



Milieutechnologie : Term Paper

Eline Corveleyn
Maxim Dekeyser
Tom Nel
Charles Steyaert

Prof. Herman Van Langenhove
Prof. Tom Van de Wiele
Dr. Christophe Walgraeve
Dr. Jan Arends
Dr. Jeet Varia

Inhoudsopgave

DEEL 1: Biomassa als hernieuwbare energiebron	1
1 Inleiding	1
2 Verbranding biomassa	1
3 Biomassa-elektriciteitscentrale A&S	1
DEEL 2: Biokrachtcentrale A&S: proces en afvalstromen	2
1 Proces	2
2 Nevenstromen	2
3 Emissiecontrole	2
3.1 Primaire maatregelen	2
3.2 Secundaire maatregelen	2
3.2.1 Ammoniakinjectie	3
3.2.2 Bruinkoolbehandeling	3
3.2.3 Kalkbehandeling	3
3.3 Continue metingen	4
4 Economische aspecten	4
4.1 Energieproductie en rendement	4
4.2 Kosten	5
5 Conclusie	5
DEEL 3: Bijlagen	6

DEEL 1: Biomassa als hernieuwbare energiebron

1 Inleiding

Door het almaar toenemende gebruik van fossiele brandstoffen komt er steeds meer CO₂ vrij, wat een directe invloed heeft op het broeikaseffect. Deze laatste draagt op zijn beurt bij aan de opwarming van de aarde. Indirect zijn fossiele brandstoffen dus de boosdoener van de klimaatopwarming, waardoor men meer en meer op zoek gaat naar alternatieve energiebronnen om deze effecten tegen te gaan.

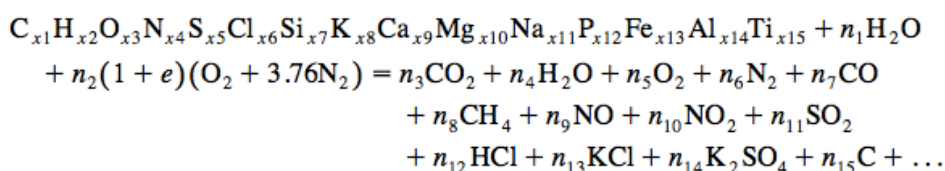
Concreet staat men voor volgend vraagstuk: met welke alternatieve en tevens duurzame energiebronnen kan de globale CO₂- uitstoot gereduceerd worden? De EU stelt voorop om tegen 2050 broeikasgassen tot 80% onder het niveau van de jaren 90 te brengen.

Naast wind-, hydro- en zonne-energie vormt ook biomassa een mogelijk alternatief. Momenteel wordt grofweg 10% van de jaarlijkse energietoevoer door biomassa opgewekt, wat ongeveer goed is voor een 50 EJ. Men kan dus slechts een relatief laag aandeel toeschrijven aan biomassa. Twee redenen hiervoor zijn 1) zowel een ongelijke beschikbaarheid van biomassa als een laks energiebeleid op globaal niveau en 2) het feit dat een zuivere biokracht-centrale een maximaal rendement van 30% heeft, wat lager is dan een klassieke kolencentrale, kerncentrale of STEG-centrale. Daartegenover staat zowel een veel lagere uitstoot van schadelijke stoffen als een input van duurzame grondstoffen; bijvoorbeeld in deze case is verbranding van het hout zo goed als CO₂ - neutraal.

In deze term paper zullen we dus een concrete toepassing van biomassa bespreken: verbranding van hout die resulteert in de productie van groene stroom. Hierbij zullen we ons vooral focussen op de chemische componenten, nevenstromen en berekeningen.

