



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 98 37

TNO-rapport

2006-A-R0290/B

**Deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd
fijn stof bij industriële bronnen**

Datum	oktober 2006
Auteur(s)	Ir. H.J.G. Kok
Projectnummer	006.36790
Trefwoorden	deeltjesgrootte fijn stof industriële bronnen stofverwijdering
Bestemd voor	SenterNovem Postbus 93144 2509 AC Den Haag

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Inleiding

Ten behoeve van het verbeteren van de luchtkwaliteit voor PM_{10} en $PM_{2,5}$ is het van belang inzicht te krijgen in de mogelijkheden om de deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd stof door de juiste keuze van een emissiebeperkende techniek in een gunstige richting te beïnvloeden. InfoMil heeft TNO opdracht gegeven om een bureau-studie uit te voeren naar de invloed van verschillende emissiebeperkende technieken op de deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd stof voor de belangrijkste industriële stofbronnen (en relevante bronnen in de intensieve veehouderij).

De bureaustudie heeft bestaan uit drie onderdelen:

- inventarisatie van de het verwijderingsrendement van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken als functie van de deeltjesgrootte van het aangeboden stof;
- inventarisatie van de belangrijkste industriële bronnen van fijn stof (PM_{10}) met de deeltjesgrootteverdeling;
- inschatting van de deeltjesgrootteverdeling na toepassing van aanvullende emissiebeperkende technieken in de nabije toekomst bij de belangrijkste industriële bronnen van fijn stof.

Deeltjesgrootteverdeling van nageschakelde stofverwijderingstechnieken

Het verwijderingsrendement van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken als functie van de deeltjesgrootte van het aangeboden stof is geïnventariseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare meetgegevens en gegevens uit de gangbare literatuur. De inventarisatie heeft betrekking gehad op de volgende gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken: multicyclonen, doekfilters, elektrostatische filters, lage energie en hoge energie natte stofvangers. Ook een relatief nieuwe deeltjesafscheider ‘de Roterende Deeltjes Scheider ofwel RDS filter’ die in principe geschikt is voor het afvangen van fijn stof is bij het onderzoek betrokken.

Er zijn in de praktijk diverse uitvoeringsvormen van deze technieken met verschillende rendementen voor deeltjes met een bepaalde deeltjesgrootte. Ten behoeve van deze studie is wat betreft de deeltjesgrootte verdeling van PM_{10} onderscheid gemaakt tussen 4 deeltjesgrootte bereiken: PM_1 (deeltjes met deeltjesgrootte $< 1 \mu m$), $PM_{1-2,5}$ (deeltjes tussen 1 en $2,5 \mu m$), $PM_{2,5-6}$ (deeltjes tussen 2,5 en $6 \mu m$) en PM_{6-10} (deeltjes tussen 6 en $10 \mu m$). In onderstaande tabel is het ‘gemiddelde’ rendement gegeven voor de genoemde nageschakelde technieken.

Techniek	Gemiddeld rendement (%)			
	PM_1	$PM_{1-2,5}$	$PM_{2,5-6}$	PM_{6-10}
Cycloon	5	15	35	50
Multi-cycloon	10	50	75	85
Roterende deeltjesscheider (RDS)	30	70	80	90
Lage energie wasser	10	30	80	90
Hoge energie wasser	70	90	95	99
Elektrofilter (1 veld)	75	60	75	90
Elektrofilter (3 velden)	98	95	99	99
Doekfilter	98	99	99,5	99,5

De opgegeven waarden dienen beschouwd te worden als gemiddelden voor de betreffende groep deeltjesafscidders. Afgezien van doekfilters is het gemiddelde rendement voor een deeltjesfractie in belangrijke mate onafhankelijk van de aangeboden stofconcentratie in het betreffende bereik (dus ook niet afhankelijk van het reeds toepassen van een nageschakelde afscheider). Bij een doekfilter is het type doek, dat toegepast moet worden (onder andere) afhankelijk van de aangeboden stofconcentratie en de deeltjesgrootteverdeling.

Deeltjesgrootteverdeling bij industriële bronnen van fijn stof

Op basis van de gegevens van het bestand Emissieregistratie en andere informatiebronnen zijn de belangrijkste industriële bronnen van fijn stof emissie per sector geïnventariseerd. Sinds enkele jaren zijn bedrijven met een vergunning van de provincie, die per jaar meer PM₁₀ emitteren dan de drempelwaarde, verplicht de PM₁₀-emissies te rapporteren door middel van een elektronisch jaarverslag (eMJV). In 2003 hebben in totaal 32 MJV-bedrijven deze gegevens verstrekt. Uit de gegevens wordt geconcludeerd, dat gemiddeld het aandeel PM₁₀ in het totaal stof bij de grotere bedrijven in de industrie ongeveer 55% is, waarbij dat per sector uiteenloopt van 35% (IJzer en staal) tot bijna 100% (Raffinaderijen en Glasindustrie). Het elektronisch jaarverslag vraagt echter niet naar een onderverdeling van fijn stof in verschillende deeltjesgrootten.

Om toch zicht te krijgen op de deeltjesgrootte verdeling van het stof, dat door de industrie als geheel wordt geëmitteerd is teruggегреpen op onderliggende informatie uit de periode 1995-1998. Deze informatie is gebruikt om per branche de PM₁₀ emissies op te splitsen in procesemissies, diffuse emissies en verbrandingsemissies. Uit de gegevens blijkt, dat de gezamenlijke bijdrage van de diffuse en de verbrandingsemissies aan de totale emissie van de bedrijven bijna groter is dan de (gekanaliseerde) procesemissies. Voor de totale PM_{2,5} emissie is dat ongeveer 35%.

Afgezien van de raffinaderijen zullen de verhoudingen tussen de proces-, de verbrandings- en de diffuse emissies per sector nog wel ongeveer hetzelfde zijn. Geconcludeerd wordt:

- dat het reduceren van de diffuse emissies en de verbrandingsemissies in de sectoren (in volgorde van bijdrage) Raffinaderijen, IJzer en Staal, Bouw, Bouwmaterialen en Metaalbewerking een aanzienlijke reductie van de PM₁₀ en PM_{2,5} emissies tot gevolg zal hebben;
- dat het reduceren van de procesemissies van de sectoren Voeding, Aluminium, IJzer en staal en Chemie door toepassing van aanvullende reinigingstechnieken nog voor een aanzienlijke reductie van de PM₁₀ emissies kunnen zorgen. Met uitzondering van de sector Voeding geldt deze conclusie ook voor de PM_{2,5} emissies.

Verandering deeltjesgrootte verdelingen per type proces door reiniging

In deze studie gaat het vooral om de invloed van de toepassing van gangbare nageschakelde emissiereductietechnieken op de deeltjesgrootte verdeling van het fijne stof. Diffuse emissies zijn over het algemeen moeilijk te kanaliseren in een beperkte afgasstroom en zijn dan ook (nog) niet voorzien van een nageschakelde emissiereductietechniek. In het kader van deze studie worden alleen de verbrandings- en procesemissies beschouwd, omdat die wel gekanaliseerd zijn en relatief gemakkelijk voorzien kunnen worden van (extra of verbeterde) reinigingstechnieken.

Omdat uit de ter beschikking staande gegevens bleek, dat slechts in een beperkt aantal gevallen zowel de deeltjesgrootteverdeling vóór de reiniging als ná de reiniging van de procesafgassen beschikbaar was, is besloten om de gegevens in te delen volgens de categorieën algemene processen (verbranding is in dit verband ook een proces), die ook

door EPA worden gehanteerd. In principe zijn alle stofemitterende industriële activiteiten in één van deze categorieën in te delen. De categorieën zijn:

- cat. 1: Stationaire verbrandingsmotoren met als brandstof gas- of dieselolie;
- cat. 2: Verbranding van gemengde brandstoffen (bv. steenkool, biomassa);
- cat. 3: Mechanisch ontstaan door op- en overslag en processing van ruwe bulkmaterialen;
- cat. 4: Mechanisch ontstaan door op- en overslag en processing van geproduceerde mineralen;
- cat. 5: Calcineren en andere hitte processen bij bulkmaterialen en ruwe ertsen;
- cat. 6: Graan overslag (handling en transport);
- cat. 7: Graan processing (bv. drogen, zeven, malen);
- cat. 8: Smelten en raffineren van metalen en glas (exclusief aluminium);
- cat. 9: Condensatie, absorptie, sproeidrogen en distillatie (bv. poeders, kunstmest, coke ovens);
- cat. 10: Intensieve veehouderij (bv. pluimvee- en varkensstallen).

De intensieve veehouderij (cat. 10) wordt niet door EPA gehanteerd, maar is ten behoeve van deze studie aan het lijstje toegevoegd. Categorie 1 (stationaire verbrandingsmotoren) valt buiten het kader van deze studie.

Uit de beschikbare gegevens per categorie zijn vervolgens gemiddelden berekend voor de fractieverhoudingen PM_{10}/TPM , $PM_{2,5}/PM_{10}$ en PM_1/PM_{10} voor de emissies vóór en na reiniging. Uit het verkregen overzicht worden de volgende globale conclusies getrokken:

- Het aandeel PM_{10} van de totale stofemissie (ofwel PM_{10}/TPM) is na reiniging groter (tot een factor 2) als het aandeel vóór reiniging kleiner is dan ongeveer 80% (procescategorieën 2, 3 en 5);
- De fractie $PM_{2,5}/PM_{10}$ blijft na reiniging voor de meeste categorieën processen ongeveer gelijk en bij ‘verbranding’ (cat. 2) en ‘mechanisch ontstaan’ (cat. 3) neemt die toe (met ca. 50%) ten opzichte van de ongereinigde situatie;
- Voor de fractie PM_1/PM_{10} geldt mogelijk, dat deze voor alle categorieën processen groter is dan in de ongereinigde situatie (dit is een veralgemeniseerde conclusie uit de hogere waarden voor de fractieverhoudingen voor PM_1/PM_{10} ten opzichte van die voor $PM_{2,5}/PM_{10}$ bij de categorieën 2 en 8).

Verandering deeltjesgrootteverdeling door toepassing van een (aanvullende) reductie-techniek

Wordt per gangbare techniek ingezoomd op de verhouding van de deeltjesgrootten vóór en na reiniging, dan blijkt, dat het aandeel $PM_{2,5}$ en het aandeel PM_1 in de PM_{10} emissie bij toepassing van gangbare technieken (BBT) bij procesafgassen over het algemeen groter is dan in de ongereinigde afgassen. Hoe kleiner de fractie vóór (aanvullende) reiniging is hoe sterker dit het geval is. Als gemiddelde waarde voor de verandering van de fractieverhoudingen door toepassing van een BBT techniek kan voor de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ uitgegaan worden van ongeveer 30% relatieve toename en voor PM_1/PM_{10} van ongeveer 60% relatieve toename (waarbij de verhouding natuurlijk niet groter kan worden dan 1). In absolute zin zijn de hoeveelheden natuurlijk door de (aanvullende) reiniging wel afgenomen. De onzekerheden hierbij zijn erg groot.

Bovengenoemde relatieve toename van de fractieverhoudingen bij (aanvullende) reiniging zijn gebruikt om voor de verschillende sectoren de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ te berekenen als de proces- en verbrandingsemissies bij alle sectoren voorzien worden van een (aanvullende) reiniging. In dat geval zal de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ bij alle proces- en verbrandingsemissies komen te liggen tussen 0,6 en 1 (met uitzondering van de sector Voeding).

Als er in alle relevante sectoren (aanvullende) reiniging zou worden toegepast om de PM₁₀ emissies via de proces- en de verbrandingsafgassen te reduceren dan zou de PM_{2,5}/PM₁₀ -verhouding voor de stofemissies voor alle sectoren tezamen bijna gehalveerd worden ten opzichte van de situatie in 1998 (van een verhouding van ca. 0,5 naar 0,25 á 0,3). De verhouding wordt dan voor een groot deel bepaald door de diffuse emissies, die dan niet worden gereduceerd. Door deze maatregelen zou de totale PM₁₀-emissie van de industrie met 60 á 70% worden gereduceerd en de totale PM_{2,5}-emissie met zelfs 80%.

