

april 2011

**rapport 1370**

## Mogelijkheden van fosfaathergebruik door de inzet van biomassa-assen als meststof

**ir. R. Postma**

**ing. T.A. van Dijk**

**dr.ir. L. van Schöll**



nutriënten management instituut nmi bv

postbus 250

6700 ag wageningen

agro business park 10

6708 pw wageningen

tel. (0317) 46 77 00

fax (088) 876 12 81

e-mail [nmi@nmi-agro.nl](mailto:nmi@nmi-agro.nl)

internet [www.nmi-agro.nl](http://www.nmi-agro.nl)



---

© 2011 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

---

## **Verspreiding**



## Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	7
2 Omvang van fosfaatvoorraden en –stromen: noodzaak tot hergebruik?	9
2.1 Algemeen	9
2.2 Fosfaatvoorraden en –stromen op mondiaal niveau	9
2.3 Fosfaat in Nederland: omvang van stromen en ophoping in landbouwgronden	10
2.4 Noodzaak tot hergebruik fosfaat?	14
3 Landbouwkundige waarde van assen	15
3.1 Beschikbare informatie over de samenstelling van assen	15
3.2 Beschikbaarheid van nutriënten in assen voor planten	17
3.2.1 Algemeen	17
3.2.2 Nutriëntenbeschikbaarheid in en bekalkende waarde van hout-assen	18
3.2.3 Fosfaatbeschikbaarheid in assen van zuiverings-slib, diermeel en kippenmest	19
3.3 Fosfaatwerking van assen in vergelijking met struviet	22
3.3.1 Struvietwinning uit afvalwater	22
3.3.2 Landbouwkundige waarde struviet	23
3.3.3 Fosfaatwerking van assen in vergelijking met struviet	25
3.4 Conclusies landbouwkundige waarde assen	26
4 Regelgeving betreffende de toelating van een afvalstof als meststof	27
4.1 Inleiding	27
4.2 Europese regelgeving voor meststoffen	27
4.3 Meststoffenwet	28
4.4 Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet	29
4.5 Uitvoeringsregeling Meststoffenwet	33
4.6 Toelatingsprocedure voor meststoffen geproduceerd uit afval- of reststromen	34
4.7 Toetsing verbrandingsassen aan de regelgeving	34
4.8 Beoordeling andere meststoffen met betrekking tot zware metalen en arseen	36
5 Mogelijke inzet van assen als (grondstof voor) meststof	39
5.1 Algemeen	39
5.2 Directe toepassing als meststof	39
5.3 Gebruik van de assen als grondstof voor kunstmest	41
5.4 Mogelijke bijdrage van assen aan het vervangen van ruwfosfaat	43
6 Relevant beleid en wetgeving in Europa en het nabije buitenland	45
6.1 Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen en Nederlandse Meststoffenwet	45
6.2 Duitsland	45
6.3 België	46
7 Literatuur	47
Bijlage 1. Gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof en fosfaat	51
Bijlage 2. Maximale gehalten voor zware metalen en organische microverontreinigingen in meststoffen	53



## Samenvatting en conclusies

In sectorplan 24 van het Landelijk Afvalbeheerplan 2 (LAP2) wordt aangegeven dat een nuttige toepassing van reststoffen afkomstig van energiewinning uit biomassa als materiaal of als meststof de voorkeur heeft boven het storten er van. In de voorliggende studie zijn de mogelijkheden en eventuele knelpunten van de toepassing van verbrandingsassen als meststof in beeld gebracht. Het betreft assen van verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest.

Hergebruik van assen als meststof zorgt voor het zoveel mogelijk sluiten van nutriëntenkringlopen. Dit is onder andere van belang voor de eindige grondstof fosfaat (P), die onvervangbaar is. De laatste jaren is er sprake van een toenemend bewustzijn ten aanzien van de dreigende schaarste van fosfaat. De wereldwijde voorraad aan fosfaat in winbare fosfaaterts bedraagt 2.400 – 6.600 Mt P, waarvan een deel economisch winbaar is en een deel niet. Deze voorraden zijn hoofdzakelijk aanwezig in China en Marokko. Jaarlijks wordt circa 18 Mt gewonnen, waarvan ca. 80% wordt gebruikt voor minerale meststoffen. Schattingen van de periode waarin de beschikbare fosfaatvoorraad zal zijn uitgeput lopen uiteen van 50 tot 400 jaar.

Voorlopig is in de Nederlandse landbouw nog sprake van een fosfaatoverschot, aangezien er ieder jaar meer fosfaat binnenkomt via mengvoer en kunstmest dan er wordt afgevoerd. Voor landbouwgronden vertaalde zich dat in 2009 in een totale aanvoer ter grootte van 88.000 ton P, die via dierlijke mest (76.000 ton P) en kunstmest (12.000 ton P) op landbouwgrond terecht is gekomen. De totale aanvoer is daarmee hoger dan de afvoer met gewassen (67.000 ton P), waardoor nog steeds sprake is van een ophoping van fosfaat in landbouwgronden (21.000 ton P), die al voor een belangrijk deel verzadigd zijn met fosfaat. Vanuit het Nederlandse perspectief is het dan ook vooral van belang dat fosfaat uit de Nederlandse landbouw wordt onttrokken, bijvoorbeeld door de verbranding van kippenmest en de export van de as. De noodzaak tot hergebruik van assen van verbranding van biomassa, zuiveringsslib en dierlijk afval als meststof lijkt vanuit het Nederlandse perspectief op de korte termijn niet groot. Aangezien dit bij een afzet op de Nederlandse markt kan leiden tot een vergroting van het fosfaatoverschot in de landbouw, dient hergebruik te worden gecombineerd met de export van de assen. Voor de langere termijn en het globale perspectief is hergebruik van de assen als meststof echter zeer gewenst. De hoeveelheid fosfaat die in Nederland jaarlijks terechtkomt in verbrandingsassen van zuiveringsslib en kippenmest, bedraagt respectievelijk circa 5.000 ton en 3.500 ton P.

De (potentiële) landbouwkundige waarde van assen wordt bepaald door de gehalten aan waardegevende bestanddelen, hun onderlinge verhouding en de beschikbaarheid. Deze zijn verschillend tussen assen en zijn afhankelijk van het gebruikte uitgangsmateriaal (hout, zuiveringsslib, diermeel, kippenmest), het type installatie (bijvoorbeeld wervelbed en roosteroven) en het type as (bed-as, bodemas en vlieg-as). De belangrijkste waardegevende bestanddelen per type as zijn:

- Houtas: vooral kalium (K), calcium (Ca) en bekalkende waarde; in mindere mate P, magnesium (Mg) en zwavel (S);
- Zuiveringsslib en diermeel: vooral P, Ca en bekalkende waarde; in mindere mate K, Mg en S;
- Kippenmest: vooral P, K en bekalkende waarde; in mindere mate Mg.

Uit potproeven met gewassen is gebleken dat de P-beschikbaarheid in verbrandingsassen laag was, wat kan worden verklaard door de relatief slechte oplosbaarheid van de P-verbindingen. De P-beschikbaarheid in assen kan worden verhoogd door verschillende technieken, zoals ontsluiting met zuur, verhitting en/of door een thermochemische behandeling. Recycling van P uit afvalwater kan plaatshebben via hergebruik van as dat resteert na de verbranding van slib, maar ook via gecontroleerde

struvietvorming tijdens de afvalwater-zuivering. De waarde van struviet als meststof is door de betere P-beschikbaarheid beter dan van as.

Vanaf 2008 is het verhandelen van meststoffen ondergebracht in de Meststoffenwet. Een specifiek deel van de regelgeving gaat over het hergebruik van producten die zijn ontstaan uit rest- of afvalstoffen. Verbrandingsassen van biomassa, zuiveringsslib, kippenmest en dierlijk afval vallen hieronder. Deze verbrandingsassen moeten eerst door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) worden getoetst op landbouwkundige en milieukundige eisen, alvorens zij kunnen worden toegelaten als meststof op de Nederlandse markt. De landbouwkundige eisen hebben betrekking op minimale gehalten aan waardegevend bestanddelen, zoals het gehalte aan N, P, K, Ca, Mg, S, organische stof of de neutraliserende waarde. De milieukundige eisen hebben betrekking op maximale gehalten aan zware metalen, arseen en organische microverontreinigingen. Daarbij moet worden opgemerkt dat de milieukundige eisen voor verschillende meststofcategorieën sterk verschillen. Zo zijn voor dierlijke mesten geen maximale gehalten voor zware metalen van toepassing, terwijl dergelijke eisen wel gelden voor assen die uit verbranding van dergelijke meststoffen ontstaan. Op basis van een toetsing van de gehalten aan zware metalen in de verbrandingsassen aan de norm, werd geconcludeerd dat de assen van hout, zuiveringsslib en kippenmest niet voldeden aan de eisen, maar de as van diersoep wel. Uit een toetsing aan de Duitse en Belgische normen, blijkt dat ook deze normen worden overschreden. Voordat de assen van hout, zuiveringsslib en kippenmest als meststof kunnen worden toegelaten, dienen de zware metalengehalten in de assen dan ook te worden verlaagd.

Bij het beantwoorden van de vraag welke bijdrage verbrandingsassen van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest zouden kunnen leveren aan het verminderen van het gebruik van (grondstoffen voor) minerale meststoffen in Nederland zijn twee routes verkend. Enerzijds is nagegaan welke mogelijkheden er zijn voor een directe toepassing van de assen als meststof, en anderzijds is nagegaan welke mogelijkheden er zijn voor het gebruik als grondstof voor meststoffen. Zoals hiervoor is aangegeven, zullen verbrandingsassen van biomassa, zuiveringsslib en kippenmest waarschijnlijk geen toelating als meststof krijgen, aangezien de maximaal toegestane gehalten aan zware metalen en arseen worden overschreden. Als de gehalten aan zware metalen worden verlaagd, zijn er wel mogelijkheden voor een toelating. Voor verbrandingsas van dierlijk afval en voor struviet zijn de mogelijkheden voor een directe toelating beter. Verbrandingsas van biomassa, kippenmest, diersoep en/of zuiveringsslib is in principe bruikbaar als grondstof voor minerale P-meststoffen. Voorwaarden zijn onder andere dat het P-gehalte minimaal 4% is en dat de gehalten aan zware metalen niet te hoog zijn. Het P-gehalte in houtas lijkt niet te voldoen aan de eisen, maar de as van kippenmest, diersoep en/of zuiveringsslib wel. De gehalten aan zware metalen en arseen vormen een aandachtspunt.

### **Conclusies**

- De hoeveelheid fosfaat die in Nederland jaarlijks in verbrandingsassen van zuiveringsslib en kippenmest terecht komt, bedraagt resp. 5.000 en 3.500 ton P, wat gezamenlijk overeenkomt met ca. 70% van de hoeveelheid fosfaat in kunstmest die in 2009 in de Nederlandse landbouw werd gebruikt.
- Knelpunten bij hergebruik van verbrandingsassen als (grondstof voor) minerale P-meststoffen zijn de slechte beschikbaarheid van fosfaat in de assen en de hoge gehalten aan zware metalen.
- Een directe toepassing van verbrandingsas als meststof is in Nederland niet toegestaan. Een toelating als meststof zal door te hoge gehalten aan zware metalen waarschijnlijk niet worden verleend voor de onbewerkte assen van biomassa, zuiveringsslib en kippenmest. Opvallend is dat dierlijke meststoffen met vergelijkbare gehalten aan metalen in relatie tot het P-gehalte wel zijn toegestaan.



- Voor het terugwinnen van fosfaat uit afvalwater kan de winning van struviet bij de waterzuivering een aanvullende mogelijkheid zijn. Voor een directe toepassing als P-meststof heeft struviet (mits het de vereiste toelating als meststof krijgt) betere eigenschappen dan de assen. Voor de assen zijn er echter betere mogelijkheden voor gebruik als grondstof voor P-kunstmest.
- Er zijn goede mogelijkheden voor het gebruik van de assen als grondstof voor minerale P-meststoffen, mits de P-beschikbaarheid in de assen kan wordt verhoogd en de gehalten aan zware metalen kunnen worden verlaagd. Hierdoor kan de gangbare grondstof ruwfosfaat deels worden vervangen en kan de fosfaat relatief eenvoudig naar het buitenland worden geëxporteerd, wat gewenst is vanwege het P-overschot in de Nederlandse landbouw.

#### **Aanbevelingen**

- Aangezien er sprake is van verschillen in de wettelijke eisen ten aanzien van de maximaal toegestane gehalten aan zware metalen in meststoffen voor verschillende meststofcategorieën is het gewenst na te gaan of en zo ja hoe die verschillen zo veel mogelijk kunnen worden weggenomen.
- Voorgesteld wordt om na te gaan welke technieken het best kunnen worden ingezet voor het zodanig bewerken van de assen van zuiveringsslib, diermeel en kippenmest dat de P-beschikbaarheid wordt verhoogd en de gehalten aan zware metalen worden verlaagd, waarmee de knelpunten voor een toepassing als meststof kunnen worden weggenomen. De effecten daarvan op de meststofkwaliteit zouden in beeld moeten worden gebracht.
- Vervolgens zou moeten worden nagegaan hoe kan worden gezorgd voor een implementatie in de praktijk van de opwerking van assen tot meststoffen, waardoor fosfaathergebruik door de inzet van assen als (grondstof voor) meststoffen daadwerkelijk wordt gerealiseerd.



## 1 Inleiding

In sectorplan 24 van het Landelijk Afvalbeheerplan 2 (LAP2) wordt aangegeven dat een nuttige toepassing van reststoffen afkomstig van energiewinning uit biomassa als materiaal of als meststof de voorkeur heeft boven het storten er van. Door het gebruik van deze zogenaamde biomassa-assen als meststof in de landbouw, worden nutriënten opnieuw in de kringloop gebracht. Een zelfde toepassing is denkbaar voor assen die reesteren na de verbranding van zuiveringsslib (sectorplan 22), dierlijk afval (sectorplan 65) en kippenmest. De assen van al deze producten vallen onder sectorplan 24. Een toepassing van de assen als meststof kan leiden tot een besparing op het gebruik van gangbaar geproduceerde kunstmest. Deze besparing is onder andere nodig in verband met de eindigheid van de voorraden aan grondstoffen voor kunstmest, zoals ruwfosfaat (onder andere Smit et al., 2009).

Agentschap NL heeft Nutriënten Management Instituut NMI gevraagd een bureaustudie uit te voeren, waarin de mogelijkheden en eventuele knelpunten van de toepassing van verbrandingsassen als meststof in de landbouw in beeld worden gebracht. Dit dient te gebeuren op basis van resultaten van onderzoek en wet- en regelgeving. Ten behoeve van deze studie diende gebruik gemaakt te worden van een eerder door ECN uitgevoerd onderzoek "Hoeveelheid en samenstelling van reststoffen uit biomassaverbranding en de mogelijkheden voor nuttige toepassing". In dit onderzoek zijn de te verwachten hoeveelheden en samenstellingen van de reststoffen die vrijkomen bij biomassaverbranding in kaart gebracht. De ECN-studie is uitgevoerd in de periode vanaf eind 2009 tot medio 2010 (Pels, 2010).

Het doel van de studie was gericht op het in beeld brengen van de mogelijkheden en eventuele knelpunten van de toepassing van reststoffen uit verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest als meststof in de Nederlandse landbouw. Voor zuiveringsslib is daarnaast tevens een vergelijking gemaakt tussen het hergebruik van fosfaat (P) via de verbrandingsas van het slib en via struviet dat bij de waterzuivering kan worden geproduceerd.

In deze studie wordt achtereenvolgens aandacht besteed aan de volgende onderdelen:

- Omvang van fosfaatvoorraden en –stromen op mondiaal en landelijk niveau en consequenties daarvan voor de noodzaak tot fosfaathergebruik.
- Karakterisering van de landbouwkundige waarde van de assen door een beoordeling van de waardegevendende bestanddelen, zoals het gehalte aan fosfor, kalium, calcium, magnesium, zwavel, etc. en de te verwachten werking van deze nutriënten. Ook wordt aandacht besteed aan de eventuele waarde van de assen als kalkmeststof.
- Inzicht in de huidige wet- en regelgeving betreffende de toelating van reststoffen als meststof en in de consequenties daarvan voor de mogelijke toelating van de assen als meststof.
- Inzicht in de mogelijke bijdrage van reststoffen uit verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest aan het verminderen van het gebruik van (grondstoffen voor) minerale meststoffen in Nederland.
- Inzicht in de situatie in ons omringende landen met betrekking tot de recycling van reststoffen uit verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest en de belangrijkste van toepassing zijnde wetgeving.
- Inzicht in de relevante ontwikkelingen in beleid en wetgeving op Europees niveau.
- Inzicht in relevante ervaringen met de inzet van andere reststoffen als meststof of de mogelijkheden als grondstof in de kunstmestindustrie.



## 2 Omvang van fosfaatvoorraden en –stromen: noodzaak tot hergebruik?

### 2.1 Algemeen

De laatste jaren is er in toenemende mate aandacht voor het feit dat fosfaat een eindige grondstof is, waarmee zuinig moet worden omgegaan (De Haes et al., 2009; Smit et al., 2009; Cordell et al., 2009; Gilbert, 2009). Diverse bureaustudies die hier de afgelopen jaren naar zijn verricht, wijzen met name op het feit dat fosfaat onvervangbaar is en dat fosfaaterts en/of ruwfosfaat slechts op enkele plaatsen ter wereld aanwezig en winbaar is (vooral China en Marokko/Westelijke Sahara). De dreigende schaarste aan fosfaat is dus een mondiaal probleem, en geen typisch Nederlands probleem. Schattingen van de periode waarin de beschikbare fosfaatvoorraad zal zijn uitgeput lopen uiteen van 50 tot 300-400 jaar (Nature, 2010). Het toenemende bewustzijn ten aanzien van de eindigheid van fosfaat, heeft in Nederland onder andere geleid tot adviezen van de Stuurgroep Technology Assessment van het Ministerie van LNV (De Haes et al., 2009) en van de Technische Commissie Bodembescherming (TCB, 2010).

Paradoxaal genoeg is er in Nederland de afgelopen decennia vooral aandacht besteed aan de overmaat aan fosfaat in Nederlandse landbouwgronden die het gevolg is van de jarenlange situatie waarbij de aanvoer hoger was dan de afvoer (CBS, 2010), die heeft geleid tot een enorme ophoping van fosfaat in de bodem, waardoor in grote delen van Nederland sprake is van fosfaatverzadigde en fosfaatlekkende bodems (Schoumans, 2004) die hebben geleid tot emissies van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater (TCB, 2007). Deze Nederlandse situatie, waarbij dus sprake is van fosfaatovermaat, is vrij uniek voor Europa en de rest van de wereld. Op basis van die Nederlandse situatie is wetgeving ontwikkeld die de aanvoer van P naar landbouwgronden steeds verder beperkt. In eerste instantie betrof die vanaf 1998 het Mineralenaangifte-systeem (MINAS) en sinds 1 januari 2006 is een stelsel van gebruiksnormen van kracht (MNP, 2007). Dit laatste houdt in dat de P-aanvoer per ha op bedrijfsniveau gehouden is aan een maximum, waarbij de 'eindnorm', zoals die is ontwikkeld voor 2015, gebaseerd is op de gemiddelde gewasonttrekking en een zeer gering onvermijdbaar verlies van ca. 1 kg P/ha. De gebruiksnormen voor fosfaat zijn voor de periode 2010-2013 vastgesteld in het Vierde Actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (Bijlage 1).

Vanwege de verschillen in de situatie ten aanzien van de schaarste van fosfaat op mondiaal en nationaal niveau, worden die twee zaken hierna afzonderlijk beschreven.

### 2.2 Fosfaatvoorraden en –stromen op mondiaal niveau

De fosfaatvoorraden en –stromen op verschillende schaalniveaus zijn recent samengevat door Smit et al. (2009). Zij stellen op basis van een studie van Jasinski (2008) vast dat de wereldwijde voorraad aan P in winbare fosfaaterts 2.400 – 6.600 Mt P bedraagt. Daarbij wordt onderscheid gemaakt naar dat deel van de voorraad waarvan de winning op een bepaald moment economisch rendabel is en een ander deel waarbij dat niet het geval is. Dit is slechts een klein deel van de totale voorraad P in de wereld, aangezien verreweg het grootste deel aanwezig is in niet/moeilijk winbare sedimenten ( $80 - 4.000 * 10^6$  Mt P).

De winbare fosfaaterts is aanwezig in slechts een beperkt aantal landen, waarvan China (25-35%) en Marokko/Westelijke Sahara (30-40%) de belangrijkste zijn, gevolgd door de Verenigde Staten (6-7%) en Zuid Afrika (5-8%).

De hoeveelheid P die jaarlijks wordt gewonnen uit fosfaaterts bedroeg in 2008 ca. 18 Mt P. Hiervan wordt het merendeel gebruikt voor minerale meststoffen (80%), terwijl het restant wordt gebruikt voor toevoegingen aan veevoer (ca. 5%) en industriële toepassingen, zoals (vaat)wasmiddelen (12%) en andere toepassingen (3%) (Heffer et al., 2006). De hoeveelheid die in (vaat)wasmiddelen wordt gebruikt is de afgelopen jaren gedaald tot onder de 10%.

Op basis van een aantal scenario's ten aanzien van het gebruik van P, schatten Smit et al. (2009) dat de wereldwijde P-reserves voldoende zijn voor de komende 50-125 jaar (winbaarheid economisch rendabel) en/of voor de komende 80-340 jaar (inclusief deel waarvan de winbaarheid op dit moment niet economisch rendabel is).

Een internationale non-profit organisatie die duurzame landbouw via een goed nutriëntenbeheer nastreeft (IFDC) heeft recent een rapport uitgebracht (Van Kauwenbergh, 2010), waarin wordt gesteld dat er op basis van het huidige productieniveau voldoende voorraden aan fosfaaterts beschikbaar zijn voor de komende 300-400 jaar. Opgemerkt moet worden dat in de IFDC-studie geen rekening wordt gehouden met een toenemende productie en/of vraag in de komende jaren, zoals Smit et al. (2009) wel hebben gedaan. Daarnaast is onduidelijk in hoeverre IFDC rekening heeft gehouden met het onderscheid tussen de voorraden waarvan de winning economisch wel/niet rendabel is.

