



Luchtemissiebeperkende technieken

Handreiking

29 april 2022

Verantwoording

Titel	Luchtemissiebeperkende technieken
Opdrachtgever	RWS Water, Verkeer en Leefomgeving
Projectleider	 J
Auteur(s)	 J,  J
Tweede lezer	 J
Projectnummer	1277907
Aantal pagina's	145
Datum	29 april 2022
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

Afkortingen	5
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Gebruik	6
1.3 Doel	6
1.4 Afbakening	7
1.5 Leeswijzer	7
1.6 Historie	7
1.7 Recente ontwikkelingen	8
1.8 Aanpak	9
2 Toepassing van emissiebeperkende technieken	10
2.1 Strategie om emissies te voorkomen dan wel te beperken	10
2.2 Selectie van technieken	10
2.2.1 Afgas- en stofkarakteristieken	11
2.2.2 Techniek- en bedrijfskarakteristieken	11
2.2.3 Milieu en economie	12
2.3 Gangbare technieken	13
2.3.1 Bronnen van lage temperatuur	13
2.3.2 Bronnen van hoge temperatuur	14
2.4 Overzicht van technieken	15
3 Opbouw van de factsheets	22
3.1 Werkingsprincipe/technieknaam	22
3.2 Beknopte omschrijving	22
3.3 Toepasbaarheid	22
3.4 Uitgebreide beschrijving	23
3.5 Milieuaspecten	23
3.6 Financiële aspecten	23
3.7 Informatiebron	24
4 Factsheets	25
4.1 Absorptie: gaswater	25

4.2	Absorptie: filter met kalkinjectie.....	34
4.3	Adsorptie: adsorptiefilter	43
4.4	Biologische reiniging: biofilter.....	52
4.5	Biologische reiniging: biotrickling filter	58
4.6	Biologische reiniging: biologische wasser.....	67
4.7	Chemische reductie: SCR en SNCR.....	73
4.8	Condensatie: condensor	81
4.9	Elektrisch veld: elektrostatisch filter	88
4.10	Filtratie: stoffilter	95
4.11	Filtratie: mistfilter	105
4.12	Gravitatie: bezinkkamer	111
4.13	Gravitatie: cycloon.....	116
4.14	Koude oxidatie: ionisator	124
4.15	Stofwassing: stofwasser.....	129
4.16	Thermische oxidatie	136
5	Aanverwante onderwerpen.....	144
5.1	Diffuse emissies	144
5.1.1	VOS.....	144
5.1.2	Stof.....	144
5.2	Kosteneffectiviteit	144
Bijlage 1	Leveranciers die aan de actualisatie hebben meegewerkt	145

Afkortingen

Abm	Activiteitenbesluit milieubeheer
Bal	Besluit activiteiten leefomgeving
BBT	Beste beschikbare technieken
BREF	BBT Referentiedocument, zie https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/
CO	Koolmonoxide
COS	Carbonylsulfide
EMIS	Energie- en Milieu-informatiesysteem
DeNOx	Techniek om stikstofoxiden (NOx) chemisch om te zetten naar atmosferische stikstof (N ₂)
ESP	Elektrostatische precipitatie
EU	Europese Unie
H₂S	Waterstofsulfide (zwavelwaterstof)
HCl	Waterstofchloride
HCN	Waterstofcyanide (blauwzuur)
HEPA	Hoog efficiënt filter (High Efficiency Particle Air filter)
HF	Waterstoffluoride
Hg	Kwik
IR	Infrarood licht
LUSS	LUchtzuiveringsSelectieSysteem, zie https://emis.vito.be/nl/bbt/bbt-tools/selectiesystemen/luss
NaOCl	Natriumhypochloriet
NH₃	Ammoniak
NOx	Stikstofoxiden, som van stikstofmonoxide (NO) en stikstofdioxide (NO ₂) uitgedrukt als NO ₂
PAK	Polycyclische aromatische koolwaterstof
PCB	Polychloorbifenyyl
PCDD/F	Polygechloreerde dibenzodioxines en dibenzofuranen (dioxines)
pH	Zuurtegraad
PM	Stofvormige deeltjes; PM ₁₀ en PM _{2,5} voor deeltjesgrootte tot 10 µm respectievelijk tot 2,5 µm
PTFE	Polytetrafluoretheen (Teflon)
RTO	Regeneratieve naverbrander (regenerative thermal oxidator)
RWS	Rijkswaterstaat
SCR	Selectieve katalytische reductie (Selective Catalytic Reduction)
SLA	Schone Lucht Akkoord, zie www.schoneluchtakkoord.nl
SNCR	Selectieve niet-katalytische reductie (Selective Non-Catalytic Reduction)
SOx	Zwaveloxides, som van zwaveldioxide (SO ₂) en zwaveltrioxide (SO ₃) uitgedrukt als SO ₂
TOC	Koolwaterstoffen als koolstof (Total Organic Carbon)
UV	Ultraviolet licht
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek, zie www.vito.be
VOS	Vluchtige organische verbindingen
ZZS	Zeer Zorgwekkende Stoffen

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Voor veel industriële processen zijn nageschakelde technieken nodig om te kunnen voldoen aan de geldende emissie-eisen. Gelet op het belang van goede luchtkwaliteit voor de volksgezondheid worden de emissie-eisen steeds strenger, wat leidt tot verdere ontwikkeling van nageschakelde technieken. Betrouwbare informatie over emissiebeperkende technieken is essentieel bij het kiezen van geschikte maatregelen.

Het Nederlandse referentiedocument in deze is de 'Handreiking Luchtemissiebeperkende technieken' uit 2009 (referentie ¹). De Handreiking is niet meer in alle opzichten actueel. Rijkswaterstaat heeft besloten om de informatiebladen over emissiebeperkende technieken te actualiseren, als onderdeel van het [Schone Lucht Akkoord](#) (SLA). Het SLA streeft naar permanente verbetering van de luchtkwaliteit en is gericht op alle onderdelen van de maatschappij, waaronder de industrie. Actuele informatie over emissiebeperkende technieken is in dit licht van groot belang.

1.2 Gebruik

De Handreiking over nageschakelde luchtemissiebeperkende technieken geeft inzicht in de werking en de milieu- en financiële aspecten van de gangbare technieken. Voor iedere techniek is een informatieblad opgesteld dat ook beschikbaar is gesteld op de Informatiepunt Leefomgeving website, <https://iplo.nl/>. Deze staan bekend als 'factsheets'.

De informatie wordt ook internationaal gebruikt, bijvoorbeeld als Nederlandse inbreng voor de Europese referentiedocumenten voor beste beschikbare technieken (BREF). Andersom hebben de BREF-documenten ook hun weerslag op de factsheets. Daarnaast wordt ook actief informatie uitgewisseld met het Vlaamse Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken, dat ondergebracht is bij VITO. VITO stelt de informatiebladen over emissiebeperkende technieken, 'techniekfiches' genoemd, beschikbaar op haar EMIS-website (<https://emis.vito.be/nl/node/204>) in het Nederlands en het Engels. Beide webpagina's over emissiebeperkende technieken worden veelvuldig geraadpleegd en voorzien duidelijk in een grote behoefte. Zo zijn deze gezamenlijk ca. 110.000 keer geraadpleegd in 2020.

1.3 Doel

Het doel van de Handreiking Luchtemissiebeperkende technieken is alle betrokken partijen te voorzien van betrouwbare, elementaire informatie bij de keuze van beschikbare nageschakelde emissiebeperkende technieken. De informatie betreft de werking en de milieu- en financiële aspecten. De betrokken partijen zijn bedrijven, het bevoegd gezag, adviseurs en leveranciers.

¹ Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; dossier: B8176.01.001 registratienummer: MD-MV20081123 versie: 3, Infomil; DHV B.V.; 15 april 2009.

De informatie beoogt in algemene zin een eerste selectie van geschikte technieken mogelijk te maken. Na de eerste selectie is een verdere uitwerking van de concrete situatie nodig, waarvoor aanvullende, situatie specifieke informatie nodig zal zijn.

1.4 Afbakening

De factsheets geven een overzicht van de meest bepalende eigenschappen van algemene luchtmissiebeperkende technieken die zich in de praktijk hebben bewezen. Dit betreft onder andere het werkingsprincipe, het toepassingsgebied, de prestaties (eindconcentratie en rendement) en financiële aspecten. Dit rapport beperkt zich tot technieken die op industriële schaal worden toegepast. Technieken die alleen op laboratorium- of experimentele schaal worden toegepast, worden niet in dit rapport beschreven.

De technieken zijn beperkt tot nageschakelde technieken voor puntbronnen in de industrie. De technieken zijn vooral gericht op het behandelen van emissies. De wettelijke eisen hebben betrekking op de restconcentratie en het rendement.

1.5 Leeswijzer

De context en de toepassing van emissiebeperkende technieken zijn in hoofdstuk 2 toegelicht. Daarbij wordt in ingegaan op de gebruikelijke technieken voor het behandelen van de meest voorkomende luchtverontreinigende stoffen. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een overzichtstabel. Hoofdstuk 3 licht het gebruik en de indeling van de factsheets toe. In hoofdstuk 4 zijn de factsheets opgenomen. De indeling van de factsheets is gebaseerd op het werkingsprincipe. In de factsheets worden de belangrijkste uitvoeringsvormen per werkingsprincipe toegelicht. Hoofdstuk 5 gaat in op een aantal aanverwante onderwerpen.

1.6 Historie

De basis van het document is gelegd in 1993, destijds bedoeld als intern document om RWS leefomgeving (toen nog het Stafbureau voor de NeR) te ondersteunen bij haar informatieverstrekking aan vergunningverleners omtrent technische, juridische en procedurele kanten van het milieubeleid. Dit rapport is voorzien van een grondige update in 1999, toen het ook toegankelijk werd gemaakt voor derden, publicatie L26 'Factsheets afgasbehandelingstechnieken' (2000).

De herziening van het BAT Reference document (BREF) Afgas- en afvalwaterbehandeling voor de chemische industrie uit 2003 was aanleiding om de actualiteit van de factsheets opnieuw te bezien. In opdracht van RWS leefomgeving heeft DHV de actualiteit van de factsheets in 2009 onderzocht en ze vernieuwd waar nodig.

In Vlaanderen stelt VITO (vanaf 2004) vergelijkbare informatie als de factsheets beschikbaar door middel van 'LUSS'. LUSS is een systeem dat kan helpen bij een eerste verkenning van en besluit over mogelijke technieken om een luchtverontreiniging op te lossen. Dit systeem is digitaal beschikbaar via: <http://www.emis.vito.be/Luss/>.

1.7 Recente ontwikkelingen

Na 2009 zijn er een aantal ontwikkelingen geweest die van belang zijn de toepassing van emissiebeperkende technieken. De belangrijkste ontwikkelingen in wetgeving sinds 2009 met gevolgen voor geldende emissie-eisen zijn:

- Aanscherping van de emissie-eisen in BBT-conclusies (16 sectoren)
- Publicatie van BREF-document voor afgasbehandeling in de chemische industrie (concept, 2019)
- Normatieve deel van de Nederlandse Emissierichtlijn Lucht (NeR) opgenomen in het Activiteitenbesluit
- Implementatie van de Europese Richtlijn 2015/2193/EG over middelgrote stookinstallaties en Uitvoeringsbesluit (EU) 2017/1442 over de BBT-conclusies voor grote stookinstallaties in het Activiteitenbesluit en de Activiteitenregeling
- Overgang van het Activiteitenbesluit milieubeheer (Abm) naar het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal)
- Voorgenomen aanscherping van algemene emissie-eisen in herziening van het Bal

De belangrijkste recente beleidsontwikkelingen zijn:

- Het [Schone Lucht Akkoord](#) (SLA) met als streven een permanente verbetering van de luchtkwaliteit
- Meer aandacht voor Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS)
- Behoeftte aan zeer lage emissies van stikstofverbindingen, ten gevolge van de stikstofproblematiek in Nederland en Vlaanderen

Daarnaast is er nieuw Europees beleid in ontwikkeling, zoals:

- Europese Green Deal² met lucht-, water- en bodemverontreiniging teruggedrongen tot een niveau dat niet langer als schadelijk voor de gezondheid en de natuurlijke ecosystemen wordt beschouwd ('zero pollution')
- Herziening van luchtkwaliteitsstandaarden
- Nieuwe emissiegrenswaarden voor 29 luchtverontreinigende stoffen in de chemische industrie

In de praktijk leidt dit onder meer tot meer combinaties van technieken en optimalisatie van bestaande technieken. Daardoor verschuift de vraag meer van 'wat' (welke techniek) naar 'hoe' (voldoen aan emissie-eis). De actualisatie van de factsheets is gericht op zowel de inhoudelijke informatieverstrekking als de vorm waarin deze informatie wordt aangeboden.

² Route naar een gezonde planeet voor iedereen, EU-actieplan: Verontreiniging van lucht, water en bodem naar nul; Mededeling van 12.05.2021.

1.8 Aanpak

Rijkswaterstaat heeft een begeleidingscommissie ingesteld voor de begeleiding van het actualisatieproject. In de begeleidingscommissie waren RWS leefomgeving, bevoegd gezag, industrie, leveranciers en VITO vertegenwoordigd. De actualisatie is uitgevoerd door TAUW.

De actualisatie omvatte:

- Verwerken van wijzigingen in de 'Best Available Techniques Reference' (BREF)-documenten en andere referentiedocumenten, met name:
 - BREF CWW 2016: BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector' van 2016
 - BREF WGC D1 2019: BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
 - LUSS techniekfiches (<https://emis.vito.be/nl/node/204>)
 - BVT 2016:
 - Festlegung von besten verfügbaren Techniken (BVT) in Europa: BVT zur Minderung von Emissionen in die Luft im Bereich der chemischen Industrie in Deutschland van oktober 2016
 - Definition of Best Available Techniques (BAT) in Europe: BAT for Air Emission Reduction in the Chemical Industry Sector in Germany; Final Report; ÖKOPOL GmbH – Institut für Ökologie und Politik; Project number: FKZ 3714 43 312 4; October 2016
 - Eerder gebruikte literatuurreferenties
- Beschouwen van recente studies uitgevoerd voor RWS:
 - RWS, Vervolgonderzoek aanscherping emissiegrenswaarden afdeling 2.3 Activiteitenbesluit', 2020: analyse van meetresultaten
 - RWS, Actualisatie referentiewaarden kosteneffectiviteit, 2020: kostenindexatie
- Enquêtes onder leveranciers van luchtmissie beperkende technieken
- Interviews met leveranciers, industrie en bevoegd gezag
- Financiële informatie bijwerken naar de stand van 2021
- Consistent structuren en groeperen van technieken op basis van het werkingsprincipe

De enquêtes ingevuld door leveranciers van nageschakelde technieken waren essentieel voor de toelevering van nieuwe informatie. In bijlage 1 is opgegeven welke leveranciers zijn benaderd voor een reactie, en welke van deze partijen een inhoudelijke reactie hebben gegeven.

2 Toepassing van emissiebeperkende technieken

2.1 Strategie om emissies te voorkomen dan wel te beperken

Nageschakelde technieken moeten gezien worden als een onderdeel van de strategie om de emissies naar de lucht te beperken. De strategie begint bij het in kaart brengen van de bedrijfsprocessen, de bedrijfsvoering en de emissie-eisen. Hieruit volgt voor welke processen maatregelen nodig zijn.

De algemene voorkeur voor maatregelen vanuit milieuperspectief is als volgt:

1. Vermijden (inherent schoner)
2. Beperken middels een proces geïntegreerde maatregel
3. Behandelen met nageschakelde techniek³
 - 3.1. Productterugwinning of vorming van waardevolle bijproducten
 - 3.2. Nuttig gebruik van de energie
 - 3.3. Weinig neveneffecten (vernietiging van de verontreiniging met geen of weinig uitstoot van andere milieuschadelijke stoffen, vorming van afvalwater en/of afval, energie- en grondstoffenverbruik)

Met proces geïntegreerde maatregelen kan de belasting voor het milieu worden voorkomen of verminderd, bijvoorbeeld door het overschakelen op andere grondstoffen of recycling van emissiestromen. Maatregelen die voor de hand liggen betreffen bijvoorbeeld:

- Wijziging van de procesvoering, zodanig dat een emissie niet meer ontstaat.
Voorbeeld: optimaliseren van een verbrandingsproces, zodat schadelijke dioxines niet meer ontstaan. Dan hoeven ze ook niet meer afgevangen te worden
- Het gebruik van andere grondstoffen;
Voorbeeld: het gebruik van zwavelarme olie als brandstof, zodat er geen zwaveldioxide meer ontstaat

Indien dit niet haalbaar is, wordt gekeken naar luchtmissiebeperkende technieken. Uit de analyse van de productieprocessen en de bedrijfsvoering volgen de randvoorwaarden die nodig zijn bij het kiezen van een nageschakelde techniek. Dit rapport is beperkt tot nageschakelde technieken.

2.2 Selectie van technieken

Deze paragraaf beoogt aan te geven welke parameters bepalend zijn in het keuzeproces voor een nageschakelde techniek of een combinatie van technieken. Het proces bestaat uit drie stappen die doorlopen worden om een (combinatie van) techniek(en) te kiezen. In de uitvoeringspraktijk komt het vaak voor dat een combinatie van technieken nodig is om tot de gewenste resultaten te komen. Zeker als zeer lage eindconcentraties nodig zijn (bijvoorbeeld bij het zuiveren van rookgassen die ZZS bevatten) komt het geregeld voor dat meerdere technieken in serie worden geplaatst.

³ Eventueel voorafgaand concentreren waardoor een nageschakelde techniek kosteneffectiever wordt.

2.2.1 Afgas- en stofkarakteristieken

Als eerste stap dienen de eigenschappen van een afgasstroom vastgelegd te worden, bijvoorbeeld door middel van berekeningen en metingen, waarbij verschillende bedrijfsvoeringen moeten worden beschouwd. De eigenschappen van de afgasstroom vormen de randvoorwaarden waarbinnen een nageschakelde techniek moet kunnen opereren. De belangrijkste variabelen hierbij betreffen:

- Procesvoering: continu of discontinu, fluctuaties in aanbod, verstoringen, etc.
- Afgasparameters: debiet, druk, temperatuur
- Samenstelling afgassen: zuurstofgehalte, vocht, stof, type verontreiniging

Onderstaande zijn de belangrijkste stofkarakteristieken weergegeven:

1. Aard van de stoffen:
 - Chemische samenstelling van de verontreinigingen:
 - Organisch (onder andere alifaten, aromaten, alcoholen, gehalogeneerd)
 - Anorganisch (onder andere zuren, basen, metalen)
 - Fysische samenstelling van de verontreinigingen:
 - Stofvormige verontreinigingen
 - Gas- en dampvormige verontreinigingen
2. Stofvormige verontreinigingen
 - Concentratie
 - Deeltjesgrootteverdeling
 - Vorm van de deeltjes
 - Kleverigheid/viscositeit/hygroscopie
 - Elektrostatische lading
3. Gas- en dampvormige verontreinigingen
 - Concentratie
 - (water)oplosbaarheid
 - Dampspanning
 - Kookpunt
 - Dauwpunt
 - Explosiegrenzen
 - Reactieve/corrosieve eigenschappen
 - Biologische afbreekbaarheid

2.2.2 Techniek- en bedrijfskarakteristieken

In een tweede stap dienen techniek- en bedrijfskarakteristieken te worden beschouwd. De toepasbare technieken worden geanalyseerd op onder meer bedrijfszekerheid, rendement en uitvoeringsvormen. De bedrijfssituatie moet worden geanalyseerd op benodigde/aanwezige faciliteiten en beschikbare ruimte.

In het onderstaande zijn de belangrijkste techniekkarakteristieken weergegeven:

- Uitvoeringsvormen
- Rendement en/of haalbare restconcentratie, al dan niet in combinatie met andere technieken
- Bedrijfszekerheid
- Bedieningsintensiteit
- Onderhoudseisen en onderhoudsgevoeligheid
- Ruimtebeslag
- Benodigde procesaansluitingen (leidingwerk, besturing)

In het onderstaande zijn de belangrijkste bedrijfskarakteristieken weergegeven:

- Integratie in bestaand proces
- Beschikbare ruimte (oppervlakte en hoogte)
- Fundering en gebouwconstructies
- Benodigde/beschikbare faciliteiten (energie/elektriciteit, stoom, perslucht, afvalwaterzuivering)
- Bestemmingsplan
- Beschikbare milieuruimte (CO₂-emissierechten; bestaande stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden, luchtkwaliteit, geur- en geluidsbelasting)
- Horizonvervuiling

2.2.3 Milieu en economie

In een derde stap dienen milieuhygiënische en economische karakteristieken van de geselecteerde technieken te worden beschouwd. Het ontstaan van onder meer bijproducten, afvalstromen en kostenaspecten leiden uiteindelijk tot een keuze van een haalbare techniek.

In het onderstaande zijn de belangrijkste milieuhygiënische karakteristieken weergegeven:

- Prestaties: restemissie en reductierendement
- Bijproducten
- Afvalstromen (vast, vloeibaar, slurry)
- Energieverbruik
- Verbruik aan hulpstoffen zoals water

In het onderstaande zijn de belangrijkste economische karakteristieken weergegeven:

- Investeringskosten
- Operationele kosten (personeel, energie/elektriciteit, water, stoom, perslucht, hulpstoffen, verzekering)
- Onderhoudskosten
- Besparingen en opbrengst van teruggewonnen product
- Verwerkingskosten afvalstromen

2.3 Gangbare technieken

In deze paragraaf worden de gangbare technieken per stofgroep en hoge/lage afgastemperatuur beschouwd. Dit overzicht is bedoeld als algemeen overzicht te gebruiken bij het beschouwen van gangbare technieken. Voor het bepalen van BBT wordt verwezen naar de sectorspecifieke BBT-referentiedocumenten.

2.3.1 Bronnen van lage temperatuur

De gebruikelijke te bestrijden verontreinigende stoffen in afgassen afkomstig van bronnen van lage temperatuur (procesgassen) zijn stof (vaste deeltjes), VOS en anorganische verbindingen (HCl, SO₂, NO_x, enzovoort.).

2.3.1.1 Stof/vaste deeltjes

De gebruikelijke techniek is stof af te scheiden uit afgasstromen, hetzij als eindbehandeling hetzij als voorbehandeling ter bescherming van latere installaties, waarbij zo mogelijk materiaal wordt teruggewonnen. Er moet daarbij gekeken worden naar het energie- en waterverbruik dat met de behandelingstechnieken gepaard gaat. Geschikte technieken zijn:

- Voorbehandelingstechnieken met mogelijke terugwinning:
 - Afscheider
 - Cycloon
 - Nevelfilter (ook als nabehandelingfilter voor aerosolen en druppels)
- Eindbehandelingstechnieken
 - Natwasser
 - Elektrofilter
 - Doekfilter
 - Diverse hoog rendement filters, afhankelijk van het soort vaste deeltjes

2.3.1.2 Vluchtige organische stoffen

De gebruikelijke techniek is vluchtige organische stoffen (VOS) te verwijderen uit afgasstromen als product of eventueel te vernietigen (bijvoorbeeld door verbranden). Welke beheersingstechniek moet worden toegepast, hangt sterk af van het proces waarbij ze vrijkomen en de emissie-eis. De algemene voorkeur vanuit milieuperspectief is als volgt:

Keuze 1: technieken om producten terug te winnen. Daarbij kan het gaan om het product zelf (bijvoorbeeld benzine) of een hulpstof (bijvoorbeeld oplosmiddel). Geschikte technieken zijn:

- Natwassing (absorptie)
- (cryo)condensatie
- Membraanfiltratie
- Adsorptie of
- Combinatie ervan bijvoorbeeld condensatie/ adsorptie

Keuze 2: emissiebeperkende technieken wanneer terugwinning niet (technisch of economisch) haalbaar is, waarbij de voorkeur wordt gegeven aan energiezuinige technieken zoals biologische behandeling.

Keuze 3: verbrandingstechnieken (thermische of katalytische oxidatie), wanneer andere even efficiënte technieken niet beschikbaar zijn. Hierbij dient bij voorkeur een techniek te worden geselecteerd met een laag energiegebruik (efficiënt) en (indien technisch en economisch haalbaar) zo maximaal mogelijke terugwinning van energie. Hierbij dient ook te worden gekeken of er een afnemer voor de teruggewonnen energie beschikbaar is.

2.3.1.3 Anorganische gassen en dampen

De gebruikelijke techniek is anorganische gassen en dampen is te verwijderen, eventueel chemisch om te zetten. Geschikte technieken zijn:

- Natwassing (absorptie/chemisorptie met water-, zuur- of baseoplossing) voor waterstofhaliden, Cl_2 , SO_2 , H_2S , NH_3
- Wassing (absorptie) met een niet-waterhoudend oplosmiddel voor CS_2 , COS
- Adsorptie voor CS_2 , COS, Hg
- Biologische gasbehandeling voor NH_3 , H_2S , CS_2
- Verbranding voor H_2S , CS_2 , COS, HCN, CO
- SCR/SNCR voor NO_x .

Wanneer deze haalbaar zijn, hebben terugwinningstechnieken de voorkeur boven emissiebeperkende technieken, b.v.:

- Terugwinning van waterstofchloride wanneer in de eerste wassingsfase water als wassingsmedium wordt gebruikt, waarbij een zoutzuuroplossing ontstaat
- Terugwinning van NH_3 .

2.3.2 Bronnen van hoge temperatuur

De gebruikelijke te bestrijden verontreinigende stoffen in afgassen afkomstig van processen bij hoge temperaturen (verbrandings- of procesgassen) zijn stof (vaste deeltjes), halogeenvverbindingen, koolmonoxide, zwaveloxiden, stikstofoxiden en mogelijk dioxines.

2.3.2.1 Stof (vaste deeltjes)

De gebruikelijke techniek is stof af te scheiden uit afgasstromen. Geschikte technieken zijn:

- Elektrofilter
- Keramisch filter
- Na koeling tot circa 120-150 °C: doekfilter en natwasser

2.3.2.2 Dioxines

De gebruikelijke techniek is dioxines te oxideren of eventueel te verwijderen uit de rookgassen.

Geschikte technieken zijn:

- Thermische oxidatie
- Na koeling: adsorptie

2.3.2.3 Anorganische gassen en dampen

De gebruikelijke techniek is anorganische gassen en dampen is te verwijderen, eventueel chemisch om te zetten. Geschikte technieken zijn:

- HCl, HF en SO₂
 - Terugwinnen door natte wassing
 - Verwijderen door droge, halfdroge of natte injectie van absorptiemiddel (bijvoorbeeld kalk)
- NO_x
 - SCR
 - SNCR

2.4 Overzicht van technieken

De eerst volgende tabel geeft een inzicht in het voorkomen van de gebruikelijke technieken om afgassen te behandelen in de Duitse chemische industrie [referentie: Table 12 van BVT 2016] en in de EU [referentie: paragraaf 3.3.2 van BREF WGC (D1, 2019)]. Naar verwachting is het beeld in Nederland en Vlaanderen vergelijkbaar.

Tabel 2.1 – Aandeel van emissiebeperkende technieken in de Duitse chemische industrie (2016).

Techniek	Aandeel (totaal = 3035)	Vermelding in BREF WGC (D1, 2019), par 3.3.2: (toepassing in de chemische industrie)
Gaswasser	40%	Absorptie wordt op grote schaal gebruikt, bijvoorbeeld bij de productie van organische en anorganische stoffen, geneesmiddelen, gewasbeschermingsmiddelen, biociden en explosieven.
Stoffilter	26%	Stoffilter: op grote schaal gebruikt, bijvoorbeeld bij de productie van kunststoffen zoals polymeren, synthetische vezels en vezels op basis van cellulose en bij de productie van niet-metalen, metaaloxiden of andere anorganische verbindingen. Absoluut filter: Deze techniek wordt op grote schaal gebruikt, bijvoorbeeld bij de productie van farmaceutische producten en bij de productie van niet-metalen, metaaloxiden of andere anorganische verbindingen.
Thermische oxidator (naverbrander)	16%	Thermische oxidatie wordt op grote schaal gebruikt, bijvoorbeeld bij de behandeling van centrale rookgassen alsook bij de productie van organische stoffen, gewasbeschermingsmiddelen, biociden en farmaceutische producten. Het gebruik van de techniek werd ook gerapporteerd bij de productie van anorganische verbindingen zoals metaaloxiden en niet-metalen.
Condensator	5,0%	Condensatie wordt op grote schaal toegepast, bijvoorbeeld bij de productie van organische en anorganische stoffen, alsmede van gewasbeschermingsmiddelen en biociden.
Actiefkoolfilter	3,9%	Adsorptie wordt op grote schaal toegepast, bijvoorbeeld bij de productie van organische en anorganische stoffen, farmaceutische producten, gewasbeschermingsmiddelen, biociden, explosieven en geurbestrijding.
Cycloon	3,6%	Cyclonen worden op grote schaal gebruikt, bijvoorbeeld bij de productie van polymeren en anorganische verbindingen zoals metaaloxiden en niet-metalen.

Techniek	Aandeel (totaal = 3035)	Vermelding in BREF WGC (D1, 2019), par 3.3.2: (toepassing in de chemische industrie)
Katalytische oxidator	2,5 %	Katalytische oxidatie wordt soms gebruikt, bijvoorbeeld bij de productie van organische stoffen, gewasbeschermingsmiddelen, biociden en farmaceutische producten.
SCR	2,3 %	SCR wordt gebruikt in sommige delen van de chemische industrie, bijvoorbeeld bij de productie van niet-metalen, metaaloxiden en andere anorganische verbindingen en bij de productie van stikstofhoudende koolwaterstoffen.
SNCR	0,7 %	SNCR wordt zelden gebruikt, bijvoorbeeld bij de productie van stikstofhoudende koolwaterstoffen en anorganische gassen.
Adsorptiefilter anders dan actiefkoolfilter	0,8 %	<i>(Als adsorptiemiddel wordt meestal actieve kool gebruikt.)</i>
Elektrostatisch filter (ESP)	0,2 %	ESP wordt soms gebruikt bij de productie van niet-metalen, metaaloxiden of andere anorganische verbindingen.

Tabel 2.2 geeft een overzicht van alle technieken die in de factsheets zijn opgenomen. De tabel geeft per emissiebeperkende techniek aan welke stoffen ermee kunnen worden verwijderd en wat de milieuprestaties zijn. In de kolom 'eindconcentratie' is, waar bekend, de mediaan en de 10 en 90 percentielwaarde aangegeven. Deze zijn berekend aan de hand van de tabellen 25-76 in BVT 2016. De mediaan en percentielwaarde zijn statistische begrippen waarbij de mediaan (P50) de meest voorkomende waarde aangeeft en daarmee kenmerkend is voor de techniek. P10 is de waarde voor 10 % van de getallen (eindconcentratie in dit geval) lager is en dus 90 % hoger is. P10 is daarmee een maat voor wat maximaal met de techniek kan worden bereikt. P90 geeft aan wat minimaal met de techniek kan worden bereikt.

Indien de techniek niet primair is bedoeld voor een bepaalde verontreiniging, maar deze verontreiniging wel (deels) met de techniek wordt verwijderd, is dit aangegeven met een '+' in plaats van '♦'.

De werkingsprincipes en technieken zijn uitgewerkt in hoofdstuk 4, waar ook synoniemen van de technieken, uitvoeringsvormen en varianten zijn beschouwd.

Tabel 2.2 – Techniek met verwijderde componenten en milieuprestaties (♦ voor hoofdeffect, + voor neveneffect).

Werkingsprincipe	Techniek	Verwijderde componenten								Prestatie		
		Droog stof	Nat stof	VOS	SO ₂	NO _x	NH ₃	Anorganische gassen	Geur	Eindconcentratie [mg/Nm ³]	Rendement [%]	Debiet [Nm ³ /uur]
Absorptie	Gaswasser	+	+	♦	♦		♦	♦	♦	NH ₃ P10: 0,05 P50: 0,9 P90: 7	30 – 99	50 – 500.000
Adsorptie	Filter met kalkinjectie				♦			♦			10 – 95	10.000 – 1.000.000
	Adsorptiefilter			■			♦	♦	♦	VOS P10: 1 P50: 10 P90: 465	80 – 99	100 – 1.000.000
Biologische reiniging	Biofilter			♦			♦		♦		70 – 95	100 – 100.000
	Biotrickling			♦			♦	♦	♦		70 – 99	1.000 – 500.000
	Biologische wasser			♦			♦	♦	♦		70 – 95	
Chemische reductie	SCR					♦		♦			80 – 99	<1.000.000
	SNCR					♦		♦			25 – 80	<200.000
Condensatie	Condensor			+			+	+	♦		60 – 90	100 – 100.000
	Cryocondensatie			■			+	+	♦		>99	<5.000
Elektrisch veld	Elektrostatisch filter	♦	♦							P10: 0,2 P50: 4 P90: 9	97 - >99,9	1.800 – 2.000.000
Filtratie	Stoffilter	♦								P10: 0,1 P50: 0,4	99,95	300 – 1.800.000

Werkingsprincipe	Techniek	Verwijderde componenten								Prestatie		
			◆					+	+	P90: 4,8		
	Mistfilter (druppel)							+	+		<99	<150.000
Gravitatie	Bezinkkamer	◆										
	Cycloon	◆								P10: 0,2 P50: 4 P90: 8		
Koude oxidatie	Ionisatie			+				+	◆		80 – 99,9	20 – 200.000
Stofwassing	Stofwasser	◆	◆	+	◆		◆	+	+	Stof P10: 0,2 P50: 0,9 P90: 8,0	99	720 – 170.000
	Sproeitoren	◆	◆	+				+	+		70 – 99	1.000 – 50.000
	Venturiwasser	◆	◆	+			◆	+	+		50 – 99	720 – 100.000
Thermische oxidatie	Thermische naverbrander	+	+	◆			+		◆	VOS P10: 0,3 P50: 1 P90: 10	98 – 99,9	90 – 86.000
	Katalytische naverbrander			◆					◆	VOS P10: 0,3 P50: 1,1 P90: 10,2	80 – 99	90 – 90.000

Tabel 2.3 geeft een overzicht van alle technieken die in de factsheets zijn opgenomen. De tabel geeft per emissiebeperkende techniek aan welke wat de belangrijkste kenmerken zijn. De tabel is bedoeld om de technieken onderling te vergelijken en geeft niet alle variaties binnen een techniek weer. In hoofdstuk 4 komen die variaties aan bod.

