



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2002/672

**Emissiemetingen bij bio-energiecentrales: toe-
pasbaarheid van buitenlandse data in Nederland**

Datum	november 2002
Auteurs	Ir. P.D.M. de Boer - Meulman Ing. W.F.M. Hesseling
Projectnummer	33850
Trefwoorden	Emissiemetingen Buitenlands meetrapport Bio-energiecentrale Vergunningaanvraag
Bestemd voor	Novem t.a.v. drs. H. Kuypers Postbus 8242 3503 RE Utrecht

Alle rechten voorbehouden.

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

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

Samenvatting

De vergunningverlening blijkt regelmatig een belangrijk knelpunt te zijn voor het opstarten van nieuwe initiatieven voor decentrale opwekking van duurzame energie middels biomassagestookte installaties. Voor het bevoegd gezag is het moeilijk te bepalen of een installatie aan de gestelde emissie-eisen kan voldoen. Er zijn vaak buitenlandse meetrappen van dergelijke installaties beschikbaar, maar het bevoegd gezag heeft vaak problemen met de beoordeling van de waarde van de rapportages van deze emissiemetingen. Ook de toepassing in de Nederlandse situatie is niet eenvoudig en leidt tot vertraging in de procedure.

En als in het kader van de vergunningverlening emissiemetingen worden opgelegd leidt dit meestal tot hoge kosten, terwijl een buitenlands meetrapport kan worden gebruikt zonder dat dit tot extra kosten leidt.

Novem heeft daartoe TNO de opdracht gegeven voor de levering van een document bedoeld voor vergunningverleners (maar ook voor initiatiefnemers) met informatie en methodes om buitenlandse emissiemetingen te kunnen interpreteren. Het doel hiervan is om de vergunningprocedures te versnellen, doordat beslissingen over de noodzakelijkheid van metingen in het kader van de vergunningverlening sneller kunnen worden genomen.

Door TNO is een stappenplan ontwikkeld, waarbij de gebruiker aan de hand van enkele beslisbomen kan bepalen of het buitenlandse meetrapport voldoet aan de gestelde eisen en kan worden gebruikt als referentie voor het nieuwe initiatief, waarvoor de vergunning is aangevraagd. Hierbij zijn aspecten als de brandstof, het proces, de rookgasreiniging, de gebruikte meetmethoden en meetinstanties in ogenschouw genomen.

Het stappenplan bestaat uit 2 hoofdbeslisbomen, één voor thermische processen en één voor vergistingprocessen, waarbij aan de hand van enkele vragen wordt nagegaan of een buitenlands meetrapport kan worden gebruikt. Daarnaast zijn er onderliggende beslisbomen opgesteld, die kunnen worden gebruikt om de vragen uit de hoofdbeslisbomen te beantwoorden. Het stappenplan is overzichtelijk weergegeven, waardoor een relatief snelle beslissing mogelijk is.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	7
1.1	Doelstelling van het project	7
1.2	Opzet van het werkdocument	7
2.	Stappenplan	9
2.1	Uitgangspunten	9
2.2	Indeling stappenplan	9
3.	Achterliggende informatie	13
3.1	Vraag 1 Voorspelbaarheid samenstelling	13
3.2	Vraag 2 Categorie biomassa	14
3.3	Vraag 3 Dezelfde brandstof	15
3.4	Vraag 4 Vochtgehalte	15
3.5	Vraag 5 Emissie-eisen	15
3.6	Vraag 6 Procesomstandigheden	15
3.7	Vraag 7, 8 en 9 Rookgasreiniging	16
3.7.1	Rookgasreinigingstechnieken	16
3.7.2	Beslisbomen rookgasreiniging	18
3.7.3	Stookgasreiniging	30
3.8	Vraag 10 Emissies bij vergisting	30
3.8.1	Algemeen	30
3.8.2	De samenstelling van biogas	31
3.8.3	Emissies	32
3.9	Vraag 11 Meetinstantie en meetmethodes	34
3.9.1	Vraag A Accreditatie meetinstantie	35
3.9.2	Vraag B Accreditatie voor alle verrichtingen	36
3.9.3	Vraag C Procesbeschrijving	37
3.9.4	Vraag D Representatieve bedrijfsomstandigheden	37
3.9.5	Vraag E Monsterneming	38
3.9.6	Vraag F Normen en onzekerheden	38
4.	Resultaten en opmerkingen	41
5.	Lijst met afkortingen	43
6.	Informatiebronnen	45
7.	Verantwoording	47

Bijlage 1	Emissiegrenswaarden
Bijlage 2	Rookgasreiniging
Bijlage 3	Overzicht praktijkwaarden van afwijkingen van foutenbronnen
Bijlage 4	Indicatie van gehanteerde onzekerheden
Bijlage 5	Normen

1. Inleiding

1.1 Doelstelling van het project

Nederland heeft de doelstelling om in 2010 5% van de energie duurzaam op te wekken. De belangrijkste bronnen daarvoor zijn windenergie en energie uit afval en biomassa. De energieopwekking uit afval en biomassa zal voornamelijk plaatsvinden door het meestoken in elektriciteitscentrales, door afvalverbrandingsinstallaties (50%) en door decentrale opwekking middels WKK.

Het is momenteel een zorg bij de overheid of deze doelstelling haalbaar is. Met name de realisatie van kleinschalig bio-energiecentrales blijft achter. Daarom heeft Novem laten onderzoeken waar knelpunten optreden bij initiatieven om bovenstaande doelstelling te kunnen realiseren. Een belangrijk knelpunt blijkt te liggen in het traject van de vergunningverlening voor nieuwe initiatieven. Daarbij treden kostenverhogingen op als gevolg van vertragingen in de vergunningverlening of de verplichte emissiemetingen, terwijl buitenlandse metingen aan dat soort installaties beschikbaar zijn. Deze emissiemetingen blijken voor het vergunning verlenend gezag niet toereikend of betrouwbaar. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het ontbreken van informatie/systematiek om de buitenlandse emissiemetingen te interpreteren.

Novem heeft in het kader van het programma Duurzame Energie (DEN) TNO opdracht gegeven voor de levering van een document bedoeld voor vergunningverleners (maar ook voor initiatiefnemers) met informatie/methodes om de buitenlandse emissiemetingen te kunnen interpreteren. Uiteindelijk is het doel om de vergunningprocedures te versnellen. Dit project is niet bedoeld als stappenplan voor het volledige vergunningverleningstraject, maar richt zich op het al dan niet verplichten van metingen tijdens de vergunningverlening. Het doel van het project is een overzichtelijk stappenplan te ontwikkelen waarmee vergunningverleners eenvoudig buitenlandse meetrappen kunnen interpreteren, waardoor duidelijkheid ontstaat omtrent de vraag of de gegevens uit deze meetrappen kunnen worden gebruikt in de vergunningverlening in plaats van emissiemetingen. Hierdoor zal de procedure voor de besluitvorming omtrent al dan niet meten worden versneld.

Het mogelijke gebruik van een buitenlands meetrapport ter vervanging van metingen geldt alleen voor de emissiemetingen in het kader van de vergunningverlening, voor handhaving zal het indien vereist volgens de voorschriften, toch nodig blijven ter controle emissiemetingen uit te voeren. Dit project beperkt zich tot installaties die 100% biomassa verwerken.

1.2 Opzet van het werkdocument

In dit werkdocument zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven als een stappenplan, dat als steun dient voor vergunningsverleners en initiatiefnemers bij

het vaststellen van de noodzaak van aanvullende metingen in het kader van vergunningverlening.

Hoofdstuk 2 geeft dit stappenplan schematisch weer. Hoofdstuk 3 omschrijft de achtergrondinformatie, waarop dit stappenplan is gebaseerd. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van dit project besproken en worden enkele opmerkingen weergegeven, welke van belang zijn voor de vergunningverlener om het stappenplan goed toe te kunnen passen.

2. Stappenplan

2.1 Uitgangspunten

Het ontwikkelde stappenplan is opgebouwd uit 2 hoofdbeslisbomen. Door het stappenplan consequent toe te passen kan de vergunningverlenende instantie per component bepalen of metingen tijdens proefbedrijf al dan niet nodig zijn. Hierdoor is het mogelijk dat voor een beperkt aantal componenten alsnog een meting moet worden uitgevoerd, terwijl dit voor andere niet nodig is.

Om dit stappenplan te kunnen gebruiken, moet de vergunningverlener over de volgende informatie beschikken:

1. Gegevens initiatief (merk en type installatie, capaciteit, procescondities)
2. Gegevens brandstof (categorie, samenstelling)
3. Gegevens buitenlands meetrapport (meetinstantie, meetnormen, gebruikte brandstof)
4. Emissie-eisen voor het voorgenomen initiatief (welke componenten en welke grenswaarden).

In de circulaire voor emissie-eisen voor energie uit biomassa (Circulaire van VROM KV12002023389: Emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval) wordt onderscheid gemaakt in twee categorieën: een witte lijst en een gele lijst. Bij deze twee lijsten worden vervolgens emissiegrenswaarden gegeven voor verschillende componenten. De vergunningverlener kan echter tevens andere of aanvullende eisen opleggen (met inachtneming van de algemene beginselen van behoorlijk bestuur). De beslisbomen zijn daarom niet alleen opgesteld voor de richtlijnen, maar zijn tevens toepasbaar voor andere of extra eisen. Dit project beperkt zich tot de componenten zoals genoemd in de emissierichtlijnen voor biomassa (VROM KV12002023389). Voordat de beslisbomen kunnen worden gebruikt, moet worden vastgesteld welke emissie-eisen worden opgelegd. In bijlage 1 is een overzicht gegeven van de Nederlandse emissiegrenswaarden, de Europese eisen en grenswaarden van enkele Europese landen.

2.2 Indeling stappenplan

In dit hoofdstuk is het stappenplan schematisch weergegeven. Het stappenplan bestaat uit twee hoofdbeslisbomen, één voor verbranding en vergassing en één voor de vergisting van biomassa. Er is voor gekozen om voor vergisting een aparte beslisboom op te zetten, omdat hierbij andere procesomstandigheden en criteria een belangrijke rol spelen dan bij verbranding of vergassing.

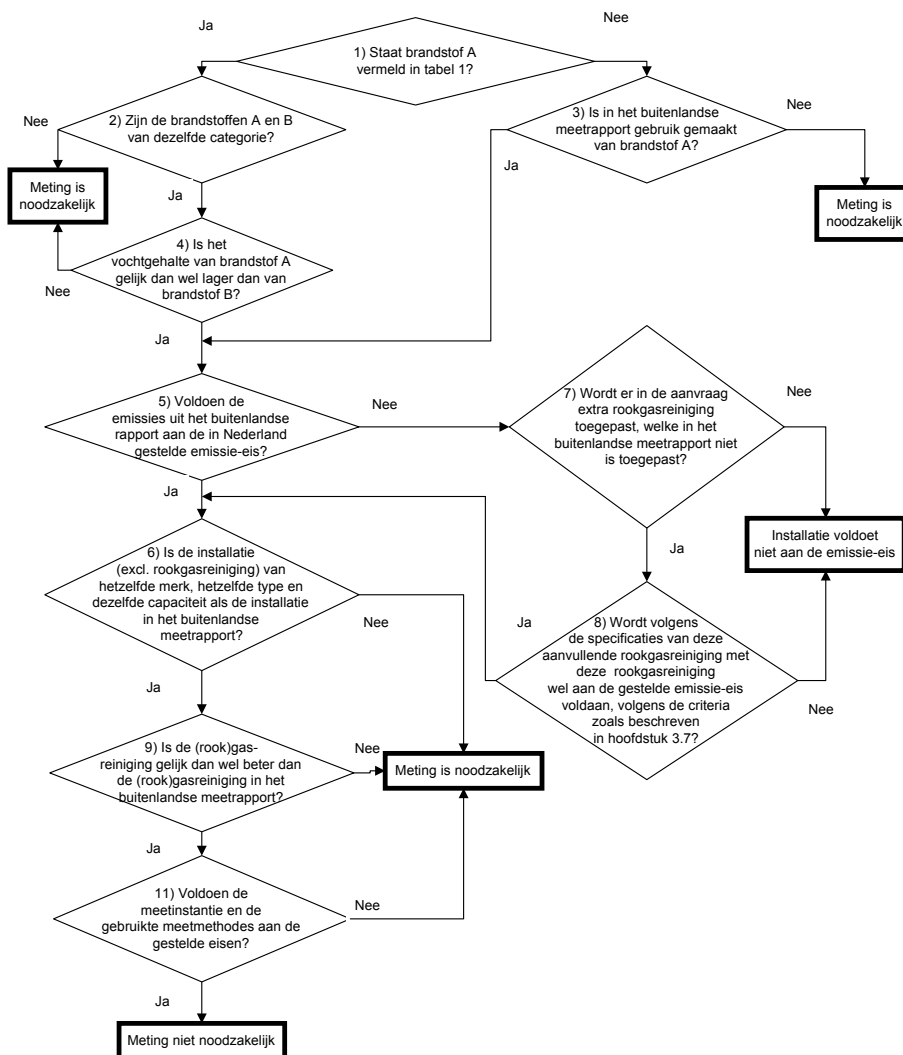
In het stappenplan wordt op verschillende plaatsen verwezen naar hoofdstuk 3 van dit rapport. In dit hoofdstuk is de achterliggende informatie voor de beslisbomen

weergegeven en is een toelichting gegeven bij de verschillende vragen uit de beslisbomen. De vragen in de hoofdbeslisbomen zijn genummerd, de nummers corresponderen met de subhoofdstukken in hoofdstuk 3.

In de hoofdbeslisbomen wordt gesproken over voeding/brandstof A en B. Voeding A is de Aangevraagde voeding, dit is de voeding zoals gebruikt in het Nederlandse initiatief, waarvoor vergunning wordt aangevraagd. Voeding B is de voeding uit het Buitenlandse meetrapport.

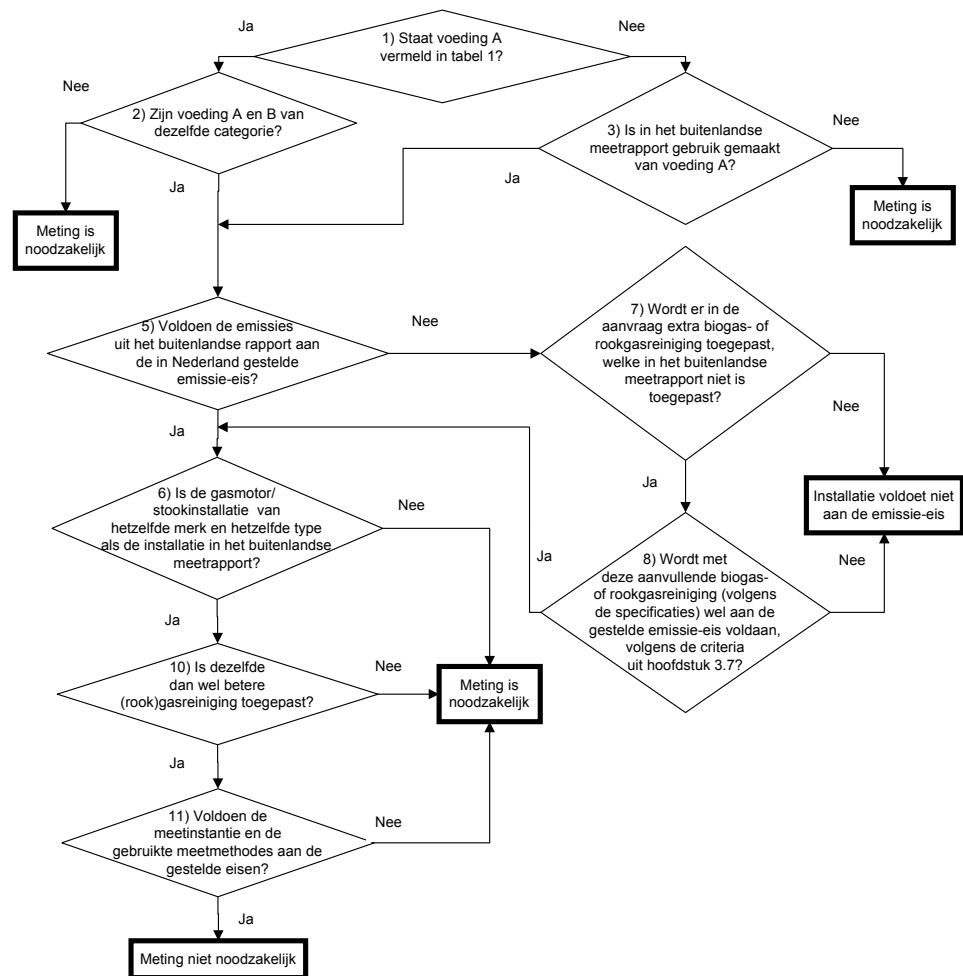
Figuur 1 Hoofdbeslisboom 1: keuzeschema voor de thermische processen (verbranding en vergassing).