### **2.3 Fosfaat in Nederland: omvang van stromen en ophoping in landbouwgronden**

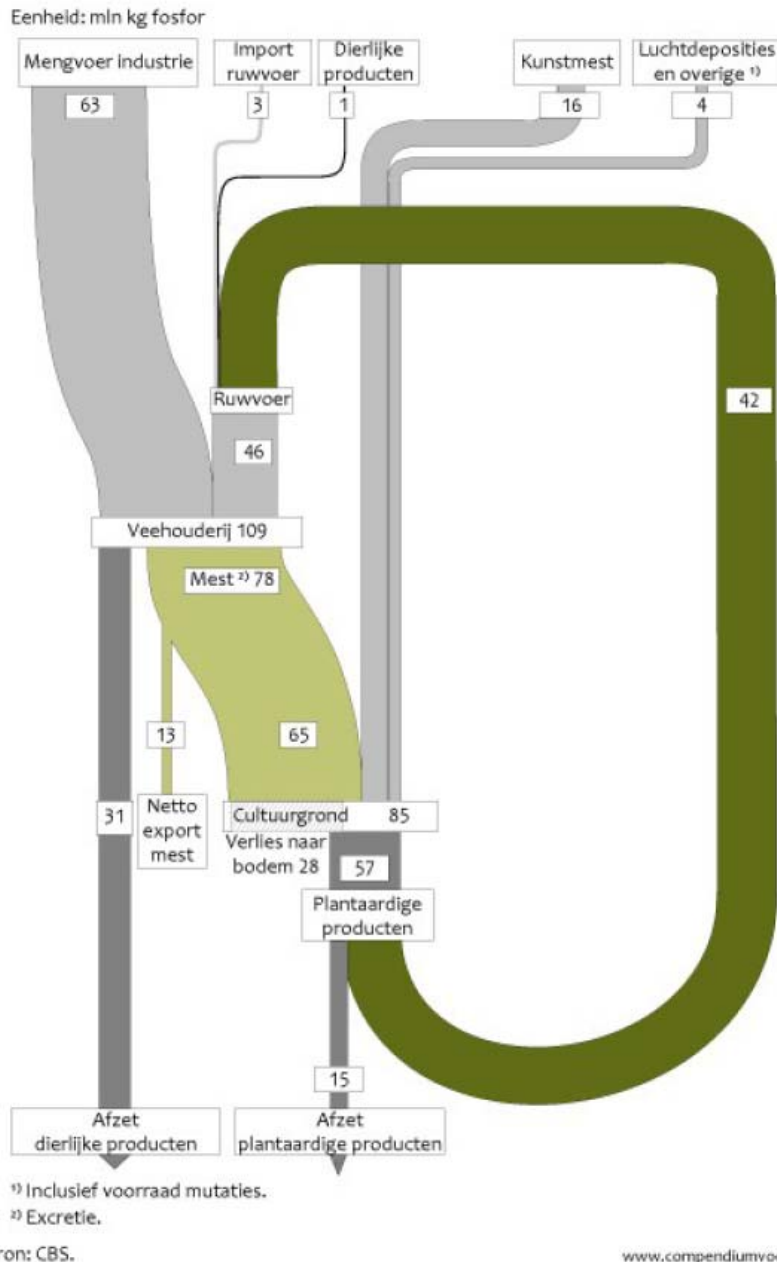
Door CBS zijn de aan- en afvoerposten van fosfor naar de Nederlandse landbouw in kaart gebracht (Figuur 2.1). Daaruit blijkt dat het grootste deel van P Nederland binnenkomt via de import van veevoer. Die hoeveelheid bedroeg in 2007 ca 63.000 ton P. De hoeveelheid P die in de vorm van kunstmest naar de Nederlandse landbouw wordt aangevoerd bedroeg in 2007 ca. 16.000 ton P, wat dus slechts 25% is van de hoeveelheid via mengvoer.

De ontwikkeling van de P-aanvoer naar Nederlandse landbouwgronden vertoont vanaf de tachtiger jaren een dalende trend (Tabel 2.1). Door de hiervoor genoemde wettelijke maatregelen (zie onder andere Bijlage 1) is die P-aanvoer beperkt, wat zowel heeft geleid tot een daling van de hoeveelheid P in dierlijke mest als kunstmest. Hieruit blijkt dat de aanvoer van P via kunstmest na 2007 verder is gedaald van 16.000 ton P (ofwel 36.000 ton  $P_2O_5$ ) in 2007 tot 12.000 ton P (ofwel 27.000 ton  $P_2O_5$ ) in 2008 en 2009. De verwachting is dat dit in de toekomst verder gaat dalen.

Tabel 2.1. Ontwikkeling van de fosfaataanvoer naar Nederlandse landbouwgronden, in miljoen kg P, ofwel duizend ton P. Bron: CBS, 2009.

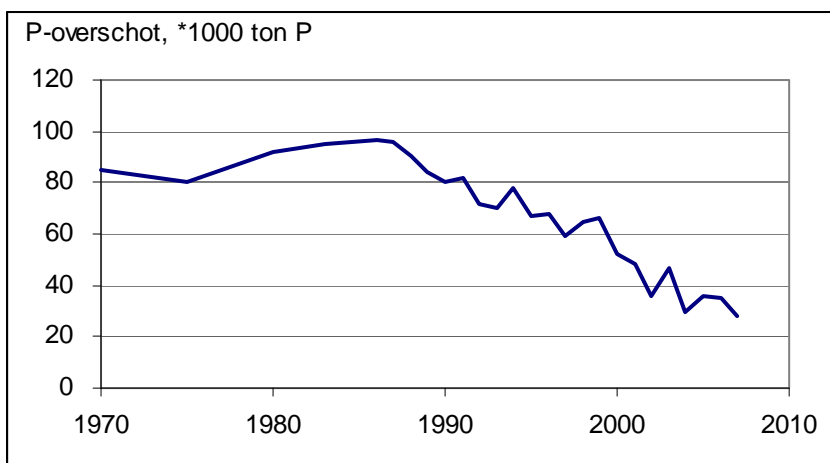
	1986	1990	2000	2005	2007	2008	2009*
Totale fosfaataanvoer	149	133	110	96	90	89	88
via dierlijke mest	114	100	83	74	74	77	76
via kunstmest	35	33	27	21	16	12	12

\* Voorlopige cijfers.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de fosforkringloop in de Nederlandse landbouw in 2007. Bron: CBS, 2009.

Het gevolg van de dalende P-aanvoer is geweest dat het P-overschot op Nederlandse landbouwgronden vanaf 1980 is gedaald van ruim 90 miljoen kg P tot 28 miljoen kg P in 2009, ofwel van 90.000 ton P tot 28.000 ton P (Figuur 2.2). Op hectarebasis komt dat overeen met een daling van het P-overschot van ca. 45 kg P/ha (ofwel 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) in 1986 tot 10 kg P/ha (ofwel 22 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) in 2009 (Tabel 2.2). Aangezien de mestproductie minder snel daalt dan de hoeveelheid P die binnen de wettelijke normen op bedrijven kan worden geplaatst (de mestplaatsingsruimte), neemt het (niet plaatsbare) P-overschot in de toekomst naar verwachting toe. Hiervoor moeten oplossingen worden gevonden, bijvoorbeeld door meer aandacht aan P-arm veevoer, mestverwerking en/of export te besteden. In dat kader voert de WUR momenteel een groot aantal projecten uit, waarin de mogelijkheden van mestverwerking worden verkend. De mogelijkheid om de P in dierlijke mest in een geconcentreerde vorm te winnen en te exporteren naar het buitenland vormt daarbij een speerpunt.



Figuur 2.2. Daling van het P-overschot in de Nederlandse landbouw. Bron: CBS.

Tabel 2.2. Ontwikkeling van de fosfaatbalans van Nederlandse landbouwgronden in de periode van 1980 tot 2009; gemiddeld per hectare (in kg P/ha).

Aan- en afvoer van fosfaat	jaar								
	1980	1986	1990	2000	2005	2006	2007	2008	2009*
Aanvoer	70	77	70	55	48	47	42	40	40
w.v.									
Dierlijke mest	50	56	50	39	34	34	32	33	32
Kunstmest	17	18	17	14	11	11	8	6	6
overig	3	3	3	3	3	2	2	2	2
Afvoer	29	32	32	31	28	28	29	30	30
Overschot	41	45	38	25	20	19	13	10	10

Bron: CBS.

CBS/CLO/aug10/0093

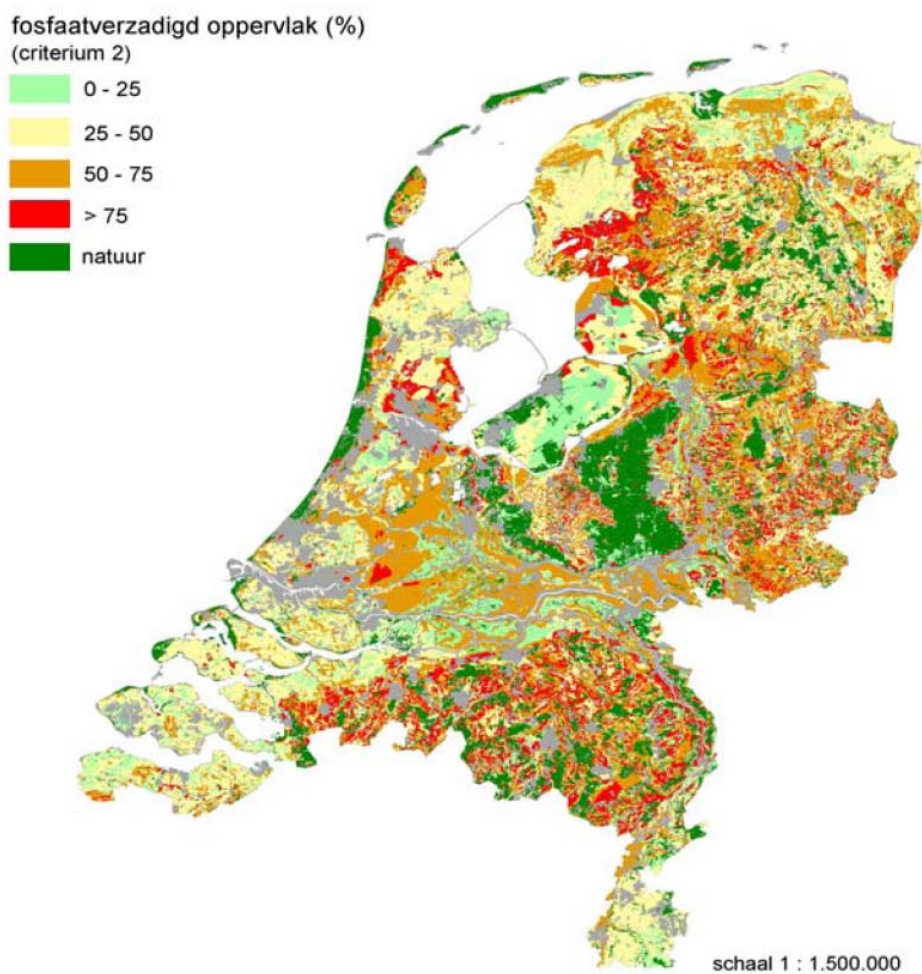
\*Gegevens 2009 betreffen voorlopige cijfers.

Het gevolg van het jarenlange fosfaatoverschot van Nederlandse landbouwgronden is dat de fosfaat zich heeft kunnen ophopen, dat het vermogen van gronden om fosfaat vast te leggen is benut, waardoor een groot deel van de Nederlandse landbouwgronden verzadigd zijn met fosfaat (Schoumans, 2004; Figuur 2.3).

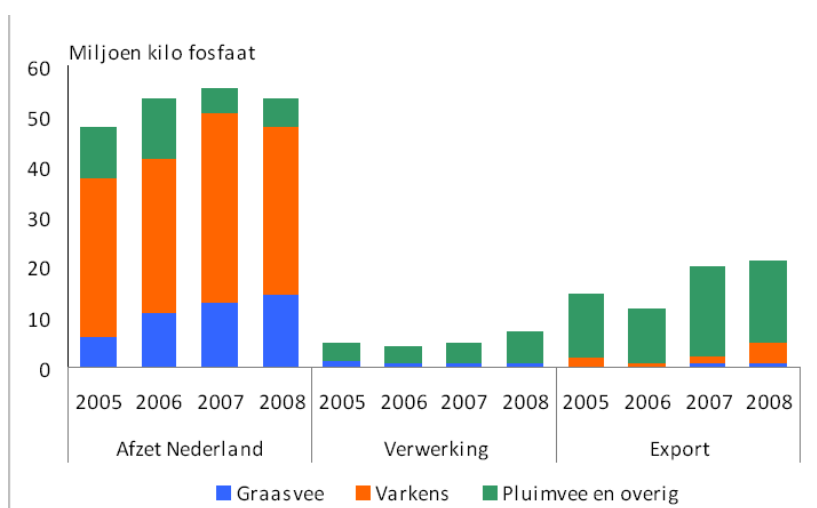
Op dit moment wordt het grootste deel van de P in dierlijke mest die niet kan worden geplaatst op de bedrijven waar ze vrijkomt, elders binnen Nederland (vooral naar akkerbouwbedrijven) afgezet, terwijl een aanzienlijk deel van de kippenmest wordt verwerkt en geëxporteerd (Figuur 2.4).

De huidige situatie in Nederland ten aanzien van de beschikbaarheid van P in dierlijke en minerale meststoffen en de hoeveelheid P die op landbouwgronden mag worden aangewend, betekent dat er op nationale schaal nog steeds sprake is van een P-overschot. Dit P-overschot zal de komende jaren verder toenemen door strengere wordende normen. Het betekent ook dat de productie van extra P-meststoffen bijvoorbeeld uit as van zuiveringsslib, dierlijk afval, biomassa en/of kippenmest voor de Nederlandse markt niet gewenst is. Het zal bestaande (grondstoffen voor) meststoffen moeten vervangen en bij voorkeur moeten worden geëxporteerd. Dit zou kunnen door de as te gebruiken als grondstof voor P-kunstmest, waarbij de huidige grondstof ruwfosfaat (deels) wordt vervangen. In Hoofdstuk 5 wordt daar verder op ingegaan.





Figuur 2.3. Ligging van de fosfaatverzadigde gronden in Nederland (Bron: Schoumans, 2004).



Figuur 2.4. Hoeveelheid fosfaat (in miljoen kg  $P_2O_5$ ) in dierlijke mest die i) wordt afgezet in Nederland, ii) wordt verwerkt en/of iii) wordt geëxporteerd (Luesink et al., 2009).

## 2.4 Noodzaak tot hergebruik fosfaat?

In de voorgaande paragrafen is de situatie ten aanzien van de fosfaatbeschikbaarheid op globale schaal en in Nederland geschetst. Het is de vraag wat dit betekent voor de noodzaak tot hergebruik van fosfaat. Vanuit het globale perspectief kan worden gesteld dat het zeer gewenst is zuinig met fosfaat om te gaan en het zoveel mogelijk te hergebruiken. Dit wordt onderschreven door uiteenlopende partijen, variërend van adviesorganen (De Haes et al., 2009; TCB, 2010), tot onderzoekers (Cordell et al., 2009; Smit et al., 2009), organisaties die nauwe banden hebben met het meststoffenbedrijfsleven (Van Kauwenberg, 2010; Hilton et al., 2010) en verantwoordelijke overheden (onder andere Ministerie van LNV, 2009).

Vanuit het perspectief van Nederland is het vooral van belang dat P wordt onttrokken uit de Nederlandse landbouw, zodat het niet plaatsbare P-overschot wordt verkleind. De verbranding van kippenmest, gevolgd door de export van as naar het buitenland is hiervan een voorbeeld. De noodzaak tot hergebruik van fosfaat uit andere stromen dan dierlijke mest, bijvoorbeeld via de inzet van verbrandingsas van zuiveringsslib en diermeel als meststof, zijn op de korte termijn vanuit het Nederlands landbouwperspectief bekeken niet groot. Er is in dat geval namelijk een risico dat dit leidt tot extra aanbod van P-houdende meststoffen op de Nederlandse markt, waar zoals reeds is aangegeven al sprake is van een P-overschot. Het eventuele hergebruik van de genoemde verbrandingsassen als meststof zal dus gepaard moeten gaan met de export ervan. Uiteindelijk zal echter ook Nederland te maken krijgen met het feit dat fosfaat een eindige grondstof is. Verder lijkt het vanuit ethisch oogpunt van belang dat wij in Nederland geen waardevolle fosfaat aan de kringloop onttrekken, zolang er op andere plaatsen op de wereld sprake is van tekorten. Daarom kan, zoals hiervoor al is gesteld, worden bevestigd dat hergebruik van verbrandingsassen als meststof voor de langere termijn en het globale perspectief juist wel van groot belang is, mits dat op een verantwoorde manier kan worden gerealiseerd.

Aanbevelingen van de Stuurgroep Technology Assessment (De Haes et al., 2009) zijn om het hergebruik van restproducten van de productie van biobrandstoffen te stimuleren en om het hergebruik van fosfaat uit de verbrandingsas van rioolslib te verplichten. De TCB komt met vergelijkbare aanbevelingen, waarbij voor de langere termijn wordt aanbevolen humane ontlasting en organische afvalstromen te betrekken bij de nutriëntenkringlopen en onderzoek te doen naar het effect van een toenemend gebruik van biomassa als grondstof voor uiteenlopende toepassingen op de bodemkwaliteit (TCB, 2010).

Het hergebruik van fosfaat in verbrandingsassen als meststof, waarvan de mogelijkheden in deze studie centraal staan, sluit zeer goed aan bij de aanbevelingen van de Stuurgroep Technology Assessment. Daarbij lijkt het zinvol de aandacht met name te richten op de assen waarin relatief veel P aanwezig is, namelijk as van zuiveringsslib, kippenmest en diermeel (zie Hoofdstuk 3). De hoeveelheid P in as van zuiveringsslib bedraagt in Nederland ca. 5.000 ton P (62.000 ton as die vrijkomt bij SNB en HVC, met ca. 8% P; onder andere Vergouwen, 2010) en de hoeveelheid P in as van kippenmest ca. 3.500 ton P (70.000 ton as die vrijkomt bij BMC Moerdijk, met ca. 5% P). Dit zijn aanzienlijke hoeveelheden, waarbij de as van zuiveringsslib en kippenmest gezamenlijk circa 70% (8.500 ton P) bevat van de hoeveelheid P die in 2009 in Nederland in de vorm van kunstmest-P naar landbouwgronden werd aangevoerd (12.000 ton P; Tabel 2.1).

### 3 Landbouwkundige waarde van assen

Dit hoofdstuk is vooral gericht op een beoordeling van de verwachte landbouwkundige waarde van reststoffen uit de verbranding van biomassa, zuiverings-slib, dierlijk afval en kippenmest. Hierbij zal met name worden gelet op de gehalten aan waardegevend bestanddelen in de as, zoals het gehalte aan fosfor (P), kalium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), zwavel (S), etc. (paragraaf 3.1) en de te verwachten werking van deze nutriënten bij toepassing van de as als meststof (paragraaf 3.2). Ook wordt aandacht besteed aan de eventuele bekalkende/neutraliserende waarde van de assen, ofwel de waarde van de assen als kalkmeststof. Tenslotte wordt in paragraaf 3.3 de werking van fosfaat in assen vergeleken met de fosfaatwerking van struviet, dat direct uit afvalwater kan worden gewonnen.

#### 3.1 Beschikbare informatie over de samenstelling van assen

Informatie over de samenstelling van assen die resteren na de verbranding van biomassa, zuiverings-slib, diervoer en kippenmest is weergegeven in Tabel 3.1. Voor een belangrijk deel zijn de gegevens aangeleverd door ECN (Pels, 2010).

Tabel 3.1. Samenstelling van een aantal verschillende soorten biomassa-as die in Nederland beschikbaar komen (bron: Pels, 2010).

	Houtas wervelbed		houtas roosteroven		zuiverings slib-as (vlieg-as)	Kippen- mestas	diermeel	
	Bed- mat. (~50%)	Vlieg-as (~50%)	Bodem- as (~95%)	Vliegas (~5%)			Bed- mat.	vliegas
K <sub>2</sub> O, g/100 g	3,4	8,5	7,1	45,0	1,2	13,6	2,2	2,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , g/100 g	0,5	3,3	3,0	1,4	18,2	11,6	32,9	44,7
CaO, g/100 g	5,1	22,0	22,5	3,4	19,7	25,0	38,6	39,8
MgO, g/100 g	0,8	2,9	2,7	0,6	1,9	6,2	1,6	1,7
SO <sub>3</sub> , g/100 g	0,1	4,0	0,2	29,1	4,4	4,8	3,8	5,0
As, mg/kg	0,0	61,0	0,3	113,2	36,8	18,3	0,0	0,0
Cd, mg/kg	1,2	22,1	0,1	40,1	7,5	1,3	0,0	0,0
Cr, mg/kg	95,9	207,3	68,1	150,8	185,0	178,4	20,0	60,0
Cu, mg/kg	323,4	191,4	111,5	280,4	1155,7	737,7	59,0	78,0
Ni, mg/kg	37,1	78,8	20,0	8,6	117,4	101,3	8	36
Pb, mg/kg	13,3	468,6	38,6	1276,0	283,6	139,1	1	19
Zn, mg/kg	36	168	56	10820	2695	1375	505	494
Hg, mg/kg		0,3				0,27		

Uit Tabel 3.1 blijkt dat de samenstelling van de assen varieert, in afhankelijkheid van het uitgangsmateriaal (respectievelijk schoon hout, rioolslib, kippenmest en diermeel), het type installatie (bijvoorbeeld wervelbed en roosteroven; beide voor schoon hout) en het type as (bed-as, bodemas en vliegas).

