

Ref.nr.	: 87-215	Titel
Dossiernr.	: 8726-16386	MOGELIJKHEDEN EN BEPERKINGEN BIJ
Datum	: december 1987	DE TOEPASSING VAN VERGASSING VAN
NP		BEDRIJFSAFVALSTOFFEN

Bureaustudie

Auteur(s):
Ir. A. Verbeek
Ir. J.A. de Jong

Trefwoord(en):
- afvalstoffen
- vergassing
- tweetrapsverbranding

Bestemd voor:
Stichting Projectbeheerbureau Energie-
Onderzoek (PEO)
t.a.v. ir. H.J.M. Kruijdenberg
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Betreft PEO-contract 24.43-070.10

	Pagina
87-215/R.26/JCA	2
INHOUDSOPGAVE	
ABSTRACT	4
SAMENVATTING	6
1. INLEIDING	10
2. VERGASSING	11
2.1 Vergassing en pyrolyse	11
2.2 Vergassingssystemen	12
2.2.1 De wervelbedvergasser	13
2.2.2 De tegenstroomvergasser	14
2.2.3 De meestroomvergasser	15
2.2.4 De dwarsstroomvergasser	16
2.3 Vaste stoftransport in de vergassingsreactor	17
2.4 Teervorming in reactor	18
2.5 Mogelijkheden tot schaalvergroting	19
3. BESTEMMINGSMOGELIJKHEDEN VOOR HET GEPRODUCEERDE GAS	20
3.1 Gasbehandeling bij krachtopwekking	20
3.2 Gasbehandeling bij opwekking van warmte	21
4. ONTWIKKELING EN DEMONSTRATIE; STAND DER TECHNIEK	22
4.1 Vroegere demonstraties in Nederland	22
4.2 Huidige realisaties in Nederland	24
4.3 Ontwikkelingen en demonstraties in West-Duitsland	26
4.4 Finland	29
4.5 Zweden	30
4.6 Verenigde Staten	31
5. TOEPASSING	33
5.1 Toepassingsgebied	33
5.2 Kosten	36
5.3 Milieu-effecten	38

	Pagina
87-215/R.26/JCA	3
6. ENERGIEBESPARINGSPOTENTIEEL; MOGELIJKE MARKT	40
7. GEWENSTE APPARAATONTWIKKELING	43
7.1 Motivering	43
7.2 Programma	43
8. GROOTSCHALIGE VERGASSING	45
9. CONCLUSIES	46
10. LITERATUUR	49

Figuren 1-7

ABSTRACT

Dit rapport beschrijft de vergassing van afvalstoffen bedoeld voor de kleinschalige toepassing in Nederland.

De diverse type vergassers met hun kenmerken worden besproken. Deze vergassers stellen ieder hun specifieke eisen aan de te vergassen afvalstof. Het gegenereerde gas kan worden toegepast voor directe krachtopwekking in een verbrandingsmotor of als ondervuring.

De meestroom- en wervelbedvergasser leveren een relatief schoon gas geschikt voor directe krachtopwekking. De meestroomvergasser vraagt een "stukkige" brandstof, terwijl de wervelbedvergasser ook fijne afvalstoffen als zaagsel kan verwerken. De dwarsstroomvergasser met daaraan gekoppelde brander (tweetrapsverbranding) kan ook kunststoffen verwerken. De ontwikkeling en demonstratie van de vergassingstechniek in Nederland en een aantal daarmee vergelijkbare landen wordt besproken. In Nederland is de ontwikkeling gericht geweest op de meestroom- en wervelbedvergasser. Tevens zijn er twee demonstratieprojecten van tweetrapsverbranding. De produktiekosten van elektriciteit opgewekt door een vergasser zijn hoger dan de huidige elektriciteitsprijzen. Vergassing geeft geen significante milieuvoordelen boven andere technieken, noch geeft toepassing aanleiding tot belemmerende milieu-effecten.

De technisch potentiële gasproduktie voor krachtopwekking uit afvalstoffen door middel van vergassing bedraagt voor Nederland ca. 22 PJ per jaar (voornamelijk uit afvalhout en RDF). Daarnaast is voor ondervuring via de tweetrapsverbrandingsroute ca. 21 PJ beschikbaar (voornamelijk uit overig organisch stedelijk afval en kunststoffen).

In het rapport wordt aangegeven welk onderzoek- en ontwikkelingsprogramma voor kleinschalige vergassingstechnieken in Nederland is gewenst.

Trefwoorden

meestroomvergassing	afvalhout
tegenstroomvergassing	RDF
wervelbedvergassing	krachtopwekking
tweetrapsverbranding	ondervuring
biomassa	energiebesparing

ABSTRACT

This report describes the gasification of waste materials aimed at the small-scale application in the Netherlands.

The different types of gasifiers with their characteristics are discussed. These gasifiers have their specific requirements with respect to the waste materials to be gasified. The producer gas is applied for direct power generation or heat generation.

The down-draught and fluidised bed gasifier supply a relative clean gas suitable for direct power generation. The fuel of a down-draught gasifier has to be made up of pieces (recommended cuboid shape), while the fluidised bed gasifier may have "fines" like sawdust. The crossflow gasifier with adjacent burner (also called controlled air incineration) will also process plastic materials.

The development and demonstration of gasification in the Netherlands and some comparable countries are discussed. In the Netherlands the development was focussed on the down-draught and fluidised bed gasifier. Also two demonstration projects for crossflow gasification are in operation. The production costs of electricity generated by gasification of biomass are higher than the current price of electricity. Gasification gives no significant environmental advantages above other techniques, nor gives its application rise to inadmissible environmental loads.

The technical potential amount of producer gas is estimated at 22 PJ per year in the Netherlands (mainly from wood waste and RDF). Besides that there is about 21 PJ per year available for heat generation (controlled air incineration).

In this report a research and development program is indicated for small-scale gasification, advisable to carry out in the Netherlands.

Keywords

down-draught gasification	wood waste
up-draught gasification	RDF
fluidised bed gasification	power generation
controlled air incineration	heat generation
biomass	energy conservation

SAMENVATTING

Voor de opwekking van energie door het vergassen van afvalstoffen zijn verschillende vergassingsprincipes ontwikkeld. Dit zijn tegenstroom-, meestroom-, wervelbed- en dwarsstroomvergassing. Deze vergassers stellen ieder hun specifieke eisen aan de te vergassen afvalstof wat betreft morfologie, vochtgehalte en dergelijke.

Bij gebruik van het gegenereerde gas voor ondervuring kan dit direct zonder nabehandeling worden gebruikt. Voor krachtopwekking in een zuigermotor dient het gas te worden gekoeld en te worden gereinigd van stof en teer. Bij deze afkoeling ontstaat een condensaat dat via het riool dient te worden geloosd.

Voor krachtopwekking zijn meestroom- en wervelbedvergassers zeer geschikt. Deze vergassertypen produceren een relatief schoon gas, waardoor lozing van het vrijkomende condensaat geen milieuhygiënische problemen geeft.

De meestroomvergasser is bedoeld voor de lage vermogensrange (50-600 kW_{th}). Het te vergassen materiaal dient in de vorm van blokjes te zijn met weinig fijn materiaal. Geschikte afvalstoffen zijn houtblokjes en waarschijnlijk gepelleteerde RDF.

De wervelbedvergasser vraagt een omvangrijker instrumentarium voor de procesbeheersing. Het toepassingsgebied ligt daarom vooral bij de grotere installaties, te weten van 1 tot 10 MW_{th}. Er worden eisen gesteld aan de maximale afmeting van de afvalstof (< 2 cm). Deze mag dus fijn zijn en ook een samenkokende neiging hebben. Vergassing van houtmot en RDF-fluff is dan ook mogelijk.

De tegenstroomvergasser levert een sterk verontreinigd gas. Daarom zal dit gas bijna uitsluitend worden toegepast voor ondervuring. Aan de te vergassen afvalstof worden minder stringente eisen gesteld dan bij de meestroomvergasser.

De dwarsstroomvergasser maakt in tegenstelling tot vorige vergassers gebruik van een actief stoftransport door middel van bewegende roosters door de vergassingsreactor. Het geproduceerde gas is vanwege de kwaliteit alleen geschikt voor verbranding in een nageschakelde brander. Een dergelijke combinatie van vergasser en brander wordt ook met de term

"tweetrapsverbranding" aangeduid. Aan de brandstof worden geen stringente eisen gesteld (mits niet te fijn). Naast houtafvallen en RDF kunnen ook kunststoffen en rubbers worden verwerkt. Door het ruimtelijk gescheiden zijn van de vergassings- en verbrandingsreactie is een goede procesbeheersing, ook bij "moeilijke" brandstoffen, te realiseren.

In Nederland heeft veel ontwikkelingswerk aan de meestroomvergasser plaatsgevonden. Daarnaast is ook gewerkt aan de wervelbedvergasser. Deze activiteiten zijn gestart aan de Universiteit Twente. Meestroomvergassing van glashoudend huisvuil blijkt door sintelvorming in de reactor niet mogelijk te zijn. Stukkige brandstof is goed te vergassen. Ontwikkelingswerk om de meestroomvergasser geschikt te maken voor fijnere brandstof (als houtzaagsel) is afgebroken door het beëindigen van de activiteiten van de firma EEE. Meestroomvergassers van Nederlands fabrikant (BECE) zijn commercieel leverbaar.

Een lange duur testprogramma is nodig om beter de grenzen van de meestroomvergasser voor diverse afvalstoffen vast te stellen. In dit programma dient tevens te worden vastgesteld of de nog niet uitontwikkelde EEE-vergasser in staat moet worden geacht ook fijnere brandstoffen succesvol te vergassen.

Voor de wervelbedvergasser zal lange duur beproeving op grote schaal nodig zijn om de stap tussen de bereikte pilot-scale fase en demonstratiefase mogelijk te maken.

In Nederland lopen thans twee demonstratieprojecten van dwarsstroomvergassers (twee-trapsverbranding).

De stand van zaken in een aantal landen, welke vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie, is nagegaan. In West-Duitsland lopen een beperkt aantal vergassingsprojecten. Dit betreffen vastbedvergassers voor krachtopwekking. De resultaten zijn wisselend. Opvallend is dat recentelijk twee Duitse leveranciers hun vergassingsactiviteiten hebben beëindigd.

In Finland en Zweden begint vergassing van biomassa (hout en turf) voor warmteopwekking (wijkverwarming) ingang te vinden. Dit betreffen tegen-

stroomvergassers (tot ca. 7 MW_{th}) en circulerende wervelbedvergassers (25-35 MW_{th}). Deze vergassers worden voor bestaande oliegestookte ketels geschakeld. Door het hoge teergehalte kan het stookgas niet over grotere afstanden (> 10 m) worden getransporteerd. Onderzoek naar thermisch en katalytisch kraken van dit stookgas tot meestroomkwaliteit is gaande. Kritisch is de hoge vochtigheidsgraad van het bosbouwafval (ca. 50%), welke ligt op de grens van wat de vergasser nog aan kan. Met de huidige brandstofprijzen in Zweden is de vergassingsroute economisch slechts marginaal.

De kosten voor krachtopwekking via de kleinschalige vergassingsroute bedraagt voor de Nederlandse situatie ca. f 0,19 tot f 0,24 per geproduceerde kWh. Deze getallen gelden voor een bedrijfstijd van ca. 4000 uur per jaar, brandstofkosten gesteld op f 0,0/ton en een schaalgrootte van 50-200 kVa. Dit is dus niet concurrerend met de huidige elektriciteitsprijzen. Dit wordt wel het geval bij stijgende energieprijzen of als de afvalstof een negatieve waarde heeft.

De verwervingskosten voor een systeem van dwarsstroomvergasser met nageschakelde brander (tweetrapsverbranding) of voor een conventioneel verbrandingssysteem zijn bij toepassing van verspaand hout globaal gelijk.

Vergassing voor kracht- en warmteopwekking hoeft enerzijds geen belemmerende milieu-effecten met zich mee te brengen. Anderzijds zijn ook geen significante milieuvoordelen boven andere thermische verwerkingstechnieken aanwezig. Wel zullen in het algemeen bij kleine installaties de emissies aan onverbrand (CO, PAK) voor de tweetrapsverbrandingsroute lager zijn dan voor de directe verbrandingsprocessen.

De technisch potentiële gasproductie uit afvalstoffen via de vergassingsroute bedraagt ca. 22 PJ per jaar. Deze gasproductie kan worden benut voor directe krachtopwekking als ook ondervuring. Dit betreft de categorie afvalhout en papier/karton in stedelijk afval. Daarnaast is een potentieel van ca. 21 PJ aanwezig voor ondervuring via de tweetrapsverbrandingsroute; dit is hoofdzakelijk het overig organisch stedelijk afval en kunststoffen.

Om diverse redenen is een zekere door de overheid gesteunde R & D inspanning met betrekking tot de kleinschalige vergassing van afvalstoffen te rechtvaardigen. Dit betreft onder andere het lange termijn perspectief van stijgende energieprijzen en de versterking van de positie van Nederlandse vergasserleveranciers.

De grote lijnen van dit ontwikkelingsprogramma zijn reeds in het voorgaande genoemd. Daarnaast wordt een studie naar de grootschalige vergassing van biomassa aanbevolen.

1. INLEIDING

Vergassing is een mogelijke thermische verwerkingsroute voor afvalstoffen. Deze techniek wordt in Nederland en in landen met een vergelijkbare situatie nauwelijks toegepast. Ook is de R&D-inspanning op dit gebied erg gering. De vraag dient dan ook gesteld te worden of deze techniek inderdaad qua economie, technische toepasbaarheid en milieu-effecten weinig kansrijk is of dat vergassing juist potentieel een belangrijke techniek kan zijn. In dat geval is een gerichte R&D-ontwikkeling nodig om vergassing tot een marktrijpe technologie te maken.

De doelstelling van deze haalbaarheidsstudie is dan ook het vaststellen van de mogelijkheden welke de vergassing van afvalstoffen biedt voor ondervuring en/of krachtopwekking voor de Nederlandse situatie. Hierbij komen onder andere aan de orde een vergelijking met directe verbranding, milieu-effecten, energiebesparingspotentieel, ervaringen en mislukkingen in Nederland en in het buitenland.

In overleg met de opdrachtgever heeft deze studie zich beperkt tot de kleinschalige energie-opwekking, dat wil zeggen tot een thermisch vermogen van circa 5 MW. Dit betekent in concreto vergassing, bedreven bij atmosferische druk met lucht als vergassingsmedium. Vergassing onder druk en zuurstofinjectie (bijvoorbeeld voor synthesegasbereiding) blijven buiten beschouwing.

