



AB

Emissies van fijn stof in de landbouw

W.J. Chardon

AB, Wageningen
september 1999

Rapport 105

AB, Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek

AB is een moderne, marktgerichte onderzoeksorganisatie die resultaten van wetenschappelijk onderzoek vertaalt naar maatoplossingen voor klanten. Kennis van processen in plant, gewas en bodem benut AB voor het sturen van de kwaliteit van land- en tuinbouwproducten in de keten en voor het duurzaam en landschappelijk aantrekkelijk maken van plantaardige productiesystemen. Integratie van kennis in operationele modellen geeft meerwaarde aan de onderzoeksproducten van AB.

De klantenkring omvat bedrijfsleven, land- en tuinbouw, inrichters van de groene ruimte, nationale en regionale overheden, en internationale organisaties.

AB beschikt over unieke expertise op het gebied van plantenfysiologie, gewas- en productie-ecologie, bodemchemie en -ecologie en systeemanalyse.

Het instituut heeft geavanceerde faciliteiten voor onderzoek aan fysiologische processen, planten, gewassen en eco-systemen: goed geoutilleerde laboratoria, verschillende typen klimaatruimten, het 'Wageningen Phytolab', het 'Wageningen Rhizolab', 'Open-Top kamers' en proefbedrijven op verschillende grondsoorten.

De producten die AB op de markt brengt zijn gegroepeerd in drie productgroepen:

Plantaardige productie en productkwaliteit

- Geïntegreerde en biologische productiesystemen
- Onkruidbeheersingssystemen
- Precisielandbouw
- Groene grondstoffen en inhoudsstoffen
- Innovatie glastuinbouw
- Kwaliteit van plant, gewas en product

Bodem-plant-milieu

- Bodem- en luchtkwaliteit
- Klimaatverandering
- Biodiversiteit

Multifunctioneel en duurzaam landgebruik

- Nutriëntenmanagement
- Rurale ontwikkeling en voedselzekerheid
- Agro-ecologische zonerings
- Multifunctionele landbouw
- Agrarisch natuurbeheer

Adres : Bornsesteeg 65, Wageningen
: Postbus 14, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317-475700
Fax : 0317-423110
E-mail : postkamer@ab.wag-ur.nl
Internet : <http://www.ab.wageningen-ur.nl>

AB, CPRO en IPO zijn de fusiepartners in Plant Research International, deel van Wageningen UR

Inhoudsopgave

	pagina
1. Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Doel van het onderzoek	1
2. Werkwijze	3
3. Verslag literatuuronderzoek	5
3.1 Kunstmeststoffen	5
3.2 Bestrijdingsmiddelen	8
3.3 Krachtvoer en grasproducten	9
3.4 Agrarisch grondgebruik	12
3.5 Winderosie, verstuiving	16
3.5.1 Inleiding	16
3.5.2 Mate van bodemerosie in Nederland	19
3.5.3 Aandeel fijn stof in geërodeerd materiaal	19
3.5.4 Oogstwerkzaamheden en grondbewerking	20
3.5.5 Samenvatting schattingen	20
4. Samenvatting en conclusies	23
5. Referenties	25

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

In augustus 1998 is door de Directie Lucht & Energie (L&E) van het Directoraat Generaal Milieubeheer (DGM) van het Ministerie van VROM aan AB-DLO opdracht verleend tot het schatten van de bijdrage van de landbouw (i.e. land- en tuinbouw, veehouderij) aan de emissie van fijn stof in Nederland. De achtergrond van het verzoek is als volgt.

Door het RIVM worden, in opdracht van de Directie L&E van VROM-DGM metingen verricht aan het gehalte van fijn stof ($< 10 \mu\text{m}$, PM10) in de buitenlucht. Dit stof heeft als eigenschap dat het tot in de longen van de mens doordringt, en betekent dus een gezondheidsrisico. Van ruwweg de helft van dit stof is de herkomst bekend (Leendertse, 1997), aan de andere helft draagt de landbouw mogelijk bij.

Uit eerder onderzoek van onder meer het IMAG-DLO in stallen (Groot Koerkamp et al., 1996) staat vast dat de veehouderij een bijdrage levert via emissie van stof vanuit stallen (o.a. via veevoeder). Ook is een schatting gemaakt van verbrandingsprocessen in de glastuinbouw. Naar activiteiten in andere takken van de landbouw is echter nauwelijks onderzoek gedaan. In dit onderzoek wordt een inventarisatie gemaakt van landbouwkundige activiteiten (uitgezonderd stallen) die een emissie van fijn stof met zich mee kunnen brengen. Niet inbegrepen is de emissie van stoffen die via aerosolvorming bijdragen aan fijn stof in de buitenlucht, ook wel secundair stof genoemd; een voorbeeld hiervan is NH_3 . Ook het verbranden van land- en tuinbouwfval in de open lucht is niet onderzocht; hoewel het hier en daar nog wel voorkomt is dit vrijwel nergens meer toegestaan, en er vindt dus ook geen registratie plaats.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van het project is het maken van een inventarisatie van landbouwkundige activiteiten welke de emissie van fijn stof kunnen veroorzaken, met een schatting van de omvang en locatie van de emissie, de grootteverdeling en de (fysisch-chemische) aard van de deeltjes.

Per type grondgebruik c.q. landbouwkundige activiteit zijn de mogelijkheden tot kwantificering van de emissie van fijn stof vastgelegd (vaststellingsmethodiek). Berekeningen om de stofemissie te kwantificeren zijn uitgevoerd wanneer de mogelijkheid daartoe aanwezig bleek.

2. Werkwijze

Het project is in twee fasen uitgevoerd, wat de mogelijkheid bood om tussentijds op basis van de tot dan verkregen resultaten te besluiten over de wijze van voortzetting.

In fase A is het karakter van de verschillende stofemissies beschreven en is aangegeven hoe kwantificering ervan mogelijk is. Na overleg met de begeleidingscommissie zijn in fase B de emissies gekwantificeerd voor een gekozen set van landbouwkundige activiteiten. De leden van de begeleidingscommissie waren: K.R. Krijgheld en H. Herremans (VROM, DGM, Directie Lucht & Energie), en L.G. Wesselink en K.W. van der Hoek (RIVM, afd. LAE).

De inventarisatie is opgemaakt door middel van literatuuronderzoek en aanvullende bijdragen van, en vraagsprekken met medewerkers van onder meer DLO en IKC landbouw. Mondelinge bijdragen zijn in dit rapport opgenomen onder vermelding van achternaam, instituutsnaam en als toevoeging p.m.

De auteur is veel dank verschuldigd aan de leden van de begeleidingscommissie voor hun kritische discussies over eerdere versies van dit rapport, en aan al diegenen die hebben bijgedragen aan de studie, door het aanleveren van literatuur of andere gegevens. Dit geldt met name voor dhr. E. Vrins uit Randwijk.

3. Verslag literatuuronderzoek

In de volgende paragrafen worden achtereenvolgens schattingen gegeven van het verbruik van kunstmeststoffen, bestrijdingsmiddelen, krachtvoer en grasproducten en van de fijn-stofemissie die daarvan het gevolg kan zijn. Tevens zijn gegevens opgenomen van het agrarisch grondgebruik in Nederland en wordt een samenvatting gegeven van de literatuur over winderosie met daaraan ontleende schattingen.

Mulder (1986) geeft emissiefactoren bij op- en overslag, en het percentage fijn stof van totaal stof, voor een groot aantal stoffen en producten. Hieronder zijn veel materialen die in de landbouw worden gebruikt of daarin worden geproduceerd. Met behulp van beide gegevens kan de fijn-stofemissie (FSE; ton fijn stof per Kton product per jaar) worden berekend. De emissiefactoren en de FSE zijn samengevat in Tabel 1 en worden in de volgende paragrafen gebruikt.

Tabel 1. Emissiefactoren voor drie klassen van stuifgevoeligheid, en percentage fijn stof van totaal.

	Klasse		
	S1	S3	S5
Emissiefactor (gewichts %)	0,1	0,01	0,001
Percentage fijn stof van totaal stof	20	10	5
Fijn-stofemissie, ton/Kton (FSE)	0,2	0,01	0,0005

Emissiefactoren kunnen gebruikt worden voor niet-reactieve producten. Een S1-product wordt sterk stuifgevoelig genoemd, S3 licht, en S5 nauwelijks of niet stuifgevoelig. Voorbeelden van producten die in de S1-klasse vallen zijn meel- of poedervormige producten; producten die in de S3-klasse vallen zijn bijvoorbeeld korrels of brokken die door transport gedeeltelijk uiteen kunnen vallen.