In dit scenario is geen rekening gehouden met de kosteneffectiviteit van de aanvullende reiniging bij de proces- en verbrandingsemissies. Wordt hiermee wel rekening gehouden en zijn de maatregelen vooral gericht op een zo groot mogelijke reductie van de PM_{2,5} emissie, dan kan de PM_{2,5} emissie van de industrie met ongeveer 70% worden gereduceerd (waarbij de PM₁₀ emissie dan ca. 50% wordt gereduceerd) als alle maatregelen met een kosteneffectiviteit minder dan €250,- per kg PM₁₀ reductie worden geïmplementeerd. De totale kosten voor de industrie bedragen dan ongeveer € 400 miljoen per jaar. De sectoren, die dan de hoogste kosten zullen hebben zijn dan achtereenvolgens: Raffinaderijen, Bouwmaterialen, IJzer en staal en Voeding. In een aantal gevallen kosten ook maatregelen om de diffuse PM₁₀- en PM_{2,5}-emissies te reduceren minder dan € 250 per kg reductie. Dit wil echter niet zeggen, dat TNO van mening is dat een maatregel, die bijna € 250 per kg emissiereductie kost ook acceptabel zou moeten zijn voor de industrie.

Invloed van andere reductietechnieken op de stofemissie en de deeltjesgrootte

Afgassen van verbrandingsprocessen bevatten over het algemeen naast het aanwezige stof ook gas- en dampvormige verontreinigingen zoals zware metalen, NO_x, SO₂, dioxinen. Om bij afvalverbranding de gas- of dampvormige verontreinigingen (SO₂, NO_x, zware metalen en dioxinen) efficiënt uit de rookgassen te verwijderen wordt meestal eerst het stof uit de rookgassen verwijderd. Vervolgens wordt er ook nog doorgelaten stof (onbedoeld) verwijderd in achtereenvolgens de natte wasstap voor de verwijdering van zure componenten en de adsorptiestap voor de verwijdering van zware metalen en dioxinen. De restconcentratie na de rookgasreiniging is dermate laag (0,5 tot 3 mg/Nm³), dat het moeilijk is van deze restemissies de deeltjesgrootteverdeling vast te stellen. Op grond van "technisch inzicht" mag verwacht worden, dat de restemissie vrijwel geheel uit PM₁₀ bestaat en zelfs grotendeels uit PM_{2,5}.

Bij verbranding van kolen en biomassa in energiecentrales wordt de stofverwijdering gerealiseerd door elektrofilters en/of doekfilters. Droge rookgasreiniging voor de verwijdering van zure componenten in de rookgassen hebben wat betreft de reststofemissie de voorkeur boven natte rookgasreiniging, omdat daarmee de laagste stofemissie gerealiseerd kan worden, waarbij het geëmitteerde stof vrijwel volledig uit PM_{2,5} bestaat.

Bij de verbranding van zware olie in olieraffinaderijen wordt roet (onverbrande koolwaterstoffen) geëmitteerd, waarvoor meestal geen verwijderingstechniek wordt toegepast. Dit roet behoort tot PM_{2,5} (en grotendeels tot PM₁) en kan een hoeveelheid gebonden zwavel bevatten dat afhangt van het zwavelgehalte van de olie en de afvalgassen. Als roet wordt afgevangen door rookgasreiniging wordt dus tevens gebonden zwavel verwijderd, dat niet meer kan bijdragen aan de verzuring.

Alle conclusies in dit onderzoek zijn getrokken onder de aanname dat de deeltjesgrootteverdeling van fijn stof tussen de diverse typen emissiebronnen en de totale emissies per sector (verdeling en bijdrage) nu nog ongeveer gelijk zijn aan die van de jaren 1995-1998. Recentere informatie waarmee deze verdeling kan worden ingeschat ontbreekt.

Aanbevelingen

De centraal beschikbare informatie over de 'state of the art' van procestechnologie en emissiebestrijding in de Nederlandse industrie is gering. De informatie is alleen nog decentraal (vergunningen) beschikbaar. Daardoor is zijn alleen vrij algemene conclusies mogelijke in een studie als deze. Het verdient aanbeveling om na te gaan of de systematische verzameling van technische informatie over de Nederlandse bedrijven noodzakelijk is om het milieubeleid in de komende jaren vorm te kunnen geven.

Aanbevolen wordt om bij de reductie van de PM_{2,5} (en PM₁₀) emissies in de industrie de aandacht in eerste instantie vooral te richten op mogelijke aanvullende maatregelen bij de sectoren Raffinaderijen, Bouwmaterialen, IJzer en Staal en Voeding. In veel gevallen zijn niet alleen maatregelen om de proces- en verbrandingsemissies te reduceren kosteneffectief, maar ook maatregelen om de diffuse emissies te reduceren. Dit betreft bijvoorbeeld de op- en overslag activiteiten en de emissies uit productiegebouwen. Om vast te stellen welke reductiemaatregelen redelijkerwijs verlangd kunnen worden verdient het aanbeveling om indicatieve referentiewaarden voor de kosteneffectiviteit vast te stellen voor de reductie van de PM₁₀ en/of PM_{2,5} in de industrie.

Voor een verdere beperking van de stofemissies bij op- en overslag activiteiten met bulkmateriaal in de open lucht is niet alleen de toepassing van beschikbare BBT technieken belangrijk maar vooral ook het zorgvuldig werken volgens de voorschriften. De controle hierop (handhaving) vergt een extra inspanning van het bevoegd gezag. De handhaving kan effectiever plaatsvinden als er meer gebruik gemaakt wordt van online monitoring in combinatie met videobeelden om zichtbare stofontwikkeling te signaleren.

Bij productiegebouwen kan dat veelal gerealiseerd worden door de vrijkomende emissies gericht af te zuigen in een afgasstroom, waarvan de hoeveelheid een factor 10 lager is dan die van de gebouwventilatie, en deze afgasstroom vervolgens met een doekfilter te reinigen.

Summary

To improve the air quality for PM₁₀ and especially PM_{2.5} it is important to have an insight into particle size distribution of emitted dust in order to choose additional emission reduction techniques. InfoMil has commissioned TNO to carry out a desk study to determine the influence of different reduction techniques on the particle size distribution of emitted dust by relevant industrial sectors (and relevant sources in the intensive livestock breeding).

The separation efficiency of state-of-the-art add-on techniques for dust control depends on the particle size distribution of the dust to be separated from a waste gas stream. Data from measuring reports and information available in international literature has been used to determine the efficiency of the reduction techniques in the relevant particle size ranges: PM₁ (particles with particle size < 1 µm), PM_{1-2.5} (particles between 1 and 2.5 µm), PM_{2.5-6} (particles between 2.5 and 6 µm) and PM₆₋₁₀ (particles between 6 and 10 µm). The reduction techniques considered are (multi)cyclones, cloth filters, rotational separators, electrostatic precipitators, low energy and high energy wet scrubbers. In the table below 'average' efficiencies are given for these control techniques.

Table Efficiency of dust separation techniques for different fractions of fine dust

Separation technique	Average efficiency (%)			
	PM ₁	PM _{1-2,5}	PM _{2,5-6}	PM ₆₋₁₀
Cyclone	5	15	35	50
Multi-cyclone	10	50	75	85
Rotating particle separator (RDS)	30	70	80	90
Low energy scrubber	10	30	80	90
High energy scrubber	70	90	95	99
Electrostatic Precipitator (1 field)	75	60	75	90
Electrostatic Precipitator (3 fields)	98	95	99	99
Fabric filter	98	99	99.5	99.5

Apart from fabric filters the average separation efficiency for particles in the stated particle size ranges is to a high degree irrespective of the offered dust concentration in that range.

On the basis of the data available in the Dutch Emission registration files and other information sources, the most important industrial emission sources of fine dust in the different industrial sectors are listed. For some years province licensed companies (MJV-companies) emitting more PM₁₀ than the threshold value per year have to report their PM₁₀ emissions in an electronic annual report (eMJV). In 2003, 32 MJV-companies have supplied these data. From these data it is concluded that on average the proportion of PM₁₀ of the total amount of dust emitted by the larger industrial companies is approximately 55%; this proportion diverges per sector from 35% (iron

and steel) up to almost 100% (refineries and glass industry). The electronic annual report does not contain information on emissions in the stated particle size ranges. To get an insight into the amounts of dust emitted by industry in these particle size ranges available detailed information on the period 1995-1998 is used. This information has been used to divide PM_{10} emissions into process emissions, diffuse emissions and combustion emissions. From the data it is concluded that at that time the contribution of diffuse and combustion emissions together is almost larger than the channelled process emissions for the total industry. For all $PM_{2.5}$ emission this is approximately 35%. Apart from the refineries the distinction between process, combustion and diffuse emissions by sector will still be approximately the same.

This study was meant to determine the influence of the application of (additional) state-of-the-art reduction techniques on the particle size distribution of emitted fine dust. Diffuse emissions are generally difficult to retain in a limited waste gas stream and for that reason they are not equipped with add-on reduction techniques. Within the framework of this study the influence of (additional) or improved) techniques for reduction of combustion and process emissions are considered.

After collection of relevant data it became clear that only in a limited number of cases particle size distributions were available for both incoming and outgoing dust when a reduction technique was installed. This made it impossible to determine the change in particle size distribution caused by a reduction technique for all relevant sectors separately. It was decided to arrange data according to the general categories of processes (combustion is in this respect also considered as a process) used by EPA. In principle all dust emitting processes belong to one of these categories. The categories are:

- cat. 1: Stationary Internal Combustion engines (gasoline and diesel fuel);
- cat. 2: Combustion (mixed fuels);
- cat. 3: Mechanically generated (aggregate, unprocessed ores);
- cat. 4: Mechanically generated (processed ores and non-metallic minerals);
- cat. 5: Calcination and other heat reaction processes (aggregate, unprocessed ores);
- cat. 6: Grain handling (transfer, ginning);
- cat. 7: Grain processing (drying, screening, grinding, milling);
- cat. 8: Melting, Smelting and Refining (metals, except aluminium);
- cat. 9: Condensation, Hydration, Absorption, Prilling and Distillation (all).

From the available data by category, averages have been calculated for the fraction proportions PM_{10}/TPM , $PM_{2.5}/PM_{10}$ and PM_1/PM_{10} in the emissions before and after applying the separation technique. Per specific separation technique it could be concluded that the specific particle size fractions $PM_{2.5}/PM_{10}$ and PM_1/PM_{10} increase when (additional) techniques are installed. The smaller the size fractions in incoming dust the bigger the increase. On average the relative increase of the particle size fraction is approximately 30% for $PM_{2.5}/PM_{10}$ and approximately 60% for PM_1/PM_{10} (with the restriction that these fractions can not be more than 1). In an absolute sense the quantities of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_1 decrease of course by an (additional) reduction technique. Uncertainties in these percentages are very large.

These relative increases are used to estimate the change of the fractions for process and combustion emissions for all sectors if these emissions are reduced by (additional) techniques. Under the assumption that diffuse emissions are not reduced, the fraction $PM_{2.5}/PM_{10}$ of all residual PM emission in industry will change from approximately 0.5 (situation in 1998) to approximately 0.3 (after additional techniques). By taking these (additional) measures in all relevant sectors, the total industrial emissions of PM_{10} will be reduced with 60% to 70% and the total $PM_{2.5}$ emissions by about 80%.

In this scenario the cost-effectiveness of implementation of (additional) techniques at processes and combustion has not been taken into account. If it is, and measures are aimed at a maximum reduction of $PM_{2.5}$, the total industrial $PM_{2.5}$ emission can be reduced with approximately 70% (PM_{10} emission is then reduced with approx. 50%). The total costs to achieve these reductions are approximately € 400 millions per year. The sectors with the highest costs will be: refineries, the construction material sector, the iron and steel industry and the food industry. In a large number of cases also measures to reduce diffuse $PM_{2.5}$ emissions are included in the total costs. It is recommended to define indicative reference values for cost-effectiveness of measures to reduce PM_{10} and $PM_{2.5}$ in industry as has been done for total PM in the Dutch Emission Regulations (NeR).

To reduce industrial $PM_{2.5}$ emission it is recommended to implement additional or improved separation techniques at refineries, the construction material sector, the iron and steel industry and the food industry. In many cases also measures to reduce diffuse emissions are cost-effective. This concerns for example transport and storage activities with bulk material and ventilation emissions from production buildings. For a further reduction of the emissions at transport and storage activities with bulk material not only application of available BAT techniques is important but also attention should be paid to work carefully and according to regulations. In actual practice the control of it requires an extra effort of the competent authorities. Maintenance can be more effective if online monitoring is used in combination with video pictures so as to identify activities with visible dust development. Intensified local extraction of dust generated in production buildings and collection of the dust in a small waste gas stream (e.g. a factor 10 lower than the venting amount) followed by dust separation in fabric filters can be cost-effective.