2 Verbranding biomassa

Door de opbouw en samenstelling van biomassa is deze brandstof moeilijk te gebruiken. Dit komt ten eerste doordat men te maken heeft met 1) een zeer complexe structuur van cellulose, hemicellulose en lignine, 2) veel extractieven en 3) de aanwezigheid van metalen (in het bijzonder Na en K die voor corrosie zorgen) die allen een optimale verbranding bemoeilijken. Om zowel een optimale verbranding te garanderen als een minimale uitstoot van schadelijke en/of vervuulende reactieproducten (Fig. 1) zijn biokrachtcentrales dan ook zeer complex ontworpen.



Figuur 1. Chemische omzetting van hout

3 Biomassa-elektriciteitscentrale A&S

A&S Energie NV, een joint venture tussen het groenestroombedrijf Aspiravi NV en spaanplaat-specialist Spano NV (overgenomen door Unilin), verwerkt jaarlijks tot 180.000 ton niet-recycleerbaar houtafval tot groene stroom voor 51.000 gezinnen door middel van een biokrachtcentrale. De installatie werd door ons bezocht in april 2017. We bedanken A&S voor de medewerking.

DEEL 2: Biokrachtcentrale A&S: proces en afvalstromen

1 Proces

Niet-recycleerbaar houtafval wordt aangevoerd in de opslaghal. Vervolgens wordt het houtafval gereinigd en ontdaan van onzuiverheden. Een CFB (Circulating Fluidized Bed), omringd door stoombuizen, zet het houtafval om in warmte, rookgassen en as. De warmte die vrijkomt brengt de stoom op hoge druk. Deze stoom vloeit in een stoomturbine die op zijn beurt een generator aandrijft. Op zijn beurt produceert de generator groene stroom. Na het verlaten van de turbine condenseert de stoom via de luchtkoelers waarna het opnieuw ingebracht kan worden in de warmteketel (circulaire stroom). De rookgassen worden gekoeld en gezuiverd in een droge rookgasreinigingsinstallatie. Hoewel de werking van een CFB interessant is, verwijzen we naar de literatuur en leggen we de focus op de nevenstromen die geproduceerd worden (*zie bijlage 1*).

2 Nevenstromen

- **Verbrandingsgassen:** de verbranding van het houtafval zorgt voor een uitstoot van gassen die schadelijke stoffen bevatten (NO_x , CO, SO_2 , HCl...)
- **Vlieg- en bodemassen:** vliegassen (7.360 ton per jaar) worden opgevangen en doorgestuurd naar de betonindustrie. Bodemassen worden gebruikt als toeslagstof (2.345 ton per jaar).
- **Zand:** om de zoveel tijd moet het zand van de CFB vernieuwd worden wegens te veel klittende deeltjes aan dit zand.
- **Mouwfilterresidu:** residu dat overblijft na de kalk- en bruinsteenbehandeling bedraagt 2.095 ton per jaar en wordt als klasse I-stort gezien.

We gaan ons in deze case focussen op de uitstootgassen en hoe deze gezuiverd worden.

3 Emissiecontrole

3.1 Primaire maatregelen

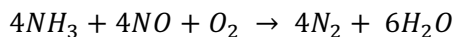
Om een zo optimaal mogelijke verbranding te hebben en dus ook een aanvaardbare uitstoot van gassen, worden een aantal maatregelen genomen. Eerst en vooral wordt het afvalhout door middel van magneten en ziften gezuiverd van metalen en grote brokstukken. Het hout moet homogeen zijn in vochtpercentage alsook in granulometrie. Een zandbed zorgt voor een homogene temperatuur en dus een efficiëntere verbranding. Voorverwarmde lucht alsook de recirculatie van verbrandingsgassen naar primaire lucht, zorgen voor optimale omstandigheden. Ten slotte zorgt de hoge verbrandingskamer voor een langere verblijfstijd.

3.2 Secundaire maatregelen

Men reinigt de uitgaande gassen om de aanwezige schadelijke concentraties te reduceren tot een acceptabel niveau. Hiervoor worden er opnieuw enkele maatregelen genomen (*zie bijlage 2*).