2. VERGASSING

2.1 Vergassing en pyrolyse

Zowel vergassing als pyrolyse zijn omzettingsprocessen voor vaste stoffen waarbij brandbaar gas ter beschikking komt. De procesuitvoering verschilt echter. Pyrolyse wordt gekenmerkt door thermische ontleding van het materiaal onder uitsluiting van reactieve gassen. Het proces wordt op gang gehouden door een externe warmtetoevoer. De produkten die bij een pyrolyseproces worden gevormd zijn een teer- en oliehoudend gas en een vaste fase bestaande uit as en cokes. Vergassing wordt gekenmerkt door zowel thermische ontleding als chemische ontleding door de toevoeging van een reactief gas. Als reactieve gassen worden in het algemeen waterstof, stoom, zuurstof en lucht beschouwd. Bij kleinschalige toepassingen komt uitsluitend lucht in aanmerking als reactief gas. Het voordeel van lucht is bovendien dat bij de chemische ontleding warmte vrijkomt die benut kan worden voor de thermische ontleding. Een externe warmtetoevoer kan achterwege blijven als voldoende lucht wordt gedoseerd. De bij vergassing gevormde produkten zijn brandbaar gas en as.

Aan de hand van figuur 1, ontleend aan literatuur [2], kan een en ander worden verduidelijkt. Uitgaande van een te vergassen stof, die een bepaalde hoeveelheid koolstof, waterstof en zuurstof bevat, wordt door de toevoeging van waterstof, stoom of zuurstof (lucht wordt hier beschouwd als zuurstof met als nadelig effect een verdunning van het geproduceerde gas met stikstof) de elementair samenstelling verschoven naar het gebied met gasvormige produkten. Dit gebied is in figuur 1 met een grijs tint aangegeven en ligt globaal tussen etheen (C_2H_4), waterstof (H), water (H_2O), kooldioxide (CO_2) en koolmonoxide (CO). Bij een pyrolyseproces wordt alleen warmte toegevoerd. De gemiddelde elementair samenstelling verandert dus niet en de vorming van vluchtige produkten gaat dan per definitie samen met de vorming van teervormige en ingekoolde produkten.

Het resultaat is dat bij een pyrolyseproces behalve gas ook nog een waterige fase en een teervormige fase gevormd wordt. De hoeveelheden kunnen een probleem opleveren bij voorgenomen toepassingen van pyrolyse-

gassen. Bij vergassing is het resultaat veeleer, dat gas wordt gevormd dat verontreinigd is met geringere hoeveelheden waterdamp en teervormige bestanddelen.

In de literatuur wordt het onderscheid tussen vergassing en pyrolyse niet overal even zorgvuldig toegepast, daarom is bij het uitvoeren van de geautomatiseerde literatuurrecherche ook gezocht op het trefwoord "pyrolyse". De verwarring is begrijpelijk omdat bij het vergassingsproces in het algemeen een pyrolysefase wordt onderscheiden naast een droogfase en een verbrandingsfase.

2.2 Vergassingssystemen

Vergassingssystemen worden ten aanzien van de praktische uitvoering op diverse punten onderscheiden. Een eerste onderscheidingskenmerk is de karakterisering van het contact van de vaste brandstof met het vergassende medium. Het hoofdonterscheid is dan een fluïde bedvergasser en een (quasi) vastbedvergasser. Bij de vastbedvergasser kan verder onderscheid worden gemaakt naar de stromingsrichtingen van zowel brandstof als vergassingsmedium. Zo zijn tegenstroomvergassers, meestroomvergassers en ook dwarsstroomvergassers mogelijk. Verder is het mogelijk om onderscheid te maken naar de wijze waarop as wordt afgevoerd en de druk waarbij het vergassingsproces plaatsvindt. Voor deze studie (in casu kleinschalige vergassing) wordt uitgegaan van een type met een afvoer van as in een vaste vorm (er kan wel sintering zijn voorgekomen in de vergasser) en een bij atmosferische druk bedreven vergassingsproces met als vergassingsmedium lucht.

De motivaties om een dergelijk proces uit te voeren bij afvalstoffen kunnen verschillende zijn. Enkele motivaties zijn hieronder opgesomd:

- De wens om direct kracht op te wekken. Dit kan worden uitgevoerd door het geproduceerde gas in een interne verbrandingsmotor te verbranden.
- Economisch aantrekkelijk boven andere systemen (dit kunnen zijn andere verwerkingssystemen maar ook storten).

- Terugwinning van grondstoffen uit de geproduceerde as.

2.2.1 De wervelbedvergasser

De fluïde bedvergasser of wervelbedvergasser is een systeem waarbij het vergassingsproces wordt uitgevoerd in een wervelbedreactor. De bedmassa bestaat bij deze toepassing uit inert materiaal (zand), ingekoolde resten afvalstof of biomassa en een hoeveelheid pas gedoseerde afvalstof of biomassa. Het fluïdiserende medium is naar keuze stoom, lucht of een combinatie hiervan. Door de toepassing van het systeem van de wervelbedreactor is bij dit vergassingsproces een goede temperatuurbelasting mogelijk. Aan de Universiteit Twente is onderzoek verricht om tot een modelbeschrijving voor wervelbedvergassers te komen [lit.4].

Door andere onderzoekers is inmiddels gepubliceerd over de verworven praktijkervaring met wervelbedvergassers [lit.5]. Feustel en Leuchs [lit.6] geven aan dat de gaskwaliteit, beoordeeld naar het gehalte teervormige componenten, vrij goed is, omdat het geproduceerde gas bij een vrij hoge temperatuur vrijkomt. Een opbouw van een dergelijke vergasser is weergegeven in figuur 2 [lit.2].

Nagayoshi [lit.7] maakt melding van een variant hierop: de dubbelbedvergasser. Dit is in feite een pyrolyse-installatie waar teervormige en ingekoolde resten worden benut om energie op te wekken voor het pyrolyseproces. Hierbij is het pyrolysegedeelte gescheiden van de warmtegenerator. Het warmtetransport van de generator naar de vergasser wordt verzorgd door het fluidisatiemateriaal (zand). Bij het terugtransport van fluidisatiemateriaal naar de generator vanuit het pyrolysegedeelte worden tegelijkertijd de teervormige en ingekoolde resten naar de generator getransporteerd. Op deze wijze wordt voorkomen dat het produktgas wordt verdund met rookgas dat afkomstig is van de verbranding van teervormige en ingekoolde resten. Het is twijfelachtig of dit gecompliceerde systeem nog valt onder het begrip kleinschalige vergassing.

Het toepassingsgebied van een wervelbedvergasser ligt vooral bij de iets grotere installaties, te weten van 1 tot 10 MWth. Zoals vermeld bevat het gas dat met een wervelbedvergasser wordt geproduceerd weinig grotere

organische moleculen wegens de hoge uniforme vergassingstemperatuur. Een nadeel is dat het gas relatief meer asdeeltjes bevat dan gas afkomstig van andere vergassertypes. Wervelbedvergassers kleiner dan 1 MWth hebben als nadeel ten opzichte van andere vergassers dat het instrumentarium, benodigd voor de procesbeheersing, omvangrijker is. In het algemeen is een vliegasterugvoersysteem naar de reactor nodig.

Kenmerkend voor wervelbedvergassing is dat erg fijne materialen kunnen worden vergast, terwijl minder stringente eisen worden gesteld aan vocht- en asgehalte.

2.2.2 De tegenstroomvergasser

Qua technische uitvoering is dit het meest eenvoudige type vergasser. In figuur 3, afkomstig uit literatuur [2], is een schema van een dergelijke installatie weergegeven. De energie, benodigd voor de vergassing, wordt opgewekt door ingekoolde afvalstof te verbranden. De hete rookgassen die hierbij worden gevormd gaan verder door de reactor in tegenstroom met de afvalstof. De rookgassen dragen dan de warmte op directe wijze over aan de gedroogde afvalstof en worden er door gereduceerd. De restwarmte van het rookgas wordt gedeeltelijk benut voor het drogen van de afvalstof. Het aan een dergelijk systeem onttrokken gas bevat als verontreiniging veel teervormige bestanddelen en water (condensaat).

In de Engelstalige literatuur wordt dit systeem aangeduid met "counter-current gas generator". Ook wordt wel de minder juiste benaming "updraft gasifier" gebruikt, daarbij vanuit gaande dat de brandstof altijd van boven naar beneden wordt verplaatst in een vergasser onder invloed van de zwaartekracht.

Om te komen tot een betere gassamenstelling is door de Westduitse firma KGN geëxperimenteerd met een variant van dit systeem. Een deel van de gegenereerde gassen wordt afgetapt ter plaatse van de vergassingszone waar een relatief gering aandeel teervormige bestanddelen in het gas aanwezig is. De resterende gassen worden gebruikt om teervormige bestanddelen en water aan de brandstof te onttrekken, waarna dit sterk verontreinigde gas bijgemengd wordt aan de oxidatielucht. Vervolgens

gaan deze gassen nogmaals door de oxidatiezone alwaar de teervormige bestanddelen gekraakt worden. In figuur 4, ontleend aan literatuur [8], is een schematische weergave van de KGN-vergasser opgenomen.

Het toepassingsgebied van een tegenstroomvergasser ligt bij kleine vermogens, te weten 50 tot 1000 kWth. Het grote voordeel van dit systeem is zijn eenvoud. Deze eenvoud maakt het systeem bij uitstek geschikt op plaatsen waar technische kennis ten behoeve van bedrijfsvoering beperkt is. Gasreiniging blijft bij dit type vergasser een teer punt indien de opwekking van kracht gewenst is. Lozing van het condensaat is problematisch. Het sterk verontreinigde gas hoeft geen probleem te zijn als het wordt gebruikt als stookgas in een nageschakelde ketel.

2.2.3 De meestroomvergasser

De meestroomvergasser is iets gecompliceerder van opbouw dan de tegenstroomvergasser. Bij dit type vergasser, schematisch weergegeven in figuur 5 [lit.2], wordt de brandstof op indirecte wijze verwarmd door het geproduceerde gas. In feite doorloopt de brandstof eerst een droogfase en een pyrolysefase, voordat door bijmenging van lucht in de zogenaamde oxidatiezone warmte wordt geproduceerd ten gevolge waarvan teervormige bestanddelen worden afgebroken tot vluchtige gasvormige producten. Van een echte meestroom van lucht is geen sprake omdat de lucht pas ter plaatse van de oxidatiezone wordt gedoseerd. Een voordeel van de meestroomvergasser is dat het geproduceerde gas relatief schoon is. De hoge temperatuur van het gas is weer een nadeel. Aan de Universiteit Twente is vrij veel onderzoek verricht aan dit type vergassingssysteem [lit.9 t/m 11].

In de Engelstalige literatuur wordt dit systeem aangeduid met "co-current gas generator". Ook wordt wel de minder juiste benaming "downdraft gasifier" gebruikt, daarbij vanuit gaande dat de brandstof altijd van boven naar beneden wordt verplaatst in een vergasser onder invloed van zwaartekracht. Er bestaat echter ook een variant waarbij zowel de lucht als het te vergassen materiaal van onder af in de vergasser worden geïntroduceerd [lit.12].

Dit type vergasser heeft in Duitsland tijdens en na de Wereldoorlogen op uitgebreide schaal dienst gedaan. De toepassing is in dat geval voornamelijk gericht geweest op voertuigtechniek. De ontwikkeling van dit type vergasser is daarom vrij intensief gericht geweest op kleinere types. Schaalvergroting op basis van het type dat in gebruik is geweest in de voertuigtechniek blijkt niet eenvoudig. De eisen die worden gesteld aan de morfologie van de brandstof en de vochtigheidsgraad zijn stringenter dan bij andere types vergassers.

Een relatief recente ontwikkeling [1] is de "open core" vergasser, speciaal geschikt voor de vergassing van fijnkorrelig materiaal ($d = 1-3$ mm) met een hoog asgehalte (tot 25%). Als gevolg van het ontbreken van luchtinlaten en keel is het geproduceerde gas niet volledig teervrij.

2.2.4 De dwarsstroomvergasser

De dwars- of kruisstroomvergasser (zie ook figuur 6) is een type vergasser waarbij het te vergassen materiaal in alle stadia van de vergassing in contact kan komen met het vergassingsmedium. Bij de dwarsstroomvergasser bestaat de mogelijkheid om de verdeling van het vergassingsmedium in te stellen per vergassingsstadium. Dit type vergassers maakt over het algemeen gebruik van actief vaste stoftransport in de reactor zelf. Het vaste stoftransport is dan horizontaal terwijl het vergassingsmedium veelal onderaf via een rooster wordt toegevoerd. De reactor is om het actief stoftransport te bevorderen slechts voor een deel gevuld met materiaal.

Het grote voordeel van dit type vergasser is, dat door de afregeling van de dosering van het vergassingsmedium lucht voor een bepaald type te vergassen afvalstof een goede procesbeheersing kan worden gerealiseerd. Het geproduceerde gas is echter vanwege de kwaliteit niet geschikt voor gebruik in een gasmotor. De vergasser moet dientengevolge direct worden gekoppeld aan een brander om warmte op te wekken. Een dergelijke combinatie van vergasser en brander wordt ook met "tweetrapsverbranding" aangeduid.

Het systeem van "tweetrapsverbranding" wijkt qua constructie sterk af van de reeds beschreven soorten vergassers. Men zou dit systeem ook onder de verbrandingssystemen kunnen rangschikken. Alleen zijn de diverse reacties (vergassing, oxidatie) wat betreft plaats enigszins uit elkaar getrokken.

2.3 Vaste stoftransport in de vergassingsreactor

Onder passief vaste stoftransport in een vergasser wordt verstaan dat in die vergasser geen voorzieningen zijn getroffen voor het transport van materiaal in de vergasser, anders dan door de zwaartekracht. Indien sprake is van actief vaste stoftransport in de vergasser, zijn voorzieningen getroffen om vaste stof te transporteren, anders dan door zwaartekracht.

Systemen met een passief vaste stoftransport in de vergasser stellen hoge eisen aan de morfologie van het te vergassen materiaal. Zo wordt bijvoorbeeld het functioneren van een meestroomhoutvergasser van BECE gegarandeerd als het materiaal aan specificaties ten aanzien van afmetingen, vochtgehalte en dergelijke voldoet. Systemen met een actief vaste stoftransport in de vergasser stellen in het algemeen veel lagere eisen aan de morfologie van te vergassen afvalstoffen.

