

DUURZAAM SYNTHESSEGAS UIT BIOMASSA

**ECN presentaties gehouden op de workshop “Duurzaam Synthesegas”
gehouden op 10 februari 2004 bij Novem**

H.J. Veringa
H. Boerrigter

Revisies		
A		
B		
Opgesteld door: H. Boerrigter	Goedgekeurd/vrijgegeven door: H.J. Veringa	ECN Biomassa
Geverifieerd door: R. van Ree		

Verantwoording

De overheadsheets in dit rapport zijn gepresenteerd tijdens de Workshop “Duurzaam Synthesegas” die op 10 februari 2004 werd georganiseerd bij Novem in het kader van een bijeenkomst van het Transitiepad “Met Energie naar Duurzaam Produceren” (MEK II). Aanwezig waren vertegenwoordigers van Novem, het Ministerie van Economische Zaken, Energiebedrijven en verschillende industrieën.

De presentaties zijn inhoudelijk gebaseerd op het rapport: Uil, H. den; Ree, R. van; Drift, A. van der; Boerrigter, H.: *Duurzaam synthesegas: een brug naar een duurzame energie- en grondstoffen voorziening*, februari 2004, rapport ECN-C-04-013.

Trefwoorden

Synthesegas, Biomassa, Vergassing, Gasreiniging, Productgas, Biomassa-import, Transportbrandstoffen, Fischer-Tropsch synthese, Circulerend wervelbed (CFB) vergassing, Entrained-flow vergassing, SNG, Transitie.

INHOUD

1. DE SYNGAS-ROUTE ... VAN DUURZAME PRODUCTIE TOT TOEPASSINGEN (door Prof.dr.ir. H.J. Veringa) 5
2. BIOMASSAVERGASSING & GASREINIGING (door Dr.ir. Harold Boerrigter) 19

1. DE SYNGAS-ROUTE ... VAN DUURZAME PRODUCTIE TOT TOEPASSINGEN (door Prof.dr.ir. H.J. Veringa)

De syngas-route...

... van duurzame productie
tot toepassingen

Workshop Duurzaam Synthesegas in de Energietransitie,
Utrecht, 10 februari 2004

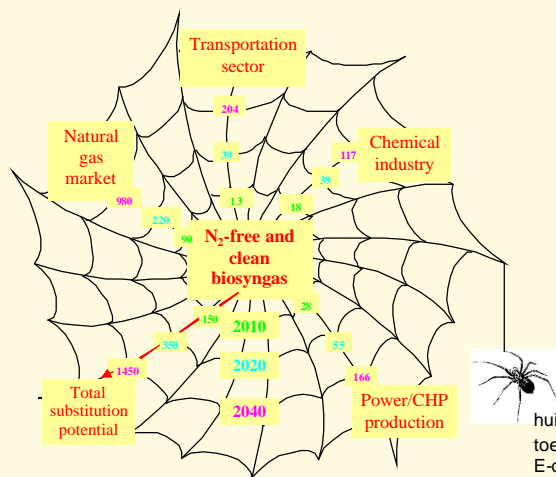
Prof. Dr. Hubert J. Veringa
Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Unit ECN Biomass



(1) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 februari 2004

Duurzaam syngas

Rol in de Energietransitie



BIOSYNGAS
Key intermediate for
large-scale
implementation of
biomass in the Dutch
economy

Policy driven 2010, 2020 and
2040 market potentials [PJ_{th}]

Assumptions:
2% increase in fossil fuel and raw material use
per year
5%, 10% and 30% fossil fuel substitution by
biosyngas in 2010, 2020 and 2040

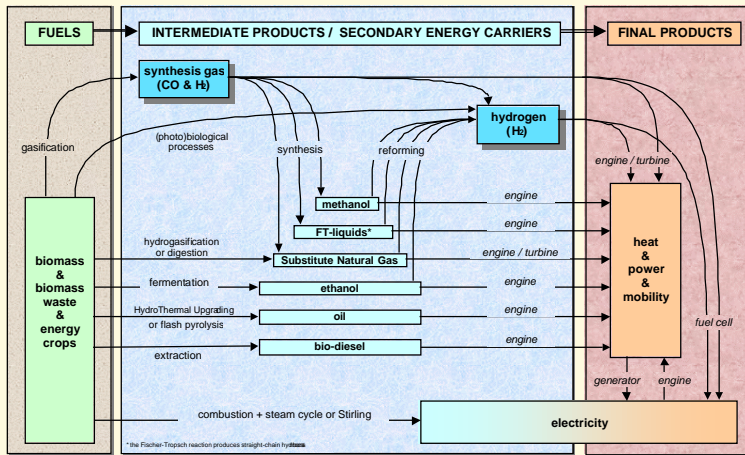
huidig gebruik
toekomstig belang
E-opwekking
Transport brandstoffen
SNG



(2) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 februari 2004

Energie uit biomassa en afval

Routes en opties

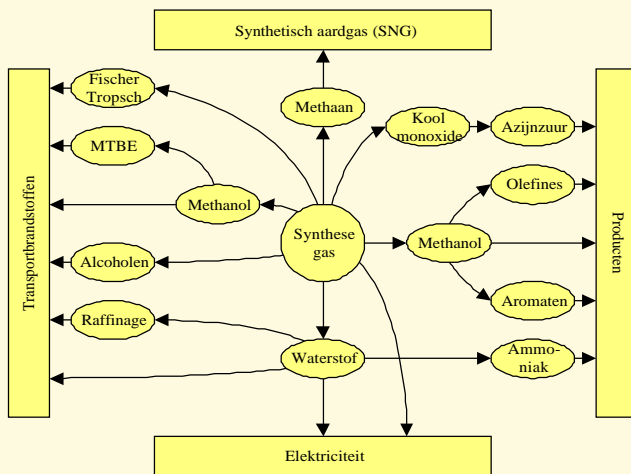


(3) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Toepassingen synthesegas

Intermediair product



(4) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Gebruik synthesesegas

Current world-wide use fossil fuel derived syngas (mainly CO and H ₂) [PJ _n /year] Syngas → limited amount of main products → variety of secondary products (methanol, acetic acid → synthetic materials; ammonia → artificial fertiliser; ...)					
Carbon monoxide (CO)		Syngas		Hydrogen (H ₂)	
• Acetic acid		• Methanol	684	• Ammonia	3250
• Phosgene		• FT-synth.	484	• Oil refining	1400
• Others		• Hydro-form		• Hydrogenation	
		• Others	50	• Others	
	12		1218		4650
Total use fossil derived syngas: appr. 5880 PJ _n /year (2% total primary energy consumption) About 16% (950 PJ _n) by coal/oil gasification, 84% from natural gas					