Bij een wervelbed komen twee soorten as vrij: bed-as (die vooral uit zand bestaat) en vliegas, die bestaat uit de asvormende componenten uit de biomassa en wat gebroken zand. De omvang van beide stromen is ongeveer even groot, maar kan per installatie en grondstof verschillen.

Bij een roosteroven komen ook twee soorten as vrij: bodemas en vlieggas. De bodemas is de bulk van de assen (95%), bestaande uit de asvormende componenten en aanhangend zand uit de brandstof. De vlieggas (5%) bestaat uit vluchtige zouten en een beetje fijn stof.

De vlieggas van de roosteroven wijkt qua samenstelling af van de andere houtassen, omdat het K- en S-gehalte veel hoger is. In de andere houtassen is het Ca-gehalte het hoogst, en is daarna het K-gehalte steeds behoorlijk hoog. Daarnaast is steeds sprake van redelijke gehalten aan P en Mg en bij de vlieggas uit het wervelbed is er ook sprake van een vrij hoog S-gehalte.

De gegevens over de samenstelling van diermeel-as zijn afgeleid uit een test, waarin slachtafval is verbrand (Van der Meijden et al., 2003). Daarbij is onderscheid gemaakt naar vliegassen (die zijn onderverdeeld in ketelassen en cycloonassen) en bedmateriaal, dat in de vorm van bolletjes achterbleef op een zandbed. As van de verbranding van diermeel (productie onder andere door Maasvlakte Centrale) bevat veel P en Ca en in mindere mate K, Mg en S.

Door Pels (2010) is een schatting gegeven van de omvang van de totale productie van assen in installaties die uitsluitend biomassa verstopen in 2010 en er is een verwachting voor 2020 en 2040 gegeven (Tabel 3.2). Dit betreft assen die afkomstig zijn uit biomassacentrales (BEC) tussen 1 en 100 MWth, zoals de BEC Cuijk (verbranding schoon hout) en BMC Moerdijk (verbranding kippen-mest). De cijfers in Tabel 3.2 bevatten de assen van verbranding van schoon hout, mest en diermeel.

Tabel 3.2. Geschatte omvang van de productie van assen door BEC's in Nederland (in kton per jaar) (Bron: Pels, 2010).

	2010	2020	2040
Vliegassen	47	105	104
Bodemassen	12	28	27
Totaal	59	132	131

As van kippenmest-verbranding komt in Nederland vrij bij BMC Moerdijk, die jaarlijks ca. 440.000 ton kippenmest verbranden. Uitgaande van een as-gehalte in de kippenmest van 16%, betekent dat circa 70.000 ton as. Dit is meer dan de hoeveelheid die in tabel 3.2 is vermeld bij 2010. Een verklaring hiervoor kan voor een deel worden gevonden in verschillen in de aannames ten aanzien van het asgehalte van de mest. De as bevat vooral P (11-12%  $P_2O_5$ ), K (13-14%  $K_2O$ ) en Ca. Daarnaast is in mindere mate Mg en S aanwezig in de as. Dit betekent dat ca. 7.500-8.000 ton  $P_2O_5$ , ofwel 3.275-3.500 ton P, terecht komt in de as van verbranding van kippenmest. Dit komt globaal overeen met de omvang van de hoeveelheid verwerkte pluimveemest in Figuur 2.4 (vorige hoofdstuk).

Zuiverings-slib wordt in Nederland onder andere verbrand door HVC (samenwerkingsverband van de waterschappen Delfland, Rijnland, Schieland, Hollandse Delta en Rivierenland) en SNB (Slibverwerking Noord Brabant; verwerkt slib van de waterschappen Aa en Maas, Brabantse Delta, De Dommel, Rivierenland, Regge en Dinkel en Scheldestromen) en op contractbasis voor Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden en Waterschap Vallei en Eem. Daarnaast wordt het eindproduct van slibverwerking van GMB meegestookt in electriciteitscentrales en de cementindustrie. De hoeveelheid zuiverings-slib-as die jaarlijks door HVC en SNB wordt geproduceerd bedraagt 62.000 ton (Vergouwen, 2010). Uitgaande van een P-gehalte van 18%  $P_2O_5$ , bedraagt de jaarlijkse productie 11.160 ton  $P_2O_5$ , ofwel ca. 5.000 ton P. Naast Ca en P bevat de as in mindere mate K, Mg en S (Tabel 3.1).

Samengevat zijn de belangrijkste waardegevende bestanddelen per type as als volgt:

- Houtas: vooral K en Ca; in mindere mate P, Mg en S;
- Zuiveringslib en diermeel: vooral P en Ca; in mindere mate K, Mg en S; en
- Kippenmest: vooral P en K; in mindere mate Mg.

Verder zal in al deze assen sprake zijn van een kalkwerking, ofwel zuurneutraliserende waarde.

### **3.2 Beschikbaarheid van nutriënten in assen voor planten**

#### 3.2.1 Algemeen

Naast de verhouding tussen de waardegevende bestanddelen, is de beschikbaarheid van nutriënten in de as van groot belang voor de uiteindelijke, mogelijke waarde als meststof. Ook de aanwezigheid van eventuele verontreinigingen is van belang voor de eventuele mogelijkheden voor het product als meststof of als grondstof voor meststoffen.

De beschikbaarheid van nutriënten in (potentiële) meststoffen kan worden gekarakteriseerd door het geven van de oplosbaarheid van de verbindingen. Als bekend is in welke vorm/verbinding de nutriënten aanwezig zijn, kan daarover vaak al een eerste uitspraak worden gedaan. Zo is bekend dat in verbrandingsassen van riooslib naast P veel Ca, Fe en/Al aanwezig is (onder andere Adam et al., 2008). Belangrijke bestanddelen in riooslibas zijn  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , aluminiumfosfaten en soms ijzerfosfaten (Adam, 2009). Ook kan de oplosbaarheid van de nutriënten experimenteel worden bepaald, bijvoorbeeld in extracties en/of uitloog-experimenten. De beschikbaarheid van nutriënten in de bodem voor planten hangt echter van meerdere zaken af, aangezien het betreffende nutriënt allerlei reacties aan kan gaan met verbindingen die reeds in de bodem aanwezig zijn. Zo is de grondsoort van belang, aangezien de oplosbaarheid van een bepaalde verbinding afhankelijk kan zijn van de pH. Bij de toediening van goed oplosbare fosfaatmeststoffen aan landbouwgrond worden de goed oplosbare fosfaatverbindingen in de bodem vrij snel omgezet in slecht oplosbare verbindingen (bijvoorbeeld Ghosh et al., 1996), waardoor het aandeel van de toegediende fosfaat dat door planten wordt opgenomen in het algemeen laag is (vaak niet hoger dan ca. 10%). Ook kunnen planten verschillen in het vermogen nutriënten in de grond beschikbaar te maken, bijvoorbeeld door het uitscheiden van zuren door de wortels.

De oplosbaarheid van fosfaatmeststoffen wordt in het algemeen gekarakteriseerd door het gebruik van oplosmiddelen met een verschillende sterkte. Gerangschikt van sterke naar zwakke oplosmiddelen zijn dat (zie verder in 3.2.3):

- Mineraalzuur;
- 2% citroenzuur;
- neutraal ammoniumcitraat-oplossing;
- alkalisch ammoniumcitraat; en
- water.

Daarnaast worden in het algemeen pot- en/of veldproeven uitgevoerd, waarin de nutriënten-beschikbaarheid voor planten proefondervindelijk wordt vastgesteld door het effect van de nutriëntengift op de opbrengst of de nutriëntenopname door het gewas vast te stellen. Zoals hiervoor reeds is aangegeven spelen voor P naast de oplosbaarheid van de P-verbinding allerlei omzettingen van P-verbindingen in de bodem een belangrijke rol voor de uiteindelijke beschikbaarheid voor het gewas.

### 3.2.2 Nutriëntenbeschikbaarheid in en bekalkende waarde van hout-assen

Voor in Scandinavië, maar ook in de Verenigde Staten, is vrij veel onderzoek gedaan naar de bemestende waarde van houtassen (onder andere Arvidsson, 2001; Nilson, 2001; Ring et al., 1999). Daarbij is enerzijds aandacht besteed aan de gehalten aan nutriënten in de assen en anderzijds aan de beschikbaarheid ervan. Vrijwel steeds werd in de studies geconcludeerd dat de kalium (K) en natrium (Na) in de assen aanwezig is als zouten, die gemakkelijk oplosbaar zijn en dus goed beschikbaar zijn voor gewassen. Daarnaast is veelvuldig vastgesteld dat het oplossen van de as in water leidt tot hoge pH's van ca. 11-13 en dat er sprake is van een bekalkende waarde van de as.

Zoals blijkt uit Tabel 3.1 is calcium (Ca) in het algemeen het dominante element in houtas, maar wordt door verschillende auteurs aangegeven dat de beschikbaarheid van Ca nogal slecht is door een relatief lage oplosbaarheid (Arvidsson, 2001; Ring et al., 1999). Ditzelfde geldt onder andere voor magnesium (Mg), fosfor (P), zwavel (S), ijzer (Fe) en aluminium (Al).

De slechte P-beschikbaarheid in houtas werd bevestigd door een onderzoek dat werd gepresenteerd door Kern (2009). Daaruit bleek dat het P-rendement (=het aandeel van de met meststoffen toegediende hoeveelheid P dat door het gewas wordt opgenomen) van houtas in een potproef met een kunstmatige grond (kwartzand met perliet) en 3 gewassen (tarwe, boekweit en maïs) laag (bij tarwe 5,7%) of matig (bij boekweit 24%) was, terwijl het P-rendement van struviet bij tarwe, boekweit en maïs zeer hoog (67-86%) was.

Meyers en Kopecky (1998) vonden positieve effecten van houtas op de beschikbaarheid van K, Ca, Mg en P voor gewassen. In praktijkexperimenten met luzerne en gerst stelden zij vast dat gewasopbrengsten toenamen met doseringen van de houtas tot 45 ton per hectare. De toename in gewasopbrengst was hoger dan in de referenties van de gebruikte kalk- en kunstmeststoffen (met doseringen op basis van gangbare bemestingsadviezen). Hiervoor was geen verklaring. Bij hogere doseringen dan 45 ton per hectare nam de gewasopbrengst af, wat vermoedelijk werd veroorzaakt door (te) hoge zoutgehalten en/of negatieve effecten van de hoge pH van de bodem (8,2 en hoger bij dergelijke doseringen) op de nutriëntenbeschikbaarheid. Bij de doseringen tot meer dan 45 ton per hectare werd geen verhoging van het gehalte aan zware metalen in het gewas vastgesteld.

Dit laatste werd bevestigd door Huang et al. (2002), die in veldproeven met zomer- en wintertarwe doseringen van 0-36 ton houtas per hectare toepasten. Het gevolg van de toediening met houtas was een verhoging van de bodem-pH en P-beschikbaarheid, terwijl de gehalten aan zware metalen (Cd, Pb en Zn) in het gewas niet werden verhoogd. Het was niet duidelijk of de verhoogde P-beschikbaarheid het directe gevolg was van de P-aanvoer met de houtas, of het indirecte gevolg dat werd veroorzaakt door de pH-verhoging. In de studie werd de verhoogde P-beschikbaarheid toegeschreven aan een gecombineerd effect.

Ook Demeyer et al. (2001) meldden positieve effecten van houtas op de plantengroei in zure gronden, die met name het gevolg zouden zijn van de toegenomen beschikbaarheid van fosfaat (P), Ca, Mg, K en B en een afgenomen aluminium- (Al-) en mangaan- (Mn-)toxiciteit. Dit laatste is het indirecte gevolg van de pH-verhoging. De onderzochte gewassen waarin positieve effecten op de groei en opbrengst zijn vastgesteld zijn gerst, wintertarwe, zwenkgras, bonen, maïs, populier en soja.

Rechcigl (1995) stelde vast dat de totale zuur neutraliserende waarde van houtas varieerde van 35-116 procent van die van gangbare kalkmeststoffen. Ook Campbell (1990) gaf aan dat houtas een waardevolle kalkmeststof is die ingezet kan worden in plaats van reguliere kalkmeststoffen en die bovendien extra micro- en macro-elementen levert aan het gewas.

De bekalkende waarde van een kalkmeststof wordt in Nederland aangeduid met het begrip 'neutraliserende waarde' (nw), terwijl in het buitenland vaak gebruik wordt gemaakt van het begrip 'calcium carbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) equivalenten'. Moolenaar en De Haas (2004) hebben in het verleden een schatting gemaakt van de neutraliserende waarde van houtas. Ze kwamen daarbij voor houtassen uit op een neutraliserende waarde en/of calcium carbonaat equivalent die ca. 50% bedroeg van die van gangbare kalkmeststoffen, zoals Dolokal en Emkal. Dit komt bij benadering overeen met experimentele bepalingen door Lickacz (2002), die  $\text{CaCO}_3$ -equivalenten voor houtas van 55 tot 65 vond.

Naast de nw is ook de fijnheid van het materiaal van belang. De fijnheid draagt bij aan de reactiviteit van de kalkmeststof. Lickacz (2002) merkt op dat in goed gecontroleerde verbrandingssystemen houtas een grote fijnheid heeft en daardoor in de grond zeer reactief is en goede bekalkende eigenschappen bezit.

Concluderend:

De landbouwkundige waarde van houtas wordt vooral bepaald door de bekalkende waarde en de in de as aanwezige K. De bekalkende waarde zal naar verwachting ongeveer 50% van die van gangbare kalkmeststoffen bedragen en de in de as aanwezige K is goed beschikbaar voor gewassen. Andere nutriënten in de as zijn in het algemeen minder goed beschikbaar. Dit geldt in het bijzonder voor P.

### 3.2.3 Fosfaatbeschikbaarheid in assen van zuiveringsslib, diermeel en kippenmest

Assen van zuiveringsslib, diermeel en kippenmest bevatten naast Ca een aanzienlijke hoeveelheid P. In kippenmest liggen de gehalten aan P en K in dezelfde orde van grootte. Daarom is de mate waarin de P in die assen beschikbaar is voor planten van groot belang. Dit is veelvuldig onderzocht.

Door Kratz & Schnug (2009) is gekeken naar de oplosbaarheid van een aantal P-houdende producten die zijn verkregen door recycling. Het betrof onder andere as van diermeel en van zuiveringsslib, thermochemisch behandelde as van zuiveringsslib (AshDec-as), struviet en een aantal gangbare P-meststoffen. Hieruit blijkt dat de P-oplosbaarheid van verbrandingsas relatief slecht is, tenzij het een thermochemische behandeling heeft ondergaan (Tabel 3.3).

Tabel 3.3. Oplosbaarheid van fosfaat (in %) en totaalgehalten (g  $\text{P}_2\text{O}_5$  per 100 g product) in monocalciumfosfaat (MCP), superfosfaat, diammoniumfosfaat (DAP), ammoniumstruviet, diermeel-as en thermochemisch behandelde zuiveringsslibas (AshDec-as). De hoeveelheid P bepaald met mineraalzuur is op 100% gesteld. Bron: Kratz & Schnug (2009).

Oplosmiddel	Meststof						
	MCP	Super-fosfaat	DAP	Ammonium-struviet	Diermeel-as	Zuiverings-slib-as	AshDec-As
Water	96	76	87	0,73	0,01	0,13	73
Alkalisch ammoniumcitraat	95	83	107	6	7	4,8	70
Neutraal ammoniumcitraat	97	84	102	92	15	21	92
2% citroenzuur	98	88	101	100	50	65	103
Mineraalzuur	100	100	100	100	100	100	100
Totaal P-gehalte	57	21	46	28	26	21	7

Daarnaast zijn meerdere studies verricht naar de P-werking van assen in groeiproeven met een gewas (Tabel 3.4). Kratz & Schnug (2009) hebben de fosfaatwerking (=P-opname in relatie tot die bij een referentiemeststof) van een groot aantal uiteenlopende producten vergeleken in een kortdurende potproef met kwartszand en rogge. Er zijn 3 sneden geoogst gedurende een periode van 1,5 maand (43 dagen). Een aantal zuiveringsslib-assen en diermeel-assen en struviet zijn vergeleken met de P-werking van minerale en organische meststoffen. De P-giften bedroegen 20, 40 en 60 mg P per pot. Er is getracht een relatie af te leiden tussen de oplosbaarheid van de P-verbindingen en de P-beschikbaarheid voor het gewas. De P-opname bleef met de gerecyclede meststoffen achter bij de referentiemeststoffen. De verschillen in opbrengst tussen de objecten waren beperkt. Geconcludeerd werd dat extracties met water en neutraal ammonium citraat een goede voorspelling geven van de P-beschikbaarheid op de korte termijn en dat die bij assen lager is dan bij struviet en bij referentiemeststoffen, en dat de beschikbaarheid in assen kan worden verhoogd door een thermochemische behandeling.

Pérez et al. (2009) hebben de P-werking van 7 producten die vrijkomen bij recycling onderzocht in veldproeven en potproeven. Het betrof 2 struvieten, zuiveringsslib-as en diermeel-as. Er zijn 3-4 grondsoorten meegenomen in de proeven met een verschillende pH (5,5 – 6,5). De geteelde gewassen waren koolzaad, wintergerst en maïs. Als referentiemeststoffen waren tripelsuperfosfaat (tsp) en ruwfosfaat opgenomen in de proef. De P-gift bedroeg 60 kg P per ha. In de potproef was sprake van een groot verschil in de P-werking van gewone as van diermeel (die was laag, namelijk circa 15%; ofwel P-opname uit as bedroeg 15% van die uit een referentiemeststof) en die van de 'sinter' die vrijkwam bij de verhitting van diermeel tot boven de 1000 °C (P-werking was 50-75%). De P-werking van de as van zuiveringsslib liep uiteen van ca 12 tot 57% en die van de struviet van 54 tot 138%. Geconcludeerd werd dan ook dat de P-beschikbaarheid in struviet hoger was dan in as en dat de laatste kon worden verhoogd door een hittebehandeling tot boven de 1000 °C.

Faridullah et al. (2009) hebben gekeken naar de P-beschikbaarheid in as van kippenmest en eendenmest in Japan. De assen zijn gevormd bij verschillende temperaturen (0, 200, 400, 600, 800 en 900 °C) . De effecten op de groei en opbrengst van koolraap (Japanse mosterd spinazie) werden gedurende een periode van 3 weken gevolgd. De P-gift met de assen kwam overeen met 100 kg P per ha. N en K werden eveneens toegediend op een niveau van 100 kg per ha. Er was een duidelijk effect van de verbrandingstemperatuur op de samenstelling van de assen, die voor een deel werd veroorzaakt door een toenemend verlies aan organische stof met hogere temperaturen. Het hoogste P-gehalte werd aangetroffen in de as die was gevormd bij een temperatuur van 600 °C. De hoogste opbrengst werd verkregen bij de as die is gevormd bij 400 °C.

Codling et al. (2002) hebben de P-beschikbaarheid in kippenmest-as bestudeerd in een potproef met tarwe. Er zijn twee gronden met uiteenlopende pH (ca. 4,2-4,5 en 6,5) onderzocht. De P-giften waren gelijk aan 0, 39 en 78 kg P per ha en naast de as was er een referentiemeststof (kaliumfosfaat) aanwezig. De opbrengst reageerde vooral op pH en minder sterk op de P-gift. Toch was er vooral bij de bekalkte grond (met hoge pH) een duidelijk effect van de P-gift op de opbrengst. De effectiviteit van de P in de as was vrijwel gelijk aan die in de kaliumfosfaat.

Ehlert (1990) heeft de P-werking van as die is ontstaan bij de verbranding van ontwaterde varkensmest in Nederland onderzocht in een potproef met sperziebonen, die zijn geteeld op een zand- (pH-KCl 5,4) en een zavelgrond (pH-KCl 7,4). De P-werkingscoëfficiënt is op verschillende manieren bepaald, namelijk op basis van het drogestofgewicht van het gewas, op basis van de totale P-opname en op basis



van het Pw-getal (=extractie van grond met water). De aanwezige referentiemeststoffen waren tripelsuperfosfaat (tsp) en thomasslakkenmeel. Vastgesteld werd dat de effecten van P-toediening op de zandgrond veel groter waren dan op de zavelgrond. Daarbij bleven de opbrengst en P-opname op zandgrond bij de lagere P-giften met de as achter bij die met de referentiemeststoffen. Bij de hogere P-giften was dit verschil niet meer aanwezig. Wel bleef de Pw bij de hoge giften na toediening van de as sterk achter bij die na toediening van de referentiemeststoffen. Op de zavelgrond waren de opbrengst en de P-opname bij de as bij alle giften lager dan bij de tsp.

Tabel 3.4. Samenvatting van resultaten van de fosfaatwerking van verbrandingsas op basis van pot- en veldproeven die in de literatuur zijn beschreven.

