

Rapport nr. 758473003

VOORSTUDIE BASISDOCUMENT GROF STOF

W.Slooff (ed.)

juni 1987

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEUHYGIENE  
BILTHOVEN

Rapport nr. 758473003

VOORSTUDIE BASISDOCUMENT GROF STOF

W.Slooff (ed.)

juni 1987

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht en ten laste van de Directie  
Bodem, Water, Stoffen van het Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne

Auteurs

Dr. W. Slooff (ed), Drs. C.A. van der Heijden, Mw. Dr. E. Heijna-Merkus, A.J.C.M. Matthijsen, Ir. P.J.A. Rombout (RIVM); Ing. J. den Boeft, Dr. J.A. Duiser, Ir. N.J. Duijm, Drs. J.C.T. Hollander, Drs. P.F.J. van der Most (TNO).

Uitvoerende organisatie

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM); Nederlandse Organisatie voor Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO).

Begeleidingscommissie

Ir. H.L.T.M. Wijnen (projectcoördinator), Ir. A. Blom, Ir. J.P. Cornet, Drs. A.W. van der Wielen, Ing. M. Koopman, Dr. K.R. Krijgsheld.

Opdrachtgever

Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Contactadres

Ministerie van VROM, Directie Bodem Water Stoffen, Postbus 450, 2260 MB Leidschendam, tel. 070-209367.

Samenvatting

Dit rapport is een voorstudie t.b.v. het mogelijk opstellen van een basisdocument grof stof in het kader van het effectgericht milieubeleid.

<u>INHOUD</u>	<u>Blz.</u>
INLEIDING	3
1. DEFINITIES EN NORMEN	4
1.1 Definities	4
1.2 Normen	6
1.3 Conclusies	7
2. BRONNEN EN EMISSIES	8
2.1 Inleiding	8
2.2 Bronnen en emissies	8
2.2.1 Natuurlijke bronnen en emissies	8
2.2.2 Industriële emissies	9
2.2.3 Niet industriële emissies	10
2.2.4 Samenvatting emissies in Nederland	13
2.3 Frequentie van de emissies en nauwkeurigheid van de gegevens	17
2.4 Emissiefactoren	17
3. VERSPREIDING IN HET MILIEU	21
3.1 Depositiesnelheid en valsnelheid	21
3.2 Verspreidingsberekeningen	24
3.2.1 Voorbeeld 1: kolenstof	25
3.2.2 Voorbeeld 2: mengvoederfabriek	34
3.3 Samenvatting en conclusies	38
4. CONCENTRATIES IN HET MILIEU	40
5. EFFECTEN	42
5.1 Gezondheidseffecten	42
5.2 Hinder	42
5.3 Effecten op materialen	47
6. MEETMETHODEN	50
6.1 Inleiding	50
6.2 Concentratieingen	51
6.3 Depositieingen	54
7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	59
8. REFERENTIES	61

## INLEIDING

Gezien de problematiek aangaande het stellen van milieukwaliteitseisen voor stof, zoals ook gebleken is uit recente discussies binnen de WHO en EEG, is besloten een probleemverkenning uit te voeren naar de haalbaarheid en hanterbaarheid van een effect-gerichte normstelling voor grof stof, zowel in termen van gezondheidsschadelijkheid als in termen van hinder en aantasting. In dit kader dient het onderhavig rapport beschouwd te worden als een voorstudie met betrekking tot een mogelijk op te stellen basisdocument. Als zodanig is zoveel mogelijk de structuur van een basisdocument gevolgd en is vooral aandacht besteed aan het aangeven van de beleidsmogelijkheden voor het realiseren van een normering cq. regelgeving inzake grof stof in buitenlucht.

Een belangrijk aansluitpunt wordt hierbij gevormd door het criteriadocument fijn stof en de reactie daarop van adviesraden.

Onderhavig document werd voor een belangrijk deel opgesteld door de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) met bijdragen van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), onder leiding van het RIVM.

## 1. DEFINITIES EN NORMEN

De effecten van zwevend stof in de atmosfeer komen op twee manieren tot stand:

- door (actief) aspiratie (inademing) waarmee een dosis wordt ontvangen die evenredig is met de massaconcentratie van het zwevend stof;
- door depositie (sedimentatie, impactie en interceptie), waarmee een geëxposeerd object passief een dosis ontvangt die evenredig is aan de depositieflux.

De depositieflux is weliswaar gekoppeld aan de concentratie via de depositiesnelheid van de zwevende deeltjes, maar dit resulteert niet in een eenvoudige relatie omdat de depositiesnelheid sterk afhankelijk is van de grootte van de deeltjes en verder van hun dichtheid en van meteorologische parameters.

Afhankelijk van de beschermende intentie van een norm voor zwevend stof komen dus in beginsel zowel een concentratie- als een depositienorm in aanmerking. Daarbij kan opgemerkt worden dat de concentratie een directere relatie met de bronsterkte heeft dan de depositieflux, ten gevolge van de hierboven reeds genoemde complexe depositiesnelheid. Zeker wanneer ten behoeve van de effect-relevantie de depositie wordt uitgedrukt in van de depositieflux afgeleide grootheden (zoals bedekkingsgraad voor vervuiling) is de relatie tussen bronsterkte en effectmetende parameter van nog meer variabelen afhankelijk, dus indirecter en verre van eenvoudig te modelleren. Daarnaast zullen de effecten afhankelijk zijn van de fysische en chemische eigenschappen van het stof, wat aanleiding zou kunnen zijn tot stof specifieke normen. Asbest is hiervan een bekend voorbeeld.

### 1.1 DEFINITIES

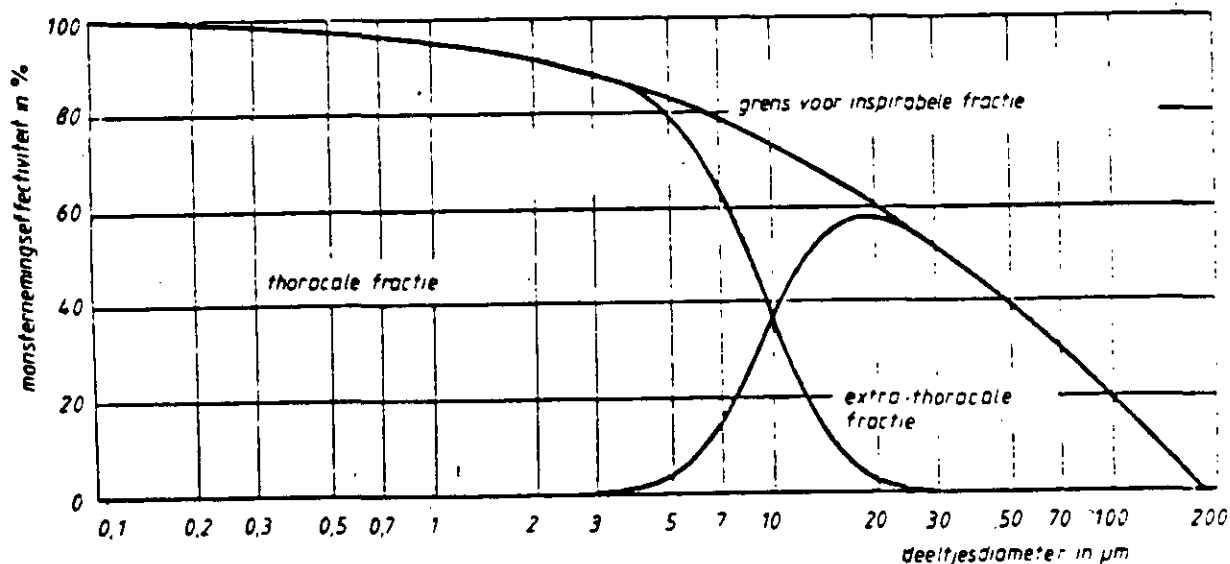
De massaconcentratie van zwevend stof als functie van de diameter van de deeltjes (deeltjesgrootte verdeling) in de buitenlucht vertoont in het algemeen drie maxima; de verdeling heeft drie takken, in het engels "modes" genoemd. De nucleatietak bevat de kleinste deeltjes (diameters kleiner dan 0,1  $\mu\text{m}$ ) en vertegenwoordigt, behoudens zeer speciale gevallen, een verwaarloosbare massa. De tweede tak, de accumulatie-tak (diameters tussen 0,1 en 2  $\mu\text{m}$ ), vertegenwoordigt een aanzienlijke fractie van de totale zwevende stof

massa evenals de derde tak, de grove deeltjes tak (diameters groter dan 2  $\mu\text{m}$ ). De bovengrens van de diameters van zwevend stof deeltjes wordt bepaald door de snelle toename van de valsnelheid met de diameter, ruw gesproken met het kwadraat van de diameter ( $0,43 \text{ cm.s}^{-1}$  voor  $d = 10 \mu\text{m}$  en  $6,87 \text{ cm.s}^{-1}$  voor  $d = 40 \mu\text{m}$ ; zie ook tabel 3.1), zodat deeltjes groter dan enkele honderden  $\mu\text{m}$  praktisch niet zwevend voorkomen op enige afstand tot een emissiebron.

In de aërosolfysica is het gebruikelijk de eerste en tweede tak samen de fijne deeltjes te noemen.

Ten aanzien van de effecten is het laten samenvallen van fijn en grof stof met de hierboven genoemde fijne en grove deeltjes niet de meest gelukkige keuze (dus met een scheiding bij 2  $\mu\text{m}$ ).

In het criteriadocument fijn stof is als bovengrens voor deze fractie dan ook de thoracale fractie volgens de ISO-conventie met een  $d_{50}$  van 10  $\mu\text{m}$  en een bovenste afsnijdiameter ( $d_0$ ) van  $\sim 25 \mu\text{m}$  gekozen. De curve is in figuur 1.1 weergegeven.



Figuur 1.1 Monsternemingsconventies voor inspiratie, thoracaal en extra thoracaal stof volgens ISO.

De argumenten die tot die keuze geleid hebben waren van meet-technische aard, hadden betrekking op de herkomst van het stof en op de gezondheidsrelevantie.

Wanneer in aansluiting daarop de bovengrens voor fijn stof als ondergrens voor de grof stof fractie wordt gekozen, zijn dezelfde argumenten van kracht, en ontstaat een consistent geheel.

Voor de fijne fractie van het zwevend stof zullen de concentratie-afhankelijke effecten dominant zijn, terwijl voor de grove fractie de depositie-afhankelijke effecten zullen domineren.

Een keuze voor de bovengrens hoeft eigenlijk niet gemaakt te worden, gelet op de snelle afname van de concentratie met toenemende diameter van de deeltjes, en overeenkomstig het niet definiëren van een diameter ondergrens voor fijn stof. Eventueel kan een (betrekkelijk arbitraire) grens van enkele honderden  $\mu\text{m}$  worden gekozen. Ook kan een bovengrens worden gekozen die samenhangt met de maximale diameter van deeltjes die met realistische meetmiddelen nog te bemonsteren zijn.

Bovenstaande definiering betekent in feite: grof stof is totaal stof minus fijn stof. Daarmee wordt aangesloten op de lang bestaande praktijk van totaal stof meting en de zich sterk doorzettende tendens naar fijn stof meting (conform criteriadocument fijn stof).

Een dergelijke definitie houdt niet automatisch in dat volstaan kan worden met een norm voor totaal stof en fijn stof. Dit zou leiden tot een budgeteringsprobleem: de totaal toelaatbare grof stof belasting zou afhankelijk worden van de heersende fijn stof belasting. Een onafhankelijke formulering voor fijn en grof stof verdient de voorkeur.

## 1.2 NORMEN

De bestaande normen en richtlijnen voor de concentraties van zwevend stof in diverse landen dienen zonder uitzonderingen ter bescherming van de gezondheid. Soms (bijv. in de VS) wordt naast deze primaire norm een secundaire concentratienorm gehanteerd met een meer algemeen milieu beschermend karakter. In enkele landen worden daarnaast normen of richtwaarden gehanteerd voor de depositie van zwevend stof. Deze hebben een algemene milieu beschermende functie.

Specificaties van de te meten fractie van het zwevend stof in termen van grof, fijn of totaal, met de daarbij behorende definities ontbreken meestal. In plaats daarvan wordt de meetmethode voorgeschreven waaruit afgeleid kan worden welke fractie van het stof bemonsterd wordt, of geacht wordt bemonsterd te worden.

Voor de concentratiemetingen overheersen de zwarteroekmethode en de EPA-High volume methode. Bij de eerste ligt het accent op de fijn stof fractie; de tweede methode wordt geacht het totaal stof te meten. In de Verenigde Staten worden richtlijnen voorbereid voor de concentratie aan fijn stof met  $d < 10 \mu\text{m}$ .



De richtlijn van de EG laat de keuze open tussen de zwarterookmethode of een gravimetrische methode waarvoor een aantal minimum eisen geformuleerd worden. Met betrekking tot de deeltjes grootte wordt aangegeven dat het filter een nuttig effect moet hebben van meer dan 99% voor deeltjes met een aërodynamische diameter van 0,3 µm. De bemonsterde fractie van het zwevend stof wordt verder bepaald door enkele voorwaarden ten aanzien van aanzuigsnelheid en geometrie van het apparaat die een ruime spreiding van de afsnijdiameter toelaten. In de BRD wordt onder totaal stof al het stof verstaan zoals dat met het zogenaamde "KleinfILTERgerät" GS050 bemonsterd wordt. Dit "Gesamt Staub" hoeft niet overeen te komen met het "Total suspended Particulates" van de EPA-High volume monsternemer.

In alle gevallen worden monsternemingsperioden van 24 uur voorgeschreven. De normen en richtwaarden betreffen jaargemiddelden (rekenkundig of meetkundig) en hogere percentielen (95 of 98) of maximale 24-uursgemiddelden.

Voor de depositienormen geldt een min of meer analoge situatie. De voorgeschreven depositievanger bepaalt (meer of meestal minder goed bekend) de bemonsterde stoffractie. Gelet op het vangstrendement van deze monsternemers en de hogere sedimentatiesnelheid mag een overheersende bijdrage van de grof stof fractie verwacht worden. Meestal betreft het een gestandaardiseerd verzamelvat met trechter. De monsternemingsperiode is een maand en de analyse gravimetrisch. De normen of richtwaarden betreffen het jaargemiddelde van de maandmonsters en de maximaal toegelaten depositie in het maandmonster.

### 1.3 CONCLUSIES

Grof stof kan het best gedefinieerd worden door de bovengrens van fijn stof als ondergrens van de grof stof fractie te kiezen. Hierdoor ontstaat een globale scheiding van concentratie-afhankelijke gezondheidseffecten (dominant voor de fijne fractie) en depositie-afhankelijke meer algemene milieueffecten (dominant voor de grove fractie). Daarnaast biedt het de mogelijkheid voor een consistente meetpraktijk.

De huidige normen en richtwaarden voor de concentraties van zwevend stof zijn voornamelijk gebaseerd op gezondheidseffecten. Er is weinig eenheid en duidelijkheid in de te bemonsteren stoffracties. Deze worden bepaald door de beperkte mogelijkheden van de monsternemingsapparatuur.

## 2. BRONNEN EN EMISSIES

### 2.1 INLEIDING

De in dit hoofdstuk opgenomen gegevens zijn gebaseerd op de emissieregistratiegegevens uit de eerste en tweede ronde (Emissieregistratie 1974-1984) aangevuld met literatuurgegevens. De inzichten over stofemissie en de verdeling van de deeltjesgrootten binnen een bepaalde emissie zijn de laatste jaren veranderd en verdiept. Ook de gebruikte meetmethoden zijn verbeterd. Hierdoor was het mogelijk voor grote emissies die in eerste instantie als "stof, deeltjesgrootte onbekend" waren geregistreerd, onderscheid te maken tussen fijn stof en grof stof. Deze wijzigingen zijn, samen met herzieningen op basis van de tweede ronde van de emissieregistratie, samengevat door Mulder (1985). Ook de inzichten in de stofemissies uit dieselmotoren zijn door nieuw onderzoek in West-Duitsland sterk gewijzigd (UBA, 1983). Gezien het lokale karakter van de emissie en van de verspreiding daarvan, is het weinig zinvol om een inventarisatie op te stellen van bronnen in het buitenland (zie ook hfdst. 3).

### 2.2 BRONNEN EN EMISSIES

#### 2.2.1 Natuurlijke bronnen en emissies

##### Bosbranden

Voor bosbranden is een emissiefactor van 75 kg stof per ton hout gepubliceerd (EPS, 1983). Bij een houtproduktie van 22 ton per ha (EPS, 1983) levert dit een factor van 1,65 ton per ha. Volgens mededelingen van Staatsbosbeheer (Ritskes, 1985) verbrandt gemiddeld ongeveer 50 ha bos per jaar (10-1000 ha, afhankelijk van natte, dan wel droge zomers). Dit levert een stofemissie van ongeveer 100 ton waarvan 50 ton grof stof.

##### Zeewateraërosolen

De deeltjesgrootte van zeewateraërosolen is voor een groot deel minder dan 10 micron. De emissie is beperkt tot de kuststrook en is op een afstand van 10 km van de kust reeds gering. Een kwantificering van de grootte van de betrokken emissies is op dit moment niet mogelijk (Winchester, 1981; van de Vate et al., 1982; Blanchard, 1985).

### Erosie door wind

Erosie door wind kan in droge onbegroeide gebieden tot grote stofemissies aanleiding geven (vooral in veenkoloniën, noord en midden Limburg en Noord-Brabant). Vooral grondsoorten als zand en löss (deeltjes diameter < 0,8 µm) kunnen onder deze omstandigheden sterk stuiven. Kwetsbare perioden zijn vooral de winter en het vroege voorjaar. In Nederland levert erosie door wind slechts zelden, en dan zeer lokaal, een bijdrage aan de grofstofemissie. Kwantitatieve gegevens voor de Nederlandse situatie zijn niet beschikbaar. Ook over de lokale emissies van (schaarse) onverharde wegen en militaire oefenterreinen zijn geen kwantitatieve gegevens bekend.

### Stuifmeelemisssies

Over de grootte van stuifmeelemisssies van zowel produktie als niet-produktie gewassen is weinig bekend. Door extrapolatie van enkele metingen in een stedelijk gebied wordt de emissie op minimaal 3 ton geschat.

Voor de niet-produktiegewassen was de verdeling naar herkomst:

- grassen 50%
- bomen 45%
- overige gewassen 5%

### 2.2.2 Industriële emissies in Nederland

Hoofdzakelijk door gebruikmaking van emissiefactoren wordt de totale industriële grof stof emissie op 27000 ton geschat, afkomstig uit ongeveer 500 bedrijven. Hiervan waren 15000 ton procesemissies en 12000 ton op- en overslagemissies. Tabel 2.1 geeft hiervan de verdeling naar activiteit. In de tabellen 2.2 t/m 2.6 worden deze emissies, tezamen met de natuurlijke emissies en niet-industriële emissies verdeeld naar emissieoorzaak, naar aard en toegepaste bestrijding, en naar locatie.

Tabel 2.1 Emissies van grof stof in Nederland per activiteit in 1981, in ton per jaar (bedrijfsgroepen indeling volgens CBS).

Bedrijfsgroep	Emissie
Voedings- en genotmiddelenindustrie	4000
Vezelindustrie	0
Aardolie-industrie	300
Chemische industrie	500
Kunstmeststoffenindustrie	600
Chemische grondstoffen- en produktenindustrie	2400
Rubber- en kunststofverwerkende industrie	0
Bouwmaterialenindustrie	1000
Basismetaal-/metaalproduktenindustrie	3500
Machine-/elektrotechnische industrie	200
Transportmiddelenindustrie	2200
Overige be- en verwerkende industrie	500
Elektriciteitsbedrijven	0
Laad-, los- en overslagbedrijven	11500
Afvalverwerkingsbedrijven	0
Niet ingedeeld bij een bedrijfsgroep	<u>200</u>
Totaal	26900

### 2.2.3 Niet-industriële emissies in Nederland

Niet-industriële activiteiten zijn vaak primaire bronnen van stofemissies. Een diffuse bron vormt het wegverkeer (aërosolen uit dieselmotoren). Plaatselijk kunnen ook de scheepvaart en de spoorwegen bijdragen geven. Ook ruimteverwarming, bouw- en sloopactiviteiten en kunstmestgebruik leveren een bijdrage.