Huidig

Future potential alternative syngas applications Syngas → (intermediates →) base chemicals, transportation fuels, SNG, power production	
Base chemicals	Transportation fuels
• Aromatics (benzene, toluene, xylene)	• Methanol
• Olefins (ethylene, propylene, butadiene)	• Gasoline (MTG process)
	• Dimethylether (DME)
	• Fischer-Tropsch (FT) diesel
	• Mixture of alcohols
	• H ₂ → fuel cells
Substitute Natural Gas (SNG) production	Advanced power production (BIG/CCs)

Toekomstig



(5) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Potentieel

Vraag biosyngas & Beschikbaarheid biomassa

Sector	2010	2020	2040
Gassector	90	220	980
Transportsector	13(*2)	39(*2)	204(*2)
Chemische sector	18	39	117
E-sector	28	55	166
Totaal	150-160	350-400	1450-1650

Biosyngas potentieel (op grond van (DE)-doelstellingen) [PJ_n vermeden primaire energie]

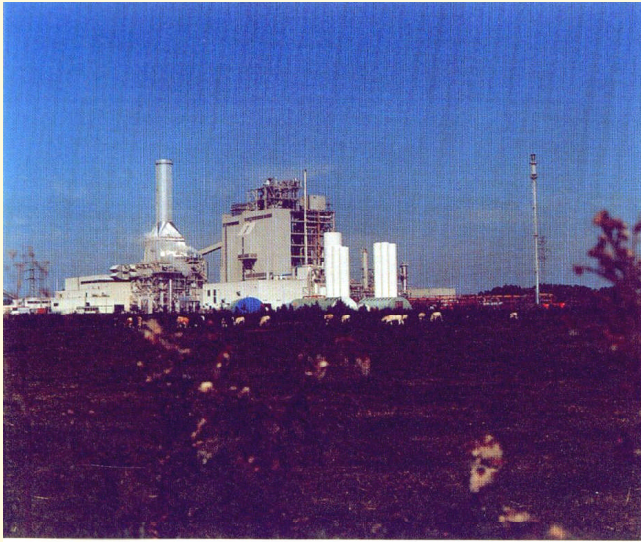
Biomassa-stroom	Beschikbaarheid voor energiedoelinden in 1999		Beschikbaarheid voor energiedoelinden in 2020
	kt n.b.	PJ _n	PJ _n
Teelt	3	0	6 (in Ned.)
Biomassa bijproducten	2025	18,4	43
Biomassa afvalstromen	8282	57,6	72
Import uit EU	1918	28,8	incl.
Import uit rest van de wereld	-	-	-

Beschikbaarheid van biomassa voor Nederlandse energievoorziening vergeleken met voorspelde potentiële beschikbaarheid voor 2020 (scenario-studie)



(6) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Buggenum / Demkolec

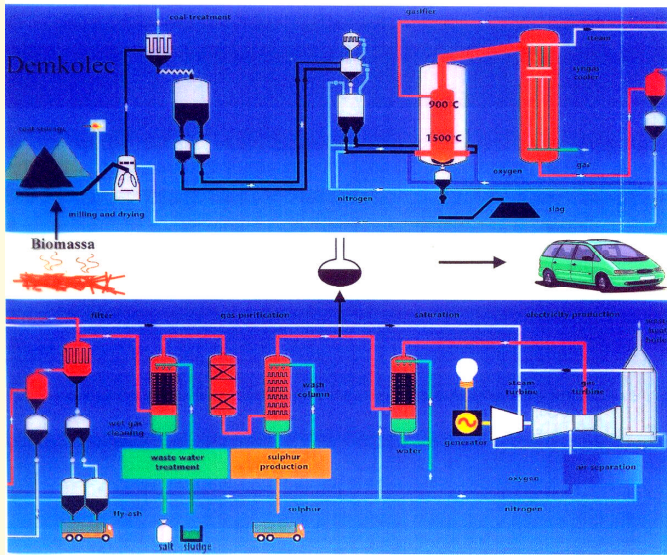


Entrained flow
vergasser in
Nederland

(7) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Buggenum / Demkolec

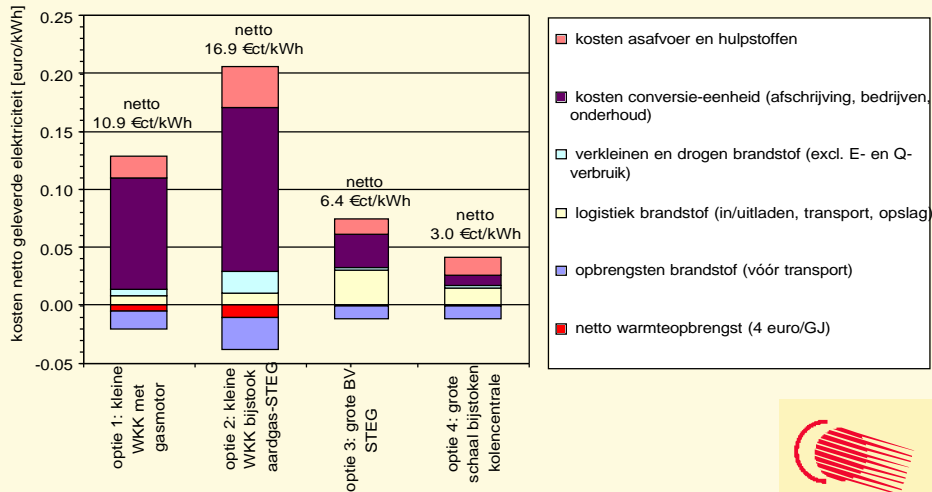


(8) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Kosten elektriciteitsopwekking