Auteur(s)	Land, Pot-/veldproef, gewas	Grondsoort, P-toestand, pH	Meststoffen, P-giften	Effecten op opbrengst, P-opname en P-werking
Kratz & Schnug, 2009	Duitsland, potproef, rogge, 43 dagen	Kwartzand	Zuiveringsslibassen, diermeelassen, struviet, TSP, etc. 0, 20, 40 en 60 mg P/pot.	Effect P-meststof op opbrengst beperkt, op P-opname groter. P-beschikbaarheid in assen lager dan struviet en TSP.
Pérez et al., 2009	Duitsland, pot- en veldproef, koolzaad, wintergerst en maïs	3-4 grondsoorten met pH 5,5 – 6,5.	Zuiveringsslibas, diermeelas, struviet, TSP en ruwfosfaat. In veldproef 60 kg P/ha; in potproef 0, 60 en 200 mg P/kg.	In veldproef geen P-reactie; in potproef lage P-werking van as van diermeel en rioolslib (0-57%); verhoogd door hittebehandeling (49-77%). Struviet: 54-138%.
Faridullah et al., 2009	Japan, potproef, koolraap, 21 dagen	Duinzand, pH 5,9, zeer lage P-toestand	As van verbranding van kippenmest en eendenmest bij temperaturen van 200, 400, 600, 800 en 900 °C; 100 kg P/ha.	Verbrandingstemperatuur had groot effect op samenstelling en werking as. Hoogste P-gehalte in as bij 600 °C, hoogste opbrengst bij 400 °C.
Codling et al., 2002	VS, potproef, tarwe	Zandig leem en leem, pH 4,5 en 6,5, zeer lage P-beschikbaarheid	Kippenmestas en referentiemeststof kaliumfosfaat; 0, 39 en 78 kg P/ha.	Groot effect pH op opbrengst; bij hoge pH duidelijk effect van P-gift; effect as op opbrengst vrijwel gelijk aan kaliumfosfaat
Ehlert, 1990	Nederland, potproef, sperziebonen	Zand- en zavelgrond, pH-KCl 5,4 (zand) -7,4 (zavel); Pw 4-5.	Verbrandingsas van ontwaterde varkensmest, TSP en thomasslakkenmeel; 0, 20, 40, 80, 160, 320 mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg	De P-werking van as op kalkrijke zavelgrond is laag en op zwak zure zandgrond ca. 60% van TSP. De gehalten aan Cu en Zn in de as zijn (te) hoog.
Rex, 2009	Duitsland, potproef, maïs en koolzaad.	Niet gespecificeerd	As van verbranding van diermeel, dicalciumfosfaat (DCP) en thomaskali en as na thermische behandeling (slakken, 1600 °C), 0-110 mg P/kg.	Diermeelas verhoogt Pw in grond vrijwel niet; effect op opbrengst en P-opname is beperkt en veel lager dan van DCP en thomaskali. Thermische behandeling van de assen verhoogt P-werking sterk
Nanzer & Kuderna, 2009	Duitsland, potproef, tarwe	Verschillende gronden met laag P-gehalte en verschillen in pH	Thermochemisch behandelde rioolslibas +/- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> of H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Alleen as heeft zeer lage P-werking; behandeling van as met zuur verhoogt de P-werking

In een aantal studies is nagegaan wat het effect van een aantal behandelingen op de P-werking van assen is. Zo heeft Rex (2009) laten zien dat de fosfaatwerking van diermeel-assen zeer laag was en dat het nauwelijks leidde tot een verhoging van de P-toestand in de bodem, bepaald met een waterextractie. In een potproef met maïs en koolzaad bleek dat een P-gift van 37,5, 75 en 112,5 mg P/kg met diermeel-as nauwelijks tot een verhoging van de opbrengst en P-opname leidde. Daarmee bleef de P-werking sterk achter bij die van dicalciumfosfaat en thomaskali. Dit was vooral het geval bij hogere pH, omdat de werking van diermeel-as wordt geremd door kalk. Versmelting van diermeel-as met slakken bij 1600 °C, verhoogde het aandeel oplosbaar fosfaat en de fosfaatwerking aanzienlijk.

Nanzer & Kuderna (2009) hebben gekeken naar het effect van een thermische behandeling en toevoeging van H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> op de beschikbaarheid van P en de aanwezigheid van zware metalen in zuiverings-slib-as. De P-beschikbaarheid is bepaald door extracties met water, citroenzuur en een Petermann's oplossing, en met een potproef (testgewas is tarwe; grond met hoge en lage pH). Alleen as heeft een zeer lage P-werking, maar een toediening van zuur aan de as verhoogde die werking, zowel op de grond met de hoge als met de lage pH.

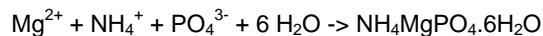
Concluderend:

- Uit potproeven met gewassen bleek dat de P-beschikbaarheid in assen van verbranding van diermeel, kippenmest en zuiverings-slib in het algemeen laag was. Dit kan worden verklaard door de relatief slechte oplosbaarheid van de P-verbindingen, zoals naar voren kwam in experimenten waarbij is gewerkt met oplossingen met een verschillende zuursterkte.
- De P-beschikbaarheid in assen kan worden verhoogd door verschillende technieken, zoals ontsluiting met zuur, verhitting en/of door een thermochemische behandeling.

### **3.3 Fosfaatwerking van assen in vergelijking met struviet**

#### 3.3.1 Struvietwinning uit afvalwater

Een alternatieve manier om fosfaat uit afvalwater te recirculeren is door de opgeloste P te laten neerslaan met N en Mg in de vorm van struviet (Schuiling & Andrade, 1999).



Er is de laatste tijd nogal wat belangstelling voor de winning van struviet uit afvalwater uit industriële stromen, zoals bijvoorbeeld de aardappelverwerkende industrie (Anonymus, 2009) of bij rioolwaterzuiveringsinstallaties (Veltman et al., 2010). Struviet kent meerdere verschijningsvormen, waarbij ammoniumstruviet (NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O) het meest voorkomt. Een andere verschijningsvorm van struviet is kaliumstruviet (MgKPO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O). Van Wilsenach (2006) heeft onderzoek gedaan naar de vorming van struviet. Hij geeft aan dat het struvietproces zodanig te sturen is dat of vooral ammoniumstruviet of vooral kaliumstruviet wordt geproduceerd. De technische resultaten (het afscheidingsresultaat) kan zowel voor ammonium- als kaliumstruviet zeer hoog zijn (>95%). Wel lijkt kaliumstruviet minder goed te kristalliseren. Afhankelijk van de procesinrichting/kosten en de marktkansen voor het eindproduct zal de keus gemaakt moeten worden tussen ammonium- of kaliumstruviet. Op dit moment is er in Nederland één installatie op praktijkschaal operationeel waar sinds 1998 kalium-struviet geproduceerd wordt en dat is de kalvergiërbewerkingsinstallaties (KGBI) te Putten. Er is bewust voor kaliumstruviet gekozen omdat de afnemer Thermphos dit beter kon verwerken dan ammoniumstruviet. Op dit moment lopen er in Nederland diverse initiatieven om ammoniumstruviet te

produceren. Een aantal pilotinstallaties zijn reeds operationeel, zoals bij de zuivering van industrieel afvalwater uit de aardappelverwerkende industrie (Lamb Weston Meijer, Aviko) en bij de verwerking van gescheiden ingezamelde urine (SaniPhos in Zutphen; een initiatief van GMB-slibverwerking en Waterschap Rivierenland). Recent is een proef uitgevoerd op semi-praktijkschaal in de rioolwaterzuivering Amsterdam-West, waar de gecontroleerde kristallisatie van struviet uit slib succesvol is toegepast en waarmee de kosten van slibverwerking kunnen worden verlaagd (Veltman et al., 2010). In het algemeen zijn P-gehalten in afvalwater te laag voor een rendabele winning van struviet (pers. mededeling H. Temmink, 2010), maar door recente ontwikkelingen lijkt hier sprake te zijn van verschuivingen.

De afzet van het geproduceerde struviet als meststof in de landbouw is vaak een bottleneck, aangezien het geen toelating heeft als meststof (Anonymus, 2009). Aangezien struviet in de meeste gevallen de status heeft van afvalstof, is het gebruik als meststof niet toegestaan, tenzij er een toelating is verleend (zie volgende hoofdstuk). In het najaar van 2010 is er in Nederland voor een struviet-product dat is geproduceerd in de aardappelverwerkende industrie door Lamb Weston Meijer een toelating verleend, maar dit geldt niet voor struviet afkomstig van andere producenten en/of andere productieprocessen. In Duitsland is het recent toegestaan struviet als (minerale) meststof in de landbouw in te zetten (Kern, 2009).

### 3.3.2 Landbouwkundige waarde struviet

Er is ook nogal wat aandacht besteed aan de landbouwkundige waarde van struviet. Ook bij struviet gaat het daarbij om de in de meststof aanwezige nutriënten, de gehalten van die nutriënten, de onderlinge verhouding tussen de gehalten aan nutriënten en de beschikbaarheid van de aanwezige nutriënten. In het geval van ammoniumstruviet ( $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) gaat het om de nutriënten P, N en Mg en in het geval van kaliumstruviet ( $\text{MgKPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) om P, K en Mg. De gehalten van nutriënten in meststoffen worden uitgedrukt in oxidevorm, namelijk  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  en  $\text{MgO}$ .

Als we op basis van de chemische formules de gehalten berekenen komen we voor ammoniumstruviet uit op 5,7%N, 28,9%  $\text{P}_2\text{O}_5$  en 16,0%  $\text{MgO}$ . Voor kaliumstruviet berekenen we gehalten van 26,6%  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 17,7%  $\text{K}_2\text{O}$  en 15,1%  $\text{MgO}$ . Hierbij zijn de berekeningen uitgevoerd op productbasis, waarbij er vanuit is gegaan dat nog kristalwater in het product aanwezig is, maar dat er geen organisch materiaal aanwezig is. De berekende gehalten in ammoniumstruviet komen goed overeen met het product Crystal Green dat op de markt wordt gebracht door het bedrijf Ostara. Ten aanzien van dit product wordt gegarandeerd dat de minimale gehalten gelijk zijn aan 5% N, 28%  $\text{P}_2\text{O}_5$  en 16%  $\text{MgO}$ . Dit product bevat vrijwel geen organische stof. In afhankelijkheid van de aanwezige hoeveelheid nevenbestanddelen (vooral organische stof) en (kristal)water kunnen de gehalten aan nutriënten afwijken van de hiervoor gegeven samenstelling. In veel minder hoogwaardige struvietproducten zal een aanzienlijke hoeveelheid organische stof (20-50% aanwezig zijn), wat leidt tot (veel) lagere gehalten aan nutriënten. Dit is een nadeel bij het gebruik van struviet als grondstof voor de productie van meststoffen (zie Hoofdstuk 5).

Als eerste kan een indruk worden verkregen van de verwachte fosfaatwerking van struviet door het karakteriseren van de oplosbaarheid van het fosfaat, zoals is beschreven in paragraaf 3.2.1 en 3.2.2 en Tabel 3.2. Hieruit blijkt dat de oplosbaarheid van struviet in alkalisch ammoniumcitraat en water laag is, maar in neutraal ammoniumcitraat hoog. Daarmee is de oplosbaarheid slechter dan die van de referentiemeststoffen, maar beter dan van assen.

In het verre verleden (1950-1980) heeft NMI onderzoek uitgevoerd met chemisch zuiver struviet. Daarin werd de werking van het fosfaat in struviet vergeleken met die van fosfaat uit superfosfaat (waarin fosfaat voorkomt als monocalciumfosfaat; dit vormt ook het hoofdbestanddeel van tripelsuperfosfaat). De werking van het magnesium werd vergeleken met die van magnesium uit kieseriet ( $MgSO_4$ ), een in de praktijk veel gebruikte, snelwerkende magnesiummeststof. De conclusie van het onderzoek was dat fosfaat en magnesium uit poedervormig struviet even gemakkelijk werd opgenomen als uit superfosfaat en kieseriet. Wanneer het struviet in gekorrelde vorm werd toegediend, dan was de werking trager, maar op wat langere termijn wel gelijk aan die van de kunstmeststoffen.

In 1990 heeft NMI de fosfaatwerking van struviet in een incubatieproef vergeleken met die van verwerkte varkensmest en van kunstmest (tripelsuperfosfaat met als fosfaatvorm: monocalciumfosfaat) door bepaling van het effect op de P-toestand van de bodem, die werd bepaald via het Pw-getal. Het Pw-getal van de grond, dat is de gemeten hoeveelheid wateroplosbaar fosfaat, is een maat voor de beschikbare hoeveelheid fosfaat in de bodem. Daaruit bleek dat de fosfaatwerking van de verwerkte mest slechter was dan die van de kunstmest, terwijl de P-werking van struviet vergelijkbaar was aan die van de kunstmest.

Uit een potproef, die aan de voormalige Landbouw Universiteit is uitgevoerd (Hofstad, 1997), is gebleken dat de P in ammoniumstruviet ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ) minstens even goed werkt als de P in de referentiemeststof tripelsuperfosfaat (TSP). In het onderzoek van Hofstad is de P-werking van struviet bepaald in een potproef met gras en snijbiet.

In een recent literatuuroverzicht (Gell, 2010) is geconcludeerd dat de P-werking van struviet vergelijkbaar is met goed oplosbare P-meststoffen, zoals TSP. De studie is gebaseerd op een aantal potproeven (Johnston and Richards, 2004; INRES, 2006; Römer, 2006; Gonzalez-Ponce et al., 2007 en 2009; Massey et al., 2009) en een zeer beperkt aantal veldexperimenten (Cabara-Perez, 2009; De Ruijter et al., 2009), waarin de P-werking van struviet is onderzocht. Vrijwel alle proeven zijn uitgevoerd in het buitenland, en er is slechts één proef beschreven die in Nederland is uitgevoerd (De Ruijter et al., 2009). Het betrof een veldproef met snijmaïs op een zandgrond met een (vrij) lage P-toestand (Pw 19 en P-AL 24). Ondanks de lage P-toestand van de grond, werd geen significant effect van P-bemesting op de opbrengst en P-opname vastgesteld. Daardoor werd niet voldaan aan de randvoorwaarden om de P-werking van struviet vast te kunnen stellen. Wel werd een positief effect vastgesteld van P-bemesting op de gewasstand in de beginfase van de groei. Daaruit bleek dat het effect van struviet vergelijkbaar was aan dat van TSP. Een samenvatting van een aantal studies is weergegeven in Tabel 3.5.

Er is in de literatuur weinig aandacht besteed aan de werking van de nutriënten die naast fosfaat aanwezig zijn in struviet. Hierbij gaat het meestal om stikstof (N) en magnesium (Mg), maar zoals eerder aangegeven kan het ook gaan om kalium (K). Scherer and Werner (2002) hebben de N- en Mg-werking van struviet experimenteel onderzocht in een potproef met Italiaans raaigras in Nordrhein Westfalen in Duitsland, waarbij gebruik is gemaakt van een grond met pH 5,5. In de N-proef is gebruik gemaakt van de referentiemeststof ammoniumnitraat met gips ( $NH_4NO_3 + CaSO_4$ ) en in de Mg-proef is gebruik gemaakt van de referentiemeststof magnesiumsulfaat ( $MgSO_4$ ). Zowel de N- als de Mg-werking van struviet was hoger dan 100%. De P-werking is bij pH 5,5 en bij pH 6,5 bepaald en was in beide gevallen gelijk aan 100%. Geconcludeerd werd dan ook dat P-, N- en Mg-werking van struviet goed is.

Tabel 3.5. Samenvatting van resultaten van de fosfaatwerking van struviet op basis van pot- en veldproeven die in de literatuur zijn beschreven.

Auteur(s)	Land, Pot-/veldproef, gewas	Grondsoort, P-toestand, pH	Meststoffen, P-giften	Effecten op opbrengst, P-opname en P-werking
Johnston and Richards, 2004	Engeland, potproef (100 dagen), Engels raaigras	zavel en lichte klei, P olsen 11-28 mg/l en pH 6,6-7,1	8 struvieten (fijn) + andere producten en monocalcium-fosfaat, 87 mg P/pot	P-bemesting leidde tot verdubbeling opbrengst en P-opname; P-werking struviet ~ 100%.
INRES, 2006	Duitsland, potproef (170 dagen), Gras en klaver	Mengsel grond en kwartszand, P-CAL1,5 (zeer laag); pH~6	3 struvieten + andere producten en superfosfaat	Grote effecten P-bemesting op opbrengst en P-opname; P-werking > 100%
Römer, 2006	Duitsland, potproef (21 dagen), rogge	Mengsel van grond en kwartszand	2 struvieten + andere producten + superfosfaat + TSP	Grote effecten op P-opname; P-werking > 100%
Gonzalez-Ponce et al., 2007/2009	Spanje, potproeven; gras (2007) en sla (2009)	P-arme zavelgrond	Struviet + superfosfaat; 0-40 mg P/kg	P-werking ~ 100%
Massey et al., 2009	VS, laboratorium- en potproef (90 dagen), tarwe	Oplosbaarheid bij pH 5,9, 7 en 8 en grond met pH 6,5 en 7,6; P-Mehlich-3P 31 mg P/kg.	Struviet, rotsfosfaat en TSP; 45 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	Oplosbaarheid struviet lager dan TSP; geen effect van P op opbrengst bij lage pH, wel bij hoge pH; P-werking ~ 70-80%
Goto, 1998	Japan, potproeven, Komatsuna (groente)	P-arme zandgrond, pH 5,8 (bekalkt)	Verschillende doseringen en korrelgroottes, struviet en superfosfaat	P-werking > 100% (bij korrelgrootte < 0,5 mm), P-werking ~ 100% (1-1,4 mm); P-werking < 100% (1,7-2,4 mm)
De Ruijter et al., 2009	Nederland, veldproef, maïs	Zandgrond, Pw 19, pH-KCl 4,4	2 struvieten, 30 en 200 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	Nauwelijks effect P-gift op opbrengst en P-opname; P-werking kon niet worden vastgesteld.

### 3.3.3 Fosfaatwerking van assen in vergelijking met struviet

Er zijn niet zo veel studies bekend waarin de fosfaatwerking van assen en struviet beide zijn bepaald. In de studies waarin dat wel is gedaan, kwam vrijwel altijd naar voren dat de P-werking van struviet hoger is dan van assen (Pérez et al., 2009; Kratz & Schug, 2008; Kern, 2009). Zo is hiervoor reeds aangegeven dat de P-werking in een potproef met maïs fluctueerde van 12 tot 57% voor verbrandingsassen van diermeel en zuiveringsslib en van 54 tot 138% bij struviet (Pérez et al., 2009). In een andere potproef met tarwe en boekweit geteeld op kwartszand was het P-rendement van struviet zeer hoog (67%), terwijl dat van houtas vrij laag was (5,7-24%). Dit komt overeen met de verwachting op basis van de chemische verbindingen van P in assen enerzijds (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, aluminiumfosfaten en soms ijzerfosfaten; Ylinen, 2009; Adam, 2009) en struviet anderzijds (Mg- en NH<sub>4</sub>- of K-fosfaten) en met de oplosbaarheid van P in assen en struviet in verschillende oplosmiddelen (P uit as beperkt en uit struviet vrijwel volledig oplosbaar in neutraal ammonium citraat (respectievelijk 15 en 92%; Kratz & Schnug, 2009)).

Concluderend:

- De oplosbaarheid van P in assen is slecht en lager dan die van struviet. De oplosbaarheid van struviet is slechter dan van gangbare fosfaatmeststoffen, zoals superfosfaat en TSP.

- De beschikbaarheid van P in as voor gewassen is in het algemeen slechter dan van struviet. Dit is gebleken in potproeven met een gewas, waarbij variaties in omstandigheden, zoals pH, deeltjesgrootte, etc. de bevindingen beïnvloeden.
- Voor een directe toepassing als P-meststof heeft struviet betere landbouwkundige eigenschappen dan as. Voor as zijn er echter betere mogelijkheden als grondstof voor kunstmeststoffen. Daarop wordt in Hoofdstuk 5 verder ingegaan.

### **3.4 Conclusies landbouwkundige waarde assen**

De (potentiële) landbouwkundige waarde van assen wordt bepaald door de gehalten aan waardegevende bestanddelen, hun onderlinge verhouding en de beschikbaarheid. Deze zijn verschillend tussen assen en zijn afhankelijk van het gebruikte uitgangsmateriaal (hout, zuiveringsslib, diermeel, kippenmest), het type installatie (bijvoorbeeld wervelbed en roosteroven) en het type as (bed-as, bodemas en vlieg-as). Samengevat zijn de belangrijkste waardegevende bestanddelen per type as als volgt:

- Houtas: vooral K en Ca; in mindere mate P, Mg en S;
- Riolslib en diermeel: vooral P en Ca; in mindere mate K, Mg en S; en
- Kippenmest: vooral P en K; in mindere mate Mg.

Verder zal in al de assen sprake zijn van een kalkwerking, ofwel zuurneutraliserende waarde.

De landbouwkundige waarde van houtas wordt vooral bepaald door de bekalkende waarde en de in de as aanwezige K. De bekalkende waarde zal naar verwachting ongeveer 50% van die van gangbare kalkmeststoffen bedragen en de in de as aanwezige K is goed beschikbaar voor gewassen. Andere nutriënten in de as zijn in het algemeen minder goed beschikbaar. Dit geldt in het bijzonder voor P.

Voor de landbouwkundige waarde van de assen van riolslib, diermeel en kippenmest speelt P een belangrijkere rol, aangezien het P-gehalte hoger is dan in de houtas. Uit potproeven met gewassen is echter gebleken dat de P-beschikbaarheid in assen van verbranding van diermeel, kippenmest en zuiveringsslib in het algemeen laag was. Dit kan worden verklaard door de relatief slechte oplosbaarheid van de P-verbindingen, zoals naar voren kwam in experimenten waarbij is gewerkt met oplossingen met een verschillende zuursterkte. De P-beschikbaarheid in assen kan worden verhoogd door verschillende technieken, zoals ontsluiting met zuur, verhitting en/of door een thermochemische behandeling.

Recycling van P uit afvalwater kan plaatshebben via hergebruik van de as die resteert na de verbranding van het slib, maar ook via de gecontroleerde struvietvorming tijdens de afvalwaterzuivering. De landbouwkundige waarde van struviet is beter dan van as, in verband met de betere P-beschikbaarheid.

## 4 Regelgeving betreffende de toelating van een afvalstof als meststof

### 4.1 Inleiding

De Europese regelgeving voor minerale meststoffen is verwoord in Verordening (EG) 2003/2003. De hierin beschreven meststoffen (de zogenaamde EG-meststoffen) zijn in Nederland en de andere EU-landen automatisch toegelaten. Ze hebben dan ook een eigen positie in de nationale regelgeving. Vanaf 2008 is het verhandelen van meststoffen in Nederland ondergebracht in de Meststoffenwet, het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. De Meststoffenwet 1947 en het Meststoffenbesluit 1977 zijn op dat moment buiten werking gesteld. De eisen aan meststoffen uit de nu van kracht zijnde regelgeving worden hier samengevat. Een specifiek deel van de regelgeving gaat over het hergebruik van producten die zijn ontstaan uit rest- of afvalstoffen. Assen uit verbranding van biomassa, zuiveringsslib, kippenmest en dierlijk afval vallen hieronder.