- Brandstof A = de Aangevraagde brandstof, zoals aangegeven in de vergunningaanvraag
- Brandstof B = de brandstof uit het Buitenlandse meetrapport



Figuur 2 Hoofdbeslisboom 2: keuzeschema voor vergisting.

- Voeding A = de Aangevraagde voeding, dit is de voeding zoals aangegeven in de vergunningaanvraag
- Voeding B = de voeding uit het Buitenlandse meetrapport



3. Achterliggende informatie

Dit hoofdstuk bevat achtergrondinformatie bij het stappenplan uit hoofdstuk 2. De vragen in de beslissbomen in hoofdstuk 2 zijn genummerd. In dit hoofdstuk wordt terugverwezen naar deze vragen.

3.1 Vraag 1 Voorspelbaarheid samenstelling

Deze vraag betreft de voorspelbaarheid van de samenstelling van de brandstof. Als een buitenlands meetrapport wordt gebruikt, moet het aannemelijk zijn dat de samenstelling van de brandstof in het nieuwe initiatief gelijk is aan de samenstelling van de brandstof uit het buitenlandse meetrapport. Indien een chemische samenstelling van de beide brandstoffen (de brandstof uit het meetrapport en de brandstof voor het initiatief) bekend is, is een vergelijking mogelijk. Aan de hand van deze samenstellingen kan worden vastgesteld of de brandstoffen vergelijkbaar zijn of dat grote afwijkingen tussen de samenstellingen voorkomen.

Als deze vergelijking van samenstellingen niet mogelijk is op basis van chemische analyses, kan vaak op basis van de herkomst van een biomassoort worden aangenomen dat deze samenstellingen ongeveer gelijk zijn. Het is bijvoorbeeld niet waarschijnlijk dat beukenhout uit Oostenrijk sterk afwijkt in samenstelling van beukenhout uit Nederland. Het is bekend en aannemelijk dat beukenhout altijd ongeveer dezelfde samenstelling heeft en daarmee goed vergelijkbaar is. Dit geldt bijvoorbeeld niet voor mest. Kippenmest in Engeland heeft niet dezelfde samenstelling als kippenmest in Nederland, hierdoor is de samenstelling van kippenmest niet goed voorspelbaar. Hieruit blijkt dat slechts voor een beperkt aantal soorten biomassa de herkomst van de biomassa (het type biomassa) voldoende is om een betrouwbare voorspelling over de samenstelling te doen. Hierbij spelen twee criteria een rol:

- Betreft het biomassa van dezelfde soort?
- Betreft het hetzelfde onderdeel van de plant of boom?

Tabel 1 geeft een overzicht van brandstoffen waarvoor de samenstelling (welke voor belang is voor de emissies) een goede voorspelbaarheid heeft.

Tabel 1 Biomassa met een voorspelbare samenstelling.

Biomassa met een voorspelbare samenstelling	
Hardhout (puur hout zonder bast)	Stro van granen
Hardhout (puur bast)	Gras
Hardhout (mengsel van hout en bast)	Graankorrels
Zachthout (puur hout zonder bast)	Rijstkaf
Zachthout (puur bast)	Olifantsgras (miscanthus)
Zachthout (mengsel van hout en bast)	Olijvenpitten
Loofafval	

Deze lijst is niet uitputtend en er zijn biomassasoorten die twijfelachtig en discutabel zijn, maar van de in de tabel genoemde biomassasoorten is met zekerheid te stellen dat deze hier thuishoren. Deze lijst kan voor een vergunningverlener als handvat worden gebruikt om de biomassa in te delen.

Een zeer bruikbare richtlijn is de volgende:

1. Biomassa genoemd in tabel 1, vertoont weinig variaties in samenstelling. Hiervoor kan worden aangenomen dat deze biomassa een voorspelbare samenstelling heeft.
2. Biomassa die niet is vermeld in tabel 1, heeft niet vanzelfsprekend dezelfde samenstelling. Hier spelen vervuilingen een grotere rol, waardoor tevens verschillen in de samenstelling worden veroorzaakt. Van deze biomassa kan dus niet worden aangenomen dat de samenstelling geen aanzienlijke afwijkingen vertoont. Als een initiatiefnemer toch een buitenlands rapport wil gebruiken in de vergunningverlening i.p.v. een meting, zal hij aannemelijk moeten maken dat de samenstelling van de brandstof niet of nauwelijks verschilt. Dit kan bijvoorbeeld via een chemische analyse van beide voedingen. Voor de componenten waarbij dit het geval is, is het buitenlandse rapport dan alsnog bruikbaar.

Wel moet rekening worden gehouden met variaties in de samenstelling. Dit valt echter onder de handhaving van de emissie-eisen.

3.2 Vraag 2 Categorie biomassa

Bij de vraag of de biomassa van dezelfde categorie is, moeten de twee volgende vragen worden beantwoord:

- Zijn de voeding/brandstof uit de aanvraag en de voeding/brandstof uit het buitenlandse meetrapport van dezelfde soort en dezelfde afkomst/herkomst?
- Heeft de brandstof dezelfde morfologie (bijvoorbeeld gaat het in beide gevallen om houtsnippers of stukhout of houtmot)

Deze vraag hoeft alleen te worden beantwoord als vraag 1 met “ja” is beantwoord. Het gaat hierbij altijd om een brandstof uit tabel 1. Alle biomassasoorten uit tabel 1 zijn van dezelfde afkomst. Er wordt bijvoorbeeld loofhout genoemd. Loofhout heeft dezelfde afkomst, hierbij kan het gaan om loofhout uit Oostenrijk of om loofhout uit Nederland, het behoort beide tot de categorie “loofhout”. Wel moet nog worden gecontroleerd of de morfologie ook hetzelfde is, bijvoorbeeld of het in beide gevallen om houtsnippers of om houtblokken gaat. Als in beide gevallen gebruik wordt gemaakt van houtsnippers van loofhout, kan worden gesteld dat deze brandstoffen van dezelfde categorie zijn.

3.3 Vraag 3 Dezelfde brandstof

Het kan tevens het geval zijn dat dezelfde voeding is gebruikt in het buitenlandse meetrapport als in het initiatief, bijvoorbeeld omdat brandstof A naar het buitenland is verstuurd voor een test. In dat geval kan met zekerheid worden vastgesteld dat de samenstelling gelijk was.

3.4 Vraag 4 Vochtgehalte

Vraag 4 heeft alleen betrekking op thermische processen. Er wordt gevraagd of het vochtgehalte van de brandstof A lager dan wel gelijk is dan het vochtgehalte van de buitenlandse brandstof. Hiermee kan worden afgeschat of een volledige verbranding plaatsvindt. Een hoger vochtgehalte kan het thermische proces ongunstig beïnvloeden, waardoor hogere emissies kunnen ontstaan. Van belang is dat de vochtgehaltes zijn bepaald op dezelfde basis, zodat een vergelijking van de vochtgehaltes mogelijk is.

Na vraag 1 t/m 4 kan resumerend over de brandstof worden gesteld:

- Brandstoffen genoemd in tabel 1 hebben een voorspelbare samenstelling
- Brandstoffen van “dezelfde categorie” zijn van dezelfde afkomst/herkomst en hebben dezelfde morfologie.
- Er is sprake van “dezelfde brandstof” als de brandstof van het Nederlandse initiatief naar de buitenlandse installatie is vervoerd om daar te worden verwerkt.
- Het vochtgehalte wordt gecontroleerd als indicatie voor een volledige verbranding.

3.5 Vraag 5 Emissie-eisen

Bij vraag 5 worden de emissies vergeleken met de gestelde emissie-eisen. Het is belangrijk erop te letten dat de emissies worden vergeleken bij dezelfde percentages zuurstof in de rookgassen en dat de meting betrokken is op zogenaamde normaal condities (d.w.z. droog rookgas, een temperatuur van 0°C en een druk van 1013 mbar).

3.6 Vraag 6 Procesomstandigheden

Het stappenplan uit dit rapport is opgesteld voor een drietal processorten voor energieopwekking uit biomassa, namelijk verbranden, vergassen en vergisten. Per proces zijn er andere factoren die van invloed zijn op de emissies, zoals luchtvochtigheid, schaalgrootte, temperatuur, regeling en beveiligingen. Indien deze factoren van het proces afwijken van het aanverwante proces in het buitenland waarvan de

emissiemetingen beschikbaar zijn, is het proces niet vergelijkbaar en zal dit aanleiding zijn alsnog metingen uit te laten voeren.

Voor thermische processen is het van belang dat het merk, het type en de capaciteit van de installatie (exclusief rookgasreiniging) gelijk zijn. Hiermee zijn een groot aantal procesomstandigheden al gegarandeerd hetzelfde.

Voor vergistinginstallaties is het niet van belang dat de installatie van hetzelfde merk of type is, hier spelen andere factoren zoals pH en temperatuur een belangrijker rol. Wel moet de gasmotor of stookinstallatie van hetzelfde merk en type zijn, daarom is dit criterium voor vergistinginstallaties opgenomen.

3.7 Vraag 7, 8 en 9 Rookgasreiniging

Voor het voorspellen van de emissies uit een bio-energiecentrale, is de gebruikte stook/rookgasreiniging van groot belang. De vragen 7, 8 en 9 gaan over de gebruikte gasreinigingstechnieken. In paragraaf 3.7.1 worden veel gebruikte rookgasreinigingsmethoden besproken. Een uitgebreidere beschrijving staat in bijlage 2. Vervolgens zijn in paragraaf 3.7.2 de reinigingstechnieken per component beschreven. Deze vragen moeten per component worden beantwoord. In paragraaf 3.7.2 zijn per component beslisbomen opgesteld, welke moeten worden doorlopen om de vragen over rookgasreiniging uit de hoofdbeslisbomen te beantwoorden. In paragraaf 3.7.3 wordt kort ingegaan op stookgasreiniging.

Het is theoretisch mogelijk dat in het buitenland betere rookgasreiniging is toegepast dan in Nederland, waardoor de emissies uit het buitenlandse meetrapport ruim onder de Nederlandse eis komen. Aan de hand van specificaties van de leverancier kan een initiatiefnemer dan aantonen dat het aannemelijk is dat het Nederlandse initiatief toch aan de Nederlandse norm voldoet, ook al wordt in Nederland minder goede rookgasreiniging toegepast. Dit is echter in het stappenplan niet meegenomen. Voor deze optie geeft het stappenplan weer dat een meting noodzakelijk is, omdat de stand der techniek verder is dan het Nederlandse initiatief gaat gebruiken.

3.7.1 Rookgasreinigingstechnieken

Op basis van de vergelijking van bio-energiecentrales met afvalverbrandingsinstallaties en elektriciteitscentrales, worden de volgende reinigungsstappen als meest relevant gezien bij de rookgasreiniging van bio-energiecentrales:

- Verwijdering van stof en hierin aanwezige zware metalen: elektrofilter of doekenfilter;
- Verwijdering van zure componenten: 2-traps nat wassysteem of injectie van kalk vóór het doekenfilter;
- Verwijdering van gasvormige zware metalen en dioxinen/furanen: een kool adsorptiesysteem (meestal koolinjectie plus doekenfilter of een koolbed);

- CO en VOS verwijdering vindt meestal tegelijkertijd plaats in één van de voorgaande stappen (of thermische naverbranding);
- NOx verwijdering: een katalytisch of niet-katalytisch DeNOx-systeem.

Hierbij dient bedacht te worden, dat het vóór toepassing van een bepaalde reinigingstrap nodig kan zijn dat de rookgassen eerst verwarmd dan wel gekoeld moeten worden om de voor deze trap vereiste bedrijfstemperatuur te verkrijgen.

De bovengenoemde reinigingsstappen worden in bijlage 2 nader toegelicht. Onderstaande tabel geeft een overzicht van nageschakelde gasreinigingstechnieken weer.

Tabel 2 Toepasbare reinigingstechnieken voor de in Nederland gestelde eisen.

Emissie	Emissie-Grenswaarde	0,5*Emissiegrenswaarde	Toepasbare en effectieve nageschakelde emissiereductietechniek als de aangegeven concentratie (in mg/Nm ³ bij 11% O ₂) aan de ingang ervan lager is dan de hier opgenomen waarde.							
	[mg/Nm ³] (bij 11% O ₂)	[mg/Nm ³] (bij 11% O ₂)	Elektro-filter	Doeken filter	Wasser	Gepakt bed	TNV	Katox	SCR	SNCR
Stof	5	2,5	500	5000	50					
SO ₂	40	20		200	200	2500				
				(kalk)	(2-traps)	(kalk)				
HCl	10	5		1000	1000	10000				
				(kalk)	(basisch)	(kalk)				
HF	1	0,5		1000	1000	10000				
				(kalk)	(basisch)	(kalk)				
Som ZM (zware metalen)	0,5	0,25		5		10				
				(kalk / kool)		(kool)				
Cd + Tl	0,05	0,025		0,5		1				
				(kalk / kool)		(kool)				
Hg	0,05	0,025		0,5		1				
				(kool)		(kool)				
VOS	50	25		250		10000	10000	1000		
				(kool)		(kool)				
CO	50	25					1000	1000		
PCDD/ PCDF	0,1 (ngTEQ)	0,05 (ngTEQ)		5 ng-TEQ (kool)		10 ng-TEQ (kool)		1 ng-TEQ		
NO _x	70 / 130	35 / 65							700 / 1300	200 / 400

Tabel 2 geeft aan hoe hoog de concentratie van de verschillende componenten in de rookgassen vóór de rookgasreiniging maximaal mag zijn om normaal gesproken toch aan de gestelde emissie-eisen te kunnen voldoen. Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het dus nodig de concentratie van de betreffende component in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen.

In tabel 2 is ervan uitgegaan dat de behaalde emissie lager moet zijn dan 0,5 * emissiegrenswaarde. Deze richtlijn is ingevoerd om zekerheid in te bouwen en in

geval van twijfel toch metingen op te leggen. Tabel 2 wordt immers alleen gebruikt als er andere rookgasreiniging wordt toegepast dan in het buitenlandse meetrapport. Wel moet hierbij worden opgemerkt dat de onzekerheden in de verwijderingrendementen groot zijn, waardoor deze zwaarder kunnen wegen dan de correctiefactor van 0,5.

Voor stofreiniging is bijvoorbeeld onderscheid gemaakt in doekenfilters en elektrofilters. Als de concentratie van de “ongereinigde gasstroom” onder de 500 mg/Nm^3 ligt is een elektrofilter genoeg, als deze concentratie tussen de 500 en 5000 mg/Nm^3 ligt is een doekenfilter voldoende, bij hogere concentraties moet altijd worden gemeten.