All conclusions in this report are based on the assumption that particle size distributions of different types of dust sources in industry are still about the same as in the years 1995-1998. More recent information on equipment level is not available.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	7
1	Inleiding	11
2	Deeltjesgrootteverdeling van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken	12
2.1	Stofverwijderingsrendement voor verschillende deeltjesgroottebereiken	12
2.2	Stofverwijderingsrendement voor PM ₁₀ , PM _{2,5} en PM ₁	13
3	Deeltjesgrootteverdeling van industriële bronnen van fijn stof	15
3.1	Huidige industriële PM ₁₀ emissies.....	15
3.2	Verdeling van PM ₁₀ en PM _{2,5} emissies naar type stofbron per sector	16
3.3	De verhouding tussen PM _{2,5} en PM ₁₀ bij verschillende typen bronnen	18
3.4	De verhouding tussen PM _{2,5} en PM ₁₀ en tussen PM ₁ en PM ₁₀ voor industriële processen.....	19
4	Deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd stof na (aanvullende) stofreiniging	21
4.1	Invloed van een reductietechniek op de deeltjesgrootte verhouding tussen vóór en ná reiniging.....	21
4.2	De invloed van aanvullende emissiereductie op de deeltjesgrootte verdeling van de emissies per sector	24
4.3	De invloed van aanvullende reiniging bij processen en verbranding op de totale emissies en de verhouding PM _{2,5} /PM ₁₀	25
4.4	Invloed van andere reinigingstechnieken dan ontstoffing op de stofemissies en de deeltjesgrootteverdeling hiervan.....	26
5	Conclusies en aanbevelingen	28
5.1	Conclusies.....	28
5.2	Aanbevelingen	29
6	Referenties	31
7	Verantwoording	32
	Bijlage(n)	
	A Deeltjesgrootteverhoudingen voor en na reiniging	

1 Inleiding

De grootte van fijn stof deeltjes in de buitenlucht is een relevante eigenschap voor de gezondheidseffecten van het inhaleren van fijn stof. Hoe kleiner de deeltjes zijn hoe dieper ze in de longen doordringen. De combinatie van de grootte, de samenstelling en de ingeademde hoeveelheid deeltjes per tijdseenheid bepalen in belangrijke mate het effect op de gezondheid. Indien gesproken wordt over fijn stof worden hiermee over het algemeen deeltjes kleiner dan 10 μm verstaan ofwel PM_{10} .

Er is veel informatie over het afscheidingsrendement van wel de absolute emissie van allerlei soorten emissiebeperkende technieken, waarvan elektrofilters (ESPs), doekfilters en natte stofvangers de belangrijkste zijn. Over het algemeen wordt de deeltjesgrootteverdeling van het doorgelaten stof bepaald door zowel de emissiebeperkende techniek als de deeltjesgrootteverdeling en de massa van het stof in de aan de techniek aangeboden afgassen. De deeltjesgrootteverdeling van het geëmitteerde stof wordt dus bepaald door de combinatie van soort proces en emissiebeperkende techniek. Informatie over de deeltjesgrootteverdeling van het stof dat nog vrijkomt na reiniging is voor de belangrijke industriële stofbronnen echter beperkt. In de milieuvergunning staat meestal, dat een bedrijf emissiemetingen moet uitvoeren om aan te tonen, dat voldaan wordt aan de eisen in de vergunning. Voor stof gaat het dan meestal om het vaststellen van de stofconcentratie in de afgassen en het afgasdebiet van gekanaliseerde emissies. Bij de hiervoor gangbare meetmethode wordt geen informatie verkregen over de deeltjesgrootte.

In verband met het overheidsbeleid, dat erop gericht is de luchtkwaliteit zodanig te verbeteren, dat het positieve effect hiervan maximaal is, is het van belang inzicht te krijgen in de mogelijkheden om de deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd stof door de juiste keuze van een emissiebeperkende techniek in een gunstige richting te beïnvloeden.

In opdracht van VROM heeft TNO in overleg met SenterNovem een bureaustudie uitgevoerd naar de invloed van verschillende emissiebeperkende technieken op de deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd stof voor de belangrijkste industriële stofbronnen (en relevante bronnen in de landbouw, zoals pluimveehouderij).

De bureaustudie bestaat uit drie onderdelen:

- inventarisatie van de het verwijderingsrendement van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken als functie van de deeltjesgrootte van het aangeboden stof;
- inventarisatie van de belangrijkste industriële bronnen van fijn stof (PM_{10}) met de deeltjesgrootteverdeling;
- inschatting van de deeltjesgrootteverdeling na toepassing van aanvullende emissiebeperkende technieken in de nabije toekomst bij de belangrijkste industriële bronnen van fijn stof;

De resultaten van deze onderdelen worden in respectievelijk de hoofdstukken 2, 3 en 4 gerapporteerd.

2 Deeltjesgrootteverdeling van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken

Het verwijderingsrendement van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken als functie van de deeltjesgrootte van het aangeboden stof is geïnventariseerd. Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare meetgegevens [5; 8; 16] en gegevens uit de gangbare literatuur. De inventarisatie heeft betrekking op de volgende min of meer gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken: (multi-cyclonen, doekfilters, elektro-statische filters, lage energie en hoge energie natte stofvangers). Ook een relatief nieuwe deeltjesafscheider ‘de Roterende Deeltjes Scheider (RDS)’ die in principe geschikt is voor het afvangen van fijn stof is bij het onderzoek betrokken.

Er is wat betreft deeltjesgroottebereik onderscheid gemaakt tussen deeltjes groter dan PM_{10} (grof stof) en kleiner dan PM_{10} (fijn stof). Bij het fijne stof is voor zover mogelijk weer onderscheid gemaakt tussen PM_{10} , $PM_{2,5}$ en PM_1 .

2.1 Stofverwijderingsrendement voor verschillende deeltjesgroottebereiken

De Environmental Protection Agency (EPA) heeft in het verleden veel aandacht besteed aan het in kaart brengen van het rendement van gangbare nageschakelde stofverwijderingstechnieken voor bepaalde deeltjesgroottebereiken [1: appendix B2]. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen 3 deeltjesgroottebereiken:

- $PM_{2,5}$ (deeltjes met diameters kleiner dan $2,5 \mu\text{m}$);
- $PM_{2,5-6}$ (deeltjes met diameters tussen $2,5$ en $6 \mu\text{m}$);
- PM_{6-10} (deeltjes met diameters tussen 6 en $10 \mu\text{m}$).

De EPA gegevens zijn aangevuld met andere literatuurgegevens [2, 5, 6 en 11]. Alle beschikbare gegevens zijn opgenomen in een excel-bestand, waaruit de ‘gemiddelde’ rendementen zijn bepaald voor de verschillende deeltjesbereiken. Voor de meest gangbare nageschakelde reinigingstechnieken zijn de ‘gemiddelde’ rendementen voor de deeltjesbereiken samengevat in tabel 1.

Tabel 1 Rendement reinigingstechnieken voor verschillende deeltjesgroottebereiken

Techniek	Gemiddeld rendement (%)			
	PM_1	$PM_{1-2,5}$	$PM_{2,5-6}$	PM_{6-10}
Cycloon	5	15	35	50
Multi-cycloon	10	50	75	85
Roterende deeltjesscheider (RDS)	30	70	85	90
Lage energie wasser	10	30	80	90
Hoge energie wasser	70	90	95	99
Elektrofilter (1 veld)	75	60	75	90
Elektrofilter (3 velden)	98	95	99	99
Doekfilter	98	99	99,5	99,5

In deze tabel zijn de hoofd uitvoeringsvormen aangegeven. Er zijn in de praktijk diverse uitvoeringsvormen met verschillende rendementen. De opgegeven waarden dienen dan ook beschouwd te worden als gemiddelden voor de betreffende groep afscheiders.

Afgezien van doekfilters is het gemiddelde rendement voor een deeltjesfractie in belangrijke mate onafhankelijk van de aangeboden stofconcentratie in het betreffende bereik (dus ook niet afhankelijk van het reeds toepassen van een nageschakelde afscheider). Bij een doekfilter is het type doek, dat toegepast moet worden (onder andere) afhankelijk van de aangeboden stofconcentratie en de deeltjesgrootteverdeling. Wat betreft het RDS filter wordt hierbij opgemerkt, dat de problemen met verstopping, die optreden bij het afscheiden van plakkerig stof nog niet opgelost zijn [16].

Uit de tabel volgt, dat voor alle reinigingstechnieken behalve de elektrofilters het afscheidingsrendement afneemt naarmate de deeltjesfractie kleiner is. Bij elektrofilters is het afscheidingsrendement voor deeltjes in het bereik tussen 1 μm en 2,5 μm lager dan voor zowel grotere als kleinere deeltjes [6].

Als de massaverdeling van de stofemissie van een bron voor de deeltjesgrootte bereiken bekend is kan de restemissie na installatie van een reinigingstechniek per deeltjesgrootte bereik geschat worden door de massa binnen dit bereik te verminderen met het percentage dat in de tabel is aangegeven voor de combinatie techniek-deeltjesgrootte bereik. Door alle bijdragen van de deeltjesgrootte bereiken op te tellen wordt een schatting verkregen van de totale PM_{10} -restemissie na installatie van de betreffende techniek. In de praktijk wordt dit echter (vrijwel) nooit toegepast, omdat het resultaat te onbetrouwbaar is voor toetsing van emissie-eisen en een goede werking van de techniek afhangt van andere parameters, zoals plakkerigheid van het stof, afgastemperatuur, dimensionering etc.

2.2 Stofverwijderingsrendement voor PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en PM_1

In de toekomst zullen mogelijk emissie-eisen gaan gelden voor PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en PM_1 . Om te bepalen of hieraan voldaan wordt (of kan worden) is het dan niet zo interessant wat de emissie in de in paragraaf 2.1 besproken deeltjesbereiken is, maar alleen het totaal van de emissies behorend tot PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en PM_1 (hierna fracties genoemd). Dit betekent dat de kleinere fracties inbegrepen zijn in de grotere (bijvoorbeeld: $\text{PM}_{2,5}$ maakt deel uit van PM_{10}). In deze paragraaf is het gemiddelde rendement berekend voor deze gesommeerde fracties.

Als de massaverdeling over de deeltjesgroottebereiken (PM_1 , $\text{PM}_{1-2,5}$ en $\text{PM}_{2,5-10}$) niet bekend is, maar alleen de fracties PM_1 , $\text{PM}_{2,5}$ (= $\text{PM}_1 + \text{PM}_{1-2,5}$) en PM_{10} (= $\text{PM}_1 + \text{PM}_{1-2,5} + \text{PM}_{2,5-10}$), dan kan globaal uitgegaan worden van de in tabel 2 opgenomen gemiddelde rendementen voor de betreffende fracties fijn stof. Het rendement voor een bepaalde fractie hangt af van de deeltjesgrootte-verdeling van de aan de technieken aangeboden stofemissies. De invloed van de aangeboden deeltjesgrootteverdeling hierop is in de tabel in de kolommen 'bereik' aangegeven voor het bereik van veel voorkomende waarden voor de verhoudingen $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ (waarden tussen 0,3 en 0,95) en $\text{PM}_1/\text{PM}_{10}$ (waarden tussen 0,1 en 0,8) van het aangeboden stof. Uit tabel 2 volgt, dat voor een aantal technieken deze verhoudingen van groot belang zijn voor het rendement voor deeltjesfracties. Dit geldt vooral voor het PM_{10} -verwijderingsrendement van technieken, waarmee fijn stof maar in beperkte mate te verwijderen is. Het PM_{10} -verwijderingsrendement van bijvoorbeeld een lage energie wasser kan liggen tussen ca. 67% bij relatief grof stof ($\text{PM}_1/\text{PM}_{10} = 0,1$) en ca. 17% bij relatief fijn stof ($\text{PM}_1/\text{PM}_{10} = 0,8$).

Tabel 2 Gemiddeld rendement en rendementsbereik van reinigingstechnieken voor verschillende fijn stof fracties.