De volgende kenmerken van het afgas zijn kwalitatief vergeleken:

- Ingangconcentratie: met 'laag' is aangegeven dat de techniek geschikt voor het behandelen van een afgas met concentratie van de te verwijderen component die een factor 2 hoger is dan de algemene emissiegrenswaarde; met 'hoog' een concentratie die aanzienlijk hoger is
- Stofdeeltjes in afgas: met 'laag' is aangegeven dat de techniek beperkingen kent ten aanzien van het gehalte aan stofvormige deeltjes in het te behandelen afgas; met 'hoog' gelden er geen beperkingen aan het stofgehalte van gebruikelijke afgassen
- Afgastemperatuur: met 'laag' is aangegeven dat de techniek geschikt voor het behandelen van een afgas met temperatuur tot ordegrrootte 40°C; met 'hoog' een temperatuur die aanzienlijk hoger is
- Wisselende belasting: met 'laag' is aangegeven dat de techniek niet of minder geschikt voor het behandelen van afgassen die gekenmerkt worden door snelle wisselingen in debiet en concentraties; met 'hoog' kan de techniek beter met snelle wisselingen omgaan zonder noemenswaardig in te boeten aan rendement en effectiviteit
- Vocht: met 'nee' is aangegeven dat de techniek beperkingen kent ten aanzien van het vochtgehalte van het te behandelen afgas; met 'ja' er geen beperkingen aan het vochtgehalte van gebruikelijke afgassen
- Gevoeligheid voor verontreinigingen: met 'ja' is aangegeven dat de techniek beperkingen kent ten aanzien van het gehalte aan bepaalde verontreinigingen van het te behandelen afgas; met 'nee' zijn geen beperkingen aan het gehalte van verontreinigingen in gebruikelijke afgassen. Met verontreinigingen worden stoffen bedoeld waarvoor de techniek niet bedoeld is, bijvoorbeeld lage concentraties giftige stoffen

De volgende kenmerken van de techniek zijn kwalitatief vergeleken:

- Bediening en onderhoud: met 'laag' is aangegeven dat het apparaat eenvoudig te bedienen is of weinig onderhoud vergt; met 'hoog' is aangegeven dat de processturing van de techniek complex is of dat er veel toezicht en/of onderhoud nodig is; met 'middel' een situatie die niet 'laag' of 'hoog' is
- Neveneffecten: de belangrijkste afwenteleffecten zijn aangegeven, zijnde andere vormen van emissies naar de lucht, afvalwater of afval
- Geschikt voor ZZS: met 'ja' is aangegeven dat de techniek geschikt is om lage restconcentraties te bereiken waarmee de emissiegrenswaarden van zeer zorgwekkende stoffen kunnen worden bereikt; bij 'nee' is de techniek hiervoor niet geschikt
- Omvang van het apparaat: met 'compact' is aangegeven dat het apparaat meestal in een bestaande installatie kan worden ingebouwd; met 'groot' is aangegeven dat voor het apparaat aanzienlijke vloeroppervlak vereist is waardoor die vaak niet in een bestaande situatie kan worden ingebouwd zonder aanzienlijke kosten (vaak hoger dan die van het apparaat zelf); met 'middel' een omvang die niet 'compact' of 'groot' is

Kenmerk R001-1277907BRA-V03-aao-NL

Tabel 2.3 – Techniek met belangrijkste kenmerken

Werkingsprincipe	Techniek	Afgas						Overig			
		Ingangs-concentratie	Stofdeeltjes in afgas	Afgastemperatuur	Wisselende belasting	Vocht in het afgas	Gevoelig voor verontreinigingen	Bediening en onderhoud	Neveneffecten	Geschikt voor ZZS	Omvang van apparaat
Absorptie	Gaswasser	Hoog Laag	Laag	Laag	Hoog	Ja	Nee	Middel	Afvalwater	Ja	Middel
Adsorptie	Adsorptie (fysisch)	Laag	Laag	Laag	Hoog	Nee	Ja	Middel	(Afval)	Ja	Middel
	Adsorptie (chemisch)	Hoog Laag	Hoog Laag	Hoog Laag	Hoog	Ja	Nee	Hoog	Afval (of nuttig gebruik)	Ja	Groot
Biologische reiniging	Biofilter	Hoog	Laag	Laag	Laag	Ja	Ja	Middel	Afvalwater	Nee	Groot
	Biotrickling	Hoog	Laag	Laag	Laag	Ja	Ja	Hoog	Afvalwater	Nee	Middel
	Biologische water	Hoog	Laag	Laag	Hoog	Ja	Ja	Middel	Afvalwater	Nee	Middel
Chemische reductie	SCR	Hoog	Laag	Hoog	Hoog	Ja	Ja	Hoog	Ammoniak, lachgas	Niet van toepassing	Middel
	SNCR	Hoog	Laag Hoog	Hoog	Hoog	Ja	Nee	Middel	Ammoniak	Niet van toepassing	Compact
Condensatie	Condensor	Hoog	Laag	Laag	Hoog	Nee	Nee	Laag	-	Nee	Compact
	Cryocondensatie	Hoog	Laag	Laag	Hoog	Nee	Nee	Middel	-	Nee	Middel
Elektrisch veld	Elektrostatisch filter	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog	Nee	Nee	Hoog	-	Mogelijk	Groot

Werkingsprincipe	Techniek	Afgas						Overig			
		Laag	Laag	Laag							
Filtratie	Stoffilter	Laag	Laag	Hoog Laag	Hoog	Nee	Nee	Middel	-	Ja	Groot
	Mistfilter (druppel)	Hoog	Laag	Laag	Hoog	Nee	Nee	Laag	-	Nee	Compact
Gravitatie	Bezinkkamer	Hoog	Hoog	Hoog Laag	Hoog	Ja	Nee	Laag	-	Nee	Groot
	Cycloon	Hoog	Hoog	Hoog Laag	Laag	Ja	Nee	Laag	-	Nee	Middel
Koude oxidatie	Ionisatie	Laag	Laag	Laag Hoog	Hoog	Ja	Nee	Middel	(Ozon)	Niet van toepassing	Compact
Stofwassing	Stofwasser	Hoog Laag	Hoog Laag	Laag	Hoog	Ja	Nee	Middel	Afvalwater	Ja	Middel
	Sproeitoren	Hoog Laag	Hoog Laag	Laag	Hoog	Ja	Nee	Middel	Afvalwater	Ja	Groot
	Venturiwasser	Hoog Laag	Hoog Laag	Laag	Laag	Ja	Nee	Middel	Afvalwater	Ja	Middel
Thermische oxidatie	Thermische naverbrander	Hoog Laag	Laag	Laag	Laag	Ja	Nee	Middel	CO ₂ , NO _x , (SO ₂ , dioxine)	Ja	Groot
	Katalytische naverbrander	Hoog Laag	Laag	Laag	Laag	Ja	Ja	Middel	CO ₂ , NO _x , (SO ₂)	Ja	Groot

3 Opbouw van de factsheets

De structuur van de factsheets is uniform voor alle technieken, waarbij ook de aanduiding van de luchtverontreinigende stoffen en de eenheden zoveel mogelijk gelijk zijn gehouden. Deze uniforme opzet staat de gebruiker toe om verschillende technieken onderling te vergelijken en een afweging te maken.

3.1 Werkingsprincipe/technieknaam

In de titel wordt eerst het werkingsprincipe benoemd. Daarna wordt de naam van de specifieke techniek gegeven.

Vervolgens worden de verschillende uitvoeringsvarianten van een techniek benoemd, samen met de gebruikelijke synoniemen voor deze varianten.

Tot slot worden de stoffen die met de techniek kunnen worden verwijderd of gereduceerd genoemd.

3.2 Beknopte omschrijving

Hier wordt op hoofdlijnen de beschrijving van de techniek gegeven. Het principe waarop het afvangen van de componenten berust, wordt verduidelijkt aan de hand van een principeschema.

3.3 Toepasbaarheid

Onder deze kop wordt beschreven voor welke toepassingen een techniek in de praktijk wordt ingezet. Dat omvat een beschrijving van:

- De stoffen die afgevangen kunnen worden met de betreffende techniek en welke varianten daarvoor ingezet worden
- De bedrijfssectoren waarin de technieken veel worden toegepast. De lijst is niet altijd uitputtend en toepassing van de techniek in andere sectoren dan genoemd is mogelijk
- Gebruikelijke combinaties van verschillende technieken
- Prestaties en randvoorwaarden. In tabelvorm wordt een indicatief beeld geschetst van gebruikelijke prestaties van een techniek en de randvoorwaarden waarbinnen deze prestaties behaald zijn. Het betreft geen harde grenzen, het zijn uit de gebruikspraktijk afkomstige gegevens. In een specifieke situatie is een ander prestatieniveau mogelijk

De opgegeven data zijn verkregen onder verschillende condities, bij verschillende bedrijven en processen. Daarom moeten de opgegeven waarden als indicatief gezien worden en zijn alle parameters als bandbreedte opgegeven. De beste prestaties zijn te verwachten bij processen waarbij de omstandigheden optimaal zijn, de bovenkant van de bandbreedte is bedoeld voor processen waarbij reiniging technisch moeilijker is. Opgegeven meetwaarden betreffen halfuurgemiddelden, tenzij anders aangegeven.

Waar bekend zijn de mediaan en de 10 en 90 percentielwaarde aangegeven. Deze zijn berekend aan de hand van de tabellen 25-76 in BVT 2016. De mediaan en percentielwaarde zijn statistische

begrippen waarbij de mediaan (P50) de meest voorkomende waarde aangeeft en daarmee kenmerkend is voor de techniek. P10 is de waarde voor 10 % van de getallen (eindconcentratie in dit geval) lager is en dus 90 % hoger is. P10 is daarmee een maat voor wat maximaal met de techniek kan worden bereikt. P90 geeft aan wat minimaal met de techniek kan worden bereikt.

3.4 Uitgebreide beschrijving

Diverse technieken kennen in de praktijk veel verschillende uitvoeringsvarianten. Deze gevallen worden in de factsheet als een variant genoemd en niet in een aparte factsheet opgenomen. In de uitgebreide beschrijving wordt nadere toelichting gegeven op de werking van de diverse uitvoeringsvarianten van een techniek en dan met name de specifieke eigenschappen van de betreffende variant.

Kwalitatieve criteria voor installatie, ontwerp en onderhoud staan onder deze kop beschreven zodat duidelijk is binnen welke begrenzingen een techniek ingezet kan worden. Tevens wordt er in de uitgebreide beschrijving ingegaan op de monitoring.

3.5 Milieuaspecten

Het plaatsen van een nageschakelde techniek kan het resultaat zijn van een strategie om emissies van stoffen naar de lucht te beperken. In dit besluitvormingsproces moeten meerdere (milieu)afwegingen worden gemaakt. Het voordeel voor de luchtkwaliteit van emissiereductie moet afgezet worden tegen de nadelen voor andere milieuaspecten en de bedrijfsvoering.

Onder deze kop worden specifieke voor- en nadelen genoemd die verbonden zijn aan het gebruik van een techniek. Ook wordt ingegaan op de afwenteleffecten ('*cross media effects*'). Denk daarbij bijvoorbeeld aan het gebruik van grondstoffen, waterverbruik, elektriciteit, uitstoot van CO₂ en/of NO_x en afvalproductie. Het doel is een overzicht te geven van mogelijkheden, niet al deze effecten hoeven op te treden in een specifieke situatie.

3.6 Financiële aspecten

De genoemde ranges geven een indicatie van de kosten. Daarbij komen de volgende onderwerpen aan bod:

- Investeringskosten (in geval van nieuwbouw; geen retrofit)
- Operationele kosten (personeel, energie/elektriciteit, water, stoom, perslucht, hulpstoffen, verzekering en afvalverwerkingskosten). In de factsheets worden alle operationele kosten samengevat onder het kopje 'operationele kosten'. In sommige gevallen wordt ook specifieker aangegeven wat de kosten zijn voor bijvoorbeeld personeel, materiaal of energie. Deze kosten maken onderdeel uit van de operationele kosten en moeten daar dus niet bij opgeteld worden als de cijfers gebruikt worden als kentallen bij een schatting van de kosteneffectiviteit
- Materiaal voor zover er hulpstoffen worden verbruikt of materiaal in het apparaat regelmatig moet worden vervangen
- Baten indien teruggewonnen product nuttig kan worden gebruikt of energie wordt bespaard
- Kostenbepalende parameters
- Energieverbruik van bijvoorbeeld elektriciteit en aardgas

3.7 Informatiebron

Hier worden de belangrijkste referentiedocumenten, leveranciers en het bevoegde gezag genoemd die zijn gebruikt om de bestaande informatie te toetsen. In dit onderzoek worden drie primaire bronnen ingezet:

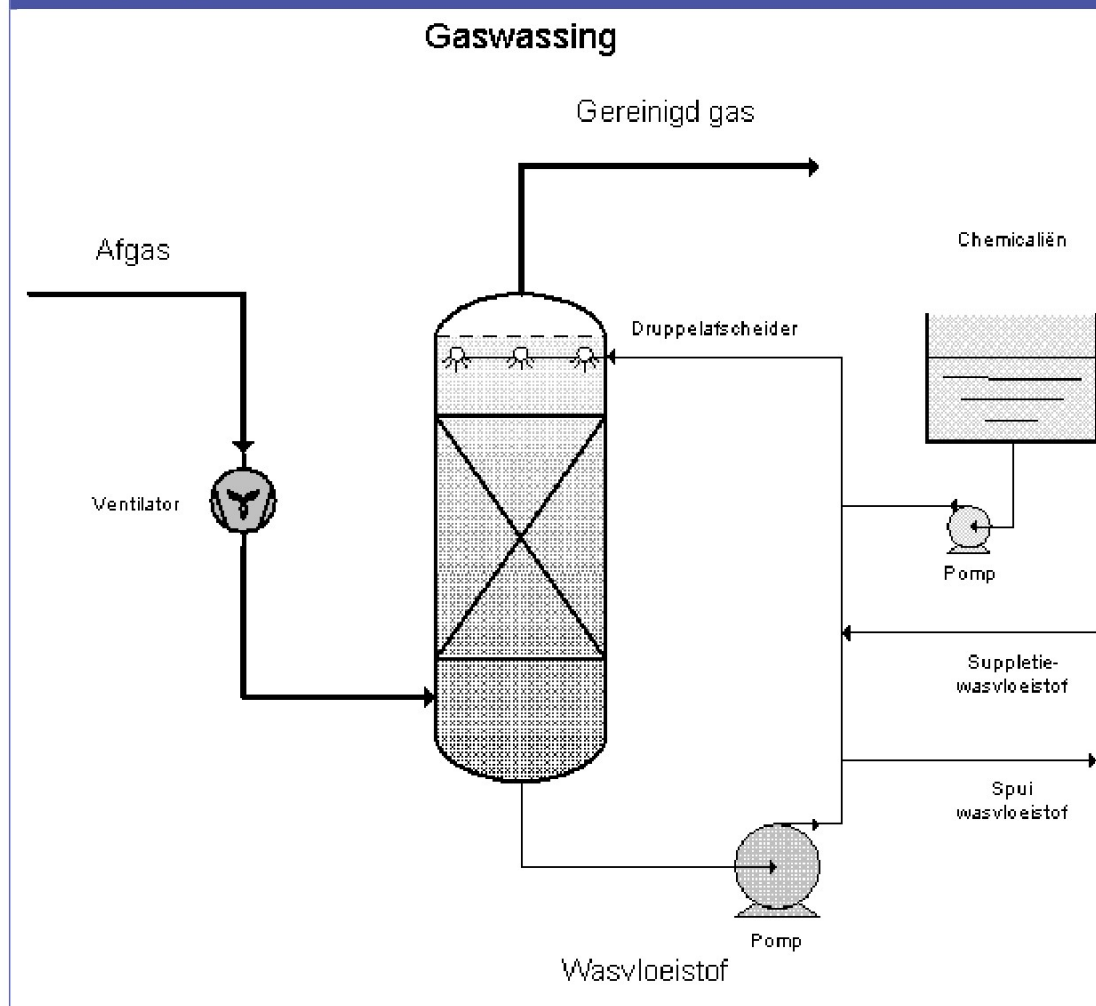
- De vorige versie van deze handreiking (2009)
- Nieuwe literatuurgegevens die na 2009 zijn verschenen, zoals de BREF WGC D1 2019
- Enquêtes en interviews met leveranciers van nageschakelde technieken

4 Factsheets

4.1 Absorptie: gaswasser

Absorptie: gaswasser	
Varianten en synoniemen Gaswasser, <i>scrubber</i> , <i>absorber</i> , <i>luchtwasser</i> Zure gaswasser, <i>acid scrubber</i> Alkalische gaswasser, <i>basische water</i> Alkalische-oxiderende gaswasser, <i>alkalisch-oxidatieve gaswasser</i> , <i>basisch-oxidatieve gaswasser</i>	
Verwijderde stoffen Vooral: ammoniak, geur, H_2S , HCl en HF , SO_2 , VOS Mindere mate: stofdeeltjes en druppels, NO_x	
1. Beknopte beschrijving 1.1 Beschrijving Het werkingsprincipe van een gaswasser berust op het oplossen van een gas of damp in een vloeistof (absorptie). Het afgas wordt daartoe intensief in contact wordt gebracht met de wasvloeistof, vaak water (of waterige oplossing). In principe bestaat een gaswasser uit drie onderdelen: een absorptiesectie met wasvloeistof, een druppelvanger en een recirculatietank. De reinigingsgraad van gaswassers is een samenspel van vooral de verblijftijd van het gas in de absorptiesectie, het type pakking, de gas-vloeistofverhouding (L/G), de verversingsgraad, de temperatuur van het water en het toevoegen van chemicaliën (zie zure en alkalische/basische gaswassers). <u>Absorptie</u> moet niet verward worden met <u>adsorptie</u> , waarbij moleculen, atomen of ionen van de te verwijderen stof zich hechten aan het oppervlak van een vaste stof.	
1.2 Principeschema Hierna volgt het principeschema.	

Absorptie: gaswasser



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Gaswassing is de meest toegepaste emissiebeperkende techniek in de chemische industrie. Gaswassers worden toegepast bij stoffen die goed oplosbaar zijn in water zoals alcoholen en aceton. Daarnaast zijn er ook systemen met organische wasvloeistoffen waardoor organische gassen goed uitgewassen kunnen worden. Door toevoeging van chemicaliën aan de wasvloeistof, zoals zuren of basen, kan de effectiviteit van een gaswasser worden toegespitst op de chemische eigenschappen van een specifieke stofgroep. Terugwinnen van grondstoffen is bij deze techniek mogelijk, maar vergt een aanvullende scheidingstechniek. De techniek is ook voor bestrijding van geur in te zetten.

Absorptie: gaswasser

(sectoren)

Breed toepassingsgebied in onder meer de volgende sectoren:

- Afvalverbrandingsinstallaties
- Chemische industrie
- Farmaceutische industrie
- Op- en overslag van chemicaliën
- Oppervlaktebehandeling
- Primaire aluminiumindustrie
- Veeteelt

De varianten waarbij zuren worden toegevoegd aan de wasvloeistof om basische gassen uit het afgas af te vangen worden met name toegepast in de sectoren:

- Intensieve veehouderij/Mestverwerking (ammoniak)
- Compostering (ammoniak)
- Afvalverwerkingsinstallaties (ammoniak, amines)
- Kunstmestproductie (ammoniak)
- Farmaceutische industrie (esters)
- Chemische industrie (esters)
- Gieterijen (amines)
- Productie van visvoeder (amines)

De varianten waarbij basen worden toegevoegd aan de wasvloeistof om zure gassen uit het afgas af te vangen worden met name toegepast in de sectoren:

- Chemische industrie
- Galvanische industrie
- Op- en overslag van chemicaliën
- Afvalverbrandingsinstallaties
- Slibverwerkingsinstallaties, rioolwaterpompstations, rioolwaterzuiveringsinstallaties

De alkalisch-oxidatieve wasser wordt vooral voor geurbeperking toegepast in de sectoren:

- Voedingsmiddelenindustrie
- Mengvoederfabrikanten
- Slachthuizen
- Geurstoffenindustrie
- Textielindustrie
- Op- en overslag van vloeistoffen

(ZZS)

De restconcentratie van gaswassers is sterk afhankelijk van de toepassing en de uit te wassen stof. Het is in de meeste gevallen mogelijk om met een gaswasser te voldoen aan de algemene emissie-eis voor een specifieke stof. Lagere restconcentraties die voldoen aan strengere eisen voor ZZS kunnen behaald worden, maar dit is afhankelijk van de ingangconcentratie.

Absorptie: gaswasser

Vaak is een tweede nageschakelde techniek nodig na de gaswasser om ZZS emissies voldoende te reduceren.

2.2 Combinatie van technieken

Gaswassers kunnen onderdeel uitmaken van complexe combinaties van technieken. Enerzijds zijn dit combinaties met verschillende varianten van gaswassers, bijvoorbeeld een zure en basische wasser na elkaar geschakeld om beide effecten te verkrijgen (tweetrapswasser). Ook kan een gaswasser onderdeel uitmaken van een bredere selectie van technieken, waarbij de gaswasser gericht is op het uitwassen van gassen, en andere technieken worden toegevoegd voor het afvangen van stofvormige deeltjes. Om lage ($<1 \text{ mg/Nm}^3$) uitgangskonzentraties te bereiken is een gaswasser doorgaans niet voldoende en kan een tweede nageschakelde techniek noodzakelijk zijn.

2.3 Milieuprestaties

De milieuprestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

De gegevens zijn afkomstig uit de BREF CWW (2016), BVT 2016 en BREF WGC D1 (2019). NI staat voor 'no information' en betekent dat er geen bronnen zijn waaruit een algemene waarde voor die situatie te herleiden is. N.v.t. staat voor 'niet van toepassing' en is gebruikt voor geur. Voor geur zijn geen emissiegrenswaarden vastgesteld omdat de aanvaardbaarheid getoetst wordt aan de hand van de immissie (geurbelasting) bij gevoelige receptoren.

Stof	Verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm^3	Wasvloeistof
Alcoholen	30 – 99	$<20 - 40$	Water
Amines	>99	<1	Zuur
Ammoniak	>99	$<1-3$ P10: 0,05 P50: 0,9 P90: 7	Zuur
Chloor	NI	P10: 0,05 P50: 0,4 P90: 2	NI
Chroomzuur	99	<10	Water
Esters	80	$<20 - 40$	Zuur
Ethyleenoxide	99	P10: 0,02 P50: 0,07 P90: 1	Zuur
Gehalogeneerde koolwaterstoffen (geen ZZS)	NI	P10: 0,1 P50: 1 P90: 15	NI

Absorptie: gaswater

Fenolen	90	<20 – 40	Alkalisch
formaldehyde	NI	P10: 0,04 P50: 0,2 P90: 12	Water
Geur	60 – 85	N.v.t.	Water
Geur	80 – 90	N.v.t.	Alkalisch-oxiderend
HCl	99	<10 P10: 0,1 P50: 0,8 P90: 5	Alkalisch + Water
HF	>99	<10 P10: 0,015 P50: 0,1 P90: 0,5	Alkalisch + water
Methanol	NI	P10: 0,4 P50: 2 P90: 150	Water
NOx	NI	< 100 P10: 1 P50: 6 P90: 66	Alkalisch
H ₂ S	90 – 95	<15	Alkalisch
SO ₂	95 – 98	<10	Water
SO ₂	>85 – 99	<10 P10: 0,1 P50: 1,5 P90: 20	Alkalisch
VOS	50 – 99	<20 - 40	Water (indien wateroplosbare VOS)

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

P10: 30

P50: 2.000

P90: 30.000

Temperatuur [°C]:

5 – 80

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

4 – 8

Vochtgehalte:

Absorptie: gaswasser

Geen beperkingen

Stof [g/Nm³]:

<10; voor een goede werking zijn lage stofconcentraties wenselijk. Waters die zijn ontworpen voor stofverwijdering zijn als afzonderlijke techniek beschouwd.

Ingaande concentratie [mg/Nm³]:

200 – 5.000 (alcoholen)

200 – 1.000 (ammoniak)

10 – 1.000 (amines)

>100 (esters)

50 – 20.000 (HCl)

50 – 1.000 (HF)

<5.000 (fenolen)

100 – 10.000 (SO₂)

1.500 – 15.000 (H₂S)

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Gaswasser zonder chemicaliën

De techniek wordt vooral toegepast bij stoffen die goed oplosbaar zijn in water zoals alcoholen en aceton. Daarnaast zijn er ook systemen met organische wasvloeistoffen. Er zijn vele varianten te ontwerpen die allen gebruikmaken van dezelfde basisprincipes. Gevarieerd kan worden met de stroming van de gasen door de vloeistof, zoals bij meestroom-, kruisstroom- en tegenstroomwassers. De wijze waarop het gas in contact komt met de wasvloeistof kan ook op meerdere manieren worden uitgevoerd, zoals wassers met pakkingmateriaal of schotels, en wassers zonder pakkingmateriaal ingebouwd, zoals venturi- en straalwassers en sproeitoren.

Zure gaswasser

Een zure water werkt bij lage zuurgraad waardoor basische stoffen beter worden afgevangen. Hierbij worden zouten gevormd. Op basis van dichtheid en/of geleidbaarheid wordt een gedeelte van het waswater gespuid. Het spuiwater kan tot 15% zouten bevatten en wordt ofwel na zuivering geloosd, ofwel ingedampt voor hergebruik. De dosering van het zuur gebeurt door middel van een pH-regeling. De zuurgraad wordt in de meeste gevallen tussen pH 3 en 6 gestuurd. Als zuur wordt meestal, uit economische redenen, zwavelzuur (H₂SO₄) gebruikt. Voor specifieke toepassingen, bijvoorbeeld voor het afvangen van NH₃, wordt ook wel salpeterzuur (HNO₃) gebruikt.

Hierbij wordt ammoniumnitraat gevormd dat gebruikt kan worden als kunstmest. Door hun basische karakter kunnen ook amines en esters worden afgevangen in een zure water.

Absorptie: gaswasser

Alkalische gaswasser/ basische gaswasser

Bij een alkalische wasser worden zure stoffen beter afgevangen door neutralisatie met een base (loog) als wasvloeistof. Hierbij worden zouten gevormd die eventueel kunnen worden opgewerkt. De dosering van base gebeurt op basis van een pH sturing of een directe meting in de uitgaande luchtstroom, bijvoorbeeld een H_2S -meting. Meestal wordt de pH van een alkalische wasser tussen 8,5 en 9,5 gestuurd. Men kan de zuurgraad niet te hoog maken in verband met absorptie van CO_2 in het water. Vanaf een pH boven 10 zal het opgeloste CO_2 als carbonaat aanwezig zijn in het water waardoor het loogverbruik sterk zal stijgen. Het calciumcarbonaat zal eveneens neerslaan op de pakking waardoor de drukval zal verhogen. Om dit te vermijden, wordt ook aangeraden om in een alkalische wasser onthard water te gebruiken.

Alkalisch-oxiderende gaswasser

Alkalisch-oxiderende gaswassing wordt vooral ingezet voor geurbestrijding. Hierbij worden de organische geurcomponenten in alkalisch milieu, bij pH 7 - 10, geoxideerd. Als sterke oxidator wordt natriumhypochloriet (NaOCl), kaliumpermanganaat (KMnO_4) of waterstofperoxide (H_2O_2) gebruikt. Bij kaliumpermanganaat wordt er mangaanoxide (MnO_2) gevormd dat periodiek uit de wasvloeistof moet verwijderd worden. Bij hypochloriet zijn dit chloriden en bij waterstofperoxiden worden geen bijproducten gevormd. Waterstofperoxide is een minder sterke oxidator dan hypochloriet of kaliumpermanganaat. Vooral bij geurverwijdering, omdat dit complex kan zijn wat betreft de samenstelling van de geurcomponenten, is het aan te bevelen eerst testen op kleinere schaal uit te voeren om de verwijderingsefficiëntie specifiek te bepalen. Als amines aanwezig zijn in de afgassen is het aangewezen om eerst een zure wassing uit te voeren om de vorming van chlooramines te vermijden.

Bij gebruik van NaOCl bij lage pH kunnen toxische chloordampen ontstaan. Daarom kan bij toepassing van NaOCl best een basische wasser nageschakeld worden om de chloordampen af te vangen.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

Een optimaal ontwerp van een gaswasser met lage emissies vereist een hoge betrouwbaarheid, volledige automatisering en een goede staat van onderhoud. De inhoud van de gaswasser is ordegrootte 1-2 m^3 per 1.000 Nm^3/uur . De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Afgasdebiet
- Bedrijfstemperatuur en maximale temperatuur
- Afgassamenstelling
- Turn down ratio: een gaswasser werkt op basis van contacttijd en wordt hiervoor ontworpen (verhouding tussen debiet damp en debiet circulatievloeistofstroom. Als deze verhouding (door momentane afname of toename van het debiet damp, debiet circulatievloeistofstroom is over het algemeen vast) verandert, kan dit een grote invloed op het verwijderingsrendement hebben

Absorptie: gaswasser

(monitoring)

Om het rendement te meten van de wasser is het nodig de in- en uitgaande gasconcentratie te meten. Dit kan afhankelijk van de component met UV of IR licht, of nat-chemisch worden bepaald. Routinemetingen moeten gaan over de drukval, make-up waterstroom, recycle stroom, de reagensstroom en in sommige gevallen de pH, temperatuur en geleidbaarheid van de uitgaande waterstroom.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Breed toepassingsbereik
- Geschikt voor lage restconcentraties die vereist zijn voor ZZS.
- Compacte installatie in relatie tot het verwerkte afgasdebiet
- Mogelijkheid van terugwinnen van materiaal
- Reinigt ontvlambare en/of explosieve gassen op relatief veilige wijze

4.2 Nadelen

- De belangrijkste nadelen zijn:
- Afvalwaterstroom moet worden behandeld
- Verbruik van water en reagentia
- Gevoelig voor vorst en corrosie

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Verbruik van water is afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid van de ingaande gasstroom, en ook de frequentie waarmee het waswater wordt ververs (spui). De uitgaande gasstroom is doorgaans volledig verzadigd met waterdamp. Als de concentratie van de te verwijderen stof in de wasvloeistof toeneemt, daalt het rendement. Om het minimaal benodigd rendement te behalen is voldoende spui en verversing benodigd.

Chemicaliën:

Zuren, basen, oxidatiemiddelen, afhankelijk van de gekozen toepassing.

Energieverbruik:

Elektriciteit voor aandrijven van een pomp en eventueel een ventilator.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is in een aantal gevallen mogelijk. Soms kan de verzadigde wasvloeistof als zodanig worden gebruikt, bijvoorbeeld ammoniakwater. In bepaalde gevallen kan het spuiwater worden ingedampt en opgewerkt voor herwinning van producten als zouten. Een belangrijke toepassing is gips in het geval van SO₂-verwijdering. Opgeloste gassen kunnen worden 'gestript' uit de verzadigde oplossing zodat een geconcentreerde afgasstroom ontstaat die kan behandeld. Een belangrijke toepassing is het

Absorptie: gaswasser

afvangen van zwavelwaterstof(H_2S) uit de gasstroom na de ontzwavelingsstap van aardolieproducten. De geconcentreerde afgasstroom met H_2S kan vervolgens worden behandeld in een zwavelterugwinningsinstallatie, waarbij elementaire zwavel en water ontstaan.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging. Wel zal een gekoelde gasstroom minder pluimstijging vertonen, wat nadelig is voor de verspreiding van de emissies in de buitenlucht (vooral van belang bij geurbestrijding en de daarbij behorende effecten op de immissiepunten).

Afvalwater:

Er ontstaat een afval(water)stroom die zal moeten worden behandeld voordat die kan worden geloosd. De spuistroom van zure en alkalische wassers zal vaak moeten geneutraliseerd voordat die kan worden behandeld.

Afval:

Afval ontstaat indien neerslag in de wasvloeistof wordt gevormd en niet nuttig kan worden gebruikt. Dit kan het gevolg zijn van chemicaliën die bewust worden toegevoegd om het rendement te verhogen of om de verzadigde wasvloeistof te neutraliseren.

Veiligheid:

Gebruik van sterke oxidatoren vereist de nodige veiligheidsvoorzieningen en een speciale uitvoering van de installatie. In een wasser met chloorbleekloog ($NaOCl$) kunnen bij lage pH toxische chloordampen ontstaan. Ook kunnen ontvlambare en/of explosieve gassen op relatief veilige wijze worden behandeld.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm^3 /uur]:

7.500 – 25.000 voor standaarduitvoeringen.
10.000 – 50.000 voor zure, basische of basisch-oxidatieve wasser

Operationele kosten [EUR/ 1.000 Nm^3 / uur/ jaar]:

1.000 – 30.000

Personeel [uur/week]:

4

Materiaal:

Absorptie: gaswasser

De materiaalkeuze is afhankelijk van toepassing. Als gebruik wordt gemaakt van oxiderende of zure wasvloeistoffen is kunststof het belangrijkste constructiemateriaal. Pakkingsmateriaal gaat normaal gesproken vele jaren mee.

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,2 – 1 (exclusief energieverbruik voor verwerking van de spuistroom (afvalwater of anders))

Baten:

Kostenbesparing op grondstof indien recycling mogelijk is of afzetwaarde van de verzadigde oplossing (bijvoorbeeld ammoniakwater), gevormde zouten zoals ammoniumnitraat of teruggewonnen product (bijvoorbeeld zwavel).

Kostenbepalende parameters:

Debiet, afvalwaterbehandeling

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtmissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. BVT 2016
5. VITO LUSS: basische/basisch-oxydative/zure wasser
6. Leverancier Clean All Air Industriële Luchtwassersystemen

4.2 Absorptie: filter met kalkinjectie

Absorptie: filter met kalkinjectie

Varianten en synoniemen

Kalkinjectie (droog, semi-droog/halfdroog, halfnat, nat), sproeidroog *adsorptie*, *cascade adsorptie*, *chemische adsorptie*, *natte kalkwassing*, *kalksteen-gips proces*, *in-situ forced oxidation proces (IFO)*

Verwijderde stoffen

Vooraf: HCl, HF, SO₂

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

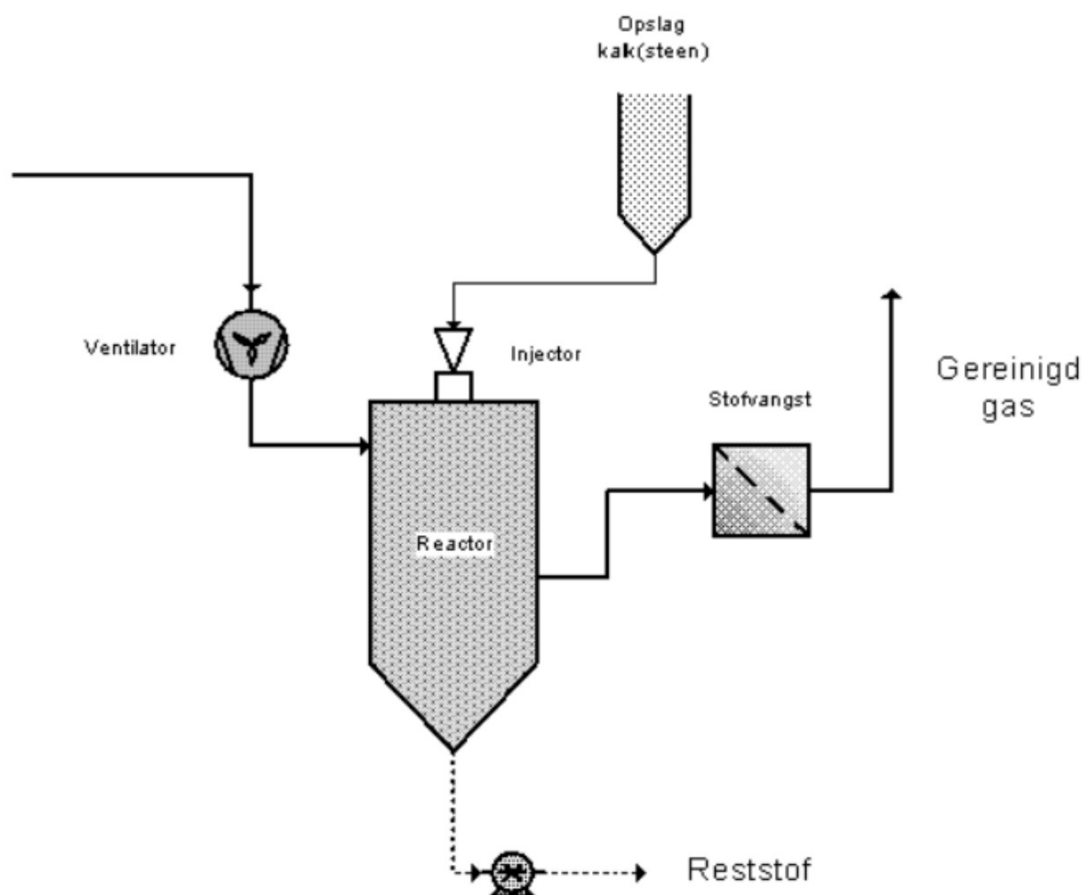
Het werkingsprincipe van een filter met kalkinjectie berust op chemische binding van stoffen in het afgas. Hiertoe worden kalkhoudend poeder of vloeistof in de afgasstroom gebracht.