3.7.2 Beslisbomen rookgasreiniging

Voor de verschillende componenten is een beslisboom opgesteld, waarmee kan worden bepaald of de gebruikte rookgasreiniging goed genoeg is.

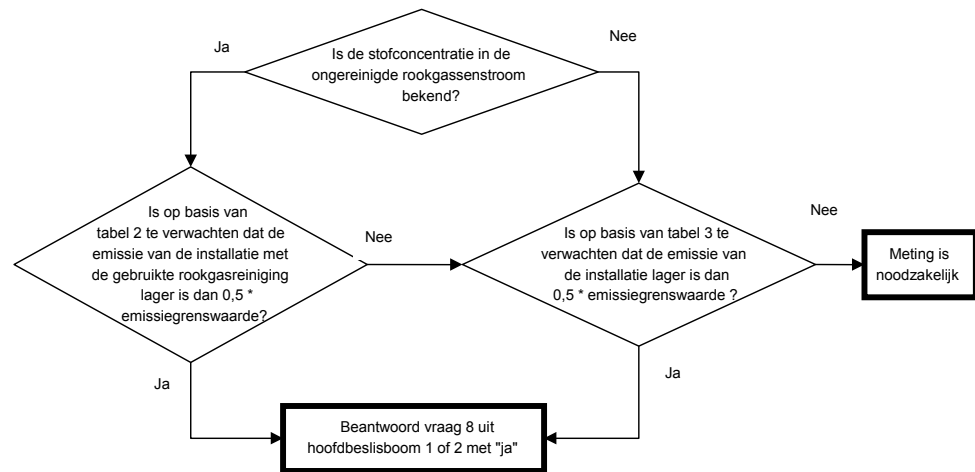
Met concentratie wordt in de beslisbomen de concentratie van de betreffende verontreiniging bedoeld aan de ingang van de rookgasreiniginginstallatie in mg/Nm^3 .

Deze beslisbomen worden slechts doorlopen voor die componenten, waarvoor de emissie in het meetrapport hoger is dan de in Nederland geldende grenswaarde. Als dit voor meerdere componenten het geval is, zullen meerdere beslisbomen moeten worden ingevuld. In dat geval wordt per component bepaald of vraag 8 met “ja” kan worden beantwoord. Als voor één of meerdere componenten het antwoord op vraag 8 “nee” is, zal voor deze componenten meting noodzakelijk zijn. Voor de overige componenten kan dan alsnog worden verder gegaan met hoofdbeslisboom 1 of 2.

Een toelichting op de genoemde rookgasreinigingstechnieken is weergegeven in bijlage 2.

3.7.2.1 Stof

Figuur 3 Beslisboom voor reiniging van stof.



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van stof in de gasstroom voor de rookgasreinigingsinstallatie te kennen.

In het geval dat bij metingen in het buitenland niet aan de Nederlandse emissie-eisen wordt voldaan, maar dat bekend is dat in Nederland andere rookgasreiniging zal worden toegepast, kan op basis van tabel 3 worden afgeschat of het aannemelijk is dat met deze andere rookgasreiniging wel aan de emissie-eis zal worden voldaan.

Tabel 3 Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende stofreinigingstechnieken.

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Cycloon	40
Multicycloon	65
Roterende deeltjesscheider	80
Wasser	95
Elektrofilter	90 - 99,5 (90% per veld)
Doekenfilter	99,9

Deze tabel geeft slechts indicaties, onder meer omdat de verwijderingsrendementen sterk afhankelijk zijn van de deeltjesgrootteverdeling en de concentratie stof in de rookgassen.

Als hieruit volgt dat de installatie ruim onder de emissie-eis blijft, is meting niet noodzakelijk. Als indicatie kan worden gebruikt dat de behaalde emissie 50% of meer onder de emissie-eis blijft. Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 3.

Dit kan worden berekend met de volgende formule:

$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie-eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging.
Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport.
Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Voorbeeld:

Er is een buitenlands meetrapport beschikbaar van een installatie met een multicycloon. Deze installatie heeft een stofemissie van 70 mg/Nm³ bij 11% O₂. De opgelegde emissie-eis in Nederland is 10 mg/Nm³. In Nederland wordt een doekenfilter toegepast.

Indicatie van de behaalde stofemissie:

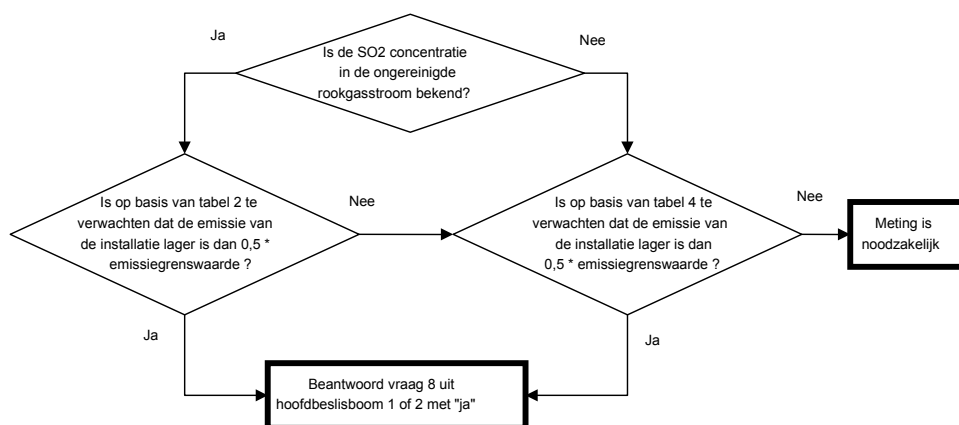
$$\text{emissie} = \frac{(100 - \text{rendement doekenfilter})}{(100 - \text{rendement multicycloon})} * \text{emissie buitenlandse rapport}$$

$$\text{emissie} = \frac{100 - 99,5}{100 - 65} * 70 = 1,0$$

De emissie-eis is 10 mg/Nm³. Omdat de berekende emissie onder de waarde van 0,5 * eis ligt (dus 5 mg/Nm³) is het reëel aan te nemen dat deze installatie aan de gestelde eis zal voldoen. Meting is daarom niet noodzakelijk.

3.7.2.2 SO₂

Figuur 4 Beslisboom voor reiniging van SO₂.



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van SO₂ in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 4 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 4 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 4 *Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende SO₂- reinigingstechnieken.*

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Doekenfilter met toeslagstof	90%
2-traps wasser	90%
Gepakt bed met kalk	99%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

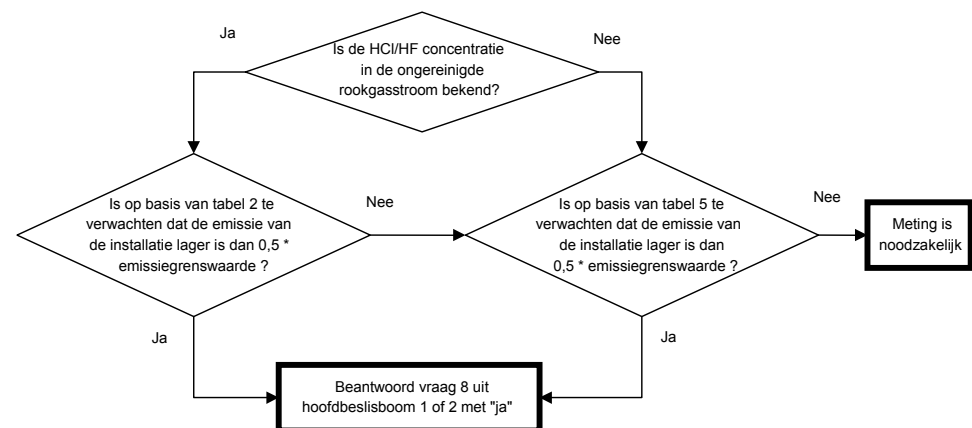
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 4.

3.7.2.3 HCl/HF

Figuur 5 *Beslisboom voor reiniging van HCl en HF.*



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van HCl en HF in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 5 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 5 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 5 *Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor HCl en HF.*

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Basische wasser	99,5%
Basische toeslagstof voor doekenfilter	99,5%
Basische toeslagstof in gepakt bed	99,9%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

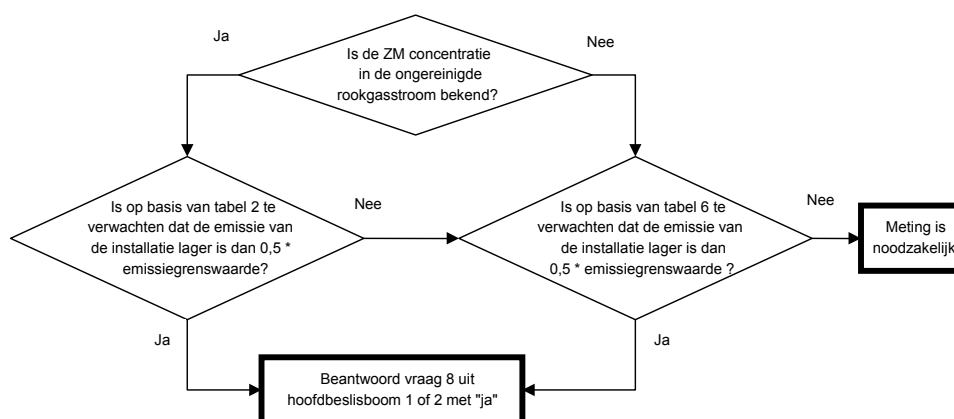
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 5.

3.7.2.4 Som ZM (zware metalen)

Figuur 6 *Beslisboom voor reiniging van zware metalen.*



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van de zware/giftige metalen (Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V) in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 6 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 6 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 6 *Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor zware metalen.*

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Kalk als toeslagstof met doekenfilter	90%
Kool als toeslagstof met doekenfilter	95%
Actieve kool in gepakt bed	97%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

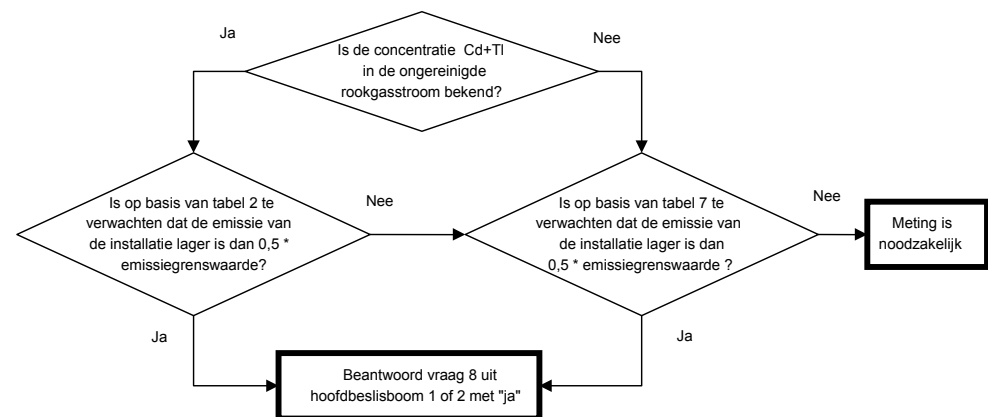
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie-eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 6.

3.7.2.5 Cd + Tl

Figuur 7 *Beslisboom voor reiniging van Cd+Tl.*



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van Cd + Tl in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 7 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 7 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 7 *Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor cadmium en thallium.*

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Kalk als toeslagstof met doekenfilter	90%
kool als toeslagstof met doekenfilter	95%
Actieve kool in gepakt bed	97%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

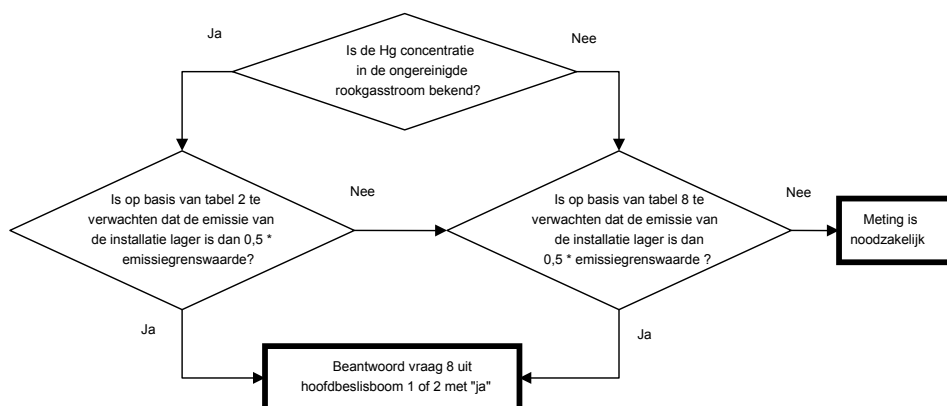
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 7.

3.7.2.6 Hg

Figuur 8 *Beslisboom voor reiniging van Hg.*



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van Hg in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 8 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 8 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 8 *Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor kwik.*

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Kool als toeslagstof met doekenfilter	95%
Actieve kool in gepakt bed	97%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

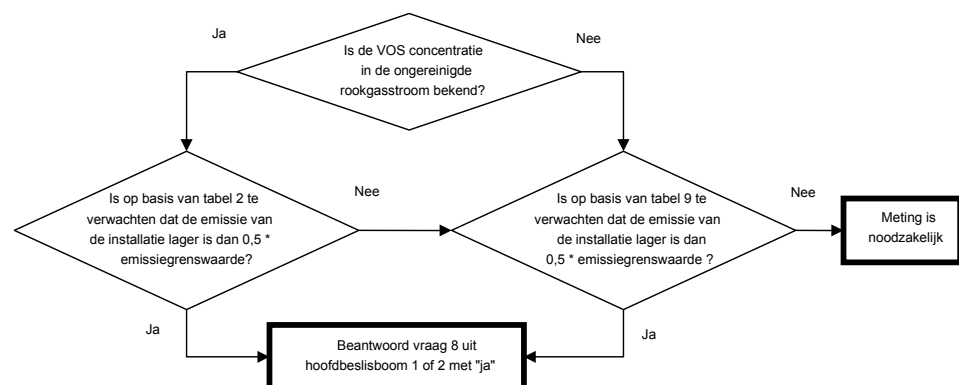
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie-eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 8.

3.7.2.7 VOS

Figuur 9 *Beslisboom voor reiniging van VOS.*



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van VOS in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 9 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 9 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 9 Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor VOS.

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
kool als toeslagstof met doekenfilter	90%
Katalytische oxidatie	97,5%
Actieve kool in gepakt bed	99,7%
Thermische naverbranding	99,7%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging.

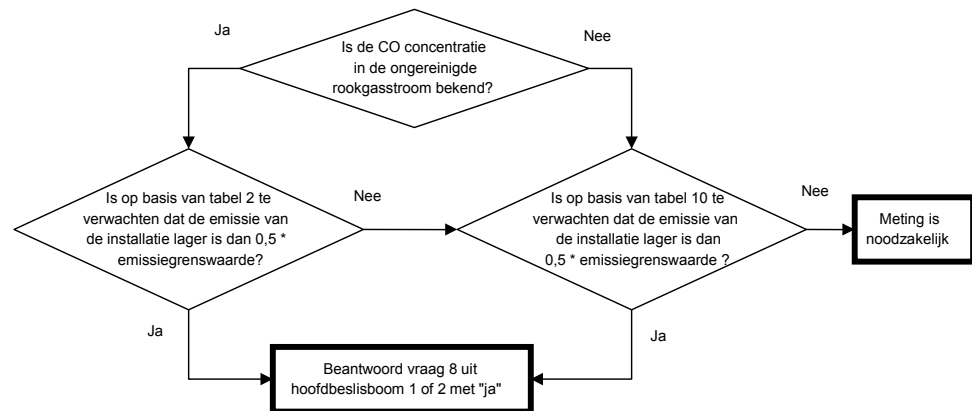
Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport.

Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 9.