Verschillende opties & schaalgrootte

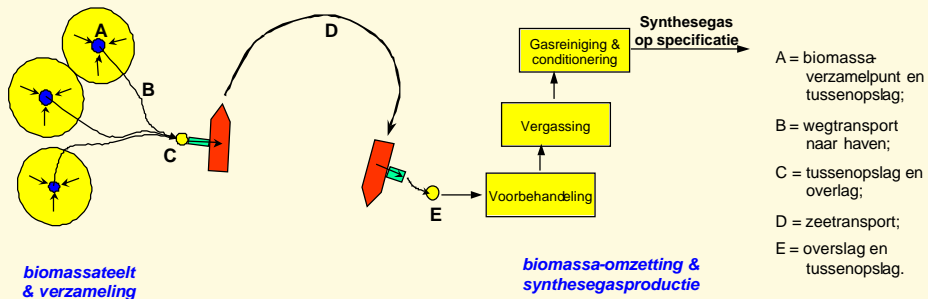


(9) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



System syngasproductie

Grootschalig uit geïmporteerde biomassa



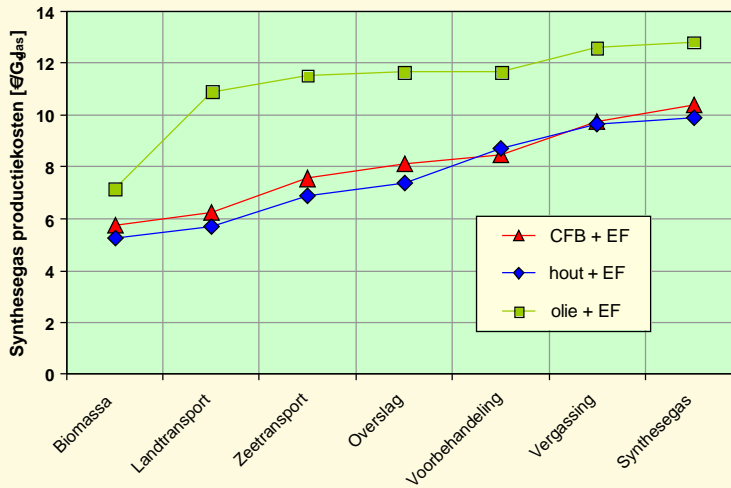
Biomassa-import uit de Baltische landen;
 Productschaal: 8.000 MW_{gas} in Rotterdam

(10) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Routes syngasproductie

Drie verschillende productie-opties



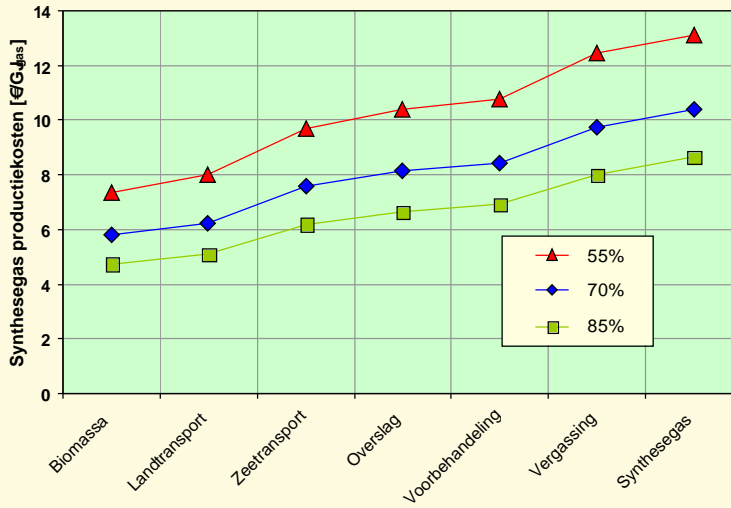
Biomassaprijs:
4 €/GJ



(11) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Kosten syngasproductie

Effect van overall systeemrendement gassen



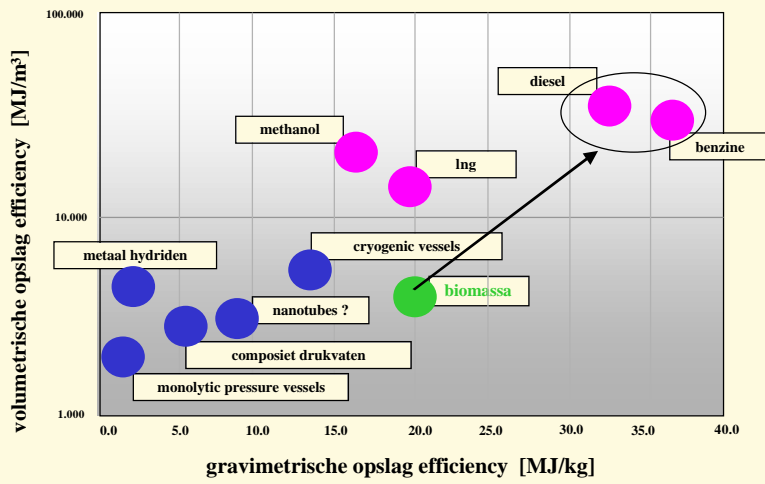
Biomassaprijs:
4 €/GJ



(12) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Opslag van brandstoffen

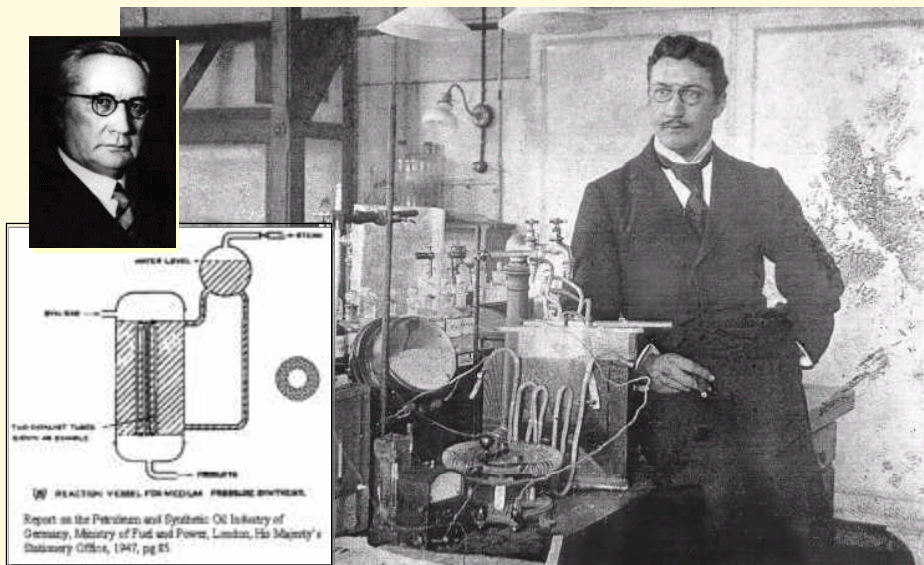
Energiedichtheid



(13) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004



Fischer-Tropsch



(14) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004

Fischer-Tropsch

Shell plant in Bintulu (Maleisië)