#### Wegverkeer - uitlaatgassen

De emissiefactoren voor stof uit dieselmotoren zijn kort geleden sterk gewijzigd als gevolg van het beschikbaar komen van de resultaten van een Duits onderzoek (UBA, 1983). Het deel van de uitlaatgassen dat als "deeltjes" gemeten werd bleek ongeveer een factor vijf hoger te zijn dan tot dusver werd

aangenomen. Wel bestaat deze fractie slechts voor 20% uit roet. Over de andere 80% zijn weinig gegevens gepubliceerd. Vermoedelijk bestaat een groot deel uit aërosolen van onverbrande koolwaterstoffen. In overleg met het Centraal Bureau voor de Statistiek en het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO is besloten de Duitse gegevens voorlopig toe te passen op de Nederlandse situatie. Wel moet worden opgemerkt dat de Duitse metingen slechts aan een vrachtauto van een voor Nederland minder representatief type zijn uitgevoerd. Nader onderzoek aan voor Nederland meer representatieve motoren is dan ook gewenst. Met behulp van de Duitse factoren zijn door het CBS de emissies in Nederland voor 1982 berekend en gepubliceerd (CBS, 1985). Deze emissies zijn ook voor 1981 representatief.

Het stof in uitlaatgassen bevat ongeveer 10% grof stof (Rijkeboer, 1979; Ganley en Springer, 1974).

De stofemissies door uitlaatgassen van wegverkeer bedroegen volgens het CBS in 1982 23300 ton waarvan 20000 ton uit dieselmotoren, 2900 ton uit benzine-motoren, en 400 ton uit L.P.G.-motoren. De grof stof emissie bedroeg dus 2330 ton.

#### Bandenslijtage en slijtage van wegdek

Aangenomen is dat deze bronnen uitsluitend fijn stof produceren.

#### Binnenscheepvaart-uitlaatgassen

De emissiefactoren voor de binnenvaart zijn afgeleid van de factoren voor zware vrachtauto's met dieselmotor. Aangezien de stofemissiefactoren voor deze categorie motoren op grond van het onder wegverkeer genoemde Duitse onderzoek een factor vijf verhoogd zijn, is de oorspronkelijk voor scheepvaart berekende emissie verhoogd tot 8000 ton waarvan 800 ton grof stof.

#### Overig verkeer

Voor zeevaart en luchtvaart worden de oude emissiefactoren aangehouden (VROM, 1981). De met deze factoren berekende hoeveelheden bedragen respectievelijk 1000 ton en 200 ton waarvan 100 ton en 50 ton grof stof. Voor spoorwegdiesels zijn de emissiefactoren eveneens van zware vrachtauto's afgeleid, zodat ook hier een verhoging nodig is. De totale emissie wordt geschat op ongeveer 200 ton waarvan 50 ton grof stof.

De emissie ten gevolge van slijtage van remblokken en van vonkerosie van bovenleidingen (van Markesteijn, 1976) bestaat volledig uit fijn stof.

#### Ruimteverwarming van woningen

De aard en hoeveelheid van de voor ruimteverwarming gebruikte brandstoffen wordt door het CBS jaarlijks gepubliceerd (CBS, 1984). Op basis van deze hoeveelheden en de onder 2.4 vermelde emissiefactoren is een stofemissie van 1400 ton berekend, waarvan 600 ton grof stof, hoofdzakelijk afkomstig uit verbranding van kolen.

#### Overige ruimteverwarming

De voor verwarming van andere ruimten gebruikte hoeveelheden brandstof zijn eveneens door het CBS gepubliceerd. De emissies hieruit bedragen ongeveer 1600 ton waarvan 500 ton grof stof.

Allesbranders en openhaarden worden steeds meer toegepast. Gegevens over de gebruikte hoeveelheden brandstof zijn niet beschikbaar. Korevaar (1985) schat de totale hoeveelheid stof uit allesbranders op 1000-3500 ton per jaar. De emissie uit openhaarden zou in dezelfde ordegrootte kunnen liggen. Wanneer de emissie geschat wordt op 4000 ton en aangenomen wordt dat 50% hiervan grof stof is, volgt hieruit een bijdrage van ongeveer 2000 ton.

#### Roken van sigaretten

Aangenomen is dat de stofemissie uit sigarettenrook uitsluitend uit fijn stof bestaat.

#### Branden in en van gebouwen

In Nederland vinden per jaar gemiddeld ongeveer 12.000 branden in en van gebouwen plaats (CBS, 1983). Bij een emissiefactor van 0,09 ton stof per brand (EPS, 1983) levert dit een emissie van ongeveer 1000 ton stof. Aangenomen wordt dat hiervan ongeveer 50% grof stof is. De grof-stofemissie bedraagt dus 500 ton.

#### Overige branden

Over branden op opslagterreinen, branden in voertuigen en schepen en verbranding van landbouwafval is te weinig detailinformatie bekend om tot een verantwoorde schatting te komen.

#### Bouw- en sloopactiviteiten

Bouw- (waaronder ook wegenbouw-) en sloopactiviteiten zullen vanwege het karakter van de werkzaamheden incidenteel en plaatselijk bijdragen leveren. Kwantitatieve gegevens ontbreken.

Kunstmestgebruik

De emissiefactor voor het verspreiden van kunstmest bedraagt 2 kg stof per ton (CBS, 1983). Bij een kunstmestgebruik van 680.000 ton per jaar levert dit een stofemissie van ca. 1400 ton, voor 90% bestaande uit grof stof. Dit levert een grofstofemissie van ongeveer 1300 ton.

2.2.4 Samenvatting emissies in Nederland

In de tabellen 2.2 t/m 2.5 zijn de grof-stofemissies in Nederland samengevat, verdeeld naar emissieoorzaak, naar aard en toegepaste bestrijding en naar locatie.

Tabel 2.2 Emissies van grof stof in Nederland naar oorzaak in ton per jaar (1981).

Emissieoorzaak	Emissie	Percentage
Industriële verbrandingsemissies	300	1,0
Op- en overslag	11.500	32,5
Overige procesemissies	15.400	43,5
Wegverkeer	2.300	6,5
Overig verkeer	900	2,5
Ruimteverwarming	3.100	9,0
Branden	550	1,5
Kunstmest	1.300	3,5
Erosie en zeewateraërosolen	p.m.	-
Stuifmeel	3	0
	35.353	100

Tabel 2.3 Vergelijking van de hoeveelheden fijn stof en grof stof in Nederland in ton per jaar (1981).

Emissieoorzaak	Fijn stof	Grof stof
Industriële emissies	48.000	27.200
Niet- industriële emissies	54.000	8.153
Totaal	102.000	35.353

Tabel 2.4 Emissies van grof stof in Nederland naar aard en bestrijding (1981).

Industriële emissies per stofgroep	Emissies in ton per jaar			Emissies in % van de stofgroep		Emissies in % van totale grof stof emissie		
	zonder	met	totaal	zonder	met	zonder	met	totaal
	bestrij- ding	bestrij- ding		bestrij- ding	bestrij- ding	bestrij- ding	bestrij- ding	
<b>Organische verbindingen</b>								
organische stikstofverbindingen	30	70	100	30	70	0,1	0,3	0,4
plantaardige- en dierlijke produkten	8.220	1.680	9.900	83	17	30,2	6,2	36,4
hoogmoleculaire stoffen	90	170	260	35	65	0,3	0,6	1,0
<b>Anorganische verbindingen van</b>								
natrium, kalium en aluminium	1.120	30	1.150	97	3	4,1	0,1	4,2
calcium, magnesium en silicium	1.030	20	1.050	98	2	3,8	0,1	3,9
borium	-	15	15	-	100	-	0,1	0,1
koper, ijzer en zink	1.700	350	2.050	83	17	6,3	1,3	7,5
stikstof, fosfor en zwavel n.e.g.	605	320	925	65	35	2,2	1,2	3,4
Ertsen en mineralen	6.600	1.800	8.400	79	21	24,3	6,6	30,9
Stof niet nader bekend	2.650	400	3.050	87	13	8,7	1,5	11,2
Emissies t.g.v. verbrandingsprocessen	300	-	300	100	-	1,1	-	1,1
<b>Subtotaal</b>	<b>22.345</b>	<b>4.855</b>	<b>27.200</b>			<b>82,1</b>	<b>17,9</b>	<b>100</b>
<b>Overige emissies</b>	<b>7.150</b>	<b>-</b>	<b>7.150</b>					
<b>Totaal</b>	<b>29.495</b>	<b>4.855</b>	<b>34.350</b>					



Tabel 2.5 Emissies van grof stof in Nederland per provincie in ton per jaar (1981).

Stofgroep	Provincie*											Totaal	
	Gronin- gen	Fries- land	Drenthe	Over- ijssel	Gelder- land	Noord- Holland	Zuid- Holland	Utrecht	Limburg	Noord- Brabant	Zee- land		Zuid. IJssel- Polder
<b>Industriële emissies</b>													
Organische verbindingen													
organische stikstofverbindingen	-	-	-	-	-	-	0	-	100	-	0	100	
plantaardige- en dierlijke produkten	200	250	600	950	500	2650	3400	100	200	800	250	9900	
hoogmoleculaire stoffen	-	-	0	-	-	50	50	-	100	50	0	260	
Anorganische verbindingen van													
natrium, kalium en aluminium	400	-	-	0	0	50	450	-	-	-	250	1150	
calcium, magnesium en silicium	450	-	-	-	50	200	100	0	150	-	100	1050	
borium	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	15	
koper, ijzer en zink	0	-	0	0	100	950	850	-	50	0	50	2050	
stikstof, fosfor en zwavel n.e.g.	-	0	0	-	-	50	50	0	300	0	450	925	
Ertsen en mineralen	0	-	-	0	0	1400	6200	0	50	250	450	8400	
Stof niet nader bekend	300	0	-	0	100	900	950	0	50	100	650	3050	
Emissies t.g.v. verbrandingsprocessen	-	-	200	-	-	0	100	-	-	-	-	300	
<b>Subtotaal</b>	<b>1350</b>	<b>250</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>	<b>750</b>	<b>6250</b>	<b>12200</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>1250</b>	<b>2250</b>	<b>27200</b>	
<b>Overige</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>400</b>	<b>600</b>	<b>950</b>	<b>750</b>	<b>950</b>	<b>350</b>	<b>600</b>	<b>900</b>	<b>400</b>	<b>150</b>	<b>7150</b>
<b>Totaal</b>	<b>1850</b>	<b>850</b>	<b>1200</b>	<b>1600</b>	<b>1700</b>	<b>7000</b>	<b>13150</b>	<b>450</b>	<b>1600</b>	<b>2150</b>	<b>2650</b>	<b>150</b>	<b>34350</b>

\* Als gevolg van de toegepaste afrondingen is de som van de hoeveelheden per provincie of per stofgroep niet altijd gelijk aan de totaalcijfers.

Tabel 2.6 Overzicht van de in tabel 2.4 en 2.5 samengenomen stoffen.

Stofgroep	Stof	Percentage van de emissie binnen de stofgroep
Organische stikstofverbindingen	ureum	32
	caprolactam	68
Plantaardige en dierlijke produkten	granen en meel	27
	sojabonen	7
	mengvoeders	20
	melk- en weipoeder	3
	overige produkten	63
Hoogmoleculaire stoffen	niet opgesplitst	
<u>Anorganische verbindingen van</u>		
- natrium, kalium en aluminium	natriumchloride	7
	aluminiumoxide	83
	aluminiumfluoride	4
	overige produkten	6
- calcium, magnesium en silicium	calciumcarbonaat	40
	calciumoxide	7
	calciumsulfaat	5
	silicaten niet nader bekend	42
	overige produkten	6
- borium	boorverbindingen	100
- koper, ijzer en zink	roest	43
	overige ijzerverbindingen	16
	zinkoxide en andere zinkverbindingen	3
	koperslak	38
- stikstof, fosfor en zwavelverbindingen	NPK kunstmest	35
	kalk ammonsalpeter	15
	calciumfosfaten	41
	calciumfluoride	5
	overige produkten	6
Ertsen en mineralen	ijzererts	15
	fosfaaterts	48
	zinkerts	3
	steenkool	21
	siliciumoxide	9
	overige produkten	4
Stof niet nader bekend	cokesstof	28
	cement	6
	grafiet	9
	stof van snijden en gutsen	13
	overige produkten	64

### 2.3 FREQUENTIE VAN DE EMISSIES EN NAUWKEURIGHEID VAN DE GEGEVENS

De industriële procesemissies hebben meestal een min of meer continu karakter. De emissies door verbrandingsprocessen ondervinden een zekere seizoensinvloed, zij het dat deze minder geprononceerd is als bij de ruimteverwarmingsemisssies. Wel kan worden opgemerkt dat bij langdurige vorstperioden de centrales meestal op olie overschakelen waardoor de emissies aanzienlijk hoger worden. Gezien de nauwkeurigheid van de gebruikte meettechnieken en de soms beperkte inzichten in de deeltjesgrootteverdeling zal de onnauwkeurigheid van gegevens over de industriële emissies meestal 20-50% bedragen.

De emissies door ruimteverwarming vertonen een duidelijk seizoenseffect.

De frequentie van de verkeersemisssies loopt uiteraard parallel met de bekende intensiteitsverdelingen. De emissies door dieselmotoren zijn berekend uit de resultaten van nauwkeurige metingen aan een zeer gering aantal voertuigen. De nauwkeurigheid wordt bepaald door de mate waarin de gebruikte motoren representatief zijn voor het Nederlandse autopark.

De onnauwkeurigheid van emissiefactoren voor verbrandingsmotoren en ruimteverwarming wordt geschat op ongeveer 20%. De onnauwkeurigheid van de natuurlijke emissies en de emissies door branden en kunstmestgebruik wordt geschat op ca. 100%.

### 2.4 EMISSIEFACTOREN

#### Verbranding van fossiele brandstoffen

De emissiefactoren voor verbranding van fossiele brandstoffen zijn in tabel 2.7 weergegeven.

Tabel 2.7 Emissiefactoren voor de verbranding van fossiele brandstoffen  
(ontleend aan UBA, 1980 en VROM, 1981).

Brandstof	Sector	Emissie g.GJ <sup>-1</sup>	Percentage grof stof	Stookwaarde MJ.kg <sup>-1</sup>
Steenkool	centrales	40*	0	26,4
Steenkool	industrie	330	70	26,4
Steenkool	overig gebruik	510	70	26,4
Zware olie	centrales	25*	10	41
Zware olie	industrie	50	10	41
Zware olie	overig gebruik	58	10	41
Lichte olie	alle gebruik	7	10	42,5
Aardgas	alle gebruik	0,3	0	31,65
Hout	industrie	970	50	15,5
Hout	overig gebruik	3000	50	15,5

\* Voor Nederland bedragen de factoren bij centrales voor steenkool 13 gram per GJ en voor zware olie 20 gram per GJ (KEMA, 1985).

#### Vuilverbranding

De stofemissie door vuilverbranding wordt in sterke mate bepaald door het verbrandingsprocédé en de toegepaste rookgasreinigingstechniek. De emissie bedraagt 0,5-1 kg stof per ton huisvuil (VROM, 1983; Waqué, 1984), hoofdzakelijk fijn stof.

#### Prillen van kunstmest

Bij het prillen van ureum bedraagt de emissie 0,6-1,5 kg stof per ton ureum (VROM, 1983) waarvan 2% grof stof.

#### Sinterprocessen

Voor sinterprocessen zijn de volgende emissiefactoren gepubliceerd (VROM, 1983):

Cokesstof	: 0,05-0,1 kg per ton sinter
Ertstof	: 5-15 kg per ton sinter (onbestreden)
Ertstof	: 0,5-1 kg per ton sinter (bestreden)
Calciumcarbonaat en dolomiet	: 0,3-1 kg per ton sinter.

De emissies die na bestrijding overblijven bestaan geheel uit fijn stof.

### Op- en overslag

De emissiefactoren voor op- en overslag zijn in sterke mate afhankelijk van de stuifgevoeligheid van het betrokken produkt. Afhankelijk van de stuifgevoeligheidsklasse bedraagt de emissiefactor 0,01 tot 1 promille van de overgeslagen hoeveelheid.

Emissiefactoren per soort stof, waardoor een meer verfijnde berekening mogelijk is zijn door Mulder (1985) verzameld. Een belangrijke bijdrage wordt geleverd door granen; graanderivaten en tapioca. Het gehalte aan grof stof bedraagt 80-90%.

### Elektrolyseprocessen

De emissiefactoren voor de fosforproduktie bedragen 5-35 kg fosfaaterts per ton fosfor. Daarnaast wordt 0,3-0,6 kg calciumsilicaat per ton fosfor geëmitteerd (VROM, 1983).

Voor de aluminiumfabricage gelden de volgende emissiefactoren:

3,8 kg aluminiumoxide	per ton aluminium	(80% grof stof)
0,5-1 kg cokes	" " "	(80-90% grof stof)
0,8-2 kg aluminiumfluoride	" "	(10% grof stof)

### Cokesproduktie

Hiervoor wordt een factor van 1 kg stof (volledig fijn stof) per ton cokes gehanteerd (VROM, 1983).

### Gieterijen

Emissiefactoren voor gieterijen zijn gepubliceerd door VROM (1983). De emissies tijdens voorbereiding en produktie bedragen 200 tot 500 gram stof per ton staal. De hoeveelheden die bij het blazen vrijkomen zijn veel groter (10-15 kg stof per ton staal), met een goede bestrijding kunnen zij teruggebracht worden tot 0,04-0,07 kg stof per ton staal. In het laatste geval bestaat de emissie volledig uit fijn stof.

### Asfaltmengcentrales

De emissiefactor voor asfaltmengcentrales is gemiddeld (bestreden) 0,03 kg fijn stof per ton geproduceerd asfalt (Harmon, 1983; VROM, 1983).

### Cementproduktie

De emissiefactoren voor cementproduktie bedragen 0,1-0,2 kg fijn stof per ton produkt (VROM, 1983) voor bestreden emissies. Harmon (1983) hanteert hier een factor van 0,3 kg stof per ton produkt.

Uitlaatgassen van het wegverkeer

De emissiefactoren voor uitlaatgassen van het wegverkeer zijn in tabel 2.8 vermeld (CBS, 1985).

Tabel 2.8 Emissiefactoren voor aërosolen uit wegverkeer in gram per km (ongeveer 10% grof stof).

Categorie	Emissiefactor		
	Bebouwde kom	Snelwegen	Overige wegen
<u>Personenauto's</u>			
- benzine	0,07	0,05	0,05
- diesel	1,0	0,5	0,55
- LPG	0,04	0,03	0,03
<u>Bestelauto's</u>			
- benzine	0,11	0,05	0,07
- diesel	1,2	0,45	0,55
- LPG	0,05	0,04	0,04
<u>Vrachtauto's en bussen</u>			
- benzine	0,4	0,4	0,4
- diesel	5,4	1,4	2,0
Motoren	0,12	0,12	0,12
Bromfietsen	0,04	-	0,04

Overig verkeer

De emissiefactoren voor dieselmotoren uit binnenvaart en spoorwegen zijn identiek aan de emissiefactoren voor zware vrachtauto's (CBS, 1985). De emissiefactor voor de luchtvaart is sterk afhankelijk van het type vliegtuig. Een gemiddelde factor is ongeveer 0,1 kg stof per motor start en landingscyclus (VROM, 1981).

