



ALTEERRA

WAGENINGEN UR



Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten

Alterra-rapport 2211
ISSN 1566-7197

G.L. Velthof

Synthese van het onderzoek in het kader
van de Pilot Mineralenconcentraten

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van de Pilot Mineralenconcentraten
Projectcode BO-12.02-006-002

Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten

G.L. Velthof

Alterra-rapport 2211

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

Velthof, G.L., 2011. *Synthese van het onderzoek in het kader van de Pilot Mineralenconcentraten*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2211. 74 blz.; 5 fig.; 14 tab.; 20 ref.

De landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en het gebruik van mineralenconcentraten als kunstmest zijn in een pilot onderzocht in 2009 en 2010. In deze pilot zijn de mineralenconcentraten als kunstmest boven de gebruiksnorm van dierlijke mest toegepast, maar binnen de stikstofgebruiksnorm in het kader van de Nitraatrichtlijn. Het onderzoek bestond uit i) monitoring van producten die ontstaan bij de mestverwerking, ii) onderzoek naar landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten als meststof, iii) onderzoek naar gebruikerservaringen en een economische analyse en iv) een Levens Cyclus Analyse (LCA). In dit rapport wordt een synthese gegeven van de resultaten van de verschillende deelonderzoeken. De gegevens uit het onderzoek dienen voor overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmestvervanger.

Trefwoorden: drijfmest, kunstmest, mestverwerking, mineralenconcentraat, stikstof, werkingscoëfficiënt.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van 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.

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; 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 2211

Wageningen, augustus 2011

Inhoud

Voorwoord	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	15
2 Beschrijving van de mestverwerkings-installaties	19
2.1 Omgekeerde osmose	19
2.2 Bedrijven uit de pilot	19
3 Monitoring van producten uit de mestverwerking	25
3.1 Samenstelling van de producten	25
3.2 Massabalansen	28
3.3 Permeaat	28
3.4 Samenvatting	28
4 Landbouwkundige aspecten	31
4.1 Beoordeling op basis van productsamenstelling	31
4.1.1 Stikstof	31
4.1.2 Kalium	33
4.1.3 Fosfaat	33
4.1.4 Overig	33
4.2 Stikstofwerking van mineralenconcentraat op bouwland	35
4.2.1 Proeven uit de pilot	35
4.2.2 Additioneel onderzoek	36
4.3 Stikstofwerking van mineralenconcentraat op grasland	37
4.3.1 Proeven uit de pilot	37
4.3.2 Additioneel onderzoek	38
4.4 Enquête naar gebruikerservaringen met mineralenconcentraat	40
4.5 Gebruikerservaringen in projecten Koeien & Kansen en Telen met toekomst	41
4.6 Perspectieven van de dikke fractie	42
4.6.1 Stikstof	42
4.6.2 Fosfaat	42
4.6.3 Overige nutriënten	43
4.6.4 Gebruikerservaringen	43
4.7 Samenvatting	44
5 Economische aspecten	47
5.1 Prijzen voor mineralenconcentraat en dikke fractie	47
5.2 Economische analyse van de bedrijven	48
5.3 Samenvatting	49

6	Milieukundige aspecten	51
6.1	Zware metalen en organische contaminanten	51
6.2	Nitraatuitspoeling	51
6.3	Ammoniakemissie	52
6.3.1	Resultaten incubatieproeven	52
6.3.2	Resultaten veldproeven	53
6.4	Lachgasemissie	54
6.5	Levens Cyclus Analyse (LCA)	55
6.6	Samenvatting	57
7	Onderzoek in 2011	59
8	Discussie	61
8.1	Mineralenconcentraat als kunstmest: wettelijk kader	61
8.2	Landbouwkundige waarde mineralenconcentraten	63
8.2.1	Samenstelling	63
8.2.2	Stikstofwerking mineralenconcentraten	64
8.2.3	Toepassing van mineralenconcentraten en dikke fractie in de praktijk	65
8.2.4	Technische ontwikkelingen in mestverwerking	66
8.3	Economische haalbaarheid	67
8.4	Effecten op milieu	67
8.4.1	Lot van stikstof uit mineralenconcentraten	67
8.4.2	Verandering in milieubelasting door de productie en het gebruik van mineralenconcentraten	70
	Literatuur	73

Voorwoord

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en mestexport, gezien als mogelijkheid om mineralenkringlopen beter te sluiten en nutriënten nuttig te gebruiken. Eén van de mogelijkheden van mestverwerking is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat uit omgekeerde osmose van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger.

In 2009 en 2010 zijn, met instemming van de Europese Commissie, in een pilot de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en gebruik van mineralenconcentraten als kunstmest onderzocht. In de pilot zijn de mineralenconcentraten als kunstmest boven de gebruiksnorm van dierlijke mest toegepast, maar binnen de stikstofgebruiksnorm in het kader van de Nitraatrichtlijn. De gegevens uit het onderzoek dienen voor overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmest.

Het onderzoek is door verschillende onderdelen van Wageningen UR uitgevoerd in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de acht installaties waar de mineralenconcentraten worden geproduceerd. De acht installaties die aan de pilot hebben deelgenomen zijn Coöperatie Biogreen Salland, KUMAC B.V., Loonbedrijf Jan Reniers (MVS), Van Heugten-Friesen, Maatschap Gebroeders Van Balkom, Houbraken B.V., Kempfarm en Vermue Poelma.

De regie van het onderzoek in de pilot vond plaats door het landbouwbedrijfsleven (Land- en Tuinbouw-Organisatie Nederland LTO Nederland en de Nederlandse Vakbond Varkenshouders NVV), het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). Het onderzoek is gefinancierd door het productschap Zuivel, het productschap Vee en Vlees, het ministerie van EL&I en het ministerie van IenM. De synthese in dit rapport is ook deels gebaseerd op additioneel onderzoek, gefinancierd door de provincies Drenthe, Groningen en Overijssel en het ministerie van EL&I

De verschillende deelonderzoeken zijn apart gerapporteerd (zie literatuurlijst van dit rapport). De volgende onderzoekers worden bedankt voor hun bijdrage aan het onderzoek: Paul Hoeksma, Jerke de Vries, Jantine van Middelkoop, Gertjan Holshof, Karin Groenestein, Fridtjof de Buissonjé en John Horrevorts van Wageningen UR Livestock Research, Willem van Geel, Wim van Dijk, Wim van de Berg en Romke Wustman van PPO, Jitske de Hoop, Co Daatselaar, Gerben Doornewaard en Niels Tomson van LEI, Koos Verloop, Jaap Schröder, Dick Uenk, Wim de Visser en Frank de Ruijter van Plant Research International, Phillip Ehlert, Eduard Hummelink en Falentijn Assinck van Alterra en Hennie van den Akker van DLV.

Dit rapport geeft een synthese van het onderzoek dat uitgevoerd is in de jaren 2009 en 2010. Eind 2010 is de pilot met één jaar verlengd tot eind 2011. De gegevens uit het onderzoek in 2011 worden ook gebruikt voor het overleg met de Europese Commissie.

Gerard Velthof, coördinator onderzoek Pilot Mineralenconcentraten
Wageningen, 4 juli 2011

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
gerard.velthof@wur.nl

Samenvatting

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en export van mest, gezien als mogelijkheid om mineralenkringlopen beter te sluiten en nutriënten nuttig te gebruiken. Eén van de mogelijkheden van mestverwerking is dat mest wordt gescheiden en dat het mineralenconcentraat, dat ontstaat uit omgekeerde osmose van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger. In 2009 en 2010 zijn, met instemming van de Europese Commissie, in een pilot de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en het gebruik van mineralenconcentraten als kunstmest onderzocht. In de pilot zijn de mineralenconcentraten als kunstmest boven de gebruiksnorm van dierlijke mest toegepast, maar binnen de stikstofgebruiksnorm in het kader van de Nitraatrichtlijn. De gegevens uit het onderzoek dienen voor overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van gebruik van het mineralenconcentraat als kunstmestvervanger. De volgende studies zijn uitgevoerd:

- Monitoring van producten die ontstaan bij de mestverwerking.
- Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere de producten uit de mestverwerking als meststof.
- Gebruikerservaringen en een economische analyse van het gebruik van mineralenconcentraten in de pilot.
- Levens Cyclus Analyse (LCA).

In dit rapport wordt een synthese gegeven van de resultaten van de verschillende deelonderzoeken. De deelonderzoeken worden in aparte rapporten beschreven. Alle rapporten zijn beschikbaar op www.mestverwerken.wur.nl

In de pilots nemen acht producenten deel en honderden gebruikers. Er zijn zeven installaties die varkensdrijfmest verwerken en één installatie die runderdrijfmest verwerkt. Twee installaties hebben een vergistingsinstallatie en gebruiken co-vergistingmaterialen, zoals snijmaïs. De verwerkingscapaciteit varieert tussen 5.000 ton mest en 67.500 ton mest per jaar. In alle installaties wordt eerst mechanische mestscheiding toegepast, waarbij een dikke en dunne fractie ontstaat. De dunne fractie wordt verder geschoond en uiteindelijk wordt via omgekeerde osmose een mineralenconcentraat en permeaat geproduceerd. Daarnaast wordt een dikke fractie geproduceerd. De dikke fractie en het mineralenconcentraat van omgekeerde osmose worden als meststof afgezet. Het permeaat wordt soms op het eigen bedrijf gebruikt (bijvoorbeeld als spoelwater) of wordt geloosd op het riool of oppervlaktewater.

Het gemiddelde stikstofgehalte van mineralenconcentraten per installatie varieert van 4,2 g N per kg tot 11,0 g N per kg. Het kaliumgehalte van mineralenconcentraten varieert van gemiddeld 5,5 g K per kg tot 15,7 g K per kg. Het gemiddelde fosforgehalte van mineralenconcentraten is laag (<0,3 g P per kg). De verschillen tussen metingen binnen één bedrijf zijn over het algemeen klein. De verschillen in samenstelling van mineralenconcentraat tussen installaties kunnen voor een klein deel worden verklaard door verschillen in de ingaande drijfmest. De scheidingstechnieken, de bedrijfsstrategie en/of de combinatie van beiden zijn de belangrijkste verklarende factoren voor de verschillen in samenstelling. De stikstofbalans van de installaties geeft aan dat er mogelijk gasvormige stikstofverliezen tijdens de mestverwerking optreden in de vorm van ammoniak, lachgas en N₂ (maximaal 10% van de ingaande stikstof). Mestverwerking verkort meestal de opslagduur van onbehandelde mest. Dit kan leiden tot minder gasvormige stikstofemissies uit de opslag van onbehandelde mest. Bij de opslag van de dikke fractie, die ontstaat bij mestverwerking, treden echter ook gasvormige stikstofemissies op. Er zijn geen emissiemetingen aan de installaties uitgevoerd om de gasvormige stikstofemissies te kwantificeren uit de mestverwerking en uit de opslag van mest en mestverwerkingsproducten.

Het mineralenconcentraat is een stikstof-kaliummeststof. De stikstof in mineralenconcentraten komt hoofdzakelijk in de ammoniumvorm voor (gemiddeld 90% van de N in concentraat). De resterende stikstof is organisch gebonden. De pH van mineralenconcentraten is hoog (ongeveer pH 8), waardoor het aannemelijk is dat stikstof ook in de vorm van ammoniak in mineralenconcentraten voorkomt. De stikstofwerking van mineralenconcentraten als meststof is afhankelijk van de hoogte van de ammoniakemissie. Op basis van de samenstelling wordt theoretisch berekend dat de stikstofwerkingscoëfficiënt¹ van mineralenconcentraat ten opzichte van kalkammonsalpeter (KAS, de meest gebruikte stikstofkunstmest in Nederland) zal variëren van 76-90% op bouwland en van 67-81% op grasland. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de kalium in mineralenconcentraten niet volledig beschikbaar is voor het gewas. Het fosforgehalte in het mineralenconcentraat is in het algemeen laag, zodat mineralenconcentraten geen landbouwkundige waarde als fosfaatkunstmest hebben.

In de vier veldproeven op bouwland was de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat bij basisbemesting van aardappelen ten opzichte van KAS gemiddeld 80% op klei en 92% op zand. De stikstofwerking van mineralenconcentraten was vergelijkbaar met die van vloeibare ammoniumnitraat in de proef op de kleigrond. De stikstofwerking van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS was 77% in een proef met snijmaïs op zandgrond en was hoger dan voor varkensmest (65%) en de dikke fractie van gescheiden varkensmest (64%). In het kader van het additioneel onderzoek was de stikstofwerking van mineralenconcentraat in 14 van de 21 proeven vergelijkbaar met die van KAS (werkingscoëfficiënt hoger dan 95%). In zeven proeven was de werking lager dan 70%. De stikstofwerkingscoëfficiënt in het additionele onderzoek kon minder nauwkeurig worden vastgesteld dan die in het onderzoek uit de pilot, omdat er veelal slechts één gift aan mineralenconcentraten werd getoetst en niet een stikstoftrap. In het onderzoek uit de pilot zijn meerdere stikstofniveaus getoetst.

In de vier proeven op grasland was de gemiddelde stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS 58%. In tegenstelling tot bouwland was er op grasland geen effect van grondsoort op de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten. Er is geen duidelijke verklaring te geven voor de lagere stikstofwerking op grasland dan op bouwland. De mineralenconcentraten werkten vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat op grasland (gemiddelde werkingscoëfficiënt 96% ten opzichte van vloeibare ammoniumnitraat). Er is in het kader van het additionele onderzoek één proef op grasland uitgevoerd. In dit onderzoek was de stikstofwerking van mineralenconcentraat gelijkwaardig aan die van KAS.

De enquête naar gebruikerservaringen met mineralenconcentraat laat zien dat mineralenconcentraat het meest is gebruikt op grasland, gevolgd door snijmaïs en consumptieaardappelen. Op grasland werd mineralenconcentraat meestal toegediend als een mengsel van mineralenconcentraat en drijfmest. Ook op snijmaïs en aardappelen werd mineralenconcentraat vaak gemengd met drijfmest toegediend. De belangrijkste reden om mineralenconcentraat gemengd met drijfmest toe te dienen, is dat het dan makkelijker te doseren is met bestaande toedieningstechnieken. De stikstof in mineralenconcentraten wordt door de gebruikers als waardevol bestanddeel voor alle gewassen gezien. Daarnaast is de kalium belangrijk voor veel akkerbouwgewassen en snijmaïs. De aanwezigheid van kalium in het concentraat draagt dan ook aanzienlijk bij aan de toepassing van mineralenconcentraat als kunstmestvervanger in deze gewassen. De kaliumaanvoer met mineralenconcentraat beperkt echter de ruimte voor toepassing van mineralenconcentraat op melkveebedrijven met een kaliumtoestand van de bodem die voldoende is of hoger. De variatie in stikstofwerking in de proeven was groot en de werking was in een deel van de proeven (met name bouwland) vergelijkbaar met die van KAS. Mineralenconcentraat is een nieuw type meststof en er zijn nog weinig proefgegevens en praktijkervaringen met toepassing van mineralenconcentraat beschikbaar. De soms hoge stikstofwerking van mineralenconcent-

¹ De stikstofwerkingscoëfficiënt van organische meststoffen geeft aan welk percentage van een bepaalde gift aan stikstof even werkzaam is als eenzelfde gift in de vorm van kunstmest (Schröder et al., 2008). In Nederland wordt de stikstofwerking meestal bepaald ten opzichte van de meest gebruikte stikstofkunstmest kalkammonsalpeter (KAS).

traten geeft aan dat er perspectieven zijn om de stikstofwerking van mineralenconcentraten te verhogen als inzicht is verkregen in de factoren die de verschillen in stikstofwerking veroorzaken. Misschien zijn op het gebied van toedieningstechnieken verbeteringen mogelijk om de stikstofwerking van mineralenconcentraten te verhogen.

Uit de economische analyse volgt dat zeven van de acht mestverwerkingsbedrijven mineralenconcentraten rendabel produceren. Hiervan zijn twee bedrijven alleen rendabel als de drijfmest wordt vergist. Vanaf aanvoerprijzen van drijfmest van ongeveer € 15 per ton of hoger zijn de mestverwerkingsinstallaties rendabel. De economische haalbaarheid van de installaties is sterk afhankelijk van de aanvoerprijs van drijfmest en de afvoerprijzen van de eindproducten en concurrerende mestproducten en meststoffen. De gemiddeld betaalde prijs voor het mineralenconcentraat was € 1,25 per ton in 2009 en € 1,19 in 2010 per ton, maar er was een grote variatie. De waarde van de stikstof en kalium in het concentraat op basis van kunstmestprijzen is veel hoger (€ 12 per ton indien zowel stikstof als kalium worden gewaardeerd, exclusief toedieningskosten) dan wat gemiddeld door de gebruikers voor het mineralenconcentraat werd betaald. De lagere stikstofwerking van het concentraat dan KAS, de hogere kosten voor het uitrijden en de relatie die nog wordt ervaren met de prijzen van drijfmest, maken dat de meeste afnemers (nog) niet bereid zijn de van kunstmest afgeleide prijs voor de geleverde nutriënten te betalen.

De resultaten van het onderzoek geven aan dat zowel op bouwland als grasland het gebruik van mineralenconcentraten niet tot meer nitraatuitspoeling leidt ten opzichte van KAS. De gemeten nitraatconcentraties in het grondwater in de veldproef met snijmaïs waren lager bij toepassing van mineralenconcentraten dan bij toepassing van KAS en dunne varkensmest. Door het hoge gehalte aan ammoniak en de hoge pH is het mineralenconcentraat een meststof met een verhoogde kans op ammoniakemissie. Bij emissiearme toedieningen (bouwlandinjecteur of zodebemesting) zal de ammoniakemissie echter beperkt zijn (< 10% van de toegediende stikstof). De incubatieproeven geven aan dat de lachgasemissie uit mineralenconcentraten relatief hoog is ten opzichte van KAS en varkensdrijfmest. Zware metalen en organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten vormen geen aandachtspunt bij verantwoord landbouwkundig gebruik van mineralenconcentraat.

In tabel S1 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde werkingscoëfficiënten, afgeleid uit de veldproeven, en een indicatie van het lot van de niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten. Het niet-werkzame stikstofdeel van mineralenconcentraten zal voor een deel als organische stikstof in de bodem aanwezig zijn (ongeveer 5%). Daarnaast gaat een deel van de stikstof verloren door ammoniakemissie, nitrificatie en denitrificatie en een deel wordt (tijdelijk) vastgelegd in de bodem (immobilisatie). Mogelijk kan er ook stikstofuitspoeling optreden, hoewel dit is niet waargenomen in het onderzoek. De grootte van de afzonderlijke bronnen van stikstofverlies is beperkt.

Er is een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd met als doel het kwantificeren van de verandering in milieubelasting van een systeem gebaseerd op productie en gebruik van mineralenconcentraten ten opzichte van het huidige systeem waarin drijfmest en kunstmest gebruikt worden. Binnen de in de LCA gekozen systeemgrenzen leidt het gebruik van mineralenconcentraat tot vervanging van kunstmest in de nabije omgeving van de mestverwerkingsinstallatie. In de omgeving van de mestverwerkingsinstallaties zijn daarom mogelijkheden voor landbouw zonder gebruik van kunstmest. Er wordt aangenomen dat de export van mest naar de verder gelegen akkerbouwgebieden afneemt. In deze gebieden neemt daardoor het gebruik van kunstmest toe. De milieubelasting verandert niet of nauwelijks binnen de in LCA gekozen systeemgrenzen, wanneer het overschot aan vleesvarkensmest verwerkt wordt zonder vergisting. De emissies van ammoniak en fijnstof en de nitraatuitspoeling veranderen door productie en gebruik van mineralenconcentraat uit vleesvarkensmest weinig (maximaal 3%). Bij mono-vergisten van mest nemen de broeikasgassen en het fossiel energieverbruik af. De ammoniakemissie wordt 13 - 20% hoger ten opzichte van de referentie indien alle geproduceerde varkensmest in de regio wordt verwerkt en niet alleen de varkensmest die niet binnen de regio kan worden afgezet. Ook de emissies van fijnstof en broeikasgassen en het energieverbruik nemen dan toe.

Een mineralenconcentraat wordt via hoog technologische mestverwerkingstechnieken, met omgekeerde osmose als laatste verwerkingsstap, geproduceerd en kan worden gezien als een met een industrieel proces vervaardigde meststof. Een mineralenconcentraat zou dan volgens de definitie uit de Nitraatrichtlijn 'kunstmest' zijn. Een mineralenconcentraat is echter geproduceerd uit producten uit mest en is daardoor ook 'dierlijke mest' volgens de Nitraatrichtlijn. De EU Verordening 2003/2003 is van toepassing op producten die als meststoffen met de aanduiding 'EG-meststof' in de handel in Europa worden gebracht. In de EU Verordening 2003/2003 is een lijst met toegelaten meststoffen opgenomen met per meststof de bereidingswijze en de minimale gehalten aan nutriënten. Het mineralenconcentraat kan niet beantwoorden aan de eisen die gesteld worden in de Verordening, omdat: i) de gehalten aan stikstof, fosfor en kalium lager zijn dan de minimumeis en ii) mineralenconcentraten organische nutriënten van dierlijke oorsprong bevatten. Het is mogelijk om nieuwe producten of nieuwe productgroepen toe te voegen aan de EU Verordening 2003/2003. Het toelaten van nieuwe producten wordt bepaald door de Europese Commissie en de EU-lidstaten. Op termijn zouden mineralenconcentraten en andere producten uit mestverwerking dus kunnen worden opgenomen in de Verordening 2003/2003, mits voldoende ondersteund door de EU-lidstaten en Europese Commissie. De resultaten laten zien dat de mestverwerkingsinstallaties in staat zijn om mineralenconcentraten met een constante samenstelling te produceren.

Tabel S1

Samenvatting van werkingscoëfficiënten¹ en het lot van de niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten¹

		Bouwland	Grasland
Stikstofwerking	Ten opzichte van KAS	84%	58%
	Grondsoorteffect	ja aardappelen zand: 92% aardappelen klei: 80%	nee
	Ten opzichte van vloeibare ammoniumnitraat	117%	96%
Lot van niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten	Niet-geminaliseerde organische N Ammoniakemissie	Gemiddeld 5% van toegediende N < 10% van toegediende N Kans zodebemesting grasland > injectie bouwland Kans kalkrijke kleigrond > zandgrond	
	Gasvormige verlies door denitrificatie en nitrificatie	< 10% van toegediende N Kans op grasland > bouwland	
	Uitspoeling	< 5% van toegediende N Kans op zandgrond > kleigrond Kans op bouwland > grasland	
	Immobilisatie in de bodem	< 10% van toegediende N Kans op grasland > bouwland	

¹ De werkingscoëfficiënten in deze tabel zijn gebaseerd op de veldproeven waarin mineralenconcentraten in een stikstoftrap zijn getoetst: vier proeven met basisbemesting op aardappelen op zand- en kleigrond van Van Geel et al. (2011a), één proef met snijmais op zandgrond van Schröder et al. (2011) en vier proeven met grasland op zand- en kleigrond van Van Middelkoop en Holshof (2011). Het lot van de niet-werkzame stikstof is deels gebaseerd op resultaten uit de proeven en deels op schattingen.

Geconcludeerd wordt dat de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS op bouwland gemiddeld 80-90% bedraagt (bij basisbemesting via bouwlandinjectie) en op grasland 58%. De variatie in stikstofwerking is echter groot en in sommige proeven is de werking van mineralenconcentraten vergelijkbaar met die van KAS en in andere proeven lager. De stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat is gelijk aan die van vloeibare ammoniumnitraat op grasland en op bouwland op kleigrond. Mineralenconcentraten hebben dus een vergelijkbare stikstofwerking als een vloeibare stikstofkunstmest. Naast stikstof is kalium belangrijk voor veel akkerbouwgewassen en snijmaïs. De kaliumaanvoer met mineralenconcentraat beperkt echter de ruimte voor toepassing van mineralenconcentraat op melkveebedrijven met een kaliumtoestand van de bodem die voldoende is of hoger.

In 2011 wordt nader onderzoek uitgevoerd naar de stikstofwerking van mineralenconcentraten in veld- en potproeven. Verder wordt er een verkenning uitgevoerd van de milieukundige effecten van grootschalige toepassing van mineralenconcentraten in Nederland. Inzichten uit dit onderzoek kunnen mogelijk gebruikt worden om de toepassing van mineralenconcentraten te optimaliseren en de stikstofwerking te verhogen.

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 van de dunne fractie, gebruikt wordt als kunstmestvervanger.

Het mineralenconcentraat is een met een 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 (LTO Nederland en NVV), het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) en het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) hebben in 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 pilots nemen acht producenten deel (figuur 1) 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 (EU, 2003) 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 pilots de volgende studies uitgevoerd:

- Monitoring van producten die ontstaan bij de mestverwerking;
- Landbouwkundige en milieukundige effecten van toepassing van mineralenconcentraten en andere producten uit de mestverwerking als meststof;
- Gebruikerservaringen en een economische analyse van het gebruik van mineralenconcentraten in de pilot;
- Levens Cyclus Analyse (LCA).

De pilots zijn eind 2010 met maximaal één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van de milieukundige effecten (zie hoofdstuk 7).

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

In dit rapport wordt een synthese gegeven van de resultaten van de verschillende deelonderzoeken. De deelonderzoeken worden in aparte rapporten beschreven (zie tekstbox voor overzicht van de rapporten). Alle rapporten zijn beschikbaar op www.mestverwerken.wur.nl. De synthese in dit rapport is ook deels gebaseerd op additioneel onderzoek, gefinancierd door de provincies Drenthe, Groningen en Overijssel en het Ministerie van EL&I.

Tekstbox overzicht rapporten

Ehlert, P.A.I., P. Hoeksma en G.L. Velthof, 2009. Anorganische en organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten. Resultaten van de eerste verkenningen. Rapport 256. Animal Sciences Group, Wageningen, 17 p.

Ehlert, P.A.I. en P. Hoeksma, 2011. Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten. Deskstudie in het kader van de Pilots Mineralenconcentraten. Rapport 2185, Alterra, Wageningen, 76 p.