Techniek	Gemiddeld rendement (%)				
	PM ₁	PM _{2,5} *)		PM ₁₀ **)	
		gem	bereik	gem	bereik
Cycloon	5	10	12 - 7	22	34 - 8
Multi-cycloon	10	30	37 - 17	50	68 - 20
RDS	30	50		70	
Lage energie wasser	10	20	23 - 13	46	67 - 17
Hoge energie wasser	70	80	83 - 73	87	93 - 74
Elektrofilter (1 veld)	75	68	65 - 73	73	78 - 73
Elektrofilter (3 velden)	98	97	96 - 98	98	98
Doekfilter	98	99	99 - 98	99	99 - 98

*) Gemiddelde geldt voor $PM_{2,5}/PM_{10} \approx 0,6$ en bereik voor $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,3 - 0,95$

***) Gemiddelde geldt voor $PM_1/PM_{10} \approx 0,3$ en bereik voor $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,1 - 0,8$

De in deze tabel opgenomen waarden zijn gebaseerd op de rekenresultaten van de waarden uit tabel 1 en dienen beschouwd te worden als indicatie voor de verschillen tussen de technieken.

Opmerking:

De in de tabel 2 opgenomen waarden zijn op onderstaande wijze tot stand gekomen.

Uit tabel 6 van dit rapport volgt, dat de verhouding PM_1/PM_{10} voor industriële processen (exclusief verbrandingsmotoren) over het algemeen ligt tussen 0,1 (mechanisch ontstaan) en 0,8 (smelten en raffineren).

De verhouding $PM_1/PM_{10} = 0,8$ komt bijvoorbeeld overeen met een aangenomen massaverdeling in de bereiken PM_1 , $PM_{1-2,5}$, $PM_{2,5-6}$ en PM_{6-10} van 10 : 2 : 0,5 : 0,1. De verhouding $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,95$ bij deze massaverdeling.

De verhouding $PM_1/PM_{10} = 0,1$ komt bijvoorbeeld overeen met een aangenomen massaverdeling in de bereiken PM_1 , $PM_{1-2,5}$, $PM_{2,5-6}$ en PM_{6-10} van 1 : 2 : 3 : 4. De verhouding $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,3$ bij deze massaverdeling.

Voor het verloop tussen beide uitersten is ook het rendement voor de tussenliggende verhouding $PM_1/PM_{10} = 0,3$ dat bijvoorbeeld geldt voor de aangenomen massaverdeling in de bereiken PM_1 , $PM_{1-2,5}$, $PM_{2,5-6}$ en PM_{6-10} van 3 : 3 : 2,5 : 1,5. De verhouding $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,6$ bij deze massaverdeling.

Hoge temperatuur processen veroorzaken meestal relatief meer massa in de fijnere fracties ($PM_1/PM_{10} = 0,6$ á $0,8$ en $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,8$ á $0,9$) dan processen, waarbij stof mechanisch ontstaat ($PM_1/PM_{10} = \text{ca. } 0,1$ en $PM_{2,5}/PM_{10} = 0,1$ tot $0,3$). Uit tabel 2 volgt, dat het afscheidingsrendement voor $PM_{2,5}$ en PM_{10} over het algemeen bij hoge temperatuur processen lager is dan voor mechanisch ontstaan stof (behalve bij elektrofilters). Voor het afscheiden van zeer fijn stof (PM_1) zijn alleen hoge energie wassers, elektrofilters en doekfilters geschikt.

3 Deeltjesgrootteverdeling van industriële bronnen van fijn stof

Op basis van de gegevens van Emissieregistratie en andere informatiebronnen [1 t/m 11] zijn de belangrijkste industriële bronnen van fijn stof emissies per branche geïnventariseerd. Per branche zijn hierbij de in Nederland voorkomende typen stofemitterende bronnen (processen inclusief de in Nederland gangbare stofreductietechniek) als uitgangspunt genomen. De stofreductietechniek kan betrekking hebben op een nageschakelde verwijderingstechniek, maar ook op procesgeïntegreerde maatregelen dan wel brongerichte maatregelen (bv. bij diffuse bronnen). Uit de verkregen gegevens is voor deze bronnen de deeltjesgrootte verdeling van het geëmitteerde stof bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de aard van de bron (bv. proces, verbranding, diffuus).

3.1 Huidige industriële PM₁₀ emissies

Bedrijven met een provinciale vergunning, die per jaar meer PM₁₀ emitteren dan de drempelwaarde moeten die emissie rapporteren in het Milieujaarverslag dat zij maken voor het bevoegd gezag. Tegenwoordig is dat een elektronisch jaarverslag (eMJV). In Tabel 3 zijn de gegevens verwerkt uit het eMJV van 2003 voor die bedrijven, die zowel voor PM₁₀ als grof stof een opgave hebben verstrekt. Ook de doelgroepen Raffinaderijen en Glas zijn in dit overzicht opgenomen, omdat er vanuit gegaan is dat de stofemissie geheel bestaat uit PM₁₀ (dus geen opgave voor grof stof). Dit zijn in totaal 32 bedrijven met een PM₁₀ emissie boven de drempelwaarde van 10 ton/jaar. De verstrekte gegevens zijn per branche samengevoegd om zicht te krijgen op het aandeel PM₁₀ in het totaal geëmitteerde stof. Uit dit overzicht blijkt, dat het gemiddelde PM₁₀ aandeel bij de grotere bedrijven in de industrie ongeveer 55% is, waarbij dat per branche uiteenloopt van 35% (IJzer en staal) tot bijna 100% (Raffinaderijen en Glas). Opgemerkt moet worden dat de opgave in de MJV's niet een volledig beeld geeft. De emissies van een aantal bedrijven is in de emissieregistratie bijgeschat. Dat betreft meer dan de helft (!) van de emissies in tabel 3.

Tabel 3 PM₁₀ aandeel in totale stofemissie van MJV bedrijven (2003)

Branche	Aantal bedrijven	PM ₁₀ -emissie [ton]	PM ₁₀ /TPM	
			gem.	range
Chemische industrie	6	1049	0,51	0,3 - 0,95
IJzer en staal industrie	3	1235	0,36	0,1 - 0,65
Aluminium industrie	1	489	0,69	
Energiecentrales	3	357	0,66	0,2 - 0,95
Raffinaderijen	4	356	1,0	*)
Voedingsmiddelen industrie	3	210	0,71	0,3 - 0,9
Glasindustrie	2	62	1,0	*)
<i>Industrie</i>	22	3750	0,56	
<i>Totaal MJV-bedrijven**)</i>	32	3800		

*) Aangenomen is dat bij deze sectoren al het geëmitteerde stof behoort tot PM₁₀

**) Alle MJV-bedrijven met een PM₁₀-emissie boven de drempelwaarde

Gezien het beperkte aantal bedrijven, dat beide gegevens heeft verstrekt en de vrij grote range van PM₁₀/TPM verhoudingen binnen een branche kunnen deze percentages slechts als indicatie gebruikt worden (de afkorting TPM wordt gebruikt voor de totale hoeveelheid geëmitteerd stof ('Total Particulate Matter')). In totaal hebben overigens slechts 32 bedrijven een opgave voor PM₁₀ verstrekt in het eMJV, waarbij slechts ongeveer 20 bedrijven verantwoordelijk zijn voor meer dan 95% van de totaal opgegeven PM₁₀ emissie. Hoe de bedrijven de PM₁₀-emissies vaststellen is niet bekend. Omdat er niet gevraagd wordt naar een onderverdeling in kleinere fracties zijn er geen gegevens over de deeltjesgrootte verdeling binnen het PM₁₀ beschikbaar.

3.2 Verdeling van PM₁₀ en PM_{2,5} emissies naar type stofbron per sector

Tot omstreeks 1995 werd de Emissieregistratie (ER) uitgevoerd door bij de inventarisatie uit te gaan van meetgegevens en bedrijfsbezoeken. Tot die tijd was er ook een redelijk zicht op de in de industrie toegepaste stofbestrijdingstechnieken. Wat er na die tijd aan stofbestrijdingstechnieken is geïnstalleerd om te voldoen aan de NeR wordt sinds 1996 niet meer geïnventariseerd. Over het algemeen zal het zo zijn, dat de grotere bedrijven voldoen aan de emissie-eisen in de NeR. Als dit het geval is en er doekfilters worden toegepast zal de stofconcentratie in de geëmitteerde afgassen lager zijn dan 5 mg/m³. Als er geen doekfilters kunnen worden toegepast (bv. vanwege plakkerigheid stof of vochtige afgassen) moeten er andere stofverwijderingstechnieken worden toegepast (o.a. multicyclonen, elektrofilters, wassers). Dan zal de stofconcentratie in de geëmitteerde afgassen lager zijn dan 20 mg/m³, tenzij er in de NeR een bijzondere regeling is opgenomen, waarin hogere concentraties worden toegestaan. Deze eisen gelden sinds enkele jaren in principe voor alle afgasstromen van een bedrijf, maar in ieder geval als de totale stofemissie meer bedraagt dan 0,2 kg per uur. Op basis van de bedrijfstijd van 2000 uur per jaar geldt dit dus zeker voor bedrijven die meer stof emitteren dan 400 kg per jaar. Als de best beschikbare reinigingstechnieken (BBT) worden toegepast bestaat het geëmitteerde stof grotendeels uit PM₁₀. De drempel voor de rapportage in een eMJV ligt bij 10.000 kg PM₁₀ per jaar. Er zullen dan ook veel bedrijven zijn, die niet MJV-plichtig zijn, maar wel moeten voldoen aan de eisen in de NeR. Deze eisen hebben vooral betrekking op gekanaliseerde afgasstromen, terwijl er wat betreft de diffuse emissies (bv. op- en overslag bulkgoederen en emissie via de ventilatie van productiegebouwen) relatief weinig harde eisen zijn wat betreft de stofemissies. Als er maatregelen in de vergunning worden voorgeschreven om diffuse stofemissies te beperken dan zijn dat meestal middelvoorschriften (bv. nathouden van in de open lucht opgeslagen stortgoederen). Tegenwoordig wordt vaak ook als criterium voor overslag van stortgoederen opgenomen, dat er geen 'zichtbare stofverspreiding' mag optreden op een bepaalde afstand (meestal 2 meter) van de overslagactiviteit. Handhaving van een dergelijk voorschrift door het bevoegd gezag is eigenlijk niet mogelijk, alleen al omdat bij grootschalige overslag de activiteiten niet eens tot op 2 meter afstand te benaderen zijn.

Om zicht te krijgen op de deeltjesgrootteverdeling van het stof, dat door de industrie als geheel wordt geëmitteerd is teruggesproken op onderliggende informatie uit de periode 1995-1998. De totale primaire PM₁₀ emissie van de industrie (inclusief energie en raffinaderijen) wordt geschat op 23 kton in 1995, terwijl dat de laatste jaren gestabiliseerd is op 12 á 13 kton. [12]. Dit is een halvering ten opzichte van 1995, die alleen bereikt kan zijn door productievermindering dan wel het toepassen van aanvullende emissie-reductietechnieken (procesgeïntegreerd en nageschakeld).

Doordat de gekanaliseerde afgasstromen veelal reeds gereinigd worden kan de bijdrage van de diffuse emissies, die in het verleden minder aandacht hebben gehad bij de inventarisaties, wel eens erg belangrijk zijn geworden voor de totale industriële emissie van PM₁₀ en in mindere mate van PM_{2,5}. Door adviesbureau Haskoning is in 2000 een schatting gemaakt van de diffuse emissie van fijn stof voor 11 industriële sectoren. Voor de beschouwde bedrijfssectoren kwam deze schatting voor het jaar 1997 uit op 3,7 kton. De bijdrage van de diffuse fijn stof emissies aan de totale fijn stof emissie in de beschouwde sectoren bleek ongeveer eenderde te zijn [15].

Op basis van onderliggende gegevens uit het bestand Emissieregistratie is de emissiesituatie in de industrie in kaart gebracht voor het jaar 1998 [11]. Op basis van deze gegevens is de emissie van de bedrijven opgesplitst in procesemissies, diffuse emissies en verbrandingsemissies. De resultaten zijn voor de bedrijven, die opgenomen waren in het bestand, per branche samengevat in tabel 4.