Door Mulder (1986) worden de volgende kanttekeningen gemaakt bij emissiefactoren:

'Bij het gebruik van deze emissiefactoren dient men zich bewust te zijn van de beperkingen die zijn verbonden aan het gebruik van emissiefactoren in het algemeen, en de hier voorliggende in het bijzonder. In de eerste plaats is een emissiefactor veelal gebaseerd op een relatief klein aantal onderzoeksresultaten, waarvan het niet zeker is of zij met de gemiddelde situatie overeenstemmen. Voor een individueel geval kan de afwijking aanzienlijk zijn. De factoren bieden de mogelijkheid voor situaties waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn een eerste schatting van de emissies te maken.'

In dit rapport wordt van emissiefactoren gebruik gemaakt in de gevallen waarvoor concrete veldmetingen ontbreken. Berekende hoeveelheden moeten dan ook worden gezien als een eerste aanzet tot kwantificering van de bijdrage van de landbouw aan de totale emissie van fijn stof in Nederland.

3.1 Kunstmeststoffen

Kunstmeststoffen worden een of meerdere malen per jaar door strooien aan landbouwgronden toegediend. De meeste meststoffen worden in korrelvorm toegediend, waarbij door breuk kleinere delen kunnen vrijkomen. Een klein deel wordt in poedervorm toegediend; dit betreft met name kalkmeststoffen. In Tabel 2 zijn gegevens opgenomen van het verbruik van kunstmeststoffen. Het totale verbruik aan N, P, K en kalk, en de verdeling over verschillende meststofvormen, zijn afkomstig van LEI-CBS (1998) en zijn een schatting voor het seizoen 1995/1996.

Kunstmeststoffen bevatten variabele hoeveelheden hulpstoffen en/of verontreinigingen; de gehalten aan werkzame bestanddelen zijn ontleend aan Findenegg & Janssen (1984).

De berekeningen in de tabel van de hoeveelheid product zijn als volgt gemaakt, met als voorbeeld kalkammonsalpeter (KAS):

$$0,715 * 389 * 100/26 = 1070 \text{ Kton, waarin:}$$

0,715 = fractie KAS van totaal N-verbruik
 389 = totaal N-verbruik (Kton)
 26 = % N in KAS.

Uit het Tabel 2 blijkt dat kalkmergel en koolzure magnesiumkalk de belangrijkste poedervormige kunstmeststoffen zijn. Thosmasslakkenmeel en natuurfosfaat worden eveneens in poedervorm toegevoerd; het verbruik hiervan is echter vrijwel verwaarloosbaar in vergelijking met dat van kalkmeststoffen. Overige meststoffen worden als korrel, vlok of granulaat gebruikt. Na langdurig bewaren kan uit-eenvallen plaatsvinden van deze vormen, echter met een geringe kans op vorming van (fijn) stof, mede door het hygroscopische karakter van veel meststoffen (Ehlert, AB-DLO, p.m.).

In het Criteriadocument fijn stof (Van der Meulen et al., 1987) is een emissieschatting van het CBS opgenomen van 140 ton fijn stof per jaar als gevolg van het toedienen van kunstmest. De berekening is gebaseerd op een emissie van 2 kg totaal stof per ton kunstmestverbruik (0,2%), waarvan 10% fijn stof zou zijn. Dit levert een fijn-stofemissie van 0,2 ton/Kton, wat overeenkomt met klasse S1 in Tabel 1, de hoogste emissieklasse. Door Mulder (1986) wordt echter voor korrelvormige meststoffen klasse S3 aangenomen, en alleen voor poedervormige meststoffen klasse S1. Bij de verdere berekening is de classificatie van Mulder aangehouden.

In Tabel 2 is voor de verschillende meststoffen de klasse opgenomen en m.b.v. de FSE (Tabel 1) is de fijn-stofemissie geschat. De totale emissie uit gebruik van kunstmest wordt hierdoor 64-77 ton fijn stof per jaar, en is daarmee een factor 2 lager dan de schatting uit het Criteriadocument fijn stof. Deze verlaging is volledig toe te schrijven aan het gebruik van andere emissiefactoren, aangezien het verbruik van kunstmeststoffen in 1995/96 (Tabel 2) ca. 5% hoger lag dan het verbruik dat in het Criteriadocument voor het jaar 1983 is gehanteerd. Indien voor het totale verbruik van meststoffen in Tabel 2 (712 Kton) dezelfde emissiefactor zou worden gehanteerd als in het Criteriadocument dan zou de schatting uitkomen op 142 ton fijn stof.

Tabel 2. Verbruik van kunstmeststoffen in 1995/1996.

	Hoeveelheid ¹		Percentage ²	Percentage	Kton product	Soort product	Klasse	Fijn-stofemissie (ton jr ⁻¹)
	(Kton)							
N	389							
% kalkammonsalpeter		71,5	26	1070	korrel	S3	11	
% stikstofmagnesia		9,1	22	161	korrel	S3	2	
% NPK, diversen		19,4	12-26	290-629	korrel	S3	3-6	
P₂O₅	66							
% superfosfaat		13,1	16-22	39-54	korrel	S3	0,4-0,5	
% NPK, diversen		86,9	8-35	164-717	korrel	S3	2-7	
% Thomasslakkenmeel		0,03 ⁴	14-18	0,1	poeder	S1	0	
% natuurfosfaat		0,03 ⁵	25-35	0,1	poeder	S1	0	
K₂O	74							
% KCl, 40%		3,6	40	7	v,k,g ⁶	S3	0,1	
% KCl, 60%		45,2	60	56	v,k,g	S3	0,6	
% patentkali, 30%		11,5	30	28	v,k,g	S3	0,3	
% kaliumsulfaat		6,4	50	9	v,k,g	S3	0,1	
% kalisalpeter		4,0	46	6	v,k,g	S3	0,1	
% NPK, diversen		29,3	7-30	72-310	v,k,g	S3	0,7-3	
CaO	183							
% kalkmergel		15,9	40	72	50% < 0,15 mm	S1	14	
% koolzure Mg-kalk		24,8	35	130	> 90% < 0,15 mm	S1	26	
% schuimaarde		46,4	20-30	283-425	vochtige kalk	S3	3-4	
% diverse		12,9	20-40	59-118		S3	1-2	
Totaal	712						64-77	

¹ LEI-CBS, 1998, tabel 28-b; ² LEI-CBS, 1998, tabel 28-d; ³ Findenegg & Janssen (1984); ⁴ IKC (1996), schatting voor 1993; ⁵ Ehlert, AB-DLO, p.m.; ⁶ vlokken, korrels of granulaten

3.2 Bestrijdingsmiddelen

Bij het toedienen van bestrijdingsmiddelen aan landbouwgronden bereikt een deel niet de bodem maar komt door verwaaien van druppels in de atmosfeer terecht, en kan zo mogelijk bijdragen aan het gehalte aan fijn stof. Het verbruik van chemische bestrijdingsmiddelen in Nederland in 1997 is samengevat in Tabel 3.

Tabel 3. *Afzet chemische bestrijdingsmiddelen in 1997 (Kton werkzame stof).*

Toepassing	Afzet chemische bestrijdingsmiddelen
Mijten / insecten	0,4
Schimmels	4,4
Onkruid- / loofdoding	2,9
Grondontsmetting	1,6
Overige middelen	0,2
Totaal	9,5

Bron: LEI-CBS (1998), Tabel 28g.

Bovengenoemde schatting is gebaseerd op de afzet van Nefyto-bedrijven; in 1995 was deze 87% van de totale afzet. De totale afzet komt hiermee op ca. $(9,5 \cdot 100 / 87) = 10,9$ Kton werkzame stof.

In het kader van het Meerjaren Plan Gewasbeschermingsmiddelen is in het kader van een Emissie-evaluatie een schatting gemaakt van de emissie naar resp. lucht en oppervlaktewater. De schatting is gemaakt voor het jaar 1995, en is weergegeven in onderstaande Tabel 4. De schatting voor 1997 is gebaseerd op de afname in verbruik van grondontsmettingsmiddelen volgens LEI-CBS (1998).

Tabel 4. *Emissie van gewasbeschermingsmiddelen naar de lucht in 1995 (Kton werkzame stof).*

Emissieroute	Emissie	Schatting 1997
Druppeldrift bij toedienen	0,57	idem
Dampdrift	2,02	idem
Grondontsmetting	0,52	0,35
Totaal	3,11	2,94

Bron: Anonymus (1996).

Volgens bovenstaande berekening verdwijnt van de 10,9 Kton werkzame stof naar schatting 3,11 Kton in de lucht (28%). Recente berekeningen van SC-DLO wijzen echter op een geringere dampdrift (Van der Hoek, RIVM, p.m.). Behalve werkzame stof worden, door druppeldrift tijdens toedienen, ook hulpstoffen geëmitteerd (voornamelijk minerale olie en oppervlakte-actieve stoffen). De totale emissie tijdens toedienen wordt, voor Nederland, hierdoor met een factor 3 verhoogd (H. de Ruiter, AB-DLO; van den Berg, SC-DLO, p.m.). Dit brengt deze emissieroute op (afgerond) 1,7 Kton (= $3 \cdot 0,57$) totaal product per jaar.

