



# Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten

Deskstudie in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten

Alterra-rapport 2185  
ISSN 1566-7197

P.A.I. Ehlert en P. Hoeksma



---

Landbouwkundige en milieukundige perspectieven  
van mineralenconcentraten

---

---

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van Toetsing Effecten Mineralenconcentraat, project BO-12.02-006-002 voor het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

---

---

# Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten

Deskstudie in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten

P.A.I. Ehlert<sup>1</sup> en P. Hoeksma<sup>2</sup>

1 Alterra

2 Wageningen UR Livestock Research

## **Alterra-rapport 2185**

Alterra, onderdeel van Wageningen UR  
Wageningen, 2011

## Referaat

Ehlert, P.A.I. en P. Hoeksma, 2011. *Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten. Deskstudie in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2185. 76 blz.; 1 fig.; 17 tab.; 53 ref.

Mineralenconcentraten als kunstmestvervanger is één van de oplossingsrichtingen om de druk op de mestmarkt te verlichten. De Rijksoverheid ondersteunt pilots die mineralenconcentraten maken uit varkens- en runderdrijfmest door middel van omgekeerde osmose. De deskstudie onderzoekt de landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten en de dikke fractie. Mineralenconcentraten zijn in hoofdzaak oplossingen van minerale stikstof en kalium. Literatuurgegevens wijzen uit dat de werkingscoëfficiënt van stikstof op grond van de samenstelling gelijk is aan die van reguliere minerale stikstofoplossingen maar er zijn onzekerheden bij de bepaling van de werkelijke effectiviteit omdat de mate van ammoniakvervluchtiging, nitrificatie, denitrificatie en immobilisatie na toediening van een mineralenconcentraat niet vast staan. Kalium zal volledige beschikbaar zijn voor het gewas. Het gebruik van de dikke fractie wordt bepaald door fosfor. Bij verantwoord landbouwkundig gebruik binnen het stelsel van gebruiksnormen zijn de vrachten aan cadmium, chroom, koper, kwik, nikkel, lood en zink verantwoord laag. Deze contaminanten vormen geen aandachtspunt.

Trefwoorden: Mineralenconcentraat, kunstmestvervanger, omgekeerde osmose, mestscheiding, dikke fractie, varkensdrijfmest, rundveedrijfmest, samenstelling, stikstof, fosfor, kalium, secundaire nutriënten, sporelementen, zware metalen en arseen.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl) (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op [www.rapportbestellen.nl](http://www.rapportbestellen.nl).

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)  
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

**Alterra-rapport 2185**  
Wageningen, mei 2011

# Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Verantwoording aanpak	13
2.1 Gegevensverzameling van producten van mestverwerking	13
2.2 Gegevensbewerking	13
2.3 Literatuuronderzoek	14
3 Waardegevende bestanddelen	15
3.1 Hoofdelementen	15
3.2 Secundaire elementen	18
3.3 Spoorelementen	20
4 Landbouwkundige waarde	23
4.1 Stikstof	23
4.1.1 Werkingscoëfficiënt uit minerale en organische fractie	24
4.1.2 Werkingscoëfficiënt uit speciatie van stikstofvormen	25
4.2 Fosfaat	36
4.3 Kalium	38
4.4 Secundaire nutriënten	39
4.5 Spoorelementen	40
4.6 Verhoudingen tussen nutriënten	40
5 Milieuhygiënische aspecten	45
6 Discussie en conclusies	47
Literatuur	49
Bijlage 1 Soortelijke gewicht, drogestof, ruw-as, organische stof, pH en nutriënten	53
Bijlage 2 Secundaire nutriënten	63
Bijlage 3 Spoorelementen	69





# Samenvatting

De groei van de (intensieve) veehouderij in Nederland heeft geleid tot een productie van dierlijke mest die landbouwgronden in Nederland vanuit milieukundig oogpunt belast. Er is daardoor een mestoverschot ontstaan dat door de mestwetgeving wordt gereguleerd en afgebouwd tot milieukundig aanvaardbare niveaus. Eén van de oplossingsrichtingen voor de reductie van het mineralenoverschot is de productie van een mineralenconcentraat door een industrieel proces gebaseerd op omgekeerde osmose uit een dunne fractie van (vergiste) drijfmest. Als dit mineralenconcentraat een erkenning als 'kunstmeststof' kan verwerven is de verwachting dat hiermee anorganische kunstmest wordt vervangen waardoor het overschot aan dierlijke mineralen vermindert. De Nederlandse overheid ondersteunt acht pilots over de productie van een mineralenconcentraat. Deze studie gaat in op de landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten en de dikke fractie die resteren. De studie maakt gebruik van meetgegevens van de monitoring in 2009 en 2010 door Wageningen UR Livestock Research op de pilotbedrijven en brengt die in samenhang met literatuurgegevens.

Alle producten van mestverwerking bevatten meer dan één waardevol bestanddeel als meststof waardoor meerdere gebruiksfuncties mogelijk zijn. Een mineralenconcentraat kan zowel de functie van een stikstofmeststof als van een kalimeststof uitoefenen. Bij de dikke fractie bepaalt fosfor het landbouwkundig gebruik. De spreiding in waardevolle bestanddelen in mestconcentraten en dikke fracties is groot. Deze spreiding is groter dan in kunstmest wordt aangetroffen en overschrijdt toleranties voor stikstofkunstmeststoffen die het label EG-meststof voeren. In mineralenconcentraten komt stikstof in hoofdzaak (90%) in ammoniumvorm voor. Het organisch gebonden stikstof is laag (~10% van de totale-N), maar er is een aanzienlijk bereik vastgesteld. De kat- en anionenbalans van mineralenbalansen is niet sluitend, er ontbreekt informatie over de gehalten (concentraties) aan bicarbonaat en (vluchtige) vetzuren. De stikstofverbindingen in een mineralenconcentraat zijn daardoor niet volledig bekend. De effectiviteit van de stikstof van het mineralenconcentraat is onzeker, omdat de oplossing alkalisch is waardoor ammoniakvervluchtiging kan optreden. Vluchtige vetzuren zullen daarnaast een effect uitoefenen op processen van de stikstofkringloop: nitrificatie, denitrificatie en mogelijk ook immobilisatie. Dit zou kunnen leiden tot een lagere werkingscoëfficiënt. Echter ook oplossingen van stikstofkunstmeststoffen hebben lagere werkingscoëfficiënten dan breedwerpig toegediende kalkammonsalpeter. Bij grasland blijkt dat het aanbrengen van een injectiesnede een factor is die bijdraagt aan een verlaging van de stikstofwerking. Gelet op de resultaten die verkregen zijn met oplossingen van kunstmeststoffen is de verwachting dat mits ammoniakemissie onder controle wordt gehouden en mits de vluchtige vetzuren in een mineralenconcentraat beperkt aanwezig zijn, mineralenconcentraten even effectief zijn als stikstofkunstmestoplossingen.

De fosfaatwerking van de producten van mestverwerking wordt gelijk gesteld aan die van dierlijke meststoffen voor bewerking. IJzerzouten dienen te worden vermeden omdat daardoor fosfaat in de dikke fractie niet meer voor de voeding van het gewas beschikbaar is.

De kaliumwerking van mineralenconcentraten en van de dikke fractie is gelijk aan die van reguliere kalimeststoffen. De gehalten aan spoorelementen in mineralenconcentraten geven geen meerwaarde aan mineralenconcentraten. De giften aan secundaire - en spoorelementen met dikke fracties hebben landbouwkundige betekenis door hun gift bij gebruik van de dikke fractie als fosfaatmeststof. Bemestingsplannen vragen om kennis van de exacte samenstelling van een dikke fractie om het gewas verantwoord te voorzien in noodzakelijke giften aan stikstof, fosfaat en/of kali. Daarnaast vormen de gehalten een essentieel onderdeel van de vaststelling van de gebruikruimte. De gehalten aan zware metalen Cd, Cr, Ni, Pb en As vormen geen aandachtspunt bij mineralenconcentraten.



# 1 Inleiding

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en export van mest, gezien als mogelijkheid om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Eén van de mogelijkheden is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat uit omgekeerde osmose (OO) van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger.

Het mineralenconcentraat is een met industrieel proces vervaardigde meststof conform de definitie van kunstmest in de Nitraatrichtlijn. Het is te verwachten dat het concentraat andere kenmerken heeft dan dierlijke mest. Maar tegelijk valt het concentraat ook onder de definitie van dierlijke mest uit de Nitraatrichtlijn, zelfs na bewerking. En daarmee blijft gebruik ervan beperkt door de gebruiksnormen voor dierlijke mest.

Het landbouwbedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende 2009 en 2010, met instemming van de Europese Commissie, de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en gebruik van het mineralenconcentraat ter vervanging van kunstmest onderzocht. Dit past in het streven om tot een verantwoorde afzet van dierlijke meststoffen te komen en het past in het streven om mineralenkringlopen verder te sluiten. De gegevens uit het onderzoek dienen voor het overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmestvervanger. Dit betekent dat mineralenconcentraat dan bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest maar binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof kan worden toegepast.

In de pilot nemen acht producenten deel en honderden gebruikers. Elke producent beheert een installatie waarmee mineralenconcentraat wordt geproduceerd. De gebruikers zijn akkerbouwers en veehouders die het mineralenconcentraat als meststof gebruiken. De gegevens uit het onderzoek dienen ook voor het opstellen van technische dossiers van het concentraat. Dit technische dossier wordt gebruikt voor toetsing van de mineralenconcentraten aan de Europese regelgeving voor minerale meststoffen (EG-meststof) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (Van Dijk et al., 2009).

Gedurende 2009 en 2010 zijn in het kader van de pilot de volgende studies uitgevoerd:

- Monitoring van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties.
- Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit deze installaties als meststof.
- Gebruikerservaringen en een economische analyse van het gebruik van mineralenconcentraten in de pilot.
- Life Cycle Analysis (LCA).

De pilot is eind 2010 met maximaal één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van de milieukundige effecten.

Het onderzoek werd gefinancierd door het productschap Zuivel, het productschap Vee en Vlees, het ministerie van EL&I en het ministerie van I&M. De regie van het onderzoek en gerelateerde zaken in de pilot vond plaats door het ministerie van EL&I, het ministerie van I&M, LTO en NVV.

Het voorliggende rapport presenteert de resultaten van landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit deze installaties als meststof over de jaren 2009 en 2010.

De pilot is in 2008 gestart. De pilot wordt ook in 2011 voortgezet. Deze pilot geeft informatie over:

- Landbouwkundige waarde van mineralenconcentraten in vergelijking tot die van kunstmest en dierlijke mest.
- Fysisch chemische eigenschappen van mineralenconcentraat, zoals samenstelling, homogeniteit in de tijd, stabiliteit en de gewasbeschikbaarheid van nutriënten voor opname door de gewassen.
- Milieukundige effecten van gebruik van mineralenconcentraten bij verantwoord landbouwkundig gebruik.
- De eventuele risico's op extra milieubelasting bij het gebruik van het mineralenconcentraat in de praktijk boven op de gebruiksnorm voor dierlijke meststoffen.

Naast de milieutechnische en landbouwkundige aspecten zal uit de pilot ook moeten blijken of de groot-schalige productie van mineralenconcentraat economisch haalbaar is.

Mineralenconcentraten zijn niet de enige producten die ontstaan in de Pilot Mineralenconcentraat. De (tussen-) producten van mestverwerking in de pilot zijn:

- mineralenconcentraat (ook wel concentraat RO<sup>1</sup> genoemd of kunstmestvervanger)
- concentraat van ultrafiltratie (UF)
- dikke fractie
- droog product (gedroogde dikke fractie van covergiste varkensmest)
- dunne fractie
- ingaand RO (tussenproduct dat de omgekeerde osmose ingaat)
- permeaat ionenwisselaar
- permeaat RO
- permeaat UF

De processen van mestverwerking waarbij deze tussen- en eindproducten vrijkomen, zijn beschreven door Hoeksma et al. (2011).

Concentraat RO, dikke fractie en droog product worden uiteindelijk bestemd voor landbouwkundige gebruik als meststof. Tussenproducten kunnen mogelijk een landbouwkundige toepassing krijgen. In het kader van de pilot is landbouwkundig onderzoek uitgevoerd naar de werking van stikstof van mineralenconcentraten en de dikke fractie. Bij de dikke fractie is ook de werkingscoëfficiënt van fosfaat onderzocht (Schröder et al., 2009).

Onderzoek met veldproeven in de periode 2009-2010 geeft een wisselend beeld over de werking van de stikstof van mineralenconcentraten (Velthof, 2009). De werkingscoëfficiënten ten opzichte van de reguliere en in Nederland meest gebruikte kunstmest kalkammonsalpeter (KAS) vallen lager uit dan verwacht werd. Stikstof van mineralenconcentraten is daardoor minder beschikbaar voor het gewas. Ook de fosfaatwerking van de dikke fractie toonde een zeer variabele werking (Schröder et al.). De gevonden variatie wordt toegeschreven aan het wisselend gebruik van ijzerchloride als coagulatiemiddel (vlokmiddel).

Doel van deze deskstudie is de landbouwkundige en milieukundige aspecten van mineralenconcentraten door middel van literatuuronderzoek te verkennen en in het bijzonder om verklaringen te vinden voor de vast-gestelde lagere beschikbaarheid. Er wordt ook aandacht gegeven aan de overige producten die een landbouw-kundige toepassing (kunnen) krijgen. De deskstudie combineert gemeten samenstellingen van de producten met onderzoeksresultaten van het onderzoek met veldproeven en gegevens uit in de wetenschappelijke (vak)-literatuur. Daarbij wordt ingegaan op de gebruiksfunctie van de producten van mestverwerking. Tevens worden

---

<sup>1</sup> RO: *reversed osmosis* of omgekeerde osmose. Dit rapport hanteert dezelfde afkortingen die ook in andere publicaties van het project worden gegeven.

de milieuhygiënische gevolgen bij verantwoord landbouwkundig gebruik behandeld. Tenslotte wordt de plaats van mineralenconcentraten in wet- en regelgeving gegeven.

De rapportage maakt gebruik van de meetgegevens uit het onderzoek van Wageningen UR Livestock Research op de deelnemende bedrijven aan de pilot. Deze meetgegevens zijn verzameld in het kader van het monitoringsprogramma dat door Hoeksma et al. (2011) is beschreven.

Het rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de verzameling en bewerking van de gegevens beschreven. In hoofdstuk 3 worden de meetgegevens van producten van verwerking van dierlijke mest en in het bijzonder mineralenconcentraten gegeven. Daarbij worden op basis van de gemeten samenstelling de mogelijke landbouwkundige waarde gegeven. Deze wordt in samenhang gebracht met de ervaringen van het veldonderzoek. In hoofdstuk 4 worden resultaten van literatuuronderzoek gegeven en wordt een vergelijking uitgevoerd met de meetgegevens gepresenteerd in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 5 worden de milieuhygiënische aspecten bij verantwoord landbouwkundig gebruik van producten van de verwerking van dierlijke mest behandeld. De reguliere samenstellingseisen voor kunstmeststoffen in EU en in Nederland worden hierbij ook betrokken. Ten slotte worden in hoofdstuk 6 de bevindingen gegeven, de conclusies getrokken en worden aanbevelingen gedaan voor perspectievolle toepassingen van mineralenconcentraten na RO.



## 2 Verantwoording aanpak

### 2.1 Gegevensverzameling van producten van mestverwerking

In deze deskstudie worden twee verschillende bronnen van gegevens gebruikt.

Eerst worden meetgegevens van het monitoringsprogramma op de acht deelnemende bedrijven door Wageningen UR Livestock Research gegeven. Het monitoringsprogramma met de daarbij gebruikte bemonsteringsprotocollen en analysemethoden, die door het uitvoerend AFSG milieulaboratorium van Wageningen UR zijn toegepast, zijn gegeven door Hoeksma et al. (2011). In beginsel volgen deze analysemethoden AP05 (bijlage H van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet). De data zijn afkomstig het monitoringsprogramma van de periode 2009-2010. Het databestand omvat meetgegevens van 533 analyses van 'substraat vergister', digestaat, dikke fractie, dunne fractie, permeaat UF, droog product, concentraat UF, concentraat RO, permeaat RO en permeaat ionenwisselaar. Zeven bedrijven verwerken varkensmest, één bedrijf verwerkt rundermest. Het aantal analyses en parameters waarop geanalyseerd werd, verschilt per product. Het project is verlengd met een derde jaar van onderzoek. De database wordt daardoor in 2011 aangevuld met nieuwe meetgegevens. De in deze rapportage gegeven samenstellingen van producten van verwerking van dierlijke mest geven de stand van zaken weer (dagtekening 15 februari 2011). De bepaling van ammoniumstikstof in dierlijke mest, digestaat, dikke fracties van dierlijke mest en in het gedroogde product van digestaat berust op  $WI\ 4.25-103^2$ ; in overige producten is  $WI\ 4.25-114^3$ . Organische stof is berekend als het verschil tussen de gehalten aan drogestof en ruw as.

De tweede bron zijn gegevens uit publicaties. Meetgegevens zijn afkomstig van zowel publicaties *peer-reviewed* als uit technische vakbladen en onderzoeksrapporten.

De analyseresultaten in dit rapport worden gegeven op element- en gewichtsbasis. Dit wijkt bij fosfor en kalium af van gebruikelijke declaratie bij meststoffen op basis van fosforpentoxide ( $P_2O_5$ ) en kali ( $K_2O$ ).

### 2.2 Gegevensbewerking

Meetgegevens van het monitoringsprogramma zijn bewerkt tot de standaard statistische grootheden (gemiddelde, mediaan, minimum en maximum, standaardafwijking, aantal waarnemingen). Detectiegrenzen zijn als meetwaarde gehanteerd. Bij de deskstudie worden gemiddelden en mediaanwaarden gegeven zonder onderscheid naar bedrijf en aantallen monsters per bedrijf te maken. Mineralenconcentraten zijn opgevat als één product.

Verkenningen naar kationen- en anionenbalansen berusten op schattingen. Deze balansen werden berekend door gehalten van de kationen  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  en  $Mg^{2+}$  en de anionen  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  en  $NO_3^-$  om te rekenen naar meq per kg product. Complexvorming en -pH-afhankelijke - speciatie van kationen en anionen zijn niet betrokken bij de schattingen.

---

<sup>2</sup> Bepaling van ammoniumstikstof in dierlijke mest. Distillatiemethode.

<sup>3</sup> Bepaling van ammoniumstikstof in vloeistof. Fotometrische methode.

Statistische analyses op effecten van verandering van een parameter per product in de tijd berusten op observationele multivariate regressie-analyse.

Variantie-analyse (*Analysis of variance*, ANOVA, ongebalanceerd) werd toegepast om mogelijk verschil in waardegevende bestanddelen tussen producten en bedrijven te onderzoeken. Het aantal meetgegevens per deelnemend bedrijf varieert. Van de bedrijven G en H zijn weinig gegevens beschikbaar. In deze rapportage is de verzameling van gegevens aangemerkt als een observationele database; een weging naar herkomst van een specifiek bedrijf of dierlijke mest werd niet uitgevoerd. Toetsingen op statistisch significante verschillen berusten op een onbetrouwbaarheidsdrempel van 0,05 (5%).

## 2.3 Literatuuronderzoek

Gegevensbestanden van *Wageningen UR Digital Library*<sup>4</sup> zijn geraadpleegd op de beschikbaarheid van landbouwkundige en milieukundige gegevens van producten van mestverwerking en in het bijzonder op gegevens over mineralenconcentraten. Verzamelde gegevens werden gestandaardiseerd naar de eenheden die genoemd zijn bij 2.1. Verzamelde gegevens zijn gerefereerd.

---

<sup>4</sup> <http://library.wur.nl/desktop/>



## 3 Waardegevende bestanddelen

Waardegevende bestanddelen van meststoffen zijn de hoofdelementen stikstof, fosfor<sup>5</sup> en kalium<sup>1</sup>, de secundaire elementen Ca, Mg, Na en S en de spoorelementen B, Cu, Fe, Mn, Mo en Zn. Deze waardegevende bestanddelen zijn de nutriënten of mineralen en dienen voor de voeding van het gewas. Daarnaast zijn organische stof en neutraliserende waarde waardegevende bestanddelen. Deze bestanddelen dienen vooral de verbetering van de bodemkwaliteit (bodemleven, structuur, pH). Voor veevoeding zijn de mineralen Co, Cu, Se en Zn belangrijk. Deze mineralen worden vaak aan meststoffen toegediend om zo een betere verdeling over het veld en bodem te bewerkstelligen. Als zodanig zijn het bestanddelen waarmee rekening gehouden kan worden. De gehalten aan hoofdelementen in mineralenconcentraten en dikke fracties van varkensmest en rundveedrijfmest (rdm) en ook de gehalten aan drogestof, organische stof en soortelijk gewicht worden gegeven in tabel 1. Bijlage 1 geeft deze gegevens van alle (tussen)producten. Dit hoofdstuk focust op de belangrijkste producten van mestverwerking: het mineralenconcentraat en de dikke fractie.