Absorptie: filter met kalkinjectie

De kalk bindt zure gasvormige verontreinigingen in vaste verbindingen die vervolgens kunnen worden afgescheiden. In het geval van SO_2 ontstaat gips dat als bouwgrondstof kan worden ingezet.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Kalkinjectie wordt toegepast om zure gassen, doorgaans SO_x , HCl en HF uit een afgasstroom te verwijderen.

(sectoren)

Kalkinjectie wordt vooral toegepast bij grote verbrandingsinstallaties met vloeibare of vaste brandstoffen in onder meer de volgende sectoren:

- Glasindustrie

Absorptie: filter met kalkinjectie

- Afvalverbrandingsinstallaties
- Keramische industrie
- Chemische industrie
- Elektriciteitscentrales
- Aluminiumsmelters

(ZZS)

De techniek is toegespitst op het afvangen van anorganische, zure gasen en dat zijn geen ZZS. De restconcentratie na droge kalkinjectie is niet laag genoeg om te voldoen aan de emissie-eisen voor ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Kalkinjectie wordt altijd toegepast in combinatie met een filtertechniek, een doekfilter of ESP. Het niet gereageerde poeder vormt een laag op het filterdoek waar de zure gasen mee kunnen reageren. Zo wordt de verwijderingsefficiëntie verhoogd.

Doordat kalkinjectie doorgaans in warme hete rookgasen plaatsvindt ($>140^{\circ}\text{C}$) is het mogelijk om na de techniek nog een SCR te plaatsen zonder of met beperkte opwarming van de afgasstroom. Dit kan een reden zijn om te kiezen voor kalkinjectie voor SO_2 afvangst boven het potentieel hogere rendement van een gaswasser.

Kalkinjectie kan ook worden gecombineerd met adsorptie, door ook actief kool te injecteren. De actief kool kan zware metalen, dioxines en furanen afvangen. Sorbalit is een merknaam voor een mengsel van kalk en actieve kool.

2.3 Milieuprestaties

De milieuprestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

De gegevens zijn afkomstig uit de BREF CWW (2016), die weer naar de Factsheets van 2009 verwijst, BVT 2016 en BREF WGC D1 (2019).

Stof	Droge injectie		Techniek
	Verwijderings-efficiëntie [%]	Restemissie [mg/Nm^3]	
SO_x	10 – 70	<40	Droge injectie met kalk
SO_x	85 – 90	<40	Semi-droge injectie
SO_x	90 – 97	<40	Natte injectie

Absorptie: filter met kalkinjectie

SO _x	90 – 95	<5	Droge injectie met natriumbicarbonaat
SO ₂	75 – 98		Droge injectie
HCl	75 – 98	<2 – 10	Droge injectie
HCl	>90	<10	Semi-droge en natte injectie
HF	75 – 98	<1	Droge injectie
HF	>85	<1	Semi-droge injectie
Kwik	>95	<0,05	Droge injectie met kalk en actief kool

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

10.000 – 300.000 (droge injectie)

<1.000.000 (semi-droge injectie)

50 – 500.000 (natte injectie)

Temperatuur [°C]:

De werkingstemperatuur is sterk afhankelijk van de toegepaste techniek en het adsorptiemateriaal. Gewoonlijk ligt de werkingstemperatuur tussen 140 – 400°C.

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

25

Vochtgehalte:

Geen beperkingen

Stof [g/Nm³]:

Geen beperkingen

Ingaande concentratie [mg/Nm³]:

<10.000 (SO_x)

Absorptie: filter met kalkinjectie

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Droge injectie

Bij droge injectie wordt een fijn poeder verstoven in de rookgassen. De reactie tussen de droge kalk of kalksteen en de zure componenten in de rookgasstroom vindt plaats in een reactor en gedeeltelijk in de nageschakelde stofafscheiding, nadat de verontreinigingen aan de kalk zijn opgenomen. De reactor is nodig om een voldoende lange reactietijd, van enkele seconden, tussen de chemicaliën en de verontreiniging in de rookgasstroom te garanderen. De injectie van de kalk wordt soms in de reactor uitgevoerd. Het is echter ook mogelijk kalk voor de reactor in de rookgasstroom te injecteren.

Bij gebruik van een doekenfilter voor de verwijdering van het reactieproduct, vindt een beter contact plaats tussen de kalk en de gasvormige verontreiniging dan bij een ESP filter. Bij de dimensionering van de reactor en ook bij de bepaling van de noodzakelijke overmaat aan chemicaliën is de keuze van de emissiebeperkende techniek voor verwijdering van het stof dus van groot belang. De reactie speelt zich af na absorptie van de gasvormige verontreiniging aan de kalk. Vanwege het geringe contactoppervlak is de noodzakelijke overmaat aan chemicaliën groter dan bij semi-droge reinigingsmethode. Tegelijk met de afscheiding van de droge reactieproducten en de overmaat aan chemicaliën kan ook de stofvormige verontreiniging worden afgescheiden. De gebruikte chemicaliën worden met de afgescheiden verontreiniging gedeeltelijk gerecirculeerd. Toch is het chemicaliënverbruik en de hoeveelheid afgevangen stof bij droge reiniging aanzienlijk hoger dan bij semi-droge reiniging.

Verdere processturing is mogelijk via de temperatuur, deeltjesgrootte van het poeder, de molaire verhouding zwavel/carbonaat, turbulentie in de reactor en de keuze voor het adsorptiemateriaal. Verschillende stoffen kunnen gebruikt worden voor het adsorptiemateriaal, maar het meest gebruikt zijn kalk (calciumcarbonaat) en natriumbicarbonaat.

Droge cascade- of bed reactor

Hierbij wordt kalk niet verstoven in het rookgas maar het rookgas door een bed met kalkkorrels geleid. De korrels met de gebonden verontreinigingen zakken onder invloed van de zwaartekracht. De rookgassen worden in tegenstroom of in kruisstroom door het bed geleid. Om de reactietijd en het contactoppervlak voldoende groot te maken, zijn in deze ruimtes hindernissen voorzien die de valsnelheid van de korrels afremmen en voor een efficiënte circulatie en verdeling van de rookgassen in de reactor zorgen. Het gereageerd calciumcarbonaat wordt onderaan de installatie opgevangen.

Omdat de zure gassen zoals SO_2 , HCl en HF voornamelijk aan de buitenkant van de calciumcarbonaatkorrels reageren, is het adsorptierendement van de korrels vrij laag. Om dit rendement te verhogen kan een schiltechniek toegepast worden.

Absorptie: filter met kalkinjectie

Hierbij wordt het zachtere buitenlaagje dat bestaat uit calciumfluoride, calciumsulfiet, calciumsulfaat en calciumchloride mechanisch verwijderd. De overgebleven korrel kan daarna opnieuw bovenaan het bed worden toegevoegd, zo lang als de afmetingen voldoende groot zijn.

Semi-droge injectie

Bij semi-droge injectie wordt het adsorptiemateriaal verstoven in druppelvorm als suspensie of oplossing. Het vocht in de druppels verdampt tijdens de reactie, het product is een droog vast poeder. De efficiëntie van een semi-droog systeem is vaak hoger dan die van een droog systeem, doordat het contactoppervlak tussen de afgassen en de poederdeeltjes hoger is, waardoor de reactie efficiënter plaats kan vinden.

Natte injectie

Natte kalkinjectie combineert de voordelen van gaswassers en (semi) droge kalkinjectie. Deze rookgasreinigingstechniek wordt vooral toegepast voor de ontzwaveling van rookgassen terwijl ook de andere zuurvormende componenten worden gebonden.

Een slurry van kalksteen (CaCO_3) of gebluste kalk (Ca(OH)_2) wordt in een sproeikolom verneveld. In aanwezigheid van SO_2 wordt vooral calciumsulfiet (CaSO_3) gevormd, waarna het met de zuurstof in de lucht verder wordt geoxideerd tot calciumsulfaat in de vorm van gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gevormd (in-situ forced oxidation proces - IFO). Het gips wordt vervolgens ontwaterd. Na ontzwaveling passeert het gereinigde rookgas een mistfilter om de druppels af te vangen.

Het contact tussen het adsorptiemateriaal en de zure gassen is beter dan in de droge varianten, waardoor hogere verwijderingsrendementen mogelijk zijn. Opwarming van de afgassen kan nodig zijn om te verzekeren dat de temperatuur boven het dauwpunt blijft.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

Basiselementen in het ontwerp betreffen:

- Een reactorruimte, dat kan een leiding zijn, een reactorvat, of een toren
- Injectiesysteem voor het poeder/ de suspensie, plus achterliggende opslag van adsorptiemateriaal
- Een deeltjesfilter (tenzij natte injectie wordt toegepast, dan is een druppelvanger nodig)

Regelmatige inspectie van het leidingwerk en de bewegende delen is noodzakelijk om verstoppingen te voorkomen.

(monitoring)

Monitoring van het systeem is mogelijk door de concentratie van zure gassen te meten in het gereinigde gas. Verder is adequate monitoring van het doekenfilter nodig, zie daarvoor de betreffende factsheet.

Absorptie: filter met kalkinjectie

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Eenvoudige installatie en bedrijfsvoering
- Geen afvalwater (behalve natte injectie)
- Mogelijkheid om een SCR na te schakelen zonder opwarmen van de afgassen.
- Mogelijkheid om gips als grondstof te gebruiken

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- Grote installatie (doekenfilter)
- Relatief laag rendement, zeker vergeleken met een gaswasser.
- Waterverbruik (natte injectie)
- Afvalwaterproductie (natte injectie)
- Energieverbruik bij het opwarmen van de afgassen (natte injectie)

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Droge injectie kent geen waterverbruik. Semi-droge injectie 30-40 [liter/ 1.000 Nm³], natte injectie 8.000 – 20.000 [liter/ 1.000 Nm³].

Chemicaliën:

Calciumcarbonaat, natriumbicarbonaat of alternatieven. De molaire verhouding Ca/S is ongeveer 3 voor droge injectie, 1,5 – 3 voor semi-droge injectie en 1,1 voor natte injectie.

Energieverbruik:

Elektriciteit voor aandrijven van een ventilator, doseersysteem, eventueel een pomp en kloppen van het doek en dergelijke.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is in een aantal gevallen mogelijk door het residu te bewerken. Bij gebruik van natriumbicarbonaat kan NaCl (zout) en natriumsulfaat herwonnen worden. Bij toepassing van natte injectie van kalk ontstaat gips, dat van hoge zuiverheid kan zijn en als bouwgrondstof verkocht kan worden. De mogelijkheid tot terugwinning is met name afhankelijk van de aanwezigheid van andere stoffen zoals zware metalen en/of dioxines/furanen.

Tegenover de productie van gips als grondstof voor de bouw staat kalk moet worden gewonnen en dat kooldioxide ontstaat bij de reactie van kalk met zuren.

Lucht:

Absorptie: filter met kalkinjectie

Een positief effect is dat ook stikstofoxiden deels worden gebonden. De efficiency (ordegrootte 35-50%) is afhankelijk van de verhouding SO_2/NO_x . De optimale prestatie ligt bij een werkingstemperatuur van 120 tot 160 °C.

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging. Natte injectie kan een zichtbare pluim geven als de verzadigde damp niet warm genoeg is.

Afvalwater:

Natte injectie resulteert in een afvalwaterstroom die verwerkt moet worden.

Afval:

De verbruikte kalk (residu) moet afgevoerd en verwerkt worden voor zover het niet nuttig kan worden aangewend.

Veiligheid:

Er zijn geen bijzondere veiligheidsmaatregelen vereist.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]

10.000 – 30.000 voor droge injectie

10.000 – 35.000 voor semi-droge of natte injectie

Getallen zijn exclusief het doekenfilter

Operationele kosten [EUR/jaar]:

Droge injectie: 2.500 + 300 x (debiet/1.000) + adsorptiemateriaal

Semi-droge injectie: 20.000 + 400 x (debiet/1.000) + adsorptiemateriaal

Natte injectie: N.B.

Personeel [uur/week]:

2 – 8 uur per week

Materiaal:

Kalk: EUR 100 – 250 per ton.

Energie [kWh/ 1.000 Nm³]:

1

Baten:

Geen, tenzij materiaal teruggewonnen en verkocht kan worden, zoals gips.

Kostenbepalende parameters:

Debiet, drukval, concentratie van de verontreiniging, nageschakeld filtersysteem.

Absorptie: filter met kalkinjectie**6. Informatiebron**

1. Handreiking luchtmissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. BVT 2016
5. VITO LUSS: droge/halfdroge/natte kalksorptie

4.3 Adsorptie: adsorptiefilter

Adsorptie: adsorptiefilter

Varianten en synoniemen

Adsorptiefilter, actief koolfilter, koolfilter, zeolietfilter, polymeerfilter

Verwijderde stoffen

Vooraf: dioxine/furanen, geur, kwikdamp, VOS

In mindere mate: gehalogeneerde koolwaterstoffen, H₂S, HCl en HF, SO₂

Het werkingsprincipe van adsorptie berust op hechting van stoffen in een afgas aan het oppervlak van een vaste stof (adsorptiemiddel). In beginsel is adsorptie een fysische hechting gebaseerd op Van der Waalskrachten en niet op een chemische binding. Om een sterkere hechting te krijgen met de te verwijderen stof kan het adsorptiemiddel worden behandeld met chemicaliën zodat ook een chemische binding mogelijk wordt. Adsorptie moet niet verward worden met absorptie, waarbij moleculen, atomen of ionen van de te verwijderen stof oplossen in de wasvloeistof.

Adsorptie is een omkeerbaar proces, dat wil zeggen dat te verwijderen stof zich zowel kan hechten aan het oppervlak van het adsorptiemiddel als er weer kan van vrijkomen. Adsorptie is een exotherm proces, bij de hechting komt warmte vrij, voor het loslaten is energie nodig. Het evenwicht tussen de concentratie van de oppervlakte geadsorbeerde stof en de concentratie van de stof in het gas of de vloeistof is onder meer afhankelijk hoeveelheid van temperatuur en druk. Als het evenwicht is bereikt, is het adsorptiemiddel verzadigd. Niet alleen is het dan niet meer werkzaam maar kan het een emissiebron worden afhankelijk van de omstandigheden.

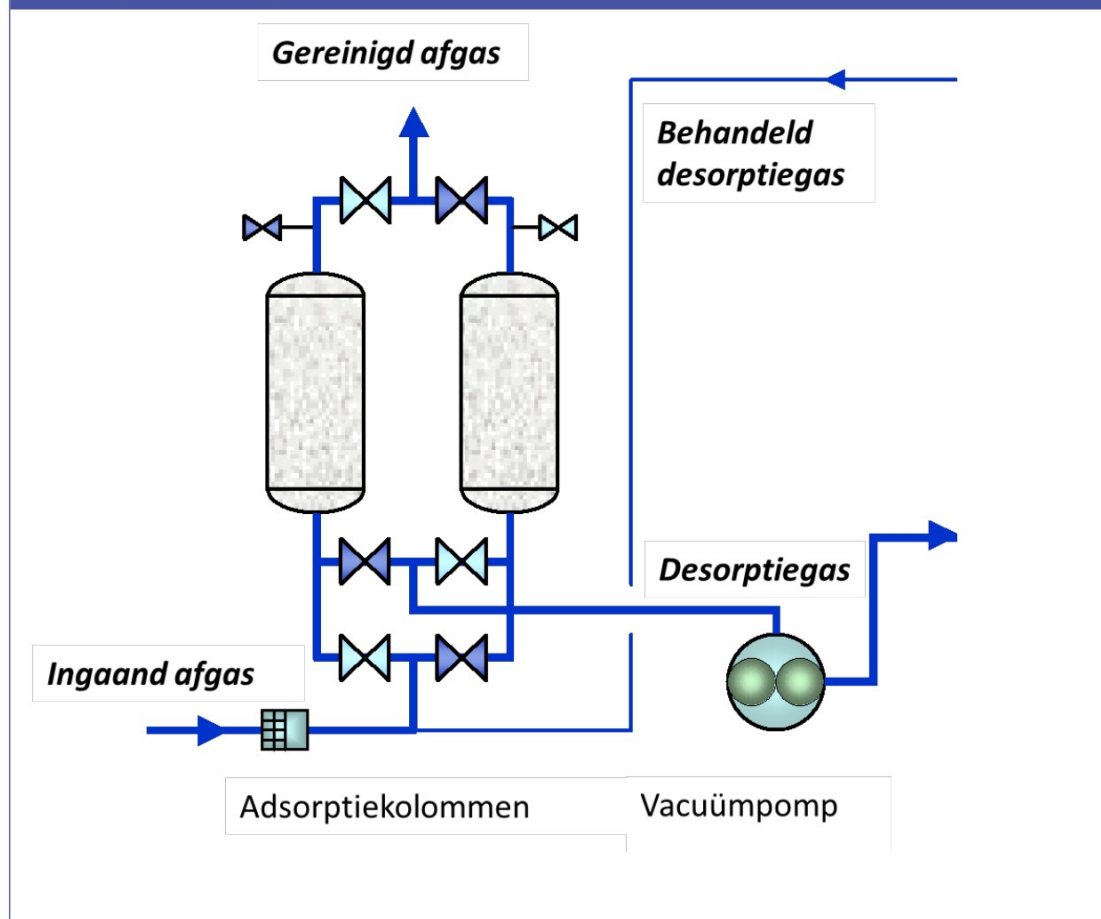
Het verzadigde adsorptiemiddel kan worden vernietigd of worden geregenereerd (desorptie). Tijdens de regeneratie komen de verwijderde stoffen in hogere concentratie weer vrij en kunnen zo worden teruggewonnen of worden vernietigd. De desorptie vindt plaats door spoelen met een gas, al dan niet voorverwarmd of onder vacuüm.

Er zijn verschillende adsorptiemiddelen, waarvan actief kool veruit de meest toegepaste is. De systemen zijn in verschillende uitvoering gebouwd, waarbij er onderscheid kan worden gemaakt in systemen waarbij continue regeneratie van het adsorptiemiddel is geïntegreerd en systemen waarbij de regeneratie/ vernietiging gescheiden van het adsorptieproces plaatsvindt.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema van adsorptie met vacuümregeneratie.

Adsorptie: adsorptiefilter



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Adsorptiefilters kennen een brede toepassing in de gehele industriële sector bij het afvangen van gasvormige, doorgaans organische stoffen. Over het algemeen kunnen drie primaire toepassingen worden onderscheiden:

- Het terugwinnen van een stof (grondstof, oplosmiddel, product, etc.) uit een afgasstroom
- Het afvangen van gevaarlijke stoffen die niet gerecirculeerd kunnen worden maar moeten worden verbrand, zoals dioxines
- Als 'politiefilter', geschakeld als laatste behandelingsstap voor het geval dat één van de voorgaande behandelingsstappen doorslaat of faalt

(ZZS)

Adsorptiefilters kunnen geschikt zijn voor het afvangen van gasvormige ZZS. Adsorptiefilters zijn werkzaam bij de lage concentraties waarin ZZS doorgaans voorkomen in een afgasstroom. Ook is het goed mogelijk om de emissiegrenswaarden te halen die gelden voor ZZS.

Adsorptie: adsorptiefilter

Bijkomend voordeel van adsorptiefilters is dat het adsorptiemateriaal verbrand kan worden als gevaarlijk afval, waardoor alle verontreinigingen op een doeltreffende wijze worden verwijderd.

2.2 Combinatie van technieken

Een adsorptiefilter kan geplaatst worden als enige techniek, maar kan ook worden gecombineerd met een brede diversiteit aan andere technieken. Adsorptiefilters zijn geschikt voor toepassing als tweede reinigungsstap van een afgasstroom waarbij een andere techniek eerst de grootste vracht verontreiniging al verwijderd heeft. Het adsorptiefilter dient dan om de emissieconcentratie tot onder de emissiegrenswaarde te brengen.

Indien adsorptie voor terugwinning wordt gebruikt is een andere techniek nodig om het desorptiegas te behandelen. De behandeling van de afgevangen verontreiniging in de desorptie kan bijvoorbeeld bestaan uit condensatie of absorptie. Indien de terugwinning niet mogelijk is, zal de behandeling vaak bestaan uit verbranding, van het desorptiegas of van de verzadigde actieve kool.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

De gegevens zijn afkomstig uit de BREF CWW (2016), die weer naar de Factsheets van 2009 verwijst, BVT 2016 en BREF WGC D1 (2019). N.v.t. staat voor 'niet van toepassing' en is gebruikt voor geur. Voor geur zijn geen emissiegrenswaarden vastgesteld omdat de aanvaardbaarheid getoetst wordt aan de hand van de immissie (geurbelasting) bij gevoelige receptoren.

Bij de restemissie moet worden opgemerkt dat er een duidelijk verschil is tussen eenmalig gebruik waarbij lagere restconcentraties haalbaar zijn en gebruik met regeneratie waarbij dit niet mogelijk is.

Stof	Verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm ³	Opmerkingen
VOS	90 – 99	P10: 1 P50: 10 P90: 465	Actief kool, zeolieten
	95 – 98	25 – 1.000	Polymeer
Formaldehyde	NI	1 mg/Nm ³	Polymeer
Dioxines/ furanen	>98	< 0,1 ng/Nm ³ TEQ	Actief kool
Geur	80 – 95	n.v.t.	Actief kool
	80 – 95	n.v.t.	Zeolieten

Adsorptie: adsorptiefilter

	Kwik	>98	<0,05	Actief kool	
	Waterstofsulfide	95-99	1-10	Actief kool	

2.4 Randvoorwaarden
Debiet [Nm³/uur]:

P10: 20

P50: 1.000

P90: 35.000

Temperatuur [°C]:

5 – 80 (actief kool);

< 250 (zeolieten)

Druk [bar]:

0,1 – 2 (actief kool); atmosferisch (zeolieten); hogere drukken voor PSA

Drukval [mbar]:

5 - 20

Vochtgehalte:

Lager dan 70 % luchtvochtigheid, zo laag mogelijk, in elk geval moet condensatie worden voorkomen

Stof:

Lager dan 3-5 mg/Nm³
Ingaande concentratie [mg/Nm³]:

VOS: 30 – 5.000 (maximaal 25 % van de onderste explosiegrens, behalve voor regeneratie met vacuüm waar deze beperking niet voor geldt).

Dioxines (ng/Nm³ TEQ): 10 – 100

Geur (ou_E/m³): 5.000 – 100.000

Kwik: 1 – 10

H₂S: 1.500 mg/Nm³

Adsorptie: adsorptiefilter

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Vast bed

Een adsorptiefilter met een vast bed is de eenvoudigste uitvoering van een adsorptiefilter en bestaat uit een bed dat gevuld is met adsorptiemateriaal waar doorheen afgassen worden geleid.

Het vast bed kan bestaan uit voorgepakte patronen of cassettes die als dusdanig worden geleverd voor laag belaste systemen of uit een kolom waarin het adsorptiemateriaal, bijvoorbeeld actief kool, los wordt gestort (gepakt bed) voor hoog belaste systemen.

Als het adsorptiemateriaal verzadigd is, kan het worden geregenereerd of vernietigd.

Regeneratie kan als vervolgstap in de installatie plaatsvinden of extern door een gespecialiseerd bedrijf worden uitgevoerd. Vernietiging vindt veelal door gespecialiseerde bedrijven plaats. Vaak worden vastbedfilters uitgevoerd met twee of drie adsorptiebedden: als bed 1 wordt geregenereerd kan bed 2 de afgasstroom reinigen en andersom.

Drukwisseladsorptie/Pressure-swing adsorption (PSA)

Een 'drukwisseladsorptiefilter' (PSA) bestaat uit twee of meer parallel geschakeld adsorptiefilters met vast bed (meestal actief kool) waardoor een continu proces van adsorptie en desorptie mogelijk is. Adsorptie vindt plaats bij hoge druk en desorptie bij lage druk, of in het geval van vacuümregeneratie adsorptie bij nagenoeg atmosferische druk en desorptie onder vacuüm. Het proces bestaat uit vier stappen: 1) druk wordt opgebouwd door het afgas dat in het adsorptiefilter stroomt; 2) adsorptie van luchtverontreinigende stoffen bij hoge bedrijfsdruk, respectievelijk minimale overdruk; 3) drukverlaging, respectievelijk vacuüm; 4) luchtverontreinigende stoffen komen weer vrij bij lage druk of vacuüm. Doordat deze in geconcentreerde vorm vrijkomen kunnen bijvoorbeeld VOS-dampen worden gecondenseerd of opgelost in een geschikt product en kan oplosmiddel of benzine zo worden teruggewonnen.

PSA wordt niet alleen gebruikt als emissiebeperkende techniek maar ook veel toegepast voor het scheiden van zuivere gassen, zoals bijvoorbeeld waterstof uit synthesesegas of stikstof uit lucht.

Vanwege het wisselen tussen de twee parallel geschakelde filters vertonen PSA's (en in mindere mate TSA's) een zaagtandvormig emissie patroon (nihil net na bedwissel oplopend tot ontworpen maximum en weer opnieuw nihil na bedwissel, enzovoort.)

Injectie met actief kool

Voor toepassingen met hoge debieten en lagere concentraties wordt poedervormige actieve kool in de afgasstroom gespoten, waarna de actief kool met een doekfilter uit het behandelde afgas wordt gefilterd. Dit laatste wordt veelal gebruikt voor verwijdering van kwik of dioxines. Indien reeds een droge kalksorptie aanwezig is wordt soms een combinatie van kalk en actieve kool (Sorbalit®) geïnjecteerd om zowel de zure componenten als de dioxines en VOS af te vangen.

Adsorptie: adsorptiefilter

Zwevend bed en continu bewegend bed

Bij een adsorptiefilter met een zwevend bed en een continu bewegend bed beweegt het adsorptiemateriaal in tegenstroom ten opzichte van het afgas in een adsorptiekolom, waarna het verzadigde adsorptiemateriaal wordt afgescheiden voor regeneratie. Regeneratie vindt veelal door verwarmen plaats, waarna het adsorptiemateriaal wordt afgekoeld en weer boven in de adsorptiekolom wordt ingevoerd. De dampen die tijdens de regeneratie vrijkomen worden afgezogen en bijvoorbeeld door koeling gecondenseerd en teruggewonnen. Het proces bestaat uit continue adsorptie en desorptie.

Bij een zwevend bed vindt de regeneratiestap in één kolom plaats met onderin twee warmtewisselaars om het adsorptiemateriaal eerst te verwarmen voor de desorptie en na desorptie te koelen. Het geregenereerde adsorptiemateriaal wordt daarna pneumatisch weer boven in het zwevend bed ingebracht. Bij een continu bewegend bed vindt de regeneratiestap in een andere kolom plaats.

Geïmpregneerd actief kool

Voor specifieke toepassingen en om de verwijderingsefficiëntie te verhogen wordt actief kool chemisch behandeld of geïmpregneerd. Geïmpregneerde actief kool adsorbeert niet alleen door 'fysische' Van der Waals-krachten maar ook door sterkere chemische bindingen (chemisorptie). Geïmpregneerde actief kool is speciaal ontworpen om luchtverontreinigende stoffen die moeilijk adsorberen op standaard actief kool af te vangen. Bekende toepassingen zijn:

- Met oxidatiemiddel, bijvoorbeeld kaliumpermanganaat (KMnO_4) voor geurverwijdering door oxidatie van organische geurstoffen of KI (kaliumjodide) om de opnamecapaciteit voor zwavelwaterstof (H_2S) te verhogen waarbij H_2S wordt geoxideerd tot zwaveldioxide (SO_2)
- Met zwavelverbindingen voor een betere verwijdering van zware metalen zoals kwik (Hg) door de vorming van sulfiden
- Impregneren met een zuur zoals zwavelzuur om basische stoffen zoals ammoniak (NH_3) af te vangen
- Impregneren met base (bijvoorbeeld natronloog, NaOH) om zure stoffen zoals zwavelwaterstof (H_2S) af te vangen

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Afgasdebiet
- Samenstelling van de afgassen
- Temperatuur
- Vochtgehalte
- Druk

Adsorptie: adsorptiefilter

Hoge temperatuur en vochtigheid leiden tot verminderde adsorptiecapaciteit. Hete afgassen moeten voor actief kool tenminste tot 80°C worden gekoeld waarbij condensatie in het adsorptiefilter moet worden voorkomen. Vochtige afgassen moeten vooraf worden gedroogd. Hoge druk bevordert de adsorptiecapaciteit.

Alle adsorptieprocessen zijn exotherm: bij adsorptie wordt warmte vrijgegeven aan het bed. Daarnaast kunnen de actieve kool of de metalen op of in de actieve kool zorgen voor een katalytische oxidatie van de VOS in het bed. Dit kan sterke plaatselijke verhitting en zelfs zelfontbranding van het bed veroorzaken. Dit is vooral een gevaar bij bepaalde koolwaterstoffen zoals aldehyden, ketonen, polymeriserende stoffen, sommige organische zuren en terpentijn. Bij hogere concentraties van deze componenten kan actieve kool zelfs bij gassen op kamertemperatuur voor hete plekken (verminderd adsorptierendement) of voor bedbranden zorgen. Zelfontbranding kan worden tegengegaan door de lucht te bevochtigen en door scherpe controle van de temperatuur van het bed. Hierbij moet worden opgelet dat de efficiëntie van de actieve kool niet te sterk vermindert.

(Monitoring)

De efficiëntie kan worden bepaald door de VOS concentraties voor en na het filter te meten, geuremissies kunnen worden bepaald door olfactometrie⁴. Bepaling van de drukval is belangrijk om verstopping van het filter door stof te kunnen signaleren. Over het bed moet de druk ongeveer constant zijn; drukverhoging duidt op ofwel verstopping door stof of op het uiteenvallen van de actief kool in stof. Temperatuurmeting van het filter is noodzakelijk om brand te voorkomen.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Geschikt voor lage restconcentraties die vereist zijn voor ZZS
- Simpele, robuuste technologie
- Eenvoudige installatie, ook retrofit
- Geschikt voor discontinue processen

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- Gevoelig voor verstopping door stof
- Mengsels van verschillende gassen kunnen leiden tot verzadiging van een bepaalde component
- Minder geschikt voor hoge ingangconcentraties door de snelle verzadiging
- Niet geschikt voor natte afgassen

⁴ Bij olfactometrie wordt de geurconcentratie van een luchtmonster bepaald met behulp van een olfactometer. De geurconcentratie wordt gedefinieerd als het aantal verdunningen dat nodig is zodat de verdunde geur nog door 50 % van een panel van geoefende waarnemers na kalibratie wordt onderscheiden van geurvrije lucht.

Adsorptie: adsorptiefilter

4.3 Hulpstoffen en energie

Waterverbruik:

Meestal geen, soms koelwater om de temperatuur van het adsorptiebed te beheersen of voor condensatie voor het terugwinnen van oplosmiddelen of koolwaterstoffen zoals benzine.

Chemicaliën:

Niet van toepassing.

Energieverbruik:

Afhankelijk van de toepassing, stoom (voor desorptie) en stikstof (als spoelgas). Elektriciteit voor aandrijven van een ventilator, warmte voor het desorptieproces, bijvoorbeeld in de vorm van stoom, of opwekken van vacuüm en compressie/condensatie van de geadsorbeerde VOS.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning

Afhankelijk van de uitvoering is terugwinning mogelijk.

Lucht

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging.

Afvalwater:

Geen

Afval:

Het adsorptiemateriaal moet periodiek vervangen worden, regeneratie kan maar een beperkt aantal cycli plaatsvinden. Als het adsorptiemateriaal geregenereerd wordt, moeten de geadsorbeerde stoffen opgevangen, behandeld en/of afgevoerd en vernietigd worden.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

10.000 – 50.000

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur per jaar]:

2.500

Noot: mobiele filters op huurbasis komen ook voor. Kosten hiervan liggen tussen 10 – 100 euro per filter per dag (opgave leverancier).

Personeel [uur/week]:

Enkele dagen per jaar.

Adsorptie: adsorptiefilter

Materiaal [EUR per kg adsorptiemateriaal]:

0,8 – 6

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]

PSA: 150 – 300 (terugwinning van VOS in adsorptiemateriaal).

Baten:

Terugwinning van de afgevangen stoffen.

Kostenbepalende parameters:

Ingangconcentratie van de verontreiniging, debiet, levensduur van adsorptiemateriaal.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS

4.4 Biologische reiniging: biofilter

Biologische reiniging: biofilter

Varianten en synoniemen

Biofiltratie, biofilter, biologisch filter, biofilterfilter, compostfilter, biobed

Verwijderde stoffen

Vooraf: geur, H₂S, VOS

1. Beknopte beschrijving

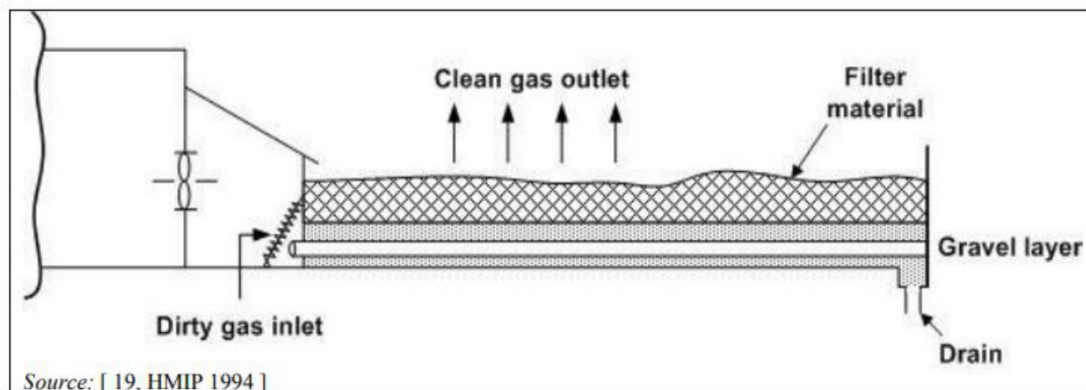
1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe van een biofilter berust op biologische omzetting van organische stoffen in een afgang en zuurstof (in lucht) in biomassa, kooldioxide (CO₂) en water. Een biofilter bestaat uit een vast bed met micro-organismen waar doorheen het te behandelen afgang wordt geleid. Het vaste bed bestaat uit organisch dragermateriaal zoals veen, compost, houtsnippers, boomschors of uit anorganisch dragermateriaal zoals klei, actief kool of polyurethaan. Op deze dragermaterialen komen micro-organismen voor die de verontreinigingen in het afgang met zuurstof oxideren middels microbiologische processen om in leven te blijven, voor groei en de daarvoor benodigde energie. Om het biofilter actief te houden moet er meestal vocht en nutriënten worden toegevoegd evenals zuren of logen om zuurtegraad te stabiliseren.