### 4.2 Europese regelgeving voor meststoffen

De Europese wetgeving op het gebied van minerale meststoffen is vermeld in Verordening (EG) nr. 2003/2003 inzake meststoffen. In deze verordening, die dwingend in alle EU-landen van kracht is, worden eisen gesteld aan anorganische meststoffen die als EG-meststof mogen worden bestempeld. Daarbij wordt de volgende definitie voor een anorganische meststof gedefinieerd:

*“anorganische meststof”: een meststof waarin de aangegeven nutriënten voorkomen in de vorm van mineralen die door winning of door fysische en/of chemische industriële processen zijn verkregen. Calciumcyaanamide, ureum en de condensatie- en associatieproducten ervan, alsmede meststoffen die chelaatvormige of complexvormige micronutriënten bevatten, mogen bij afspraak als anorganische meststoffen worden aangeduid.*

De verordening bevat een lijst van typen meststoffen die als EG-meststof mogen worden aangeduid met daarbij een omschrijving

- van de bereidingswijze en de hoofdbestanddelen;
- van het minimumgehalte aan nutriënten en de aanduiding daarvan;
- van eventuele andere gegevens omtrent de typeaanduiding; en
- de nutriënten waarvan het verplicht is het gehalte aan te geven alsmede de vorm en de oplosbaarheid van de betreffende nutriënten.

In Bijlage I van de verordening is een lijst opgenomen van de typen EG-meststoffen welke zijn toegelaten. Uitsluitend deze meststoffen mogen de aanduiding “EG-meststof” dragen. In Bijlage II is bovendien aangegeven aan welke tolerantiegrenzen de gehalten in deze meststoffen moeten voldoen. In Bijlage I is bovendien aangegeven aan welke andere vereisten de in deze lijst opgenomen meststoffen moeten voldoen. Voor PK-meststoffen geldt onder andere het volgende (niet uitputtend):

- Een PK-meststof is een langs chemische weg of door menging verkregen product dat geen organische nutriënten van dierlijke of plantaardige oorsprong bevat;
- Een PK-meststof bevat minimaal 18% ( $P_2O_5 + K_2O$ ) en van ieder nutriënt afzonderlijk tenminste 5%;
- Voor het gehalte aan  $K_2O$  geldt het gehalte oplosbaar in water;
- Voor het gehalte aan  $P_2O_5$  is de situatie ingewikkelder. De vereiste oplosbaarheden zijn dan afhankelijk van het type fosfaat dat in de meststof zit. Uitgegaan wordt hier van een PK-meststof

die geen thomasfosfaat, gloeifosfaat, aluminiumcalciumfosfaat, gedeeltelijk ontsloten natuurfosfaat en natuurfosfaat bevat;

- Het gehalte aan  $P_2O_5$  moet worden opgegeven als zijnde oplosbaar in water, oplosbaar in neutraal ammoniumcitraat of oplosbaar in water en neutraal ammoniumcitraat; en
- Het gehalte aan uitsluitend in mineraal zuur oplosbaar  $P_2O_5$  mag niet hoger zijn dan 2%.

Verbrandingsas komt niet voor op Bijlage I van EG-Verordening nr. 2003/2003.

### 4.3 Meststoffenwet

De artikelen uit de Meststoffenwet zijn hier bijeen gebracht voor zover ze relevant zijn voor het op de markt brengen van een meststof. De regels uit de Meststoffenwet zijn nader uitgewerkt in het Uitvoeringsbesluit en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.

Artikel 1 van de Meststoffenwet begint met een aantal definities. Voor zover relevant worden deze hier vermeld.

#### Artikel 1 (gedeeltelijk):

- c. *dierlijke meststoffen: uitwerpselen van voor gebruiks- of winstdoeleinden gehouden dieren, daaronder begrepen de geheel of gedeeltelijk verteerde maag- of darminhoud van deze dieren en mengsels van strooisel met de uitwerpselen, alsook producten daarvan;*
- d. *meststoffen: dierlijke meststoffen, ongeacht hun bestemming, en producten die zijn bestemd om:*
  - 1°. *te worden toegevoegd aan grond of aan een groeimedium en die geheel of gedeeltelijk bestaan uit stoffen, organismen daaronder begrepen, of mengsels van stoffen, die als zodanig kunnen dienen om grond of een groeimedium geschikt of beter geschikt te maken als voedingsbodem voor planten;*
  - 2°. *te worden gebruikt als groeimedium;*
  - 3°. *te worden gebruikt als voedsel voor planten of delen van planten, voor zover deze producten niet reeds zijn begrepen onder 1° of 2°.*

Uit de definitie van dierlijke meststoffen blijkt dat producten uit mest (bijvoorbeeld verkregen via mestverwerking) nog steeds worden beschouwd als dierlijke mest, zie het laatste deel van de definitie van dierlijke meststoffen. Wanneer dierlijke mest echter wordt verbrand is het restproduct, de verbrandingsas, een afvalstof.

Voor alle genoemde assen geldt dat zij alleen als meststof mogen worden verhandeld, indien zij vallen onder de definitie van een meststof, zoals vermeld in Artikel 1d van de Meststoffenwet.

In Hoofdstuk II van de Meststoffenwet staan vervolgens de regels omtrent het verhandelen van meststoffen. In dit geval zijn de Artikelen 4 en 5 van toepassing. Daaruit blijkt dat nadere regels omtrent eisen die aan meststoffen worden gesteld in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (zijnde een AMvB) zijn opgenomen.

#### Artikel 4:

*Bij of krachtens algemene maatregel van bestuur kan, in het belang van de bevordering van de deugdelijkheid voor het doel waarvoor meststoffen zijn bestemd, alsmede in het belang van de bescherming van de bodem, het verhandelen van meststoffen worden verboden indien deze meststoffen niet voldoen aan de bij of krachtens die maatregel gestelde eisen met betrekking tot:*



- a. *de hoedanigheid, de aard, de gehalten aan bepaalde stoffen en verdere samenstelling, het gewicht en de verpakking van meststoffen;*
- b. *de benaming, de gebruiksaanwijzing en andere vermeldingen voor meststoffen;*
- c. *de wijze waarop de vermeldingen van meststoffen worden aangebracht.*

*Deze eisen kunnen verschillend worden vastgesteld afhankelijk van het gebruiksdoel van de desbetreffende meststof.*

Artikel 5:

*Het is verboden een product, dat blijkens zijn aanduiding of anderszins kennelijk is bestemd om als meststof te worden gebruikt, te verhandelen, indien dat product niet voldoet aan de krachtens artikel 4 met betrekking tot meststoffen gestelde eisen.*

#### **4.4 Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet**

In het Uitvoeringsbesluit worden de algemene regels uit de Meststoffenwet nader uitgewerkt. In Artikel 1 staan ook nadere definities betreffende verschillende typen meststoffen. Daaruit blijkt dat de regelgeving omtrent meststoffen naast dierlijke mest ook de categorieën zuiveringsslib, compost, anorganische en organische meststoffen kent. Wanneer assen als meststoffen worden verhandeld, dienen zij onder één van de definities, genoemd in Artikel 1, te vallen. Verbrandingsas bevat (bij volledige verbranding) geen organisch materiaal meer. Dat betekent dat indien deze producten als meststoffen worden erkend, het overige anorganische meststoffen zijn.

Artikel 1 (gedeeltelijk):

1. *In dit besluit en de daarop berustende bepalingen wordt verstaan onder:*

- g. *zuiveringsslib:*
  - 1°. *slib, dat afkomstig is van een installatie voor de zuivering van huishoudelijk, stedelijk of industrieel afvalwater dan wel ander afvalwater van soortgelijke samenstelling als huishoudelijk, stedelijk en industrieel afvalwater; of*
  - 2°. *slib, dat afkomstig is van septictanks en andere installaties voor de verzameling, afvoer en behandeling van afvalwater met uitzondering van vet- en zandvangens;*
- h. *compost: product dat bestaat uit één of meer organische afvalstoffen die al dan niet met bodembestanddelen zijn gemengd en die met behulp van micro-organismen zijn afgebroken en omgezet tot een homogeen en zodanig stabiel eindproduct dat daarin alleen nog een langzame afbraak van humeuze verbindingen plaatsvindt en dat niet mede bestaat uit dierlijke meststoffen;*
- i. *meststoffenverordening: verordening (EG) nr. 2003/2003 van het Europees Parlement en de Raad van 13 oktober 2003 inzake meststoffen (PbEU L 304);*
- j. *anorganische meststoffen: meststoffen waarin de aangegeven nutriënten voorkomen in de vorm van mineralen die door winning of door fysische of chemische industriële processen zijn verkregen, alsmede calciumcyaanamide, ureum en de condensatie- en associatieproducten ervan en meststoffen die chelaatvormige of complexvormige micronutriënten als bedoeld in de meststoffenverordening bevatten;*
- k. *EG-meststoffen: als «EG-meststof» aangeduide meststoffen die tot een in bijlage I van de meststoffenverordening vermeld type meststoffen behoren en die aan de bij of krachtens die verordening gestelde voorschriften voldoen;*
- l. *overige anorganische meststoffen: anorganische meststoffen niet zijnde EG-meststoffen;*
- m. *organische meststoffen: meststoffen niet zijnde anorganische meststoffen;*

- n. overige organische meststoffen: organische meststoffen niet zijnde dierlijke meststoffen, zuiveringsslib of compost;*
  - o. kalkmeststoffen: organische of anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om zuurgraad in de bodem in stand te houden of te verlagen;*
2. *Onder primaire nutriënten, secundaire nutriënten, micronutriënten, vloeibare meststof en fabrikant wordt verstaan hetgeen daaronder in de meststoffenverordening wordt verstaan.*

In Hoofdstuk III van het Uitvoeringsbesluit staan de algemene eisen aan meststoffen (Artikelen 4 t/m 7), de landbouwkundige eisen (Artikelen 8 t/m 12), de milieukundige eisen (Artikelen 13 t/m 15), de verpakkings- en etiketteringseisen (Artikelen 18 en 19) en enkele overige bepalingen (Artikelen 20 en 21) vermeld. Hier worden alleen de passages genoemd die relevant zijn voor assen uit verbranding van biomassa, zuiveringsslib, kippenmest en dierlijk afval.

Artikel 4 (gedeeltelijk, voor zover van toepassing):

1. *Het is verboden meststoffen te verhandelen.*
2. *Het verbod geldt niet indien ten aanzien van deze meststoffen is voldaan aan de artikelen 5, 6 en 19, aan de krachtens de artikelen 7, 19, zesde lid, en 21 gestelde regels en aan:*
  - a. de artikelen 8, 9, 14, 15, tweede lid, en 18, indien het overige anorganische meststoffen betreft;*
  - b. de artikelen 10, 14 en 15, tweede lid, indien het kalkmeststoffen betreft;*
  - c. artikel 16, indien het zuiveringsslib betreft;*
  - d. artikel 17, indien het compost betreft; en*
  - e. de artikelen 11, 12, 13, 14, eerste lid, en 15, eerste lid, indien het overige organische meststoffen betreft.*

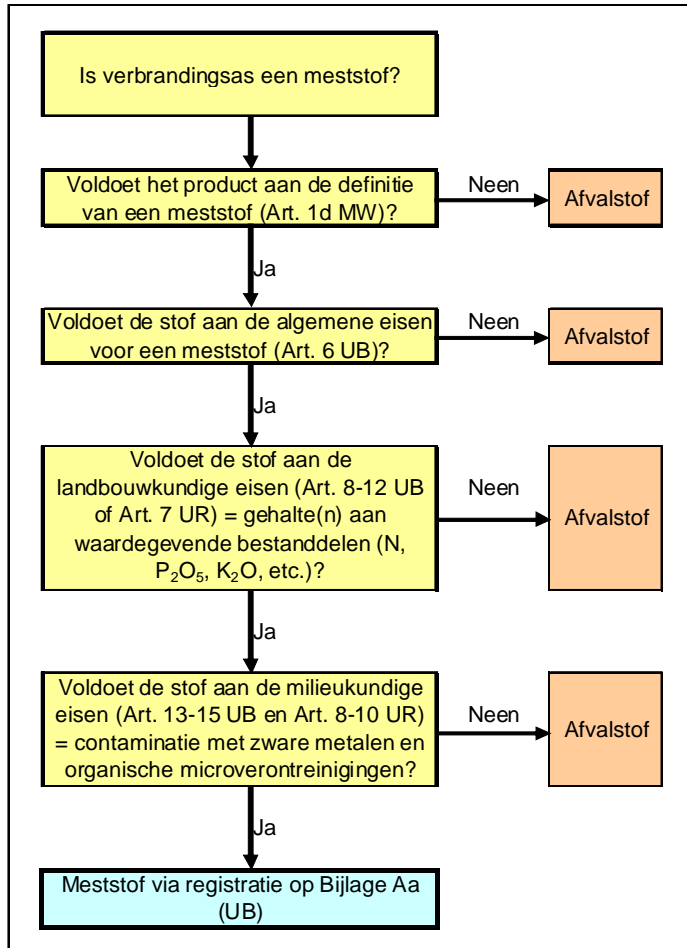
Artikel 5:

1. *Meststoffen, met uitzondering van zuiveringsslib en compost, zijn niet geheel of gedeeltelijk geproduceerd uit afvalstoffen of uit reststoffen, tenzij het betreft de krachtens het tweede lid aangewezen stoffen.*
2. *Bij ministeriële regeling kunnen afvalstoffen of reststoffen, categorieën afvalstoffen of reststoffen of eindproducten van bij die regeling omschreven bewerkingsprocédés worden aangewezen, indien er naar het oordeel van Onze Minister geen landbouwkundige en milieukundige bezwaren bestaan dat deze stoffen als meststof worden verhandeld of bij de productie van meststoffen worden gebruikt.*
3. *Meststoffen zijn niet met afvalstoffen of reststoffen gemengd, tenzij het betreft de krachtens het tweede lid, aangewezen stoffen.*

Uit Artikel 5 lid 1 blijkt dat verbrandingsassen van biomassa, zuiveringsslib, kippenmest en dierlijk afval niet zonder meer zijn toegelaten als meststoffen, aangezien de assen de status hebben van afvalstof. Uit lid 2 blijkt dat er wel een mogelijkheid is dat deze stoffen als meststof worden aangewezen, indien daartegen geen landbouwkundige of milieukundige bezwaren bestaan. Deze aanwijzing vindt plaats middels een besluit van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV). Het betreffende product wordt dan geplaatst op een lijst van Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. De toetsing of geen landbouwkundige of milieukundige bezwaren bestaan tegen de betreffende stof wordt uitgevoerd door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) aan de hand van een daartoe opgesteld protocol. Basis van dat protocol zijn de Artikelen 9 t/m 15 van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet en de Artikelen 4 en 7 t/m 22 van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, inclusief de bijlagen waarnaar verwezen wordt.

**Conclusie: verbrandingsassen van biomassa, zuiveringslib, kippenmest en dierlijk afval moeten eerst door de CDM worden getoetst op landbouwkundige en milieukundige eisen, alvorens zij middels plaatsing op Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet worden toegelaten als meststof op de Nederlandse markt.**

In onderstaand stappenplan is aangegeven welke stappen een verbrandingsas moet doorlopen om te worden erkend als meststof.



Figuur 4.1. Stappenplan voor de beoordeling van een verbrandingsas om dit te kunnen registreren als meststof op Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Afkortingen in het schema: MW = Meststoffenwet; UB = Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet en UR = Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.

De betreffende artikelen uit het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet aangaande de landbouwkundige en milieukundige eisen aan een meststof zijn in het navolgende opgenomen, voor zover relevant. Dit betreft onder andere eisen aan de minimale gehalten van de waardegevende bestanddelen en maximale gehalten aan zware metalen en organische microverontreinigingen. Daarbij is ervan uitgegaan dat verbrandingsassen geen organische stof bevatten en de producten derhalve behoren tot de groep van overige anorganische meststoffen.

#### Artikel 6:

1. De meststof verkeert in een voor de praktijk bruikbare toestand en is gelijkmatig van samenstelling.
2. De meststof levert voedsel voor planten of delen van planten in de vorm van primaire of secundaire nutriënten of micronutriënten of verbetert de bodemeigenschappen door het leveren van organische

*stof dan wel door het in stand houden of het verlagen van de zuurgraad in de bodem en oefent de werking waarvoor de stof hoofdzakelijk is bedoeld, doeltreffend uit.*

3. *De meststof heeft onder normale gebruiksomstandigheden geen schadelijke gevolgen voor de gezondheid van mens, dier of plant of voor het milieu.*

Artikel 9:

1. *Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om primaire nutriënten te leveren, bevatten ten minste één van de volgende nutriënten, in de daarbij vermelde minimale hoeveelheid, uitgedrukt in gewichtsprocenten van de droge stof:*
  - a. *meststof, bedoeld voor het leveren van stikstof: – stikstof (N) totaal: 5;*
  - b. *meststof, bedoeld voor het leveren van fosfaat: – fosfaat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) totaal: 5;*
  - c. *meststof, bedoeld voor het leveren van kali: – kali (K<sub>2</sub>O) oplosbaar in water: 5.*
2. *Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om secundaire nutriënten of micronutriënten te leveren, bevatten ten minste één van de bij ministeriële regeling aangewezen secundaire nutriënten of micronutriënten, in de bij deze regeling vastgestelde minimale hoeveelheid.*

Artikel 10

*Kalkmeststoffen hebben een neutraliserende waarde van ten minste 25 op basis van de droge stof.*

Artikel 14:

1. *Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om primaire nutriënten te leveren, overige organische meststoffen, kalkmeststoffen, alsmede de krachtens artikel 5, tweede lid, aangewezen stoffen die als meststof of bij de productie van meststoffen worden gebruikt, overschrijden niet de in bijlage II, onder tabel 1, bij dit besluit opgenomen maximale waarden voor zware metalen, uitgedrukt in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel.*
2. *Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om secundaire nutriënten of micronutriënten te leveren overschrijden niet de bij ministeriële regeling vastgestelde maximale waarden voor zware metalen, uitgedrukt in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel.*

Artikel 15:

1. *Overige organische meststoffen alsmede de krachtens artikel 5, tweede lid, aangewezen stoffen die als meststof of bij de productie van meststoffen worden gebruikt, overschrijden niet de in bijlage II, onder tabel 4, bij dit besluit opgenomen maximale waarden voor organische microverontreinigingen, uitgedrukt in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel.*
2. *Het eerste lid is van overeenkomstige toepassing op kalkmeststoffen en overige anorganische meststoffen die organisch materiaal van dierlijke of plantaardige oorsprong bevatten, met dien verstande dat voor zover het betreft overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om secundaire nutriënten of micronutriënten te leveren, de maximale waarden voor organische microverontreinigingen uitgedrukt in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel, worden vastgesteld bij ministeriële regeling.*

In Artikel 14 wordt verwezen naar een tabel met maximale gehalten aan zware metalen en arseen en in Artikel 15 naar een tabel met maximale gehalten aan organische microverontreinigingen (bijlage 1). Bij de beoordeling van de te toetsen producten is daarbij van belang welk waardegevend bestanddeel van het betreffende product bepalend is voor de gift. Voor de berekeningen zijn daarbij maximale giften

aangehouden van 100 kg N, 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 kg K<sub>2</sub>O, 400 kg neutraliserende waarde (nw) of 3.000 kg organische stof per hectare per jaar (zie de tekst onder de betreffende tabellen). Opgemerkt zij dat wanneer de gift wordt bepaald door een secundair nutriënt (MgO, CaO, SO<sub>3</sub> of Na<sub>2</sub>O) de desbetreffende artikelen en bijlagen uit de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet van toepassing zijn.

In aanvulling op deze tabel zij opgemerkt dat wanneer de CDM het vermoeden heeft dat een andere organische microverontreiniging in de stof aanwezig kan zijn, dat dan ook die verontreiniging wordt getoetst. Daarbij kan het gaan om residuen van gewasbeschermingsmiddelen, stoffen die bij de productieproces worden gebruikt als grondstof of hulpstof, etc.

#### **4.5 Uitvoeringsregeling Meststoffenwet**

In de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet worden onder andere de minimale gehalten aan secundaire nutriënten (MgO, CaO, SO<sub>3</sub> en Na<sub>2</sub>O) geregeld. Voor de micronutriënten wordt verwezen naar de EG-Verordening 2003/2003. De eisen aan zware metalen en organische micro's staan in Bijlage Ab van de Uitvoeringsregeling (zie Bijlage 2).

##### Artikel 7:

1. *Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om secundaire nutriënten te leveren, bevatten ten minste één van de volgende nutriënten, in de daarbij vermelde minimale hoeveelheid, uitgedrukt in gewichtsprocenten van de droge stof:*
  - a. *magnesiumoxide (MgO): ten minste 15%;*
  - b. *calciumoxide (CaO): ten minste 25%;*
  - c. *zwaveltrioxide (SO<sub>3</sub>): ten minste 25%;*
  - d. *natriumoxide (Na<sub>2</sub>O): ten minste 50%.*
2. *Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om micronutriënten te leveren, bevatten ten minste één van deze micronutriënten, in de in Bijlage 1, Hoofdstuk E, van de meststoffenverordening voorgeschreven minimale gehalten.*

##### Artikel 8:

*Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om secundaire nutriënten te leveren, overschrijden niet de in bijlage Ab, onder tabel 1, opgenomen maximale waarden voor zware metalen, uitgedrukt in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel. (zie Bijlage 1).*

##### Artikel 9:

*Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om secundaire nutriënten te leveren en die organisch materiaal van dierlijke of plantaardige oorsprong bevatten, overschrijden niet de in bijlage Ab, onder tabel 2, opgenomen maximale waarden voor organische microverontreinigingen, uitgedrukt in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel. (zie Bijlage 2).*

##### Artikel 10:

*In geval het betreft anorganische meststoffen die niet alleen hoofdzakelijk zijn bedoeld om primaire of secundaire nutriënten te leveren, maar ook om de micronutriënten koper en zink te leveren, is artikel 14 van het besluit, voor zover het betreft de in bijlage II, onder tabel 1 van het besluit, opgenomen maximale waarden voor koper en zink onderscheidenlijk artikel 8, voor zover het betreft de in bijlage Ab, onder*

*tabel 1, opgenomen maximale waarden voor koper en zink, niet van toepassing, voor zover:*

- a. de meststoffen overeenkomstig artikel 14 zijn voorzien van de gehalten aan koper onderscheidenlijk zink; en*
- b. zowel de hoeveelheden primaire of secundaire nutriënten als de hoeveelheden koper of zink die met de desbetreffende meststof worden opgebracht, passen binnen het totale bemestingsadvies.*

Artikel 11:

*Overige anorganische meststoffen die hoofdzakelijk zijn bedoeld om micronutriënten te leveren zijn voorzien van een gebruiksaanwijzing die past bij de bodemgesteldheid en de teelt waarvoor de meststof wordt gebruikt.*

In de Artikelen 17 t/m 22 wordt aangegeven welke bepalingsmethoden voor de verschillende bestanddelen van het te toetsen product dienen te worden gebruikt en welke accreditaties de laboratoria daartoe behoeven. De verschillende analysemethoden worden expliciet in een bijlage van de Uitvoeringsregeling vermeld. De CDM toetst of deze analysemethoden, waar van toepassing, zijn gehanteerd.