### 3.1 Hoofdelementen

Zowel het mineralenconcentraat als de dikke fractie bevatten meer dan één waardegevend bestanddeel van een meststof. Het waardegevend bestanddeel met het hoogste gehalte is in beide producten de organische stof. Een mineralenconcentraat is een bron van stikstof en kalium; een dikke fractie is een bron van stikstof, fosfor en kalium (tabel 1). Indien vigerende bemestingsadviezen als leidraad worden genomen is er echter bij mengsels van nutriënten altijd één waardegevend bestanddeel of nutriënt aanwezig die de gift bepaalt. Dit is om te voorkomen dat vooral teveel andere nutriënten worden toegediend. Bij mineralenconcentraten bepaalt stikstof meestal het gebruik. Mineralenconcentraten verschillen echter in samenstelling tussen producenten en daarnaast kan de samenstelling in de tijd bij een producent veranderen. Zo is bij een aantal bedrijven kalium het belangrijkste waardegevend bestanddeel.<sup>6</sup> Bedrijven D, E en H produceren in mineralenconcentraten waarvan kalium meestal het landbouwkundig gebruik bepaalt. Soms bepaalt stikstof de dosering. Bij bedrijf D is van 15 van de 19 monsters kalium het belangrijkste waardegevend bestanddeel; vier monsters hebben stikstof als belangrijkste waardegevend bestanddeel. Bedrijf E leverde acht mineralenconcentraten die kalium als belangrijkste waardegevend bestanddeel hebben en bij vier concentraten was het stikstof. Bedrijf H dat als enige rundveedrijfmest verwerkt, produceert mineralenconcentraten waarvan kalium het belangrijkste waardegevend bestanddeel is.

Het gebruik van de dikke fractie wordt bepaald door fosfor. Alleen bedrijven E en G hebben soms een dikke fractie waarvan het gebruik bepaald wordt door stikstof. Bij bedrijf E betreft dat één van de elf bemonsterde producten en bij bedrijf G één van de drie bemonsterde producten.

---

<sup>5</sup> In deze tekst worden fosfor en kalium gehanteerd. De bemestingspraktijk in Nederland is vaak gebaseerd op de begrippen 'fosfaat' en 'kali'. Met fosfaat wordt fosforpentoxide ( $P_2O_5$ ) bedoeld en met kali wordt kaliumoxide ( $K_2O$ ) bedoeld. Dit gangbare gebruik geeft echter geen verantwoord beeld van de chemische vormen van fosfor en kalium in producten van mestverwerking en wordt om die reden niet gehanteerd. De omrekeningsformules van fosfor naar fosfaat is  $P_2O_5 = 2.29 * P$ , voor kalium naar kali is de omrekeningsformule  $K_2O = 1.205 * K$ .

<sup>6</sup> Dit wordt bepaald door de gift aan product te bepalen. Bij stikstof wordt 100 kg N/ha gehanteerd, bij kali 150 kg  $K_2O$ /ha. De laagste gift bepaalt het nutriënt dat het landbouwkundig gebruik stuurt.

**Tabel 1**

Samenstelling van mineralenconcentraten (concentraat RO) en dikke fracties van varkensdrijfmesten en rundveedrijfmest (rdm).

Product	Parameter	Eenheid	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal monsters
concentraat RO	Soortelijk gewicht	kg/l	1,03	1,03	1,02	1,04	0,001	95
	Drogestof	g/kg	33,0	33,5	15,2	58,2	0,879	101
	Organische stof (berekend)	g/kg	13,5	13,0	0,00	34,7	0,629	102
	pH		7,95	7,93	7,25	8,62	0,025	101
	N-totaal	g/kg	6,99	6,86	3,13	11,0	0,179	101
	Ammonium-N	g/kg	6,27	6,65	1,78	9,53	0,160	101
	P-totaal	g/kg	0,18	0,15	0,00	0,60	0,013	101
	K-totaal	g/kg	7,33	7,51	4,16	9,80	0,130	101
concentraat RO rdm	Soortelijk gewicht	kg/l	1,06	1,06	1,05	1,07	0,004	4
	Drogestof	g/kg	90,9	87,3	68,3	120	11,7	4
	Organische stof (berekend)	g/kg	48,9	45,4	30,2	74,9	10,19	4
	pH		7,01	6,91	6,78	7,43	0,145	4
	N-totaal	g/kg	11,0	11,2	9,73	11,7	0,435	4
	Ammonium-N	g/kg	10,5	10,5	10,0	11,0	0,230	4
	P-totaal	g/kg	0,27	0,28	0,19	0,34	0,032	4
	K-totaal	g/kg	15,7	15,9	13,8	17,2	0,745	4
dikke fractie	Soortelijk gewicht	kg/l	1,12	1,11	1,05	1,17	0,004	39
	Drogestof	g/kg	269	280	66,2	367	5,50	88
	Organische stof (berekend)	g/kg	204	214	47,6	271	4,82	88
	pH		8,21	8,21	8,21	8,21	*	1
	N-totaal	g/kg	11,8	12,0	5,53	15,3	0,196	88
	Ammonium-N	g/kg	5,17	5,12	2,94	7,19	0,110	88
	P-totaal	g/kg	6,79	6,87	1,78	11,2	0,152	88
	K-totaal	g/kg	3,62	3,59	2,20	5,53	0,078	87
dikke fractie rdm	Soortelijk gewicht	kg/l	1,10	1,10	1,09	1,11	0,004	4
	Drogestof	g/kg	260	265	237	274	8,06	4
	Organische stof (berekend)	g/kg	193	194	178	206	6,49	4
	pH		*	*	*	*	*	0
	N-totaal	g/kg	10,4	10,5	9,08	11,6	0,557	4
	Ammonium-N	g/kg	3,76	3,80	3,46	3,98	0,109	4
	P-totaal	g/kg	4,70	4,91	3,81	5,15	0,316	4
	K-totaal	g/kg	4,51	4,63	3,99	4,79	0,178	4

Het gebruik van de dunne fractie van mestscheiding wordt in 9<sup>7</sup> van de 91 monsters bepaald door kalium en in de overige gevallen door stikstof. Het gebruik van digistaat wordt bepaald door stikstof. Het gebruik van het gedroogde product van digestaat<sup>8</sup> van bedrijf A wordt bepaald door fosfor. De samenstellingen in tabel 1 en bijlage 1 wijzen in het algemeen uit dat stikstof het landbouwkundig gebruik van (tussen)producten van mestverwerking bepaalt. De stikstofwerking wordt bepaald door de gehalten aan totaal-stikstof, organisch gebonden stikstof en ammoniumstikstof. Nitraatstikstof komt niet voor.

In de oplossingen komt stikstof vooral in de vorm van ammoniumstikstof voor, in de vaste vormen is stikstof meest organisch van aard. Het landbouwkundig gebruik van het permeaat van Ultrafiltratie (UF) wordt - als daar een landbouwkundige bestemming aan gegeven zou moeten worden - bepaald door kalium (bijlage 1).

Er is een aanzienlijke spreiding in gehalten aan waardegevende bestanddelen van mineralenconcentraten tussen de producenten. Die spreiding wordt vooral veroorzaakt door verschillen tussen de bedrijven en belangrijk minder door spreiding in de tijd bij een individueel bedrijf. De spreiding in de tijd per bedrijf verschilt. Bedrijven A en B hebben een significante verbetering van het ammoniumstikstofgehalte gerealiseerd in 2010 ten opzichte van 2009. Gemiddeld bevat een mineralenconcentraat 6,5 g NH<sub>4</sub>-N/kg met een standaardafwijking van 1,8 g NH<sub>4</sub>-N/kg (variatiecoëfficiënt=28%). Ook bij kalium is er veel spreiding in gehalten tussen bedrijven en bemonsteringstijdstippen. Deze spreiding kan niet echter verklaard worden uit verschillen tussen bedrijven met uitzondering van bedrijf H dat een tweemaal zo hoog kaliumgehalte heeft in het mineralenconcentraat ten opzichte van andere bedrijven.

Voor de hoofdelementen (N, P, K), drogestof en organische stof is er weinig/geen verschil tussen mediaanwaarden en gemiddelden (tabel 1 en bijlage 1). Variatiecoëfficiënten voor drogestof, organische stof, totaal stikstof, ammoniumstikstof, fosfor en kalium van mineralenconcentraten van varkensmesten zijn respectievelijk 27%, 47%, 26%, 26%, 74% en 17%. Voor het mineralenconcentraat van rundveedrijfmest (gebaseerd op 4 metingen) zijn de variatiecoëfficiënten respectievelijk 26%, 42%, 8%, 4%, 23% en 10%.

Het fosforgehalten in mineralenconcentraten is meestal laag tot zeer laag maar incidenteel komen in mineralenconcentraten wat verhoogde concentraties voor; dit werkt door in de spreiding en in de hoge variatiecoëfficiënten. Het fosforgehalte van de dikke fractie verschilt tussen bedrijven. Bedrijf H heeft het laagste gehalte (4,7 g P/kg). Bij bedrijf A wordt het gehalte hoger in de periode 2009-2010 (van 6,4 naar 8,7 g P/kg) en bij bedrijf E in de periode 2009-2010 lager (van 6,0 naar 4,0 g P/kg). Bij overige bedrijven verandert het fosforgehalte niet in de tijd (bedrijven B,C, D, F en G respectievelijk 6,3, 6,9, 7,1, 8,0 en 6,0 g P/kg). Variatiecoëfficiënten voor drogestof, organische stof, totaal stikstof, ammoniumstikstof, fosfor en kalium van dikke fracties van varkensmesten zijn respectievelijk 29%, 22%, 16%, 20%, 21% en 20%. Voor het mineralenconcentraat van rundveedrijfmest (gebaseerd op 3 metingen) zijn deze variatiecoëfficiënten respectievelijk 6,2%, 6,7%, 10,7%, 5,8%, 13,5% en 7,9%.

Variatiecoëfficiënten verschillen per bedrijf. Mineralenconcentraten en dikke fracties van de bedrijven C en F vertonen minder variatie dan bedrijf E.

Het soortelijk gewicht van mineralenconcentraten kent nauwelijks spreiding (variatiecoëfficiënt 0,7%) maar overige parameters variëren aanzienlijk (tabel 1).

---

<sup>7</sup> Dit betreft vijf van de veertien monsters van bedrijf D en vier van de twaalf monsters van bedrijf E.

<sup>8</sup> Dit is een gedroogde dikke fractie co-vergiste mest van bedrijf A.

Het gedroogde product heeft het hoogste stikstofgehalte. De dunne fractie van dierlijke mest bevat minder stikstof dan een mineralenconcentraat (bijlage 1). Een mineralenconcentraat bevat minder stikstof dan de dikke fractie (tabel 1). De stikstofvorm van een mineralenconcentraat is in hoofdzaak ammoniumstikstof (gemiddeld 90%, bereik 53-99% van het totaal-N-gehalte), ook in de dunne fractie van dierlijke mest komt ammoniumstikstof voor (gemiddeld 83% van N-totaal, bereik 34-97%). Een variabel deel is als organisch gebonden stikstof aanwezig. De dikke fractie van dierlijke mest bevat vooral organisch gebonden stikstof (gemiddeld 56% van N-totaal, bereik 37-71%).

Het droge product van bedrijf A heeft een vergelijkbaar fosforgehalte als de dikke fractie mits rekening gehouden wordt met het drogestofgehalte.

De permeaten hebben duidelijk lagere waarden aan waardegevende bestanddelen. Deze producten hebben in beginsel echter geen landbouwkundige bestemming als meststof.

Alle producten bevatten organische stof met uitzondering van het permeaat van ionenwisseling.

Alle producten hebben een hoge pH (tabel 1, bijlage 1). Het permeaat van ionenwisseling vormt daarop soms een uitzondering. De pH kent grotere schommelingen (bereik: 4,97 - 9,88).

## 3.2 Secundaire elementen

Gehalten aan secundaire nutriënten verschillen per product (tabel 2). In de dikke fractie komen de secundaire elementen voor die makkelijk neerslagen met anionen vormen: calcium en magnesium en zwavel/sulfaat. Eenwaardige kationen (ammonium-N, kalium, natrium) komen vooral voor in de mineralenconcentraten. Gemiddelden en mediaanwaarden komen overeen. Sulfaat vormt een uitzondering dat veroorzaakt wordt door incidentele hoge gehalten. Door te herleiden op de drogestof wordt het onderscheid tussen mineralenconcentraten en dikke fracties in de verdeling van kationen contrasterender (tabel 3). Dit wordt geïllustreerd met waarden voor de mediaan.

Het aantal waarnemingen aan mineralenconcentraten van runderdrijfmest is te beperkt om uitsluitsel te krijgen of het verschil in samenstelling qua gehalten aan secundaire elementen echt afwijkend is van die van de mineralenconcentraten van varkensdrijfmest. Het verschil is sulfaatgehalten in het mineralenconcentraat van runderdrijfmest (bedrijf H) is groot. Het aantal waarnemingen is laag (4). Ook bij mineralenconcentraten van varkensmest zijn bij bedrijf B sulfaatgehalten aangetroffen van een vergelijkbare orde van grootte<sup>9</sup> (data niet gegeven).

---

<sup>9</sup> Verwerking van spuiwater bij één van de bedrijven, een zwak zure ammoniumsulfaatoplossing van chemische luchtwassers, is één oorzaak voor een verhoogd sulfaatgehalte. Gebruik van sulfaathoudende coagulatie- en vlokmiddelen kan een tweede oorzaak zijn voor verhoogde sulfaatgehalten.

**Tabel 2**

Gehalten aan secundaire nutriënten in mineralenconcentraten en dikke fracties van varkensdrijfmest en runderdrijfmest (rdm).

Product	Nutriënt	Eenheid	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal monsters
concentraat RO	Calcium	g Ca/kg	0,23	0,18	0,02	1,17	0,020	95
	Magnesium	g Mg/kg	0,09	0,03	0,00	0,68	0,015	95
	Natrium	g Na/kg	1,77	1,80	0,77	4,46	0,047	97
	Zwavel	g S/kg	1,07	0,29	0,12	9,71	0,200	95
	Sulfaat	g SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg	2,91	0,21	0,00	19,2	0,694	69
concentraat RO rdm	Calcium	g Ca/kg	0,34	0,34	0,26	0,40	0,027	4
	Magnesium	g Mg/kg	0,06	0,06	0,03	0,08	0,011	4
	Natrium	g Na/kg	2,06	2,08	1,80	2,27	0,097	4
	Zwavel	g S/kg	15,4	15,4	10,2	20,5	2,87	4
	Sulfaat	g SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg	39,3	43,9	23,1	46,5	5,45	4
dikke fractie	Calcium	g Ca/kg	8,68	8,18	1,81	18,3	0,269	88
	Magnesium	g Mg/kg	4,96	4,92	1,30	9,24	0,158	84
	Natrium	g Na/kg	0,74	0,69	0,42	2,32	0,029	79
	Zwavel	g S/kg	2,90	2,73	0,66	7,17	0,121	84
	Sulfaat	g SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg	1,32	0,71	0,02	6,56	0,191	67
dikke fractie rdm	Calcium	g Ca/kg	3,71	3,74	3,24	4,11	0,194	4
	Magnesium	g Mg/kg	2,78	2,98	2,13	3,03	0,217	4
	Natrium	g Na/kg	0,60	0,59	0,43	0,79	0,081	4
	Zwavel	g S/kg	1,57	1,58	1,41	1,71	0,074	4
	Sulfaat	g SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg	0,25	0,29	0,09	0,32	0,052	4

**Tabel 3**

Mediaanwaarden voor gehalten aan kationen van mineralenconcentraten en dikke fracties varkensdrijfmest en rundveedrijfmest (rdm) herleid op de drogestof.

Product	Parameter, g bestanddeel per kg drogestof						
	NH <sub>4</sub> -N	K	Na	Ca	Mg	S	Sulfaat <sup>a</sup>
concentraat RO	191	233	51,1	5,7	1,0	9,3	7,2
concentraat RO rdm	122	184	24,1	3,7	0,7	162	405
dikke fractie	18,7	12,7	2,5	29,3	18,0	9,8	3,3
dikke fractie rdm	14,6	17,1	2,4	14,6	11,1	6,0	1,1

a. Exclusief bedrijf B.

### 3.3 Spooelementen

Op productbasis bevatten mineralenconcentraten lagere gehalten aan spooelementen dan de dikke fracties (tabel 4). Gemiddelden en mediaanwaarden van spooelementen in mineralenconcentraten van varkensdrijfmesten komen doorgaans niet overeen. Er zijn incidenteel aanzienlijk hogere waarden aangetroffen die samengaan met waarnemingen die op of nabij de detectiegrenzen liggen. Gemiddelden en mediaanwaarden van spooelementen in de dikke fracties komen overeen.

Herleid op de drogestof komen de gehalten van B en Co in het mineralenconcentraat qua orde van grootte overeen met die van de dikke fractie. Het gehalte aan Mo tenderde in de dikke fractie iets hoger te zijn dan in het mineralenconcentraat. De gehalten aan Fe, Cu, Mn en Zn zijn in de dikke fractie aanzienlijk hoger dan in het mineralenconcentraat (tabel 5). De gehalten aan seleen lagen altijd onder de detectiegrens (0,010 mg S/kg).

Borium en mangaan zijn spooelementen die van nature voorkomen in de grondstoffen van veevoeder. Overige spooelementen worden toegevoegd ter bevordering van de gezondheid van het vee. IJzer is daarnaast aanwezig omdat het element bestanddeel is van stoffen die toegepast worden om coagulatie en uitvloeking<sup>10</sup> te bevorderen. Dit leidt tot zeer sterke verhoging van de gehalten in de dikke fractie en mineralenconcentraten.

<sup>10</sup> Bijvoorbeeld ijzerchloride of waterijzer.

**Tabel 4***Samenvattend overzicht van gehalten aan spoorelementen in mineralenconcentraten en dikke fracties (mg element/kg).*

Product	Element	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard-afwijking	Aantal
concentraat RO	B	2,95	3,03	0,01	6,11	312	39
	Cu	1,34	0,62	0,01	10,0	0,221	92
	Fe	27,4	8,80	0,00	646	7,82	86
	Mn	2,21	1,65	0,01	10,9	0,387	40
	Mo	0,03	0,01	0,01	0,16	0,007	40
	Zn	6,97	0,92	0,01	410	4,59	90
	Co	0,09	0,05	0,01	0,51	0,019	39
concentraat RO rdm	B	4,36	4,36	4,36	4,36	5692	1
	Cu	0,03	0,02	0,01	0,06	0	4
	Fe	7,50	6,70	4,80	12,0	1,58	4
	Mn	0,51	0,51	0,51	0,51	*	1
	Mo	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
	Zn	0,46	0,01	0,01	1,80	0,50	4
	Co	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
dikke fractie	B	27,1	21,6	7,80	174	209	28
	Cu	132	113	37,1	682	10,0	80
	Fe	2281	1007	285	13300	359	76
	Mn	189	195	50,5	274	9,27	28
	Mo	1,38	1,62	0,01	2,91	0,163	28
	Zn	403	330	98,6	2960	46,2	80
	Co	0,30	0,01	0,01	2,27	0,115	28
dikke fractie rdm	B	10,2	10,2	10,2	10,2	148	1
	Cu	17,5	16,7	15,6	20,9	1,18	4
	Fe	1106	1085	875	1380	105	4
	Mn	1,09	1,09	1,09	1,09	*	1
	Mo	67,2	64,7	61,2	78,0	3,78	4
	Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1

**Tabel 5**

Mediaanwaarden voor de gehalte aan sporelementen in mineralenconcentraten en de dikke fracties van varkensdrijfmest en runderdrijfmest herleid op de drogestof (mg element/kg drogestof).

Product	Element	VDM <sup>1</sup>								RDM <sup>2</sup>
		Bedrijf								
		A	B	C	D	E	F	G	Mediaan <sup>1</sup>	
concentraat RO	B	87,1	57,0	86,8	127	94,8	109	84,5	92,4	36,2
	Co	1,6	1,8	2,0	1,4	0,5	0,3	1,5	1,5	0,1
	Cu	0,5	0,3	84,6	31,0	9,2	18,9	10,5	19,1	0,3
	Fe	64	1753	235	312	249	260	176	255	80,0
	Mn	7,3	172	67,8	50,5	19,4	73,1	28,3	58,2	4,2
	Mo	0,4	0,3	1,2	0,4	0,5	0,3	2,0	0,4	0,1
	Zn	17,1	3,3	65,4	42,5	27,5	41,5	10,4	34,4	0,1
dikke fractie	B	68,6	88,0	72,0	113	90,2	78,1	44,0	78,1	37,2
	Co	0,9	6,6	1,3	1,4	0,1	1,7	*	1,1	*
	Cu	189	347	432	973	467	430	1099	429	64,5
	Fe	2459	29546,	2525	5333	5040	3196	2790	3728	4098
	Mn	662	820	597	797	584	727	439	668	335
	Mo	3,4	5,7	6,4	9,4	6,5	6,9	6,1	6,3	4,0
	Zn	524	1059	1253	1747	1365	1355	1199	1205	255

<sup>1</sup> Mediaanwaarden per bedrijf en voor alle bedrijven die varkensdrijfmesten (VDM) verwerken.

<sup>2</sup> Runderdrijfmest (RDM).



## 4 Landbouwkundige waarde

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de potentiële landbouwkundige werkzaamheid van de waardegevende bestanddelen van de producten. Het mineralenconcentraat en de dikke fractie zijn de belangrijkste producten van mestverwerking met een landbouwkundige bestemming. Hoewel in alle producten van mestverwerking, met uitzondering van permeaat, organische stof voorkomt in gehalten die hoger zijn dan die van overige bestanddelen, wordt de landbouwkundige waarde bepaald door de nutriënten. Een betekenis als organische meststof<sup>11</sup> aan mestverwerkingsproducten vraagt een hogere dosering dan die van nutriënten (N, P of K). Bij gebruik van mestverwerkingsproducten als nutriëntenbron worden bij de dikke fracties en bij het gedroogde product tevens giften aan organische stof toegediend, die betekenis hebben. Dit is echter een nevenfunctie van deze producten.