Naast omzetting naar biomassa worden koolwaterstoffen omgezet in water en kooldioxide en voorkomende stikstof- en zwavelhoudende verbindingen in respectievelijk nitraat en sulfaat. De gevormde nitraat en sulfaat worden als zouten opgelost in water afgevoerd. Biofilters worden zo bedreven dat er netto geen aangroei van de micro-organismen (biomassa) plaatsvindt. Dit is mogelijk doordat micro-organismen energie nodig hebben voor hun voortbestaan en die energie uit de (aangegroeide) biomassa halen.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.



Biologische reiniging: biofilter

2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Een biofilter wordt vooral gebruikt voor het verwijderen van geurstoffen maar wordt ook wel toegepast voor het reinigen van lage concentraties van wateroplosbare verontreinigen in koude afgassen. Breed toepassingsgebied in de volgende sectoren:

- RWZI 's en AWZI's
- Composteringsinrichtingen (slib, GFT, mest)
- Geur- en smaakstoffenindustrie
- (Petro)chemische industrie
- Kunststofproductie
- Voedingsmiddelenindustrie
- Vlees- en visverwerkende industrie
- Veeteelt

(ZZS)

Biofilters kunnen geschikt zijn voor de reiniging van luchtstromen met ZZS, maar dit zal niet vaak voorkomen. De toepassing is sterk afhankelijk van de te reinigen stof. Deze dient wateroplosbaar te zijn, biologisch afbreekbaar en niet giftig voor de micro-organismen. Er zijn niet veel ZZS die voldoen aan deze criteria. De uitgangskonzentratie van een biofilter kan laag genoeg zijn om te voldoen aan de emissiegrenswaarden voor ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Afhankelijk van de voorgaande processen moet het afgas worden voorbehandeld. Dit betreft meestal bevochtigen en afkoelen tot een geschikte temperatuur, stof afvangen en eventueel bufferen van concentratiepieken of verwijderen van stoffen die giftig zijn voor de micro-organismen. Vaak worden stoffilters en gaswassers voor het biofilter geplaatst, om de luchtstroom te reinigen maar ook om deze te bevochtigen en op de juiste temperatuur te brengen voor het biofilter. Het is niet gebruikelijk om na een biofilter een andere techniek te plaatsen.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

N.v.t. staat voor 'niet van toepassing' en is gebruikt voor geur. Voor geur zijn geen emissiegrenswaarden vastgesteld omdat de aanvaardbaarheid getoetst wordt aan de hand van de immissie (geurbelasting) bij gevoelige receptoren.

Biologische reiniging: biofilter

In vergelijking met andere technieken zijn biofilters vaak in staat geurstoffen goedkoper te verwijderen. De behandelde lucht kan echter nooit volledig geurvrij zijn omdat een biofilter een eigen specifieke geur kent (200-1.000 ou_E/m³) (Huybrechts D. en Vrancken K., 2005; VITO, 2011b). Metingen in de praktijk laten ook hogere waarden voor de eigen geur zien (tot 2.500 ou_E/m³).

Stof	Verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm ³
VOS	75 – 95	5 – 50
Geur	70 – 99	200-2.500 ou _E /m ³

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:
100 - 200.000

Temperatuur [°C]:
15 – 40

Druk [bar]:
atmosferisch

Drukval [mbar]:
10 - 30

Vochtgehalte:
>95 % luchtvochtigheid

Stof:
Adequate reiniging van stof is noodzakelijk voordat de luchtstroom het biofilter ingaat.
Verstopping is een risico.

Ingaande concentratie [mg/Nm³]:
200 – 2.000 (VOS)
5 – 20 (NH₃)
20.000 – 200.000 (geur, ou_E/m³)
20 – 100 (tolueen)
50 – 500 (styreen)
5 – 20 (H₂S)

Biologische reiniging: biofilter

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Open biofilter

De meest eenvoudige uitvoering van het biofilter is de open variant. Het bed bestaat uit een laag van omstreeks 1 meter dik van poreus biomateriaal. Onder het bed ligt een leidingennetwerk waardoor de verontreinigde lucht wordt geblazen, zodat de luchtstroom evenredig verdeeld wordt over het bed. Grotere debieten kunnen worden verwerkt door het biofilter een groter oppervlak te geven; de belasting van een biofilter ligt tussen 100-500 Nm³ lucht per m² per uur. Daardoor kan een biofilter een grote installatie zijn als grote debieten verwerkt moeten worden. Het aanbrengen van extra lagen filtermateriaal is mogelijk, dan wordt de verwijderingsefficiëntie verhoogd. Gebruikelijk zijn installaties met 2-3 lagen filtermateriaal van elk 0,5 -1,5 meter dik. De micro-organismen leven op het biologisch filtermateriaal en zij geven het biofilter de reinigende werking. Voor een optimale werking moet de verblijftijd lang genoeg zijn (5 – 60 seconden) en dienen de leefomstandigheden passend te zijn voor micro-organismen. Dit beperkt het biofilter in termen van pH-waarde, temperatuur, vochtigheid en type stof die gereinigd kunnen worden. als het biomateriaal eenmaal droog is, is het moeilijk weer te bevochtigen en activeren.

Gesloten biofilter

Een biofilter kan ook in gesloten variant worden uitgevoerd. Dit betreft hetzelfde principe als de open variant, maar dan in een afgesloten omkasting. Dit geeft de gebruiker meer controle over de (leef)omstandigheden in het biofilter, zodat de verwijderingsefficiëntie van gesloten bedden vaak hoger is. De gesloten variant is duurder dan de open variant. Een gesloten biofilter heeft een uitlaatpijp en is daarmee als puntbron te beschouwen waarvoor emissiegrenswaarden gelden. Dit in tegenstelling tot een open biofilter dat als een diffuse oppervlakte bron wordt gezien.

Thermofiel biofilter

Een thermofiel bed werkt op hogere temperaturen (circa 50 – 60°C) dan standaard (mesotherme) bedden (circa 15 – 38°C). Wordt vooral toegepast als de afgastemperatuur hoger is. Thermofiele bedden zijn gevoeliger voor temperatuurschommelingen, indien de temperatuur boven de 60°C uitkomt, zal de biologische activiteit in het bed snel slechter worden. Een goede temperatuurbeheersing is dus noodzakelijk. Soms worden meerdere lagen gebruikt om verschillende bacterieculturen te verkrijgen.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Afgasdebiet, dit ligt typisch tussen 100 – 500 m³/m²/uur
- Temperatuur, te hete lucht (>35°C) moet vooraf gekoeld worden
- Dragermateriaal, dit moet goed afgestemd worden op de te verwijderen stof

Biologische reiniging: biofilter

De oppervlaktebelasting van een biofilter bedraagt in de regel 50 – 500 m³/m²/uur. Bij het aanbrengen van de pakking moet er voor worden gezorgd dat het filtermateriaal zeer eenvormig is verdeeld en dat er geen vaste en losse zones zijn. Deze kunnen zorgen voor kortsluitstromen zodat de lucht slecht wordt behandeld en het effectieve filteroppervlak kleiner wordt. Door uitdroging van de filter bij kortsluitstromen zal de effectiviteit nog verder dalen.

De hoge belastingen (500m³/m²/uur) worden begrensd door de bedhoogte, die nodig is om de verblijftijd te garanderen. Algemeen geaccepteerde hoogtes schommelen tussen de 1 en de 2 meter.

Voor toepassing in warme luchtstromen (> 38°C) is koeling noodzakelijk. Dit kan gerealiseerd worden door menging met buitenlucht, een waterwaster of een warmtewisselaar/condensor.

Periodiek, om de 0,5 – 5 jaar, moet het filtermateriaal worden vervangen. Dit hangt sterk samen met het type vulmateriaal en de samenstelling van de afgassen.

(monitoring)

Biofilters hebben weinig mechanisch onderhoud nodig; de bewegende onderdelen zijn beperkt tot een ventilator. Een goede monitoring is wel noodzakelijk. De verwijderingsefficiëntie kan scherp afnemen als de omstandigheden in het biofilter wijzigen, bijvoorbeeld door voedseltekorten, verschoven vochtigheidsbalans of achteruitgang van het filtermateriaal. Dit moet dus op tijd opgemerkt en hersteld kunnen worden. Monitoring geschiedt onder andere op basis van luchtvochtigheid en pH-waarde van het afgevoerde water.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Weinig afvalproductie en neveneffecten vergeleken met andere technieken voor geurverwijdering
- Reinigt ontvlambare en/of explosieve gassen op relatief veilige wijze

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- Grote installatie
- Gevoelig voor variaties in concentratie en debiet, en ook gevoelig voor verdroging, verzuring en vergiftiging van de micro-organismen. Daardoor lastige procesbeheersing

4.3 Hulpstoffen en energie

Waterverbruik:

5 [liter/1.000 Nm³]

Chemicaliën:

Vaak is het noodzakelijk om voedingsstoffen toe te voegen. De luchtstroom dient meestal actief bevochtigd te worden, waarvoor een voorgeschakelde gaswaster kan worden ingezet.

Biologische reiniging: biofilter

Energieverbruik:

Elektriciteit voor pomp en eventueel ventilator; daarnaast kan opwarmen of koelen van het afgas nodig zijn.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is niet mogelijk. Het gevormde sulfaat of nitraat kan soms nuttig worden gebruikt maar dat is ongebruikelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging. Wel zal een gekoelde gasstroom minder pluimstijging vertonen, wat nadelig is voor de verspreiding van de emissies in de buitenlucht.

Afvalwater:

Er ontstaat een kleine hoeveelheid afvalwater om verzuring van het bed tegen te gaan en om de gevormde zouten af te voeren (percolaat Water).

Afval:

Organisch dragermateriaal als dit 'verteerd' is of verstopt anorganische dragermateriaal (stof of aangroei). Het dragermateriaal dient periodiek vervangen te worden. De frequentie daarvan is sterk afhankelijk van lokale omstandigheden maar is doorgaans eenmaal per 0,5 – 5 jaar.

Veiligheid:

Er zijn geen bijzondere veiligheidsaspecten anders de gevaareigenschappen van eventuele zuren of basen voor het stabiliseren van de zuurtegraad. Ontvlambare en/of explosieve gassen kunnen op relatief veilige wijze worden behandeld door de gunstige omstandigheden bij biologische processen.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

8.000 – 14.000

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur per jaar]:

Circa 10.000 – 20.000

Personeel [uur/week]:

1

Materiaal [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

<200 (dragermateriaal)

Biologische reiniging: biofilter

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

<1

Baten:

Geen

Kostenbepalende parameters:

Debiet, concentratie en type verontreiniging, verlangde efficiëntie, type filtermateriaal.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS
5. Leverancier: Azzuro
6. D. Huybrechts en K. Vrancken; Beste Beschikbare Technieken voor composteer- en vergistingsinstallaties; Gent, Academia Press; 2005; ISBN 90 382 0819 7 (<https://emis.vito.be/nl/node/71626>)

4.5 Biologische reiniging: biotrickling filter

Biologische reiniging: biotrickling filter

Varianten en synoniemen

Biotrickling (BTF), *lavafilter*

Moving bed trickling filter (*MBTF*)

Verwijderde stoffen

Vooraf: geur, H₂S, VOS

In mindere mate: ammoniak

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe van een biotrickling filter is hetzelfde als dat van een biofilter, namelijk biologische omzetting van organische stoffen in een afgas en zuurstof (in lucht) in biomassa, kooldioxide (CO₂) en water. Een biotricklingfilter is een installatie bestaande uit een gesloten reactor met micro-organismen waar doorheen niet alleen het te behandelen afgas wordt geleid maar ook een waterstroom. De micro-organismen leven op een dragermateriaal dat als vast bed is uitgevoerd in het geval van een biotricklingfilter of op los materiaal in het geval van een moving bed filter. Het dragermateriaal bestaat uit kunststofschuim, uit lava, uit plastic gestructureerde pakking of kunststof bolletjes. De micro-organismen op het dragermateriaal

Biologische reiniging: biotrickling filter

zetten de verontreinigingen in het afgas om middels microbiologische processen om in leven te blijven, voor groei en de daarvoor benodigde energie. Om het biofilter actief te houden moeten er meestal nutriënten worden toegevoegd evenals zuren of logen om de zuurtegraad te stabiliseren. De omzetting gebeurt meestal aeroob, dat wil zeggen met zuurstof, maar anaeroob (zonder zuurstof) is ook mogelijk.

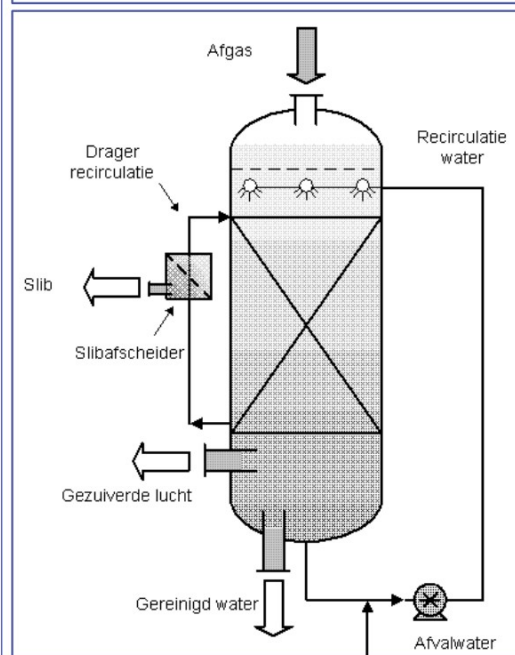
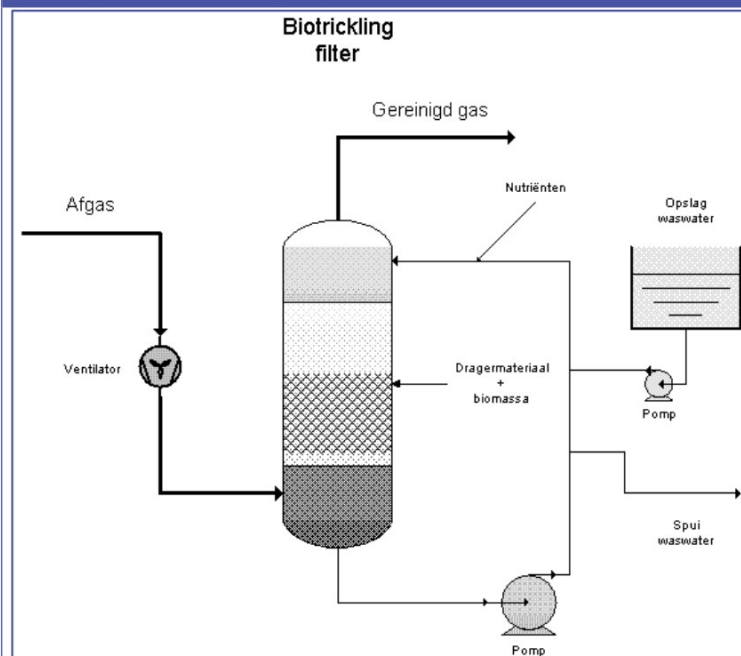
Naast omzetting naar biomassa worden koolwaterstoffen in aerobe omstandigheden omgezet in water en kooldioxide en voorkomende stikstof- en zwavelhoudende verbindingen in respectievelijk nitraat en sulfaat. De gevormde nitraat en sulfaat worden als zouten opgelost in water afgevoerd. Onder anaerobe omstandigheden zullen methaan, ammoniak/ammonium, zwavelwaterstof/sulfide worden gevormd. Dankzij de waterstroom is de afvoer van zouten beter mogelijk dan bij biofilters met een 'stationaire' waterfase.

Een biotrickling filter met vast bed wordt zo bedreven dat er netto geen aangroei van de micro-organismen (biomassa) plaatsvindt. Dit is mogelijk doordat micro-organismen energie nodig hebben voor hun voortbestaan en die energie uit de (aangegroeide) biomassa halen. In het geval van een moving bed filter kan de aangegroeide biomassa worden afgescheiden en het dragermateriaal gerecycleerd en teruggevoerd in de reactor.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema. De figuur links is het traditionele biotricklingfilter, de figuur rechts is een moving bed biotricklingfilter.

Biologische reiniging: biotrickling filter



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Een biotricklingfilter wordt vooral gebruikt voor het verwijderen van geurstoffen maar wordt ook wel toegepast voor het reinigen van lage concentraties van wateroplosbare verontreinigen in

Biologische reiniging: biotrickling filter

koude afgassen, zoals zwavelwaterstof (H_2S), ammoniak (NH_3), koolstofdissulfide (CS_2) en koolwaterstoffen.

Biotrickling wordt toegepast bijvoorbeeld in de volgende sectoren:

- Afvalwaterzuivering, slib- en afvalverwerkingsinstallaties
- Veehouderij
- Textielindustrie
- Tabaksindustrie
- Drukkerijen, houtbe- of verwerking, meubelindustrie, metaalbewerkende industrie
- (Petro)chemische industrie

(ZZS)

Biotricklingfilters kunnen geschikt zijn voor de reiniging van luchtstromen met ZZS, maar dit zal niet vaak voorkomen. De toepassing is sterk afhankelijk van de te reinigen stof. Deze dient wateroplosbaar te zijn, biologisch afbreekbaar en niet giftig voor de micro-organismen. Er zijn niet veel ZZS die voldoen aan deze criteria. De uitgangskonzentratie van een biotricklingfilter kan laag genoeg zijn om te voldoen aan de emissiegrenswaarden voor ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Afhankelijk van de voorgaande processen moet het afgas worden voorbehandeld. Dit betreft meestal afkoelen tot een geschikte temperatuur, stof afvangen en eventueel verwijderen van stoffen die giftig zijn voor de micro-organismen. Vaak worden stoffilters voor het biofilter geplaatst. De reactor van een biotricklingfilter heeft vaak een sectie die als gaswasser dient. Het is niet gebruikelijk om na een biotricklingfilter een andere techniek te plaatsen.

Het Moving Bed Trickling Filter (MBTF) is een systeem dat vooral bedoeld is om afgassen te behandelen samen met afvalwater.

2.3 Milieuprestaties

De milieuprestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

De gegevens zijn afkomstig uit de BREF CWW (2016).

Biologische reiniging: biotrickling filter

Stof	Biotrickling, verwijderings-efficiëntie, %	MBTF, verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm ³
VOS	70 – 99	80 – 95	40
Ammoniak	80 – 99,95		20
Geur	70 – 95	>90	1.500 ou _E /m ³
H ₂ S	80 – 99,9	>98	0,1
Mercaptanen	70 – 95	>95	5
CS ₂	98 – 99		1

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

1.000 - 500.000 (biotrickling), of 5.000 – 40.000 (MBTF)

Temperatuur [°C]:

15 – 40, optimum tussen 30 – 35

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

2 – 10

Concentratie micro-organismen

>15 gram/liter droge stof

Ingaande concentratie [mg/Nm³]:

Stof	Biotrickling, ingangconcentratie [mg/Nm ³]	MBTF, ingangconcentratie [mg/Nm ³]
VOS	400 – 4.000	100 – 10.000
Ammoniak	100 – 400	
Geur	> 10.000 ou _E /m ³	> 10.000 ou _E /m ³
H ₂ S	5 – 1.000	10 – 500
Styreen	100	<500

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Biotricklingfilter

Een biotricklingfilter bestaat uit een gepakte absorptiekolom, die continu of discontinu door circulatie of enkelvoudige toevoer wordt bevochtigd en van nutriënten wordt voorzien. De bedoeling hierbij is dat de biomassa op de pakking achterblijft en niet met het water wordt meegevoerd. Het filter kan worden geënt met een actief slib of met een entcultuur die gericht is op de beoogde zuivering. Na oplossen (absorptie) in de dunne waterfilm worden de verontreinigingen afgebroken door een op de pakking groeiende laag micro-organismen ('biofilm'); de gevormde zouten worden door het water afgevoerd. Dankzij de mobiele waterfase

Biologische reiniging: biotrickling filter

is de afvoer van verzurende afbraakproducten beter mogelijk dan bij biofilters met een stationaire waterfase. De zuurgraad van de circulatiestroom kan gecorrigeerd worden door dosering van loog of suppletiewater.

Bij recirculatie kan slechts een beperkte cultuur groeien waar bij enkelvoudige, discontinue toevoer meerdere culturen kunnen ontstaan waarmee in één systeem diverse componenten kunnen worden afgebroken. Biotrickling filters worden vaak toegepast als tweefase filters met een sectie voor verwijdering van verzurende stoffen als H₂S en een sectie voor verwijdering van overige geurcomponenten.

Het filtermateriaal bestaat uit kunststofschuim, uit lavastenen of uit kunststofvormen. Het oppervlak is van een dusdanige structuur zijn dat de biomassa zich er goed aan kan vasthechten. Lavastenen worden vaak toegepast als dragermateriaal bij bijvoorbeeld afvalwaterzuiveringsinstallaties. Kunststofvormen (bijvoorbeeld uit polypropyleen) zijn in vergelijking lichter en hebben meer vrije ruimte voor de micro-organismen en zijn minder gevoelig voor dichtslibben.

Moving bed biotricklingfilter

Het Moving Bed Trickling Filter (MBTF) is een systeem dat vooral bedoeld is om afgassen te behandelen samen met afvalwater. Het MBTF bestaat uit in basis uit 1) een reactor gevuld met los dragermateriaal zoals bijvoorbeeld gegroefde kunststofballetjes, 2) vloeistofrecirculatiesysteem en 3) slibafscheider. Het te zuiveren afvalwater wordt met een regelbare circulatiepomp naar de bovenkant van de reactor gepompt en door middel van een ronddraaiende sproeiarm over het bed verdeeld.

Het gereinigde water wordt opgevangen in de buffer/bezinkruimte, waar eventueel aanwezige slibdeeltjes kunnen bezinken. Het afgas wordt met een externe ventilator in meestroom met het afvalwater de reactor ingeblazen. Onderin zorgen speciale secties in de zeefplaat vervolgens voor een goede afscheiding van lucht en water, waarna de gezuiverde lucht naar de atmosfeer wordt afgelaten. Zoals in elke biologische zuivering, wordt een deel van de aangevoerde verontreinigingen omgezet in biomassa. De hoeveelheid biomassa in de reactor zal hierdoor toenemen. Zonder maatregelen leidt dit in conventionele tricklingfilters tot verstopping. In het MBTF wordt verstopping voorkomen door een deel van het begroeide dragermateriaal naar de top van de reactor te pompen waar het losse dragermateriaal via een cycloon op een zeefplaat worden gestort. Door de cycloonwerking en de daaropvolgende valenergie wordt een groot deel van de biomassa van het dragermateriaal verwijderd. Het gereinigde dragermateriaal valt boven op het bed en neemt weer deel aan het zuiveringsproces. Het afgescheiden slib moet worden afgevoerd.

Biologische reiniging: biotrickling filter

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De handhaving van de biologische filmlaag (biofilm) van de pakking is van essentieel belang: een te grote aanwas kan leiden tot (lokale) verstoppingen die uiteindelijk resulteren in voorkeurstromingen, waardoor het uitwisselingsoppervlak en dus de werking van het biotricklingfilter verminderd wordt. Dit is vooral een punt van aandacht in systemen die koolwaterstoffen verwijderen, minder bij systemen die gericht zijn op het verwijderen van H_2S of NH_3 . De aanwas en de dikte van de biofilm kan onder andere worden beheerst door de dikte van de biofilm op mechanische wijze te beïnvloeden (bijvoorbeeld variatie van de bevochtiging) of de groeisnelheid van de micro-organismen te beïnvloeden door de zuurgraad en/of het zoutgehalte te variëren. Bij biotricklingfilters waaraan hoge H_2S -concentraties worden aangeboden, bestaat de kans op de vorming van elementair zwavel door onvolledige biologische oxidatie. Dit uit zich door duidelijk herkenbare gele korrelige structuren en kan uiteindelijk leiden tot verstoppingen en voorkeursstromen. Biotricklingfilters die hoge concentraties anorganische verbindingen (NH_3 of H_2S) verwerken, hebben meestal micro-organismen, die CO_2 uit de lucht gebruiken als koolstofbron. Gezien de over het algemeen meer dan voldoende hoge concentraties CO_2 in de lucht, dient extra rekening te worden gehouden met sterke aanwas van de biofilm.

(monitoring)

De samenstelling van het water moet worden bepaald door continu metingen van pH, temperatuur en geleidbaarheid.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Betere betrouwbaarheid dan een biofilter
- Compacter dan een biofilter
- Een MBTF kan waterstromen én luchtstromen tegelijk reinigen
- Weinig gebruik van additieven
- Reinigt ontvlambare en/of explosieve gassen op relatief veilige wijze

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- Een constante luchtstroom is nodig, fluctuaties in debiet en ingangconcentraties leiden tot lagere reinigingsefficiëntie (niet bij MBTF)
- Groeiende biomassa kan een biotricklingfilter doen verstopen. MBTF heeft dit probleem niet
- Niet geschikt voor stoffen die slecht in water oplossen
- Productie van afvalwater

4.3 Hulpstoffen en energie

Waterverbruik:

Het waswater van een biotrickling filter moet worden gespuid en aangevuld.

Biologische reiniging: biotrickling filter

Chemicaliën:

Zuren, basen, oxidatiemiddelen om de condities van het water geschikt te maken voor micro-organismen. Vaak is het noodzakelijk om specifieke voedingsstoffen (nutriënten) toe te voegen.

Energieverbruik:

Het biotricklingfilter verbruikt zelf weinig energie (ca. 0,5 kW/1 000 m³/uur). Daarnaast is er elektriciteitsverbruik voor de drukval die de ventilator moet overwinnen. Deze drukval bedraagt circa 2-6 mbar, afhankelijk van de gasbelading van het systeem en de mate van biologische dichtgroei.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is niet mogelijk. Het gevormde sulfaat of nitraat kan nuttig worden gebruikt maar dat is ongebruikelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging. Wel zal een gekoelde gasstroom minder pluimstijging vertonen, wat nadelig is voor de verspreiding van de emissies in de buitenlucht.

Afvalwater:

Er ontstaat een kleine hoeveelheid afvalwater om verzuring van het bed tegen te gaan en om de gevormde zouten af te voeren.

Afval:

Bij een biotrickling filter ontstaat er vanuit het proces geen afval; bij een MBTF komt een slibstroom vrij, vergelijkbaar met afvalwaterzuiveringsslib. Periodiek dient (een gedeelte) van de pakking te worden vervangen/ ververs. Dit is vaker met lavastenen dan met kunststofvormen. Afhankelijk van de toepassing is de vervanging bij een gestructureerd kunststofvormen tussen 5 jaar bij CS₂ toepassingen en 20 jaar bij H₂S toepassingen.

Veiligheid:

Er zijn geen bijzondere veiligheidsaspecten anders de gevaareigenschappen van eventuele zuren of basen voor het stabiliseren van de zuurtegraad. Ontvlambare en/of explosieve gassen kunnen op relatief veilige wijze worden behandeld door de gunstige omstandigheden bij biologische processen.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

10.000 – 30.000

Biologische reiniging: biotrickling filter

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

N.B.

Personeel [uur/week]:

Circa 4

Materiaal:

Pakkingsmateriaal gaat normaal gesproken vele jaren mee.

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,5 - 1

Baten:

Zelden behalve bij teruggewonnen product (bijvoorbeeld zwavel).

Kostenbepalende parameters:

Debiet, concentratie en type verontreiniging, verlangde efficiëntie

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. BVT 2016
5. VITO LUSS: Biotricklingfilter
6. Leverancier Azzuro

4.6 Biologische reiniging: biologische wasser

Biologische reiniging: biologische wasser

Varianten en synoniemen

Biologische wasser, *bioscrubber*, *biowasser*

Verwijderde stoffen

Vooraf: geur, H₂S, VOS

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

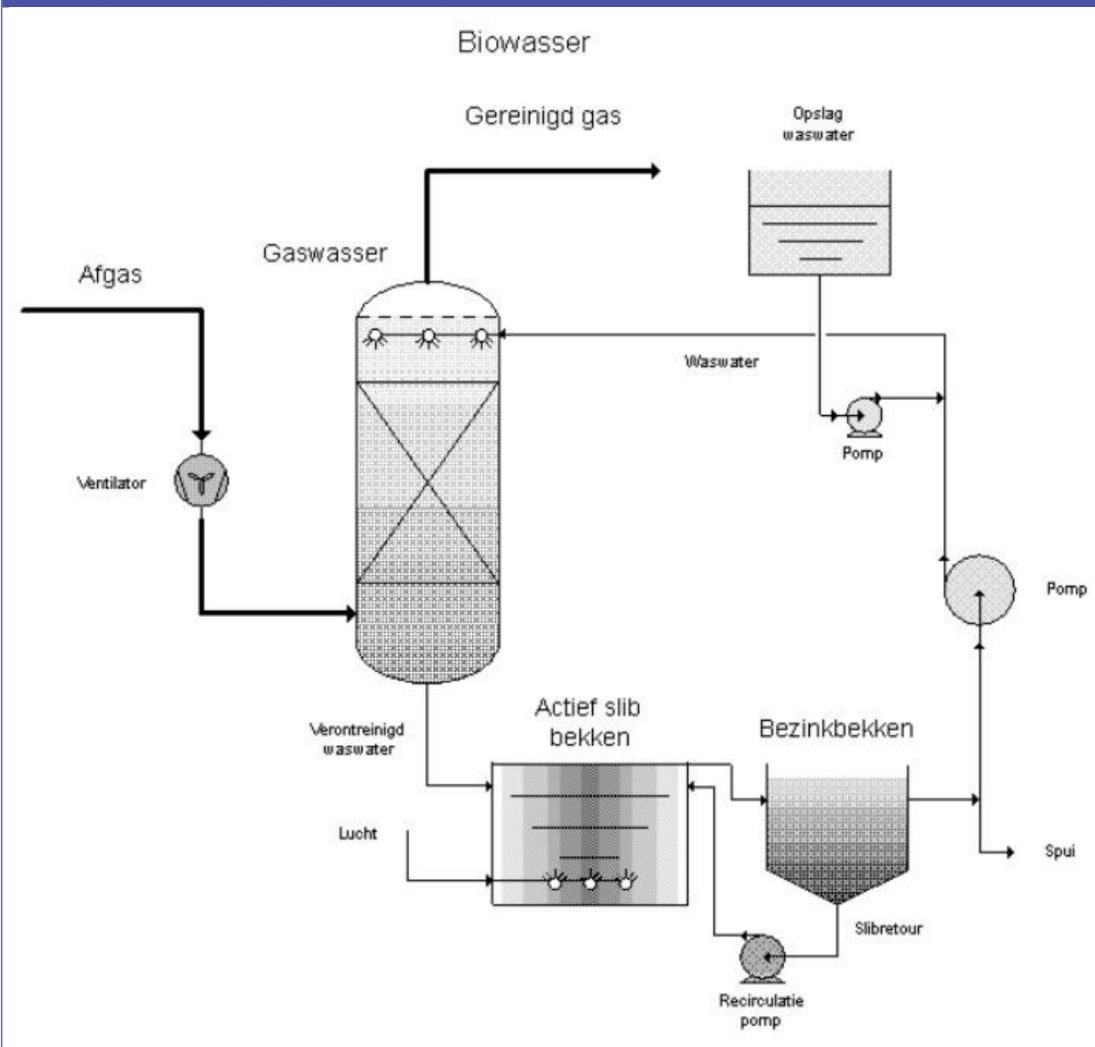
Het werkingsprincipe van een biologische wasser is hetzelfde als dat van een gaswasser, namelijk het oplossen van stoffen in het afgas in een wasvloeistof. De wasvloeistof wordt vervolgens biologisch behandeld, namelijk door biologische omzetting van organische stoffen in een afgas en zuurstof (in lucht) in biomassa, kooldioxide (CO₂) en water.

Een biologische wasser bestaat dus uit een gaswasser en een biologische reiniging. In de gaswasser wordt het afgas intensief in contact gebracht met waswater waardoor verontreinigingen uit het afgas oplossen in het waswater (absorptie) en het afgas wordt gereinigd. De gereinigde gasstroom kan dan naar de buitenlucht worden afgevoerd. De verzadigde wasvloeistof met de opgeloste verontreinigingen wordt als afvalwater gezuiverd. De gebruikelijke afvalwaterzuivering bestaat uit een reactor waar micro-organismen (actief slib) de opgeloste stoffen afbreken. De micro-organismen breken de verontreinigingen middels microbiologische processen af om in leven te blijven, voor groei en benodigde energie. Om het actief slib actief te houden moeten er meestal nutriënten worden toegevoegd evenals zuren of logen om de zuurtegraad te stabiliseren. Het gevormde slib wordt afgescheiden en afgevoerd als afvalwaterzuiveringsslib. Het aldus gezuiverde water wordt weer naar de gaswasser gepompt.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Biologische reiniging: biologische wasser



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Biologische wassers worden toegepast voor het afvangen en afbreken van biologisch afbreekbare verontreinigingen die goed wateroplosbaar zijn. Breed toepassingsgebied in de volgende sectoren:

- Sigarettenindustrie
- Waterzuiveringsinstallaties
- Verwijderen van geur voortkomend uit de productie van enzymen
- Verwijderen van geur voortkomend uit de productie van aromaproductie
- Rubberindustrie
- Verwijdering van geur- bij de productie van polymeren
- Verwijdering van geur, VOS en stikstofhoudende stoffen bij de verwerking van verfafval
- Stortplaatsen voor gevaarlijke afvalstoffen

Biologische reiniging: biologische wasser

- Veehouderij
- Koffiebranderijen
- Slachthuizen

(ZZS)

De restconcentratie van biologische wassers is sterk afhankelijk van de toepassing en de uit te wassen stof. Biologische wassers kunnen geschikt zijn voor de reiniging van luchtstromen met ZZS, maar dit zal niet vaak voorkomen. De toepassing is sterk afhankelijk van de te reinigen stof. Deze dient wateroplosbaar te zijn, biologisch afbreekbaar en niet giftig voor de micro-organismen. Er zijn niet veel ZZS die voldoen aan deze criteria. De uitgangskonzentratie van een biologische wasser kan laag genoeg zijn om te voldoen aan de emissiegrenswaarden voor ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Afhankelijk van de voorgaande processen moet het afgas worden voorbehandeld. Dit betreft meestal afkoelen tot een geschikte temperatuur, stof afvangen en eventueel verwijderen van stoffen die giftig zijn voor de micro-organismen. Vaak worden stoffilters voor de biologische wasser geplaatst. Het is niet gebruikelijk om na een biologische wasser een andere techniek te plaatsen. Biologische wassers kunnen echter net als algemene gaswassers deel uitmaken van een combinatie van technieken.