3.2.1 Ammoniakinjectie

Ammoniak wordt geïnjecteerd daar waar de uitstootgassen een temperatuur hebben tussen 760 en 1.090°C om stikstofoxides via een redoxreactie om te zetten naar stikstofgas en water (ook wel SNCR genoemd: *Selective Non-Catalytic Reduction*)



In wat volgt maken we stoichiometrisch een berekening om een beeld te krijgen van hoeveel NO gereduceerd wordt. In de praktijk gebruikt men turbulentie om deze optimale interactie te benaderen. NH_3 heeft een molaire massa van 17gram/mol. We verbruiken 80 ton NH_3 per jaar.

$$\begin{aligned} 1 \text{ mol } NH_3 &\rightarrow 17g \\ 4.705.882 \text{ mol } NH_3 &\leftarrow 80.000.000g \end{aligned}$$

Aangezien er evenveel mol NH_3 nodig is als NO (4 mol), zal er voor 4.705.882 mol NH_3 evenveel mol NO verbruikt worden:

$$4.705.882 \text{ mol } \frac{NO}{\text{jaar}} * \frac{30g}{\text{mol}} = 141 \text{ ton } \frac{NO}{\text{jaar}}$$

Jaarlijks wordt er dus 141 ton NO gereduceerd door ammoniakinjectie. Gemiddeld hebben we een debiet van $107.000 \text{ Nm}^3/\text{uur}$ aan uitgaande gassen. De centrale draait 8100-8300 uren per jaar:

$$107.000 \text{ Nm}^3/\text{uur} * 8.200 \text{ uren} = 877,4 * 10^6 \text{ Nm}^3/\text{jaar}$$

$$\frac{141 \text{ ton } \frac{NO}{\text{jaar}}}{877,4 * \frac{10^6 \text{ Nm}^3}{\text{jaar}}} = 0,16g \text{ NO} / \text{Nm}^3$$

Volgens onze assumpties zou er dus $0,16g \text{ NO} / \text{Nm}^3$ omgezet worden. Wanneer we kijken naar onze continue metingen (Tabel 1), zien we dat er nog een uitstoot van $0,13g \text{ NO} / \text{Nm}^3$ is. We kunnen stellen dat ongeveer de helft van de stikstofoxides worden omgezet, zodat de norm van $0,15g \text{ NO} / \text{Nm}^3$ gehaald wordt. Nogmaals: het betreft een theoretisch uitgewerkt voorbeeld.

Qua kosten is er een jaarlijks verbruik van 80 ton ammoniak, dat gemiddeld aan €320/ton wordt aangekocht:

$$80 \text{ ton}/\text{jaar} * €320/\text{ton} = €25.600$$

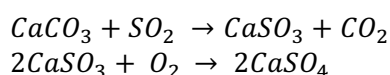
3.2.2 Bruinkoolbehandeling

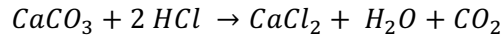
De bruinkool absorbeert zware metalen en dioxines. De hoge microporositeit zorgt voor een groot beschikbaar oppervlak. Wanneer de bruinkool verzadigd is wordt deze opgevangen in de mouwfilter. Er is een jaarlijks verbruik van 13,4 ton bruinkool, dat gemiddeld aan €60/ton wordt aangekocht:

$$13,4 \text{ ton}/\text{jaar} * €60/\text{ton} = €804$$

3.2.3 Kalkbehandeling

Met de kalkbehandeling worden zowel SO_2 als HCl uit de rookgassen omgezet naar zouten, via volgende reacties:





Er is een jaarlijks verbruik van 437 ton kalk, dat gemiddeld aan €100/ton wordt aangekocht:

$$437 \text{ ton/jaar} * €100/\text{ton} = €43.700$$

We hebben een jaarlijkse totale kost van €70.104 voor deze maatregelen, wat weinig is ten opzichte van andere kosten van de centrale.