#### **4.6 Toelatingsprocedure voor meststoffen geproduceerd uit afval- of reststromen**

Ingevolge Artikel 5 van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet dient een meststof die geproduceerd is uit een afval- of reststof eerst als meststof te worden aangewezen, alvorens het als meststof mag worden verhandeld. Daartoe wordt een toetsing uitgevoerd door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet, op basis van een daartoe opgesteld protocol (Van Dijk et al., 2009). Bij die toetsing wordt beoordeeld of de stof voldoet aan

- de algemene eisen die aan een meststof worden gesteld (Artikel 6 Uitvoeringsbesluit);
- de landbouwkundige eisen die aan een meststof worden gesteld (Artikelen 8 t/m 12 Uitvoeringsbesluit); en
- de milieukundige eisen die aan een meststof worden gesteld (Artikelen 13 t/m 15 van het Uitvoeringsbesluit).

Toelating van een stof als meststof is mogelijk door een dossier met de relevante informatie in te dienen bij de Dienst Regelingen van het Ministerie van LNV. Deze controleert of het dossier compleet is en stuurt het verzoek vervolgens ter beoordeling naar de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet. Na de beoordeling geeft de CDM een wetenschappelijk oordeel en zendt dit aan de beleidsdirectie van het Ministerie van LNV (Directie Agroketens en Visserij). Op basis van het oordeel van de CDM en het beleidsmatige advies van de beleidsdirectie besluit de Minister tot aanwijzing van de stof c.q. tot afwijzing van het verzoek. Indien het besluit positief is wordt de stof geplaatst op een lijst van Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.

#### **4.7 Toetsing verbrandingsassen aan de regelgeving**

Bij toetsing van een stof ten behoeve van de toelating als meststof wordt eerst beoordeeld of de stof voldoet aan de algemene eisen van een meststof. Voor de beoordeling in het kader van deze studie wordt ervan uitgegaan dat de assen aan de algemene eisen (Artikel 6 van het Uitvoeringsbesluit

Meststoffenwet, zie § 4.3) voldoen.

Vervolgens wordt getoetst of aan de landbouwkundige eisen wordt voldaan. Verondersteld wordt daarbij dat het bij verbrandingsassen gaat om anorganische producten (de organische fracties zijn verbrand en derhalve niet meer aanwezig). Omdat de stoffen geen EG-meststoffen zijn behoren ze dan tot de categorie "overige anorganische meststoffen". De stof moet als leverancier van primaire nutriënten minimaal 5% N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> of K<sub>2</sub>O bevatten (Artikel 9 Uitvoeringsbesluit) en als leverancier van secundaire nutriënten minimaal 15% MgO, 25% CaO, 25% SO<sub>3</sub> of 50% Na<sub>2</sub>O (Artikel 7 Uitvoeringsregeling). Door het verbrandingsproces zal ook (vrijwel) alle stikstof uit de assen zijn verdwenen; in Tabel 3.1 worden ook geen N-gehalten genoemd. In onderstaande Tabel 4.1 is een gedeelte van Tabel 3.1 herhaald, waarbij de gehalten die niet voldoen aan de eisen voor gehalten aan primaire of secundaire nutriënten zijn weggelaten.

Tabel 4.1. Gehalten aan primaire en secundaire nutriënten in biomassa-assen die voldoen aan de eisen van de meststoffenregelgeving.

	Houtas wervelbed Bedmat.	Houtas roosteroven Bodemas	Rioolslib- as (vliegas)	Kippen- mest-as	Diermeel Bedmat.	Vliegas
K <sub>2</sub> O, g/100 g	8,5	7,1	45,0	13,6		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , g/100 g			18,2	11,6	32,9	33,7
CaO, g/100 g					38,6	39,8
MgO, g/100 g						
SO <sub>3</sub> , g/100 g			29,1			

Uit Tabel 4.1. blijkt dat

- bedmateriaal van de wervelbedverbranding van hout onvoldoende primaire of secundaire nutriënten bevat en derhalve geen meststof is;
- de andere assen in de tabel voor één of twee nutriënten voldoen aan de minimale samenstellingseisen die aan een meststof worden gesteld;
- geen enkel product voldoet aan het minimale gehalte voor MgO; en
- er een groot verschil bestaat tussen houtassen afhankelijk van de installatie (vgl. wervelbed en roosteroven).

Het laatste deel van de toetsing betreft de milieukundige aspecten van een stof. Voor overige anorganische meststoffen gaat het daarbij met name om de gehalten aan zware metalen en arseen. Voor producten uit afval- of reststromen worden bovendien de gehalten aan organische microverontreinigingen beoordeeld. Omdat de gehalten aan organische microverontreinigingen in de assen genoemd in Tabel 3.1 niet zijn gegeven wordt dit niet in dit onderzoek meegenomen. Dat betekent dat met behulp van de verstrekte gegevens uitsluitend de gehalten aan zware metalen en arseen worden beoordeeld. In Bijlage II van het Uitvoeringsbesluit en Bijlage Ab van de Uitvoeringsregeling worden de maximale gehalten vermeld. Deze zijn gerelateerd aan de waardegevend bestanddelen. Voor de producten genoemd in Tabel 4.1 gaat het daarbij om K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO en SO<sub>3</sub>. Getoetst wordt aan het waardegevend bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof de hoeveelheden van 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 kg K<sub>2</sub>O, 75 kg SO<sub>3</sub> of 1000 kg CaO het eerst de maximale gift wordt bereikt. Voor vliegas van de wervelbed en bodemas van de roosteroven is dit K<sub>2</sub>O, voor vliegas van de roosteroven is dit SO<sub>3</sub> en voor rioolslibas, kippenmestas, bedmateriaal en vliegas

van diermeel is dit  $P_2O_5$ .

In Tabel 3.1 zijn de gehalten aan zware metalen gegeven zoals zij in de verschillende assen zijn gemeten. Deze zijn omgerekend naar kg van het waardegevend bestanddeel dat bepalend is voor de maximale gift (laatste zes kolommen van Tabel 4.2). De berekening is als volgt: (gehalte aan zwaar metaal in mg/kg ds) x 1000 / (gehalte aan waardegevend bestanddeel in g/kg). Vervolgens zijn deze gehalten vergeleken met de maximaal toegestane gehalten (2<sup>e</sup> t/m 4<sup>e</sup> kolom van Tabel 4.2). In de tabel staan de gehalten die hoger zijn dan de maximaal toegestane waarden in rood. Opgemerkt zij dat de gehalten aan kwik (Hg) slechts voor twee assen beschikbaar zijn.

Tabel 4.2. Maximaal toegestane gehalten aan zware metalen en arseen in overige anorganische meststoffen en de gehalten die in de verschillende assen uit Tabel 3.1 aanwezig zijn. **Rode, vetgedrukte** cijfers zijn overschrijdingen van de maximaal toegestane gehalten.

Metaal	Max. gehalte in mg/kg			Gehalte berekend op basis van Tabel 3.1 in mg/kg						
	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
				Vliegas wervel-bed hout	Bodem-as hout rooster	Vliegas hout rooster	Riool-slibas	Kippen-mestas	Bedmat. diermeel	Vliegas diermeel
As	200	375	400	<b>716</b>	4	389	202	158	0	0
Cd	17	31	33	<b>259</b>	1	<b>138</b>	<b>41</b>	11	0	0
Cr	1000	1875	2000	<b>2433</b>	954	518	1017	1539	61	178
Cu	1000	1875	2000	<b>2247</b>	<b>1562</b>	964	<b>6350</b>	<b>6365</b>	179	231
Hg	10	19	20	4	Nb	Nb	Nb	2	Nb	Nb
Ni	400	750	800	<b>925</b>	280	30	645	<b>874</b>	24	107
Pb	333	2500	2667	<b>5500</b>	<b>541</b>	<b>4385</b>	1558	1200	3	56
Zn	4000	7500	8000	1972	784	<b>37182</b>	<b>14808</b>	<b>11864</b>	1534	1465

**Conclusie: alleen de assen afkomstig van diermeel voldoen aan de eisen die gesteld zijn aan de gehalten voor zware metalen en arseen in meststoffen (mits ook het gehalte aan kwik aan de eisen voldoet).**

#### 4.8 Beoordeling andere meststoffen met betrekking tot zware metalen en arseen

Met betrekking tot de kwaliteitscriteria voor zware metalen en arseen in meststoffen is de beoordeling tussen verschillende typen meststoffen principieel verschillend.

1. EG meststoffen zijn anorganische meststoffen die voldoen aan de eisen zoals die gesteld worden in de Europese meststoffenverordening (verordening (EG) nr. 2003/2003 van het Europese parlement en de raad van oktober 2003) en die voorkomen op de bijlage van deze verordening. EG-meststoffen zijn binnen geheel Europa vrij toegelaten. In de Europese meststoffenverordening worden onder andere eisen gesteld aan minimale gehalten aan waardegevend bestanddelen (primaire, secundaire nutriënten of micronutriënten, waaronder zink en koper). Er zijn geen eisen voor maximaal toelaatbare gehalten aan zware metalen of organische verontreinigingen. Er is (in de aanhef van de verordening, overweging nr. 15) wel aandacht geschonken aan de onbedoelde aanwezigheid van met name cadmium, maar dat heeft tot nog toe niet geleid tot aanpassing van de verordening. Op nationaal niveau hebben een aantal landen (Finland, Zweden, Oostenrijk) in een



aanscherping van de Europese verordening wel eisen gesteld ten aanzien van maximale gehalten Cd.

2. Voor overige organische en overige anorganische meststoffen bestaan de normen voor zware metalen en arseen zoals opgenomen in de bijlagen van het Uitvoeringsbesluit en de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet en zoals gebruikt bij de beoordeling van de verbrandingsassen in dit rapport (Bijlage 2).
3. Voor dierlijke mest bestaan geen normen voor zware metalen en arseen. Dat betekent bijvoorbeeld dat verbrandingsas van kippenmest niet zal worden toegelaten als meststof op basis van de gehalten aan koper, nikkel en zink, terwijl voor niet verbrande kippenmest, waarin de verhouding tussen zware metalen en fosfaat naar verwachting identiek is aan die in verbrandingsas, geen normen gelden.
4. Voor zuiveringsslib en compost gelden wel maximale gehalten aan zware metalen en arseen (Tabel 4.3). Deze worden echter uitgedrukt per kg droge stof. De maximale giften zijn voor zuiveringsslib vastgelegd in het Besluit Gebruik Meststoffen. Voor compost zijn alleen de gebruiksnormen van toepassing, waarbij fosfaat maar voor de helft wordt meegeteld.

Tabel 4.3. Maximaal toegestane gehalten aan zware metalen en arseen voor compost en zuiveringsslib, in mg per kg drogestof.

	compost	Zuiveringsslib
Cd (Cadmium)	1	1,25
Cr (Chroom)	50	75
Cu (Koper)	90	75
Hg (Kwik)	0,3	0,75
Ni (Nikkel)	20	30
Pb (Lood)	100	100
Zn (Zink)	290	300
As (Arseen)	15	15



## 5 Mogelijke inzet van assen als (grondstof voor) meststof

### 5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk staat de vraag centraal welke bijdrage assen die resteren na de verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest zouden kunnen leveren aan het verminderen van het gebruik van (grondstoffen voor) minerale meststoffen in Nederland? Bij het beantwoorden van deze vraag zijn twee scenario's verkend. Enerzijds is nagegaan welke mogelijkheden er zijn bij een directe toepassing van de assen als meststof. Anderzijds is nagegaan welke mogelijkheden er zijn om de assen te gebruiken als grondstof voor de productie van kunstmest of andere chemische producten. Hiertoe zijn interviews afgenomen met kunstmestproducenten. Tevens is de globale aanvoer van een aantal nutriënten (vooral fosfaat) naar Nederlandse landbouwgronden geïnterpreteerd en is in beeld gebracht welke bijdrage reststoffen uit verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest daarbij kunnen spelen.

### 5.2 Directe toepassing als meststof

Bij de directe toepassing van de assen van verbranding van biomassa, zuiveringsslib, dierlijk afval en kippenmest of van struviet als meststof in de landbouw zijn de verschillende aspecten die in de voorgaande hoofdstukken aan de orde zijn geweest van belang. Daarbij gaat het om het volgende:

- Landbouwkundige waarde, waarbij enerzijds de gehalten aan waardegevend bestanddelen, hun onderlinge verhouding en de beschikbaarheid van de nutriënten van belang zijn; en
- Wettelijke aspecten, waarbij de juridische status van de producten van belang is, die bepalen of de producten als meststof mogen worden verhandeld.

Als de landbouwkundige waarde en de wettelijke status van de producten een toepassing als meststof rechtvaardigen, zijn daarnaast nog de volgende aspecten van belang:

- Logistieke aspecten, waarbij de vorm van de meststof (vast, slib, vloeibaar, poeder, korrels, etc.) een grote rol speelt voor de inpasbaarheid in de agrarische praktijk en de toeleverende bedrijven (handel, etc.); en
- Marktsituatie en economische aspecten, waarbij de vraag naar meststoffen, de prijs van het product in combinatie met de bovengenoemde aspecten de perspectieven voor de directe toepassing als meststof bepalen.

#### Landbouwkundige waarde

Zoals in hoofdstuk 3 al is aangegeven wordt de (potentiële) landbouwkundige waarde van assen bepaald door de gehalten aan waardegevend bestanddelen, hun onderlinge verhouding en de beschikbaarheid. Deze zijn verschillend tussen assen zijn afhankelijk van het gebruikte uitgangsmateriaal (hout, zuiveringsslib, diermeel, kippenmest), het type installatie (bijvoorbeeld wervelbed en roosteroven) en het type as (bed-as, bodemas en vliegias). Samengevat zijn de belangrijkste waardegevend bestanddelen per type as als volgt:

- Houtas: vooral K en Ca; in mindere mate P, Mg en S;
- Rioolslib en diermeel: vooral P en Ca; in mindere mate K, Mg en S; en
- Kippenmest: vooral P en K; in mindere mate Mg.

Verder zal in al de assen sprake zijn van een kalkwerking, ofwel zuurneutraliserende waarde.

De landbouwkundige waarde van houtas wordt vooral bepaald door de bekalkende waarde en de in de as aanwezige K. De bekalkende waarde zal naar verwachting ongeveer 50% van die van gangbare kalkmeststoffen bedragen en de in de as aanwezige K is goed beschikbaar voor gewassen. Andere nutriënten in de as zijn in het algemeen minder goed beschikbaar. Dit geldt in het bijzonder voor P.

Voor de landbouwkundige waarde van de assen van rioolslib, diermeel en kippenmest speelt P een belangrijkere rol, aangezien het P-gehalte hoger is dan in de houtas. Uit potproeven met gewassen is echter gebleken dat de P-beschikbaarheid in assen van verbranding van diermeel, kippenmest en zuiveringsslib laag was. Dit kan worden verklaard door de relatief slechte oplosbaarheid van de P-verbindingen, zoals naar voren kwam in experimenten waarbij is gewerkt met oplossingen met een verschillende zuursterkte. De P-beschikbaarheid in assen kan worden verhoogd door verschillende technieken, zoals ontsluiting met zuur, verhitting en/of door een thermochemische behandeling.

#### Wettelijke status

De juridische status van de producten bepaalt of ze als meststof mogen worden verhandeld en toegepast. Producten die resteren na de verbranding van biomassa (zoals hout), diermeel, kippenmest en zuiveringsslib zijn niet zonder meer toegelaten als meststof. Dit geldt ook voor struviet die wordt geproduceerd uit grondstoffen anders dan dierlijke mest. Een toelating voor deze producten als meststof kan eventueel worden verleend na een landbouwkundige en milieukundige toetsing. Zoals in Hoofdstuk 4 is beschreven valt het bedmateriaal van de wervelbed-verbranding van houtas af, omdat het niet aan landbouwkundige eisen voldoet. De concentraties aan waardegevendende elementen zijn te laag om als meststof in aanmerking te komen. Mogelijk zou het wel een neutraliserende waarde kunnen hebben, zodat het in aanmerking kan komen als kalkmeststof. Op basis van een beoordeling van de aanwezige zware metalen worden de maximaal toegestane gehalten overschreden voor de verbrandingsassen van hout, zuiveringsslib en kippenmest. Alleen de assen van diermeel voldoen aan de normen voor zware metalen. Hiervoor lijkt het dan ook zinvol een toelating aan te vragen.

Van struviet zijn geen gehalten aan zware metalen bekend, maar de verwachting is dat die relatief laag zijn. Wel kan er in struviet nog de nodige organische stof aanwezig zijn, wat ook van invloed is op de juridische status ervan.

#### **Conclusies:**

- Het is niet toegestaan verbrandingsassen van biomassa, diermeel, kippenmest en zuiveringsslib te verhandelen en toe te passen als meststof. Dit geldt ook voor struviet die niet geproduceerd is uit dierlijke mest. Daarvoor moet eerst een toelating worden aangevraagd, maar verwacht wordt dat die voor verbrandingsassen van hout, zuiveringsslib en kippenmest niet zal worden verleend, aangezien de gehalten aan zware metalen te hoog zijn. Een directe toepassing van de onbehandelde assen als meststof lijkt binnen het huidige wettelijke kader dan ook niet haalbaar. Als de gehalten aan zware metalen door een bewerking van de assen worden verlaagd, kan dit veranderen. Voor struviet en verbrandingsas van diermeel zijn de perspectieven voor het verkrijgen van een toelating, en dus voor een directe toepassing als meststof, gunstiger.
- Een directe toepassing van struviet afkomstig van kalvergier (of een ander soort dierlijke mest) als meststof is toegestaan. Bij de toepassing moet daarbij rekening worden gehouden met de regels voor de toepassing van dierlijke mest, zoals de gebruiksnormen. De P, Mg en N of K in struviet zal een goede beschikbaarheid hebben.

### 5.3 Gebruik van de assen als grondstof voor kunstmest

NMI heeft de mogelijkheden van het gebruik van de assen vooral verkend door het interviewen van kunstmestproducenten, zoals ICL en Triferto, en producenten van assen, zoals SNB en BMC Moerdijk. Het betreft vooral het verkennen van de mogelijkheden om de grondstof ruwfosfaat (deels) te vervangen door assen.

Bij de meststofproducenten is er wel interesse voor het gebruik van assen of andere reststoffen in hun productieproces. ICL wil de assen in eerste instantie volledig in de bestaande producten/meststoffen verwerken. Voorlopig wordt gedacht aan een gedeeltelijke vervanging, ca. 10%, van de gangbare grondstof ruwfosfaat. Uitgangspunt is dat het eindproduct blijft voldoen aan de eisen, zoals die er zijn voor EG-meststoffen en niet EG-meststoffen (op nationaal niveau). In de toekomst kan het productieproces mogelijk ingrijpender worden veranderd en kan het aandeel van assen en andere reststoffen als grondstof voor de fosfaatmeststoffen toenemen tot (ver) boven de 10%.

Er zijn wel een aantal randvoorwaarden verbonden aan het gebruik van de assen als grondstof voor kunstmest:

- de omvang van de stroom dient groot te zijn (minimaal enkele duizenden tonnen voor ICL; voor Triferto zijn kleinere hoeveelheden mogelijk) en bij voorkeur verspreid over het jaar te worden aangevoerd. Kleine partijen zijn voor ICL alleen acceptabel als de totale stroom groot is;
- het materiaal moet een zo hoog mogelijk drogestofgehalte hebben en bij voorkeur poeder- of korrelvormig zijn. Het moet in ieder geval steekvast zijn. Het minimale P-gehalte is bij voorkeur 4% P ofwel 9,2% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> op drogestof-basis. De voorkeursvolgorde voor de P-vorm is Ca-, Mg-, Al- en Fe-fosfaten, maar in principe is alles mogelijk. Ook K mag in de grondstof aanwezig zijn;
- de verontreinigingen moeten niet te hoog zijn. Voor struviet speelt dat vooral voor organische stof, aangezien dat bij de verwerking nogal wat stank kan veroorzaken. Bij assen zijn vooral de gehalten aan zware metalen van belang, aangezien bij te hoge gehalten slechts weinig as kan worden gebruikt, omdat de normen anders worden overschreden. ICL geeft aan dat vlieg-as te hoge gehalten heeft aan zware metalen. Bodemas heeft dat volgens ICL minder en heeft daarom de voorkeur; en
- de samenstelling moet constant zijn en mag niet te veel variëren gedurende het jaar. Dit moet nauwkeurig gespecificeerd zijn. Dit is nodig voor de consistentie van de proces- en bedrijfsvoering maar ook voor een aangepaste milieuvergunning die nodig is voor het verwerken van de afvalstromen.