3.7.2.8 CO

Figuur 10 Beslisboom voor reiniging van CO.



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van CO in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 10 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 10 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 10 Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor CO.

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Thermische naverbranding	97%
Katalytische oxidatie	97%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

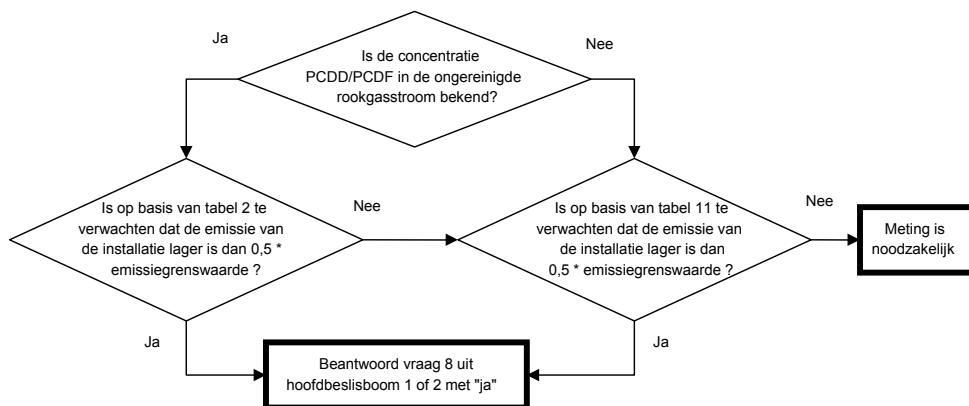
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 10.

3.7.2.9 PCDD/PCDF

Figuur 11 Beslisboom voor reiniging van PCD/F.



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van PCDD/PCDF in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 11 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 11 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 11 Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor PCDD/PCDF.

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
Katalytische oxidatie	95%
Kool als toeslagstof met doekenfilter	99%
Kool in gepakt bed	99,5%

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

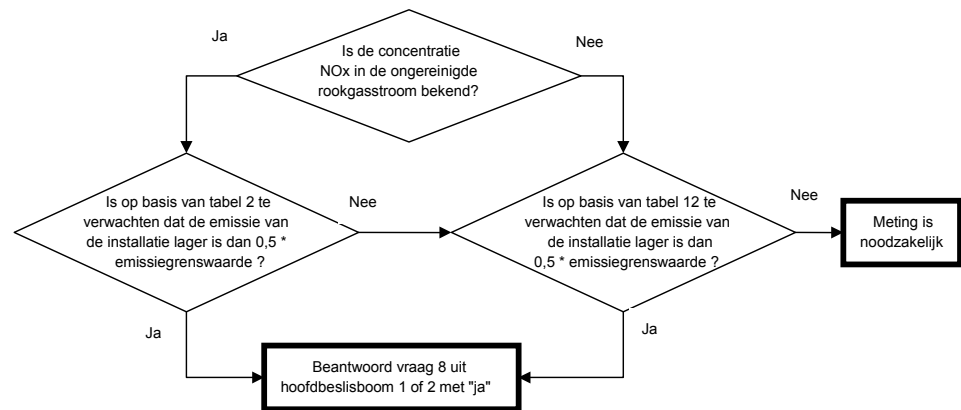
$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 11.

3.7.2.10 NO_x

Figuur 12 Beslisboom voor reiniging van Nox.



Om tabel 2 te kunnen gebruiken is het nodig de concentratie van NO_x in de gasstroom voor de rookgasreiniginginstallatie te kennen. Aan de hand hiervan kan worden bepaald of de Nederlandse emissiegrenswaarden met de gebruikte rookgasreiniging kan worden gebruikt.

Tabel 12 is bruikbaar als een buitenlands meetrapport beschikbaar is met andere rookgasreiniging dan in Nederland wordt toegepast. Aan de hand van tabel 12 kan worden bepaald of het aannemelijk is dat deze rookgasreiniging goed genoeg is.

Tabel 12 Indicatie voor reinigingsrendementen verschillende reinigingstechnieken voor Nox.

Techniek	Verwijderingsrendement (%)
SNCR	80%
SCR	95%

Tabel 12 geeft verwijderingsrendementen die kunnen worden gehaald. Bij hoge verwijderingsrendementen moet echter wel rekening worden gehouden met ammoniakslip.

Als voorwaarde wordt gesteld dat:

$$\frac{(100 - \text{rendement } X)}{(100 - \text{rendement } Y)} * \text{emissie buitenlandse rapport} < 0,5 * \text{emissie - eis}$$

Hierbij is X het rendement van de in Nederland toegepaste rookgasreiniging. Y is het rendement van de rookgasreiniging uit het buitenlandse meetrapport. Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, is geen meting noodzakelijk.

Als specificaties door de leverancier zijn aangeleverd, kunnen deze worden gebruikt i.p.v. de gegevens uit tabel 12.

3.7.3 Stookgasreiniging

Voor rookgasreiniging is in hoofdstuk 3.7.2 een overzicht gegeven van veel voorkomende reinigingsmethoden. Deze reinigingsmethoden kunnen na verschillende thermische processen worden toegepast. Bij vergassing is het echter tevens mogelijk dat de stookgassen gereinigd worden voordat ze worden verbrand. Mogelijkheden hiervoor zijn bijvoorbeeld natte wassers of teerkrakers. Stookgasreiniging is nog sterk in ontwikkeling, hierdoor is het minder eenvoudig hiervoor indicaties voor verwijderingsrendementen te geven dan voor rookgasreinigingstechnieken. In de huidige situatie wordt de bewijslast daarom bij de initiatiefnemer gelegd. Als op basis van specificaties van de leverancier kan worden vastgesteld dat de stookgasreiniging voldoende is, dan kan dat in de beslisboom worden ingevuld. Het is echter nog niet mogelijk hiervoor een compleet overzicht te geven, omdat deze informatie te snel verandert.

3.8 Vraag 10 Emissies bij vergisting

Als op basis van de specificaties van de leverancier aannemelijk kan worden gemaakt, dat de gebruikte gasreiniging gelijk is of beter is dan de gebruikte technieken uit het buitenlandse meetrapport, kan deze vraag met “ja” worden beantwoord. Bij vergistinginstallaties zal naar verwachting in verhouding vaak moeten worden besloten tot metingen tijdens proefbedrijf. Dit hoofdstuk geeft een toelichting op de noodzaak tot emissiemetingen bij anaërobe vergistinginstallaties.

3.8.1 Algemeen

Bij anaërobe vergistinginstallaties wordt er een biologisch afbreekbaar materiaal gedurende een aantal weken onder anaërobe condities bewaard, waarbij een deel van de biologisch afbreekbare fractie door bacteriën via een aantal verschillende stappen uiteindelijk wordt omgezet in methaangas en CO₂. Dit gas wordt vervolgens verbrand in een gasmotor of een ketel, eventueel kan het na verdere reiniging ook worden geïnjecteerd in het aardgasnet. Ook stortgasinstallaties met gasmotoren kunnen worden beschouwd als anaërobe vergistinginstallaties.

In de praktijk vindt het vergistingproces plaats bij een drietal temperaturen, waarbij verschillende bacterieculturen worden toegepast:

- Psychrofiële vergisting (<25 °C, meer dan 100 d verblijftijd)
- Mesofiële vergisting (ca. 35 °C, 15-40 d verblijftijd)
- Thermofiële vergisting (ca 53 °C, 10-20 d verblijftijd)

De activiteit van de toegepaste bacteriecultuur, en daarmee de gasopbrengst en benodigde verblijftijd, wordt sterk beïnvloedt door de temperatuur. Bij psychrofiële vergisting wordt de vergistinginstallatie niet verwarmd, dit resulteert in lage investeringskosten, maar de gasopbrengst is ook laag. Een voorbeeld is de winning van stortgas. Mesofiele vergisting wordt veel toegepast bij vergisting van mest op boerderijschaal. Thermofiele vergisting levert de hoogste gasopbrengst, maar is alleen haalbaar op grotere schaal vanwege de meer complexe regeltechniek.

Naast het temperatuurniveau kan onderscheid worden gemaakt in droge en natte vergisting.

- Natte vergisting wordt toegepast voor materialen met hoogstens 12% droge stof, in de vergistingreactor wordt door recirculatie van percolaat een drogestofgehalte van maximaal 6% gehanteerd. Leveranciers voor vergistinginstallaties voor GFT-achtige materialen zijn Biostab (Ros Roca), BTA (BTA), KCA (Linde) en WAASA (Alcyon/Cytec). Voor mest zijn er ook andere leveranciers.
- Bij droge vergisting wordt (meestal) uitgangsmateriaal met hogere drogestofgehalten in de vergister gebracht, waarbij percolaatwater over het materiaal wordt gebracht tot een drogestofgehalte van ca. 35% is bereikt in de vergister. Leveranciers van dit proces voor vergisting van GFT-achtig materiaal zijn BRV (Linde), DRANCO (OWS), Kompogas (Kompogas), Biocel (Arcadis) en Valorga (Babcock Borsig Power).

3.8.2 De samenstelling van biogas

Het biogas dat uit de vergistinginstallatie komt bestaat hoofdzakelijk uit methaan (50-80%) en kooldioxide (15 tot 45%). Daarnaast bevat het sporen van ammonium, waterstof, zwavel en mercaptaan (een koolwaterstof welke net als waterstof en methaan in de motor verbrandt tot CO₂ en H₂O en daarnaast nog SO₂ –emissies levert). H₂S resulteert in SO₂ –emissies en kan zwavelzuur-corrosie veroorzaken in de gasmotor. Probleemcomponenten in het biogas welke kunnen leiden tot schadelijke emissies zijn:

- NH₃ (resulteert in NO_x)
- H₂S (resulteert in SO₂)
- Chloor en Fluor (kan resulteren in dioxines, HCl, en HF)
- Vluchtige zware metalen zoals Hg

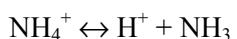
In een gasmotor verbrandt het biogas tot hoofdzakelijk CO₂ en H₂O¹. Daarnaast wordt er voornamelijk SO₂, NO_x en PM₁₀ geproduceerd. Afhankelijk van de voeding kunnen sporen voorkomen van chloor, fluor en dioxinen (met name bij stortgasmotoren). De vorming van deze emissies wordt hieronder beschreven.

¹ Een klein deel van het methaan in het biogas (ca 1,8-2,5%) komt onverbrand uit de gasmotor als methaan.

3.8.3 Emissies

3.8.3.1 NO_x- emissies

De NO_x- emissies van een biogasmotor bestaan voor een groot deel uit thermische NO_x, dit is met name gerelateerd aan de instelling van de gasmotor. Waarden van enkele honderden mg per m³ rookgas zijn gebruikelijk. De brandstof-NO_x emissie van biogasmotoren kan worden teruggevoerd op verbranding van NH₃ in het biogas. Dit NH₃ in het biogas staat in de bioreactor in evenwicht met de NH₃ –en NH₃ concentraties in de waterfase. Via de evenwichtsreactie

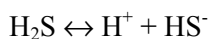


kan met een aangenomen pH en oplosbaarheid van NH₃ in water de partiële druk van [NH₃] in biogas worden bepaald. Afhankelijk van de samenstelling van de voeding en de procestemperatuur leidt dit bij een gebruikelijke pH van 7 tot een concentratie van ca. 10-100 ppm in het biogas, wat bij verbranding resulteert in een brandstof-NO_x-emissie tot max. 14 mg/m³. Genoemde waarde geldt bij 53°C voor drijfmest. Bij lagere temperaturen in het vergistingproces en andere voedingen met lagere hoeveelheid stikstof is de brandstof-NO_x-emissie lager. Een verhoging van de pH met 1 leidt echter tot een verhoging van de brandstof-NO_x-emissies met een factor 10.

Geconcludeerd wordt dat de vorming van brandstof-NO_x alleen van belang is indien de zuurgraad in het vergistingproces hoger is dan 7. In andere gevallen hangt de NO_x-vorming vrijwel volledig af van het bedrijf van de gasmotor.

3.8.3.2 SO₂-emissies

Op analoge wijze als voor NO_x zijn SO₂-emissies uit een gasmotor volledig herleidbaar op de productie van H₂S gas tijdens de vergisting. Via een evenwichtsreactie



kan met een gegeven pH, reactieconstante, oplosbaarheid van H₂S in water en de hoeveelheid zwavel in de voeding de concentratie H₂S in biogas worden bepaald. Concentraties H₂S kunnen oplopen tot ca. 50.000 ppm (bijvoorbeeld bij vergisting van varkensmest bij 53 °C en pH van 7). Hier leidt een lagere pH juist tot hogere H₂S-concentraties. Lagere vergistingtemperaturen en andere voedingen resulteren meestal in lagere concentraties H₂S.

Indien het gevormde H₂S direct zou kunnen worden verbrand resulteert een SO₂-emissie tot 10.000 mg/m³ rookgas. In de praktijk komt het niet zover vanwege technische limiteringen van de gasmotor aan de H₂S-concentratie in het biogas. Omdat te hoge concentraties H₂S leiden tot corrosieproblemen wordt de H₂S concentratie vrijwel altijd eerst teruggebracht tot de specificatie van de gasmotor via een van de onderstaande technieken (welke wordt toegepast is afhankelijk van schaalgrootte en vereiste reinigingsrendement):

- een natte wasser met NaOH
- een zgn. oud-ijzer box met Fe³⁺
- biologische reiniging

Gebruikelijke gasmotoren kunnen een concentratie aan van 50-100 ppm H₂S, wat leidt tot een rookgasemissie van 10-20 mg/m³ SO₂. Moderne gasmotoren kunnen H₂S concentraties aan tot 500 ppm, wat resulteert in ca. 100 mg/m³ SO₂ in het rookgas. Bij moderne gasmotoren wordt de opgelegde emissie-eis dus bepalend voor de te kiezen H₂S reiniging, bij oudere gasmotoren waren de technische specificaties van de gasmotor bepalend.

Geconcludeerd wordt dat de SO₂ emissie van een vergistinginstallatie in de praktijk vooral wordt bepaald door de specificaties van de gasmotor en de daarvoor noodzakelijke H₂S verwijdering.

3.8.3.3 Andere emissies (PM₁₀, HCl, HF, dioxinen en zware metalen).

De PM₁₀ emissies uit biogasmotoren bedragen ca. 0,001 tot 0,005 mg per m³. De stofconcentraties in biogas zijn laag vanwege de lage gassnelheden in de reactor. Geconcludeerd wordt dat stof geen probleem is bij anaërobe vergisting.

HCl en HF concentraties zijn afkomstig van Chloor en Fluor in de voeding. Al bij een concentratie in de voeding hoger dan ca. 0,03 % ds Cl of 0,0003% ds F (bijvoorbeeld bij slib en GFT) kunnen de emissiegrenswaarden in de circulaire voor de gele lijst worden overschreden. Het biogas bevat in dat geval 130 mg/m³ aan HCl of 13 mg/m³ aan HF. De toelaatbare concentratie voor beide componenten wordt door de gasmotor overigens meestal beperkt tot ca. 80 mg/m³ biogas, wat zou resulteren in een emissie van 6 mg per m³ rookgas. De aanwezigheid van Cl in het biogas kan in principe ook leiden tot vorming van dioxines. Met name bij stortgas, GFT en slibachtige materialen kunnen dergelijke emissies ontstaan.