3.3 Continue metingen

Parameter	Gemiddelde waarden (mg/Nm^3)	Norm (mg/Nm^3)
NO_x	130	150
SO_2	<1	50
HCl	2	10
CO	30	100
$stof$	2	10

Tabel 1. Metingen en Vlarenormen

We kunnen besluiten dat de norm overal gehaald wordt en dat de meeste waarden zelfs ver onder de maximale uitstootwaarden zitten.

4 Economische aspecten

4.1 Energieproductie en rendement

Calorische waarde hout

Droog hout bezit een calorische waarde van gemiddeld 19,4 MJ/kg. Per 10% vocht wordt daarvan 2,1 MJ/kg afgetrokken. Het afvalhout bezit bij benadering 22% vocht. We houden ook rekening met stoelementen (metaal, zand, assen, voorreiniging...) in de vorm van de factor 0,89 (berekend met assumpties van stoelementen):

$$(19,1 \text{ MJ/kg} - 2,2 * 2,1) * 0,89 = 12,8 \text{ MJ/kg} \approx 13 \text{ MJ/kg}$$

Rendement

De centrale heeft een jaarlijkse productie van 24MegaWatt en draait gemiddeld 8.200 uren per jaar. Vorig jaar werd 176.666 ton afvalhout verwerkt. We nemen aan dat gemiddeld 175.000 ton/jaar verwerkt wordt:

$$24 \text{ MegaWatt} * 8.200 \text{ uren} \approx 195 \text{ GWh} = 7,02 * 10^8 \text{ MJ}$$

$$\frac{7,02 * 10^8 \frac{\text{MJ}}{\text{jaar}}}{175.000 \frac{\text{ton}}{\text{jaar}}} = 4011,43 \frac{\text{MJ}}{\text{ton}} \approx 4 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

$$\frac{4,01143 \text{ MJ/kg}}{13 \text{ MJ/kg}} = 0,308 \approx 30\% \text{ rendement}$$

We behalen een energierendement van 30% op de calorische waarde van het ingevoerde afvalhout.

Energiewaarde

De geproduceerde elektriciteit wordt voor gemiddeld €40/Megawattuur verkocht. Ongeveer 2 MW van de jaarlijkse productie wordt door de centrale zelf verbruikt.

$$22MW * 8.200 \text{ uren} \approx 180 \text{ GWh} = 6,48 * 10^8 \text{ MJ}$$
$$6,48 * \frac{10^8 \text{ MJ}}{\text{jaar}} * \frac{€40}{\text{MWh}} * \frac{\text{MJ}}{3600} = €7.200.000$$

Jaarlijks wordt thermische energie geproduceerd ter waarde van €7.200.000 (met eigen verbruik bijgeteld zou het op ongeveer 8 miljoen euro komen).

4.2 Kosten

Investeringskost

De centrale heeft een prijskaartje van €90.000.000. Wanneer we dit boekhoudkundig afschrijven over 20 jaar bekomen we een kost van €4.500.000 per jaar.

Operationele kosten

Onderhoud: €1.800.000/jaar

Personeel: 26 * €66.000/jaar = €1.716.000/jaar

Elektriciteit: €0

Zuivering: €70.000

Investeringskost (-)	€4.500.000
Operationele kosten (-)	€3.586.000
Elektriciteitsproductie (+)	€7.200.000
Totaal:	-€886.000