Tijdens de productie van fosfaatmeststoffen worden verschillende bewerkingen uitgevoerd die er op zijn gericht de oplosbaarheid en beschikbaarheid van fosfaat te verhogen en eventuele verontreinigingen te verwijderen (zie ook Hoofdstuk 3). Bij de gangbare productie van fosfaatmeststoffen wordt de oplosbaarheid van ruwfosfaten verhoogd door de toediening van zuren (zwavelzuur of fosforzuur), de zogenaamde “ontsluiting”.

Op dit moment wordt een vergelijkbaar procédé in België en Zweden ontwikkeld voor assen. Daarbij wordt zwavelzuur toegediend, worden metalen verwijderd en ontstaat monocalciumfosfaat (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) of tri-ammoniumfosfaat ((NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) (pers. med. Korving, 2010). Een andere manier om de fosfaatbeschikbaarheid te verhogen is door verhitting (zie onder andere Rex, 2009; Nanzer & Kuderna, 2009). Een overzicht van technieken voor P-hergebruik uit verbrandingsassen is gegeven door Adam (2009).

SNB participeert in een project dat in Oostenrijk wordt uitgevoerd door het bedrijf ASH DEC (pers. med. Korving, 2010). De verbrandings-as van zuiveringsslib wordt daar verwerkt tot een fosfaatrijke kunstmest via een thermische verhitting tot 1.000 °C en toevoeging van  $MgCl_2$ . Daarbij ontstaat dicalciumfosfaat ( $CaHPO_4$ ) en worden de gehalten aan zware metalen verlaagd, doordat ze als gasvormige metaalchloriden uit de matrix vervluchtigen (Adam et al., 2008; Adam, 2009; Tabel 5.1).

Tabel 5.1. Gehalten aan nutriënten en zware metalen in assen van zuiveringsslib, vóór en na een thermochemische behandeling en uitgedrukt per kg drogestof (ds) en per kg fosfaat ( $P_2O_5$ ). Het betreft gemiddelden van 5 assen afkomstig uit Nederland en/of Duitsland (bron: Adam et al., 2008).

element	gehalte, mg/kg ds		gehalte, mg/kg $P_2O_5$		maximaal toelaatbaar gehalte, mg/kg $P_2O_5$
	Voor behandeling	Na behandeling	Voor behandeling	Na behandeling	
$P_2O_5$	212,1				
$K_2O$	17,3				
CaO	156,2				
MgO	20,2				
$Na_2O$	6,5				
As	19,2	15,0	91	71	375
Cd	3,6	0,0	17	0	31
Cr	107,5	89,6	507	423	1875
Cu	978,6	73,6	<b>4615</b>	347	1875
Hg	0,0	0,0	0	0	19
Ni	65,1	49,4	307	233	750
Pb	171,4	0,2	808	1	2500
Zn	1898,6	105,4	<b>8953</b>	497	7500

Uit de gehalten aan zware metalen vóór en na de thermochemische behandeling blijkt dat de gehalten aan koper (Cu) en zink (Zn) vóór de behandeling hoger zijn dan de maximaal toelaatbare gehalten en dat ze na de behandeling aanzienlijk lager zijn dan de maximale gehalten. Hiermee lijkt het probleem van de te hoge gehalten aan zware metalen in verbrandingsassen dus te zijn verholpen.

Daarnaast wordt de P-beschikbaarheid door de vorming van dicalciumfosfaat ( $CaHPO_4$ ) tijdens de thermochemische behandeling verbeterd, aangezien  $HPO_4$ -ionen goed opneembaar zijn voor planten. Uit Duits onderzoek is gebleken dat de P-beschikbaarheid van de op deze wijze behandelde assen goed is (Kratz & Schnug, 2009). De verwachting is dan ook dat dit product goed als P-kunstmest kan dienen. SNB overweegt om een kunstmestfabriek te bouwen voor de productie van kunstmest uit zuiveringsslibas, maar wacht eerst even af of er technologische problemen of eventuele afzetproblemen ontstaan. In Duitsland is het product van ASH DEC toegelaten als meststof.

Enkele gegevens:

- ICL produceert ca. 500.000 ton fosfaatkunstmest, waarvan slechts 10% in Nederland wordt afgezet. De overige 90% wordt geëxporteerd naar het (Europese) buitenland, met name Frankrijk en Duitsland. Uitgaande van een gemiddeld P-gehalte van 30%  $P_2O_5$ , betekent dat een totale productie van 150.000 ton  $P_2O_5$ , waarvan ca. 15.000 ton  $P_2O_5$  ofwel 6.550 ton P in Nederland wordt afgezet.
- SNB produceert jaarlijks 36.000 ton as als residu van de verbranding van zuiveringsslib (900 °C). Dit

is vlieg-as en bevat circa 8% P en daarnaast een stroom aan zware metalen. De P-productie is derhalve 2.880 ton P ofwel circa 6.600 ton  $P_2O_5$ . Het fosfaat bestaat voornamelijk uit Ca-, Fe- en Al-fosfaten en is maar voor een zeer gering deel wateroplosbaar. Hetzelfde geldt voor de oplosbaarheid in citroenzuur! Naast vlieg-as wordt ook bodemas geproduceerd; het voornaamste bestanddeel hiervan is gips (circa 50%) en daarnaast een aantal zware metalen. Een deel van het P-houdende as wordt afgezet via Thermphos, maar dan geldt als voorwaarde dat het Fe-gehalte laag moet zijn. De consequentie is dat slechts ca. 20% naar Thermphos kan worden afgezet. De rest gaat momenteel weg als vulstof naar de asfaltindustrie of naar zoutmijnen in Duitsland.

- BMC Moerdijk verwerkt per jaar ca. 440.000 ton pluimveemest. Uitgaande van een as-gehalte van 16% betekent dat een productie van ca. 70.000 ton as. Bij een P-gehalte van 11,6%  $P_2O_5$  in de as is dat 8.120 ton  $P_2O_5$ , ofwel ca. 3.540 ton P.

Concluderend:

- Verbrandingsas van biomassa, kippenmest, diermeel en/of zuiveringsslib is in principe bruikbaar als grondstof voor minerale P-meststoffen. Randvoorwaarden zijn daarbij een voldoende hoog P-gehalte (minimaal 4% P) en niet te hoge gehalten aan zware metalen. Het P-gehalte in houtas lijkt niet te voldoen aan de eisen. Voor as van de verbranding van kippenmest, diermeel en/of zuiveringsslib is dat wel het geval. Onduidelijk is of de gehalten aan zware metalen en arseen voldoen aan de eisen die meststofproducenten aan de grondstoffen voor meststoffen stellen, maar het lijkt gewenst die gehalte door een bewerking te verlagen.
- Een producent van fosfaatkunstmest in Nederland (ICL) heeft interesse in het gebruik van verbrandingsas als grondstof voor kunstmest, waarbij mogelijk een deel (maximaal 10%) van de gangbare grondstof ruwfosfaat kan worden vervangen. Uitgangspunt is dat het onbewerkte as volledig in de kunstmest wordt "ingebouwd".
- Opwaardering van de as is mogelijk door een thermochemische behandeling, waardoor de P-beschikbaarheid kan worden verhoogd en de gehalten aan zware metalen worden verlaagd. Dit biedt goede perspectieven voor de inzet van de assen als (grondstof voor) P-meststof op de langere termijn.

#### **5.4 Mogelijke bijdrage van assen aan het vervangen van ruwfosfaat**

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven zouden assen van de verbranding van kippenmest, diermeel en/of zuiveringsslib kunnen dienen als grondstof voor de productie van P-houdende kunstmest en daarmee een deel van de gangbare grondstof (ruwfosfaat) kunnen vervangen. Daarbij is het de vraag hoe groot de bijdrage van die stroom zou kunnen zijn. Daartoe is de omvang van de hoeveelheid P in as van zuiveringsslib van SNB en in as van pluimveemest van BMC Moerdijk vergeleken met de hoeveelheid P in kunstmest die in Nederland wordt geproduceerd door ICL.

Bij inpassing van de assen in het huidige productieproces van de meststofproducenten (bijvoorbeeld ICL) is daarbij vooral het gehalte aan zware metalen in de assen bepalend voor de maximale hoeveelheid as die in de meststoffen kan worden verwerkt. Uitgaande van een vervanging van 10% van de grondstof ruwfosfaat door as, betekent voor ICL dat circa 15.000 ton  $P_2O_5$  uit as ingezet zou kunnen worden. Aangezien bij SNB jaarlijks circa 6.600 ton  $P_2O_5$  in zuiveringsslib-as vrijkomt en bij BMC circa 8.150 ton  $P_2O_5$  in kippenmest-as, zouden deze as-stromen gezamenlijk voldoende zijn voor het vervangen van bijna 10% van ruwfosfaat door ICL. Bijkomend voordeel is dat het fosfaat op die manier op relatief eenvoudige wijze naar het buitenland kan worden geëxporteerd, zodat het niet op de Nederlandse markt,

waar sprake is van een P-overschot, terechtkomt.

Een ander scenario is hiervoor reeds genoemd en bestaat uit een nieuw productieproces, waarbij de fosfaat in as beter beschikbaar wordt gemaakt en waarbij verontreinigingen (zoals zware metalen) grotendeels worden verwijderd. Daardoor wordt het mogelijk een P-meststof te ontwikkelen die grotendeels dan wel volledig is geproduceerd uit de grondstof as.



## 6 Relevant beleid en wetgeving in Europa en het nabije buitenland

### 6.1 Europese Kaderrichtlijn Afvalstoffen en Nederlandse Meststoffenwet

Op Europees niveau is de Europese kaderrichtlijn afvalstoffen van toepassing. Deze richtlijn is in 2008 herzien. Lidstaten hadden tot 12 december 2010 om de wijzigingen in de richtlijn om te zetten in nationale wetgeving. In Nederland gebeurt dat via een aanpassing van de Wet Milieubeheer. Het Landelijke Afvalbeheer Plan 2 is een uitwerking van de in de Wet Milieubeheer vastgelegde regels, waarin per sector wordt aangegeven wat het gewenste afvalbeheerplan is.

In de nieuwe kaderrichtlijn 2008 wordt onder andere het onderscheid tussen afvalstof en niet-afvalstof verduidelijkt. Ook is er een definitie opgenomen voor bijproducten en de mogelijkheid om van een stof de status van afvalstof weg te nemen. Als een materiaal bewust is geproduceerd, dan is het te kwalificeren als een product. Als het materiaal niet bewust is geproduceerd, maar onbedoeld vrijkomt bij een productieproces, dan spreekt men van een productieresidu. Zoals eerder aangegeven, kunnen productieresiduen of reststoffen onder omstandigheden worden aangemerkt als bijproducten en in een dergelijk geval zijn ze te kwalificeren als niet-afvalstof.

De eventuele toepassing van afvalstoffen als meststof is in Nederland geregeld binnen de Meststoffenwet, zoals reeds is aangegeven in Hoofdstuk 4. Hierbij worden de “algemene effecten op milieu en de menselijke gezondheid” vertaald in maximaal toegelaten gehalten aan zware metalen en organische microverontreinigingen. Het onderscheid tussen afvalstoffen, bijproducten en productieresiduen zoals dat wordt gedefinieerd in de Kaderrichtlijn 2008 is hierbij voornamelijk niet relevant, omdat binnen de Meststoffenwet afvalstoffen en reststoffen op één lijn gesteld worden. Voor zowel afvalstoffen als reststoffen geldt dat zij niet zonder meer als meststof aangemerkt mogen worden, maar op een lijst van toegelaten producten geplaatst moeten worden. Toetsing gebeurt aan de hand van een Protocol door een Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (Van Dijk et al., 2009), die een advies uitbrengt aan de minister omtrent toelating. Meststoffen vervaardigd vanuit niet-afvalstoffen mogen vrij op de markt gebracht worden mits zij voldoen aan de eisen van de Meststoffenwet. In de praktijk betekent dit dat er sprake is van een discrepantie tussen meststoffen vervaardigd uit afval- of reststoffen en meststoffen vervaardigd uit andere stoffen. Daarbij moet bedacht worden dat de status afvalstof gebaseerd is op herkomst, en niet op samenstelling of eventuele milieubelasting. Het op de markt brengen van meststoffen vervaardigd uit afval- of reststoffen is omslachtig, omdat er binnen het gevolgde protocol tevens nadere eisen gesteld kunnen worden aan samenstelling en reproduceerbaarheid, welke niet gelden voor meststoffen die niet uit afval- of reststoffen vervaardigd zijn. Toelating gebeurt daarbij voor een product met (zeer) nauw omschreven productieproces, herkomst en eventueel ook producent. Dit betekent dat er zelfs bij relatief kleine afwijkingen, of in sommige gevallen een andere producent, veelal een nieuwe toelating aangevraagd moet worden, zelfs bij een nagenoeg gelijk product. Een andere belemmering, zeker bij kleinere partijen, is dat de analyseresultaten die bij de aanvraag bijgeleverd moeten worden relatief duur zijn.

### 6.2 Duitsland

In Duitsland is de Düngemittelverordnung (DüMV vom 16.12.2008; Bundesgesetzblatt, 2008) van toepassing, waarin verbrandingsassen van dierlijke producten (incl. beenderen en mest), zuiveringslib en plantaardige biomassa bestaande categorieën vormen. Dit betekent dat die producten in principe als

meststof mogen worden toegepast, mits ze aan een aantal voorwaarden voldoen. Daarbij is het verboden om assen uit de laatste filterende eenheid in het rookgaskanaal (vliegass) te gebruiken en worden voor de assen van dierlijke producten en zuiveringsslib eisen gesteld aan de minimale deeltjesgrootte zodat wordt voorkomen dat de as te veel stuift. Verder zijn er maximale gehalten voor zware metalen van toepassing (Tabel 6.1). Daarbij zijn koper (Cu) en zink (Zn) niet behandeld als zware metalen, maar als spoorelement.

Tabel 6.1. Maximaal toegestane gehalten aan zware metalen en arseen in meststoffen volgens de Duitse Düngemittelverordnung.

	Maximaal gehalte, mg/kg d.s.
Cd (Cadmium)	1,5
Cr <sup>VI</sup> (Chroom)	2
Cu (Koper)	n.v.t.
Hg (Kwik)	1,0
Ni (Nikkel)	80
Pb (Lood)	150
Zn (Zink)	n.v.t.
As (Arseen)	40

Er zijn een aantal afwijkingen ten opzichte van de Nederlandse systematiek, aangezien er geen normen zijn voor koper en zink, terwijl voor chroom uitsluitend wordt gekeken naar Cr<sup>IV</sup>. Deze maximaal toegestane gehalten zijn hoger dan die voor compost in Nederland (Tabel 4.3). Uit een vergelijking met de actuele gehalten van de verbrandingsassen uit Tabel 3.1, blijkt dat de meeste assen, met uitzondering van die van diermeel, de Duitse normen overschrijden.

### 6.3 België

In België is een vergelijkbare werkwijze ontwikkeld als in Nederland voor de toepassing van afvalstoffen als meststof of bodemverbeterend middel (OVAM, 2004). Daarbij dient men te beschikken over een gebruikscertificaat, die bij de Vlaamse Overheid wordt aangevraagd. Voor alle producten die niet op een lijst staan dient dan een beoordelingsprocedure door de overheid te worden doorlopen. Verder wordt er gewerkt met maximale gehalten en doseringen voor zware metalen en arseen (Tabel 6.2) en voor organische microverontreiniging (OVAM, 2004).

Tabel 6.2. Maximaal toegestane gehalten en doseringen aan zware metalen in België.

	maximaal gehalte, mg/kg ds	maximale dosering, g/ha/jaar
Arseen (As)	150	300
Cadmium (Cd)	6	12
Chroom (Cr)	250	500
Koper (Cu)	375	750
Kwik (Hg)	5	10
Lood (Pb)	300	600
Nikkel (Ni)	50	100
Zink (Zn)	900	1800

De maximaal toegestane gehalten zijn hoger dan die voor compost in Nederland (tabel 4.3). Uit een vergelijking met de actuele gehalten van de verbrandingsassen uit Tabel 3.1, blijkt dat de meeste assen, met uitzondering van die van diermeel, ook de Belgische normen overschrijden.

## 7 Literatuur

- Adam C (2009) Techniques for P-recovery from waste water, sewage sludge and sewage sludge ashes – an overview. Presentation given at the BALTIC21-Conference, Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practices, 28-30 September 2009, Berlin ([http://www.jki.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html](http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html)).
- Adam C, Schick J & Kratz S (2008) Düngemittel aus Klärschlammasche. Die Ergebnisse aus dem EU-Projekt SUSAN legen die grosstechnische Umsetzung eines neuen thermochemischen Verfahrens für die Phosphor-Rückgewinnung nahe. Müllmagazin 3, 16-20.
- Anonymus (2009) Struviet uit afvalwater is goede meststof. H<sub>2</sub>O nr. 9, 4-5.
- Arvidsson H (2001) Wood ash application in spruce stands. Effects on ground vegetation, tree nutrient status and soil chemistry. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2001.
- Bolt GH & Bruggenwert MGM (1978) Soil Chemistry. A. Basic Elements. Elsevier, Developments in Soil Science, 5A.
- Bril J & Salomons W (1990) Chemical composition of animal manure: a modelling approach. Netherlands Journal of Agricultural Science 38, 333-351.
- Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 60, ausgegeben zu Bonn am 19. Dezember 2008 (pp. 2521-2581): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV). Vom 16. Dezember 2008.
- Cabeza Pérez R, Steingrobe B, Römer W & Claassen N (2009) Plant availability of P fertilizers recycled from sewage sludge and meat-and-bone-meal in field and pot experiments. In: Ashley K, Mavinic D & Koch F (eds.) Proceedings of the International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams, IWA, London, UK, 215-224.
- Campbell AG (1990) Recycling and disposing of wood ash. Tappi Journal, September 1990, 141-146.
- Cordell D, Drangert JO & White S (2009) The story of phosphorus: global food security and food for thought. Global Environmental Change, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
- CBGV (Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen) (2002) Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen.
- Chirenje T, Rivero C & Ma LQ (2002a) Leaching of As and Cr in wood-ash amended soil columns. Soil-and-Sediment-Contamination 11 (3), 359-375.
- Chirenje T, Rivero C & Ma LQ (2002b) Leachability of Cu and Ni in wood ash-amended soil as impacted by humic and fulvic acid. Geoderma 108, 31-47.
- Codling EE, Chaney RL & Sherwell J (2002). Poultry litter ash as a potential phosphorus source for agricultural crops. J. Environ. Qual. 31, 954-961.
- Demeyer A, Voundi Nkana JC & Verloo MG (2001) Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology 77, 287-295.
- De Haes HAU, Jansen JLA, Weijden WJ van der & Smit AL (2009) Fosfaat – van te veel naar tekort. Beleidsnotitie van de Stuurgroep Technology Assessment van het Ministerie van LNV, 15 pp.
- De Ruijter FJ, Smit AL & Meurs EJJ (2009) Plaatsing als strategie voor een efficiëntere fosfaatbemesting 2. Veldproeven. PRI-rapport 314, 26 pp.
- Ehlert PAI (1990) Onderzoek naar de fosfaatwerking van as van ontwaterde en verbrande varkensdrijfmest. IB-nota 233, 39 pp.
- Faridulla, Muhammad Irshad, Sadahiro Yamamoto, A. Egrinya Eneji, Tomoji Uchiyama and Toshimasa Honna (2009) Recycling of chicken and duck litter ash as a nutrient source for Japanese Mustard Spinach. Journal of Plant Nutrition 32, 1082-1091.

- FVA (2002) Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Bodenkunde, Holzasche-Ausbringung im Wald, ein Kreislaufkonzept. FVA Kolloquium, Freiburg, März 2002.
- Gell K (2010) Struvite from Black water and Urine as a Phosphorus Fertilizer. Major Thesis in Environmental Technology (36 ECTS). Landbouwniversiteit Wageningen. pp.49.
- Gilbert N (2009) The disappearing nutrient. *Nature* 461, 716-718.
- Ghosh GK., Mohan KS. and Sarkar AK. 1996. Characterisation of soil-fertilizer P reaction products and their evaluation as sources of P for gram (*Cicer arietinum* L.). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46, 71 – 79.
- Gonzalez Ponce R, Lopez De Sa EG (2007) Evaluation of struvite as a fertilizer: a comparison with traditional P sources. *Agrochimica* 51, 6, 301-308.
- Gonzalez Ponce R, Lopez De Sa EG (2009) Lettuce response to phosphorus fertilization with struvite recovered from municipal wastewater. *HortScience* 44, 2, 426-430.
- Goto I (1998) Application of phosphorus recovered from sewage plants. *Environmental Conservation Engineering* 27, 6, 418-422 (in het Japans). Samenvatting in Scope Newsletter, feb. 2001.
- Heffer P, Prud'homme M, Muirheid B & Isherwood KF (2006) Phosphorus Fertilization Issues and Outlook. *Proceedings Nor.* 586, International Fertiliser Society, York UK, 32 pp.
- Hilton J, Johnston AE & Dawson CJ (2010) The phosphate life-cycle: rethinking the options for a finite resource. *International Fertiliser Society, Proceedings No.* 668, UK, 44 pp.
- Hofstad E (1997) Struviet: een nieuw alternatief voor de huidige fosfaatmeststof tripelsuperfosfaat? Scriptie Landbouwniversiteit Wageningen. 58 pp+bijlagen.
- Holmberg SL, Lind BB & Claesson T (2000) Chemical composition and leaching characteristics of granules made of wood ash and dolomite. *Environmental-Geology* 40 (1-2), 1-10.
- Houston EC (1960) Thermal processes for producing phosphate fertilizers. In: Sauchelli V (ed.) *Chemistry and technology of fertilizers*. Chapman & Hall, LTD. London, 345-366.
- Huang H, Campbell AG, Folk R & Mahler RL (1992) Wood ash as a soil additive and liming agent for wheat: field studies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 23 (1-2), 25-33.
- Huijbregts T (2002) Kwaliteitsbewaking van nevenproducten. Samenstelling van Betacal. Project no. 16-02. In: *IRS jaarverslag 2001*, 72-74.
- INRES (2006) Phosphordüngewirkung im Topfversuch. INRES Bereich Pflanzenernährung, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 19 pp.
- Jasinski SM (2008) Phosphate Rock, Mineral Commodity Summaries. [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphater\\_rock/mcs-2008-phosp.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphater_rock/mcs-2008-phosp.pdf).
- Johnston AE & Richards IR (2004) Effectiveness of Different Precipitated Phosphates as Phosphorus Sources for Plants. *Phosphorus Research Bulletin* Vol. 15, 52-59.
- Kern J (2009) Fertiliser products from the precipitation from waste water: MAP from Berliner Wasserbetriebe. Presentation given at the BALTIC21-Conference, Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practices, 28-30 September 2009, Berlin ([http://www.jki.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html](http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html)).
- Khasawneh FE, Sample EC & Kanmprath EJ (1980) The role of phosphorus in agriculture. *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America*, 910 pp.
- Lickacz J (2002) Wood ash – an alternative liming material for agricultural soils. *Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Agdex* 534-2, 6.
- Kratz & Schnug (2009) Chemical solubility and agricultural performance of various P-recycling products – Results of a BMELV project. Presentation given at the BALTIC21-Conference, Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practices, 28-30 September 2009, Berlin ([http://www.jki.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html](http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html)).
- Lindsay WL (1979) *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, New York, 449 pp.