De effectiviteit van nutriënten wordt bepaald door de fysisch-chemische vorm waarin deze in een meststof aanwezig zijn, de hoeveelheid die toegediend wordt, het tijdstip waarop de meststof wordt toegediend en de wijze waarop de meststof wordt toegediend. Door te kiezen voor meststofvorm, hoeveelheid, tijdstip en wijze van bemesting kan richting gegeven worden aan het resultaat van bemesting. Dit zijn stuurbare factoren. Bemesting grijpt in op bodemprocessen. Deze bodemprocessen zijn niet altijd stuurbaar maar effecten kunnen beheerst worden. Daarnaast bepalen klimatologische omstandigheden de effectiviteit van nutriënten. Deze omstandigheden zijn niet stuurbaar en worden in deze deskstudie niet behandeld. De volgende paragrafen behandelen de effectiviteit van de nutriënten en de beheersbaarheid van ongewenste verliezen.

### 4.1 Stikstof

In de wetenschappelijke literatuur zijn geen publicaties aangetroffen over de werking van stikstof van een mineralenconcentraat van de be- en verwerking van dierlijke mest die representatief is voor de Nederlandse Landbouw<sup>12</sup>. In deze deskstudie worden ramingen uitgevoerd naar de mogelijke werkzaamheid van deze stikstof. Het veldonderzoek dat in het kader van het project wordt uitgevoerd, geeft informatie over de vastgestelde werkingscoëfficiënten van stikstof van een mineralenconcentraat (Middelkoop en Holshof, 2011; Van Geel et al., 2011).

Mineralenconcentraten bevatten in hoofdzaak ammoniumstikstof (gemiddeld 90%), maar ook in de dikke fractie van dierlijke mest is gemiddeld nog altijd 44% van de stikstof aanwezig in ammoniumvorm. Beide producten kennen een grote spreiding in het aandeel organisch gebonden stikstof (hoofdstuk 3). Incidenteel bevatten mineralenconcentraten gehalten aan organisch gebonden stikstof die vergelijkbaar zijn met die van de dikke fracties (25-47%). Minerale stikstof is direct gewasbeschikbaar. Organische gebonden stikstof wordt gewasbeschikbaar na mineralisatie in de bodem. De snelheid en mate waarin de stikstof uit deze organische vormen vrijkomen, zijn afhankelijk van de fysisch chemische vorm waarin de stikstof voorkomt, de ontvangende bodem, het gewas, bodemklimaatfactoren en bodemvruchtbaarheidstoestand.

---

<sup>11</sup> Een gift van 3000 kg organische stof/ha wordt in dit kader als betekenisvol aangemerkt.

<sup>12</sup> Over mestverwerking is veel gepubliceerd in *peer reviewed* artikelen, maar de producten van al deze vormen van mestverwerking zijn niet representatief voor die van de Pilot Mestconcentraten.

De verhouding tussen anorganische stikstof en organisch gebonden stikstof verschilt tussen de verschillende mineralenconcentraten waardoor bij gelijke stikstofgift op basis van het totaal stikstofgehalte de landbouwkundige werkzaamheid in het eerste jaar niet gelijk zal zijn. Ook de nawerking in het tweede jaar zal daardoor verschillen. Dit komt omdat een deel van het organisch gebonden stikstof pas gewas-beschikbaar wordt na gemineraliseerd te zijn. Dat mineralisatieproces verloopt over meerdere jaren. De eerstejaarswerking van stikstof van de dikke fractie zal daardoor lager zijn dan die van het mineralenconcentraat. De eerstejaarswerking van een mineralenconcentraat met een hogere aandeel organisch gebonden stikstof is naar verwachting lager dan die van een mineralenconcentraat met nauwelijks/geen organische gebonden stikstof.

De landbouwkundige werkzaamheid van stikstofmeststoffen met organisch gebonden stikstof kan met verschillende grootheden worden bepaald. In deze rapportage wordt de werking bepaald met de stikstofwerkingscoëfficiënt. De stikstofwerkingscoëfficiënt (NWC, N-werking) van organische meststoffen geeft aan welk percentage van een bepaalde gift aan stikstof (N), even werkzaam is als eenzelfde gift in de vorm van kunstmest (Schröder et al., 2008). De orde van grootte van een werkingscoëfficiënt wordt niet alleen bepaald door het gehalte aan organisch gebonden stikstof maar ook door:

- de aard van die organisch gebonden stikstof,
- de mineralisatie (snelheid en hoeveelheid) in de ontvangende bodem,
- de mate waarin stikstof wordt gedenitrificeerd,
- de mate waarin anorganische stikstof vervluchtigd door ammoniakvervluchtiging,
- de mate waarin stikstof in het veld af- of inspoelt.

De mate van inspoeling is sterk afhankelijk van de chemische vorm van stikstof. Ammoniumstikstof wordt aan de bodem gebonden, nitraatstikstof en ureumstikstof niet of nauwelijks. Laatst genoemde vormen spoelen daardoor veel makkelijker in of uit dan ammoniumstikstof.

Voor de aard van de organische stof wordt vaak de C/N-quotiënt<sup>13</sup> gebruikt.

De effectiviteit van de stikstof van een product als nutriëntenbron kan met verschillende benaderingen worden ingeschat. De werking kan uit de verdeling van de stikstof over minerale en organisch gebonden stikstofvormen worden geschat. Ook kan de werking van de stikstof afgeleid worden door de chemische vormen van stikstof te benoemen.

#### **4.1.1 Werkingscoëfficiënt uit minerale en organische fractie**

In deze paragraaf wordt een benadering gegeven voor de werking gebaseerd op minerale stikstof die - als ammoniakvervluchtiging, denitrificatie en immobilisatie niet optreden - volledig tot werking komt. Vervolgens wordt aangenomen dat een zeker percentage kan vervluchtigen als ammoniak.

Mineralenconcentraten wijken af van andere stikstofoplossingen (kunstmeststikstof) door de aanwezigheid van organischgebonden stikstof<sup>14</sup> en de hoge pH (alkalisch versus zwak zuur). Werkingscoëfficiënten die bekend zijn van dierlijke mest en van kunstmeststikstofoplossingen kunnen niet zonder meer overgedragen worden naar mineralenconcentraten of de dikke fractie. De effectiviteit van de stikstof wordt ook bepaald door de toedieningstechniek en de omstandigheden waaronder wordt uitgereden. De toedieningstechniek wordt weer bepaald door het gewas.

---

<sup>13</sup> Gehalten aan elementair koolstof in de producten zijn nog niet bekend.

<sup>14</sup> De organische stof is van plantaardige of dierlijke herkomst.

Onder aannamen kan een indicatie verkregen worden van de werkingscoëfficiënt. De aannamen zijn dat door mestverwerking de effectieve bijdrage van de minerale stikstof van een mestverwerkingsproduct gelijk is aan die van kunstmeststikstof (100% werking) en dat de effectieve bijdrage van de organische gebonden stikstof gelijk is aan die van de dierlijke mest waaruit het product is gemaakt. Dijk (2003) geeft richtlijnen voor deze stikstofwerkingscoëfficiënt van organische stikstof.

Dierlijke mest kan worden geïnjecteerd, toegediend via zodebemesting op grasland of bijvoorbeeld via sleepvoeten worden toegediend. Verschillen in toedieningstechnieken leiden tot verschillen in ammoniakvervluchtiging. Er wordt verondersteld dat 45% van de organische stikstof het eerste jaar tot werking komt en 30% bij runderdrijfmest. De mate waarin denitrificatie de werkingscoëfficiënt bepaalt, is nog niet meegewogen in de berekening. De stikstofwerkingscoëfficiënten werden berekend voor elk monster. De berekende waarden zijn samengevat tot gemiddelde, minimum en maximumwaarde (bereik). Tabel 6 geeft het resultaat.

De berekeningen geven een indicatie dat een mineralenconcentraat door het lage gehalte aan organisch gebonden stikstof niet veel onderdoet voor een volledig minerale stikstofmeststof als er sprake is van een vergelijkbare mate van vervluchtiging (5%). Maar er is een (aanzienlijk) lagere werkingscoëfficiënt als de ammoniakvervluchtiging hoger is dan die bij vloeibare kunstmeststoffen. Gemiddeld bedraagt de werkingscoëfficiënt zonder ammoniakverliezen 94%. Door verlies van ammoniak wordt geschat dat de berekende werkingscoëfficiënt zal variëren van 76-90% op bouwland en bij zodebemesting op grasland van 67-81%.

De hoge pH van een mineralenconcentraat bevordert de ammoniakvervluchtiging waardoor een lagere werkingscoëfficiënt verwacht wordt. Aanzuren van een mineralenconcentraat zou in beginsel de werking door vermindering van de ammoniakvervluchtiging kunnen verbeteren zolang de bodem niet teveel de pH buffert.

De dikke fractie heeft een lagere berekende werkingscoëfficiënt voor stikstof dan een mineralenconcentraat door het lagere aandeel ammoniumstikstof en een hoger aandeel organisch gebonden stikstof: 69%. Injectie of zodebemesting van een dikke fractie wordt niet uitgevoerd.

#### **4.1.2 Werkingscoëfficiënt uit speciatie van stikstofvormen**

Een andere aanpak om de werking van de stikstof van mineralenconcentraten vast te stellen is door een vergelijking te maken met kunstmeststikstofvormen waarvan de werking bekend is. Met vormen worden hier de chemische vormen bedoeld. Om die chemische vormen te kennen is informatie nodig over de samenstelling van kat- en anionen van mineralenconcentraten. De kationen ammoniumstikstof, kalium, natrium, calcium en magnesium zijn bepaald evenals de anionen nitraat, chloride en sulfaat. Daarnaast is fosfor gemeten. In deze verkenning is aangenomen dat fosfor voorkomt in de vorm van orthofosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Een eerste benadering van de vormen waarin stikstof voorkomt in een mineralenconcentraat is door te onderzoeken of de kat- en anionenbalans sluitend is. In figuur 1 wordt het verschil tussen de hoeveelheid kation en anionen (balans) gegeven (in meq/kg). De kat- en anionenbalans sluit niet, een aanzienlijk deel van de anionen is geen orthofosfaat, chloride, sulfaat of nitraat<sup>15</sup>. Deze anionen maken gemiddeld 40% van de anionen uit, zo'n 60% ontbreekt. Tussen bedrijven en ook binnen een jaar bij een bedrijf zijn er verschillen in de balans. Bij bedrijf H is het verschil het kleinst, bij bedrijf G het grootst. Deze verschillen kunnen verklaard<sup>16</sup> worden door het gebruik van anorganische grond- en hulpstoffen (Hoeksma et al., 2011).

---

<sup>15</sup> Nitraat is niet aangetoond in mineralenconcentraten.

<sup>16</sup> Ammoniumsulfaat van spuiwater van chemische luchtwassers, gebruik van zwavelzuur bij het reinigen van membranen van OO installaties zijn voorbeelden van grondstof en hulpstof, zie Hoeksma et al., 2011.

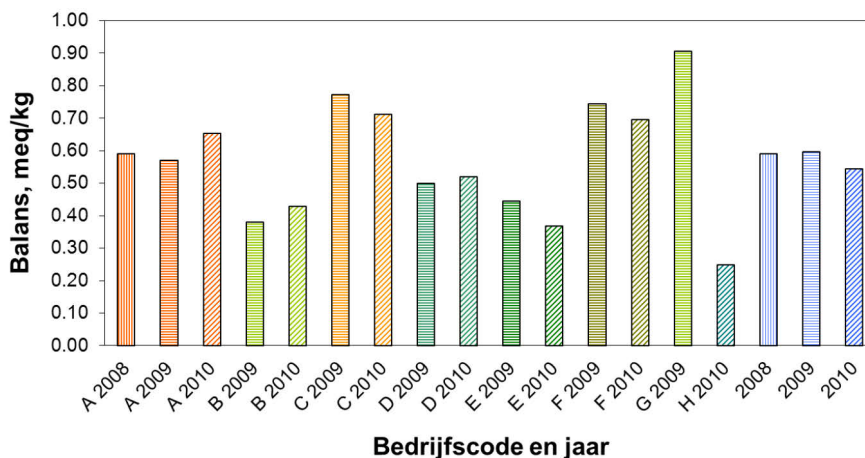
**Tabel 6**

Berekende stikstofwerkingscoëfficiënten zonder en met ammoniakverliezen door injectie of zodebemesting.

Product	Bedrijfscode	Ammoniakvervluchtiging														
		Geen			Injectie			Zodebemesting								
					5		20		15		30					
		Gemiddelde	Bereik		Gemiddelde	Bereik	Gemiddelde	Bereik	Gemiddelde	Bereik	Gemiddelde	Bereik				
Concentraat RO	A	96	79	100	91	76	95	77	67	80	82	70	85	68	60	70
	B	98	94	99	93	90	94	78	76	80	83	81	85	69	67	70
	C	93	89	97	89	85	92	75	73	78	80	77	83	67	65	69
	D	94	91	96	90	87	91	76	75	77	81	79	82	67	66	68
	E	92	74	98	88	72	93	75	64	79	79	66	84	66	58	69
	F	93	91	95	89	87	90	76	74	77	80	79	81	67	66	68
	G	92	91	93	88	87	89	75	74	76	79	78	80	66	66	67
	H	97	94	100	92	89	97	78	76	82	83	80	87	83	80	87
	Gemiddeld	94	74	100	90	72	95	76	64	80	81	66	85	67	58	70
Dikke fractie	A	75	68	79												
	B	69	65	72												
	C	68	66	73												
	D	67	61	70												
	E	69	64	75												
	F	69	67	73												
	G	65	63	66												
	H	55	53	57												
	Gemiddeld	69	61	79												

Op basis van literatuurgegevens is het aannemelijk dat de ontbrekende anionen vooral vluchtige vetzuren (tabel 7) en bicarbonaat zijn (tabel 8). Brill en Salomons (1990) berekenden voor de vloeibare fractie van varkensdrijfmest dat 66-69% van ammoniumstikstof aan vluchtige vetzuren was gebonden en 16,0-18,5% aan bicarbonaat en 2,8-3,2% aan chloride (varkensmesten 1 en 2 van tabel 7). Zij berekenden ook dat 42,2-45,4% van de ammoniumstikstof aan orthofosfaat gebonden was. Hun berekeningen gelden voor de mestvloeistof. Dit is de grondstof waaruit een mineralenconcentraat wordt gemaakt. Een mineralenconcentraat zal - naast hogere chloride - naar verwachting hogere gehalten aan bicarbonaat en vetzuren bevatten<sup>17</sup>. Daarnaast kan er een verrijking zijn met sulfaat. Gelet op de kat- en anionenbalans zullen mineralenconcentraten onderscheidelijke gehalten aan bicarbonaat, vetzuren, sulfaat en chloride bevatten. Er zijn mineralenconcentraten waarbij een aanzienlijk aandeel sulfaat is (bedrijf B) en er zijn bedrijven waar naar verwachting naast chloride vooral bicarbonaat en vetzuren aanwezig zijn (bedrijf G). Door die verschillen in anionensamenstelling zal de landbouwkundige werkzaamheid tussen mineralenconcentraten verschillen.

De fractie fosforverbindingen in mineralenconcentraten is laag, dit wijkt af van de samenstelling van mestvloeistof<sup>18</sup>. De aanwezigheid van fosfor<sup>19</sup> is daarom van ondergeschikt belang bij de bepaling van de effectiviteit van de stikstof van een mineralenconcentraat.



**Figuur 1**

*Verskil tussen de som van de kationen en anionen van mineralenconcentraten per bedrijf per onderzoeksjaar en het algemene overzicht over allen deelnemende bedrijven per jaar (blauwe kolommen).*

<sup>17</sup> Aanvullend onderzoek in 2011 zal uitwijzen welke gehalten aanwezig zijn.

<sup>18</sup> Meststofvloeistof ontstaat bij scheiding van mest. In deze context wordt mestvloeistof van *low-tech* mechanische scheiding bedoeld. De dunne fractie of mestvloeistof die daarbij ontstaat bevat meer vaste deeltjes dan de dunne fractie van de *high-tech* scheidingen van de bedrijven van de pilot. Bij *high-tech* scheiding worden vaste deeltjes zoveel als mogelijk verwijderd uit de mestvloeistof om de membranen van de OO-unit niet te verontreinigen.

<sup>19</sup> In welke vorm fosfor voorkomt in een mineralenconcentraat is niet bekend. Deels zal het organisch gebonden fosfor zijn maar verwacht wordt dat ook colloïdaal P voorkomt in de vorm van amorfe struviet-achtige verbindingen. Nader speciatie-onderzoek is nodig om de P-vormen te specificeren.

**Tabel 7***Gehalten aan vluchtige vetzuren in varkens- en kippendrijfmest.*

Mestsoort	Vluchtige vetzuren, g/kg							Referentie
	Totaalgehalte	Azijazuur	Propionzuur	Boterzuur	Iso-boterzuur	Valeriaanzuur	Isovaleriaanzuur	
Varkensdrijfmest 1, 2-4 maanden oud		11,8						Japenga en Harmsen, 1990
Varkensdrijfmest 2 na 18 maanden opslag 4 °C		3,2						Japenga en Harmsen, 1990
Varkensdrijfmest 2		14,3						Japenga en Harmsen, 1990
Kippendrijfmest 2-4 maanden oud		8,1						Japenga en Harmsen, 1990
Varkensdrijfmest A	5,9	4,2	0,8		0,61		0,42	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest B	7,9	6,0	0,7		0,8		0,4	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest C	6,1	3,3	1,0		1,2		0,6	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest D	9,7	6,1	1,1		1,7		0,7	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest E	6,3	4,2	0,7		0,9		0,5	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest F	7,1	4,9	0,9		0,9		0,4	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest G	5,0	3,5	0,5		0,7		0,3	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest H	7,0	4,5	0,8		1,0		0,6	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest I	5,5	3,9	0,5		0,7		0,3	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest J	6,6	4,7	0,8		0,7		0,4	Velthof et al., 2005
Varkensdrijfmest, LFP dieet3	6,4	4,2	1,4	0,4	0,1	*	0,3	Le et al., 2008a
Varkensdrijfmest, MFP dieet3	5,8	3,8	1,2	0,3	0,1	*	0,4	Le et al., 2008a
Varkensdrijfmest, HFP dieet3	5,9	3,9	1,1	0,4	0,1	*	0,4	Le et al., 2008a
Varkensmest, LCP-LFC4	6,1	4,1	1,1	0,3	0,2	0,4	0,04	Le et al., 2008b
Varkensmest, LCP-MFC4	7,8	4,9	1,4	0,6	0,3	0,5	0,1	Le et al., 2008b
Varkensmest, LCP-HFC4	8,3	5,1	1,4	0,8	0,3	0,5	0,2	Le et al., 2008b
Varkensmest, HCP-LFC4	9,0	6,2	1,2	0,5	0,4	0,7	0,04	Le et al., 2008b
Varkensmest, HCP-MFC4	8,9	6,1	1,2	0,4	0,4	0,7	0,04	Le et al., 2008b
Varkensmest, HCP-HFC4	11,7	7,8	1,6	0,7	0,5	0,9	0,09	Le et al., 2008b
Varkensmest 12%CP	6,1	4,1	1,1	0,3	0,2	0,04	0,4	Le et al., 2009
Varkensmest 15%CP	8,2	5,6	1,3	0,4	0,3	0,06	0,5	Le et al., 2009
Varkensdrijfmest SM1, ruw	13,0							Mondor et al., 2008
Dunne fractie SM1 na vacuüm filtratie	10,1							Mondor et al., 2008
Varkensdrijfmest (SM2), ruw	21,3							Mondor et al., 2008
Dunne fractie SM2 na vacuüm filtratie	21,9							Mondor et al., 2008

1: Som van boterzuur en iso-boterzuur.

2: Som van valeriaanzuur en iso-valeriaanzuur.

3: LFP, MFP, HFP: verschillende diëten met laag, middel en hoge gehalten aan verteerbaar eiwit.

4: LCP, HCP: verschillende diëten met laag en hoge gehalten aan ruw eiwit; LFC, MFC, HFC: verschillende diëten met laag, middel en hoge gehalten aan verteerbaar koolhydraten.

**Tabel 8**

*Kationen en anionen in varkens- en kippendrijfmesten naar Japenga en Harmsen (1990) in eq/kg.*

Species	Varkensdrijfmest 1	Varkensdrijfmest 2	Kippendrijfmest	Varkensdrijfmest na 18 maanden bewaring
K	0,153	0,137	0,188	0,152
Na	0,025	0,032	0,032	0,026
Ca	0,009	0,023	0,015	0,002
Mg	0,002	0,003	0,003	0,001
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,4	0,277	0,214	0,387
Totaal kationen	0,589	0,472	0,452	0,568
Cl <sup>-</sup>	0,082	0,051	0,092	0,078
Vetzuren	0,2	0,243	0,137	0,055
Bicarbonaat	0,304	0,181	0,215	0,441
Totaal anionen	0,586	0,475	0,444	0,555

Als uitgegaan wordt van chloride, sulfaat, vluchtige vetzuren en bicarbonaat, dan kan ammoniumstikstof in een mineralenconcentraat voorkomen als:

- ammoniumbicarbonaat
- ammoniumhoudende vetzu(u)r(en) (bv. ammoniumacetaat)
- ammoniumsulfaat
- ammoniumchloride
- ammoniak als de pH >8

Ammoniumbicarbonaat is het hydrolyseproduct van ureum. Ureum, ammoniumsulfaat en ammoniumchloride zijn reguliere<sup>20</sup> stikstofkunstmeststoffen. Ammoniak was een reguliere BENELUX-meststof, maar werd in Nederland in verband met bepalingen inzake de beperking van ammoniakemissie verboden. Ammoniumhoudende vetzuren worden niet toegepast als meststof. Vetzuren zijn toxisch voor gewas en insecten, maar worden snel afgebroken in de bodem.