Het lot van hulpstoffen is, voorzover bekend, niet onderzocht (Boesten, SC-DLO; van der Linden, RIVM; Tas, CTB; Huijsmans, IMAG-DLO; p. m.). Opgemerkt wordt dat deze stoffen een zekere mate van stabiliteit moeten bezitten om hun uiteindelijke werking te kunnen hebben.

Door Huijsmans (p.m.) wordt, als eerste schatting, aangegeven dat tijdens toedienen ca. 10% in druppels < 10 µm emitteert. Dit zou overeenkomen met (fractie < 10 µm * hulpstofcorrectie * druppeldrift = $0,1 * 3 * 0,57 = 0,17$ Kton =) 170 ton totaal product (inclusief hulpstoffen). Het onderzoek naar druppelgroottes tijdens toedienen is echter pas recent gestart; het betreft dus een voorlopige schatting. Bij druppels welke bestaan uit een suspensie van middel en hulpstof in water kan het water verdampen, waardoor alleen middel en hulpstof overblijven en over een grote afstand getransporteerd kunnen worden.

Emissie naar de lucht kan ook plaatsvinden door winderosie na het toedienen van een middel in poedervorm (Glottelty et al., 1989). Deze vorm van toedienen wordt in Nederland echter niet of nauwelijks toegepast (Smidt, SC-DLO, p.m.).

In Tabel 5 is weergegeven wat het lot kan zijn van bestrijdingsmiddelen na emissie naar de lucht, met daarbij de verwachte bijdrage aan het fijn-stofgehalte van de lucht. Naast de verspreiding van kleine druppels kan een middel adsorberen aan fijn-stofdeeltjes en daardoor bijdragen aan het gewicht van deze fractie. Aangezien fijn stof echter slechts een klein percentage uitmaakt van totaal stof in de lucht kan waarschijnlijk worden aangenomen dat dit proces weinig zal bijdragen aan de fractie fijn stof.

Tabel 5. *Processen waaraan gewasbeschermingsmiddelen in de lucht zijn blootgesteld en mogelijke bijdrage aan fijn stof (ton per jaar).*

Proces	Bijdrage aan fijn stof?	Hoeveelheid
(Fotochemische) afbraak	Nee	
Snelle depositie grote druppels	Nee	
Verspreiding kleine druppels	Ja	170 ton (?)
Adsorptie gasvormige component aan :		
bodem, gewas	Nee	
grof stof atmosfeer	Nee	
fijn stof atmosfeer	Ja	??

3.3 Krachtvoer en grasproducten

Het verbruik van krachtvoer is een potentiële bron van fijn stof doordat het, op het bedrijf, als droog product wordt aangevoerd, opgeslagen en toegediend. Tijdens het verwerken van de grondstoffen zal, bij overslag, eveneens emissie kunnen optreden, maar deze valt, als industriële emissie, buiten deze studie.

Emissie tijdens het toedienen aan dieren is mogelijk (deels) meegenomen bij de schatting van emissie uit stallen, uitgevoerd door het IMAG (Groot Koerkamp et al., 1996). Het verbruik van grondstoffen is samengevat in Tabel 6.

Tabel 6. Verbruik krachtvoergrondstoffen, 1995/1996.

Product	Krachtvoergrondstoffen (10 ⁶ ton product)	droog ?
Granen	2,9	x
Peulvruchten	0,7	x
Maalderijproducten	1,1	x
Bijproducten .. Bereiding		
- zetmeel	1,6	x
- suiker	1,1	x
- alcohol	,2	x
- olie	5,0	
Citruspulp	,5	
Tapioca	1,6	x
Oliehoudende zaden	,3	
Plantaardige vetten/oliën	,1	
Dierlijke eiwitten	,4	
Gras/lucernemeel	,3	x
Dierlijke vetten/oliën	,4	
Zuivelproducten	,3	
Overige	,6	
Totaal	17,1	10-15

Bron: LEI-CBS (1998), Tabel 27b.

Het verbruik van krachtvoergrondstoffen is groot, in totaal 17,1 10⁶ ton. Slechts een deel daarvan zal echter in droge vorm worden verwerkt. Als eerste ruwe schatting geldt dat dit 10-15 10⁶ ton is. In Tabel 7 is de productie van mengvoeder naar diersoort vermeld. De productie moet worden gecorrigeerd voor export, welke op 6,5% kan worden geschat (J.F.M. Helming, LEI-DLO, p.m.). Het voeder wordt deels in de vorm van brokken en deels in de vorm van meel geproduceerd. Met name bij de laatste categorie zal op het bedrijf met het vrijkomen van stof rekening moeten worden gehouden. Dit geldt zowel voor de aanvoer en opslag als voor het bereiden van een brei of kunstmelk welke uiteindelijk als voer wordt toegediend. De percentages en hoeveelheden meel zijn eveneens in Tabel 7 vermeld.

Uit de tabellen blijkt dat verbruik van grondstoffen en geproduceerd mengvoeder qua hoeveelheid vrijwel overeenkomen (17,1 en 16,4 10⁶ ton). Circa een vijfde van het totale mengvoeder wordt als meel verwerkt, vervoerd en opgeslagen op het bedrijf. Ter vergelijking is in Tabel 8 het verbruik van ruwvoerders opgenomen.

Van de verbruikte ruwvoerders zijn alleen gegevens beschikbaar op basis van droge stof, zodat het verbruik niet direct vergelijkbaar is met het verbruik van krachtvoer. Alleen hooi (0,4 10⁶ ton) wordt echter in droge vorm toegediend, waarmee de totale hoeveelheid waarbij stofemissie te verwachten is zeer drastisch afneemt.

Onbekend is welk deel van het mengvoeder uit stof bestaat en welk deel daarvan bij de verwerking op het bedrijf (transport, afleveren, opslag, toediening) wordt uitgestoten. Zoals eerder opgemerkt, kan bij de toediening in de stal een deel zijn meegerekend bij de schatting van de emissie uit stallen.

Bij het afleveren wordt voedermeel vanuit een dichte transportwagen in een gesloten voedersilo overgebracht. Hierbij wordt het meel met luchtdruk de silo ingeblazen, waarbij zowel de lucht in de silo die verdrongen wordt als de extra aangezogen lucht ontwijken via een fijngeveven jute zak. In de

Tabel 7. Productie en verbruik (10^6 ton) van mengvoeder naar diersoort (1996).

Diersoort	Productie	Verbruik	Percentage meel	Verbruik meel
Rundvee	3,8	3,6	5	0,2
Varkens	7,5	7,0	1	0,1
Slachtpluimvee	1,6	1,5	57	0,9
Legpluimvee	1,9	1,8	57	1,0
Overige	0,8	0,7	14	0,1
Kunstmelkpoeder	0,7	0,7	100	0,7
Totaal	16,4	15,3		3,0

Bron productie: LEI-CBS (1998), Tabel 27c. Verbruik is geschat als 93,5% van productie.
Bron vorm toedienen (meel of geperst tot brokken): Jaarverslag Instituut voor de Veevoeding 'De Schothorst', Lelystad, 1997/98.

Tabel 8. Verbruik ruwvoerders, 1996/1997.

Product	Verbruik ruwvoerders (10^6 ton droge stof)	Droog ?
Snijmaiskuil	3,6	
Grasproducten		
Hooi	0,4	x
Graskuil	2,5	
Vers weidegras	4,3	
Totaal	10,8	0,4

Bron: Van Eerdt (1998), Tabel 3.

praktijk is het gebruik van een dergelijke zak een uitdrukkelijke wens van de veehouders, vanwege de hygiëne op het bedrijf. Door de zak zou een 'zeer groot deel' van het stof afgevangen worden (dhr. Schipper, Brokking de Heus Veevoerders Barneveld, p.m.). De kans is echter groot dat met name het grove stof -dat een zichtbare verontreiniging op het bedrijf zou veroorzaken- wordt afgevangen, terwijl het fijne stof het filter passeert zonder op het bedrijf neer te slaan. Bij doekfilters die in de mengvoederindustrie worden gebruikt bestaat het doorgelaten stof volledig uit fijn stof (Kosters, Bureau Blauw, p.m.). Het feit dat de lucht door de als filter fungerende jute zak wordt geblazen zal de effectiviteit ervan niet ten goede komen; onder normale omstandigheden wordt afgezogen lucht gefilterd (Vrins, p.m.).