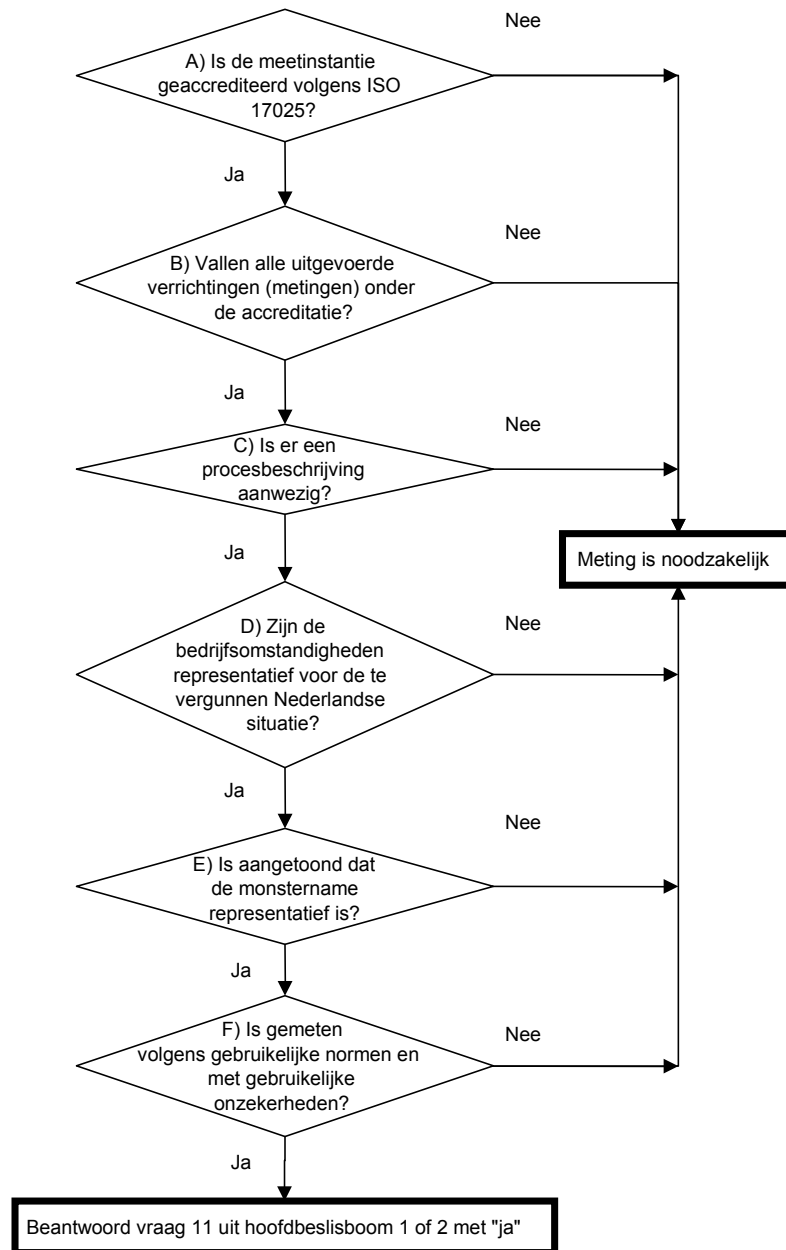
Alhoewel veruit de meeste zware metalen in de voeding van een vergistinginstallatie achterblijven in het digestaat, vormen een aantal vluchtige zware metalen (met name Hg) een aandachtspunt. De hoge partiële druk van Hg leidt ertoe dat al kleine concentraties Hg in de voeding de emissiegrenswaarden kunnen worden overschreden. Dit kan met name een probleem zijn bij slibachtige materialen.

3.9 Vraag 11 Meetinstantie en meetmethodes

De toepasbaarheid van een buitenlands meetrapport bij de vergunningverlening van biomassa-installaties wordt voornamelijk bepaald door vergelijkbaarheid van de situatie en omstandigheden waarbij de emissiewaarden zijn bepaald. Het meetrapport moet deze vergelijking mogelijk maken en dan ook inzicht geven in de buitenlandse situatie. Daarnaast is het, om een eerste indicatie van de betrouwbaarheid van de meetwaarden te krijgen, belangrijk te kijken naar de meetinstantie zelf en de kwaliteitsborgingsystemen die men heeft. Hiervoor is een beslisboom opgesteld (zie figuur 13). Als deze beslisboom wordt doorlopen, kan op systematische wijze worden bepaald of vraag 11 met “ja” kan worden beantwoord.

De volgende paragrafen geven uitleg bij de stappen in de beslisboom uit figuur 13 (vraag A t/m H). Het doorlopen van deze beslisboom zal inzicht geven in de betrouwbaarheid en bruikbaarheid van het meetrapport. Mochten er daarna nog twijfels zijn dan is het raadzaam contact op te nemen met een onafhankelijke deskundige, bijvoorbeeld Infomil of TNO.

Figuur 13 Beslisboom voor beoordeling van de toepasbaarheid van het buitenlandse meetrapport.



3.9.1 Vraag A **Accreditatie meetinstantie**

Het kwaliteitsborgingsysteem en de accreditaties voor de verschillende gerapporteerde verrichtingen van de buitenlandse meetinstantie geven een eerste indruk van de betrouwbaarheid van het uitgevoerde onderzoek.

Meetinstanties met een accreditatie staan onder toezicht van een accreditatie-instelling. Deze accreditatie-instelling bewaakt aspecten als vakbekwaamheid, kwaliteitssystemen, werkprocessen, testen en meetinstrumentaria bij de meetinstanties. De accreditatie van een meetinstantie en voor welke verrichtingen deze geldig is, is na te gaan bij de accrediterende instantie in het betreffende land. Een snelle ingang hiervoor is het Europese samenwerkingsverband van accreditatie-instellingen, de European Accreditation (EA) (<http://www.european-accreditation.org>). Via deze website kan worden achterhaald voor welke verrichtingen de meetinstantie is geaccrediteerd.

Geaccrediteerde meetinstituten en –bedrijven, zijn te beschouwen als certificerende organisaties en het meetrapport is dan ook te zien als een certificaat. Het meetrapport is de verklaring van een onafhankelijke “derde” dat het proces voldoet aan bepaalde eisen of bepaalde eigenschappen bezit. Een meting uitgevoerd door de leverancier zelf, ook al is deze geaccrediteerd, voldoet dan ook niet aan de onafhankelijkheidseis.

Als een meetinstantie geaccrediteerd is volgens ISO/IEC/EN 17025, dan betekent het dat de organisatie de gebruikte meetmethoden heeft gevalideerd. De meetonzekerheden zijn bekend en de verrichtingen worden herleidbaar vastgelegd met referentie aan de gebruikte normvoorschriften of eigen afgeleide werkprocedures. Er hoeft niet getwijfeld te worden aan de betrouwbaarheid van de emissiecijfers in de rapportage.

Wel is het belangrijk na te gaan of de door het meetinstituut gegeven onzekerheden van de geaccrediteerde verrichtingen in lijn met de in de algemene praktijk gehanteerde onzekerheden. Zie hiervoor ook bijlage 3, algemene meetpraktijk, praktijkwaarden van afwijkingen van foutenbronnen en vraag F.

Een ISO 9001 vermelding gaat minder ver en betreft alleen een certificatie van het kwaliteitssysteem. ISO 9001 stelt (nog) geen eisen aan het omgaan met onzekerheden en de borging van de kwaliteit van de metingen wordt hier aan het bedrijf overgelaten en is door een buitenstaander moeilijker te beoordelen. Een ISO 9001 vermelding op een meetrapport geeft daarom geen garanties voor een goede meting.

3.9.2 Vraag B Accreditatie voor alle verrichtingen

De accreditaties van een meetinstituut kunnen per verrichting worden afgegeven. Het is daarom mogelijk dat een instituut voor bepaalde metingen is geaccrediteerd en voor andere niet. Meetinstanties zijn verplicht dit te melden in het meetrapport. Als een buitenlands meetrapport wordt gebruikt, moet voor alle metingen die hieruit worden gebruikt, worden nagegaan of deze metingen onder de accreditatie vallen.

3.9.3 Vraag C **Procesbeschrijving**

Het is niet altijd eenvoudig te controleren of een meetrapport volledig en navolgbaar is. Om op eenvoudige wijze te beoordelen of het meetrapport op de juiste manier is opgezet, wordt gevraagd naar een procesomschrijving. Als deze is opgenomen, is in ieder geval aandacht geschonken aan deze punten en kan vraag E met “ja” worden beantwoord.

Om een meetrapportage tot een betrouwbaar en vooral navolgbaar document te maken dient deze minimaal de volgende onderdelen omvatten:

- een beschrijving en opgave van de karakteristieken van de installatie (inclusief werkingsparameters), identificatie van de emissiebron, hoogte en diameter en temperatuur lozingspunt;
- beschrijving van de gebruikte meetmethoden of de gevolgde normen;
- opgave van calibratie resultaten van de gebruikte apparatuur (zie ook de bijlage voor een voorbeeld)
- meetonzekerheden meetmethoden;
- specificatie meetresultaten van de afzonderlijke metingen in mg/m³ ind (bij 11% of 3% O₂, vol. %);
- specificatie van het debiet in m³/h, Nm³/h;
- specificatie van analyseresultaten;
- overzichtelijke samenvatting van alle meet- en analyseresultaten;
- eventuele opmerkingen over de uitgevoerde metingen met betrekking tot meetopeningen, meetmethodiek, analyses, omstandigheden enz.;
- eventueel een overzicht van de door de opdrachtgever aangeleverde analyseresultaten van de bemonsterde grondstoffen.

Een stelregel is hierbij dat het meetresultaat uit de ruwe meetdata terug te herleiden moet zijn. In de beslisboom wordt alleen naar de procesomschrijving gevraagd, omdat de meeste andere punten in de andere vragen nog aan bod komen.

3.9.4 Vraag D **Representatieve bedrijfsomstandigheden**

Bij de interpretatie van de toepasbaarheid van een buitenlandse emissiemeting zijn de omstandigheden waarbij gemeten is van groot belang. De omstandigheden dienen representatief te zijn voor de normale werking van de installatie. Met name de belasting van de installatie heeft een grote invloed op emissies. Veel meetnormen geven dan ook aan dat er bij, voor het proces, representatieve omstandigheden dient te worden gemeten. Soms wordt dit vastgelegd in een minimumeis zoals in de Nederlandse BEES. Hier wordt bijvoorbeeld voor ketels gesteld dat er bij een minimale belasting van 60% dient te worden gemeten. Vaak wordt echter de precieze invulling van het ‘representatief’ zijn van de procesomstandigheden ten tijde van de meting in overleg met het handhavend gezag ingevuld. In ieder geval dienen de omstandigheden waarbij gemeten is te worden vastgelegd in de meetrapportage

zodat een beoordeling is te maken of de omstandigheden vergelijkbaar zijn met die in de aanvraag van de Nederlandse installatie. Als dit niet het geval is, kan het buitenlandse meetrapport niet worden gebruikt en moet deze vraag met “nee” worden beantwoord.

Voor verbrandings- en vergassingsinstallaties moeten de volgende punten worden gecontroleerd:

- Bij welke belasting is gemeten? (vollast/deellast)
- Hoeveel primaire lucht / secundaire lucht is gebruikt?
- Bij welke overmaat zuurstof is gemeten?

Voor vergistinginstallaties moeten de volgende punten worden gecontroleerd:

- Wat is de verblijftijd?
- Wat is de temperatuur in de vergistinginstallatie?
- Wat is de pH in de vergistinginstallatie?

Hierbij is de pH de belangrijkste factor.

Als stelregel kan worden gebruikt dat als één van de gegevens meer dan 25% afwijkt, de bedrijfsomstandigheden niet vergelijkbaar zijn. En als de bedrijfsomstandigheden niet vergelijkbaar zijn dan dient er te worden gemeten.

3.9.5 Vraag E Monsterneming

Daarnaast is een goede monsterneming de basis voor een goede emissiemeting. Wanneer het monster niet representatief genomen is zal ook de uitslag van de emissiemeting nooit een goede weergave kunnen zijn van de werkelijke situatie. Snelheidsverschillen in afgaskanalen kunnen belangrijke afwijkingen veroorzaken. In het meetrapport dient beschreven te staan hoe de monsterneming is verricht.

3.9.6 Vraag F Normen en onzekerheden

Deze vraag betreft de volgende onderwerpen:

- gebruikelijke normen?
- meetonzekerheden acceptabel?
- kalibratiegassen herleidbaar?
- kalibratierapporten instrumenten bijgevoegd?

Een emissiemeting is opgebouwd uit verschillende deelmetingen van componenten in het afgas zoals NO_x, SO₂, zware metalen, fijn stof etc. Daarnaast worden er tijdens de meting procesparameters bepaald. Procesparameters zijn eigenschappen zoals rookgasdebiet, temperatuur en zuurstofconcentratie die worden gebruikt om emissies naar standaardomstandigheden om te rekenen voor een uniforme toetsing aan emissie-eisen.

Veel van de gebruikte meetmethoden voor deze componenten zijn genormeerd waarmee een uniforme uitvoering gegarandeerd wordt. Hoewel in het verleden veel nationale normen gebruikt werden, worden deze tegenwoordig steeds meer vervangen door Europese of mondiale normen. Door de implementatieplicht krijgen alle Europese normen de status van nationale normen en vervangen deze de oude nationale normen. Voor mondiale (ISO) normen geldt geen overnameplicht. Vanwege de veelheid aan nationale normen in de verschillende lidstaten van de Europese Unie is hier dan ook gekozen om alleen de internationale ISO normen en de in Europees verband gebruikte EN normen te vermelden. EN normen zijn herkenbaar aan het achtervoegsel EN. In Duitsland worden deze bijvoorbeeld weergegeven als DIN-EN waarna het corresponderende nummer en jaartal van laatste revisie van de norm wordt weergegeven.

Het gebruik van deze normen is echter niet verplicht. Een norm is in principe een vrijwillig document, maar kan, indien de wetgever ernaar verwijst, gebruikt worden om aan te tonen dat aan de wetgeving wordt voldoen.

Bij het beoordelen van meetmethoden die in normen zijn vastgelegd is het overigens niet van belang of de norm een automatische (continue) meetmethode of een steekproefmeting beschrijft. Automatische meetapparatuur wordt over het algemeen door de bedrijven zelf geplaatst bij grote installaties terwijl bij kleinere installaties vaak steekproefmetingen worden uitgevoerd. De apparatuur die hierbij wordt gebruikt is echter over het algemeen vergelijkbaar met die van een continue meting.

In tabel 13 wordt kort een overzicht gegeven van verschillende normen en methoden. Zie bijlage 5 voor een overzicht van de in tabel 13 genoemde normen.

Tabel 13 Overzicht van normen en methoden.

Procesparameters	Normen	Methoden (meest gebruikelijke)
Temperatuur	ISO 8756:1994 ISO 12039:2001	thermokoppels, traverse meting
Debiet	ISO 10780:1994	snellheidsmeting rookgas met pitot-buis of vleugelradanemometer
Zuurstof	ISO 12039:2001 CAN/CSA Z222.3 m86	paramagnetisch
Emissie	Normen	Methoden
CO	ISO 12039:2001	infraroodabsorptie
CO2	ISO 12039:2001	infraroodabsorptie
	ISO 7934 ISO 7935	
SO2	ISO 11632:1998	UV
SO3	nog geen EN norm, wel VDI blad 2462-7:1985	
	ISO 10849:1996	
NOx	ISO 11564:1998	Chemiluminescent
	ISO 10155:1995/Cor 1:2002	
Stof	ISO 9096:1994	gravimetrisch
Som zware metalen (Sb, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, As, Co, Ni, Se, Te, Tl, Cd en Hg)		absorptie, analyse met ICP
Hg	EN 13211:2001	
Cd		
	EN 1911-1:1998	
Halogenen als Cl en	EN 1911-2:1998	
F	EN 1911-3:1998	natchemisch
		vlamionisatiedetectie, brandstof H2/He mengsel
CxHy	ISO 11338-1:2000	
PAK's	ISO 11338-2:1999	(verduunningsmethode GC
	EN 1948-1:1997	
Dioxines (PCDD's en PCDF;s)	EN 1948-2:1997 EN 1948-3:1997	
NH3		natchemisch, absorptie en spectro- fotometrie

De opgegeven onnauwkeurigheden of foutgrenzen van de emissiemetingen kunnen vervolgens beoordeeld worden. Over het algemeen is het zo dat een onnauwkeurigheid in het voordeel van de aanvrager wordt uitgelegd. Een aanvrager heeft dus belang bij een grote onzekerheid. Bijlagen 3 en 4 geven een overzicht van foutenbronnen bij emissiemetingen en uiteindelijk gehanteerde waarden in het resultaat. Indien opgegeven waarden voor hiervan sterk afwijken (meer dan 50%) is het in ieder geval aanleiding voor een kritische houding omtrent de gehanteerde methoden.