2.3 Prestaties

De prestaties biologische wassers komen overeen met de prestaties van gaswassers die water als wasvloeistof hebben. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn. De gegevens zijn afkomstig uit de BREF CWW (2016), die weer naar de Factsheets van 2009 verwijst, BVT 2016 en BREF WGC D1 (2019). N.v.t. staat voor 'niet van toepassing' en is gebruikt voor geur. Voor geur zijn geen emissiegrenswaarden vastgesteld omdat de aanvaardbaarheid getoetst wordt aan de hand van de immissie (geurbelasting) bij gevoelige receptoren.

Stof	Verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm ³
Geur	70 – 85	100 - 150 ou _E /Nm ³
Ammoniak	>99	<1-3
H ₂ S	90 – 95	<15
VOS	80 – 99	<20 - 40

Biologische reiniging: biologische wasser

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm^3/uur]:

P10: 30

P50: 2.000

P90: 30.000

Temperatuur [$^{\circ}\text{C}$]:

15 – 40, optimum tussen 30 – 35

Druk [bar]:

atmosferisch

Drukval [mbar]:

2 - 5

Vochtgehalte:

Geen beperkingen

Stof [g/Nm^3]:

<10; voor een goede werking zijn lage stofconcentraties wenselijk.

Ingaande concentratie [mg/Nm^3]:

100 – 1.000 (VOS)

50 – 200 (NH_3)

>10.000 (geur, ouE/ m^3)

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Biologische gaswasser met aerobe zuivering

Naast omzetting naar biomassa worden koolwaterstoffen omgezet in water en kooldioxide en voorkomende stikstof- en zwavelhoudende verbindingen in respectievelijk nitraat en sulfaat. De gevormde nitraat en sulfaat worden als zouten opgelost in water gespuid. De omzetting gebeurt meestal aerob, dat wil zeggen met zuurstof, maar anaerob (zonder zuurstof) is ook mogelijk. Onder anaerobe omstandigheden zullen methaan, ammoniak/ammonium, zwavelwaterstof/sulfide worden gevormd (anaerobe vergisting). Een hydraulische verblijftijd van het waswater van 20 – 40 (maximum) dagen geeft goede resultaten.

Biologische reiniging: biologische wasser

Biologische gaswasser met zwavelterugwinning

Door de hoeveelheid zuurstof te beperken wordt sulfide (opgelost H_2S) door sommige bacteriën tot elementair zwavel geoxideerd en niet verder geoxideerd tot sulfaat. H_2S -houdend afgas wordt in tegenstroom in contact gebracht met het waswater onder mild basische omstandigheden waarbij het H_2S nagenoeg volledig oplost in het waswater.

De vloeistof met sulfide (opgelost H_2S) stroomt naar de bioreactor, waar bacteriën het sulfide oxideren en onder zuurstofbeperkende omstandigheden omzetten in zwavel en loog. De bacteriën scheiden het gevormde zwavel als korreltjes uit, die vervolgens als vaste elementaire zwavel uit het water kunnen worden verwijderd. Het systeem biedt een hoge H_2S -verwijderingsefficiëntie (> 99,5%).

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

Een biologische wasser moet zo ontworpen worden dat de verblijftijd van de luchtstroom in de wasser ongeveer 1 seconde is, afhankelijk van de oplosbaarheid van de af te vangen stof. Er dient aandacht te zijn voor een goede doorstroming van het slib, omdat het actieve slib anders voor verstopping kan zorgen; dit groeit namelijk meer als meer verontreiniging is afgevangen.

Per m^2 kolomoppervlak kan 1.000 – 3.000 m^3 /uur aan afgas worden behandeld.

(monitoring)

Monitoring vindt plaats door chemische analyse (of beoordeling van geur) van de in- en uitlaat gassen. Controle over de pH van het waswater is noodzakelijk.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Beter in staat om te gaan met wisselende (piek) belastingen dan een biofilter of biotrickling filter
- Reinigt ontvlambare en/of explosieve gassen op relatief veilige wijze

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- De biomassa groeit en moet periodiek worden verwijderd
- Niet geschikt voor stoffen die slecht in water oplossen

4.3 Chemicaliën en energie

Waterverbruik:

Water dient periodiek bijgevuld te worden vanwege spui, slibafvoer en verdamping.

Chemicaliën:

Biologische reiniging: biologische wasser

Chemicaliën (voedingsstoffen, zuren, basen) om een optimale biologische activiteit te garanderen.

Energieverbruik:

Elektriciteit voor aandrijven van een pomp en eventueel ventilator.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is in een beperkt aantal gevallen mogelijk. Zwavelterugwinning is een voorbeeld hiervan.

Lucht

De slibtanks kunnen emissies van geur geven. Daarom kan kanalisering en behandeling van verdringingslucht nodig zijn.

Afvalwater:

Er ontstaat afvalwater door de vorming van nitraat- en sulfaat-zouten.

Afval:

Er ontstaat afvalwaterzuiveringsslib door de aangroei van micro-organismen.

Veiligheid:

Er zijn geen bijzondere veiligheidsaspecten anders de gevaareigenschappen van eventuele zuren of basen voor het stabiliseren van de zuurtegraad. Ontvlambare en/of explosieve gassen kunnen op relatief veilige wijze worden behandeld.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

7.500 – 25.000

De kosten zijn afgeleid van de kosten voor een gaswasser. Daarbij moeten de kosten voor biologische afvalwaterzuivering nog apart worden beschouwd.

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur per jaar]:

1.000 – 2.000

Personeel [uur/week]:

4

Materiaal [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

Laag

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,2 – 0,5

Baten:

Geen, tenzij teruggewonnen materiaal nuttig kan worden toegepast

Biologische reiniging: biologische wasser

Kostenbepalende parameters:

Debiet, concentratie en type verontreiniging.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtmissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS: biowasser
5. Leverancier Thiopaq – Paques / Paqell

4.7 Chemische reductie: SCR en SNCR

Chemische reductie: SCR en SNCR

Varianten en synoniemen

Selectieve katalytische reductie; *selective catalytic reduction (SCR)*

Selectieve niet-katalytische reductie; *selective non-catalytic reduction (SNCR)*

Verwijderde stoffen

Vooraf: NO_x

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

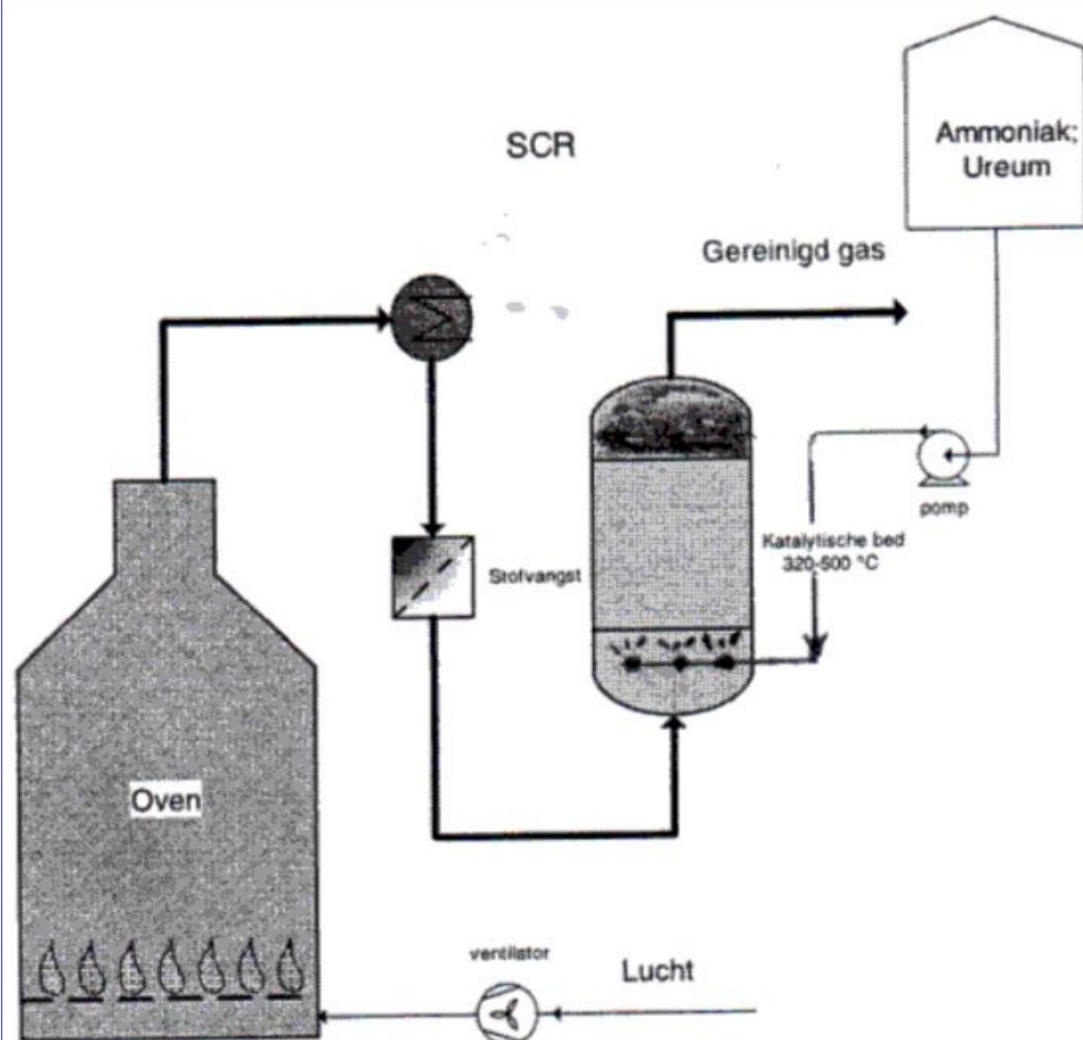
Selectieve reductie van stikstofoxiden (NO_x, NO, NO₂) is een chemisch proces waarbij stikstofoxiden met een reductiemiddel gericht (selectief) chemisch worden omgezet tot atmosferische stikstof (N₂) en water. De meest gebruikte reductiemiddelen zijn ammoniak en ureum. Het reductiemiddel wordt in het afgas gespoten waarna de reductiereactie bij hoge temperatuur kan plaatsvinden. In het geval van katalytische reductie (SCR) wordt het afgas over een katalysator geleid. De katalysator zorgt er dat het proces efficiënter en bij lagere temperatuur verloopt. Bij niet-katalytische reductie (SNCR) verloopt het proces zonder katalysator.

SCR en SNCR worden veelal toegepast voor de behandeling van rookgassen. Ammoniak (NH₃) kan zowel als gas of in een waterige oplossing worden toegepast. Ureum (NH₂-CO-NH₂) wordt opgelost in water toegepast. AdBlue is de gedeponeerde handelsnaam voor een 32,5%-oplossing van ureum. Door wisselende procesomstandigheden kan het voorkomen dat de behandelde gassen nog een restemissie ammoniak of ureum bevatten, ammoniakslip genoemd.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Chemische reductie: SCR en SNCR



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Selectieve reductie (SCR en SNCR) worden vooral toegepast voor het behandelen van rookgassen en afgassen met stikstofoxiden. SCR kent een breed toepassingsgebied in de volgende sectoren:

- Afvalverbranding
- (petro)chemische industrie
- Energiecentrales
- Cementindustrie
- Metaalindustrie
- Glastuinbouw

Chemische reductie: SCR en SNCR

(ZZS)

SCR is specifiek gericht op het verwijderen van stikstofoxiden (NO_x). Stikstofoxiden zijn geen zeer zorgwekkende stof (ZZS), zodat SCR niet bedoeld is voor verwijdering van ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Katalytische reductie vindt plaats binnen een beperkt temperatuurbereik. Bij SNCR wordt de apparatuur doorgaans vrijwel direct na de vlam geplaatst, omdat de rookgassen dan nog heet genoeg zijn. Een SNCR kan zelfs deel uitmaken van de stookinstallatie als de ammoniak net na de verbrandingskamer wordt geïnjecteerd.

Bij SCR kan het nodig zijn om de afgassen vooraf af te koelen/verwarmen, ontstoffen en eventueel te behandelen om verstopping of vergiftiging van de katalysator te voorkomen.

Na de reductiestap kan het nodig zijn om het ammoniakgehalte te verlagen (SCR, SNCR) of het afgas verder te behandelen voor andere verontreinigende stoffen (vooral SNCR).

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. De waarden van de specifieke toepassing. Weergegeven zijn een redelijkerwijs te bereiken onderwaarde bij goed te beheersen processen en een bovenwaarde voor complexere processen. Een lagere waarde voor NO_x kan leiden tot een hogere waarde voor NH_3 .

Stof	SNCR verwijderings- efficiëntie, %	SNCR restemissie, mg/Nm^3	SCR verwijderings- efficiëntie, %	SCR restemissie, mg/Nm^3
NO_x	25 – 80	60 – 70	80 – 99	<20 – 150
NH_3	NA	2 – 20	NA	2 – 20

Emissie van ammoniak, voor zowel SCR als SNCR [mg/Nm^3]. Gegevens afkomstig uit BVT 2016:

P10: 0,7

P50: 1,4

P90: 13,1

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm^3/uur]:

P10: 2.500 (SCR) – 2.000 (SNCR)

P50: 20.000 (SCR) – 5.500 (SNCR)

Chemische reductie: SCR en SNCR

P90: 37.000 (SCR) – 36.000 (SNCR)

Praktijkvoorbeelden van 1,5 miljoen Nm³/uur zijn ook bekend.

Temperatuur [°C]:

930 – 980 (SNCR) of 180 – 450 (SCR, afhankelijk van de katalysator). Fluctuaties van ~90°C zijn acceptabel.

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

<10

Verblijftijd:

1 – 2 seconden

Stof:

Stof in het rookgas hoeft geen probleem te zijn, zeker niet bij SNCR. Bij SCR kan stof een negatief effect hebben op de werking van de katalysator en dient daarom vooraf gefilterd te worden of een andere vorm van de katalysatordrager.

Ingaande concentratie:

10 g NO_x/Nm³

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

SNCR

De optimale temperatuur voor de reductiereactie is tussen de 930 - 980°C (ammoniak) of tussen 950 – 1050°C (ureum). De injectie van het reductiemiddel gebeurt na het verbrandingsproces maar voor verdere behandeling van het rookgas. Temperatuur, de verhouding NH₃/ NO_x, goede menging en verblijftijd zijn de belangrijkste parameters voor de efficiëntie.

SCR

In vergelijking met SNCR vindt het SCR-proces plaats in een temperatuurbereik dat aanzienlijk lager, namelijk 180 – 450°C, afhankelijk van de katalysator. Doordat de werkingstemperatuur van SCR aanzienlijk lager is dan bij SNCR, en omdat de werking van de katalysator beperkt kan worden door verontreinigingen, wordt een SCR vaak geplaatst na andere emissiebeperkende technieken zoals een stoffilter. De katalysator moet beschermd worden tegen met name halogenen, alkalimetalen, aardalkalimetalen, fosfaat en zware metalen. Zwavel kan verwerkt worden door een SCR, maar dit vereist wel een temperatuur boven 300°C. Een warmtewisselaar

Chemische reductie: SCR en SNCR

en soms een brander kunnen deel uitmaken van een SCR systeem om de temperatuur van de SCR te kunnen beheersen.

De katalysator is typisch gemaakt van titaniumdioxide en aluminiumoxide als dragermateriaal met vanadium, wolfram en molybdeen als actieve laag. Na een termijn van 5 – 10 jaar heeft de katalysator vervanging nodig, al is een langere levensduur mogelijk als het rookgas erg schoon is.

DESONOX proces

Het DESONOX proces is een gecombineerd proces voor de zwavel- en stikstofverwijdering uit rookgassen. Als eindproducten ontstaan geconcentreerd zwavelzuur en stikstofgas. De rookgassen worden voorafgaand aan DESONOX-stap ontstof in een elektrostatisch filter. Het ontstofte rookgas wordt met ammoniak gemengd bij 450 °C en over een katalysator wordt geleid om NO_x om tot N₂ om te zetten. Vervolgens wordt het afgas over een andere katalysator geleid om SO₂ door oxidatie met zuurstof om te zetten in SO₃ dat met water dat reageert tot zwavelzuur. In de nageschakelde stappen condenseert geconcentreerd zwavelzuur (ca. 70 %) bij een temperatuur van 120 °C. Dit stelt hoge eisen aan de gebruikte materialen. In een nageschakelde wasser wordt de resthoeveelheid zwavelzuur verwijderd.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Debiet
- Temperatuur
- Molaire verhouding NH₃/NO_x
- Verbliftijd

De molaire verhouding NH₃/NO_x waarbij gewerkt wordt ligt rond 1,0 - 1,1. Bij hogere verhoudingen wordt niet gereageerd ammoniak uitgestoten met een kans op bijkomende reacties zoals vorming van aerosolen met ammoniumchloride en ammoniumsulfaat.

Ook de reactie- of verblijftijd is belangrijk om een zo goed mogelijk omzetting te bekomen. Een te korte verblijftijd resulteert in een onvolledige reactie.

Retrofit van een SNCR is relatief eenvoudig, enkel de mondstukken om ammoniak/ ureum te injecteren plus een opslagtank moeten geplaatst worden. De installatie van SCR kan complex zijn en forse bouwkundige aanpassingen vereisen.

(monitoring)

Monitoring vindt plaats door het meten van de in- en uitgaande concentraties van NO_x, O₂ en reagens in het rookgas, alsmede de temperatuur en de drukval (bij SCR).

Chemische reductie: SCR en SNCR

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

SNCR

- Eenvoudige installatie, ook bij retrofit
- Weinig ruimtebeslag
- Geschikt voor gasstromen met hoge concentraties stof

SCR

- Werkzaam bij lagere temperatuur dan SNCR
- Geschikt voor NO_x-reductie uit alle bronnen, niet alleen stookinstallaties
- Lage uitstoot van ammoniak dan SNCR
- Bij installatie hoeft de stookinstallatie niet aangepast te worden

4.2 Nadelen

SNCR

- Hoge temperatuur is noodzakelijk
- Uitstoot van ammoniak en lachgas
- Ongeschikt voor bronnen met een lage ingangconcentratie NO_x
- Weinig geschikt voor bronnen met variabel debiet en emissieconcentratie

SCR

- Kan voorgaande reinigingsstappen van het rookgas vereisen
- Uitstoot van ammoniak
- Ruimtebeslag
- Hogere investering ten opzichte van SNCR
- Hogere operationele kosten dan SNCR door vervanging van de katalysator en eventueel het opwarmen van de rookgassen
- Als SO₂ voorkomt in het rookgas, kan de katalysator dit omzetten naar SO₃

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Geen direct waterverbruik maar wel indirect omdat bij gebruik van ammonia en ureum als reductiemiddel deze in water zijn opgelost. In specifieke situaties kan koelwater voor de ingaande gasstroom bij SCR nodig zijn.

Chemicaliën:

- Ammoniak of ureum. 570 kg/ ton NO_x verwijderd voor SNCR, of 370-450 kg/ ton voor SCR
- Katalysator (bij SCR)
- Stoom (om de ammoniak te verdampen voor inspuiting)

Energieverbruik:

- SNCR: laag, enkel om de ammoniak in te spuiten

Chemische reductie: SCR en SNCR

- SCR: laag indien rookgassen niet opgewarmd behoeven te worden, tot hoog als dat wel nodig is

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Niet van toepassing.

Lucht:

Chemische reductie leidt tot uitstoot van ammoniak en bij SCR ontstaat er lachgas (N_2O), wat een broeikasgas is. Indien het rookgas zwavelverbindingen bevat, kunnen er emissie van SO_3 optreden bij SCR. Ammoniak en gevormd SO_3 zullen tot 'secundaire aerosolen' (fijn stof) in de omgevingslucht leiden.

Afvalwater

Niet van toepassing

Afval:

Katalysator (bij SCR)

Veiligheid:

Ammoniak is een giftig en brandbaar gas

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm^3/uur]:

SNCR: 3.000 – 30.000

SCR: 3.000 – 100.000

De kosten kennen een brede bandbreedte, dit heeft zijn oorsprong in de gebruikspraktijk waaruit ook zeer variërende kosten naar voren komen. De onderkant van de bandbreedte past bij een nieuwe, middelgrote aardgasgestookte stookinstallatie in Nederland. De bovenkant van de bandbreedte is afkomstig van een grote afvalverbrandingsinstallatie binnen de EU.

Operationele kosten [EUR per ton NO_x verwijderd]:

SNCR: 700 – 1.200

SCR: 200 – 5.000

Personeel [uur/week]:

<1 – 16

Materiaal (onderdeel van de operationele kosten):

SNCR: 150 – 200 EUR per ton NO_x verwijderd voor het reagens

SCR: 150 – 200 EUR per ton NO_x verwijderd voor het reagens, plus EUR 330/ 1.000 Nm^3 rookgassen/ uur voor de katalysator.

Chemische reductie: SCR en SNCR

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

Onbekend, maar er kan sprake zijn van significante energiebehoefte als her verwarming van rookgassen nodig is.

Baten:

Geen

Kostenbepalende parameters:

Verontreiniging van de rookgassen, verbruik van reagens, energieverbruik, kosten voor retrofit, katalysator

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS: selectieve (niet) katalytische reductie
5. Leverancier: Yara Nederland
6. Final Report supporting the article 12 review under the MCP directive, reference ENV.C.4/FRA/2015/0042, 12 december 2019. (kosten SCR)
7. BREF LCP tabel 7.13 (kosten katalysator SCR)

4.8 Condensatie: condensor

Condensatie: condensor

Varianten en synoniemen

Condensor, *warmtewisselaar*, *odour control condensation (OCC)*,

Cryocondensatie, cryocondensor

Verwijderde stoffen

Vooral: gehalogeneerde koolwaterstoffen, VOS

Mindere mate: geur

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

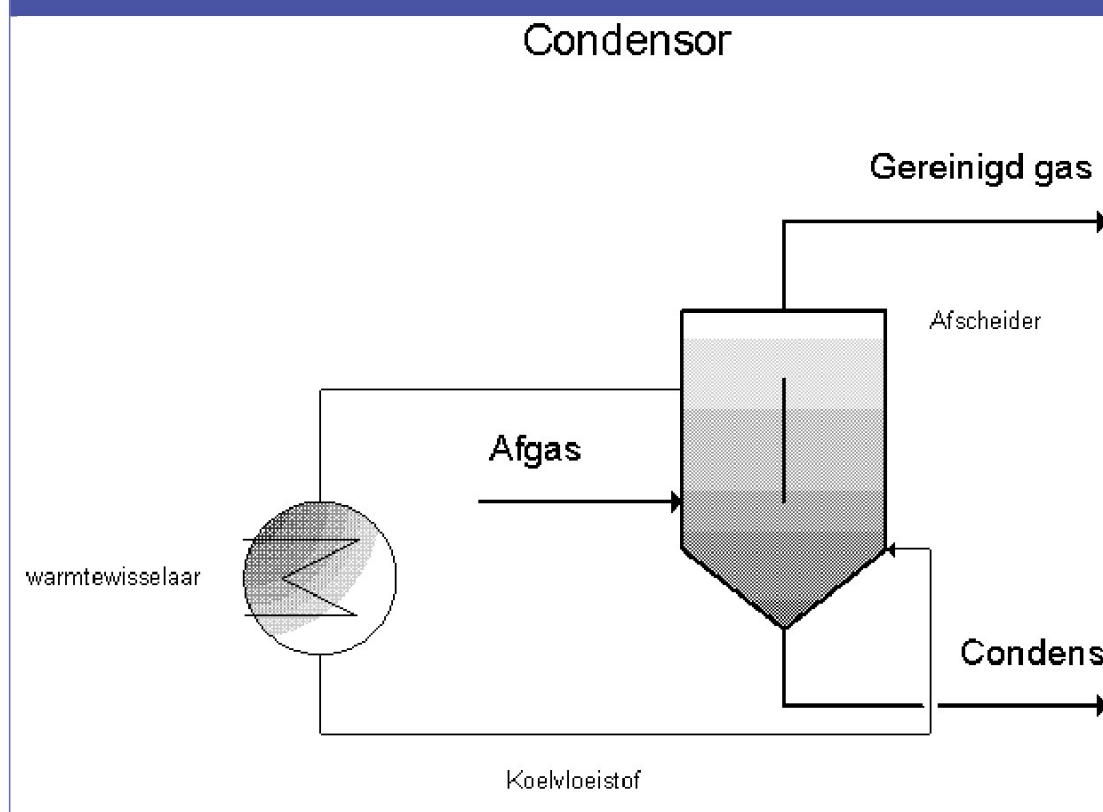
Condensatie is de faseovergang van gas naar vloeistof. De werking van een condensor berust op de warmtewisselaar die een afgasstroom tot (ver) onder het damppunt van de betreffende dampen koelt. De dampen in het afgas gaan dan over naar de vloeibare fase, voor zover de dampconcentratie in het afgas de verzadigde dampconcentratie bereikt. Condensatie wordt bevorderd door lage temperatuur en/of hoge druk.

Het condensaat dat op de warmtewisselaar ontstaat, doet dienst als absorptievloeistof waardoor de efficiëntie verhoogd wordt. Zo kunnen ook geurstoffen oplossen in gecondenseerd water. Het condensaat kan vervolgens eenvoudig van het afgas worden gescheiden. Door de werkingstemperatuur en -druk af te stemmen op het dauwpunt van de specifieke stoffen kunnen deze stoffen achtereenvolgens worden gecondenseerd en aldus gescheiden.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Condensatie: condensor



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Condensatie wordt voornamelijk toegepast bij hoge oplosmiddelconcentraties ($> 50 \text{ g/m}^3$) of bij vochtige afgassen met geurcomponenten. Condensatie wordt doorgaans als voorbehandeling gebruikt zodat de nageschakelde techniek minder wordt belast waardoor de totale kosten voor behandeling lager kunnen zijn. Condensatie kent een breed toepassingsgebied in de volgende sectoren:

- Levensmiddelenindustrie
- Diervoederindustrie
- Composteringsinstallaties
- Slibverwerkingsinstallaties

(ZZS)

Condensatie is in beginsel niet geschikt als techniek om ZZS-dampen te verwijderen maar kan als voorbehandelingstechniek onderdeel zijn van een serie reinigingstechnieken waarbij organische ZZS-dampen worden verwijderd uit een afgasstroom. De uitgangskoncentratie zal na een condensor nog te hoog zijn om te voldoen aan de emissiegrenswaarden voor ZZS.

Condensatie: condensor

2.2 Combinatie van technieken

Aangezien het gekoelde afgas condensdruppels kan meevoeren wordt een druppelafscheider na de condensor geplaatst. Condensatie wordt doorgaans als voorbehandeling gebruikt zodat de nageschakelde techniek minder wordt belast waardoor de totale kosten voor behandeling lager kunnen zijn.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De restconcentratie wordt bepaald door de verzadigde dampconcentratie bij de werkingstemperatuur en -druk. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie, bedrijfscondities en af te vangen stof. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. N.v.t. staat voor 'niet van toepassing' en is gebruikt voor geur. Voor geur zijn geen emissiegrenswaarden vastgesteld omdat de aanvaardbaarheid getoetst wordt aan de hand van de immissie (geurbelasting) bij gevoelige receptoren.

Stof	Verwijderingsefficiëntie [%]	Restemissie [mg/Nm ³]
VOS	80 – >99	30 - 5.000
Geur	60 – 90	NI

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

Waterkoeling met: 100 – 100.000 Nm³/uur

Cryogene koeling: <5.000 Nm³/uur, meestal <250 Nm³/uur

Temperatuur [°C]:

Waterkoeling: 50 – 125

Cryogene koeling: <80

Druk [bar]:

atmosferisch

Drukval [mbar]:

Waterkoeling: 1 – 2

Cryogene koeling: 30 – 50

Vochtgehalte [%]

Als de werkingstemperatuur <0°C is, dan moet de afgasstroom nagenoeg vochtvrij zijn om ijsvorming te voorkomen. Bij temperaturen >0°C geen limiet, maar lagere vochtgehalten resulteren in een lager energieverbruik.

Condensatie: condensor

Verblijftijd:

Variabel, enkele seconden

Stof:

< 50 mg/Nm³, geen klevend stof vanwege verstopping.

Ingaande concentratie:

Geen beperking voor hoge concentraties maar wel voor lage concentraties. De dampconcentratie moet hoger zijn dan de verzadigde dampconcentratie bij de condensortemperatuur.

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Indirecte koeling met water, pekkel of ammoniak

Bij indirecte condensators komt het koelmiddel niet in direct contact met de afgasstroom. Het koelmiddel raakt dus niet verontreinigd. Nadeel is dat het niet mogelijk is klevende stoffen af te scheiden. Een conventionele uitvoering bestaat uit een mantel-en-buiscondensator. Het te koelen afgas stroomt door een buis, de koelvloeistof stroomt in tegengestelde richting door een mantel om deze buis en neemt de warmte op die in de afgassen aanwezig is. Een variant van hetzelfde principe is de spiraal-warmtewisselaar, bestaande uit twee concentrische passages. Het koelmiddel stroomt door één passage en verlaat de warmtewisselaar via het midden. De afgasstroom treedt in het midden binnen en verlaat de warmtewisselaar aan de periferie.

Gebruikelijke koelmiddelen voor condensatie zijn koelwater, gekoeld water, gekoelde pekkel en ammoniak. Bij koelwater is de temperatuur beperkt tot de omgevingstemperatuur, gekoeld water tot net boven het vriespunt

(2-5°C), gekoelde pekkel tot ca. -14°C en bij ammoniak tot -40°C (één trap) en -60°C (twee trappen). De wijze van koeling is afhankelijk van de gewenste temperatuur. Koelwater kan eventueel na de condensor worden geloosd.

Zo niet, wordt het koelmiddel na de condensator gekoeld in koelsysteem. Veel voorkomende koelsystemen zijn compressiekoeling met een koelmedium in gesloten systeem of luchtkoeling al dan niet ondersteund door verdamping van water.

De gecondenseerde VOS stromen af naar een opvangvat. De opvangen VOS kan hergebruikt worden in het achterliggende proces, de gereinigde gasstroom kan worden nabehandeld om de VOS-concentratie verder te verlagen.

Voor geurbestrijding beperkt men zich meestal tot koeling met koelwater zonder extra mechanische koeling. Een verlaging van de condensatortemperatuur van 25°C naar 5°C heeft weinig effect omdat het merendeel van de waterdamp reeds bij 25°C is gecondenseerd. De condensatietemperatuur van de dampen in het afgas moet dan wel hoger zijn dan 40°C.

Condensatie: condensor

Indien de condensatortemperatuur lager is dan 0°C, moet het afgas voorafgaand worden gedroogd.

Directe koeling met een koelvloeistof

Bij directe systemen komt het koelmiddel (koelwater) in direct contact met de afgasstroom. Dit geeft een goede warmteoverdracht. Praktische uitvoeringen zijn bijvoorbeeld sproeikamers. Nadeel hiervan is dat het koelmiddel (water) vervolgens weer behandeld moet worden om de opgeloste stoffen te verwijderen.

Cryogene condensatie met vloeibare stikstof

Bij cryocondensatie wordt een afgasstroom gekoeld door het verdampen van vloeibaar stikstof. Het verdampen van de vloeibare stikstof reduceert de temperatuur tot temperaturen omstreeks -100°C, waardoor het rendement op VOS-condensatie hoog kan zijn. Cryocondensatie kan een directe vorm van koeling zijn, het koelmiddel hoeft niet meer gescheiden te worden van de vloeibare VOS. De verdampende stikstof zorgt daarnaast voor een deken van inert gas over de gecondenseerde VOS, wat gunstig kan zijn in verband met productkwaliteit of brandveiligheid. Doordat de temperaturen ver onder het vriespunt van water liggen, moet het afgas voorafgaand worden gedroogd. Ook zijn soms voorzieningen nodig om de cryocondensator af en toe te ontdooien om aangevroren water te verwijderen.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Samenstelling van het afgas
- Voldoende lange verblijftijd en turbulentie om het afgas geheel te koelen

Theoretisch kan iedere restemissie worden bereikt, mits de koeling sterk genoeg is. Praktisch wordt zelden lager gegaan dan -95 °C en varieert de temperatuur tussen de -50 en -80 °C. De uiteindelijke dimensionering berust op een zorgvuldige afweging tussen het rendement, de restemissie en de teruggewonnen hoeveelheid VOS enerzijds en de investerings- en bedrijfskosten, waaronder bijvoorbeeld het stikstofverbruik anderzijds. De meeste systemen worden toegepast op relatief kleine afgasstromen (tot 50 m³/uur) en voor de verwerking van batchemissies, waarbij de apparatuur gedurende het belangrijkste deel van de bedrijfstijd stand-by staat. Volcontinue systemen groter dan 250 m³/uur zijn minder gebruikelijk, de grootst geleverde units hebben een omvang van ongeveer 500 m³/uur; voor toepassing groter dan 1.000 m³/uur zijn condensatietemperaturen tot -30 °C. De systemen worden meestal uitgelegd voor een rendement van minimaal 99 %. Zo nodig wordt een adsorptietechniek (actief kool, zeoliet) nageschakeld om de emissiedoelstelling te garanderen.

(monitoring)

De efficiëntie van het systeem wordt gemonitord door de concentratie VOS te meten aan de ingangszijde en de uitgang. Cryogene systemen vereisen ook het meten van de drukval.

Condensatie: condensor

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Compacte, robuuste technologie
- Goede procesbeheersing mogelijk
- Terugwinning van de afgevangen stof
- Terugwinning van warmte is beperkt mogelijk

4.2 Nadelen

- Een tweede reinigingsstap is vrijwel altijd nodig om emissiegrenswaarden te halen

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Meestal wordt er gekoeld met een gesloten koelsysteem (indirecte koeling) en wordt geen water verbruikt. Bij directe koeling met water wordt wel water verbruikt.

Chemicaliën:

Niet van toepassing.

Energie:

Elektriciteit is nodig voor koelen van het koelmiddel in gesloten systemen (gekoeld water, gekoelde pekel en ammoniak). Dit geldt zowel voor een compressiekoelmachine als voor luchtkoeling. Cryogene koeling met stikstof verbruikt op zich geen energie maar dit moet in samenhang met de energie die nodig is voor het vloeibaar maken van stikstof worden gezien.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is mogelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging bij de condensatie.

Afvalwater:

Ingeval van directe koeling met water ontstaat er afvalwater dat moet worden gezuiverd.

Afval:

Er ontstaat geen afval.

Condensatie: condensor

Veiligheid:

Veiligheidsmaatregelen zijn voor het werken wordt met vloeibaar stikstof. Bij lekkage kunnen koude koolwaterstofdampen laag aan de grond blijven hangen met mogelijk explosiegevaar.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

7.500 – 15.000: koeling met gekoeld water of pekel:

400.000: cryogene koeling met stikstof (totale kosten)

Operationele kosten [uren per week]:

Circa 4

Personeel [uur/week]

2: koeling met gekoeld water of pekel

8: cryogene koeling met stikstof

Materiaal:

De materiaalkeuze is afhankelijk van het temperatuurbereik. Cryogene toepassing stelt aanvullende eisen aan het materiaal.