Overige niet-industriële emissiefactoren

Voor de overige niet-industriële emissies zijn onderstaande factoren gebruikt:

- roken van sigaretten: 70 mg per sigaret (EPS, 1983) (0% grof stof)
- branden in gebouwen : 0,09 ton per brand (EPS, 1983) (50% grof stof)
- bosbranden : 1,65 ton per ha (EPS, 1983) (50% grof stof)
- kunstmestgebruik : 2 kg per ton (EPS, 1983) (90% grof stof)

### 3. VERSPREIDING IN HET MILIEU

De afstand waarover grof stof in het milieu wordt verspreid hangt sterk af van de snelheid waarmee het stof op de bodem gedeponeerd wordt. Bij grotere stofdeeltjes wordt door de grotere valsnelheid de droge depositie veel belangrijker dan de natte depositie. In het volgende wordt niet ingegaan op natte depositie.

#### 3.1 DEPOSITIESNELHEID EN VALSNELHEID

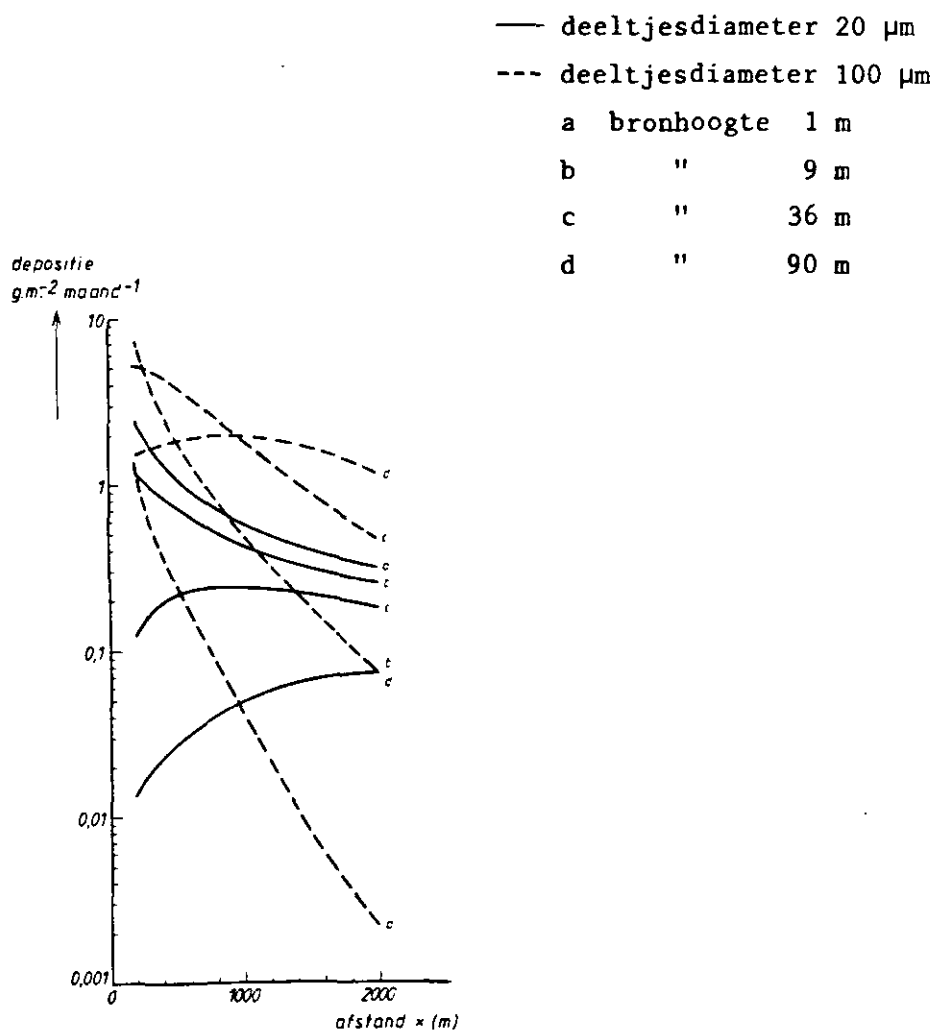
Het eenvoudigste depositiemechanisme is "neervallen", de depositiesnelheid ten gevolge van dit mechanisme is gelijk aan de valsnelheid. Bovendien wordt de depositie vergroot door processen als impactie, interceptie en "inertial deposition". De depositiesnelheid ten gevolge van deze mechanismen hangt af van het oppervlak, van de windsnelheid en van de atmosferische stabiliteit. In tabel 3.1 staan de depositiesnelheden en valsnelheden voor vier verschillende deeltjesgrootten bij vier windsnelheden, berekend volgens de theorie van Sehmel en Hodgson (1981).

Tabel 3.1 Valsnelheid en depositiesnelheid bij vier windsnelheden, stabiliteitsklasse D (neutraal), ruwheidslengte 0,1 m (polderlandschap), deeltjesdichtheid  $1400 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Deeltjes- diameter ( $\mu\text{m}$ )	Valsnelheid ( $\text{cm.s}^{-1}$ )	Depositiesnelheid op 1 m hoogte ( $\text{cm.s}^{-1}$ )			
		windsnelheid op 10 m hoogte ( $\text{m.s}^{-1}$ )			
		1,45	4	8	12
10	0,43	0,87	1,67	3,23	5,14
20	1,72	1,89	2,87	4,84	7,02
40	6,87	6,87	7,13	8,6	10,6
100	42,9	42,9	42,9	42,9	43,0

Met toenemende deeltjesgrootte en daardoor toenemende valsnelheid (de valsnelheid neemt toe met het kwadraat van de deeltjesgrootte, zie tabel 3.1) wordt de afstand waarover het stof verspreid wordt in toenemende mate bepaald door de windsnelheid en de bronhoogte.

In figuur 3.1 is de invloed van de bronhoogte te zien voor deeltjes van 20 en van 100  $\mu\text{m}$ . De bron is een lijnbron met een lengte van 500 m dwars op de wind. De totale bronsterkte bedraagt  $1 \text{ g.s}^{-1}$ . De deeltjes van 20  $\mu\text{m}$  gedragen zich nog als passieve deeltjes, de hoogste bron leidt tot de laagste concentraties en deposities op korte afstand. Bij grote deeltjes (100  $\mu$ ) neemt de depositie t.g.v. de hoge bronnen zeer snel af door het neerdalen van de pluim.

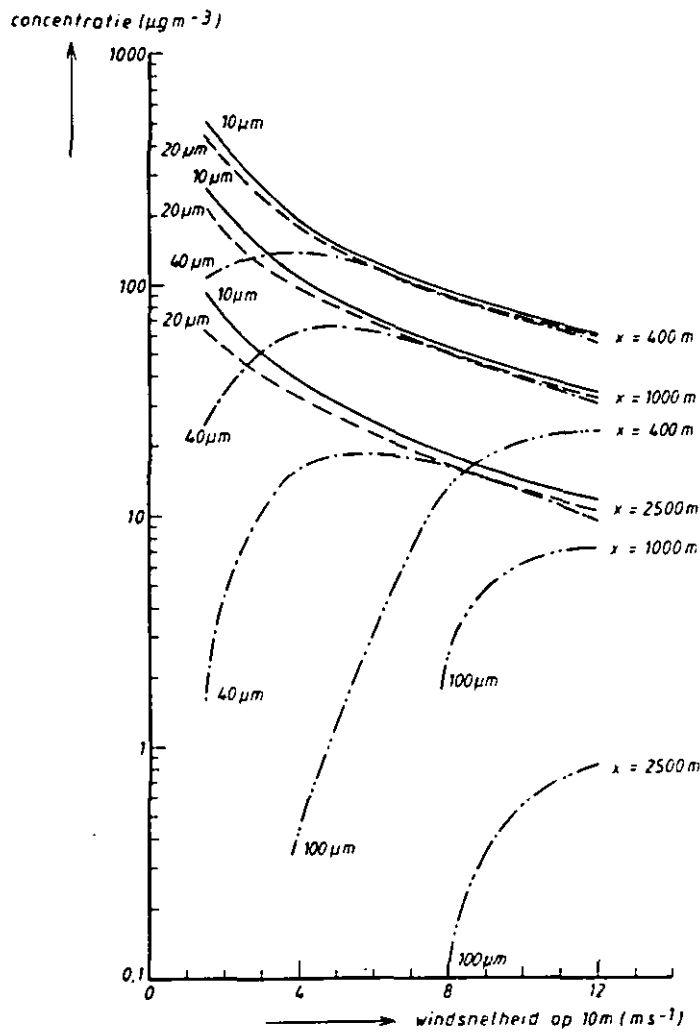


Figuur 3.1 Invloed van de bronhoogte op de deeltjesdepositie. De windsnelheid op 10 m hoogte is  $8 \text{ m.s}^{-1}$ . De stabiliteitsklasse is D.

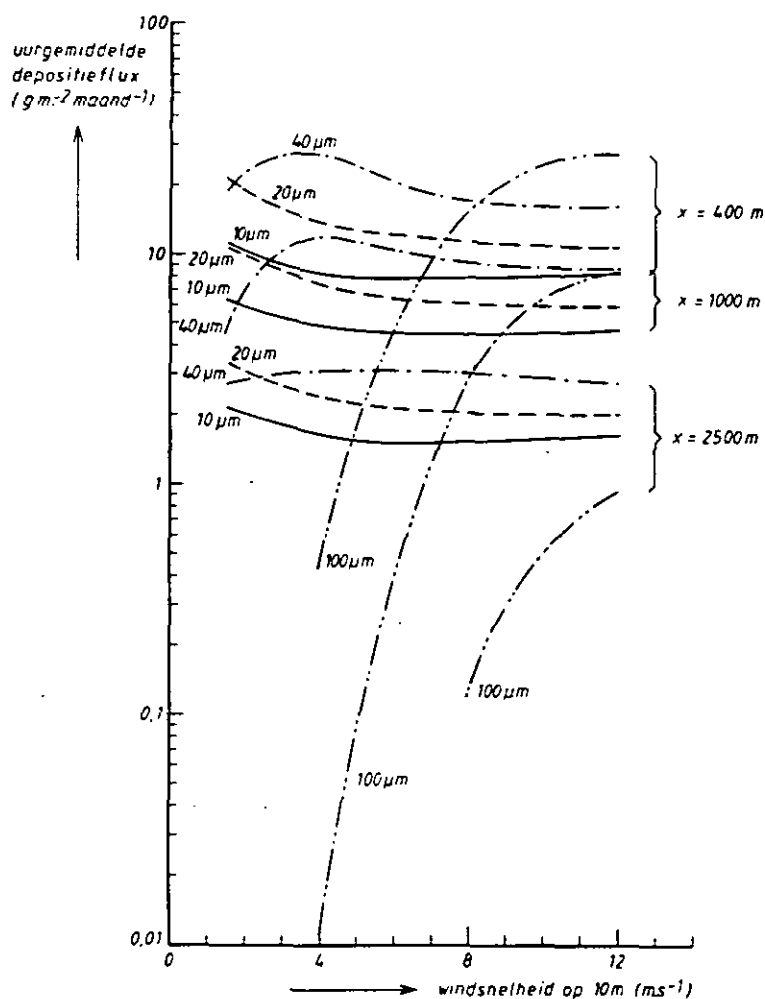
In de figuren 3.2 en 3.3 is de invloed van de windsnelheid te zien op resp. de concentratie en de depositie. De bron bestaat uit een lijnbron in een vierkant met zijden van 200 m met een emissie van  $6,3 \text{ g.s}^{-1}$  op 4 m hoogte. De concentraties van deeltjes van 10 en 20  $\mu\text{m}$  nemen, als



bij een passief gas, ongeveer omgekeerd evenredig met de windsnelheid af. Grotere deeltjes daarentegen zakken bij lage windsnelheden sneller uit zodat op grotere afstanden een veel lagere concentratie en depositie optreedt. Pas bij hoge windsnelheden blijven grote deeltjes tot ca. 1 km nog in de lucht. Het blijkt overigens dat boven ca.  $4 \text{ m.s}^{-1}$  de depositie van kleine tot middelgrote deeltjes niet meer afhangt van de windsnelheid.



Figuur 3.2 Invloed van de windsnelheid op de deeltjesconcentratie (zie toelichting in de tekst).



Figuur 3.3 Invloed van de windsnelheid op de deeltjesdepositie (zie toelichting in de tekst).

### 3.2 VERSPREIDINGSBEREKENINGEN

Aan de hand van landelijke-emissiegegevens van grof stof zijn twee situaties geselecteerd waarvoor verspreidingsberekeningen zijn uitgevoerd. Uit tabel 2.5 (Emissies grof stof in Nederland per provincie in ton per jaar (1981)) en tabel 2.4 (overzicht van de voornaamste in tabel 2.5 samengenomen stoffen) blijkt dat de belangrijkste stofbronnen plantaardige en dierlijke producten zijn (emissie 9900 ton per jaar) waarvan "granen en meel" voor 27% deel uitmaken, en ertsen en mineralen (emissie 8400 ton per jaar) waarvoor de belangrijkste bijdragen komen van "fosfaaterts" (48%) en "steenkool" (21%). Fosfaaterts is een snel verwaaiend produkt. De emissie van stof hieruit zal daarom sterk afhangen van de windsnelheid: bij het storten

van goederen lineair en door erosie met de vijfde macht ervan (Visser, 1984). Omdat geen gegevens over windafhankelijke emissies voorhanden waren, is fosfaaterts niet bij de studie betrokken.

Bij de op- en overslag van steenkool bij elektriciteitscentrales blijkt bijna 80% van de emissie veroorzaakt te worden door (windafhankelijke) activiteiten als verkeer en laadschoppen (Vermeulen et al., 1985).

Het eerste voorbeeld heeft daarom betrekking op een steenkoolopslagplaats met een fictieve emissie van 1 ton stof per jaar per deeltjesgrootteklasse. Het tweede voorbeeld betreft een mengvoederfabriek, gecombineerd met overslag van granen, waarvan de capaciteit, volgens gegevens van Bakkum en de Fiellietaz Goethart (1980), 100 000 ton produkt per jaar is.

### 3.2.1 Voorbeeld 1: kolenstof

De stofemissie van de kolenopslagplaats wordt verondersteld plaats te vinden op de vier zijden van een vierkant van 200 m breedte op een hoogte van 4 m.

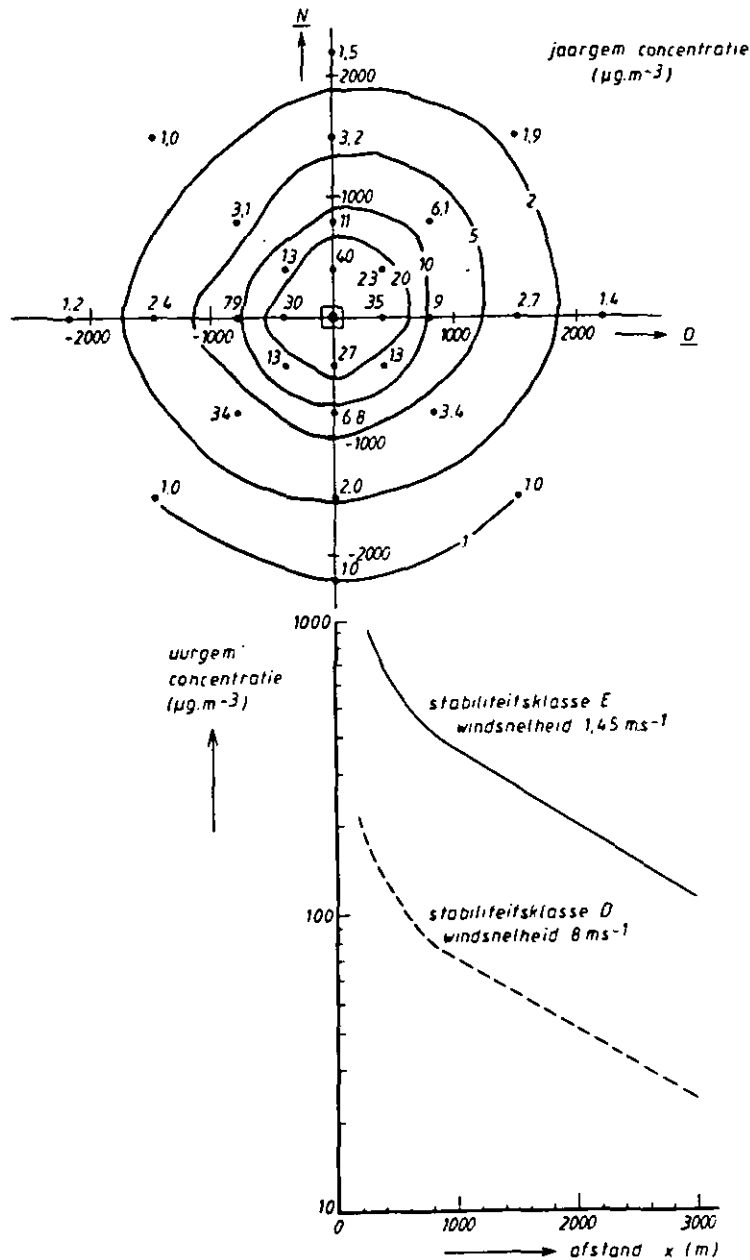
Berekeningen zijn uitgevoerd voor 4 deeltjesgrootten, nml.: met diameter 10  $\mu\text{m}$  (op de rand van fijn- en grof stof), 20  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$  en 100  $\mu\text{m}$ . De emissiesterkte bedraagt voor iedere deeltjesgrootte 6,3  $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ : een grotere emissie leidt tot een evenredig grotere concentratie en depositie (de betrekkingen zijn lineair).

De concentratie- en depositieberekeningen zijn uitgevoerd met het PAL-DS model (zie Rao, 1982 en Rao en Snodgrass, 1982).

Berekend zijn zowel de jaargemiddelde als een aantal uurgemiddelde concentraties en deposities. In de figuren 3.4 en 3.5 a t/m d zijn de jaargemiddelden rondom de bron gegeven tot een afstand van ca. 2200 m, alsmede de maximale uurgemiddelde waarden voor één windrichting (west). Het blijkt dat voor de grotere deeltjes de situatie waarbij de hoogste uurgemiddelde depositie c.q. concentratie optreedt afhangt van de afstand tot de bron. Als referentie is steeds de situatie voor meteoklasse D8 (stabiliteitsklasse volgens Pasquill D, windsnelheid 8  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  op 10 m hoogte), welke ruim 39% van de tijd voorkomt, eveneens in de figuur opgenomen.