Tabel 4 Overzicht van de fijn stof emissies per sector (situatie 1998)

Sector / proces (SBI code)	PM ₁₀ emissie			PM _{2,5} emissie			Toegepaste reiniging
	Proces	Diffuus	Verbr.	Proces	Diffuus	Verbr.	
	[ton/jr]	[ton/jr]	[ton/jr]	[ton/jr]	[ton/jr]	[ton/jr]	
Aluminium (274)	1541	59	-	693	6	-	diversen
Cement (265)	215	5	-	95	1	-	diversen
Chemie (24)	2129	85	156	1131	7	156	diversen
Bouw (45)	-	1062	-	-	106	-	soms
Voeding (15, 16)	2116	184	-	340	46	-	diversen
Glas (261, 262, 263)	353	154	3	298	15	2	wasser
IJzer en staal (231,271-273,275)	1432	1499	75	1289	448	66	diversen
Metaalbewerking (28,29-35, 4531)	286	257	-	286	51	-	soms
Bouwmaterialen (264-268)	194	918	-	93	164	-	soms
Papier en karton (21)	-	384	-	-	38	-	soms
Energiecentrales (kolen) (40001)	-	142	397	-	14	332	diversen
Raffinaderijen (232)	1721	-	1669	1291	-	1496	soms
Rubber en Kunststof (25)	-	66	-	-	6	-	soms
Textiel (17,18)	-	121	-	-	12	-	soms
Afvalverbranding (9000)	-	-	35	-	-	34	diversen
Hout (20)	-	406	-	-	41	-	soms
<i>Totale industrie (geregistreerd)</i>	<i>9987</i>	<i>5342</i>	<i>2335</i>	<i>5516</i>	<i>955</i>	<i>2086</i>	

Uit dit overzicht blijkt, dat de totale PM₁₀ emissie van de bedrijven in het bestand in 1998 ongeveer 18 kton per jaar was (proces + diffuus + verbranding) en de PM_{2,5} emissie ongeveer 8,5 kton. Voor de PM₁₀ emissie geldt, dat de verhouding tussen procesemissies, diffuse emissies en verbrandingsemissies ongeveer gelijk is aan 4 : 2 : 1. De bijdrage van de diffuse en de verbrandingsemissies aan de totale PM₁₀ emissie is samen bijna even groot als de (gekanaliseerde) procesemissies. Voor de PM_{2,5} emissie is de bijdrage van verbrandings- en diffuse emissies ongeveer 35%. Als deze verhoudingen, die gebaseerd zijn op de emissiesituatie van 1998, ook nu nog ongeveer gelden (wat afgezien van de Raffinaderijen waarschijnlijk het geval is), dan kan geconcludeerd

worden dat het reduceren van de diffuse emissies en de verbrandingsemissies een aanzienlijke reductie van de PM_{10} en $PM_{2,5}$ emissies tot gevolg heeft. De sectoren waarvoor de som van de diffuse en de verbrandingsemissies voor PM_{10} groot is zijn in volgorde van bijdrage: Raffinaderijen, IJzer- en staal, Bouw en Bouwmaterialen.

Gezien de bijdragen van de procesemissies van de sectoren Chemie, Voeding, Raffinaderijen, Aluminium en IJzer- en staal zijn dit de sectoren (in volgorde van bijdrage aan het totaal voor de industrie), waar aanvullende reinigingstechnieken nog voor een aanzienlijke reductie van de PM_{10} emissies kunnen zorgen. Met uitzondering van de sector Voeding geldt deze conclusie ook voor de $PM_{2,5}$ emissies.

3.3 De verhouding tussen $PM_{2,5}$ en PM_{10} bij verschillende typen bronnen

Op basis van gegevens in tabel 4 is ook per branche de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ berekend voor de drie typen bronnen (proces, diffuus en verbranding). Het resultaat is opgenomen in tabel 5. De in de tabel opgenomen verhoudingen voor $PM_{2,5}/PM_{10}$ hebben per sector betrekking op alle bedrijven, waarvoor in het kader van de Emissie-registratie emissies geïnventariseerd zijn. De verhoudingen voor de processen zijn in de meeste gevallen een gemiddelde voor wel en niet toegepaste reinigingstechnieken bij de betreffende sector.

Tabel 5 Verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ per sector voor de proces, de diffuse en de verbrandingsemissies

Sector / proces (SBI code)	Verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$				Toegepaste reiniging
	Totaal	Proces	Diffuus	Verbr.	
Aluminium (274)	0,44	0,45	0,10	-	diversen
Cement (265)	0,44	0,44	0,20	-	diversen
Chemie (24)	0,55	0,53	0,08	1,00	diversen
Bouw (45)	0,10	-	0,10	-	soms
Voeding (15, 16)	0,17	0,16	0,25	-	diversen
Glasindustrie (261, 262, 263)	0,62	0,84	-	0,67	wasser
IJzer en staal (231, 271-273, 275)	0,60	0,90	0,30	0,88	diversen
Metaalbewerking (28, 29-35, 4531)	0,62	1,00	0,20	-	soms
Bouwmaterialen (264-268)	0,23	0,48	0,18	-	soms
Papier en karton (21)	0,10	-	0,10	-	soms
Energiecentrales (40001)	0,64	-	0,10	0,84	diversen
Raffinaderijen (232)	0,82	0,75	-	0,90	soms
Rubber en Kunststof (25)	0,09	-	0,09	-	soms
Textiel (17, 18)	0,10	-	0,10	-	soms
Afvalverbranding (9000)	0,97	-	-	0,97	diversen
Hout (20)	0,10	-	0,10	-	soms
<i>Totaal industrie (geregistreerd)</i>	<i>0,48</i>	<i>0,55</i>	<i>0,18</i>	<i>0,90</i>	

Uit deze tabel blijkt, dat de $PM_{2,5}/PM_{10}$ -verhoudingen voor:

- de totale emissies per sector liggen tussen de 0,1 (Hout, Papier en Karton, Bouw, Rubber en Kunststof en Voedingsmiddelen industrie) en 0,9 (Afvalverbranding en Raffinaderijen);
- de procesemissies bij alle relevante sectoren liggen tussen de 0,5 en 1,0 met uitzondering van de sector Voeding (0,16);
- de diffuse emissies bij alle relevante sectoren liggen tussen 0,1 en 0,3;
- de verbrandingsemissies bij alle relevante sectoren liggen tussen 0,7 en 1,0.

Combinatie van deze conclusies met de conclusies uit paragraaf 3.2 over de bijdrage van belangrijkste sectoren aan de PM_{10} en $PM_{2,5}$ emissies leidt tot de vaststelling, dat er uitgaande van de emissiesituatie in 1998 in de sectoren Raffinaderijen, IJzer en staal, Chemie en Aluminium mogelijk interessante reducties van de $PM_{2,5}$ emissies mogelijk zijn.

Uit tabel 5 volgt verder dat voor de industrie als geheel (totaal van de geregistreerde bedrijven in 1998) geldt dat:

- de $PM_{2,5}$ -emissie ongeveer de helft van de PM_{10} -emissie is;
- de $PM_{2,5}/PM_{10}$ verhouding voor de procesemissies ongeveer 0,55; voor de diffuse emissies 0,18 en voor de verbrandingsemissies 0,90 is.

Hieruit volgt, dat over het algemeen het reduceren van verbrandingsemissies per kg PM_{10} reductie de grootste $PM_{2,5}$ reductie oplevert en dat de reductie voor de diffuse emissies het laagst is.

3.4 De verhouding tussen $PM_{2,5}$ en PM_{10} en tussen PM_1 en PM_{10} voor industriële processen

In 1998 was de PM_{10} emissie van de industrie (inclusief energie en raffinaderijen) volgens de gegevens van het project Emissieregistratie ca. 18 kton, terwijl de opgave via het eMJV in 2003 nog maar ca. 4 kton is (inclusief de raffinaderijen zijn de emissies ca. 7,5 kton). Hoewel er de laatste jaren in verband met de luchtkwaliteitsgrenswaarden voor PM_{10} meer aandacht is gekomen voor de emissies van PM_{10} is de registratie hiervan in de industrie nog gebrekkig.

De emissies van PM_1 werden in de jaren 1995-1998 (nog) niet geïnventariseerd.

Om toch zicht te krijgen op de PM_1 fractie van het geëmitteerde stof is gebruik gemaakt van informatie hierover van EPA [1: appendix B2]. Door EPA zijn 9 categorieën deeltjesgrootte verdelingen voor algemene processen gedefinieerd. Deze indeling is opgenomen in Tabel 6. Aan deze indeling is de categorie “intensieve veehouderij” toegevoegd [7-10].

Tabel 6 Emissiefactoren (als fractie van TPM) voor de deeltjesfracties PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁ voor algemene processen (ongereinigd)

Cat.	Proces	Uitvoering	Ongereinigd (of na een (product)cycloon)				
			Emissiefactoren[%TPM]			PM Verhouding	
			PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁	2.5/10	1/10
1	Stationaire verbrandingsmotoren	Gasolie en diesel	96	90	82	0,94	0,85
2	Verbranding	Gemengde brandstoffen	79	45	23	0,57	0,29
3	Mechanisch ontstaan	Op/overslag en processing ruwe bulkmaterialen	51	15	4	0,29	0,08
4	Mechanisch ontstaan	Op/overslag en processing geproduceerde ertsen/mineralen	85	30	6	0,35	0,07
5	Calcineren en andere hitte reactieprocessen	Bulkmaterialen en ruwe ertsen	53	18	6	0,34	0,11
6	Graan overslag	Handling en transport	15	1	0,07	0,07	0,00
7	Graan processing	Drogen, zeven, malen	61	23	8	0,38	0,13
8	Smelten en raffineren	Metalen/glas (excl. Aluminium)	92	82	72	0,89	0,78
9	Condensatie, absorptie, sproeidrogen, distillatie	Melkpoeder, kunstmest, coke ovens	94	78	60	0,83	0,64
10	Intensieve veehouderij	Pluimvee, varkens	20	3	< 1	0,15	< 0,05

Uit dit overzicht blijkt, dat bij hoge temperatuurprocessen (verbranding olie, smelten en raffineren) zonder reiniging het PM₁₀ voor 80 tot 90% bestaat uit PM₁. Bij stof dat ontstaat door mechanische krachten (op-/overslag en processing van bulkmaterialen, mineralen en ertsen) is de PM₁ bijdrage aan PM₁₀ slechts ongeveer 10%.

Als er een reinigingstechniek wordt toegepast dan is het verwijderingsrendement voor PM₁₀ over het algemeen hoger dan voor PM₁. Na reiniging zal het relatieve aandeel van PM₁ in de resterende PM₁₀ emissie dan ook hoger zijn dan vóór de reiniging. Wegens gebrek aan beschikbare gegevens kan deze opsplitsing niet voor iedere sector apart gemaakt worden.

4 Deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd stof na (aanvullende) stofreiniging

In onderhavige studie is de invloed van de toepassing van gangbare nageschakelde emissiereductie technieken op de deeltjesgrootte verdeling van fijn stof in kaart gebracht, waarbij onderscheid gemaakt dient te worden tussen TPM (totaal stof), PM_{10} , $PM_{2,5}$ en PM_1 (ofwel $PM_{0,95}$). Daarbij kon uiteindelijk niet worden uitgegaan van de sectoren maar is een indeling in processen gekozen.

In 2002 is door TNO in opdracht van VROM een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden om de emissies van fijn stof uit industriële bronnen te reduceren [11] en de kosten daarvan. Dit is apart uitgewerkt voor de verschillende bedrijfs- en doelgroepen (zie tabel 4). De emissies in dat onderzoek waren gebaseerd op het jaar 1998 en niet op recentere emissiegegevens, omdat de emissiegegevens uit 1998 nog voldoende gedetailleerd waren om een opsplitsing te maken tussen de verschillende typen emissiebronnen. De bedrijven, die sinds 2001 verplicht zijn om hun jaarlijkse emissiegegevens te verstrekken door middel van elektronische milieujaarverslagen (eMJV's) geven meestal slechts één waarde op voor de totale fijn stof emissie (als die al opgegeven wordt). Volgens de stoffenlijst moeten deze bedrijven zowel de emissie van fijn stof ($< 10 \mu\text{m}$) als de emissie van grof stof ($> 10 \mu\text{m}$) opgeven als deze hoger is dan de drempel van 10 ton/jr. In de praktijk blijkt er verwarring te zijn en wordt de totale hoeveelheid stof (grof+fijn) soms onder één van beide vermeld. Bij stofmetingen aan geëmitteerde afgassen in het kader van toetsing van de emissieconcentraties aan de NeR wordt namelijk alleen de totale hoeveelheid stof gemeten (en niet de fractie fijn stof). Van de 24 MJV-bedrijven met een grof stof emissie boven de drempel hebben er 5 over 2003 geen opgave van de fijn stof emissie verstrekt, terwijl er in principe altijd fijn stof emissies zijn als er grof stof emissies zijn. Tot 1998 produceerde Emissieregistratie de fijn stof emissiecijfers op basis van de gegevens van de bedrijven, waarbij uitgegaan werd van een bepaald percentage fijn stof als alleen de hoeveelheid totaal stof bekend was. De keuze voor een bepaald percentage fijn stof hangt hierbij af van het proces.