De reden dat een aantal fabrikanten toch kiezen voor een passief vaste stoftransport in hun vergasser, is het feit dat de constructie van bewegende onderdelen in het warme gedeelte van de vergasser een extra risicofactor is in verband met een storingsvrije bedrijfsvoering. Ook is een dergelijke constructie duurder dan constructies zonder bewegende delen. In vergelijking met verbrandingsinstallaties uitgerust met een bewegend rooster is de mogelijkheid voor het benutten van lucht als koelmedium voor een bewegend rooster bij vergassers aanmerkelijk minder. Dit heeft dan tot gevolg dat aan de bedrijfsvoering, materialen en constructie van een rooster eisen worden gesteld om vastzitten van het rooster door sintering van de as te voorkomen.

Een andere wijze van actief vaste stoftransport dan met bewegende roosters heeft de installatie welke is opgesteld bij de firma Edelbacking

B.V.in Genemuiden. Deze installatie maakt gebruik van iets hellende trilplaten, waarbij het vergassende tapijtafval naar de rand van een trilplaat schuift en vervolgens op een volgende trilplaat valt. Deze manier van werken heeft als voordeel dat het voornaamste mechanisme voor zuurstoftransport ten behoeve van een gedeeltelijke verbranding diffusie is en niet convectie. Dit heeft tot gevolg dat de meesleuring van asdeeltjes door de gasstroom sterk wordt onderdrukt. Bij optimale bedrijfsvoering is ontstopping van rookgas dan nauwelijks nodig. Een nadeel van dit systeem is dat het vaste stof transport van rollende materialen (bijv. rdf-pellets) moeilijk is in te stellen.

Verbeek [lit.13] maakt melding van weer een ander systeem voor vaste stoftransport in een vergasser. Daarbij wordt gebruik gemaakt van scharnierende kleppen. Met dit systeem is inmiddels ook enige praktijkervaring opgedaan.

2.4 Teervorming in reactor

Bij het toepassen van vergassing ontstaan teervormige componenten. Er moet worden voorkomen dat deze componenten afkoelen. Bij afkoeling ontstaat namelijk een harde massa die goed in staat is diverse materialen te verkleven. Verweking van teervormige componenten door deze opnieuw op te warmen is niet mogelijk. Vergassingssystemen waarbij discontinue bedrijfsvoering is voorzien, zijn dusdanig uitgevoerd dat (snelle) afkoeling wordt vermeden. Dit kan gerealiseerd worden door een sluimerstand toe te passen waarbij een geringe hoeveelheid materiaal continu wordt verbrand, maar ook door het toepassen van warmte-opslag gecombineerd met een goede isolatie bij de vergassingsreactor zelf. Zo is het bij wervelbedvergassers mogelijk dat in een tijdsbestek van 24 uur de temperatuur van een stilgelegd bed slechts 250 °C zakt en wel van 665 °C naar 415°C [lit.5].

2.5 Mogelijkheden tot schaalvergroting

Principiële problemen ten aanzien van schaalvergroting van vergassingsreactoren valt bij tegenstroom-, dwarsstroom- en wervelbedvergassers niet te verwachten omdat zowel vergassingsmedium als het te vergassen materiaal relatief eenvoudig over de dwarsdoorsnede van de reactor is te verdelen.

Bij meestroomvergassers met passief vaste stoftransport treden echter praktische problemen op omdat het vergassingsmedium halverwege de reactor wordt toegevoerd via de wand van de vergasser of via interne luchttoevoeren. De verdeling van het vergassingsmedium in de reactor is dan afhankelijk van de penetratiediepte van het vergassingsmedium. Dit betekent een beperking van de schaalgrootte indien het dwarsoppervlak van de interne obstakels beperkt moet blijven. De schaalbeperking van meestroomvergassers behoeft geen nadeel te zijn als de wervelbedvergasser zowel ten aanzien van de gaskwaliteit als ten aanzien van de schaalgrootte een goede aanvulling vormt. Te zamen kunnen deze twee systemen dan een breed toepassingsgebied bestrijken.

3. TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VOOR HET GEPRODUCEERDE GAS

In principe zijn er drie toepassingsmogelijkheden voor gas dat is geproduceerd met behulp van een vergassingsproces:

1. Gebruik als brandstof voor opwekking van kracht;
2. Toepassing als brandstof voor warmte-opwekking.
3. Benutting als grondstof voor verdere chemische synthese;

De eerste en derde mogelijkheid vereist over het algemeen een reiniging van het gas. Na reiniging is een tussenopslag van gas mogelijk. De derde mogelijkheid valt buiten het kader van de kleinschalige toepassing.

3.1 Gasbehandeling bij krachtopwekking

Voor de opwekking van kracht met behulp van een interne verbrandingsmotor is het nodig dat het geproduceerde gas wordt gereinigd en gekoeld. De reiniging is nodig om te vermijden dat de motor wordt geconfronteerd met hoogviskeus teercondensaat of met asdeeltjes. Koeling van het gas is gewenst om voortijdige verbranding te vermijden. Op deze wijze is het ook mogelijk een voldoende hoeveelheid gas in de cilinders te injecteren.

Bij reiniging en koeling van gas, dat is geproduceerd uit bedrijfsafvalstoffen of biomassa, komt een breed scala aan stoffen vrij. Deze zijn onder te verdelen in water, wateroplosbare organische verbindingen (voornamelijk fenolachtige verbindingen) en niet-wateroplosbare organische verbindingen. Verder kan het gas verontreinigd zijn met meegesleurde asdeeltjes.

De niet water-oplosbare organische verbindingen hoeven uit het oogpunt van milieuzorg geen problemen op te leveren omdat deze verbindingen weer toegevoerd kunnen worden aan het vergassingsproces. Daarbij kunnen deze stoffen door kraakreacties worden afgebroken tot gasvormige produkten.

Het water te zamen met de wateroplosbare organische verbindingen kan met betrekking tot het aspect milieuzorg wel problemen opleveren, namelijk als de waterdamp condenseert ten gevolge van gaskoeling. Thermische ver-

nietiging van de wateroplosbare organische verbindingen is geen haalbare mogelijkheid als dit bij het vergassingsproces moet gebeuren. Lozing van water, dat met voornoemde stoffen is verontreinigd, is aan restricties gebonden.

Bij gebruik van vergassing voor krachtopwekking is het daarom van belang dat het geproduceerde gas een zo laag mogelijk gehalte aan teervormige verbindingen en wateroplosbare organische verbindingen bevat. Dit betekent dat alleen de wervelbedvergassing en de meestroomvergassing in aanmerking komen voor toepassing als krachtopwekking.

3.2 Gasbehandeling bij opwekking van warmte

Bij de opwekking van warmte is reiniging of koeling van gas niet nodig. Het is zelfs gewenst dat het gas op een zo hoog mogelijke temperatuur wordt gehouden om condensatie van teervormige verbindingen te vermijden. Problemen met voor het milieu minder vriendelijke verbindingen spelen geen rol omdat deze verbindingen in de vlam afdoende worden vernietigd. Dientengevolge worden aan het vergassingsproces lagere eisen gesteld met betrekking tot diverse kwaliteiten van een gas, zoals het gehalte aan teervormige stoffen en het gehalte aan wateroplosbare organische verbindingen. Alle vergassingsprocessen zijn dan toepasbaar en de keuze zal in de praktijk bij deze toepassing vallen op de eenvoudiger uitvoeringsvormen, te weten tegenstroomvergassing en dwarsstroomvergassing (tweetrapsverbranding).

4. ONTWIKKELING EN DEMONSTRATIE; STAND DER TECHNIEK

In dit hoofdstuk wordt de stand van zaken beschreven in Nederland en een aantal landen met een redelijk vergelijkbare situatie. Hierbij is niet gestreefd naar volledigheid. Echter wordt zodanige informatie verstrekt, dat een goede beoordeling van de stand van zaken mogelijk is.

4.1 Vroegere demonstraties in Nederland

Ontwikkeling van vergassingssystemen voor directe krachtopwekking met het oog op de Nederlandse situatie heeft voornamelijk plaatsgevonden aan de Universiteit Twente. Hier is in de periode 1978-1981 een van overheidswegen gesubsidieerd meerjarenprogramma "Vergassing van vaste afvalstoffen" uitgevoerd [lit. 23]. De hiervoor toegepaste reactor is een meestroomvergasser geweest met huisvuil als brandstof. Dit heeft niet tot de gewenste resultaten geleid. Het type afval, huisvuil dat alleen op stukgrootte is gesorteerd (1 tot 10 mm), blijkt door de aanwezigheid van glas een ongestoorde bedrijfsvoering te verhinderen (moeilijk te verwijderen sintels). Het geschikt maken van de meestroomvergasser voor huisvuil is bekeken. De conclusie is dat het wel mogelijk is maar dat een volstrekt andere vergasserconstructie noodzakelijk is. Wel blijkt vergassing van gepelleteerde glasarme huisvuilfracties (RDF) goed mogelijk. Sintering treedt dan alleen op in de pellet, maar niet tussen de pellets.

Uit het onderzoek blijkt verder dat toevoeging van kalk het gevormde zoutzuur in de vergasser kan binden. Bij een stoechiometrie van 2 wordt een HCl-verwijdering van 88% geclaimd.

De aan de Universiteit Twente gegenereerde kennis is onder andere toegepast in de ontwikkeling van vergassers bij de firma EEE te Oldenzaal.

In Nederland zijn voor een aantal op te stellen vergassers subsidieaanvragen gedaan in het kader van de demonstratieregeling "Energiebesparing". Hiervan zijn vier aanvragen gehonoreerd, dit betreffen in alle gevallen EEE-vergassers volgens het meestroomprincipe.

Een overzicht van de gehonoreerde projecten is hierbij aangegeven.

Aanvragende firma	Capaciteit	Afvalstof	Toepassing
Meubelfabriek Oldenzaal	80 kg/h	houtchips	krachtoplekking
Gebr. Jennissen Lijstenfabriek	125 kg/h	schuurstof	krachtoplekking
Braat	250 kg/h	RDF-pellets	krachtoplekking
Recycling Combinatie	200 kg/h	sloophoutchips	krachtoplekking

Van de gehonoreerde aanvragen is er slechts één gerealiseerd. Dit betreft een vergasser bij de Meubelfabriek Oldenzaal te Oldenzaal. Hierbij is het oogmerk geweest kracht op te wekken met een gasmotor door 80 kg houtchips per uur te vergassen. In 1983 is de vergasser geïnstalleerd, maar deze is eind 1984 vanwege een aantal problemen weer teruggedenomen door EEE.

De geconstateerde problemen zijn de volgende geweest. Met deze vergasser is het niet mogelijk gebleken de beoogde continue ontwerpcapaciteit te halen. Tevens is bij continue bedrijfsvoering de gaskwaliteit niet constant genoeg geweest. Dit laatste is met name veroorzaakt door de fijnere houtdeeltjes in de te vergassen houtchips. Verder ontwikkelingswerk bij EEE, gericht op een ongestoorde bedrijfsvoering bij gebruik van de fijnere fractie, heeft tot verbetering van de resultaten geleid. Dit ontwikkelingswerk is afgebroken door het beëindigen van de activiteiten van EEE.

De EEE vergasser is bedoeld voor het teervrij vergassen van fijnere fracties (zaagsel) dan mogelijk is met de conventionele meestroomvergasser ($2 < d < 10$ cm). Inmiddels zijn er andere mogelijkheden in het ontwikkelingsstadium gekomen om de fijnere fracties te verwerken, namelijk een tegenstroomvergasser met een achtergeschakeld thermisch of katalytisch kraakproces voor de geproduceerde teer (zie hoofdstuk 4.4) of de toepassing van een cycloonvergasser. Bij een hervatting van het ontwikkelingswerk voor de EEE vergasser dient met deze alternatieven rekening te worden gehouden.

4.2 Huidige realisaties in Nederland

In Nederland zijn momenteel voor zover bekend twee vergassingsinstallaties in gebruik. Beide vergassers zijn geïntegreerd in tweetrapsverbrandingsinstallaties. Bij beide vergassingsinstallaties gaat het om gehonoreerde demonstratieprojecten.

Het ene systeem staat opgesteld bij de firma Edelbacking B.V. in Genemuiden. In deze installatie wordt afval uit de tapijtproductie, aangevuld met papierafval van de bedrijfsadministratie, vergast. De gassnelheden in de vergasser zijn dermate laag dat nauwelijks stof in het stookgas wordt opgenomen. De bij vergassing gevormde produkten worden in een verbrandingsruimte verbrand ten behoeve van warmte-opwekking. Door bijmenging van aardgas via een geïntegreerde brander in de vlam wordt de gegenereerde warmte aangepast aan de behoefte van het productieproces. Het rookgas afkomstig van de verbranding wordt niet ontstoft. Het afvalprodukt van deze vergassing bestaat uit poedervormig materiaal (voornamelijk krijt). Dit wordt wederom gebruikt als vulmiddel bij de fabricage van tapijtruggen. De regeling van de hoeveelheid vergast materiaal gebeurt door de slagfrequentie van de plunjer aan te passen waarmee het afvalmateriaal in de vergasser wordt gebracht.

Met deze installatie wordt het teruggewonnen krijt (CaCO_3) slechts opgewarmd tot circa 600 °C. In een conventionele verbrandingsinstallatie zou het krijt aan hogere temperaturen worden blootgesteld en daardoor worden omgezet in CaO . Hergebruik als vulmiddel is dan niet mogelijk.

Het andere systeem is recent opgesteld bij de Maatschap Veldhuyzen in Helenaveen. Bij deze installatie wordt verspaand sloophout benut als brandstof ten behoeve van verwarming in tuinbouwkassen. De vergassingsprodukten worden ook bij deze installatie onmiddellijk na de vergassingsstap verbrand. Deze installatie kent twee bedrijfsinstellingen namelijk vollast en spaarstand. Door de installatie afwisselend te bedienen bij vollast respectievelijk spaarstand wordt het vermogen aangepast aan de energiebehoefte van de kassen. Het rookgas wordt ontstoft door zowel een cycloon als een doekenfilter, welke in serie zijn geplaatst. Indien bij vollast niet voldoende energie wordt opgewekt, wordt een tweede instal-

latie in bedrijf genomen waarin aardgas wordt verbrand. Deze aardgasinstallatie kent een modulerende regeling. De afvalprodukten van de vergassingsinstallatie zijn sintels afkomstig uit de vergasser, cycloonas en doekenfilteras.

Door de firma BECE is een meestroomvergasser ontwikkeld, welke commercieel verkrijgbaar is in de vermogensrange 20-200 kW_{e1}. Deze vergassers zijn operationeel in diverse ontwikkelingslanden. Ervaringen zijn opgedaan met houtskool, verschillende soorten hout, kokosnoot- en walnootschalen, maiskolven.