Stikstofmeststoffen zoals kalkammonsalpeter, ureum, ammoniumsulfaat en ammoniumchloride verschillen in effectiviteit door verschil in de mate van (Burg et al., 1983; Lægheid et al., 1999):

- Ammoniakvervluchtiging
- Nitrificatie
- Denitrificatie
- Uitspoeling (mobiliteit)
- Ionopname
- Gewas
- Nevenbestanddelen
- Nevenwerkingen zoals herbicide of fungicide werking

<sup>20</sup> Deze meststoffen zijn in de EU gereguleerd middels verordening 2003/2003 en kunnen mits voldaan wordt aan samenstellingseisen het label 'EG-meststof' voeren bij verhandeling.

### Ammoniakvervluchtiging

Ammoniumhoudende meststoffen kunnen aanleiding geven tot ammoniakvervluchtiging, dit proces ontbreekt bij nitraathoudende stikstofmeststoffen<sup>21</sup>. Dit fenomeen is algemeen bekend. Ammoniakvervluchtiging van ammoniumsulfaat is groter dan van ammoniumnitraat als dit wordt toegediend aan kalkhoudende bodem (Van Schreven, 1955). Van Schreven verklaarde deze vervluchtiging uit de vorming van gips ( $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ ) bij de sulfaathoudende meststof t.o.v. van de vorming van calciumnitraat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Beneden de pH 6 is het ammoniakverlies te verwaarlozen, boven pH 7 trad een verlies op van 50-60% van de stikstof van ammoniumsulfaat onder laboratoriumcondities (Steenbjerg, 1944, geciteerd door Van Schreven, 1955). Onderzoek van Van Schreven (1955) wees uit dat ammoniakvervluchtiging optreedt bij pH waarden hoger dan 7. Naarmate de ammoniumhoudende meststof langer op het bodemoppervlak blijft liggen, is deze vervluchtiging groter. Drogende omstandigheden en hogere temperaturen bevorderen de ammoniakvervluchtiging. De ammoniakverliezen zijn afhankelijk van de grondsoort en bedragen 8-16% bij oppervlakkige toediening over een periode van 18 dagen. Direct inwerken reduceert de ammoniakvervluchtiging.

Over de mate van ammoniakvervluchtiging van ammoniumchloride onder Nederlandse omstandigheden is geen informatie aangetroffen in de literatuur. Verwacht wordt dat de orde van grootte vergelijkbaar zal zijn met die van ammoniumnitraat.

De mate waarin ammoniakverliezen optreden hangt af van de meststofvorm, de wijze waarop de meststof wordt toegediend, de pH en het vochtgehalte van de ontvangende bodem. Cleveringa (2002) geeft voor verschillende stikstofkunststoffen een richtwaarde voor het optredend ammoniakverlies (tabel 9).

**Tabel 9**

*Ammoniakverliezen uit kunstmest in de gematigde gebieden (Cleveringa, 2002).*

Stikstofmeststof	Chemische vorm	%N	NH <sub>3</sub> -verlies, %
Kalkammonsalpeter	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + 25% CaCO <sub>3</sub>	26	2
Ureum	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	46	15
Ammoniak <sup>a</sup>	NH <sub>3</sub>	82	4
Ammoniumsulfaat (zwavelzure ammoniak)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	21	8
Ammoniumnitraat	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	34	2
Monoammoniumfosfaat	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	3	2
Diammoniumfosfaat	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18	5
Urean	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	30	8 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Tot aanscherping van gebruiksregels ter beperking van ammoniakemissie was vloeibare ammoniak een reguliere kunstmeststof die toepassingen vond bij de teelt van bijvoorbeeld fabrieksaardappelen. Nu is het gebruik van deze meststof in Nederland niet meer toegestaan.

<sup>b</sup> Als bijbemesting.

In de Nederlandse methodiek voor berekening ammoniakemissie uit de landbouw worden de volgende emissiefactoren gebruikt voor kunstmest (Huijsmans et al., 2011; Velthof et al., 2009):

- Kalkammonsalpeter: 2% van de toegediende N
- Ureum: 28% van de toegediende N

<sup>21</sup> Calciumnitraat (kalksalpeter) is naar verhouding een relatief dure meststof en wordt daardoor bij tuinbouwgewassen toegepast maar niet bij akkerbouwgewassen of grasland. Er is een (geringe) afzet van chilisalpeter (vooral bij suikerbieten)



- Monoammoniumfosfaat: 10% van de toegediende N
- Ammoniumsulfaat: 10% van de toegediende N

Het onderwerken of injecteren van mest in de bodem leidt tot een grote reductie in ammoniakemissie (Huijsmans, 2003). De ammonium wordt hierbij in de bodem gebracht, waardoor enerzijds de uitwisseling van bodemlucht met de atmosfeer wordt geremd en anderzijds een deel van ammonium aan kleideeltjes en organische stof wordt geadsorbeerd. In Nederland worden de volgende emissiefactoren voor ammoniakemissie uit mest gehanteerd (Huijsmans et al., 2011; Velthof et al., 2009):

- Grasland, bovengronds breedwerpig: 74% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Grasland, zode-bemester: 19% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Grasland, sleepvoet: 26% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Bouwland, bovengronds breedwerpig: 69% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Bouwland, direct onderwerken 22% van de toegediende ammoniumstikstof;
- Bouwland, diepe injectie: 2% van de toegediende ammoniumstikstof.

#### *Nitrificatie + uitspoeling*

Ammoniumhoudende meststoffen zijn minder gevoelig voor uitspoeling dan nitraathoudende meststoffen vanwege hun sorptie aan bodembestanddelen<sup>22</sup>. Nitrificatie van ammoniumstikstof leidt tot de vorming van het veel uitspoelingsgevoeligere nitraat. Of het gevormde nitraat daadwerkelijk uitspoelt wordt door het neerslagoverschot en de grondsoort bepaald. Ammoniumsulfaat of zwavelzure ammoniak ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en ureum bleken op een lichte zandgrond te Gortel op 60 cm grind minder gevoelig te zijn voor uitspoeling dan KAS of kalksalpeter (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Vooral kalksalpeter spoelde makkelijk uit in natte jaren (tabel 10). Dit is één reden waarom ammoniumhoudende meststoffen de voorkeur kunnen hebben boven nitraathoudende meststoffen.

**Tabel 10**

*Procentuele verdeling van de stikstof van verschillende stikstofmeststoffen over de verschillende lagen van het profiel bij uitspoeling tijdens het groeiseizoen (Smit en Van Burg, 1969).*

Meststof <sup>a</sup>	Chemische vorm	Droge jaren 1963, 1964			Natte jaren 1962, 1965, 1966		
		Bodemlaag, cm			Bodemlaag, cm		
		0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
Kalksalpeter	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	49	46	6	4	16	80
KAS	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +CaCO <sub>3</sub>	45	47	8	13	23	64
Zwavelzure ammoniak	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	56	36	8	47	20	33
Ureum	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	85	12	2	49	27	24

<sup>a</sup> Bemesting voorjaar: begin mei/half mei, proef met zomergerst, Gortel.

Een tweede reden om voor een ammoniummeststof te kiezen is dat hoge concentraties van ammoniumstikstof de nitrificatie afremt. De nitrificatie kan verder afgeremd worden door hoge ionsterkte of door chloride (Debreczeni et al., 2002). Informatie over het effect van chloride op de remming van de nitrificatie onder

<sup>22</sup> Elke bodem bezit een kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) waardoor afhankelijk van de ionsterkte en de kationenconcentratie in oplossing en de kationenbezetting, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N door de bodem vastgehouden wordt.

Nederlandse omstandigheden is niet aangetroffen. In de wetenschappelijke literatuur worden publicaties aangetroffen die uitwijzen dat chloride de nitrificatie remt (Hahn et al., 1942, Golden et al., 1981, Klugkist en Haaker, 1984, Rosenberg et al., 1986, Souri, 2010). Rosenberg et al. (1986) verwachten het grootste effect bij pH lager dan 6 en bij plaatsing van ammoniumchloride in een rij. Grewal et al. (1999) onderzochten verschillende stikstofmeststoffen op de mate waarin nitrificatie geremd werd. Ammoniumchloride<sup>23</sup> remde de nitrificatie meer dan ammoniumsulfaat. Ammoniumsulfaat remde de nitrificatie meer dan ureum.

Hoge ammoniumconcentraties worden gestuurd aangebracht door ammonium in de bodem te injecteren (vergelijk het Cultan-systeem<sup>24</sup>). Een andere sturing van de nitrificatie is het gebruik van nitrificatiereemers (Kuikman et al., 2010). Ammoniumhoudende meststoffen lenen zich voor sturing op de remming van nitrificatie. Remming van de nitrificatie kan leiden tot minder uitstoot van broeikasgassen. Een mineralenconcentraat beantwoordt beter aan deze doelstelling dan een nitraathoudende meststof. Hogere NH<sub>3</sub>-concentratie in de bodem kunnen wel weer leiden tot hogere N<sub>2</sub>O-emissies (lachgasemissies).

Mineralenconcentraten bevatten een wisselend aandeel chloride en bicarbonaat; een onderscheid in remming van de nitrificatie tussen mineralenconcentraten is denkbaar als het aandeel ammoniumchloride substantieel is (i.e. enkele tientallen procenten van het N-aandeel).

### *Denitrificatie*

Ammoniumstikstof kan pas gedenitrificeerd worden als nitrificatie heeft plaatsgevonden. De ammoniumstikstof van een mineralenconcentraat is aanvankelijk beschermd tegen denitrificatie omdat door plaatsing lokaal een hogere ammoniumstikstofgehalte voorkomt (vergelijk het effect van Cultan). Onder Nederlandse omstandigheden verloopt de nitrificatie snel. Onder natte omstandigheden kan een substantieel deel van de stikstof door denitrificatie verloren gaan (tabel 11). Onder droge omstandigheden bij experiment 1 is denitrificatie verwaarloosbaar, maar onder natte omstandigheden leiden nitraathoudende meststoffen tot aanzienlijke verliezen.

---

<sup>23</sup> Ammoniumchloride (zoutzure ammoniak) is in Nederland geen gangbare meststof. In het verleden is ammoniak wel geproduceerd bij gebrek aan zwavelzuur (Gier, 1923). Zoutzure ammoniak bevat 25% N en 60% chloride. Het chloridegehalte beperkt het gebruik (Bloemsma, 1950; Banthien, 1968). Deze stikstofmeststof heeft betekenis bij de teelt van *paddy* rijst waar ammoniumsulfaat kan leiden tot de vorming van giftig sulfide (Cooke, 1972). Uitzondering op deze algemene bevindingen is het huidige gebruik van ammoniumchloride bij de winning van kuilvoer voor geen-melkproducerende (droogstaande) koeien. Dit leidt tot een lager verschil tussen kationen en anionen in het kuilvoer hetgeen tot een vermindering van het aantal dieren met melkziekte zou leiden (KAS-droogstand). Het is een maatregel die voor een verbetering van de diergezondheid wordt genomen.

<sup>24</sup> CULTAN: Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition.

**Tabel 11**

*Emissies van lachgas (N<sub>2</sub>O), denitrificatie-verliezen (Deni), totale hoeveelheid neerslag en gemiddelde bodemtemperatuur op 5 cm diepte voor een drietal veldexperimenten op rivierklei (#1) en op slecht ontwaterde zandgrond (#2, #3) naar Velthof (1997).*

Stikstofmeststof	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	Deni	N <sub>2</sub> O	Deni	
Kalkammonsalpeter	< 0,1	5,2	14,1	8,3	8,3	
Kalksalpeter	< 0,1	5,2	12,4	12,0	10,5	
Ammoniumsulfaat	< 0,1	0,2	0,6	1,0	0,0	
Ammoniumsulfaat+DCD	-	< 0,1	0,2	0,1	0,0	
Ureum	< 0,1	< 0,1	1,1	0,7	1,9	
Rundveedrijfmest, oppervlakkig toegediend	-	< 0,1	0,4	0,1	0,4	
Rundveedrijfmest, geïnjecteerd	-	< 0,1	0,0	0,1	0,0	
Neerslag, mm	13		42		68	
Gemiddelde bodemtemperatuur, °C	6,0		8,2		16,0	

Mineralenconcentraten bevatten geen nitraat. Daarom was de verwachting dat er geen bijdrage is van een mineralenconcentraat aan enige verhoging van de denitrificatie. Echter, onderzoek in het kader van het project met de pilot wijst uit dat lachgasemissie bij mineralenconcentraten hoger is dan bij de kunstmeststikstof KAS (Velthof, 2011).

#### *Gewas en ionopname*

Gewassen kunnen zowel nitraatstikstof als ammoniumstikstof opnemen en omzetten (assimilatie) tot de bouwstenen voor eiwitproductie (aminozuren). In het algemeen wordt door landbouwgewassen nitraatstikstof opgenomen. Ammoniumstikstof in de bodem wordt door nitrificatie namelijk omgezet in nitraat (Mengel en Kirkby, 1977; Marschner, 1993). Ammoniumstikstof is bij relatief lage concentraties fytotoxisch (Marschner, 1993). Ammoniumstikstof kan wel door gewassen worden geassimileerd. De mate waarin ammoniumstikstof verdragen wordt door het gewas wordt gestuurd door de pH. Gewassen die bij (zwak) zure tot neutrale pH omstandigheden groeien, tolereren hogere gehalten aan ammonium dan gewassen die bij alkalische omstandigheden groeien. Bij hogere temperaturen neemt de gevoeligheid voor ammoniumstikstof toe (Mengel en Kirkby, 1977). Gewassen, zoals gras en snijmaïs die snel ammonium kunnen assimileren, verdragen hogere gehalten.

Ionopname is een actief proces. In de beginfase investeert het gewas meer dan 30% van de energie in ionopname (Marschner, 1995). De stikstofvorm heeft veruit het grootste effect op de kat- en anionenopname en hun onderlinge verhouding. Omdat deze opname qua kat- en anionen in balans moet zijn, reguleert de stikstofvoeding ook de pH<sup>25</sup> rond de wortels<sup>26</sup> (Marschner en Römheld, 1983).

#### *Nevenbestanddelen en nevenwerkingen*

Een voorbeeld van nevenbestanddelen met nevenwerking is de toevoeging van calciumcarbonaat. Stikstofmeststoffen beïnvloeden de pH. Ammoniummeststoffen leiden tot verzuring, nitraathoudende meststoffen doen de pH van de bodem stijgen. De zure of basische werking van een minerale meststof wordt tot

<sup>25</sup> Al naar gelang er een overschot aan kationen of anionen is, scheidt het gewas via de wortels zuur (H<sup>+</sup>) of base (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) uit. Deze uitscheiding doet de pH respectievelijk dalen of stijgen.

<sup>26</sup> Rhizosfeer.

uitdrukking gebracht met basenequivalent (BE).<sup>27</sup> Deze mate kan bij benadering berekend worden met de Pierre-Sluijsmans-formule<sup>28</sup> (Harmsen et al., 1990). De formule is deels empirisch deels theoretisch van aard. Aan kationen wordt een positieve waarde gegeven en aan anionen een negatieve. De formule kent alleen Ca, Mg, K, Na, P, Cl en N als mineralen die bijdragen aan de baseequivalent. De bijdrage van stikstof (N) is afhankelijk van het elementrendement van een gewas. Dit rendement van een mineralenconcentraat is nog in onderzoek. Naarmate het rendement hoger is, spoelt minder stikstof uit en zijn de verliezen van kalk door uitspoeling geringer. Voor kalkammonsalpeter is n gelijk aan 0,8 voor grasland en 1,0 voor bouwland. In deze deskstudie is oriënterend de basenequivalent van mineralenconcentraten berekend door een waarde van 0,8 voor de bijdrage van het stikstofaandeel aan te nemen. De Pierre-Sluijsmans-formule kent geen term voor bicarbonaat of voor vetzuren. Daardoor wordt de BE onderschat.

Bedrijven B en H produceren mineralenconcentraten die verzurend werken (gemiddelde BE van respectievelijk -0,9 en -2,4), overige bedrijven produceren meestal mineralenconcentraten die niet verzurend werken (BE 0-0,24). Omdat niet bekend is welke gehalten aan bicarbonaat en vluchtige vetzuren voorkomen en hoe die doorwerken qua mate van verzurende werking, is er een voorbehoud bij de gegeven getalswaarden voor de BE. Ureum heeft een BE van -43; deze meststof werkt sterk verzurend. Omdat een aanzienlijk deel van de ammoniumstikstof in mineralenconcentraten voor zal komen als ammoniumbicarbonaat, moet aangenomen dat de berekende waarden de verzurende werking onderschat.

#### *Werkingscoëfficiënten van gier en stikstofkunstmeststoffen vergeleken met KAS*

In de jaren vijftig is veel onderzoek uitgevoerd naar de bemestende waarde van gier<sup>29</sup>. Gier<sup>30</sup> is urine van vee dat destijds gescheiden werd opgevangen. Gier zou hier opgevat kunnen worden als een vorm van licht verdunde mineralenconcentraat. Lande Cremer (1957) rapporteerde dat de stikstofwerking van gier bij direct onderwerken gelijk was aan die van kunstmeststikstof (100%), maar zonder ondergewerking werd een stikstofwerkingscoëfficiënt van 50-60% gevonden.

Er is, vooral in de jaren 50-70, veel onderzoek uitgevoerd naar de effectiviteit van stikstofkunstmeststoffen. Naast stikstofvorm werden ook de methode van toediening en het tijdstip van toediening in veldproeven onderzocht. Enige bevindingen met meststofoplossing in vergelijking met KAS worden hier gegeven.

Wintertarwe op kalkhoudende klei te Marknesse gaf een lagere korrelopbrengst bij gebruik van een oplossing van ureum en ammoniumnitraat (Urean 50%/50%) in vergelijking met ammonsalpeter als korrel toegediend; een werkingscoëfficiënt ten opzichte van KAS van 73% kan uit de meetgegevens worden afgeleid (Burg en Schepers, 1969). Op zandgrond werden vergelijkbare korrelopbrengsten vastgesteld. Het verschil in stikstofwerking tussen de kalkhoudende kleigrond en de zandgrond werd toegeschreven aan ammoniakvervluchtiging. Ook op grasland werd een lagere werking vastgesteld van de oplossing die eveneens toegeschreven werd aan ammoniakvervluchtiging. Het opbrengstverlies werd vastgesteld op 5 tot 10% (Burg en Schepers, 1969).

---

<sup>27</sup> Basenequivalent: het getal, berekend in kilogram calciumoxide (CaO) per 100 kg meststof, dat de waarde van de uiteindelijke reactie van de meststof na toevoeging aan de bodem aangeeft, rekening houdend met alle bestanddelen van die meststof.

<sup>28</sup>  $\text{Basenequivalent} = 1x\% \text{CaO} + 1,4x\% \text{MgO} + 0,6x\% \text{K}_2\text{O} + 0,9x\% \text{Na}_2\text{O} + 0,4x\% \text{P}_2\text{O}_5 + 0,7x\% \text{SO}_3 + 0,8x\% \text{Cl} - nx\% \text{N}$ .

De basenequivalent van ammoniumsulfaat, KAS en ureum is respectievelijk -63, -15 en -43.

<sup>29</sup> Gier zijn de vloeibare uitwerpselen van dieren. In de jaren vijftig betrof het de gescheiden opgevangen urine met spoelwater. Gier bevat weinig vaste delen en heeft daardoor een laag gehalte aan drogestof (circa 20-30% van het gehalte aan drogestof in drijfmest, gier bevat enigszins lagere stikstofgehalten dan drijfmesten).

<sup>30</sup> Gier van varkens bevat 20 g drogestof/kg, 5 g organische stof/kg, 6,5 g N, 0,4 g P en 4 g K; van rundvee zijn deze waarden in g/kg respectievelijk 40, 20, 6, 3, 0 en 10.

Bij wintertarwe werd een werkingscoëfficiënt bij 60 kg N van 90% en bij een gift van 80 kg N/ha van 76% van ureum vergeleken met KAS gevonden. Deze lagere werking werd toegeschreven aan ammoniakverliezen (Scheepers, 1976).

Ureum kan ook bij de bijbemesting van akkerbouwgewassen (granen, aardappel) gebruikt worden maar het aspect van ammoniakvervluchtiging speelt nog meer dan bij urean (Cleveringa, 2002).

Bij fabrieksaardappelen op zand- en veenkoloniale gronden had het wel of niet inwerken van urean geen onderscheidenlijk effect op de opbrengst. De werking bij fabrieksaardappelen is vergelijkbaar met KAS (Scheepers, 1979). Op kalkhoudende kleigrond is de werking van urean eveneens vergelijkbaar met KAS maar niet ingewerkt is de werking 60%.

Op bouwland gaf een oplossing van urean (ur+as) over het algemeen dezelfde werking als vaste korrelvormige ureum en ammoniumnitraat of KAS. Op grasland was de stikstofwerking van een ur+as oplossing slechter (Van Burg en Van Brakel, 1966).

Urean (15% ammoniumnitraat, 15% ureum) wordt in de akkerbouw (granen, aardappel) toegepast als basis-meststof en voor bijbemesting. Bij bijbemesting met de veldspuit treedt ammoniakvervluchtiging op. Daardoor vervluchtigt circa 8% van de stikstof (Cleveringa, 2002). Ammoniakvervluchtiging op kalkhoudende gronden is het grootst en het gebruik wordt daar dan ook ontraden. Injectie beperkt de ammoniakvervluchtiging maar de kosten nemen dan toe.