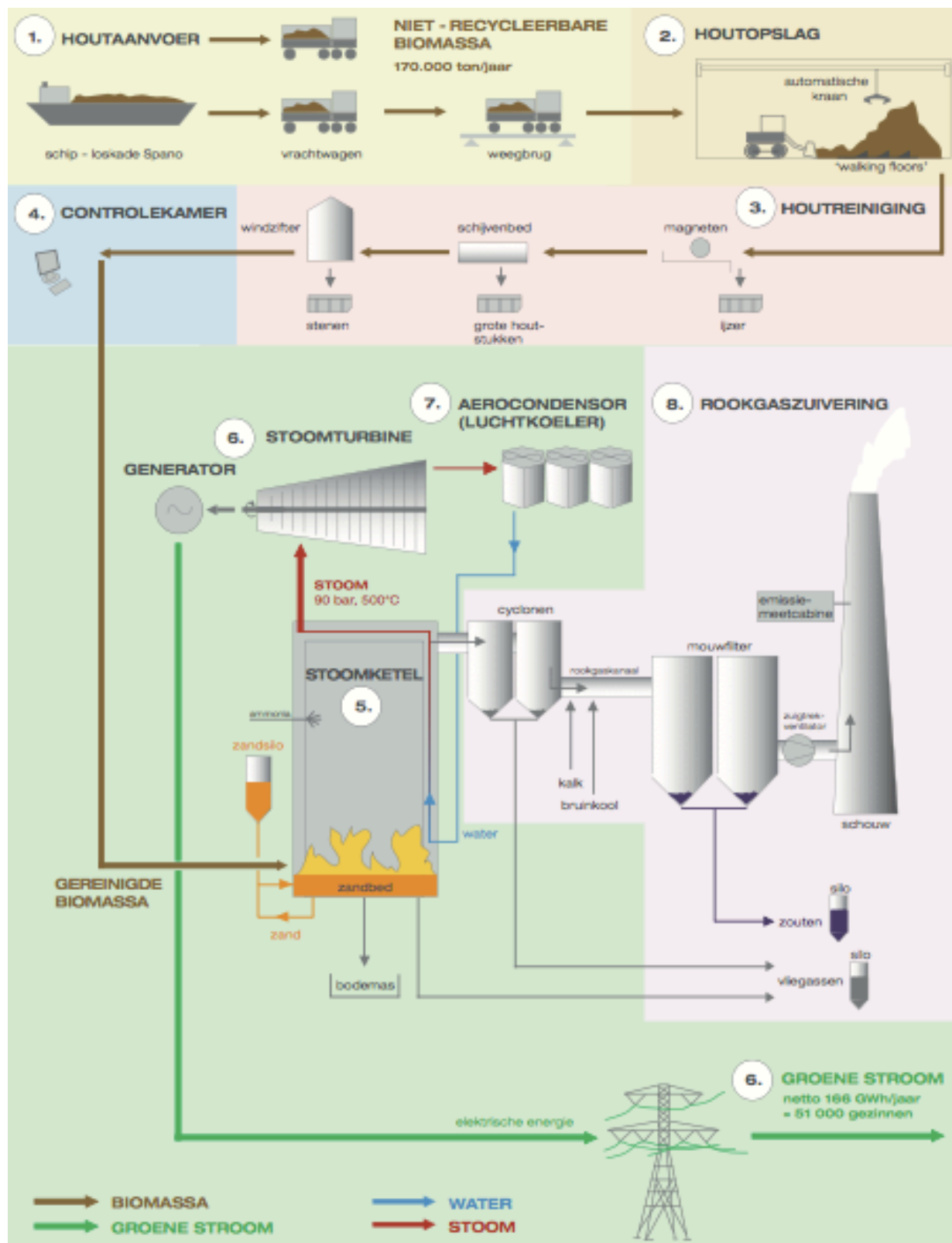
Tabel 2. Benadering van het jaarlijks resultaat (volgens onze waarden en assumpties)