Van deze vergassers is een type met een nominaal vermogen van 30 kW_{e1} getest [lit. 22]. De totale testperiode bedroeg ca. 50 uur. De voornaamste conclusies van het testrapport zijn de volgende. Een goede werking van de vergasser wordt behaald met als voeding houtblokjes (ribben 2-6 cm). Houtchips met veel fijn (≤ 1 cm) is ongeschikt. Bij grotere houtblokken (5 x 5 x 10 cm) verslechtert de gaskwaliteit (brugvorming). Per kg droog hout wordt ca. 0,7 kWh gegenereerd (brandstofefficiency 17% bij vollast). Stofgehalte voor de gasmotor kleiner dan 15 mg/m³ en een gemiddeld teergehalte van 28 tot 85 mg/m³ (bij vochtpercentage van de brandstof van 13 respectievelijk 25%). Teer is gedefinieerd als vaste stof oplosbaar in dichloormethaan.

De vergasser produceert condensaat (ca. 0,1 kg per kg hout). Een aantal componenten van dit condensaat zijn (gemiddelde waarden):

COD	500 g/m ³
Kjeldahl N	1800 g/m ³
ammonium/ammoniak	1,7 kg N/m ³
fenol	90 mg/m ³

Lozing van het condensaat op oppervlaktewater zal normaliter niet mogelijk zijn (Nederlandse situatie). De concentraties zijn zo laag dat lozing via het riool (zuiveringsschap) geen problemen geeft. Uiteraard zijn zuiveringslasten verschuldigd. Bij continu bedrijf zal de BECE 30 vergasser per etmaal 2-7 i.e. leveren. Dit geeft een jaarlijkse aanslag van f 100 tot f 500 (afhankelijk van aantal i.e. en prijs per i.e.).

Tenslotte komt uit het testrapport naar voren dat iedere 50 uur het filter en de vergasser zelf grondig moeten worden gereinigd.

Naast de vastbedvergasser is bij de firma BECE ervaring aanwezig met een wervelbedvergasser op pilot-scale [lit. 27].

4.3 Ontwikkelingen en demonstraties in West-Duitsland

In EG-verband vindt stimulering van de vergassingstechnologie plaats. Op een door de EG in 1984 in Luxemburg georganiseerd symposium over het hergebruik van huishoudelijke en industriële afvalstoffen en energieopwekking daarmee [lit. 14], is melding gemaakt van bedrijfservaringen met tegenstroomvergassers in de Bondsrepubliek bedoeld voor krachtopwekking. De ene vergasser is na vrij korte tijd weer buiten bedrijf gesteld vanwege onoverkomelijke problemen met stankoverlast en met de gemeentelijke afvalwaterzuivering ter plaatse. De oorzaak voor dit laatste kan gevonden worden in de kwaliteit van het geloosde condensaat. De andere vergasser is al geruime tijd in bedrijf in de Hunsrück (Rheinland-Pfalz). Deze bevindt zich niet in een bebouwde omgeving. Over lozingen van het condensaat van deze - vergelijkbare - installatie worden geen mededelingen gedaan.

Zeer recent is het eindrapport [lit. 15] verschenen van een onderzoek gefinancierd door het Westduitse Ministerie voor Onderzoek en Technologie (BMFT). In dit rapport wordt ingegaan op de bedrijfskarakteristieken van een drietal in de Bondsrepubliek geïnstalleerde krachtopwekkingssystemen, elk bestaande uit een vergasser en een of meer gasmotoren. Hiervan werkt één vergasser volgens het tegenstroomprincipe en twee volgens het meestroomprincipe. Deze vergassers zijn nader beschreven in tabel 4.1.

Het meetprogramma is uitgevoerd met brandstoffen conform de ontwerp-specificaties. Voor de tegenstroomvergasser zijn dit zaagsel, schors-haksel en stropelletts. Bij de beide meestroomvergassers zijn houtblokjes voorgeschreven als brandstof. Tijdens het meetprogramma is per brandstofsoort één dag vollast en één dag wisselende deellast gedraaid.

Conform de verwachtingen heeft de tegenstroomvergasser aanmerkelijk meer teer en vervuild waterig condensaat geproduceerd dan de meestroomvergassers. Deze milieu-onvriendelijke stoffen worden vernietigd in een verbrandingsoven, te stoken op generatorgas. Hiervoor wordt wel een aan-

zienlijk deel (circa 40%, afhankelijk van het watergehalte van de brandstof) van het geproduceerde generatorgas gebruikt. Deze verregaande vernietiging van vervuilende componenten is noodzakelijk omdat het condensaat van de tegenstroomvergasser de gehanteerde normen voor afvalwaterverontreiniging in Baden-Württemberg verre overschrijdt. De beide meestroomvergassers produceren bij normaal bedrijf (zeer droog hout) geen condensaat. De installatie in Geisenheim produceert alleen in de opstartfase enig condensaat. Bij de installaties is wel sprake van accumulatie van verontreinigende stoffen in het koel- en gaswaswater.

Lange termijnbedrijfservaringen is alleen opgedaan bij de eerste meestroomvergasser, welke staat opgesteld bij een speelgoedfabriek. Deze is na een jaar van proefbedrijf stilgelegd op last van de autoriteiten. De redenen hiervoor zijn tekortkomingen, welke niet met name in het aangehaalde verslag zijn vermeld. Op grond van de gerapporteerde proefresultaten voldoet de installatie niet aan eisen voor het gehalte aan stikstofoxides in de afgassen van de gasmotor en geluidsproductie. Op grond van de gerapporteerde proeven is echter wel een lijst van aanbevelingen opgesteld om de tekortkomingen te verhelpen. Naar verluid is de speelgoedfabriek inmiddels bezig om in overleg met de autoriteiten en een niet nader omschreven ingenieursbureau het systeem zodanig aan te passen dat de tekortkomingen zich niet meer voordoen.

Tabel 4.1 Installatiekenmerken van commercieel functionerend of
verkooprijpe vergassers in de Bondsrepubliek Duitsland

Fabrikant	: Maschinenfabrik A. Lambion, Arolsen-Wettenburg/ Ingenieurbüro H. Schmaus, Daun.
Bedrijfsvoerder	: MAN Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG in samen- werking met de Bayerischen Landesanstalt für Land- technik
Opstellingslokatie	: Landgoed Erching, Beieren
Karakteristiek	: Proefinstallatie
Grondstof	: Zaagsel, schorshaksel, stropellets
Vergasstype	: Vast bed, tegenstroom
Toepassing van gas	: Krachtopwekking in een gasmotor.
Elektr. vermogen	: 137 kVa
Bijzonderheden	: Condensaat bevat circa 50 g organische zuurstofver- bindingen per liter. Dit wordt separaat verbrand bij ca. 900 °C met circa 40% van het opgewekte stookgas.
Opmerking	: De firma Lambion is inmiddels gestopt met activi- teiten op gebied van vergassing.
Fabrikant	: Imbert-Energietechnik GmbH u. Co, Weilerswist
Bedrijfsvoerder	: Hermann Eichhorn Spielwarenfabrik GmbH u. Co
Opstellingslokatie	: Egglham, Beieren
Karakteristiek	: Bedrijfsinstallatie
Grondstof	: Afvalhout (blokken)
Vergasstype	: Vast bed, meestroom
Toepassing van gas	: Krachtopwekking in een gasmotor.
Elektr. vermogen	: 260 kVA per vergasser (2 vergassers opgesteld)
Bijzonderheden	: Stilgelegd in 1983 wegens milieuhygiënische redenen (geluid, NO _x), wellicht op korte termijn weer in gebruik.

87-215/R.26/JCA

29

Fabrikant : Fritz Werner Industrie-Ausrüstungen GmbH, Geisenheim
Bedrijfsvoerder : Fritz Werner Industrie-Ausrüstungen GmbH, Geisenheim
Opstellingslokatie: Geisenheim, Hessen
Karakteristiek : Proefinstallatie
Grondstof : Houtblokken
Vergassertype : Vast bed, meestroom
Toepassing van gas: Krachtoplekking in een gasmotor.
Elektr. vermogen : 50 kVA
Bijzonderheden : Proefinstallatie, niet meer in gebruik door afbreken van de activiteiten van de firma op het gebied van vergassing van biomassa.

4.4 Finland

In Finland is gedurende de afgelopen jaren veel onderzoek verricht naar de vergassing van vaste brandstof. Als vaste brandstof wordt voornamelijk gebruik gemaakt van turf en afvalhout. Centraal in dit onderzoek is het Labo-ratory of Fuel Processing and Lubrication Technology van het VTT. Over dit onderzoek is herhaalde malen gepubliceerd [lit. 16 tot en met 18].

De eerste aandacht is gericht geweest op de ontwikkeling van een tegenstroomvergasser voor districtsverwarming [lit. 16]. Deze ontwikkeling is inmiddels zover gevorderd dat het commerciële stadium is bereikt.

Het stookgas uit de tegenstroomvergasser wordt zonder koeling (dat wil zeggen bij circa 200 °C) naar de ernaast opgestelde vuurhaard geleid. Problemen met teervormige bestanddelen of wateroplosbare organische stoffen treden dus niet op.

De eisen die worden gesteld aan de brandstof zijn de volgende [lit. 17]:

- brandstof stukkig met maximaal 30 tot 50% fijne bestanddelen
- vochtgehalte minder dan 55%
- assmelpunt boven 900 °C
- geen samenkoekende neiging

Gesteld wordt dat het systeem tegenstroomvergasser en vuurhaard concurrerend is met installaties die vaste brandstoffen rechtstreeks verbran-

den. De winst wordt in dit geval bereikt doordat het gas met een lagere luchtfactor ($\lambda = 1,10 - 1,25$ of $O_2 < 4$ vol.%) kan worden verbrand dan bij rechtstreekse verbranding van vaste brandstoffen.

Daarnaast zijn voor grotere vermogens ook wervelbedvergassers operationeel geworden. In 1986 waren in Finland 5 tegenstroomvergassers (1,5 - 6 MW_{th}) en 2 circulerende wervelbedvergassers (25 en 35 MW_{th}) voor ondervering in bedrijf [lit. 18]. De gebruikte brandstoffen zijn hout(chips) en turf.

Verder onderzoek naar vergassing is op dit moment nog gaande. Onder andere wordt er naar gestreefd om door gasreiniging van stookgas uit een tegenstroomvergasser dit stookgas geschikt te maken voor transport over langere afstand of voor toepassing in een interne verbrandingsmotor. De voorgestelde procesroute hierbij is om het stookgas thermisch te kraken in een nageschakelde reactor. Hiervoor zijn proeven uitgevoerd op een schaalgrootte van 0,3 MW_{th}. Deze proeven hebben een gunstig resultaat opgeleverd. Stookgas van 200 °C met 50 tot 100 g teer per m³ is door een thermisch kraakproces bij 900 °C gereinigd tot een gas dat vergelijkbaar is met meestroomkwaliteit. Op grond van de eerste resultaten worden nu experimenten uitgevoerd op een schaalgrootte van 1 MW_{th}. Daarnaast wordt ook gekeken naar katalytische kraakprocessen.

4.5 Zweden

De Zweedse situatie is sterk vergelijkbaar met die in Finland. Recent is een studie uitgevoerd [lit. 19] naar vergassing van houtafvallen voor ondervuring tot 5 MW_{th}. Kritisch is de hoge vochtigheidsgraad van het hout (circa 50%), welke op de grens ligt van wat een vergasser nog aan kan. Directe koppeling van vergasser en vuurhaard (afstand tot 10 m) zonder stookgasafkoeling is technisch goed mogelijk. Bij gastransport over langere afstand is gasreiniging door koeling nodig. Het ontstane condensaat kan echter niet op het riool worden geloosd.

Gesteld wordt dat met de huidige brandstofkosten vergassing marginaal is. Echter in tegenstelling tot directe verbranding van vaste brandstoffen is achter de vuurhaard geen doekenfilter nodig.

Op dit moment zijn in Zweden 4 tegenstroomvergassers (4 - 6,5 MW) en één meestroomvergasser (2 MW) in bedrijf voor ondervuring. Daarnaast voor grotere vermogens twee circulerende wervelbedvergassers (25 MW).

4.6 Verenigde Staten

De ontwikkeling van vergassing in de Verenigde Staten wordt beschreven door Tuttle [lit. 20]. Deze auteur maakt melding van drie vergassers welke op commerciële schaal worden bedreven (zie tabel 4.2). Bij alle drie is er sprake van warmte-opwekking. Het betreft twee vastbedvergassers en een wervelbedvergasser. Als brandstof wordt in alle gevallen hout gebruikt. De installaties zijn in 1984 minimaal twee jaar in commercieel bedrijf. Bedrijfservaringen sedertdien zijn niet bekend. Wel kan worden geconcludeerd dat in 1984 een aantal potentiële vergasserproducenten in de Verenigde Staten het teststadium zijn gepasseerd en in een ontwerpstadium van commerciële vergassers zijn aangeland. Toepassing van directe krachtopwekking is nauwelijks aangetroffen. In hoeverre deze ontwikkeling zich de laatste jaren heeft doorgezet is moeilijk te achterhalen. Ook blijkt uit de geraadpleegde literatuur dat de R&D-inspanning hoofdzakelijk is gericht op de vergassing volgens het wervelbedprincipe.

Tabel 4.2 Installatiekenmerken van commerciële functionerende vergassers in Noord Amerika

Fabrikant	: Applied Engineering Company, Orangeburg, South Caroline
Grondstof	: Houtchips
Vergassertype	: Vast bed (niet nader gespecificeerd)
Capaciteit	: circa 6,3 MW _{th}
Toepassing van gas	: Stoomopwekking door verbranding in een vuurhaard.
Bijzonderheden	: Condenseerbare componenten van het gas worden afgescheiden en separaat met een oliebrander verbrand. Het gereinigde gas wordt via een pijpleiding getransporteerd.

87-215/R.26/JCA

32

Fabrikant : Omnifuel Gasification Systems, Toronto
Grondstof : Hout (niet nader gespecificeerd)
Vergassertype : Wervelbed
Toepassing van gas : Verwarming thermische olie in een vuurhaard.
Bijzonderheden : Gasreiniging met behulp van cyclonen. De vergas-
singslucht wordt opgewarmd door het geproduceerde
hete gas.

Fabrikant : Forest Fuels Manufacturing, Marlborough,
New Hampshire
Grondstof : Hout (niet nader gespecificeerd)
Vergassertype : Vast bed (niet nader gespecificeerd)
Toepassing van gas : Stoomopwekking door verbranding in een nagescha-
kelde vuurhaard.

Uit een binnenkort te verschijnen studie [1] blijkt dat inmiddels de "open core" vergasser op grote schaal (enige honderden) wordt toegepast in de Verenigde Staten. Naast warmte-opwekking wordt deze vergasser met een aangepaste gasreiniging ook ingezet voor directe krachtopwekking.

