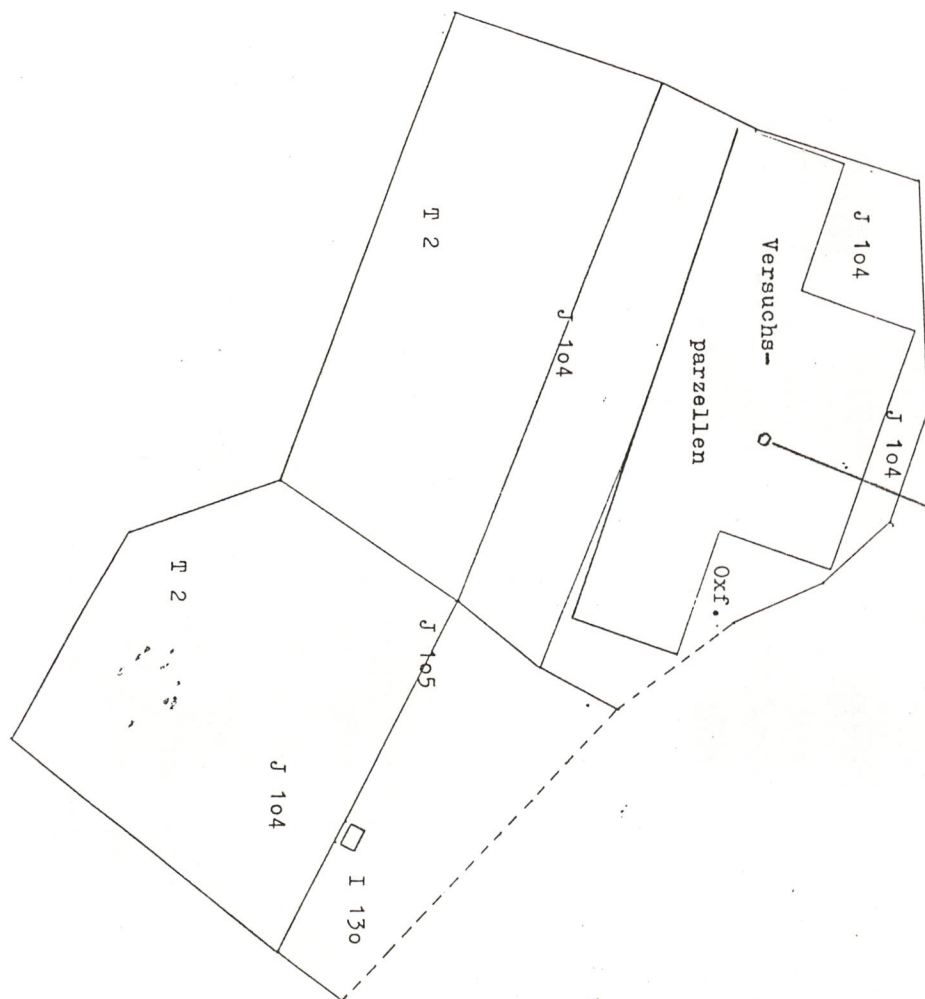
Weitere, geplante  
Auswertungen:

Produktionskosten von der Flächenvorbereitung bis zur Ablage des Hackgutes im Hackschnitzelbunker, Ausfallsprozente, Reis- und Stammholzanteil, Nährstoffentzug.

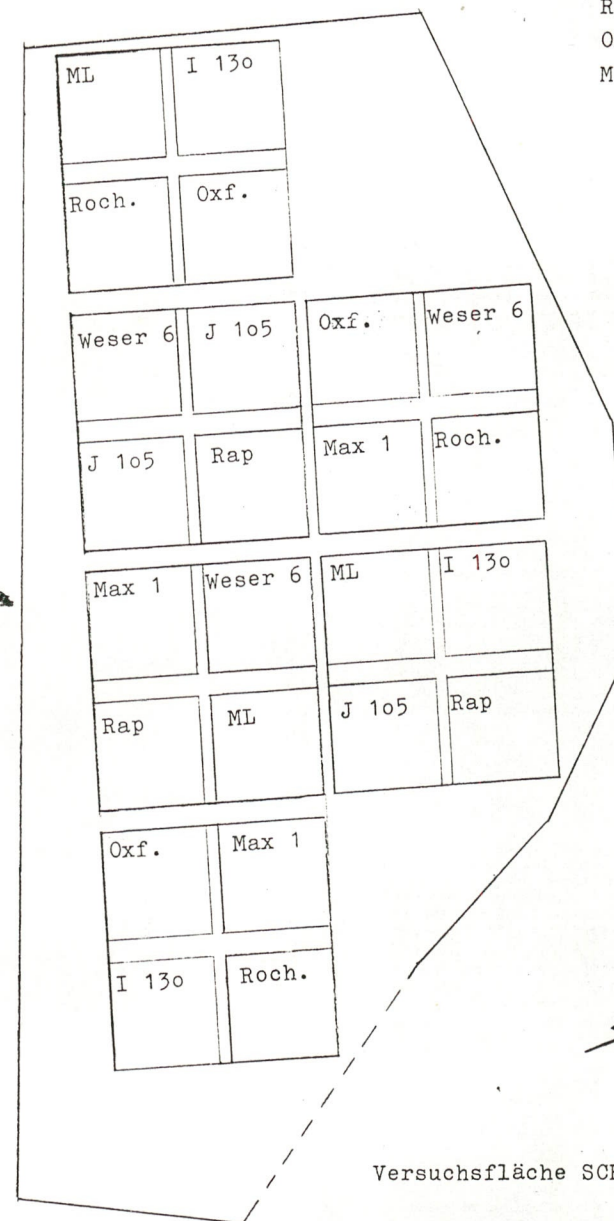
Weitere Behandlung der  
Versuchsfläche:

Die Versuchsfläche Schellauf wird nach der ersten Ernte weitere fünf Jahre beobachtet. Dabei soll neben den oben angeführten Versuchszielen auch die Wiederausschlagskraft der Stöcke und die Anfälligkeit gegen Krankheiten geprüft werden, die erfahrungsgemäß höher ist als bei Neuanlagen. Besonders über die große Schnittfläche dringen vermehrt Schadpilze in die neuen Aufwüchse ein.

Roch. =Rochester  
 Oxf. =Oxford  
 ML =Muhle Larsen



VERSUCHSFLÄCHE SCHELLAUF



Versuchsfläche SCHELLAUF

Pflanzabstand  
 2m x 1m