Geel, van W., W. van den Berg, W. van Dijk en R. Wustman, 2011a. Aanvullend onderzoek mineralenconcentraten 2009–2010 op bouwland en grasland. Samenvatting van de resultaten uit de veldproeven en bepaling van de stikstofwerking. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. PPO nrs. 32 501 792 00 en 32 501 793 00, 40 p.

Geel, van W., W. van den Berg, en W. van Dijk, 2011b. Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. PPO projectnr. 32 501 316 00, 68 p.

Hoeksma, P., F.E. de Buissonjé, P.A.I. Ehlert en J.H. Horrevorts, 2011. Mineralenconcentraten uit dierlijke mest. Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 481, 58 p.

Hoop, de J.G., C.H.G. Daatselaar, G.J. Doornewaard en N.C. Tomson, 2011. Mineralenconcentraten uit mest; Economische analyse en gebruikerservaringen uit de pilots mestverwerking in 2009 en 2010. Rapport 2011 - 030, LEI, Den Haag, 68 p.

Huijsmans, J.F.M. en J.M.G. Hol, 2011. Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. Plant Research International 398, Wageningen, 26 p.

Middelkoop, J.C., van en G. Holshof, 2011. Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland; Veldproeven 2009 en 2010. Wageningen UR Livestock Research, rapport nr. 475, 46 p.

Schröder, J.J. D. Uenk en W. de Visser, 2010. De beschikbaarheid van fosfaat uit de dikke fractie van gescheiden drijfmest. Nota 661, Plant Research International 398, Wageningen, 9 p.

Schröder, J.J., D. Uenk, W. de Visser, F.J. de Ruijter, F. Assinck, G.L. Velthof en W. van Dijk, 2011. Stikstofwerking van organische meststoffen op bouwland -resultaten van veldonderzoek in Wageningen in 2010. Tussentijdse rapportage. Plant Research International, Wageningen.

Velthof G.L. 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, Wageningen. 46 p.

Verloop, J. en H. van den Akker, 2011. Mineralenconcentraten op het melkveebedrijf en het akkerbouwbedrijf; knelpunten en mogelijkheden verkend op bedrijfsniveau, 2009 en 2010. Plant Research International 393, Wageningen, 24 p.

Vries, de J.W., P. Hoeksma en C.M. Groenestein, 2011. LevensCyclusAnalyse (LCA) Pilots Mineralenconcentraten. Wageningen UR Livestock Research, rapport 480, 77 p.

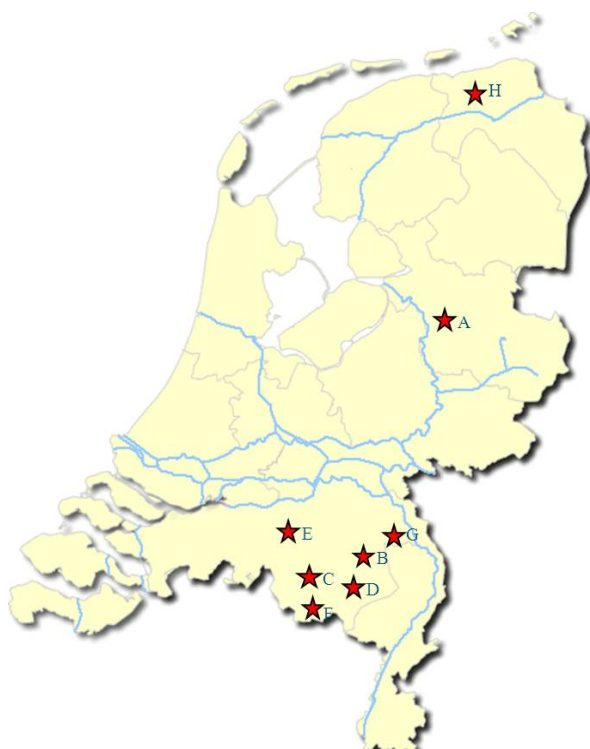
In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de mestverwerkingsinstallaties die aan de pilot deelnemen. De resultaten van de monitoring van meststromen en eindproducten die bij de mestverwerking ontstaan, zijn opgenomen in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de landbouwkundige werking van mineralenconcentraat als meststof beschreven. Hierbij wordt een beoordeling van de landbouwkundige perspectieven gemaakt op basis van de samenstelling, worden de resultaten van de veldproeven naar de stikstofwerking gerapporteerd en wordt een overzicht gegeven van de resultaten van gebruikerservaringen. In hoofdstuk 4 wordt ook ingegaan op de landbouwkundige perspectieven van de dikke fractie die ontstaat bij mestscheiding.

Hoofdstuk 5 beschrijft de economische aspecten, waarbij aandacht wordt gegeven aan de prijzen van mineralenconcentraten als meststof en een economische analyse van de mestverwerkingsinstallaties.

Hoofdstuk 6 gaat in op de milieukundige aspecten bij gebruik van mineralenconcentraten als meststof met aandacht voor gehalten aan zware metalen en organische microverontreinigingen en de kans op nitraatuitspoeling en emissies van ammoniak en lachgas. In dit hoofdstuk worden ook de resultaten van een Levens Cyclus Analyse (LCA) gegeven. In deze LCA worden de milieukundige effecten van een systeem waarin mineralenconcentraat wordt geproduceerd en toegepast vergeleken met die van een gangbaar systeem waarin mest niet wordt behandeld.

Hoofdstuk 7 wordt een kort overzicht gegeven van het onderzoek dat in 2011 loopt. De synthese en discussie van alle resultaten staan in hoofdstuk 8.



Figuur 1

Locaties van de acht bedrijven die deelnemen aan de pilot Mineralenconcentraten.

2 Beschrijving van de mestverwerkingsinstallaties

In dit hoofdstuk wordt een korte beschrijving gegeven van de acht mestverwerkingsinstallaties die aan de pilot deelnemen. De mestverwerking is gebaseerd op omgekeerde osmose (OO). Voor een uitgebreide beschrijving van de mestverwerkingsinstallaties wordt verwezen naar Hoeksma et al. (2011).

2.1 Omgekeerde osmose

Osmose is het filtratieproces waarbij schoon water door een semi-permeabel membraan stroomt en opgeloste zouten en bacteriën achterblijven. Als er druk wordt uitgeoefend op de vloeistof met de hoge zoutconcentratie zal water in tegengestelde richting door het membraan gaan stromen (dus vanuit de vloeistof met de hoge zoutconcentratie naar de vloeistof met de lage zoutconcentratie). Dit proces wordt omgekeerde osmose genoemd. Omgekeerde osmose wordt in de installaties gebruikt om de dunne mestfractie te zuiveren tot loosbaar water en een geconcentreerde zoutoplossing, het zogenaamde mineralenconcentraat. Opgeloste zouten blijven achter in het mineralenconcentraat.

Vervuiling van de membranen door afzetting van zouten en aangroei van micro-organismen is een probleem bij toepassing van omgekeerde osmose van dunne fractie van mest. De vaste delen en organische stof dienen daarom vóór de omgekeerde osmose zoveel mogelijk uit de dunne mestfractie te worden verwijderd. Na een eerste grove mechanische scheiding van de drijfmest met een vijzelpers, een zeefbandpers of een decanter/centrifuge, worden op de dunne fractie aanvullende schoningstechnieken toegepast. Dit zijn technieken als ultra filtratie (UF), flotatie (of dissolved air flotation¹), lage drukmembraanfiltratie en toepassing van doeken- of papierfilters. Om het effect van deze technieken te verhogen, worden vaak chemische hulpstoffen gebruikt, te weten coagulanten en flocculanten (vlokmiddelen). Het doel van het gebruik van vlokmiddelen is om gesuspendeerd en zwevend materiaal af te scheiden uit de dunne mestfractie.

2.2 Bedrijven uit de pilot

Een beschrijving van de installaties staat gegeven in tabel 1. Er zijn zeven installaties die varkensdrijfmest verwerken en één installatie die runderdrijfmest verwerkt (installatie H). Installaties A en H hebben een vergistingsinstallatie en gebruiken co-vergistingsmaterialen, zoals snijmaïs. In deze installaties wordt digestaat verwerkt tot mineralenconcentraat. Installaties D, E, G en H verwerken mest van het eigen bedrijf, terwijl installaties A, B, C en F mest verwerken van 20 tot 50 varkensbedrijven. De verwerkingscapaciteit varieert tussen 5.000 ton mest (installatie E) en 67.500 ton mest (installatie A).

¹ Flotatie is het proces waarbij kleine luchtbelletjes van onderaf door de dunne mest worden geblazen die organisch materiaal meesleuren in een drijfslag die van het vloeistofoppervlak kan worden afgeschraapt.

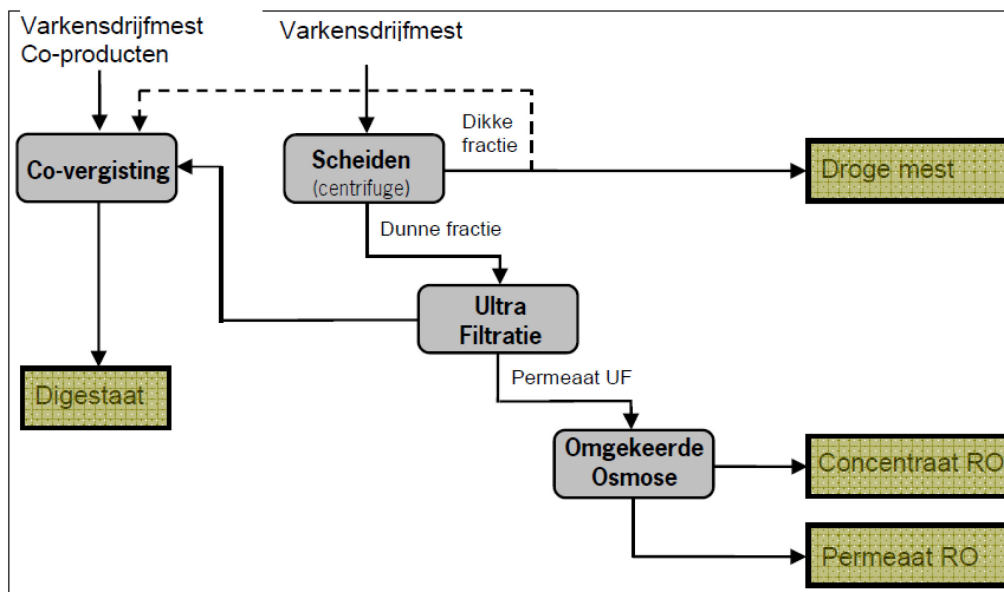
In figuur 2 staan de processchema's van de installaties gegeven. In alle installaties wordt eerst mechanische mestscheiding toegepast, waarbij een dikke en dunne fractie ontstaat. Installaties A en H gebruiken een centrifuge voor de mechanische scheiding, installaties B, C, F en G een zeefbandpers en installaties D en E een vijzelpers, eventueel na flotatie. De dunne fractie wordt bij installaties A en H met ultra-filtratie verder behandeld en in de overige installaties met flotatie. Het permeaat van de ultra-filtratie en het effluent van de flotatie worden via omgekeerde osmose gescheiden tot een mineralenconcentraat en permeaat (een waterige fractie).

Er ontstaan verschillende producten bij de mestverwerking tot mineralenconcentraat:

- digestaat uit vergisting, in het geval van installaties A en H;
- dikke fractie na mechanische mestscheiding;
- concentraat van ultra-filtratie (dit product wordt meestal weer in de mestverwerkingsinstallatie gebracht en niet als eindproduct afgezet);
- concentraat van omgekeerde osmose en
- het permeaat na omgekeerde osmose.

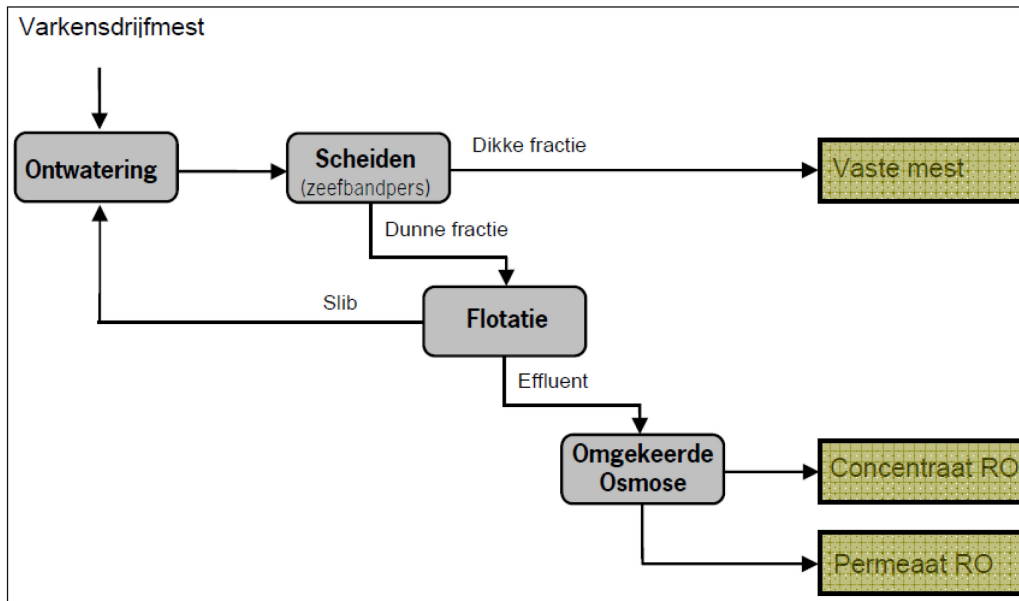
De dikke fractie en het mineralenconcentraat van omgekeerde osmose worden als meststof afgezet. Het concentraat van omgekeerde osmose kan in het kader van de pilot als kunstmest worden toegediend. Het permeaat van omgekeerde osmose wordt soms op het eigen bedrijf gebruikt (bijvoorbeeld als spoelwater) of wordt geloosd op riool of oppervlaktewater.

In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de samenstelling van de producten die in de verschillende installaties ontstaan.

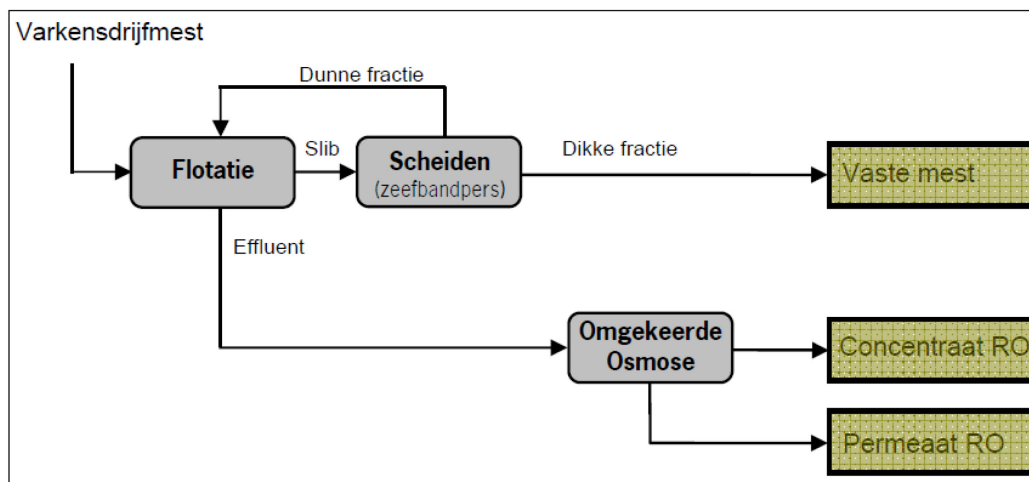


Figuur 2a

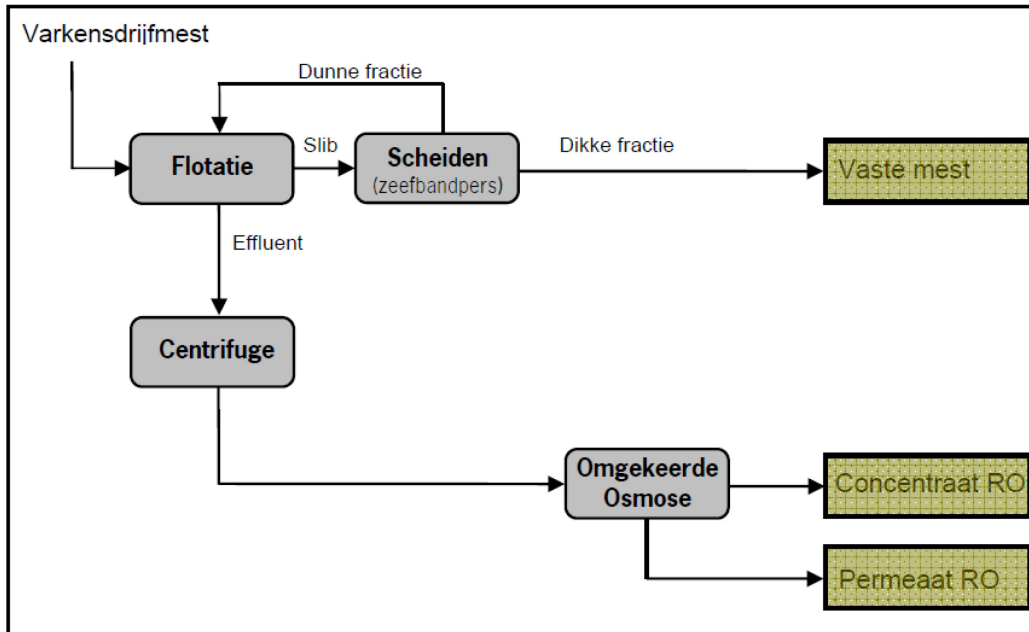
Processchema van de installatie A (vanaf september 2009). RO: reversed osmosis (omgekeerde osmose).



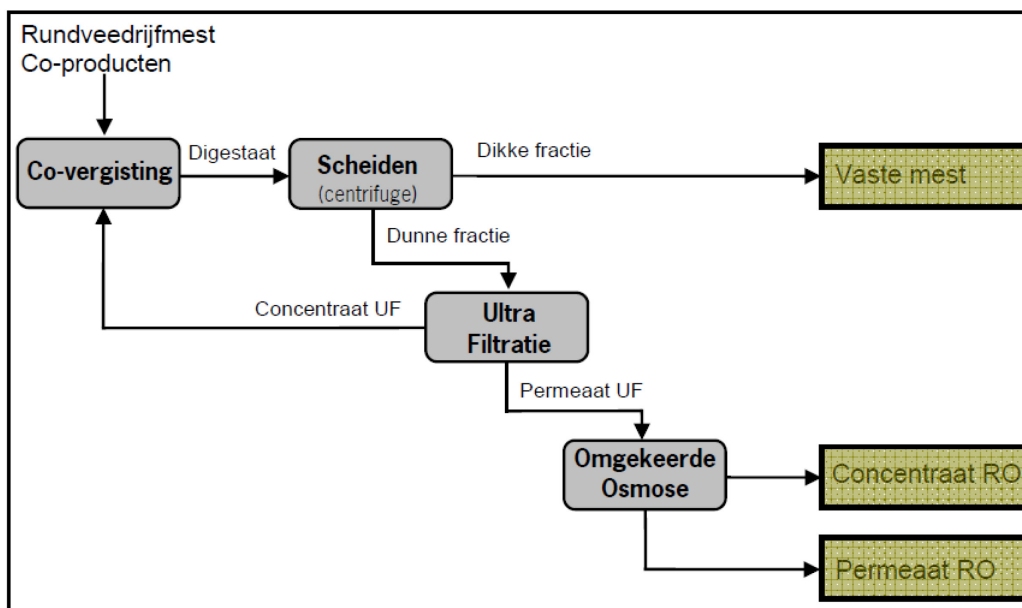
Figuur 2b
 Processchema van de installatie B.



Figuur 2c
 Processchema van de installatie C en F. De schema's van installaties D en E zijn identiek, behalve dat D en E een vijzelpers gebruiken voor mestscheiding in plaats van een zeefbandpers.



Figuur 2d
 Processchema van de installatie G.



Figuur 2e
 Proces schema van de installatie H.

Tabel 1

Samenvatting van bedrijfsgegevens van de acht installaties.

	Grondstoffen	Verwerkings- capaciteit (ton/jaar)	Toegepaste technieken productieproces				Eindproducten	
			Voorbehandeling	Mechanische scheiding	Behandeling vaste fractie	Behandeling vloeibare fractie		Omgekeerde osmose
Installatie A	Varkensdrijfmest Pluimveedrijfmest Snijmais Co-vergistings- materialen	67.500	Co-vergisting mesofiel (38-40°C) retentietijd 60 d	Centrifuge	Tot september 2009: Warmtevizel + Wervelbeddroger	Ultra filtratie Keramische membr.	Toray, 8' TM 820-370 Opp.: 896 m ² Cap.: 12 m ³ /h Werkdruk: 40 bar	Droge/vaste mest Digestaat Concentraat UF Concentraat RO Permeaat RO (riool)
Installatie B	Varkensdrijfmest	50.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 1728 m ² Cap.: 17 m ³ /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (opp. water)
Installatie C	Varkensdrijfmest	25.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 648 m ² Cap.: 6 m ³ /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (riool)
Installatie D	Varkensdrijfmest	10.000	nvt	Vijzelpers Smicon	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 216 m ² Cap.: 2 m ³ /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (in eigen installatie)
Installatie E	Varkensdrijfmest	5.000	nvt	Vijzelpers Smicon	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 216 m ² Cap.: 2 m ³ /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (in eigen installatie)
Installatie F	Varkensdrijfmest	25.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie	Toray, 8' TM 820-370 Opp.: 672 m ² Cap.: 10 m ³ /h Werkdruk: 45 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (riool)

	Grondstoffen	Verwerkings- capaciteit (ton/jaar)	Toegepaste technieken productieproces				Eindproducten	
			Voorbehandeling	Mechanische scheiding	Behandeling vaste fractie	Behandeling vloeibare fractie		Omgekeerde osmose
Installatie G	Varkensdrijfmest	10.000	nvt	Zeebandpers	nvt	Flotatie Centrifuge	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 180 m ² Cap.: 1,8 m ³ /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (in eigen installatie)
Installatie H	Rundveedrijfmest Snijmais Co-producten	15.000	Co-vergisting mesofiel (38-40°C) retentietijd 33 d	Centrifuge	nvt	Ultra filtratie Keramische membr.	FilmTec SW 30-4040 FilmTec BW 30-4040 Opp.: 285 m ² Cap.: 2 m ³ /h Werkdruk: 60 bar	Vaste mest Concentraat UF Concentraat RO Permeaat RO (opp. water)

3 Monitoring van producten uit de mestverwerking

3.1 Samenstelling van de producten

In 2009 en 2010 is een monitoring uitgevoerd op de mestverwerkingsinstallaties voor het vaststellen van de samenstelling van de eindproducten en het opstellen van massabalansen van nutriënten. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de meetresultaten over 2009 en 2010 van zeven van de acht verwerkingsinstallaties. Van installatie G, dat slechts enkele maanden in opstartfase operationeel is geweest, zijn geen representatieve meetgegevens beschikbaar. Voor de gedetailleerde beschrijving van de resultaten wordt verwezen naar Hoeksma et al. (2011).

Er bestaan significante verschillen in samenstelling van mineralenconcentraten tussen de installaties (tabel 2). Het stikstofgehalte varieert van gemiddeld 4,16 g N per kg voor installatie E tot 11,0 g N per kg voor installatie H. Het kaliumgehalte varieert van gemiddeld 5,53 g K per kg voor installatie E tot 15,7 g K per kg voor installatie H. Het gemiddelde fosforgehalte is het laagst voor installatie B (0,01 g P per kg) en het hoogst voor installatie C (0,34 g P per kg).

Tabel 2

Gemiddelde gehalten aan stikstof, fosfor en kalium (in g per kg) in de mineralenconcentraten van de installaties¹

Installatie	Droge stof	Organische stof	N-totaal	N-NH ₄	P	K	Aantal monsters
A	29,1 ^a	10,5 ^{ab}	6,41 ^a	5,92 ^a	0,20 ^a	7,08 ^{ab}	16
B	39,3 ^b	18,2 ^{bc}	7,17 ^a	6,86 ^b	0,01 ^b	6,75 ^a	17
C	40,2 ^b	19,3 ^c	8,92 ^b	7,77 ^c	0,34 ^c	8,44 ^c	22
D	25,8 ^{ac}	7,81 ^a	5,26 ^c	4,72 ^d	0,11 ^d	6,81 ^a	19
E	19,4 ^c	6,32 ^a	4,16 ^d	3,56 ^e	0,08 ^{bd}	5,53 ^d	10
F	33,9 ^{ab}	13,7 ^{abc}	8,12 ^b	7,13 ^{bc}	0,26 ^a	8,08 ^{bc}	13
H	113 ^d	70,7 ^d	11,0 ^e	10,5 ^f	0,27 ^{ac}	15,7 ^e	4

¹ Verschillende letters binnen een kolom geven statistisch significante verschillen aan (P<0,05).

De verschillen in samenstelling van mineralenconcentraat tussen installaties kunnen slechts voor een klein deel worden verklaard door verschillen veroorzaakt door de ingaande drijfmest. De voorbehandelingstechniek heeft waarschijnlijk wel een effect op de samenstelling van de mineralenconcentraten. De mineralenconcentraten van installaties met een combinatie van centrifuge en ultra filtratie (A en H) en met een combinatie van zeefbandpers en flotatie (B, C en F) bevatten hogere gehalten aan nutriënten dan installaties met een combinatie van vijzelpers en flotatie (D en E). Er moet hierbij worden aangegeven dat in het kader van de pilot geen criteria zijn gesteld aan de gehalten van nutriënten in het concentraat. Er is door de installaties niet gestuurd om een bepaalde gehalte te bereiken. In tabel 3 staat de gemiddelde samenstelling van het mineralenconcentraat en de variatie per component voor de verschillende installaties. De spreiding in samenstelling (uitgedrukt als variatiecoëfficiënt in tabel 3) is het laagst voor de mineralenconcentraten van installaties C en F.