5. TOEPASSING

5.1 Toepassingsgebied

Aan de te vergassen afvalstoffen worden diverse eisen gesteld. Deze eisen kunnen weer afhankelijk zijn van het type vergasser.

Een belangrijke eis is het vochtgehalte. Bij een te laag vochtgehalte (zeg $< 5\%$) zal de vergassingsreactie niet optimaal kunnen verlopen. Aan deze eis kan in de praktijk eenvoudig worden voldaan. Bij een hoog vochtgehalte loopt de calorische waarde van het geproduceerde gas terug; deze kan dan te laag worden voor krachtopwekking in een motor of zelfs voor het onderhouden van een stabiele vlam bij ondervuring. De tegenstroomvergasser met goede interne warmtewisseling kan in dit opzicht afvalstoffen met hogere vochtgehaltes verwerken dan de meestroom- of wervelbedvergasser.

Een tweede parameter zijn de afmetingen van de afvalstof. De tegenstroomvergasser is minder kritisch voor fijne bestanddelen in de voeding dan de meestroomvergasser. Deze kan in principe ook zaagsel vergassen. Als uitsluitend zeer fijn materiaal wordt vergast komt alleen de wervelbedvergasser in aanmerking. In de meestroomvergasser kan fijn materiaal alleen na brikettering worden vergast.

Het asgehalte is een derde parameter. Een te hoog asgehalte bij mee- en tegenstroomvergassers leidt tot sintering, welke het passief stoftransport door de vergasser belemmert. Bij een wervelbed zal een hoog asgehalte leiden tot een grote warmte-afvoer uit de reactor.

In tabel 5.1 zijn diverse eisen zo goed mogelijk gekwantificeerd. Op basis van de te verwachten gaskwaliteit is het toepassingsgebied ingeschat.

De afvalstoffen welke op grond van de gestelde eisen voor vergassing in aanmerking komen zijn voor de Nederlandse situatie voornamelijk biomassa in de vorm van afvalhout en RDF. De geschiktheid van deze afvalstoffen voor de verschillende vergassersystemen is aangegeven in tabel 5.2.

Tevens is hierin een vergelijking met directe verbrandingssystemen opgenomen.

Naast bovengenoemde afvalstoffen kunnen in dwarsstroomvergassers (tweetrapsverbranding) op goede wijze kunststoffen en rubbers worden verwerkt. Voorbeelden zijn de thermische verwerking van tapijtafval (firma Edelbacking B.V. te Genemuiden) en de verwerking van kunststofafval en autobanden in de "Jülich"-reactor [lit. 13]. Dit laatste systeem (strikt genomen geen dwarsstroom-, maar meestroomvergasser) laat grote afmetingen van de afvalstof toe (balen 0,8 x 0,8 x 0,5 m en niet verkleinde autobanden).

Tabel 5.1: Karakterisering van vergassingsprocessen

Type	Toepassings- gebied	Vermogens- range (kW _{th})	Afvalstof afmetingen (cm)		Vocht- gehalte (%)	As- gehalte (%)
				percen- tage fijn (%)		
Meestroom	kracht: ++	50 - 600	2 - 10	< 15	< 25	< 6
	warmte: ++	50 - 600	0,5 - 10	< 15	< 30	< 6
Tegen- stroom	kracht: ±	50 - 800	0,2 - 10	< 30	< 40	< 6
	warmte: ++	50 - 800	0,2 - 10	< 30	< 50	< 6
Dwars- stroom	warmte: ++	50 - 2000	0,5 - 10	< 30	< 40	-
Wervelbed	kracht: ++	1000 - 10000	< 2	-	< 25	< 25
	warmte: ++	1000 - 10000	< 2	-	< 30	< 25

Verklaring van de tekens in de tabel:

- totaal ongeschikt
- minder geschikt
- ± matig
- + geschikt
- ++ bij uitstek geschikt

Tabel 5.2: Overzicht systeemgeschiktheid

Brandstof	biomassa (hout)			rdf		kunststoffen en rubbers
Proces	houtmot	spaanders of chips	blokjes	fluff	pellets	
Vergassing						
wervelbed	++	+	+	+	++	+
tegenstroom	+	++	++	-	±	--
dwarsstroom	±	+	++	+	+	++
meestroom	-	±	++	--	±	--
Verbranding						
rooster	-	+	++	-	++	-
wervelbed	+	+	+	±	++	++
draaitrommel	-	+	+	+	+	+
schroefstoker	++	++	+	±	+	-

Verklaring van de tekens in de tabel:

- totaal ongeschikt
- minder geschikt
- ± matig
- + geschikt
- ++ bij uitstek geschikt

Ter informatie is in figuur 7 de geschiktheid van diverse systemen voor diverse uitheemse biomassa-afvallen aangegeven [lit. 21].

5.2 Kosten

Krachtopwekking

De opwekking van kracht kan geschieden met zowel een meestroomvergasser als een wervelbedvergasser. Met beide vergassersystemen is tot nu toe weinig praktijkervaring opgedaan. Kostenvergelijking van deze vergassersystemen met conventionele systemen voor krachtopwekking zijn daarom globaal.

Van (toenmalige) leveranciers zijn indicatieve berekeningen bekend over de produktiekosten per kWh. Deze produktiekosten zijn voor complete vergassingsinstallaties met gasmotoren in de orde van grootte van f 0,24 tot f 0,19 per geproduceerde kWh. Voor deze berekening zijn de volgende aannames gedaan:

- semi-continubedrijf (4.000 h/a);
- kosten afvalstof/biomassa f 0/ton; indien voorbehandeling (breken afvalhout) is vereist, verhoogt dit de prijs per geproduceerde kWh met circa f 0,05. Ook eventuele kosten van drogen en/of brikettering zijn niet meegenomen;
- warmte geproduceerd door de vergasser is niet gewaardeerd;
- schaalgrootte tussen 50 en 200 kVa (meestroomvergassers).

Ten tijde van het berekenen van deze indicatieve produktiekosten is door de gemiddelde Nederlandse electriciteitsproducent een tarief van ongeveer f 0,25 per kWh gehanteerd voor grootverbruikers. Inmiddels is dit tarief verlaagd tot circa f 0,16 per kWh. Op dit moment bestaat dus geen economische motivatie voor het verwerven en in bedrijf hebben van een vergassingsinstallatie ten behoeve van krachtopwekking. Deze voorwaarden worden wel vervuld als de elektriciteitsprijs weer gaat stijgen of als de afvalstof een negatieve aanschafwaarde heeft. Bij een (negatieve) aanschafwaarde van de afvalstof van f -10/ton daalt de kostprijs van de geproduceerde elektriciteit met f 0,01 per kWh.

Gezien de relatief hoge kapitaalskosten heeft de bedrijfstijd een be-

langrijke invloed op de kWh-prijs van de geproduceerde elektriciteit. Bij een toename van de bedrijfstijd van 2000 naar 6000 uur per jaar daalt voor bovengenoemde aannames de kWh-prijs van f 0,37 naar f 0,15. Een nadere economische evaluatie van de vergassing van afvalhout verschijnt in 1988 [1].

Warmte-opwekking

Bij de huidige stand der techniek is vergassing van een reeks verschillende afvalstoffen via tweetrapsverbranding (dwarsstroomvergasser) toepasbaar. Een concurrerend systeem voor energie-opwekking is verbranding met een rooster- of schroefstoker. Qua bedrijfsvoering zullen beide systemen elkaar niet veel ontlopen.

In de naverbrandingskamer van het tweetrapssysteem kan in het algemeen eenvoudig met aardgas of olie worden bijgestookt. In het geval van ombouw van een bestaande aardgas- of oliegestookte installatie op gebruik van afvalstoffen wordt voor de bestaande vuurhaard een vergasser met toebehoren geplaatst, terwijl na de ketel een rookgasontstoffingsinstallatie wordt opgesteld.

Onderhoud en revisie kan voor een vergassingssysteem met tweetrapsverbranding gunstiger zijn dan voor een verbrandingssysteem met een rooster- of schroefstoker. Bij toepassing van een vergassingssysteem kan overgeschakeld worden op aardgas of olie stoken als de vergasser gereviseerd wordt, terwijl bij een rooster- of schroefstoker bij onderhoud en revisie het gehele systeem inclusief ketel buiten bedrijf is. Bij de Bioflam-installatie is dit mogelijk doordat de vergasser loskoppelbaar is van de vuurhaard. Als de vuurhaard bij revisie van de vergasser wordt voorzien van een aardgas- of oliebrander, kan het warmte-opwekkingsysteem met een gering aantal verdere aanpassingen worden bedreven. Bij de HTI-installatie is sprake van een geïntegreerde afvalgas/aardgasbrander. Door het toevoerkanaal van het afvalgas af te blinden is het in principe mogelijk de installatie alleen met behulp van aardgas te bedienen.

Op grond van dit soort overwegingen zal een afweging moeten worden gemaakt bij de verwerving van een vergassingsinstallatie danwel een verbrandingsinstallatie.

Voor twee demo-projecten in Nederland blijken de verwervingskosten globaal gelijk te zijn, namelijk circa f 93,- per kW input. Dit betreffen een twee-traps verbrandingssysteem en een vast roosterketel; beide voor verspaand hout als brandstof en met een capaciteit van circa 2 MW input.

5.3 Milieu-effecten

In geval vergassing als thermische techniek zou worden toegepast is het van belang te weten of optredende negatieve milieu-effecten deze toepassing kunnen belemmeren. Indien daarentegen deze techniek belangrijke milieuvoordelen biedt, kan zij daardoor sterk worden bevorderd. Dit zal in het volgende worden nagegaan voor twee toepassingen, namelijk warmteopwekking en krachtopwekking.

Warmteopwekking via de vergassingsroute zal normaliter plaatsvinden in een dwarsstroomvergasser (tweetrapsverbranding). Als alternatief wordt de directe verbranding beschouwd. Beide technieken vertonen wat betreft luchtmissies geen fundamentele verschillen. Bij de dwarsstroomvergasser met zijn nageschakelde verbrandingskamer kan voor "moeilijke" brandstoffen (zoals hoog vochtgehalte) de emissie aan CO en onverbrand (zoals PAK) mogelijk beter worden beheerst dan bij de directe verbranding. Echter bij dit laatste systeem is door technieken als secundaire luchtinjectie ook een goede beheersing van het verbrandingsproces mogelijk. In het algemeen zal bij kleine installaties de emissies aan onverbrand (CO, PAK) voor tweetrapsinstallaties lager zijn dan voor directe verbrandingsprocessen.

Bij directe krachtopwekking via de route meestroom- of wervelbedvergasser met gasmotor zal bij koeling van de generatorgassen condensaat ontstaan. De afvoer van dit condensaat dient plaats te vinden naar het riool. De concentraties van de diverse stoffen in het condensaat is relatief laag zodat voorreiniging niet vereist is en de opgelegde zuiveringslasten niet prohibitief (zie hoofdstuk 4.2). De tegenstroomvergas-

ser zou een zeer sterk verontreinigd condensaat leveren, maar deze is voor krachtopwekking gezien de vereiste intensieve teerverwijdering niet interessant.

Van de componenten in het uitlaatgas van de achtergeschakelde gasmotor is met name de NO_x -uitstoot van belang. Deze emissie zal niet hoger zijn dan van een aardgasgestookte gasmotor [lit. 25]. Bij toekomstige strengere eisen aan de uitlaatemissie is inbouw van een uitlaatgaskatalysator mogelijk. Thans worden geen algemene eisen aan met generatorgas gestookte zuigermotoren gesteld. De emissie-voorwaarden als geformuleerd in het concept-besluit emissie-eisen stookinstallaties Hinderwet [lit. 26] gelden alleen voor aardgas- en/of gasoliegestookte motoren.

6. ENERGIEBESPARINGSPOTENTIEEL; MOGELIJKE MARKT

Om inzicht te krijgen in de hoeveelheden bedrijfsafvalstoffen in Nederland zou men gebruik kunnen maken van de CBS-gegevens (zoals in Statistisch Jaarboek 1986). Het CBS beperkt zich echter tot bedrijven met 10 of meer werknemers en sluit een aantal categorieën afvalstoffen uit, zoals het bouw- en sloopafval. Deze laatste categorie heeft echter een omvang van 1200 miljoen kg per jaar en is bij uitstek geschikt voor vergassing. Het gebruik van de CBS-cijfers heeft daarom maar een zeer beperkte waarde.

Daarom is voor deze studie aangesloten bij de cijfers zoals opgesteld door v. Nes [lit. 24, tabel 5] ten behoeve van de NOH-studie "Benutting van gasen uit afval". Van deze studie zijn de hoeveelheden afvalstoffen zonder wijziging overgenomen. Alleen zijn voor meer categorieën afvalstoffen aangenomen dat vergassing een toepasbare techniek is. Dit betreft de categorie kunststoffen (zie hoofdstuk 5.1) en overige organische stof uit stedelijk afval. Deze laatste categorie met een droge stofgehalte van 40% kan wellicht worden vergast (in feite tweetrapsverbranding) door bijmenging van droog materiaal als papier, karton en afvalhout. Ook is een voordroogstap mogelijk.

De diverse afvalstromen met energiepotentiëlen en toe te passen technieken voor gasproductie zijn weergegeven in tabel 6.1. De toe te passen technieken zijn: vergisting (A), "echte" vergassing in mee-, tegenstroom- en wervelbed (B1) en tweetrapsverbranding (B2). Afvalstoffen geschikt voor echte vergassing zijn ook bruikbaar voor tweetrapsverbranding.

Tabel 6.1 Schatting van de jaarlijkse potentiële gasproductie uit divers materiaal (afval uitgedrukt als organische droge stof)

Potentiële gasbron	Hoeveelheid (miljoen kg)	Theoretisch potentieel (PJ)	Technisch potentieel		
			Techniek	Omzettingsrendement (%)	Totaal (PJ)
Dierlijke mest	3563	90	A	27	24
Agrarisch afval divers stro	68	2	A	27	0,5
	28	0,6	B1	70	0,4
Afvalhout	1200	21	B1	70	15
Vuilstort	500	11	A	50	5
Stedelijk afval papier en karton kunststoffen overig organisch	590	10	B1	70	7
	188	8	B2	70	6
	1000	25	B2	70	13*)
Zuiveringsslib	176	5	A	36	2
Basisveen	p.m.				
Autobanden	50	2	B2	70	1,5
Subtotaal A	4307	108			31
Subtotaal B1	1818	32			22
Subtotaal B2	1238	35			21
Totaal	7363	175			74

*) Ca. 6 PJ nodig voor verdamping van water in een droogproces

Techniek A : vergisting

B1: vergassing in mee-of tegenstroom of in wervelbed

B2: dwarsstroomvergassing (twee-trapsverbranding)

Uit tabel 6.1 blijkt het technisch potentieel voor "echte" vergassing 22 PJ per jaar te bedragen; dit betreft de categorie afvalhout en papier/karton. Deze gasproduktie kan worden benut voor kracht- en warmte-opwekking. Tweekrapsverbranding heeft een potentieel van 21 PJ voor ondervuring (hoofdzakelijk overig organisch stedelijk afval en kunststoffen). Daarnaast is er een technisch potentieel van 31 PJ voor vergisting.