Mulder (1986) classificeert meel in de klasse S1 en mengvoederpellets als S3, waarvoor in Tabel 1 waarden voor de FSE zijn gegeven; deze kunnen worden gebruikt voor respectievelijk de hoeveelheden meel en pellets/brokken uit Tabel 7. Omdat het hier alleen de aanvoer en niet de afvoer van een product betreft moet de FSE gehalveerd worden (Mulder, 1986). Daarnaast moet een aanname worden gedaan voor het percentage fijn stof dat wordt afgevangen door de jute zak; dit ligt per definitie tussen 0 en 100%, maar is zonder metingen zeer onzeker. Voorlopig wordt geschat dat het afvangpercentage tussen 1 en 50% ligt, wat een emissiefractie geeft van 0,5-0,99. De feitelijke emissie kan dan worden geschat als: $\text{verbruik} * 0,5 * \text{FSE} * (0,5-0,99)$. De resultaten staan in Tabel 9.

Tabel 9. *Emissie fijn stof door verschillende vormen van veevoeder.*

Product	Verbruik (10 ⁶ ton)	Klasse	0,5 * FSE (ton/Kton)	Fractie emissie	Emissie (ton jr ⁻¹)
Krachtvoer meel	3,0	S1	0,100	0,5-0,99	150-300
Krachtvoer brokken	12,3	S3	0,005	0,5-0,99	30-60
Totaal					180-360
Hooi	0,4	S3	0,01		4

3.4 Agrarisch grondgebruik

Het agrarisch grondgebruik is van belang voor het verkrijgen van inzicht in de mogelijke omvang van activiteiten welke emissie van fijn stof kunnen veroorzaken. In Tabel 10 is een verdeling gegeven van de totale oppervlakte in Nederland waar landbouw plaatsvindt.

Tabel 10. *Oppervlakten belangrijkste landbouwkundige activiteiten (1996).*

Activiteit	Oppervlakte (x 1000 ha)	Percentage van totaal
Grasland	1029	53
Snijmais	222	11
Overige akkerbouw (excl. snijmais)	583	30
Tuinbouw open grond	98	5
Glastuinbouw	10	<1
Braakland	11	<1
Totaal	1953	

Bron: CBS metelling, bewerking LEI-DLO (1997)
braakland: LEI-CBS (1998), tabel 22c

Uit het overzicht blijkt dat grasland, met 53% van het totaal, qua oppervlakte het belangrijkste areaal vormt. Zoals in 3.5 wordt aangegeven is verstuiving van grond vooral te verwachten op onbegroeide grond, zodat grasland op dit punt niet van belang is. Een (theoretische) bron van fijn stof is graszaad, maar dit is te groot (1 mm) om als fijn stof te worden aangemerkt; ook zaad van andere gewassen is tenminste 0,5 mm in diameter (Corré, AB-DLO, p.m.). Het oogsten van (droog) hooi is wel een bekende bron van stof, maar gemaaid gras wordt steeds minder als hooi verwerkt: 6,6% in 1997, (zie Tabel 11).

Tabel 11. Oppervlakte gemaaid grasland ($\times 1000$ ha, 1997).

Totale oppervlakte gras	931
Gemaaid (=gem. 2,1 x)	1960
Verwerking gras (%):	
hooi	6,6
kuilvoer	83,4
zomerstalvoeding	8,7
overig	1,3

Bron: LEI-CBS (1998), Tabel 27e; alleen bedrijven met rundvee.

De activiteiten uit Tabel 10 zijn in de volgende tabellen verder uitgesplitst. In Tabel 12 is tevens aangegeven hoe de oogst plaatsvindt: in afgerijpte ('droge') vorm of 'vers'. Voor gewassen welke in 'droge' vorm worden geoogst is een schatting van de drogestof-opbrengst per ha gegeven, en een berekening van de totale drogestof-opbrengst voor Nederland. Deze komt uit op ca. 2700-4400 Kton per jaar. De verwerking van graan is een bron van stof (Anonymus, 1994). Uitzonderlijk hoge stofconcentraties komen voor bij het dorsen, oogsten en opslaan van graan. Wanneer bij opslag niet de juiste voorzorgsmaatregelen genomen worden dan kunnen stofexplosies het gevolg zijn. Het graanstof bestaat uit minerale delen (vermoedelijk bodemmateriaal), graandeeltjes, schimmels en bacteriën. De grootte van bacteriën en schimmelsporen is ca. 5-10 μm (Dolfing en Bloem, AB-DLO, p.m.), waardoor deze in de categorie fijn stof vallen. Het oppervlak waarop granen worden verbouwd bedraagt 189.000 ha (Tabel 12).

Voorbeelden van oogstwerkzaamheden welke veel stof produceren worden voor Californië genoemd door Matsumara et al. (1996). Het oogsten in de zomer en herfst veroorzaakt hier veel winderosie. Gedurende deze tijd is bodemmateriaal de belangrijkste aërosolvorm. Bij metingen was ca. 80-85% van $\text{PM}_{10} > 2,5 \mu\text{m}$. Stofveroorzakende werkzaamheden bij het oogsten van noten zijn o.m. het losschudden ervan, het op de grond vallen, het op een rij brengen van noten d.m.v. vegen of blazen, het verzamelen van de noten d.m.v. vegen en het verwijderen van vuil d.m.v. blazen, en het verzamelen van de noten in een container. Bij katoen waren dit: plukken, omhoog blazen naar kooi via buizen, afsnijden en mulchen van stengels, inwerken van stengelresten. Gronddelen vormden hier naar schatting 44-50% van $\text{PM}_{2.5}$ (deeltjes $< 2,5 \mu\text{m}$, en 71-80% van PM_{10} (Matsumara et al., 1996).

Tabel 12. Arealen akkerbouw (x 1000 ha, 1997).

	Areaal	Areaal	Oogst droog ?	Ton ha ⁻¹	Kton jaar ⁻¹
Knol-, wortelgewassen	295,1				
Cons. aardappelen kleigrond		60,2			
Idem, zand/veengrond		17,3			
Pootaardappelen kleigrond		33,5			
Idem, zand/veengrond		6,5			
Fabriksaardappelen		62,4			
Suikerbieten		114,1			
Voederbieten		1,2			
Groenvoedergewassen	238,1				
Luzerne		6,1			
Snijmais		232,0			
Granen	189,3				
Wintertarwe		125,0	x	7-20	875-2500
Zomertarwe		12,5	x	-18	-225
Wintergerst		2,6	x	-18	47
Zomergerst		39,3	x	-16	-629
Rogge		5,3	x	12	64
Haver		2,0	x	9-12	18-24
Triticale		2,9	x	7-20	21-38
Graszaad	23,9		x	8	191
Peulvruchten	8,6				
Groene erwten (droog)/ schokkers		,7	½	5	2
Kapucijners/grauwe erwten		,5	½	5	1
Bruine bonen		2,0	x	6	12
Veldbonen		1,0	x	5	5
Erwten (groen)		4,4			
Handelsgewassen	5,7				
Koolzaad		0,6	x	3	2
Karwijzaad		0,2	x	1,5	1
Blauwmaanzaad		0,6	x	1,3	1
Vlas		4,3	x	10	43
Uien	15,6				
Poot- en plantuien		4,5	x	12-15	54-67
Zaaiuien		10,6	x	12-15	127-159
Zilveruitjes		0,5	x	-12	-6
Overige akkerbouw	32,5				
Korrelmais		12,7	x	20	317
Corn cob mix		5,4	x	20	108
Cichorei		4,2			
Hennep		1,2			
Groenbemestingsgewassen		2,3			
Diverse		6,7			
Totaal	808,8				2749-4442

Bron: LEI-CBS (1998), Tabel 31a.

Wijze van oogsten en opbrengst: Ehlert, AB-DLO, p.m., en: Kwantitatieve informatie Akkerbouw en Groenteteelt in de volle grond.

Noot: Snijmais wordt geoogst wanneer de korrel 'melkrijp' is, dus niet volledig droog; korrelmais en corn cob mix worden wel droog geoogst en dragen dus per hectare meer bij aan de productie van fijn stof.

Tabel 13. Arealen tuinbouwgewassen open grond ($\times 1000$ ha, 1997).

	Areaal	Areaal	Oogst droog?
Groenten	44,7		
Aardbeien		1,8	
Asperges		2,2	
Bloemkool		2,2	
Kool		3,0	
Peen		7,2	
Prei		3,7	
Schorseneren		1,6	
Spruitkool		4,2	
Stambonen		4,6	
Witlofwortel		4,6	
Overige		9,5	
Fruit	23,0		
Appelen		15,2	
Peren		6,0	
Overige		1,7	
Bloembollen	19,7		
Hyacinthen		1,1	x
Tulpen		9,4	x
Narcissen		1,5	x
Gladiolen		1,7	
Lelies		3,4	x
Irissen		,7	x
Overig		1,9	x
Noord Holland		11,7	
Zuid Holland		2,8	
Flevoland		2,1	
Ze, NB, Li		1,6	
Gr, Fr, Dr, Ov, Ge, Ut		1,5	
Bloemkwekerij	2,4		
Boomkwekerij	10,7		
Groente+bloemzaden	1,3		x
Totaal	101,8		

Bron: LEI-CBS (1998), tabellen 32a,d,i,m

Bij het oogsten van producten in droge vorm komt fijn stof vooral vrij als verontreiniging. De in Tabel 12 genoemde oogstproducten worden door Mulder (1986) ingedeeld in klasse S3. Met behulp van de FSE (0,01 ton/Kton) en de opbrengst aan droge stof uit Tabel 12 (2749-4442 Kton) kan een emissie geschat worden van 27-44 ton fijn stof als gevolg van de oogst van akkerbouwproducten. Voor ca. 50% is deze toe te schrijven aan de oogst van granen, door het grote areaal waarop deze worden verbouwd.