Versproeien van oplossingen van ammonsalpeter en mengsels van ammonsalpeter ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) en ureum op grasland blijft qua stikstofwerking achter ten opzichte van vaste KAS. Afhankelijk van het tijdstip van bemesting en het tijdstip van de oogst wijzen de gegevens voor de drogestofopbrengst op werkingscoëfficiënten van 70-96% terwijl afgeleid uit de stikstofopname de werking 73-87% is. Deze slechtere werking werd aan bladverbranding toegeschreven. Toediening van grotere druppels meststof leidde tot nauwelijks enige verbranding (Burg, 1963). Burg (1963) betrok in zijn publicatie ook andere onderzoeksresultaten (tabel 12). Injectie van meststofoplossingen leidden tot lagere werkingen in vergelijking tot uitstrooien van vaste meststoffen.

### **Tabel 12**

*Vergelijking tussen vaste en vloeibare stikstofmeststoffen; geen stikstofbemesting = 100%. Literatuurgegevens gepubliceerd door Burg (1963).*

Soort en vorm	Jameson, 1953	Nowakowski, 1961	Devine, 1962
Zwavelzure ammoniak ( $\text{NH}_4$ ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	144	-	-
Ammonsalpeter, $\text{NH}_4\text{NO}_3$ - vast	-	193	186
Ammonsalpeter, $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -oplossing	-	187	173
Ureum - oplossing	-	-	167
Ammonsalpeter + Ureum - oplossing	134	-	162

Het injecteren van meststofoplossingen op grasland leidt tot schade aan de grasmatten (Mulder, 1949). Op zandgrond en kleigrond gaven ammoniumsulfaat en kalksalpeter meer schade dan kalkammonsalpeter, op veengrond gaf kalkammonsalpeter een lagere opbrengst. In de literatuur wordt vaker gesignaleerd dat onder gunstige vochthuishouding van de bodem ammoniummeststoffen goed werken. Deze Nederlandse ervaringen verschillen met die van Amerikaanse onderzoekers. In de Verenigde Staten wordt grasland vaak met vloeibare N(PK)meststoffen bemest. Ervaringen zijn dat het ondiep plaatsen van vloeibare meststoffen effectiever is

dan het breedwerpig verspreiden (Vigel et al., 1993; Murphy en Zaurov, 1994; Sweeney et al., 1996). Murphy en Zaurov (1994) schrijven dit toe aan een vergroot wortelstelsel waardoor bodemvocht efficiënter kan worden benut.

### *Resumé*

De werkingscoëfficiënten van ammoniumsulfaat en ureum zijn zeer wisselend van orde van grootte. Die variatie wordt veroorzaakt door de gift, het tijdstip en de wijze van toedieningen, het gewas, de ontvangende bodem, en de weersomstandigheden.

Ureum geeft op grasland meestal slechtere werking dan ammoniumnitraat door ammoniakvervluchtiging wat kan leiden tot 5-10% opbrengstverlies. Op bouwland gelijke werking mits bodem niet kalkhoudend is. Bij lagere dosering is de werking circa 90%, bij hogere dosering circa 75-80% vergeleken met ammoniumnitraat.

Op bouwland, mits ingewerkt, is de werking van urean vergelijkbaar met die van ammoniumnitraat, zonder inwerken is de werking lager (~60%).

De werking van ammoniumsulfaat bij lagere dosering is vergelijkbaar met die van ammoniumnitraat, bij hogere doseringen is de werking minder.

## **4.2 Fosfaat**

Het fosfaatgehalte bepaalt het gebruik van de dikke fractie van mestscheiding en het gedroogde product van bedrijf A. De fosfaatwerking van de dikke fracties van de pilot van dit onderzoek werden onderzocht door Schröder et al. (2009). De fosfaatwerking van de dikke fractie op basis van milde extractiemethoden was vergelijkbaar met die van dierlijke mest. Op basis van agressievere extractiemethoden werd meer fosfaat teruggevonden ten opzichte van dierlijke mest. IJzerhoudende flocculanten en coagulanten leidden tot verhoging van het ijzergehalte in de dikke fractie (tabel 4). Dikke fracties met een verhoogd ijzergehalte hadden een lagere werking (Schröder et al., 2009).

Het fosforgehalte in het mineralenconcentraat is aanzienlijk lager dan het stikstof- en kaligehalte. Toch kunnen de fosfaatgiften met bepaalde mineralenconcentraten niet verwaarloosd worden. Zo wordt bij een gift van 100 kg N/ha (op basis van N-totaal) op basis van de huidige stand van zaken 0,1 tot 20,9 kg  $P_2O_5$ /ha toegediend met een mediaan van 5,3 kg  $P_2O_5$ /ha. Het mineralenconcentraat van bedrijf B bevat vrijwel geen fosfor; overige bedrijven variëren van 4-7 kg  $P_2O_5$ /ha bij een gift van 100 kg N/ha (totaal-N).

De landbouwkundige werkzaamheid van fosfor in een meststof wordt bepaald door:

- de fysische vorm (fijnheid, korrelgrootte, hardheid);
- de chemische vorm (chemische aard);
- de milieuomstandigheden die mede bepaald worden door de meststof en de ontvangende bodem (fysisch, chemische en biologische eigenschappen);
- het tijdstip en de wijze waarop de meststof wordt toegediend.

De vormen en fijnheid waarin fosfor voorkomt in een meststof, bepalen de potentiële beschikbaarheid. Nu komen in dierlijke mest diverse fosforvormen voor (o.a. struviet, dicalciumfosfaat, fyaten. De vormen waarin P voorkomt in dierlijke mest worden mede bepaald door de duur van de opslag en de middelen die gebruikt worden om de mest te bewerken (kalk, ijzerzouten, aluminiumzouten etc.). Daarbij ontstaan amorfe precipitaten van fosforverbindingen die bij voortschrijdende duur van opslag herkristalliseren. De meer kristallijne vormen van de fosforverbindingen zijn minder gewasbeschikbaar dan de amorfe verbindingen.

Over de fosforverbindingen in een mineralenconcentraat is nog weinig bekend. Beredeneerd kan worden dat gelet op het proces van omgekeerde osmose anorganische fosforverbindingen en laag moleculaire organisch gebonden fosforverbindingen aanwezig zullen zijn bij een goed functionerende RO. Bij een slecht functionerende

RO kan particulier - P aanwezig zijn. Het hangt van de chemische condities van het mineralenconcentraat en de duur van de opslag af, wat het lot zal zijn van het P in een mineralenconcentraat. Uitlokking en herkristallisatie tot struviet-achtige P-verbindingen is mogelijk.

De landbouwkundige werkzaamheid van het fosfor in een meststof wordt op een aan stikstof vergelijkbare wijze door middel van een werkingscoëfficiënt bepaald. Er zijn verschillen in methoden voor de bepaling van de werkingscoëfficiënt.

Een schatting van de werkingscoëfficiënt van P in de producten is uitgevoerd door te spiegelen aan die voor dierlijke mest. Voor varkensmest wordt op korte termijn (eerste jaarseffect) een werkingscoëfficiënt van 100% aangehouden en voor rundermest van 60%; op lange termijn wordt een werking van 100% aangehouden (Van Dijk, 2003). Het aandeel organische gebonden fosfor in een dierlijke mest is lager dan het aandeel organisch gebonden stikstof. In rundermest komt circa 40% organische gebonden fosfor voor, in varkensmest 5 à 15% (Ehlert et al., 2004). Voor de werking op de lange termijn wordt geen onderscheid aangebracht tussen anorganische of organische fosfaatvormen. Hoewel de bodemprocessen aanvankelijk verschillen, wordt verondersteld dat op termijn de verdeling over de verschillende bodemfracties van reversibel en quasi-irreversibel gebonden anorganisch fosfaat en mineralisatie en ontsluiting van organisch fosfaat zal resulteren in een vergelijkbare mate van nalevering en beschikbaarheid voor het gewas.

In dit onderzoek worden de fysisch-chemische vormen van fosforverbindingen niet bepaald. Nu kan er wel met kennis over de processen van bewerking van dierlijke mest kwalitatief richting gegeven worden aan het effect van bewerking op de fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas.

Een verhoging van het drogestofgehalte door ontwatering zal in beginsel niet leiden tot wezenlijk andere fysisch-chemische fosforvormen. Er kan wel een verschuiving tussen deze P-vormen optreden als bijvoorbeeld vergist wordt. De lage redoxpotentiaal bevordert de vorming van ferrofosfaten en mengzouten met bv. struviet en calcium-P-vormen. Daarbij komt ook meer Ca vrij waardoor in combinatie met een hoge pH calcium-P-vormen gevormd kunnen worden. Aluminiumverbindingen worden eveneens toegepast om de beschikbaarheid van P te verlagen.

Door toevoeging van middelen om de ontwatering van mest te bevorderen kunnen verschuivingen in de samenstelling en het aandeel van de P-vormen ontstaan. Zonder hier verder in te gaan op de chemie van ijzer- en aluminiumverbindingen in de bodem kan als richtlijn meegegeven worden dat de vorming van ijzer- en aluminiumfosfaten in mest kan leiden tot een afname van de fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas. Er zijn indicaties dat deze verschuivingen zijn opgetreden in de P-vormen van de pilot (tabel 13).

De dikke fractie heeft een vergelijkbaar bereik in de molverhouding Ca/P als de varkensmesten (mesten) en het digestaat. Er is echter geen aanwijzing dat de dikke fractie een ander niveau heeft dan de ingaande mest. De molverhouding Fe/P wijkt bij bedrijf B af van die van de mesten, er zit beduidend (factor 20) meer ijzer in dan in de ingaande mest. Het droog product van bedrijf A heeft een wat lager molverhouding Fe/P dan de ingaande mest. Tabel 13 geeft een indicatie dat verschillen in fosfaatbeschikbaarheid te verwachten zijn tussen dikke fractie en varkensmest door verschillen in de molverhouding Fe/P. Dikke fracties met een relatief hoge Fe/P molverhouding zullen naar verwachting een lagere beschikbaarheid hebben dan die van een gangbare dierlijke mest. Er zijn andere methoden van onderzoek nodig om de verlaging van de beschikbaarheid te kwantificeren (geen onderdeel van dit onderzoek). Er is een aanwijzing dat het gebruik van zouten als vlok-middel om mest te ontwateren de landbouwkundige werkzaamheid van het P van de dikke fractie doet verminderen of althans de werking onzekerder maakt omdat die per partij kan verschillen. Er zijn geen directe aanwijzingen dat het droge product van bedrijf A een andere fosfaatwerking heeft dan die van de ingaande mesten (data niet gegeven).

**Tabel 13**

Molverhoudingen tussen Ca/P en Fe/P per bedrijf en het gemiddelde (Gem) voor varkensdrijfmest verwerkende bedrijven en voor het bedrijf dat rundveemest verwerkt.

Product	Mol- verhouding	Parameter	VDM - Bedrijfscode							Gem	RDM
			A	B	C	D	E	F	G		
Concentraat RO	Ca/P	Gemiddelde	0,5	22,1	0,7	2,0	1,0	0,7	3,8	4,6	1,0
		Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	3,1	0,0	0,8
		Maximum	1,5	179,3	1,8	6,1	1,8	1,2	5,0	179,3	1,1
	Fe/P	Gemiddelde	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0
		Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Maximum	0,6	27,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	27,1	0,0
Dikke fractie	Ca/P	Gemiddelde	1,0	1,0	0,8	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0	0,6
		Minimum	0,8	0,8	0,7	1,0	0,2	0,8	0,8	0,2	0,5
		Maximum	1,5	1,3	0,9	1,3	2,6	1,3	0,9	2,6	0,7
	Fe/P	Gemiddelde	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
		Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
		Maximum	0,2	1,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	1,3	0,1

### 4.3 Kalium

Tabel 3 geeft de kaliumgehalten in de mineralenconcentraten en de dikke fracties, bijlage 1 geeft deze gehalten voor overige producten. Dit is een totaalbepaling. De identiteitsvastlegging en de bepaling van de waardegevende gehalten aan kali in alle gangbare kaliummeststoffen is gebaseerd op hun oplosbaarheid in (heet) water. De exacte chemische vormen waarin kalium voorkomt in een mineralenconcentraat is niet bekend. Als rekening gehouden wordt met de kat- en anionenbalansen en daardoor met de aanwezigheid van bicarbonaat en vetzuren (paragraaf 4.1), dan kan verondersteld worden dat in een mineralenconcentraat kalium voorkomt als kaliumbicarbonaat, kaliumchloride, kaliumsulfaat en kaliumhoudende vetzuren. Extrapolatie van de modelberekeningen van Bril en Salomons (1990) duidt erop dat kalium vooral in de chloridevorm aanwezig zal zijn.

Daarnaast zullen vetzuren, sulfaat en bicarbonaat in afnemende mate kaliumvormen zijn. Met vigerende kennis kan niet worden beredeneerd dat bij mestverwerking een proces optreedt waardoor precipitaten van kalium optreden die ze gewasbeschikbaar maken.

Daarom mag worden aangenomen dat de genoemde kaliumvormen alle volledig gewasbeschikbaar zijn. De effectiviteit van kalium wordt bepaald door het anion en de verhoudingen vergeleken met andere kationen. Vooral de verhouding tussen Mg/K bepaalt de mate waarin K opgenomen wordt door het gewas (Marschner, 1995). Er is een zogenoemd antagonisme tussen K en Mg: naarmate de Mg concentratie in het bodemvocht hoger is, wordt de K-opname door het gewas onderdrukt. Nu is het Mg-gehalte in mineralenconcentraten klein ten opzichte van het kaliumgehalte. Er is daardoor geen directe aanwijzing dat kalium van een mineralenconcentraat een andere - lagere werkzaamheid - zal hebben dat reguliere kaliummeststoffen.

De dikke fractie bevat aanzienlijk meer Mg dan de mineralenconcentraten. De bindingsvorm zal verschillen van die van K in de dikke fractie. K zal voorkomen in de vloeistof die nog resteert in de dikke fractie en gedeeltelijk samen met ammonium en magnesium voorkomen in precipitaten van fosfaat (K-struvieten). Mg zal naast struviet voorkomen in precipitaten van carbonaat en gebonden zijn aan de organische stof. Struvieten zijn in het algemeen goed beschikbaar voor het gewas. K-houdende struvieten zijn wat minder snel beschikbaar dan de ammoniumhoudende vormen. Bij gebruik van een dikke fractie als fosfaatmeststof worden beperkte giften aan K en Mg gegeven. Er zal daardoor ten minste aanvullend met K bemest worden. Onder deze omstandigheid is er geen reden om aan te nemen dat ook bij gebruik van de dikke fractie een Mg/K antagonisme zal



optreden. Ook bij de dikke fractie kan daardoor aan kalium dezelfde werkzaamheid worden toegekend als aan reguliere kalimeststoffen.

#### 4.4 Secundaire nutriënten

In mineralenconcentraten komen vooral K en  $\text{NH}_4\text{-N}$  voor, daarnaast zijn in lagere gehalten ook Na en S aanwezig. De gehalten aan Ca en Mg zijn in het algemeen te laag om daar enige landbouwkundige betekenis aan te geven.

##### *Natrium*

Natrium zal in mineralenconcentraten en dikke fractie vooral aan chloride en bicarbonaten gebonden zijn. Beschikbaarheid van natrium is daardoor goed.

De gehalten aan natrium in mineralenconcentraten bedragen ruwweg een 20-25% van die van kalium. Bij gebruik van een mineralenconcentraat als stikstofmeststof of als kaliummeststof wordt een niet te verwaarlozen gift natrium gegeven (20-40 kg Na/ha). Natrium heeft betekenis bij de veevoeding en een aantal akkerbouwgewassen (bv. suikerbiet) reageren met een opbrengstverhoging op natriumbemesting. Andere gewassen tolereren natrium mits de gift niet te hoog is. De berekende gift mag geen opbrengstderving bij deze gewassen teweeg brengen.

De gift aan natrium is eveneens te laag om peptisatie (versmering) van kleideeltjes te veroorzaken, ook daarvoor is de gift laag, vooropgesteld dat er geen andere natriumbronnen gegeven worden. Combinatie van mineralenconcentraten met andere natriumhoudende meststoffen kan wel leiden tot - vanuit bodemstructuur bezien - ongewenst hoge doseringen (enkele honderden kg Na/ha).

Het natriumgehalte in de dikke fractie is aanzienlijk lager dan in het mineralenconcentraat. Van deze gehalten is weinig landbouwkundige effect te verwachten. Risico op versmering van kleigrond door natrium door gebruik van een dikke fractie is niet te verwachten.

##### *Zwavel*

In mineralenconcentraten komt zowel zwavel als sulfaat voor als zwavel dat niet als sulfaat werd bepaald. Het sulfaatgehalte varieert per bedrijf. Gemiddeld genomen is bij bedrijf B 87% van de zwavel aanwezig als sulfaat terwijl bij bedrijf G dit slechts 1% is. Bij andere bedrijven varieert dit percentage van 16-36%. Per bedrijf is een grote spreiding aanwezig in het sulfaataandeel; spreidingen van 9-99% komen voor (bedrijf D).

Sulfaat is een waardevol bestanddeel van mineralenconcentraten. De giften aan zwavel zijn echter gering (mediaanwaarde ~ 3 kg  $\text{SO}_4$ /ha bij 100 kg N/ha). Incidenteel zijn de sulfaatgiften hoog (400 kg sulfaat/ha). Dit dient meegewogen te worden in het bemestingsplan. De totale zwavelgift is gemiddeld eveneens laag (~4 kg S/ha bij 100 kg N/ha).

In de dikke fractie komt weinig sulfaat voor. Dit wijst op de aanwezigheid van gereduceerde zwavelvormen. Deze vormen worden ook in dierlijke mest verwacht. Gemiddeld is dit 13% hetgeen veroorzaakt wordt door bedrijven die een relatief groot aandeel sulfaat hebben (tot 48% bij bedrijf B). De totale S-gift is 22 kg S/ha (mediaanwaarde). Er komen uitschieters voor van 58 kg S/ha.

De beschikbaarheid van S voor het gewas van mineralenconcentraten en dikke fracties is onbekend. Gereduceerde zwavelverbindingen worden in een aëroob bodemsysteem snel geoxideerd. Het vrijkomende sulfaat is gewasbeschikbaar. De S-gift van de dikke fractie komt vrijwel volledig tegemoet aan de vraag van het gewas. De S-gift van mineralenconcentraten is daarvoor te laag, er zal aanvullend met S-houdende meststoffen bemest moeten worden.

## 4.5 Spoorelementen

De gehalten aan spoorelementen zijn in het algemeen laag. De giften aan spoorelement bij deze gehalten bij 100 kg N/ha of 150 kg K<sub>2</sub>O/ha zijn berekend. Deze giften zijn gespiegeld aan de bemestingsadviezen voor grasland en akkerbouwland.

Bij gebruik van mineralenconcentraten als stikstof- of kaliummeststof worden geringe giften aan spoorelementen gegeven (tabel 14). Het betreft giften die hooguit enkele 10-tallen grammen per ha bedragen. Bij toediening aan de bodem hebben deze giften weinig betekenis voor de bodemvruchtbaarheid en het gewas. Bedrijf C heeft bij Zn wel forse uitschieters (tot 5,2 kg Zn/ha). Voor Zn is er geen bemestingsadvies maar de gift is hoger dan de afvoer met (oogst)producten en leidt tot accumulatie in de bodem. De uitschieters betreffen echter incidenten. Toch dient deze gift betrokken te worden in het bemestingsplan.

De giften aan Fe bij de bedrijven A en B zijn groot. Toediening aan de bodem van Fe is niet effectief. Fe kan wel fosfaat vastleggen. Maar daarvoor zijn de giften (1,4-9,8 kg Fe/ha) te laag. De gehalten aan spoorelementen geven aan mineralenconcentraten geen meerwaarde.

De dikke fractie daarentegen is bron van spoorelementen. Toediening van Fe en Mn aan de bodem dient geen bemestingsdoel. De giften aan Mo zijn te laag om daaraan enige betekenis te kunnen geven. De toediening draagt niet bij aan een betere beschikbaarheid voor het gewas. De giften aan B, Cu en Zn zijn dusdanig hoog dat bij het bemestingsplan rekening gehouden dient te worden met hun gehalten in de dikke fracties.

## 4.6 Verhoudingen tussen nutriënten

De betekenis van de verhouding tussen de nutriënten kent een fysiologische benadering en heeft een praktische uitwerking. Bij de fysiologische benadering kan onderscheid aangebracht worden tussen een plantfysiologische en een dierfysiologisch benadering. Bij fysiologische aspecten wordt de molverhouding tussen nutriënten in ogenschouw genomen. In de uitvoeringspraktijk wordt veelal gewerkt met op gewichtspercentages gebaseerde molverhoudingen. In deze rapportage wordt de uitvoeringspraktijk als leidraad genomen. Daarvoor zijn fosfor en kalium omgerekend naar fosfaat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en kali (K<sub>2</sub>O). Tabel 15 geeft de verhoudingen voor N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N/K<sub>2</sub>O en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O.