4. Resultaten en opmerkingen

Door het stappenplan consequent toe te passen kan de vergunningverlenende instantie gestructureerd en in beperkte tijd bepalen of metingen al dan niet nodig zijn. Het stappenplan is zo opgezet dat deze beslissing op grond van enkele criteria kan worden genomen.

De beslissing of metingen nodig zijn, wordt per component genomen. Hierdoor is het mogelijk dat voor een beperkt aantal componenten alsnog een meting moet worden uitgevoerd, terwijl dit voor andere niet nodig is. Het meten van een of enkele componenten in de rookgassen in plaats van alle componenten levert niet altijd een financiële besparing op. Soms is het zo dat het niet veel duurder is twee componenten te meten i.p.v. één. Voor sommige componenten, zoals bijvoorbeeld dioxines, zijn metingen echter relatief duur. Bovenstaande beredenering kan (zeker in geval van twijfel) een reden zijn om als er in ieder geval voor één component een meting nodig is, dan toch voor meerdere componenten een meting uit te laten voeren.

Het stappenplan is opgesteld voor verbranding, vergassing en vergisting. Ook voor andere thermische processen, zoals bijvoorbeeld pyrolyse, kan het stappenplan in principe worden toegepast.

In dit werkdocument zijn een aantal concrete waardes genoemd, welke als indicatief beschouwd moeten worden. Deze getallen zijn veelal gebaseerd op praktijkervaring en zijn vooral bedoeld om het werkdocument toepasbaar te maken voor de vergunningverlener.

Er is alleen gekeken naar milieuaspecten, waarbij geuremissies en emissies naar bodem en water niet meegenomen zijn. Verder zijn veiligheids- en ARBO-aspecten buiten beschouwing gelaten.

5. Lijst met afkortingen

CEN	Comité Européen de Normalisation
EA	European Co-operation for Accreditation
EN	Europese Norm
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization, een ISO-norm is een norm die gepubliceerd is door ISO.
Katox	katalytische oxidatie
SCR	Selective Catalytic Reduction
SNCR	Selective Non Catalytic Reduction
TNV	thermische naverbranding
WKK	warmtekrachtkoppeling
ZM	zware metalen

6. Informatiebronnen

- [1] Circulaire: Emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval, KVI2002023389
- [2] J. Koppejan, Biowizard fase 1 – Bouw van een proefmodel. TNO-MEP, mei 2001
- [3] Flue gas cleaning review: Part 1 to 3. Filtration and separation 1999.
- [4] Air Pollution Engineering Manual. Van Nostrand Reinhold. New York. 1992.
- [5] Emissionsminderung Thermische Abfallbehandlung. Entwurf VDI 3460. Sept. 1996.
- [6] Emissionsminderung in der thermischen Abfallverwertung. Staub – Reinhaltung der Luft 52 (1992).
- [7] Sjaak van Loo, Jaap Koppjan (eds.), Handbook Biomass Combustion and Co-firing, IEA Bioenergy, 2002
- [8] Aanzet tot classificatie van biomassa met modelmatige aanpak, EWAB rapport 9720
- [9] L.P.M. Rijpkema, Werkdocument indeling biomassa- en afvalstromen: witte en gele lijst, TNO-MEP, maart 2001

7. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

NOVEM
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. P.D.M. de Boer - Meulman
Ing. W.F.M. Hesseling
Ir. H.J.G. Kok
Ir. J. Koppejan
Ir. W.A.J. Appelman

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

Ondertekening:

Goedgekeurd door:

bla


Ing. W.F.M. Hesseling
projectleider



Ing. S. van Loo
afdelingshoofd

Bijlage 1 Emissiegrenswaarden

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de emissiegrenswaarden in Nederland en enkele van de ons omringende landen [7]. Dit overzicht geeft aan dat er aanzienlijke verschillen zijn in de eisen die worden gesteld.

Nederland

In Nederland is begin 2002 door het Ministerie van VROM de Circulaire “Emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval” gepubliceerd. In deze circulaire wordt het nieuwe emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval bekend gemaakt met als doel vergunningverleners en andere belanghebbenden te informeren daaromtrent. De circulaire heeft echter nog geen juridische grondslag. Tot het moment dat de herziene regelgeving in werking treedt, kan de circulaire als richtsnoer dienen voor zowel initiatiefnemers als het bevoegd gezag bij vergunningverlening voor situaties waarop het huidige BLA en het huidige BEES A of B niet van toepassing zijn, zoals bijvoorbeeld de toepassing van alternatieve brandstoffen in stookinstallaties.

Tabel B1-1 Emissiegrenswaarden uit nieuwe circulaire.

Component	Schone stromen (bij 6% O ₂)	Vervuilde stromen (bij 11% O ₂)
NO _x (> 20 MWth)	NO _x -emissiehandel	NO _x -emissiehandel
NO _x (< 20 MWth) ¹⁾	100-200	70-130
SO ₂	200	40
Stof	20	5
Cd + Tl	-	0,05
Hg	-	0,05
Som zware metalen ²⁾	-	0,5
HCl	-	10
HF	-	1
Dioxines en furanen (ng TEQ)	-	0,1
VOS	-	10
CO	-	50

1 NO_x (< 20 MWth): de norm voor zowel schone stromen als vervuilde stromen is afhankelijk van het energetisch rendement van een installatie, voorzover de installatie niet valt onder het systeem van de NO_x-emissiehandel; de norm bedraagt 100 mg/Nm³ bij 6% O₂ (70 mg/Nm³ bij 11% O₂), tenzij de betreffende installatie een energetisch rendement haalt van ten minste 40% elektriciteitsequivalenten (Eel-eq) of hoger, in dat geval bedraagt de norm 200 mg/Nm³ bij 6% O₂ (130 mg/m³ bij 11% O₂); voor de berekening van het energetisch rendement wordt het thermisch rendement vermenigvuldigd met een factor 0,47 en opgeteld bij het elektrisch rendement.

2 Zware metalen = Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V.

Naast deze nieuwe emissie-eisen bestaan in Nederland de volgende grenswaarden, welke voor een biomassa installatie kunnen worden toegepast:

- NER
- BEES A
- BLA

Tabel B1-2 Overzicht emissie-eisen in Nederland.

	NER	NER schoon resthout	NER pyro- lyse	BL A	BEES A	Europese eisen (LCP schone biomassa, stand alone) ****
NO _x	200	Geen (< 2,5 MW _{th}) 400 (>2,5 MW _{th}) ***	39	70	133 (>300 MW _{th}) 67 (<300 MW _{th})	200
Stof	10*	100 (≤ 0,5 MW _{th}) 50 (0,5-1,5 MW _{th}) 25 (1,5-5,0 MW _{th})	2,8	5	13	20
SO ₂	200	-	22	40	133	133
Cd+	0,2	-	0,02	0,05	-	-
TI						
Hg	0,2	-	0,02	0,05	-	-
zware metalen	25,4	-	0,6	1	-	-
HCl	30	-	5,6	10	-	-
HF	5	-	-	1	-	-
dioxi- nes in ng TEQ/N m ³	minima- lisatie	-	0,05 streef waar de		-	-
VOS	20-150	-	6	10	-	-
NH ₃	200**	-	5	-	-	-
CO	-	250 (1,5-5,0 MW _{th})	-	50	-	-

* als een filtrerende afscheider kan worden gebruikt

** De norm is 200 mg/Nm³ bij 11% O₂, maar in de praktijk wordt voor bio-energie meestal de eis voor mestverwerking gesteld, die 5 mg/Nm³ is bij 11% O₂.

*** geldt bij verbranding van resthout met 80-90% spaanplaat

**** in voorbereiding

Het BEES is opgesplitst in twee aparte besluiten, BEES A en BEES B. BEES A is van toepassing voor een specifieke groep van inrichtingen, BEES B wordt toegepast in alle andere gevallen. Voor vergassing van schoon resthout met wkk geldt het BEES A. Binnen het BEES A wordt onderscheid gemaakt in vaste en gasvormige brandstoffen. De emissienormen voor deze twee categorieën verschillen, zie onderstaande tabel.

Tabel B1-3 Emissienormen volgens het BEES A..

	Vaste brandstoffen (bij 6 % O ₂)	Gasvormige brandstoffen	
	Stookinstallatie	Gasturbines	Gasmotoren
NO _x	200 mg/Nm ^{3 1)} 100 mg/Nm ^{3 2)}	65 g/GJ	140 g/GJ
Stof	20 mg/Nm ³	-	-
SO ₂	200 mg/Nm ^{3 1)} 700 mg/Nm ^{3 2) 3)}	-	-

1. 300 MW_{th}
2. < 300 MW_{th}
3. bandbreedte bevoegd gezag 250 – 700 mg/Nm³

Europese Unie

Naast de in Nederland geldende normen is in bovenstaande tabel de Europese richtlijn opgenomen. Deze richtlijn is een onderdeel van de emissierichtlijnen voor “Large Combustion Plants”. Er is een voorstel in voorbereiding voor grote stookinstallaties met schone biomassa als brandstof (> 50 MW_{th}). Deze LCP richtlijnen zijn als richtlijn zal worden gebruikt voor de Nederlandse wetgeving. De Nederlandse regering mag strengere (maar niet minder strenge) eisen formuleren.

Denemarken

Tabel B1-4 Emissiegrenswaarden in Denemarken.

Vermogen [MW]	CO [ppm]	Stof [mg/m ^{3 0}]
Hout zoals houtpellets, houtchips, snippers etc. (ref. 10% O₂)		
0.12 - 1.0	-	300
> 1.0	Gewoonlijk 500	40/100*
Stro (bij 10% O₂)		
< 1.0	-	-
> 1.0	500	40

* afhankelijk van de gebruikte rookgasreiniging

Duitsland

Tabel B1-5 Emissiegrenswaarden in Duitsland.

Vermogen[MW]	CO [mg/m ³ ₀]	NO _x [mg/m ³ ₀]	SO ₂ [mg/m ³ ₀]	Stof [mg/m ³ ₀]
Kolen en turf met zwavel < 1% (bij 6% O₂)				
< 1	-	-	-	150
Kolen en cokes (bij 7% O₂)				
turf, hout, afvalhout, stro (bij 11% O₂)				
1 - 5	250	500	400	150
> 5	250	500	400	50
>20, fixed grate	250	300	400	
1 - 50, fluid bed	250	300	400	
Schoon hout, stro (bij 13% O₂)				
< 0.05	4000	-	-	-
0.05 - 0.15	2000	-	-	150
0.15 - 0.5	1000	-	-	150
0.5 - 1	500	-	-	150
afvalhout (bij 13% O₂)				
< 0.1	600	-	-	150
0.1 - 0.5	600	-	-	150
> 5	300	-	-	150

Finland

Tabel B1-6 Emissiegrenswaarden in Finland.

Grenswaarden voor inheemse brandstoffen (hout, afvalhout, turf, stro)

Vermogen [MW]	NO _x [mg/MJ]	SO ₂ [mg/MJ]	Stof [mg/MJ]
1 - 5	-	-	200
5 - 50	-	-	85 - 4/3 (P5)
50 - 300	150	140	50
> 300	50	140	30

Frankrijk

Tabel B1-7 Emissiegrenswaarden in Frankrijk

Biomassa bij 11% O₂

Vermogen [MW]	NO _x [mg/m ³ ₀]	SO ₂ [mg/m ³ ₀]	Stof [mg/m ³ ₀]
2 - 4	500	200	150
4 - 20	500	200	100*

* na 1 juni 1999: 50 mg/m³₀

Noorwegen

Tabel B1-8 Emissiegrenswaarden in Noorwegen.

Noorwegen kent geen officiële regels, maar onderstaande aanbevelingen gelden voor schoon hout verbrandingsinstallaties.

Vermogen [MW]	CO [mg/m ³ _o]	NO _x [mg/m ³ _o]	Stof [mg/m ³ _o]
0.02 - 0.5	-	-	200
0.5 - 4	250	-	150
4 - 15	250	350	100

Oostenrijk

Tabel B1-9 Emissiegrenswaarden in Oostenrijk.

Vermogen [MW]	CO [mg/m ³ _o]	VOC [mgC/m ³ _o]	NO _x [mg NO ₂ /m ³ _o]	SO ₂ [mg/m ³ _o]	Stof [mg/m ³ _o]
Vaste brandstoffen uitgezonderd hout (bruinkool, bitumineus kolen, briketten, cokes, zwa- velgehalte kleiner dan 0.2 g/MJ (bij 6% O ₂))					
< 1	1000	-	400	-	150
1 - 2	150	-	400	-	150
2 - 5	150	-	400	-	50
5 - 10	150	-	400	-	50
10 - 50	150	-	350	400	50
> 50	150	-	200	200	50
Hout (bij 13% O₂)					
<0.1	-	-	-	-	150
0.1 - 0.2	250	50	250	-	150
2 - 5	250	50	250	-	50
5 - 10	100	50	250	-	50
10 - 50	100	50	200	-	50
> 50	100	50	200	-	50
Schors (13% O₂)					
< 0.1	-	-	-	-	150
0.1 - 0.2	250	50	350	-	150
2 - 5	250	50	350	-	50
5 - 10	100	50	350	-	50
10 - 50	100	50	200	-	50
> 50	100	50	200	-	50
Afvalhout (13% O₂)					
< 0.1	-	-	-	-	150
0.1 - 0.2	250	50	350	-	150
2 - 5	250	50	350	-	50
5 - 10	100	50	350	-	50
10 - 50	100	50	350	-	50
> 50	100	50	200	-	50

Verenigd Koninkrijk

Tabel B1-10 Emissiegrenswaarden in het Verenigd Koninkrijk.

Vermogen [MW]	CO [mg/m ³ _o]	NO _x [mg/m ³ _o]	SO _x [mg/m ³ _o]	Stof[mg/m ³ _o]
< 20*	-	-	-	460
20 – 50**	-	450 - 650	2000 - 3000	300
> 50***	30 - 150	200 - 300	200 - 400	25

* Clean Air Act / SI 1971 no 162

** Secretary of State's Guidance PG1/3(95)

*** Chief Inspector's Guidance Note S2 1.01

Zweden

Tabel B1-11 Emissiegrenswaarden in Zweden.

Vermogen [MW]	CO [mg/m ³ _o]	NO _x [mg/MJ]	Stof [mg/m ³ _o]
< 0.5	500	200	350
0.5 – 10	250	200	100 (stedelijk gebied) 350 (platteland)
> 10	250	200	35

Zwitserland

Tabel B1-12 Emissiegrenswaarden in Zwitserland.

Vermogen [MW]	CO [mg/m ³ _o]		Gasvormige organische componenten	NO _x	Ammonia and ammo- nium com- ponenten	Stof
	vers hout	Ind. afval- hout	[mgC/m ³ _o]	[mg NO ₂ /m ³ _o]	[mg NH ₃ /m ³ _o]	[mg/m ³ _o]
0.02 - 0.07	4000	1000	-	-	-	-
0.07 - 0.2	2000	1000	-	-	-	150
0.2 - 0.5	1000	800	-	-	-	150
0.5 - 1	500	500	-	-	-	150
1 - 5	250	250	50	-	30	150
> 5	250	250	50	-	30	50

Bijlage 2 Rookgasreiniging

In de jaren '90 van de vorige eeuw is bij diverse afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) de rookgasreiniging sterk uitgebreid teneinde aan de strenge eisen voor afvalverbrandingsinstallaties volgens de Wet Milieubeheer (voorheen Besluit Luchtemissies Afvalverbranding ofwel BLA genoemd) te kunnen voldoen. Het betreft hierbij rookgasreiniging gericht op de verwijdering van stof, zware (giftige) metalen (oa. As, Cd, Pb, Zn en Hg), zure componenten (Cl, F, NO_x, SO₂), organische stoffen en dioxinen/furanen.