Gezien het geringe tuinbouwareaal (zie Tabel 13) zal de bijdrage van de oogst van tuinbouwproducten zeer klein zijn; om deze reden is hiervan dan ook geen schatting gemaakt.

3.5 Winderosie, verstuiving

3.5.1 Inleiding

Verlies van grond door winderosie is in de dertiger jaren een groot probleem geworden in de Verenigde Staten door het optreden van stofstormen. Nadat erosie als een federaal probleem werd erkend is onderzoek naar dit verschijnsel op gang gekomen. Dit onderzoek is onder meer samengevat door Knottnerus (1985). Het gedrag van deeltjes onder invloed van wind kan als volgt worden gekarakteriseerd. Deeltjes $< 100 \mu\text{m}$ (leem-uiteerst fijn zand) kunnen zich als suspensie door de lucht bewegen, deeltjes van $100\text{-}500 \mu\text{m}$ (zeer fijn tot matig grof zand) kunnen met sprongen bewegen en nog grovere deeltjes kunnen rollen. Grondverlies kan optreden door deeltjes tot $500 \mu\text{m}$. Nog grotere deeltjes kunnen gewassen beschadigen; samen met grondverlies vormt dit een economische schadepost voor de boer. Deeltjes die springen kunnen bij het neerkomen kleinere deeltjes in de lucht brengen, maar ook zelf uiteenvallen in kleiner materiaal. Gedurende een periode van sterke wind blijkt door deze activiteit de minimaal benodigde windsnelheid voor stuiven af te nemen en neemt verstuiven toe (Stout & Zobeck 1996). Door grondverlies gaan nutriënten verloren en verliest de bodem capaciteit om nutriënten en water vast te houden. Door erosie kan een bodem overgaan van een zandige leemgrond in lemig zand en van lemig zand in een zandgrond, wat duidt op het verlies van klei- en/of leemdeeltjes $< 16 \mu\text{m}$ (Skidmore et al., 1998). Deeltjes kunnen tot grote afstand worden getransporteerd: stof uit Afrika, gevonden in Duitsland, bevatte deeltjes van $1\text{-}200 \mu\text{m}$ (Fryrear et al., 1996). Dit neerkomen van Afrikaans stof gebeurt echter alleen onder uitzonderlijke omstandigheden, welke slechts enkele malen per jaar voorkomen (Vrins, p.m.)

Een aantal factoren bevordert verstuiven, andere gaan verstuiven tegen:

- Tegengaan van verstuiven gebeurt vooral door verlagen van de windsnelheid aan het bodemoppervlak. Dit gebeurt het sterkst door begroeiing; alleen in extreme gevallen zal een begroeid oppervlak verstuiven. Kluiten en gewasresten verlagen eveneens de windsnelheid, evenals de nabijheid van windsingels of andere hoge begroeiing. Organische stof heeft de eigenschap dat kleine deeltjes eraan gebonden worden en minder mobiel zijn; dit geldt vooral voor vers organisch materiaal (Pattje, 1948) en veel minder voor stabiele humus. Ook vocht heeft een 'kittende' werking; droge grond is vele malen gevoeliger voor verstuiven dan vochtige grond. Om deze reden is het vochtgehalte van de lucht (wind) van belang: droge lucht doet het vochtgehalte van de bovenste bodemlaag dalen en de stuifgevoeligheid toenemen. Door regenval kan een korst op de bodem worden gevormd ('verslempen'), welke de onderliggende bodem beschermt tegen verstuiven. Korstvorming kan ook bevorderd worden door het toedienen van gier of een zoutoplossing aan de bodem
- Bevorderen van verstuiven gebeurt (dus) door: braakliggen van land, een laag gehalte aan vocht en aan verse organische stof, afwezigheid van bomen in de nabijheid, en een hoge windsnelheid. Activiteiten op de bodem bevorderen verstuiven: grondbewerking die een 'korst' verbreekt en de bodem omwoelt, en berijden door landbouwverkeer.

Door Knottnerus (1985) is in een windtunnel onderzocht welke drempelwaarde er geldt voor de windsnelheid voor deeltjes van verschillende grootte; dit is de windsnelheid waarboven verstuiven van dergelijke deeltjes optreedt. Opvallend was dat kleine deeltjes een hogere drempel hadden dan deeltjes van $100\text{-}150 \mu\text{m}$. Dit kan verklaard worden door de aanwezigheid onmiddellijk boven het bodemoppervlak van een zeer dunne luchtlag met een laminaire luchtstroming, waar fijn materiaal niet doorheen breekt; in hoeverre dit dunne laagje onder praktijkomstandigheden ook optreedt is echter de vraag. Een tweede factor is dat, verhoudingsgewijs, de cohesiekrachten tussen fijne gronddeeltjes zo groot zijn dat er externe krachten, zoals een neervallend groter deeltje, nodig zijn om het fijne materiaal te activeren. Een gevolg is dat de meest stuifgevoelige gronden gevonden worden bij een hoog gehalte aan deeltjes van $100\text{-}150 \mu\text{m}$. In onderstaand overzicht zijn voor een vijftal klassen van deeltjesgrootte de drempelwaarden aangegeven van de windsnelheden waarboven zij kunnen worden getransporteerd.

Tabel 14. Drempelwaarden voor erosie van deeltjesgrootteklassen (Knottnerus, 1985).

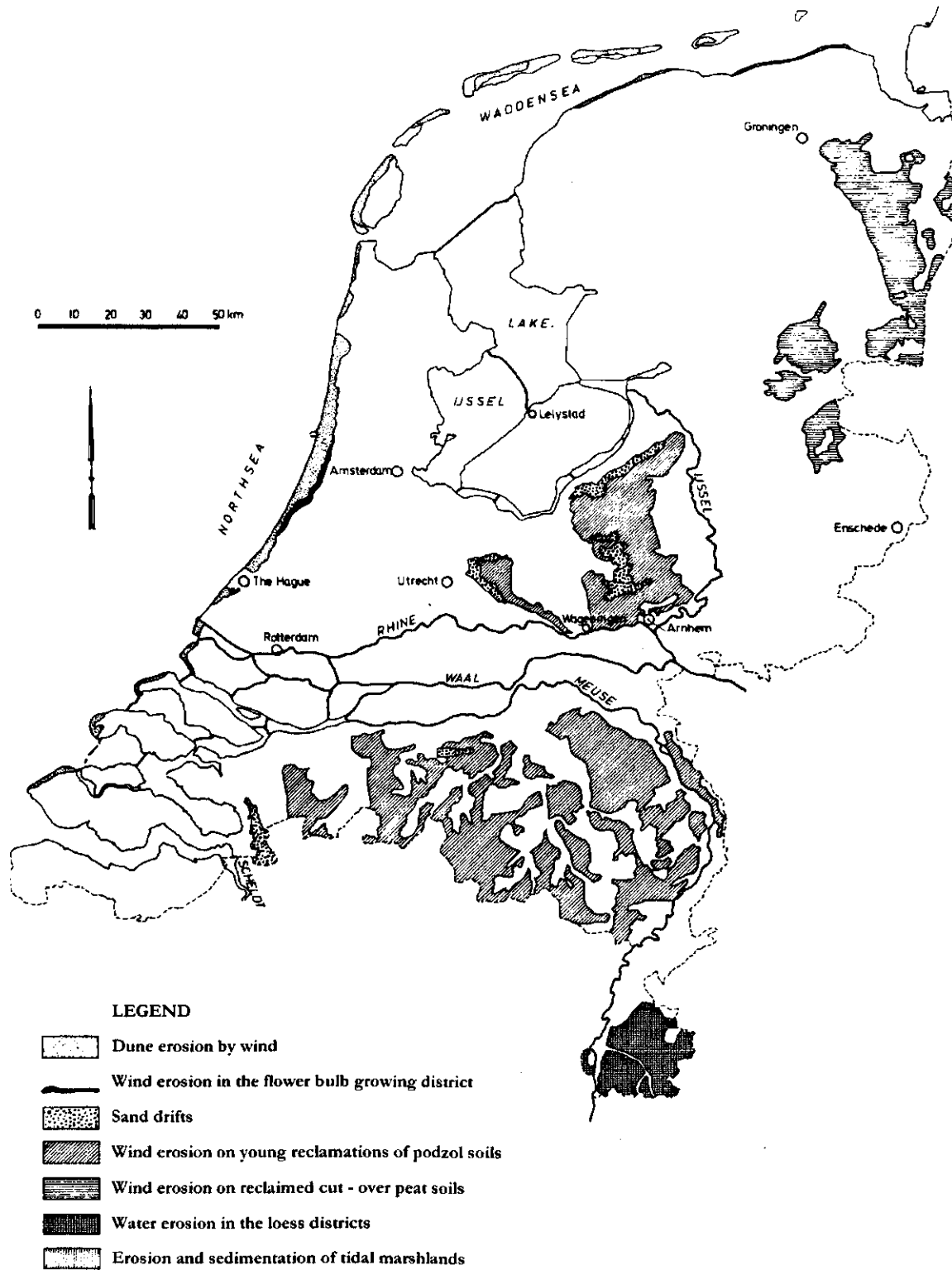
	Deeltjesgrootteklasse (μm)				
	< 50	50-100	100-150	150-180	> 0,84 mm
Windsnelheid op 10 m, m s^{-1}	9,4	6,1	5,5	6,6	14,7
Schaal Beaufort	6-5	4	3-4	4	7-8