Hoe groter de deeltjes, des te sneller de concentratie er van in de lucht afneemt. Dit geldt zowel voor de hoogste uurgemiddelde als voor de jaargemiddelde concentraties (zie figuur 3.4 a t/m d). De depositie (figuur 3.5 a t/m d) is het grootst op een afstand van twee tot drie kilometer bij deeltjes van 40  $\mu\text{m}$  diameter: hoe groter de afstand, des te groter de

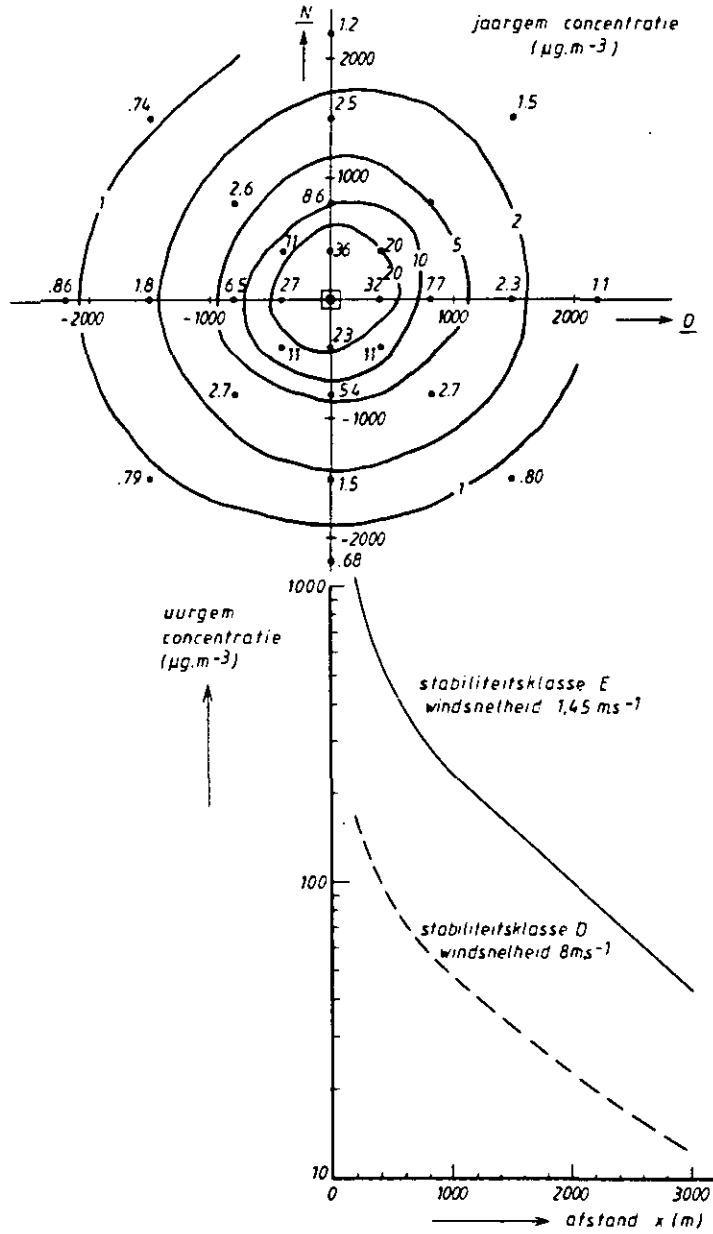
depositiebijdrage van kleinere deeltjes. De grotere deeltjes worden op kortere afstand van de bron al gedeponereerd. De afstand waarover dit gebeurt hangt sterk af van de bronhoogte.



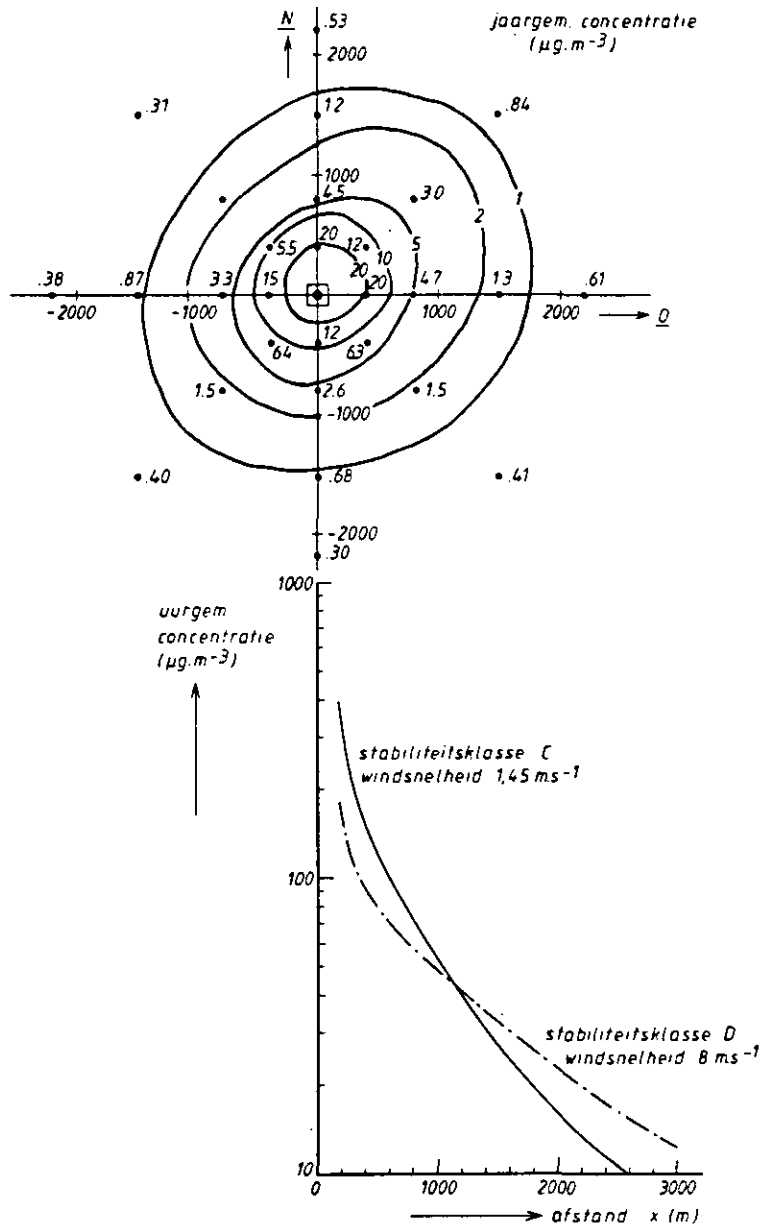
Figuur 3.4a Voorbeeld kolenstof:

concentratie deeltjes  $10 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ .

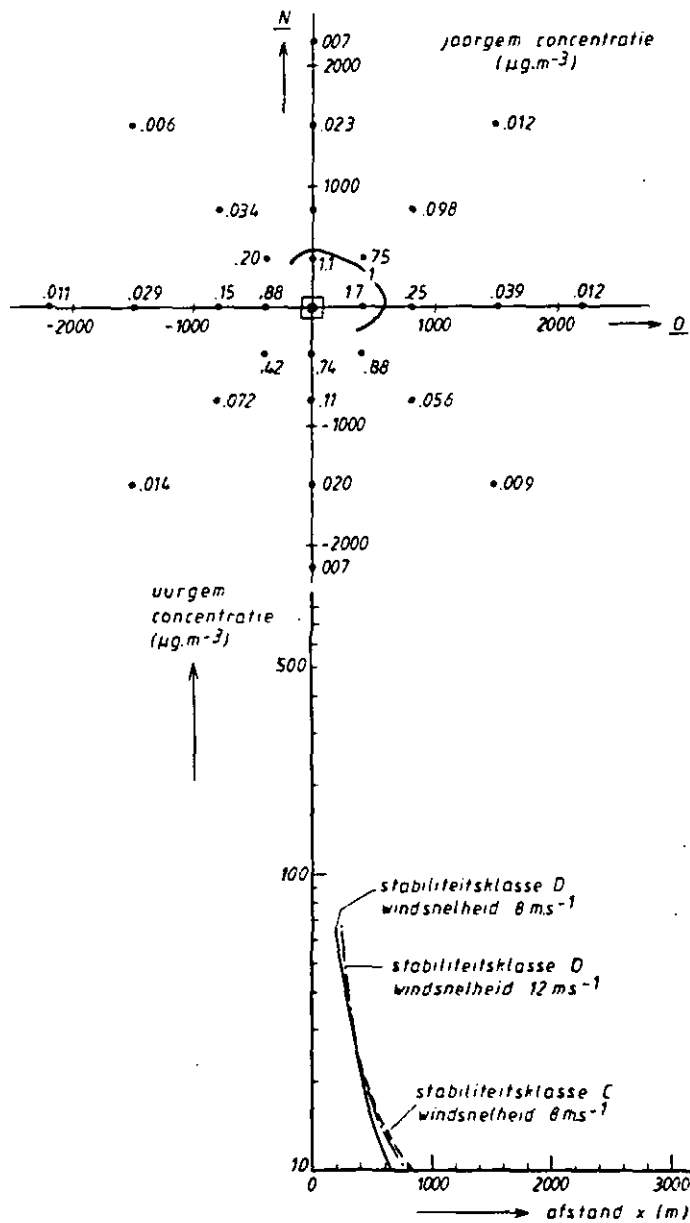
De maximale uurgemiddelde concentratie treedt op bij stabiliteitsklasse E, windsnelheid  $1,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; als referentie is tevens de uurgemiddelde concentratie bij stabiliteitsklasse D, windsnelheid  $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  gegeven.



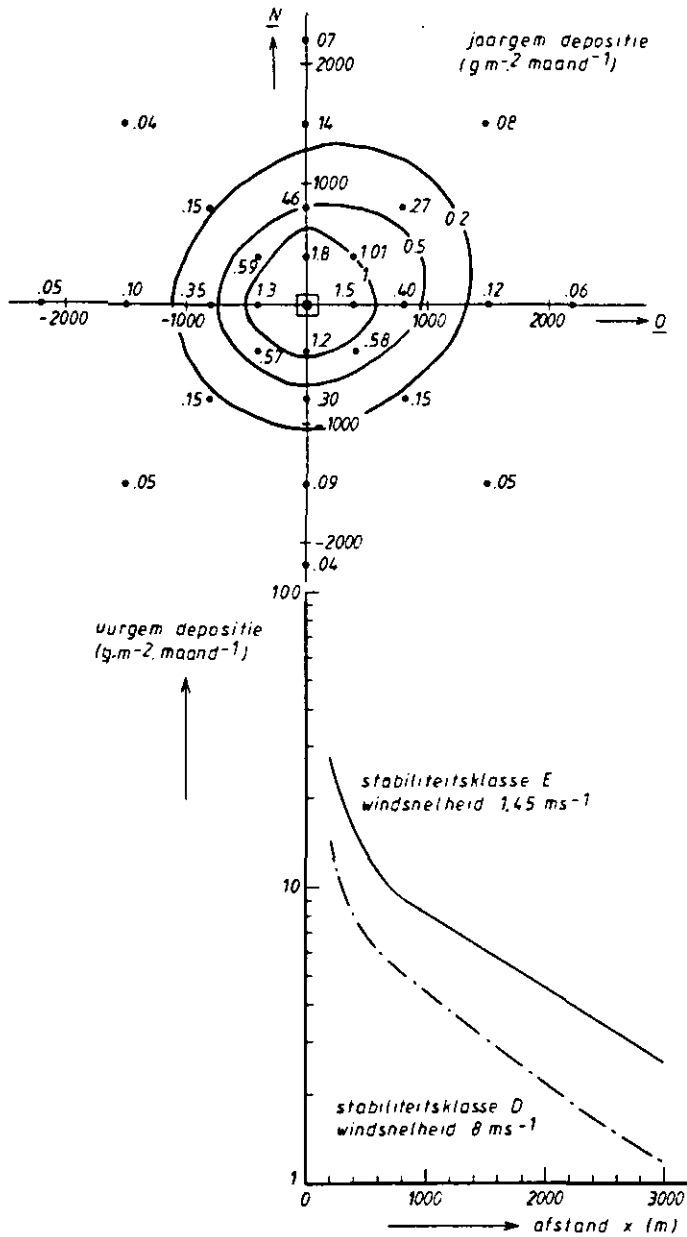
Figuur 3.4b Voorbeeld kolenstof:  
concentratie deeltjes  $20 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g.s}^{-1}$ .



Figuur 3.4c Voorbeeld kolenstof:  
concentratie deeltjes  $40 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ .

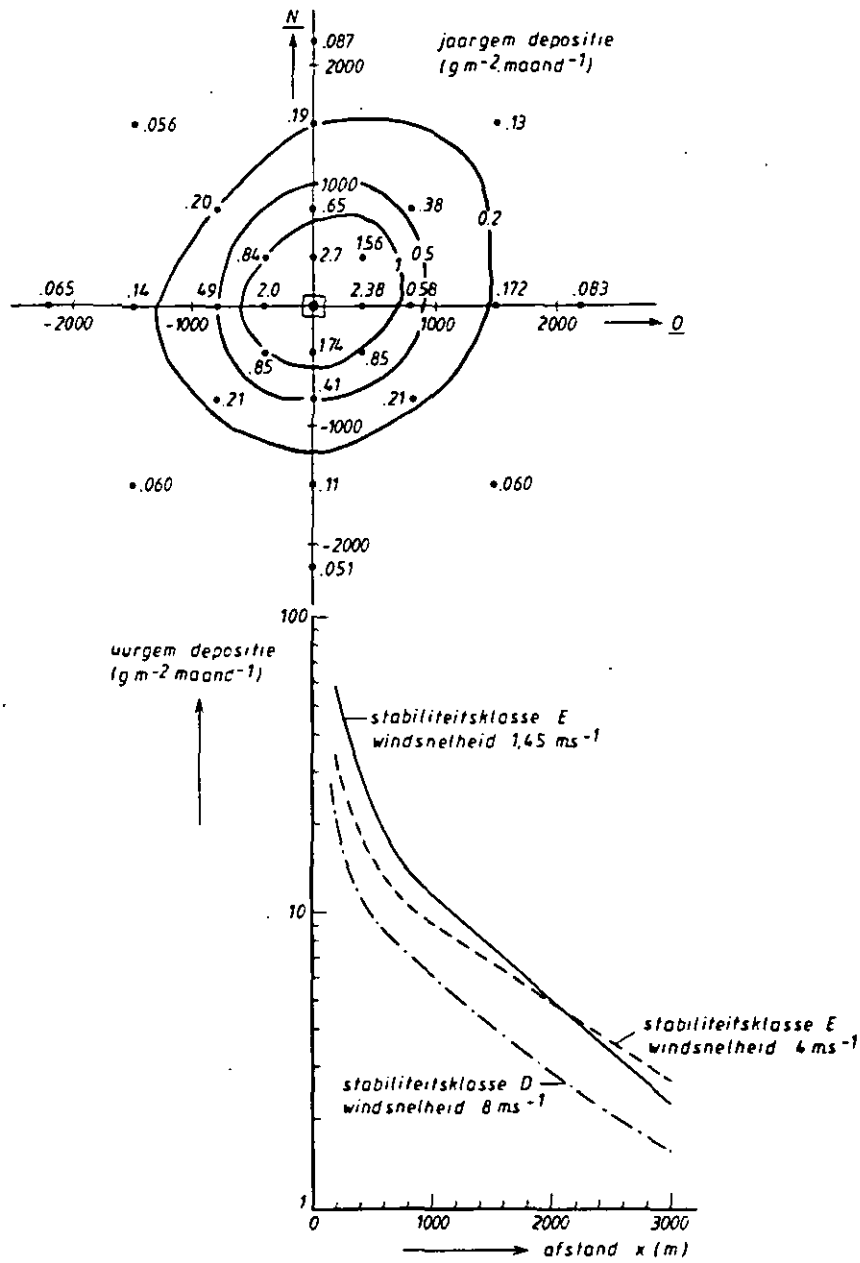


Figuur 3.4d Voorbeeld kolenstof:  
concentratie deeltjes  $100 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ .

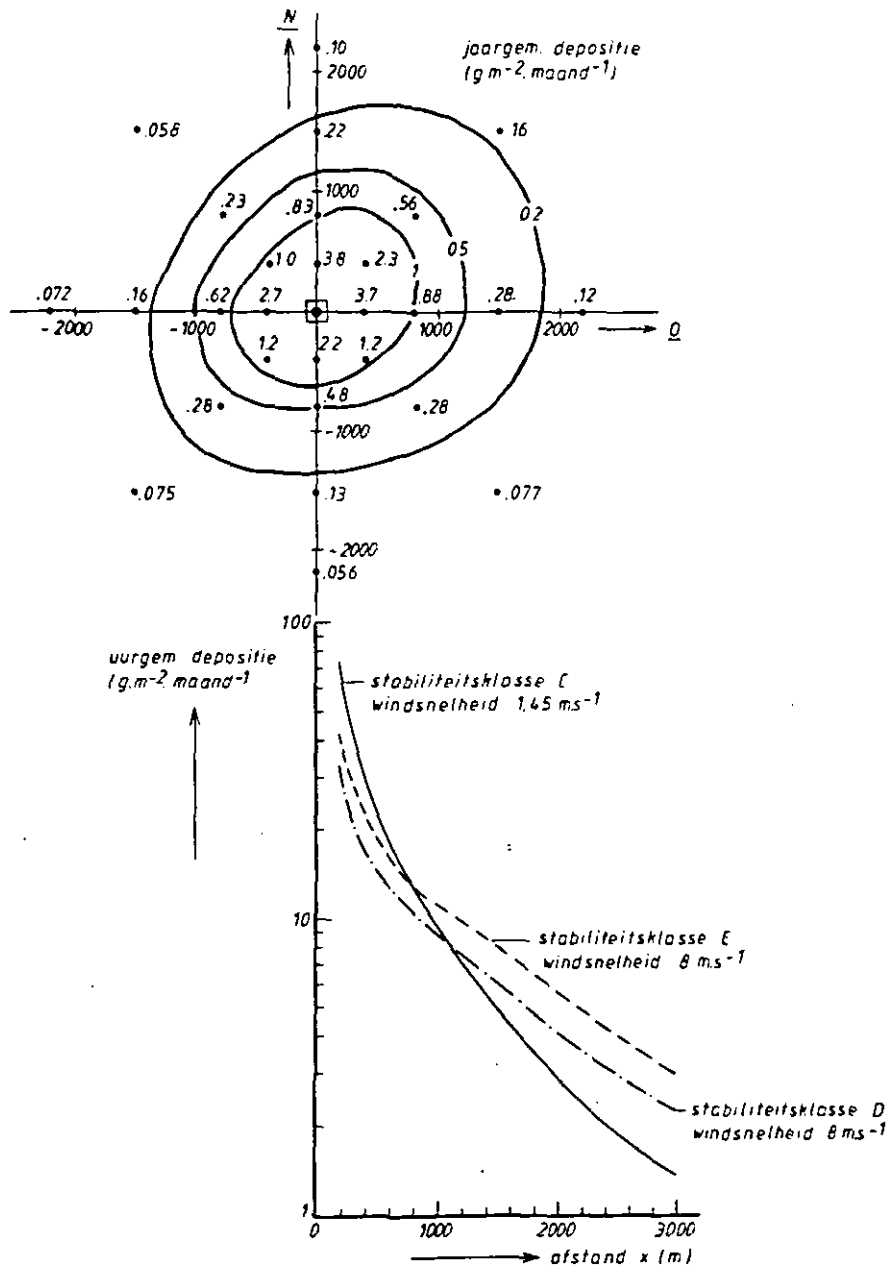


Figuur 3.5a Voorbeeld kolenstof:  
depositie deeltjes  $10 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ .

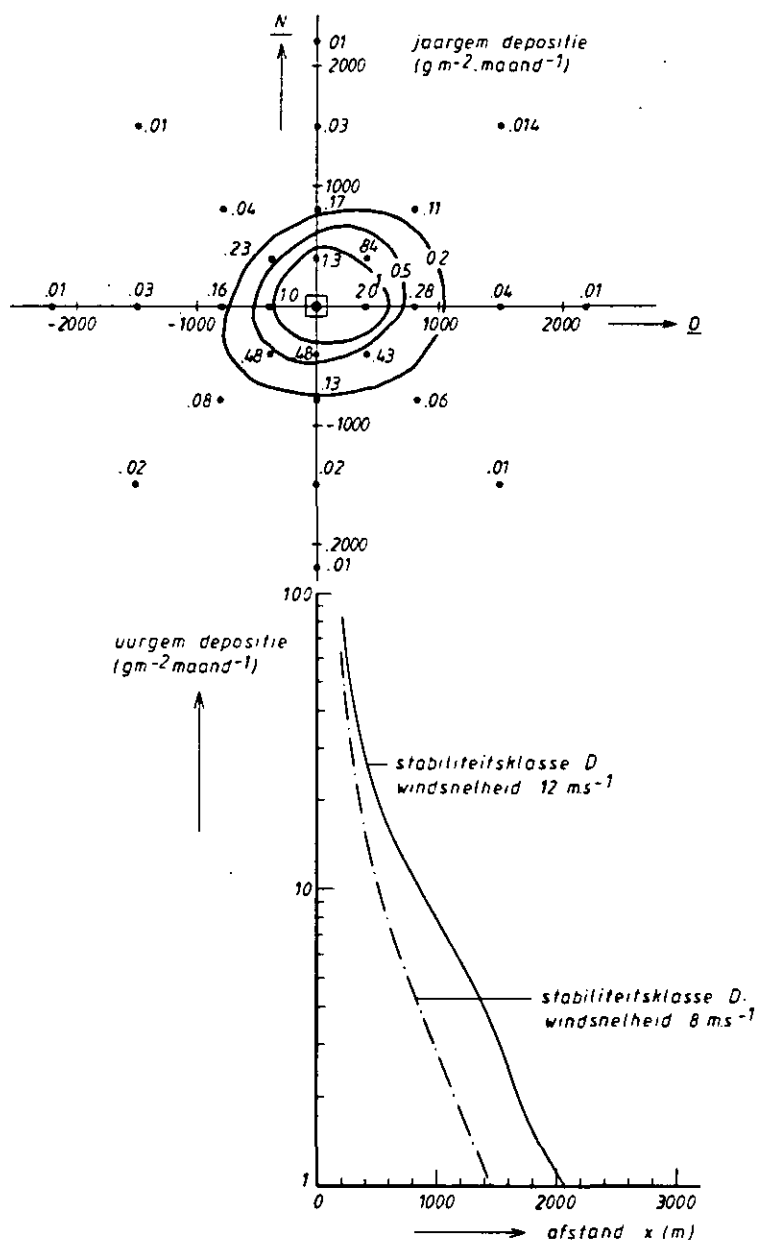




Figuur 3.5b Voorbeeld kolenstof:  
depositie deeltjes  $20 \mu m$ ; emissie  $6,3 g \cdot s^{-1}$ .



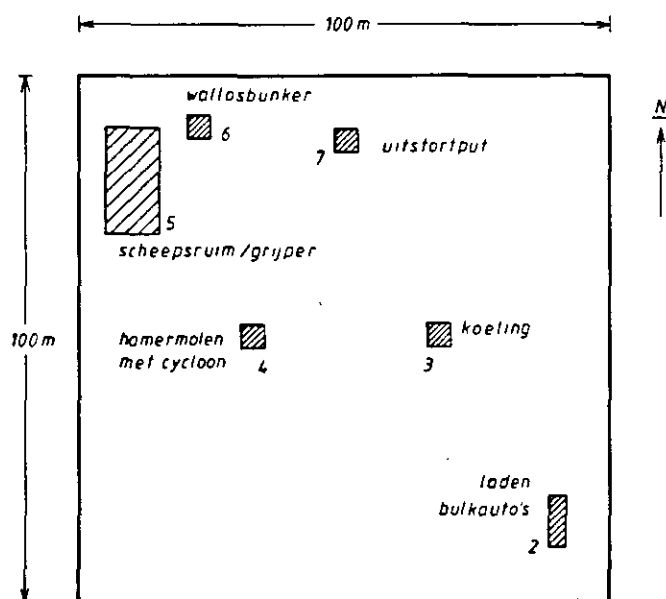
Figuur 3.5c Voorbeeld kolenstof:  
depositie deeltjes  $40 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g.s}^{-1}$ .



Figuur 3.5d Voorbeeld kolenstof:  
depositie deeltjes  $100 \mu\text{m}$ ; emissie  $6,3 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### 3.2.2 Voorbeeld 2 : mengvoederfabriek

In figuur 3.6 is een overzicht gegeven van een fictieve mengvoederfabriek met stofbronnen volgens Bakkum en de Fiellietz Goethart (1980). De capaciteit van deze fabriek is 100000 ton produkt per jaar: de emissies en, wegens de lineariteit van de verspreiding, dus ook de immissies zijn evenredig met de capaciteit. In tabel 3.2 zijn de stofemissies per bron gegeven.



Figuur 3.6 Overzicht mengvoeder-overslag/fabriek met stofbronnen.

Tabel 3.2 Stofemissies van verschillende bronnen bij een mengvoederfabriek met een jaarcapaciteit van 100000 ton produkt per jaar.

Bron	maximale emissie (g.s <sup>-1</sup> )	jaargemiddelde emissie (g.s <sup>-1</sup> )	bronhoogte (m)
1. algemeen	0,028	0,006	3
2. beladen van bulkauto's	0,17	0,032	3
3. koeling	0,26	0,048	25
4. hamermolen met cycloon	17,4	3,17	25
5. scheepsruim en grijper	0,69	0,14	3
6. wallosbunker	0,28	0,057	10
7. uitstortput	3,33	0,063	3

Uit de maximale emissies werden de uurgemiddelde concentraties en deposities berekend, terwijl de jaargemiddelde emissies voor de berekening van de jaargemiddelde concentraties en deposities werden gebruikt.

Voor graanstof is een dichtheid van  $1400 \text{ kg.m}^{-3}$  aangehouden. De deeltjes-grootteverdeling is, vrij willekeurig, als volgt aangenomen:

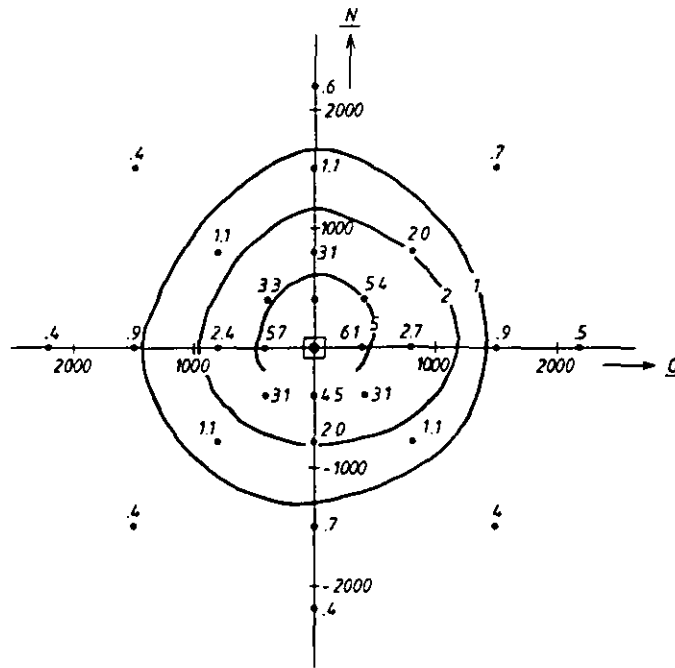
klasse	rondom	10 $\mu\text{m}$	:	25%
"	"	20 "	:	37,5%
"	"	40 "	:	25%
"	"	100 "	:	<u>12,5%</u>
		totaal	:	100%

(Door Don (1982) wordt geconcludeerd dat bij de overslag van tapioca al het geëmitteerde stof uit deeltjes kleiner dan 30  $\mu\text{m}$  bestaat.)

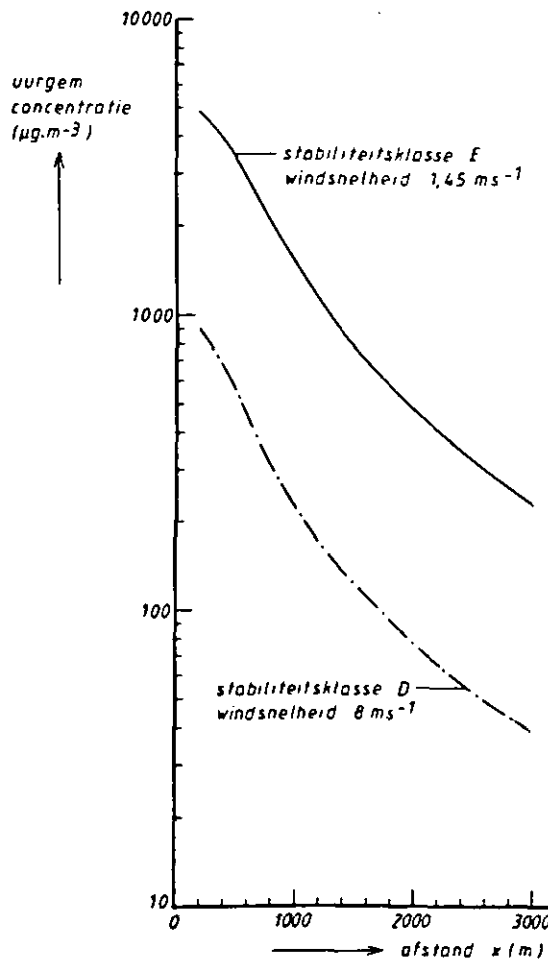
Berekend zijn de totale stofconcentraties en -deposities (gesommeerd over de vier deeltjesgrootteklassen van 10  $\mu\text{m}$  tot en met 100  $\mu\text{m}$ ). In figuur 3.7 zijn de jaargemiddelde en uurgemiddelde concentraties gegeven en in figuur 3.8 de deposities. De hoogste uurgemiddelde concentraties en deposities treden op bij meteoklasse E1,45 (stabiliteitsklasse E, windsnelheid  $1,45 \text{ m.s}^{-1}$ ). Evenals in par. 3.2.1 is eveneens het verloop voor meteoklasse D8 (stabiliteitsklasse D, windsnelheid  $8 \text{ m.s}^{-1}$ ) gegeven.

Er blijkt ruim een factor 100 verschil te zijn tussen de maximum uurgemiddelde en de jaargemiddelde concentraties en deposities. Een klein deel van dit verschil wordt veroorzaakt doordat de maximum emissies ongeveer vijfmaal zo hoog zijn als de jaargemiddelde emissies (zie tabel 3.2).

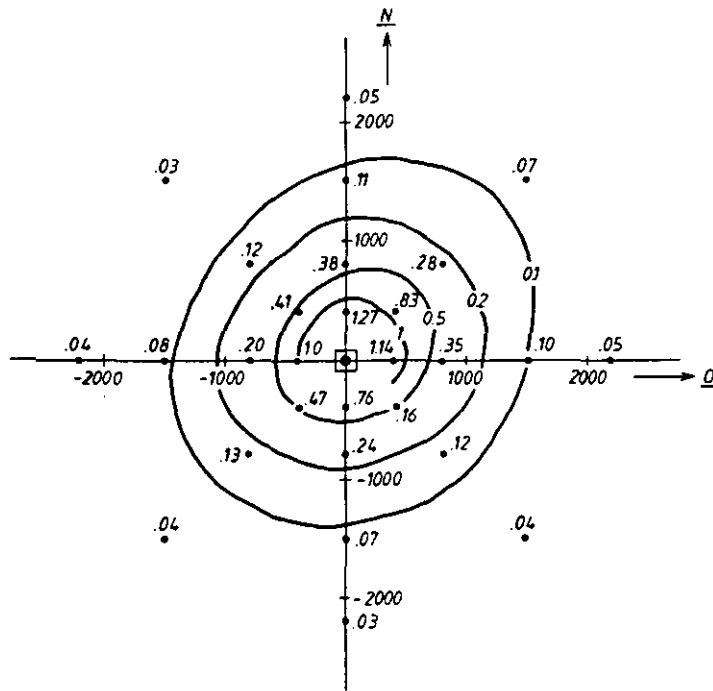
In figuur 3.9 zijn de deeltjesgrootteverdelingen van de uurgemiddelde waarden op drie afstanden (200, 1500 en 3000 m) gegeven. Hieruit blijkt hoe met toenemende afstand de concentratie en depositie van grove deeltjes (ca.  $> 40 \mu\text{m}$ ) relatief afneemt. De depositie van deze deeltjes op korte afstand is erg groot.



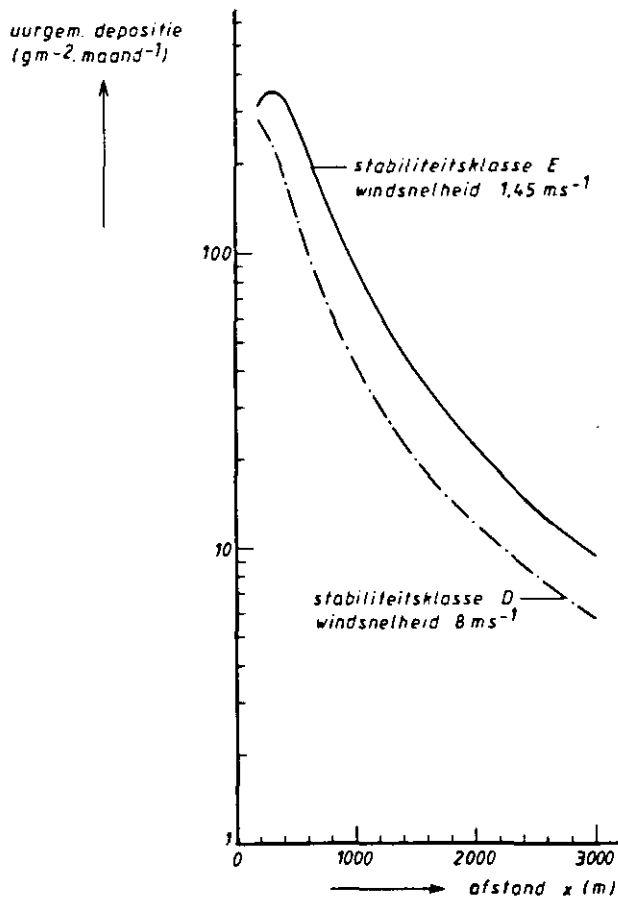
Figuur 3.7a Voorbeeld mengvoederfabriek:  
jaargemiddelde concentratie van deeltjes tussen 10 en 100  $\mu\text{m}$   
( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ); capaciteit 100 000 ton produkt per jaar.



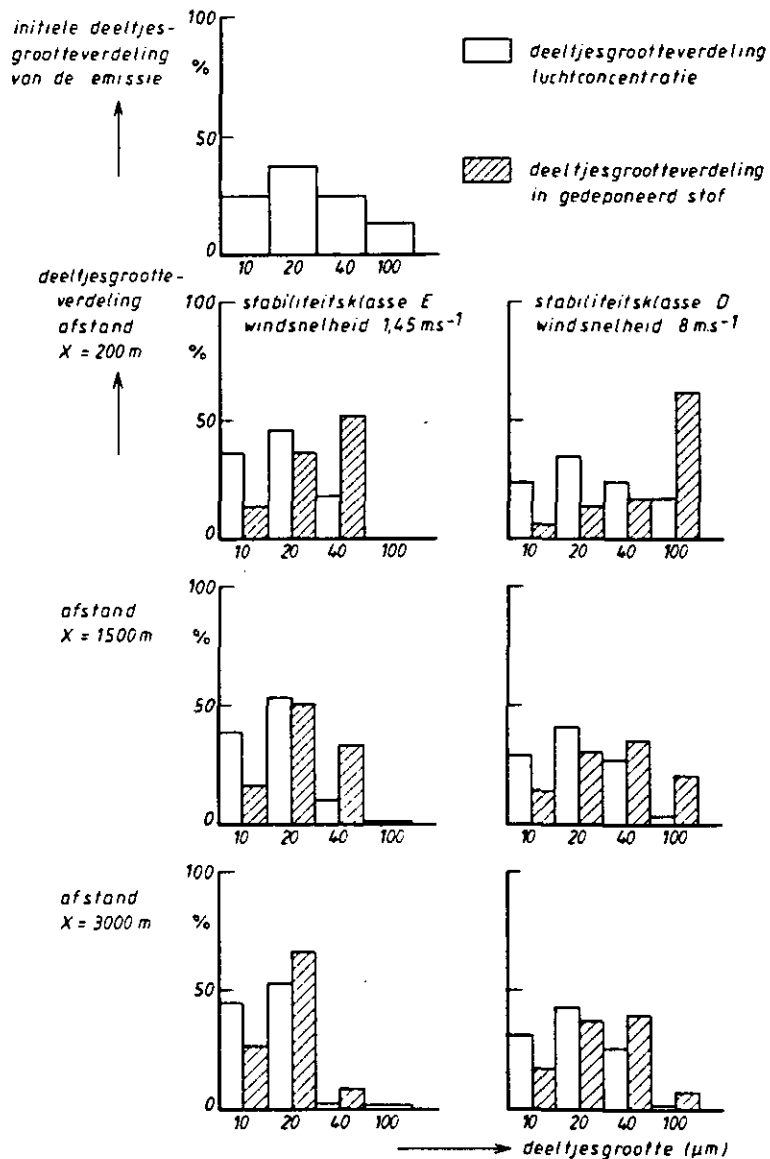
Figuur 3.7b Voorbeeld mengvoederfabriek:  
uurgemiddelde concentratie van deeltjes tussen 10 en 100  $\mu\text{m}$   
( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ); voor meteoklasse E1,45 en D8; capaciteit 100 000 ton  
produkt per jaar.



**Figuur 3.8a** Voorbeeld mengvoederfabriek:  
 jaargemiddelde depositie van deeltjes tussen 10 en 100 μm  
 (g·m<sup>-2</sup> per maand); capaciteit 100 000 ton produkt per jaar.



**Figuur 3.8b** Voorbeeld mengvoederfabriek:  
 uurgemiddelde depositie van deeltjes tussen 10 en 100 μm  
 (g·m<sup>-2</sup> per maand); voor meteoklasse E1,45 en D8;  
 capaciteit 100 000 ton produkt per jaar.



Figuur 3.9 Voorbeeld mengvoederfabriek:  
Deeltjesgrootte verdelingen van stof in de lucht (witte staven) en in gedeponeed stof (gearceerde staven) voor twee meteoklassen op drie afstanden. Als referentie is linksboven de initiële deeltjesgrootte verdeling weergegeven.

### 3.3 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In dit hoofdstuk zijn de voor de verspreiding en depositie belangrijke eigenschappen van grof stof besproken. Tevens is de lokale verspreiding rondom twee specifieke bronnen berekend als voorbeeld.



Het blijkt dat deeltjes groter dan 20 à 30  $\mu\text{m}$  (dichtheid in de orde van  $1500 \text{ kg.m}^{-3}$ ) in het algemeen geen significante bijdrage leveren aan de concentraties en deposities op afstanden groter dan enkele kilometers. Binnen deze afstand is de concentratie en depositie van de grotere deeltjes gevoeliger voor windsnelheid en bronhoogte dan de kleinere deeltjes.

De verspreiding van kleinere deeltjes lijkt nog zo veel op die van passieve verontreiniging dat toepassing van conventionele verspreidingsmodellen, mits voorzien van een degelijk depositiemodel, verantwoord lijkt.

Voor het voorspellen van de (lokale) verspreiding van totaal grof stof (tot en met  $100 \mu\text{m}$ ) moet voor enkele emissies de emissiesterkte als functie van windsnelheid bekend zijn: het gecombineerde effect van windsnelheid op zowel emissie als verspreiding kan tot hoge belastingen bij hoge windsnelheden leiden. Hierdoor kan de verhouding tussen de maximale belasting en de jaargemiddelde belasting groter zijn dan bij luchtverontreiniging door een passief gas.

#### 4. CONCENTRATIES IN HET MILIEU

De literatuurgegevens over gemeten stofconcentraties hebben vrijwel uitsluitend betrekking op de totale hoeveelheid zwevend stof. Het gedeelte hiervan dat als grof stof kan worden aangemerkt (deeltjes groter dan 10  $\mu\text{m}$ , zie par. 1.1) zal sterk afhangen van het brontype, de locatie en de meteorologische omstandigheden. De fractie grof stof zelf wordt zelden afzonderlijk bepaald.