5 Conclusie

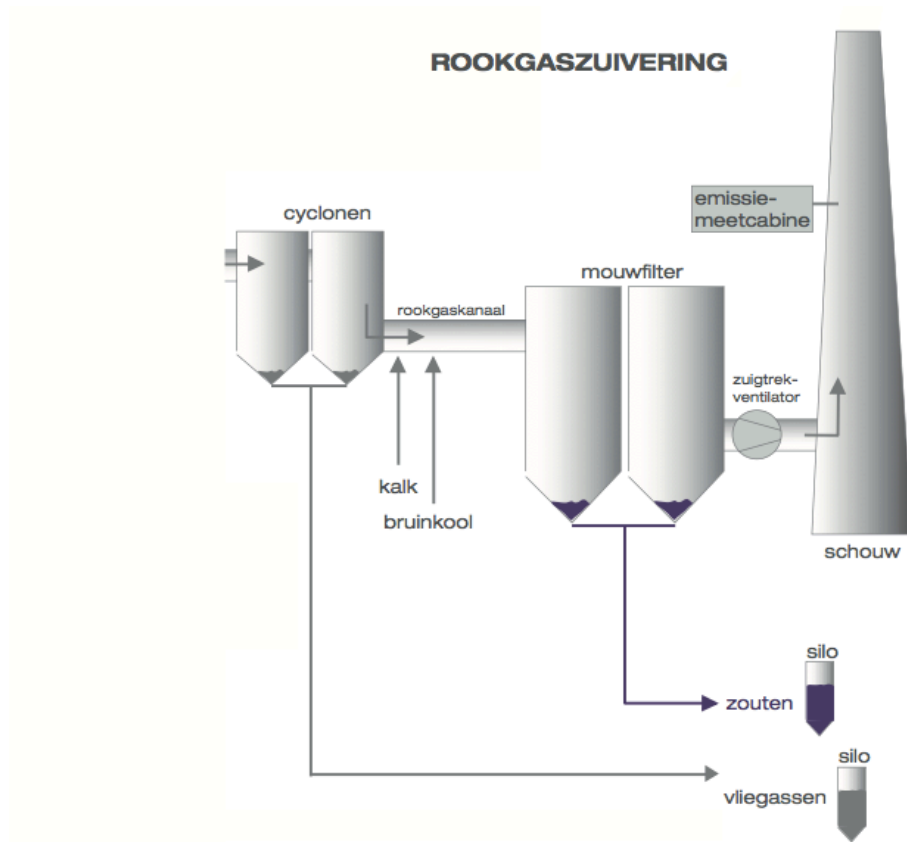
De gigantische investeringskost van dit project zorgt ervoor dat het moeilijk is om winst te maken op de elektriciteitsproductie. Om dergelijke milieubewuste projecten te ondersteunen heeft de overheid beslist om groenestroomcertificaten uit te geven. Met deze certificaten wordt het wel mogelijk om voldoende winst te genereren. De installatie past in het kader van een circulaire economie: reststoffen van industriële processen worden opnieuw ingezet in het systeem en groene energie wordt geproduceerd. We bevinden ons op de één na hoogste trede op de ladder van Lansink, namelijk het hergebruiken van grondstoffen. Ook de uitstootwaarden vertellen ons een mooi verhaal: velen zijn slechts een tiende van wat de norm ons voorschrijft. Een laatste groot voordeel van deze installatie is dat het dicht bij de gebruiker staat. Gedecentraliseerde units zijn de toekomst. Er is hoewel niet genoeg afvalhout in de regio om nog tientallen van deze centrales te maken.

DEEL 3: Bijlagen

1. Overzicht proces



2. Rookgaszuivering



DEEL 4: BRONNEN

A&S Energie - Overzicht proces, geraadpleegd op 10 april 2017, <http://www.a-s-energie.be/watdoenwe.html>

Climate action - 2050 low-carbon economy, geraadpleegd op 10 april 2017, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

Energie- en milieu-informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest - Actief kool adsorptie, geraadpleegd op 12 april 2017, <https://emis.vito.be/nl/techniekfiche/actief-kool-adsorptie>

Goed gebruik van biomassa, G.C. (Geert) Bergsma B.E. (Bettina) Kampman H.J. (Harry) Croezen, Delft, CE Delft, geraadpleegd op 10 april 2017