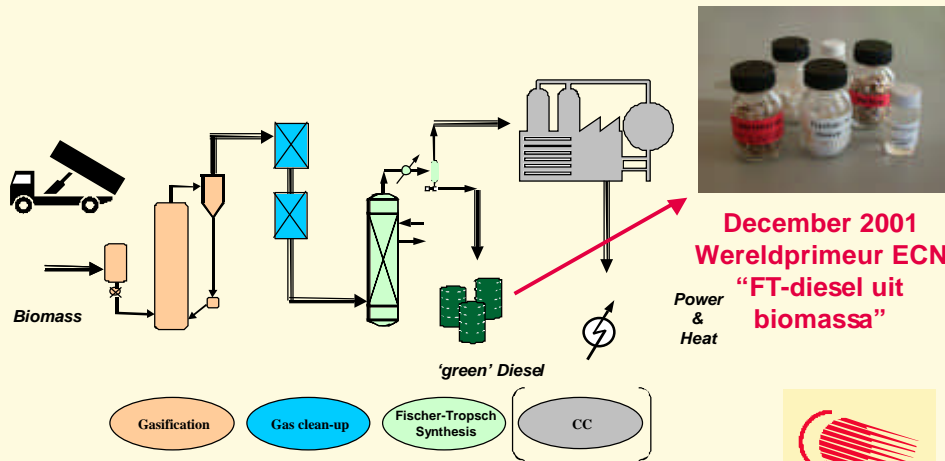


(15) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Fischer-Tropsch

Gecombineerde FT productie & WKK



(16) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Fischer-Tropsch synthese

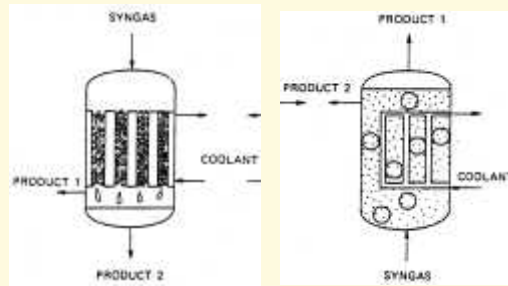
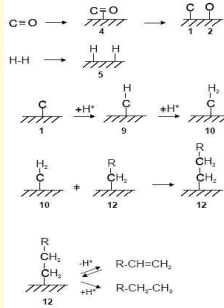
Chemie & reactoren

Reactie : $2 \text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow (-\text{CH}_2-) + \text{H}_2\text{O}$

Procescondities: 5-40 bar, 225-365°C

Katalysatoren : ijzer en kobalt

Reactoren : vast-bed en slurrie

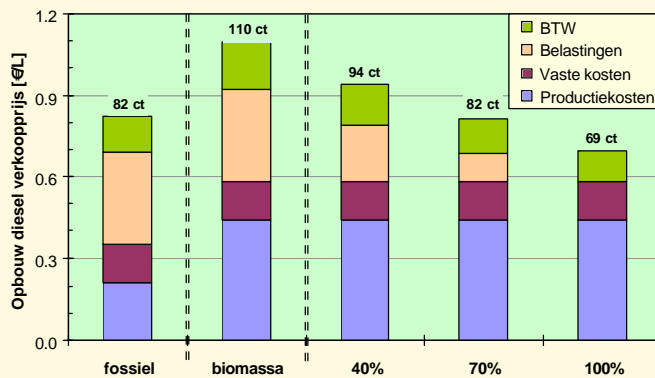


(17) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004



Perspectieven Groene Diesel

Kostenopbouw van de prijs-aan-de-pomp



Verwachte productiekosten groene (FT) diesel: 12 €/GJ

Percentage accijnsvrijstelling

Prijs ruwe olie: ~25 \$/bbl



(18) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004

Perspectieven Groene Diesel

Slecht en Goed vooruitzichten

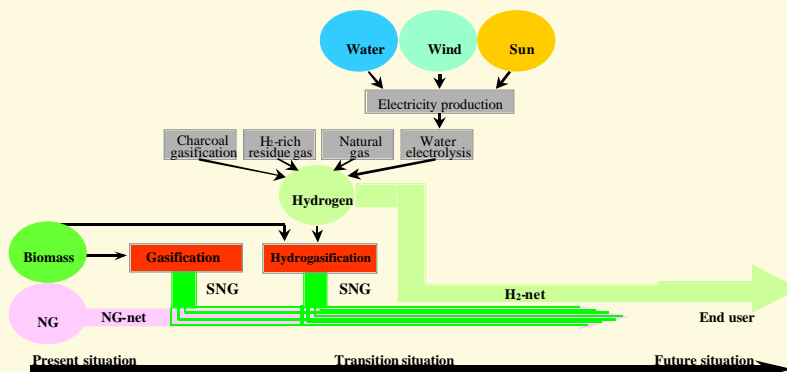
- Productiekosten van duurzame brandstoffen zijn hoger dan voor vergelijkbare fossiele brandstoffen:
 - *vanwege hoge biomasprijzen*
- Deze situatie kan veranderen door:
 - *accijnsvrijstelling voor duurzame brandstoffen*
 - *stimulerende maatregelen (vgl. groene elektriciteit)*
 - *CO₂ heffingen voor fossiele brandstoffen*



(19) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

SNG productie

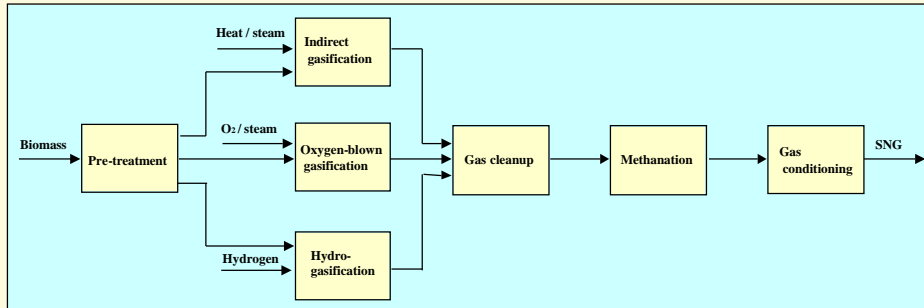
Biomassavergassing & hydrovergassing



(20) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

SNG productie

Biomassavergassing & hydrovergassing



(21) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



SNG productie opties

Productiekosten

	gasification/methanation		hydrogasification
	oxygen-blown	indirect	
Assumed thermal input [MW]			
biomass	100	100	50
hydrogen			47
Production cost [€/GJ]	8.5	7.8	5.6
Market price [€/GJ]	8.5 – 8.9	8.5 – 8.9	4.9 – 5.4