Een ruwe schatting van de fractie fijn stof die voorkomt in totaal zwevend stof dat met de "High Volume Sampler" wordt opgevangen is beschreven in het basisdocument "Fijn stof" (1985). De verhouding totaal zwevend stof: fijn stof zou voor de Europese landen  $1,3 \pm 30\%$  zijn en voor Amerika ongeveer 1,7. Hieruit zou volgen dat de grofstof-fracties respectievelijk ongeveer 0,2 en 0,4 zijn indien de diameter-bovengrens van fijn stof samenvalt met de diameter-ondergrens van grof stof. Deze schatting berust op resultaten die verkregen zijn met de EPA-High Volume Sampler of soortgelijke apparatuur waarvan het afvangstrendement voor deeltjes groter dan 50  $\mu\text{m}$  vrijwel nul is en voor deeltjes boven 30  $\mu\text{m}$  reeds tot minder dan 50% is teruggelopen. Concentraties van stofdeeltjes met grotere diameter kunnen derhalve hieruit niet worden afgeleid.

Wanneer men de in het basisdocument vermelde concentraties totaal stof vermenigvuldigt met bovengenoemde factoren 0,2 of 0,4, leidt dit tot gemiddelde concentraties tussen 4 en 50  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Wegens het verminderde afvangstrendement voor de grotere deeltjes zijn dit onderschattingen. Concentratiemetingen met voor grotere stofdeeltjes (tot ca. 200  $\mu\text{m}$ ) meer geschikte apparatuur (meettunnel, rotating arm collector, rotorod) zijn schaars en liggen nog in de onderzoek sfeer (voor windtunnelexperimenten: Janssen en Den Boeft, 1982). Zij zijn bovendien slechts nuttig in combinatie met metingen waarbij tegelijkertijd de fijn-stofconcentratie (diameter < 10  $\mu\text{m}$ ) is bepaald, dit omdat de voor de HVS afgeleide verhouding totaal zwevend stof: fijn stof hier niet geldt.

Behalve de in het basisdocument "Fijn stof" vermelde concentraties totaal stof (tabel 4.2) zijn nog enkele recente gegevens gevonden:

Lanting (1984) geeft een overzicht van op verschillende plaatsen ter wereld gemeten concentraties en deposities van kolenstof in de nabijheid van op- en overslagplaatsen. Kolenstof blijkt voor veruit het grootste deel grof stof. De concentraties en massamediane diameter ervan in de lucht hangen sterk af van de afstand tot de bron, hetgeen het gevolg

is van snelle sedimentatie van de grootste deeltjes. Op 50-100 m liggen de hoogste concentraties in de grootte-orde van enkele  $\text{mg.m}^{-3}$ , het kolenstofgehalte is ongeveer 30%. Op 300-500 m draagt de kolenstofemissie reeds relatief weinig (ca. 10%) bij aan de stofconcentratie en overheerst opwaaiend bodemstof (zand). Eenzelfde beeld vertonen de depositieniveaus.

Lundgren et al. (1984) bepaalden in vijf Amerikaanse steden concentraties stof ( $d < 100 \mu\text{m}$ ) met twee standaardapparaten (size-selective inlet Hi-Vol samplers ( $d < 15 \mu\text{m}$ ) en TSP Hi-Vol air sampler) en één laboratoriumapparaat (wide range aerosol classifier, WRAC). Hierbij werd gevonden dat de afvang door de standaardapparaten resp. 55-71% en 84-88% van die van de WRAC was. De niveaus lagen tussen 100 en  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Mamane en Noll (1985) bepaalden concentraties in een landelijk gebied van de Verenigde Staten (West-Maryland) met een "high volume rotary inertial impactor" die deeltjes tussen 6 en  $100 \mu\text{m}$  afvangt. De gemiddelde concentraties van 2 dagen waren respectievelijk 19 en  $32 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Pinnick et al. (1985) bepaalden stofconcentraties langs een onverharde weg tijdens het rijden van zware voertuigen hierover. Met een Hi-Vol sampler (dus met een onderschatting van de concentratie van grote deeltjes) vonden zij concentraties (van zanddeeltjes met diameter van ca.  $45 \mu\text{m}$ ) tussen 200 en  $1400 \mu\text{g.m}^{-3}$ .

Bovenstaande cijfers geven een globale indruk van de concentratieniveaus grof stof die onder verschillende omstandigheden kunnen worden bereikt. In feite hebben zij betrekking op de fractie tot ca.  $50 \mu\text{m}$  en zijn dan wellicht nog onderschattingen. Uit de evaluatie van verspreidingsberekeningen en -effecten zal moeten blijken of deze meetgegevens toereikend zijn voor een basisdocument of dat de ontwikkeling van nieuwe meettechnieken voor grotere deeltjes moet worden afgewacht.

In dit hoofdstuk is geen aandacht besteed aan gemeten stofdeposities, ofschoon ze niet zouden mogen ontbreken. Enige gegevens hierover zijn wel te achterhalen; het probleem is hier echter dat de methodiek onvoldoende gevalideerd is en dat niet steeds duidelijk is wat als depositie is gemeten.

## 5. EFFECTEN

### 5.1 GEZONDHEIDSEFFECTEN

Evaluatie van de wenselijkheid een basisdocument "grof stof" op te stellen zal mede afhankelijk zijn van het gezondheidsrisico van expositie van de bevolking aan "grof stof".

Indien onder "grof stof" voorlopig wordt verstaan die fractie van het buiten (c.q. binnen)-luchtaërosol dat niet gerekend wordt tot "particulate matter, 10  $\mu\text{m}$ ", kan met betrekking tot potentiële gezondheidseffecten het volgende worden opgemerkt:

- in het verleden achtten de meeste onderzoekers aërosolen met deeltjes groter dan 10  $\mu\text{m}$  niet inhaleerbaar te zijn.
- zeer recente onderzoeksgegevens geven echter zowel op basis van modelberekeningen als op basis van klinisch onderzoek aan, dat bij mondademhaling een fractie van de deeltjes groter dan 10  $\mu\text{m}$  inhaleerbaar is, te weten: 13% bij 16  $\mu\text{m}$  (Svartengren et al., 1986) en 20% bij 15  $\mu\text{m}$  (Bowes en Swift, 1986). Grote variatie tussen proefpersonen duidt op de aanwezigheid van risicogroepen in de humane populatie. Experimentele gegevens omtrent de inhalatie van deeltjes groter dan 16  $\mu\text{m}$  zijn niet bekend, doch modelberekening wijst uit dat ook deze deeltjes nog voor enkele procenten inhaleerbaar zouden zijn.
- opgemerkt zij dat de  $\text{PM}_{10}$  monstername apparatuur tevens een fractie van de deeltjes  $\geq 10 \mu\text{m}$  meet.
- de potentie van deze deeltjes effecten te veroorzaken, wordt bepaald door hun intrinsieke toxiciteit alsmede door hun verblijftijd in de long c.q. het lichaam.
- indien wordt uitgegaan van het feit dat zowel van de samenstelling van grof stof (naar aard, concentratie en deeltjesgrootte) als van de toxiciteit en de dosimetrie weinig of geen relevante gegevens bekend zijn, dan lijkt een voorlopige schatting van het potentiële gezondheidsrisico van de expositie van de bevolking aan "grof stof" niet mogelijk te zijn.

### 5.2 HINDER

Het primaire effect van de depositie van zwevend stof is de vervuiling van materiaaloppervlakken. Daarnaast kan het gedeponeerde stof directe

en indirecte chemische aantasting van materialen tot gevolg hebben. De laatst genoemde effecten worden in hoofdstuk 5.3 besproken. Dit hoofdstuk beperkt zich tot de vervuiling als fysisch effect, zonder dat er sprake is van veranderingen van de technische eigenschappen van het vervuilde materiaal. In die zin leidt vervuiling alleen tot esthetische waardevermindering en een lagere waardering van de (woon-)omgeving. Het periodiek voorkomen van hoge vervuilingssnelheden is dikwijls aanleiding tot klachten wegens hinder en overlast. In economische termen betekent vervuiling vooral een vermeerdering van de kosten van reinigingsactiviteiten.

De perceptie van vervuiling door stof is gerelateerd aan de verandering van lichtreflectie van een oppervlak wanneer dit hiermee bedekt wordt. Deze verandering zal evenredig zijn met de bedekkingsgraad van het oppervlak, en wordt daarnaast bepaald door het contrast tussen de lichtreflectie van de stofdeeltjes en het materiaaloppervlak. Er bestaat echter een grote variatie in optische eigenschappen van stofdeeltjes en oppervlakken. Dit maakt generalisatie van hindercriteria complex. Hinder is bovendien sterk gerelateerd aan de tijd die nodig is om een bepaalde mate van bedekking op te bouwen. Klachten treden op wanneer deze opbouwsnelheid hoog is (uren/dagen) en deze episodes frequent optreden (1 à 2 x per week). Vervuilingdrempels die na accumulatie over meerdere dagen worden overschreden geven in het algemeen minder aanleiding tot klachten, terwijl bovendien afspoel-effecten door regen dan een grotere rol gaan spelen.

In tabel 5.1 zijn de belangrijkste factoren die een rol spelen bij de vervuiling van materiaaloppervlakken samengevat.

De droge depositie van deeltjes op een receptor is afhankelijk van de aard van het receptoroppervlak, de aard van het zwevend stof en de meteorologische condities. Stof hecht zich gemakkelijk aan ruwe oppervlakken. Ook de aanwezigheid van een vochtfilm of hygroscopische verbindingen verhoogt de depositieflux van deeltjes (de depositieflux is het produkt van de concentratie en de depositiesnelheid).

Voor de grof-stof-fractie zijn impactie en sedimentatie de belangrijkste depositiemechanismen. Voor deeltjes in het accumulatie bereik ( $0,1 < d < 2 \mu\text{m}$ ) speelt de zwaartekracht geen rol meer van betekenis. Turbulente diffusie en impactie zijn hier de belangrijkste depositiemechanismen.

Tabel 5.1 Factoren die de mate van vervuiling beïnvloeden.

Factor	Parameter	Effect of proces
materiaaleigen- schappen	ruwheid van het oppervlak	retentie van deeltjes depositiesnelheid
	initiële reflectie van het oppervlak (kleur)	vervuilingscontrast
omgevingsfactoren	windsnelheid	impactie en turbulentie depositie van deeltjes
	regenintensiteit	afspoelen van deeltjes
	relatieve vochtigheid	verhoogde depositie van deeltjes, retentie van deeltjes
eigenschappen van zwevend stof	concentratie	depositieflux
	deeltjesgrootte	depositiesnelheid
	lichtreflectie (kleur)	vervuilingscontrast
	kleefbaarheid	retentie van deeltjes
	soortelijke massa	verspreiding en depositie
microbiologische processen	schimmels, algen, wieren	verkleuring

Bij hoge relatieve vochtigheden neemt de depositiesnelheid toe door aangroeiing van de deeltjes als gevolg van vocht opneming. Mist (ca. 5% van de tijd in Nederland gerekend naar meteorologische definitie: zicht < 1 km) zal bijdragen tot hoge retentie van deeltjes op vochtige oppervlakken en grotere depositiesnelheden van vooral fijn stof waarvan de deeltjes als condensatiekernen voor water fungeren. De sedimentatie en impactie van mistdruppels (massa-mediane diameter 10-20  $\mu\text{m}$ ) zal groter zijn dan die van de oorspronkelijke, kleinere, droge stofdeeltjes. Deze interactie lijkt vooral van belang voor fijn stof en in veel mindere mate voor grof stof. Regen kan daarentegen een sterk afspoelend effect teweegbrengen. De vervuilingsgraad is dus de resultante van 1) de droge-depositieflux van deeltjes en 2) processen die afgezet stof weer verwijderen. Dit wordt vaak treffend geïllustreerd door de onregelmatige verdeling van afgezet vuil op gevels en auto's. De vormge-

ving en detaillering van de gevelconstructie bepalen zowel de droge depositie (aërodynamische) als de berekening en afvoermogelijkheden via regenwater. Een dergelijke situatie kan de vervuiling sterk benadrukken (Pwa et al., 1986).

Roet- en koolstofhoudende deeltjes hebben een lage lichtreflectie (< 20%) en een hoge retentiecoëfficiënt (100%). Deze deeltjes kleven sterk aan het oppervlak en spoelen niet af door regen (Harker, 1982). Zij komen in hoofdzaak voor in het accumulatiebereik en hebben een lage depositiesnelheid. Opwaaiend bodemstof en door andere mechanische processen gegenereerd stof hebben in het algemeen een hogere lichtreflectie (ongeveer 40%), hechten zich slechter aan oppervlakken en worden sneller afgespoeld (Harker, 1982). Dit type stof behoort meestal tot de grof-stoffractie, heeft een korte verblijftijd in de atmosfeer en zet zich relatief snel af op het oppervlak.

Op korte termijn zal de vervuiling dan ook gedomineerd worden door de depositie van deeltjes uit de grof-stoffractie, waarbij een semi-stationaire toestand tussen sedimentatie en afspoeleffecten ontstaat. Op de langere duur zal de veel zwartere en sterker hechtende fijn-stof-fractie echter domineren (Lanting, 1985).

De wijze waarop de vervuiling afhangt van de eigenschappen van het zwevend stof (tabel 5.2) bepaalt mede (en in belangrijke mate) de hinder die door diverse categorieën bronnen (tabel 2.2) en stofgroepen (tabel 2.4) wordt veroorzaakt.

Generalisatie van de hinder tot een eenvoudige functie van de stofemissie, stofconcentratie of gedeponeerde stofmassa is niet mogelijk wegens de grote variatie in dichtheid ( $0,1 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$  voor kiezelgoer tot  $8 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$  voor looderts), in reflectie-eigenschappen (100% voor tapioca tot 5% voor kolenstof, overigens relatief te beschouwen ten opzichte van de reflectie van de receptor) en in deeltjesgrootte ( $10 \mu\text{m}$  tot enkele mm voor kaf). De laatste eigenschap hangt sterk af van de afstand tot de bron.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat hinder gerapporteerd wordt voor depositiehoeveelheden die uiteenlopen van  $0,1$  tot meer dan  $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{maand}^{-1}$  (v. Dongen, 1984; Lanting en Harssema, 1984). Hierbij moet nog gewezen worden op de diversiteit van meetmethoden met veelal onbekende vangstefficiënties als functie van de deeltjesgrootte. Hinder wordt vooral gemeld bij de overslag van veevoeders, ertsen, kolen, meststoffen en mineralen. De afstanden waarop hinder optreedt varieert van de onmiddellijke omgeving van de

activiteit tot op 1 à 1,5 km en soms nog verder (tapioca gaf op 3 km afstand nog een zichtbare vervuiling). De oppervlakken die het meest te lijden hebben van vervuiling zijn steenachtige bouwmaterialen (gevels), verfsystemen en glas (kasdekken). Veel klachten zijn ook het gevolg van de vervuiling van textielprodukten en in het algemeen van in buitenlucht opgestelde gebruiksvoorwerpen.

Er bestaat weinig informatie over aanvaardbaarheidsdrempels van vervuiling. Enkele onderzoekers (Carey, 1959; Persson, 1969; Hancock et al., 1976; Esmann, 1973; Shillito, 1978) hebben pogingen ondernomen om vervuiling en depositieniveaus te klassificeren en grenswaarden voor detectie, acceptatie en het optreden van klachten vast te stellen. Dit geldt zowel voor de stofdepositie in termen van massa als in termen van (effectieve) bedekkingsgraad. Daarnaast heeft men geprobeerd beide meeteenheden aan elkaar te koppelen. De resultaten hiervan moeten echter, als gevolg van de uiterst eenvoudige modelopzet en het onvoldoende meewegen van stoffeigenschappen, aangemerkt worden als globale indicaties.

Meer recent zijn door Harker (1982), Haynie (1985) en Beaman en Kingsbury (1984) theoretische modellen geïntroduceerd en in enkele laboratoriumproeven geëvalueerd. Deze modellen beschrijven relaties tussen massadepositie en -bedekkingsgraad (optisch gemeten) en tussen zwevend-stofconcentraties en bedekkingsgraad. Deze modellen vragen als invoergegevens echter wel gedetailleerde kennis van alle hierboven genoemde stoffeigenschappen. Een herorientatie op de aangehaalde oudere literatuur, aan de hand van deze nieuwe modellen waarin de stoffeigenschappen beter tot hun recht komen, lijkt zeer aan te bevelen. Het koppelen van deze recente theoretische modellen als effectmodule aan geschikte verspreidings- of verspreidings- en depositiemodellen biedt mogelijkheden om de hinder van diverse stofbronnen af te schatten, wanneer daarnaast meer gedetailleerde gegevens over de eigenschappen van het zwevend stof verkregen kunnen worden. In een onlangs gehouden EPA "workshop" (Haynie en Spence, 1984) werden dergelijke studies aanbevolen als onmiddellijk bruikbare methoden om hiaten in kennis op te vullen, onafhankelijk van andere inspanningen.

### Conclusies

De perceptie van vervuiling door stof is gerelateerd aan de verandering van de lichtreflectie van een oppervlak wanneer dit ermee bedekt wordt. Hinder en klachten worden bepaald door de snelheid waarmee een oppervlak be-



dekt (en de reflectie veranderd) wordt en de frequentie waarmee hoge bedekkingssnelheden optreden.

De belangrijkste stofeigenschappen die de vervuiling bepalen zijn de deeltjesgrootte, de dichtheid van de deeltjes en de lichtreflectie van de deeltjes. Deze zullen, afhankelijk van de bron, met het stof sterk variëren en zijn niet goed bekend voor diverse broncategorieën en stofgroepen.

De oudere literatuur geeft slechts globale indicaties over aanvaardbare vervuiling en vervuilingssnelheden waarbij hinder wordt ondervonden, doordat de genoemde variabiliteit van stofeigenschappen onvoldoende in rekening wordt gebracht bij het herleiden van massadepositieflux naar bedekkingssnelheid. Aanbevolen wordt deze literatuur te evalueren met behulp van recente inzichten over depositiemechanismen, relevante stofeigenschappen en nieuwe theoretische modellen die reflectieveranderingen relateren aan concentratie en massadepositie van zwevend stof.

### 5.3 EFFECTEN OP MATERIALEN

De atmosferische aantasting van materialen is een gecompliceerd proces, waarbij zowel de eigenschappen van het materiaal als omgevingsfactoren zoals klimaat en de depositie van luchtverontreinigingen een interactieve rol spelen.

Depositie van zwevend stof op materiaaloppervlakken kan tot de volgende aantastingsprocessen aanleiding geven:

- directe chemische aantasting: o.a. door de inwerking van de in water oplosbare fractie van het stof.
- indirecte chemische aantasting: o.a. door absorptie van vocht en reactieve gassen aan deeltjes; processen die de vorming van een beschermende laag van corrosieproducten verhinderen.
- fysische aantasting: o.a. erosie door met stof beladen wind; mechanische slijtage van draaiende onderdelen; verstoring van de werking van elektrische contacten en isolatoren.

Van de fysische processen is vervuiling het belangrijkste effect. Vervuiling leidt tot esthetische waardevermindering. De technische eigenschappen van het materiaal veranderen hierdoor niet. De hinder ten gevolge van vervuiling is reeds in hoofdstuk 5.2 besproken. De directe en indirecte chemische aantasting is in belangrijke mate gekoppeld aan de

fysische en chemische eigenschappen van het gedeponeerde stof en derhalve aan de bron van het stof.

De fysische aantasting is meer het gevolg van de depositie van stof als zodanig en ook volkomen inert stof zal hier een rol spelen. De directe chemische aantasting moet vooral worden toegeschreven aan corrosieve chemische verbindingen als sulfaat, nitraat en chloride, die goed in water oplosbaar zijn. Deze verbindingen komen echter bijna uitsluitend voor in de fijne fractie van het zwevend stof. Chloride is mogelijk een grensgeval. In een zeer smalle zone langs de kust kan chloride (met de zee als bron) in de grove fractie voorkomen.