In het kader van deze studie zijn alleen de verbrandings- en procesemissies beschouwd omdat die gekanaliseerd zijn en voorzien kunnen worden van (extra) reinigingstechnieken. Diffuse emissies zijn over het algemeen moeilijk te kanaliseren in een beperkte afgasstroom en zijn dan ook niet voorzien van een nageschakelde emissiereductie-techniek.

In de rest van dit hoofdstuk wordt eerst aangegeven hoe de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ verandert als er een aanvullende reinigingstechniek wordt toegepast. Vervolgens wordt voor de sectoren op basis van deze informatie aangegeven hoe de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ bij de verbrandings- en procesemissies verandert door toepassen van een aanvullende reinigingstechniek.

4.1 Invloed van een reductietechniek op de deeltjesgrootte verhouding tussen vóór en ná reiniging

Om de invloed van nageschakelde reinigingstechnieken op de deeltjesgrootte-verdeling van het geëmitteerde stof bij processen en verbranding na te gaan voor de verschillende sectoren is de op dit moment ter beschikking staande informatie over de deeltjesgrootte-verdeling voor de combinaties van specifiek proces en specifieke reinigingstechniek

samengebracht in een excel bestand. Hieruit is gebleken, dat er te weinig informatie beschikbaar is om per doelgroep aan te geven wat de invloed van een specifieke reinigingstechniek op de deeltjesgrootteverdeling is. In slechts een beperkt aantal gevallen is zowel de deeltjesgrootteverdeling voor de reiniging als na de reiniging beschikbaar.

Om de ter beschikking staande gegevens toch te kunnen gebruiken is gebruik gemaakt van de 10 categorieën algemene processen (verbranding is in dit verband ook een proces) overeenkomstig de indeling volgens tabel 6. De ter beschikking staande gegevens zijn opgenomen in de tabel van bijlage A.

Uit bijlage A blijkt dat er slechts een beperkt aantal waarden voor de vast te stellen PM-verhoudingen beschikbaar is (TPM betekent ‘Total Particulate Matter’ ofwel totaal stof). De in de tabel in bijlage A opgenomen vetgedrukte waarden zijn overgenomen in tabel 6. Vervolgens is per categorie proces uit de ter beschikking staande gegevens een gemiddelde waarde berekend voor de verschillende PM-verhoudingen voor en na stand der techniek reinigingstechnieken. In dit verband worden cyclonen niet gezien als stand der techniek maar als een voorreiniging. De berekende gemiddelde waarden voor de PM verhoudingen voor de algemene categorieën van industriële processen zijn voor de ongereinigde situatie (voor reiniging) en de gereinigde situatie (na reiniging) opgenomen in tabel 7 (de categorie stationaire verbrandingsmotoren is niet opgenomen, omdat die niet behoort tot de industriële processen). De categorieën 6 en 7 (respectievelijk overslag en processing van graan) zijn niet opgenomen, omdat hiervoor geen deeltjesfracties na reiniging beschikbaar zijn.

Tabel 7 Deeltjesgrootteverhoudingen voor categorieën processen vóór en na reiniging

Proces	Voor reiniging (evt. na cycloon)			Na reiniging			Verandering in fractieverhouding		
	PM Verhouding			PM Verhouding ^{*)}			(PM verhouding na/voor reiniging)		
	10/TPM	2.5/10	1/10	10/TPM	2.5/10	1/10	10/TPM	2.5/10	1/10
Verbranding (cat.2)	0,7	0,6	0,3	0,9	0,7	0,5	1,2	1,6	2,0
Mechanisch ontstaan (cat.3)	0,5	0,3	0,1	0,7	0,6		1,6	1,5	
Mechanisch ontstaan (cat.4)	0,9	0,6	0,1	0,7	0,5		0,8	0,9	
Calcineren en andere hitte reactie processen (cat.5)	0,5	0,6	0,4	0,9	0,7		1,8	1,1	
Smelten en raffineren (cat.8)	0,9	0,8	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	1,0	1,4
Condensatie, absorptie, sproeidrogen, distillatie (cat.9)	1,0	0,6	0,6	0,9	0,7		0,9	1,2	

*) Opgemerkt wordt, dat er voor een aantal algemene processen onvoldoende gegevens zijn om daarop een bepaalde PM-verhouding te baseren.

Vervolgens is de verhouding van de deeltjesgrootte fracties voor de situatie na en voor reiniging berekend en is het resultaat opgenomen in de kolom 'Fractieverhouding'. Als de fractieverhouding voor een bepaalde deeltjesfractie groter is dan 1 betekent dit dat het aandeel van de betreffende deeltjesfractie in de afgassen na de reiniging groter is dan voor de reiniging. Uit de resultaten in de tabel kunnen de volgende voorzichtige conclusies getrokken worden:

- Het aandeel PM_{10} van de totale stofemissie (ofwel PM_{10}/TPM) is na reiniging groter (tot een factor 2) als het aandeel vóór reiniging kleiner is dan ongeveer 80% (procescategorieën 2, 3 en 5);
- De fractie $PM_{2,5}/PM_{10}$ blijft na reiniging voor de meeste categorieën processen ongeveer gelijk en bij 'verbranding' (cat. 2) en 'mechanisch ontstaan' (cat. 3) neemt die toe (met ca. 50%) ten opzichte van de ongereinigde situatie;
- Voor de fractie PM_1/PM_{10} geldt mogelijk, dat deze voor alle categorieën processen groter is dan in de ongereinigde situatie (dit is een veralgemeniseerde conclusie uit de hogere waarden voor de fractieverhoudingen voor PM_1/PM_{10} ten opzichte van die voor $PM_{2,5}/PM_{10}$ bij de categorieën 2 en 8).

Het is verband met het beperkte aantal onderliggende gegevens dus niet mogelijk om een opsplitsing te maken voor specifieke combinaties van processen en reinigingstechnieken. Daarom is in tabel 8 het gemiddelde van de ter beschikking staande gegevens over deeltjesgroottefracties per techniek (zie bijlage A) gegeven inclusief de range waarop het gemiddelde is gebaseerd. De drie technieken kunnen worden beschouwd als BBT en afhankelijk van de eigenschappen van een te reinigen afgasstroom is meestal wel één van deze technieken geschikt om als aanvullende techniek geïnstalleerd te worden. Uit de opgegeven range van verhoudingen blijkt dat de deeltjesgrootte verdeling na de reiniging niet goed voorspelbaar is. De fractieverhouding hangt blijkbaar sterk af van het type proces, waarvan de afgassen gereinigd worden. Gezien de grote spreiding is daarom in de tabel ook het gemiddelde van de drie technieken opgenomen, die beschouwd kunnen worden als BBT.

Tabel 8 Gemiddelde deeltjesfractieverhouding per techniek

Reinigingstechniek	Fractieverhouding (PM verhouding na/voor reiniging)			
	$PM_{2,5}/PM_{10}$		PM_1/PM_{10}	
	gem.	range	gem.	range
Hoge energie wasser	1,8	1,1 – 2,8	1,9	1,2 – 2,9
Elektrofilter	1,0	0,7 – 1,7	1,6	1,6 (2x)
Doekfilter	1,1	0,8 – 1,3	1,3 ^{*)}	-
<i>Gemiddelde BBT-technieken</i>	1,3	0,7 – 2,8	1,6	1,2 – 2,9

*) slechts één waarde beschikbaar

Uit deze tabel blijkt, dat het aandeel $PM_{2,5}$ en het aandeel PM_1 in de PM_{10} emissie na toepassing van (extra) nageschakelde technieken over het algemeen groter is dan vóór de toepassing ervan. Hoe kleiner de fractie hoe sterker dit het geval is.

Als gemiddelde waarde voor de verandering van de fractieverhoudingen door toepassing van een (extra) nageschakelde techniek kan voor de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ uitgegaan worden van ongeveer 30% relatieve toename en voor PM_1/PM_{10} van

ongeveer 60% relatieve toename. In absolute zin zijn de hoeveelheden van alle fracties natuurlijk wel afgenomen.

4.2 De invloed van aanvullende emissiereductie op de deeltjesgrootte verdeling van de emissies per sector

In tabel 9 is het effect van aanvullende reiniging op de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ aangegeven bij de proces- en verbrandingsemissies.

In deze tabel zijn eerst de emissiegegevens uit tabel 4 wat betreft de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ voor de huidige verbrandings- en procesemissies overgenomen en is aangegeven welke typen reinigingstechnieken per branche reeds worden toegepast als emissiereductietechniek. Het betreft dus de verhouding na de reeds toegepaste reiniging (situatie 1998). Vervolgens is er voor de aanvullende reiniging vanuit gegaan dat deze bestaat uit een hoge energie wasser, een elektrofilter dan wel een doekfilter. De verandering van de verhoudingen door toepassing van een extra BBT techniek is vervolgens gebruikt om de resulterende verhouding na extra reiniging in te berekenen voor de proces- en verbrandingsemissies van de sectoren (met als maximum een verhouding van 1).

Tabel 9 Verandering van de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ voor de proces- en verbrandingsemissies

Bedrijfsgroep (sbi code)	Reeds algemeen toegepaste nageschakelde reinigingstechnieken	Verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$	
		Situatie 1998	Na extra reiniging
Aluminium (processen)	Diversen	0,44	0,6
Cement (processen)	Doekfilters, elektrofilters	0,44	0,6
Chemie:			
- processen	Diversen of geen	0,53	0,7
- verbranding	geen	1,0	1,0
Voeding (processen)	Diversen of geen	0,16	0,2
Glas:			
- processen	Wassers of geen	0,84	1,0
- verbranding	geen	0,67	0,9
IJzer en staal:			
- processen	Diversen	0,90	1,0
- verbranding	Elektrofilter of geen	0,88	1,0
Metaalbewerking (processen)	geen	1,0	1,0
Bouwmaterialen (processen)	Doekfilters of geen	0,48	0,6
Energiecentrales (kolenverbr.)	Elektrofilter+wasser+doekfilter	0,84	0,6
Raffinaderijen:			
- processen	Diversen of geen	0,75	1,0
- verbranding	Elektrofilter of geen	0,90	1,0
Afvalverbranding	Elektrofilter+wasser+doekfilter	0,97	1,0

De in dit overzicht opgenomen verhoudingen voor $PM_{2,5}/PM_{10}$ hebben per sector betrekking op de bedrijven, waarvoor in het kader van de Emissieregistratie emissies geïventariseerd zijn voor het jaar 1998. Na (aanvullende) reiniging zal de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ bij alle proces- en verbrandingsemissies komen te liggen tussen 0,6 en 1 (met uitzondering van de sector Voeding).

Bij een aantal combinaties van sectoren en type afgasstromen zal de PM-restemissie dan vrijwel geheel bestaan uit $PM_{2,5}$. Dit geldt voor: Chemie (verbranding), Glas (processen en verbranding), IJzer en staal (processen en verbranding), Metaalbewerking (processen), Raffinaderijen (processen en verbranding) en Afvalverbranding.

4.3 De invloed van aanvullende reiniging bij processen en verbranding op de totale emissies en de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$

Uit tabel 2 volgt, dat het gemiddelde rendement van de drie BBT technieken, zoals gedefinieerd in tabel 8, voor PM_{10} ligt tussen de 90 en 99% (gemiddeld 95%) en voor $PM_{2,5}$ tussen de 80 en 99% (gemiddeld 90%). Interessant is nu wat de emissies en de deeltjesgrootte hiervan ongeveer wordt per sector als binnen deze sector alle proces- en verbrandingsafgassen zouden worden voorzien van een extra BBT reinigingstechniek (en de diffuse emissies niet worden gereduceerd). Uit tabel 4 volgt dan, dat de totale PM_{10} -restemissie van de geregistreerde bedrijven nog maar ongeveer 6000 ton/jaar bedraagt (proces ca. 500 ton/jr + verbranding ca. 200 ton/jaar + diffuus ca. 5300 ton/jaar), terwijl de $PM_{2,5}$ -emissie dan ongeveer 1700 ton/jaar is (proces ca. 500 ton/jaar + verbranding ca. 200 ton/jaar + diffuus ca. 1000 ton/jaar).