(22) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



SNG kwaliteit

Versus Nederlands Slochteren gas

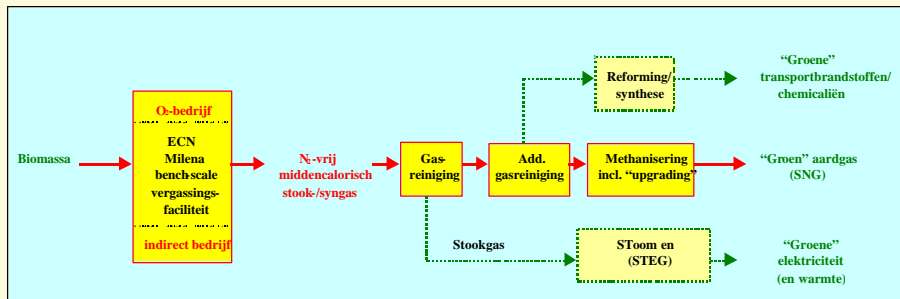
Property	Unit	SNG	NG
Composition			
CH ₄ (incl. C ₂₊)	vol.%	83.0 - 87.7	84.8
H ₂	vol.%	1.8 - 8.2	0.0
CO ₂	vol.%	8.4 - 8.9	0.9
N ₂	vol.%	0.5 - 1.8	14.3
Calorific value (LHV)			
	MJ/kg	38.4 - 39.6	38.0
	MJ/Nm ³	30.7 - 31.3	31.7
Wobbe-index	MJ/Nm ³	43.7 - 44.0	43.5 - 44.4



(23) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Productie SNG uit biomassa

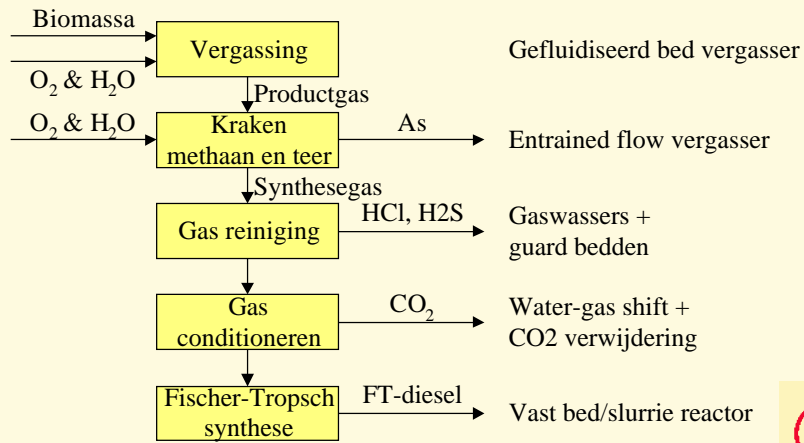
Integraal systeem



(24) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

FT diesel uit biomassa

Integraal systeem



(25) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 11 February 2004



2. BIOMASSAVERGASSING & GASREINIGING (door Dr.ir. Harold Boerrigter)

Biomassavergassing & Gasreiniging

Workshop Duurzaam Synthesegas in de Energietransitie, Utrecht, 10 februari 2004

Dr. Ir. Harold Boerrigter
Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN)
Unit ECN Biomassa



(29) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Inhoud

- Definities & Specificaties
- Vergassing
 - *Technologieën*
 - *Conditie (druk en lucht/zuurstof)*
 - *Syngas productie-opties*
- Gasreiniging
 - *Natte gasreiniging*
 - *Verwijdering organische componenten*
- Samenvattend



(30) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Definities

Verschillende gassen

Syngas - synthese gas, hoofdzakelijk H_2 en CO (en CO_2 , H_2O)
- van fossiele oorsprong (kolen, aardgas)

Biosyngas - chemisch gelijk aan syngas
- van biomassa oorsprong = "Duurzaam synthese gas"
- uit hoge temperatuur vergassing

Productgas - gas geproduceerd door vergassing van biomassa
- uit lage temperatuur vergassing
- bevat H_2 , CO , (CO_2), + CH_4 , teren, C_xH_y

Biogas - van vergisting van organisch materiaal
- bestaat voornamelijk uit CH_4 en CO_2

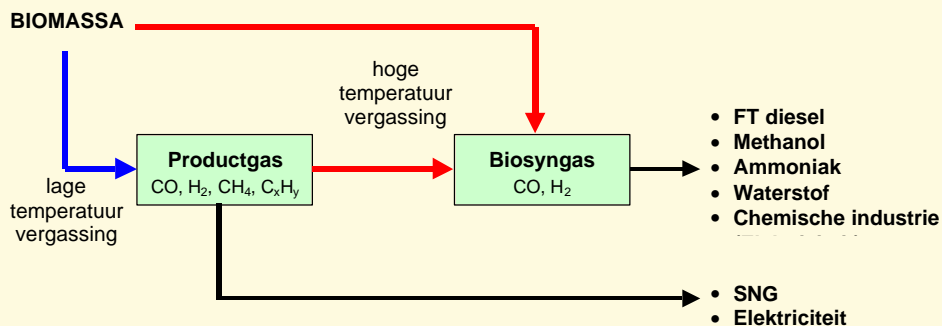
SNG - synthetisch "groen" aardgas (vnl. CH_4)



(31) ECN Biomass – Transitie Workshop "Duurzaam Synthesegas", Utrecht, 10 February 2004

Productgas vs. Biosyngas

Toepassingen en Relaties



(32) ECN Biomass – Transitie Workshop "Duurzaam Synthesegas", Utrecht, 10 February 2004

Specificaties synthesegas

Hoofdcomponenten

	H ₂ voor raffinaderijen	Ammoniak synthese	Methanol synthese	FT synthese
H ₂	>98%	75%	71	60
CO	<10-50 ppmv	CO+CO ₂	19	30
CO ₂	<10-50 ppmv	<20 ppmv	4-8%	
N ₂		25%		
CH ₄				
Inert	N ₂ , Ar, CH ₄ Balans	Ar, CH ₄ Zo laag mogelijk	N ₂ , Ar, CH ₄ Zo laag mogelijk	CO ₂ , N ₂ , Ar, CH ₄ Zo laag mogelijk
H ₂ /N ₂		~3		
H ₂ /CO				0,6-2
H ₂ /(2*CO+3*CO ₂)			1,3-1,4	
Procesdruk (bar)	>50	100-250	50-100	5-40

(33) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004



Specificaties synthesegas

Verontreinigingen

Verontreiniging	Verwijderingsniveau
H ₂ S + COS + CS ₂	< 1 ppmV
NH ₃ + HCN	< 1 ppmV
HCl + HBr + HF (halogeniden)	< 10 ppbV
alkali metalen (natrium en kalium)	< 10 ppbV
deeltjes (stof, roet, as)	nagenoeg compleet
organische componenten (m.n. teren)	beneden het dauwpunt
- met hetero atomen (klasse2 teren)	< 1 ppmV

- organische componenten, inclusief BTX
- klasse 2 teren: fenol, pyridine, thiofeen