Hierbij moet worden opgemerkt dat verschillende installaties aanpassingen en innovaties hebben doorgevoerd tijdens de pilot, waardoor de samenstelling is veranderd in de loop van de pilot (resultierend in een relatief hoge spreiding indien de samenstelling over de periode 2009-2010 wordt beschouwd). De variatie in samenstelling van mineralenconcentraten is waarschijnlijk ook bij deze installaties lager bij een constant management van de mestverwerking.

Tabel 3

Gemiddelde, mediaan, standaarddeviatie (St.dev.) en variatiecoëfficiënt (Var.coëff.) en aantal waarnemingen van de gehalten aan stikstof, ammonium, fosfor en kalium van het mineralenconcentraat per bedrijf.

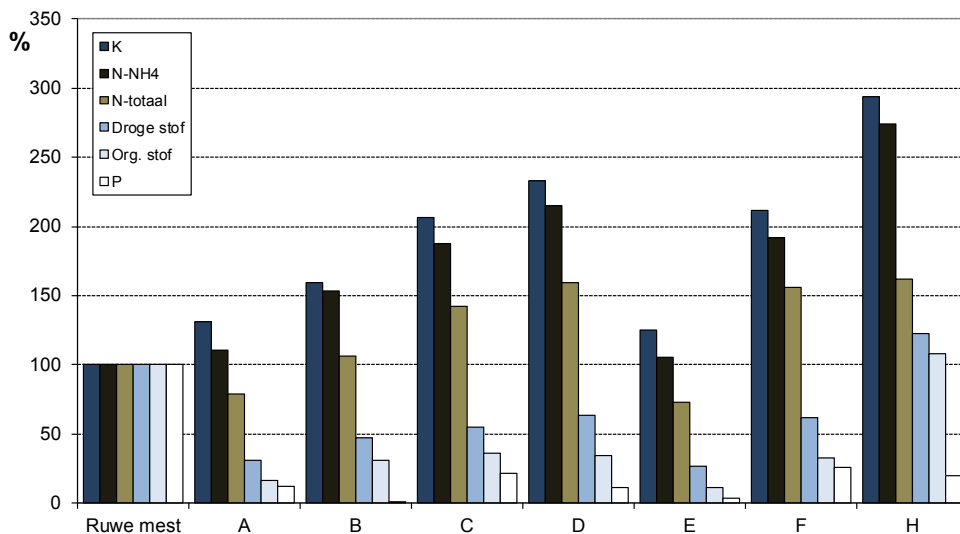
			Gemiddelde	Mediaan	St.dev.	Var.coëff.	Aantal
			(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(%)	
Installatie A	N-totaal	g/kg	6,41	6,56	0,69	10,8	16
	N-NH ₄	g/kg	5,92	6,28	1,03	17,4	16
	P	g/kg	0,20	0,20	0,15	71,1	16
	K	g/kg	7,08	7,42	1,38	19,5	16
Installatie B	N-totaal	g/kg	7,12	6,43	1,33	18,7	17
	N-NH ₄	g/kg	6,77	6,18	1,28	18,9	17
	P	g/kg	0,01	0,01	0,01	47,1	17
	K	g/kg	6,53	6,30	0,74	11,3	17
Installatie C	N-totaal	g/kg	8,92	8,95	0,45	5,0	22
	N-NH ₄	g/kg	7,77	7,64	0,50	6,5	22
	P	g/kg	0,34	0,34	0,05	14,9	22
	K	g/kg	8,44	8,56	0,78	9,3	22
Installatie D	N-totaal	g/kg	5,26	5,31	0,62	11,8	19
	N-NH ₄	g/kg	4,72	4,85	0,56	12,0	19
	P	g/kg	0,11	0,10	0,04	33,2	19
	K	g/kg	6,81	6,93	0,90	13,2	19
Installatie E	N-totaal	g/kg	4,16	4,12	1,40	33,7	10
	N-NH ₄	g/kg	3,56	3,60	1,37	38,6	10
	P	g/kg	0,08	0,06	0,03	43,7	10
	K	g/kg	5,53	5,24	1,91	34,6	10
Installatie F	N-totaal	g/kg	8,12	8,17	0,34	4,2	13
	N-NH ₄	g/kg	7,13	7,14	0,28	4,0	13
	P	g/kg	0,26	0,27	0,05	18,5	13
	K	g/kg	8,08	7,99	0,29	3,6	13
Installatie H	N-totaal	g/kg	11,0	11,2	0,87	7,9	4
	N-NH ₄	g/kg	10,5	10,5	0,46	4,4	4
	P	g/kg	0,27	0,28	0,06	23,5	4
	K	g/kg	15,7	15,8	1,49	9,5	4

De relatieve gemiddelde samenstelling van het mineralenconcentraat ten opzichte van het uitgangsmateriaal (onbehandelde drijfmest) is weergegeven in figuur 3. De gehalten in de onbehandelde mest per installatie zijn in deze figuur op 100% gesteld. Alle mineralenconcentraten bevatten hogere gehalten aan kalium en ammonium dan de onbehandelde mest. Deze verhoging varieert van ongeveer 10% tot bijna 300%. De mineralenconcentraten van installaties B, C, D, F en H bevatten ook een hoger gehalte aan totaal stikstof. De gehalten aan droge stof, organische stof en fosfor in de mineralenconcentraten zijn lager dan in de onbehandelde mest. Alleen het concentraat van installatie H voldoet niet aan dit beeld, met gehalten aan droge stof en organische stof die hoger zijn dan in de oorspronkelijke mest. Installatie H gebruikt als enige installatie dunne rundermest

en hanteert een hogere osmotische druk dan de overige installaties (tabel 1). Daarnaast worden er in installatie H ook co-vergistingmaterialen gebruikt, net zoals bij installatie A. Dit heeft geresulteerd in de hogere gehalten in het mineralenconcentraat van installatie H ten opzichte van de overige installaties.

De samenstelling van de dikke fractie na mechanische scheiding verschilt tussen de installaties. De samenstelling is voor een groot deel afhankelijk van de scheidingstechniek die leidt tot verschillen in vochtgehalten en daardoor in verschillen in waardegevendende bestanddelen. De dikke fracties na scheiding met een centrifuge en een zeebandpers bevatten hogere gehalten aan droge stof, organische stof, fosfor en totaal stikstof dan de dikke fracties na scheiding met een vijzelpers (Hoeksma et al., 2011). De gehalten aan ammonium en kalium worden voor een groot deel bepaald door de gehalten in de ruwe mest.

De verschillen in samenstelling van de producten tussen de installaties zijn enerzijds toe te schrijven aan de technische verschillen tussen de installaties en anderzijds aan verschillen in procesmanagement. Procesparameters zoals de osmotische waarde, het gebruik van hulpstoffen en het reinigingsregime van de membranen worden afgestemd op de specifieke bedrijfsomstandigheden en de markt voor de eindproducten. Bij een hogere procesdruk tijdens omgekeerde osmose kan meer water uit de ingaande vloeistof geperst worden. De maximale procesdruk van de installaties van de installaties bedraagt ongeveer 60 bar. De procesdruk wordt op de meeste installaties submaximaal gehouden uit oogpunt van energiekosten, onderhoud en bedrijfszekerheid. Voor de grotere installaties (A, B, C en F), die mest van derden verwerken en de eindproducten op relatief grote afstand moeten afzetten, is processturing op de kwaliteit van de eindproducten belangrijker dan voor de kleinere installaties (D en E). Deze installaties kunnen hun eindproducten op relatief korte afstand afzetten (tegen relatief lage kosten), zodat sturing van het verwerkingsproces op de kwantiteit en kwaliteit van de eindproducten minder noodzakelijk is dan op de grotere installaties.



Figuur 3

Relatieve samenstelling van het concentraat van omgekeerde osmose ten opzichte van de ingaande onbehandelde mest per installatie.

3.2 Massabalansen

Op basis van de massaverhouding tussen de processtromen en de gemeten gehalten in de processtromen is berekend hoe de nutriënten in de ingaande mest/digestaat zich over de eindproducten verdelen (tabel 4). Daarbij is ook het verschil tussen input en output berekend (het saldo in tabel 4). De dikke fractie bevat meer dan 90% van de ingaande hoeveelheid fosfor bij de installaties die werken met een zeeffbandpers of vijzelpers in combinatie met flotatie (B t/m F). Op de installaties met een centrifuge en ultra filtratie (A en H) gaat 12-15% van de ingaande hoeveelheid fosfor naar het concentraat van ultra-filtratie. Het percentage van de ingaande hoeveelheid totaal stikstof, ammonium en kalium dat in het mineralenconcentraat terecht komt varieert sterk, maar is op de installaties B t/m F aanzienlijk hoger dan op de installaties A en H. Dit komt mede omdat een deel van de stikstof en kalium in het concentraat van ultrafiltrate terecht is gekomen.

In de berekeningsmethodiek van de massabalansen is het saldo voor P op nul gesteld (Hoeksma et al., 2011). Voor organische stof en droge stof is de output hoger dan de input (de saldo op de balans is positief). Dit is waarschijnlijk toe te schrijven is aan toevoeging van hulpstoffen, zoals zuren, zouten en flocculanten, tijdens het verwerkingsproces. Voor stikstof en ammonium is de output via mestverwerkingsproducten lager dan de input via de ingaande drijfmest. Dit kan duiden op gasvormige stikstofverliezen tijdens de mestverwerking (tot maximaal 10%). Voor kalium is de balans op zes van de zeven installaties licht positief, dat wil zeggen dat er tijdens het proces geringe verliezen zijn opgetreden. Het mag niet worden uitgesloten dat tijdens het verwerkingsproces neerslag van kalium optreedt (bijvoorbeeld kaliumstruviet), waardoor dit kalium niet wordt geanalyseerd en de balans niet kloppend is. De resultaten van de massabalansen voor stikstof worden gebruikt voor de schatting van de stikstofverliezen in de LCA (hoofdstuk 6). Er moet hierbij worden opgemerkt dat de schatting van het stikstofverlies op basis van de stikstofbalans onzeker is, omdat de balansen voor droge stof, organische stof en kalium ook niet sluitend zijn.

3.3 Permeaat

Het permeaat van omgekeerde osmose wordt geloosd op het riool (installaties A, C en F) of op het oppervlaktewater (installaties B en H) of wordt toegepast in het eigen bedrijf (installaties D en E). Voor lozingen zijn door de waterbeheerders indicatieve lozingseisen opgesteld. De samenstelling van het permeaat (organische stof en hoofdelementen) is hieraan getoetst door Hoeksma et al. (2011). Secundaire nutriënten en zware metalen zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de gehalten aan zware metalen in het permeaat binnen de lozingsnormen vallen. Voor de meeste installaties voldoet het permeaat aan de lozingseisen. Installatie B past ionenwisseling toe, waarna het permeaat aan alle eisen voldoet. Het permeaat van Installatie H voldoet niet aan de normen voor stikstof en ammonium.

3.4 Samenvatting

- Het stikstofgehalte van mineralenconcentraten varieert van gemiddeld 4,16 g N per kg voor installatie E tot 11,0 g N per kg voor installatie H.
- Het kaliumgehalte van mineralenconcentraten varieert van gemiddeld 5,53 g K per kg voor installatie E tot 15,7 g K per kg voor installatie H.
- Het gemiddelde fosforgehalte van mineralenconcentraten is het laagst voor installatie B (0,01 g P per kg) en het hoogst voor installatie C (0,34 g P per kg).
- De verschillen in samenstelling van mineralenconcentraat tussen installaties kunnen slechts voor een klein deel worden verklaard door verschillen in de ingaande drijfmest. De scheidingstechnieken, de bedrijfsstrategie en/of de combinatie van beiden zijn de belangrijkste verklarende factoren voor de verschillen in samenstelling tussen installaties.

- De dikke fractie bevat meer dan 90% van de ingaande hoeveelheid fosfor bij de installaties die werken met een zeefbandpers of vijzelpers in combinatie met flotatie. Op de installaties met een centrifuge en ultra filtratie gaat 12-15% van de ingaande hoeveelheid fosfor naar het concentraat van ultra-filtratie.
- De output van stikstof en ammonium uit de mestverwerking is gelijk of lager dan de input (maximaal 10%). Dit kan duiden op gasvormige stikstofverliezen tijdens de mestverwerking. De schatting van het stikstofverlies op basis van de stikstofbalans is echter onzeker, omdat de balansen voor droge stof, organische stof en kalium ook niet sluitend zijn.
- Voor de meeste installaties voldoet het permeaat aan de eisen voor lozing op het oppervlaktewater, waarbij één installatie ionenwisseling toepast.

Tabel 4

Relatieve massaverdeling van fosfor, organische stof, droge stof, stikstof, ammonium en kalium over de eindproducten van de verwerkingsinstallaties op de installaties (in %).

Ruwe mest/digestaat		P	Organische stof	Droge stof	N-totaal	N-NH ₄	K
		100	100	100	100	100	100
A	Dikke fractie	86	74	68	31	26	18
	Concentraat UF	12	22	23	39	38	38
	Concentraat OO	2	4	7	17	26	30
	Permeaat OO	0	0	0	3	4	2
	Saldo (input-output)	0	0	2	10	6	12
B	Dikke fractie	100	98	95	52	35	24
	Concentraat OO	0	14	21	49	69	67
	Permeaat OO	0	0	0	0	0	0
	Saldo (input-output)	0	-12	-16	-1	-4	9
C	Dikke fractie	92	92	84	42	26	18
	Concentraat OO	8	13	20	51	66	73
	Permeaat OO	0	0	0	3	4	1
	Saldo (input-output)	0	-5	-4	4	4	8
D	Dikke fractie	95	90	78	40	24	12
	Concentraat OO	5	12	24	54	70	82
	Permeaat OO	0	0	0	2	3	1
	Saldo (input-output)	0	-2	-2	4	3	5
E	Dikke fractie	96	101	87	45	27	20
	Concentraat OO	4	11	23	55	70	85
	Permeaat OO	0	0	0	2	3	2
	Saldo (input-output)	0	-12	-10	-2	0	-8
F	Dikke fractie	93	99	89	42	26	17
	Concentraat OO	7	12	21	53	70	80
	Permeaat OO	0	0	0	2	3	1
	Saldo (input-output)	0	-11	-10	3	1	3
H	Dikke fractie	83	69	67	36	23	20
	Concentraat UF	15	30	28	49	47	44
	Concentraat OO	2	9	9	12	21	23
	Permeaat OO	0	0	0	0	0	0
	Saldo (input-output)	0	-8	-4	3	9	14

4 Landbouwkundige aspecten

4.1 Beoordeling op basis van productsamenstelling

In deze paragraaf wordt een beoordeling gegeven van de landbouwkundige waarde van mineralenconcentraten op basis van de samenstelling. Deze beoordeling is gebaseerd op het rapport van Ehlert en Hoeksma (2011) en de resultaten van de monitoring van Hoeksma et al. (2011).

Waardegevende bestanddelen van meststoffen zijn de nutriënten stikstof (N), fosfor (P)¹ en kalium (K)¹, de secundaire nutriënten calcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na) en zwavel (S) en de spoelementen borium (B), koper (Cu), ijzer (Fe), mangaan (Mn), molybdeen (Mo) en zink (Zn). Nutriënten zijn essentiële voedingsstoffen voor het gewas. Daarnaast zijn organische stof en neutraliserende waarde (effect op zuurgraad bodem) mogelijke waardegevende bestanddelen van een meststof. Deze bestanddelen dienen vooral de verbetering van de bodemkwaliteit (bodemleven, structuur, pH). Voor veevoeding zijn de mineralen kobalt (Co), koper (Cu), selenium (Se) en zink (Zn) belangrijk. Deze mineralen worden vaak aan meststoffen toegediend om zo een betere verdeling over het veld en bodem te bewerkstelligen.

4.1.1 Stikstof

Stikstof is het belangrijkste nutriënt dat het landbouwkundig gebruik van mineralenconcentraten bepaalt (tabel 5). De stikstof in mineralenconcentraten komt hoofdzakelijk in ammoniumvorm voor (gemiddeld 90% van de N in concentraat, maar er is een grote spreiding tussen de installaties). Het gehalte aan organische stikstof is gemiddeld laag (gemiddeld 10% van de stikstof). De pH van mineralenconcentraten is hoog (gemiddeld 7,95), waardoor het aannemelijk is dat er ook ammoniak in mineralenconcentraten voorkomt.

De stikstofwerking van het mineralenconcentraat ten opzichte van kunstmest wordt bepaald door de werking van ammonium en organisch gebonden stikstof in het concentraat. De ammonium is direct beschikbaar voor de gewasopname, maar een deel van de ammonium kan vervluchtigen als ammoniak. Organisch gebonden stikstof komt na mineralisatie in de bodem beschikbaar voor het gewas. De verhouding tussen ammoniumstikstof en organisch gebonden stikstof verschilt tussen de verschillende mineralenconcentraten, waardoor bij gelijke stikstofgift de landbouwkundige werkzaamheid van de verschillende concentraten kan verschillen.

De stikstofwerkingscoëfficiënt van organische meststoffen geeft aan welk percentage van een bepaalde gift aan stikstof even werkzaam is als eenzelfde gift in de vorm van kunstmest (Schröder et al., 2008). In Nederland wordt de stikstofwerking meestal bepaald ten opzichte van de meest gebruikte stikstofkunstmest

¹ In deze tekst worden fosfor en kalium gehanteerd. De bemestingspraktijk in Nederland is veelal gebaseerd op de begrippen 'fosfaat' en 'kali'. Met fosfaat wordt fosforpentoxide (P₂O₅) bedoeld en met kali wordt kaliumoxide (K₂O) 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 P₂O₅ = 2.29 * P, voor kalium naar kali is de omrekeningsformule K₂O = 1.205 * K.

kalkammonsalpeter (KAS)¹. De werkingscoëfficiënt wordt niet alleen bepaald door het gehalte aan ammonium en organisch gebonden stikstof maar ook door:

- de snelheid waarmee de organisch gebonden stikstof vrijkomt door mineralisatie;
- de mate waarin stikstof wordt gedenitrificeerd tot gasvormige stikstofverbindingen (N_2 , N_2O en NO_x);
- de mate waarin anorganische stikstof vervluchtigt door ammoniakvervluchtiging en
- de mate waarin stikstof in het veld af- of inspoelt.

Mineralenconcentraten bevatten meer ammonium en minder organische N en hebben een hogere pH dan dierlijke mest. Werkingscoëfficiënten van dierlijke mest kunnen daardoor niet zonder meer worden toegepast op mineralenconcentraten. Ook de dikke fractie heeft een andere samenstelling dan onbehandelde dierlijke mest en daardoor een andere werkingscoëfficiënt. De stikstofwerking wordt ook bepaald door de toedienings-techniek en de omstandigheden waaronder wordt uitgereden. De ammoniakemissie na toediening van dierlijke mest is het laagst bij bouwlandinjectie (gemiddeld < 5% van de toegediende ammonium) en het hoogst bij bovengronds breedwerpige toediening (gemiddeld 70-75% van de toegediende ammonium; Huijsmans et al., 2011).

Ehlert en Hoeksma (2011) hebben de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten geschat op basis van de samenstelling. Als wordt aangenomen dat een deel van de organische stikstof in concentraat door mineralisatie beschikbaar komt voor het gewas (45% van de organische stikstof in varkensmest en 30% in rundermest), dan bedraagt de gemiddelde werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten theoretisch 94% ten opzichte van KAS. Een deel van de ammonium in mineralenconcentraat (5 - 20%, afhankelijk van de toedienings-techniek) gaat echter verloren door ammoniakvervluchtiging. Er wordt geschat dat de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat ten opzichte van KAS zal variëren van 76-90% op bouwland en op grasland van 67-81% (afhankelijk van de hoogte van de ammoniakemissie).

Deze berekeningen geven aan dat de stikstofwerking van een mineralenconcentraat door het lage gehalte aan organisch gebonden stikstof niet veel onderdoet voor KAS, indien er sprake is van een lage ammoniakemissie. De werking zal echter lager zijn bij een hoge ammoniakvervluchtiging.

Naast de aanwezigheid van organische N en de kans op ammoniakemissie, zijn de stikstofvorm en toedieningswijze factoren die de werking van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS kunnen beïnvloeden. KAS wordt breedwerpig als korrels toegediend en de stikstof in KAS bestaat voor 50% uit ammonium en 50% uit nitraat. Mineralenconcentraten worden als vloeistof geïnjecteerd, waardoor de stikstof minder goed verdeeld wordt in de bodem dan bij breedwerpig toegediende KAS. Mineralenconcentraten bestaan uit ammoniumverbindingen, zoals ammoniumbicarbonaat, ammoniumchloride, ammoniumsulfaat en mogelijk ammoniumhoudende vetzuren. De werking van deze stikstofverbindingen is mogelijk anders dan die van ammoniumnitraat uit KAS (Ehlert en Hoeksma, 2011). In 2011 wordt in een potproefonderzoek uitgevoerd naar de stikstofwerking van verschillende type meststoffen.

¹ In 2009 werd 66% van de kunstmeststikstof toegediend als KAS, 18% als NP-, NK-, en NPK-meststoffen, 5% als ammoniumsulfaat, 3% als ureum en 8% als overige meststof (Van Bruggen et al., 2011).

4.1.2 Kalium

De exacte chemische vormen waarin kalium voorkomt in een mineralenconcentraat zijn niet bekend, maar op basis van de analyses wordt verondersteld dat kalium voorkomt als kaliumbicarbonaat, kaliumchloride, kaliumsulfaat en kaliumhoudende vetzuren. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de kalium in mineralenconcentraten niet volledig beschikbaar is voor het gewas.

De gemiddelde verhouding tussen stikstof en kalium van de mineralenconcentraten is voor alle installaties van eenzelfde orde van grootte (gemiddeld 0,8: bereik 0,6 à 0,9). Een verhouding van 1,2 past goed bij een voldoende kaliumtoestand bij de meststofbehoefte van grasland (100% maaien), snijmaïs, aardappel, suikerbiet op klei en wintertarwe. Een verhouding van 0,8 past bij suikerbiet op zand.

4.1.3 Fosfaat

Het fosforgehalte in het mineralenconcentraat is laag en aanzienlijk lager dan het stikstof- en kaliumgehalte (tabel 5). Toch kunnen de fosfaatgiften met bepaalde mineralenconcentraten niet verwaarloosd worden (tot 21 kg P₂O₅ per ha bij een stikstofgift van 100 kg N per ha).

4.1.4 Overig

Mineralenconcentraten bevatten vooral stikstof en kalium. Van de overige nutriënten kunnen natrium en zwavel landbouwkundige betekenis hebben. De gehalten aan natrium in mineralenconcentraten bedragen ongeveer 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) reageert met een opbrengstverhoging op natriumbemesting. Andere gewassen tolereren natrium mits de gift niet te hoog is. De beschikbaarheid van natrium in concentraten is naar verwachting goed.

Zwavel is een waardevol bestanddeel van mineralenconcentraten. De totale zwavelgift is echter gemiddeld laag (ongeveer 4 kg S/ha bij 100 kg N/ha, waarvan ongeveer 3 kg als sulfaat). De beschikbaarheid van zwavel voor het gewas van mineralenconcentraten en dikke fracties is onbekend.

De gehalten aan calcium, magnesium en sporenelementen in concentraat zijn in het algemeen te laag om daar enige landbouwkundige betekenis aan te geven.

Chloride vormt geen aandachtspunt bij gebruik van mineralenconcentraten, indien rekening wordt gehouden met de mogelijke aanvoer van chloride via andere meststoffen. Begin 2009 waren de chloridegehalte van het mineralenconcentraat van één installatie hoog, maar door een aanpassing in het proces is het chloridegehalte aanzienlijk gedaald.

Tabel 5

Samenstelling van mineralenconcentraten van varkensdrijfmesten (monsters van zeven installaties) en rundveedrijfmest (monsters van één installatie)

Type concentraat	Parameter	Eenheid	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal monsters
Varkensdrijfmest	Soortelijk gewicht	kg/l	1,03	1,03	1,02	1,04	0,001	95
	Drogestof	g/kg	33	33,5	15,2	58,2	0,879	101
	Organische stof (berekend)	g/kg	13,5	13	0	34,7	0,629	102
	pH		7,95	7,93	7,25	8,62	0,025	101
	Stikstof totaal	g N/kg	6,99	6,86	3,13	11	0,179	101
	Ammonium-N	g N/kg	6,27	6,65	1,78	9,53	0,16	101
	Fosfor	g P/kg	0,18	0,15	0	0,6	0,013	101
	Kalium	g K/kg	7,33	7,51	4,16	9,8	0,13	101
	Calcium	g Ca/kg	0,23	0,18	0,02	1,17	0,02	95
	Magnesium	g Mg/kg	0,09	0,03	0	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	0,2	95
	Sulfaat	g SO ₄ ²⁻ /kg	2,91	0,21	0	19,2	0,694	69
	Runderdrijfmest	Soortelijk gewicht	kg/l	1,06	1,06	1,05	1,07	0,004
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
Stikstof totaal		g N/kg	11	11,2	9,73	11,7	0,435	4
Ammonium-N		g N/kg	10,5	10,5	10	11	0,23	4
Fosfor		g P/kg	0,27	0,28	0,19	0,34	0,032	4
Kalium		g K/kg	15,7	15,9	13,8	17,2	0,745	4
Calcium		g Ca/kg	0,34	0,34	0,26			4
Magnesium		g Mg/kg	0,06	0,06	0,03			4
Natrium		g Na/kg	2,06	2,08	1,8			4
Zwavel		g S/kg	15,4	15,4	10,2			4
Sulfaat		g SO ₄ ²⁻ /kg	39,3	43,9	23,1			4

4.2 Stikstofwerking van mineralenconcentraat op bouwland

4.2.1 Proeven uit de pilot

Van Geel et al. (2011) hebben in 2009 en 2010 twee proeven uitgevoerd met aardappelen. Er is in beide jaren een proef aangelegd met consumptieaardappel op kleigrond te Lelystad (Flevoland) en met zetmeelaardappel op zandgrond te Rolde (Drenthe). In de vier proeven is zowel de toepassing van concentraten vóór als na het poten (vóór rugopbouw en bij knolzetting; bijbemesting) onderzocht. In alle proeven zijn drie mineralenconcentraten vergeleken met KAS. Voor zowel KAS als de mineralenconcentraten, toegediend vóór het poten, zijn stikstoftrappen in de proeven aangelegd. De toepassingen na het poten zijn vergeleken bij één stikstofgift. Om na te gaan of de vorm en toedieningstechniek een effect hebben op de stikstofwerking, is in 2010 ook de stikstofwerking van verschillende doseringen vloeibare ammoniumnitraat onderzocht, toegediend vóór het poten. Bij de concentraten is ook een nulobject opgenomen, waarbij de injectiekouters door de grond zijn getrokken zonder het concentraat te doseren. Dit is gedaan om te beoordelen of er een effect is van grondverstoring door de kouters. In 2010 is één van de concentraten aangezuurd om na te gaan in hoeverre ammoniakemissie een rol speelt bij de toediening. De concentraten en de vloeibare ammoniumnitraat zijn toegediend met een proefveldmachine, waarmee de producten emissiearm werden toegediend met behulp van injectiekouters. Bij de toediening vóór het poten stonden de kouters op een afstand van 17 cm. Bij de toediening na het poten zijn de concentraten in het midden tussen de ruggen geïnjecteerd.