Met betrekking tot de in tabel 2.4 geïnterpreteerde stofgroepen in de industriële emissies vormen de anorganische verbindingen van natrium en kalium en de verbindingen van stikstof, fosfor en zwavel, voor zover ze in een reactieve vorm aanwezig zijn, potentiële kandidaten voor directe chemische aantasting. De indirecte aantasting is het gevolg van de hygroscopische en/of katalytische eigenschappen van het gedeponeerde stof. De elektrochemische corrosie van metalen vindt alleen plaats in aanwezigheid van vocht. Een vochtfilm op het metaal kan ook de depositiesnelheid van reactieve gassen verhogen. De depositie van hygroscopische zouten (sulfaten, nitraten, chlorides) en andere hygroscopische verbindingen verlengt de tijd dat het oppervlak nat is, zodat corrosie ook bij lagere relatieve vochtigheden optreedt, of versneld wordt. De bijdrage tot dit mechanisme moet ook vooral gezocht worden onder de groep anorganische verbindingen uit de lijst van industriële emissies (tabel 2.4).

De katalytische effecten bestaan uit het omzetten van minder agressieve verontreinigingen in meer agressieve producten die een aandeel leveren in de directe chemische aantasting. Vooral sporelementen als Mn, Fe, V worden hiervoor verantwoordelijk geacht. Deze stoffen zullen vooral te vinden zijn in de emissiegroep ertsen en mineralen.

De fysische aantasting is min of meer onafhankelijk van de aard van het stof. Het accent zou mogelijk kunnen liggen op de zeer harde stofdeeltjes zoals die in de groep ertsen en mineralen en zand voorkomen.

Naast de indirecte aantasting kan er ook sprake zijn van indirecte bescherming ten gevolge van stofdepositie, door het afschermen van onder invloed van zonlicht degraderende materialen, het neutraliseren van zure depositie door alkalische componenten van het stof en het versterken van de passiverende oppervlaktelagen die tijdens het aantastingsproces gevormd worden.

Hoewel de effecten van zwevend stof op materialen in laboratorium- en veldstudies aangetoond konden worden is de beschikbare informatie tot nog toe vooral van beschrijvende en constaterende aard. Expositie-effect-relaties zijn niet bekend. Gezien de complexe interactieve aard van de aantastingsprocessen kan ook niet anders verwacht worden bij een gangbare meetpraktijk waarin samenstelling en deeltjesgrootte van het deponerend stof niet gespecificeerd worden. Naar de huidige inzichten wordt aan de bijdrage van zwevend stof tot de atmosferische aantasting van materialen een geringere rol toegeschreven dan aan bijvoorbeeld de gecombineerde invloed van relatieve vochtigheid en zwaveldioxide.

Om meer dan kwantitatieve uitspraken te doen over het mogelijke aandeel van bepaalde broncategorieën in de aantasting van materialen zijn thans nog onvoldoende gegevens beschikbaar. Dit betreft met name de chemische samenstelling van het in de omgeving van bronnen deponerende stof en het mogelijke effect van allerlei verbindingen op tal van materialen. Daarbij moet opgemerkt worden dat niet de element-samenstelling alleen bepalend is, maar ook de vorm waarin het element chemisch gebonden is (reactiviteit-bepalend). De thans beschikbare gegevens over de chemische samenstelling van stof hebben voornamelijk betrekking op de element-samenstelling van zwevend stof met deeltjes kleiner dan 10  $\mu\text{m}$ .

In het bovenstaande kan dan ook niet meer dan een kwalitatieve aanduiding worden gegeven van mogelijke schade veroorzakende stofgroepen, gebaseerd op de algemene fenomenologie van aantastingsmechanismen. Het niet noemen van bijvoorbeeld de categorie organische stikstofverbindingen uit de tabel 2.4 betekent dan ook niet meer dan de onmogelijkheid om effecten daarvan thans in te schatten.

#### Conclusies

Aantasting van materialen ten gevolge van de depositie van zwevend stof is voor enkele chemische verbindingen, behorende tot de fijn stoffractie, in laboratorium- en veldstudies kwalitatief aangetoond. Op basis van de algemene fenomenologie van de aantastingprocessen kunnen enkele groepen van verbindingen voorkomend in de grof stoffractie als potentiële veroorzakers van schade aan materialen aangewezen worden.

Kwantitatieve expositie-effect-relaties zijn op basis van de huidige kennis niet aan te geven.

## 6. MEETMETHODEN

### 6.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beoogt het verkennen van de problemen aangaande meetmethoden met betrekking tot de haalbaarheid en de hanteerbaarheid van een effectgerichte normstelling voor grof stof. Meetmethoden voor het bewaken van emissies bij op- en overslag blijven buiten beschouwing.

Als basis voor deze verkenning wordt onder andere informatie van enkele recent uitgevoerde studies over monsternemingstechnieken en monsternemingsapparaten voor kolenstof (Vrins et al., 1985; den Boeft, 1984) gebruikt.

Overeenkomstig ISO-aanbevelingen (ISO-TC 146, 1983) kan stof op verschillende manieren in verschillende deeltjesgrootteklassen worden ingedeeld:

- totaal stof (10 nm tot enkele honderden  $\mu\text{m}$ 's);
- inspirabel stof (tot ca. 200  $\mu\text{m}$ , voorzover via neus c.q. mond wordt ingeademd);
- thoracaal stof (tot ca. 20  $\mu\text{m}$ , voorzover het na ingeademd te zijn in het thoracale deel van het menselijk ademhalingsstelsel wordt gedeponerd).  
Stof (10  $\mu\text{m}$  tot ca. 200  $\mu\text{m}$ ) dat in keel-neusholte wordt afgevangen wordt extra-thoracaal stof genoemd;
- respirabel stof (tot ca. 10  $\mu\text{m}$ , voorzover het na ingeademd te zijn in het alveolaire deel van het menselijk ademhalingsstelsel wordt gedeponerd).

Onder "fijn stof" wordt de thoracale fractie volgens de ISO-conventie (ISO-TC 146, 1983) verstaan met een  $d_{50}$  van 10  $\mu\text{m}$  en een  $d_0$  van 25  $\mu\text{m}$ .

Onder "grof stof" vallen de fracties totaal stof, inspirabel stof en extra-thoracaal stof voor het deel, groter dan "fijn stof".

Voor gezondheidsaspecten van grof stof zijn de inspireerbare, de thoracale en de extra-thoracale fractie het belangrijkste.

Ten aanzien van de normstelling bestaan verschillende mogelijkheden:

- concentratienorm, gericht op gezondheidseffecten;
- depositienorm, gericht op hinder/vervuiling;
- zowel een concentratie- als depositienorm.

Meetapparatuur benodigd, voorzover beschikbaar, om naleving van de norm(en) te controleren wordt in de volgende paragrafen besproken.

## 6.2 CONCENTRATIEMETINGEN

Een gezondheidsrelevante norm zal men bij voorkeur willen baseren op concentratieniveaus in de lucht. Belangrijk is hierbij dat deeltjes groter dan 10  $\mu\text{m}$  als regel in mond, neus en keelholte blijven steken. Deze deeltjes verdwijnen relatief snel in het maagdarmkanaal. Slechts oplosbare en uitloogbare deeltjes kunnen hier mogelijk effecten veroorzaken. Strikt genomen is het niet mogelijk eisen te formuleren die aan monsternemingsapparatuur moet worden gesteld als de norm nog niet bekend is. Toch worden een aantal belangrijke, algemeen geldende eisen genoemd:

- Het moet uit de totaalstoffractie deeltjes van 10  $\mu\text{m}$  tot 200  $\mu\text{m}$  kunnen aanzuigen.
- Het moet een representatief monster nemen, d.w.z. een monster waarin de deeltjesgroottesamenstelling overeenkomt met die van de buitenlucht. Hiervoor is het nodig dat de monsterneming isokinetisch en isoaxiaal kan worden uitgevoerd.
- Het moet een hoog aanzuigrendement voor grote deeltjes bezitten, die bij hoge windsnelheden relatief veel voorkomen. Bij voorkeur moet het aanzuigrendement onafhankelijk van de windsnelheid zijn.
- Het kan wenselijk zijn dat deeltjesclassificatie mogelijk is. Zonodig mag dit ook in de analysefase plaatsvinden.
- Stofspecifieke analyse moet mogelijk zijn. Indien er sprake is van normoverschrijding moet onderzocht kunnen worden welke bron hiervoor verantwoordelijk is (bronherkenning).
- De monsternemingsduur moet kort kunnen zijn. De toe te passen analysemethode stelt zijn eisen omtrent de benodigde hoeveelheid stof. De stofconcentraties gecombineerd met het debiet van het monsternemingsapparaat bepaalt de minimaal benodigde monsternemingsduur.

Een overzicht van de apparaten die mogelijk aan alle hierboven genoemde voorwaarden kunnen voldoen wordt in tabel 6.1 weergegeven. De voorselectie is gebaseerd op gunstige verwachtingen (resultaten van onderzoek), frequent gebruikte apparatuur en direct aanwijzende instrumenten.

Tabel 6.1 Monsternemingsapparaten (voorselectie).

Monsternemings- apparaat	Deeltjesdiameter ( $\sim d_{100}-d_0$ ) $\mu\text{m}$	Debiet ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	Monsternemings-/ analysemethode	Refs.
Meettunnel	10-1 à 200	2,5	filtratie/gravimetrie	Vrins, 1985 Boeft, 1984
Rotating arm collector	40-250	$\leq 80$	impactie-filtratie/- gravimetrie	Boeft, 1984
Rotorod	10-1 à 200	7	impactie/microscopie	Vrins, 1985 Boeft, 1984
Hirst spore trap	< 50	0,6	impactie/microscopie	Vrins, 1985
Gromoz	< 100	10-60	filtratie/microscopie	Vrins, 1985
EPA-HVS	>10-50	100	filtratie/gravimetrie	Vrins, 1985 Boeft, 1984
LIS/P	> 5-50	15	filtratie/gravimetrie	Vrins, 1985 Boeft, 1984
$\beta$ -stofmonitor	0,1-10	1	filtratie/verzwakking $\beta$ -straling	Vrins, 1985
Aethalometer	< 40	0,4	filtratie/lichtreflectie	Vrins, 1985 Lanting, 1985

Voor een beschrijving van de diverse monsternemingsapparaten wordt naar de aangehaalde referenties verwezen. In tabel 6.1 is slechts het monsternemingsprincipe alsmede het monsternemingsdebiet, het deeltjesgroottegebied van deeltjes die kunnen worden aangezogen en de meest toegepaste analysemethode vermeld. In tabel 6.2 wordt een overzicht gegeven van de mate waarin de diverse apparaten aan de hiervoor vermelde eisen voldoen. Er worden drie beoordelingsniveaus onderscheiden, te weten; (+) goed, ( $\square$ ) matig en (-) onvoldoende.

#### Bespreking van de eigenschappen van de monsternemers

Ten aanzien van de gezondheidrelevante fractie van het grove stof wordt de aandacht primair gericht op de vraag in hoeverre de aanzuigkarakteristiek de ISO-curve (0  $\mu\text{m}$  - 100%; 32  $\mu\text{m}$  - 50% en 180  $\mu\text{m}$  - 1%) volgt.

Indien men het vervuilingspotentieel van de grofstoffractie wil bepalen, bijvoorbeeld door reflectiemetingen, dan moet de totaal-stoffractie worden aangezogen. Als vertaalsleutel is de deeltjesgrootteverdeling en de dichtheid van het grove stof nodig.

Tabel 6.2 Beoordeling van diverse eigenschappen van concentratie-apparatuur (+ = goed; □ = matig; - = onvoldoende).

Monsternemings- karakteristiek Monsternemer	Grof stof representatief aanzuigen totaal inspirabel		Isokinetisch aanzuigen	Isoaxiaal aanzuigen	Windsnelheid onafhanke- lijk aanzuig- rendement	Deeltjes classifi- catie	Stofspeci- fiek analyse	Tijdsresolutie 5)
Meettunnel	+	-	+	+ <sup>1)</sup>	+/□	+ <sup>2)</sup>	+	≥ 1h
Rotating arm collector	+	-	+	n.v.t.	+/□	+ <sup>2)</sup>	+	≤ 1h
Rotorod	+	-	n.v.t.	n.v.t.	+	+ <sup>3)</sup>	+	≤ 2h
Hirstspore trap	-	+/□	-	+	-	+ <sup>4)</sup>	+	≤ 2h
Gromoz	-	+/□	-	-	-	+ <sup>2)</sup>	+	≤ 1h
EPA-HVS	-	□/-	-	-	-	+ <sup>2)</sup>	+	≤ 1h
LIS/P	-	□/-	-	+	-	+ <sup>2)</sup>	+	≥ 1h
β-stofmonitor	-	-	-	+/□	□/-	-	+/□	> 1h
Aethalometer/smoke recorder	-	-	-	?	□/-	-	+/□	≥ 1h

1) Voorzien van windvaan;

2) Op filter m.b.v. microscopie mits bezettingsgraad niet te hoog is;

3) Op staafje m.b.v. microscopie mits bezettingsgraad niet te hoog is;

4) Op klevende folie m.b.v. microscopie mits bezettingsgraad niet te hoog is;

5) De berekening van de minimaal benodigde monsternemingsduur is gebaseerd op het aanzuigdebiet, een benodigde hoeveelheid stof (gravimetrie) van 1 à 2 mg (met een nauwkeurigheid van 1 mg) en een totaal-stofconcentratie van  $100 \mu\text{g.m}^{-3}$  (2x gemiddeld TSP).

De aethalometer/smokerecorder en de  $\beta$ -stofmonitor zijn ongeschikt voor de monsterneming van grof stof. De Hirst spore trap en de Gromoz zijn matig geschikt voor de bemonstering van de inspireerbare stoffractie. Daarbij moet worden aangetekend dat de Gromoz een te hoog aanzuigrendement voor deeltjes van 20  $\mu\text{m}$  en 50  $\mu\text{m}$  heeft (Vrins et al., 1985).

De LIS/P voldoet redelijk als monsternemer van inspireerbaar stof, alleen voor windsnelheden tot 6  $\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ . De aanzuigkarakteristiek van de EPA-HVS is minder gunstig dan die van de LIS/P. Dit wordt mede veroorzaakt door de oriëntatiegevoeligheid van het instrument, oftewel het aanzuigrendement is afhankelijk van de windrichting (van der Meulen et al., 1984).

De aanzuigkarakteristiek van meettunnel, rotorod en rotating arm collector komt niet overeen met de ISO-curve voor inspireerbaar stof. Voor de monsterneming van inspireerbaar stof zijn deze monsternemers niet geschikt. Dit geldt wél voor het bemonsteren van de totaalstoffractie.

Met name voor de rotorod is de beperkte monsternemingsduur, wegens verzaaging van de staafjes, een beperking. Het apparaat is dan ook niet geschikt voor het uitvoeren van routinematige metingen.

De rotating arm collector was opgenomen in een monsternemer-evaluatie project dat door ECN in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kolen werd uitgevoerd. Momenteel zijn er nog geen evaluatieresultaten van dit instrument beschikbaar.

Kort samengevat lijken de gunstigste perspectieven voor totaal-stofmetingen te liggen bij de meettunnel en de rotating arm collector. Ten aanzien van inspireerbaar stof zijn dit respectievelijk Hirst Spore Trap\* en Gromoz. Geen van deze vier monsternemers is geschikt voor het toepassen in sterk geautomatiseerde meetnetten.

### 6.3 DEPOSITIEMETINGEN

Een belangrijk effect van grof stof is hinder/schade door vervuiling van allerlei oppervlakken waaronder glasdekken van kassen e.d. en gewassen in de buitenlucht.

---

\* Inmiddels vervangen door een verbeterde versie onder de naam Burkhard Spore Trap.



Metingen van natte en droge depositie worden op diverse plaatsen in Nederland uitgevoerd. TNO, ECN, LH-Wageningen, IMOU en KNMI (Besiot et al., 1983) gebruiken hiervoor open neerslagvangers. Persson (1969) stelde op grond van metingen met open neerslagvangers een schaal op voor de relatie tussen de vervuilingsgraad en de stofdepositie. Een stofdepositie van  $5 \text{ à } 8 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{maand}^{-1}$  werd in dichtbevolkte gebieden nog acceptabel gevonden.

Afgezien van het feit dat niet bekend is hoe een eventuele depositienorm zal luiden, wordt in het volgende ingegaan op welke eisen men aan een depositiemeetmethode zou moeten stellen.

- De gemeten depositie moet representatief zijn voor de depositie van grof stof.
- Indien men een koppeling wil leggen tussen depositie en hinder dan moet de meetmethode hinderrelevant zijn. De mate van hinder wordt bepaald door de vermindering van de reflectie van het vervuilende oppervlak. De analyse moet dus bijvoorkeur door middel van een reflectiemeting plaatsvinden. Voor transparante oppervlakken kan ook transmissievermindering worden bepaald. Het te bemonsteren oppervlak moet representatief zijn voor vervuilende (natuurlijke) oppervlakken.
- Fluctuerende depositieniveaus o.a. ten gevolge van variërende emissies en wisselende meteocondities vereisen een korte monsternemingsperiode. De monsternemingsperiode moet de mogelijkheid van een monsternemingsduur van 1 à 2 uur bieden. Dit betekent dat een stofdepositie van  $5 \text{ à } 11 \text{ mg.m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$  meetbaar moet zijn ( $\sim 5\text{-}8 \text{ g.m}^{-2} \cdot \text{maand}^{-1}$ ).
- De invloed van neerslag en windsnelheid moet zo klein mogelijk zijn. Afspoelen van deeltjes door regen is toelaatbaar mits dit op een zodanige wijze plaatsvindt dat dit vergelijkbaar is met het afspoelen van deeltjes van "echte" oppervlakken.
- De meetstrategie kan vereisen, in verband met de variatie in ruimte, dat er een groot aantal monsternemers wordt ingezet. Dit verlangt een lage kostprijs per apparaat.
- Een groot aantal monsternemers levert een groot aantal monsters. Een relatief eenvoudige analyseprocedure is daarom gewenst.
- In verband met de herkomst van het stof moet het mogelijk zijn om een stofspectifieke analyse uit te voeren.
- Het kunnen bepalen van een deeltjesgrootteverdeling is gewenst.

In tabel 6.3 wordt een overzicht gegeven van de bestaande monsternemingsinstrumenten die mogelijk aan alle hierboven genoemde eisen voldoen. Voor een beschrijving van de diverse apparaten wordt naar de aangehaalde referenties verwezen.

Tabel 6.3 Overzicht van depositiemonsternemers (den Boeft, 1984).

Monsternemingsapparaat	Meetduur (dagen) (gestandaardiseerd)	Natte/droge
kleeffolie (Haftfolie nach Diem)	7	droog
neerslagvanger(s)	30±2	nat + droog
depositieplaat	7/14	droog
frisbee (inverted)		nat + droog
microscopglaasje/petrischaal		droog
Luikse bol	30	droog
directional dust gauge		droog
atmospheric adhesive impactor	7	droog
kunstgras	30	nat + droog
actief aanzuigende monsternemer		droog

De kleeffolie, de neerslagvangers en de depositieplaat zijn gestandaardiseerde monsternemingsapparaten. De primaire analysemethode is gravimetrie. Zo nodig wordt aanvullend een stofspecifieke analyse uitgevoerd.

In tabel 6.4 wordt een overzicht gegeven van de mate waarin de diverse monsternemingsapparaten aan de gestelde eisen voldoen. Wederom worden drie niveaus onderscheiden (+) goed, (□) matig en (-) onvoldoende.

Bespreking van de diverse monsternemingsapparaten:

De representativiteit van de diverse monsternemers is beperkt. In alle gevallen gaat het om surrogaat-oppervlakken die horizontaal en/of verticaal zijn opgesteld. Dit is de reden waarom bijna alle monsternemers, ten aanzien van hinderrelevantie, met matig worden beoordeeld.