- Lijst van Meststoffen aanhangende de Meststoffenbeschikking 1977
- Luesink HH, Blokland PW & Hoogeveen M (2009) Gebruiksnormen en mestverbranding grote invloed op de mestprijs. LEI, Agri-monitor, december 2009, 3 pp.
- Massey MS, Davis JG, Ippolito JSA & Sheffield RE (2009) Effectiveness of Recovered Magnesium Phosphates as Fertilizers in Neutral and Slightly Alkaline Soils. *Agronomy Journal* 101, 2, 323-329.
- Meyers NL & Kopecky MJ (1998) Industrial wood ash as a soil amendment for crop production. *Tappi Journal* 81 (4), 123-130.
- MNP (2007) Werking van de Meststoffenwet 2006. Overgang van verliesnormenstelsel naar een gebruiksnormenstelsel: evaluatie van werking in het verleden (1998-2005), heden (2006-2007) en toekomst (2008-2015), 168 pp.
- Ministerie van LNV (2009) Brief d.d. 18 november 2009 van de Minister (referentie AKVL/2009/2768) in reactie op de brief van de Stuurgroep Technology Assessment met betrekking tot mondiale fosfaatschaarste, Den Haag, 6 pp.
- Moolenaar SW & De Haas MJG (2004) Landbouwkundige beoordeling biomassa-assen ECN. NMI-rapport 948.04, 36 pp.
- Nanzer S & Kuderna M (2009) Fertilizers made of thermochemically treated sewage sludge ash. Presentation given at the BALTIC21-Conference, Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practices, 28-30 September 2009, Berlin ([http://www.jki.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html](http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-bodenkunde/baltic21.html)).
- Nature (2010) Not quite assured; an upbeat assessment of phosphate reserves leaves several questions unanswered. *Nature* 467, 1005-1006.
- Nicholson FA, Chambers BJ & Smith KA (1996) Nutrient composition of poultry manures in England and Wales. *Bioresource Technology* 58, 279-284.
- Nilsson T (2001) Wood Ash application effects on elemental turnover in a cutover peatland and uptake in vegetation. *Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2001*.
- Nutriënten Management Instituut NMI (2000) Handboek Meststoffen. ISBN 90 5439 096 4.
- Nutriënten Management Instituut NMI (2000a) Praktijkgids Bemesting. ISBN 90 804058 2 5.
- Olde Venterink HGM & Linders JBHJ (1994) Standards for the concentration of organic micro contaminants in organic fertilizers: a proposal for their derivation. Rapportnummer 67910007, RIVM, Bilthoven.
- OVAM (2004) Van afvalstof tot meststof of bodemverbeterend middel. Leidraad van de Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest, 79 pp.
- Pels JR (2010) Hergebruik van assen uit biomassaverbranding; Hoeveelheden en samenstelling van de assen en opties voor materiaalhergebruik. ECN 0-10-000. ECN, Petten, 40 pp.
- Pérez RC, Steingrobe B, Römer W & Claassen N (2009) Plant availability of P fertilizers recycled from sewage sludge and meat-and-bone meal in field and pot experiments. In: Ashley K, Mavinic D & Koch F (eds.) *International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams*, Vancouver, 688 pp.
- Pierzynski GM, Sims JT & Vance GF (2000) *Soils and environmental quality*. Second edition. Chapter 9. Biogeochemical cycles, soil quality, and soil management, Tabel 9.6, 332.
- Raijmakers WMF & Janssen BH (1995) Evaluatie van methoden ter bepaling van voor de plant beschikbaar stikstof en fosfaat in organische meststoffen. Verslagen en mededelingen 1995-1, Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding, Landbouwniversiteit Wageningen, 175 pp.
- Rechcigl JE (ed.) (1995) *Soil Amendments. Impacts on Biotic Systems*.
- Rex (2009) Thermic digestion of animal meal ash in converter slag. Presentation given at the BALTIC21-Conference, Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practices, 28-30 September 2009, Berlin ([http://www.jki.bund.de/no\\_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-](http://www.jki.bund.de/no_cache/de/startseite/institute/pflanzenbau-und-)

[bodenkunde/baltic21.html](#)).

- Ring E, Lövgren L, Nohrstedt H & Jansson G (1999) Ash fertilization in a clearcut and in a Scots pine stand in Central Sweden. Effects on soil-water and soil chemistry coupled to laboratory leachings of six ash products. Skog Forsk, Report no. 2, 1999.
- Römer W (2006) Vergleichende Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat aus verschiedenen P-recycling-Produkten im Keimpflanzversuch. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169, 826-832.
- Scherer HW & Werner W (2002) Plant availability of phosphorus, nitrogen and magnesium applied with magnesium-ammonium-phosphate (struvite) derived from animal slurry. Poster International Conference "From nutrient removal to recovery", Amsterdam, October 2-4, 2002.
- Schuling RD & Andrade A (1999) Recovery of struvite from calf manure. Environmental Technology 20, 765-768.
- Sims JT & Wolf DC (1994) Poultry waste management: agricultural and environmental issues. Advances in Agronomy 52, 1-83.
- Smit AL, Bindran PS, Schröder JJ, Conijn JG & Van der Meer HG (2009) Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Report to the Steering Committee Technology Assessment of the Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, The Netherlands, and in collaboration with the Nutrient Flow Task Group (NFTG), supported by DPRN (Development Policy Review Network). PRI, rapport 282, Wageningen, 36 pp.
- TCB (2007) Advies fosfaatverzaaging in landbouwbodems. Advies van de Technische Commissie Bodem uitgebracht aan de Minister van VROM. TCB S35, 21 pp.
- TCB (2010) Advies Sluiten nutriëntenkringlopen. Advies van de Technische Commissie Bodem uitgebracht aan de Minister van LNV en de Minister van VROM. TCB A059, 21 pp.
- Van der Meijden CM, Olivier Q, Hanse J, De Graaf M, Bos A & Visser HJM (2003) Wervelbedverbranding van diermeel ten behoeve van energieopwekking. ECN-C-03-011, 39 pp.
- Van Dijk TA, Driessen JJM, Ehlert PAI, Hotsma PH, Montforts MHMM, Plessius SF & Oenema O (2009) Protocol Beoordeling Stoffen Meststoffenwet. Versie 2.1. Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen, 74 pp.
- Van Dijk W (2003) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, publicatienummer 307, 66 pp.
- Van Kauwenbergh SJ (2010) World phosphate rock reserves and resources. IFDC Technical Bulletin 75, Washington and Muscle Shoals, USA.
- Van Loo S (1996) Hergebruik van assen van biomassaverbranding. TNO-MEP, EWAB projectnummer 355295/1040.
- Velthof GL, Van Beusichem ML, Raijmakers WMF & Janssen BH (1998) Relationship between availability indices and plant uptake of nitrogen and phosphorus from organic products. Plant and Soil 200, 215-226.
- Veltman A, De Danschutter J & Uijterlinde C (2010) Terugwinnen van fosfaatkunstmest uit zuiveringsslib verlaagt kosten van slibverwerking. H<sub>2</sub>O nr. 11, 4-5.
- Vergouwen AA (2010) Fosfaat, van leegloop naar kringloop; resultaten workshop 20 mei 2009 en achtergrondgegevens. STOWA-rapport 2010-12, Amersfoort, 50 pp.
- Ylinen P (2009) Requirements for recycled P from the perspective of fertiliser industry. Presentation given at the BALTIC21-Conference, Phosphorus Recycling and Good Agricultural Management Practices, 28-30 September 2009, Berlin

## Bijlage 1. Gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof en fosfaat

De handel in en het gebruik van meststoffen wordt in Nederland geregeld via de Meststoffenwet en de daarbij behorende besluiten en regelingen. Voor (werkzame) stikstof (N) en fosfaat ( $P_2O_5$ ) en voor dierlijke mest zijn daartoe maximale hoeveelheden vastgesteld die per jaar en per hectare mogen worden toegediend. Deze maximale hoeveelheden zijn afgesproken met de Europese Unie middels de Actieprogramma's betreffende de Nitraatrichtlijn. In 2009 is het 4<sup>e</sup> Actieprogramma vastgesteld, dat betrekking heeft op de jaren 2010-2013, en dat ook reeds een doorkijk geeft voor de jaren daarna.

### *Gebruiksnorm voor dierlijke mest*

De gebruiksnorm voor dierlijke mest is vastgesteld op 170 kg N per kalenderjaar en per hectare van de tot het bedrijf behorende oppervlakte landbouwgrond. De gebruiksnorm voor dierlijke mest van 170 kg N per ha is van toepassing voor alle mogelijke soorten en vormen van dierlijke mest en ook van producten waarin dierlijke mest is verwerkt of die uit dierlijke mest zijn gemaakt.

Voor bedrijven waarop graasdieren worden gehouden heeft Nederland van de Europese Commissie toestemming (derogatie) verkregen om jaarlijks maximaal 250 kg N per ha uit dierlijke mest te gebruiken. Aan deze derogatie is wel een aantal voorwaarden verbonden:

- de derogatie geldt alleen voor mest van graasdieren (runderen, schapen, geiten, paarden, etc.);
- de derogatie moet worden aangevraagd voor 1 december van het voorafgaande jaar;
- minimaal 70% van de oppervlakte landbouwgrond bestaat uit grasland dat bestemd is voor voederwinning of begrazing;
- de landbouwer stelt voor 1 februari van het betreffende jaar een bemestingsplan op en herziet dat steeds wanneer een wijziging in de daadwerkelijke bemesting plaatsvindt; en
- de fosfaattoestand en het stikstofleverend vermogen van de tot het bedrijf behorende landbouwgrond wordt minimaal eens per vier jaar vastgesteld door een erkend laboratorium, waarbij minimaal één monster per vijf ha wordt genomen (mits de grond homogeen is qua samenstelling en gebruik).

### *Gebruiksnormen voor stikstof*

Voor elk gewas en/of teelt heeft de Nederlandse overheid per grondsoort vastgesteld hoeveel werkzame stikstof aan zo'n gewas mag worden toegediend. Deze gebruiksnormen waren oorspronkelijk gebaseerd op de stikstofbemestingsadviezen, zoals vastgesteld door de diverse adviescommissies. Naderhand zijn deze stikstofgebruiksnormen aangescherpt, met name op uitspoelingsgevoelige gronden (zand- en lössgronden), teneinde ook daar de voorgenomen milieunormen te kunnen halen.

Stikstofgebruiksnormen zijn vastgesteld per grondsoort en teelt, maar mogen worden toegepast op bedrijfsniveau. Dat wil zeggen dat de beschikbare hoeveelheid stikstof op bedrijfsniveau wordt berekend, maar dat een agrarisch ondernemer vrij is om die hoeveelheid stikstof naar eigen inzicht te verdelen over zijn gewassen en teelten. De verwachting is dat bij het vijfde actieprogramma (de jaren na 2013) deze gebruiksnormen voor stikstof verder naar beneden zullen worden bijgesteld.

In de berekening van het toegestane gebruik aan stikstof tellen alle meststoffen mee, zowel organische als minerale (kunst)meststoffen. Stikstof uit kunstmest telt voor 100% mee voor de stikstofgebruiksnormen. Omdat niet alle stikstof uit organische meststoffen beschikbaar komt voor het gewas, wordt voor deze meststoffen gerekend met een stikstofwerkingscoëfficiënt. De stikstofwerkingscoëfficiënt is het percentage van de stikstof uit een organische meststof dat even goed

werkt als breedwerpig toegediende kunstmeststikstof (kalkammonsalpeter). Voor drijfmest geldt over het algemeen een stikstofwerkingscoëfficiënt van 60% (voor bouwland op zand en löss is dit 70% behalve voor runderdrijfmest), voor vaste mest van 55% bij varkens, pluimvee en nertsen en 40% voor overige vaste mesten. Voor compost geldt een stikstofwerkingscoëfficiënt van 10%, voor champost van 25% en voor zuiveringsslib van 40% (zie Bijlage 1).

#### *Gebruiksnormen voor fosfaat*

De fosfaatgebruiksnormen zijn niet afgeleid van de Europese Nitraatrichtlijn, maar zijn wel ingesteld om andere Europees vastgestelde doelen te halen. Daarbij gaat het met name om de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater, zoals vastgelegd in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Het doel van de fosfaatgebruiksnormen is om het areaal fosfaatverzadigde gronden terug te dringen. Dat leidt tot een vermindering van de uitspoeling en de afspoeling van fosfaat. Daarnaast moet er wel voldoende ruimte blijven om een optimale, landbouwkundige toestand van de landbouwpercelen in stand te houden. Fosfaatarme percelen moeten voldoende bemest kunnen worden.

In het vierde actieprogramma zijn de fosfaatsnormen ten opzichte van die in 2009 weer aangescherpt. Bovendien wordt vanaf 2010 zowel voor grasland als voor bouwland onderscheid gemaakt in gronden met "hoge", met "neutrale" en met "lage" fosfaattoestand. Voor grasland wordt het onderscheid gemaakt op basis van het P-AL-getal, voor bouwland op basis van het Pw-getal. In Tabel 0.1 staan de grenzen voor de diverse fosfaatklassen aangegeven.

Tabel 0.1. Klasse-indeling voor de fosfaatgebruiksnormen op basis van de fosfaattoestand van de bodem (op grasland bepaald met P-AL en op bouwland met Pw), inclusief arealen per klasse.

Grondgebruik	Parameter	Fosfaattoestand		
		"laag"	"neutraal"	"hoog"
Grasland	P-AL-getal	< 27 (202.000 ha)	27 – 50 (570.000 ha)	> 50 (228.000 ha)
Bouwland	Pw-getal	< 36 (267.700 ha)	36 – 55 (307.700 ha)	> 55 (355.600 ha)

De fosfaatgebruiksnorm die bij de verschillende fosfaatklassen hoort staat per kalenderjaar in Tabel 0.2. Ten opzichte van 2009 heeft in vrijwel alle gevallen een aanscherping plaatsgevonden. Uiteindelijk zal in 2015 de fosfaatgebruiksnorm op gronden met een neutrale fosfaattoestand gedaald zijn tot 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha op grasland en 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> op bouwland.

Voor gronden met een erg lage fosfaattoestand geldt dat er reparatiebemesting mag worden toegepast. Wanneer uit een bodemanalyse blijkt dat het P-AL-getal op grasland lager is dan 16 of het Pw-getal op bouwland lager is dan 25, dan mag gedurende vier jaren een gift van 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha worden toegediend. Op bouwland mag daarvan maximaal 85 kg uit organische meststoffen afkomstig zijn.

Tabel 0.2. Fosfaatgebruiksnormen per fosfaatklasse, 2010 – 2015 (in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha).

Grondgebruik	Fosfaattoestand	2010	2011	2012	2013	2014 <sup>1)</sup>	2015 <sup>1)</sup>
Grasland	Hoog	90	90	85	85	85	80
	Neutraal	95	95	95	95	95	90
	Laag	100	100	100	100	100	100
Bouwland	Hoog	75	70	65	60	55	50
	Neutraal	80	75	70	65	65	60
	Laag	85	85	85	85	80	75

1) De fosfaatsnormen voor 2014 en 2015 zijn indicatief en zullen pas in het vijfde actieprogramma worden vastgesteld.



## Bijlage 2. Maximale gehalten voor zware metalen en organische microverontreinigingen in meststoffen

Uit Bijlage Ab. van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet

Tabel 1. Maximale waarden voor zware metalen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel.

zware metalen	Maximale waarden in mg per kg van het desbetreffende waardegevende bestanddeel				
	fosfaat	stikstof	kali	neutraliserende waarde	organische stof
<i>Cd (Cadmium)</i>	31,3	25	16,7	6,3	0,8
<i>Cr (Chroom)</i>	1875	1500	1000	375	50
<i>Cu (Koper)</i>	1875	1500	1000	375	50
<i>Hg (Kwik)</i>	18,8	15	10	3,8	0,5
<i>Ni (Nikkel)</i>	750	600	400	150	20
<i>Pb (Lood)</i>	2500	2000	1333	500	67
<i>Zn (Zink)</i>	7500	6000	4000	1500	200
<i>As (Arseen)</i>	375	300	200	75	10

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kilogram fosfaat, 100 kg stikstof, 150 kilogram kali, 400 kilogram neutraliserende waarde of 3000 kilogram organische stof het éérs wordt bereikt.

Tabel 2. Maximale waarden voor organische microverontreinigingen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel

organische microverontreinigingen	maximale waarden in mg per kg van het desbetreffende waardegevende bestanddeel				
	fosfaat	stikstof	kali	neutraliserende waarde	organische stof
$\Sigma$ PCDD/PCDF	0,019	0,015	0,010	0,0038	0,00051
$\alpha$ -HCH	310	248	165	62	8,3
$\beta$ -HCH	12	9,6	6,4	2,4	0,32
$\gamma$ -HCH (lindaan)	1,2	0,96	0,64	0,24	0,032
HCB	31	31,2	20,8	7,8	1,0
Aldrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Dieldrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
$\Sigma$ aldrin/dieldrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Endrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Isodrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
S endrin/isodrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
S DDT + DDD + DDE	23	18,4	12,3	4,6	0,6
PCB-28	18,5	14,8	9,9	3,7	0,48
PCB-52	18,5	14,8	9,9	3,7	0,48
PCB-101	75	60	40	15	2
PCB-118	75	60	40	15	2
PCB-138	75	60	40	15	2
PCB-153	75	60	40	15	2
PCB-180	75	60	40	15	2
$\Sigma$ 6-PCB (excl. PCB-118)	375	300	200	75	10
Naftaleen	600	480	320	120	16
Fenanthreen	750	600	400	150	20
Antraceen	600	480	320	120	16
Fluoranteen	185	148	98	37	4,9
Benzo(a)antraceen	230	184	123	46	6,1
Chryseen	230	184	123	46	6,1
Benzo(k)fluoranteen	270	216	144	54	7,2
Benzo(a)pyreen	290	232	155	58	7,7
Benzo(g,h,i)peryleen	210	168	112	42	5,6
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	235	188	125	47	6,3
$\Sigma$ 10-PAK	11500	9200	6133	2300	307
Minerale olie	935000	748000	498668	187000	24933

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kilogram fosfaat, 100 kg stikstof, 150 kilogram kali, 400 kilogram neutraliserende waarde of 3000 kilogram organische stof het éérs wordt bereikt.

Tabel 3. Maximale waarden voor zware metalen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel

Zware metalen	Maximale waarden in milligrammen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel			
	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO in CaSO <sub>4</sub> -meststof
Cd	33	33	42	2,5
Cr	2000	2000	2500	150
Cu	2000	2000	2500	150
Hg	20	20	25	1,5
Ni	800	800	1000	60
Pb	2667	2667	3333	200
Zn	8000	8000	10000	600
As	400	400	500	30

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 75 kilogram magnesiumoxide, 75 kilogram zwaveltrioxide of 60 kilogram natriumoxide het éérs wordt bereikt. Voor calciumsulfaat gelden de vermelde maximale waarden.

Tabel 4. Maximale waarden voor organische microverontreinigingen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel

Organische microverontreinigingen	Maximale waarden in milligram per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel			
	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO in CaSO <sub>4</sub> -meststof
∑ PCDD/PCDF	0,020	0,020	0,025	0,00152
α-HCH	331	331	413	24,8
β-HCH	12,8	12,8	16	0,96
γ-HCH (lindaan)	1,3	1,3	1,6	0,10
HCB	41,6	41,6	52,0	3,12
Aldrin	7,5	7,5	9,3	0,56
Dieldrin	7,5	7,5	9,3	0,56
∑ aldrin/dieldrin	7,5	7,5	9,3	0,56
Endrin	7,5	7,5	9,3	0,56
Isodrin	7,5	7,5	9,3	0,56
∑ endrin/isodrin	7,5	7,5	9,3	0,56
∑ DDT + DDD + DDE	24,5	24,5	30,7	1,84
PCB-28	19,7	19,7	24,7	1,48
PCB-52	19,7	19,7	24,7	1,48
PCB-101	80	80	100	6
PCB-118	80	80	100	6
PCB – 138	80	80	100	6
PCB – 153	80	80	100	6
PCB – 180	80	80	100	6
∑ 6-PCB (excl. PCB-118)	400	400	500	30
Naftaleen	640	640	800	48
Fenanthreen	800	800	1000	60
Antraceen	640	640	800	48
Fluoranteen	197	197	247	15
Benzo(a)antraceen	245	245	307	18
Chryseen	245	245	307	18
Benzo(k)fluoranteen	288	288	360	22
Benzo(a)pyreen	309	309	387	23
Benzo(g,h,i)peryleen	224	224	280	17
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	251	251	313	19
∑ 10-PAK	12267	12267	15333	920
Minerale olie	997333	997333	1246667	74800

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 75 kilogram magnesiumoxide, 75 kilogram zwaveltrioxide of 60 kilogram natriumoxide het éérs wordt bereikt. Voor calciumsulfaat gelden de vermelde maximale waarden.