De stikstofwerkingscoëfficiënten van mineralenconcentraat zijn berekend voor de marktbaar opbrengst, de drogestofopbrengst en de stikstofopname in de knollen. Uit de statistische analyse bleek dat de gefitte opbrengstcurve voor de stikstofopname in de knollen in het algemeen beter was dan bij die voor de marktbaar opbrengst en drogestofopbrengst. Verder is de stikstofopname de meest directe maatstaf om meststoffen op basis van stikstofefficiëntie of de kans op stikstofverlies te vergelijken. Daarom wordt in dit rapport ingegaan op de stikstofwerkingscoëfficiënten die gebaseerd zijn op de stikstofopname door de aardappelen (tabel 6).

Er waren geen statistisch significante verschillen in opbrengst tussen de drie mineralenconcentraten en daarom worden alleen de gemiddelde resultaten voor de mineralenconcentraten weergegeven. De gemiddelde stikstofwerking van mineralenconcentraat op klei varieerde van 78% (2009) tot 81% (2010) en op zand van 86% (2009) tot 98% (2010). Op zandgrond was er geen significant verschil in stikstofwerking tussen mineralenconcentraten en KAS. Gemiddeld over de beide proeven bedroeg de stikstofwerkingscoëfficiënt op klei 80% en op zand 92% en het gemiddelde van alle vier proeven is 86%.

De stikstofopname bij gebruik van vloeibaar ammoniumnitraat als basisbemesting was in de kleigrond in Lelystad significant lager dan die van KAS en vergelijkbaar met die van de mineralenconcentraten. De gemiddelde stikstofwerking van vloeibaar ammoniumnitraat ten opzichte van KAS was 65%. De gemiddelde stikstofwerking van de mineralenconcentraten ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat was 117%. Er was geen statistisch significant verschil in de stikstofwerking van mineralenconcentraat en vloeibare ammoniumnitraat.

Bij de bijbemesting vóór rugopbouw en bij knolzetting waren de resultaten wisselend tussen de jaren. In 2009 werd een lage stikstofwerkingscoëfficiënt gevonden (40-58%) en in 2010 een hoge werkingscoëfficiënt (> 100%). Doordat de stikstofwerkingscoëfficiënt bij toediening na het poten op slechts één stikstofgift is gebaseerd, is de stikstofwerkingscoëfficiënt minder nauwkeurig te bepalen dan bij toediening vóór het poten (die op meer stikstofgiftten is gebaseerd).

Het aanzuren van mineralenconcentraat tot een pH van 6,7 (Rolde) en 7,2 (Lelystad) leidde in Lelystad niet tot een statistisch significant verhoging van de stikstofwerkingscoëfficiënt. In Rolde leidde het tot een hogere werkingscoëfficiënt; het verschil was bijna significant.

Concluderend, de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat toegediend vóór poten van de aard-appelen bedroeg gemiddeld 80% op klei (78% in 2009 en 81% in 2010) en 92% op zand (86% in 2009 en 98% in 2010). De stikstofwerking op de zandlocatie kwam overeen met de theoretisch beredeneerde stikstofwerking in geval van bouwlandinjectie en op de kleilocatie was deze iets lager. De stikstofwerking van mineralenconcentraat bij bijbemesting varieerde sterk (40-58% in 2009 en ruim 100% in 2010), maar door de gekozen proefopzet was de stikstofwerkingscoëfficiënt bij bijbemesting minder nauwkeurig vast te stellen dan die bij basisbemesting. De stikstofwerking van mineralenconcentraat op de kleigrond was gelijkwaardig aan die van vloeibare ammoniumnitraat (niet significant verschillend).

Tabel 6

Stikstofwerkingscoëfficiënten (in %) van mineralenconcentraat en vloeibare ammoniumnitraat ten opzichte van kalkammonsalpeter (KAS) op basis van stikstofopname in de knollen (Van Geel et al., 2011).

Meststof	Toedieningstijdstip	Lelystad		Rolde	
		2009	2010	2009	2010
Mineralenconcentraat	Basisbemesting	78	81	86 (n.s.)	98 (n.s.)
Vloeibare ammoniumnitraat	Basisbemesting	-	65	-	-
Mineralenconcentraat	Rugopbouw	58 (n.s.) ¹	121 (n.s.)	-	-
Mineralenconcentraat	Knolzetting	44 (n.s.)	104 (n.s.)	40	112 (n.s.)

¹ n.s. = niet significant verschillend van KAS c.q. van 100.

4.2.2 Additioneel onderzoek

In het nog lopend onderzoek van Schröder et al. (2011) is de stikstofwerking van verschillende organische meststoffen bepaald in een veldproef op zandgrond met snijmais in Achterveld. In deze proef is de stikstofwerkingscoëfficiënt ten opzichte van KAS bepaald van mineralenconcentraat, varkensdrijfmest, rundveedrijfmest, dikke fractie van gescheiden varkensdrijfmest en rundveestalmest. Alle meststoffen werden in verschillende stikstoftrappen onderzocht. De toediening van de vloeibare mesten vond plaats met een bouwlandinjecteur (diepte circa 5-10 cm en afstand van 26 cm) in combinatie met een schijveneg. De vaste mesten zijn met een verspreider voor vaste mest toegediend. De stikstofwerking ten opzichte van KAS was voor mineralenconcentraat 77%. De werking was ten opzichte van KAS was 65% voor varkensdrijfmest, 60% voor rundveedrijfmest, 64% voor de dikke fractie van gescheiden varkensdrijfmest en 33% voor rundveestalmest. Het onderzoek wordt in 2011 herhaald.

Er zijn in 2009 en 2010 proeven uitgevoerd met zetmeelaardappelen op dalgrond, wintertarwe op zware zeeklei en zomergerst op dalgrond (2009) en zandgrond (2010). Verder zijn in 2010 proeven uitgevoerd op zandgrond met consumptieaardappelen en snijmais en op zeeklei met consumptieaardappelen. Dit onderzoek is in verschillende rapporten beschreven. Van Geel et al. (2011b) hebben de resultaten van alle proeven uit dit additionele onderzoek in 2009 en 2010 samengevat. Hieronder wordt een samenvatting gegeven van de stikstofwerking die in de verschillende proeven is gevonden.

Tabel 7 geeft een overzicht van de stikstofwerking van het mineralenconcentraat ten opzichte van KAS in de verschillende proeven. Indien de stikstofwerking van het mineralenconcentraat niet statistisch betrouwbaar verschilt van de werking van KAS, is deze beoordeeld als gelijkwaardig aan KAS. De in de proeven gevonden stikstofwerkingscoëfficiënten varieerden tussen de gewassen, jaren en toedieningsmethoden. Deze variatie wordt voor een deel veroorzaakt door groei- en weersomstandigheden. Daarnaast moet bij de interpretatie van

de resultaten worden bedacht dat een klein verschil in stikstofopname al tot een groot verschil in de berekende stikstofwerkingscoëfficiënt kan leiden. In de in tabel 7 beschreven proeven is de stikstofwerkingscoëfficiënt van het mineralenconcentraat veelal vastgesteld op basis van één stikstofgift van concentraat, welke is vergeleken met een responscurve van stikstoftrappen met KAS. De veldvariatie heeft dan een grotere invloed dan in een veldproef waarin het mineralenconcentraat ook in meerdere stikstoftrappen is aangelegd. In dat geval wordt de responscurve van het mineralenconcentraat vergeleken met de responscurve van KAS en wordt de invloed van veldvariatie beter ondervangen. In de proeven in het kader van de pilot zijn bij de basisbemesting stikstoftrappen aangelegd bij de drie onderzochte mineralenconcentraten (paragraaf 4.2.1). In het onderzoek van Schröder et al. (2011) is het mineralenconcentraat ook in verschillende stikstoftrappen onderzocht. In aardappelproeven in de pilot van Van Geel et al., (2011a) en in de proef met snijmaïs van Schröder et al. (2011) is de werkingscoëfficiënt dus nauwkeuriger vastgesteld dan in de proeven uit het additionele onderzoek (Van Geel et al., 2011b).

De conclusies uit het additionele onderzoek zijn (Van Geel et al., 2011b):

- Bij toepassing van het mineralenconcentraat via bouwlandinjectie voor poten of zaaien van het gewas was de stikstofwerking van het mineralenconcentraat in de meeste proeven gelijkwaardig aan de stikstofwerking van KAS. Enige uitzondering hierop was de zomergerstproef op zand in 2010.
- Bij toepassing van het mineralenconcentraat als tweede gift in wintertarwe met een sleufkouter was de stikstofwerking in de proef van 2009 lager dan die van KAS. Dit is conform de verwachting, aangezien de kans op ammoniakvervluchtiging bij toediening met een sleufkouter hoger is dan bij bouwlandinjectie. In de proef van 2010 was er echter geen verschil met KAS.
- De bijbemesting van mineralenconcentraat met de slangenmachine in de aardappelproeven gaf in de proeven van 2010 op zand- en dalgrond een gelijkwaardige stikstofwerking als KAS. Op de kleigrond was de stikstofwerking lager dan KAS, hetgeen mogelijk is veroorzaakt door minder grondbedekking door het loof in de kleiproef dan in de proeven op zand- en dalgrond (hoe minder bedekking door loof, hoe hoger de kans op ammoniakvervluchtiging uit het met slangen toegediend mineralenconcentraat).
- Toediening van mineralenconcentraat met de slangenmachine in wintertarwe gaf in 2009 een vergelijkbaar resultaat als KAS, in 2010 was de stikstofwerkingscoëfficiënt lager.
- Oppervlakkige toediening van het mineralenconcentraat (niet in de grond gebracht) voor zomergerst gaf in 2009 een vergelijkbaar resultaat als KAS (en als bouwlandinjectie), maar in 2010 was de stikstofwerking aanzienlijk slechter.
- Toediening van mineralenconcentraat gemengd met drijfmest leidde tot een lagere stikstofwerking van het concentraat dan het apart toedienen van het mineralenconcentraat.
- Bij toepassing van mineralenconcentraat in het vroege voorjaar op kleigrond is er evenals bij toediening van onbewerkte drijfmest, kans op structuurschade. Ook bij de toepassing van mineralenconcentraat blijft dit dus een knelpunt.

4.3 Stikstofwerking van mineralenconcentraat op grasland

4.3.1 Proeven uit de pilot

Van Middelkoop en Holshof (2011) hebben in 2009 en 2010 proeven uitgevoerd op blijvend grasland op zand (Heino) en op klei (Lelystad). Mineralenconcentraten werden toegediend met een proefveldmachine waarbij de machine met kouters door de graszode snijdt en de vloeibare meststof in het getrokken sleufje plaatst. Het kouter was voor grasland op vijf cm onder maaiveld ingesteld, vergelijkbaar met een goed afgestelde zodebemester. De kouterafstand bedroeg 17 cm.

In 2009 zijn drie mineralenconcentraten, KAS en vloeibaar ammoniumnitraat toegediend bij drie stikstofniveaus. Er zijn in het graslandonderzoek dezelfde concentraten gebruikt als in het bouwlandonderzoek van Van Geel et al. (2011a). Er zijn op alle objecten vijf sneden geoogst. In 2010 zijn naast de objecten uit 2009 enkele andere objecten aangelegd, waaronder een object met aangezuurd concentraat en een object met opgelost ammoniumchloride. Het doel van aanzuren van het concentraat was om na te gaan of ammoniakemissie een oorzaak was voor de relatief lage stikstofwerking van mineralenconcentraat in 2009. Het object met opgelost ammoniumchloride was aangelegd om na te gaan of de stikstofvorm een effect heeft op de stikstofwerking. De stikstofwerkingscoëfficiënten zijn berekend op basis van de drogestof- en de stikstofopbrengsten over alle sneden (jaaropbrengsten) en stikstofgiften. De stikstofwerkingscoëfficiënt op basis van stikstofopbrengst is de meest zinvolle berekening, omdat dit een indicator is voor verschillen in stikstofefficiëntie en kans op stikstofverlies tussen meststoffen.

De stikstofwerkingscoëfficiënt voor mineralenconcentraten ten opzichte van KAS was gemiddeld over beide jaren, beide locaties en alle mineralenconcentraten 58% (variërend tussen jaren en mineralenconcentraten van 43% tot 69%). Er was geen statistisch significant verschil in stikstofwerkingscoëfficiënt tussen de beide locaties. De gemiddelde stikstofwerkingscoëfficiënt van 58% van de mineralenconcentraten ten opzichte van KAS was lager dan de op basis van de samenstelling berekende werking van 70-80% (zie paragraaf 4.1.1).

De stikstofwerkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat varieerde van 76 tot 115% en was gemiddeld 96%. De concentraten werkten op grasland dus vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat, toegediend met dezelfde toedieningsmachine.

Aanzuren van het concentraat had geen effect op de stikstofwerking. Snijwerking had geen invloed op de opbrengst, zowel met als zonder stikstofbemesting.

De opbrengst met (opgeloste) ammoniumchloride was laag en lager dan de opbrengst met mineralenconcentraten. De stikstofwerkingscoëfficiënt van ammoniumchloride ten opzichte van KAS was 49% in 2010 (die van mineralenconcentraat was gemiddeld 63% in dat jaar). De lage werking van ammoniumchloride is mogelijk het gevolg van een hoge gift aan chloor.

Conclusies

- De gemiddelde stikstofwerkingscoëfficiënt voor de concentraten ten opzichte van KAS op grasland was 58% (gebaseerd op beide jaren, beide locaties en alle mineralenconcentraten). De werkingscoëfficiënt varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 43% tot 69%. Er is geen statistisch significant verschil tussen de twee locaties in werkingscoëfficiënt.
- De stikstofwerkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat was gemiddeld 96% (76-115%). De mineralenconcentraten werkten vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat op grasland.

4.3.2 Additioneel onderzoek

In het rapport Van Geel et al. (2011b) worden naast de resultaten van het additioneel onderzoek op bouwland ook die van additioneel onderzoek op grasland beschreven. In een proef bij grasland op zandgrond is de stikstofwerking van het mineralenconcentraat (als aanvulling op een drijfmestgift) en een mengsel van mineralenconcentraat en drijfmest onderzocht. Het concentraat en het mengsel van drijfmest en concentraat werden met een zodebemester toegediend. De referentie was een basisgift runderdrijfmest met een stikstoftrap van KAS. De stikstof is in vier giften (snedes) verdeeld gedurende het groeiseizoen voor alle meststoffen. De stikstofwerking van mineralenconcentraat was in deze graslandproef gelijkwaardig aan die van KAS. Toediening van mineralenconcentraat gemengd met drijfmest leidde tot een lagere stikstofwerking dan het apart toedienen van het mineralenconcentraat (tabel 8).

Tabel 7

De stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in de verschillende bouwlandproeven in het kader van additioneel onderzoek (Van Geel et al., 2011b).

Proef	Toedieningsmoment	Toedieningsmethode	Stikstofwerkingscoëfficiënt, %	Beoordeling
Zetmeelaard. dalgrond, 2010	basisbemesting	bouwländinjectie	126	gelijkwaardig aan KAS
	bijbemesting	slangen	130	gelijkwaardig aan KAS
Consumptieaard. ZO zand, 2010	basisbemesting	bouwländinjectie	123	gelijkwaardig aan KAS
	bijbemesting	slangen	82	gelijkwaardig aan KAS
Consumptieaard. ZW klei, 2010	basisbemesting	oppervlakkig	95	gelijkwaardig aan KAS
	idem i.c.m. drijfmest	oppervlakkig	48	lager dan KAS
	bijbemesting	slangen	52	lager dan KAS
Wintertarwe zware zeeklei, 2009	2 ^e gift	sleufkouter	69	lager dan KAS
	2 ^e gift	slangen	119	gelijkwaardig aan KAS
	2 ^e gift i.c.m. 3 ^e gift KAS	sleufkouter	95	gelijkwaardig aan KAS
Wintertarwe zware zeeklei, 2010	2 ^e gift	sleufkouter	102	gelijkwaardig aan KAS
	2 ^e gift	slangen	46	lager dan KAS
	2 ^e gift i.c.m. 3 ^e gift KAS	sleufkouter	95	gelijkwaardig aan KAS
Zomergerst dalgrond, 2009	basisbemesting	bouwländinjectie	128	gelijkwaardig aan KAS
	basisbemesting	oppervlakkig	102	gelijkwaardig aan KAS
Zomergerst zandgrond, 2010	basisbemesting	bouwländinjectie	40	lager dan KAS
	basisbemesting	oppervlakkig	9	lager dan KAS
Snijmaïs ZO zand, 2010	vóór zaaien	bouwländinjectie	129	lijkt beter dan KAS
	bij zaai	kouter	94	gelijkwaardig aan KAS
	na opkomst	kouter	95	gelijkwaardig aan KAS
	na opkomst i.c.m. startgift KAS bij zaai	kouter	70	lager dan KAS

Tabel 8

De stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten in de verschillende graslandproeven in het kader van additioneel onderzoek (Van Geel et al., 2011b).

Proef	Toedieningsmoment	Toedieningsmethode	Stikstofwerkingscoëfficiënt, %	Beoordeling
Grasland ZO zand, 2010	vóór elke snede, apart	zodebemester	110	gelijkwaardig aan KAS
	vóór elke snede, gemengd met drijfmest	zodebemester	82	gelijkwaardig aan KAS

4.4 Enquête naar gebruikerservaringen met mineralenconcentraat

De Hoop et al. (2011) hebben een enquête uitgevoerd om inzicht te krijgen in de ervaringen van gebruikers van mineralenconcentraten uit de Pilot Mineralenconcentraten in 2009 en 2010. In september 2009 en september 2010 is de enquête verspreid onder de deelnemers. In beide jaren was de bruikbare respons op de enquête 62% (103 van de 166 afnemers in 2009 en 169 van de 274 afnemers in 2010).

Zowel in 2009 als in 2010 is mineralenconcentraat het vaakst gebruikt op grasland, gevolgd door snijmaïs en consumptieaardappelen. Mineralenconcentraat is ook, maar in mindere mate, op andere gewassen toegepast, zoals suikerbieten, granen en groentes.

Op grasland werd mineralenconcentraat meestal toegediend als een mengsel van concentraat en drijfmest (in 70% van de bemestingen met mineralenconcentraat werd er een mengsel van concentraat en runderdrijfmest gegeven; in 30% alleen concentraat). De belangrijkste reden om concentraat gemengd toe te dienen, is dat het dan gemakkelijker te doseren is met bestaande toedieningstechnieken, zoals de zodebemester. Daarnaast wordt de drijfmest door menging met mineralenconcentraat dunner en daardoor veel makkelijker verwerkbaar. Mineralenconcentraat werd op grasland voornamelijk toegepast bij vervolgsnedes. De gebruikers van concentraat op grasland waarden het product als een goede meststof, voor zowel de opbrengst (55 en 60% van de gebruikers in respectievelijk 2009 en 2010 beoordelen concentraat als goed) en voor de kwaliteit (70 en 78% van de gebruikers in respectievelijk 2009 en 2010). Van de gebruikers op grasland, vindt bijna iedereen de stikstof een waardevolle bestanddeel, terwijl 39% ook de kali belangrijk vindt. Slechts een klein deel van de gebruikers (< 5%) ervaart een slecht effect op gewaskwaliteit of gewasopbrengst. Deze bedrijven hebben last gehad van droogte of natte perioden. Er trad in enkele gevallen verbranding op van het gras bij toediening van concentraat (niet gemengd met drijfmest).

Mineralenconcentraat op snijmaïs is meestal toegediend als basisbemesting. In 2010 is in 27% van de bemestingen concentraat als bijbemesting toegepast. De meest gebruikte methode voor toediening op snijmaïs was de bouwlandinjecteur. In 2010 werd in 15% van de bemestingen het concentraat toegediend met het in dat jaar toegestane bovengrondse slangendoseersysteem. In ruim de helft van de bemestingen is concentraat gemengd met drijfmest. De gemiddelde gift aan concentraat was ongeveer 8,5 ton per ha. Van de gebruikers van mineralenconcentraat op snijmaïs vindt ongeveer 80% kali een belangrijk bestanddeel van het mineralenconcentraat en ongeveer 85% vindt stikstof belangrijk. Gebruik van mineralenconcentraat werd in beide jaren positief ervaren.

Mineralenconcentraat werd in 2009 bij bemesting van consumptieaardappelen meestal toegediend als basisgift voor het poten. In 2010 is in 21% van de bemestingen concentraat als een mengsel met drijfmest toegediend aan aardappelen. In de meeste gevallen is het concentraat als basisbemesting toegepast en toegediend met de mestinjecteur. Bijbemesting bij aardappelen is aantrekkelijker geworden in 2010 door gebruik te maken van het in 2010 toegestane slangendoseersysteem. Het grootste deel van de gebruikers van mineralenconcentraat op consumptieaardappelen vinden zowel stikstof als kalium belangrijk. Gemiddeld is op jaarbasis ongeveer 10,5 ton concentraat per ha gebruikt op aardappelen. De ervaringen van gebruik van mineralenconcentraat als meststof bij consumptieaardappelen zijn goed.

Sommige gebruikers geven aan dat er behoefte is aan een hoger stikstofgehalte van het mineralenconcentraat. De meeste gebruikers op grasland geven aan dat het kaligehalte lager moet zijn. Gebruikers met akkerbouwgewassen (vooral consumptieaardappelen en suikerbieten) wensen juist een hoger kaligehalte.

4.5 Gebruikerservaringen in projecten Koeien & Kansen en Telen met toekomst

Verloop et al. (2011) hebben een verkenning uitgevoerd naar de bedrijfsmatige inzetbaarheid van mineralenconcentraten op melkveebedrijven en akkerbouwbedrijven. Doel van dit onderzoek was het bepalen van de voor- en nadelen van het gebruik van concentraten, het in kaart brengen van mogelijke knelpunten bij het gebruik en het zoeken naar oplossingen. Dit project had ook als doelstelling het bevorderen van de communicatie over ervaringen met gebruik van mineralenconcentraten. Het onderzoek vond plaats op bedrijven uit de projecten Koeien en Kansen en Telen met Toekomst. Een samenvatting van de belangrijkste bevindingen staat hieronder.

Gebruikersoordeel over concentraat

- Toepassing van mineralenconcentraten heeft het meeste perspectief in suikerbiet, wintertarwe, gerst, mais, stamslaboon, waspeen en aardappel (akkerbouw) en in gras (melkveehouderij).
- Het bemestende effect van concentraat hangt af van de wijze van toepassing van mineralenconcentraat (toedieningstechniek, grootte gift, tijdstip van toediening, plaats van toediening etc.), net zoals bij andere meststoffen. Er is meer ervaring nodig om de toepassing van mineralenconcentraten te optimaliseren.

Kalium en fosfaat

- Voor gebruik van concentraat in de melkveehouderij is een zo hoog mogelijke stikstof/fosfaat verhouding gewenst. Sommige gebruikers beoordelen het fosfaatgehalte in sommige producten als te hoog.
- De kaliumaanvoer met mineralenconcentraat beperkt de ruimte voor toepassing van mineralenconcentraat als stikstofkunstmest op melkveebedrijven met een kaliumtoestand van de bodem die voldoende is of hoger.
- In veel akkerbouwgewassen kan mineralenconcentraat voor een groot deel voorzien in de kaliumbehoefte. De aanwezigheid van kalium in het concentraat draagt dan ook aanzienlijk bij aan de inzetbaarheid van mineralenconcentraat als kunstmestvervanger.

Gewasopbrengsten

- Praktijktoepassingen en strokenproeven zijn door hun opzet meestal niet geschikt om een stikstofwerking af te leiden, maar geven wel een indruk. De algemene indruk van opbrengsten bij toepassing van concentraat in de akkerbouw is positief. Er zijn geen of weinig verschillen waarneembaar tussen het gewas behandeld met concentraat en dat behandeld met kunstmest.
- Het beeld van het effect op grasopbrengst is wisselend maar overwegend gunstig. De stikstofopbrengst van gras bemest met mineralenconcentraat is meestal iets lager dan bij bemesting met KAS.

Aanwenden en bewerking

- Sommige gebruikers zien perspectieven in het toedienen van een mengsel van concentraat met drijfmest (zie ook paragraaf 4.4). Het mengen gebeurt dan in een mestsilo of bassin. De mogelijkheden om mineralenconcentraat met drijfmest te mengen zijn op akkerbouwbedrijven en gemengde bedrijven met varkens beperkt.
- Het apart aanwenden van mineralenconcentraat in plaats van een mengsel van concentraat en mest maakt fijnsturing van de stikstofbemesting mogelijk, maar leidt tot hogere loonwerkkosten. Daarnaast wordt de graszode tweemaal doorsneden. Er is behoefte aan toedieningstechnieken die lage doseringen (< 10 ton per ha) van mineralenconcentraat mogelijk maken.