Energie [kWh/1.000 Nm³]:

70: elektriciteit voor gekoeld water/ pekel

Baten:

Teruggewonnen grondstof/ oplosmiddel

Kostenbepalende parameters:

Temperatuur, koelcapaciteit, gewenste emissieniveau

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtmissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS

4.9 Elektrisch veld: elektrostatisch filter

Elektrisch veld: elektrostatisch filter

Varianten en synoniemen

Elektrostatisch filter, *electrostatic percipitator*, *ESP*, *e-filter*, *elektrofilter*, *elektrostatische stofvanger*

Verwijderde stoffen

Vooraf: druppels, stofdeeltjes

1. Beknopte beschrijving

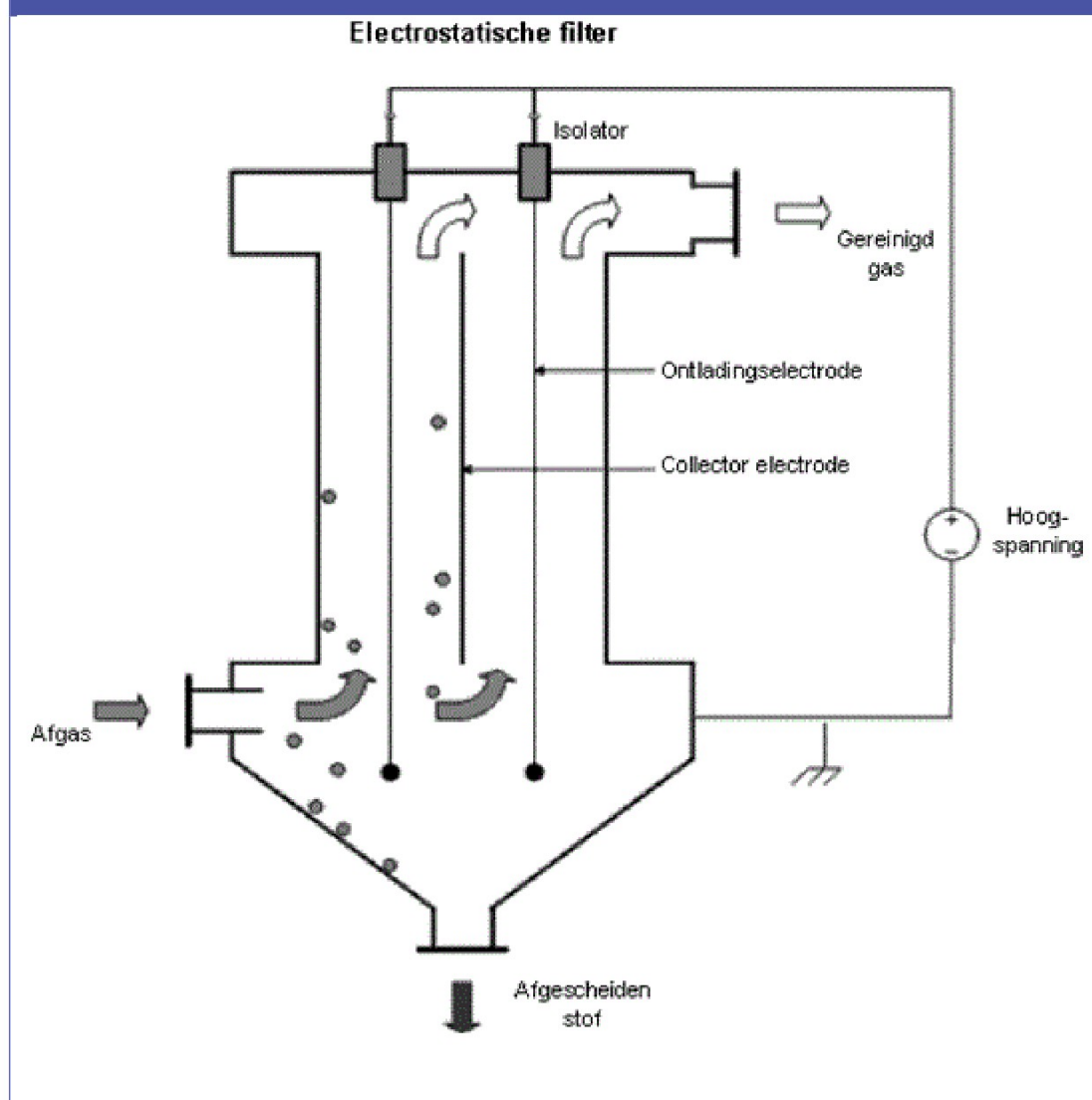
1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe van elektrostatische afscheiding berust op het scheiden van geïoniseerde deeltjes in een afgasstroom in een elektrisch veld. Een elektrostatisch filter is een apparaat dat door middel van elektrische velden deeltjes lading geeft aan deeltjes (ionisatie) en deze uit een gasstroom onttrekt naar verzamelelektroden. De elektrische spanning die vereist is ligt in de ordegrrootte van 20 – 100 kV. De ionisatie kan plaatsvinden in dezelfde kamer als de deeltjesverzameling (eentraps ESP), maar een tweetraps systeem is ook mogelijk. Daarbij worden de deeltjes eerst geïoniseerd in een eerste elektrisch veld, waarna de stofverwijdering plaatsvindt in een tweede elektrisch veld. De afgescheiden deeltjes vallen door de zwaartekracht en door periodiek kloppen of trillen van de verzamelelektroden naar beneden en komen in een stortbunker terecht.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Elektrisch veld: elektrostatisch filter



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

Elektrostatistische filters worden toegepast voor de verwijdering van stofdeeltjes uit gasstromen. Het toepassingsgebied omvat:

- Energiecentrales
- Afvalverbrandingsinstallaties
- Metaalindustrie
- Chemische industrie

(ZZS)

De restconcentratie van elektrostatische filter kan voldoen aan de algemene emissie-eis voor stof. Lagere restconcentraties die voldoen aan strengere eisen voor ZZS zijn in principe ook haalbaar.

Elektrisch veld: elektrostatisch filter

2.2 Combinatie van technieken

Elektrostatische filters kunnen zelfstandig of in combinatie met andere technieken worden gebruikt. Natte elektrostatische filters worden gewoonlijk gebruikt als laatste zuiveringsstap om reststof en -druppeltjes na bijvoorbeeld absorptie te verwijderen.

2.3 Prestaties

De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

De gegevens zijn afkomstig uit de BREF WGC D1 (2019) en BVT 2016 (tabel 27) en gelden voor situaties waar een elektrostatisch filter als zelfstandige techniek is gebruikt.

Stof	Verwijderingsefficiëntie [%]	Restemissie [mg/Nm ³]
PM	97-99	P10: 0,2 P50: 4,0 P90: 8,7

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

P10: 1.800

P50: 11.500

P90: 53.000

Temperatuur [°C]:

<700 (droge ESP),

80 – 90 (natte ESP)

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

0,5 – 5

Vochtgehalte:

Onder het dauwpunt van water.

Stof [g/Nm³]:

1 – 10 voor pijpfilter

2 – 110 voor plaatfilters

Elektrisch veld: elektrostatisch filter

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Plaatfilter

Bij een plaatfilter wordt de gasstroom tussen twee of meer platen doorgeleid. Tussen de platen in zijn draden gespannen waar een hoge elektrische spanning op staat, orde grootte 20 – 100 volt. De stofdeeltjes in de gasstroom worden door deze hoge spanning geïoniseerd, waarna hun elektrische lading de deeltjes naar de platen trekt. De platen worden mechanisch bewogen of 'geklopt' zodat de stoflading omlaag valt in een stofbunker. Door dit 'kloppen' kan een deel van het stof weer in de gasstroom terecht komen, waardoor de efficiëntie van het filter wordt beperkt. Wanneer er te veel platen tegelijk worden gereinigd zal de restemissie tijdelijk hoger zijn, het is dus gunstig het aantal gelijktijdig geklopte elektrodes te beperken.

Een elektrostatisch filter bestaat uit één of meer kamers waarover het te reinigen gas gelijkmatig wordt

verdeeld. Dit gebeurt door middel van een afgas-verdeelscherm. Het systeem is opgebouwd uit een

aantal onafhankelijk van elkaar werkende en in serie geplaatste velden. Het eerste veld verwijdert het

grootste deel van het stof, terwijl de laatste velden er zijn om restemissies laag te houden.

Onafhankelijke regelbare velden genieten de voorkeur vanwege de bedrijfszekerheid, ieder van deze

velden dient met een eigen stoftrechter uitgevoerd te zijn.

De platen dienen regelmatig geklopt te worden om te voorkomen dat de 'vlieglaag' te dik wordt

waardoor de efficiëntie afneemt. Wanneer echter te vaak geklopt wordt, wordt de 'vlieglaag' niet

voldoende dik, breekt in stukken en wordt meegenomen in de gasstroom. De configuratie van de platen is in dit verband belangrijk, waarbij zones met geringe gassnelheid en de hoogte/breedte verhouding van de platen bepalend zijn voor een goed rendement.

Deze techniek kan ook 'nat' worden toegepast, bijvoorbeeld als de stof kleverige deeltjes bevat of als de gasstroom erg vochtig is. In de 'natte' variant worden de platen continu dan wel periodiek gespoeld met water om de stofdeeltjes te verwijderen. De stofbunker zoals die bij droge ESP's aanwezig is, wordt dan vervangen door een spoelsysteem.

Pijpfilter

Een pijpfilter is vergelijkbaar met een plaatfilter maar in plaats van platen worden parallel lopende buizen gebruikt. In die buizen zijn, over de lengte, draden gespannen waar een hoge elektrische spanning op staat. De buizen worden van het stof gereinigd door geluidsgolven die het stof lostrillen, waarna het stof omlaag valt in een stofbunker. Een 'natte' variant is ook mogelijk.

Elektrisch veld: elektrostatisch filter

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Debiet, grotere debieten hebben een grotere elektrode nodig
- Samenstelling van de deeltjes en de gasstroom
- Vochtigheid dan wel kleverigheid van het stof, voor de keus tussen een droge of natte variant
- Deeltjesgrootte
- Elektrische weerstand van de deeltjes

Elektrofilters zijn relatief gevoelig voor onderhoud en juiste afstellingen. In het bijzonder de afvoer van stof en het klopmechanisme kunnen voor extra onderhoud zorgen.

(monitoring)

Een continue monitoring van de werking van het systeem is noodzakelijk. Dat omvat tenminste monitoring van de uitgaande stofconcentratie, de elektrische spanning, de werking van het klopmechanisme en de temperatuur van de gasstroom. Reguliere inspectie van de elektroden, isolatiematerialen en mechanische systemen is nodig om corrosie of verstopping tijdig op te merken.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Hoge efficiëntie, ook voor kleine stofdeeltjes
- Geschikt voor een breed bereik van temperatuur, druk en debiet
- Terugwinning van stof is mogelijk

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- Minder geschikt voor gasstromen met een fluctuerend debiet of een wisselende samenstelling van de gasstroom
- Groot ruimtebeslag
- Gevoelig voor onderhoud en juiste afstellingen (complexe elektronische sturing)
- Explosierisico bij droge ESP's
- Rendement is afhankelijkheid van de elektrische weerstand van het af te vangen stof

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Niet van toepassing bij droge ESP. In de 'natte' variant spoelen met water om de stofdeeltjes te verwijderen.

Chemicaliën:

SO₃ of NH₃ kunnen toegevoegd worden aan de gasstroom om de elektrische weerstand van stofdeeltjes te verlagen en zo de verwijderingsefficiëntie te verhogen.

Elektrisch veld: elektrostatisch filter

Energieverbruik:

Opwekken van elektrostatische veld en pomp voor natte variant.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is mogelijk. Vliegast uit rookgassen wordt gebruikt als grondstof voor de bouw.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging.

Afvalwater:

Bij natte ESP's ontstaat een afvalwaterstroom die verwerkt moet worden.

Afval:

Het afgevangen stof kan afval zijn, als het niet hergebruikt wordt. Afhankelijk van de samenstelling van de gasstroom kan het zwaar vervuild stof zijn dat afgevoerd moet worden als gevaarlijk afval.

Veiligheid:

Systemen met een verhoogd risico (explosie, brand) moeten voorzien zijn van veiligheidsmaatregelen zoals expansieluik, of watersproeiers (sprinklers).

5. Financiële aspecten

Investeringskosten [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

20.000 – 60.000 (droge ESP), natte varianten zijn gewoonlijk ~30 % duurder.

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur per jaar]:

Circa 0,1 – 1 (betreft enkel elektriciteitsverbruik).

Personeel [uur/week]:

2

Materiaal:

Geen verbruik van materiaal.

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,2 – 2

Baten:

Kostenbesparing op grondstof indien recycling mogelijk is of afzetwaarde van het afgevangen stof.

Elektrisch veld: elektrostatisch filter

Kostenbepalende parameters:

Debiet, afgastemperatuur, stofconcentratie en eventueel kosten voor afvoer van het afgevangen stof.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BVT 2016 (tabel 27)
4. VITO LUSS: Droge en natte elektrofilter

4.10 Filtratie: stoffilter

Filtratie: stoffilter

Varianten en synoniemen

Doekfilter, *slangenfilter*, *zakkenfilter*

Keramisch filter, *Ceramic filter*, *hoge temperatuurfilter*, *kaarsenfilter*

Tweetrapsstoffilter, *metaalgaasfilter*

Absoluutfilter, *HEPA-filter*, *oppervlaktefilter*, *patronenfilter*, *microfilter*

Verwijderde stoffen

Vooraf: stofdeeltjes

In mindere mate: geur

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe van een stoffilter is het afscheiden van deeltjes uit een afgas op basis van de afmetingen. Deeltjes die groter zijn dan de maaswijdte van het filter worden tegengehouden, kleinere deeltjes passeren het filter. De met stof verontreinigde lucht wordt door filterend materiaal geleid en van stofdeeltjes ontdaan. Het stof wordt periodiek van het filter verwijderd en verzameld in een onder het filterinstallatie geplaatste trechter ('hopper').

Het filtermateriaal kent vele uitvoeringen en kan gemaakt zijn van doek, kunststof, metaal of keramisch materiaal. De verschillende materialen kunnen de installatie geschikt maken voor een specifieke afgasstroom of af te vangen stof. Het filtermateriaal kan op verschillende manieren zijn aangebracht zoals slangen, enveloppen, enzovoort.

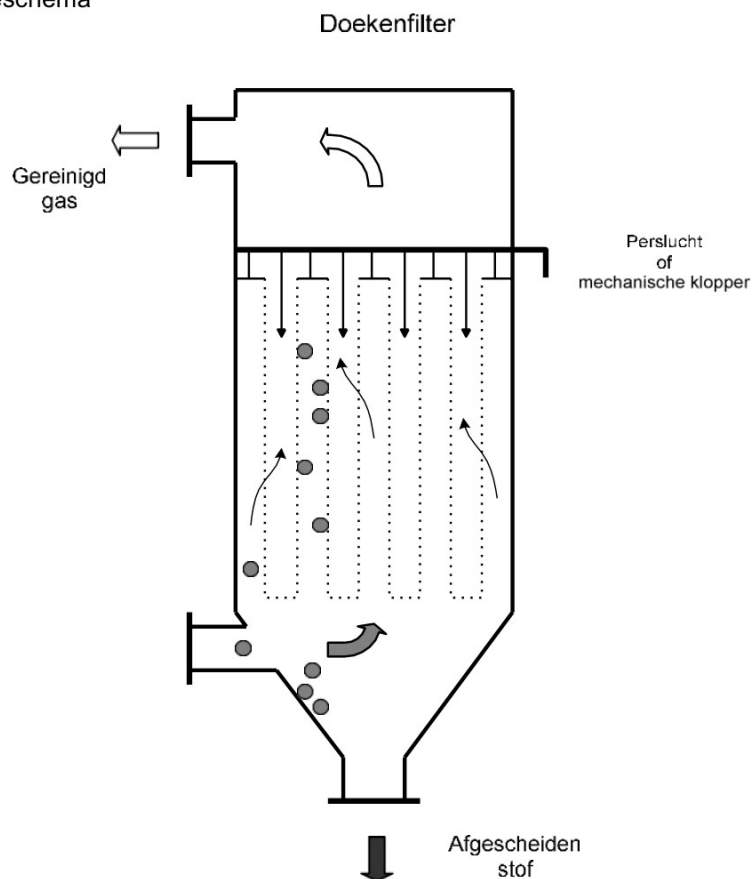
De binnenkomende lucht stroomt meestal niet rechtstreeks naar het filters, maar wordt door één of meerdere verdeelplaten geleid. Het doel hiervan is te zorgen voor een betere verdeling over het filtermateriaal doeken waardoor deze meer gelijkmatig worden belast. Ook verliest de lucht een groot gedeelte van zijn kinetische energie, waardoor een voorafscheiding van deeltjes met hogere dichtheid plaatsvindt onder invloed van de zwaartekracht.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Filtratie: stoffilter

Principeschema



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Het meest toegepast filtermateriaal is textieldoek. Doekfilters worden primair gebruikt voor de verwijdering van stof en deeltjes tot $<PM_{2,5}$. Kleinere deeltjes kunnen ook afgevangen worden als het type filter daarop is toegespitst, zoals met een HEPA filter. Zware metalen die zich op het stof bevinden worden eveneens afgevangen.

In combinatie met injectiesystemen met bijvoorbeeld actief kool of katalysatormateriaal op het filterdoek kan de techniek ook worden toegepast voor de verwijdering van specifieke gasvormige verontreinigingen zoals HCl, kwik en dioxines.

(sectoren)

Breed toepassingsgebied in onder meer de volgende sectoren:

- Afvalverwerkende industrie
- Chemische industrie

Filtratie: stoffilter

- Metaalverwerkende industrie
- Veevoederindustrie
- Voeding- en genotsmiddelenindustrie

De varianten met keramische filter worden met name toegepast in de sectoren:

- Verbrandingsinstallaties en vergassingsystemen met steenkool als brandstof
- Afvalverwerkende industrie
- Kunststofverwerkende industrie
- Chemische industrie
- Glasindustrie

De varianten met HEPA filters worden toegepast in situaties waarbij een 'nul'-emissie noodzakelijk is, bijvoorbeeld in de farmaceutische industrie.

(ZZS)

De restconcentratie van doekfilters voldoet in de meeste gevallen aan de algemene emissie-eis. Lagere restconcentraties die voldoen aan strengere eisen voor ZZS zijn in principe ook haalbaar al dan niet met keramische filters of meerdere trappen.

2.2 Combinatie van technieken

Doekenfilters kunnen in de praktijk gecombineerd worden met vrijwel alle andere technieken. Voor een doekenfilter is regelmatig een gravitatiescheider geplaatst, zoals een cycloon of bezinkkamer, zodat de zwaarste stofdeeltjes vooraf worden afgevangen en het doekenfilter niet belasten.

Voor of na het filter kunnen adsorptiefilters geplaatst worden om bijvoorbeeld VOS, dioxines en furanen af te vangen. Ook combinaties met een thermische naverbrander zijn bekend. In de praktijk kan een doekenfilter ook onderdeel zijn van een adsorptiesysteem. Dan wordt een reactieve stof, bijvoorbeeld kalk, voor het filter ingespoten. De kalk reageert met zure stoffen en wordt daarna afgevangen door het doekenfilter.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie en bedrijfscondities. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. In voorkomende situaties kunnen afwijkende waarden gerechtvaardigd zijn.

De gegevens over algemene stofdeeltjes en ZZS deeltjes zijn overgenomen uit BREF WGC D1, 2019 (met name de 10-percentiel en de 90-percentiel). De gegevens over dioxine/furanen zijn ongewijzigd overgenomen van de vorige versie van de handreiking.

Filtratie: stoffilter

Stof	Verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm ³
Algemene stofdeeltjes	99 – 99,9	0,5-5 P10: 0,1 P50: 0,4 P90: 4,8
ZZS stofdeeltjes		0,02-0,2
Dioxine/furanen	99	0,1 ng/m ³ ITEQ

Door het filtermateriaal te voorzien van een katalysator en/of in combinatie met injectie van adsorberende stoffen kunnen ook gasen in de afgasstroom worden behandeld.

Verwijderde Stoffen	Verwijderings-efficiëntie ¹ , %	Restemissie, mg/m ³ ₀
HCl	95	niet bekend
Kwikdamp	NI	NI
SO ₂	80	niet bekend
NO _x	95	< 200
dioxine	99	niet bekend

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

300 – 2.000 – 19.000

(10-percentiel – Mediaan – 90-percentiel)

Overgenomen uit WGC BREF, D1, 2019

Temperatuur [°C]:

< 280 voor doekfilters

< 500 voor metaalgaasfilters

< 1.200 voor keramische filters.

Druk [bar]:

atmosferisch

Drukval [mbar]:

tot 15 voor doekfilters

tot 25 voor keramisch filter

Vochtgehalte:

Boven dauwpunt

Filtratie: stoffilter

Stof [g/Nm³]:

0,1 – 230 voor doekfilter

< 20 voor keramisch filter

Geen begrenzing voor metaalgaasfilter

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Keramisch filter

Bij een keramisch filter wordt met deeltjes vervuild afgas door filtermateriaal gevoerd. Het filter zorgt ervoor dat deeltjes in het filtermateriaal achter blijven en het afgas wordt gereinigd. Het verschil met een doekfilter is dat het filtermateriaal keramisch is. Er zijn uitvoeringsvormen van het keramisch filter waarbij ook verzurende gasen zoals HCl, Nox en Sox, maar ook dioxines worden afgevangen. In die situaties wordt een reactief filterdoek gebruikt. Het filtermateriaal wordt dan van katalysatormateriaal voorzien en injectie van stoffen voor het filter kan nodig zijn. Het filtermateriaal van de keramische filter kan in verschillende vormen worden toegepast. Het is mogelijk om het keramische materiaal te verwerken tot doek, vezelvilt, vezelementen, sinterelement of filterkaarsen.

De belangrijkste voordelen t.o.v. een doekfilter zijn 1) hogere rendement mogelijk en 2) bestand tegen hoge temperaturen en agressieve stoffen zoals zuren en basen.

De belangrijkste nadelen zijn 1) hogere investerings- en operationele kosten en 2) kwetsbaar materiaal.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende uitvoeringsvormen:

filtermedium	filterdoek ¹	vezelvilt	vezelement	sinterelement
Uitvoering	zak met steunkorf	zak met steunmateriaal	buis, zelfdragend	pijp, kaars, zelfdragend
Oppervlakte gewicht (g/m ²)	1.000 – 2.000	2.500 – 3.500	2.000 – 3.500	12.500 – 22.800
Mechanische eigenschappen	flexibel, gering schuurvast	flexibel, gering schuurvast	half star, matig schuurvast	star, schuurvast
Luchtdoorlaatbaarheid	Hoog	matig	matig	gering

¹ Doek met keramisch materiaal.

Absoluutfilter

De te reinigen gasstroom wordt in een kamer geleid en door een zogenaamde High Efficiency Particle Air filter (HEPA-filter) gevoerd. Het filtermateriaal van een HEPA-filter bestaat uit dunne glasvezels die in papier zijn gevat of een papieren filter. Om een zo groot mogelijk filteroppervlak te verkrijgen, is dit glasvezelpapier als een harmonica opgevouwen. Dit is noodzakelijk omdat de dichte massa van het glasvezelpapier weinig lucht doorlaat. Om een voldoende grote luchthoeveelheid te kunnen verplaatsen is dus een groot oppervlakte nodig. Het stof blijft achter op het filter, maar dringt er niet in door. Het gaat dus om een proces van oppervlaktefiltratie. De

Filtratie: stoffilter

stoflaag die zich afzet op het filter kan het stofvangstrendement aanvankelijk gunstig beïnvloeden.

Als de drukval over het filter te groot wordt, na enige standtijd, moet deze vervangen worden.

Het HEPA-filter kan direct in een pijpleiding worden geplaatst of in een aparte behuizing. HEPA-filters vereisen wel een voorreinigingsstap om het grovere stof af te vangen, hierdoor zijn HEPA-filters vaak de laatste filterstap voor het verwijderen van stof. HEPA-filters worden slechts zelden hergebruikt, omdat de reiniging aanleiding kan geven tot beschadiging en lekkage van het filter. Het belangrijkste voordeel t.o.v. een doekfilter is een lage restconcentratie, ook voor kleine stofdeeltjes.

De belangrijkste nadelen zijn 1) vaak voorfiltratie vereist en 2) vaker vervanging van filtermateriaal.

Compact filter

(Verbeterde) Compactfilters, ook cassettefilter of enveloppenfilter genaamd. Compactfilters worden uitgevoerd in verschillende groottes en capaciteiten. Vaak wordt gebruik gemaakt van standaardeenheden, waaruit filterinstallaties met grotere capaciteiten kunnen worden opgebouwd. Het verschil ten opzichte van het doekfilter is de compacte opbouw en de manier waarop het filterelementen zijn aangebracht in het filterhuis. Ze zijn zodanig geplaatst dat ze eenvoudig te vervangen zijn. Synoniemen zijn Sintamatic, Sinterlamellenfilter, Spirot Tubes.

Tweetrapsstoffilter

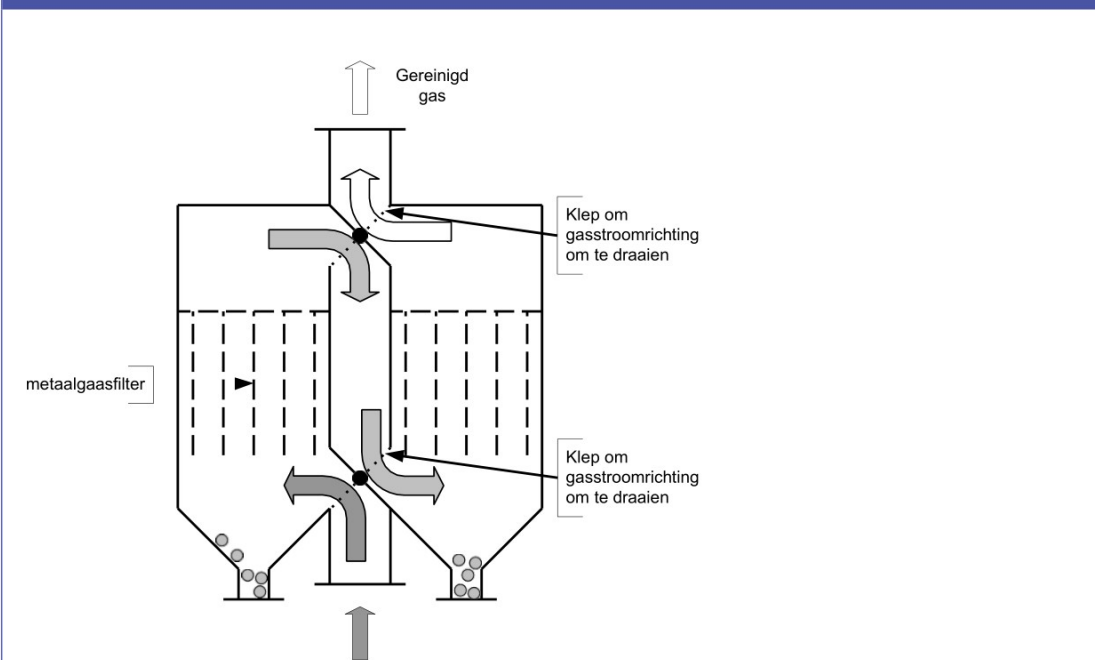
Het tweetrapsstoffilter heeft metaalgaas als filtermateriaal. In de eerste trap wordt een filterkoek opgebouwd waarna de filtratie plaatsvindt in de tweede trap. Afhankelijk van de drukval over het filter wordt de tweede trap gereinigd en wordt de luchtstroom gewisseld over de twee trappen. De eerste filter is nu de tweede filter, en vice versa. Het stof valt naar de bodem van de installatie waar het kan worden verwijderd.

Een variatie op de standaard tweetrapsstoffilter is een systeem met meer dan twee metaalgaasfilters waarbij eerst een filterkoek wordt opgebouwd voordat het filter in de te reinigen afgasstroom wordt geplaatst. Dit voorkomt dat de reinigingsefficiëntie van het filters lager wordt vlak na het schoonmaken van het filters.

De belangrijkste voordelen t.o.v. een doekfilter zijn 1) hogere filterbelasting is mogelijk, 2) bestand tegen hoge temperaturen (tot ca. 500 °C) en 3) ook toepasbaar voor vochtig, kleverig, vezelig of statisch stof.

De belangrijkste nadelen zijn 1) het frequent wisselen tussen de twee compartimenten (bij een normale tweetrapsfilter) waardoor het rendement tijdelijk verminderd en 2) kleppen nodig in een stoffige omgeving wat tot grotere kans op storingen leidt.

Filtratie: stoffilter



Katalytische doek

Voor specifieke toepassingen kunnen, in de doeken, katalysatoren worden verwerkt, zogenaamde katalytische doeken. Als katalysator wordt vanadium/titanium gebruikt. De belangrijkste toepassing is de verwijdering van dioxines en furanen, maar ook andere verontreinigingen zoals VOS, PAK, PCB's en andere gechloreerde verbindingen kunnen worden verwijderd.

Reactief filterdoek

Dit filtermateriaal heeft de eigenschappen dat het dioxine/furanen afbreekt in plaats van adsorbeert. Het materiaal is bestand tegen een temperatuur van 260°C en heeft een optimale werking rond een bedrijfstemperatuur van 220°C.

Doekmateriaal

Verschillende typen doeken kunnen worden toegepast voor verschillende toepassingen. Hieronder worden hiervan een aantal voorbeelden gegeven.

Materiaal	Chemische resistentie		Bedrijfs-temperatuur, °C
	Zuur milieu	Basisch milieu	
Polyester	Goed	Redelijk	130
M-Aramide	Goed	Goed	200
PTFE	Zeer goed	Zeer goed	260
Polyamide	Goed	Goed	260

Filtratie: stoffilter

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Afgasdebiet
- Werkingstemperatuur en maximale temperatuur
- Afgassamenstelling
- Filterdoekbelasting (filtratio). De filterdoekbelasting is afhankelijk van het type en de aard van het doekmateriaal, de stofbelading, het soort en de deeltjesgrootte van het stof. Voorbeelden hiervan zijn voor glasvezel: 60-120 m/uur; en voor PTFE (Teflon): 80-100 m/uur
- In de voedingsmiddelenindustrie is vanwege hygiëne de reinigbaarheid en uitvoering van de behuizing van belang

Filterdoeken: 11 – 17 m² per 1.000 Nm³/h.

Er zijn verschillende typen doeken mogelijk (kwaliteit, type verontreiniging) De meest voorkomende filtermaterialen zijn katoen, wol, nylon, polypropyleen, Orlon, Dacron, Dynel, glasvezel, Nomex, polyethyleen, Teflon. Precoating van het filterdoek kan noodzakelijk zijn bij kleverige of statische stoffen ter bescherming van het doek.

(monitoring)

De werking van het filter kan worden gecontroleerd door het meten van de deeltjesconcentratie in het effluentgas. Dit kan met behulp van bijvoorbeeld een isokinetisch monstername, UV/doorschijnendheidsmeter, et cetera. Temperatuur en druk moeten regelmatig worden gecontroleerd. De drukval over het filter bepaalt wanneer de schoonmaakcyclus moet worden gestart. Regelmatige inspectie van het filters is nodig voor controle op verslechtering van het filters en de omkasting, goede toegang tot het filter is dus noodzakelijk. Een goed gecontroleerd doekenfilter moet een lekdetectiesysteem met alarm hebben om ongecontroleerde emissies te voorkomen.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Algemeen bekende techniek
- Modulaire opbouw, kan taakspecifiek worden aangepast
- Hoog verwijderingsrendement
- Wisselende belasting heeft geen invloed op drukval en efficiëntie
- Afgevangen stof kan eventueel weer als grondstof worden gebruikt

4.2 Nadelen

De belangrijkste nadelen zijn:

- Niet geschikt voor natte of kleverige stoffen in verband met verstopping van filter
- Explosierisico
- Mogelijke elektrostatische oplading

Filtratie: stoffilter

- Groot ruimtebeslag

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Niet van toepassing.

Chemicaliën:

Chemicaliën kunnen in de afgasstroom voor het filter worden toegevoegd.

Energieverbruik:

Perslucht: 3 – 7 bar nodig bij reiniging van het filterelementen en bij perslucht- en ultrasone reiniging.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is mogelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging.

Afvalwater:

Er ontstaat geen afvalwater.

Afval:

Reststoffen zijn het afgevangen stof en de gebruikte doeken. De hoeveelheden zijn afhankelijk van de toepassing.

Veiligheid:

Systemen met een verhoogd risico (explosie, brand) moeten voorzien zijn van veiligheidsmaatregelen zoals expansieluik, of sprinklers.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

1.000 – 9.000 voor standaarduitvoeringen.

30.0000 – 55.000 voor keramische filters en metaalgaas tweetrapsfilters

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur per jaar]:

Circa 200 – 1.500

Personeel [uur/week]:

2

Filtratie: stoffilter

Materiaal [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

660 – 2.000 (filtermateriaal)

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,2 – 2

Baten:

Kostenbesparing op grondstof indien recycling mogelijk is of afzetwaarde van het afgevangen stof.

Kostenbepalende parameters:

Eigenschappen af te vangen stof (bijvoorbeeld explosiegevaarlijk, verdeling van deeltjesgrootte, kleverigheid), temperatuur, drukval en eventueel kosten voor afvoer van het afgevangen stof

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BVT 2016
4. VITO LUSS: doekenfilter

4.11 Filtratie: mistfilter

Filtratie: mistfilter

Varianten en synoniemen

Mistfilter, demister, druppelvanger, Aerosol Filter, diepbedfilter

Verwijderde stoffen

Vooraf: druppels

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

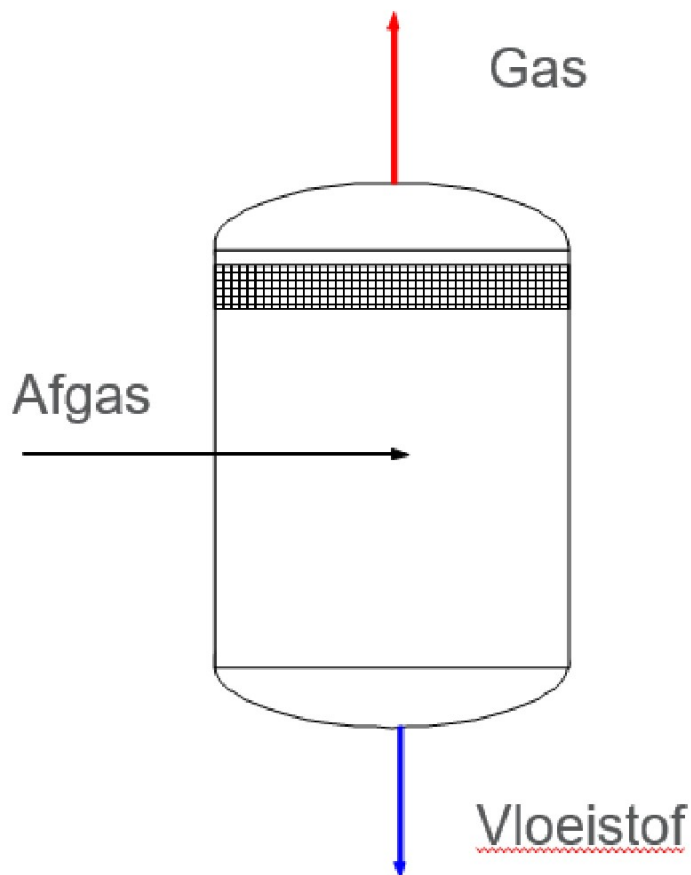
Het werkingsprincipe berust op scheiding door verschil in massa van vloeistofdruppels ten opzichte van de gassen in een afgasstroom. De afgasstroom wordt door een filter geleid waar de vloeistofdruppels tegenaan botsen en door de zwaartekracht naar onder zakken. De gassen en dampen in de afgasstroom passeren het filter. De werking is afhankelijk van de afgassnelheid en de mazen van het filter.