Om aan de voor AVI's genoemde emissie-eisen te kunnen voldoen, bestaat het rookgasreinigingssysteem vaak uit de volgende componenten:

- Een of meer stofverwijderingssystemen (vaak cycloon gevolgd door meestal een elektrofilter of soms een doekenfilter);
- Een 2-traps nat wassysteem (zuur/basisch) voor de verwijdering van zure componenten;
- Een cokes of actief kool adsorptiesysteem voor de verwijdering van dioxinen/furanen en gasvormige giftige metalen (meestal kalk/koolinjectie plus doekenfilter);
- Een katalytisch of niet-katalytisch DeNO_x-systeem.

Vergelijking van de eisen voor afvalverbrandingsinstallaties met die voor stand-alone bio-energiecentrales (zie bijlage 1) volgens de Circulaire [1] levert voor de volgende componenten een minder strenge eis voor bioenergiecentrales (beide betrokken op droog afgas onder normaalcondities bij een zuurstofgehalte van 11 %):

- Stikstofoxiden (als NO₂): 130 mg/Nm³ i.p.v. 70 mg/Nm³ voor AVI's (bij < 20 MW_{th} en energetisch rendement > 40%);
- Som zware metalen: 0,5 mg/Nm³ i.p.v. 1 mg/Nm³ voor AVI's.

Voor stikstofoxiden is het van het rendement van de bio-energiecentrale afhankelijk van de eis gelijk is aan de emissie-eis voor AVI's. Voor zware metalen is de eis voorlopig strenger dan voor AVI's. Vanaf 2007 wordt de eis voor zware metalen voor AVI's ook 0,5 mg/Nm³.

Als bij bioenergiecentrales de concentratie van een bepaalde component veel hoger is dan de betreffende emissie-eis zal er in principe dus een rookgasreinigingsinstallatie nodig zijn, waarin een reinigungsstap is opgenomen, waarmee de betreffende component voldoende verwijderd kan worden. Vergeleken met AVI's zullen de concentraties van de diverse verontreinigingen in de rookgassen van bioenergiecentrales (veel) lager zijn en zal vrijwel alle gevallen de rookgasreinigingsinstallatie van een bioenergiecentrale minder reinigungsstappen bevatten.

Voor elektriciteitscentrales die stoken op vaste en vloeibare brandstoffen (bv. kolen, olie) is de rookgasreiniging al eenvoudiger omdat er alleen emissie-eisen voor

stof, NO_x en SO₂ gelden. Om te voldoen aan de eisen worden door deze centrales vaak elektrostatische filters in combinatie met rookgaswassing met kalk(steen)suspensie toegepast voor SO₂- en stofafvangst en een thermische of katalytische deNO_x voor verwijdering van NO_x. Voor stookinstallaties op gasvormige brandstoffen variëren de emissie-eisen van 5 tot 200 mg/m³ voor SO₂, 70 tot 200 mg/m³ voor NO_x en 5 tot 20 mg/m³ voor stof en is vaak geen rookgasreiniging nodig om te voldoen aan de eisen.

Op basis van bovenstaande en de gemiddelde emissies van bio-energiecentrale, zal de volgende rookgasreiniging vaak nodig zijn in een installatie na de warmteterugwinning:

- Verwijdering stof en hierin aanwezige zware metalen: elektrofilter of doekenfilter;
- Verwijdering van zure componenten: 2-traps nat wassysteem of injectie kalk vóór doekenfilter;
- Verwijdering van gasvormige zware metalen en dioxinen/furanen: een kool adsorptiesysteem (meestal koolinjectie plus doekenfilter of een koolbed);
- CO en VOS verwijdering vindt meestal tegelijkertijd plaats in één van de voorgaande stappen (of thermische naverbranding);
- NO_x verwijdering: een katalytisch of niet-katalytisch DeNO_x-systeem.

Hierbij dient bedacht te worden, dat het vóór toepassing van een bepaalde reinigingstrap nodig kan zijn dat de rookgassen eerst verwarmd dan wel gekoeld moeten worden om de voor deze trap vereiste bedrijfstemperatuur te verkrijgen.

De bovengenoemde reinigungsstappen worden in het raamwerk voor de rookgasreiniging verder uitgewerkt.

Algemene uitgangspunten voor de te reinigen rookgassen:

- Stand-alone installaties met vervuilde stromen voor < 20 MW_{th} ;
- Door toepassing van energiet terugwinning is de temperatuur van de rookgassen lager dan 250°C;
- Zuurdauwpunt van rookgassen lager dan 90°C;
- Deeltjesgrootte van af te scheiden stof: 100% < 10 µm, 50% < 1 µm;

Natte rookgasreiniging

Toepassing van chemische wassers voor de verwijdering van oplosbare gasvormige verontreinigingen en stof uit rookgassen is een in de praktijk veel toegepaste methode en als zodanig een bewezen techniek. Het verwijderingsrendement voor de componenten is afhankelijk van diverse omstandigheden:

- De wijze waarop de rookgassen in contact met de vloeistof gebracht worden;
- De toegepaste verhouding tussen gas- en vloeistofbelasting;
- De verhouding tussen gedoseerde toeslagstof en te verwijderen component;
- De wijze waarop de gerecirculeerde wasvloeistof wordt gereinigd;
- De bedrijfstemperatuur;

Voor de beoordeling of een in een vergunning aangevraagde natte rookgasreiniging wat betreft te behalen restemissies overeenkomt met een natte rookgasreiniging zoals vermeld in een meetrapport van een andere vergelijkbare situatie moeten bovenstaande aspecten vergeleken worden per te verwijderen type componenten. Hierbij kan ruwweg onderscheid gemaakt worden tussen de verwijdering van zure componenten (SO_2 , HCl en HF) en verwijdering van stof en zware metalen. Voor een optimale werking van de verwijdering van de zure componenten is het over het algemeen beter eerst het (meeste) stof af te scheiden met een (multi)cycloon, een elektrofilter of een doekenfilter, waarbij het afscheidingsrendement voor stof in deze volgorde toeneemt.

Natte verwijdering van zure componenten (SO_2 en HCl/HF)

Toepassing van een chemische wasser met dosering van basische toeslagstoffen op basis van Natrium (NaOH , Na_2CO_3) of Calcium (CaCO_3 , CaO of $\text{Ca}(\text{OH})_2$) voor de verwijdering van zure componenten uit rookgassen is een in de praktijk veel toegepaste methode en als zodanig een bewezen techniek. Als er vóór de wasser geen stofverwijdering plaatsvindt, kan de wasser in de loop van de tijd verstopt raken hetgeen ook het geval is als er kalk in plaats van een loog wordt gedoseerd, dat oplosbare zouten vormt, die aancoeken.

Meestal werken de wassers bij een temperatuur van 40-80°C. Als de rookgastemperatuur veel hoger is wordt er meestal eerst afgekoeld door inspuiting van water. Verwijdering van SO_2 is het meest kritisch. Bij een piekaanbod van ca. 2500 mg SO_2/Nm^3 kan de SO_2 -concentratie in de rookgassen na een één-traps wastoren teruggebracht worden tot <1000 mg/ Nm^3 . Over deze trap wordt dan een wasvloei-stof gerecirculeerd, die m.b.v. een loogdosering wordt geneutraliseerd. Voor de eerste trap van de wastoren geldt een L/G-verhouding van enkele l/ m^3 , terwijl de verblijftijd van de rookgasstroom in de wastoren enkele seconden dient te zijn. Om de SO_2 -concentratie terug te brengen naar < 200 mg/ Nm^3 is een tweede trap nodig. Verwijdering van andere zure verbindingen zoals HCl en HF is meestal effectief genoeg.

Er zijn ook andere basische stoffen om zwaveloxiden te verwijderen bv. Walther proces (reactie met ammoniak), Wellman-Lord proces (reactie met natriumsulfiet), Magnesiumoxide proces. Als er andere basische stoffen worden gebruikt dan op basis van Natrium en Calcium dient de installatie exact overeen te komen met die uit het meetrapport.

Stof en zware (giftige) metalen verwijdering met een wasser

In de wasser vindt stofverwijdering plaats doordat de hete rookgassen gewassen worden met een waterige oplossing. Hierdoor worden de rookgassen tevens gekoeld tot onder het dauwpunt, waardoor in de rookgassen aanwezig waterdamp wordt gecondenseerd. Dit heeft verder als voordeel, dat aanwezige zware metalen (behalve Hg) tevens gedeeltelijk condenseren op waterdruppels en aanwezig stof. Samen met het stof worden dus ook zware metalen uit de rookgassen verwijderd. Ook worden aanwezige zware metalen m.b.v. het aanwezige NaOH geoxideerd tot metaaloxiden als aan het water NaOH is toegevoegd. Door wassing worden de

meeste zware metalen met een rendement van meer dan 90% verwijderd uit de rookgassen; Cadmium en lood voor slechts ca. 50% en kwik vrijwel niet [4]. Bij een ingangconcentratie aan stof van enkele g/Nm^3 kan over het algemeen de stofconcentratie in wassers worden teruggebracht tot ca. 100 mg/Nm^3 . Het doorgelaten stof kan gekarakteriseerd worden als zeer fijn stof. Verdere stofverwijdering om aan een emissie-eis van $< 5 \text{ mg/Nm}^3$ te voldoen dient in een nageschakeld doekenfilter te worden bereikt (na verhoging van de temperatuur). Wassers worden dan ook soms toegepast als voorreinigingstap voor de verwijdering van stof uit rookgassen. Een nadeel van deze methode is het ontstaan van met stof en zware metalen verontreinigd afvalwater. Daarnaast moet er rekening mee worden gehouden dat de samenstelling van het stof in de gasstroom tevens verandert, omdat selectief wordt afgevangen en omdat chemicaliën in de gasstroom terecht kunnen komen.

Droge rookgasreiniging

Doekenfilters voor de verwijdering van vele ongewenste componenten uit rookgassen (stof, zure verbindingen, zware metalen en dioxinen/furanen) wordt in de industrie, bij electriciteitsopwekking en bij afvalverbranding veelvuldig toegepast en kan beschouwd worden als stand der techniek. Voor verwijdering van zure verbindingen, zware metalen en dioxinen/furanen worden geschikte toeslagstoffen in de rookgassen geïnjecteerd om een goed contact te krijgen alvorens samen met het stof afgevangen te worden op een doekenfilter. De zure verbindingen reageren met een geschikte toeslagstof en de zware metalen en dioxinen/furanen adsorberen aan een geschikte toeslagstof. Doekenfilters kunnen toegepast worden tot een bedrijfstemperatuur van $200 \text{ á } 250^\circ\text{C}$, hoewel dan wel speciale filterdoeken toegepast moeten worden. Meestal wordt dan ook eerst afgekoeld tot ca. 150°C . Bij hogere temperaturen worden vaak keramische filters of metaalfilters toegepast. Om te beoordelen of een in een vergunning aangevraagde rookgasreiniging met een keramisch dan wel metaalfilter beter dan wel slechter is dan een doekenfilter is moeilijk; als een keramisch dan wel een metaalfilter in de aanvraag opgenomen is dient in het meetrapport sprake te zijn van een identieke installatie.

Het verwijderingsrendement voor de componenten is afhankelijk van diverse omstandigheden:

- De wijze waarop de geïnjecteerde toeslagstoffen gemengd worden met de rookgassen;
- De reactietijd voordat de toeslagstof op het doekenfilter wordt afgevangen;
- De verhouding tussen gedoseerde toeslagstof en te verwijderen component;
- De relatieve vochtigheid van de rookgassen;
- De bedrijfstemperatuur;
- De oppervlaktebelasting van het filterdoek (m^3 rookgas per m^2 doek).

Stofverwijdering met een doekenfilter

Met een goed werkend doekenfilter is het in principe mogelijk voor zowel grof als fijn stof een stofverwijderingsrendement van $> 99,5 \%$ te bereiken. Bij de juiste keuze van het filtermateriaal kan de stofconcentratie teruggebracht worden tot

minder dan 5 mg/Nm^3 . Bij het afvangen van zeer fijn stof kan deze waarde slechts bereikt worden als voor de oppervlaktebelasting van het filterdoek een richtwaarde van 20 tot $60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ wordt aangehouden. Wel is het voor een goede werking van belang, dat de bedrijfstemperatuur duidelijk hoger is dan het dauwpunt (voor zuur of water) van de rookgassen en de temperatuur, waarbij mogelijk in de rookgassen aanwezige hoog kokende organische verbindingen (VOS) kunnen condenseren.

Verwijdering van zure componenten door middel van toeslagstoffen en een doekenfilter

Het aan de rookgassen toevoegen van toeslagstoffen om zure verbindingen (zoals SO_2 en HCl) uit de rookgassen te verwijderen en dit vervolgens samen met het aanwezige stof op een doekenfilter af te vangen is inmiddels stand der techniek (droge rookgasreiniging). Het wordt veel toegepast bij de rookgasreiniging van kolengestookte elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties (vooral de kleinere) om te voldoen aan de strenge eisen voor SO_2 , HCl en HF . Veel voorkomende toeslagstoffen, die hiervoor gebruikt worden zijn: kalk (CaO , Ca(OH)_2) en natriumbicarbonaat (NaHCO_3). Bij relatief lage rookgastemperaturen worden de toeslagstoffen meestal in droge vorm geïnjecteerd en bij hogere rookgastemperatuur in de vorm van een slurry, waarbij het water in de rookgasstroom geheel verdampt en de toeslagstof in droge vorm op het doekenfilter wordt afgevangen. Het verwijderingsrendement voor zure componenten kan ca. 80% bedragen, waarbij de toepassing van een slurry het meest effectief is [3]. Over het algemeen moet er 1,5 tot 4 maal de stoichiometrische hoeveelheid toeslagstof gedoseerd worden om de emissie-eisen te halen [5].

Kalk wordt vaak gebruikt bij een relatief lage rookgastemperatuur (120 á 150°C) en natriumbicarbonaat bij relatief hoge rookgastemperatuur (150 á 200°C).

Als de rookgasstroom chloorhoudend is reageert chloor met kalk tot CaCl_2 -deeltjes, dat vocht adsorbeert en zich kan hechten aan filterdoeken. Bij temperaturen lager dan 140°C kan dit het geval zijn. Voor een goede werking is het van belang, dat de bedrijfstemperatuur dan onder alle omstandigheden, tenminste 30°C boven het zuurdauwpunt van de rookgassen ligt.

Verwijdering van cadmium, kwik en dioxinen/furanen met toeslagstoffen en een doekenfilter

Bij afvalverbrandingsinstallaties worden kwik en dioxinen/furanen met een toeslagstof op basis van Ca of Na over het algemeen onvoldoende afgescheiden. Het eveneens aan de rookgassen toevoegen van poederkool om kwik, cadmium en dioxinen/furanen uit de rookgassen te verwijderen en dit vervolgens samen met het aanwezige stof op een doekenfilter af te vangen is inmiddels stand der techniek. Het aandeel poederkool in het te doseren mengsel kan afhankelijk van de concentraties van de te verwijderen componenten liggen tussen 2 en 30 gew.% poederkool.

Verwijdering van zware metalen, VOS en dioxinen/furanen met cokes of actief kool

Als één van de laatste stappen bij de rookgasreiniging kan een bed met actieve kool of cokes toegepast worden om de emissies van zware metalen, VOS en dioxinen/furanen terug te brengen tot concentraties beneden de emissie-eisen. De bedrijfstemperatuur ligt dan tussen de 100 en 120°C [6].