Milieu-effecten

- Door het lage gehalte aan organische stikstof in mineralenconcentraat is er weinig stikstofnawerking door mineralisatie. De kans op vrijkomen van stikstof door mineralisatie in najaar en winter, is hierdoor beperkt. Dit kan leiden tot een lagere kans op nitraatuitspoeling.

4.6 Perspectieven van de dikke fractie

4.6.1 Stikstof

De dikke fractie van varkensmest heeft gemiddeld een stikstofgehalte van 11,8 g per kg en deze stikstof bestaat gemiddeld voor 45% uit ammonium (Ehlert en Hoeksma, 2011). Op basis van de samenstelling wordt een gemiddelde werkingscoëfficiënt berekend van 69% (61 - 79%, afhankelijk van de samenstelling (Ehlert en Hoeksma, 2011)). De berekende stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie is lager dan die van het mineralenconcentraat, omdat het aandeel ammonium in de stikstof van de dikke fractie lager is dan die in mineralenconcentraat. Daarnaast kan de dikke fractie niet worden geïnjecteerd. De dikke fractie wordt oppervlakkig toegediend en daarna ingewerkt. Deze toediening resulteert in een hogere kans op ammoniakemissie dan bij injectie.

Van Geel et al. (2011a) hebben in 2009 en 2010 twee proeven uitgevoerd met aardappelen waarin zowel mineralenconcentraten (zie paragraaf 4.2.1) als de dikke fractie zijn getoetst. Het aandeel ammonium in totaal stikstof van de dikke fractie was 42% in 2009 en 53% in 2010. In alle proeven is de dikke fractie vergeleken met KAS bij verschillende stikstofniveaus. De dikke fractie is vóór poten verspreid en vervolgens ingewerkt met een eg. In drie van de vier proeven werd een lage stikstofwerkingscoëfficiënt gevonden voor de dikke fractie: 32 - 34% ten opzichte van KAS gevonden (tabel 9). In de proef in Rolde in 2009 werd een werkingscoëfficiënt gevonden van 55%. De stikstofwerking in deze proeven was dus lager dan de theoretische berekende waarde van 69% (Ehlert en Hoeksma, 2011). De oorzaak van de lage stikstofwerking is onduidelijk. Mogelijk heeft ammoniakvervluchtiging na toediening een rol gespeeld, omdat het product eerst bovengronds is toegediend en daarna via een aparte werkgang is ingewerkt door eggen.

Tabel 9

Stikstofwerkingscoëfficiënten (in %) van vaste fractie ten opzichte van kalkammonsalpeter (KAS) op basis van N-opname in de knollen (Van Geel et al., 2011).

Meststof	Toedieningstijdstip	Lelystad		Rolde	
		2009	2010	2009	2010
Dikke fractie	Basisbemesting	34	32	55	34

In het nog lopende onderzoek van Schröder et al. (2011) is de stikstofwerking van verschillende organische meststoffen bepaald in een veldproef op zandgrond met snijmaïs in Achterveld (zie paragraaf 4.2.2). De effectiviteit van de stikstof van dikke fracties en KAS werden bij verschillende stikstoftrappen getoetst. De dikke fracties zijn met een vaste mestverspreider toegediend. Het aandeel ammonium in totaal stikstof van de dikke fractie was 38%. De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie was 64% en dus hoger dan die gevonden door Van Geel et al. (2011a). Het is niet duidelijk waardoor de stikstofwerking van de dikke fractie hoger was in het onderzoek van Schröder et al. (2011) dan van Van Geel et al. (2011a).

4.6.2 Fosfaat

De dikke fractie is relatief rijk aan fosfaat en organische stof (Ehlert en Hoeksma, 2011) en daarom aantrekkelijk voor toepassing als meststof voor akkerbouwgronden. De fosfaatwerking van de dikke fracties werd in een incubatieproef met grond onderzocht door Schröder et al (2010). De fosfaatwerking werd afgeleid uit

wijzigingen van de fosfaattoestand van de grond in de tijd. De fosfaattoestand werd bepaald met methoden van grondonderzoek die toegepast worden bij bemestingsadviesing. 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, waardoor de beschikbaarheid van fosfaat afnam.

4.6.3 Overige nutriënten

De dikke fractie bevat kalium en magnesium. Het magnesiumgehalte in de dikke fractie is hoger dan dat in mineralenconcentraten. Naar verwachting zijn zowel de kalium als magnesium beschikbaar voor het gewas. Bij gebruik van de dikke fractie als fosfaatmeststof worden echter beperkte giften aan kalium en magnesium gegeven. Het natriumgehalte in de dikke fractie is aanzienlijk lager dan in het mineralenconcentraat en heeft weinig landbouwkundige betekenis.

Het zwavelgehalte in de dikke fractie is hoger dan het sulfaatgehalte. Dit wijst op de aanwezigheid van gereduceerde zwavelvormen. De beschikbaarheid van zwavel voor het gewas uit dikke fracties is onbekend, maar er wordt verwacht dat de zwavel na toediening aan een bodem beschikbaar is voor het gewas. De zwavelgift van de dikke fractie komt vrijwel volledig tegemoet aan de vraag van het gewas.

De dikke fractie is een bron van spoorelementen. Toediening van ijzer en mangaan aan de bodem dient geen bemestingsdoel en de giften aan molybdeen zijn te laag om daaraan enige landbouwkundige waarde aan toe te kennen. De giften aan borium, koper en zink zijn dusdanig hoog dat hiermee rekening moet worden gehouden bij het bemestingsplan.

4.6.4 Gebruikerservaringen

In de enquête van de Hoop et al. (2011) zijn ook vragen gesteld over het gebruik van de dikke fractie. De dikke fractie heeft op het moment van afzet verschillende vormen bij de verschillende bedrijven. Naast verschil in het scheidingsproces zelf en de verschillen in de samenstelling van de ingaande mest, hebben bewerkingen als hygiëniseren, indrogen en composteren een mogelijk effect op de afzet.

Bij de afzet van niet verder bewerkte dikke fractie naar de akkerbouw wordt de prijs voornamelijk bepaald door de kosten voor transport en bemiddeling. Er zit nauwelijks verschil in de afzetprijs tussen dikke fractie en drijfmest, aangezien het transport een belangrijk deel van de prijs bepaalt en dit gerekend wordt per kuub. Niet de samenstelling, maar de hoeveelheid bepaalt de prijs. Afzet van dikke fractie naar de Nederlandse akkerbouw gaat vooral naar Flevoland en Zeeland en in mindere mate ook naar Drenthe. De dikke fractie is vooral in trek op kleigronden.

Naast afzet naar de Nederlandse akkerbouw wordt het product ook geleverd aan bedrijven voor compostering en biogasproductie. Afzet van dikke fractie naar buitenlandse landbouw kan alleen na hygiëniseren. Tijdens een composteringproces wordt het exportwaardig gemaakt. De dikke fractie wordt vooral naar akkerbouwers in Noord-Frankrijk geëxporteerd.

4.7 Samenvatting

Samenstelling

- Stikstof is het nutriënt dat het landbouwkundig gebruik van mineralenconcentraten bepaalt. De stikstof in mineralenconcentraten komt hoofdzakelijk in de ammoniumvorm voor (gemiddeld 90% van de N in concentraat, maar er is een grote spreiding tussen de installaties).
- De pH van mineralenconcentraten uit varkensmest is gemiddeld 7,95, waardoor het aannemelijk is dat er ook ammoniak in mineralenconcentraten voorkomt.
- Op basis van de samenstelling wordt geschat dat de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat ten opzichte van KAS zal variëren van 76-90% op bouwland en op grasland van 67-81% (afhankelijk van de hoogte van de ammoniakemissie).
- Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de kalium in mineralenconcentraten niet volledig beschikbaar is voor het gewas.
- Het fosforgehalte in het mineralenconcentraat is laag en aanzienlijk lager dan het stikstof- en kaligehalte. Toch kunnen de fosfaatgiften met bepaalde mineralenconcentraten niet verwaarloosd worden (tot 21 kg P₂O₅ per ha bij een stikstofgift van 100 kg N per ha).
- Van de overige nutriënten in mineralenconcentraten kunnen natrium en zwavel landbouwkundige betekenis hebben.
- De gehalten aan calcium, magnesium en sporenelementen in concentraat zijn in het algemeen te laag om daar enige landbouwkundige betekenis aan te geven.
- Chloride vormt geen aandachtspunt bij gebruik van mineralenconcentraten, indien rekening wordt gehouden met de mogelijke aanvoer van chloride via andere meststoffen.

Bouwland

- De stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat bij basisbemesting van aardappelen bedroeg gemiddeld 80% op klei (78% in 2009 en 81% in 2010) en 92% op zand (86% in 2009 en 98% in 2010).
- De stikstofwerking van mineralenconcentraat bij bijbemesting varieerde sterk (40-58% in 2009 en hoger dan 100 in 2010), maar door de gekozen proefopzet was de stikstofwerkingscoëfficiënt bij bijbemesting minder nauwkeurig vast te stellen dan die bij basisbemesting.
- De stikstofwerking van vloeibaar ammoniumnitraat was op de kleigrond in Lelystad lager dan die van KAS (65%). De stikstofwerking van mineralenconcentraat was 117% ten opzichte van vloeibare ammoniumnitraat. Mineralenconcentraat werkte vrijwel net zo goed als vloeibare ammoniumnitraat.
- De stikstofwerking van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS was 77% bij toepassing bij snijmaïs op zandgrond. De werking was 65% voor varkensdrijfmest en 64% voor de dikke fractie van gescheiden varkensdrijfmest.
- In het kader van het additionele onderzoek was de stikstofwerking van mineralenconcentraat in 14 van de 21 proeven vergelijkbaar met die van KAS (werkingscoëfficiënt hoger dan 95%). In zeven proeven was de werking slechter (9 - 70%). De lage stikstofwerking was in een deel van de proeven gerelateerd aan de toedieningsmethodiek en tijdstip van bemesting. De stikstofwerkingscoëfficiënt in het additionele onderzoek kon minder nauwkeurig worden vastgesteld dan die in het onderzoek uit de pilot, omdat er slechts één gift aan mineralenconcentraten werd getoetst. In de proeven uit de pilot is het concentraat getoetst bij meerdere stikstofgiften.
- De hoogste stikstofwerking van mineralenconcentraten werd meestal verkregen bij bouwlandinjectie als basisbemesting.
- Toediening van mineralenconcentraat gemengd met drijfmest leidde tot een lagere stikstofwerking dan het apart toedienen van het mineralenconcentraat.

Grasland

- De stikstofwerkingscoëfficiënt voor de concentraten ten opzichte van KAS op grasland was gemiddeld 58%. De werkingscoëfficiënt varieerde tussen jaren en mineralenconcentraten van 43 tot 69%. Er was geen statistisch significant verschil tussen de twee graslandlocaties in werkingscoëfficiënt.
- De berekende stikstofwerkingscoëfficiënt ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat was gemiddeld 96% (76 - 115%). De mineralenconcentraten werkten vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat op grasland.
- In één proef in het additionele onderzoek was de stikstofwerking van mineralenconcentraat gelijkwaardig aan die van KAS. Toediening van mineralenconcentraat gemengd met drijfmest leidde tot een lagere stikstofwerking dan het apart toedienen van het mineralenconcentraat.

Gebruikerservaringen

- Zowel in 2009 als in 2010 is mineralenconcentraat het vaakst gebruikt op grasland, gevolgd door snijmaïs en consumptieaardappelen.
- Mineralenconcentraat werd meestal aan grasland toegediend als een mengsel van mineralenconcentraat en drijfmest. De belangrijkste reden om mineralenconcentraat gemengd toe te dienen, is dat het dan makkelijker te doseren is met bestaande toedieningstechnieken. Op snijmaïs werd mineralenconcentraat in ruim de helft van de gevallen gemengd met runderdrijfmest en op aardappelen in ongeveer 20% van de gevallen.
- Van de gebruikers op grasland, vindt bijna iedereen de stikstof een waardevol bestanddeel. De kaliumaanvoer met mineralenconcentraat beperkt de ruimte voor toepassing van mineralenconcentraat als stikstofkunstmest op melkveebedrijven met een kaliumtoestand van de bodem die voldoende is of hoger.
- Het grootste deel van de gebruikers van mineralenconcentraat bij consumptieaardappelen vindt zowel stikstof als kalium belangrijk. De ervaringen van gebruik van mineralenconcentraat als meststof bij consumptieaardappelen zijn goed.
- In veel akkerbouwgewassen en snijmaïs kan mineralenconcentraat voor een groot deel voorzien in de kaliumbehoefte. De aanwezigheid van kalium in het concentraat draagt dan ook aanzienlijk bij aan de inzetbaarheid van mineralenconcentraat als kunstmestvervanger.

Dikke fractie

- De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie ten opzichte van KAS was 32 - 55% ten opzichte van KAS in de vier proeven met aardappelen en 64% in de proef met snijmaïs.
- Het toedienen van ijzerhoudende flocculanten en/of coagulanten aan mest verlaagt de fosfaatwerking van de dikke fractie.
- De dikke fractie wordt in de akkerbouwgebieden in Nederland en Noord-Frankrijk afgezet.

5 Economische aspecten

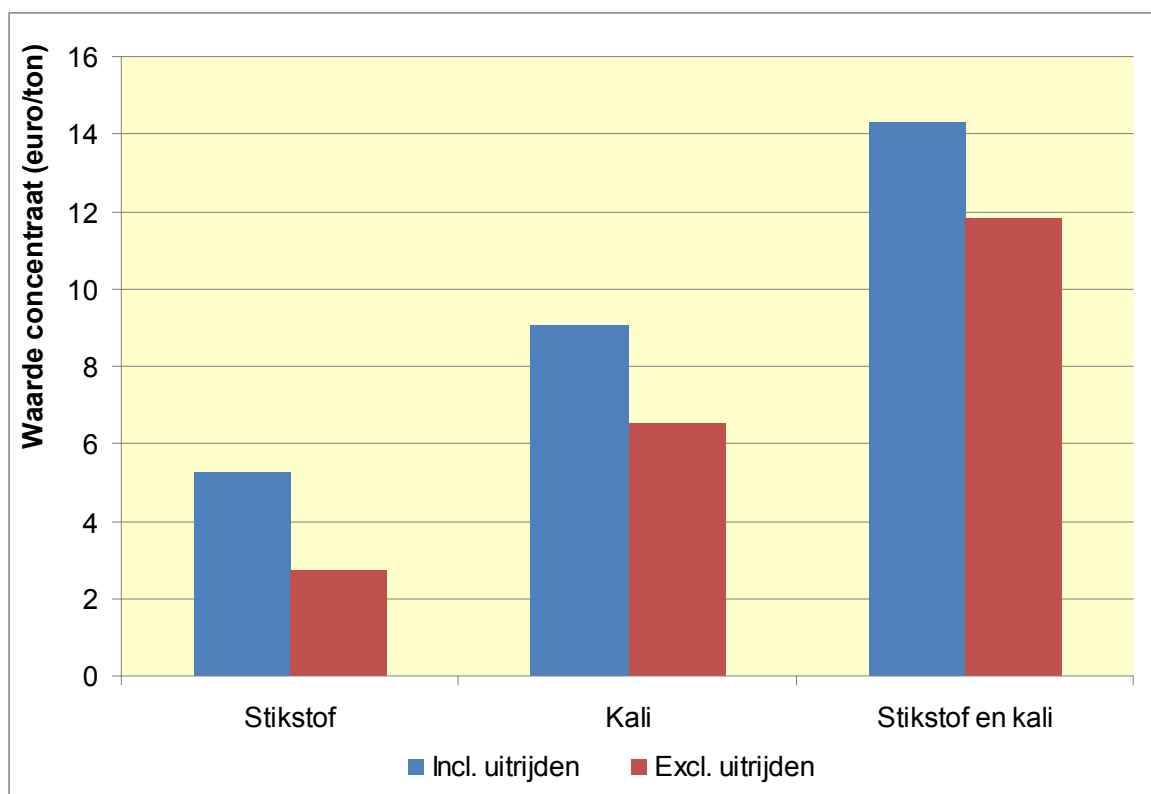
5.1 Prijzen voor mineralenconcentraat en dikke fractie

Uit de enquête van De Hoop et al. (2011) volgt dat de gemiddeld betaalde prijs voor het mineralenconcentraat € 1,25 per ton was in 2009 en € 1,19 in 2010 per ton. Er was echter een grote variatie in de door de afnemers opgegeven prijs. In 2009 was er een verschil van € 6 en in 2010 een verschil van € 16,50 tussen de laagste en de hoogste prijs. De te betalen prijs voor het concentraat hangt sterk samen met de prijs voor kunstmest. De waarde van de totale hoeveelheid stikstof en kalium in het concentraat op basis van kunstmestprijzen (figuur 4) is echter veel hoger dan wat gemiddeld werd betaald. De lagere stikstofwerking van het concentraat dan KAS, de hogere kosten voor het uitrijden en de relatie die nog wordt ervaren met de prijzen van drijfmest, maken dat de meeste afnemers (nog) niet bereid zijn de van kunstmest afgeleide prijs voor de geleverde mineralen te betalen. Daarbij hechten veehouders doorgaans geen waarde aan kalium, omdat zij meestal al voldoende kalium hebben via de mest van de eigen veestapel.

In 2010 heeft 52% van de afnemers aangegeven dat de prijs die ze maximaal voor het concentraat willen betalen hoger ligt dan de prijs die ze in 2010 werkelijk betaald hebben. Het mogen gebruiken van het concentraat als kunstmestvervanger waardoor concentraat niet binnen de gebruiksnorm van dierlijke mest valt, is hiervoor wel een belangrijke voorwaarde. De afzetmarkt naar graslandbedrijven zal zo goed als volledig verdwijnen als mineralenconcentraat niet als kunstmest mag worden toegediend binnen de wettelijke regels. Ook de afzet naar akkerbouwbedrijven wordt dan moeilijker omdat het concentraat dan volledig moet concurreren met drijfmest. Drijfmest is voor veel akkerbouwbedrijven een extra inkomensbron.

De kosten voor directe afzet van onbewerkte dikke fractie naar de akkerbouw in Nederland tijdens het bemestingsseizoen, worden door de producenten en hun intermediairs geschat tussen de € 7,00 en € 20,00 per ton. Hierin zijn de kosten voor transport, wegen, bemonsteren en vergoeding voor de bemiddeling van de intermediair opgenomen. Het bedrag dat een afnemer van de dikke fractie ontvangt, varieert van € 0,00 tot € 2,50 per ton dikke fractie. In perioden dat er geen directe uitrijmogelijkheden zijn, zijn de afzetprijzen hoger, omdat dan de opslag- en bemiddelingskosten hoger zijn.

De kosten voor lozing van het permeaat varieert van € 0,00 tot € 2,00 per kuub. De mogelijkheid tot lozing van permeaat op het oppervlaktewater of riool, zijn afhankelijk van hoe schoon het permeaat is en de eisen van het betreffende waterschap. In bedrijven met eigen vee en land is het vaak voordeliger om het permeaat over eigen land te verspreiden of te hergebruiken voor stallenreiniging.



Figuur 4

Waarde van het mineralenconcentraat bij waardering van stikstof, kali of beide, uitgaande van een prijs van KAS van € 20 per 100 kg KAS en van kaliumchloride (60% K_2O) van € 60 per 100 kg kaliumchloride met 60% K_2O . Er is in de berekeningen uitgegaan van een stikstofgehalte van 7.12 kg N ton en kaligehalten van 9.07 kg K_2O per ton mineralenconcentraat. In- en exclusief gestelde uitrijkosten van € 2,5 per ton.

5.2 Economische analyse van de bedrijven

De Hoop et al. (2011) hebben een kosten-batenanalyse uitgevoerd op basis van informatie die de acht in de pilot deelnemende producenten van mineralenconcentraat hebben aangeleverd. De producenten van mineralenconcentraat hebben opgegeven wat de investeringen zijn voor hun installaties in het geval dat zij de installatie opnieuw in dezelfde omvang zouden opzetten. Daarnaast hebben ze gemeld wat de variabele kosten zijn (energie, arbeid, toevoegmiddelen, e.d.) om de installatie te laten draaien.

In figuur 5 staan de resultaten van de economische analyse. De installaties zijn hierbij gegroepeerd naar type mestscheider. Zoals al vermeld in paragraaf 2.2 passen de bedrijven A en H vergisting toe en scheiden ze de mest met een decanter/centrifuge. De installaties B, C, F en G gebruiken een zeefbandpers als mestscheider en de (kleinere) installaties D en E een vijzelpers. Er worden drie typen kosten onderscheiden:

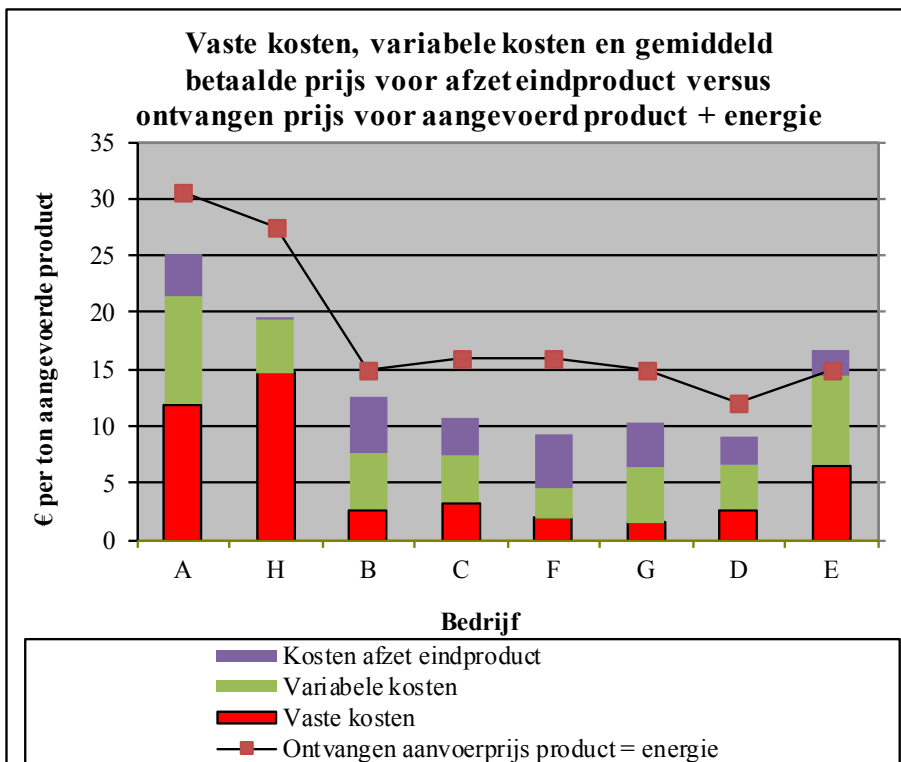
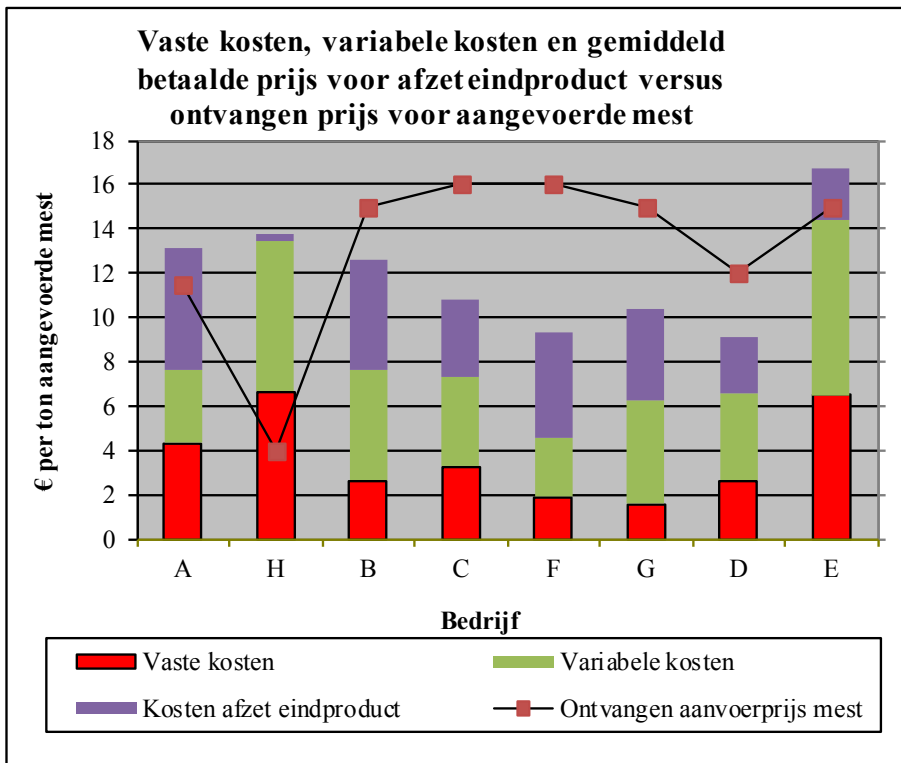
- De variabele kosten. Deze kosten betreffen hulpstoffen (zoals toevoegmiddelen), elektriciteit en gas, onderhoud, arbeid, besparing stikstofkunstmest bij toepassing mineralenconcentraat op eigen bedrijf en eventuele kosten voor administratie, management, water en niet nader gespecificeerd.
- De vaste kosten. Deze kosten betreffen de afschrijving van de installaties. Er is uitgegaan van een levensduur van tien jaar en een berekende rente (jaarlijks 6% over de helft van de investeringen, resulterend in 3% van de investeringen).
- De kosten voor de afzet van de eindproducten mineralenconcentraat, dikke fractie en permeaat.

Figuur 5 geeft aan dat de netto ontvangen prijs voor aangevoerde mest € 12-16 per ton is (uitgezonderd installatie H). De vaste en variabele kosten van de installaties plus de kosten voor de afzet van eindproducten bedragen € 9-13 per ton (uitgezonderd installatie E). De installaties B, C, F, G en D zijn bij de gebruikte gegevens en uitgangspunten rendabel, installatie E niet. De installaties A en H zijn niet rendabel zonder vergisting (bovenste figuur van figuur 5) en wel rendabel met vergisting (onderste figuur van figuur 5).