De periode waarin het stuiven vooral optreedt wordt bepaald door een combinatie van een voldoende droog bodemoppervlak en een voldoende hoge windsnelheid. Dit komt in Nederland eens in de 3 à 4 jaren voor, waarbij het dan flink stuift (Knottnerus, 1985; Eppink, 1985). Vanwege het in ons land geldende cultuurpatroon van grondbewerkingen, zaaien en poten van het gewas is de meeste kans op stuiven in de eerste helft van het jaar, vooral februari tot en met april, maar soms ook mei en juni. Gedurende de dag is het begin van de middag vooral van belang, vanwege het laagste vochtgehalte van de bodem dat dan wordt gevonden. Dat verstuiwing geen zaak is uit het verleden, blijkt uit opmerkingen gemaakt door personen die wonen in of nabij de Veenkoloniën: Folkertsma (Prov. Drenthe, afd. Milieu) en Veninga (AB-DLO). Hun persoonlijke ervaring is dat het elk jaar stuift in de Veenkoloniën ('in de winter ligt het stof op de vensterbank'), het ene jaar meer dan het andere. Wanneer het sterk stuift is het zicht er soms minder dan 10 meter.

Als meer of minder stuifgevoelige gronden worden door Knottnerus genoemd: duinzand bij Lisse, omgeving Breezand (kop Noord Holland), Zuid-West Brabant, Noord Limburg, de Veenkoloniën, Noord Drenthe en Zuid-Oost Veluwe. Door Peerlkamp (1971) wordt geschat dat de oppervlakte stuifgevoelige gronden ca. 83.000 ha omvat, wat overeenkomt met 4,2% van het in Nederland door landbouw gebruikte areaal (1.953.000 ha, zie Tabel 10). Eppink (1985) stelt dat schattingen voor het areaal stuivende gronden uiteenlopen van 75.000 tot 150.000 ha; hij geeft hiervoor echter geen bronvermelding. In Figuur 1 zijn de erosiegevoelige gronden in Nederland weergegeven; het betreft vrijwel alle gearceerde gebieden, m.u.v. de loessgronden in Zuid-Limburg, welke gevoelig zijn voor watererosie. Concluderend kan gesteld worden dat verstuiwen geen proces is dat in het gehele land in vergelijkbare mate voorkomt, hoewel braakliggen van akkerbouwgrond gedurende de winter meer regel is dan uitzondering. Een combinatie van bodemeigenschappen en een vlak landschap bepalen in hoge mate of verstuiwen zal optreden.

In de VS wordt gesproken over 'toelaatbaar bodemverlies' dat door verwerking kan worden aangevuld. Dit verlies wordt voor een dun bodemprofiel gesteld op 5 ton per ha, en voor een dik profiel op 12,5 ton per ha (Spaan, 1984, p. 33). In geval van 'ontoelaatbaar bodemverlies' zullen deze hoeveelheden dus (beduidend) hoger zijn. Als in een bodemprofiel veel los steenachtig materiaal voorkomt dat door verwerking kleideeltjes kan vrijmaken dan zal door erosie verdwenen materiaal weer worden aangevuld. Een dunne laag 'bodem' op een rotsachtige ondergrond zal minder van dit materiaal bevatten dan een dikke laag.

Eveneens in de VS wordt door de USDA een classificatie gehanteerd van erosiegevoelige bodems, afhankelijk van de textuur. In Tabel 15, welke vrijwel integraal is overgenomen uit Lyles (1977), zijn voor de verschillende bodemklassen de hoeveelheden grond vermeld die jaarlijks kunnen eroderen. Hoewel de genoemde hoeveelheden veel hoger zijn dan de schattingen voor Nederlandse bodems (zie onder) geeft de tabel een illustratie van factoren die van invloed zijn op de erosiegevoeligheid. De belangrijkste classificatiefactor is het gehalte aan stabiele aggregaten met een diameter > 0,84 mm, bepaald d.m.v. droog zeven. Deze aggregaten zijn vrijwel ongevoelig voor erosie (zie drempelwaarde in Tabel 14) en beschermen daardoor het onderliggende bodemmateriaal. Uit de tabel blijkt ook dat een toename van het kleigehalte van een bodem een afname van de erosiegevoeligheid geeft, doordat kleideeltjes belangrijk bijdragen aan de vorming van grotere aggregaten ('kluiten').



Figuur 1. Gebieden in Nederland die gevoelig zijn voor erosie (Eppink, 1985).

Tabel 15. *Classificatie van erosiegevoelige bodemgroepen (naar Lyles, 1977).*

Textuurklasse	Percentage > 0,84 mm	Erosie (ton ha ⁻¹ jr ⁻¹)
Very fine, fine, and medium sand; dune sand	1	696
Loamy sand; loamy fine sand	10	301
Very fine sandy loam; fine sandy loam; sandy loam	25	193
Clay; silty clay; noncalcareous clay loam >35% clay; silty clay loam	25	193
Calcareous loam; silt loam; calcareous clay loam	25	193
Noncalc. loam + silty loam <20% clay; sandy clay loam; sandy clay	40	126
Noncalc. loam + silty loam >20% clay; noncalc. clay loam <35% clay	45	108
Silt; noncalcareous silty clay loam <35% clay	50	85

3.5.2 Mate van bodemerosie in Nederland

Schattingen voor de hoeveelheid bodemmateriaal welk bij verstuiven betrokken is zijn schaars. Peerlkamp (1971) berekent voor een ernstige verstuiving op 5000 ha dalgrond een hoeveelheid van 0,25 miljoen ton materiaal (= 250 Kton), waarbij dan al het organische materiaal is verdwenen. Dit komt neer op 0,05 Kton per ha = 50 ton per ha. Een dalgrond is gevormd doordat in het verleden veen werd afgezet in een dal, waarbij het veen later grotendeels is verwijderd door turfwinning. Pattje (1948) vond een grondverlies van ca. 7 cm in enkele dagen in de Veenkoloniën. Schäfer et al. (1990, cit. in Van Soest & Leistra, 1991) noemen hoeveelheden grondverlies voor vijf erosiemetingen in Duitsland, gedurende 1 tot 3 dagen. Deze varieerden van 6 tot 172 ton ha⁻¹.

In Nederland zijn erosiebeperkende maatregelen verplicht gesteld. Zo werd na drooglegging van de Noord-Oost Polder voor zandige grond bij verpachting door de Dienst Domeinen opgelegd dat een deel van de grond met gras moest worden ingezaaid. Voor de minst vruchtbare (organische stof-arme) grond was dit 2/3 van het areaal, voor betere gronden was dit 1/3 tot 1/6 (Marsman, Marknesse, p.m.). Op bollengronden werd later het bedekken met stro gebruikelijk, wat opgevolgd werd door oppervlakkig toedienen van drijfmest. Het toedienen hiervan zonder inwerken is echter sinds enige jaren niet meer toegestaan. In de Veenkoloniën is het gebruik van chemische erosiebeperkende middelen verplicht gesteld door het Productschap Akkerbouw (Ehlert, AB-DLO, p.m.). Vanwege het feit dat het nemen van preventieve maatregelen gebruikelijk is in Nederland zal het rechtstreeks gebruiken van de gegevens uit Tabel 15 waarschijnlijk leiden tot het (sterk) overschatten van het grondverlies door erosie.