De gemiddelde verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ zou dan ongeveer 0,28 worden, wat bijna een halvering zou zijn ten opzichte van de situatie in 1998 (zie tabel 5). In dat geval bestaan de proces- en verbrandings(rest)emissies vrijwel geheel uit $PM_{2,5}$. Door deze maatregelen zou de totale PM_{10} -emissie van de industrie met 60 á 70% worden gereduceerd en de totale $PM_{2,5}$ -emissie met zelfs 80%. Dat de relatieve afname van de $PM_{2,5}$ -emissie groter is dan de relatieve afname van de PM_{10} -emissie komt omdat de diffuse PM_{10} -emissies een relatief groot aandeel aan grove fractie ($PM_{10} - PM_{2,5}$) heeft, die bij dit scenario niet gereduceerd wordt.

In dit scenario is geen rekening gehouden met de kosteneffectiviteit van de aanvullende reiniging bij de proces- en verbrandingsemissies. In 2001 is door TNO een studie uitgevoerd, waarbij is vastgesteld wat de kosten voor de industrie ongeveer zullen zijn als de PM_{10} -emissie met 50 tot 70% zou moeten worden gereduceerd [11]. In die studie zijn scenario's opgesteld, waarbij wel rekening gehouden is met de kosteneffectiviteit. Vastgesteld is, dat het kosteneffectief reduceren van de industriële $PM_{2,5}$ -emissies met ca. 70% tevens de PM_{10} -emissie met ca. 50% reduceert. Om deze emissie reducties te kunnen bereiken bedragen de kosten ongeveer € 400 miljoen per jaar. De emissie-reductie kan bereikt worden door alle maatregelen te nemen met een kosteneffectiviteit van minder dan € 250 per kg vermeden emissie.

De sectoren, die dan de hoogste kosten zullen hebben zijn dan achtereenvolgens: Raffinaderijen, Voeding, Bouwmaterialen, IJzer en staal. In het genoemde rapport zijn tevens sectorbeschrijvingen opgenomen met sectorspecifieke aanvullende reductie-maatregelen. In een aantal gevallen kosten ook maatregelen om de diffuse emissies te reduceren minder dan € 250 per kg reductie.

Dit wil echter niet zeggen, dat TNO van mening is dat een maatregel, die bijna € 250 per kg emissiereductie kost ook acceptabel is voor de industrie. Tot nu toe geldt bijvoorbeeld, dat een maatregel om de emissie van totaal stof te reduceren volgens het

ALARA principe in de NeR pas acceptabel is als de kosteneffectiviteit lager is dan € 2,30 per kg reductie (indicatieve referentiewaarde).

4.4 Invloed van andere reinigingstechnieken dan ontstopping op de stofemissies en de deeltjesgrootteverdeling hiervan

Voor alle categorieën processen uit tabel 9 behalve verbrandingsprocessen geldt dat het toepassen van reinigingstechnieken primair bedoeld is om stof (inclusief de in of aan het stof aanwezige verontreinigingen zoals bv. zware metalen) af te vangen. Afgassen van verbrandingsprocessen bevatten over het algemeen naast het aanwezige stof ook gas- en dampvormige verontreinigingen zoals zware metalen, NO_x, SO₂, dioxinen. Hierbij kan wat betreft verbrandingsprocessen met een relatief grote emissie van fijn stof globaal onderscheid gemaakt worden tussen twee verbrandingsprocessen: verbranding van afval, kolen en biomassa en oliegestookte boilers.

Verbranding van afval

De in Nederland opgestelde grote afvalverbrandingsinstallaties en kolencentrales zijn over het algemeen voorzien van een rookgas reinigingsinstallatie voor de verwijdering van zowel stof, zware metalen, SO₂, NO_x en dioxinen (alleen bij afvalverbranding). Om de gas- of dampvormige verontreinigingen (SO₂, NO_x, zware metalen en dioxinen) efficiënt uit de rookgassen te verwijderen wordt meestal eerst het stof uit de rookgassen verwijderd.

Om aan de in het Besluit Verbranding Afvalstoffen (BVA) genoemde emissie-eisen te kunnen voldoen zijn de afvalverbrandingsinstallaties voorzien van een rookgas reinigingssysteem bestaande uit achtereenvolgens [13]:

- één of meer stofverwijderingsstappen (meestal een elektrofilter, soms een doekfilter);
- een 2-traps natte wasstap voor de verwijdering van zure componenten (o.a. SO₂ en HCl);
- een actieve cokes of actieve kool adsorptiestap voor de verwijdering van dioxinen/furanen en gasvormige zware metalen (meestal koolinjectie plus doekfilter);
- een katalytische of niet-katalytische DeNO_x-stap.

De stofconcentratie na de rookgasreiniging voldoet ruimschoots aan de eisen uit het Besluit Verbranding Afval (BVA) en is lager dan 5 mg/Nm³. De stofverwijdering vindt hoofdzakelijk plaats in de stofverwijderingsstap aan het begin van de rookgasreiniging. Omdat in de stofverwijderingsstap geen gasvormige componenten worden verwijderd heeft deze stap nauwelijks invloed op de SO₂- en de NO_x-concentratie. Vervolgens wordt er ook nog doorgelaten stof (onbedoeld) verwijderd in achtereenvolgens de natte wasstap en de adsorptiestap. De restconcentratie na de rookgasreiniging is dermate laag ([13]: 0,5 tot 3 mg/Nm³), dat het moeilijk is van deze restemissies de deeltjesgrootteverdeling vast te stellen. Verwacht mag worden, dat de restemissie vrijwel geheel uit PM₁₀ bestaat en zelfs grotendeels uit PM_{2,5}.

Verbranding van aardgas, kolen en biomassa

In energiecentrales worden aardgas, kolen en biomassa gestookt voor het opwekken van elektriciteit. Bij aardgasverbranding zijn de concentraties aan geëmitteerd stof dermate laag (< 5 mg/m³) dat er geen stofverwijderingstechnieken worden toegepast. Eventuele nageschakelde DeNO_x-installaties hebben geen invloed op de hoeveelheid en de deeltjesgrootte van het geëmitteerde stof. Het geëmitteerde stof behoort vrijwel volledig tot PM₁.

Bij kolenverbranding ontstaan emissies van stof, SO₂, NO_x en zware metalen. Deze centrales zijn uitgerust met een rookgasreinigingsinstallatie bestaande uit een combinatie van elektrofilters of doekfilters (verwijdering vliegias) gevolgd door verwijdering van zure componenten door middel van wassers (natte rookgasreiniging) of doekfilters (droge rookgasreiniging) [17]. Met droge rookgasreiniging kan in verband met het nageschakelde doekfilter de laagste restemissie van fijn stof worden bereikt (< 5 mg/m³), waarbij het nog geëmitteerde stof vrijwel volledig uit PM_{2,5} bestaat. Bij verbranding van biomassa wordt voor stofverwijdering meestal alleen een elektrofilter of (bij voorkeur) een doekfilter toegepast. De nageschakelde DeNO_x heeft geen invloed op de deeltjesgrootte verdeling van het geëmitteerde fijn stof.

Verbranding van olie

In de olieraffinaderijen wordt stookolie verbrand voor het opwekken van elektriciteit (o.a. WKK installaties) en worden afvalgassen verbrand in fakkelininstallaties. Bij beide typen verbranding wordt roet (onverbrande koolwaterstoffen) geëmitteerd, waarvoor meestal geen verwijderingstechniek is opgenomen. Dit roet behoort tot PM_{2,5} (en grotendeels tot PM₁) en kan een hoeveelheid gebonden zwavel bevatten dat afhangt van het zwavelgehalte van de olie en de afvalgassen. Voor deeltjes die gevormd worden bij verbranding van dieselolie in dieselmotoren van WKK's geldt, dat dit behoort tot PM₁ en bestaat uit een kern van vast roet (koolstof) en daar omheen een vloeibare fase van koolwaterstoffen en sulfaten. Bij dieselolie met 50 tot 500 ppm zwavel bevatten de deeltjes ongeveer 1% sulfaat [14].

Als roet bij de verbranding in olieraffinaderijen wordt afgevangen door rookgasreiniging in de vorm van een elektrofilter of doekfilter wordt dus tevens gebonden zwavel verwijderd, dat niet meer kan bijdragen aan de verzuring.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Alle conclusies in dit onderzoek zijn getrokken onder de aanname dat de deeltjesgrootteverdeling van fijn stof tussen de diverse typen emissiebronnen en de totale emissies per sector (verdeling en bijdrage) nu nog ongeveer gelijk zijn aan die van de jaren 1995-1998. Recentere informatie waarmee deze verdeling kan worden ingeschat ontbreekt.

Het reduceren van de diffuse emissies en de verbrandingsemissies in de sectoren Raffinaderijen, IJzer en Staal, Bouw, Bouwmaterialen en Metaalbewerking zal een aanzienlijke reductie van de PM_{10} en $PM_{2,5}$ emissies tot gevolg hebben. Deze bronnen zijn nu vaak nog niet voorzien van emissiebeperkende maatregelen.

Het reduceren van de procesemissies in de sectoren Voeding, Aluminium, IJzer en staal en Chemie zal, door toepassing van aanvullende reinigingstechnieken, nog voor een aanzienlijke reductie van de PM_{10} emissies kunnen zorgen.

Deze conclusies gelden ook voor de $PM_{2,5}$ emissies, met uitzondering van de sector Voeding.

Voor de industrie als geheel (gebaseerd op de deeltjesgrootteverdeling van de geregistreerde bedrijven in 1998) geldt dat de $PM_{2,5}$ -emissie ongeveer de helft is van de PM_{10} -emissie. De $PM_{2,5}/PM_{10}$ verhouding voor de procesemissies bedraagt ongeveer 0,55, voor de diffuse emissies is de verhouding 0,18 en voor de verbrandingsemissies 0,90. Hieruit volgt dat, over het algemeen, het reduceren van verbrandingsemissies per kg PM_{10} reductie de grootste $PM_{2,5}$ reductie oplevert en voor de diffuse emissies de kleinste.

Bij hoge temperatuurprocessen (verbranding olie, smelten en raffineren) bestaat PM_{10} voor 80 tot 90% uit PM_1 als er (nog) geen reiniging wordt toegepast. Bij stof dat ontstaat door mechanische krachten (op-/overslag en processing van bulkmaterialen, mineralen en ertsen) is de PM_1 bijdrage aan het PM_{10} slechts ongeveer 10%. Als er een reinigingstechniek wordt toegepast dan is het verwijderingsrendement voor PM_{10} over het algemeen hoger dan voor PM_1 . Na reiniging zal het relatieve aandeel van PM_1 in de resterende PM_{10} emissie dan ook hoger zijn dan vóór de reiniging. Hetzelfde geldt in mindere mate voor het relatieve aandeel $PM_{2,5}$ in de PM_{10} emissie na toepassing van (extra) nageschakelde technieken. Als gemiddelde waarde voor de verandering van de fractieverhoudingen door toepassing van een (extra) nageschakelde techniek kan voor de verhouding $PM_{2,5}/PM_{10}$ uitgegaan worden van ongeveer 30% relatieve toename en voor PM_1/PM_{10} van ongeveer 60% relatieve toename. In absolute zin zijn de hoeveelheden van alle fracties natuurlijk wel afgenomen.

Wegens gebrek aan beschikbare gegevens kan deze opsplitsing niet voor iedere sector apart gemaakt worden.

Bij toepassing van aanvullende reinigingstechnieken op alle proces- en verbrandingsafgassen zou de totale resterende PM_{10} emissie van de industrie voor 60 á 70% bestaan uit $PM_{2,5}$ (dit is inclusief de diffuse emissies zonder maatregelen). Ter vergelijking: deze verhouding was ongeveer 50% voor de emissiesituatie in 1995-1998 (dus een

relatieve toename). In dat geval bestaan de proces- en verbrandings(rest)emissies vrijwel geheel uit $PM_{2,5}$. De totale industriële $PM_{2,5}$ -emissie zal dan wel met ca. 80% gereduceerd zijn. In dit scenario is geen rekening gehouden met de kosteneffectiviteit van de aanvullende reiniging bij de proces- en verbrandingsemissies.