De economische haalbaarheid van de installaties voor verwerking van dierlijke mest met omgekeerde osmose is sterk afhankelijk van de mestprijzen, zowel de aanvoerprijs van drijfmest als de afvoerprijzen van de eindproducten en concurrerende mestproducten en meststoffen. Bij de huidige afstellingen van de installaties om mineralenconcentraat te produceren, moet gemiddeld gerekend worden met € 7 tot € 8 kosten per ton aangevoerde mest voor alleen de installatie. Dat geldt bij een levensduur van tien jaar. De mix van eindproducten (veel of weinig water, veel of weinig dikke fractie) beïnvloedt de rentabiliteit aanzienlijk. Enkele producenten zijn bezig of hebben plannen om het mineralenconcentraat verder op te werken. Hierdoor kunnen de transportkosten van het mineralenconcentraat dalen. Andere factoren die invloed hebben op de rentabiliteit zijn het wel of niet verder bewerken van de dikke fractie en het wel of niet toepassen van vergisting. Vanaf mestaanvoerprijzen van ongeveer € 15 per ton of hoger zijn de installaties rendabel. Hierbij zijn de kosten voor transport naar de installatie, wegen en bemonsteren van mest voor rekening van de mestleverancier.

5.3 Samenvatting

- De gemiddeld betaalde prijs voor het mineralenconcentraat was € 1,25 per ton in 2009 en € 1,19 in 2010 per ton, maar er was een grote variatie.
- De waarde van de stikstof en kalium in het concentraat op basis van kunstmestprijzen is veel hoger dan wat gemiddeld voor het concentraat werd betaald.
- De kosten voor directe afzet van onbewerkte dikke fractie naar akkerbouw in Nederland tijdens het bemestingsseizoen, worden door de producenten en hun intermediairs geschat tussen de € 7,00 en € 20,00 per ton.
- De kosten voor lozing van het permeaat variëren van € 0,00 tot € 2,00 per kuub. De mogelijkheden tot lozing van permeaat (en de hieraan gerelateerde kosten), zijn afhankelijk van hoe schoon het water is en de eisen van het betreffende waterschap.
- De economische haalbaarheid van de installaties is sterk afhankelijk van de aanvoerprijs van drijfmest en de afvoerprijzen van de eindproducten en concurrerende mestproducten en meststoffen.
- Zeven van de acht installaties zijn rendabel bij de door de installaties verstrekte gegevens en uitgangspunten, waarbij twee installaties alleen rendabel als de drijfmest wordt vergist.



Figuur 5

Totale kosten en gemiddeld betaalde prijs voor de afzet van eindproducten per ton aangevoerde mest van de acht bedrijven versus de ontvangen prijs per ton aangevoerde mest. In de bovenste figuur is een berekening uitgevoerd voor de bedrijven A en H zonder mestvergisting en in de onderste figuur zijn de inkomsten door energieproductie uit mestvergisting bij bedrijven A en H meegenomen.

6 Milieukundige aspecten

6.1 Zware metalen en organische contaminanten

In het algemeen doorstaan de mineralenconcentraten de milieutoets voor zware metalen (97% van de monsters; Ehlert en Hoeksma, 2011). Er zijn drie producten die deze toets niet door staan, omdat er een overschrijding van het gehalte aan zink is (overschrijdingen van de maximaal toelaatbare zinkvracht met een factor 1,3-7,1). De overschrijdingen betreffen echter 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 mineralenconcentraat.

De dikke fracties van varkensdrijfmesten doorstaan in het algemeen niet de milieutoets. Dit wordt veroorzaakt door koper en zink. Koper en zink vormen dus een aandachtspunt bij gebruik van de dikke fractie van varkensmest, maar dit is niet anders dan bij gebruik van onbewerkte drijfmest. De dikke fractie van rundveedrijfmesten doorstaat wel de milieutoets.

Er is een verkenning uitgevoerd naar de aanwezigheid van organische contaminanten in mineralenconcentraten (Hoeksma et al., 2011). Deze verkenning is uitgevoerd bij vier installaties (A, B, C en D). Per installatie werden twee monsters mineralenconcentraat onderzocht op gehalten aan organische microverontreinigingen die door de Meststoffenwet⁵ zijn aangegeven. Koolwaterstoffen zijn berekend als diesel (C10-C24) en als minerale olie (C25-C56). De analyseresultaten laten zien dat de gehalten van dioxines, non-ortho-PCB's, mono-ortho-PCB's, indicator PCB's, PAK's, organochloorbestrijdingsmiddelen en minerale olie in mineralenconcentraten op of onder de detectiegrens liggen. Geen van de organische microverontreinigingen overschrijdt de samenstellings-eisen van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. De verkenning wijst uit dat organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten het milieu niet belasten bij verantwoord landbouwkundig gebruik.

6.2 Nitraatuitspoeling

In de veldproef met snijmaïs van Schröder et al. (2011; zie paragraaf 4.2.2) is begin 2011 de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater gemeten in alle objecten. Bij stikstofgiften van 100 en 150 kg werkzame N per ha waren de nitraatconcentraties in het grondwater bij mineralenconcentraten significant lager dan die bij KAS (tabel 9). De nitraatconcentratie bij mineralenconcentraten was vergelijkbaar met die bij dikke fractie en lager dan die bij onbehandelde varkensmest. In deze proef was de stikstofwerking van mineralenconcentraten lager dan die van KAS (werkingscoëfficiënt 77%; paragraaf 4.2.2). De lagere stikstofwerking heeft dus niet geresulteerd in meer uitspoeling. De hoeveelheid minerale stikstof in de bodem na de oogst van snijmaïs was bij toepassing van mineralenconcentraat ongeveer 40 kg N per ha lager dan bij toepassing van eenzelfde hoeveelheid werkzame N in de vorm van KAS. De lagere stikstofwerking van mineralenconcentraten heeft in deze proef dus niet geleid tot ophoping van minerale stikstof in de bodem en daardoor tot meer uitspoeling. Dit geeft aan dat de niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten als gasvormige stikstof naar de

⁵ De organische contaminanten van de Meststoffenwet zijn Σ PCDD/PCDF, α -HCH, β -HCH, γ -HCH (lindaan), HCB, Aldrin, Dieldrin, Σ Aldrin+Dieldrin, Endrin, Isodrin, Σ Endrin+Isodrin, Σ DDT+DDD+DDE, PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180, naftaleen, fenantreen, anthraceen, fluorantheen, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(g,h,i)peryleen, indeno(1,2,3-c,d)pyreen, Σ 10-PAK en minerale olie.

atmosfeer is verloren gegaan (ammoniakvervluchtiging of denitrificatie) of in de bodem is vastgelegd. In paragraaf 8.4.1. wordt nader ingegaan op het lot van de niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten. De veldproef met snijmais wordt in 2011 gecontinueerd.

Tabel 9

Gemiddelde nitraatconcentratie in mg NO₃-N per liter in de veldproef van Schröder et al. (2011).

Mestsoort	Geschatte werkzame N, kg/ha			
	0	50	100	150
KAS	8,1	7,3	11,5	22,6
Mineralenconcentraat	6,5	6,1	6,2	13,6
Varkensdrijfmest	9,6	7,1	16,1	17,1
Dikke fractie	8,0	6,3	9,4	13,3

Least Significant Difference (LS) ($P < 0,05$): 4,2

De hoeveelheid minerale stikstof in de bodem na de oogst is een indicator voor de stikstofuitspoeling die in de winter plaats vindt. Een deel van de stikstof die in de bodem aanwezig is na de oogst zal tijdens de winter uitspoelen en een deel zal denitrificeren. De kans op uitspoeling is afhankelijk van grondsoort en grondwatertrap. De kans is het grootst in droge zandgronden en het laagst in veen- en kleigronden.

In de veldproeven met aardappelen in Lelystad van Van Geel et al. (2011a) was de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem na de oogst in 2009 circa 10 kg N per ha hoger bij mineralenconcentraten dan bij KAS (dit verschil was statistisch significant). In 2010 was er geen verschil in minerale stikstof tussen mineralenconcentraten en KAS in Lelystad en in Rolde was in beide jaren geen verschil in minerale stikstof tussen mineralenconcentraat en KAS. In 2010 kunnen door de natte nazomer verschillen in minerale stikstof mogelijk wel vroegtijdig zijn genivelleerd.

Er was geen verschil in de hoeveelheid minerale stikstof in het najaar in de vier graslandproeven van Van Middelkoop en Holshof (2011). Dit was wel de verwachting, omdat de stikstofopname door grasland uit mineralenconcentraat lager was dan uit KAS. De resultaten van de hoeveelheid minerale stikstof in het najaar geven aan dat mineralenconcentraat niet heeft geleid tot een hogere kans op nitraatuitspoeling ten opzichte van KAS in de vier proeven op grasland.

6.3 Ammoniakemissie

6.3.1 Resultaten incubatieproeven

Er zijn door Velthof en Hummelink (2011) drie incubatieproeven uitgevoerd om inzicht te krijgen in de kans op ammoniak- en lachgasemissie uit de bodem bij toepassing van mineralenconcentraten in vergelijking tot andere meststoffen (kunstmest, onbehandelde varkensmest en dikke fractie uit mestscheiding). Laboratoriumonderzoek geeft een indruk van de verschillen in gasvormige emissies tussen meststoffen, maar geeft geen kwantitatieve schatting van de emissies die onder veldomstandigheden optreden.

De ammoniakemissie na inwerken van mineralenconcentraten in de bodem was verwaarloosbaar en gelijk aan die van oppervlakkig toegediende KAS. De ammoniakemissie van de oppervlakkig toegediende kunstmest ureum was hoger dan die van emissiearm toegediende mineralenconcentraat. Ureum is een kunstmestsoort met een hoog risico op ammoniakemissie.

Bij oppervlakkige toediening was de ammoniakemissie van mineralenconcentraten vergelijkbaar of hoger dan die van oppervlakkig toegediende varkensmest. Het mineralenconcentraat is dus een meststof met een hoge kans op ammoniakemissie. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van een hoog gehalte aan ammonium en een hoge pH (hoger dan 7,5). Het emissiearm toedienen van mineralenconcentraat leidde tot een forse reductie van de ammoniakemissie, net zoals bij varkensmest. De over alle incubatieproeven gemiddelde ammoniakemissie bij emissiearm toedienen van concentraat was statistisch significant lager dan die van emissiearm toegediende varkensmest. Met een juiste toedieningstechniek kan de ammoniakemissie van mineralenconcentraten sterk worden verminderd.

Er waren verschillen in ammoniakemissie tussen de geteste mineralenconcentraten, maar er kon geen relatie worden vastgesteld tussen de samenstelling van de mineralenconcentraten en de ammoniakemissie. Het aantal geteste concentraten was te klein om een relatie tussen samenstelling en emissies vast te stellen. Grondsoort had geen effect op de ammoniakemissie.

Door het vergelijken van de resultaten van de mineralenconcentraten met de referentie kunstmesten en onbehandelde varkensmest kunnen enkele conclusies worden getrokken die ook van toepassing zullen zijn onder veldomstandigheden:

- Het mineralenconcentraat is een meststof met een hoge kans op ammoniakemissie. Bij het niet of onvoldoende emissiearm toedienen zal de ammoniakemissie hoog zijn, waardoor de stikstofwerking van het concentraat afneemt.
- De ammoniakemissie bij toediening van concentraat is vergelijkbaar met die van varkensmest bij dezelfde gift aan totaal stikstof.
- Bij bouwlandinjectie (een techniek die resulteert in een sterke reductie in ammoniakemissie) zal de ammoniakemissie van mineralenconcentraten vergelijkbaar zijn met die van oppervlakkig toegediende KAS. Bij toedieningstechnieken die minder sterk ammoniakemissie reduceren zal de ammoniakemissie bij mineralenconcentraten hoger zijn dan bij KAS.
- De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediend ureum is hoger dan van emissiearm toegediend mineralenconcentraat.
- De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was gemiddeld lager dan die uit oppervlakkig toegediende varkensmest en concentraat, maar was niet verwaarloosbaar. De ammoniakemissie uit oppervlakkig toegediende dikke fractie was hoger dan die van ingewerkte varkensmest. Inwerken van de dikke fractie leidt tot een vermindering van de ammoniakemissie.

6.3.2 Resultaten veldproeven

Huijsmans en Hol (2011) hebben in 2010 verschillende meetseries in het veld uitgevoerd, waarbij de ammoniakemissie na toediening van mineralenconcentraten is bepaald. Er zijn twee meetseries met graan, twee met aardappelen en twee met grasland uitgevoerd. Ammoniakemissie is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, zodat het niet mogelijk is om emissiefactoren af te leiden op basis van metingen gedurende één jaar. De uitkomsten geven een indicatie van de ammoniakemissie bij toepassing van mineralenconcentraten.

Bij graan zijn ammoniakmetingen uitgevoerd na toediening van mineralenconcentraten met een sleepslangendoseermachine en zodebemester. Met de sleepslangendoseermachine is het mineralenconcentraat toegediend in stroken op de grond tussen de planten. De gemiddelde ammoniakemissie bedroeg bij zodebemesting 3% van de met concentraat toegediende ammoniumstikstof en 12% bij toediening via de sleepslangendoseermachine.

De ammoniakemissie na toediening van mineralenconcentraten en runderdrijfmest aan grasland met een zodebemester bedroeg gemiddeld 8% van de toegediende ammonium bij concentraat en gemiddeld 26% van de toegediende ammoniumstikstof voor runderdrijfmest. Hierbij moet worden opgemerkt dat het ammoniumgehalte van concentraat (ongeveer 90% van de stikstof) veel hoger is dan die van runderdrijfmest (ongeveer 50% van de stikstof). Het verschil in totale ammoniakemissie was dus kleiner tussen concentraat en runderdrijfmest dan het verschil in emissiefactor op basis van de hoeveelheid toegediende ammonium.

Bij aardappelen zijn ammoniakmetingen uitgevoerd na toediening van mineralenconcentraat met een sleepslangendoseermachine vlak na het sluiten van het gewas. Met de sleepslangendoseermachine is het concentraat toegediend tussen de aardappelruggen. De ammoniakemissie bij toediening van concentraat met een sleepslangendoseermachine varieerde van 16 tot 20% van de toegediende ammonium. De ammoniakemissie was dus hoger dan in de proeven met granen. Een mogelijke verklaring van de relatief hoge ammoniakemissie bij aardappelen zouden de warme weersomstandigheden en de ophoping van concentraat tussen de ruggen kunnen zijn.

6.4 Lachgasemissie

In de incubatieproeven van Velthof en Hummelink (2011) is de lachgasemissie bepaald bij toepassing van mineralenconcentraten in vergelijking tot andere meststoffen (kunstmest, onbehandelde varkensmest en dikke fractie uit mestscheiding). Het inwerken van concentraat leidde, net zoals het inwerken van onbehandelde varkensmest, tot een hogere lachgasemissie dan oppervlakkige toediening. Ingewerkt concentraat resulteerde gemiddeld over alle proeven in een statistisch significant hogere lachgasemissie dan oppervlakkig toegediende KAS. Er was geen statistisch significant verschil in lachgasemissie tussen ingewerkt concentraat en oppervlakkig toegediende ureum en urean. Gemiddeld over alle proeven en toedieningstechnieken was de lachgasemissie bij toepassing van concentraat ongeveer een factor 1,5 hoger dan die bij onbehandelde varkensmest.

Er spelen een groot aantal factoren een rol bij lachgasemissie uit bodems, waardoor er geen eenduidige verklaring kan worden gegeven voor de relatief hoge lachgasemissie bij toediening van mineralenconcentraten. De verschillen in lachgasemissie zullen gerelateerd zijn aan de vorm van en gehalte aan stikstof, de pH, de aanwezigheid organische stof en eventuele andere factoren die van invloed zijn op de microbiële processen nitrificatie en denitrificatie.

Lachgas wordt gevormd tijdens nitrificatie en denitrificatie. Tijdens de processen waarbij lachgas wordt gevormd, worden ook andere gasvormige stikstofverbindingen gevormd, namelijk luchtstikstof (N_2) en stikstofdioxiden (NO_x). Hoge verliezen aan gasvormige stikstofverbindingen uit een meststof leiden tot een lage stikstofwerking.

6.5 Levens Cyclus Analyse (LCA)

De Vries et al. (2011) hebben een levenscyclusanalyse (Life Cycle Assessment (LCA)) uitgevoerd. De LCA-methodologie is een internationaal erkende methode om de milieubelasting van een product of activiteit van het begin tot en met het eind van de levenscyclus (van wieg tot en met graf of wieg tot en met wieg) in kaart te brengen. Het doel van het LCA-onderzoek was het beantwoorden van de onderzoeksvraag:

Wat is de verandering in de milieubelasting (broeikasgasemissie, ammoniakemissie, nitraatuitspoeling, fijnstofemissie en het fossiel energieverbruik) van de productie en het gebruik van de eindproducten uit de pilotbedrijven mineralenconcentraat in combinatie met drijfmest en kunstmest ten opzichte van het gebruik van drijfmest en kunstmest?

Om de verandering in milieubelasting te berekenen zijn vier scenario's opgesteld (tabel 10). De uitkomsten van deze scenario's zijn vergeleken met een referentie voor vleesvarkens- en rundveedrijfmest die de huidige praktijk weerspiegelen. In de mestverwerkingsscenario's wordt alleen de fractie mest die in de referentiesituatie buiten de regio wordt afgezet of geëxporteerd (het 'mestoverschot') verwerkt. In een gevoeligheidsanalyse is de invloed van een aantal parameters en onderliggende aannames op het eindresultaat getoetst. Hieronder viel het verwerken van alle drijfmest.

In de LCA zijn de effecten van productie en gebruik van mineralenconcentraten op de emissies van broeikasgassen (CO₂, N₂O en CH₄), ammoniak (NH₃) en fijn stof (PM₁₀), de uitspoeling van nitraat (NO₃) en het fossiel energieverbruik gekwantificeerd. Er is gekozen om de milieubelasting uit te drukken per ton onbehandelde drijfmest met een gelijke samenstelling voor alle referenties en scenario's. Dit is de functionele eenheid (FE) die wordt gebruikt om de verschillende scenario's te vergelijken met de referentiesituatie.

De systeemgrens van de mestketen in de studie begint bij de opslag van de onbehandelde mest en eindigt bij de toediening van de eindproducten. Alle emissies en het verbruik van fossiele energie in de keten worden meegenomen in de analyse. Er werd aangenomen dat de dierlijke productie niet wordt beïnvloed door de verwerking van mest en daarom niet binnen de systeemgrens van de LCA valt. Na opslag en eventueel transport van de geproduceerde drijfmest volgt de verwerking en/of vergisting van de mestdikke fractie eventueel in combinatie met het concentraat uit ultrafiltratie (tabel 10). Emissies en het verbruik van fossiele energie van vermeden elektriciteitsproductie uit de vergisting en van geproduceerde elektriciteit voor onder andere de verwerking vielen binnen de systeemgrens. Bij vergisting wordt elektriciteit geproduceerd die als netstroom wordt afgezet. Voor de verwerking van mest of digestaat is elektriciteit nodig. Na verwerking worden de eindproducten (mineralenconcentraat, dikke fractie, digestaat en concentraat uit ultrafiltratie) opgeslagen, gedistribueerd en toegediend. De distributie van de eindproducten vindt plaats na de opslag waarna de toediening van de producten volgt. De afzet en toediening van mineralenconcentraten, drijfmest en eindproducten is verdeeld over en vond plaats via vier afzetkanalen: i) toediening op grasland op eigen bedrijf (rundveedrijfmestscenario) of in de regio (vleesvarkensdrijfmestscenario's), ii) toediening op bouwland op eigen bedrijf of in de regio, iii) toediening op bouwland buiten de regio en iv) toediening op bouwland buiten Nederland. Dit betreffen conceptuele regio's die gedefinieerd zijn om de transportafstanden te bepalen. Verder is de verandering in de milieubelasting door een verandering in productie en toediening van kunstmest meegenomen in de analyse.

Binnen de in de LCA gekozen systeemgrenzen leidt het gebruik van mineralenconcentraat tot vervanging van kunstmest in de nabije omgeving van de mestverwerkingsinstallatie. In de omgeving van de mestverwerkingsinstallaties zijn daarom mogelijkheden voor landbouw zonder gebruik van kunstmest. In het in de LCA gekozen systeem neemt de export van mest naar de verder gelegen akkerbouwgebieden af. In deze gebieden neemt daardoor het gebruik van kunstmest toe. (tabel 11).

De milieubelasting in het vleesvarkensdrijfmestscenario zonder vergisting vertoonde geen of weinig verandering ten opzichte van de referentie (tabel 12). Bij vergisten (scenario's 2V en 3V) nemen de emissie van broeikasgassen en het fossiel energieverbruik af door de vermeden productie van fossiele elektriciteit. Vergisting van de dikke fractie (Sc2V) reduceerde de broeikasgasemissie met 12% en het fossiel energieverbruik met 22%. De vergisting van dikke fractie en concentraat uit ultrafiltratie (Sc3V) reduceerde deze met respectievelijk 15% en 34%. Bij vergisten van alle ruwe rundveedrijfmest en het verwerken van het overschot aan digestaat (Rundveemest Scenario 1) is de reductie hoog: 67% voor broeikasgasemissie en 107% voor fossiel energieverbruik.

De emissies van ammoniak en fijn stof en de nitraatuitspoeling veranderen door productie en gebruik van mineralenconcentraat uit vleesvarkensmest weinig (maximaal 3%) bij de drie scenario's. In het rundveedrijfmestscenario steeg de ammoniakemissie met 27%. Dit kwam hoofdzakelijk door de opslag en het gebruik van digestaat en in mindere mate door verwerking, opslag en toediening van eindproducten. Omdat ammoniak een precursor van fijnstof is, steeg fijnstof mee met de ammoniakemissie; de fijnstofemissie was 16% hoger ten opzichte van de referentie.

In de gevoeligheidsanalyse bleek dat het verwerken van alle vleesvarkensdrijfmest zonder vergisting de emissies naar het milieu verhoogde, behalve de nitraatuitspoeling. Hierdoor werd de milieubelasting van mestverwerking hoger vergeleken met de huidige praktijk. Met vergisting bleven de broeikasgasemissie en het fossiel energieverbruik lager dan in de referentie. Wanneer werd aangenomen dat de ammoniakemissie tijdens verwerking hoger was, steeg de ammoniak- en fijnstofemissie in de vleesvarkensdrijfmestscenario's tot boven de referentie. De ammoniakemissie werd 13 - 20% hoger ten opzichte van de referentie als alle varkensmest werd verwerkt en niet alleen de varkensmest die niet binnen de regio kan worden afgezet. Bij een hogere methaanemissie uit de mestopslag werd in het vleesvarkensdrijfmestscenario zonder vergisting de emissie van broeikasgassen hoger. Een verandering van elektriciteitsbron (gas of kolen) had geen invloed op de conclusies.

Tabel 10

Scenario's voor vleesvarkensdrijfmest en rundveedrijfmest in de LCA

Vleesvarkensdrijfmest

- *Referentie (RefV): onbehandelde mest wordt toegepast in combinatie met kunstmest volgens de huidige landbouwpraktijk.*
- *Scenario 1 (Sc1V): het centraal verwerken van het 'mestoverschot' op basis van gegevens van de installaties B t/m F, waarbij de mest wordt verwerkt tot de eindproducten mineralenconcentraat, dikke fractie en permeaat uit omgekeerde osmose.*
- *Scenario 2 (Sc2V): gelijk als Scenario 1, maar in dit scenario wordt ook het vergisten van de dikke fractie meegenomen.*
- *Scenario 3 (Sc3V): centraal verwerken van het 'mestoverschot' op basis van installatie A. In dit scenario wordt onbehandelde mest verwerkt en de dikke fractie samen met het concentraat uit ultra-filtratie (UF) vergist. Dit resulteert in de eindproducten mineralenconcentraat, digestaat (product dat overblijft na vergisting) en permeaat uit omgekeerde osmose. Het biogas wordt verbrand in een warmtekrachtkoppeling, waarmee elektriciteit wordt geproduceerd.*

Rundveedrijfmest

- *Referentie (RefR): onbehandelde rundveedrijfmest wordt toegevend in combinatie met kunstmest volgens de huidige landbouwpraktijk.*
 - *Scenario 1 (Sc1R): op eigen bedrijf vergisten van alle runderdrijfmest en het verwerken van het overschot aan digestaat tot mineralenconcentraat (op basis gegevens van installatie H). Het biogas wordt verbrand in een warmtekrachtkoppeling om elektriciteit te produceren. Uiteindelijk levert de installatie de volgende eindproducten op: mineralenconcentraat, digestaat dikke fractie, concentraat uit ultra-filtratie en permeaat uit omgekeerde osmose.*
-

Tabel 11

Berekend gebruik van stikstofkunstmest per ton drijfmest (FE) per afzetkanaal voor de referenties en de scenario's.

Scenario	Totaal (kg N/FE)	Afzetkanaal		
		Regio (kg N/FE)	Buiten regio (kg N/FE)	Buiten NL (kg N/FE)
Vleesvarkensdrijfmest				
Referentie (RefV)	4,9	3,2	1,6	0,12
Scenario 1 (Sc1V)	5,0	2,0	2,8	0,23
Scenario 2 (Sc2V)	4,9	2,0	2,7	0,23
Scenario 3 (Sc3V)	4,7	2,6	1,9	0,17
Rundveedrijfmest				
Referentie (RefR)	2,5	2,1	0,37	-
Scenario 1 (Sc1R)	2,6	2,0	0,59	-

Tabel 12

Totale milieubelasting per ton drijfmest (FE) voor de referenties en de scenario's.