Door Procé (1988) werden voor de Veenkoloniën erosieberekeningen uitgevoerd met behulp van het Amerikaanse computerprogramma WEROS. Hiervoor zijn de volgende invoergegevens nodig: erosiegevoeligheid van de teeltlaag (fractie > 0,84 mm); helling en ruwheid van bodemoppervlak; lokale klimaatsfactor; strijklengte (afstand tussen hoge begroeiing of bebouwing) en vegetatiebedekking. Gebruik makend van gegevens voor de Veenkoloniën berekende hij voor veengronden een gemiddeld grondverlies van 3 ton ha⁻¹ jr⁻¹ (range 0,4-6,6), en voor zandgronden 7 ton ha⁻¹ jr⁻¹ (range 5,6-8,1). Deze hoeveelheden komen overeen met het 'toelaatbaar bodemverlies' dat door verwerking kan worden aangevuld (5-12,5 ton ha⁻¹ jr⁻¹, zie par. 3.5.1). Bij een omvang van 68.890 ha voor het Veenkoloniaal akkerbouwareaal levert dit een schatting op van 200-500 Kton per jaar.

3.5.3 Aandeel fijn stof in geërodeerd materiaal

Voor de totale hoeveelheid geërodeerd materiaal moet een fractie fijn stof worden geschat. Directe metingen van deze verhouding zijn echter schaars. Grelinger & Lapp (1996) hebben metingen uitgevoerd benedenwinds van voederplaatsen voor vee ('feedlots'). Gemiddeld werd een verhouding van

0,25 gevonden voor PM10/TSP (Total Suspended Particles). Deze verhouding komt vrij goed overeen met het aandeel fijn stof in totaal stof voor klasse S1 (0,2, zie Tabel 1). De verhouding kan echter niet gebruikt worden voor totaal geërodeerd bodemmateriaal, maar slechts voor de fractie die, in dit geval, op 3 m hoogte werd opgevangen.

Fryrear et al. (1996) bepaalden op drie hoogtes (20, 50 en 100 cm) de verdeling van opgevangen materiaal over verschillende groottefracties. De totale erosie (van een 'fine sandy loam') had een omvang van 25 ton ha⁻¹; de kleinste fractie die werd gemeten was < 20 µm. De relatieve omvang hiervan was gering, hij nam toe met de hoogte van meting, en varieerde van < 0,1-0,4%. Op grond van deze cijfers kan, als eerste benadering, de PM10-emissie worden geschat op 0,1% van de totale erosie, wat inhoudt dat 1 ton geërodeerd materiaal overeenkomt met 1 kilo PM10. Echter, de fractie PM10 in totaal stof voor nauwelijks of niet stuifgevoelige producten (Tabel 1, klasse S5) wordt geschat op 5%, een factor 50 hoger dan de genoemde 0,1% schatting. Om deze reden is de genoemde 0,1% wellicht een ondergrens; als bovengrens kan bijvoorbeeld 0,5% worden gehanteerd. Het percentage PM10 in geërodeerd materiaal blijft echter de meest onzekere factor in de berekening van de bijdrage van erosie.

3.5.4 Oogstwerkzaamheden en grondbewerking

Ashbaugh et al. (1996) maten de hoeveelheid PM10 die werd geëmitteerd tijdens oogstwerkzaamheden, het verzamelen van noten die op de grond lagen. Dit kan een indruk geven van de hoeveelheid materiaal die bijvoorbeeld onder droge omstandigheden tijdens een grondbewerking wordt verspreid. De gemeten hoeveelheid, voor één oogstcyclus, was ca. 12 kg PM10 per ha.

Op dit moment (1998-2000) wordt een EU-project uitgevoerd vanuit de LUW vakgroep Erosie en Bodem & Waterconserving (W.P. Spaan en D. Goossens, ook werkzaam aan de KU Leuven), waarbij in Cloppenburg (Dld) het hele jaar door metingen aan stof worden gedaan, dus ook in perioden waarin grondbewerking wordt uitgevoerd. Het is een landbouwgebied, net over de Nederlandse grens, dat vergelijkbaar is met de Veenkoloniën. Het heeft op dit moment nog geen direct bruikbare gegevens opgeleverd, maar zal dit zeer waarschijnlijk in de nabije toekomst wel gaan doen. Een eerste interpretatie van de resultaten wijst erop dat grondbewerking kan leiden tot een stofemissie die qua omvang vergelijkbaar is met winderosie (Goossens, Wageningen UR en KU Leuven, p.m.).

3.5.5 Samenvatting schattingen

In Tabel 16 zijn de verschillende, in het voorafgaande afgeleide, schattingen samengevat van bij winderosie betrokken hoeveelheid bodemmateriaal en PM10.

Uit de tabel blijkt dat grondbewerking ca. 12 kilo PM10 emissie ha⁻¹ zou kunnen veroorzaken en een winderosieperiode tot ca. 500 kilo. Ter vergelijking: door Vrins (1999) wordt geschat dat de fijn-stof-emissie door verwaaien vanaf kolen- en erts opslagplaatsen 1000 kg ha⁻¹ bedraagt. Voor een schatting van de erosie in een gemiddeld jaar kan de berekening van Procé (1988) worden gebruikt, welke uiteindelijk neerkomt op 3-35 kg PM10 ha⁻¹ per jaar en over 83.000 ha een emissieschatting geeft van ca. 250-3000 ton PM10 jr⁻¹ (gemiddeld 1.600 ton). De erosie op overige akkerbouwgronden werd in eerste instantie op 0 gesteld. Gezien het relatief geringe areaal (9% van akkerbouwareaal) dat stuifgevoelig wordt genoemd is deze aanname m.b.t. de overige landbouwgronden van belang: als deze op 5% (20 : 1) wordt gesteld van die op stuifgevoelig dan levert dit een schatting op voor niet-stuifgevoelig van ca. 125-1500 ton PM10 jr⁻¹ (gemiddeld 800 ton). Doordat grasland continu begroeid is valt hier geen winderosie te verwachten, en is deze vorm van grondgebruik niet opgenomen in de schatting voor niet-stuifgevoelig. De verhouding van 20 : 1 komt overeen met de geschatte verhouding in PM10-emissie tussen nauwelijks of niet, licht, en sterk stuifgevoelig materiaal (zie Tabel 1).

Tabel 16. *Overzicht van schattingen van door wind geërodeerd materiaal.*

Bron, studie	Erosie totaal, ton ha ⁻¹	Erosie PM10, kg ha ⁻¹ *
<i>Erosieperioden:</i>		
Peerlkamp (1971), ernstige verstuiving	50	50-250
Fryrear et al. (1996), 'single erosion event'	45	45-225
Schäfer et al. (1990), 5 erosieperioden	6-172	6-860
Ashbaugh et al (1996), oogst noten		12
<i>Jaarlijkse erosie:</i>		
Procé (1988)	3-7	3-35
'Toelaatbaar' (aangevuld door verwerking)	5-12,5	5-62

* niet-cursief: berekend volgens $PM10 = 0,001-0,005 \times (\text{totaal erosie})$

4. Samenvatting en conclusies

Er werd een schatting gemaakt van de emissie van fijn stof ten gevolge van verschillende landbouwkundige activiteiten.

1. Gebruik van kunstmest

De omvang van deze bron werd in een eerder rapport geschat op 130 ton per jaar. Doordat nu deels voor een lagere emissiefactor werd gekozen komt de schatting uit op 70 ton per jaar, welke vooral wordt veroorzaakt door het gebruik van poedervormige kalkmeststoffen.

2. Toedienen bestrijdingsmiddelen

Bij het toedienen van bestrijdingsmiddelen gaat een gedeelte verloren door drift van druppels. Een deel daarvan bestaat uit kleine druppels, welke bijdragen aan fijn stof in de atmosfeer. De omvang hiervan wordt geschat op ca. 170 ton per jaar.

3. Aanvoer krachtvoer, hooi

Jaarlijks wordt in Nederland ca. 15 miljoen ton krachtvoer gebruikt in de veehouderij, waarvan ca. 1/5 in de vorm van meel en de rest als pellets of brokken. De aanvoer hiervan op het bedrijf kan emissie van stof veroorzaken; dit geldt met name voor het meel. Het totaal aan stof wordt voor een groot deel afgevangen, maar fijn stof waarschijnlijk slechts in beperkte mate. De mate waarin dit wordt afgevangen is een belangrijke onzekerheid in de schatting. De geschatte emissie-omvang voor deze aanvoer bedraagt naar schatting 180-360 ton per jaar. De geschatte bijdrage van hooi is 4 ton per jaar.

4. Oogst akkerbouwgewassen

Een deel van de akkerbouwgewassen wordt in droge vorm geoogst. Met name wanneer dit met behulp van een combine gebeurt kan hierbij stof vrijkomen. Hoewel dit plaatselijk tot hoge concentraties kan leiden is de totale omvang gering, naar schatting ca. 35 ton per jaar.