Hoewel vergassing thans nog nauwelijks in Nederland wordt toegepast wil dit niet zeggen dat de energie-inhoud van voornamelijk categorie B1 thans verloren gaat. Er zijn concurrerende verwerkingstechnieken als directe verbranding, welke op grote schaal wordt toegepast. Inzicht in het te verwerven aandeel door vergassers vraagt een separate uitgebreide marktstudie. Hier wordt nogmaals verwezen naar de binnenkort te verschijnen studie over de mogelijkheden van vergassing van afvalhout in Nederland [1].

7. GEWENSTE APPARAATONTWIKKELING

7.1 Motivering

Er zijn diverse redenen welke een zekere Nederlandse R & D inspanning met betrekking tot de kleinschalige vergassing van afvalstoffen rechtvaardigen. Te noemen zijn:

- Versterking van de positie van Nederlandse vergasserleveranciers. Met zekere regelmaat vindt reeds levering aan ontwikkelingslanden plaats.
- Bij stijgende energieprijzen wordt krachtopwekking voor de Nederlandse situatie interessant (lange termijn perspectief).
- Voor bepaalde situaties kan vergassing nu reeds aantrekkelijk zijn (voorschakeling voor bestaande gasketel).
- Dwarsstroomvergassing (twee-trapsverbranding) kan concurrerend zijn met directe verbranding en is aantrekkelijk voor "moeilijke" brandstoffen.

7.2 Programma

De hoofdlijnen van een R & D programma voor kleinschalige vergassing kan worden ingedeeld volgens de diverse typen vergassers.

Meestroomvergasser

Met een meestroomvergasser gevoed met een "stukkige" brandstof kan een teerarm gas voor krachtopwekking worden verkregen. Er zijn weinig testgegevens beschikbaar, welke bovendien een beperkte testperiode betreffen [lit. 22]. Daarom is een lange duur testprogramma gewenst, waarin de factor bedrijfszekerheid (zoals interne vervuiling en gangbaarheid doseersysteem) beter tot zijn recht komt.

Tot de verdere aandachtspunten behoren: morfologie van de brandstof (naast houtblokjes ook chips en mot), geschiktheid van RDF-pellets met invloed van kalktoevoeging op HCl-binding, samenstelling van condensaat. Een dergelijk programma dient te worden uitgevoerd met een commercieel verkrijgbare vergasser (zoals BECE-vergasser) als ook met een prototype vergasser waarin de know-how van de vroegere firma EEE is verwerkt. Het

ontwikkelingswerk van deze firma was gericht op een meestroomvergasser welke fijnere fracties materialen kan verwerken dan de bestaande meestroomvergassers. Uit deze vergelijkende test dient te volgen of de EEE-know-how wat dit betreft technologische voordelen biedt.

Bij positief resultaat dient de ontwikkeling van de EEE-vergasser te worden voortgezet.

Wervelbedvergasser

De wervelbedvergasser is in Nederland op pilot-scale (ca. 130 kW_{th}) beproefd [lit. 27]. Lange duur beproeving op grotere schaal is nodig om een goed werkende vergasser in de range 1-10 MW_{th} te kunnen aanbieden (naar analogie met ontwikkeling van de kolengestookte wervelbedketel zoals lopende bij TNO). Zonder deze tussenstap zal de kloof tussen pilot-scale project en demonstratiefase te groot blijven.

Tegenstroomvergasser

Dit type vergasser biedt minder perspectieven. Een ontwikkelingsprogramma voor deze vergasser is daarom niet voorzien.

Dwarsstroomvergasser

Dit type vergasser voor warmteopwekking (tweetrapsverbranding) bevindt zich in de demonstratiefase. Bij deze vergasser doen zich geen problemen voor, welke een algemeen ontwikkelingsprogramma vragen. Wel kunnen zich bij de individuele leveranciers problemen voordoen, waarvoor per geval aanleiding is tot een kort trouble-shooting programma of een langlopend ontwikkelingsprogramma.

8. GROOTSCHALIGE VERGASSING

Zoals in de inleiding is vermeld heeft deze studie zich beperkt tot de kleinschalige energie-opwekking. Dat wil zeggen atmosferische vergassing tot een thermisch vermogen van ca. 5 MW.

Buiten dit beschreven gebied doen zich een aantal interessante ontwikkelingen voor. Stookgasproductie in circulerende wervelbedden voor thermische vermogens van 25 tot 35 MW is in Scandinavië in de demonstratiefase.

Onder andere in Frankrijk vindt onderzoek plaats naar de produktie van een hoog calorisch gas uit biomassa. Dit zijn in het algemeen processen onder druk, eventueel met zuurstofinjectie en toevoeging van katalysatoren.

In het licht van een optimale energiebenutting uit biomassa voor de lange termijn wordt aangevonden om deze ontwikkelingen voor de Nederlandse situatie te evalueren.

9. CONCLUSIES

Met de meestroomvergasser wordt een relatief schoon gas geproduceerd, dat na stof- en teerverwijdering goed geschikt is voor gebruik in een verbrandingsmotor. Deze vergasser is bedoeld voor de lage vermogensrange ($50600 \text{ kW}_{\text{th}}$). Aan het te vergassen materiaal worden strenge eisen gesteld (onder andere weinig fijn, vochtgehalte $< 25\%$). Geschikte afvalstoffen zijn houtblokjes en waarschijnlijk gepelleteerde RDF.

De meestroomvergasser is qua constructie ongeschikt voor sintelvormende afvalstoffen als glashoudend huisvuil en loss RDF. De ontwikkeling naar het geschikt maken van deze vergasser voor fijnere afvalstoffen door de firma EEE is in verband met bedrijfsbeëindiging gestopt. Experimenteel dient te worden vastgesteld of de bereikte resultaten een verdere ontwikkeling rechtvaardigen.

De inzetbaarheid van een meestroomvergasser dient in een lange termijn testprogramma te worden beproefd. Vastgesteld moet worden binnen welke grenzen een meestroomvergasser kan opereren en welke technische problemen hierbij optreden. Een interessante optie is om in geval van chloorhoudende afvalstoffen (RDF) door kalktoevoeging de vrijkomende HCl te binden.

De wervelbedvergasser kan eveneens een gas produceren dat geschikt is voor krachtopwekking. Zij is bedoeld voor de grotere vermogens ($1-10 \text{ MW}_{\text{th}}$). Fijne afvalstoffen als houtzaagsels en losse RDF kunnen worden vergast.

In Nederland is alleen op pilot-scale ervaring met wervelbedvergassing opgedaan. Apparaatontwikkeling en lange duur beproeving op grotere schaal zijn nodig om de stap naar demonstratiefase mogelijk te maken.

De tegenstroomvergasser levert een sterk verontreinigd gas. Toepassing zal zich dan ook beperken tot ondervuring. Gastransport over grotere afstand is zonder intensieve gasreiniging niet mogelijk.

Dwarsstroomvergassers, toegepast bij tweetrapsverbranding, met een actief stoftransport in de vergasser zelf zijn uit technisch oogpunt bezien ver genoeg ontwikkeld om te functioneren in kleinschalige toe-

passingen met als brandstof afvalhout, RDF als ook kunststoffen en rubbers. Van dit type vergasser lopen thans in Nederland twee demonstratieprojecten.

De relatief lage temperatuur (ca. 600 °C) in de vergassingsreactor kan bij temperatuurgevoelige materialen meer mogelijkheden geven tot hergebruik van de as (zie hergebruik vulmiddel bij vergassing van tapijtafval).

Gezien de produktiekosten van elektriciteit, opgewekt met een vergasser/gasmotorinstallatie, bestaat op economische gronden op dit moment geen motivatie voor het gebruik van een dergelijke installatie. Als op termijn de energieprijzen stijgen of het afvalmateriaal een zekere negatieve waarde heeft, wordt het vergassingsproces voor directe krachtopwekking economisch aantrekkelijk.

De verwervingskosten voor een tweetrapsverbrandingssysteem of voor een conventioneel verbrandingssysteem zijn bij toepassing van verspaand hout globaal gelijk bij een geïnstalleerd vermogen van circa 2 MW.

Milieu-effecten optredend bij de vergassing voor kracht- en warmte-opwekking hoeven geen belemmering voor toepassing met zich mee te brengen. Anderzijds geeft vergassing ook geen significante milieuvoordelen. Wel zullen in het algemeen bij kleine installaties de emissies aan onverbrand (CO, PAK) voor de tweetrapsverbrandingsroute lager zijn dan voor de directe verbrandingsprocessen.

De technisch potentiële gasproduktie uit afvalstoffen door vergassing voor krachtopwekking (eventueel ondervuring) bedraagt ca. 22 PJ per jaar. Daarnaast is voor ondervuring via de tweetrapsverbrandingsroute een gaspotentieel van ca. 21 PJ beschikbaar.

In landen welke redelijk vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie worden op zeer beperkte schaal vergassingprocessen voor biomassa ontwikkeld of toegepast. De toepassing is in Zweden en Finland het verst gevorderd. Dit betreffen tegenstroom- en circulerende wervelbedvergassers voor ondervuring van meestal bestaande oliegestookte ketels voor wijkverwarming. De te vergassen afvalstoffen zijn hout en turf. De hoge

87-215/R.26/JCA

48

vochtigheidsgraad van het verse houtafval ligt op de grens van wat de vergasser nog aan kan.

10. LITERATUUR

- [1] Biomassa Technologie Groep (BTG).
Technische en economische evaluatie van de toepassingsmogelijkheden voor vergassing van afvalhout in Nederland.
Rapport verschijnt circa maart 1988.
- [2] T.B. Reed (ed.).
A Survey of Biomass Gasification: Volume II - Principles of Gasification; Solar Energy Research Institute SERI/TR-33-239 Volume II; Golden, CO, USA, july 1979.
- [3] T.B. Reed (ed.).
A Survey of Gasification:
Volume III - Current Technology and Research Research;
Solar Energy Research Institute SERI/TR-33-239 Volume III;
Golden, CO, USA, april 1980.
- [4] F.G. van der Aarsen, A.A.C.M. Beenackers & W.P.M. van Swaay;
Technologie wervelbedvergassing van kolen en biomassa;
12-Procestechnologie 2 (1986) 9, pp. 35-41.
- [5] M.L. Murphy.
FLuidized Bed Gasification:
A Case History of a 55M BTU/Hour System;
Energy Progress 4 (dec.1984) 4, pp. 196-201.
- [6] J.E. Feustel & M. Leuchs.
Gasification of biomass for Heat and Power Generation;
Energy Progress 2 (dec.1982) 4, pp. 213-216.
- [7] Y. Nagayoshi.
Gasification of municipal solid waste in dual fluidized bed;
Recycling International (Karl J. Thomé-Kozmiensky Herausgeber);
EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1984,
ISBN 3-924511-05-5, pp. 201-206.

- [8] J.P. Brown, P. Pietrogrande, J. Bauer & W. Kaimann.
The KGN Coal-Gasification Process;
Energy Progress 5 (march 1985) 1, pp. 9-14.
- [9] J.J. Hos, A.A.C.M. Beenackers, W.P.M. van Swaay;
Thermische vergassing van afvalstoffen: Voor- en nadelen van
vergassing; PT/Procestechniek 37 (1982) 7, pp. 23-25.
- [10] J.J. Hos, A.A.C.M. Beenackers & W.P.M. van Swaay;
Thermische vergassing van afvalstoffen;
PT/Procestechniek 37 (1982) 8, pp. 63-67.
- [11] J.J. Hos, M.J. Groeneveld & W.P.M. van Swaay;
Thermische vergassing van afvalstoffen: de meestroomgliddend-bedver-
gasser; PT/Procestechniek 37 (1982) 9, pp. 70-75.
- [12] H. Michel-Kim.
Michel-Kim-Verfahren; Pyrolyse von Abfällen
(Karl J. Thomé-Kozmiensky Herausgeber); EF-Verlag für Energie- und
Umwelttechnik GmbH, Berlin 1985, ISBN 3-924511-11-x, pp. 244-243.
- [13] A. Verbeek.
Evaluatie Jülich verbrandingssysteem; TNO-rapport 86-04650;
Apeldoorn, mei 1986; onder contract met Stichting PEO
(no. 24.41-130.10).
- [14] F. Wahl.
Wood gasification in the Friedrich Wahl Sawmill GmbH + Co;
Sorting of household waste and thermal treatment of waste (Edited
by M.P. Ferranti and G.L. Ferrero); Elsevier Applied Science
Publishers Ltd, Barking 1985, ISBN 0-85334-382-9, pp. 369-374.1
- [15] K. Hedden, T. Heike & B.R. Rao.
Erprobung und Optimierung von kommerziellen Biomasse-Vergasern;
BMFT Forschungsbericht 03E-8062-A; december 1986.

- [16] K. Salo & E. Kurkela.

A district heating plant fueled by gas generated from biomass and peat in an updraft gasifier; Technical Research Centre of Finland (VTT), Fuel and Lubrication Research Laboratory, SF-02150 Espoo.

- [17] P. Stahlberg, E. Kurkela & K. Salo.

New alternatives of energy production based on gasification of peat and biomass, 4th European Conference on Biomass and Energy; Orleans, May 1987.

- [18] P. McKeough, E. Kurkela & K. Sipilä.

Thermochemical conversion of peat into gases and liquids: recent developments in Finland; Proceedings Energy from Biomass and Wastes; Washington (D.C.) 1986.

- [19] The Producer Gas Newsletter No. 5/6 - June 1987, pp. 11 and 43.

- [20] K.L. Tuttle.

Review of Biomass Gasification Technology; Progress in Biomass Conversion, Vol. 5, (1984), pp. 263-279.

- [21] F.G. van den Aarsen.

The economics of thermochemical biomass conversion systems for small scale power generation; BioEnergy 84 Conference; Gothenborg, June 1984.

- [22] K. de Koning & J.C. Rip.

Report on a testing programme to ascertain the user's value of a biomass gasification installation manufactured in the Netherlands, BECE 30; IMAG, April 1985, report 71.