Daarnaast zijn er uitvoeringen waarbij de afscheiding wordt bevorderd door draaiende schoepen waar druppels tegenaan botsen en door de middelpuntvliedende kracht van de schoepen afglijden.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Filtratie: mistfilter



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Mistfilters maken meestal onderdeel uit van andere technieken, bijvoorbeeld van een gaswasser. Het toepassingsgebied is bij die technieken aangegeven.

(ZZS)

Mistfilters worden niet als zelfstandige techniek ingezet om ZZS af te vangen omdat de te behalen emissieconcentratie niet laag genoeg is.

2.2 Combinatie van technieken

Mistfilters maken vaak onderdeel uit van andere technieken, zowel wel als voor- als nageschakelde techniek. Zo is het bijvoorbeeld gebruikelijk om met mistfilters druppels van olie en water af te vangen voorafgaand aan een doekfilter. Mistfilter zijn het laatste onderdeel van met vocht verzadigde gasstromen zoals afkomstig van gaswassers.

Filtratie: mistfilter

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De restconcentratie wordt bepaald door de verzadigde dampconcentratie bij de werkingstemperatuur en -druk. Een kleinere gaaswijdte kan kleinere druppels afvangen, maar is ook gevoeliger voor verstopping. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie, bedrijfscondities en af te vangen stof. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. Er zijn geen emissiegrenswaarden voor vloeistofdruppels, zodat is 'niet van toepassing (n.v.t.)' is aangegeven in kolom 'Restemissie'.

Stof	Verwijderings-efficiëntie, %	Restemissie, mg/Nm ³
Druppels	99	N.v.t.

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

Tot 150.000 Nm³/uur

Temperatuur [°C]:

-5 – 170

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

2,5 – 9

Vochtgehalte [%]:

Verzadigde dampen

Stof:

< 1 mg/Nm³, geen klevend stof vanwege verstopping.

Ingaande concentratie:

In de ordegrootte van grammen per Nm³.

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Statische mistfilter

Een mistfilter kan bestaan uit metaalgaas of geweven synthetisch garen (ook vezels of filamenten genoemd).

Filtratie: mistfilter

De afgevangen vloeistof stroomt van het mistfilter af, waardoor een mistfilter in principe zelfreinigend is. Hierdoor kunnen ook kleine hoeveelheden stof worden afgevangen; dit zal meespoelen met de vloeistof.

Te hoge concentraties stof, of kleverige vloeistoffen, zullen het mistfilter verstoppem. Dat hoeft geen probleem te zijn mits een verwisselbaar filter wordt toegepast.

Centrifugale mistfilter

Een geperforeerde trommel met speciaal ontworpen schoepen draait met hoge snelheid rond. Olienevel wordt in het apparaat gezogen en slaat met hoge snelheid tegen de schoepen. Speciale trommelplaten helpen bij het coalescentieproces (samenvloeien van kleine druppels en stofdeeltjes tot grote druppels). De middelpuntvliedende kracht stuwt de druppels naar de behuizing, waar de vloeistof terugvloeit en kan worden opgevangen voor hergebruik.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Gaasgrootte
- Mate van verzadiging van de afgasstroom
- Afgastemperatuur

Er is specifieke aandacht nodig voor de wijze van reiniging van het filter. Als de afgasstroom enkel vloeistoffen bevat, dan is een mistfilter in principe zelfreinigend doordat de afgevangen vloeistof door de zwaartekracht naar beneden stroomt, terug het proces (of de gaswasser) in. Stofvormige of kleverige verontreinigingen vereisen regelmatige schoonmaak van het filter, of vervanging.

(monitoring)

Monitoring van de drukval is nodig om een eventuele verstopping dan wel scheur in het gaas op te merken.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Goedkope, eenvoudige techniek

4.2 Nadelen

- Een tweede reinigingsstap is vrijwel altijd nodig om emissiegrenswaarden te halen
- Kans op verstopping door vaste stoffen en vettige dampen.

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Eventueel verbruik van waswater voor reiniging.

Filtratie: mistfilter

Chemicaliën:

Niet van toepassing.

Energie:

Elektriciteitsverbruik van ventilatoren kan toenemen vanwege de drukval.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is mogelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging.

Afvalwater:

Afgevangen vloeistof kan doorgaans terug het proces of de gaswasser in. Als het mistfilter nadere reiniging nodig heeft dan kan er sprake zijn van een afvalwaterstroom.

Afval:

Er ontstaat geen afval tenzij de opgevangen vloeistof als afval moet worden behandeld. Daarnaast moet het materiaal van synthetische mistfilters periodiek worden vervangen, wat als afval geldt.

Veiligheid:

Er zijn geen specifieke veiligheidsmaatregelen nodig.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

2.500

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur/jaar]:

$2.500 + (450 \times \text{debiet}/1.000)$

Personeel [uur/week]:

2

Materiaal:

Geen verbruik van materiaal.

Energie [kWh/1.000 Nm³]:

0

Baten:

Teruggewonnen grondstof/oplosmiddel

Filtratie: mistfilter

Kostenbepalende parameters:

Debiet, drukval, materiaalkeuze

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS: mistfilter
5. Leverancier: SMC Corporation

4.12 Gravitatie: bezinkkamer

Gravitatie: bezinkkamer

Varianten en synoniemen

Bezinkkamer, zwaartekrachtseparator, gravitatie-afscheider, valkamer, massatraagheidsseparator

Impactfilter

Verwijderde stoffen

Vooraf: druppels, stofdeeltjes

1. Beknopte beschrijving

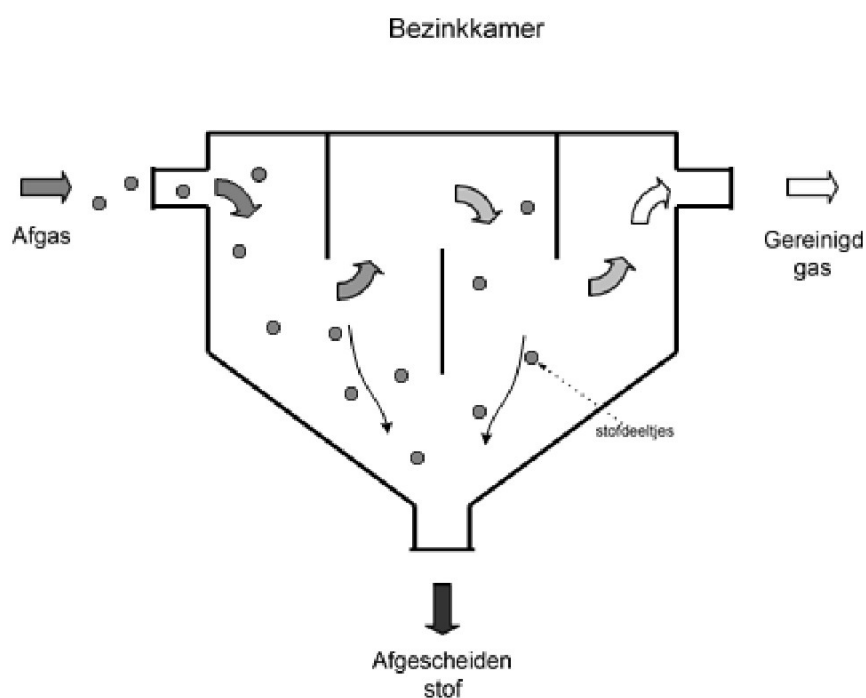
1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe berust op scheiding door verschil in massa van vaste deeltjes (stof) ten opzichte van de gassen in een afgasstroom. Vaste en vloeibare deeltjes bezinken onder invloed van de zwaartekracht.

De verontreinigde gasstroom wordt in een kamer geleid waardoor de gassnelheid afneemt. Bij lage snelheid zullen meer deeltjes uitzakken onder invloed van de zwaartekracht. Het neergeslagen stof, met eventueel vloeistofdruppels, kan vervolgens via een trechter aan de onderkant worden afgevoerd. Het aldus gezuiverde gas verlaat de kamer aan de kant tegenover de ingang.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.



Gravitatie: bezinkkamer

2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Een bezinkkamer wordt als goedkope voorafscheider gebruikt. Bezinkkamers zijn geschikt om hete of gloeiende deeltjes af te vangen voordat de afgasstroom naar een nageschakelde techniek wordt gevoerd. Vanwege het geringe rendement en de hoge restemissie zal nabehandeling nodig zijn.

Bezinkkamers kennen een breed toepassingsgebied in de volgende sectoren:

- Hout- en meubelindustrie
- Bouwsector
- Steenbakkerijen
- Glasindustrie
- Op- en overslag
- Ferro en non-ferro

(ZZS)

Bezinkkamers worden niet als zelfstandige techniek ingezet om ZZS af te vangen omdat de te behalen emissieconcentratie niet laag genoeg is.

2.2 Combinatie van technieken

Een bezinkkamer wordt altijd met andere nageschakelde techniek gecombineerd. Een bezinkkamer vangt de zwaarste, grootste deeltjes af zodat de belasting van de daaropvolgende technieken vermindert.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie, bedrijfscondities en af te vangen stof. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden.

Stof	Verwijderings-efficiëntie [%]	Restemissie, [mg/Nm ³]
PM150	90	> 100
PM30	10	> 100

Gravitatie: bezinkkamer

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

Tot 180.000 Nm³/uur

Temperatuur [°C]:

Geen beperking, afhankelijk van materiaalkeuze.

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

0,5 – 2,5

Vochtgehalte [%]

Geen beperking

Stof [g/Nm³]:

Geen beperking

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Open bezinkkamer

Zwaartekrachtdwarsstroomafscheiders: De stromingsrichting van het afgas in de afscheider is hierbij horizontaal. Onder invloed van de zwaartekracht zakken de deeltjes loodrecht op de stromingsrichting.

Zwaartekrachttegenstroomafscheider: De stromingsrichting van het afgas in de afscheider is verticaal. Onder invloed van de zwaartekracht zakken de deeltjes tegengesteld aan de stromingsrichting.

Impactfilter

Door de inbouw van meerdere obstakels, zoals platen, wordt de gasstroom omgeleid. De deeltjes kunnen door hun traagheid de stromingsrichting niet volgen waardoor ze afgescheiden worden.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

Bezinkkamers kunnen van verschillende materialen worden gebouwd, onder andere van staal, RVS en kunststof (polystyreen (PS), polyvinylchloride (PVC) en polyvinylideenfluoride (PVDF)), afhankelijk van de corrosieve en schurende werking van het afgas en de temperatuur. Bij toepassing van bezinkkamers is een goede uniforme snelheidsverdeling van het grootste belang. Voorkeurstromingen hebben een nadelige invloed op de werking.

Gravitatie: bezinkkamer

Door het gebruik van interne obstructies (schotten) wordt de efficiëntie verbeterd hogere gassnelheden mogelijk zijn, wat resulteert in een verkleining van de bezinkkamer. Nadeel is dat de drukval over het systeem toeneemt. Lekkage van koude lucht naar de bezinkkamer moet voorkomen worden om condensatie van de gasstroom tegen te gaan. Condensatie kan leiden tot corrosie, stofophoping en verstopping van de stofafvoer.

(monitoring)

De meest voorkomende oorzaak van slechte werking is ophoping van stof in de kamer door stof. Dit kan worden voorkomen door periodieke visuele inspectie van de kamer.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Eenvoud van het systeem
- Terugwinning van stof

4.2 Nadelen

- Ongeschikt voor fijn stof; alleen geschikt voor grof stof ($> 15\text{-}150\text{ }\mu\text{m}$)
- Laag afscheidingsrendement
- Ongeschikt voor kleverige deeltjes

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Eventueel verbruik van waswater voor reiniging van de kamer en schotten. Afhankelijk van de toepassing is 100- 200 liter /m² gebruikelijk.

Chemicaliën:

Niet van toepassing.

Energie:

Geen

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is mogelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging.

Afvalwater:

Als de bezinkkamer reiniging nodig heeft dan kan er sprake zijn van een afvalwaterstroom.

Gravitatie: bezinkkamer

Afval:

Er ontstaat geen afval tenzij het afgevangen stof als afval moet worden behandeld.

Veiligheid:

Er zijn geen andere veiligheidsmaatregelen nodig anders dan voor het afgas. Zo kan het afgas gevoelig zijn voor stofexplosie.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

1.000 – 1.500

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur/jaar]:

200

Personeel [uur/week]:

2

Materiaal:

Geen verbruik van materiaal.

Energie [kWh/1.000 Nm³]:

0

Baten:

Teruggewonnen stof

Kostenbepalende parameters:

Debiet, stofbelasting

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtmissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. VITO LUSS: bezinkkamer
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016 (3.5.1.4.2)

4.13 Gravitatie: cycloon

Gravitatie: cycloon

Varianten en synoniemen

Cycloon, *stofcycloon*, *vortexscheider*

Multicycloon

Verwijderde stoffen

Vooraf: stofdeeltjes

In mindere mate: druppels, geur

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe berust op scheiding door verschil in massa van vaste en vloeibare deeltjes ten opzichte van de gassen in een afgasstroom. De vaste en vloeibare deeltjes worden door centrifugale kracht afgescheiden.

Het afgas wordt tangentieel (schuin aan de wand) in een cilindervormige kamer gezogen of geblazen, waardoor het afgas gaat ronddraaien in de cycloon. Door de draaiing ontstaat er een middelpuntvliedende (centrifugale) kracht en wordt het stof naar de wand geslingerd, waarna het stof onder invloed van de zwaartekracht via de onderzijde wordt afgevoerd. Het afscheidend effect wordt vaak versterkt door de gasstroomrichting om te draaien. De vaste deeltjes kunnen deze omkeerdraaiing niet maken gelet op de traagheid van de deeltjes en zakken uit. Het gezuiverde gas verlaat de cycloon in het midden aan de bovenkant.

De prestaties van een cycloon worden beter met een toename van:

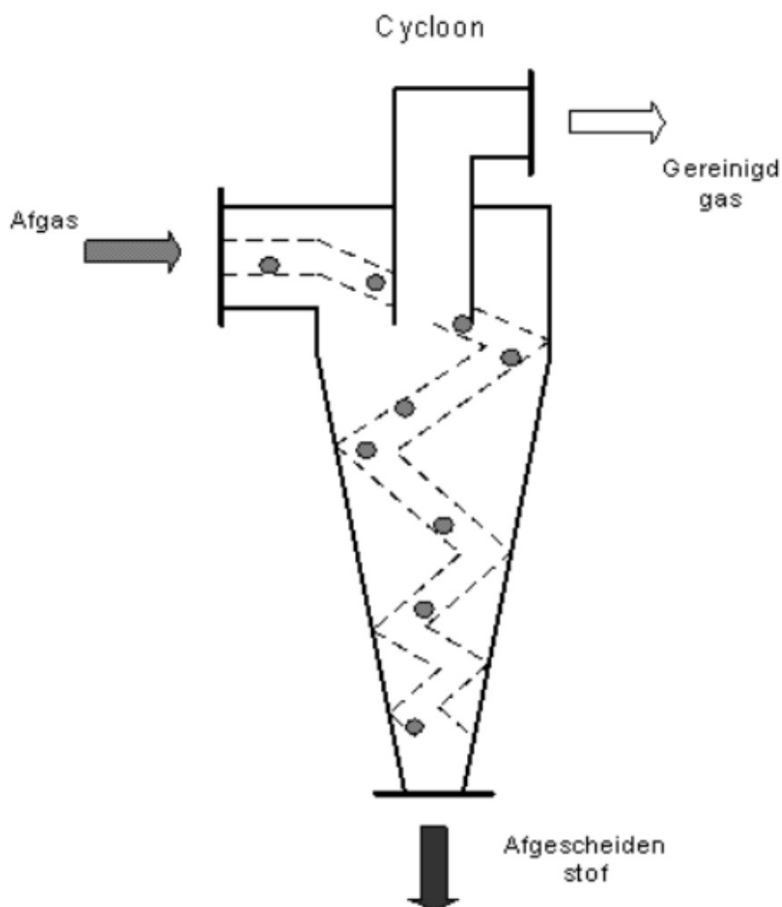
- Deeltjesgrootte en dichtheid
- Afgassnelheid in de cycloon
- Lengte van de cycloon, en dus het aantal wervelingen dat de gasstroom kan maken in de cycloon
- Verhouding van de diameter van de cycloon versus de diameter van de uitlaat
- Ingaande concentratie stof
- Gladheid van de binnenwand van de cycloon

Een efficiënte cycloon kent hoge gassnelheden, een kleine diameter en heeft een lange cilinder.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Gravitatie: cycloon



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Een cycloon kan als zelfstandige techniek worden gebruikt maar wordt meestal als voorafscheider ingezet om de grootste stofbelasting weg te nemen. De voorafscheiding gebeurt meestal voor deeltjes met een diameter groter dan 5µm.

Cyclonen kennen een breed toepassingsgebied in veel alle industriële sectoren, waaronder: de volgende sectoren:

- Hout- en meubelindustrie
- Bouwsector
- Glasindustrie
- Op- en overslag
- Levensmiddelenindustrie
- Afvalverbrandingsinstallaties
- Chemische industrie

Gravitatie: cycloon

- Smeltprocessen in metallurgie
- Sinterprocessen
- Koffiebranderijen
- Overige levensmiddelenindustrie

(ZZS)

Cyclonen worden niet als zelfstandige techniek ingezet om ZZS af te vangen omdat de te behalen emissieconcentratie niet laag genoeg is.

2.2 Combinatie van technieken

Doorgaans is een cycloon een voorgeschakelde techniek bij een doekenfilter, een gaswasser of een elektrostatisch filter (ESP). De cycloon vangt de zwaarste, grootste deeltjes af zodat de belasting van de andere techniek vermindert.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie, bedrijfscondities en af te vangen stof. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. De gegevens zijn afkomstig uit de BREF WGC D1 (2019), BVT 2016 (tabel 27) en de Factsheets van 2009 en gelden voor situaties waar een cycloon als zelfstandige techniek is gebruikt.

Cycloon		
Stof	Verwijderings-efficiëntie [%]	Restemissie [mg/Nm ³]
PM (6-10 µm)	50	Onbekend
PM (10-50 µm)	90	Onbekend
PM (>50 µm)	99	Onbekend
PM	90-99	P10: 0,3 P50: 3 P90: 9

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

P10: 1.000

P50: 9.000

P90: 95.000

Gravitatie: cycloon

Temperatuur [°C]:

Geen beperking, afhankelijk van materiaalkeuze.

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

0,5 – 2,5

Vochtgehalte [%]

Geen beperking

Stof:

1 – 16.000 gram/Nm³

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Cycloon met omkeren van de gasstroom (reverse-flow)

Een cycloon waarin de richting van de gasstroom wordt omgekeerd (reverse-flow) is het meest voorkomende type cycloon. Het afgas wordt bovenin, schuin aan de wand, in de cycloon gezogen of geblazen en wervelt naar beneden. Door de kegelvorm wordt de diameter steeds kleiner en zal de gassnelheid toenemen, en daarmee de middelpuntvliedende kracht. Onderin is een pijp die het gas weer naar boven leidt, waardoor de richting van de gasstroom wordt omgekeerd.

"High throughput" cyclonen hebben een diameter van meer dan 1,5 m en zijn geschikt voor het afscheiden van deeltjes van 20 µm en groter. "high efficiency" cyclonen (pencil cyclonen) hebben een diameter die ligt tussen 0,4 en 1,5 m en zijn toepasbaar voor het afscheiden van deeltjes van 10 µm en groter. De prestaties worden aangegeven als 60-95% rendement voor PM₁₀ en 20-70% rendement voor PM_{2,5}.

Multicyclonen

Cyclonen met een diameter tussen 0,005 en 0,3 m worden niet meer afzonderlijk toegepast maar worden in parallel samengebouwd tot multi cyclonen. De aanstroming van het gas gebeurt hier niet meer zijdelings (tangentieel) zoals bij een gewone cycloon, maar evenwijdig aan de as (axiaal), waarna het gas via leidschoepen in werveling wordt gebracht. Een multi cycloon is gevoelig voor een goede verdeling van het gas over de kleine cyclonen. Indien de verdeling niet correct is, kan terugstroming van het gas en verstopping optreden.

Met multi cyclonen is het mogelijk kleinere deeltjes af te vangen dan met de gebruikelijke cyclonen. De prestaties worden aangegeven als 80-95 % rendement voor PM₅.

Gravitatie: cycloon

Natte cycloon

Om het afscheidingsrendement van fijn stof ($< 20 \mu\text{m}$) te verhogen wordt water in de aanvoerleiding net voor de cycloon verneveld. Het water bindt zich aan de stofdeeltjes en wordt afgevoerd als een slurry. Een variant hierop is de condensatiecycloon. Deze cycloon wordt met een koelmiddel gekoeld. Bij een temperatuur onder het dauwpunt condenseren stoffen zoals vetten en water en kunnen dan worden afgescheiden in de cycloon.

Elektrocycloon

Door het aanleggen van een elektrisch veld tussen het centrum en de wand van de cycloon wordt de drijvende kracht op de deeltjes naar de wand verhoogd waardoor een hoger afscheidingsrendement wordt bekomen.

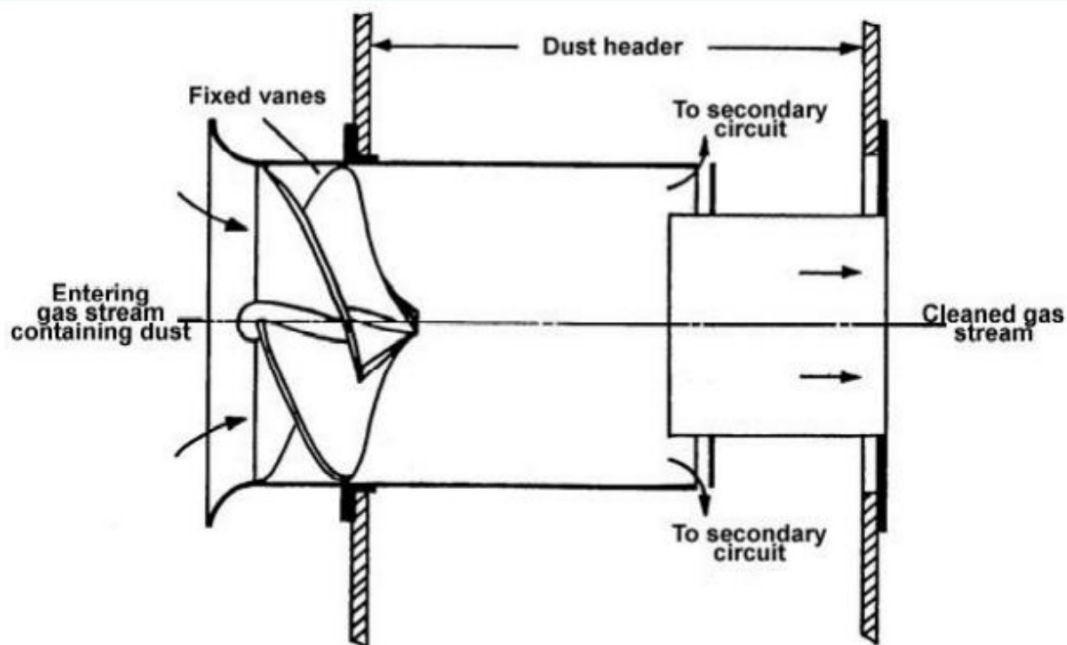
'Wringing' afscheider

De werking van de 'Wringing' afscheider is naast de werking door de wervelingen met middelpuntvliedende krachten ook gebaseerd op het fenomeen van secundaire stromingen in een grenslaag. Het systeem bestaat uit een spiraalvormig binnenwerk wordt gebracht. Het systeem heeft een rendement van meer dan 99,5 % voor deeltjes groter dan $1 \mu\text{m}$ waardoor het zich onderscheidt van klassieke cyclonen (leveranciersinformatie).

Cycloon met doorgaande gasstroom (straight-through)

Deze variant is niet kegelvormig, maar een rechte buis. Bij de inlaat van de gasstroom zijn schoepen gemonteerd, waardoor de gasstroom in spiraalvorm gebracht wordt rondom de centrale as. Door de middelpuntvliedende kracht worden de stofdeeltjes tegen de wand van de cycloon gedrukt.

Gravitatie: cycloon



3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- Afmetingen (lengte, diameter)
- Debiet

De luchtintredesnelheid van een cycloon ligt tussen 10 en 20 m/s, de meest gebruikelijke snelheid is circa 16 m/s. Bij afname van de snelheid neemt het afscheidingsrendement snel af.

De onderhoudsvereisten van een cycloon zijn eenvoudig; ze moeten eenvoudig toegankelijk zijn voor periodieke inspectie op corrosie of erosie. De drukval moet regelmatig gecontroleerd worden en het stofopvangsysteem dient gecontroleerd te worden op verstoppingen.

Een cycloon is een significante bron van geluidsoverlast. Maatregelen zoals omkasting zijn nodig om geluid te beperken.

(monitoring)

Monitoring is in principe niet nodig voor de procesvoering maar drukverschilmetingen zijn gebruikelijk om verstoppingen te signaleren. Om de efficiëntie van de cycloon te monitoren kan de stofconcentratie in de gereinigde gasstroom worden bepaald door middel van ISO-kinetische monsterneming (zonder de stroming van het gas te verstoren) of een meetmethode gebaseerd op bijvoorbeeld UV, zichtbaar licht doorlaatbaarheid, bètastraling of deeltjesdetectie.

Gravitatie: cycloon

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Eenvoud van het systeem, geen bewegende onderdelen, weinig onderhoud
- Lage investerings- en werkingskosten
- Relatief weinig ruimtebeslag

4.2 Nadelen

- Lage efficiëntie, zeker voor kleine deeltjes
- Slechte prestaties bij deellast
- Gevoelig voor slijtage, zeker met corrosieve of schurende deeltjes
- Niet bruikbaar bij kleverige stoffen
- Geluidoverlast

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Hydrocyclonen verbruiken water. Daarnaast kan er waswater nodig zijn voor reiniging.

Chemicaliën:

Niet van toepassing.

Energie:

Elektriciteitsverbruik van ventilatoren kan toenemen vanwege de drukval.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Terugwinning van product is mogelijk.

Lucht:

Er ontstaan geen andere vormen van luchtverontreiniging.

Afvalwater:

De stofslurry van een natte cycloon moet worden nabehandeld en het resterende water zal in een afvalwaterzuivering of anderszins moeten worden verwerkt. Afvalwater kan ontstaan als een cycloon nat wordt gereinigd.

Afval:

Er ontstaat geen afval tenzij het afgevangen stof als afval moet worden behandeld.

Veiligheid:

Er zijn geen specifiek veiligheidsmaatregelen nodig.

Gravitatie: cycloon

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

500 – 1.500

Operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur/jaar]:

Geen directe kosten. Onderhoudskosten kunnen hoog zijn vanwege slijtage.

Personeel [uur/week]:

2 (voor afvoer reststof dus afhankelijk van de stofbelading)

Materiaal:

Geen verbruik van materiaal.

Energie [kWh/1.000 Nm³]:

30 – 250

Baten:

Teruggewonnen stof

Kostenbepalende parameters:

Debiet, drukval, slijtagebestendigheid, bedrijfstemperatuur.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS: cycloon
5. Leverancier: Wringing Italia, Mesys Industrial Air Systems

4.14 Koude oxidatie: ionisator

Koude oxidatie: ionisator

Varianten en synoniemen

Ionisator, actieve zuurstof injectie, ozoninjectie, plasma-zuivering, koud plasma, plasmazuivering, aerox-injector

Verwijderde stoffen

Vooraf: geur

In mindere mate: VOS

1. Beknopte beschrijving

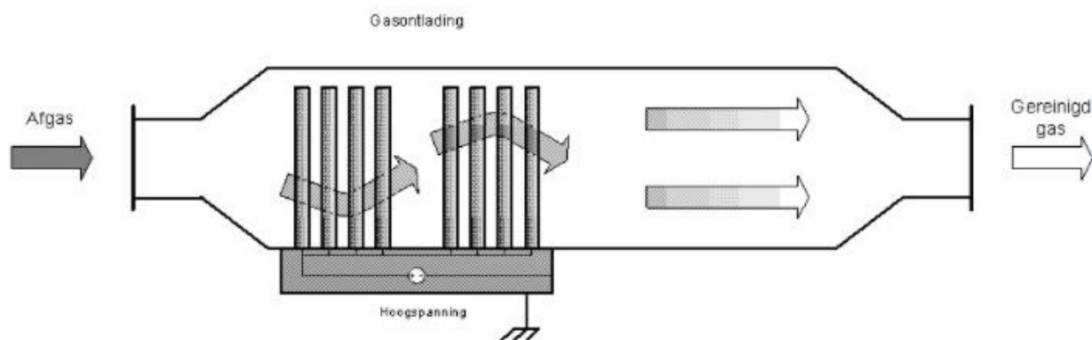
1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe van een ionisator als emissiebeperkende techniek berust op oxidatie van geurstoffen door ozon en andere hoog-reactieve stoffen (radicalen). Ionisatie is een proces waarbij een atoom één of meerdere elektronen verliest en zo positief geladen wordt. Wanneer voldoende atomen geïoniseerd zijn om het elektrische karakter van een gas merkbaar te veranderen, spreekt men van plasma. De meest actieve deeltjes in dit proces zijn zuurstof- en OH-radicalen. Zuurstofmoleculen (O_2) worden zo tot ozon (O_3) geoxideerd. Voor een effectieve geurbestrijding volstaat meestal een gedeeltelijke oxidatie van de geurstoffen. Er treedt geen noemenswaardige temperatuurstijging op, waardoor deze techniek 'koude' oxidatie wordt genoemd.

De ionisatie wordt gebruikelijk in een elektrisch veld onder hoogspanning opgewerkt met schone gefilterde lucht, waarna de geïoniseerde lucht in de afgasstroom wordt ingespoten. De ionisatie kan ook rechtstreeks in het afgas worden uitgevoerd. Dit is efficiënter maar gevoeliger voor vervuiling.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.



Koude oxidatie: ionisator

2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

De techniek wordt met name toegepast om geurstoffen en/of lage concentraties VOS uit een gasstroom te verwijderen. Voor deze taak zijn ze energie-efficiënter dan alternatieven zoals een thermische naverbrander.

Koude oxidatie wordt toegepast in de volgende sectoren:

- Voedingsmiddelen-, genotsmiddelen- en diervoederindustrie
- Slachthuizen
- Slibverwerkers
- Waterzuiveringsinstallaties

(ZZS)

Koude oxidatie technieken zijn in beginsel ongeschikt voor ZZS-houdende afgasstromen omdat de te behalen emissiewaarden niet laag genoeg zijn om te voldoen aan de emissiegrenswaarden van ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Een combinatie met stoffiltering is nodig als een gasstroom niet stofvrij is, omdat de ionisator anders het effect zal hebben van een elektrostatische precipitator, of doordat het stof de lichtstralen blokkeert bij foto-oxidatie. Verdere combinaties van technieken zijn in principe mogelijk, maar niet gebruikelijk vanwege het toepassingsgebied.

2.3 Prestaties

De prestaties van een ionisator zijn zeer situatiespecifiek. Het is mogelijk om geurvrachten significant te verlagen, mits de apparatuur goed is afgesteld. Daarom zijn haalbaarheidstests noodzakelijk om het rendement in een praktijksituatie te achterhalen.

Reductie van VOS-vracht is mogelijk, maar zelden het hoofddoel van een ionisator.

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

Ionisatie: 1.000 – 200.000 Nm³/uur

Temperatuur [°C]:

20 – 200

Druk [bar]:

Atmosferisch

Koude oxidatie: ionisator

Drukval [mbar]:

Enige

Vochtgehalte [%]:

Ionisatie in het afgas: laag vochtgehalte, vanwege risico op condensatie en kortsluiting

Ionisatie in lucht: geen beperking voor het vochtgehalte van het afgas.

Verblijftijd:

Enkele seconden

Stof:

Ionisatie in het afgas: laag stofgehalte, omdat de ionisator anders werkt als elektrostatische precipitator. Ionisatie in lucht: geen beperking voor het stofgehalte van het afgas.

Ingaande concentratie:

< 500 mg/Nm³ VOS

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Ionisatie van het afgas

Het afgas wordt door een reactorkamer geleid, en hierin door middel van elektrodes onderworpen aan een sterk elektrisch wisselveld (30 – 40 kV). Als een stofrijke gasstroom rechtstreeks in de reactor wordt gestuurd, gedraagt deze zich als een elektrostatische afscheider (ESP). Om de reactor schoon te houden moet in dat geval een reinigingssysteem geïnstalleerd worden of handmatig worden gereinigd. De reiniging kan gebeuren door vibratie, perslucht of water. Bij stofvrije luchtstromen is dit reinigingssysteem niet noodzakelijk. Bij rechtstreekse behandeling is verwijdering van organische stoffen mogelijk.

Niet meer gebruikelijk maar na de eigenlijke ionisatiestap kan de luchtstroom nog over een katalysator geleid worden. Deze werkt op kamertemperatuur en zorgt voor een verwijdering van de aanwezige ozon en zorgt voor een verdere oxidatie van de te verwijderen componenten.

Ionisatie van lucht (zijstroominjectie, actieve zuurstofinjectie)

Bij te hoge temperaturen, te hoge stofconcentraties of corrosieve gassen in het afgas wordt schone lucht geïoniseerd (20-30 kV), die vervolgens in het afgas wordt ingespoten. Omdat het afgas wordt 'verdund' is, kan in sommige gevallen de werking minder efficiënt zijn bij dan rechtstreekse ionisatie. Zo zal er wel een modificering van de geurmoleculen optreden door gedeeltelijke oxidatie maar nauwelijks verwijdering van de organische vracht (VOS). De hoeveelheid ingespoten geïoniseerde lucht bedraagt gebruikelijk 5 – 15 % van de afgasstroom.

Koude oxidatie: ionisator

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

Koude oxidatie is een systeem dat eenvoudig te installeren en onderhouden is. Als de gasstroom niet stofvrij is, dan moet periodieke reiniging worden ingebouwd, bijvoorbeeld door te spoelen met water.

(monitoring)

Monitoring van de spanning is noodzakelijk, eventueel kunnen de in- en uitgaande concentraties VOS worden gemeten.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Compacte installatie
- Nagenoeg geen opstarttijd
- Werkzaam bij lage temperatuur
- Ongevoelig voor varianties in het gasdebiet en VOS-concentratie

4.2 Nadelen

- Bij toepassing op VOS-stromen met grote moleculen zullen deze moleculen reageren tot kleinere VOS-moleculen, maar de VOS-vracht als totaal wordt nauwelijks lager
- Ongeschikt voor gasstromen met hoge concentraties VOS
- Restconcentratie ozon mogelijk

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Niet van toepassing.

Chemicaliën:

Niet van toepassing.

Energieverbruik:

Elektriciteit voor ionisatie.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Niet van toepassing.

Lucht:

Restemissie van ozon is mogelijk (zonder katalysator). In industriële toepassingen blijft de ozonemissie onder 1 – 3 ppm.