Verwijderingsniveau = economische keuze

(34) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004



Vergassingstechnologieën

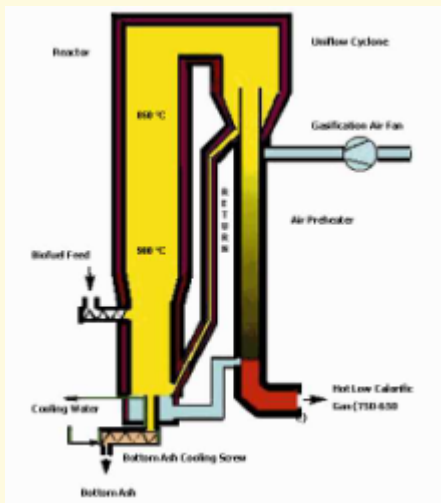
- Wervelbed vergassing
 - circulerend fluïde bed (CFB)
 - bubbelend fluïde bed (BFB)
 - indirect of gekoppelde bedden (Güssing, Battelle)
- Entrained flow vergassing (stofwolkvergassing)
- OMEGA proces
- Carbo-V proces



(35) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Wervelbed vergasser

AMER, Värnamo (FWE), Güssing



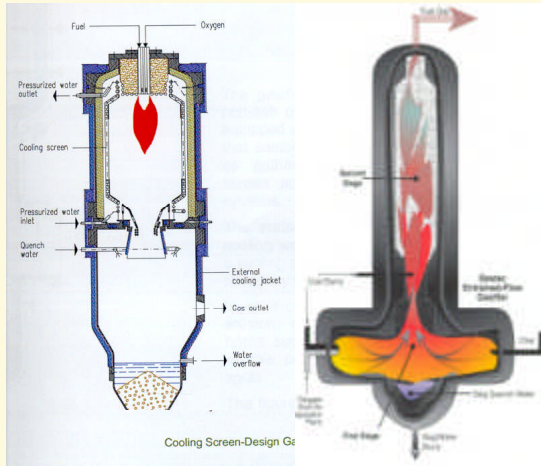
- CFB, BFB, Indirecte
- Temperatuur: 800-900°C
- Productgas
- Conversie: 92-95% (100%)
- Druk: 1-20 bar
- Lucht / zuurstof



(36) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Entrained flow vergasser

Prenflow, Future Energy (Noell), Shell



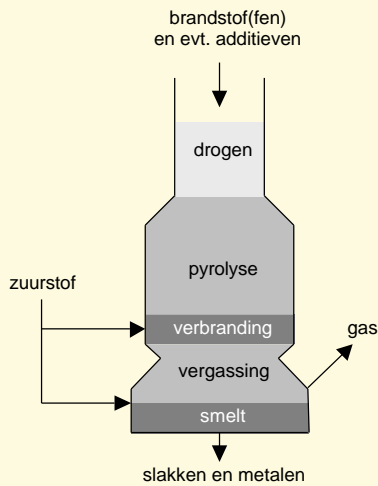
- Fijne deeltjes
- Verslakkend
- Temperatuur: 1200-1500°C
- **Synthesegas**
- Conversie: >99%
- Druk: 20-40 bar
- Zuurstof



(37) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004

OMEGA proces

Oxytec (voorheen 2SV, KSK)



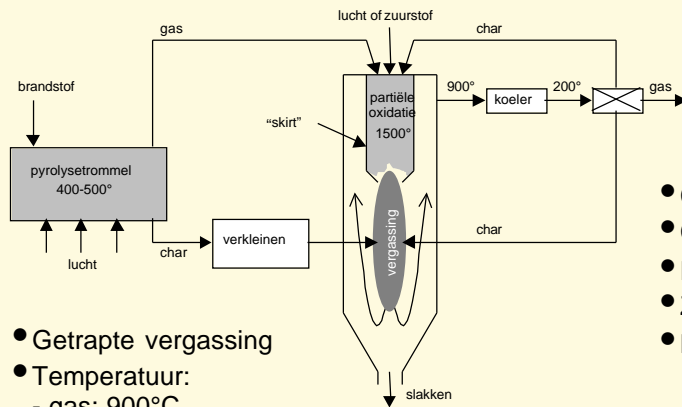
- Getrapte vergassing
- Temperatuur:
 - gas: 800-1000°C
 - zone: 1500°C
- **(bijna) Synthesegas**
- Verslakkend
- Conversie: >99%
- Chemische quench
- Druk: 1bar
- Zuurstof
- Additieven noodzakelijk (cokes)
- Beperkt opschaalbaar



(38) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004

Carbo-V Process

CHOREN



- Getrapte vergassing
- Temperatuur:
 - gas: 900°C
 - zone: 1500°C
- (bijna) Synthesegas

- Conversie: >99%
- Chemische quench
- Druk: 1-5 bar
- Zuurstof
- Beperkt opschaalbaar

(39) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Vergassingscondities

- Vergassingsdruk
 - atmosferisch
 - druk 5-40 bar (20 bar)
 - biomassa voeding inertiseren met CO₂ bij drukvergasing
- Vergassingsmedium
 - lucht
 - zuurstof + stoom (noodzakelijk)
 - veel stoom voor temperatuurbeheersing (CFB)
 - weinig stoom voor onderdrukken roetvorming (EF)

(40) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Vergassingscondities

Massabalansen

reactortype druk oxidatiemiddel	CFB 1 bar lucht	CFB 1 bar zuurstof/ stoom	CFB 20 bar zuurstof/ stoom	EF 1 bar zuurstof	EF 20 bar zuurstof
IN					
brandstof (aanname: 100%)	100	100	100	100	100
lucht	120				
zuurstof		26	20	46	49
stoom		26	20	5	5
CO ₂ ^(a)			8		24
UIT					
gas	214	146	141	148	175
vaste rest	6	6	7	3	3

- EF: hogere temperatuur => meer zuurstof
- EF: kleinere deeltjes, pneumatisch voeden => meer CO₂

(41) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Vergassingscondities

Energiebalansen

reactortype druk oxidatiemiddel	CFB 1 bar lucht	CFB 1 bar zuurstof/ stoom	CFB 20 bar zuurstof/ stoom	EF 1 bar zuurstof	EF 20 bar zuurstof
IN					
brandstof (= 100%)	100	100	100	100	100
lucht (400°C)	3	-	-	-	-
stoom (400°C)	-	2	1	0.3	0.3
UIT					
gas (verbrandingsenergie)	77	76	76	77	75
warmte (heet gas)	16	14	13	20	22
energieverlies	2	2	2	2	2
vaste rest (onvol. conversie)	8	8	10	1	1