**Tabel 14**

*Gift aan spoorelementen in kg per ha bij toepassing van dikke fractie als stikstofmeststof bij 100 kg N/ha of als kaliummeststof bij 150 kg K<sub>2</sub>O/ha.*

Giftbepalend nutriënt	Spoorelement	Bedrijfscode							Gemiddeld
		A	B	C	D	E	F	G	
Stikstof	B	0,18	0,21	0,17	0,25	0,64	0,19	0,08	0,24
	Cu	0,58	0,76	1,03	2,24	0,90	0,95	2,62	1,13
	Fe	8,21	70,0	5,97	11,7	9,79	7,32	5,78	18,9
	Mn	1,82	1,88	1,43	1,81	1,04	1,68	0,84	1,63
	Mo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
	Zn	1,67	2,34	4,16	3,67	3,47	4,83	2,95	3,38
Kalium	B	0,60	0,89	0,75	1,16	2,66	0,86	0,39	1,00
	Cu	2,07	3,19	4,44	11,5	3,13	4,32	17,5	5,23
	Fe	27,4	275	25,8	59,4	34,0	33,8	35,9	74,1
	Mn	5,99	7,37	6,15	8,11	3,71	7,66	3,93	6,40
	Mo	0,02	0,02	0,07	0,10	0,03	0,07	0,05	0,05
	Zn	6,01	9,51	17,7	19,1	12,19	22,6	18,5	14,9

**Tabel 15**

Onderlinge verhoudingen van stikstof, fosfaat en kali  $N/K_2O$ ,  $N/P_2O_5$  en  $P_2O_5/K_2O$  van mest en producten van bewerking op basis van gewichtpercentages en het algemeen gemiddelde voor alle monsters.

Product	Verhouding	Parameter	A	B	C	D	E	F	G	Gemiddeld	H	
Concentraat RO	$N/P_2O_5$	Gemiddelde	17,3	433,3 <sup>a</sup>	11,6	22,5	27,0	14,0	32,3	88,0	18,7	
		Minimum	4,8	140,0	9,3	13,2	12,8	10,9	21,0	4,8	14,2	
		Maximum	34,7	1505,2	14,1	32,1	38,2	20,1	52,9	1505,2	26,1	
	$N/K_2O$	Gemiddelde	0,8	0,9	0,9	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6
		Minimum	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6
		Maximum	1,3	1,1	1,2	0,7	0,7	0,9	0,9	1,3	0,6	0,6
	$P_2O_5/K_2O$	Gemiddelde	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
		Minimum	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Maximum	0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0
Dikke fractie	$N/P_2O_5$	Gemiddelde	0,6	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0	0,8	0,7	
		Minimum	0,5	0,7	0,7	0,6	0,2	0,6	0,8	0,2	0,6	
		Maximum	0,9	1,1	0,9	0,7	1,4	0,8	1,4	1,4	0,7	
	$N/K_2O$	Gemiddelde	2,4	2,6	2,9	3,4	2,2	3,1	3,9	2,8	1,8	
		Minimum	2,0	2,1	2,4	1,6	1,4	2,7	3,1	1,4	1,6	
		Maximum	3,1	3,1	3,3	4,7	2,9	3,6	5,1	5,1	2,0	
	$P_2O_5/K_2O$	Gemiddelde	4,0	2,9	3,6	5,1	2,9	4,1	4,3	3,8	2,6	
		Minimum	2,3	2,3	2,9	2,5	1,0	3,4	2,2	1,0	2,2	
		Maximum	5,3	3,6	4,3	7,2	6,4	5,3	6,6	7,2	3,3	

<sup>a</sup> Bedrijf B heeft zeer laag P-gehalte in het mineralenconcentraat.

### *Verhouding N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*

In mineralenconcentraten komt doorgaans weinig fosfor voor, berekende N/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-verhoudingen wijzen uit dat stikstof het gebruik volledig bepaald. In dikke fractie van mest is de verhouding constant, het verschil tussen minimum en maximumwaarden voor de verhouding is gering. Bedrijven B, E en G vertonen de grootste spreiding.

Producten met hoge verhoudingen (>4) zijn in beginsel geschikt voor gewassen met lage fosfaatbehoefte (grasland, granen), producten met lage verhoudingen (<2) zijn geschikt voor fosfaatbehoefte gewassen (aardappel, snijmaïs).

### *Verhouding N/K<sub>2</sub>O*

De gemiddelde verhouding tussen stikstof en kali van de mineralenconcentraten is voor alle bedrijven van eenzelfde orde van grootte (gemiddeld 0,8; bereik 0,6 à 0,9). De verhouding blijkt bij de dikke fractie meer te variëren dan bij de mineralenconcentraten (2,8; bereik 1,4-5,1). Deze spreiding is groter dan aanwezig is bij de varkensdrijfmesten die als uitgangspunt zijn gebruikt (data niet gegeven).

Een verhouding van 1,2 past goed bij een voldoende nutriëntentoestand bij voorbeeld bij de meststofbehoefte van grasland (100% maaien), snijmaïs, aardappel, suikerbiet op klei en wintertarwe. Een verhouding van 0,8 past bij suikerbiet op zand. De teelt op klei vraagt veel minder kalium dan die teelten op zand en daardoor om - aanzienlijk - hogere N/K<sub>2</sub>O-verhouding.

### *Verhouding P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O*

De verhouding P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O heeft geen betekenis bij het mineralenconcentraat, daarvoor zijn de P-gehalten te laag. De dikke fractie heeft gemiddeld een verhouding van 3,8 maar kent een aanzienlijke spreiding 1,0-7,2.

De behoefte aan kali is in het algemeen hoger dan die aan fosfaat. Lage P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/K<sub>2</sub>O-verhoudingen (<1) zijn dan nodig. Producten met hoge verhoudingen hebben betekenis als fosfaatbron voor fosfaatbehoefte gewassen (bv. snijmaïs, aardappel). Een gunstige bijkomstigheid is dat deze producten relatief veel organisch gebonden stikstof bevatten terwijl de doelgewassen een lange groeiduur hebben.

Meststoffen dragen bij aan een verrijking van al aanwezige nutriënten in de bodem. De mate waarin bijgedragen wordt en de wijze waarop de bodem toegevoegde nutriënten buffert bepaalt de beschikbaarheid voor het gewas. Het hangt van de ontvangende bodem af of een onbalans in een samenstelling van een meststof daadwerkelijk zal leiden tot een onbalans in het aanbod aan het gewas. Zolang kennis van het gedrag van nutriënten in de bodem en warenkennis van meststoffen de bemestingspraktijk stuurt, is er geen reëel risico op een onbalans tussen nutriënten en dan is er ook geen risico op derving van de gewasproductie of de diergezondheid (kopziekte). Mestverwerking leidt tot andere verhoudingen tussen de hoofdelementen. Als daar geen rekening mee gehouden wordt, kan dit - op termijn - tot schade leiden (opbrengstderving, verslechtering kwaliteit).

### *Chloride*

Mineralenconcentraten bevatten meer chloride dan de dikke fracties en de dunne fracties (tabel 16, bijlage 4). Het mineralenconcentraat kent een zeer grote variatie in gehalten aan chloride in vergelijking tot de dikke fractie. Incidenteel komen gehalten voor die landbouwkundig ongewenst zijn omdat bij verantwoord gebruik als stikstof- of kalimeststof de vrucht aan chloride chloorschade veroorzaakt aan gewassen. Indien deze incidenten<sup>31</sup> uitgesloten worden is het chloridegehalte van een mineralenconcentraat circa 1,7 maal hoger dan die van de ingaande mest.

---

<sup>31</sup> Criterium chloridegehalte  $\geq 8$  g Cl/kg.

**Tabel 16***Chloridegehalten<sup>a</sup> in mineralenconcentraten en dikke fractie (g Cl/kg).*

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard-afwijking	Aantal
concentraat RO	3,11	2,96	1,22	7,79	1,022	58
concentraat RO rdm	6,03	5,77	4,66	7,92	0,745	4
dikke fractie	0,99	0,92	0,51	2,56	0,037	71
dikke fractie rdm	1,20	1,20	1,09	1,30	0,047	4

<sup>a</sup> Exclusief uitzonderlijk hoge chloridegehalten.

De hoge gehalten aan chloride beperken de gebruiksmogelijkheden als meststof omdat dit leidt tot aanzienlijke giften chloride (263 en 332 kg Cl/ha bij giften van respectievelijk 100 kg N of 150 kg K<sub>2</sub>O/ha). Dergelijk hoge giften zullen leiden tot chloorschade bij gewassen als aardappel, vollegrondsgroenten (sperzieboon). Gewassen als suikerbiet en kool tolereren hoge chloridegiften. Er heeft aanpassing plaatsgevonden in de bewerking van mest bij het bedrijf met hoge chloridegehalten in het mineralenconcentraat waardoor de chloridegehalten aanzienlijk zijn gedaald. Mediaanwaarden voor giften aan chloride variëren van 36-64 kg Cl/ha bij 100 kg N/ha tussen de mineralenconcentraten van de verschillende bedrijven; bij 150 kg K<sub>2</sub>O/ha is dat bereik 37-61 kg Cl/ha). Deze mediaanwaarden geven aan dat chloride geen aandachtspunt vormt bij verantwoord gebruik van mineralenconcentraten.

## 5 Milieuhygiënische aspecten

De producten van mestverwerking zijn onderzocht op de zware metalen Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn en As. Hg is niet onderzocht. In het algemeen is er geen verwachting dat een mineralenconcentraat gehalten aan Hg bevat die aanleiding geven tot zorg. In bijlage 5 worden voor de producten de analyseresultaten voor Cr, Ni, samengevat. Die voor Cu en Zn zijn gegeven in bijlage 3.

De gehalten aan Pb en As liggen bij alle producten van mestverwerking op of onder de detectiegrens van 0,01 mg/kg. Incidenteel werd in een varkensmest een gehalte van 0,03 mg Cd/kg gemeten, maar ook Cd lag in het algemeen op of onder de detectiegrens van 0,01 mg/kg. Gehalten aan Cr, Cu, Ni en Zn zijn in meetbare gehalten vastgesteld.

Op de mineralenconcentraten en dikke fracties is per bedrijf per monster de milieutoets uitgevoerd conform het Protocol Beoordeling Stoffen Meststoffenwet (Van Dijk et al., 2010). Tabel 17 geeft het resultaat.

In het algemeen doorstaan de mineralenconcentraten de milieutoets (97% van de monsters). Er zijn drie producten die deze toets niet doorstaan (tabel 17). Dit wordt veroorzaakt door Zn (overschrijdingen van de maximaal toelaatbare vracht met factoren 1,3-7,1). De overschrijdingen betreffen incidenten. Het algemene beeld is dat de gehalten aan zware metalen Cd, Cr, Ni, Pb en As geen aandachtspunt vormen bij verantwoord landbouwkundig gebruik van de producten van mestverwerking.

De dikke fracties van varkensdrijfmesten doorstaan in het algemeen niet de milieutoets. Dit wordt veroorzaakt door Cu en Zn. De dikke fractie van rundveedrijfmesten doorstaan wel de milieutoets. Cu en Zn vormen dus een aandachtspunt maar dit is niet anders dan het aandachtspunt dat ook geldt bij onbewerkte dierlijke mest.

De zware metalen en arseen worden bij mestverwerking verdeeld over dunne fracties en met name de dikke fractie. Overdracht naar het mineralenconcentraat vormt geen zorgpunt.

**Tabel 17**

Oordeel van de milieutoets op zware metalen en arseen over mineralenconcentraten en dikke fracties van mestverwerking bij toepassing van het Protocol Beoordeling Stoffen Meststoffenwet (Van Dijk et al., 2010).

Bedrijfscode	Toets	Product			
		Concentraat RO		Dikke fractie	
		VDM <sup>a</sup>	RDM <sup>b</sup>	VDM	RDM
A	Positief	15			
	Negatief	1		12	
	Onvoldoende informatie			1	
Subtotaal A		16		13	
B	Positief	16			
	Negatief	1		13	
	Onvoldoende informatie			2	
Subtotaal B		17		15	
C	Positief	22			
	Negatief	1		15	
	Onvoldoende informatie			3	
Subtotaal C		23		18	
D	Positief	19			
	Negatief			12	
	Onvoldoende informatie			2	
Subtotaal D		19		14	
E	Positief	11		1	
	Negatief			11	
Subtotaal E		11		12	
F	Positief	13			
	Negatief			13	
Subtotaal F		13		13	
G	Positief	3			
	Negatief			3	
Subtotaal G		3		3	
H	Positief		4		4
	Negatief				
Subtotaal H			4		4
Totaal aantal	Positief	99	4	1	4
	Negatief	3		79	
	Onvoldoende informatie			8	
	Aantal toetsen	102	4	88	4

<sup>a</sup> VDM: varkensdrijfmesten.

<sup>b</sup> RDM: runderdrijfmesten.



## 6 Discussie en conclusies

Alle producten van mestverwerking bevatten meer dan één waardegevend bestanddeel als meststof waardoor meerdere gebruiksfuncties mogelijk zijn. Enkelvoudige meststoffen zijn niet het eindproduct van be- en verwerking van mest met de beproefde technieken in de betreffende pilot.

Een mineralenconcentraat kan zowel de functie van een stikstofmeststof als van een kalimeststof uitoefenen. Indien vigerende bemestingsadviezen als leidraad worden genomen is er echter altijd één nutriënt die de gift bepaalt ter voorkoming dat van andere nutriënten teveel wordt toegediend.

Het landbouwkundig gebruik van de producten van mestverwerking wordt bepaald door stikstof of door kalium. Dit gebruik is afhankelijk van het gewas. Gewassen verschillen in stikstof- en kaliumbehoefte. Bij mineralenconcentraten van de pilot is stikstof meestal het nutriënt dat het gebruik bepaald maar er zijn ook partijen waarbij kalium het gebruik bepaald.

Bij de dikke fractie bepaalt fosfor het landbouwkundig gebruik. Incidenteel worden echter dikke fracties geproduceerd waarbij stikstof het landbouwkundig gebruik bepaald.

De spreiding in waardegevend bestanddelen in mestconcentraten en dikke fracties tussen de bedrijven is groot. Deze spreiding binnen bedrijven is kleiner; bedrijven verschillen onderling in de mate waarin waardegevend bestanddelen in de tijd variëren. Deze spreiding is groter dan in kunstmest wordt aangetroffen en is groter dan de tolerantiegrenzen die gelden voor stikstofkunstmeststoffen die het label EG-meststof voeren.

De kat- en anionenbalans van mineralenbalansen is niet sluitend, er ontbreken metingen van anorganische en organische anionen. In het bijzonder ontbreekt informatie over de gehalten (concentraties) aan bicarbonaat en (vluchtige) vetzuren. Deze deskstudie wijst uit dat in mineralenconcentraten stikstof in hoofdzaak in ammoniumvorm voorkomt. De pH van een aantal mineralenconcentraten is hoger dan 8 waardoor het aannemelijk is dat ook ammoniak voorkomt. Daarnaast komt organisch gebonden stikstof voor. Het gehalte is gemiddeld laag (~10% van de totale-N) maar er is een aanzienlijk bereik vastgesteld.

De effectiviteit van de stikstof van het mineralenconcentraat is onzeker omdat de oplossing alkalisch is waardoor ammoniakvervluchtiging kan optreden. Ammoniakvervluchtiging is echter beheersbaar. De zuurgraad van mineralenconcentraten kan verlaagd worden door aan te zuren met bijvoorbeeld zwavelzuur tot onder de pH 8 waardoor ten minste alle minerale stikstof in de ammoniumvorm voorkomt. Indien een mineralenconcentraat direct in een vochtige bodem wordt gebracht, zal de emissie van ammoniak laag zijn.

De mogelijke (niet gemeten) aanwezigheid van vluchtige vetzuren vormt een aandachtspunt. Deze makkelijk afbreekbare organische stoffen oefenen een mogelijk effect uit op processen van de stikstofkringloop: nitrificatie, denitrificatie en mogelijk ook immobilisatie. De resultaten van veldonderzoek wijzen uit dat de werkingscoëfficiënten voor stikstof op grasland en bouwland achter blijven vergeleken met die van kalkammonsalpeter. Dit zou toegeschreven kunnen worden aan de effecten van deze vluchtige vetzuren op de stikstofhuishouding van de bodem. Echter ook oplossingen van stikstofkunstmeststoffen hebben lagere werkingscoëfficiënten dan breedwerpig toegediende kalkammonsalpeter. Bij grasland blijkt dat het aanbrengen van een injectiesnede een factor is die bijdraagt aan een verlaging van de stikstofwerking. Gelet op de resultaten die verkregen zijn met oplossingen van kunstmeststoffen is de verwachting dat mits ammoniakemissie onder controle wordt gehouden en mits de vluchtige vetzuren qua aandeel in een mineralenconcentraat beperkt aanwezig zijn, mineralenconcentraten even effectief zijn als stikstofkunstmestoplossingen.

Het aandeel vluchtige vetzuren in een mineralenconcentraat is terug te brengen door dierlijke mest te vergisten voor mestscheiding en omgekeerde osmose. Of dit noodzakelijk is, dat is nog niet duidelijk. Het effect van de vluchtige vetzuren op de stikstofprocessen in de bodem vraagt nader onderzoek.

De fosfaatwerking van de producten van mestverwerking zou vergelijkbaar moeten zijn met die van de dierlijke meststoffen voor bewerking. Op de lange termijn wordt de fosfaatwerking van dierlijke mest en die van kunstmestfosfaat (tripelsuperfosfaat) aan elkaar gelijk gesteld. Bij de dikke fractie blijkt de bewerking te leiden tot wezenlijk andere verhoudingen tussen ijzer en fosfaat. Dat wijst op een slechtere fosfaatwerking ten opzichte van dierlijke mest en van kunstmest. Tussen partijen dikke fractie varieert deze verhouding. Dit wijst erop dat de fosfaatwerking per partij verschilt. Fosfaat dient efficiënt te worden gebruikt. Daarom is gebruik van fosfaatvastleggende anorganische zouten zoals ijzerchloride of ijzersulfaat af te raden.

De kaliumwerking van mineralenconcentraten en van de dikke fractie is gelijk aan die van reguliere kalimestoffen. Er zijn geen aanwijzingen gevonden voor een lagere werkzaamheid. Wel dient rekening gehouden te worden met de aanwezigheid van nevenbestanddelen in mineralenconcentraten en dikke fracties. Dit kan door de nutriëntenverhoudingen te betrekken bij het bemestingsplan.

De gehalten aan secundaire nutriënten in mineralenconcentraten hebben doorgaans weinig betekenis bij verantwoord landbouwkundig gebruik. Voor de meeste landbouwgewassen leveren de giften aan natrium bij gebruik van mineralenconcentraten als stikstof- of kaliummeststof geen problemen op. Voor een aantal gewassen zoals grasland (vanwege diergezondheid) en suikerbieten is de aanwezigheid van natrium gunstig te noemen. Sulfaat en zwavel komen in zeer onderscheidenlijke verhoudingen en gehalten voor. Een hoog aandeel sulfaat (en daardoor een laag aandeel bicarbonaat en vetzuren) geeft een betere voorspelbare werking aan mineralenconcentraat. Kennis over de exacte samenstelling helpt de gebruiker.

De gehalten aan sporelementen in mineralenconcentraten geven in het algemeen geen meerwaarde aan mineralenconcentraten.

De giften aan secundaire - en sporelementen met dikke fracties hebben betekenis. Bemestingsplannen vragen om kennis van de exacte samenstelling van een dikke fractie.

Mineralenconcentraten bevatten wisselende gehalten aan chloride van laag tot onaanvaardbaar hoog. Onaanvaardbaar hoge gehalten werden veroorzaakt door het gebruik van chloridehoudende coagulatiemiddelen en flocculanten. Deze chloridehoudende producten worden nu niet meer toegepast en dit heeft geleid tot chloridegehalten in mineralenconcentraten die geen chloorschade veroorzaken.

De gehalten aan zware metalen Cd, Cr, Ni, Pb en As vormen geen aandachtspunt bij verantwoord landbouwkundig gebruik van de producten van mestverwerking. Cu en Zn vormen wel een aandachtspunt maar dit is niet anders dan het aandachtspunt dat ook geldt bij onbewerkte dierlijke mest.

# Literatuur

Banthien, H., 1968. Hoofdstuk II.B.b. Düngemittel. Handelsdüngemittel. Synthetische Stickstoffdüngemittel. In: K. Scharrer en H. Linser, 1968. *Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Boden und Düngemittel. Zweite Hälfte*. Springer - Verlag., Library of Congress Catalog Card Number 66-1904:1075-1077.

Bloemsma, D., 1950. *Tuinbouwbemestingsleer*.

Bril, J. en W. Salomons, 1990. Chemical composition of animal manure. A modelling approach. In: P. Del Castilho, W.H. Rulkens en W. Salomons. *Dierlijke mest. Problemen en oplossingen*. Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (KNVC). ISBN 90-71446-05-05: 201-222.

Burg, P.F.J., 1963. De stikstofbemesting van grasland. 6. De werking van 'stikstof-oplossing'. In: *Stikstof* 39: pp. 75-80.

Burg, P.F.J. van en G.D. van Brakel, 1966. De toepassing van stikstofoplossingen. 1. Proeven op bouwland en grasland in 1964 en 1965. In: *Stikstof* 51: pp. 195-2002.

Burg, P.F.J. en J.H. Schepers, 1969. De toepassing van stikstofoplossingen. 2. Proeven op bouwland en grasland in 1966-1968. In: *Stikstof* 62: pp. 61-65.

Burg, P.F.J., M.R.J. Holmes en K. Dilz, 1983. *Sugar beet. Nitrogen supply from fertilizers and manures*. LBNM. Stichting Landbouwkundig Bureau van de Nederlandse Meststoffenindustrie. Symposium *Nitrogen and Sugar beet*, Brussel, 16-17 februari 1983. Institute International de Recherches Betteravières (IIRB).

Cleveringa, O.A., 2002. *Toepassingsmogelijkheden van vloeibare NPK-meststoffen in de akkerbouw*. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving. Sector AGV. Projectrapport nr. 1125246.

Cooke, G.W., 1972. *Fertilizing for the maximum yield*. Grosby Lockwood and Son Ltd. London.

Lande Cremer, L.C.N. de la, 1957. *Over productie, samenstelling en conservering van gier*. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Groningen. Rapport XIV -1957.