Afvalwater:

Eventueel spoelwater om de ionisator schoon te maken in het geval van directe ionisatie van het afgas.

Koude oxidatie: ionisator

Afval:

Bij aanwezigheid van stof kan een vaste afvalstof worden gevormd. Een eventuele katalysator zal periodiek moeten worden vervangen en is ook afval.

Veiligheid:

Beveiliging tegen de hoge elektrische spanningen.

5. Financiële aspecten

Toelichting bij de kostencijfers:

De genoemde kosten zijn gebaseerd op VITO LUSS: Ionisatie en op leveranciersinformatie.

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

3.000 – 10.000

Jaarlijkse operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

500 – 2.000

Personeel [uur/week]

1 – 2 dagen per jaar

Materiaal:

Geen verbruik van materiaal.

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,3 – 3 (ionisator)

Baten:

Geen

Kostenbepalende parameters:

Afgasdebiet en geurconcentratie

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
3. VITO LUSS: Ionisatie
4. Leverancier: Aerox

4.15 Stofwassing: stofwasser

Variant: stofwasser, venturiwasser, sproeitorsen

Stofwassing: stofwasser

Varianten en synoniemen

Stofwasser, *natte ontstoffer*, *wet dust scrubber*

Venturiwasser, *venturiscrubber*, *wervelwasser*, *Lamel-Dust-Scrubber*

Sproeitorsen, *rotatiewasser*, *dynamische wasser*

Verwijderde stoffen

Vooraf: druppels, stofdeeltjes

In mindere mate: ammoniak, geur, H₂S, HCl en HF, SO₂, VOS

1. Beknopte beschrijving

1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe berust op scheiding door verschil in massa van vaste deeltjes ten opzichte van de gassen in een afgasstroom.

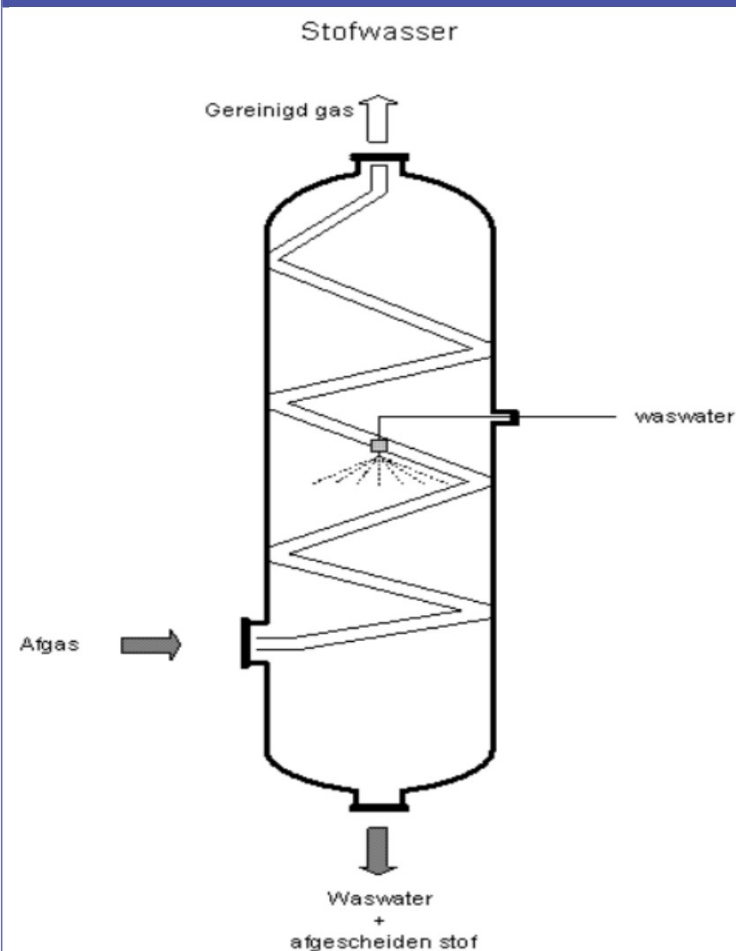
Bij natte ontstopping wordt het stof afgescheiden door intensieve menging van de afgassen met water, meestal in combinatie met afscheiding van de grofste deeltjes door centrifugale kracht. Het gas wordt daarvoor tangentiaal (invoer schuin vanaf de zijkant van de wasser) in de stofwasser gevoerd. De afgevangen vaste stof wordt opgevangen in het onderste deel van de stofwasser.

Niettegenstaande dat het hoofddoel de afvangst van stof is, zullen evenals bij een gaswasser ook stoffen oplossen in het waswater: anorganische stoffen zoals SO₂ en NH₃ en VOS, zware metalen die zich op het stof kunnen bevinden of andere wateroplosbare gassen in het afgas.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.

Stofwassing: stofwasser



2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

De techniek wordt met name toegepast om kleine stofdeeltjes (PM10) te verwijderen uit afgasstromen terwijl ook anorganische gassen zoals NH_3 en SO_2 worden verwijderd.

(ZZS)

Stofwassing is minder geschikt voor afvangen van ZZS-houdende stromen omdat de te bereiken emissieconcentratie doorgaans te hoog zal zijn om te voldoen aan de emissiegrenswaarden voor ZZS.

2.2 Combinatie van technieken

Stofwassers kunnen gecombineerd worden met andere technieken, waarbij rekening gehouden moet worden met het feit dat de afgassen na een natte stofwasser verzadigd zijn met vocht. Ook

Stofwassing: stofwasser

zal de temperatuur van de afgassen na de stofwasser sterk zijn gedaald, dat kan een voordeel of nadeel zijn afhankelijk van de toepassing.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De restconcentratie wordt bepaald door de deeltjesgrootte, mate van verneveling in de wasser en drukval. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie, bedrijfscondities en af te vangen stof. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden.

Stofwasser		
Stof	Verwijderings-efficiëntie [%]	Restemissie [mg/Nm ³]
Stof	70 – 99	P10: 0,2 P50: 0,9 P90: 8,0

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

Stofwasser: 1.800 – 170.000 Nm³/uur
Venturiwasser: 720 – 100.000 Nm³/uur
Sproeitoren: 2.500 – 170.000 Nm³/uur

Temperatuur [°C]:

<370

Druk [bar]:

atmosferisch

Drukval [mbar]:

20 – 50 (stofwasser, sproeitoren)
20 – 250 (venturiwasser)

Vochtgehalte [%]

Geen beperkingen.

Verblijftijd:

Enkele seconden

Stof:

<11 gram/m³ (stofwasser)

Stofwassing: stofwasser

Geen beperkingen (sproeitorsen)

<115 gram/m³ (venturiwasser)

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Stofwasser

De basisuitvoering van een stofwasser is gelijkend aan een gaswasser, maar nu specifiek gericht op het uitwassen van stofdeeltjes. Het stof wordt afgescheiden door intensieve menging met water, maar ook door sterke centrifugale krachten. De constructie van een stofwasser is gericht op het optimaliseren van een of beide van deze factoren.

Venturiwasser

Een venturiwasser bestaat uit een convergerende hals (het nauwste deel van de venturibuis), een divergerende expansiekamer met daarna een druppelafscheider. Het stof/gasmengsel stroomt door de venturibuis en bereikt in de hals de hoogste snelheid. Daarna komt het mengsel in de expansiekamer waarin de gassnelheid weer vermindert. De vloeistof wordt in of voor de hals aan de gasstroom toegevoegd. In de hals van de venturibuis vindt dan een intensieve menging plaats tussen gas en vloeistof. Door de hoge snelheid van gas en vloeistof valt het water in fijne waterdruppels uiteen waardoor intensief contact tussen gasfase en vloeistoffase wordt gerealiseerd. Om deze fijne druppelverdeling te bereiken is relatief veel energie nodig.

Venturiwassers kunnen worden toegepast voor het verwijderen van kleine deeltjes (< 1 µm) uit een gasstroom, al wordt in het algemeen het rendement wel snel kleiner naarmate de deeltjes kleiner worden. Ze kunnen echter ook voor grotere deeltjes worden gebruikt, hoewel het energieverbruik dan relatief hoog is ten opzichte van concurrerende technieken.

Venturiwasser met lamellen

Bij een venturiwasser met lamellen zijn in de overgang van de vernauwing (venturi) naar de expansiekamer zijn zogenaamde lamellen gemonteerd welke van beide zijde met sproeiers worden verneveld. De sproeiers variëren in diameter zodat er kleinere en grotere druppels worden uitgestoten waarbij dus kleine en grove stofdeeltjes worden afgevangen en opgenomen in het spoelwater. De expansiekamer heeft een specifieke bolle vorm welke ook wordt besproeid. De bolle vorm is dusdanig ontworpen dat de werveling van de luchtstroom, uit de venturi, tegen deze bolle vorm botst en op de oppervlakte van het waterbassin dat eronder is gesitueerd. Door specifiek op deze bolle vorm te sproeien met diverse sproeiers wordt een extra nabehandeling van de stof afvang gerealiseerd. Dit type wasser heeft een bredere vernauwing, en daarmee een lagere drukval en laag energieverbruik in vergelijking met de gebruikelijke venturiwassers.

Sproeitorsen

De wasvloeistof wordt door middel van een sneldraaiende verstuiverschijf of roterende sproeiers respectievelijk in kleine druppels uiteengeslagen of verdeeld, waardoor een groot contactoppervlak tussen druppels en gas ontstaat. Er zijn ook uitvoeringen van sproeitorsen

Stofwassing: stofwasser

zonder draaiend schoepenwiel. Het gas wordt tangenciaal (schuin aan de zijkant) in de ontstoffingskamer geleid. Door centrifugale krachten en de roterende verstuiving worden stofdeeltjes naar de wand van de wasser gesleurd, waardoor een hoog afscheidingsrendement haalbaar is. Het afgescheiden stof moet worden ontwaterd en afgevoerd.

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

Stofwassers zijn relatief compacte installaties, voor venturiwassers kan een vloeistof/ gas verhouding van 0,5 – 5 m³ per 1.000 m³/uur worden verwacht. De druppelvanger kan wel enkele malen groter zijn dan de overige onderdelen van de stofwasser. Dit geldt in mindere mate voor venturiwassers met lamellen. Onderhoudskosten voor een stofwasser kunnen hoog zijn als het een sproeitoren betreft vanwege de vele bewegende delen, terwijl een venturiwasser juist nauwelijks onderhoud vereist. Bij de constructie worden bij voorkeur erosie- en corrosiebestendige materialen gebruikt. Vervuiling van de druppelvanger moet regelmatig worden gecontroleerd. In principe is er weinig onderhoud nodig voor de venturiwasser met als voorwaarde dat de opgevangen stof direct, of relatief snel uit het spoelwater wordt verwijderd bij hergebruik van het spoelwater.

(monitoring)

Reguliere monitoring is noodzakelijk in de vorm van het meten van in- en uitgaande stofconcentratie, de drukval over de wasser, de vloeistof/gas-verhouding, afvalwaterproductie en de pH van het spoelwater. Daarnaast is regelmatige inspectie nodig van de installatie zodat corrosie vroeg wordt ontdekt en hersteld kan worden.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Geschikt voor gasstromen met ontvlambare en/of explosieve componenten
- Gelijktijdige afvang van stof en anorganische gassen
- Relatief klein ruimtebeslag

4.2 Nadelen

- Waterverbruik en productie van afvalwater.
- Geluidshinder mogelijk

4.3 Hulpstoffen en energie

Waterverbruik:

500 – 5.000 [liter/1.000 Nm³]

Chemicaliën:

Eventueel toegevoegde chemicaliën om corrosieve stoffen te neutraliseren of om de efficiëntie te verhogen.

Stofwassing: stofwasser

Energieverbruik:

Elektriciteit voor pomp en ventilator.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Mogelijk, maar wordt bemoeilijkt doordat het stof zich in een natte, potentieel met anorganische gasen verontreinigde slurry bevindt.

Lucht:

Een zichtbare rookpluim is mogelijk doordat de afgasstroom verzadigd is met vocht.

Afvalwater:

Productie van afvalwater

Afval:

Slurry

Veiligheid:

Geen bijzondere vereisten, behalve beveiliging tegen bevroering.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

2.000 – 10.000: stofwasser

5.000 – 15.000: venturiwasser

8.000 – 30.000: sproeitors

Jaarlijkse operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

150 – 2.000: stofwasser

500 – 2.000: venturiwasser

300 – 2.000: sproeitors

Personeel [uur/week]:

2 – 14 dagen per jaar

Materiaal:

Geen verbruik van materiaal.

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

0,4 – 2,7 (sproeitors)

0,5 – 7 (venturiwasser)

Stofwassing: stofwasser

Baten:

Geen indien het afvalwater niet nuttig kan worden hergebruikt.

Kostenbepalende parameters:

Schaalgrootte (debiet), samenstelling van het afgas en eventuele aanwezigheid van corrosieve stoffen.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtemissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS: stofwassing algemeen
5. Leverancier: CleanAllAir Industriële luchtwassers, Mesys Industrial Air Systems

4.16 Thermische oxidatie

Thermische oxidatie

Varianten en synoniemen

Naverbrander, *incinerator*, *thermische oxidator*, *recuperatieve thermische oxidatie*, *regeneratieve thermische oxidatie (RTO)*

Katalytische naverbrander, *katalytische oxidator*, *catox*, *thermocat*, *recuperatieve katalytische oxidatie*, *regeneratieve katalytische oxidatie*

Verwijderde stoffen

Vooraf: brandbare stofdeeltjes en druppels, geur, VOS,

Mindere mate: ammoniak,

1. Beknopte beschrijving

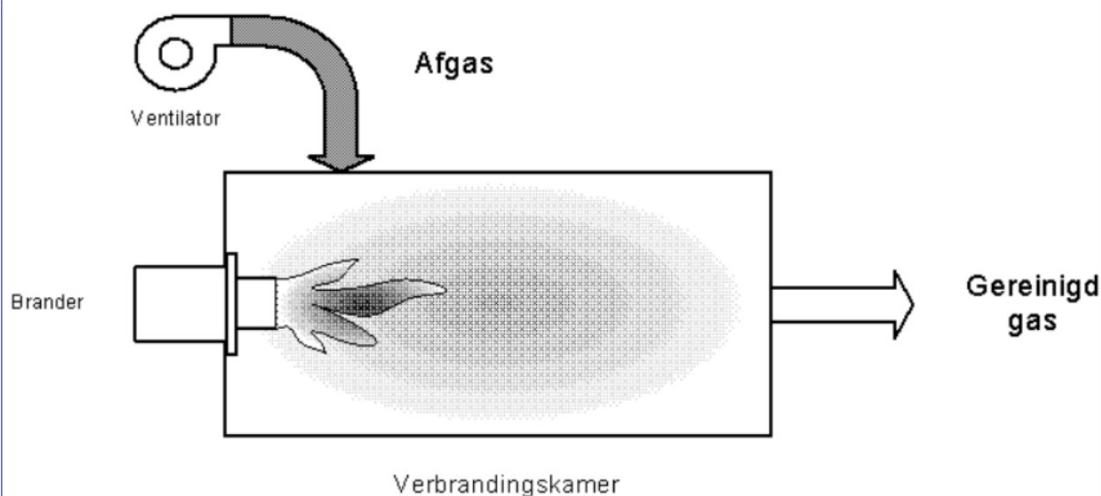
1.1 Beschrijving

Het werkingsprincipe berust op volledige oxidatie van alle brandbare stoffen in het afgas met zuurstof in de lucht.

Thermische naverbranding is een behandelingstechniek waarbij een afgasstroom die brandbare stoffen bevat wordt gemengd met lucht, eventueel zuurstof, tot boven het zelfontbrandingspunt in een verbrandingskamer. De gassen worden voor 2 – 3 seconden op hoge temperatuur gehouden, ordegrrootte 750 – 1.200°C, waardoor de brandbare stoffen met zuurstof oxideren tot stoffen als CO₂, H₂O, NO_x, SO_x. Als het afgas te weinig VOS bevat om het verbrandingsproces zelf op gang te houden, is steunbrandstof nodig. Afhankelijk van de samenstelling van de afgasstroom kan het nodig zijn om de afgasstroom verder te reinigen van onbrandbare stoffen zoals zware metalen, halogenen en de verbrandingsproducten NO_x en SO_x.

1.2 Principeschema

Hierna volgt het principeschema.



Thermische oxidatie

2. Toepasbaarheid

2.1 Toepassingsgebied

(algemeen)

Deze techniek wordt breed toegepast voor verwijdering van geur of vluchtige koolwaterstoffen bij nagenoeg alle typen sectoren. Thermische naverbranding is vanwege het mogelijk hoge brandstofverbruik vooral geschikt voor toepassingen met een gemiddelde tot hoge concentratie VOS in het afgas. De efficiëntie van de techniek is het hoogst bij een stabiele gasstroom die weinig fluctuaties kent in debiet en VOS-concentratie.

(ZZS)

Thermische naverbranding is geschikt voor het verwijderen van ZZS uit een afgasstroom, voor zover het stoffen betreft die brandbaar zijn binnen het temperatuurbereik van de installatie. Een emissie van nagenoeg nul is dan te behalen mits de procesparameters optimaal zijn afgesteld. Indien het afgas chloriden bevat kunnen bij ongunstige omstandigheden in of na de thermische naverbrander dioxines (ZZS) worden gevormd.

2.2 Combinatie van technieken

Naverbranders kunnen deel uitmaken van een uitgebreide combinatie van technieken. Meestal wordt de naverbrander als eerste techniek in de keten toegepast, omdat de afgassen dan vaak nog warm zijn na het productieproces. De opvolgende technieken worden dan in volgorde van temperatuurbereik ingezet. Zo wordt de behoefte aan steunbrandstof tot een minimum beperkt. Indien sprake is van een afgas met veel stof of druppels zal een stofafscheider en/of demister nodig als voorbehandelingsstap.

2.3 Prestaties

De prestaties zijn in de volgende tabel aangegeven. De restconcentratie wordt bepaald door de verzadigde dampconcentratie bij de werkingstemperatuur en -druk. De gepresenteerde waarden zijn afhankelijk van de specifieke configuratie, bedrijfscondities en af te vangen stof. De waarden zijn in principe gebaseerd op halfuurgemiddelde waarden. N.v.t. staat voor 'niet van toepassing' en is gebruikt voor geur. Voor geur zijn geen emissiegrenswaarden vastgesteld omdat de aanvaardbaarheid getoetst wordt aan de hand van de immissie (geurbelasting) bij gevoelige receptoren. De opgave voor stof (PM10) heeft betrekking op brandbaar stof.

Thermische oxidatie

Stof	Verwijderingsefficiëntie [%]	Restemissie [mg/Nm ³]
VOS	98 – >99,9	<1
PM10	25 – 99,9	<1
Geur	98 – >99,9	nvt

2.4 Randvoorwaarden

Debiet [Nm³/uur]:

Thermische naverbranding:

P10: 1.000 – 1.500 (recuperatief) – 4.000 (RTO)

P50: 5.000 – 12.000 (recuperatief) – 21.000 (RTO)

P90: 21.000 – 75.000 (recuperatief) – 70.000 (RTO)

Katalytische naverbranding:

P10: 1.000

P50: 6.000

P90: 80.000

Temperatuur [°C]:

Ingangstemperatuur zo hoog mogelijk.

Druk [bar]:

Atmosferisch

Drukval [mbar]:

10 – 50

Vochtgehalte [%]

Liefst droog, maar geen technische beperkingen.

Verblijftijd:

Standaard minimaal 2 seconden, maar minimaal 3 seconden bij verbranding van gehalogeneerde VOS.

Stof:

< 3 mg/Nm³

Thermische oxidatie

Ingaande concentratie:

<25 % van de onderste explosiegrens (LEL) voor met name RTO's in verband met veiligheid

3. Uitgebreide beschrijving

3.1 Varianten

Thermische naverbrander

De eenvoudigste variant van het principe is een naverbrander die bestaat uit een verbrandingskamer zonder verdere terugwinning van warmte. Als de verbrandingskamer niet gesloten is maar open aan de buitenlucht, dan spreekt men van een fakkel.

Katalytische naverbrander

Een katalytische naverbrander werkt op een gelijkaardige manier als een thermische naverbranding, met dit verschil dat het gas, nadat het door de vlam is gepasseerd, nog eens door een katalysator gaat. Deze katalysator zorgt voor een versnelde oxidatie bij lagere temperaturen. De naverbranding kan hierdoor bij lagere temperaturen plaatvinden. Het gas wordt voor de katalysator tot ongeveer 300 - 500 °C opgewarmd. De maximale gastemperatuur na de katalysator is ca. 500 - 700 °C. Nieuwe lage temperatuurkatalysatoren kunnen reeds bij 200 - 250 °C werken. Toepassing van een katalysator verlaagt ook de emissies van CO en voorkomt NO_x met ~70 – 80%, maar is duurder en maakt het systeem gevoeliger voor verontreinigingen in de afgassen. Door de lagere werkingstemperatuur is de vereiste hoeveelheid steunbrandstof ook lager. Vanaf ordegrootte 10 – 14 g/m³ VOS is geen steunbrandstof meer vereist.

De gebruikte katalysatoren zijn veelal edele metalen (platina, palladium, rhodium,...) op een keramische of metallische drager, basismetalen op een keramische drager of metaaloxides. Voor gechloreerde verbindingen worden katalysatoren zoals chroom/aluminium, kobaltoxide en koperoxide/mangaanoxide gebruikt. Platina gebaseerde katalysatoren zijn geschikt voor zwavelhoudende componenten maar worden snel gedeactiveerd in aanwezigheid van chloor.

De aanwezigheid van katalysatorvergiften of afzetting op de katalysator kunnen de levensduur van een katalysator sterk verminderen. Daarnaast kan er ook erosie optreden door de schurende werking van stofdeeltjes. Bij afzetting van bijvoorbeeld vetten en oliën op het katalysatoroppervlak kan de katalysator weer geactiveerd worden door de temperatuur te verhogen. De meeste katalysatorvergiften inactiveren de katalysator blijvend, bijvoorbeeld fosfor, bismut, arseen, antimoon, lood en kwik (snel werkend) en ijzer, tin en silicium (langzaam werkend). Bij zwavel, halogenen, zink is vaak mogelijk om de katalysator weer te activeren.

Regeneratieve thermische naverbrander

Een regeneratieve naverbrander gebruikt twee of meer keramische bedden. Drie bedden is het meest gebruikelijk. Het principe is dat de warmte van het gereinigde afgas wordt opgeslagen in het bed en nadien wordt afgegeven aan het te behandelen afgas. Het thermisch rendement kan oplopen tot 97%. In de verbrandingsruimte wordt het gas (indien noodzakelijk) verder verhit, zodat thermische oxidatie optreedt.

Thermische oxidatie

Het hete gas dat de verbrandingsruimte verlaat, verwarmt het tweede keramische bed. Het afgekoelde gas kan hierna worden afgevoerd. Als het tweede bed voldoende is verhit, wordt de gasstroom omgekeerd, waardoor het tweede bed zorgt voor de opwarming van het te behandelen afgas en het eerste voor de afkoeling van het gereinigde afgas. Bij het omschakelen kan een piekmissie optreden. De keramische bedden kunnen uitgebreid worden met een katalysator om zo de efficiëntie van de techniek verder te verhogen.

De techniek kent een maximale inlaatconcentratie (25 % LEL, ordegrrootte 10 g VOS/m³), en is door de hoge thermische efficiëntie vaak al autotherm bij 2-3 g VOS/m³. Doordat er weinig verbrandingslucht nodig is, werkt een RTO zeer efficiënt. Een RTO kan vrij zijn van NO_x emissies als er niet wordt bijverwarmd met een vlam, maar enkel gebruik wordt gemaakt van de warmte die al in de rookgassen aanwezig is. Een opkomende variant van de techniek is de elektrisch verwarmd versie.

Recuperatieve thermische naverbrander

De recuperatieve naverbrander is nagenoeg identiek aan de thermische naverbrander, maar nu uitgebreid met een warmtewisselaar. Met behulp van de warmtewisselaar wordt de te reinigen lucht voorverwarmd door de verbrandingsgassen waardoor tot 80% van de vrijkomende warmte kan worden benut. De naverbrander kan verder worden uitgebreid met een katalysator in de verbrandingskamer.

Oxicator

Deze techniek is gebaseerd op katalytische oxidatie van VOS waarbij de katalysator wordt verhit door middel van magnetrongolven. Door gebruik te maken van magnetrongolven gebruikt het systeem weinig extra energie. Typisch energieverbruik is circa 20 W/m³. Door de relatief hoge kosten van het speciaal ontwikkelde katalysator is deze technologie voornamelijk inzetbaar bij kleinere gasvolumes (< 1.000 m³/uur). Voordelen van het systeem zijn de energie-efficiëntie en de hoge reinigingsefficiëntie (> 99% en restemissies < 1 mg/m³). Het systeem kan met één of twee magnetrons worden ingericht, afhankelijk van de ingangconcentratie. Bij voldoende hoge concentratie VOS houdt de oxidatiereactie zichzelf in stand en hoeft geen extra energie te worden toegevoegd.

Verbranding in een stookinstallatie

Afgassen met brandbare stoffen zoals VOS kunnen gemengd worden met een regulier stookgas zoals aardgas of propaan om de benodigde stookwaarde te bereiken. Het gemengde gas kan dan als brandstof voor een stookinstallatie worden gebruikt, bijvoorbeeld een ketelinstallatie, een gasmotor of zelfs een gasturbine. Bij lage concentraties aan brandbare stoffen en met voldoende zuurstof kan het afgas als verbrandingslucht worden gebruikt. Stookinstallaties zijn niet primair als emissiebeperkende techniek bedoeld en vallen daarom buiten het bestek van de 'factsheets emissiebeperkende technieken' en zijn niet verder beschouwd.

Thermische oxidatie

3.2 Installatie, ontwerp en onderhoud

De belangrijkste ontwerpparameters zijn:

- **Temperatuur:** deze moet hoog genoeg zijn om een volledige verbranding van de VOS te garanderen
- **Tijd:** lang genoeg om een volledige verbranding van de VOS te garanderen. Minimaal 2 seconden, vaak langer als de temperatuur lager is
- **Turbulentie:** de gasstroom moet in de verbrandingskamer zo goed mogelijk mengen met zuurstof, zodat de oxidatiereactie optimaal kan verlopen

(monitoring)

Monitoring is continu nodig om snel te signaleren als de verbranding niet optimaal verloopt.

Parameter die minimaal gemonitord moeten worden, omvatten:

- **Temperatuur** in de verbrandingskamer
- **Concentratie VOS** voor en na de naverbrander (bijvoorbeeld met een vlam-ionisatiedetector – FID)
- **Concentratie CO** in het afgas, om onvolledige verbranding te signaleren
- **Drukval**

Branders moeten regelmatig worden geïnspecteerd, en als het nodig is worden gereinigd ten gunste van de goede werking en efficiency. Als overmatige afzetting plaatsvindt, moeten er preventieve maatregelen worden getroffen door bijvoorbeeld het afgas te reinigen voor het de brander ingaat.

4. Milieuaspecten

4.1 Voordelen

De belangrijkste voordelen zijn:

- Goede, constante prestaties
- Eenvoudig werkingsprincipe, betrouwbare techniek
- Mogelijkheid tot benutten van de energie-inhoud van het afgas

4.2 Nadelen

- Uitstoot van koolstofdioxide, koolstofmonoxide en stikstofoxiden
- Kans op dioxines als gehalogeneerde stoffen worden verbrand
- Hoog energieverbruik als de afgassen niet genoeg VOS bevatten
- Weinig geschikt voor gasstromen met fluctuerend debiet en/of VOS-concentratie, met name voor RTO en recuperatieve naverbranders
- Katalysators zijn gevoelig voor stof en vergiftiging

4.3 Hulpstoffen en energie

Water:

Niet van toepassing.

Thermische oxidatie

Chemicaliën:

Geen hulpstoffen voor het proces maar de katalysator (indien toegepast) moet periodiek worden vervangen of geregenereerd.

Energieverbruik:

Brandstof, eventueel elektriciteit, voor het op temperatuur houden van de oxidatiereactie (aanvullend op de warmte die door het verbranden van het afgas ontstaat). De minimale concentratie VOS om de reactie zelfstandig gaande te houden is 1 – 10 gram/m³ (lager in het geval van katalytische oxidatie).

Een naverbrander kan energie-efficiënt zijn als de warmte met behulp van warmtewisselaars (her)gebruikt kan worden in een productieproces, of als een ketel wordt verwarmd met de vlam. Andersom kan een naverbrander ook een hoog energieverbruik geven als de afgasstroom weinig VOS bevat.

4.4 Milieuafwegingen

Terugwinning:

Niet van toepassing.

Lucht:

Thermische naverbranders gaan gepaard met emissies van koolmonoxide, stikstofoxiden en mogelijk dioxines indien het afgas chloriden of organisch gebonden chloor bevat.

De te verwachten NO_x-concentraties zijn [mg/Nm³]:

P10: 7

P50: 51

P90: 160

De te verwachten CO-concentratie bij een VOS-concentratie van 5 mg/Nm³ als eindconcentratie [mg/Nm³]:

P10: 0,8

P50: 4

P90: 30

Afvalwater:

Geen

Afval:

Geen, tenzij een katalysator wordt ingezet. Die moet periodiek vervangen worden en is afval.

Thermische oxidatie

Veiligheid:

Veiligheidsmaatregelen omvatten: bescherming tegen vlamterugslag; schoonhouden van de branders; afsluiten van de gastoevoer bij defect van de brander; begrenzing van de maximale temperatuur.

5. Financiële aspecten

Investerings [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

- 10.000 – 40.000 voor standaard thermische naverbranding
- 30.000 – 100.000 voor regeneratieve thermische naverbranding
- 30.000 – 100.000 voor recuperatieve thermische naverbranding

Jaarlijkse operationele kosten [EUR per 1.000 Nm³/uur]:

- 2.500 – 30.000 voor standaard thermische naverbranding
- 2.500 – 12.000 voor regeneratieve thermische naverbranding
- 2.500 – 12.000 voor recuperatieve thermische naverbranding

Personeel [uur/week]:

2 – 5 dagen per jaar

Materiaal:

De katalysator (indien toegepast) moet periodiek worden vervangen of geregenereerd. Het oxidatiebed van een RTO is gevoelig voor vervuiling en moet meestal periodiek worden vervangen.

Energieverbruik [kWh/1.000 Nm³]:

- 3 – 8 (thermische naverbrander)
- 1,5 – 2,25 (regeneratieve thermische naverbrander)

Baten:

Mogelijk, als de warmte kan worden teruggewonnen en praktisch ingezet.

Kostenbepalende parameters:

Afgasdebiet, warmte-inhoud van het afgas, VOS-concentratie in het afgas, verbrandingstemperatuur, type katalysator, mogelijkheid voor warmteterugwinning.

6. Informatiebron

1. Handreiking luchtmissiebeperkende technieken; DHV, 15 april 2009
2. BREF Waste Gas Management and Treatment Systems in the Chemical Sector; first draft, 2019
3. BREF Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector, 2016
4. VITO LUSS: katalytische/thermische oxidatie (recuperatieve/regeneratieve)
5. Leverancier: Kranz Clean Air Solutions

5 Aanverwante onderwerpen

5.1 Diffuse emissies

Het milieubeleid voor diffuse bronnen is vooral gericht op maatregelen die emissies voorkomen. Dit in tegenstelling tot nageschakelde emissiebeperkende technieken die emissies behandelen. Hierna volgt een verwijzing naar documenten die maatregelen voor diffuse emissies beschrijven.

5.1.1 VOS

Naast de BREF-documenten bieden de volgende referenties een beschrijving van maatregelen voor diffuse VOS-bronnen, of informatie die kan helpen bij het kiezen van geschikte maatregelen.

- Branchedocument vergunningverlening Wabo vloeibare bulk - VOS maatregelen; Samenwerkende BRZO Omgevingsdiensten; versie 2.1 van 11 mei 2020
- Kennis Inventarisatie Document 'Vloeibare Bulk Op- en Overslag in Tanks', Interprovinciaal Overleg, IPO-publicatienummer 278, maart 2009
- Diffuse emissies en emissies bij op- en overslag, Handboek emissiefactoren, MilieuMonitor nummer 14, maart 2004. milieumonitor 14
- European Sealing Association: sealing-technology-bat-guidance-note

5.1.2 Stof

De volgende referenties bieden een beschrijving van de maatregelen voor diffuse bronnen van stofvormige deeltjes.

- Kenniscentrum RWS leefomgeving: [Factsheets op- en overslag en bewerken - Kenniscentrum RWS leefomgeving](#) gebaseerd op de VROM publicatie 'Onderzoek maatregelen fijn stof, op- en overslag; TAUW; 1 oktober 2010
- VITO: [Stoffiches](#), gebaseerd op VITO-publicatie 'Gids reductietechnieken voor diffuse stofemissies bij op- en overslag van droge bulkgoederen; van december 2012'

5.2 Kosteneffectiviteit

Kosteneffectiviteit is een belangrijk begrip gerelateerd aan beste beschikbare technieken (BBT). Kosteneffectiviteit geeft de kosten van de emissiebeperkende maatregel aan ten opzichte van de emissie die vermeden wordt door die maatregel (uitgedrukt in euro per kilogram). De methode om de kosteneffectiviteit te berekenen is vastgelegd in het Bal. Op de website van het Kenniscentrum RWS leefomgeving is een [pagina over kosteneffectiviteit](#) opgenomen.

De algemene parameters die genoemd worden in de factsheets kunnen toegepast worden in een berekening van kosteneffectiviteit. Bijvoorbeeld als in een specifieke situatie niet alle parameters bekend zijn, dan kan voor de ontbrekende getallen een schatting worden gemaakt op basis van informatie uit de betreffende factsheet. Daarbij dient rekening gehouden te worden met het feit dat de factsheets algemene data geven over een techniek, die niet op alle praktijksituaties van toepassing hoeft te zijn. Kostencijfers zijn in de regel sterk situatiespecifiek, waardoor het gebruik van algemene kentallen daarvoor kwetsbaar is. Een kosteneffectiviteitsberekening op basis van cijfers uit de factsheets kan daardoor enkel als indicatief gezien worden

Bijlage 1 Leveranciers die aan de actualisatie hebben meegewerkt

Techniek	Cleanallair industriële luchtwassers	Desotec	Azzuro	Thiopaq	Yara Nederland	JOA Air Solutions	SMC Corporation	Winging Italia	Aerox	Kranz Clean Air Solutions	Mesys Industrial air systems	Clean All Air
Absorptie: gaswasser	X											
Adsorptiefilter		X										
Biologische filters			X	X								
Chemische reductie: SCR en SNCR					X	X						
Filtratie: stoffilter							X					
Filtratie: mistfilter								X				
Gravitatie: cycloon									X			X
Koude oxidatie: ionisatie										X		
Stofwasser	X											X
Thermische oxidatie											X	

Toelichting grondslagen

In dit document kunt u secties vinden die onleesbaar zijn gemaakt. Deze informatie is achterwege gelaten op basis van de Wet open overheid (Woo). De letter die hierbij is vermeld correspondeert met de bijbehorende grondslag in onderstaand overzicht.

J Art. 5.1 lid 2 sub e

Het belang van de openbaarmaking van deze informatie weegt niet op tegen het belang van de eerbiediging van de persoonlijke levenssfeer van betrokkenen