5. Winderosie

Winderosie treedt op bij voldoende harde wind, over een droog oppervlak, op bodems die zowel zand als (een beperkte hoeveelheid) klei bevatten. Deze omstandigheden komen in ons land eenmaal in de 3 à 4 jaar voor. Daarnaast bevordert grondbewerking het vrijkomen van bodemmateriaal. De bijdrage aan de fijn-stofemissie is echter onzeker, dit betreft met name het gehalte aan fijn stof in totaal geërodeerd materiaal. Een eerste schatting is dat de jaarlijkse emissie gemiddeld ca. 2400 ton bedraagt (som van wel- en niet-erosiegevoelige gronden), en dat in jaren waarin het sterk stuift de emissie een veelvoud hiervan kan zijn. Hiermee is winderosie vermoedelijk de grootste van de in deze studie onderzochte bronnen van fijn stof.

Bovengenoemde schattingen zijn samengevat in Tabel 17. Aan de tabel is toegevoegd de schatting voor emissie uit stallen die door Wesselink et al. (1998) is gemaakt op basis van gegevens van Groot Koerkamp et al. (1996).

Conclusie: Van de in deze studie onderzochte bronnen zijn de aanvoer van krachtvoer op veehouderijbedrijven en winderosie waarschijnlijk de grootste bronnen van fijn stof in de landbouw. Met name in jaren waarin veel verstuiving optreedt kan de bijdrage van winderosie aanzienlijk zijn. Beide bronnen kunnen een deel verklaren van het verschil tussen berekende gehalten van fijn stof in de lucht en de gemeten gehalten. Het is echter raadzaam om door gerichte metingen deze conclusie te toetsen, waarbij met name het gehalte aan fijn stof in geërodeerd materiaal aandacht verdient.

Tabel 17. *Samenvatting van schatting van fijn-stofemissie vanuit verschillende landbouwkundige bronnen.*

Bron	Emissie, ton jaar ⁻¹	Range
Kunstmesttoediening	70	64-77
Toedienen bestrijdingsmiddelen	170	
Krachtvoer	270	180-360
Hooi	4	
Oogst akkerbouwgewassen	35	27-44
Winderosie, erosiegevoelige gronden	1.600	250-3.000
Winderosie, overige gronden	800	125-1.500
Totaal (afgerond, exclusief stalemissie)	2.950	800-5.200
Emissie uit stallen	2.100	

In Tabel 18 is voor de bronnen uit Tabel 17 globaal aangegeven waar de belangrijkste emissie plaatsvindt en gedurende welke periode.

Tabel 18. *Globale locatie waar en periode waarin fijn-stofemissie plaatsvindt vanuit verschillende landbouwkundige bronnen.*

Bron	Locatie	Periode
Kunstmest	Gehele land	Voorjaar
Bestrijdingsmiddelen	Akker-/tuintbouwgebieden	Voorjaar tot najaar
Voer rund/melkvee	Gehele land: grasland	Gehele jaar
Voer pluimvee	Veluwe, Noord-Brabant, Noord + Oost Nederland	Gehele jaar
Oogst akkerbouw	Gehele land	Zomer, najaar
Winderosie	Veenkoloniën, N. Holland (bollenstreek) Noord-Brabant	Winter, voorjaar bij grondbewerking ook najaar

5. Referenties

- Anonymus, 1994.
Organic dust in agriculture. Ordinance AFS 1994:11. Statute Book of the Swedish National Board of Occupational Safety and Health.
- Anonymus, 1996.
MJP-G Emissie-evaluatie. Achtergronddocument. Commissie van deskundigen, Ede, 1996.
- Ashbaugh, L., Matsumura, R.T., James, T., Carvacho, O. & Flocchini, R., 1996.
Modeling PM₁₀ dust emissions from field harvest operations. In: Int. Conf. Air Pollut. Agric. Operations, Kansas City, MO. 7-9 Feb. 1996. Midwest Plan. Serv., Ames, IA, pp. 155-159.
- Eerd, M.M. van, 1998.
Mestproductie, mineralenuitscheiding en mineralen in de mest, 1997. Maandstatistiek Landbouw (CBS) 1998/12, pp. 52-62.
- Eppink, L.A.A.J., 1985.
Erosie in Nederland, een overzicht. Landschap 2 (2): 80-87.
- Findenegg, G.R. & Janssen, B.H., 1984.
Plantevoeding en bemesting. Diktaat LH Wageningen, Vg. Bodemkunde en Plantevoeding, 241 pp.
- Fryrear, D.W., Xiao, J.B. & Chen, W., 1996.
Wind erosion and dust. In: Int. Conf. Air Pollut. Agric. Operations, Kansas City, MO. 7-9 Feb. 1996. Midwest Plan. Serv., Ames, IA, pp. 57-64.
- Glotfelty, D.E., Leech, M.M., Jersey, J. & Taylor, A.W., 1989.
Volatilization and wind erosion of soil surface applied atrazine, simazine, alachlor, and toxaphene. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37: 546-551.
- Grelinger, M.A. & Lapp, T., 1996.
An evaluation of published emission factors for cattle feedlots. In: Int. Conf. Air Pollut. Agric. Operations, Kansas City, MO. 7-9 Feb. 1996. Midwest Plan. Serv., Ames, IA, pp. 9-15.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Uenk, G.H. & Drost, H., 1996.
De uitstoot van respirabel stof door de Nederlandse veehouderij. Rapport 96-10, IMAG-DLO, Wageningen.
- IKC, 1996.
Meststoffen voor de rundveehouderij; samenstelling, werking en gebruik. IKC Landbouw, Ede, 109 pp.
- Knottnerus, D.J.C., 1985.
Verstuiven van grond. Beschouwingen over te nemen maatregelen, rapportering van gedaan onderzoek. Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, Nota 144, 57 pp.
- Leendertse, P.C., 1997.
Doet de landbouw fijn stof opwaaien? *Lucht* 3: 83-85.
- LEI-DLO, 1997.
Landbouw, milieu en economie. Editie 1997. Periodieke Rapportage 68-95, LEI-DLO. F.M.Brouwer et al. (red.), Den Haag.
- LEI & CBS, 1998.
Land- en tuinbouwcijfers 1998. LEI-DLO, Den Haag; CBS, Voorburg.
- Lyles, L., 1977.
Wind erosion: processes and effect on soil productivity. *Trans. ASAE* 20: 880-884.
- Matsumura, R.T., Ashbaugh, L., James, T., Carvacho, O. & Flocchini, R., 1996.
Size distribution of PM₁₀ soil dust emissions from harvesting crops. In: Int. Conf. Air Pollut. Agric. Operations, Kansas City, MO. 7-9 Feb. 1996. Midwest Plan. Serv., Ames, IA, pp. 141-146.
- Meulen, A. van der, Rombout, P.J., Prins, C.J., Kramers, P.G.N. et al., 1987.
Criteriadocument fijn stof. RIVM Bilthoven, Rapportnr. 738513006, 317 pp.

Mulder, W., 1986.

Emissiefactoren van stof bij de op- en overslag van stortgoederen & emissiefactoren voor fijn stof. TNO, Delft, rapport no. R 86/205, 39 pp. + bijlage.

Pattje, D.J., 1948.

Het verstuiven van onze zandgronden. Maandblad Landbouvoorl. 5: 506-512.

Peerlkamp, P.K., 1971.

Grondverstuivingen en hun bestrijding. Jaarverslag 1970, Inst. voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 74-86.

Procé, C., 1988.

Winderosie in de Veenkoloniën. Toepassing van het computerprogramma Weros. Nota Interfac. Vakgroep Energie en Milieukunde, RUG, 45 pp.

Schäfer, W., Neemann, W., Beinhauer, R., Krusse, B., Tetzlaff, G. & Janssen, W., 1990. Quantifizierung der Bodenerosion durch Wind. I. Schlussbericht des BMFT-Verbundforschungsprojektes.

Bremen, Bodentechnologisches Institut, Band 1.

Skidmore, E.L., Huang, X. & Tatarko, J., 1998. Soil quality as influenced by wind erosion. Annual Meeting Abstracts ASA, CSSA, SSSA, Wisconsin USA, 290.

Soest, L.J. van & Leistra, M., 1991. Winderosie van bestrijdingsmiddelen naar waterlopen. Een literatuurstudie in het kader van het Drentsche Aa project. Interne meded. SC-DLO, Wageningen, no. 150, 37 pp.

Spaan, W.P., 1984. Verslag van een studiereis naar de Great Plains van de Verenigde Staten van Amerika in het kader van de winderosie. Mededeling Vakgroep Cultuurtechniek no. 73, 72 pp.

Stout, J.E. & Zobeck, T.M., 1996. Establishing the threshold condition for soil movement in wind-eroding fields. In: Int. Conf. Air Pollut. Agric. Operations, Kansas City, MO. 7-9 Feb. 1996. Midwest Plan. Serv., Ames, IA, pp. 65-71.

Vrins, E., 1999. Fijnstof-emissies bij op- en overslag. Concept eindrapport studie in opdracht van Ministerie VROM, mei 1999.

Wesselink, L.G., Smeets, W., Brink, R.M. van den & Thomas, R., 1998. Fijn stof emissies in Nederland en buitenland. RIVM rapportnr. 650010014