Debreczeni, K., K. Berecz, K. Fischl en Z. Wittmann, 2002. Nitrogenous gas production in the soil air as affected by different N fertiliser forms and water supplies in model experiments. *Acta Agronomica Hungarica* 50 (4): pp. 433-440.

Dijk, W. van (samenstelling), 2003. *Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Publicatienr. 307.

Dijk, T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius en O. Oenema, 2010. *Protocol Beoordeling Stoffen Meststoffenwet*. Versie 2.1. WOT werkdocument 167.

- Ehlert, P.A.I., H.P. Pasterkamp en P.R. Bolhuis., 2004. Effecten van organische bodemverbeterende middelen op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en lange termijn. Alterra, rapport 991.
- Ehlert, P.A.I., P. Hoeksma en G.L. Velthof, 2009. Anorganische en organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten. Resultaten van de eerste verkenningen. ASG rapport 256.
- Geel, W. van, W. van Dijk en W. van den Berg, 2011. Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Projectnr. 32 501 316 00, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.
- Gier, C.A.J.M. de, 1923. *De moderne bemesting*. Leerboek voor studie en praktijk. W.E.J. Tjeenk Willink, Zwolle.
- Golden, D.C., S. Sivasubramaniam, S. Sadanam, M.A. Wijedasa, 1981. Inhibitory effects of potassium chloride on the nitrification rates of added ammonium sulphate in an acid red yellow podzolic soil. *Plant and Soil* 59: pp. 147-151.
- Grewal, J.P.S., Y. Singh, B. Singh, A. Virk en C.S. Khind, 1999. Effect of source and nest size of N fertilizers and temperature on nitrification in a coarse textured, alkaline soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 54: 199-207.
- Hahn, E.B., F.R. Olsen en J.L. Roberts, 1942. Influence of potassium chloride on nitrification in Bedford silt loam. *Soil Science* 55: pp. 113-121.
- Harmsen, K.H., H. Loman en J.J. Neeteson, 1990. A derivation of the Pierre-Sluijsmans equation used in the Netherlands to estimate the acidifying effect of fertilizers applied to agricultural soils. *Fertilizer Research* 26: pp. 319-325.
- Hoeksma, P., F.E. de Buissonjé en J.H. Horrevorts, 2011. *Mineralenconcentraten uit dierlijke mest*. Wageningen UR Livestock Research, rapport 481.
- Huijsmans, J.F.M., D.W. Bussink, C.M. Groenestein, G.L. Velthof en G.J. Vermeulen, 2011. *Ammonia emission factors for field-applied manure, fertilisers and grazing in The Netherlands*. Submitted to Atmospheric Environment.
- Jorgensen, K., J. Magid, J. Luxhoi en L. Stoumann Jensen, 2010. Phosphorus Distribution in Untreated and Composted Solid Fractions from Slurry Separation. *J. Environ. Qual.* 39: pp. 393-401.
- Klugkist, J. en H. Haaker, 1984. Inhibition of Nitrogenase Activity by Ammonium Chloride in *Azotobacter vinelandii*. *J. Bacteriology* 157: pp. 148-151.
- Kuikman, P., R. Schils, Ch. van Beek en G. Velthof, 2010. *Nitrificatieremmers in de Nederlandse Landbouw, potentiële vermindering van lachgasemissie*. Alterra, Alterra-rapport 2016.
- Lægread, M., O.C. Bøckman en O. Kaarstad, 1999. *Agriculture, Fertilizers & the Environment*. CABI Publishing. ISBN 085199 385 3.

- Le, P.D., A.J.A. Aarnink, A.W. Jongbloed, C.M.C. van der Peet-Schwering, N.W.M. Ogink en M.W.A. Verstegen, 2008a. Content of dietary fermentable protein and odour from pig manure. *Animal Feed Science and Technology* 146: pp. 98-112.
- Le, P.D., A.J.A. Aarnink, A.W. Jongbloed, C.M.C. van der Peet-Schwering, N.W.M. Ogink en M.W.A. Verstegen, 2008b. Interactive effects of dietary crude protein and fermentable carbohydrate levels on odour from pig manure. *Livestock Science* 114: pp. 4-61.
- Le, P.D., A.J.A. Aarnink en A.W. Jongbloed, 2009. Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level. *Livestock Science* 121: pp. 267-274.
- Marschner, H. en V. Römheld, 1983. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect on plant species and nitrogen source. *Z. Pflanzenphysiol.* 111: pp. 241-251.
- Marschner, H., 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic press limited, ISBN 0-12-473542-8 (HB)/ISBN 0-12-473543-6.
- Mengel, K. en E.A. Kirkby, 2001. *Principles of plant nutrition*. 5<sup>th</sup> ed. Dordrecht Kluwer Academic Publishers.
- Middelkoop, J.C., van en G. Holshof, 2011. *Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland; Veldproeven 2009 en 2010*. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 475.
- Mondor, M., L. Masse, D. Ippersiel, F. Lamarche en D.I. Masse, 2008. Use of electro dialysis and reverse osmosis for the recovery and concentration of ammonia from swine manure. *Bioresource Technology* 99: pp. 7363-7368.
- LEI, 2010. *Land- en tuinbouwcijfers 2010*. LEI en CBS. LEI-rapport 2010-068; ISBN -; ISSN 1386-9566 (lei.dlo.nl/publicaties/PDF/2010/2010-068.pdf).
- Mulder, E.G., 1949. Investigations on the agricultural value of nitrophosphate an anhydrous ammonia. The Fertiliser Society. Proceedings N. 25.
- Murphy, J.A., D.E. Zaurov, 1994. Shoot and Root Growth Response of Perennial Ryegrass to Fertilizer Placement Depth. *Agron. J.* 86: pp. 828-832.
- Roseberg, R.J., N.W. Christensen en T.L. Jackson. 1986. Chloride, soil solution osmotic potential, and soil pH effects on nitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: pp. 941-945.
- Schepers, J.H., 1976. De stikstofbemesting van granen. 28. De stikstofwerking van ureum in vergelijking met kalkammonsalpeter bij wintertarwe op kleigrond. *Stikstof* 83/84: pp. 449-451.
- Schepers, J.H., 1979. De toepassing van stikstofoplossingen. 4. Vergelijking van de stikstofwerking van ureaan met die van kalkammonsalpeter bij fabrieksaardappelen op zand- en veenkoloniale gronden, en bij consumptie-aardappelen op kalkhoudende kleigronden. Proeven over de jaren 1973, 1974 en 1975. *Stikstof* 91: pp. 226-231.

Schreven, D.A. van, 1955. *Ammoniakvervluchting op kalkrijke Zuiderzeegronden bij gebruik van ammoniumhoudende meststoffen. Van zee tot land*. Rapporten en mededelingen inzake de droogmaking, ontginning en sociaal-economische opbouw der IJsselmeerpolders. Nr. 11. Directie van de Wieringermeer (Noodoostpolderwerken). Rapporten en Mededelingen inzake de Droogmaking, Ontginning en Sociaal-Economische Opbouw der IJsselmeerpolders.

Schröder, J.J., J.C. van Middelkoop, W. van Dijk en G.L. Velthof, 2008. Quick scan Stikstofwerking van dierlijke mest. Actualisering van kennis en mogelijke gevolgen van aangepaste forfaits. WOt rapport nr. 85.

Schröder, J.J., D. Uenk en W. de Visser, 2009. De beschikbaarheid van fosfaat uit de dikke fractie. In: G.L. Velthof, 2009. *Kunstvervangers onderzocht: tussentijds rapport van het onderzoek in het kader van de pilot Mineralenconcentraten*. Wageningen UR. <http://edepot.wur.nl/163145>

Smit, J.K. en P.F.J. van Burg, 1969. Een proef met stikstofsoorten te Gortel. *Stikstof* 61: pp. 20-25.

Souri, M.K, 2010. Effectiveness of chloride compared to 3,4-Dimethylpyrazole phosphate on nitrification inhibition in soil. *Communications in soil science and plant analysis* 41:14: pp. 1769-1778.

Sweeney, D.W., J.L. Moyer en J.L. Havlin, 1996. Multinutrient Fertilization and Placement to Improve Yield and Nutrient Concentration of Tall Fescue. *Agron. J.* 88: pp. 982-986.

Steenbjerg, F., 1944. Ammoniaktab fra Kvaelstofholdige Handelsgødninger udbragt paa Agerjord I Svovlsur ammoniak. *Tidskr. Planteavl.*: 48: pp. 516-546.

Velthof, G.L, 2005. Gaseous nitrogen en carbon lossen from pig manure derived from different diets. *J. Environ. Quality* 34: pp. 398-706.

Velthof, G.L., 2009. Kunstvervangers onderzocht: tussentijds rapport van het onderzoek in het kader van de pilot Mineralenconcentraten. Wageningen UR. <http://edepot.wur.nl/163145>

Velthof, G.L., C. van Bruggen, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen en J.F.M. Huijsmans, 2009. *Methodiek voor berekening van ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland*, Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 70.

G.L. Velthof en E. Hummelink, 2011. Ammoniak- en lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraten. Resultaten van laboratoriumproeven in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2180.

Vigil, M.F., D.E. Kissel, M.L. Cabrera en C.W. Raczkowski, 1993. Optimal Spacing of Surface-Banded Nitrogen on Fescue. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: pp. 1629-1633.

# Bijlage 1 Soortelijke gewicht, drogestof, ruw-as, organische stof, pH en nutriënten

## Soortelijk gewicht, kg/l

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	1,032	1,032	1,015	1,044	0,0007	95
concentraat RO rdm	1,057	1,057	1,049	1,066	0,0036	4
concentraat UF	1,023	1,022	1,012	1,038	0,0020	12
concentraat UF rdm	1,019	1,018	1,016	1,024	0,0017	4
digestaat	1,048	1,047	1,032	1,065	0,0053	6
digestaat rdm	1,041	1,042	1,037	1,045	0,0018	4
dikke fractie	1,117	1,114	1,046	1,172	0,0041	39
dikke fractie rdm	1,098	1,097	1,091	1,107	0,0035	4
droog product	*	*	*	*	*	0
dunne fractie	1,016	1,015	1,007	1,100	0,0011	85
dunne fractie rdm	1,016	1,016	1,013	1,018	0,0010	4
ingaand RO	1,018	1,017	1,007	1,029	0,0014	17
permeaat ionenwisselaar	1,001	1,001	0,999	1,003	0,0003	12
permeaat RO	1,001	1,001	0,999	1,003	0,0001	78
permeaat RO rdm	0,999	0,999	0,998	1,001	0,0006	4
permeaat UF	1,014	1,014	1,010	1,018	0,0006	12
permeaat UF rdm	1,016	1,016	1,014	1,017	0,0008	4
substraat vergister	1,004	1,001	0,998	1,016	0,0041	4
substraat vergister rdm	1,034	1,034	1,034	1,034	*	1
varkensmest	1,041	1,037	1,029	1,069	0,0072	5
vleesvarkens + zeugenmest	1,030	1,033	1,009	1,047	0,0017	41
vleesvarkensmest	1,040	1,042	1,013	1,069	0,0021	28

**Drogestof, g/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	33,000	33,500	15,230	58,200	0,8788	101
concentraat RO rdm	90,900	87,300	68,310	120,500	11,7154	4
concentraat UF	41,000	40,400	21,790	74,800	3,7081	12
concentraat UF rdm	53,700	52,000	49,340	61,600	2,8723	4
digestaat	100,700	99,600	80,650	124,900	6,7454	6
digestaat rdm	92,100	90,100	85,210	102,800	3,8079	4
dikke fractie	269,300	280,100	66,230	367,000	5,5000	88
dikke fractie rdm	260,300	264,900	237,200	274,100	8,0623	4
droog product	813,000	882,300	545,770	926,600	51,9574	7
dunne fractie	17,100	16,000	7,190	56,900	0,7805	87
dunne fractie rdm	31,800	31,500	28,290	36,000	1,5811	4
ingaand RO	19,400	19,900	8,040	31,500	1,4951	17
permeaat ionenwisselaar	0,200	0,200	0,200	0,200	0,0000	12
permeaat RO	2,600	0,300	0,200	79,700	1,4142	78
permeaat RO rdm	0,200	0,200	0,200	0,200	0,0000	4
permeaat UF	11,400	12,000	3,210	17,500	0,9574	12
permeaat UF rdm	18,200	16,300	15,280	25,000	2,2913	4
substraat vergister	137,900	135,100	131,050	150,100	4,2426	4
substraat vergister rdm	42,500	42,500	42,450	42,500	*	1
varkensmest	75,000	65,700	54,140	123,700	12,7906	5
vleesvarkens + zeugenmest	56,600	60,000	14,760	92,400	3,6472	43
vleesvarkensmest	72,100	75,400	1,640	125,500	4,2817	30



**Ruw as, g/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	19,320	19,640	10,530	29,720	0,3476	101
concentraat RO rdm	41,940	41,980	38,160	45,640	1,5732	4
concentraat UF	12,920	12,240	7,070	24,090	1,1475	12
concentraat UF rdm	12,320	12,090	10,850	14,240	0,7071	4
digestaat	30,950	29,960	24,190	37,660	2,3094	6
digestaat rdm	26,230	25,030	23,330	31,510	1,8235	4
dikke fractie	65,830	67,780	18,650	100,540	1,5113	88
dikke fractie rdm	67,360	67,180	58,870	76,190	3,5496	4
droog product	216,070	212,080	139,370	264,900	17,6530	7
dunne fractie	9,350	9,060	4,740	22,560	0,2897	87
dunne fractie rdm	11,080	10,840	10,230	12,420	0,5000	4
ingaand RO	11,530	11,060	5,430	15,070	0,6598	17
permeaat ionenwisselaar	0,200	0,200	0,200	0,200	0,0000	12
permeaat RO	1,070	0,200	0,150	24,940	0,4429	78
permeaat RO rdm	0,200	0,200	0,200	0,200	0,0000	4
permeaat UF	8,320	7,990	5,100	11,480	0,4916	12
permeaat UF rdm	10,670	10,370	9,410	12,550	0,6708	4
substraat vergister	29,920	30,060	28,860	30,700	0,3873	4
substraat vergister rdm	20,300	20,300	20,300	20,300	*	1
varkensmest	23,380	18,830	16,410	43,000	4,9920	5
vleesvarkens + zeugenmest	18,050	19,280	7,480	35,190	0,8184	43
vleesvarkensmest	20,990	22,390	1,870	31,350	1,0583	30

### Organische stof berekend, g OS/kg

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	13,510	12,960	0,000	34,710	0,6286	102
concentraat RO rdm	48,930	45,350	30,150	74,870	10,1882	4
concentraat UF	28,040	27,690	14,720	50,720	2,6379	12
concentraat UF rdm	41,400	40,520	37,170	47,400	2,2638	4
digestaat	69,750	69,590	56,460	87,260	4,5625	6
digestaat rdm	65,850	65,090	61,880	71,330	2,0062	4
dikke fractie	203,520	214,260	47,580	270,960	4,8209	88
dikke fractie rdm	192,920	193,560	178,330	206,200	6,4865	4
droog product	596,930	624,420	406,400	689,600	36,4840	7
dunne fractie	7,790	7,090	1,920	34,310	0,5414	87
dunne fractie rdm	20,710	20,760	17,820	23,530	1,2845	4
ingaand RO	7,880	7,720	2,210	16,480	0,9172	17
permeaat ionenwisselaar	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000	12
permeaat RO	1,470	0,010	-0,060	54,780	0,9600	79
permeaat RO rdm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000	4
permeaat UF	3,040	3,670	-4,760	5,990	0,7746	12
permeaat UF rdm	7,550	6,330	5,070	12,470	1,6808	4
substraat vergister	107,930	105,340	100,850	120,190	4,2308	4
substraat vergister rdm	22,150	22,150	22,150	22,150	*	1
varkensmest	51,640	46,830	37,730	80,680	7,8689	5
vleesvarkens + zeugenmest	38,540	40,140	6,850	65,430	2,9464	43
vleesvarkensmest	51,110	54,280	-0,230	94,180	3,2808	30

**pH (zuurgraad)**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	7,95	7,93	7,25	8,62	0,025	101
concentraat RO rdm	7,01	6,91	6,78	7,43	0,145	4
concentraat UF	8,18	8,17	7,72	8,73	0,106	12
concentraat UF rdm	8,08	8,06	7,79	8,43	0,141	4
digestaat	8,08	8,05	7,91	8,25	0,050	6
digestaat rdm	7,73	7,62	7,58	8,10	0,124	4
dikke fractie	8,21	8,21	8,21	8,21	*	1
dikke fractie rdm	*	*	*	*	*	0
droog product	*	*	*	*	*	0
dunne fractie	7,96	8,00	7,21	8,61	0,033	87
dunne fractie rdm	8,02	7,96	7,73	8,42	0,148	4
ingaand RO	7,74	7,86	7,18	8,19	0,065	17
permeaat ionenwisselaar	5,21	5,38	3,92	6,34	0,256	12
permeaat RO	8,24	8,75	4,97	9,88	0,137	78
permeaat RO rdm	7,97	8,09	6,26	9,45	0,718	4
permeaat UF	8,33	8,30	7,89	8,72	0,083	12
permeaat UF rdm	7,87	8,10	6,65	8,62	0,426	4
substraat vergister	7,24	7,14	7,00	7,69	0,160	4
substraat vergister rdm	6,73	6,73	6,73	6,73	*	1
varkensmest	7,70	7,68	7,48	7,84	0,065	5
vleesvarkens + zeugenmest	7,70	7,69	7,16	8,59	0,043	43
vleesvarkensmest	7,66	7,72	6,28	8,20	0,061	30

**N-totaal, g N/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	6,992	6,858	3,132	11,044	0,1786	101
concentraat RO rdm	10,986	11,242	9,730	11,732	0,4345	4
concentraat UF	5,574	5,516	3,306	7,242	0,3407	12
concentraat UF rdm	6,798	6,803	6,227	7,360	0,2569	4
digestaat	8,010	7,854	6,976	9,526	0,3744	6
digestaat rdm	6,779	6,765	6,181	7,405	0,2554	4
dikke fractie	11,786	12,035	5,532	15,328	0,1957	88
dikke fractie rdm	10,405	10,454	9,082	11,630	0,5566	4
droog product	23,902	23,914	19,390	28,123	1,2340	7
dunne fractie	3,634	3,756	1,513	6,021	0,1214	87
dunne fractie rdm	4,790	4,684	4,468	5,324	0,1897	4
ingaand RO	3,912	3,753	1,688	6,536	0,3376	17
permeaat ionenwisselaar	0,024	0,020	0,020	0,045	0,0000	12
permeaat RO	0,314	0,219	0,016	1,402	0,0354	78
permeaat RO rdm	0,020	0,020	0,020	0,020	0,0000	4
permeaat UF	3,126	3,151	2,422	4,022	0,1354	12
permeaat UF rdm	3,319	3,344	3,034	3,556	0,1072	4
substraat vergister	8,601	8,575	8,218	9,037	0,1830	4
substraat vergister rdm	3,966	3,966	3,966	3,966	*	1
varkensmest	6,737	6,311	5,056	9,218	0,7652	5
vleesvarkens + zeugenmest	4,968	5,256	2,310	6,916	0,2302	43
vleesvarkensmest	6,260	6,280	2,992	11,151	0,2446	30

### Ammoniumstikstof, g NH<sub>4</sub>-N/kg

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	6,270	6,539	1,784	9,529	0,1602	101
concentraat RO rdm	10,527	10,525	10,039	11,018	0,2296	4
concentraat UF	3,363	3,471	1,590	4,164	0,2082	12
concentraat UF rdm	3,714	3,872	3,150	3,961	0,1907	4
digestaat	5,123	5,282	3,870	5,749	0,2733	6
digestaat rdm	3,684	3,674	3,240	4,148	0,1861	4
dikke fractie	5,174	5,115	2,935	7,194	0,1095	88
dikke fractie rdm	3,758	3,796	3,460	3,980	0,1090	4
droog product	4,928	4,835	2,180	7,085	0,7521	7
dunne fractie	3,003	3,149	0,669	5,515	0,1016	87
dunne fractie rdm	3,088	3,036	2,971	3,308	0,0776	4
ingaand RO	3,676	3,489	1,498	6,359	0,3332	17
permeaat ionenwisselaar	0,012	0,006	0,001	0,049	0,0041	12
permeaat RO	0,302	0,212	0,012	1,333	0,0343	78
permeaat RO rdm	0,007	0,008	0,002	0,010	0,0000	4
permeaat UF	2,904	2,919	2,003	3,863	0,1321	12
permeaat UF rdm	3,204	3,136	3,091	3,453	0,0838	4
substraat vergister	4,679	4,575	4,412	5,155	0,1645	4
substraat vergister rdm	2,182	2,182	2,182	2,182	*	1
varkensmest	3,833	3,738	3,382	4,322	0,1896	5
vleesvarkens + zeugenmest	3,317	3,223	1,640	4,808	0,1453	43
vleesvarkensmest	4,112	4,255	2,406	6,662	0,1482	30