Scenario	Broeikasgas- emissie	Ammoniak- emissie	Nitrat- uitspoeling	Fijnstof- emissie	Fossiel energieverbruik
	kg CO ₂ -eq/FE	kg/FE	kg/FE	g PM ₁₀ -eq/FE	kg olie-eq/FE
Vleesvarkensdrijfmest					
Referentie (RefV)	179	2,4	8,6	870	11,4
Scenario 1 (Sc1V)	175	2,5	8,5	896	11,3
Scenario 2 (Sc2V)	157	2,5	8,6	877	8,9
Scenario 3 (Sc3V)	152	2,4	8,6	854	7,5
Rundveedrijfmest					
Referentie (RefR)	141	0,75	2,1	284	4,6
Scenario 1 (Sc1R)	47	0,95	2,1	330	-0,3

6.6 Samenvatting

- Zware metalen en organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten vormen geen aandachtspunt bij verantwoord landbouwkundig gebruik van mineralenconcentraat.
- Zowel op bouwland als grasland leidt gebruik van mineralenconcentraten niet tot een verhoogde kans op nitraatuitspoeling ten opzichte van KAS.
- Ammoniakemissie
 - Het mineralenconcentraat is een meststof met een hoge kans op ammoniakemissie. Bij het niet of onvoldoende emissiearm toedienen is de ammoniakemissie hoog.
 - De ammoniakemissie bij toediening van concentraat is vergelijkbaar met die van varkensmest bij dezelfde gift aan totaal stikstof.
 - Bij bouwlandinjectie (een techniek die resulteert in een sterke reductie in ammoniakemissie) zal de ammoniakemissie van mineralenconcentraten vergelijkbaar zijn met die van oppervlakkig toegediende KAS. Bij toedieningstechnieken die minder sterk ammoniakemissie reduceren zal de ammoniakemissie bij mineralenconcentraten hoger zijn dan bij KAS.

- De ammoniakemissie van oppervlakkig toegediend ureum is hoger dan emissiearm toegediend mineralenconcentraat.
 - De ammoniakemissie bij zodebemesting bij graan was in 2010 gemiddeld 3% van de met concentraat toegediende ammoniumstikstof; de emissies was 12% bij toediening via de sleepslangendoseermachine.
 - De ammoniakemissie bij zodebemesting bij grasland was in 2010 gemiddeld 8% van de toegediende ammonium bij concentraat en 26% bij runderdrijfmest.
 - De ammoniakemissie bij zodebemesting bij aardappelen was in 2010 16-20% van de toegediende ammonium bij toediening met een sleepslangendoseermachine.
 - Ammoniakemissie is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, zodat het niet mogelijk is om emissiefactoren af te leiden op basis van metingen gedurende één jaar. De uitkomsten geven een indicatie van de ammoniakemissie bij toepassing van mineralenconcentraten.
- Lachgasemissie
 - Inwerken van mineralenconcentraat leidde, net zoals het inwerken van onbehandelde varkensmest, tot een hogere lachgasemissie dan oppervlakkige toediening.
 - Ingewerkt concentraat resulteerde gemiddeld over alle proeven in een statistisch significant hogere lachgasemissie dan oppervlakkig toegediende KAS.
 - Gemiddeld over alle incubatieproeven en toedieningstechnieken was de lachgasemissie bij toepassing van concentraat ongeveer een factor 1,5 hoger dan die bij onbehandelde varkensmest.
 - Tijdens de processen waarbij lachgas wordt gevormd (nitrificatie en denitrificatie), worden ook andere gasvormige stikstofverbindingen gevormd (N_2 en NO_x). Hoge verliezen aan gasvormige stikstofverbindingen uit een meststof leiden tot een lage stikstofwerking.
- Uit de LCA volgt:
 - Binnen de in de LCA gekozen systeemgrenzen leidt het gebruik van mineralenconcentraat tot vervanging van kunstmest in de nabije omgeving van de mestverwerkingsinstallatie. In het in de LCA gekozen systeem neemt de export van mest naar de verder gelegen akkerbouwgebieden af. In deze gebieden neemt daardoor het gebruik van kunstmest toe. De milieubelasting veranderde niet of nauwelijks door productie en gebruik van mineralenconcentraat uit vleesvarkensdrijfmest zonder vergisting.
 - De emissies van ammoniak en fijn stof en de nitraatuitspoeling veranderen door productie en gebruik van mineralenconcentraat uit vleesvarkensmest weinig (maximaal 3%), wanneer alleen het 'overschot' aan mest wordt verwerkt.
 - Bij vergisten nemen de broeikasgassen en het fossiel energieverbruik (sterk) af.
 - De ammoniakemissie wordt 13 - 20% hoger ten opzichte van de referentie indien alle varkensmest wordt verwerkt en niet alleen de varkensmest die niet binnen de regio kan worden afgezet. Ook de emissies van fijnstof en broeikasgassen en het energieverbruik nemen dan toe.

7 Onderzoek in 2011

Eind 2010 is de pilot nog met één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 worden enkele studies uitgevoerd. Deels gaat het om een vervolg van lopend onderzoek en deels om onderzoek om een verklaring te vinden voor de soms lage stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland. Het volgende onderzoek wordt uitgevoerd in 2011:

- Monitoring op de installaties (vervolg van de monitoring die is beschreven in hoofdstuk 3). Mineralenconcentraten bevatten organische stof. In welke vorm is nog niet goed bekend. In 2011 worden ook de gehalten aan vetzuren in het concentraat gemeten.
- Veldproef om de stikstofwerking van mineralenconcentraat op grasland te bepalen (vervolg proef van Van Middelkoop en Holshof, 2011).
- Veldproef om de stikstofwerking van mineralenconcentraat op snijmaïs te bepalen (vervolg proef Schröder et al., 2011).
- Er wordt een incubatieproef uitgevoerd om de hypothese te toetsen dat door de aanwezigheid van (afbreekbare) organische stof en ammoniumstikstof in een mineralenconcentraat - tijdelijk - de immobilisatie van stikstof in de bodem wordt verhoogd. Een deel van de minerale stikstof van de bodem of van het mineralenconcentraat wordt daardoor (tijdelijk) onbeschikbaar voor het gewas. Als dit vastgesteld wordt, dan ligt hierin een oorzaak voor de lagere werkingscoëfficiënten van stikstof van een mineralenconcentraat.
- Er wordt een incubatieproef uitgevoerd om de hypothese te toetsen dat door de aanwezigheid van organische stof in een mineralenconcentraat - tijdelijk - de denitrificatie van nitraat dat al aanwezig is in de bodem bij het uitrusten van een mineralenconcentraat wordt verhoogd. De voorraad minerale stikstof in de bodem wordt daardoor verlaagd. Als dit vastgesteld wordt, dan ligt hierin een oorzaak voor de lagere werkingscoëfficiënt van stikstof van een mineralenconcentraat.
- Er wordt een potproef uitgevoerd om vast te stellen of de ammoniumvormen van een mineralenconcentraat de effectiviteit als stikstofmeststof bepalen en daarmee de hoogte van de werkingscoëfficiënt. Op basis van de huidige stand van zaken kan worden beredeneerd dat de stikstofwerking van een mineralenconcentraat de resultante is van de werking van ammoniumbicarbonaat, ammoniumchloride en ammoniumsulfaat en mogelijke bijdragen uit ammoniumhoudende vetzuren en mineralisatie van organische stikstofverbindingen. Het is uit de literatuur en de proeven op grasland in 2010 (Ehlert et al., 2011; Van Middelkoop en Holshof, 2011) bekend dat de stikstofwerking van ammoniummeststoffen vaak lager is dan die van KAS. Ook lijkt de vorm (vloeibaar versus gekorrelt) een rol te spelen bij de stikstofwerking. In de potproef wordt de stikstofopname van gras en een akkerbouwgewas bepaald na toediening van KAS, ammoniumsulfaat, ammoniumchloride, ammoniumnitraat, ureum, twee mineralenconcentraten die sterk verschillen in samenstelling en vleesvarkensdrijfmest getoetst. Alle meststoffen worden in vloeibare vorm toegepast; KAS wordt als korrels toegediend.
- De Commissie van Deskundigen Meststoffenwet (CDM) voert een verkenning uit van de effecten van grootschalige toepassing van het gebruik van mineralenconcentraten in Nederland op stikstof- en fosfaatoverschotten, nitraatuitspoeling, ammoniakemissie en broeikasgasemissies. Hierbij wordt ook nagegaan of grootschalige toepassing van mineralenconcentraten kan leiden tot groei van de veestapel, omdat een deel van mest als kunstmest wordt gerekend.

8 Discussie

8.1 Mineralenconcentraat als kunstmest: wettelijk kader

De Europese Nitraatrichtlijn (Richtlijn 91/676/EEG) heeft als doel het verminderen van de uitspoeling van nitraat uit de landbouw naar grond- en oppervlaktewater. In de Nitraatrichtlijn staan maatregelen genoemd die lidstaten moeten nemen in kwetsbare gebieden om de nitraatuitspoeling te beperken. Nederland is volledig aangewezen als kwetsbaar gebied. In de Nitraatrichtlijn staat dat de maximale hoeveelheid dierlijke mest die mag worden toegediend 170 kg N per ha is. Landen mogen meer mest toedienen indien is aangetoond dat dit niet leidt tot een verhoogde kans op nitraatuitspoeling (derogatie). Nederland heeft een derogatie van 250 kg N per ha voor graasdierenmest op bedrijven met meer dan 70% grasland. Verder staat in de Nitraatrichtlijn dat de stikstofbemesting moet zijn afgestemd op de stikstofbehoefte van gewassen, waarbij rekening moet worden gehouden met de stikstoftoevoer uit de bodem, dierlijke mest, kunstmest en andere meststoffen. Nederland heeft deze maatregel geïmplementeerd door middel van een gebruiksnorm voor totaal stikstof (uitgedrukt in werkzame stikstof). Daarnaast is er een stelsel van fosfaatgebruiksnormen. De drie typen gebruiksnormen maken deel uit van het Nederlandse actieprogramma in het kader van de Nitraatrichtlijn.

De pilot mineralenconcentraten is opgezet om te onderzoeken of mineralenconcentraten als kunstmest kunnen worden toegepast. Dit betekent dat mineralenconcentraat dan bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest maar binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof kan worden toegepast. 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.

In het kader van het onderzoek in de pilot zijn de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en gebruik van het mineralenconcentraat ter vervanging van kunstmest onderzocht. Het onderzoek is met instemming van de Europese Commissie uitgevoerd. De deelnemers aan de pilot konden het mineralenconcentraat als kunstmest gebruiken en boven de norm dierlijke mest toedienen (maar binnen de norm van totaal stikstof). 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.

In artikel 2 van de Nitraatrichtlijn staan de volgende definities voor meststoffen:

- e) meststof: elke één of meer stikstofverbindingen bevattende stof die op het land wordt gebruikt ter bevordering van de gewasgroei, met inbegrip van dierlijke mest, afval van visteeltbedrijven en zuiveringslib;*
- f) kunstmest: elke met een industrieel proces vervaardigde meststof;*
- g) dierlijke mest: excrementen van vee of een mengsel van strooisel en excrementen van vee, alsook producten daarvan.*

Een mineralenconcentraat wordt via hoog technologische mestverwerkingstechnieken, met omgekeerde osmose als laatste verwerkingsstap, geproduceerd en kan worden gezien als een met een industrieel proces vervaardigde meststof. Een mineralenconcentraat zou dan volgens de definitie uit de Nitraatrichtlijn 'kunstmest' zijn. Een mineralenconcentraat is echter geproduceerd uit producten uit mest en is daardoor ook 'dierlijke

mest' volgens de Nitraatrichtlijn. De definities van meststoffen in de Nitraatrichtlijn geven dus geen criterium op basis waarvan getoetst kan worden of een mineralenconcentraat als kunstmest kan worden beschouwd.

Er is ook geen andere EU-regelgeving die een definitie van kunstmest geeft. De EU Verordening 2003/2003 is van toepassing op producten die als meststoffen met de aanduiding 'EG-meststof' in de handel worden gebracht. In deze Verordening worden voor allerlei typen meststoffen eisen gesteld aan de samenstelling. Er wordt hierbij geen definitie van kunstmest gegeven. Het begrip dat in deze Verordening wordt gehanteerd is anorganische meststof:

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

In de Verordening 2003/2003 is een lijst met toegelaten meststoffen opgenomen met per meststof onder andere de bereidingswijze en de minimale gehalten aan nutriënten. Ook staan daarin de toleranties en de bemonsterings- en analysemethoden voor de controle op de meststoffen.

Een mineralenconcentraat is een NK-meststof met een laag gehalte aan fosfor (hoofdstukken 3 en 4). In de Verordening 2003/2003 worden aan NP-, NK-, PK- en NPK-meststoffen typeaanduidingen met omschrijvingen gegeven en samenstellingseisen opgelegd. Voor alle oplossingen met N, P en/of K geldt dat er geen organische nutriënten van dierlijke of plantaardige oorsprong aanwezig mogen zijn⁶. Een mineralenconcentraat bevat organische nutriënten van dierlijke oorsprong en voldoet daardoor niet aan de definities gesteld aan NK-meststoffen in de Verordening 2003/2003.

Het mineralenconcentraat kan dus niet beantwoorden aan de voorwaarden die gesteld worden aan EG-meststoffen conform EU Verordening 2003/2003, omdat:

- de gehalten aan stikstof, fosfor en kalium lager zijn dan de minimum eis uit de EU verordening (zie tabel 13) en
- mineralenconcentraten organische nutriënten van dierlijke oorsprong bevatten.

Het is mogelijk om nieuwe producten of nieuwe productgroepen toe te voegen aan de Verordening 2003/2003. Het toelaten van nieuwe producten wordt bepaald door de Europese Commissie en de EU-lidstaten. Op termijn zouden mineralenconcentraten en andere producten uit mestverwerking dus kunnen worden opgenomen in de Verordening 2003/2003, mits voldoende ondersteund door de EU-lidstaten en Europese Commissie. Er zullen dan voor mineralenconcentraten eisen gesteld worden aan gehalten aan nutriënten en aan de spreiding in deze gehalten, gerelateerd aan de minimeis voor waardegevendende bestanddelen (onderschrijding van een eis wordt niet toegestaan, op een gegarandeerd gehalte worden een bepaalde afwijking toegestaan). De spreiding in samenstelling van mineralenconcentraten is groot als alle meetresultaten worden beschouwd (tabel 5 uit hoofdstuk 4). Tabel 3 uit hoofdstuk 3 laat zien dat een deel van de mestverwerkingsbedrijven in staat is om

⁶ Definities NK-meststof in de EU-Verordening 2003/2003:

NK-meststof: *Langs chemische weg of door menging verkregen product dat geen organische nutriënten van dierlijke of plantaardige oorsprong bevat.*

Oplossing van NK-meststoffen is: Langs chemische weg en door oplossing in water verkregen product, stabiel bij atmosferische druk; er mogen geen organische nutriënten van plantaardige of dierlijke oorsprong worden toegevoegd.

mineralenconcentraat met een in de tijd stabiele samenstelling te produceren. Hierbij moet worden opgemerkt dat verschillende bedrijven aanpassingen en innovaties hebben doorgevoerd tijdens de pilot, waardoor de samenstelling is veranderd gedurende de pilot (resultierend in een relatief hoge spreiding). De variatie in samenstelling van mineralenconcentraten is waarschijnlijk ook bij deze installaties lager bij een constant systeem van mestverwerking. De resultaten laten zien dat het mogelijk is om mineralenconcentraten met een constante samenstelling te produceren.

Het eventueel opnemen van mineralenconcentraten als EG-meststof in Verordening 2003/2003 betekent nog niet automatisch dat de meststof in de Nitraatrichtlijn erkend wordt als kunstmest, gezien de definities voor meststoffen in artikel 2 van deze richtlijn.

Tabel 13

Samenstelling van mineralenconcentraten (alle monsters van alle installaties met verwerking van varkensdrijfmest in 2009 en 2010) gespiegeld aan de eisen voor waardegevende bestanddelen volgens EG Verordening 2003/2003 in procent¹.

Parameter	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Minimum eis Verordening 2003/2003	
					Enkelvoudig N	Samengesteld NK, NP, PK of NPK ²
N	0,70	0,69	0,31	1,10	15	3
P ₂ O ₅	0,04	0,03	0,00	0,14		5
K ₂ O	0,88	0,90	0,50	1,18		5
Som N+K	1,6					18
Som N+P	0,7					18
Som N+P+K	1,6					20

¹ Procent in de waarde als zodanig.

² Eisen voor minimumgehalten per waardegevend bestanddeel bij samengestelde meststoffen plus minimum eis bij twee of drie waardegevende bestanddelen.

8.2 Landbouwkundige waarde mineralenconcentraten

8.2.1 Samenstelling

Het mineralenconcentraat is een vloeibare stikstof-kalium meststof, met een laag gehalte aan fosfaat. Het gehalte aan stikstof in mineralenconcentraten uit varkensdrijfmest bedraagt gemiddeld 6,99 g N per kg, waarvan gemiddeld 90% als ammoniumstikstof (tabel 5). Het gemiddelde gehalte aan kalium bedraagt 7,33 g K per kg en het fosforgehalte 0,18 g P per kg (tabel 5). De samenstelling varieert tussen de installaties (tabel 3). De gemiddelde pH voor mineralenconcentraat uit varkensmest was 7,95. In één installatie werd mineralenconcentraat geproduceerd uit rundermest. De gehalten van dit concentraat waren hoger dan die uit varkensmest: 11 g N per kg, waarvan gemiddeld 95% als ammoniumstikstof, 15,7 g K per kg en 0,27 g P per kg. Hierbij moet worden opgemerkt dat installatie H ook co-vergistingmaterialen gebruikt en dat de osmotische druk bij omgekeerde osmose hoger was bij installatie H dan bij de andere installaties. De verschillen in samenstelling tussen installatie H en de overige installaties zijn dus niet alleen gerelateerd aan het type mest.

De mestverwerkingsinstallaties gebruiken hoog technologische scheidingstechnieken om de drijfmest in een dunne en dikke fractie te scheiden, zodat een zo schoon mogelijke vloeistof in de omgekeerde osmose wordt geleid (Hoeksma et al., 2011). Meer dan 80% van de fosfor uit de ingaande drijfmest komt hierdoor terecht in de dikke fractie. De fosfaatrijke dikke fractie kan worden afgezet in de akkerbouw of kan worden verwerkt en

waarna de fosfaat kan worden teruggewonnen. In sommige mineralenconcentraten kunnen nog steeds niet verwaarloosbare hoeveelheden fosfaat aanwezig zijn. Dit kan een nadeel zijn bij toepassing van mineralenconcentraten als stikstof- en/of kaliummeststof, aangezien de fosfaatgebruiksnorm de komende jaren wordt aangescherpt.

De productie van mineralenconcentraten en dikke fracties met hoogtechnologische scheidingstechnieken maken het mogelijk om de stikstof, kalium en fosfaat uit dierlijke mest beter te benutten.

8.2.2 Stikstofwerking mineralenconcentraten

De stikstofwerkingscoëfficiënt van organische meststoffen geeft aan welk percentage van een bepaalde gift aan stikstof even werkzaam is als eenzelfde gift in de vorm van kunstmest. In Nederland wordt de werkingscoëfficiënt meestal uitgedrukt ten opzichte van de meest gebruikte kunstmest kalkammonsalpeter (KAS). Een stikstofwerkingscoëfficiënt is een relatieve maat (werking ten opzichte van kunstmest) en is geen maat over de hoeveelheid stikstof die is opgenomen. Ook bij bemesting met kunstmest gaat stikstof verloren. Op basis van de samenstelling werd geschat dat de werkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat ten opzichte van KAS zal variëren van 76-90% op bouwland en op grasland van 67-81% (Paragraaf 4.4.1). De werkingscoëfficiënt is sterk afhankelijk van de hoogte van de ammoniakemissie en daardoor van de gebruikte toedieningstechniek en weersomstandigheden.

Uit de proeven die in het kader van de pilot zijn uitgevoerd volgt dat de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat ten opzichte van KAS bij basisbemesting van aardappelen gemiddeld 80% op kleigrond en 92% op zandgrond bedraagt. In het onderzoek met snijmaïs van Schröder et al. (2011) was de stikstofwerking van mineralenconcentraat 77% en deze was hoger dan die van varkensdrijfmest (65%) en dunne rundermest (60%). In het kader van het additionele onderzoek was de stikstofwerking van mineralenconcentraat in 14 van de 21 proeven vergelijkbaar met die van KAS (werkingscoëfficiënt hoger dan 95%). In zeven proeven was de werking slechter (9 - 70%). De lage stikstofwerking was in een deel van de proeven gerelateerd aan de toedieningsmethodiek en tijdstip van bemesting. De stikstofwerkingscoëfficiënt in het additionele onderzoek (Van Geel et al., 2011b) kon minder nauwkeurig worden vastgesteld dan die in het onderzoek uit de pilot (Van Geel et al., 2011a) en die van Schröder et al. (2011), omdat er slechts één gift aan mineralenconcentraten werd getoetst en niet een stikstoftrap zoals door Van Geel et al. (2011a) en Schröder et al. (2011). De hoogste stikstofwerking van mineralenconcentraten werd meestal verkregen bij bouwlandinjectie als basisbemesting.

De stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat toegediend aan aardappelen was in het proefveld in Lelystad gelijk aan die van vloeibare ammoniumnitraat toegediend met dezelfde apparatuur (Van Geel et al., 2011a). De stikstof in vloeibaar ammoniumnitraat bestaat net zoals die in KAS uit 50% ammonium en 50% nitraat. De stikstof wordt met KAS in korrels verdeeld over bodemoppervlak en daardoor ondergewerkt tijdens de opbouw van de aardappelruggen. De stikstof in mineralenconcentraat en vloeibare ammoniumnitraat wordt in rijen geïnjecteerd (onderlinge afstand 17 cm) op een diepte van 8 - 10 cm en daarna ondergewerkt tijdens de opbouw van ruggen. De verdeling van stikstof is dus anders bij toediening van KAS en bij toediening van vloeibare meststoffen en dit zou een factor kunnen zijn die een rol heeft gespeeld bij de verschillen in stikstofwerking tussen de vloeibare meststoffen en KAS. Daarnaast zullen de hoogte van ammoniakemissie en het aandeel organische stikstof de werking van mineralenconcentraat bepalen.

De stikstofwerking van mineralenconcentraten in de vier graslandproeven uit de pilot was duidelijk lager dan die van bouwland. De stikstofwerkingscoëfficiënt voor de concentraten ten opzichte van KAS was gemiddeld 58% (er was geen verschil tussen zand- en kleigrond). In één proef in het kader van het additionele onderzoek was de stikstofwerking van mineralenconcentraat gelijkwaardig aan KAS. Op grasland was de stikstofwerking

van vloeibaar ammoniumnitraat ook lager dan die van KAS. De berekende stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat ten opzichte van vloeibaar ammoniumnitraat varieerde van 76 tot 115% en was gemiddeld 96%. De concentraten werkten op grasland vrijwel net zo goed als de vloeibare ammoniumnitraat, toegediend met dezelfde toedieningsmachine. De verdeling van stikstof over het grasland heeft dus blijkbaar een groot effect op graslandopbrengst. Ehlert en Hoeksma (2011) geven in hun literatuurstudie aan dat de injectie van meststofoplossingen vaak tot een lagere stikstofwerking in vergelijking tot breedwerpig toediening van vaste meststoffen leidt. Dit effect zal deels worden veroorzaakt door een slechte verdeling van stikstof in de bodem. Daarnaast kan de lokaal hoge zoutconcentratie in de sleuf met vloeibare meststof mogelijk leiden tot remming van grasgroei, omdat na injectie de graswortels rechtstreeks in contact komen met het geïnjecteerde concentraat. Uit de enquête naar gebruikerservaringen met mineralenconcentraat (paragraaf 4.4) blijkt inderdaad dat sommige gebruikers verbrandingsverschijnselen van gras hebben waargenomen. In de veldproeven met gras zijn geen verbrandingsverschijnsel waargenomen. Verder zullen de hoogte van ammoniak-emissie en het aandeel organische stikstof de werking van mineralenconcentraat op grasland bepalen.

Mogelijk speelt de vorm van de ammoniumverbindingen in het concentraat ook een rol bij de stikstofwerking. In het graslandonderzoek van Van Middelkoop en Holshof (2011) was de stikstofwerkingscoëfficiënt van ammoniumchloride 49% ten opzichte van KAS in 2010 en die van mineralenconcentraat 63%. De lage werking van ammoniumchloride is mogelijk het gevolg van een hoge gift aan chloor. Mineralenconcentraten bestaan waarschijnlijk uit een mengsel van ammoniumbicarbonaat, ammoniumchloride en ammoniumsulfaat en ammoniumhoudende vetzuren. In 2011 wordt in een potproef met gras en een akkerbouwgewas de werking van verschillende typen stikstof in vloeibare vorm vergeleken met KAS als korrels (hoofdstuk 7).

Geconcludeerd wordt dat de stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS op bouwland gemiddeld ongeveer 80-90% bedraagt (bij basisbemesting via bouwlandinjectie) en op grasland 58%. De variatie in stikstofwerking is echter groot en in sommige proeven is de werking van mineralenconcentraten vergelijkbaar met die van KAS. In de pilot zijn dezelfde proeven uitgevoerd op zand- en kleigrond. Op bouwland was de stikstofwerkingscoëfficiënt op zandgrond (92%) hoger dan op kleigrond (80%), maar op grasland was er geen statistisch verschil tussen grondsoorten (gemiddeld 58%). Er is geen duidelijke verklaring waarom grondsoort wel een effect had bij bouwland en niet bij grasland. De stikstofwerkingscoëfficiënt van mineralenconcentraat is gelijk aan die van vloeibare ammoniumnitraat op grasland en op bouwland op kleigrond. In 2011 wordt nader onderzoek uitgevoerd naar de stikstofwerking van mineralenconcentraten in veld- en potproeven. Inzichten uit dit onderzoek kunnen mogelijk gebruikt worden om de toepassing van mineralenconcentraten te optimaliseren en de stikstofwerking te verhogen.