Droge rookgasreiniging met een elektrofilter

Het stofverwijderingsrendement van elektrofilters kan bij toepassing van meerdere secties (velden) meer dan 99% bedragen. Als richtlijn kan worden gesteld dat het rendement 90% per veld is. De afscheiding van fijn stof met elektrofilters is over het algemeen minder effectief dan met doekenfilters. Dit geldt ook voor de verwijdering van zure componenten, zware metalen en dioxinen/furanen met behulp van droge toeslagstoffen zoals hierboven beschreven. Wel kunnen elektrofilters bij hogere temperaturen dan doekenfilters toegepast worden.

Droge rookgasreiniging met een (multi)cycloon

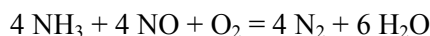
Het verwijderen van stof en eventuele toeslagstoffen en reactieproducten met toeslagstoffen door middel van een (multi)cycloon is over het algemeen minder effectief dan met een elektrofilter en veel minder effectief dan met een doekenfilter. Gezien het feit, dat het stof in de rookgassen over het algemeen vrij veel fijn stof bevat zal de restemissie meestal niet lager zijn dan enkele honderd mg/Nm³. (Multi)cyclonen worden dan ook vaak alleen gebruikt als voorreiniging als de concentratie aan stof in de rookgassen hoog is (> enkele g/Nm³) en/of bij hoge temperaturen.

Katalytische verwijdering van NO_x, CO, VOS (C_xH_y) en PCD/F

De toegepaste katalysatormaterialen hangen af van de gewenste specifieke reactie. Over het algemeen bestaan katalysatoren uit dragermaterialen van titaniumdioxide, alumina, zeolieten of actief kool waarop actieve elementen zoals Vanadium, Molybdeen, IJzer en Chroom zijn aangebracht. De diverse typen katalysatoren worden toegepast bij verschillende bedrijfstemperaturen en voor verschillende te verwijderen componenten. De bedrijfstemperaturen lopen uiteen van 100 á 150°C (actief kool) tot 300 á 430°C (titaandioxide/zeoliet). De uitvoeringsvormen zijn: platen, honingraat, netwerk en korrels. De belangrijkste katalytische processen, die bij rookgasreiniging worden toegepast zijn: katalytische reductie van NO_x en katalytische oxidatie van organische verbindingen (VOS/C_xH_y) en PCDD/PCDF.. Een belangrijke (gewenste) nevenreactie is de oxidatie van CO. Andere nevenreacties zoals adsorptie of conversie van zwaveloxiden en adsorptie van zware metalen en dioxinen zijn ongewenst omdat ze leiden tot afname van de activiteit van de katalysator (vergiftiging).

Katalytische reductie van NO_x

Katalytische DeNO_x, ook vaak SCR (Selective Catalytic Reduction) genoemd, is gebaseerd op de volgende reactie:



Hiertoe wordt NH_3 in de vorm van ammoniak of ureum geïnjecteerd in de rookgasstroom, die minimaal 6 % zuurstof dient te bevatten en na goede menging door een katalysator geleid. Met katalytische deNOx kan onder de juiste condities een NOx-reductie van meer dan 90% bereikt worden. De efficiëntie van het systeem wordt voornamelijk bepaald door de effectiviteit van de katalysator. Van grote invloed is de combinatie van de actieve componenten, de bedrijfstemperatuur en de verblijftijd. Indien de temperatuur te laag is of de verblijftijd te kort is, zal de activiteit lager zijn. Veelal worden op TiO_2 gebaseerde katalysatoren toegepast met als actieve componenten de metaaloxiden V_2O_5 , MoO_3 en WO_3 . Deze zijn over het algemeen werkzaam in het temperatuurtraject van 270-400°C.

Stof is een belangrijke bron van achteruitgang van het rendement en dient dus uit de rookgasstroom verwijderd te zijn voordat katalytische deNOx toegepast wordt. Doordat de katalysator na verloop van tijd toch in activiteit achteruit gaat ten gevolge van verontreinigingen, zal deze vervangen moeten worden na ca. 2 á 3 jaar. Als voldaan wordt aan de randvoorwaarden worden de installaties als zeer betrouwbaar gezien. In de praktijk blijken de katalysatoren vaak 3 tot 5 jaar (of soms zelfs langer) te worden gebruikt. Katalytische deNOx is over het algemeen de laatste reinigingsstap in een rookgasreinigingsinstallatie.

Katalytische oxidatie van VOS (CxHy), CO en dioxinen/furanen (PCDD/PCDF)

Inmiddels zijn er ook oxidatie katalysatoren, die dioxinen/furanen met een hoog rendement kunnen oxideren tot CO_2 , water en HCl. Hiermee kunnen tevens andere organische verbindingen (VOS) en CO worden geoxideerd tot CO_2 en water. De bedrijfstemperatuur moet dan liggen in de range van 250 tot 300°C en de rookgasstroom moet stofvrij zijn.

In veel gevallen kunnen deze oxidatiereacties in dezelfde katalysator en tegelijkertijd plaatsvinden als de reductie van NOx [5].

Niet-katalytische verwijdering van CO en VOS (CxHy)

Verbranding in de vuurhaard

Over het algemeen wordt er bij verbranding vanuit gegaan, dat als het zuurstofgehalte meer dan 6 mol.% bedraagt, de temperatuur hoger is dan 850°C, de menging goed is en de verblijftijd 2 seconden bedraagt, de eisen wat betreft CO en VOS (beiden < 50 mg/Nm³) gemakkelijke gehaald kunnen worden als de ingangconcentraties niet meer dan enkele g/Nm³ bedragen (verwijderingsrendement > 99%).

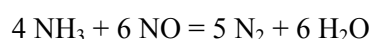
Thermische verwijdering van CO en VOS (CxHy)

Een naverbrander is in principe geschikt om in rookgassen aanwezige CO en VOS te oxideren als in de vuurhaard niet aan de hierboven genoemde voorwaarden betreffende temperatuur, menging en verblijftijd wordt voldaan maar het zuurstofgehalte van de rookgasstroom voldoende hoog is. In de naverbrander dient dan met

name wat betreft de oxidatie van VOS alsnog aan deze voorwaarden voldaan te worden. Omdat er in een naverbrander NO_x gevormd wordt is de naverbrander meestal vóór de deNO_x geplaatst.

Thermische verwijdering van NO_x

Het principe van thermische DeNO_x, ook vaak SNCR (Selective Non Catalytic Reduction genoemd) is net als SCR gebaseerd op het reduceren van NO met behulp van een reductiemiddel tot stikstof en water. De reductie is gebaseerd op de volgende overall (=netto) reactie:



Het reduceren van de NO is sterk afhankelijk van de temperatuur waarbij het reductiemiddel wordt ingespoten. Bij gebruik van ammoniak als reductiemiddel dient de insputting plaats te vinden tussen 850-1050°C. Bij gebruik van ureum wordt dit venster breder: 800-1100°C. Wanneer de temperatuur te hoog is vindt bij aanwezigheid van voldoende zuurstof productie in plaats van reductie van NO plaats.

Ammoniak heeft het voordeel dat de te bereiken reductie van NO groter is dan bij gebruik van ureum. Het temperatuurvenster kan verbreed worden bij aanwezigheid van een “brandstof” (CO, H₂ en CH₄ worden vaak genoemd).

Bij het toepassen van SNCR treden naast het gewenste stikstof en water ook ongewenste secundaire emissies op. De belangrijkste secundaire emissie is ongebruikt ammoniak.

Met SNCR zijn goede resultaten te behalen (lage ammoniakslip) indien de reductiegraad lager zal zijn dan 70%. Een hogere reductiegraad is mogelijk als er achter de SNCR een wasser is geplaatst om de NH₃-slip uit de rookgassen te verwijderen. Het NO_x-verwijderingsrendement is bij SNCR over het algemeen lager dan bij SCR.

Bijlage 3 Overzicht praktijkwaarden van afwijkingen van foutenbronnen

Spreiding in	Oorzaak	Toevallige fout (%)
brandstofdebiet	meting/meetfout	2-5
calorische waarde	meting	1-1,5
rookgasdebiet	analyse brandstofsamenstelling	
calorische waarde	representatief brandstofmonster	3
rookgasdebiet	representatief brandstofmonster	5
NO _x emissie	steekproef	4-6 Inclusief bepaling luchtfactor
O ₂ emissie	steekproef	5
rookgasdebiet	stromingscondities	5-10
meetwaarde NO _x	monsternemingsstelsel	
	monsterbehandeling	
meetwaarde O ₂	storende componenten	0,1
meetwaarde NO _x		5
meetwaarde	calibratiegassen	2
luchtfactor	zuurstofmeting	2
meetwaarde NO _x	NO _x monitor	2
	NO ₂ → NO converter	
	NO monitor	2
	NO ₂ monitor	2
meetwaarde NO _x	uitvoering meting	3
meetwaarde O ₂	uitvoering meting	3
Dataverwerking		< 1

Bijlage 4 Indicatie van gehanteerde onzekerheden

Onderstaande tabel geeft een overzicht van verrichtingen en onzekerheden daarin, zoals die door voor de TNO verrichtingen gelden (STERLAB). Dit overzicht is bedoeld om een indicatie te geven van ordes van grootte van onzekerheden.

TNO Milieu Energie en Procesinnovatie Apeldoorn, projectgroep Emissiemetingen (EMM) STERLAB-verrichtingen, accreditatie nummer L-026, geldig van 23-06 tot 09-01-2003 Materiaal of product: Rook-, proces-, uitlaatgassen van verbrandings- en proces-installaties en gaskanalen			
Nr.	Verrichting / Onderzoeksmethode	Volgens	Onzekerheid
			95 % betrouwbaarheids-interval
24	Bepalen van de stofconcentratie (gravimetrisch)	conform NEN-ISO 9096	<±10% van meetwaarde boven 5 mg/m ³ , bij ongunstig stromingsprofiel <±30%.
25	Bepalen van de O ₂ -concentratie paramagnetisch)	conform CAN/CSA Z223.3 m86	<±3% of 0,1 vol. %.
26	Bepalen van de CO ₂ -concentratie (niet dispersief infrarood)	conform CAN/CSA Z223.2m86)	<±3%.
27	Bepalen van de CO-concentratie (niet dispersief infrarood)	conform VDI 2459 Blatt 6	<±3%.
28	Bepalen van de C _x H _y concentratie, berekend als C ₃ H ₈ , (FID)	conform VDI 3481 Blatt 3	<±5%.
29	Bepalen van de NO _x concentratie, berekend als NO ₂ , (chemiluminescentie)	conform ISO 10849	<±4%.
30	Bepalen van de SO ₂ concentratie (UV)	conform ISO 7935	<-4%, <=8%.
32	Bepalen van de gasvormig anorganisch Cl ⁻ concentratie (natchemisch)	conform NEN-EN 1911 1,2,3	<±7 mg/m ³ tot meetwaarde van 10 mg/m ³ , daarboven ±10% van de meetwaarde.
33	Bepalen van de gasvormig anorganisch F ⁻ concentratie m.b.v. ionchromatografie	conform VDI 2470 Blatt 1, NEN-ISO 10304-1,2	<±1 mg/m ³ tot meetwaarde van 10 mg/m ³ , daarboven <±10% van de meetwaarde.
34	Bepalen van de H ₂ O-concentratie: gravimetrisch psychometrisch	conform EPA method 4 EMM-035 eigen methode	gravimetrisch <±5% van meetwaarde, Psychometrisch <±2% van meetwaarde.
35	Bepalen van de gassnelheid (drukverschil/doorstroming/ berekend)	conform NEN-ISO 9096	pitotbuis <±5% van meetwaarde van 5-10 m/s, daarboven <±4%.

TNO Milieu Energie en Procesinnovatie Apeldoorn, projectgroep Emissiemetingen (EMM) STERLAB-verrichtingen, accreditatie nummer L-026, geldig van 23-06 tot 09-01-2003 Materiaal of product: Rook-, proces-, uitlaatgassen van verbrandings- en procesinstallaties en gaskanalen			
Nr.	Verrichting / Onderzoeksmethode	Volgens	Onzekerheid
			95 % betrouwbaarheids-interval
36	Bepalen van de gastemperatuur (thermokoppel)	conform ISO 8756, VDI/VDE 3511, VDI/VDE 3512 Blatt 2	<±0,75% van meetwaarde of 1,5° C (grootste van beiden).
38	Bepalen van de concentratie van de zware metalen (BLA, Besluit Luchtemmissies Afvalverbranding): As, Cd, Co, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, V, en hun verbindingen in zwevend stof en in de gasfase	conform O-NVN 2817	<-10%, <+15% van meetwaarde.
39	Bepalen van de concentratie van Hg en Hg-verbindingen in de gasfase	conform NVN 2817	<±10% van meetwaarde.
40	Bepalen van de ammoniakconcentratie	eigen methode	<±18% van meetwaarde tussen 130 en 2500 mg/m ³ ind.

Bijlage 5 Normen

EN 1911-1:1998	Stationary source emissions;Manual method of determination of HCL;Part 1: Sampling of gases
EN 1911-2:1998	Stationary source emissions;Manual method of determination of HCl;Part 2: Gaseous compounds absorption
EN 1911-3:1998	Stationary source emissions;Manual method of determination of HCl;Part 3: Absorption solutions analysis and calculation
EN 1948-1:1997	Stationary source emissions;Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs;Part 1: Sampling
EN 1948-2:1997	Stationary source emissions;Determination of mass concentration of PCDDs/PCDFs;Part 2: Extraction and clean-up
EN 1948-3:1997	Stationary source emissions;Determination of mass concentration of PCDDs/PCDFs;Part 3: Identification and quantification
ISO 7934:1989	Stationary source emissions -- Determination of the mass concentration of sulfur dioxide -- Hydrogen peroxide/barium perchlorate/Thorin method
ISO 7935:1992	Stationary source emissions -- Determination of the mass concentration of sulfur dioxide -- Performance characteristics of automated measuring methods
ISO 8756:1994	Air quality -- Handling of temperature, pressure and humidity data
ISO 9096:1992	Stationary source emissions -- Determination of concentration and mass flow rate of particulate material in gas-carrying ducts -- Manual gravimetric method
ISO 10155:1995	Stationary source emissions -- Automated monitoring of mass concentrations of particles -- Performance characteristics, test methods and specifications
ISO 10396:1993	Stationary source emissions -- Sampling for the automated determination of gas concentrations
ISO 10780:1994	Stationary source emissions -- Measurement of velocity and volume flowrate of gas streams in ducts
ISO 10849:1996	Stationary source emissions -- Determination of the mass concentration of nitrogen oxides -- Performance characteristics of automated measuring systems
ISO 11564:1998	Stationary source emissions -- Determination of the mass concentration of nitrogen oxides -- Naphthylethylenediamine photometric method
ISO 11632:1998	Stationary source emissions -- Determination of mass concentration of sulfur dioxide -- Ion chromatography method
EN-ISO 11732:1998	Water quality;Determination of ammonium nitrogen by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection
ISO 12039:2001	Stationary source emissions -- Determination of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygen -- Performance characteristics and calibration of automated measuring systems
EN 13211:2001	Air quality;Stationary source emissions;Determination of the concentration of total mercury
ISO/IEC/EN 17025	General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories
ISO 14164:1999	Stationary source emissions -- Determination of the volume flowrate of gas streams in ducts -- Automated method
CAN/CSA Z223.3 m86	Method for the Continuous Measurement of Oxygen, Carbon Dioxide, Carbon Monoxide, Sulphur Dioxide and Oxides of Nitrogen in Enclosed Combustion Flue Gas Streams (geen EN of ISO norm, wel veel gebruikt)