- [23] J.J. Hos & W.P.M. van Swaay.

Vergassing van vaste afvalstoffen, Eindrapportage project maf 109, periode 1978-1981, TH Twente.

- [24] W.J. van Nes.

Gassen uit afval - produktie en samenstelling -;
Centrum voor Energiebesparing, december 1985.

[25] R.R.J. ter Rele.

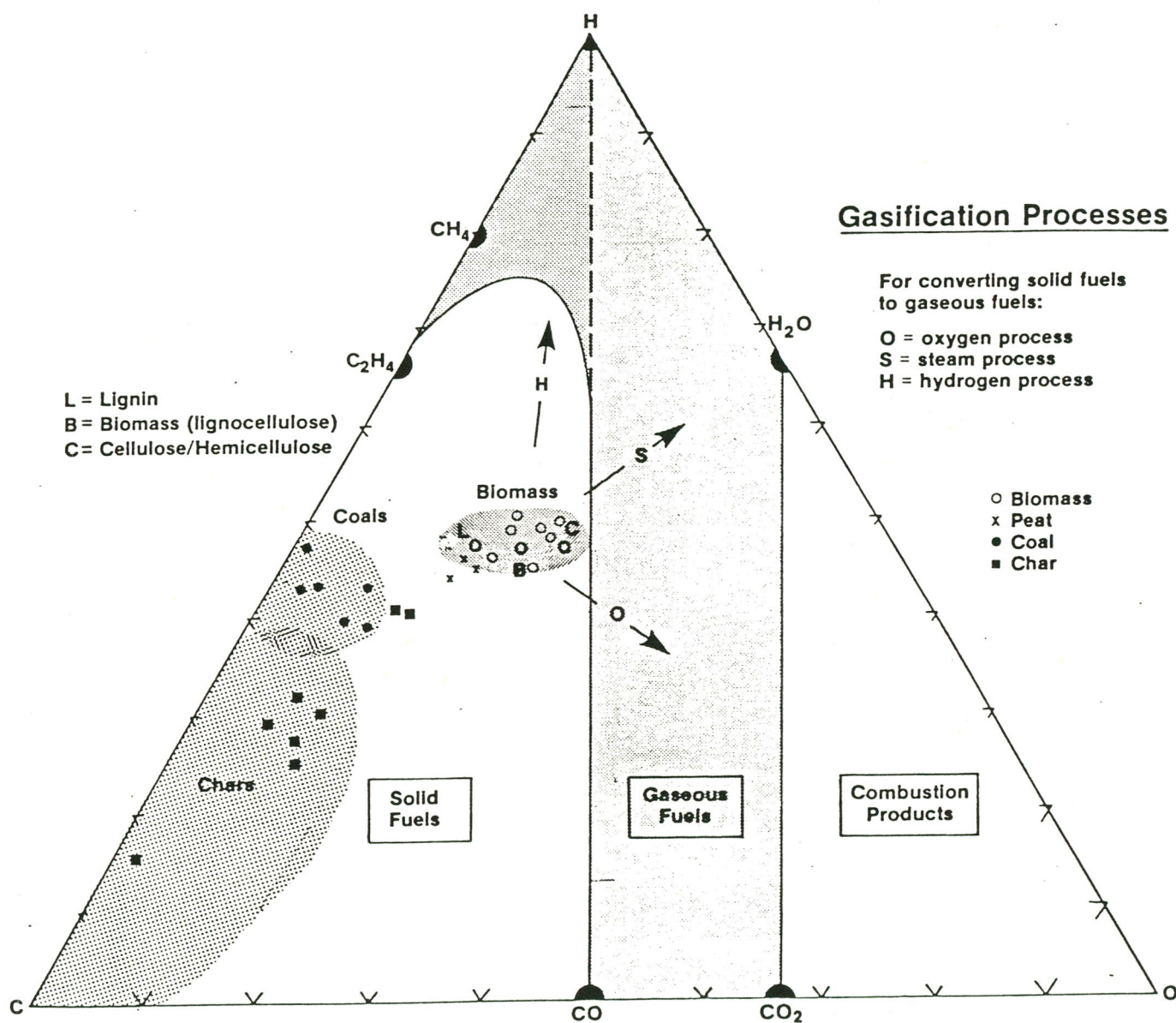
Toepassing van gasvormige brandstoffen van afval in verbrandingsmotoren; Rapport IW-TNO 700360686, maart 1986.

[26] Besluit emissie-eisen stookinstallaties Hinderwet; concept 860714, Ministerie VROM.

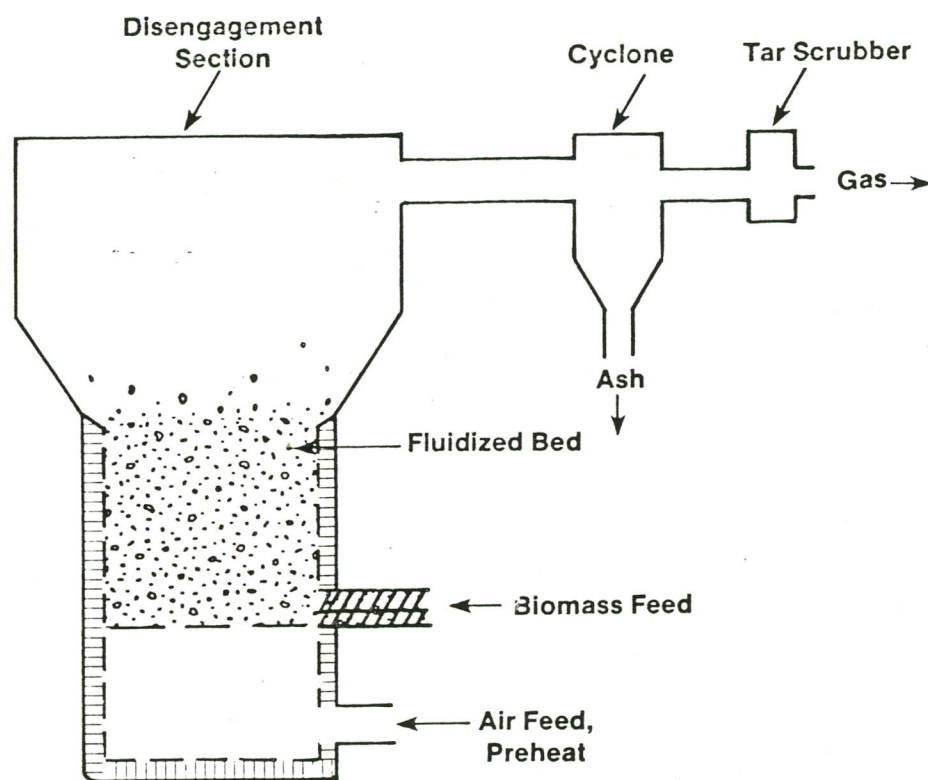
[27] F.G. van den Aarsen.

Fluidised bed wood gasifier, performance and modeling.

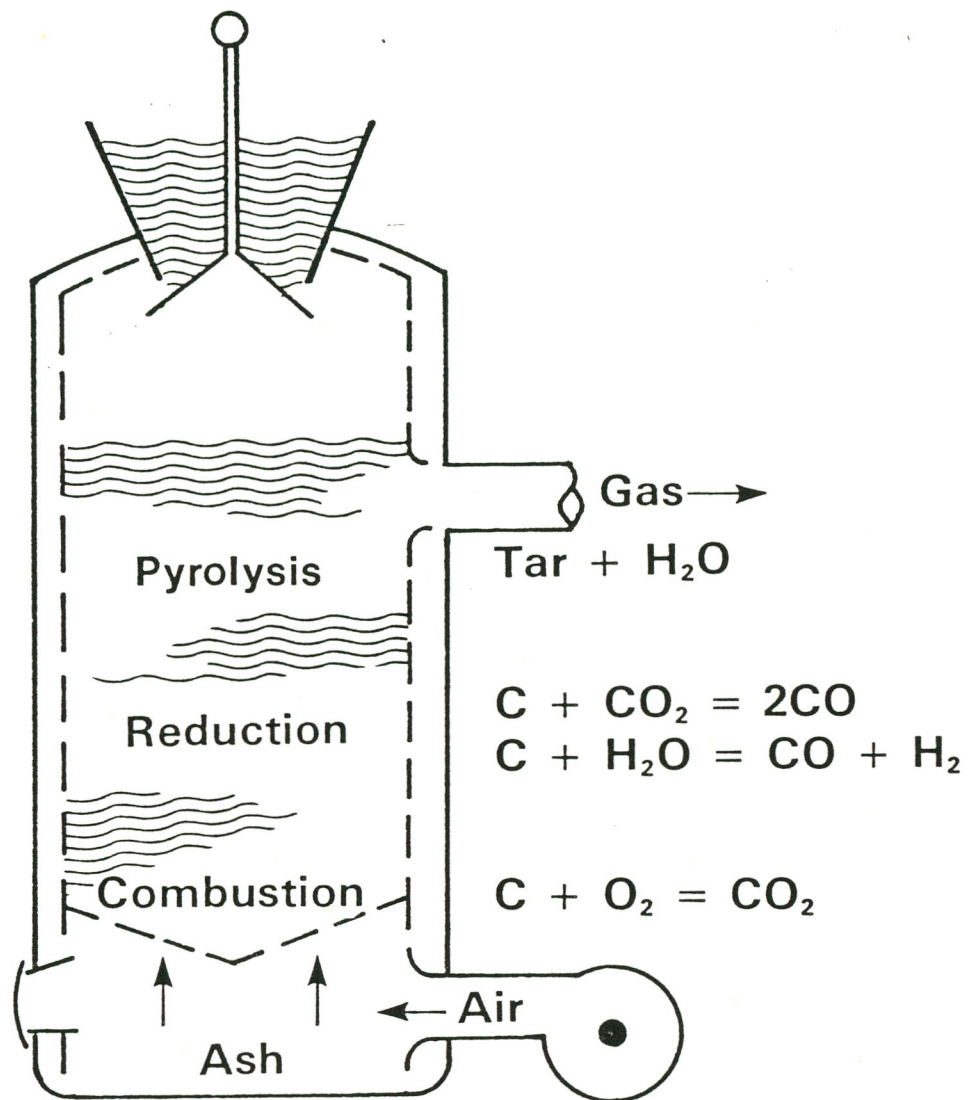
Proefschrift Universiteit Twente, december 1985.



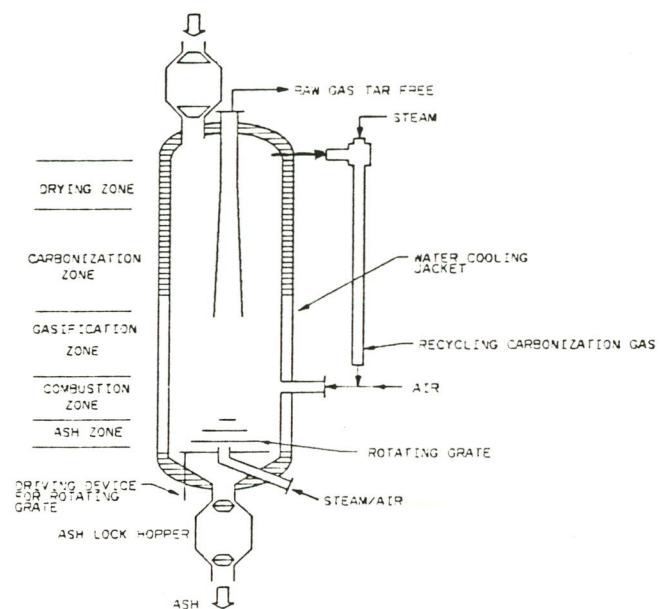
Figuur 1. Chemische veranderingen bij vergassing
 (verduidelijkt aan de hand van een C-H-O fasendiagram)