Tabel 6.4 Beoordeling van diverse eigenschappen van depositieapparatuur (+ = goed; □ = matig; - = onvoldoende).

Monsternemings- karakteristiek Monsternemingsapparaat	Representa- tief deposi- tiemonster	Hinderrele- vant	Monsterneming van 2h moge- lijk <sup>4)</sup>	Invloed meteo regen windsn.	Deeltjes- grootte- verdeling	Stofspeci- fieke ana- lyse	Kostprijs	
kleeffolie	+/□	□	+	-	+/□	+ <sup>1)</sup>	□	+
neerslagvanger(s)	-	□/-	-	+	-	□ <sup>2)</sup>	+	+/□
depositieplaat	+/□	□	+	-	+/□	+ <sup>1)</sup>	□	+
frisbee (inverted)	+/□	□	+/□	+	□	□ <sup>2)</sup>	+	+
microscopglaasjes/petrischaal	+/□	□	+	-	+/□	+ <sup>1)</sup>	□	+
Luikse bol	+/□	□	+/□	-	□	□ <sup>3)</sup>	□	+
directional dust gauge	+/□	□	+/□		□	+/□	+	+/□
atmospheric adhesive impactor	+/□	□	+	-	□	+ <sup>1)</sup>	□	+
kunstgras	+/□	□	+/□	+	□	□ <sup>2)</sup>	+	+
actief aanzuigende monsternemer	+/□	□	+/□	-	□	+/□ <sup>1)</sup>	+	+/□

- 1) met microscopie bij matige bezetting;
- 2) alleen voor de niet oplosbare fractie;
- 3) alleen voor de niet in wasbenzine oplosbare fractie;
- 4) op basis van microscopie als analysemethode.

Ten aanzien van het vangstrendement zijn neerslagvangers op ruime schaal onderzocht. Voor deeltjes tot 200  $\mu\text{m}$  neemt het vangstrendement sterk af bij hogere windsnelheid. Naarmate de deeltjes kleiner worden, wordt de invloed van de windsnelheid groter. Het vangstrendement voor vlakke platen en vergelijkbare monsternemers is over het algemeen gunstiger dan die van neerslagvangers.

Indien men een gevoelige analysemethode (bijv. microscopie) toepast, kunnen met een aantal instrumenten kortdurende monsternemingen van 1 à 2 uur worden uitgevoerd. Reflectiemetingen verlangen veelal een hogere bezettingsgraad dan microscopie. Behalve voor het actief aanzuigend systeem is niet bekend in hoeverre met succes reflectiemetingen aan dergelijke surrogaatoppervlakken zijn uitgevoerd.

Deeltjesgrootte-verdelingen kunnen meestal worden bepaald. Soms is dit alleen het geval voor de niet-oplosbare fractie (water, wasbenzine). Een stofspecifieke analyse aan depositie-oppervlakken is niet eenvoudig. Dit geldt zeker voor die analystechnieken waarvoor het stof van het oppervlak moet worden verwijderd.

Vooralsnog lijkt van de beschikbare technieken de kleeffolietechniek, of daarvan afgeleide methoden, het meeste perspectief te bieden. Hierbij zijn echter enkele beoordelingsaspecten buiten beschouwing gebleven. Er is momenteel geen, in een voldoende mate geëvalueerde, reflectie- of transmissie-analysemethode beschikbaar.

Eenvoudige monsternemingsapparatuur verlangt een aanzienlijke personele bezetting te velde. Dit is zeker het geval bij kortdurende monsternemingen (enkele uren) waarbij een groot aantal monsters wordt verzameld. Indien er een geschikte (integrale) analysemethode (reflectie/transmissie) beschikbaar komt, kunnen de analysekosten beperkt blijven. Wanneer echter van microscopie gebruik moet worden gemaakt zullen de kosten aanzienlijk hoger uitvallen. Het gebruik van beeldanalyseapparatuur kan in dit geval de analysekosten beperken.

Kort samengevat komt het er op neer dat er geen hinderrelevante depositie-meetmethode voor grof stof beschikbaar is. Ten koste van veel veld- en analyse-inspanningen kan een kleeffolie of daarvan afgeleide methode worden toegepast.

Voor het ontwikkelen van een instrument dat routinematig kortdurende hinderrelevante depositiemetingen automatisch kan verrichten zal nog veel onderzoek nodig zijn.

## 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In het eerder verschenen criteriadocument fijn stof, werd fijn stof conform de ISO-conventie gedefinieerd als de thoracale (inhaleerbare) fractie met een  $d_{50}^*$  van 10  $\mu\text{m}$  en een  $d_0^{**}$  van 25  $\mu\text{m}$ . Grof stof zou derhalve gedefinieerd kunnen worden door de bovengrens van fijn stof als ondergrens van de grof stof fractie te kiezen. Dit houdt in dat de grof stof fractie bestaat uit een deel dat inhaleerbaar is (complementair 10  $\mu\text{m}$  - 25  $\mu\text{m}$ ), een deel dat door aanzuiging uitsluitend de neus- en keelholte bereikt (25-200  $\mu\text{m}$ ) en een deel dat niet inadembaar is (> 200  $\mu\text{m}$ ). Dit is een gezondheidskundige benadering. Voor normering gericht op hinder en/of aantasting verdient wellicht een andere begrenzing de voorkeur (b.v. bij 10  $\mu\text{m}$ ). Op basis hiervan zijn er de volgende mogelijkheden:

### Concentratienorm, gericht op gezondheidseffecten

Ofschoon met onderhavige voorstudie de emissies in kaart zijn gebracht en inzicht is gegeven in de verspreiding van grof stof, zijn er onvoldoende gegevens inzake de samenstelling, toxiciteit en dosimetrie om een voorlopige schatting van potentiële gezondheidsrisico's te kunnen geven.

Vast staat dat door de grote variatie met betrekking tot de samenstelling van grof stof een evaluatie van gezondheidseffecten op wetenschappelijke basis nimmer zal leiden tot een voorstel van één toxicologische advieswaarde uitgedrukt in een fysische grootte omdat de biologische effecten naast de deeltjesgrootte en -concentratie sterk afhankelijk zijn van de aard van de deeltjes. Daar zowel ten aanzien van de potentiële gezondheidseffecten, als gezien de grotere emissie en de ruimere verspreiding van fijn stof de risico's voor de volksgezondheid van de fijne stoffractie als belangrijk groter kunnen worden aangemerkt dan die van grof stof, wordt op dit punt aanbevolen de aandacht vooralsnog te beperken tot de inspirabele fijne stoffractie.

### Depositienorm, gericht op hinder en/of aantasting

Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen hinder en aantasting. Het primaire effect van depositie is vervuiling van materiaaloppervlakken,

---

\*  $d_{50}$ : 50% afsnijdiameter, d.w.z. deeltjes van 10  $\mu\text{m}$  worden met 50% kans geïnhaleerd in de thorax.  
\*\*  $d_0$ : bovenste afsnijdiameter, d.w.z. kans op inhalatie is nihil.

resultierend in klachten wegens hinder en overlast. Deze worden naast verschillende eigenschappen van het stof bepaald door een veelheid van factoren zoals de eigenschappen van het materiaal, microbiologische processen, omgevingsfactoren, als ook door de mate waarin vervuiling wordt geaccepteerd. De belangrijkste stofeigenschappen zijn afhankelijk van de bron van het stof sterk verschillend en zijn niet altijd goed bekend voor diverse broncategorieën en stofgroepen. Evenals voor de gezondheidkundige aspecten geldt hier dat generalisatie van de hinder tot een eenvoudige functie van de stofemissie, -concentratie of gedeponeerde stofmassa niet mogelijk is. Teneinde te komen tot al dan niet gedifferentieerde advieswaarden is een heroriëntatie inzake aanvaardbare vervuiling en vervuilingssnelheden waarbij hinder wordt ondervonden, aan de hand van nieuwe inzichten, aanbevelingswaardig, waarbij het belang van de stofeigenschappen conform recente modellen beter wordt meegewogen.

Ook voor het controleren van de naleving van een depositienorm is verder onderzoek noodzakelijk; thans is er geen hinderrelevante depositie meetmethode voor grof stof beschikbaar.

Met betrekking tot aantastingsprocessen kan onderscheid worden gemaakt tussen directe en indirecte aantasting en fysische aantasting. Ofschoon op basis van de algemene fenomenologie van deze enkele groepen van verbindingen voorkomend in de stoffractie als potentiële veroorzakers van schade aan materialen kunnen worden aangewezen, zijn kwantitatieve blootstelling-effect relaties nog onbekend. Zowel de samenstelling als vorm van het deponerende stof is bepalend voor de reactiviteit, maar worden bij de gangbare meetpraktijk niet gemeten. Derhalve zijn er onvoldoende gegevens beschikbaar om het mogelijk aandeel van bepaalde broncategorieën in de aantasting van materialen aan te geven.

Op basis van het voorgaande wordt gezien de mogelijke relatieve beperkte graad van ernst van het grof stof probleem enerzijds en de grote lacunes in kennis anderzijds, het op korte termijn doen opstellen van een basisdocument grof stof ontraden. Inzake de gezondheidseffecten wordt voorgesteld de aandacht vooralsnog te beperken tot de inspirabele fractie, wat wordt gedekt door een eventuele fijn stof norm. Voor hinder en aantasting is nader onderzoek gewenst ten einde een depositienorm te onderbouwen.

## 8. REFERENTIES

### 8.1 REFERENTIES HOOFDSTUK 1

ISO (1983)

Air quality-Particle size fraction definitions for health related sampling.

Technical report ISO/TR 7708-1983.

### 8.2 REFERENTIES HOOFDSTUK 2

Blanchard, D.C. (1985)

The oceanic production of atmospheric sea salt.

J. of Geophysical Research 90, p. 961-963.

CBS (1983)

Statistisch zakboek 1983.

CBS (1984)

De Nederlandse Energiehuishouding 1981.

CBS (1985)

Emissies en emissiefactoren voor wegverkeer.

Statistisch Bulletin, januari 1985.

Emissieregistratie (1974-1984)

Rapporten per provincie.

VROM, Leidschendam.

EPS, Environmental Protection Service (1983)

A nationwide inventory of emissions of air contaminants 1978.

Report EPS 3-EP-83-10, Canada.

Ganley, J.T. en G.S. Springer (1974)

Physical and chemical characteristics of particulates in spark ignition engine exhaust.

Environ. Sci. Technol. 8, p. 340-347.

Harmon, D.L. (1983)

EPA inhalable particulate emission factor development plan.  
Paper presented at the 76th annual meeting of the Air Pollution Control Association, Atlanta.

KEMA (1985)

Persoonlijke mededelingen.

Korevaar, R. (1985)

Volgend jaar eisen aan kwaliteit en brandstof van allesbranders.  
Toegepaste Wetenschap TNO, februari 1985.

Markesteijn, A.J. van (1976)

Onderzoek naar de emissies van koper en ijzer langs het N.S. Spoorwegnet.  
Rapport CTD/4/T/10263/2.

Mulder, W. (1985)

Voorstel voor het gebruik van emissiefactoren bij de opslag van goederen en emissiefactoren voor fijn stof.  
MT-TNO rapport 84/211.

Ritskes, T.M. (1985)

Staatsbosbeheer, afdeling statistiek.  
Persoonlijke mededelingen.

Rijkeboer, R.C. (1979)

Minder bekende stoffen in uitlaatgassen van verbrandingsmotoren I - Conventionele motoren.  
IW-TNO rapport 700320003/1.

UBA (1980)

Emissionsfaktoren für Luftverunreinigungen Feuerungs - und Aufbereitungsanlagen sowie Lagerung und Umschlag fester und flüssiger Stoffe.  
Materialien 2/80.

UBA (1983)

Das Abgasemissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik.  
Deutschland in Bezugsjahren 1980.



Vate, J.F. van de, H.M. ten Brink en R.K.A.M. Mallant (1982)

Milieuhygienisch aërosol onderzoek.

Eindverslag van het deelproject betreffende de vergelijking van zeezout-aërosol met spoorbestanddelen in zeewater.

VROM (1981)

Handbook of Emission Factors Part I.

Non-industrial sources.

VROM (1983)

Handbook of Emission Factors Part II.

Industrial sources.

Waqué, W.P.G.M. (1984)

De invloed van huisvuilverbrandingsinstallaties op hun omgeving.

Lucht en Omgeving 1, p. 118-123.

Winchester, J.W. (1981)

Particulate matter and sulfur in the natural atmosphere.

Nuclear Instruments and Methods 181, p. 367-381.

### 8.3 REFERENTIES HOOFDSTUK 3

Bakkum, A., R.L. de Fiellietaz Goethart (1980)

Stofemissies bij de overslag en het bewerken van granen en derivaten.

Voedingsmiddelentechnologie 13, no. 12, 19-23.

Don, J.A. (1982)

Inventarisatie en bestrijding van stofemissie als gevolg van de overslag van tapioca bij de GEM-terminal in Europoort.

MT-TNO rapport 82-0356.

Rao, K.S. (1982)

Analytical solution of a gradient-transfer model for plume deposition and sedimentation. IAG-AD-13-F-0177-0.

Environmental Sciences Research Laboratory Office of R & D, U.S. EPA, Research Triangle Park, North Carolina 27711.

Rao, K.S. en H.F. Snodgrass (1982)

PAL-DS model: The PAL model including deposition and sedimentation  
IAG-AD-13-F-0177-0.

Environmental Sciences Research Laboratory office of R & D, U.S.  
EPA, Research Triangle Park, North Carolina 27711.

Sehmel, G.A. en W.H. Hodgson (1981)

A model for predicting dry deposition of particles and gases to environmental surfaces.

A.I.Ch.E. Symposium Series No. 196, 76, 218-230.

Vermeulen, P.E.J., A.E.A. van Velde en P.G. Eggels (1985)

Modelbeschrijving opwaaiend kolenstof, interim resultaten "Amer Centrale".

MT-TNO notitie, dossier 8724-14843.

Visser, G.Th. (1984)

Inventarisatie en beoordeling van de internationale stand van zaken betreffende emissies en emissiefactoren van opwaaiend kolenstof bij de op- en overslag van steenkool.

MT-TNO rapport 84-01340.

#### 8.4 REFERENTIES HOOFDSTUK 4

Janssen, L.A.M. en J. den Boeft (1982)

Stofemissie bij op- en overslag (78).

TNO-MT-rapport 82-07624.

Lanting, R.W. (1984)

Inventarisatie en beoordeling van de internationale stand van zaken betreffende concentratie- en depositiemetingen van (kolen)stof rond kolen op- en overslagplaatsen.

TNO-IMG-rapport G1280.

Lundgren, D., B.J. Hausknecht en R.M. Burton (1984)

Large particle size distribution in five U.S. cities and the effect on a new ambient particulate matter standard ( $PM_{10}$ ).

Aerosol Sci. Tech., 3, 467-473.

Mamane, Y. en K.E. Noll (1985)

Characterization of large particles at a rural site in the eastern United States: Mass distribution and individual particle analysis. *Atm. Environ.* 19, 611-622.

Pinnick, R.G., G. Fernandez, B.D. Hinds, C.W. Bluce, R.W. Schaefer en J.D. Pendleton (1985)

Dust generated by vehicular traffic on impared roadways: Sizes and infrared extinction characteristics. *Aerosol Sci. Techn.* 4, 99-121.

#### 8.5 REFERENTIES HOOFDSTUK 5

Beaman, A.L. en R.W.S.M. Kingsbury (1984)

Recent developments in the method of using sticky pads for the measurement of particulate nuisance. *Clean Air*, 14, no. 2, 74-81.

Bowes, S.M. en D.L. Swift (1986)

Aerosol deposition in the human oral passage during natural oronasal breathing (ibid). 197-199.

Carey, W.F. (1959)

Atmospheric deposits in Britain, a study of dinginess. *Int. J. of Air Poll.*, 2, 1-26.

Dongen, J.E.F. van (1984)

Inventarisatie en beoordeling van de internationale stand van zaken betreffende hinder bij omwonenden door (kolen-)stof afkomstig van kolenopslag- en overslagplaatsen. Rapport D82, TNO-IMG.

Esman, N.A. (1973)

A direct measurement method for dustfall. *J. Air Poll. Control Ass.*, 23, no. 1, 34-36.

Hancock, R.P., N.A. Esmen en C.P. Furber (1976)

Visual response to dustiness. *J. Air Poll. Control Ass.*, 26, no. 1, 54-57.

Harker, A.B. (1982)

Particulate matter soiling of materials.  
EPA Contact 68-02-3422.

Haynie, F.H. (1985)

Theoretical model of soiling of surfaces by airborne particles.  
Paper presented at the Second US-Dutch International Symposium:  
Aerosols, Williamsburg, Virginia, May 1985.

Haynie, F.H. en J. Spence (1984)

Final report of the EPA workshop on research strategies to study the  
soiling on buildings and materials.  
Environ. Sci. Res. Lab., US EPA, Research Triangle Park, NC, April  
1984, 50 pp.

Lanting, R.W. (1985)

Black smoke and soiling.  
Paper presented at the Second US-Dutch International Symposium:  
Aerosols, Williamsburg, Virginia, May 1985.

Lanting, R.W. en H. Harssema (1984)

Inventarisatie en beoordeling van de internationale stand van zaken  
betreffende effecten van opwaaiend kolenstof op biotische en abio-  
tische systemen.  
Rapport G1314, TNO-IMG.

Persson, G. (1969)

Luftförorening och Luftvärd.  
Bonniers Uggk Böcker, 1969.

Pwa, K.L., W.B. Franken en J. Tegelaar (1986)

Vervuilingsonderzoek, buiten-expositieproeven op bouwmaterialen.  
Rapport 1-86-1, Stevin Laboratorium, afd. Civiele Techniek THD.

Shillito, D. (1978)

Community dust nuisance from industrial emissions.  
Institution of Chemical Engineers Symposium "Dust Control", Salford  
March 1978.

Svartengren, M. et al. (1986)

Deposition of particles in the lung.

In: Aerosols: Formation and reactivity.

Proc. 2nd Int. Aerosol Conference Berlin, Pergamon Press, Oxford, 182-186.

## 8.6 REFERENTIES HOOFDSTUK 6

Besiot, W., J.J. Boersma, R.B.M. Geuskens, P. Hofschreuder en R.W.

Keulen (1983)

Aërosolen - van uitworp tot effect (feasibility study aerosolen) deel II.

MSG-Groningen (Milieukundige studies nr. 10-1983); LH-Wageningen (rapport R-70-1983).

Boeft, J. den (1984)

Inventarisatie en beoordeling van de internationale stand van zaken betreffende methoden voor monsterneming en analyse van opwaaiend koolstof.

IMG-TNO rapport G 1316, mei 1984.

ISO-TC 146 (1983)

Air Quality - Particle size fraction definition for health related sampling.

Technical report ISO/TR 7708-1983.

Lanting, R.W. (1985)

Normstelling voor op- en overslagbedrijven - een haalbaarheidsstudie - MT-TNO rapport (concept), juni 1985 (nog niet gepubliceerd).

Meulen, A. van der, P. Hofschreuder, J.F. van de Vate en F. Oeseburg (1984)

Feasibility of high volume sampling for determination of total suspended particulate matter and trace metals.

J. Air Poll. Control Ass. 31, 144-151.

Persson, G. (1969)

Luftförening och luftvård.

Bonniers Uggle Böcker, 1969.

Vrins, E.L.M., P. Hofschreuder, W.M. ter Kuile, F. Oeseburg en  
P.T. Alderbesten (1985)

Het vangstrendement voor grof stof van de mens en van meetinstrumenten  
in de buitenlucht.

LH Wageningen rapport R-139, augustus 1985.