**Rendement
(chemisch)
~76%**

- EF: hogere temperatuur => meer warmteverlies
- CFB: lagere temperatuur => onvolledige conversie

(42) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Vergassingscondities

Gassamenstellingen

reactortype	CFB	CFB	CFB	EF	EF
druk	1 bar	1 bar	20 bar	1 bar	20 bar
oxidatiemiddel	lucht	zuurstof/ stoom	zuurstof/ stoom	zuurstof	zuurstof
CO	21	27	20	53	53
H ₂	14	32	19	33	27
CO ₂	14	29	40	13	19
CH ₄	5	8	15	0	0
N ₂ + Ar	44	0	0	0	0
C ₂ H _x	2	3	5	0	0
C ₆ H _x	0.4	1	1	0	0
teer [g/m ³ nat gas]	8	8	11	0	0
H ₂ O [vol% nat gas]	11	28	30	19	22
LHV	7.7	12.4	14.9	10.3	9.6

- EF: hoge concentraties H₂ + CO
- CFB: hoge concentratie CH₄ + C_xH_y + teer

(43) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Vergassingscondities

Energie in biosyngas

reactortype	CFB	CFB	CFB	EF	EF
druk	1 bar	1 bar	20 bar	1 bar	20 bar
oxidatiemiddel	lucht	zuurstof/ stoom	zuurstof/ stoom	zuurstof	zuurstof
CO	35	27	16	65	70
H ₂	20	28	14	35	30
CH ₄	22	22	35	0	0
C ₂ H _x	12	12	19	0	0
C ₆ H _x	7	7	12	0	0
teer	4	3	4	0	0

% in H₂+CO **55** **55** **30** **100** **100**

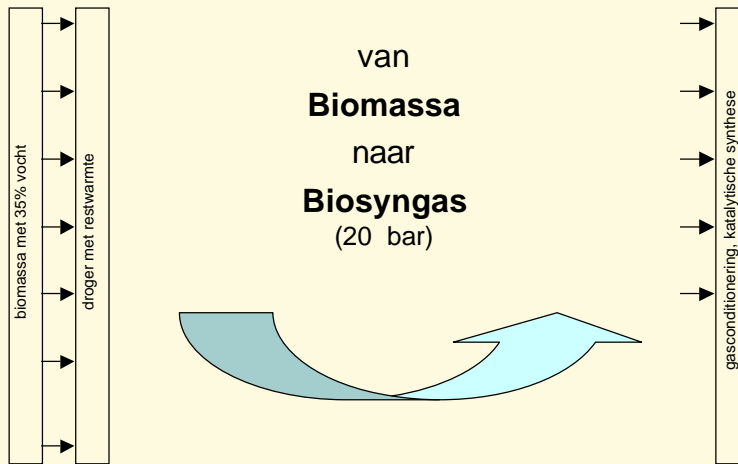
% in CH₄+C₂H_y **32** **34** **54** ~ ~
(geschikt voor SNG)

(44) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Biosyngas productie-opties

Vergassingstechnologieën

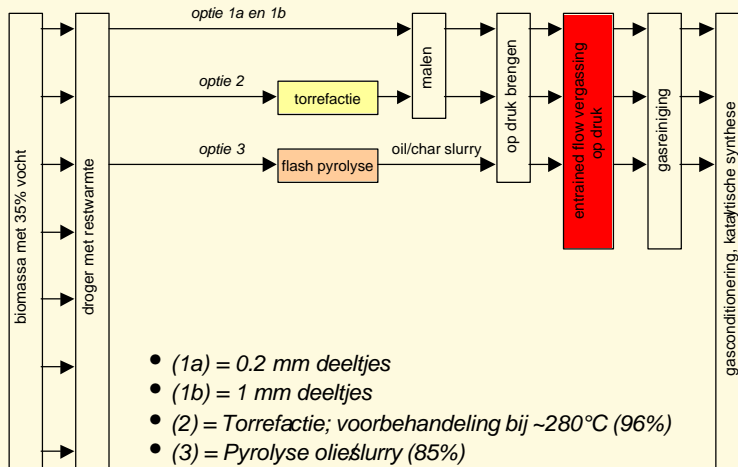


(45) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004



Biosyngas productie-opties

EF vergassing + voorbehandeling



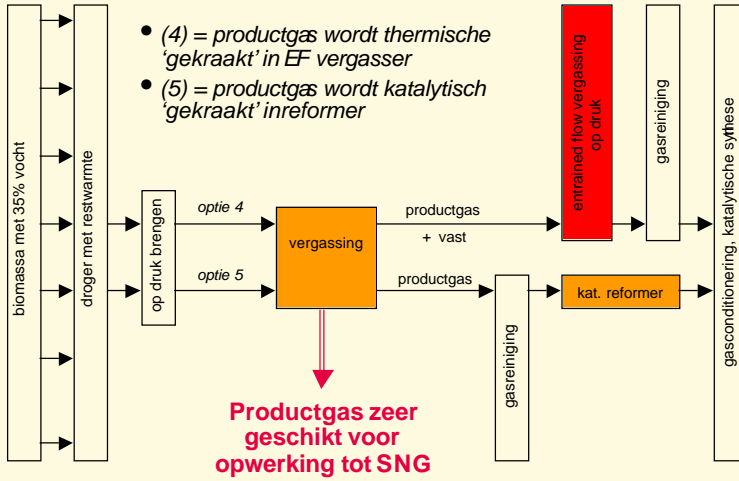
- (1a) = 0.2 mm deeltjes
- (1b) = 1 mm deeltjes
- (2) = Torrefactie; voorbehandeling bij ~280°C (96%)
- (3) = Pyrolyse olie&slurry (85%)

(46) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10Februari 2004



Biosyngas productie-opties

Lage temperatuur fluïde-bed vergassing

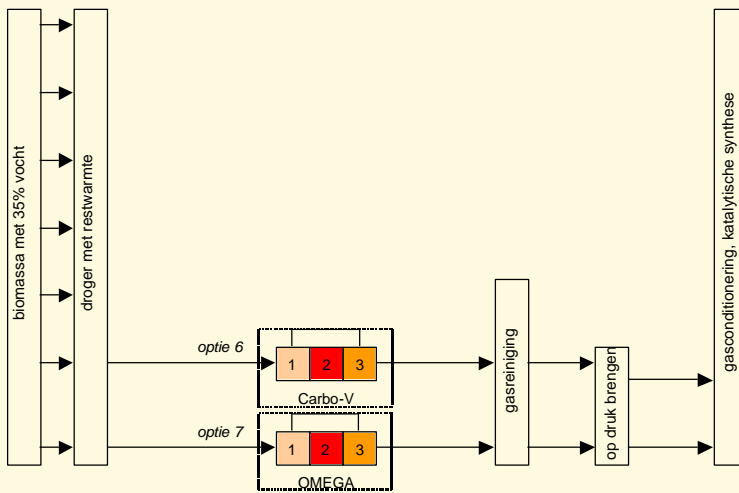


(47) ECN Biomass – Transitie Workshop "Duurzaam Synthesegas", Utrecht, 10 February 2004