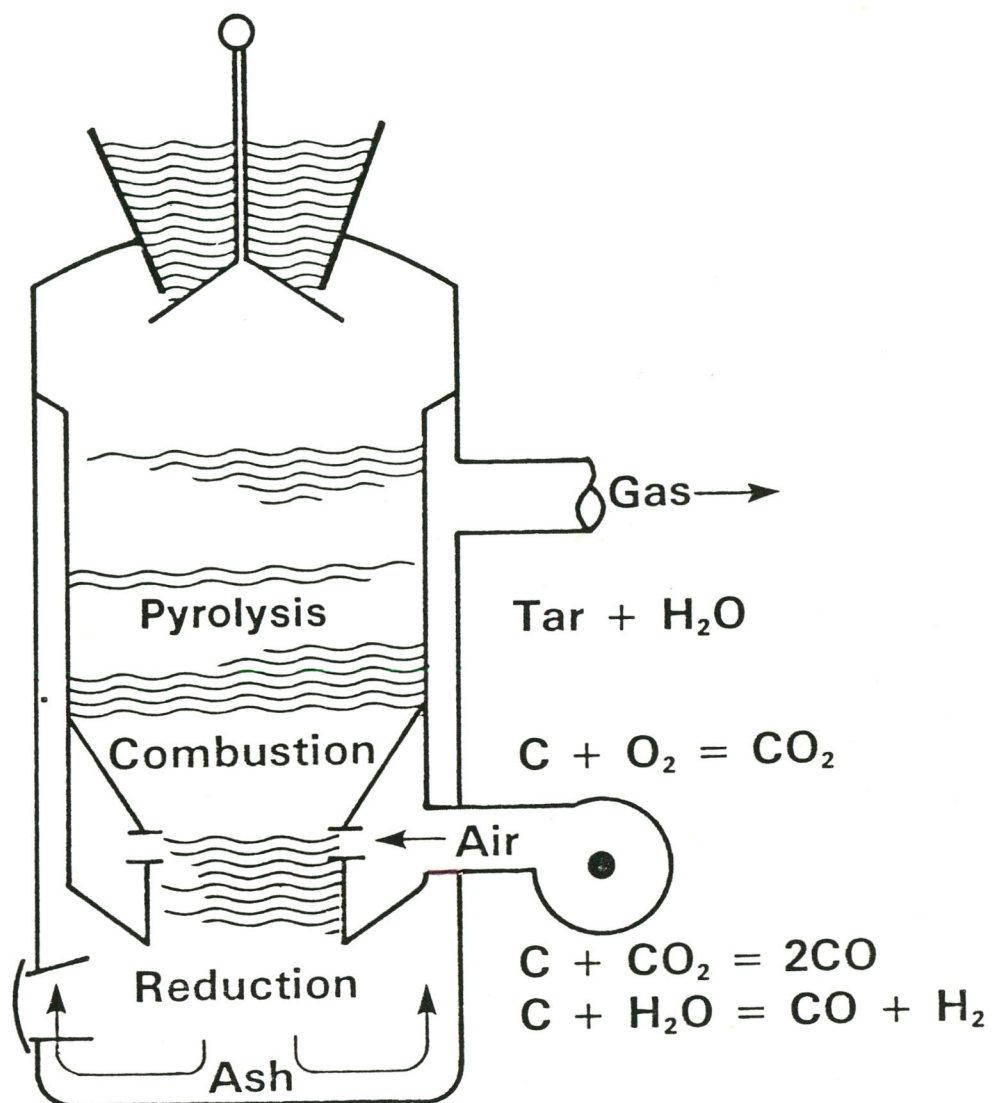
Figuur 2. Een wervelbedvergasser



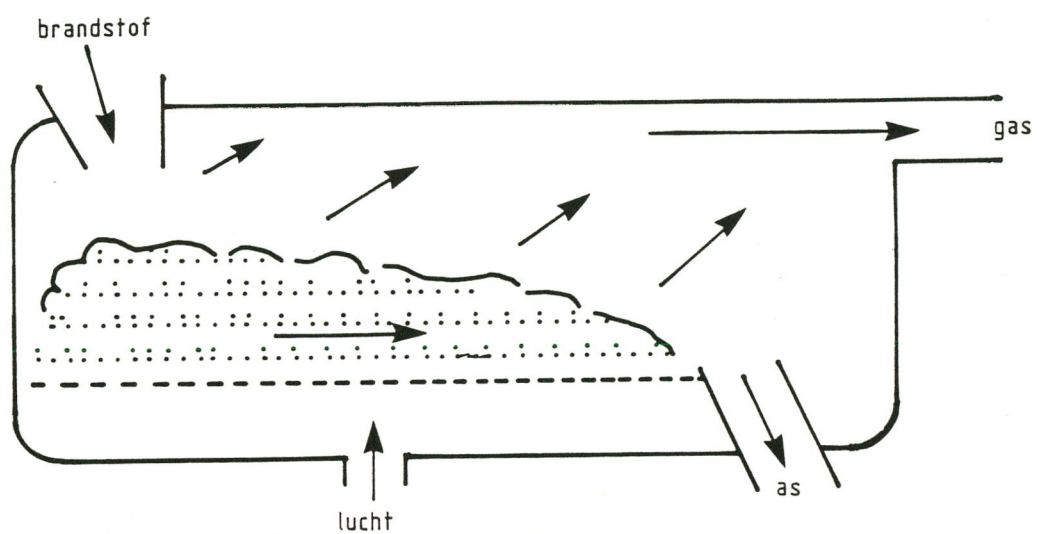
Figuur 3. Een tegenstroomvergasser



Figuur 4. Een gemodificeerde tegenstroomvergasser

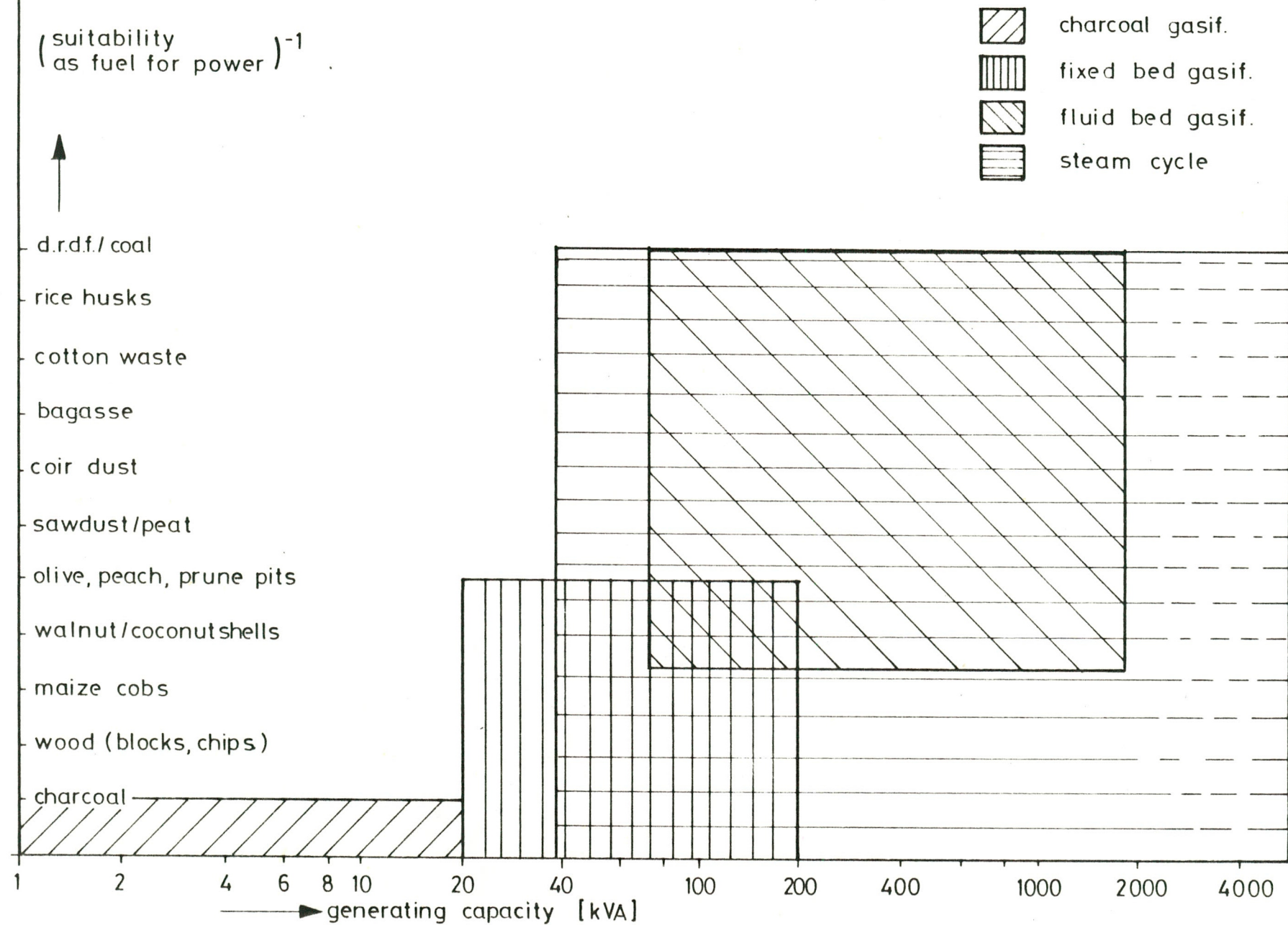


Figuur 5. Een meestroomvergasser

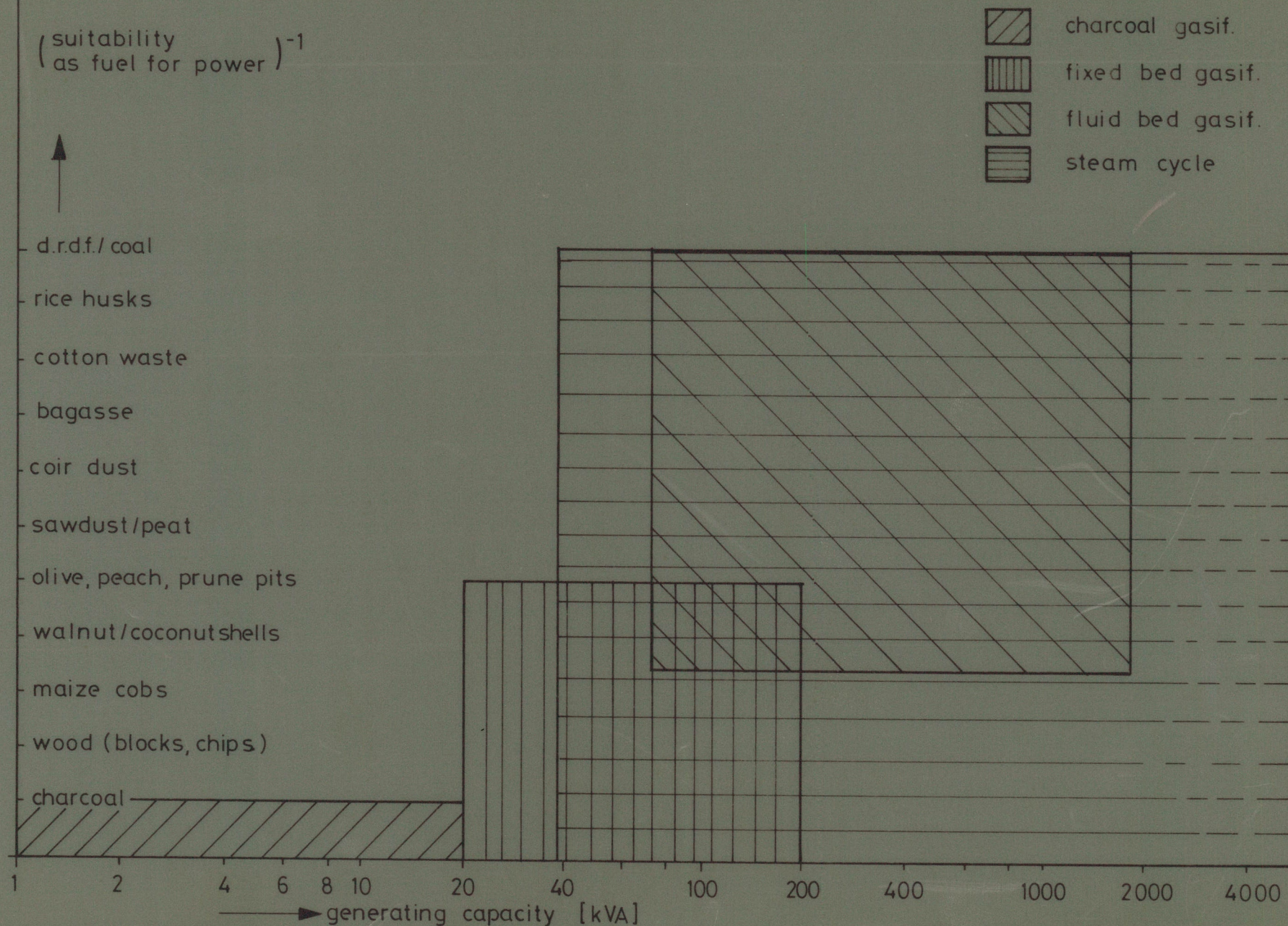


Een dwarsstroomvergasser

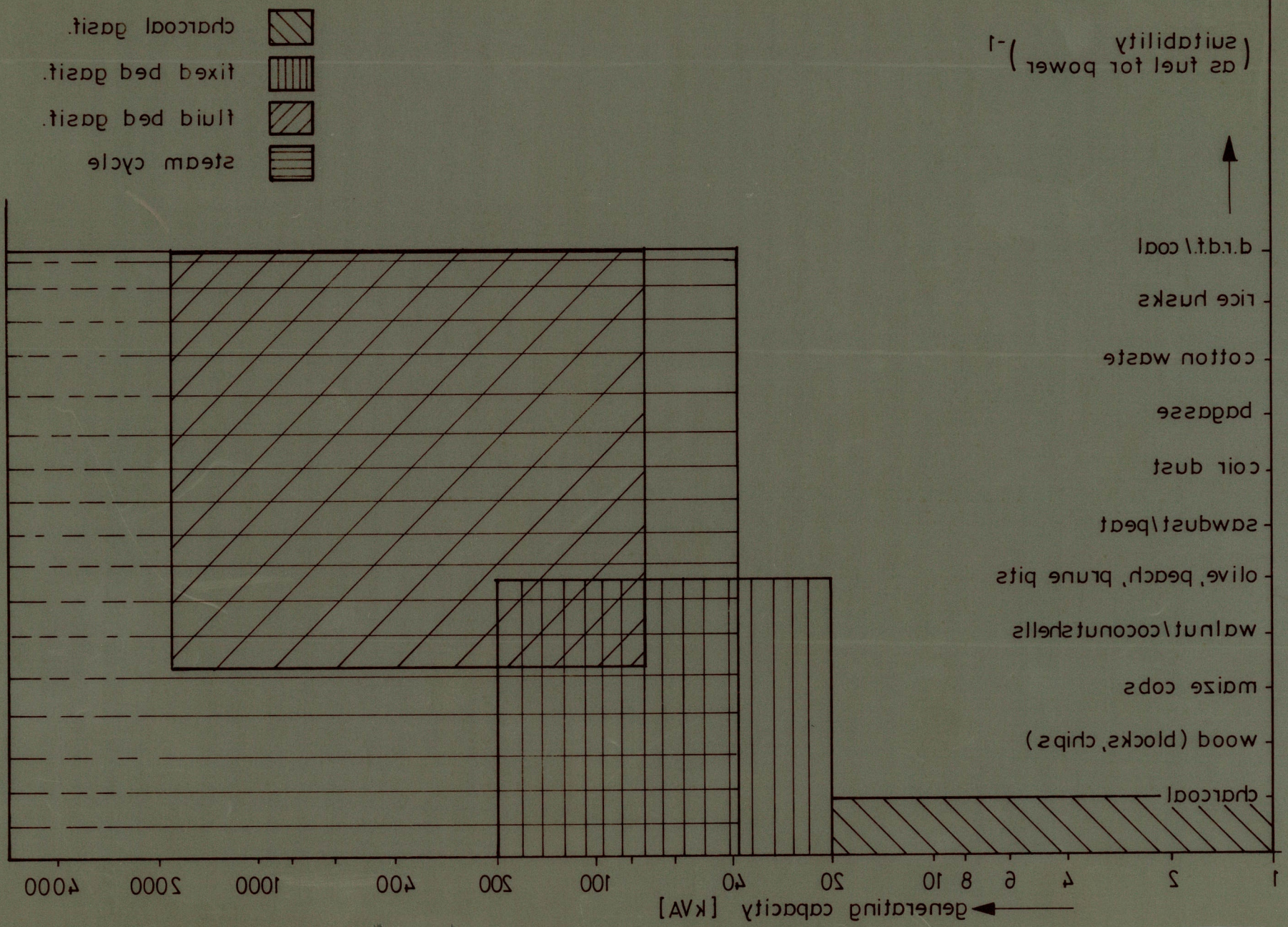
MT-TNO
16386
Fig.6



Figuur 7 Geschiktheid van vergassingssystemen voor diverse biomassa-afvalen [lit. 21]



Figuur 7 Geschiktheid van vergassingsystemen voor diverse biomassa-afvalen [lit. 21]



Figuur 7 Geschiktheid van vergassingsystemen voor diverse biomassa-afvalten [lit. 21]