5.2 Aanbevelingen

De centraal beschikbare informatie over de 'state of the art' van procestechnologie en emissiebestrijding in de Nederlandse industrie is gering. De informatie is alleen nog decentraal (vergunningen) beschikbaar. Daardoor is zijn alleen vrij algemene conclusies mogelijke in een studie als deze. Het verdient aanbeveling om na te gaan of de systematische verzameling van technische informatie over de Nederlandse bedrijven noodzakelijk is om het milieubeleid in de komende jaren vorm te kunnen geven.

In een eerder door TNO uitgevoerde studie is vastgesteld, dat het kosteneffectief reduceren van de industriële $PM_{2,5}$ -emissies met ca. 70% tevens de PM_{10} -emissie met ca. 50% reduceert. Om deze emissiereducties te kunnen bereiken zijn alle maatregelen met een kosteneffectiviteit tot ca. € 250,- per kg vermeden PM_{10} emissie meegenomen. De totale kosten bedragen dan ongeveer € 400 miljoen per jaar. De sectoren, die dan de hoogste kosten zullen hebben zijn achtereenvolgens: Raffinaderijen, Voeding, Bouwmaterialen, IJzer en staal. Dit wil echter niet zeggen, dat TNO van mening is dat een maatregel, die bijna € 250 per kg emissiereductie kost ook acceptabel zou moeten zijn voor de industrie. Tot nu toe geldt bijvoorbeeld, dat een maatregel om de emissie van totaal stof te reduceren volgens het ALARA principe in de NeR pas acceptabel is als de kosteneffectiviteit lager is dan € 2,30 per kg reductie (indicatieve referentiewaarde). Aanbevolen wordt om indicatieve referentiewaarden voor de kosteneffectiviteit van maatregelen in de industrie vast te stellen voor de reductie van de PM_{10} - en/of $PM_{2,5}$ -emissies.

Als de maatregelen vooral gericht worden op het kosteneffectief reduceren van de $PM_{2,5}$ emissie dan zijn de kosten voor de sector Voeding relatief lager ten opzichte van de andere genoemde sectoren (voor deze sector zijn veel maatregelen veel kosteneffectiever voor PM_{10} reductie dan voor de $PM_{2,5}$ reductie). In het genoemde rapport zijn tevens sectorbeschrijvingen opgenomen met sectorspecifieke aanvullende reductie-maatregelen. In een aantal gevallen kosten ook maatregelen om de diffuse emissies te reduceren (veel) minder dan € 250 per kg reductie. Dit betreft bijvoorbeeld de op- en overslag activiteiten en de emissies uit productiegebouwen.

Voor een verdere beperking van de stofemissies bij op- en overslag activiteiten met bulkmateriaal in de open lucht is niet alleen de toepassing van beschikbare BBT technieken belangrijk maar vooral ook het zorgvuldig werken volgens de voorschriften. De controle hierop (handhaving) vergt een extra inspanning van het bevoegd gezag. De handhaving kan effectiever plaatsvinden als er meer gebruik gemaakt wordt van online monitoring in combinatie met videobeelden om zichtbare stofontwikkeling te signaleren.

Bij productiegebouwen kan emissiereductie gerealiseerd worden door de vrijkomende emissies gericht af te zuigen in een afgasstroom, waarvan de hoeveelheid een factor 10 lager is dan die van de bouwventilatie, en deze afgasstroom vervolgens met een doekfilter te reinigen.

Aanbevolen wordt de aandacht in eerste instantie vooral te richten op mogelijke aanvullende maatregelen bij de sectoren Raffinaderijen, Bouwmaterialen, IJzer en Staal en Voeding.

6 Referenties

- 1 Compilation of Air Pollutant Emission factors, AP-42, Fifth Edition, EPA, 1996.
- 2 Fijn stof nader bekeken – De stand van zaken in het dossier fijn stof. RIVM. 2005.
- 3 Berdowski, J.J.M.; Particulate matter emissions (PM₁₀ – PM_{2.5} – PM_{0,1}) in Europe in 1990 and 1993. TNO rapport R 96/472, February 1997.
- 4 Kropf, R.; BUWAL 2001
- 5 Collette, T.M.S.; Industrieel fijn stof in Zeeland – Van probleem naar een aanzet tot beleid. Afstudeeropdracht WO Milieuwetenschappen. Provincie Zeeland. 22 december 2001.
- 6 Reinders, M.E.; Handbook emission factors, Part 2: Industrial sources. VROM (1983)
- 7 Kok, H.J.G.; Deeltjesgrootteverdeling, samenstelling en emissiereductie van stof bij intensieve veehouderij. Intern TNO-rapport in het kader van de doelfinanciering Fijnstof.
- 8 Aarnink, A.J.A. and Van der Hoek, K.W.; Opties voor reductie van fijn stof emissie uit de veehouderij. A&F-RIVM rapport 289. December 2004.
- 9 Chardon, W.J. en Van de Hoek, K.W.: Berekeningsmethode voor de emissie van fijn stof vanuit de landbouw. Alterra rapport 682, 2002.
- 10 Dutch notes on BAT for Pig- and Poultry Intensive Livestock Farming. VROM, 1999.
- 11 van Harmelen, A.K. en Kok, H.J.G.; Potentials and costs to reduce PM₁₀ and PM_{2.5} emissions from industrial sources in the Netherlands. TNO rapport, augustus 2002.
- 12 Smeets, W.L.M.; Actualisatie van de emissieraming van SO₂, NO_x, NH₃, NMVOS en fijn stof in 2010. RIVM/MNP report 500037007/2004.
- 13 Kok, H.J.G.; Bestrijding van emissies van stof en zware metalen naar de lucht. TNO-MEP rapport R97/252. Juli 1997.
- 14 Evaluation report on countermeasures for PM emission from diesel vehicles in use. JCAP Technical report PEC – 2000JC – 01. December 2000.
- 15 Diffuse emissies van fijn stof door (semi-)industriële activiteiten. Haskoning rapport G2442.A0/R004 d.d. 29 februari 2000.
- 16 Brouwers, J.J.H.; Efficient and economic dust separation from flue gas by the Rotational Particle Separator as an innovative technology for biomass combustion and gasification plants. Proceedings of the 10th European Bioenergy Conference. 8-11 June 1998, Würzburg, Germany.
- 17 BREF Large Combustion Plants. IPPC, July 2006.

7 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

SenterNovem
Postbus 93144
2509 AC Den Haag

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Ir. H.J.G. Kok

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

n.v.t.

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

december 2005 – oktober 2006

Ondertekening:



Ir. H.J.G. Kok
Projectleider

Goedgekeurd door:

b.a.


Ir. H.S. Buijtenhek
team manager

A Deeltjesgrootteverhoudingen voor en na reiniging

Ref.	Proces	Uitvoering	Ongereinigd (evt. na cycloon)			Praktijksituatie (na reiniging)		
			PM Verhouding			Reiniging	PM Verhouding	
			10/TPM	2.5/10	1/10		10/TPM	2.5/10
1b	Stationaire verbrandingsmotoren (cat. 1)	Gasolie en diesel	0,96	0,94	0,85			
1b	Verbranding (cat.2)	Gemengde brandstoffen	0,79	0,57	0,29			
1a	Fosfaat erts processing	oliegest. droger (+ cycloon)	0,58	0,3		(Cycl.+) wasser	0,97	0,9
1a	Staalgieterij (metaalschroot)	oliegest. open hearth oven	0,854	0,9		Elektrofilter	0,67	0,7
1a	Bagasse gestookte boiler					Wasser	0,97	0,5
3	Afvalverbranding					Elektrofilter		0,7
14	Afvalverbranding	huisvuil				ESP/doekfilter		0,7
15	Electriciteitscentrales	kolengestookt				moderne reiniging		0,75
	<i>Gemiddeld</i>		0,7	0,6	0,3		0,9	0,7
1b	Mechanisch ontstaan (cat.3)	Op/overslag en processing ruwe bulkmaterialen	0,51	0,29	0,08			
1a	Kolenreiniging	roterende droger	0,26	0,4		Multicycloon	0,47	0,6
1a	Fosfaat erts processing	ertsmolen +cycloon	0,62	0,3		(Cycl.+) doekfilter	0,9	0,3
1a	Primair aluminium productie	ertsoverslag				Cycl. + venturi	0,7	0,9
1a	Primair aluminium productie	erts in gesloten opslag				Doekfilter	0,68	0,7
	<i>Gemiddeld</i>		0,5	0,3	0,1		0,7	0,6
1b	Mechanisch ontstaan (cat.4)	Op/overslag en processing geproduceerde erts/mineralen	0,85	0,35	0,07			
1a	Accu productie	mixen/vullen loodoxide	1	0,8		Doekfilter	0,99	
1a	Cement	klinkerdroger	0,9			Multicycloon	0,57	0,3
1a	Cement	klinkerdroger	0,9			Multicycl./doekfilter	0,54	0,7
1a	Accu productie	loodoxide molen				Doekfilter	0,84	
	<i>Gemiddeld</i>		0,9	0,6	0,1		0,7	0,5

Ref.	Proces	Uitvoering	Ongereinigd (evt. na cycloon)			Praktijksituatie (na reiniging)		
			PM Verhouding			Reiniging	PM Verhouding	
			10/TPM	2.5/10	1/10		10/TPM	2.5/10
1b	Calcineren en andere hitte reactieprocessen (cat.5)	Bulkmaterialen en ruwe ertsen	0,53	0,34	0,11			
1	Cement	portland cement oven (droog)	0,42	0,4		Doekfilter	0,84	0,5
1	Primair aluminium productie	reductie cellen	0,45	0,6	0,35	Doekfilter (gecoat)		
1a	Calcineren fosfaaterts	oliegestookte calciner				Cycl.+ wasser	0,98	1,0
3	Aluminiumproductie	Pre-bake cel/ VSSC/ HSSC		0,55		Wasser + Elektrof.		0,45
3	Cementproductie					Elektrofilter		0,76
3	Staalindustrie	electric arc		0,74		Doekfilter		0,9
3	Staalindustrie	BOF				Doekfilter/Wasser		0,5
3	Staalindustrie	Open hearth oven		0,72		Elektrofilter		0,74
14	IJzer en staal industrie	sintermachines	0,75	0,7	0,65			
	<i>Gemiddeld</i>		<i>0,5</i>	<i>0,6</i>	<i>0,4</i>		<i>0,9</i>	<i>0,7</i>
1b	Graan overslag (cat.6)	Graan	0,15	0,07	0,00			
1b	Graan processing (cat.7)	Graan	0,61	0,38	0,13			
1b	Smelten en raffineren (cat.8)	Metalen/glas (excl. Aluminium)	0,92	0,89	0,78			
1	Primaire Metaalindustrie	Open hearth oven (smelten/raffinage)	0,83	0,7	0,3	Elektrofilter	0,53	0,7
1	Coke productie	coke voorverhitten	0,98	0,6	0,5	Hoge energie wasser	0,94	0,9
1	IJzergieterij	Cupola oven	0,9	0,9	0,7	Doekfilter	0,95	1,0
1	IJzergieterij	Cupola oven	0,9	0,9	0,7	Hoge energie wasser	0,78	1,0
1	Glasindustrie	smeltoven	0,95	1,0		Elektrofilter	0,75	0,7
5	Aluminium productie	Elektrolyse oven				Doekfilter	1	0,83
	<i>Gemiddeld</i>		<i>0,9</i>	<i>0,8</i>	<i>0,6</i>		<i>0,8</i>	<i>0,9</i>
1b	Condensatie, absorptie, sproei-drogen, distillatie (cat.9)	Melkpoeder, kunstmest, coke ovens	0,94	0,83	0,64			
1a	Kolenreiniging	therm. droger (+ cycloon)	0,96	0,4		Wasser	0,91	0,6
5	Voedingsmiddelen-industrie	Zetmeeldroger				Multicycloon	1	0,54
5	Kunstmestproductie	Granulator				Wasser	0,99	0,99
	<i>Gemiddeld</i>		<i>1,0</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>		<i>0,9</i>	<i>0,7</i>