Biosyngas productie-opties

Getrapte vergassers (kleinschalig)

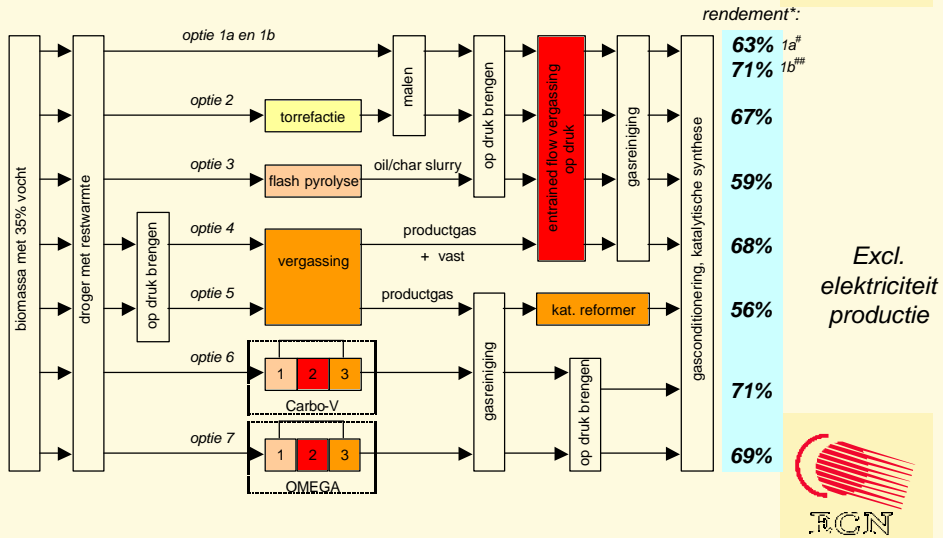


(48) ECN Biomass – Transitie Workshop "Duurzaam Synthesegas", Utrecht, 10 February 2004



Biosyngas productie-opties

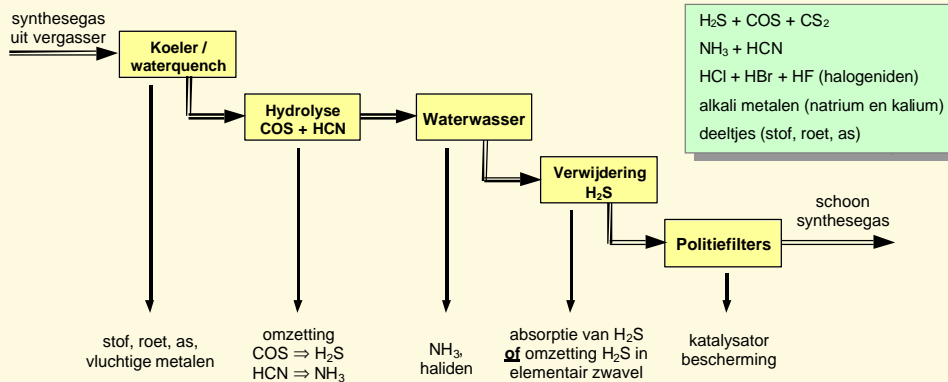
Rendementen (netto)



(49) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

Natte gasreiniging

Anorganische verontreinigingen

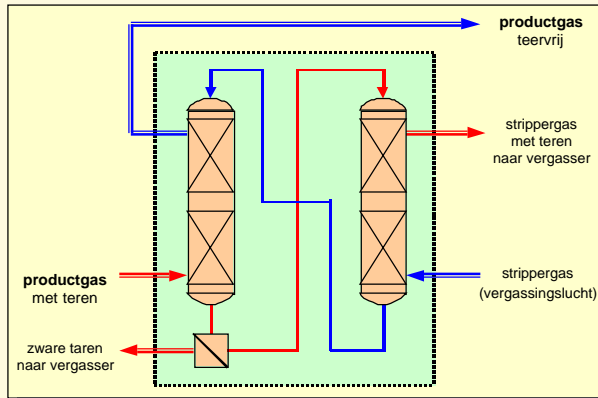


Commercieel bewezen en beschikbare technologieën

(50) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004

OLGA proces

Verwijdering organische componenten



Alleen relevant voor Productgas!

- Toepassing van een organische was-olie
- Teren gerecycled naar de vergasser en afgebroken
- Technologie nog in ontwikkeling

- Specificaties voor FT en SNG synthese worden gehaald
- Aangevoerd in testen bij ECN

(51) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



Samenvattend

Duurzaam synthesegas (= biosyngas)

- Hoge vergassingstemperatuur noodzakelijk voor syngasproductie
- Meerdere opties voor productie biosyngas
- Entrained flow vergassing is sleuteltechnologie
- Verschillende opties voor “voorbehandeling”
- SNG via zuurstofgeblazen wervelbedvergasning
- Gasreiniging (anorganische verontreinigingen) via commerciële technologieën

(52) ECN Biomass – Transitie Workshop “Duurzaam Synthesegas”, Utrecht, 10 February 2004



More information

Please contact:

Dr. ir. Harold Boerrigter
phone +31 224 56 4591
fax +31 224 56 8487
email boerrigter@ecn.nl

Publications can be found on:
www.ecn.nl/biomass

Visit also: "Phyllis" - internet database for biomass, coal, and residues: www.phyllis.nl

"Thersites" – internet database for tar dewpoint calculations: www.thersites.nl

(53) ECN Biomass



ECN Biomass

Mission

Contributing to the implementation of biomass (and waste) in the Dutch and global (energy) infrastructure by means of short-term, mid-term, and long-term research, technology development, and knowledge dissemination.

ECN Biomass is a business unit of the Energy research Centre of the Netherlands (ECN)

(54) ECN Biomass



ECN Biomass

Research Clusters

Power Generation

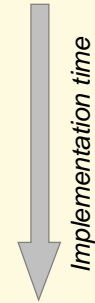
è Slagging, fouling, co-combustion, co-firing, ash-quality

Combined Heat and Power

è gasification, combustion, gas clean-up, prime-movers

Fuels and Products

è liquid fuels, gaseous energy carriers, syngas, biorefinery, co-generation



(55) ECN Biomass