8.2.3 Toepassing van mineralenconcentraten en dikke fractie in de praktijk

Uit de enquête van de Hoop et al. (2011) naar de ervaringen van gebruikers van mineralenconcentraten in de pilot blijkt dat mineralenconcentraat meestal aan grasland werd toegediend als een mengsel van mineralenconcentraat en drijfmest. De belangrijkste reden om mineralenconcentraat gemengd toe te dienen, is dat het dan gemakkelijker te doseren is met bestaande toedieningstechnieken. Op snijmaïs werd mineralenconcentraat in ruim de helft van de gevallen gemengd met runderdrijfmest en op aardappelen in ongeveer 20% van de gevallen. Er is geen onderzoek in het kader van de pilot uitgevoerd naar de landbouwkundige werking en de milieukundige effecten van gebruik van mengsels van mineralenconcentraat en drijfmest. Het additionele onderzoek van Van Geel et al. (2011b) laat zien dat de werking van een mengsel van drijfmest en concentraat lager was dan van concentraat alleen. De werking van een mengsel van concentraat en drijfmest zal mede worden bepaald door de samenstelling en de wijze van toediening van de drijfmest.

Als het mineralenconcentraat als kunstmest wordt erkend, dan valt het niet meer binnen de gebruiksnorm voor dierlijke mest, maar wel binnen de gebruiksnorm voor totaal stikstof. Deze gebruiksnorm is gebaseerd op werkzame stikstof. Kunstmest heeft een werking van 100% en de wettelijke werkingscoëfficiënt van varkensdrijmest is 60-70%, van de dunne fractie 80% en van de vaste varkensmest 55%. Er wordt geen onderscheid gemaakt in type kunstmest, dus ook de stikstof in kunstmesten met een lagere landbouwkundige stikstofwerking dan KAS (zoals ureum of vloeibare kunstmesten) worden voor 100% meegeteld in de gebruiksnorm. De landbouwkundige werking van mineralenconcentraat ten opzichte van KAS is lager dan 100%. Bij een bepaalde stikstofgebruiksnorm zal met mineralenconcentraat dus minder werkzame stikstof worden toegediend dan met KAS of dierlijke mest, omdat de landbouwkundige stikstofwerking lager is dan de wettelijke stikstofwerking.

Het mineralenconcentraat bevat ook kalium en de aanvoer van kalium leidt tot besparing van de aanvoer van kaliumkunstmest. Dit geldt vooral voor kaliumbehoefte gewassen zoals aardappelen en snijmaïs en bepaalde akkerbouwgewassen. Grasland vraagt ook veel kalium, maar de kaliumbehoefte wordt voor een deel gedekt door de rundermest die op het eigen bedrijf wordt geproduceerd. Aanvoer van kalium met mineralenconcentraten naar een melkveebedrijf waar de bodem een goede kaliumtoestand heeft (en daardoor een lage kaliumbehoefte), kan leiden tot een overschot aan kalium.

De variatie in stikstofwerking van mineralenconcentraten was groot in de proeven en in een deel van de proeven was de werking vergelijkbaar met die van KAS. De soms hoge stikstofwerking van mineralenconcentraten geeft aan dat er mogelijk perspectieven zijn om de stikstofwerking van mineralenconcentraten te verhogen. Verder zijn er mogelijk op het gebied van toedieningstechnieken verbeteringen mogelijk, waarbij benadrukt wordt dat de toediening emissiearm moet gebeuren.

Bij de productie van mineralenconcentraten ontstaat een dikke fractie. Deze kan als bron van fosfaat en organische stof worden toegepast in de akkerbouw. Het toedienen van ijzerhoudende flocculant en/of coagulant aan mest verlaagt de fosfaatwerking van de dikke fractie (Schröder et al., 2010). Tijdens de productie van mineralenconcentraten komt 31 - 52% van de ingaande stikstof in de dikke fractie terecht (tabel 4). Van deze stikstof is 45% als ammonium aanwezig. De stikstofwerkingscoëfficiënt van de dikke fractie ten opzichte van KAS was 32 - 55% in de vier proeven met aardappelen (Van Geel et al., 2011a) en 64% in de proef met snijmaïs (Schröder et al., 2011). De wettelijke stikstofwerking van vaste mest is 55%. De kans op ammoniakemissie van de dikke fractie is weliswaar lager dan die van onbehandelde drijfmest, maar is niet verwaarloosbaar (Velthof en Hummelink, 2011). Het direct inwerken van de dikke fractie beperkt de ammoniakemissie en kan de stikstofwerking verhogen. Het composteren en drogen van de dikke fractie kan de samenstelling van de dikke fractie mest veranderen en daardoor de landbouwkundige werking en milieukundige effecten. Naast afzet in de akkerbouwgebieden in Nederland wordt de dikke fractie geëxporteerd (o.a. naar akkerbouwgebieden in Noord-Frankrijk).

8.2.4 Technische ontwikkelingen in mestverwerking

Op de meeste installaties verloopt het verwerkingsproces redelijk optimaal en is met de huidige technieken geen substantiële verhoging van de nutriëntenconcentraties van het mineralenconcentraat te realiseren (Hoeksma et al., 2011). Voor een kwaliteitsslag zijn nieuwe technieken nodig, al dan niet geschakeld aan het systeem van omgekeerde osmose. Te denken valt aan toepassing van een ander type membraan waarmee hogere stikstof- en kaliumconcentraties in het mineralenconcentraat kunnen worden bereikt. Hogere concentraties kunnen ook worden bereikt door indampen van het concentraat, bijvoorbeeld door gebruik te maken van warmte uit stallucht. Met het oog op vergroting van de afzetmogelijkheden kan ook worden gedacht aan splitsen van het concentraat in een stikstof- en een kaliummeststof, bijvoorbeeld door middel van strippen.

De haalbaarheid van deze technieken (technisch, economisch, landbouw- en milieukundig) vraagt nader onderzoek.

Door het verder concentreren van mineralenconcentraten kunnen de transportkosten van mineralenconcentraten worden verminderd (er hoeft dan minder water te worden vervoerd). Dit biedt ook perspectieven om mineralenconcentraten te transporteren naar akkerbouwgebieden die relatief ver weg liggen. Dit zijn de gebieden waar vooral vraag is naar kalium.

8.3 Economische haalbaarheid

De economische analyse (hoofdstuk 7) laat zien dat bij de huidige uitgangspunten de meeste installaties rendabel zijn (waarbij opgemerkt dat twee installaties alleen rendabel zijn indien de mest wordt vergist). Vanaf mestaanvoerprizen van ongeveer € 15 per ton of hoger zijn de installaties rendabel. De economische haalbaarheid van de installaties is sterk afhankelijk van de mestprijzen. Het gaat hierbij zowel om de aanvoerprizen van drijfmest als de afvoerprizen van de eindproducten uit de mestverwerking, waaronder het mineralenconcentraat. Ook de prijzen van concurrerende mestproducten en meststoffen zijn van belang bij de afzet van mineralenconcentraten en de rentabiliteit van de installaties.

De prijzen van mest en mestproducten zijn sterk afhankelijk van ontwikkelingen op de mestmarkt, waarbij de hoogte van de gebruiksnormen, de totale mestproductie in Nederland en ontwikkelingen in de verlaging van stikstof en fosfaatexcretie (door rantsoenaanpassingen) en mestverwerking en -export van groot belang zijn. Een andere factor is de kunstmestprijs. De kunstmestprijzen voor stikstof, fosfaat en kalium hebben de laatste jaren sterk gefluctueerd, waarbij de energieprijzen en (dreigende) schaarste van grondstoffen een rol hebben gespeeld. De waarde van de stikstof en kalium in het concentraat op basis van kunstmestprijzen is veel hoger dan wat gemiddeld door de gebruikers werd betaald (De Hoop et al., 2011). De lagere stikstofwerking van het concentraat ten opzichte van KAS, de hogere kosten voor het uitrijden en de relatie die nog wordt ervaren met de prijzen van drijfmest, maken dat de meeste afnemers (nog) niet bereid zijn de van kunstmest afgeleide prijs voor de geleverde nutriënten te betalen. Als het mineralenconcentraat als kunstmest wordt erkend en de landbouwkundige werking vergelijkbaar is met kunstmest, dan zal de bereidheid tot het betalen van hogere prijzen voor mineralenconcentraat toenemen. Dit kan leiden tot een hogere rentabiliteit van de mestverwerkingsinstallaties.

8.4 Effecten op milieu

8.4.1 Lot van stikstof uit mineralenconcentraten

De mineralenconcentraten zijn een vloeibare stikstofmeststof en hebben een lagere stikstofwerking dan KAS, dat als korrels wordt toegediend. Ook vloeibare ammoniumnitraat heeft een lagere stikstofwerking dan KAS op grasland en op bouwland op kleigrond. In paragraaf 8.2.2 is ingegaan op de mogelijke oorzaken van de lagere stikstofwerking. Er wordt dus minder stikstof door het gewas uit mineralenconcentraten en vloeibare ammoniumnitraat opgenomen dan uit KAS. Er kunnen verschillende processen waarbij stikstof verloren of vastgelegd wordt, optreden:

- de stikstof gaat verloren via ammoniakemissie;
- de stikstof gaat verloren via denitrificatie en/of nitrificatie als luchtstikstof (N_2), lachgas (N_2O) en/of stikstofoxides (NO_x);
- de stikstof spoelt uit naar grond- en/of oppervlaktewater;
- de stikstof blijft in de bodem aanwezig in organische of anorganische vorm (inclusief immobilisatie).

Ammoniakemissie

Het mineralenconcentraat is een ammoniumhoudende meststof met een hoge pH. Het is daardoor een meststof met een kans op ammoniakemissie, zoals de incubatieproeven van Velthof en Hummelink (2011) en de veldproeven van Huijsmans en Hol (2011) laten zien. Het emissiearm toedienen van mineralenconcentraat zal leiden tot een sterke reductie in ammoniakemissie. De weersomstandigheden hebben ook een groot effect; de emissie is het hoogst bij droog, zonnig weer met veel wind. Het onderzoek van Huijsmans en Hol (2011) gedurende één jaar laat zien dat de ammoniakemissie bij zodebemesting 3% was bij graan en 8% bij grasland. Er zijn niet voldoende emissiemetingen beschikbaar om een emissiefactor af te leiden, maar verwacht wordt dat bij emissiearme toediening van mineralenconcentraten er minder dan 10% van de stikstof verloren gaat. In de incubatieproeven werden geen duidelijke effecten van grondsoort op ammoniakemissie gevonden (Velthof en Hummelink, 2011). Een deel van de lagere stikstofwerking van mineralenconcentraten ten opzichte van KAS wordt dus verklaard door ammoniakemissie.

Denitrificatie en nitrificatie na toediening

Nitrificatie is het proces waarbij ammonium wordt omgezet in nitraat. Nitrificatie treedt op onder zuurstofrijke omstandigheden, maar onder relatief natte omstandigheden kunnen gasvormige stikstofverbindingen, zoals lachgas worden gevormd. Denitrificatie is het proces waarbij nitraat wordt afgebroken tot de gasvormige stikstofverbindingen. Denitrificatie treedt op onder zuurstofloze omstandigheden. Denitrificerende bacteriën hebben een energiebron nodig; dit is in landbouwgronden gemakkelijk afbreekbare organische stof. Dit kan organische stof uit de bodem zijn, maar ook organische stof uit mest of mineralenconcentraat.

In het lachgasonderzoek concludeerden Velthof en Hummelink (2011) dat de lachgasemissie na toediening van mineralenconcentraat relatief hoog was ten opzichte van KAS. Zowel nitrificatie als denitrificatie zouden hierbij een rol kunnen spelen. Hoge ammoniakconcentraties in de bodem kunnen nitrificatie remmen, waarbij lachgas wordt gevormd. Mogelijk bevatten mineralenconcentraten vluchtige vetzuren die na toediening aan de bodem leiden tot denitrificatie van reeds in de bodem aanwezige nitraat. In 2011 vindt nader onderzoek plaats naar de aanwezigheid van vetzuren in mineralenconcentraten en het effect van toediening van mineralenconcentraten op denitrificatie.

De hoeveelheid stikstof die via lachgasemissie verloren gaat is laag (meestal minder dan 2% van de toegediende stikstof; Velthof en Mosquera, 2011). Vergelijkbare hoeveelheden stikstof zullen verloren gaan in vorm van NO_x . De emissies van N_2 kunnen hoog zijn onder natte omstandigheden. In de veldproeven van Van Geel et al. (2011a) en Van Middelkoop en Holshof (2011) zijn de concentraten niet onder zeer natte omstandigheden toegediend, zodat de totale denitrificatieverliezen in deze proeven beperkt zullen zijn (schatting: lager dan 10%).

Uitspoeling van stikstof

De nitraatconcentraties in het bovenste grondwater waren gelijk of lager bij toepassing van mineralenconcentraten dan bij toepassing van KAS in de proef met snijmaïs (tabel 9). De uitspoeling van stikstof vindt plaats in het winterseizoen (er is dan een neerslagoverschot). De hoeveelheid minerale stikstof in de bodem in het najaar is een indicator voor de uitspoeling en denitrificatie die in de winter optreden. Metingen van minerale stikstof in de bodem in het najaar in de veldproeven laten geen verschil zien tussen mineralenconcentraten en KAS. In één proef was de hoeveelheid minerale stikstof hoger bij mineralenconcentraten (Van Geel et al., 2011) en in één proef lager (Schröder et al., 2011) dan bij KAS en in de overige bouwlandproeven en alle graslandproeven (Van Middelkoop en Holshof, 2011) was er geen verschil tussen mineralenconcentraten en KAS. Er zijn geen aanwijzingen dat de lagere stikstofwerking van mineralenconcentraten heeft geleid tot een hogere uitspoeling dan bij KAS.

Vastlegging in de bodem

Een deel van de stikstof in mineralenconcentraten is aanwezig als organische stikstof (gemiddeld 10% van de stikstof). Hiervan zal een gedeelte al tijdens het groeiseizoen mineraliseren en beschikbaar komen voor gewasopname en een deel blijft in de bodem aanwezig als organische stikstof. Het gaat hierbij om enkele procenten van de stikstof in mineralenconcentraten. Over enkele jaren gezien zal deze organische stikstof ook mineraliseren en daardoor zal de meerjarige stikstofwerking van mineralenconcentraten hoger zijn dan de eerstejaars stikstof-werking. De verschillen in eerstejaars- en meerjaarswerking zijn echter klein, omdat de gehalten aan organische stikstof in mineralenconcentraten laag zijn.

Ammonium kan worden gebonden aan kleideeltjes en organische stof in de bodem. Dit zou deels een oorzaak kunnen zijn voor de lagere stikstofwerking op kleigrond dan op zandgrond in het onderzoek van Van Geel et al. (2011). Het is echter niet aannemelijk dat ammoniumbinding in de bodem het volledige verschil in stikstof-werking op bouwland tussen zand- en kleigrond verklaart.

Het concentraat bevat ammonium en organische stof. Bij afbraak van organische stof wordt een deel van de vrijkomende energie verbruikt door bodemorganismen. Door bodemorganismen worden organische stoffen en stikstofverbindingen omgevormd tot levende biomassa. De stikstof wordt hierbij vastgelegd: stikstof-immobilisatie. De stikstofvastlegging is meestal tijdelijk, door afsterving van biomassa en door mineralisatie komt deze stikstof op termijn (deels) weer beschikbaar voor het gewas. De combinatie van organische stof (waarschijnlijk vetzuren) en ammonium in mineralenconcentraten kan mogelijk leiden tot stikstofimmobilisatie. In 2011 wordt onderzocht of toediening van mineralenconcentraten kan leiden tot stikstofimmobilisatie.

Zoals hierboven aangegeven zijn er verschillende mogelijke mechanismes waarbij stikstof uit mineralenconcentraten in de bodem wordt vastgelegd als organische of anorganische stikstof. Het ligt echter niet in de lijn der verwachtingen dat stikstofvastlegging een belangrijk deel van de lage stikstofwerking van mineralenconcentraten verklaart.

In tabel 14 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde werkingscoëfficiënten en het lot van de niet-werkzame stikstof. Op basis van bovenstaande redenering wordt geconcludeerd dat het niet-werkzame stikstofdeel van mineralenconcentraten deels verklaard wordt doordat een deel van de organische stikstof uit concentraat niet mineraliseert (ongeveer 5%), een deel van de stikstof verloren gaat door ammoniakemissie, nitrificatie en denitrificatie en voor een deel (tijdelijk) wordt vastgelegd in de bodem. Mogelijk dat soms ook stikstofuitspoeling optreedt. De grootte van de afzonderlijke stikstofverliezen is waarschijnlijk beperkt.

De stikstofwerking van mineralenconcentraten is lager op grasland dan op bouwland. De kans op ammoniakemissie bij zodebemesting (toegepast op grasland) is hoger dan bij bouwlandinjectie (Huijsmans et al., 2011). Mogelijk dat denitrificatie en immobilisatie ook hoger zijn op grasland dan op bouwland, omdat het gehalte aan afbreekbare organische stof in grasland hoger is dan in bouwland. Door de grotere kans op denitrificatie en immobilisatie in grasland is de kans op uitspoeling lager op grasland dan op bouwland. Er kan op basis van de beschikbare resultaten niet worden aangegeven of er in grasland andere mechanismes van verlies of vastlegging van stikstof uit mineralenconcentraten optreden dan in bouwland. Ook zijn er geen resultaten die duiden op verschillen tussen kleigrond en zandgrond in stikstofverliezen of vastlegging uit emissiearm toegediende mineralenconcentraat.

Tabel 14

Samenvatting van werkingscoëfficiënten¹ en het lot van de niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten¹.

		Bouwland	Grasland
Stikstofwerking	Ten opzichte van KAS	84%	58%
	Grondsoorteffect	ja aardappelen zand: 92% aardappelen klei: 80%	nee
	Ten opzichte van vloeibare ammoniumnitraat	117%	96%
Lot van niet-werkzame stikstof uit mineralenconcentraten	Niet gemineraliseerde organische N	Gemiddeld 5% van toegediende N	
	Ammoniakemissie	< 10% van toegediende N – Kans zodebemesting grasland > injectie bouwland – Kans kalkrijke kleigrond > zandgrond	
	Gasvormige verlies door denitrificatie en nitrificatie	< 10% van toegediende N – Kans op grasland > bouwland	
	Uitspoeling	< 5% van toegediende N – Kans op zandgrond > kleigrond – Kans op bouwland > grasland	
	Immobilisatie in de bodem	< 10% van toegediende N Kans op grasland > bouwland	

¹ De werkingscoëfficiënten in deze tabel zijn gebaseerd op de veldproeven waarin mineralenconcentraten in een stikstoftrap zijn getoetst: vier proeven met basisbemesting op aardappelen op zand- en kleigrond van Van Geel et al. (2011a), één proef met snijmais op zandgrond van Schröder et al. (2011) en vier proeven met grasland op zand- en kleigrond van Van Middelkoop en Holshof (2011). Het lot van de niet-werkzame stikstof is deels gebaseerd op resultaten uit de proeven en deels op schattingen.

8.4.2 Verandering in milieubelasting door de productie en het gebruik van mineralenconcentraten

Verliezen aan stikstof kunnen optreden tijdens de productie van mineralenconcentraten en bij toepassing als meststof. Uit stikstofbalansen van de mestverwerkingsinstallaties volgt een stikstofverlies tijdens de mestverwerking van 0 - 10% (tabel 4), maar deze schatting is met een grote onzekerheid omgeven. Het is niet duidelijk in welke vorm de stikstof tijdens mestverwerking verloren gaat, maar waarschijnlijk zal het grootste deel in de vorm van ammoniak verloren gaan en een klein deel via denitrificatie. Ook tijdens de opslag van producten uit mestverwerking zal stikstof verloren gaan (Mosquera et al., 2010).

De LCA-studie geeft inzicht in hoe de milieubelasting verandert wanneer mestverwerkingsproducten worden toegepast zoals geproduceerd in de pilots mineralenconcentraat, en waarbij het mineralenconcentraat boven de norm van dierlijke mest gebruikt wordt (De Vries et al., 2011). De analyse richt zich daarmee zowel op de productie als op de toepassing van deze producten. In de studie is gebruik gemaakt van de meest recente gegevens over de emissie van broeikasgassen en ammoniak tijdens de levenscyclus van mest. Wanneer toedieningsmethoden en/of de methode van verwerking veranderen, zullen ook de emissies veranderen. Door de ontwikkelingen van nieuwe technologie of toepassen van bestaande technologie (bijvoorbeeld luchtwassers) kan de emissie van onder andere ammoniak mogelijk dalen bij het verwerken en toedienen van mestproducten.

De invloed van verandering in een zevental parameters en onderliggende aannames op de eindresultaten zijn onderzocht in de gevoeligheidsanalyse. Uit de analyse blijkt dat de hoeveelheid verwerkte drijfmest veel invloed heeft op de milieubelasting. Wanneer in de praktijk meer mest verwerkt wordt, zullen de ammoniakemissie en fijnstofemissie naar verwachting stijgen.

De productie van een stikstof-kalium mineralenconcentraat richt zich op het vervangen van stikstof- en kaliumkunstmest, waarbij mineralenconcentraat boven de gebruiksnorm voor dierlijke mest kan worden toegepast. In deze studie is aangenomen dat de behoefte aan stikstof, fosfaat en kalium gelijk blijft voor alle afzetkanalen in zowel de referenties als in de scenario's. Dit betekent dat iedere verschil in beschikbaarheid van nutriënten ten opzichte van de referentie aangevuld moet worden. Aangenomen is dat dit door kunstmest gebeurt. Hierdoor wordt er op regioniveau geen stikstofkunstmest vervangen, maar vindt er een verschuiving van het kunstmestgebruik binnen de regio plaats. De lokale behoefte aan kunstmest (in de buurt van de mestverwerkingsinstallatie) daalt, maar de kunstmestbehoefte stijgt op een andere plaats buiten de regio of zelfs buiten Nederland. Er kan daarom gesproken worden van een effectievere inzet van beschikbare nutriënten in de lokale regio als het mineralenconcentraat hier wordt toegediend.

In 2011 wordt door de Commissie van Deskundigen Meststoffenwet een studie uitgevoerd naar de effecten van grootschalige toepassing van mineralenconcentraten in Nederland op emissie naar het milieu. Er worden hierbij enkele toekomstscenario's doorgerekend.

Gebruik van mineralenconcentraten als meststof leidt niet tot een milieukundig onverantwoorde belasting van de bodem met zware metalen en organische microverontreinigingen.

Literatuur

- Bruggen, C. van, C.M. Groenestein, B.J. de Haan, M.W. Hoogeveen, J.F.M. Huijsmans, S.M. van der Sluis en G.L. Velthof, 2011. Ammoniakemissie uit dierlijke mest en kunstmest in 2009. Berekend met het Nationaal Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA). WOt-rapport (in druk).
- Dijk, van T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius en O. Oenema, 2009. Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet, versie 2.1, Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 74 p.
- Ehlert, P.A.I. en P.I. Hoeksma, 2011. Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten. Deskstudie in het kader van de Pilots Mineralenconcentraten. Rapport 2185, Alterra, Wageningen, 78 p.
- Ehlert, P.A.I., P. Hoeksma en G.L. Velthof, 2009. Anorganische en organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten. Resultaten van de eerste verkenningen. Rapport 256. Animal Sciences Group, Wageningen, 17 p.
- Europese Commissie, 2005. VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen. Publicatieblad van de Europese Unie L 304/1.
- Geel, van W., W. van den Berg, W. van Dijk en R. Wustman, 2011a. Aanvullend onderzoek mineralenconcentraten 2009 - 2010 op bouwland en grasland. Samenvatting van de resultaten uit de veldproeven en bepaling van de stikstofwerking. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. PPO nrs. 32 501 792 00 en 32 501 793 00, 40 p.
- Geel, van W., W. van den Berg en W. van Dijk, 2011b. Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. PPO projectnr. 32 501 316 00, 68 p.
- Hoeksma, P., F.E. de Buissonjé, P.A.I. Ehlert en J.H. Horrevorts, 2011. Mineralenconcentraten uit dierlijke mest. Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 481, 58 p.
- Hoop, de J.G., C.H.G. Daatselaar, G.J. Doornewaard en N.C. Tomson, 2011. Mineralenconcentraten uit mest. Economische analyse en gebruikerservaringen uit de pilots mestverwerking in 2009 en 2010. Rapport 2011 - 030, LEI, Den Haag, 68 p.
- Huijsmans, J.F.M. en J.M.G. Hol, 2011. Ammoniakemissie bij toediening van mineralenconcentraat op beteeld bouwland en grasland. Plant Research International 398, Wageningen, 26 p.
- 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.
- Middelkoop, J.C., van en G. Holshof, 2011. Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland; Veldproeven 2009 en 2010. Wageningen UR Livestock Research, rapportnr. 475, 46 p.
- Mosquera, J., R.L.M. Schils, C.M. Groenestein, P. Hoeksma, G.L. Velthof en E. Hummelink, 2010. Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding. Wageningen UR Livestock Research. Rapport 427, Lelystad.
- 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, Wageningen.
- Schröder, J.J. D. Uenk en W. de Visser, 2010. De beschikbaarheid van fosfaat uit de dikke fractie van gescheiden drijfmest. Nota 661, Plant Research International 398, Wageningen, 9 p.

- Schröder, J.J., D. Uenk, W. de Visser, F.J. de Ruijter, F. Assinck, G.L. Velthof en W. van Dijk, 2011. Stikstofwerking van organische meststoffen op bouwland - resultaten van veldonderzoek in Wageningen in 2010. Tussentijdse rapportage. Plant Research International, Wageningen.
- Velthof G.L. 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, Wageningen. 46 p.
- Velthof, G.L. en J. Mosquera, 2011. Calculation of nitrous oxide emission from agriculture in the Netherlands. Update of emission factors and leaching fraction. Wageningen, Alterra, Alterra report 2151, 66 p.
- Verloop, J. en H. van den Akker, 2011. Mineralenconcentraten op het melkveebedrijf en het akkerbouwbedrijf; knelpunten en mogelijkheden verkend op bedrijfsniveau, 2009 en 2010. Plant Research International 393, Wageningen, 24 p.
- Vries, de J.W., P. Hoeksma en C.M. Groenestein, 2011. LevensCyclusAnalyse (LCA) Pilots Mineralenconcentraten. Wageningen UR Livestock Research, rapport 480, 77 p.



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