**P-totaal, g P/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	0,178	0,153	0,002	0,600	0,0132	101
concentraat RO rdm	0,270	0,278	0,188	0,335	0,0316	4
concentraat UF	0,446	0,441	0,192	0,915	0,0491	12
concentraat UF rdm	0,410	0,388	0,372	0,490	0,0269	4
digestaat	2,081	2,200	1,639	2,394	0,1218	6
digestaat rdm	1,328	1,336	1,147	1,494	0,0882	4
dikke fractie	6,787	6,869	1,780	11,197	0,1515	88
dikke fractie rdm	4,696	4,913	3,806	5,151	0,3157	4
droog product	22,178	22,223	16,376	27,376	1,5291	7
dunne fractie	0,113	0,096	0,004	0,658	0,0101	87
dunne fractie rdm	0,222	0,225	0,183	0,256	0,0150	4
ingaand RO	0,013	0,008	0,005	0,044	0,0034	17
permeaat ionenwisselaar	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0000	12
permeaat RO	0,005	0,005	0,005	0,008	0,0000	78
permeaat RO rdm	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0000	4
permeaat UF	0,068	0,069	0,028	0,117	0,0076	12
permeaat UF rdm	0,067	0,068	0,025	0,107	0,0180	4
substraat vergister	2,127	2,169	1,884	2,288	0,0872	4
substraat vergister rdm	0,673	0,673	0,673	0,673	*	1
varkensmest	1,535	1,314	1,193	2,354	0,2155	5
vleesvarkens + zeugenmest	1,299	1,451	0,112	2,726	0,0933	43
vleesvarkensmest	1,573	1,675	0,381	2,168	0,0682	30

**K-totaal, g K/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	7,330	7,508	4,156	9,795	0,1301	101
concentraat RO rdm	15,668	15,846	13,750	17,230	0,7435	4
concentraat UF	3,485	3,513	1,481	4,598	0,2493	12
concentraat UF rdm	4,819	4,935	4,244	5,164	0,1994	4
digestaat	5,391	5,377	4,548	6,203	0,2295	6
digestaat rdm	5,340	5,523	4,678	5,635	0,2247	4
dikke fractie	3,620	3,587	2,198	5,527	0,0784	87
dikke fractie rdm	4,508	4,625	3,988	4,792	0,1775	4
droog product	15,365	15,663	6,838	20,887	1,6569	7
dunne fractie	3,401	3,455	1,927	5,004	0,0714	87
dunne fractie rdm	4,668	4,692	4,220	5,066	0,1739	4
ingaand RO	3,662	3,630	2,215	5,168	0,2004	17
permeaat ionenwisselaar	0,050	0,050	0,050	0,050	0,0000	12
permeaat RO	0,151	0,050	0,035	0,749	0,0218	78
permeaat RO rdm	0,050	0,050	0,050	0,050	0,0000	4
permeaat UF	3,260	3,219	2,199	4,452	0,1646	12
permeaat UF rdm	4,560	4,685	4,127	4,742	0,1458	4
substraat vergister	5,759	5,795	5,573	5,872	0,0652	4
substraat vergister rdm	5,432	5,432	5,432	5,432	*	1
varkensmest	4,004	3,821	3,267	4,849	0,2874	5
vleesvarkens + zeugenmest	3,736	3,906	2,076	5,001	0,1171	43
vleesvarkensmest	4,134	4,294	2,281	6,345	0,1472	30





## Bijlage 2 Secundaire nutriënten

### Calcium, g Ca/kg

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	0,23	0,18	0,02	1,17	0,0200	95
concentraat RO rdm	0,34	0,34	0,26	0,40	0,0274	4
concentraat UF	0,90	0,85	0,46	2,11	0,1190	12
concentraat UF rdm	0,46	0,42	0,34	0,68	0,0742	4
digestaat	2,60	2,73	1,85	2,96	0,1742	6
digestaat rdm	1,22	1,20	1,10	1,39	0,0612	4
dikke fractie	8,68	8,18	1,81	18,30	0,2692	88
dikke fractie rdm	3,71	3,74	3,24	4,11	0,1936	4
droog product	26,77	28,00	17,40	33,30	2,1990	7
dunne fractie	0,18	0,11	0,03	1,41	0,0209	85
dunne fractie rdm	0,25	0,25	0,20	0,30	0,0224	4
ingaand RO	0,09	0,06	0,02	0,29	0,0153	17
permeaat ionenwisselaar	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0000	12
permeaat RO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,0000	78
permeaat RO rdm	0,01	0,00	0,00	0,02	0,0000	4
permeaat UF	0,03	0,03	0,01	0,04	0,0000	12
permeaat UF rdm	0,08	0,08	0,03	0,11	0,0224	4
substraat vergister	2,83	2,91	2,27	3,22	0,2302	4
substraat vergister rdm	0,84	0,84	0,84	0,84	*	1
varkensmest	1,91	1,78	0,53	3,78	0,5310	5
vleesvarkens + zeugenmest	1,44	1,46	0,17	3,94	0,1112	43
vleesvarkensmest	1,92	1,97	0,44	2,58	0,0858	30

**Magnesium, g Mg/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	0,09	0,03	0,00	0,68	0,0151	95
concentraat RO rdm	0,06	0,06	0,03	0,08	0,0112	4
concentraat UF	0,18	0,07	0,06	0,53	0,0492	12
concentraat UF rdm	0,09	0,09	0,07	0,11	0,0100	4
digestaat	1,26	1,26	0,99	1,53	0,0780	6
digestaat rdm	0,77	0,76	0,70	0,86	0,0374	4
dikke fractie	4,96	4,92	1,30	9,24	0,1580	84
dikke fractie rdm	2,78	2,98	2,13	3,03	0,2174	4
droog product	15,44	14,80	11,90	18,90	1,0460	7
dunne fractie	0,07	0,02	0,01	0,45	0,0102	85
dunne fractie rdm	0,05	0,05	0,03	0,06	0,0050	4
ingaand RO	0,18	0,18	0,01	0,37	0,0245	17
permeaat ionenwisselaar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	12
permeaat RO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0000	78
permeaat RO rdm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	4
permeaat UF	0,00	0,00	0,00	0,01	0,0000	12
permeaat UF rdm	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0000	4
substraat vergister	1,29	1,32	1,14	1,37	0,0505	4
substraat vergister rdm	0,60	0,60	0,60	0,60	*	1
varkensmest	0,87	0,95	0,13	1,55	0,2337	5
vleesvarkens + zeugenmest	0,84	0,92	0,09	1,50	0,0607	41
vleesvarkensmest	0,98	1,06	0,23	1,36	0,0501	28

### Natrium, g Na/kg

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	1,77	1,80	0,77	4,46	0,0474	97
concentraat RO rdm	2,06	2,08	1,80	2,27	0,0967	4
concentraat UF	0,98	0,81	0,53	2,35	0,1450	12
concentraat UF rdm	0,65	0,64	0,54	0,80	0,0563	4
digestaat	1,59	1,17	1,06	2,61	0,2920	6
digestaat rdm	0,71	0,70	0,60	0,86	0,0612	4
dikke fractie	0,74	0,69	0,42	2,32	0,0285	79
dikke fractie rdm	0,60	0,59	0,43	0,79	0,0806	4
droog product	3,73	3,39	1,17	6,28	0,6127	7
dunne fractie	0,78	0,77	0,46	2,71	0,0287	87
dunne fractie rdm	0,63	0,62	0,50	0,78	0,0598	4
ingaand RO	0,84	0,83	0,57	1,12	0,0409	17
permeaat ionenwisselaar	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0000	12
permeaat RO	0,06	0,05	0,00	0,25	0,0044	78
permeaat RO rdm	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0000	4
permeaat UF	0,92	0,79	0,67	1,79	0,1026	12
permeaat UF rdm	0,61	0,62	0,53	0,68	0,0324	4
substraat vergister	1,31	1,22	1,16	1,63	0,1100	4
substraat vergister rdm	0,63	0,63	0,63	0,63	*	1
varkensmest	1,47	0,91	0,80	3,76	0,5727	5
vleesvarkens + zeugenmest	0,79	0,80	0,57	1,15	0,0213	41
vleesvarkensmest	0,90	0,90	0,48	1,42	0,0290	28

**Zwavel, g S/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	1,074	0,291	0,119	9,710	0,200	95
concentraat RO rdm	15,375	15,400	10,200	20,500	28,466	4
concentraat UF	0,576	0,516	0,294	1,450	0,832	12
concentraat UF rdm	0,362	0,325	0,295	0,503	0,475	4
digestaat	0,944	0,867	0,709	1,250	0,883	6
digestaat rdm	0,565	0,521	0,519	0,699	0,448	4
dikke fractie	2,899	2,730	0,664	7,171	0,121	84
dikke fractie rdm	1,570	1,580	1,410	1,710	0,738	4
droog product	5,952	6,097	3,120	7,480	0,568	7
dunne fractie	0,597	0,185	0,067	3,340	0,950	85
dunne fractie rdm	0,202	0,185	0,159	0,278	0,262	4
ingaand RO	2,386	2,770	0,082	4,500	0,332	17
permeaat ionenwisselaar	0,003	0,001	0	0,015	0,014	12
permeaat RO	0,106	0,086	0	0,570	0,012	78
permeaat RO rdm	0,004	0,003	0,001	0,009	0,002	4
permeaat UF	0,164	0,148	0,082	0,355	0,021	12
permeaat UF rdm	0,813	0,096	0,071	2,990	0,726	4
substraat vergister	1,114	1,083	0,967	1,325	0,079	4
substraat vergister rdm	0,446	0,446	0,446	0,446	*	1
varkensmest	0,654	0,653	0,354	1,080	0,124	5
vleesvarkens + zeugenmest	0,564	0,567	0,169	1,751	0,043	41
vleesvarkensmest	0,710	0,706	0,271	1,540	0,043	28

**Sulfaat, g SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/kg**

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	2,91	0,21	0,00	19,20	0,6941	69
concentraat RO rdm	39,34	43,89	23,10	46,48	5,4524	4
concentraat UF	0,40	0,38	0,18	0,80	0,0922	6
concentraat UF rdm	0,13	0,10	0,00	0,33	0,0791	4
digestaat	0,31	0,31	0,01	0,61	0,2983	2
digestaat rdm	0,21	0,16	0,04	0,48	0,0962	4
dikke fractie	1,32	0,71	0,02	6,56	0,1906	67
dikke fractie rdm	0,25	0,29	0,09	0,32	0,0524	4
droog product	0,16	0,16	0,03	0,29	0,1304	2
dunne fractie	1,67	0,27	0,00	9,83	0,3693	62
dunne fractie rdm	0,17	0,10	0,02	0,46	0,1025	4
ingaand RO	7,80	9,44	0,02	12,66	1,0229	13
permeaat ionenwisselaar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	10
permeaat RO	0,08	0,04	0,00	1,01	0,0183	57
permeaat RO rdm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	4
permeaat UF	0,12	0,11	0,01	0,24	0,0387	6
permeaat UF rdm	2,23	0,06	0,00	8,81	2,1925	4
substraat vergister	*	*	*	*	*	0
substraat vergister rdm	0,18	0,18	0,18	0,18	*	1
varkensmest	0,38	0,40	0,27	0,46	0,0418	4
vleesvarkens + zeugenmest	0,32	0,34	0,03	0,79	0,0306	33
vleesvarkensmest	0,37	0,38	0,01	0,90	0,0456	24



## Bijlage 3 Sporelementen

### Borium, mg B/kg

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	2,95	3,03	0,01	6,11	311,520	39
concentraat RO rdm	4,36	4,36	4,36	4,36	5692,905	1
concentraat UF	5,39	4,54	2,65	14,27	101,888	8
concentraat UF rdm	2,99	2,99	2,99	2,99	94,984	1
digestaat	5,72	5,97	4,68	6,41	96,719	5
digestaat rdm	2,87	2,87	2,87	2,87	89,638	1
dikke fractie	27,12	21,63	7,80	173,93	208,777	28
dikke fractie rdm	10,21	10,21	10,21	10,21	147,648	1
droog product	47,96	48,80	27,56	69,63	613,340	6
dunne fractie	3,71	2,68	0,78	15,93	159,958	30
dunne fractie rdm	1,58	1,58	1,58	1,58	52,498	1
ingaand RO	3,18	2,89	1,45	5,48	685,069	4
permeaat ionenwisselaar	0,66	0,62	0,11	1,29	2,500	4
permeaat RO	0,79	0,46	0,01	3,87	20,218	27
permeaat RO rdm	0,97	0,97	0,97	0,97	3,317	1
permeaat UF	3,43	1,64	0,81	9,35	25,145	8
permeaat UF rdm	1,34	1,34	1,34	1,34	1451,313	1
substraat vergister	12,28	7,81	5,35	28,17	79,399	4
substraat vergister rdm	*	*	*	*	*	0
varkensmest	6,02	4,83	3,99	9,24	160,410	3
vleesvarkens + zeugenmest	4,65	3,90	2,54	8,05	83,569	11
vleesvarkensmest	6,71	6,09	3,82	10,42	76,033	9

**Koper, mg Cu/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	1,34	0,62	0,01	10,00	0,221	92
concentraat RO rdm	0,03	0,02	0,01	0,06	0,000	4
concentraat UF	34,69	31,58	7,60	65,80	4,502	12
concentraat UF rdm	2,08	2,03	0,89	3,35	0,500	4
digestaat	28,49	26,39	23,47	37,67	2,086	6
digestaat rdm	4,69	4,78	4,28	4,92	0,158	4
dikke fractie	131,79	113,35	37,05	682,07	10,033	80
dikke fractie rdm	17,47	16,68	15,60	20,93	1,183	4
droog product	168,62	134,83	116,86	268,78	24,695	7
dunne fractie	2,98	0,45	0,01	36,57	0,742	82
dunne fractie rdm	0,51	0,44	0,42	0,72	0,000	4
ingaand RO	0,06	0,01	0,01	0,32	0,000	17
permeaat ionenwisselaar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	12
permeaat RO	0,17	0,01	0,01	11,58	0,148	78
permeaat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat UF	0,05	0,01	0,01	0,27	0,000	12
permeaat UF rdm	0,10	0,06	0,01	0,29	0,000	4
substraat vergister	25,28	25,15	24,33	26,49	0,524	4
substraat vergister rdm	2,62	2,62	2,62	2,62	*	1
varkensmest	24,94	27,36	12,50	30,14	3,156	5
vleesvarkens + zeugenmest	24,41	23,66	2,47	57,99	2,035	41
vleesvarkensmest	26,80	25,01	3,83	117,76	3,581	28



**IJzer, mg Fe/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	27,40	8,80	0,00	646,00	7,820	86
concentraat RO rdm	7,50	6,70	4,80	12,00	1,581	4
concentraat UF	231,30	143,10	81,20	1180,00	95,204	11
concentraat UF rdm	71,10	64,60	47,10	108,00	13,519	4
digestaat	407,60	234,60	174,30	1180,00	193,587	5
digestaat rdm	303,70	315,40	248,20	336,00	19,384	4
dikke fractie	2281,00	1007,00	285,20	13300,00	359,266	76
dikke fractie rdm	1106,30	1085,00	875,20	1380,00	105,393	4
droog product	2026,70	1875,00	1380,00	3550,00	325,110	6
dunne fractie	43,20	6,70	1,50	791,00	11,422	74
dunne fractie rdm	27,80	26,90	24,40	33,00	1,936	4
ingaand RO	35,40	35,00	1,10	84,00	5,484	14
permeaat ionenwisselaar	3,20	0,30	0,00	33,00	2,754	12
permeaat RO	0,40	0,20	0,00	3,00	0,000	70
permeaat RO rdm	0,30	0,40	0,20	0,00	0,000	4
permeaat UF	1,30	0,80	0,20	6,00	0,522	11
permeaat UF rdm	3,10	3,10	1,50	4,00	0,500	4
substraat vergister	257,90	249,00	230,80	303,00	15,572	4
substraat vergister rdm	106,70	106,70	106,70	107,00	*	1
varkensmest	277,30	160,90	63,00	895,00	155,518	5
vleesvarkens + zeugenmest	159,70	125,10	28,00	555,00	17,116	37
vleesvarkensmest	197,80	192,40	28,40	647,00	19,063	29

**Mangaan, mg Mn/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	2,21	1,65	0,01	10,85	0,387	40
concentraat RO rdm	0,51	0,51	0,51	0,51	*	1
concentraat UF	19,47	15,67	10,06	54,97	5,172	8
concentraat UF rdm	5,21	5,21	5,21	5,21	*	1
digestaat	54,13	51,30	37,27	82,72	7,720	5
digestaat rdm	21,02	21,02	21,02	21,02	*	1
dikke fractie	189,30	195,04	50,52	274,41	9,266	28
dikke fractie rdm	91,71	91,71	91,71	91,71	*	1
droog product	464,39	546,28	0,01	603,57	95,028	6
dunne fractie	3,99	1,40	0,17	37,26	1,265	30
dunne fractie rdm	2,39	2,39	2,39	2,39	*	1
ingaand RO	3,89	4,08	2,00	5,39	0,866	4
permeaat ionenwisselaar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat RO	0,02	0,01	0,01	0,07	0,000	27
permeaat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
permeaat UF	0,15	0,10	0,01	0,51	0,000	8
permeaat UF rdm	0,12	0,12	0,12	0,12	*	1
substraat vergister	53,49	54,30	47,55	57,82	2,550	4
substraat vergister rdm	*	*	*	*	*	0
varkensmest	49,77	43,26	32,63	73,43	12,220	3
vleesvarkens + zeugenmest	24,22	24,69	4,74	41,10	3,606	11
vleesvarkensmest	43,00	46,05	8,29	64,11	5,395	9

### Molybdeen, mg Mo/kg

Product	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
concentraat RO	0,03	0,01	0,01	0,16	0,007	40
concentraat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
concentraat UF	1,05	0,62	0,22	2,64	0,348	8
concentraat UF rdm	0,31	0,31	0,31	0,31	*	1
digestaat	1,24	0,62	0,45	2,48	0,448	5
digestaat rdm	0,34	0,34	0,34	0,35	*	1
dikke fractie	1,38	1,62	0,01	2,91	0,163	28
dikke fractie rdm	1,09	1,09	1,09	1,09	*	1
droog product	2,68	2,63	2,12	3,53	0,212	6
dunne fractie	0,18	0,01	0,01	1,60	0,071	30
dunne fractie rdm	0,14	0,14	0,14	0,14	*	1
ingaand RO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat ionenwisselaar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat RO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	27
permeaat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
permeaat UF	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	8
permeaat UF rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
substraat vergister	1,58	1,63	0,38	2,68	0,574	4
substraat vergister rdm	*	*	*	*	*	0
varkensmest	0,52	0,46	0,41	0,70	0,088	3
vleesvarkens + zeugenmest	1,40	0,31	0,01	13,14	1,176	11
vleesvarkensmest	0,30	0,42	0,01	0,60	0,084	9

**Zink, mg Zn/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	6,97	0,92	0,01	410,10	4,593	90
concentraat RO rdm	0,46	0,01	0,01	1,80	0,500	4
concentraat UF	171,63	107,83	0,01	601,10	59,147	12
concentraat UF rdm	6,02	5,27	4,45	9,10	1,118	4
digestaat	238,79	102,45	84,37	537,70	91,645	6
digestaat rdm	18,71	18,65	17,49	20,00	0,500	4
dikke fractie	403,20	330,29	98,55	2960,00	46,166	80
dikke fractie rdm	67,15	64,70	61,15	78,00	3,775	4
droog product	449,79	371,37	336,29	733,60	56,469	7
dunne fractie	20,38	1,00	0,01	434,20	7,708	82
dunne fractie rdm	2,28	2,38	1,87	2,50	0,000	4
ingaand RO	3,21	0,29	0,01	49,90	2,921	17
permeaat ionenwisselaar	1,74	0,01	0,01	20,50	1,708	12
permeaat RO	2,81	0,01	0,01	174,60	2,259	78
permeaat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,00	0,000	4
permeaat UF	2,68	0,61	0,01	26,30	2,160	12
permeaat UF rdm	0,06	0,06	0,01	0,10	0,000	4
substraat vergister	431,29	370,30	95,48	889,10	195,825	4
substraat vergister rdm	10,22	10,22	10,22	10,20	*	1
varkensmest	70,12	79,35	34,27	82,30	9,066	5
vleesvarkens + zeugenmest	97,97	66,65	8,14	840,20	21,688	41
vleesvarkensmest	87,92	78,39	14,99	428,60	13,225	28

**Kobalt, mg Co/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	0,09	0,05	0,01	0,51	0,019	39
concentraat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
concentraat UF	0,35	0,11	0,01	1,18	0,171	8
concentraat UF rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
digestaat	0,63	0,25	0,01	1,42	0,298	5
digestaat rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
dikke fractie	0,30	0,01	0,01	2,27	0,115	28
dikke fractie rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
droog product	1,24	1,23	0,53	2,01	0,213	6
dunne fractie	0,06	0,01	0,01	0,73	0,032	30
dunne fractie rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
ingaand RO	0,04	0,01	0,01	0,11	0,025	4
permeaat ionenwisselaar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat RO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	27
permeaat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
permeaat UF	0,04	0,01	0,01	0,26	0,032	8
permeaat UF rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
substraat vergister	1,24	1,23	0,26	2,22	0,537	4
substraat vergister rdm	*	*	*	*	*	0
varkensmest	0,04	0,01	0,01	0,10	0,029	3
vleesvarkens + zeugenmest	0,03	0,01	0,01	0,14	0,015	11
vleesvarkensmest	0,02	0,01	0,01	0,13	0,013	9

**Seleen, mg S/kg**

<b>Product</b>	<b>Gemiddelde</b>	<b>Mediaan</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standaardafwijking</b>	<b>Aantal</b>
concentraat RO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	40
concentraat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
concentraat UF	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	8
concentraat UF rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
digestaat	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	5
digestaat rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
dikke fractie	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	28
dikke fractie rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
droog product	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	6
dunne fractie	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	30
dunne fractie rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
ingaand RO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat ionenwisselaar	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
permeaat RO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	27
permeaat RO rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
permeaat UF	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	8
permeaat UF rdm	0,01	0,01	0,01	0,01	*	1
substraat vergister	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	4
substraat vergister rdm	*	*	*	*	*	0
varkensmest	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	3
vleesvarkens + zeugenmest	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	11
vleesvarkensmest	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	9





Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl)