

# Wageningen UR Livestock Research

*Partner in livestock innovations*



Rapport 481

## Mineralenconcentraten uit dierlijke mest

Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten

Mei 2011



**LIVESTOCK RESEARCH**  
**WAGENINGEN UR**

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie.

### Colofon

#### Uitgever

Wageningen UR Livestock Research  
Postbus 65, 8200 AB Lelystad  
Telefoon 0320 - 238238  
Fax 0320 - 238050  
E-mail [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl)  
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

#### Redactie

Communication services

#### Copy right

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2007

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

#### Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

### Abstract

Processing of animal manure is considered as an opportunity to reduce the pressure on the manure market in the Netherlands. One of the options is to separate the slurry and to use the mineral concentrate, that is produced from the liquid phase by reverse osmosis, as a substitute for mineral fertilizer. Against this background the pilot mineral concentrates was started to study the agricultural, economic and environmental effects of the production and use of mineral concentrates. Within the framework of this pilot in 2009 and 2010 the participating manure processing plants were monitored.

### Keywords

Animal slurry, treatment, mineral concentrate, membrane filtration, reverse osmosis, ultra filtration, flotation, flocculation, decanting centrifuge, belt press, screw press, solid liquid fraction, permeate

### Referaat

ISSN 1570 - 8616

### Auteurs

P. Hoeksma, F.E. de Buissonjé, P.A.I. Ehlert en J.H. Horrevorts

### Titel

Mineralenconcentraten uit dierlijke mest. Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten

### Samenvatting

Verwerking van dierlijke mest wordt gezien als een mogelijkheid om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Een 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. Tegen deze achtergrond is de pilot mineralenconcentraten opgezet waarin de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en het gebruik van mineralenconcentraat zijn onderzocht. In het kader van deze pilot is in 2009 en 2010 een monitoring uitgevoerd van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties.

### Trefwoorden

Mestverwerking, mineralenconcentraat, omgekeerde osmose, ultra filtratie, flotatie, centrifuge, zeeffbandpers, vijzelpers, dikke fractie, dunne fractie, permeaat, varkensmest, rundveemest



Rapport 481

# Mineralenconcentraten uit dierlijke mest

Monitoring in het kader van de pilot mineralenconcentraten

# Mineral Concentrates from animal slurry

Monitoring of the pilot production plants

P. Hoeksma  
F.E. de Buisonjé  
P.A.I. Ehlert  
J.H. Horrevorts

Mei 2011



## Samenvatting

Verwerking van dierlijke mest wordt, naast voermaatregelen en export van mest, gezien als mogelijkheid om de druk op de mestmarkt in Nederland te verlichten. Een 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 landbouwbedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende 2009 en 2010, met instemming van de Europese Commissie, in een aantal pilots de landbouwkundige, economische en milieukundige effecten van de productie en het gebruik van het mineralenconcentraat onderzocht. In de pilots mineralenconcentraten nemen acht producenten van mineralenconcentraat deel en honderden gebruikers. Gedurende 2009 en 2010 is in het kader van de pilots een aantal studies uitgevoerd waaronder het monitoren van de deelnemende mestverwerkings-installaties. Het doel van de monitoring was om van de deelnemende installaties objectieve proces- en productgegevens te verzamelen voor het vaststellen van de samenstelling van de eindproducten en voor het opstellen van massabalansen van nutriënten en zware metalen. Deze gegevens uit dit onderzoek dienen, samen met de resultaten van de andere studies, voor het samenstellen van een technisch dossier voor het overleg met de Europese Commissie over een eventuele permanente voorziening van het gebruik van mineralenconcentraat als kunstmestvervanger. Dit betekent dat mineralenconcentraat dan bovenop de gebruiksnorm voor dierlijke mest maar binnen de totale gebruiksnorm voor stikstof kan worden toegepast.

De monitoring bestond uit het verzamelen van gegevens over de chemische samenstelling van de grondstoffen, de processtromen en de eindproducten van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties. De gegevens werden verkregen door op de pilotbedrijven regelmatig (maandelijks) de grondstof-, proces- en productstromen te bemonsteren en deze te analyseren op de hoofdelementen, secundaire nutriënten, sporelementen en zware metalen en arseen. Daarnaast werd een analyse uitgevoerd op de aanwezigheid van organische microverontreinigingen gereguleerd door de Meststoffenwet in mineralenconcentraten.

De acht deelnemende pilotinstallaties verwerkten drijfmest via een aantal processtappen tot mineralenconcentraat, waarbij de laatste processtap bestond uit omgekeerde osmose. Omgekeerde osmose (RO=reverse osmosis) is het proces waarbij onder druk water door een semipermeabel membraan uit een vloeistof wordt geperst en opgeloste zouten en andere ionen in de geconcentreerde vloeistof achterblijven. Vaste delen en organische stof in de ingaande vloeistof kunnen een RO-membraan vervuilen en beschadigen, daarom dient drijfmest vóóraf een behandeling te ondergaan om zoveel mogelijk vast materiaal te verwijderen. Deze voorbehandeling bestond uit mechanische scheiding in een dikke en een dunne fractie en verdere behandeling van de dunne fractie. De technieken die hierbij werden toegepast verschilden tussen de pilotbedrijven evenals de verwerkingscapaciteit. De onderstaande tabel geeft een overzicht.

	Verwerkings-capaciteit (ton/jaar)	Voorbewerking ruwe mest	Mechanische Scheiding	Behandeling dunne fractie	Laatste processtap
Bedrijf A	67.500	co-vergisting	centrifuge	ultrafiltratie	RO
Bedrijf B	50.000	-	zeefbandpers	flotatie	RO
Bedrijf C	25.000	-	zeefbandpers	flotatie	RO
Bedrijf D	10.000	-	vijzelpers	flotatie	RO
Bedrijf E	5.000	-	vijzelpers	flotatie	RO
Bedrijf F	25.000	-	zeefbandpers	flotatie	RO
Bedrijf G	10.000	-	zeefbandpers	flotatie	RO
Bedrijf H	15.000	co-vergisting	centrifuge	ultrafiltratie	RO

Zeven van de acht pilotbedrijven verwerkten varkensdrijfmest, één bedrijf (bedrijf H) verwerkte rundveedrijfmest. De bedrijven met een mestverwerkingscapaciteit  $\geq 25.000$  ton per jaar verwerkten alleen mest van derden. De andere bedrijven verwerkten mest van het eigen bedrijf. Behalve verschil in de toegepaste technieken verschilden de bedrijven van de pilot ook wat betreft het type RO-installatie, het gebruik van hulpstoffen en het procesmanagement. Deze verschillen hadden invloed op de samenstelling van de eindproducten en de variatie daarin.

Het pilotproject heeft aangetoond dat de productie van een RO-concentraat uit dierlijke mest met constante samenstelling mogelijk is, mits de samenstelling van het ingangsmateriaal van de RO constant is en het productieproces stabiel verloopt. De samenstelling van het RO-concentraat was sterk gerelateerd aan de ingestelde EC-waarde.

Het RO-concentraat dat in 2009 en 2010 op de pilotbedrijven werd geproduceerd kan gezien worden als een NK-meststof met gemiddeld 7,1 g/kg stikstof en 7,6 g/kg kalium. Ongeveer 90% van de stikstof bestaat uit ammoniumstikstof. Daarnaast bevat het concentraat een geringe hoeveelheid organische stof en fosfor (P).

Er waren duidelijk verschillen in samenstelling van het RO-concentraat tussen de pilotbedrijven. Verschillen in de gehalten aan N en K kunnen worden verklaard door verschillen in de ruwe mest. Verschillen in de gehalten aan droge stof, organische stof en P kunnen worden verklaard door verschil in voorbehandelingstechniek.

De RO-concentraten van bedrijven met een combinatie van centrifuge en ultrafiltratie en met een combinatie van zeefbandpers en flotatie bevatten hogere gehalten aan hoofdelementen dan de concentraten van bedrijven met een combinatie van vijzelpers en flotatie.

Verschillen in samenstelling van het RO-concentraat tussen bedrijven met dezelfde voorbehandelingstechniek waren terug te voeren op verschillen in procesmanagement. Het op de RO-installatie ingestelde *setpoint* van de EC-waarde (electrical conductivity of geleidend vermogen) was bepalend voor de zoutgehalten in het concentraat.

Binnen elk bedrijf varieerde de samenstelling van het RO-concentraat. Deze variatie werd voor een groot deel veroorzaakt door een onregelmatige procesvoering, o.a. als gevolg van tijdens de meetperiode doorgevoerde veranderingen in het productieproces.

De RO-concentraten onderschreden de gehalten aan organische microverontreinigingen volgens de samenstellingseisen van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. De concentraten zijn daardoor schoon en onverdacht.

Het verschil in EC-waarde tussen de input en de ingestelde EC-waarde van de RO-installatie is maatgevend voor de mate waarin de stikstof- en kaliegehalten in de input kunnen worden opgeconcentreerd. De concentratiefactoren verschilden sterk tussen de pilotbedrijven, zowel door verschil in EC-waarde van de input als door verschil in ingestelde EC-waarde. De ingestelde EC-waarde was een keuze van de ondernemer die de keuze o.a. liet afhangen van door de leverancier van de RO-membranen aanbevolen instellingen, energie- en onderhoudskosten en afzetmogelijkheden van het concentraat.

De samenstelling van de dikke fractie was afhankelijk van de toegepaste scheidingstechniek en van de gehalten in de ruwe mest. De gehalten aan droge stof, organische stof, fosfor en totaal stikstof (N-totaal) werden bepaald door de scheidingstechniek. De gehalten aan ammonium ( $\text{N-NH}_4$ ) en kalium in de dikke fractie waren afhankelijk van de gehalten in de ruwe mest. Ook de samenstelling van de dunne fractie werd bepaald door de toegepaste scheidingstechniek en de gehalten in de ruwe mest. Alle parameters met uitzondering van kalium waren in de dikke fractie hoger dan in de ruwe mest. De dunne fractie bevatte een geringe gehalte aan organische stof. Scheiding met een combinatie van centrifuge en ultrafiltratie leverde hogere gehalten op aan organische stof in de dunne fractie dan scheiding met de zeefbandpers en vijzelpers gecombineerd met flotatie.

Het permeaat van omgekeerde osmose voldeed niet aan de normen voor lozing op het oppervlaktewater. Na ionenwisseling kon wel aan de normen worden voldaan.

De massaverdeling van de ruwe mest over de eindproducten verschilde tussen de pilotbedrijven, evenals de verdeling van de hoofdelementen over de eindproducten. De dikke fractie bevat het overgrote deel aan fosfor, droge stof en organische stof. Het RO-concentraat bevat het overgrote deel aan ammonium en kalium. Tijdens het productieproces traden kleine verliezen op van stikstof en kalium. Het berekende verlies aan stikstof bedroeg maximaal 10%. De verdeling van de secundaire nutriënten, spoorelementen en zware metalen over de eindproducten was vergelijkbaar met de verdeling van droge stof. Het overgrote deel van deze componenten kwam in de dikke fractie terecht.

Het RO-concentraat dat op de pilotbedrijven werd geproduceerd, bevatte relatief lage gehalten aan waardegevende bestanddelen waardoor de afzetmogelijkheden (tegen acceptabele kosten) beperkt waren. Om de afzetmogelijkheden te vergroten en de opslagkosten buiten de aanwendingsperiode te drukken, moet de kwaliteit worden verbeterd, in de zin van hogere gehalten aan stikstof en kalium en een lager gehalte aan fosfor. Voor een kwaliteitsslag zijn nieuwe technieken nodig, al dan niet nageschakeld. Te denken valt aan toepassing van een ander type RO-membraan waarmee hogere N en K concentraties kunnen worden bereikt, indampen van het concentraat, b.v. door gebruik te maken van beschikbare overtollige warmte, splitsen van het concentraat in een N- en een K-meststof, b.v. door middel van strippen of andere vormen van membraanscheiding.





## Summary

Processing of animal manure, in addition to animal feed measures and export of manure, is considered as an opportunity to reduce the pressure on the manure market in the Netherlands. One of the options is to separate the slurry and to use the mineral concentrate, that is produced from the liquid phase by reverse osmosis, as a substitute for mineral fertilizer. The agricultural sector, the ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation and the ministry of Infrastructure and Environment, with consent of the European Commission, have evaluated in a number of pilot projects, the agricultural, economic and environmental impact of the production and use of the mineral concentrate. Eight producers and hundreds of users of the mineral concentrate participate in the pilot projects. In this context, in 2009 and 2010 a number of studies was conducted, including the monitoring of the participating manure processing plants. The purpose of this monitoring was to gather objective process and product information about the manure processing plants by determining the composition of the end products and for establishing mass balances of nutrients and heavy metals. The results, together with the results from other studies, are compiled into a technical file that will be used for examination of the mineral concentrates by reference to the European legislation for mineral fertilizers ('EG-meststof') and the national Dutch legislation by reference to the protocol for assessment of fertilizers ('Beoordeling stoffen meststoffenwet').

The monitoring consisted of data collection on the chemical composition of the input materials, intermediate and end products of the participating manure processing plants. The data were collected by regular (monthly) sampling of the input-, intermediate- and end product flows which were then analyzed for major nutrients, secondary nutrients, trace elements, heavy metals and arsenic. The mineral concentrates were also analyzed for organic micro-pollutants.

The eight participating manure processing plants (pilot plants) processed animal slurry through several process steps into a mineral concentrate whereby the last step was reverse osmosis. Reverse osmosis is the process where water is squeezed from a liquid through a semi-permeable membrane that allows water molecules to pass but retains dissolved salts and other ions in the concentrated liquid. Solid particles and volatile solids in the incoming flow can pollute or damage the RO membranes and need to be removed from the incoming slurry as much as possible. This slurry treatment consisted of mechanical separation into a solid and a liquid phase and further polishing of the liquid phase. The techniques that were used and the annual throughput differed between the pilot plants. The following table provides an overview:

	Throughput (tonnes/year)	Slurry pretreatment	Mechanical separation	Polishing liquid phase	Final process step
Plant A	67.500	co-digestion	decanting centrifuge	ultra filtration	RO
Plant B	50.000	none	belt press	flotation	RO
Plant C	25.000	none	belt press	flotation	RO
Plant D	10.000	none	screw press	flotation	RO
Plant E	5.000	none	screw press	flotation	RO
Plant F	25.000	none	belt press	flotation	RO
Plant G	10.000	none	belt press	flotation	RO
Plant H	15.000	co-digestion	decanting centrifuge	ultra filtration	RO

Seven pilot plants processed pig slurry and one plant processed cattle slurry (plant H). The plants with a throughput of  $\geq 25.000$  tonnes per year only processed slurry from farms in the nearby area. The smaller plants processed proprietary slurry. Apart from differences in the applied polishing technologies the pilot plants also differed in terms of the type of RO installation, the use of adjuvants and the process

management. These differences influenced the composition of the end products and the variation therein.

The pilots have shown that the production of an RO concentrate with a constant composition from animal slurry is feasible, provided that the input of the RO installation has a constant composition and that the production process is stable. The RO concentrate that was produced by the pilot plants in 2009 and 2010 can be considered as an NK fertilizer with on average 7.1 g/kg nitrogen (N) and 7.6 g/kg potassium (K). About 90 % of the nitrogen is ammonium nitrogen. The concentrate also contains small amounts of volatile solids and phosphorus (P).

Clear differences were found in the composition of concentrates from different pilot plants. Differences in the levels of nitrogen and potassium can be explained by differences in the composition of the incoming slurry. Differences in the levels of dry matter, volatile solids and phosphorus can be explained by differences in the applied polishing techniques.

The concentrates from plants that applied a combination of a decanting centrifuge and ultra filtration and those that applied a combination of a belt press and flotation contain higher levels of major nutrients than the concentrates from plants that applied a combination of a screw press and flotation. The type of the animal slurry (pig or cow) processed possibly influenced the composition of the concentrates.

Differences in the composition of the concentrates between pilot plants that applied the same polishing techniques can be explained by differences in process management. The setpoint value for the EC (Electrical Conductivity) defined the salinity of the concentrate. The composition of the concentrates also varied within the pilot plants. This variation was mainly caused by irregularities in the production process, including changes introduced in the production process during the monitoring period. The concentrates passed all the composition requirements for organic micropollutants of the Dutch fertilizer legislation ('Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet'). From that point of view the concentrates are clean and unsuspected.

The difference in EC value between the input stream and the setpoint value of the RO installation determines the extent to which the mineral levels of the input stream can be concentrated. The concentration factors differed considerably between pilot plants, both by differences in EC value of the input streams as by differences in the setpoint value for the EC. The setpoint value for the EC was a choice of the operator and depended among other things on the settings recommended by the supplier of the membranes, energy and maintenance costs and market opportunities of the concentrate.

The composition of the solid phase depended on the applied separation technique and the composition of the incoming animal slurry. The levels of dry matter, volatile solids, phosphorus and total nitrogen were determined by the applied separation technique. The levels of ammonium nitrogen and potassium in the solid phase depended on the levels in the incoming slurry. The composition of the liquid phase too was determined by the applied separation technique and the composition of the incoming slurry. All parameters except the potassium content were higher in the solid phase than in the incoming slurry. The liquid phase contained a low content of volatile solids. Separation with a combination of decanting centrifuge and ultra filtration produced higher levels of volatile solids in the liquid phase than separation with a belt press or screw press in combination with flotation. The RO permeate did not meet the requirements for discharge into surface water. After treatment of the permeate with an ion exchanger, the permeate did meet the requirements.

The mass distribution of the processed slurry to the end products differed between the pilot plants, just like the distribution of the major nutrients to the end products. The solid phase contained the majority of phosphorus, dry matter and volatile solids. The RO concentrate contained the majority of ammonium nitrogen and potassium. During processing, small losses of nitrogen and potassium occurred. The calculated nitrogen loss was at most 10 %. The distribution of the secondary nutrients, trace elements and heavy metals to the end products was similar to the distribution of dry matter. The majority of these components ended up into the solid phase.

The RO concentrates that were produced in the pilot plants contained relatively low levels of major nutrients which limited the outlets at acceptable costs. In order to increase the market opportunities of mineral concentrate and to decrease the costs of storage outside the application season, the quality has to be improved towards higher levels of nitrogen and potassium and lower levels of phosphorus. For this quality improvement, new techniques are needed, whether or not applied downstream. This could involve the application of new types of RO membranes that allow higher levels of nitrogen and potassium in the concentrate or evaporation of the concentrate with available excess heat, splitting the concentrate into separate nitrogen and potassium fertilizers, for example by nitrogen stripping or by application of new membrane separation techniques.

## Inhoudsopgave

### Samenvatting

### Summary

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Verzameling van gegevens</b> .....	<b>3</b>
2.1	Meetprogramma .....	3
2.2	Analysemethoden.....	4
2.2.1	Hoofdelementen en zware metalen .....	4
2.2.2	Organische microverontreinigingen .....	5
2.3	Bemonstering .....	5
2.4	Verwerking van meetgegevens.....	5
<b>3</b>	<b>Productie van mineralenconcentraat</b> .....	<b>7</b>
3.1	Achtergrond.....	7
3.2	Omgekeerde osmose .....	7
3.3	Voorbehandeling .....	9
<b>4</b>	<b>Beschrijving van de pilots</b> .....	<b>11</b>
4.1	Bedrijf A.....	11
4.2	Bedrijf B.....	14
4.3	Bedrijf C.....	16
4.4	Bedrijf D.....	18
4.5	Bedrijf E .....	20
4.6	Bedrijf F .....	22
4.7	Bedrijf G .....	24
4.8	Bedrijf H.....	26
<b>5</b>	<b>Resultaten</b> .....	<b>29</b>
5.1	Samenstelling mineralenconcentraat .....	29
5.1.1	Algemeen .....	29
5.1.2	Verschil tussen 2009 en 2010.....	30
5.1.3	Variatie tussen bedrijven.....	30
5.1.4	Variatie binnen bedrijven .....	30
5.1.5	Trends in de tijd .....	31
5.1.6	Effect van ruwe mest .....	34
5.1.7	Effect van voorbehandeling .....	35
5.2	Ruwe mest/digestaat.....	35
5.3	Mechanische scheiding .....	36
5.3.1	Dikke fractie .....	36
5.3.2	Dunne fractie.....	38
5.4	Ultrafiltratie .....	40
5.5	Omgekeerde osmose .....	41
5.5.1	Concentraat.....	41
5.5.2	Permeaat.....	44
5.6	Organische microverontreinigingen in RO-concentraat.....	44
5.7	Massaverdeling .....	45

5.7.1	Processtromen.....	45
5.7.2	Hoofdelementen.....	46
5.7.3	Secundaire nutriënten en spoorelementen.....	48
5.7.4	Zware metalen .....	48
5.8	Massabalans .....	48
5.8.1	Hoofdelementen.....	48
5.8.2	Secundaire nutriënten en spoorelementen.....	49
5.8.3	Zware metalen .....	49
<b>6</b>	<b>Discussie.....</b>	<b>51</b>
	<b>Conclusies.....</b>	<b>55</b>
	<b>LITERATUUR .....</b>	<b>57</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Samenstelling processtromen.....</b>	<b>56</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Meetgegevens organische microverontreiniging.....</b>	<b>64</b>

## 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. Een 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, het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie en het ministerie van Infrastructuur en Milieu hebben gedurende 2009 en 2010, met instemming van de Europese Commissie, in een aantal pilots 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 en honderden gebruikers. Elke producent beheert een installatie waarmee mineralenconcentraat wordt geproduceerd. De gebruikers zijn akkerbouwers en veehouders die het mineralenconcentraat als meststof gebruiken. De gegevens uit het onderzoek dienen ook voor het opstellen van technische dossiers van het concentraat. Dit technische dossier wordt gebruikt voor toetsing van de mineralenconcentraten aan de Europese regelgeving voor minerale meststoffen (EG-meststof<sup>1</sup>) en de nationale regelgeving door toetsing aan het Protocol 'Beoordeling stoffen Meststoffenwet' (van Dijk *et al.*, 2010).

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

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

Het pilotproject is eind 2010 met maximaal één jaar verlengd tot eind 2011. In 2011 wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van de landbouwkundige en milieukundige effecten.

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

In dit rapport staan de resultaten van de monitoring van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties over de jaren 2009 en 2010.

---

<sup>1</sup> EU (2003) VERORDENING (EG) nr. 2003/2003 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 13 oktober 2003 inzake meststoffen

**Doel**

Het doel van de monitoring was om van de deelnemende mestverwerkingsinstallaties objectieve proces- en productgegevens te verzamelen voor het vaststellen van de samenstelling van de eindproducten en voor het opstellen van massabalansen van nutriënten en zware metalen.

## 2 Verzameling van gegevens

Gegevens van de chemische samenstelling van de grondstoffen, processtromen en eindproducten van de pilotinstallaties werden verzameld door deze regelmatig te bemonsteren en te analyseren. Kwantitatieve gegevens van de aangevoerde mest en de afgevoerde eindproducten werden verkregen via Dienst Regelingen. Gegevens over de hoeveelheid en de samenstelling van de aangevoerde co-producten en verbruikte hulpstoffen zijn door de betreffende bedrijven aangereikt. Een aantal van de deelnemende installaties was al enkele jaren in bedrijf vóór de start van het pilotproject. Een aantal van de installaties is tijdens het project opgestart. De meetperiode startte vanaf het moment dat de installatie minimaal enkele weken stabiel had gedraaid, d.w.z. met constante toevoer van ruwe mest en constante instelling van de verwerkingsinstallatie. Tijdens de opstartperiode werden geen gegevens verzameld.

### 2.1 Meetprogramma

Het meetprogramma diende de volgende doelen:

- Toetsing van het concentraat omgekeerde osmose aan de kwaliteitseisen van EG-meststof en van overige anorganische meststof (nationaal);
- Toetsing van het concentraat omgekeerde osmose aan de kwaliteitseisen van stof die als meststof verhandeld mag worden conform de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet, Bijlage Aa;
- LCA-studie
- Opstellen van massabalansen voor nutriënten en zware metalen

In Tabel 1 is aangegeven welke parameters in de grondstoffen, processtromen en eindproducten van de pilotinstallaties werden gemeten. Organische stof, de hoofdelementen, de secundaire elementen en de spoorelementen B, Cu, Fe, Mn, Mo en Zn zijn waardegevendende bestanddelen van meststoffen. De spoorelementen Co, Cu, Se en Zn zijn veevoedingsmineralen. Chloride heeft geen bemestende waarde en kan in hoge concentraties tot gewasschade leiden. Voor zware metalen en arseen en organische microverontreinigingen, aangewezen door de Meststoffenwet, gelden wettelijk toegestane maximum waarden, welke een milieugrondslag kennen. De zuurgraad heeft landbouwkundige en milieukundige betekenis. De geleidbaarheid is een belangrijke procesparameter bij omgekeerde osmose. De in Tabel 1 vermelde parameters werden in alle processtromen gemeten met uitzondering van organische microverontreinigingen, die alleen in mineralenconcentraten werden bepaald.

De metingen werden maandelijks uitgevoerd, met uitzondering van zware metalen (per kwartaal, Cu en Zn maandelijks) en organische microverontreinigingen (éénmalig).

**Tabel 1** Geanalyseerde parameters in de grondstoffen, processtromen en eindproducten van de pilotinstallaties.

---

Droge stof, Ruw as, Organische stof
Hoofdelementen: N, NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N, P, K
Secundaire nutriënten: Ca, Mg, Na, S, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Spoorelementen: B, Co, Fe, Mn, Mo, Se
Chloride
Zware metalen: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn en As
Organische micro-verontreinigingen
Zuurgraad (pH)
Soortelijk gewicht
Geleidbaarheid (EC)

---

De verwerkingsinstallatie van Bedrijf G is slechts enkele maanden, van september tot december 2009, operationeel geweest. In deze periode verkeerde de installatie in de opstartfase en was geen sprake van een stabiel verwerkingsproces. Hierdoor zijn van dit bedrijf geen representatieve meetgegevens beschikbaar.

## 2.2 Analysemethoden

### 2.2.1 Hoofdelementen en zware metalen

Voor grondstoffen en eindproducten, die volgens de Meststoffenwet als dierlijke mest worden aangemerkt, werden de analysemethoden aangehouden zoals voorgeschreven door Accreditatieprogramma dierlijke mest; samenstelling AP05 (Bijlage H van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet). Tabel 2 geeft een overzicht van de gevolgde normvoorschriften.

Tabel 2 Gevolgde normvoorschriften voor chemische analyses.

Parameter	Normvoorschrift	Omschrijving
Ammonium	NEN 7438: 1998 nl	Dierlijke mest en mestproducten - Bepaling van het gehalte aan ammoniumstikstof - Titrimetrische methode
Ammonium	NEN-ISO 7150-1:2002 en	Water - Bepaling van ammonium – Deel 1: Handmatige spectrometrische methode
Totaal stikstof (Kjeldahl)	NEN 6641: 1983 nl	Slib - Bepaling van de som van de gehalten aan ammoniumstikstof en aan organisch gebonden stikstof volgens Kjeldahl na mineralisatie met seleen
Droge stof + Ruw as	NEN 7432: 1998 nl	Dierlijke mest en mestproducten - Bepaling van de gehalten aan droge stof en organische stof - Gravimetrische methode
pH	NEN 6411: 2006 Ontw nl	Water en slib - Bepaling van de zuurgraad (pH)
Geleidbaarheid	NEN ISO 7888: 1994 en	Water - Bepaling van het elektrisch geleidingsvermogen
Fosfor	NEN 6662	
Natrium + kalium	NEN 6442: 1997 nl	Water - Vlamfotometrische bepaling van het gehalte aan natrium en kalium

Organische stof werd berekend als verschil tussen droge stof en ruw as. Soortelijke massa werd bepaald met behulp van een aerometer. Voor de bepaling van sporelementen en zware metalen is de volgende werkwijze gevolgd:

- \* Afhankelijk van het type monster is 0,25 tot 4,5 gram ingewogen.
- \* Destructie in een magnetron met 10 ml koningswater (7,5 ml HCl en 2,5 ml HNO<sub>3</sub>).  
Programma magnetron: 5 min 250 W; 5 min 400 W; 5 min 650 W; 5 min 250 W.
- \* Monsters zijn verdund met milliQ water tot 100 ml en daarna gemeten met ICP-OES.

De chemische analyses werden uitgevoerd door het AFSG milieulaboratorium van Wageningen-UR, met uitzondering van bepaling van organische microcomponenten. Deze werden uitgevoerd door het RIKILT Instituut voor Voedselveiligheid van Wageningen-UR.



### 2.2.2 Organische microverontreinigingen

De meting van organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten is uitgevoerd bij vier deelnemende pilotbedrijven (bedrijven A, B, C en D). Per bedrijf werden twee monsters (totaal 8) mineralenconcentraat onderzocht op gehalten aan organische microverontreinigingen die door de Meststoffenwet zijn aangegeven.

De organische contaminanten van de Meststoffenwet (MW) zijn:  $\Sigma$ PCDD/PCDF,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH,  $\gamma$ -HCH (lindaan), HCB, Aldrin, Dieldrin,  $\Sigma$ Aldrin+Dieldrin, Endrin, Isodrin,  $\Sigma$ Endrin+Isodrin,  $\Sigma$ 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,  $\Sigma$ 10-PAK en minerale olie. Koolwaterstoffen zijn berekend als diesel (C10-C24) en als minerale olie (C25-C56).

De gehalten aan de organische contaminanten zijn bepaald door het RIKILT - Instituut voor Voedselveiligheid. Het laboratorium is geaccrediteerd (RvA scope L014) en NEN/ISO 17025 gecertificeerd. De analysemethoden volgen de door de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet voorgeschreven analysemethoden (URMW, 2011).

## 2.3 Bemonstering

### *Methode*

Per installatie werd vastgesteld waar, welke processtroom bemonsterd moest worden en welke voorzieningen nodig waren om een betrouwbare bemonstering van alle proces- en productstromen uit te kunnen voeren. Voor bemonstering van de vloeibare processtromen werd vóór en na elke processtap een monsterpunt gecreëerd, door in de aan- en afvoerleiding een aftapkraan aan te brengen. Hieruit werd een monster van ca. 1 liter afgetapt. Dit gebeurde nadat de kraan enige tijd was doorgespoeld. Op deze wijze werden monsters verkregen van 'vers product'. De bemonstering werd door medewerkers van Livestock Research Wageningen UR (WUR-LR) uitgevoerd. De bemonstering van de vaste processtroom (dikke fractie) gebeurde door direct na de scheiding vanaf de transportband ca. één liter mest te verzamelen.

### *Frequentie*

De processtromen werden maandelijks bemonsterd mits sprake was van een goed functionerende installatie. Zo niet dan werd de bemonstering uitgesteld en werd het eerstvolgende bemonsteringstijdstip in overleg met de operator van de installatie bepaald. In het kader van andere deelonderzoeken binnen het pilotproject werden tussentijds monsters genomen.

## 2.4 Verwerking van meetgegevens

De samenstelling van de grondstoffen, processtromen en eindproducten worden per pilotbedrijf beschreven door presentatie van gemiddelden, mediaanwaarden en standaarddeviaties van alle gemeten parameters met uitzondering van organische microverontreinigingen. Vergelijking van de samenstelling grondstoffen, processtromen en eindproducten tussen bedrijven is uitgevoerd op basis van gehalten aan droge stof, organische stof, N-totaal, N-NH<sub>4</sub>, P en K. Regressie- en variantie-analyses zijn uitgevoerd met Genstat 13<sup>de</sup> editie.



### 3 Productie van mineralenconcentraat

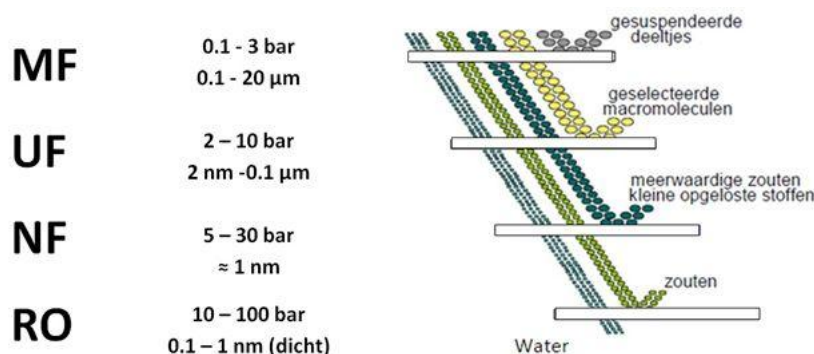
#### 3.1 Achtergrond

In 2007 is door de Animal Science Group van Wageningen UR en Monteny Milieu Advies een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om producten uit technieken en systemen voor mestverwerking aan te merken als EG-meststof (Monteny *et al*, 2007). Daarbij is uitgegaan van de technieken en systemen die beschreven staan in een eerder uitgebrachte rapportage “Quick scan technieken mestbe- en -verwerking” (Melse *et al*, 2004). Van alle producten die door middel van de in dat rapport genoemde technieken en systemen worden geproduceerd, is nagegaan wat de samenstelling is in termen van gehalte aan droge stof en organische stof en de nutriënten stikstof, fosfor en kalium. De samenstelling van de producten werd gespiegeld aan de samenstellingseisen van EG-meststoffen zoals neergelegd in de EG-Verordening 2003/2003. De conclusie van deze studie was dat concentraten afkomstig uit systemen waarbij gebruik wordt gemaakt van fysische concentreringsprocessen, met name omgekeerde osmose, perspectief hebben voor erkenning als EG-meststof indien via verdere opwerking kan worden voldaan aan de samenstellingseisen voor stoffen binnen de groep van samengestelde vloeibare meststoffen.

#### 3.2 Omgekeerde osmose

Osmose is een proces gebaseerd op diffusie waarbij een vloeistof met daarin opgeloste stoffen door een halfdoorlatende (semipermeabele) membraan stroomt waarbij water wordt doorgelaten maar niet de opgeloste zouten. De drijvende kracht achter de waterverplaatsing door het membraan is het verschil in zoutgehalte van de vloeistoffen aan beide zijden van het membraan. Het water verplaatst zich namelijk vanuit de vloeistof met een lage zoutconcentratie door het membraan naar de vloeistof met een hoge zoutconcentratie, totdat de zoutconcentraties aan beide zijden van het membraan gelijk zijn. Osmose speelt een belangrijke rol bij de opname van water en voedingsstoffen door planten en bij de urineproductie in de nieren. Als er op de vloeistof met de hoge zoutconcentratie een bepaalde druk wordt uitgeoefend, stopt het watertransport door het membraan. Deze druk noemt men de osmotische druk. De osmotische druk van zeewater is circa 25 bar. Als de druk op de vloeistof met de hoge zoutconcentratie nog hoger wordt, zal er 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 wordt omgekeerde osmose genoemd. Hiervoor is dus een hogere druk dan de osmotische druk nodig. De werkdruk die nodig is om met behulp van omgekeerde osmose schoon water te produceren uit zeewater, bedraagt 50 à 60 bar ([www.aquaclopedie.nl/informatie/osmose.html](http://www.aquaclopedie.nl/informatie/osmose.html)).

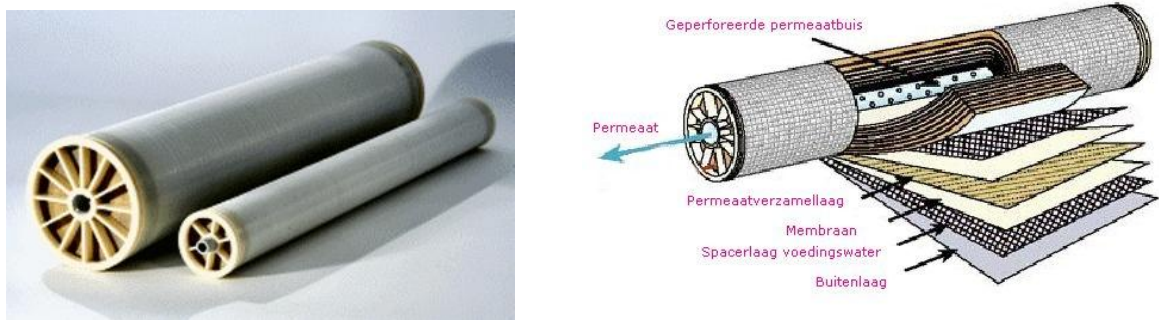
Figuur 1 toont de kenmerkende eigenschappen van omgekeerde osmose ten opzichte van andere vormen van membraanfiltratie.



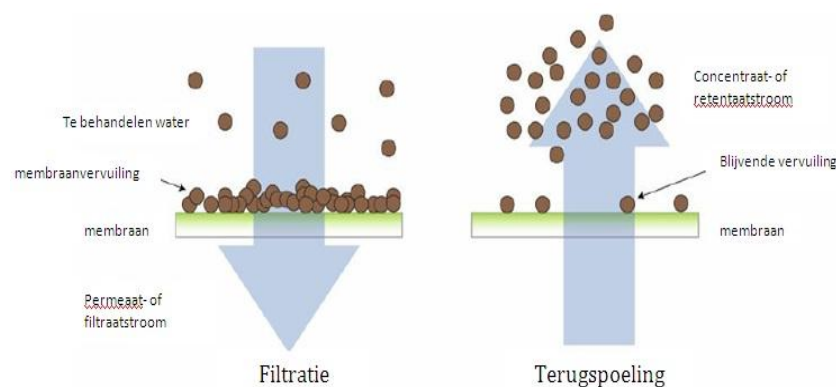
**Figuur 1** Kenmerken van verschillende vormen van membraanfiltratie. MF = microfiltratie, UF = ultrafiltratie, NF = nanofiltratie, RO = omgekeerde osmose (bron: [www.watertool.be](http://www.watertool.be))

Omgekeerde osmose (*reverse osmosis* of RO) wordt ook gebruikt in installaties die dunne mestfractie zuiveren tot loosbaar water en een geconcentreerde zoutoplossing, het zogenaamde mineralenconcentraat. Hierbij wordt schoon water bij een werkdruk van 40 à 80 bar door een RO-membraan geperst. Opgeloste zouten (vooral stikstof en kalium, maar ook chloride en sulfaat) blijven achter in het mineralenconcentraat. Vervuiling van de membranen door *scaling* en *fouling* (afzetting van zouten en aangroei van micro-organismen) is een probleem bij toepassing van omgekeerde osmose, evenals mogelijke beschadiging van de RO-membranen door harde bestanddelen zoals zandkorrels (Van Gastel en Thelosen, 1995; Masse *et al*, 2007). Daarom dient een dunne mestfractie geschikt gemaakt te worden voor omgekeerde osmose door een grondige voorzuivering. Daarnaast is een regelmatige, vaak dagelijkse, reiniging van de membranen noodzakelijk, waarbij gebruik gemaakt wordt van zuur en loog.

Figuur 2 toont een afbeelding en de schematische opbouw van een spiraalgewonden RO-membraan. In Figuur 3 wordt membraanvervuiling en de reiniging van membranen door middel van 'backflushing' (terugspoeling met permeaat) weergegeven.



**Figuur 2** Schematische weergave van de opbouw van een spiraalgewonden RO-membraan (bron: [www.tricep.com](http://www.tricep.com)).



**Figuur 3** Membraanvervuiling tijdens membraanfiltratie en periodieke reiniging door terugspoeling met permeaat (bron: [www.watertool.be](http://www.watertool.be))

*Batch proces*

Wanneer de zoutconcentratie aan de concentraatkant van het membraan tijdens het RO-proces oploopt, stijgt ook de benodigde druk om water door het membraan te persen. De flux door het membraan neemt af en het energieverbruik van de installatie neemt toe. Als de flux onder een bepaald niveau is beland moet het membraan worden gereinigd. Wanneer een ingesteld setpoint voor de elektrische geleidbaarheid (EC) van het concentraat wordt bereikt, wordt het concentraat afgelaten naar een opslag en vervangen door een nieuwe hoeveelheid dunne mestfractie. Hoe hoger het ingestelde *setpoint*, hoe hoger het zoutgehalte in het concentraat. Deze vorm van filtratie, waarbij alle ingaande vloeistof door het membraan wordt geperst, wordt ook wel *'dead-end'* filtratie genoemd. Bij *dead-end* filtratie is sprake van een batch-proces.

*Continu proces*

Omgekeerde osmose kan ook als continu proces worden bedreven, zoals het geval is bij *'cross-flow'* filtratie. Hierbij is sprake van recirculatie van de ingaande vloeistof in een stromingsrichting parallel aan het membraan. Door een hoge stroomsnelheid te kiezen treedt turbulentie op langs het membraan waardoor afzetting van materiaal op het membraan wordt beperkt. Maar ook van *cross-flow* bedreven installaties moeten de membranen nu en dan worden gereinigd. Met een *cross-flow* bedrijfsvoering wordt een constante flux gehaald. Door gebruik te maken van een meertraps RO-systeem kan een hoge afscheidingsgraad van permeaat worden bereikt. Er zijn meertraps RO-configuraties met concentraatrecirculatie met als doel een zo geconcentreerd mogelijk concentraat te krijgen. Andere meertraps RO-configuraties zijn erop gericht om zoveel mogelijk permeaat af te scheiden ([www.lennotech.nl](http://www.lennotech.nl)).

**3.3 Voorbehandeling**

Vaste delen en organische stof dienen vóór 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 scheidingstechnieken toegepast. Dit zijn technieken als ultrafiltratie (UF), flotatie (of *dissolved air flotation*), waarbij kleine luchtbelletjes van onderaf door de dunne mest worden geblazen die organisch materiaal meesleuren in een drijfslag die van het vloeistoppervlak kan worden afgeschrapt, lagedrukmembraanfiltratie en toepassing van doeken- of papierfilters met zeer kleine poriën. Het doel is in alle gevallen om de dunne mestfractie zoveel mogelijk te ontdoen van vaste delen en organische stof.

Om het effect van deze technieken te verhogen, worden vaak (niet bij UF) chemische hulpstoffen gebruikt, te weten coagulanten en flocculanten, ook wel vlokmiddelen genaamd. Deze zijn in vloeibare en vaste (poeder) vorm verkrijgbaar. Beide moeten met water aangemaakt worden. Het doel van het gebruik van vlokmiddelen is om zoveel mogelijk gesuspendeerd en zwevend materiaal af te scheiden uit de dunne mestfractie.

Zwevende deeltjes zijn veelal negatief geladen. Door deze lading stoten ze elkaar af en kunnen ze niet samenklonteren en bezinken. Wanneer positief geladen deeltjes worden toegevoegd (coagulanten zoals ijzer- of aluminiumzouten) wordt de lading van de zwevende deeltjes geneutraliseerd en kunnen ze kleine zwevende vlokjes vormen. Hoe hoger de dosering van het coagulant, hoe meer deeltjes samenklonteren en bezinken. Het toevoegen van metaalzouten heeft echter ongewenste bijeffecten, zoals verhoogde gehalten van chloride- en sulfaationen of zware metalen die als micro-verontreiniging aanwezig kunnen zijn. Daarom wordt een deel van de metaalzouten vaak vervangen door organische flocculanten of polymeren, zoals bijvoorbeeld polyacrylamide. Deze flocculanten zorgen ervoor dat de kleine vlokjes beter samenklonteren en bezinken (Doude van Troostwijk, 2002). Bij de drinkwaterbereiding en bij de zuivering van afvalwater en dunne mestfractie wordt vaak een combinatie van coagulant en flocculant gebruikt om een optimaal resultaat te krijgen.



## 4 Beschrijving van de pilots

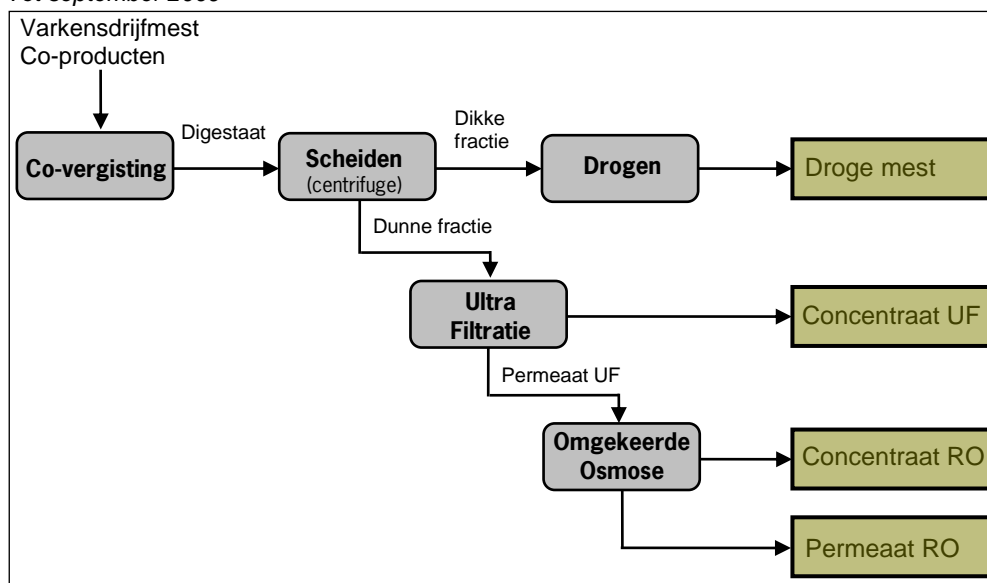
In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de mestverwerkingsinstallaties van de deelnemende pilotbedrijven. Aan het eind van het hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken (Tabel 18).

### 4.1 Bedrijf A

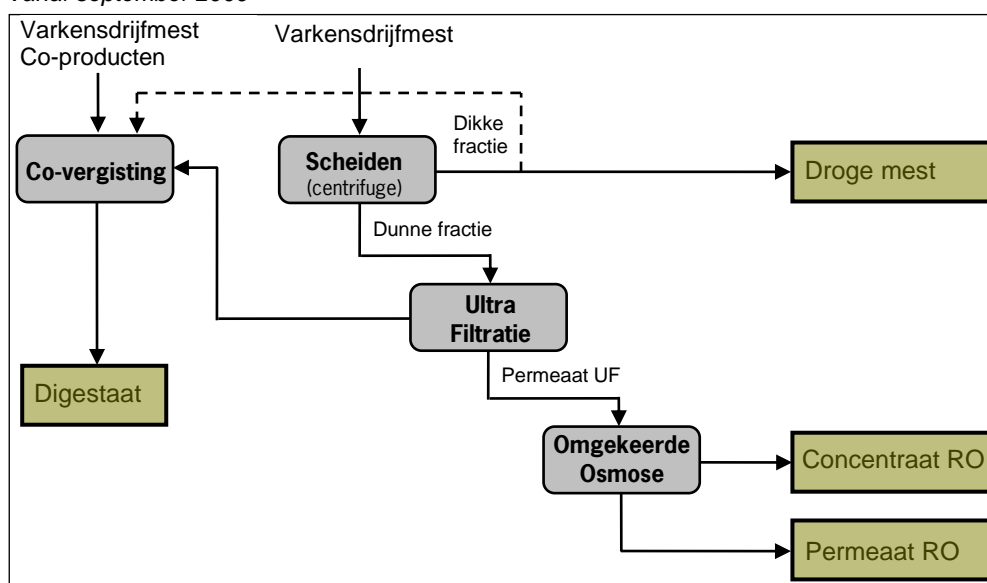
Het processchema van Bedrijf A is weergegeven in Figuur 4.

Het verwerkingsproces werd in augustus 2009 gewijzigd, waarbij de vergisting is losgekoppeld van de verdere verwerking in de zin dat geen digestaat maar uitsluitend varkensdrijfmest werd verwerkt. Een deel van de dikke fractie en het concentraat uit de ultrafiltratie werden samen met co-producten vergist.

*Tot september 2009*



*Vanaf september 2009*



**Figuur 4** Processchema van Bedrijf A tot en vanaf september 2009

*Het verwerkingsproces*

Bedrijf A verwerkte vanaf eind 2008 mest van 40 varkenshouders, aangevuld met pluimveemest en co-producten. Mest en co-producten werden mesofiel vergist. Het geproduceerde biogas werd in een WKK-installatie omgezet in elektrische en thermische energie. Het digestaat werd in drie processtappen verder verwerkt middels:

1. Scheiden
2. Ultrafiltratie
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van het digestaat in een dikke en een dunne fractie vond plaats door middel van een centrifuge (AlfaLaval, ALTEC C2-60) onder toevoegen van een vlokmiddel (Breustedt Chemie, Synthofloc 1755; dosering 0,3 kg/m<sup>3</sup> mest).

In 2009 werd een poging gedaan om de dikke fractie te drogen in een 2-fase drooginstallatie. In de eerste droogfase werd een warmtevizel toegepast, die resulteerde in een tussenproduct met een ds-gehalte van 400-500 g/kg. De tweede droogfase bestond uit een combinatie van een banddroger en een wervelbeddroger, met als eindproduct een stabiele organische meststof met een ds-gehalte van 850-900 g/kg. De benodigde thermische energie voor het droogproces werd geleverd door de WKK-installatie. De drooginstallatie heeft door technische problemen slechts incidenteel gewerkt, waarbij totaal ca. 100 ton droog product met een ds-gehalte van ca. 800 g/kg werd geproduceerd. De drooginstallatie werd in augustus 2009 buiten gebruik gesteld.

De dunne fractie uit de centrifuge werd over een zeefbocht (1 mm) gepompt, ging door een buidelfilter (60 µm) en onderging vervolgens ultrafiltratie. De UF unit was uitgerust met keramische membranen (0,1 µm), waarmee het resterende niet-opgeloste materiaal en grotere organische moleculen werden verwijderd. Het verwijderde materiaal kwam terecht in het UF concentraat dat als eindproduct in een silo werd opgeslagen en van daaruit werd afgevoerd. Het UF permeaat bevat idealiter uitsluitend opgeloste deeltjes, voornamelijk zouten.

De laatste verwerkingsstap bestond uit behandeling van het UF permeaat middels omgekeerde osmose (reverse osmosis). Hierbij werden spiraalgewonden polyamide membranen (0,1 nm) toegepast. Deze membranen houden zouten en kleine organische moleculen tegen die in het RO concentraat terecht komen. Het mineralenconcentraat werd als eindproduct in een silo opgeslagen en van daaruit afgevoerd. Daarnaast resteerde als eindproduct een RO permeaat, water dat op het riool werd geloosd.

*RO installatie*

Configuratie	3 traps
Bedrijfsvoering	continu ( <i>cross-flow</i> )
Fabrikaat/type membraan	Toray, 8" TM 820-370
Aantal membranen	28
Totale membraanoppervlak	896 m <sup>2</sup>
Capaciteit	12 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	40 bar

De UF en RO installaties werden twee maal per etmaal gedurende 4 uur gereinigd. Dit gebeurde door de membranen afwisselend met natronloog (32% oplossing) en salpeterzuur (38% oplossing) te behandelen en door te spoelen met water. De dagelijks gebruikte hoeveelheden zuur en loog zijn vermeld in Tabel 3.

**Tabel 3** Gebruikte hoeveelheid zuur en loog voor het reinigen van de UF- en RO-membranen van Bedrijf A (l per ingaande m<sup>3</sup> mest).

	Ultrafiltratie		Omgekeerde osmose	
	NaOH	HNO <sub>3</sub>	NaOH	HNO <sub>3</sub>
Tot september 2009	0,02	0,01	0,04	0,02
Vanaf september 2009	0,015	0,005	0,03	0,01



Vanaf september 2009 kon bij het reinigen van de UF en RO membranen met minder zuur en loog worden volstaan omdat vanaf dat moment met een 'schonere' dunne fractie werd gewerkt. Vanaf dat moment werd gebruik gemaakt van een Piralisi centrifuge en werd onbehandelde mest verwerkt in plaats van digestaat.

#### *Input en output*

De door het bedrijf bij aanvang van het project opgegeven hoeveelheden grondstoffen en eindproducten zijn gegeven in Tabel 4. Tijdens het verwerkingsproces toegevoegde hoeveelheden leidingwater worden in de tabel niet vermeld.

**Tabel 4** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf A (in ton)

Grondstoffen		Eindproducten	
Varkensdrijfmest	50.000	Droog product	2.700
Pluimvedrijfmest	5.000	Concentraat UF	10.000
Energiemaïs	7.500	Concentraat RO	12.000
Co-producten	5.000	Permeaat RO	35.300
		Biogas	7.500

De aanvoer van mest en energiemaïs lag vast op basis van leveringscontracten met bij de coöperatie aangesloten veehouders. De co-producten bestonden naast energiemaïs uit diverse organische reststromen, zoals glycerine, bollenresten, gerstekaf, cacaochilfers, sinaasappelschillen en restproducten uit de voedselindustrie, die op de vrije markt werden betrokken. Van de aangevoerde 67.500 ton biomassa resteerde na vergisting ca. 60.000 ton digestaat. Het op het riool te lozen water bestond uit een aantal deelstromen: permeaat van de RO, water dat vrijkwam bij drogen van de dikke fractie en reinigingswater van de RO (150 ton). Spuiwater van de luchtzuivering (150 ton) werd apart afgevoerd.

#### *Covergisting*

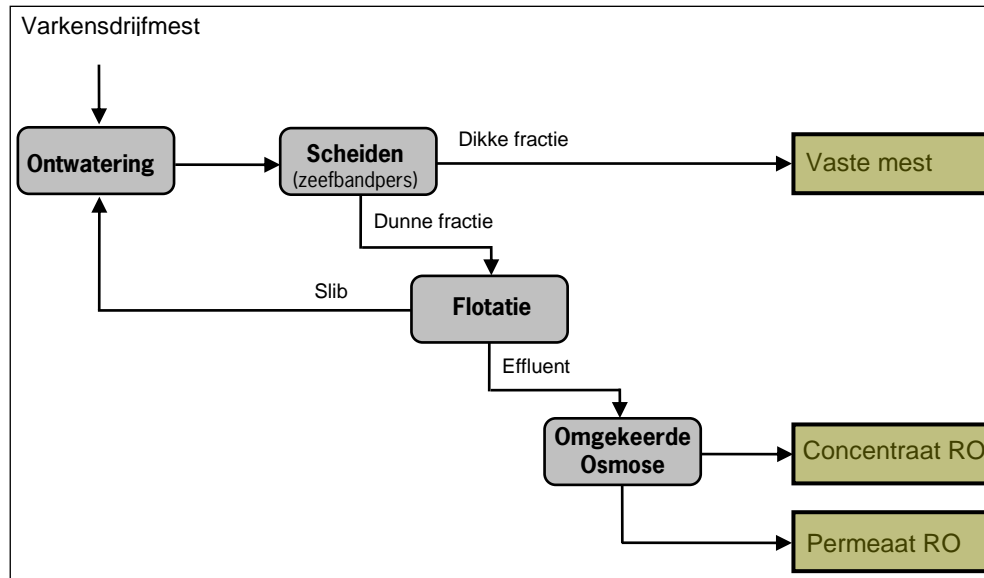
Het procesmanagement was gericht op een optimaal vergistingsproces en een maximaal financieel rendement. Optimalisatiemaatregelen betroffen in de eerste plaats de voeding van de vergister, waarover regelmatig intern overleg werd gevoerd. Het menu (mengsel van mest en co-producten) werd zo nodig aangepast, mede afhankelijk van kwaliteit, beschikbaarheid en inkoop prijs van de co-producten. Nu en dan werd glycerine aan het menu toegevoegd om in korte tijd de gasproductie op te krikken. De prijs van glycerine is in de afgelopen paar jaar echter fors toegenomen, zodat op dit moment de inkoopkosten nauwelijks opwegen tegen de extra opbrengsten. Om het H<sub>2</sub>S-gehalte van het biogas te verlagen, werden soms ijzorzouten toegevoegd. In de loop van 2009 is het aandeel ruwe mest in de voeding van de vergister afgenomen. Vanaf september 2009 werd UF concentraat en dikke fractie van verse drijfmest als substraat gebruikt.

#### *Aanpassingen*

Tijdens de periode van monitoring werden diverse technische aanpassingen aan de verwerkingsinstallatie doorgevoerd. De belangrijkste betroffen de centrifuge en de wervelbeddroger. Deze onderdelen hebben meerdere perioden niet of onvoldoende gefunctioneerd. Voorjaar 2009 is vroegtijdige revisie van de centrifuge noodzakelijk geweest als gevolg van bovenmatige slijtage, die waarschijnlijk werd veroorzaakt door aanwezigheid van verontreinigingen (zand) en mogelijk struviet in het digestaat. In augustus 2009 is de Alfa Laval centrifuge vervangen door een centrifuge van Piralisi. Met de nieuwe centrifuge wordt geen digestaat maar uitsluitend ruwe mest gescheiden.

## 4.2 Bedrijf B

Het processchema van Bedrijf B is weergegeven in Figuur 5.



**Figuur 5** Processchema van Bedrijf B

### Het verwerkingsproces

Bedrijf B verwerkte 50.000 ton varkensdrijfmest per jaar. De mest was afkomstig van een coöperatie van ca. 40 zeugen- en vleesvarkenshouders. De verwerking bestond uit de volgende hoofdprocessen:

1. Scheiden (2 fasen)
2. Flotatie
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van de varkensdrijfmest in een dikke en dunne fractie gebeurde in twee fasen. In de eerste fase werd water aan de ruwe mest onttrokken door de mest over een ontwateringstafel te pompen nadat vlokmiddelen (ijzersulfaat en polymeer), een antischuimmiddel en zwavelzuur (later ammoniumsulfaat) als hulpstoffen waren toegevoegd. De ontwateringstafel bevatte een zeefbed met poriën van ca. 0,1 mm. Er ontstaat een slib en een effluent. In de tweede scheidingsfase wordt het slib verder ontwaterd middels een zeefbandpers tot een dikke fractie (270-280 g/kg droge stof) die als een vaste meststof wordt afgezet. Tabel 5 vermeldt de gebruikte hulpstoffen en doseringen.

**Tabel 5** Gebruikte hulpstoffen bij de mestverwerking van Bedrijf B

	Dosering
IJzer(III)sulfaat (42%) <sup>*</sup>	6 - 7 l/m <sup>3</sup> mest
Polymeer (Breustedt Chemie, Synthofloc, serie 5001 tot 5899)	0,125 kg/m <sup>3</sup> mest
Zwavelzuur (37%)	8,0 l/m <sup>3</sup> mest <sup>**</sup>
Verdund ammoniumsulfaat (25-50 g N/kg)	38 l/m <sup>3</sup> mest <sup>***</sup>
Antischuimmiddel (Breustedt Chemie, Defoamer BC-1)	0,04 kg/m <sup>3</sup> mest

<sup>\*</sup> Tot juni 2009 werd ijzer(III)chloride gebruikt, maar dit resulteerde in ongewenst hoge chloorgehalten in het mineralenconcentraat.

<sup>\*\*</sup> Dosering vanaf juni 2009, daarvoor 3,5 l/ton mest

<sup>\*\*\*</sup> Vanaf juni 2009

De dunne fractie van de zeefbandpers en het effluent van het zeefbed werden bewerkt door toepassing van flotatie (dissolved air flotation). Voordat deze bewerking plaats vond werd wederom een geringe hoeveelheid vlokmiddelen toegevoegd en werd de mestvloeistof verzadigd met lucht. De lucht werd onder verhoogde druk (8 bar) ingebracht via geperforeerde pijpjes. De in de flotatie-unit gevormde drijfslag werd met een schraper van het vloeistofoppervlak verwijderd en teruggevoerd naar de ontwateringstafel.

De laatste verwerkingsstap bestond uit behandeling van het effluent uit de flotatie-unit middels omgekeerde osmose. Alvorens het effluent de RO-installatie ingevoerd werd werd het gefilterd over een papierfilter (10 µm). Het permeaat uit de RO werd nagezuiverd in een ionenwisselaar en vervolgens geloosd op het oppervlaktewater.

*RO installatie*

Configuratie	3 traps
Bedrijfsvoering	continu ( <i>cross-flow</i> )
Type membraan	spiraalgewonden polyamide
Fabriek	Hydranautics SWC
Aantal membranen	48
Totale membraanoppervlak	1728 m <sup>2</sup>
Capaciteit	17 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	40 bar

De RO membranen werden dagelijks met zuur en eens per 3 à 4 dagen met loog gereinigd. Het reinigingsproces duurde 8 uur per dag. De hoeveelheden zuur en loog die hierbij werden gebruikt zijn vermeld in Tabel 6.

**Tabel 6** Gebruikte hoeveelheden zuur en loog voor reiniging van de RO-membranen van Bedrijf B (l per m<sup>3</sup> ingaande mest).

Zwavelzuur (37%)	0,50
Natronloog (32%)	0,25

Een belangrijke verandering in de bedrijfsvoering betrof het vervangen van ijzer(III)chloride (FeCl<sub>3</sub>) door ijzersulfaat (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) als vlokmiddel bij het scheidingsproces in maart 2009. Het chloorgehalte in de dunne fractie en in het concentraat RO werd hierdoor met ongeveer een factor 5 gereduceerd.

Van mei tot 2010 werd verdund ammoniumsulfaat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) als hulpstof aan de ruwe mest toegevoegd ter vervanging van zwavelzuur. Het gebruikte ammoniumsulfaat betrof spuiwater van chemische luchtwassers afkomstig van omringende varkensbedrijven. Door het gebruik van ammoniumsulfaat daalde de dosering van zwavelzuur met 56% van 8 l tot 3,5 l per ton mest.

*Input en output*

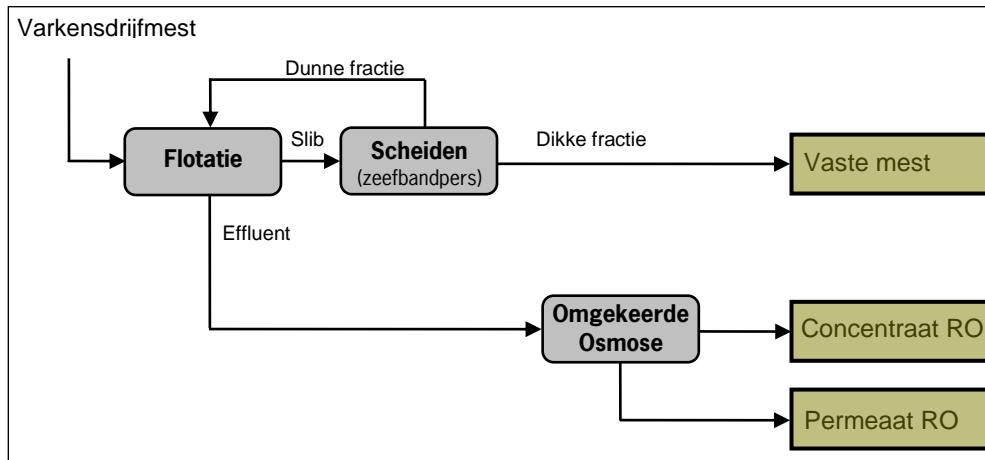
De door het bedrijf opgegeven jaarlijkse hoeveelheid grondstoffen en eindproducten zijn gegeven in Tabel 7.

**Tabel 7** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf B

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Varkensdrijfmest	50.000	Dikke fractie	10.000
		Concentraat RO	12.500
		Permeaat RO	27.500

### 4.3 Bedrijf C

Het processchema van Bedrijf C is weergegeven in Figuur 6.



**Figuur 6** Processchema van Bedrijf C

#### *Het verwerkingsproces*

Bedrijf C was een mestdistributiebedrijf dat jaarlijks 25.000 ton varkensdrijfmest verwerkte. De mest was afkomstig van ca. 20 veehouderijbedrijven. De mest bestond voor 60% uit vleesvarkensmest en 40% uit zeugenmest. De verwerking kende de volgende processen:

1. Flotatie
2. Scheiden
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van de mest in een dikke en dunne fractie gebeurde door middel van twee bewerkingen, (1) flotatie en (2) mechanische scheiding middels een zeefbandpers. Aan de inkomende mest werd een polymeer als vlokmiddel (Breustedt Chemie, Floc EM 1750; dosering 0,25 kg/ton mest) toegevoegd, waarna flotatie plaats vond. De gevormde drijfslag werd afgeschraapt en vervolgens met een zeefbandpers ontwaterd. De dikke fractie werd als een vaste meststof afgezet. De dunne fractie van de zeefbandpers werd teruggevoerd naar de flotatie-unit.

De dunne fractie (effluent) van de flotatie-unit werd gefilterd (kaarsenfilter, 10 µm) en vervolgens middels omgekeerde osmose verder behandeld. Het RO-permeaat werd geloosd op het riool.

#### *RO installatie*

Configuratie	3 traps
Bedrijfsvoering	continu ( <i>cross-flow</i> )
Type membraan	spiraalgewonden polyamide
Fabriek	Hydranautics SWC
Aantal membranen	18
Totale membraanoppervlak	648 m <sup>2</sup>
Capaciteit	6 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	40 bar

De RO membranen werden dagelijks om de 8 uur gereinigd gedurende 1,5 uur en om de 32 uur gedurende 3 uur. Hierbij werden zwavelzuur en natronloog gebruikt, waarvan de hoeveelheden zijn vermeld in Tabel 8.

**Tabel 8** Gebruikte hoeveelheden zuur en loog voor reiniging van de RO-membranen van Bedrijf C (l per m<sup>3</sup> ingaande mest).

Zwavelzuur (44%)	0,03
Natronloog (32%)	0,08

*Input en output*

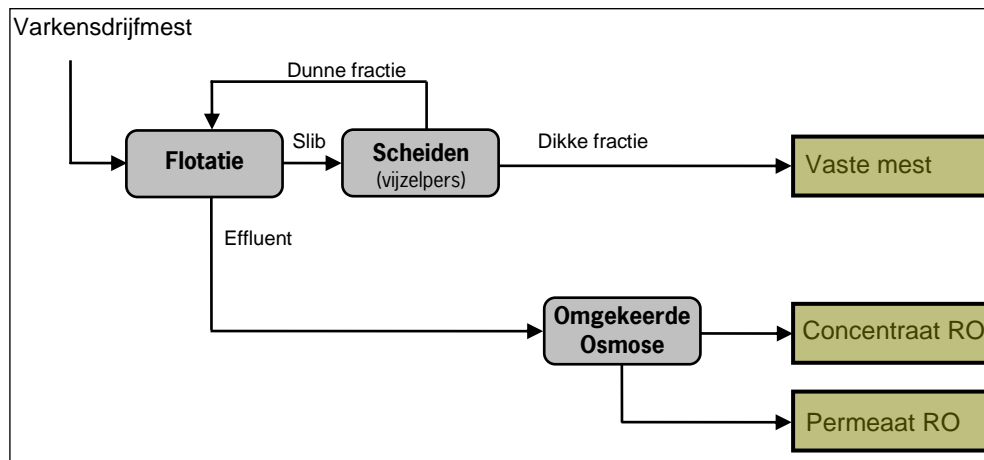
De door het bedrijf opgegeven hoeveelheden grondstoffen en geproduceerde eindproducten zijn gegeven in Tabel 9.

**Tabel 9** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf C

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Varkensdrijfmest	25.000	Dikke fractie	5.000
		Concentraat RO	8.000
		Permeaat RO	12.000

#### 4.4 Bedrijf D

Het processchema van Bedrijf D is weergegeven in Figuur 7.



**Figuur 7** Processchema van Bedrijf D

##### *Het verwerkingsproces*

Bedrijf D was een varkenshouderijbedrijf dat 10.000 ton varkensdrijfmest per jaar verwerkte van het eigen bedrijf. De mest bestond uit vleesvarkensmest (20%) en zeugenmest (80%). De verwerking bestond uit de volgende processen:

1. Flotatie
2. Scheiden
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van de mest in een dikke en dunne fractie vond plaats door middel van flotatie en een vijzelpers (Smicon). Aan de inkomende mest werd het vlokmiddel Nalco CE 45031 (0,45 kg/ton mest) toegevoegd. Het flotatieslib werd in de vijzelpers ontwaterd. De dikke fractie werd als een vaste meststof afgezet. De dunne fractie van de vijzelpers wordt teruggevoerd naar de flotatie-unit.

De dunne fractie (effluent) van de flotatie-unit ging via een lage druk membraan filter (10 µm) naar de omgekeerde osmose installatie. In 2010 werd een papierfilter geplaatst tussen de flotatie en het lage druk membraan filter. Het permeaat uit de RO vond toepassing op het eigen bedrijf.

##### *RO installatie*

Configuratie	2 traps
Bedrijfsvoering	batch ( <i>dead-end</i> )
Type membraan	spiraalgewonden polyamide
Fabriek	Hydranautics SWC
Aantal membranen	6
Totale membraanoppervlak	216 m <sup>2</sup>
Capaciteit	2 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	50 bar

De RO-membranen werden dagelijks gereinigd gedurende 3 uur. Hierbij werden zoutzuur (HCl) en natronloog gebruikt. Eens per 3 weken vond een intensievere reiniging plaats, waarbij naast zoutzuur en natronloog ook citroenzuur (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) werd gebruikt. De verbruikte hoeveelheden reinigingsmiddelen zijn vermeld in Tabel 10.

**Tabel 10** Gebruikte hoeveelheden zuur en loog voor reiniging van de RO-membranen van Bedrijf D (l per m<sup>3</sup> ingaande mest).

Zoutzuur (30%)	0,03
Natronloog (32%)	0,03
Citroenzuur	0,005

*Input en output*

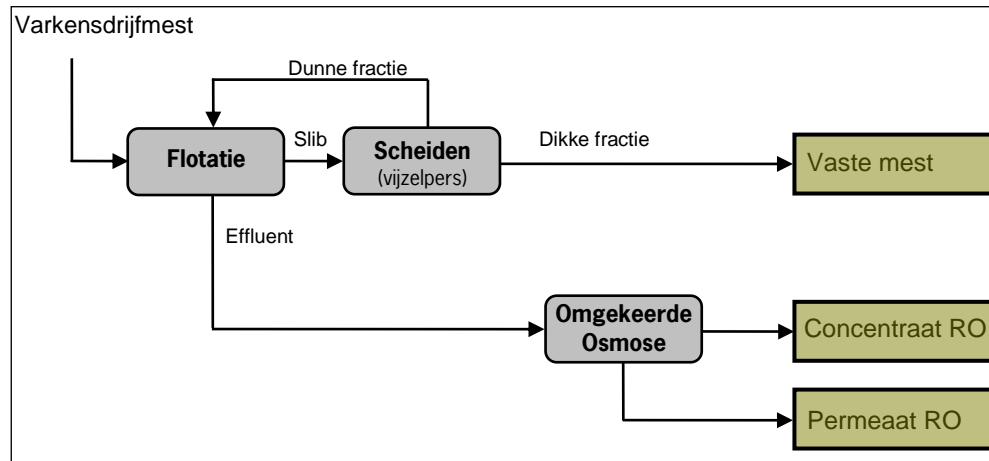
De door het bedrijf opgegeven jaarlijks verwerkte hoeveelheden grondstoffen en geproduceerde eindproducten zijn gegeven in Tabel 11.

**Tabel 11** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf D

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Varkensdrijfmest	10.000	Dikke fractie	1.500
		Concentraat RO	4.000
		Permeaat RO	4.500

## 4.5 Bedrijf E

Het processchema van Bedrijf E is weergegeven in Figuur 8.



**Figuur 8** Processchema van Bedrijf E

### Het verwerkingsproces

Bedrijf E was een varkenshouderijbedrijf dat 5.000 ton varkensdrijfmest per jaar verwerkte van het eigen bedrijf. De mest bestond uit vleesvarkens- en zeugenmest (1:1). De verwerking gebeurde middels de volgende processen:

1. Flotatie
2. Scheiden
3. Omgekeerde osmose

Het verwerkingsproces van Bedrijf E was identiek aan dat van Bedrijf D. Ook op dit bedrijf werd flotatie toegepast en werd gebruik gemaakt van een Smicon vijzelpers en werd het vlokmiddel Nalco CE 45031 in een dosering 0,45 kg/ton aan de inkomende mest toegevoegd. Het effluent van de flotatie-unit ging via een lage druk membraan filter naar de omgekeerde osmose installatie. Het permeaat uit de RO vond toepassing op het eigen bedrijf.

### RO installatie

Configuratie	2 traps
Bedrijfsvoering	batch ( <i>dead-end</i> )
Type membraan	spiraalgewonden polyamide
Fabriek membraan	Hydranautics SWC
Aantal membranen	6
Totale membraanoppervlak	216 m <sup>2</sup>
Capaciteit	2 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	50 bar

De RO membranen worden dagelijks gereinigd gedurende 4 uur. Hierbij wordt zwavelzuur, citroenzuur en natronloog gebruikt; de hoeveelheden zijn vermeld in Tabel 12.

**Tabel 12** Gebruikte hoeveelheden zuur en loog voor reiniging van de RO-membranen van Bedrijf E (l per m<sup>3</sup> ingaande mest).

Zwavelzuur (44%)	0,03
Natronloog (32%)	0,03
Citroenzuur	0,005



*Input en output*

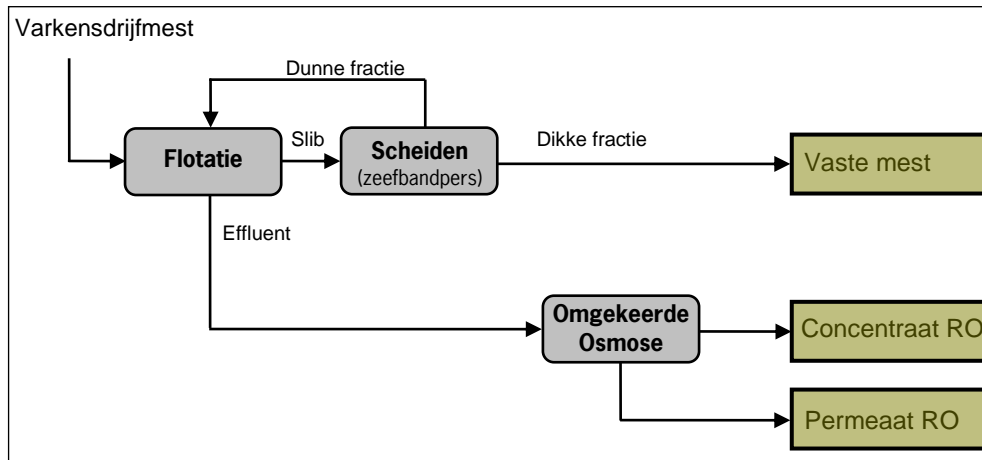
De door het bedrijf opgegeven jaarlijks verwerkte hoeveelheden grondstoffen en geproduceerde eindproducten zijn gegeven in Tabel 13.

**Tabel 13** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf E

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Varkensdrijfmest	5.000	Dikke fractie	750
		Concentraat RO	2.000
		Permeaat RO	2.250

## 4.6 Bedrijf F

Het processchema van Bedrijf F is weergegeven in Figuur 9.



**Figuur 9** Processchema van Bedrijf F

### Het verwerkingsproces

Bedrijf F is een mestdistributie- en verwerkingsbedrijf dat 25.000 ton varkensdrijfmest per jaar verwerkt. De mest is afkomstig van ca. 50 veehouderijbedrijven en bestaat voor 90% uit vleesvarkensmest en voor 10% uit zeugenmest. De verwerking bestaat uit de volgende processen:

1. Flotatie
2. Scheiden
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van de mest in een dikke en dunne fractie vindt plaats door middel van flotatie en een zeefbandpers. Aan de inkomende mest wordt een polymeer in de vorm van een polyacrylamide (Breustedt Chemie, Floc EM 1750) als vlokmiddel toegevoegd; dosering 0,4 kg/m<sup>3</sup> mest.

De dunne fractie van de flotatie-unit verblijft 70 uur in een opslagsilo en gaat vervolgens naar de RO-installatie. Het RO-concentraat wordt als eindproduct in een silo opgeslagen en van daaruit afgevoerd. Het permeaat uit de RO wordt geloosd op het riool.

### RO installatie

Configuratie	3 traps
Bedrijfsvoering	continu ( <i>cross-flow</i> )
Fabrikaat/type membraan	Toray, 8" TM 820-370
Aantal membranen	21
Totale membraanoppervlak	672 m <sup>2</sup>
Capaciteit	10 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	45 bar

De RO membranen worden eens per 31 uur gedurende 7 uur gereinigd. Hierbij wordt salpeterzuur en natronloog gebruikt; de hoeveelheden zijn vermeld in Tabel 14.

**Tabel 14** Gebruikte hoeveelheden zuur en loog voor reiniging van de RO-membranen van Bedrijf F (l per m<sup>3</sup> ingaande mest).

Salpeterzuur (31%)	0,025
Natronloog (32%)	0,05

*Input en output*

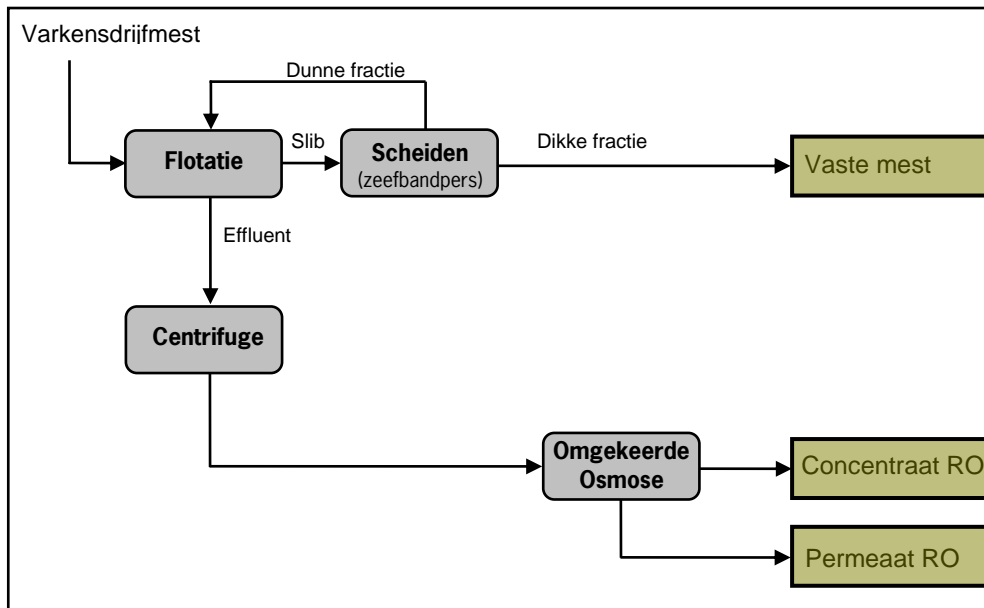
De door het bedrijf opgegeven jaarlijks verwerkte hoeveelheden grondstoffen en geproduceerde eindproducten zijn gegeven in Tabel 15.

**Tabel 15** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf F

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Varkensdrijfmest	25.000	Dikke fractie	3.750
		Concentraat RO	7.500
		Permeaat RO	13.750

## 4.7 Bedrijf G

Het processchema van Bedrijf G is weergegeven in Figuur 10.



**Figuur 10** Processchema van Bedrijf G

### Het verwerkingsproces

Bedrijf G betref een varkenshouderijbedrijf dat 10.000 ton varkensdrijfmest per jaar verwerkte. Een klein deel van de verwerkte mest was afkomstig van naburige veehouderijbedrijven. De verwerking bestond uit de volgende processen:

1. Flotatie
2. Scheiden
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van de mest in een dikke en dunne fractie vond plaats door middel van flotatie en ontwatering van het flotatieslib met een zeefbandpers. Aan de inkomende mest werd het vlokmiddel Nalco CE 45031 toegevoegd in een dosering van 0,3 kg/ton mest.

Het effluent van de flotatie-unit werd ontdaan van zwevende deeltjes door middel van een schijfcentrifuge en ging vervolgens naar de RO-installatie. De kleine hoeveelheid (enkel kilogrammen per dag) afgescheiden materiaal werd bij de drijfmest gevoegd. Het RO-permeaat werd geloosd op het riool.

### RO installatie

Configuratie	1 traps
Bedrijfsvoering	continu ( <i>cross-flow</i> )
Type membraan	spiraalgewonden polyamide
Fabriek membraan	Hydranautics SWC
Aantal membranen	5
Totale membraanoppervlak	180 m <sup>2</sup>
Capaciteit	1,8 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	60 bar

In de testfase werden de RO-membranen één maal per 4 dagen met zwavelzuur (96%) gereinigd en daarnaast één maal per 14 dagen met natriumloog parels (99%) opgelost in water.

*Input en output*

De door het bedrijf opgegeven jaarlijks verwerkte hoeveelheden grondstoffen en geproduceerde eindproducten zijn gegeven in Tabel 16.

**Tabel 16** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf G

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Varkensdrijfmest	10.000	Dikke fractie	1.500
		Concentraat RO	2.500
		Permeaat RO	6.000

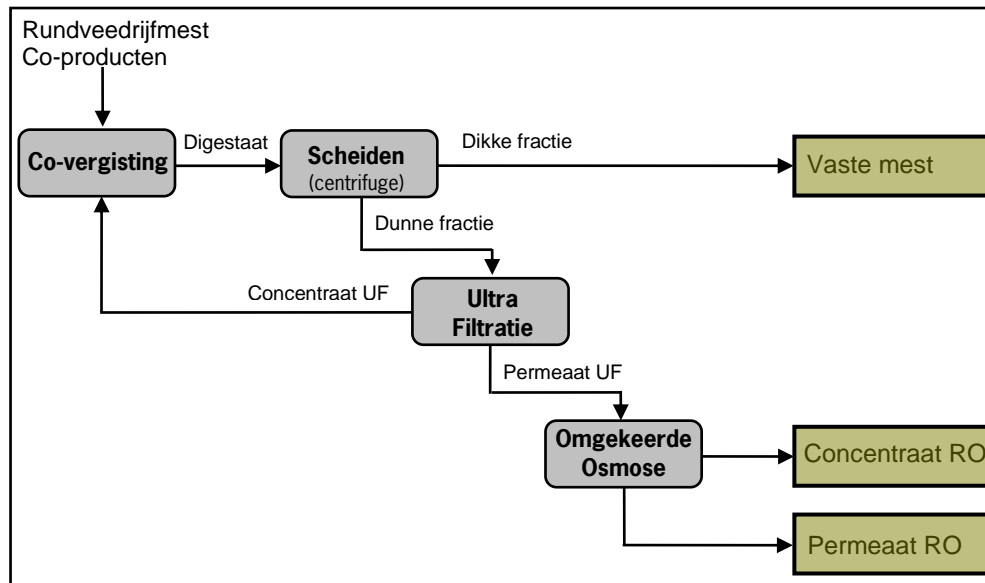
*Bijzonderheden*

Startdatum: september 2009

Einddatum: december 2009

## 4.8 Bedrijf H

Het processchema van Bedrijf H is weergegeven in Figuur 11.



**Figuur 11** Processchema van Bedrijf H

### *Het verwerkingsproces*

Bedrijf H betrof een rundveebedrijf met 130 stuks melkvee en bijbehorend jongvee. De mest van het eigen bedrijf werd samen met een hoeveelheid rundveemest van andere bedrijven en co-producten vergist, totaal ruim 14.000 ton per jaar. Het resterende digestaat werd verder verwerkt waarbij de volgende drie processtappen aan de orde waren:

1. Scheiden
2. Ultrafiltratie
3. Omgekeerde osmose

Scheiding van het digestaat in een dikke en een dunne fractie gebeurde middels een trommelzeef en vervolgens een decanteercentrifuge (Westfalia) onder toevoegen van het vlokmiddel Envitec GWZ in een dosering van  $0,25 \text{ kg/m}^3$  mest. De dikke fractie ging in opslag en wordt als vaste meststof afgezet.

De dunne fractie ging naar de UF-installatie nadat zwavelzuur (44%) was toegevoegd. De UF-installatie was uitgerust met keramische tubulaire membranen, waarmee het resterende niet-opgeloste materiaal en grotere organische moleculen werden verwijderd. Het UF-concentraat werd als meststof op het eigen bedrijf aangewend.

De laatste verwerkingsstap bestond uit behandeling van het UF-permeaat middels omgekeerde osmose. De RO behandeling vond plaats in een 2-fasen proces, waarbij in de eerste fase een hoge druk membraan en in de tweede fase een lage druk membraan werd toegepast. Het RO-concentraat werd als eindproduct in een silo opgeslagen en van daaruit afgevoerd. Daarnaast resteerde als eindproduct een RO-permeaat dat op het oppervlaktewater werd geloosd.

*RO installatie*

Configuratie	2 fasen
Bedrijfsvoering	continu (cross-flow)
Type membraan	1 <sup>ste</sup> fase: Filmtec SW 30-4040 2 <sup>de</sup> fase: Filmtec BW 30-4040
Aantal membranen	21 (fase 1) + 18 (fase 2)
Totale membraanoppervlak	285 m <sup>2</sup>
Capaciteit	2 m <sup>3</sup> /uur
Werkdruk	60 bar

In de testfase werden de RO-membranen één maal per week gedurende 85 min met azijnzuur en natronloog gereinigd, waarbij per spoeling van elk 5 l werd gebruikt.

*Input en output*

De door het bedrijf opgegeven jaarlijks verwerkte hoeveelheden grondstoffen en geproduceerde eindproducten zijn gegeven in Tabel 17.

**Tabel 17** Jaarlijkse hoeveelheden grondstoffen en eindproducten van Bedrijf H

Grondstoffen	ton	Eindproducten	ton
Rundveedrijfmest	8.000	Dikke fractie	2.000
Snijmais	3.500	Concentraat RO	4.000
Graan	1.500	Permeaat RO	7.000
Bietenpunten	1.000	Biogas	1.200
Graskuil	200		

*Bijzonderheden*

Gedurende de monitoringsperiode is op Bedrijf H slechts enkele korte perioden sprake geweest van een stabiel verwerkingsproces als gevolg van diverse technische problemen, met name betreffende de vergistingsinstallatie en de mechanische scheiding van het digestaat. Van dit bedrijf kon slechts een beperkte hoeveelheid meetresultaten worden verzameld, waarvan niet geheel zeker is welke procesomstandigheden eraan gekoppeld moeten worden.

**Tabel 18** Bedrijfsgegevens van deelnemers aan pilots mineralenconcentraat

	Grondstoffen	Verwerkings-Capaciteit* (ton/jaar)	Toegepaste technieken productieproces				Eindproducten	
			Voorbehandeling	Mechanische scheiding	Behandeling vaste fractie	Behandeling vloeibare fractie		Omgekeerde osmose
Bedrijf A	Varkensdrijfmest Pluimveedrijfmest Snijmais Co-producten	67.500	Co-vergisting mesofiel (38-40°C) retentietijd 60 d	Centrifuge AlfaLaval, Aldec G2-60	Tot september 2009: Warmtevizel + Wervelbedroger	Ultra filtratie Keramische membr.	Toray, 8" TM 820-370 Opp.: 896 m <sup>2</sup> Cap.: 12 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 40 bar	Droge / vaste mest Digestaat Concentraat UF Concentraat RO Permeaat RO (riool)
Bedrijf B	Varkensdrijfmest	50.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 1728 m <sup>2</sup> Cap.: 17 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (opp. water)
Bedrijf C	Varkensdrijfmest	25.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 648 m <sup>2</sup> Cap.: 6 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (riool)
Bedrijf D	Varkensdrijfmest	10.000	nvt	Vijzelpers Smicon	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 216 m <sup>2</sup> Cap.: 2 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (in eigen bedrijf)
Bedrijf E	Varkensdrijfmest	5.000	nvt	Vijzelpers Smicon	nvt	Flotatie	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 216 m <sup>2</sup> Cap.: 2 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (in eigen bedrijf)
Bedrijf F	Varkensdrijfmest	25.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie	Toray, 8" TM 820-370 Opp.: 672 m <sup>2</sup> Cap.: 10 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 45 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (riool)
Bedrijf G	Varkensdrijfmest	10.000	nvt	Zeefbandpers	nvt	Flotatie Centrifuge	Hydranautics SWC 4+ Opp.: 180 m <sup>2</sup> Cap.: 1,8 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 40 bar	Vaste mest Concentraat RO Permeaat RO (riool)
Bedrijf H	Rundveedrijfmest Snijmais Co-producten	15.000	Co-vergisting mesofiel (38-40°C) retentietijd 33 d	Centrifuge Westfalia CE 205	nvt	Ultra filtratie Keramische membr.	FilmTec SW 30-4040 FilmTec BW 30-4040 Opp.: 285 m <sup>2</sup> Cap.: 2 m <sup>3</sup> /h Werkdruk: 60 bar	Vaste mest Concentraat UF Concentraat RO Permeaat RO (opp. water)

\* Door bedrijf opgegeven in aanmeldingsdocument voor deelname aan project



## 5 Resultaten

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de meetresultaten over 2009 en 2010 van 7 van de 8 verwerkingsinstallaties. Van Bedrijf G, dat slechts enkele maanden in de opstartfase operationeel is geweest, zijn geen representatieve meetgegevens beschikbaar.

Bijlage 1 geeft de meetresultaten van alle gemeten componenten met uitzondering van organische microverontreinigingen. N-NO<sub>3</sub> (nitraat), N-NO<sub>2</sub> (nitriet), As (arseen), Hg (kwik), Pb (lood) en Se (seleen) zijn in de processtromen niet aangetroffen. Alle andere componenten zijn wel aangetroffen.

Bijlage 2 geeft de meetresultaten van de organische microverontreinigingen.

De resultaten worden besproken in relatie tot het technisch functioneren van de verwerkingsinstallaties aan de hand van de gehalten aan droge stof, organische stof en de hoofdelementen stikstof, fosfor en kalium in de verschillende processtromen.

Voor een analyse van de resultaten in relatie tot de landbouwkundige werking en milieukundige effecten bij toediening van de dikke fractie en het RO-concentraat, aan de hand van de gehalten aan hoofdelementen, secundaire nutriënten en zware metalen, wordt verwezen naar Ehlert en Hoeksma (2011). Voor een economische analyse van de productie van mineralenconcentraten wordt verwezen naar De Hoop *et al.* (2011). Voor een veldonderzoek naar de stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland en bij aardappelen wordt verwezen naar Van Middelkoop *et al.* (2011) en Van Geel *et al.* (2011). Voor de resultaten van de LCA-studie wordt verwezen naar De Vries *et al.* (2011).

### 5.1 Samenstelling mineralenconcentraat

#### 5.1.1 Algemeen

Tabel 19 geeft de gemiddelde samenstelling van het RO-concentraat. De gemiddelde samenstelling is gebaseerd op de analyseresultaten van alle monsters die van het concentraat zijn genomen, inclusief de monsters die voor andere deelonderzoeken in het kader van dit project waren bestemd.

**Tabel 19** Gemiddelde, mediaan, standaardafwijking (Stdev) en variatiecoëfficiënt van de gehalten aan droge stof, organische stof, stikstof, ammonium (N-NH<sub>4</sub>), fosfor en kalium in het RO-concentraat van de pilotbedrijven over de hele meetperiode.

	Gemiddelde (g/kg)	Mediaan (g/kg)	Stdev (g/kg)	Var.coëff. <sup>1</sup> (%)	Aantal
Droge stof	36,0	34,5	18,0	51,3	101
Org. stof	15,8	13,8	13,9	88,0	101
N-totaal	7,11	6,89	1,93	27,2	101
N-NH <sub>4</sub>	6,40	6,55	1,79	28,0	101
P	0,19	0,19	0,13	68,3	101
K	7,61	7,61	2,08	27,3	101

<sup>1</sup> Variatie-coëfficiënt = Stdev/Gemiddelde\*100

Tabel 19 laat zien dat het RO-concentraat naast een geringe hoeveelheid organische stof en P voornamelijk N-totaal en K bevatte. N-totaal bestaat grotendeels (90%) uit N-NH<sub>4</sub>. Dit algemene beeld komt overeen met de verwachting dat bij de behandeling van de vloeibare fractie vóór omgekeerde osmose een groot deel van de organische stof en aan vaste deeltjes gebonden fosfor uit de vloeistof worden verwijderd. Idealiter worden deze componenten tijdens de voorbehandeling volledig verwijderd met het oog op vervuiling van het RO-membraan. Voor droge stof, organische stof en N-totaal was de mediaan iets lager dan het gemiddelde. Dit wijst op een asymmetrische verdeling van de gemeten gehalten en een overwicht van monsters met hoge gehalten. Het RO-concentraat kende een grote variatie in de gehalten aan de (niet-opgeloste) componenten droge stof, organische stof en P in vergelijking met die aan N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en K. In paragraaf 5.1.6 en 5.1.7 is onderzocht wat het effect was van de ruwe mest en van de toegepaste voorbehandelingstechniek op de samenstelling van het RO-concentraat.

### 5.1.2 Verschil tussen 2009 en 2010

Tabel 20 vermeldt de samenstelling van het RO-concentraat in 2009 en in 2010. De tabel laat zien dat de gehalten aan droge stof, organische stof, N en K in 2010 gemiddeld hoger waren dan in 2009. Het gehalte aan P was in 2010 iets lager dan in 2009. In 2009 waren de verschillen tussen de mediaan en het gemiddelde gering. In 2010 was de mediaanwaarde van het drogestof- en organischestofgehalte aanzienlijk lager dan het gemiddelde. Dit werd veroorzaakt door enkele metingen met zeer hoge gehalten van deze componenten. Hierin ligt ook de oorzaak van de grote spreiding in droge stof en organische stof in 2010. In 2010 kenden de meeste componenten, behalve P, een grotere variatie dan in 2009. Dit werd mede veroorzaakt door het instappen in 2010 van Bedrijf H in het project. De gemiddelde gehalten van de verschillende componenten waren overigens niet significant verschillend tussen beide jaren.

**Tabel 20** Gemiddelde en standaarddeviatie van de gehalten aan droge stof, organische stof, stikstof, ammonium, fosfor en kalium (in g/kg) in het RO-concentraat van de pilotbedrijven in 2009 en 2010.

	2009			2010		
	Aantal	Gemiddelde	Stdev	Aantal	Gemiddelde	Stdev
Droge stof	59	33,6	9,53	42	39,6	26,6
Org. stof	59	14,0	6,80	42	18,5	20,2
N-totaal	59	6,89	1,84	42	7,43	2,03
N-NH <sub>4</sub>	59	6,17	1,59	42	6,74	2,02
P	59	0,18	0,14	42	0,17	0,12
K	59	7,37	1,43	42	7,97	2,76

### 5.1.3 Variatie tussen bedrijven

Tabel 21 geeft de samenstelling van het RO-concentraat per bedrijf. Deze is gebaseerd op de analyseresultaten van de monsters in het kader van de monitoring, exclusief de monsters voor andere deelonderzoeken. Er bestonden per parameter significante verschillen in samenstelling van het RO-concentraat tussen de bedrijven.

**Tabel 21** Gemiddelde gehalten aan N-totaal, P en K in de RO-concentraten van de pilotbedrijven. Weergegeven zijn de gemiddelde waarden per component (in g/kg). Als er in een kolom geen overeenkomende letters in superscript staan is het verschil in gehalte tussen betreffende bedrijven significant ( $P < 0,05$ ). Resultaat van ongebalanceerde ANOVA per parameter.

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

Het RO-concentraat van Bedrijf H bevatte significant hogere gehalten aan droge stof, organische stof, stikstof en kalium dan de concentraten van de andere bedrijven. Hierbij wordt opgemerkt dat het aantal waarnemingen van Bedrijf H (4) beperkt is ten opzichte van de andere bedrijven. Verder bestonden er tussen de meeste bedrijven significante verschillen in het gehalte aan N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en K.

### 5.1.4 Variatie binnen bedrijven

Tabel 22 vermeldt per pilotbedrijf de gemiddelde samenstelling van het RO-concentraat en de variatie per component. Wegens het belang als stuurparameter voor het productieproces wordt tevens de geleidbaarheid (EC) van het RO-concentraat gegeven. De RO-concentraten toonden in het algemeen een grote variatie in de gehalten aan droge stof, organische stof en fosfor. De gehalten aan totaal

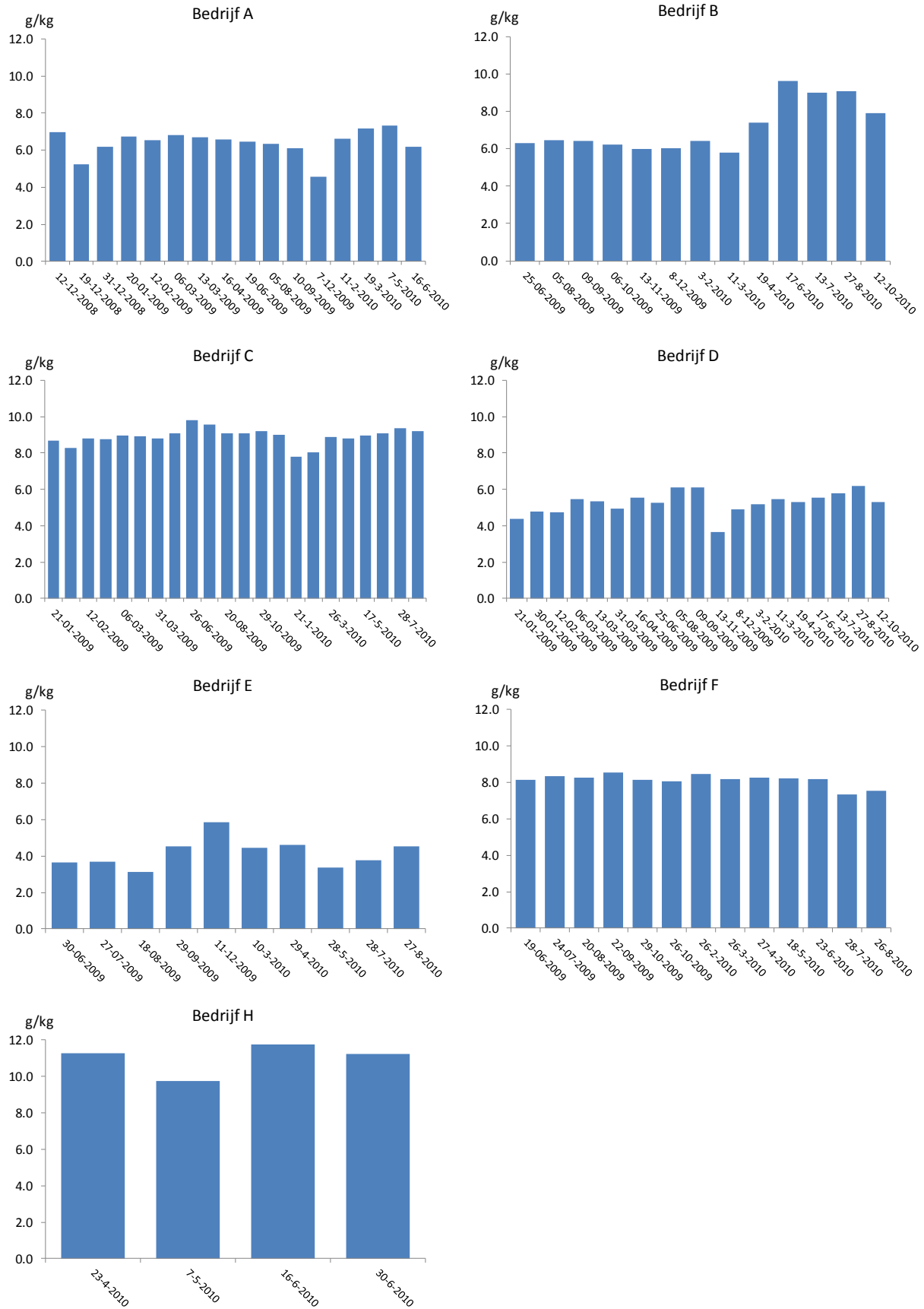
stikstof, ammonium en kalium varieerden aanmerkelijk minder. Bedrijven C en F produceerden een RO-concentraat met vrijwel overeenkomstige samenstelling met een zeer geringe variatie in de gehalten aan N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en K. De constantheid van het RO-concentraat van deze bedrijven komt ook tot uitdrukking in de geringe variatie in de EC-waarde. Het RO-concentraat van Bedrijf B had een vergelijkbare samenstelling als C en F maar met meer variatie. Grote variaties in de concentraatsamenstelling deden zich voor op de bedrijven A, E en H, vooral wat betreft de gehalten aan droge stof, organische stof en P. De variatie in de samenstelling van het RO-concentraat binnen de bedrijven wordt geïllustreerd door Figuur 12, waarin per bedrijf het verloop van het gehalte aan N-totaal in het RO-concentraat gedurende de meetperiode wordt getoond.

#### 5.1.5 Trends in de tijd

Door middel van lineaire regressie werd onderzocht of zich in de tijd een trend voordeed in de samenstelling van het RO-concentraat. De concentraten van bedrijven A, D, E en H lieten geen noemenswaardige trends in de tijd zien. Het concentraat van Bedrijf B vertoonde een (niet-significante) toename in de gehalten aan N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en P. Het concentraat van Bedrijf C vertoonde afnemende gehalten aan droge stof en organische stof; de afname van het organische stof gehalte was significant. Het concentraat van Bedrijf F liet afnemende gehalten zien van alle componenten, behalve organische stof. De afname van P was significant.

**Tabel 22** Gemiddelde, mediaan, standaarddeviatie en variatiecoëfficiënt van de gehalten aan droge stof, organische stof, stikstof, ammonium, fosfor, kalium en de geleidbaarheid van het RO-concentraat per pilotbedrijf.

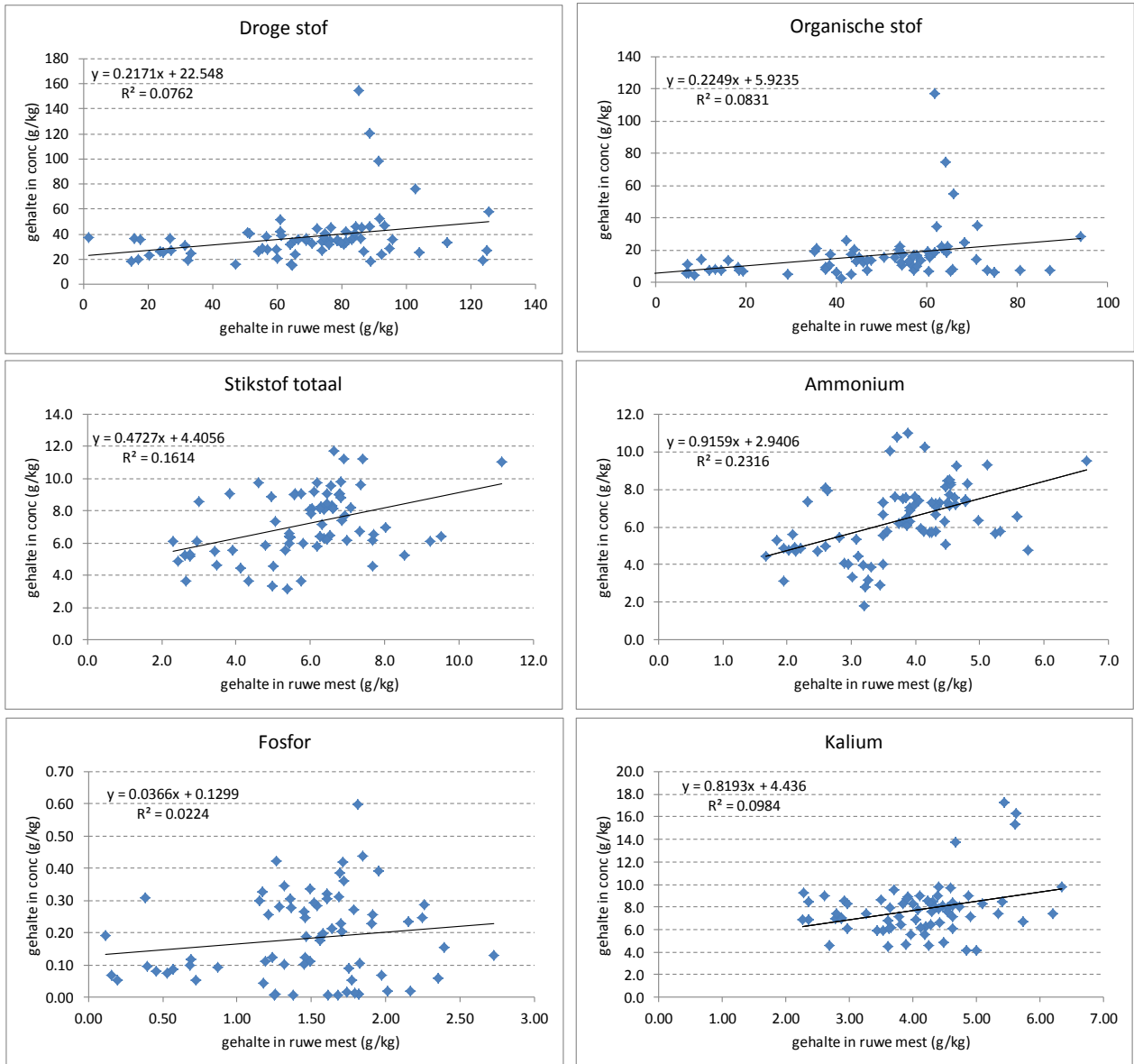
			Gemiddelde (g/kg)	Mediaan (g/kg)	Stdev (g/kg)	Var.coëff. (%)	Aantal
Bedrijf A	Droge stof	g/kg	29,1	27,8	8,48	29,1	16
	Org. stof	g/kg	10,5	9,11	7,93	75,5	16
	N-totaal	g/kg	6,41	6,56	0,69	10,8	16
	N-NH4	g/kg	5,92	6,28	1,03	17,4	16
	P	g/kg	0,20	0,20	0,15	71,1	16
	K	g/kg	7,08	7,42	1,38	19,5	16
	EC	mS/cm	55,6	56,7	6,48	11,7	15
Bedrijf B	Droge stof	g/kg	38,6	36,9	4,56	11,8	17
	Org. stof	g/kg	17,5	16,5	3,57	20,4	17
	N-totaal	g/kg	7,12	6,43	1,33	18,7	17
	N-NH4	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
	EC	mS/cm	58,2	55,6	6,94	11,9	16
Bedrijf C	Droge stof	g/kg	40,2	40,8	3,69	9,2	22
	Org. stof	g/kg	19,3	19,7	2,45	12,7	22
	N-totaal	g/kg	8,92	8,95	0,45	5,0	22
	N-NH4	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
	EC	mS/cm	63,2	63,4	2,82	4,5	20
Bedrijf D	Droge stof	g/kg	25,8	25,4	3,98	15,4	19
	Org. stof	g/kg	7,81	7,67	1,59	20,4	19
	N-totaal	g/kg	5,26	5,31	0,62	11,8	19
	N-NH4	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
	EC	mS/cm	48,3	49,3	5,28	10,9	18
Bedrijf E	Droge stof	g/kg	19,4	18,9	6,28	32,4	10
	Org. stof	g/kg	6,32	6,49	2,27	35,9	10
	N-totaal	g/kg	4,16	4,12	1,40	33,7	10
	N-NH4	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
	EC	mS/cm	38,2	37,2	12,8	33,5	10
Bedrijf F	Droge stof	g/kg	33,9	33,9	1,97	5,8	13
	Org. stof	g/kg	13,7	13,8	1,95	14,3	13
	N-totaal	g/kg	8,12	8,17	0,34	4,2	13
	N-NH4	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
	EC	mS/cm	60,3	60,9	2,60	4,3	13
Bedrijf H	Droge stof	g/kg	113	109	33,5	29,7	4
	Org. stof	g/kg	70,7	65,0	34,9	49,4	4
	N-totaal	g/kg	11,0	11,2	0,87	7,9	4
	N-NH4	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
	EC	mS/cm	91,5	91,3	9,47	10,3	4



Figuur 12 Verloop van het gehalte aan N-totaal in de RO-concentraten van de pilotbedrijven

5.1.6 Effect van ruwe mest

Het effect van de samenstelling van de ruwe mest op de samenstelling van het RO-concentraat werd onderzocht middels een variantie analyse waarin bedrijf als factor en de ruwe mest als co-variabele werd meegenomen. Dit onderzoek toonde aan dat ruwe mest geen significant effect had en dat de variatie in de samenstelling van het RO-concentraat maar voor een klein deel (ca.15%) kon worden verklaard uit de samenstelling van de ruwe mest. Figuur 13 laat het verband zien tussen de gehalten aan hoofdelementen in het RO-concentraat en in de ruwe mest. De regressielijnen zijn significant, behalve die voor P.



**Figuur 13** Samenstelling van het RO-concentraat versus de samenstelling van de ruwe mest, met de vergelijking en de correlatiecoëfficiënt ( $R^2$ ).

### 5.1.7 Effect van voorbehandeling

Het effect van de voorbehandeling op de samenstelling van het RO-concentraat werd onderzocht, waarbij in eerste instantie het effect van covergisting en vervolgens het effect van de scheidingstechniek werd vastgesteld. De resultaten zijn vermeld in Tabel 23.

**Tabel 23** Effect van covergisting en scheidingstechniek op de samenstelling van het RO-concentraat. Weergegeven zijn de gemiddelde waarden per component (in g/kg). Als er in een kolom geen overeenkomende letters in superscript staan is het verschil in gehalte tussen betreffende bedrijven significant ( $P < 0,05$ ).

	Bedrijven	Dr. stof	Org. stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Aantal
<i>Systeem</i>								
Covergisting varkensmest	A	29,1 <sup>a</sup>	10,5 <sup>a</sup>	6,41 <sup>a</sup>	5,92 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	7,08 <sup>a</sup>	16
Covergisting rundveemest	H	113 <sup>b</sup>	70,7 <sup>b</sup>	11,0 <sup>b</sup>	10,5 <sup>b</sup>	0,27 <sup>a</sup>	15,7 <sup>b</sup>	4
Geen covergisting varkensdrijfmest	B t/m F	33,1 <sup>a</sup>	13,9 <sup>a</sup>	7,08 <sup>a</sup>	6,24 <sup>a</sup>	0,17 <sup>a</sup>	7,36 <sup>a</sup>	81
<i>Scheidingstechniek</i>								
Centrifuge/Ultrafiltratie	A en H	46,2 <sup>a</sup>	22,6 <sup>a</sup>	7,33 <sup>a</sup>	7,06 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	8,80 <sup>a</sup>	20
Zeefbandpers/Flotatie	B, C en F	38,3 <sup>a</sup>	17,5 <sup>a</sup>	8,25 <sup>b</sup>	7,31 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	7,88 <sup>a</sup>	52
Vijzelpers/Flotatie	D en E	23,6 <sup>b</sup>	7,30 <sup>b</sup>	4,88 <sup>c</sup>	4,32 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>	6,37 <sup>b</sup>	29

Tabel 23 laat zien dat de gehalten in het RO-concentraat van Bedrijf H significant hoger waren dan van de andere bedrijven, met uitzondering van het P-gehalte. Er waren geen significante verschillen tussen het RO-concentraat van Bedrijf A en dat van de bedrijven B t/m F. Deze resultaten geven aan dat er geen effect was van covergisting. De resultaten geven een indicatie dat er mogelijk een effect was van de mestsoort, waarbij het geringe aantal waarnemingen van Bedrijf H wordt benadrukt.

Het effect van de scheidingstechniek was significant voor alle componenten in het RO-concentraat. Vijzelpers/flotatie liet lagere waarden zien dan centrifuge/ultrafiltratie en zeefbandpers/flotatie. Er was geen significant verschil tussen centrifuge/ultrafiltratie en zeefbandpers/flotatie, behalve voor N-totaal.

## 5.2 Ruwe mest/digestaat

Tabel 24 geeft de gemiddelde gehalten aan droge stof, organische stof, N-totaal, N-NH<sub>4</sub>, P en K van de ingaande mest van de verwerkingsinstallaties. Op Bedrijf A betrof dit digestaat (uit varkensmest en coproducten) en varkensdrijfmest (VDM), op Bedrijf H digestaat (uit rundveemest en coproducten) en op de andere bedrijven varkensdrijfmest, geheel of hoofdzakelijk van vleesvarkens. Bedrijf E verwerkte een mengsel van zeugenmest en vleesvarkensmest. Bedrijf D verwerkte uitsluitend zeugenmest.

**Tabel 24** Gemiddelde samenstelling van het ingangsmateriaal van de verwerkingsinstallaties op de pilotbedrijven (in g/kg).

		A	B	C	D	E	F	H
		Digestaat/ VDM	VDM	VDM	VDM	VDM	VDM	Digestaat
Aantal metingen		12	13	15	13	12	13	4
Droge stof	g/kg	81,8	77,4	72,0	36,5	53,1	65,1	92,1
Org. stof	g/kg	56,9	55,8	52,8	21,2	34,6	45,3	65,8
N-totaal	g/kg	6,92	6,33	6,29	3,23	4,77	6,08	6,78
N-NH <sub>4</sub>	g/kg	4,32	4,21	4,25	2,21	3,17	4,08	3,83
P	g/kg	1,66	1,65	1,55	0,88	1,29	1,57	1,33
K	g/kg	4,48	4,23	4,19	2,74	4,05	4,06	5,34

De gehalten aan hoofdelementen, behalve P, in de digestaten waren substantieel hoger dan in VDM. Dit was toe te schrijven aan de input van co-producten, zoals pluimveemest en snijmaïs, als substraat voor de vergisting. Zeugenmest (bedrijven D en E) had lagere gehalten dan vleesvarkensdrijfmest. De gemiddelde gehalten aan hoofdelementen in de ruwe vleesvarkensmest en zeugenmest waren lager dan de gehalten die worden gehanteerd als adviesbasis voor bemesting van grasland en voedergewassen (KWIN 2009-2010).

### 5.3 Mechanische scheiding

Mechanische scheiding was de eerste stap in het verwerkingsproces tot mineralenconcentraten en was enerzijds bedoeld om een kwalitatief goede (afzetbare) dikke fractie te produceren en anderzijds een dunne fractie met zo laag mogelijke gehalten aan zwevende deeltjes, die tot vervuiling en verstopping van de RO-membranen kunnen leiden. In deze paragraaf wordt per bedrijf de samenstelling gepresenteerd van de dikke en dunne fracties na mechanische scheiding, inclusief ultrafiltratie, van de ruwe mest.

#### 5.3.1 Dikke fractie

Tabel 25 geeft per bedrijf de gemiddelde samenstelling van de dikke fracties na mechanische scheiding. De tabel vermeldt tevens de toegepaste scheidingstechnieken. Bij scheiding met de zeefbandpersen en vijzelpersen werden hulpstoffen in de vorm van vlokmiddelen toegepast. Bij scheiding met de centrifuges werden geen hulpstoffen gebruikt.

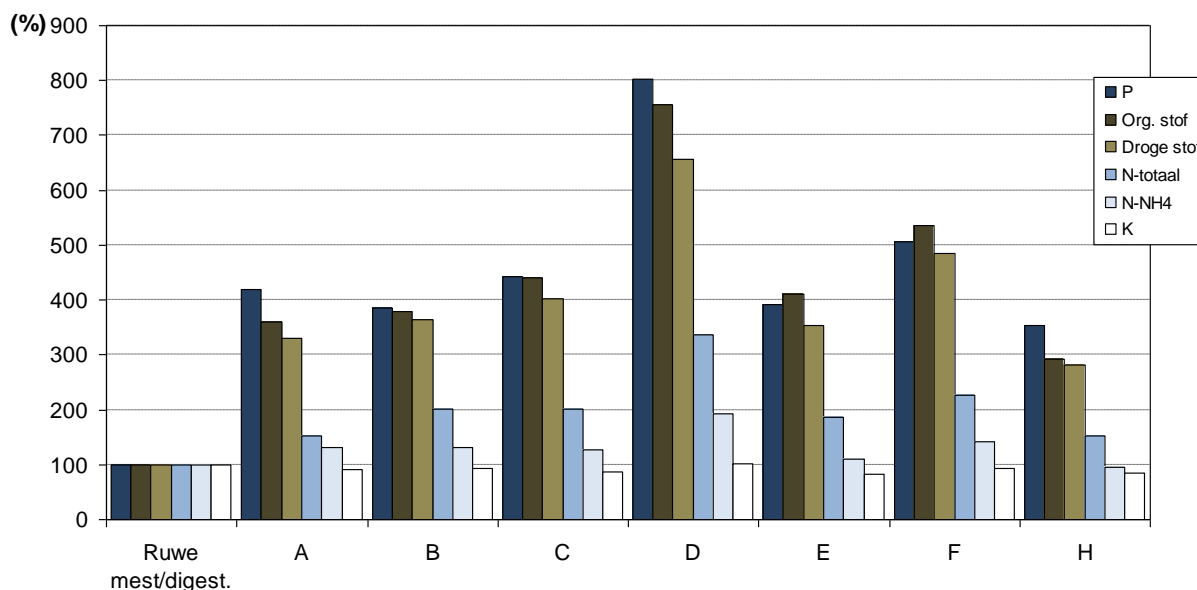
**Tabel 25** Gemiddelde gehalten aan droge stof, organische stof en hoofdelementen in de dikke fractie na mechanische scheiding op de pilotbedrijven (in g/kg).

Bedrijf	Scheidingstechniek	Dr. stof	Org. stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Aantal
A	Centrifuge	290	220	11,2	5,95	7,54	4,24	12
B	Zeefbandpers	283	212	12,8	5,56	6,35	3,96	13
C	Zeefbandpers	290	233	12,6	5,38	6,89	3,63	17
D	Vijzelpers	240	160	10,9	4,28	7,06	2,77	14
E	Vijzelpers	188	142	8,85	3,48	5,04	3,36	12
F	Zeefbandpers	316	243	13,7	5,77	7,95	3,76	13
H	Centrifuge	260	193	10,4	3,68	4,70	4,51	4

De samenstelling van de dikke fracties van bedrijven A, B, C en F was vergelijkbaar met dikke fracties die werden gevonden bij mechanische scheiding van varkensdrijfmest met een vijzelpers (Timmerman *et al.*, 2005). De gehalten in de dikke fractie van Bedrijf A waren aanmerkelijk hoger dan de gehalten die worden gerapporteerd door Chiumenti *et al.* (2010) als resultaat van scheiding van covergiste varkensmest met een centrifuge. De dikke fracties van bedrijven D, E en H weken af van die van de andere bedrijven met lagere gehalten aan droge stof en organische stof. Dit betekent niet per sé dat de scheiding op deze bedrijven minder effectief was dan op de andere bedrijven omdat de samenstelling van de ruwe mest tussen de bedrijven verschilde. De ingaande mest van Bedrijf H betrof digestaat van rundveemest met coproducten. Vergeleken met de dikke fractie die werd verkregen bij scheiding met een centrifuge van digestaat van rundveemest zonder coproducten (Hilhorst en Verloop, 2010), bevatte de dikke fractie van Bedrijf H hogere gehalten.

Een beeld van de effectiviteit van de scheiding (techniek plus hulpstoffen) werd verkregen door de relatieve samenstelling van de dikke fractie te beschouwen ten opzichte van het ingangsmateriaal (Figuur 14).





**Figuur 14** Relatieve samenstelling van de dikke fractie ten opzichte van de ingaande (ruwe) mest/ digestaat (= 100%) na mechanische scheiding en ultrafiltratie of flotatie per pilotbedrijf.

Uit Figuur 14 blijkt dat op alle bedrijven een sterke toename van de gehalten aan P, organische stof en droge stof in de dikke fractie werd waargenomen ten opzichte van de ingaande (ruwe) mest/digestaat. De gehalten van deze componenten namen toe met een factor 3 à 5. Bedrijf H bleef hier iets bij achter. Op Bedrijf D was het verschil in gehalten, met uitzondering van het K-gehalte, tussen de dikke fractie en het ingangsmateriaal aanmerkelijk hoger dan op de andere bedrijven. In absolute zin waren de gehalten in de dikke fractie van Bedrijf D laag in vergelijking met de meeste andere bedrijven (Tabel 25). Het verschil in effectiviteit van de scheiding tussen Bedrijf D en Bedrijf E was opmerkelijk, aangezien het op beide bedrijven om dezelfde scheidingstechnieken en qua gehalten aan hoofdelementen om vergelijkbare ruwe mest ging. Dit verschil kon teruggevoerd worden op een verschil in structuur van de mest tussen beide bedrijven als gevolg van verschillen in het voer. Bedrijf E voerde gedurende de meetperiode natte bijproducten (in de vorm van tarwezetmeel) aan de dieren. Varkens die natte bijproducten gevoerd krijgen produceren mest met minder 'structuur' dan varkens die droogvoer krijgen voorgeschoteld. Bovendien bevat mest van varkens met brijvoer lagere gehalten aan droge stof, stikstof en fosfor (Timmerman en Smolders, 2004). Figuur 10 geeft aan dat alle parameters met uitzondering van K in de dikke fractie hoger waren dan die van de ruwe mest/digestaat.

#### Effect van ruwe mest en scheidingstechniek

Het effect van de ruwe mest en de scheidingstechniek op de samenstelling van de dikke fractie werd onderzocht in een model waarin ruwe mest als co-variabele werd meegenomen. De resultaten zijn vermeld in Tabel 26.

**Tabel 26** Effect van ruwe mest en scheidingstechniek op de samenstelling van de dikke fractie. Weergegeven zijn de gemiddelde waarden per component (in g/kg). Als er in een kolom geen overeenkomende letters in superscript staan is het verschil in gehalte tussen betreffende bedrijven significant ( $P < 0,05$ ). Het significante effect van bedrijf en ruwe mest is aangegeven met de P-waarde; n.s. = niet significant.

	Bedrijven	Dr. stof	Org. stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Aantal
Centrifuge	A en H	290 <sup>a</sup>	215 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	5,34 <sup>a</sup>	7,14 <sup>a</sup>	3,83 <sup>a</sup>	20
Zeebandpers	B, C en F	294 <sup>a</sup>	227 <sup>a</sup>	12,9 <sup>b</sup>	5,33 <sup>a</sup>	7,08 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>	52
Vijzelpers	D en E	234 <sup>b</sup>	167 <sup>b</sup>	10,7 <sup>a</sup>	4,64 <sup>a</sup>	6,01 <sup>b</sup>	3,60 <sup>a</sup>	29
Effect van bedrijf (binnen techniek)		P=0,040	P=0,011	n.s.	P=0,024	P<0,001	n.s.	
Effect van ruwe mest		n.s.	n.s.	n.s.	P=0,005	n.s.	P<0,001	

De scheidingstechniek had een significant effect op de samenstelling van de dikke fractie voor de gehalten aan droge stof, organische stof, N-totaal en P. Voor alle componenten behalve N-totaal en K

was er een significant bedrijfseffect. Een bedrijfseffect betekent dat er binnen een scheidingstechniek verschillen tussen bedrijven worden aangetroffen. De grootste verschillen werden gevonden tussen bedrijven met een zeefbandpers (B, C en F). De verschillen tussen bedrijf B enerzijds en bedrijven C en F anderzijds was terug te voeren op het verschil in scheidingsmethode. Uit Tabel 25 en Figuur 10 blijkt dat de scheiding op de bedrijven C en F leidde tot hogere gehalten aan droge stof, organische stof en P in de dikke fractie en ook effectiever verliep dan op Bedrijf B.

Er bestond voor N-NH<sub>4</sub> en K een sterk significant effect van de ruwe mest. Dit betekent dat voor deze componenten de gehalten in de ruwe mest sterk bepalend waren voor de gehalten in de dikke fractie. Dit kan worden verklaard uit het feit dat N-NH<sub>4</sub> en K in de mest in oplossing voorkomen waar mechanische scheidingstechnieken geen vat op hebben.

### 5.3.2 Dunne fractie

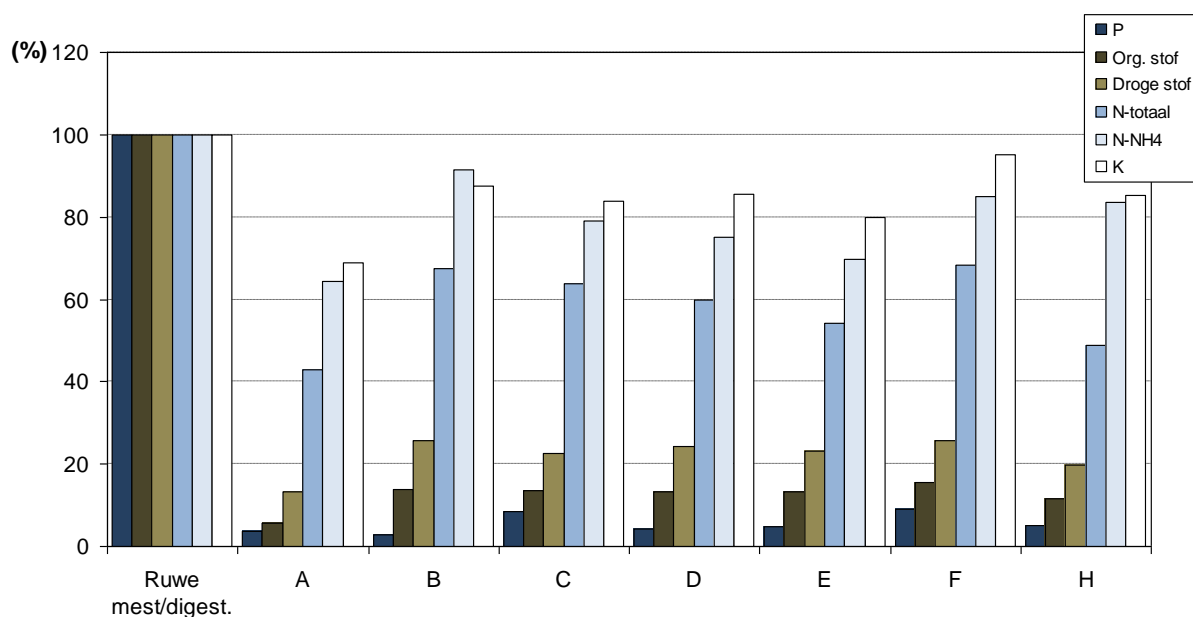
Tabel 27 vermeldt per bedrijf de gemiddelde samenstelling van de dunne fracties na mechanische scheiding gevolgd door ultrafiltratie of flotatie. Op de bedrijven met een flotatie unit was het niet mogelijk om de dunne fractie direct na de zeefbandpers en de vijzelpers te bemonsteren. Daarom kon alleen het effect van gehele voorbehandeling, bestaande uit mechanische scheiding in combinatie met ultrafiltratie of flotatie, op de dunne fractie worden beschouwd. Dit betekent dat in deze paragraaf in feite de effluënten na flotatie en de permeaten na ultrafiltratie worden beschouwd en verder worden aangeduid als dunne fractie.

**Tabel 27** Gemiddelde gehalten aan droge stof, organische stof en hoofdnutriënten in de dunne fractie (in g/kg) na mechanische scheiding en ultrafiltratie (UF) of flotatie op de pilotbedrijven (ZBP = zeefbandpers, VP = vijzelpers).

Bedrijf	Scheidingstechniek	Dr. stof	Org. stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Aantal
A	Centrifuge/UF	11,8	3,44	3,13	2,90	0,07	3,26	11
B	ZBP /flotatie	20,0	7,68	4,27	3,85	0,05	3,70	13
C	ZBP /flotatie	16,2	7,20	4,01	3,35	0,13	3,51	17
D	VP/flotatie	8,85	2,78	1,94	1,66	0,04	2,35	11
E	VP/flotatie	12,3	4,62	2,59	2,21	0,06	3,23	12
F	ZBP /flotatie	16,7	7,01	4,15	3,47	0,14	3,86	13
H	Centrifuge/UF	18,2	7,55	3,32	3,21	0,07	4,56	4

De dunne fracties bevatten nog een hoeveelheid organische stof en opgeloste zouten. De gehalten kwamen globaal overeen met de resultaten van de studie van Chiumenti *et al.* (2010) die ultrafiltratie toepaste op de dunne fractie van covergiste varkensmest na scheiding met een centrifuge. De dunne fractie in deze studie laat echter een aanmerkelijk hoger P-gehalte zien dan de dunne fracties van alle pilotbedrijven. De dunne fractie van Bedrijf D bevatte lagere gehalten dan van de andere bedrijven.

Figuur 15 toont de relatieve samenstelling van de dunne fractie t.o.v. het ingangsmateriaal na mechanische scheiding inclusief nabehandeling met ultrafiltratie of flotatie.



**Figuur 15** Relatieve samenstelling van de dunne fractie ten opzichte van de ingaande (ruwe) mest/ digestaat na mechanische scheiding en ultrafiltratie of flotatie per pilotbedrijf.

Uit Figuur 15 blijkt dat op alle bedrijven een sterke afname van de gehalten aan P, organische stof en droge stof in de dunne fractie werd waargenomen ten opzichte van de ingaande (ruwe) mest/digestaat. Het gehalte aan N-totaal was in de dunne fractie gemiddeld 40% lager dan in het ingangsmateriaal. De gehalten aan N-NH<sub>4</sub> en K in de dunne fractie waren gemiddeld 20% lager dan die in de ruwe mest/digestaat en weerspiegelen het effect van verdunning door toevoeging van leidingwater tijdens het verwerkingsproces. Bedrijf A toonde voor alle componenten behalve P lagere relatieve gehalten in de dunne fractie dan de andere bedrijven.

#### Effect van ruwe mest en scheidingstechniek

Het effect van de ruwe mest en de scheidingstechniek in combinatie met ultra filtratie of flotatie op de samenstelling van de dunne fractie is onderzocht in een model waarin ruwe mest als co-variabele is meegenomen. De resultaten zijn vermeld in Tabel 28.

**Tabel 28** Effect van ruwe mest en scheidingstechniek op de samenstelling van de dunne fractie. Weergegeven zijn de gemiddelde waarden per component (in g/kg). Als er in een kolom geen overeenkomende letters in superscript staan is het verschil in gehalte tussen betreffende bedrijven significant (P<0,05). Het significante effect van bedrijf en ruwe mest is aangegeven met de P-waarde; n.s. = niet significant.

	Bedrijven	Dr. stof	Org. stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	P	K	Aantal
Centrifuge/UF	A en H	29,0 <sup>a</sup>	17,6 <sup>a</sup>	4,54 <sup>a</sup>	3,12 <sup>ab</sup>	0,27 <sup>a</sup>	3,73 <sup>a</sup>	20
Zeebandpers/flotatie	B, C en F	17,4 <sup>b</sup>	7,36 <sup>b</sup>	4,06 <sup>a</sup>	3,35 <sup>b</sup>	0,10 <sup>b</sup>	3,65 <sup>a</sup>	52
Vijzelpers/flotatie	D en E	13,0 <sup>b</sup>	5,22 <sup>b</sup>	2,85 <sup>b</sup>	2,55 <sup>a</sup>	0,07 <sup>b</sup>	3,13 <sup>b</sup>	29
Effect van bedrijf (binnen techniek)		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	P<0,03	P=0,009	
Effect van ruwe mest		n.s.	n.s.	P=0,046	P<0,001	n.s.	P<0,001	

De scheidingstechniek had een significant effect op de samenstelling van de dunne fractie voor alle componenten. Voor de componenten P en K was er een significant bedrijfseffect. Binnen de techniek zeebandpers/flotatie werd een grote variatie in het gehalte aan P tussen bedrijven aangetroffen in vergelijking met vijzelpers/flotatie en centrifuge/UF. Binnen centrifuge/UF werd een relatief grote variatie aangetroffen in het K-gehalte.

Voor N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en K was er een sterk significant effect van de ruwe mest. Dit betekent dat voor deze componenten de gehalten in de ruwe mest mede bepalend waren voor de gehalten in de dunne fractie.

#### 5.4 Ultrafiltratie

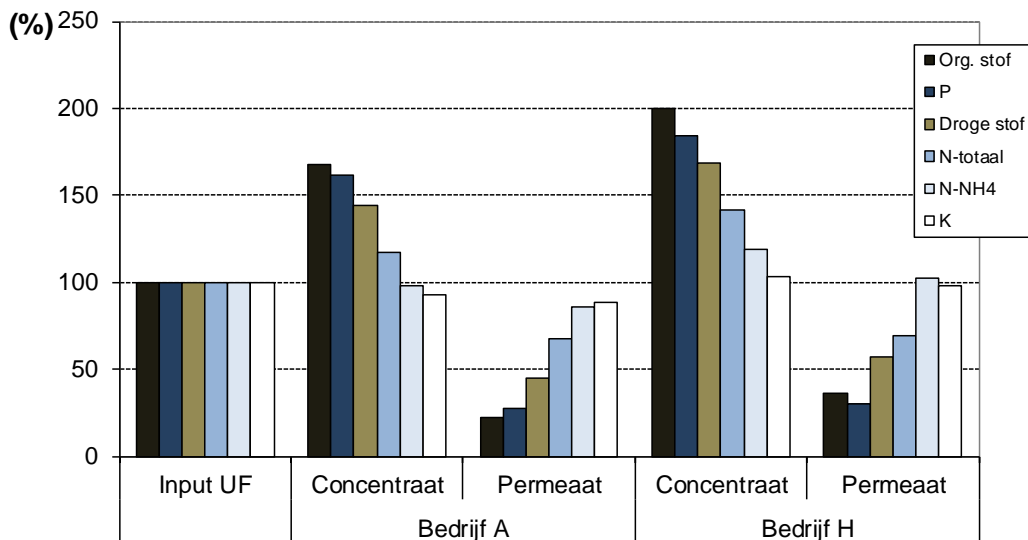
In Tabel 29 wordt de gemiddelde samenstelling van de input (dunne fractie), het concentraat en het permeaat na ultrafiltratie op Bedrijf A en Bedrijf H gegeven. De waarden voor Bedrijf A waren gebaseerd op 12 metingen, die voor Bedrijf H op 4 metingen.

**Tabel 29** Gemiddelde gehalten aan droge stof, organische stof en nutriënten van de input, het concentraat en het permeaat na ultrafiltratie op Bedrijf A en Bedrijf H (in g/kg).

	Bedrijf A			Bedrijf H		
	Input	Concentraat	Permeaat	Input	Concentraat	Permeaat
Droge stof	26,3	37,9	11,8	31,8	53,7	18,2
Org. stof	15,5	26,0	3,44	20,7	41,4	7,55
N-totaal	4,62	5,43	3,13	4,79	6,80	3,32
N-NH <sub>4</sub>	3,37	3,30	2,90	3,13	3,71	3,21
P	0,25	0,40	0,07	0,22	0,41	0,07
K	3,67	3,42	3,26	4,67	4,82	4,56

De concentraten en permeaten na ultrafiltratie van A en B waren vergelijkbaar wat betreft N-totaal, N-NH<sub>4</sub>, P en K, maar verschilden aanzienlijk wat betreft de gehalten aan droge stof en organische stof. Hier leek zich een effect van de input (dunne fractie na centrifuge) voor te doen.

Figuur 16 toont de relatieve gehalten van de gemeten componenten in het concentraat en het permeaat ten opzichte van de input, ter illustratie van het kwalitatieve effect van ultrafiltratie op beide bedrijven. Hierbij werden de gehalten in elk van de inputstromen op 100% gesteld.



**Figuur 16** Relatieve samenstelling van het concentraat en het permeaat van ultrafiltratie ten opzichte van de input op Bedrijf A en Bedrijf H.

Uit Tabel 29 en Figuur 16 blijkt dat ultrafiltratie resulteerde in fors lagere gehalten aan organische stof en fosfor in het permeaat. Het drogestofgehalte halveerde, terwijl de gehalten aan opgeloste componenten (N-NH<sub>4</sub> en K) nagenoeg gelijk bleven. Het P-gehalte van het UF-permeaat bedroeg 0,07 g/kg. Een vergelijkbaar of lager P-gehalte werd bereikt middels een zeefbandpers of vijzelpers in combinatie met flotatie (Tabel 27). Opvallend was dat de P-gehalten van de UF-permeaten van bedrijven A en H gelijk waren, terwijl het ds- en os-gehalte in beide permeaten grote verschillen vertoonden. Het gehalte aan organische stof in het permeaat van Bedrijf A was vergelijkbaar met dat van de dunne fracties na scheiding met een vijzelpers in combinatie met flotatie. Het os-gehalte in het

permeaat van Bedrijf H was vergelijkbaar met dat van de dunne fracties na scheiding met een zeebandpers in combinatie met flotatie. Het verschil in samenstelling tussen de permeaten van bedrijven A en H was deels terug te voeren op het verschil in samenstelling van de input. In hoeverre het procesmanagement op beide bedrijven een rol heeft gespeeld was niet met zekerheid te zeggen, omdat voldoende betrouwbare informatie hiervoor ontbrak.

## 5.5 Omgekeerde osmose

In Tabel 30 wordt de gemiddelde samenstelling gegeven van de ingaande vloeistof (input), het concentraat en het permeaat van omgekeerde osmose van elk pilotbedrijf. De tabel vermeldt tevens de geleidbaarheid van deze processtromen, die maatgevend zijn voor de concentratie vrije ionen in de vloeistoffen.

De input van de omgekeerde osmose van bedrijven A en H bestond uit permeaat van ultrafiltratie. Op Bedrijf H werd aan het UF-permeaat zwavelzuur toegevoegd alvorens het de omgekeerde osmose installatie inging. De input van de andere bedrijven bestond uit dunne fractie na flotatie. Het (marginale) verschil in samenstelling tussen de input van Bedrijf B en de dunne fractie zoals vermeld in Tabel 30 was effect van het papierfilter. Op bedrijven C t/m F werd de dunne fractie direct na flotatie gemeten, dus vóór het filter dat zich tussen de flotatie-unit en de omgekeerde osmose installatie bevond.

### 5.5.1 Concentraat

De samenstelling van het RO-concentraat en de invloed van de ruwe mest en de voorbehandeling daarop is beschreven in paragraaf 5.1. Theoretisch is de verhouding tussen de verschillende componenten in het concentraat gelijk aan die in de input omdat het RO-membraan alleen water doorlaat en geen organische bestanddelen en zouten. Op de pilotbedrijven bleek enige diffusie van ionen door het membraan op te treden zoals de gehalten in het permeaat aantonen. Mogelijk dat ook lekkage van de membranen een rol heeft gespeeld. Deze lekkage kan het gevolg zijn van slijtage en beschadiging van het membraan, b.v. door zanddeeltjes (Van Gastel en Thelosen, 1995; Masse *et al*, 2007). De bijdrage van elk van deze oorzaken aan de lekkage kon aan de hand van de meetresultaten niet worden gekwantificeerd.

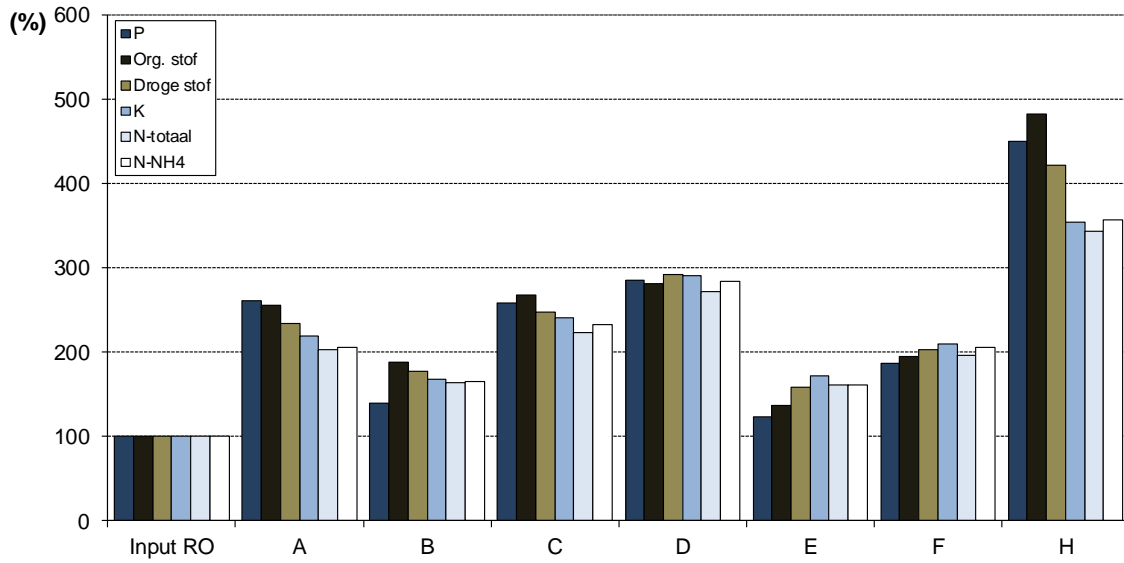
Het relatieve effect van omgekeerde osmose is weergegeven in Figuur 17. De figuur toont per bedrijf de relatieve gehalten droge stof, organische stof en hoofdelementen in het concentraat ten opzichte van de gehalten in de input van de RO-installatie, die op 100% zijn gesteld. De pilotbedrijven tonen grote verschillen in de mate waarin de ingaande vloeistof werd geconcentreerd. Tussen de bedrijven A t/m F varieerde de concentratiefactor globaal van 1,5 tot 3, waarbij de bedrijven B, E en F de laagste en bedrijven A, C, en D de hoogste concentratiefactoren lieten zien. Bedrijf H liet een aanmerkelijk hogere concentratiefactor zien dan de andere bedrijven. Op dit bedrijf was de ingestelde EC-waarde (ten tijde van de monsternames) hoger dan op de andere bedrijven.

De relatieve samenstelling van het RO-concentraat ten opzichte van het uitgangsmateriaal (ruwe mest) is weergegeven in Figuur 18. De gehalten in de ruwe mest van elk bedrijf werden op 100 gesteld. Alle RO-concentraten bevatten hogere gehalten aan kalium en ammonium dan de ruwe mest. Bedrijven B, C, D, F en H bevatten tevens een hoger gehalte aan totaal stikstof. De gehalten aan droge stof, organische stof en fosfor in de RO-concentraten waren fors lager dan in de ruwe mest. Alleen het concentraat van Bedrijf H voldeed niet aan dit beeld, met gehalten aan droge stof en organische stof die hoger waren dan in de oorspronkelijke mest. Het hoge ds-gehalte werd mede veroorzaakt door een hoge concentratie aan zouten. Naast een relatief hoog gehalte aan K en N-NH<sub>4</sub> bevatte het concentraat van Bedrijf H zeer hoge gehalten aan zwavel en sulfaat (zie Bijlage 1). Mogelijk dat het hoge os-gehalte hier een relatie mee heeft.

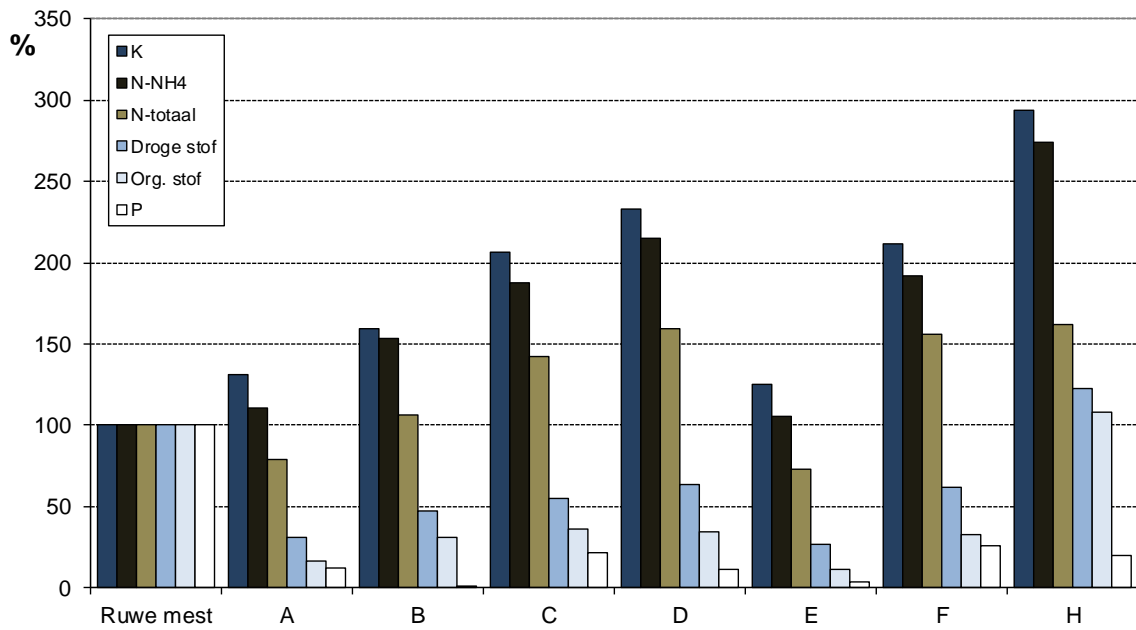
Rapport 481

**Tabel 30** Gemiddelde gehalten aan droge stof, organische stof en nutriënten in de ingaande vloeistof, het concentraat en het permeaat van de omgekeerde osmose op de pilotbedrijven (in g/kg), alsmede de geleidbaarheid van deze processtromen. Tussen haakjes staat het aantal metingen.

	A (16)			B (17)			C (22)			D (19)			E (10)			F (13)			H (4)		
	Input	Conc.	Perm.	Input	Conc.	Perm.	Input	Conc.	Perm.	Input	Conc.	Perm.	Input	Conc.	Perm.	Input	Conc.	Perm.	Input	Conc.	Perm.
Droge stof	11,8	29,1	1,32	21,9	38,6	0,24	16,2	40,2	0,37	8,85	25,8	0,27	12,3	19,4	0,81	16,7	33,9	0,36	26,6	113	0,20
Org. stof	3,44	10,5	0,15	9,37	17,5	0,03	7,20	19,3	0,12	2,78	7,81	0,05	4,62	6,32	0,13	7,01	13,7	0,08	14,7	70,7	0,00
N-totaal	3,13	6,41	0,75	4,36	7,12	0,04	4,01	8,92	0,29	1,94	5,26	0,12	2,59	4,16	0,30	4,15	8,12	0,31	3,20	11,0	0,02
N-NH <sub>4</sub>	2,90	5,92	0,73	4,13	6,77	0,04	3,35	7,77	0,28	1,66	4,72	0,11	2,21	3,56	0,29	3,47	7,13	0,29	2,96	10,5	0,00
P	0,07	0,20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,13	0,34	0,01	0,04	0,11	0,01	0,06	0,08	0,01	0,14	0,26	0,01	0,06	0,27	0,01
K	3,26	7,08	0,42	3,89	6,53	0,05	3,51	8,44	0,08	2,35	6,81	0,06	3,23	5,53	0,26	3,86	8,08	0,08	4,43	15,7	0,05
EC (mS/cm)	29	56	5,9	38	58	0,4	32	63	2,4	20	48	1,1	24	38	3,2	31	60	2,5	34	92	0,1



**Figuur 17** Relatieve samenstelling van het concentraat van omgekeerde osmose ten opzichte van de input van de RO-installatie per pilotbedrijf.



**Figuur 18** Relatieve samenstelling van het concentraat van omgekeerde osmose ten opzichte van de ruwe mest per pilotbedrijf.

### 5.5.2 Permeaat

Het permeaat van omgekeerde osmose was het eindproduct van de mestverwerking dat niet als meststof werd aangewend maar werd geloosd op het riool (bedrijven A, C en F) of op het oppervlaktewater (bedrijven B en H) of toepassing vond in het eigen bedrijf (bedrijven D en E). Voor beide bestemmingen zijn door de waterbeheerders indicatieve lozingseisen opgesteld. De samenstelling van het permeaat werd hieraan getoetst. De toetsing was beperkt tot organische stof en de hoofdelementen. Secundaire nutriënten en zware metalen werden buiten beschouwing gelaten, mede omdat eerdere analyse heeft aangetoond dat de gehalten aan zware metalen in het permeaat binnen de lozingsnormen vallen.

Tabel 31 vermeldt de indicatieve lozingseisen voor lozing op het oppervlaktewater, waarbij twee categorieën water worden onderscheiden, (1) water met sterke verdunning en geen bijzondere functie en (2) water met beperkte verdunning of met kwetsbare functies.

**Tabel 31** Indicatieve eisen voor lozing op het oppervlaktewater voor BZV, CZV en macronutriënten (bron: Waterbeheerders, 2006. Mestverwerking en mogelijke emissies naar oppervlaktewater)

Parameter	Oppervlaktewater	
	Water met sterke verdunning en geen bijzondere functie	Water met beperkte verdunning of met kwetsbare functies
CZV (mg/l)	50	30-50
BZV <sub>5</sub> (mg/l)	10	5
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	0,2-1	0,2-1
N-totaal	10	5
P-totaal (mg/l)	0,5	0,2
Kalium (mg/l)	400	400

Het permeaat van omgekeerde osmose van Bedrijf B voldeed aan geen van de normen voor lozing op het oppervlaktewater. Na ionenwisseling werd aan alle eisen voldaan (zie Bijlage 1).

Het permeaat van Bedrijf H voldeed niet aan de norm voor N-totaal en NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Als we het organische stofgehalte hanteren als maat voor het gehalte aan BZV (biologisch zuurstofverbruik) dan voldeed het org. stofgehalte van het permeaat van Bedrijf H aan de norm voor het BZV-gehalte. Het permeaat voldeed ook aan de norm voor P en K.

Lozing op het riool kan alleen plaatsvinden in overleg met de waterbeheerder. Criteria die de waterbeheerder hanteert zijn ontleend aan de Richtlijn Mestverwerkingsinstallaties (Infomil). De richtlijn is afgestemd op het goed functioneren van de RWZI en heeft onder andere betrekking op de hydraulische capaciteit van de RWZI en het chemisch zuurstofverbruik (CZV) van het influent. De hoeveelheid CZV en het N- en P-gehalte bepalen de vervuilingswaarde en de hieraan gekoppelde lozingsheffing.

## 5.6 Organische microverontreinigingen in RO-concentraat

De analyseresultaten van 8 monsters van mineralenconcentraten van dioxines, non-ortho-PCB's, mono-ortho-PCB's, indicator PCB's, PAK's, organochloorbestrijdingsmiddelen en minerale olie zijn samengevat in Tabel 32. De meetwaarden worden gegeven in Bijlage 2. In vrijwel alle gevallen wordt de detectiegrens opgegeven. Meetwaarden liggen op of onder deze waarden. Bij octachlorodibenzo-p-dioxine (OCDD) wordt één waarde vastgesteld net boven de detectiegrens. De opgegeven meetwaarden of detectiegrenzen zijn herleid op stikstof en kali (K<sub>2</sub>O) op basis van de gemiddelde waarde (Tabel 25). Geen van de organische microverontreinigingen overschrijdt de samenstellingseisen van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet.



**Tabel 32** Gehalten aan organische microverontreinigingen in mineralenconcentraten na herleiding op stikstof en kali en Nederlandse milieueisen voor overige anorganische meststoffen.

Organische microverontreiniging	Gehalte aan organische microverontreiniging herleidt op stikstof (N) en kali (K <sub>2</sub> O)		Uitvoeringsregeling Meststoffenwet	
			Stikstof	Kali
	mg/kg N	mg/kg K <sub>2</sub> O	mg/kg N	mg/kg K <sub>2</sub> O
ΣPCDD/PCDF	0,0001	0,0001	0,015	0,01
α-HCH	0,0015	0,0011	248	165
β-HCH	0,0015	0,0011	9,6	6,4
γ-HCH (Lindaan)	0,0015	0,0011	0,96	0,64
HCB	0,0015	0,0011	31,2	20,8
Aldrin	0,0015	0,0011	5,6	3,7
Dieldrin	0,0015	0,0011	5,6	3,7
Σ(Aldrin+Dieldrin)	0,0030	0,0023	5,6	3,7
Endrin	0,0015	0,0011	5,6	3,7
Isodrin	0,0015	0,0011	5,6	3,7
Σ(Endrin+Isodrin)	0,0030	0,0023	5,6	3,7
Σ(DDT+DDD+DDE)	0,0090	0,0068	18,4	12,3
PCB-28	0,0149	0,0114	14,8	9,9
PCB-52	0,0149	0,0114	14,8	9,9
PCB-101	0,0149	0,0114	60	40
PCB-118	0,0015	0,0011	60	40
PCB-138	0,0149	0,0114	60	40
PCB-153	0,0149	0,0114	60	40
PCB-180	0,0149	0,0114	60	40
Σ 6-PCB (excl. PCB-118)	0,0910	0,0693	300	200
Naftaleen	0,0007	0,0006	480	320
Fenanthreen	0,0009	0,0007	600	400
Antraceen	0,0009	0,0007	480	320
Fluoranteen	0,0003	0,0002	148	98
Benzo(a)antraceen	0,0003	0,0002	184	123
Chryseen	0,0003	0,0002	184	123
Benzo(k)fluoranteen	0,0003	0,0002	216	144
Benzo(a)pyreen	0,0003	0,0002	232	155
Benzo(g,h,i)peryleen	0,0003	0,0002	168	112
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	0,0003	0,0002	188	125
Σ 10-PAK	0,0046	0,0035	9200	6133
Minerale olie	*	*	748000	498668

## 5.7 Massaverdeling

### 5.7.1 Processtromen

Per bedrijf is voor elke processtap de massaverdeling van de ingaande en uitgaande processtromen berekend. Er is voor berekening gekozen in plaats van gebruik te maken van gegevens van Dienst Regelingen van aan- en afgevoerde vrachten omdat de bij DR geregistreerde gegevens onvoldoende betrouwbaar zijn. De onbetrouwbaarheid is onder andere het gevolg van massavermindering van de dikke fractie tijdens opslag en van het feit dat niet alle vrachten RO-concentraat onder deze noemer (mestcode 120) zijn afgevoerd.

De massaverdeling is berekend op basis van de P-gehalten in de verschillende deelstromen. P is als schatter voor de massaverdeling genomen omdat tijdens het verwerkingsproces geen P verloren gaat, omdat het verschil in P-gehalte tussen de vaste en vloeibare fase groot is en omdat P redelijk

nauwkeurig kan worden bepaald. Op deze wijze wordt een sluitende balans verkregen van de massa van de ingaande en uitgaande processtromen en van P. De massabalans van de andere componenten is opgemaakt op basis van de berekende massa van de processtromen en de gemeten gehalten in deze processtromen. De bemonsterings- en analysenauwkeurigheid werkt door in het resultaat van de berekende massaverdeling.

Op de volgende wijze is berekend hoe de massa ingaande mest zich verdeelt over de dikke en dunne fractie:

$$M_{dik} = (P_{mest} - P_{dun}) / (P_{dik} - P_{dun}) * M_{mest}$$

Waarin:

- M<sub>dik</sub> = Massa van de dikke fractie
- P<sub>mest</sub> = P-gehalte in de ingaande mest
- P<sub>dun</sub> = P-gehalte in de dunne fractie
- P<sub>dik</sub> = P-gehalte in de dikke fractie
- M<sub>mest</sub> = Massa van de ingaande mest

Volgens dezelfde methode is per processtap de massaverdeling van de ingaande processtroom over de uitgaande processtromen berekend. Tabel 33 vermeldt per pilotbedrijf de berekende relatieve massaverdeling van de in- uitgaande processtromen. Tijdens het verwerkingsproces toegevoegd leidingwater werd hierin verdisconteerd.

**Tabel 33** Berekende relatieve massaverdeling van het ingangsmateriaal over de eindproducten op de pilotbedrijven in procenten (ingaaand = 100 %).

	A	B	C	D	E	F	H
Mest/digestaat	100	100	100	100	100	100	100
Dikke fractie	20	21	20	12	25	18	24
Concentraat UF	42						44
Concentraat RO	16	43	30	32	50	40	7
Permeaat RO	23	36	50	56	25	42	25

Het aandeel dikke fractie varieert van 12 tot 25%. Dat het aandeel dikke fractie op Bedrijf D slechts 12% van het ingangsmateriaal bedraagt kan worden verklaard uit het feit dat op dit bedrijf zeugenmest wordt verwerkt met een hoog watergehalte. Bedrijf E produceert een relatief grote massa aan dikke fractie, hetgeen correspondeert met een hoog vochtgehalte. Een verklaring hiervoor moet gezocht worden in het voeren van natte bijproducten (zie paragraaf 5.2.1).

Het aandeel RO-concentraat varieert van 7 tot 50%. Het massa-aandeel van het RO-concentraat is gerelateerd aan de concentratiefactor voor P (zie Figuur 13); hoe hoger de concentratiefactor hoe kleiner de massa concentraat. Het relatief geringe aandeel RO-concentraat op bedrijven A en H is toe te schrijven aan verwijdering uit het systeem van een hoeveelheid UF-concentraat (afgevoerd als drijfmest). Bedrijf H laat bovendien een hogere concentratiefactor zien dan de andere bedrijven.

Het aandeel RO-permeaat varieert van 23 tot 56%, waarbij bedrijven A, E en H de laagste percentages laten zien. Ook hierin is het effect van de ultrafiltratie stap zichtbaar. Op Bedrijf E is het kleine aandeel RO-permeaat het logische gevolg van de grote massa's dikke fractie en RO-concentraat. Het aandeel RO-permeaat is een van de prestatiekenmerken van de verwerkingsinstallatie. Hoe groter het aandeel permeaat hoe kleiner de hoeveelheid dikke fractie en RO-concentraat die afgezet moeten worden. Bedrijven C en D presteren wat dit betreft beter dan de andere bedrijven.

### 5.7.2 Hoofdelementen

Op basis van de massaverhouding tussen de processtromen en de gemeten gehalten in de processtromen is berekend hoe de mineralen in de ingaande mest/digestaat zich over de eindproducten verdelen. Tabel 34 geeft per pilotbedrijf de relatieve verdeling van de droge stof, organische stof en hoofdelementen over de eindproducten van de verwerkingsinstallaties. Het verschil tussen input en output (saldo) wordt eveneens vermeld.

**Tabel 34** Relatieve massaverdeling van droge stof, organische stof en macronutriënten over de eindproducten van de verwerkingsinstallaties op de pilotbedrijven (in %).

		P	Org. Stof	Dr. stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	K
	Ruwe mest/digestaat	100	100	100	100	100	100
A	Dikke fractie	86	74	68	31	26	18
	Concentraat UF	12	22	23	39	38	38
	Concentraat RO	2	4	7	17	26	30
	Permeaat RO	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 RO	0	14	21	49	69	67
	Permeaat RO	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 RO	8	13	20	51	66	73
	Permeaat RO	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 RO	5	12	24	54	70	82
	Permeaat RO	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 RO	4	11	23	55	70	85
	Permeaat RO	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 RO	7	12	21	53	70	80
	Permeaat RO	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 RO	2	9	9	12	21	23
	Permeaat RO	0	0	0	0	0	0
	Saldo (input-output)	0	-8	-4	3	9	14

Tabel 34 laat zien dat op de bedrijven die werkten met een zeefbandpers of vijzelpers in combinatie met flotatie (B t/m F) de dikke fractie meer dan 90% van de ingaande hoeveelheid P bevatte en dat de rest in het RO-concentraat terecht kwam. Op de bedrijven met een centrifuge en ultrafiltratie (A en H) ging een aanzienlijk deel van de ingaande hoeveelheid P naar het UF-concentraat.

Het percentage van de ingaande P, droge stof en organische stof dat in de dikke fractie terecht kwam, was op de bedrijven A en H beduidend lager dan op de bedrijven B t/m F. Dit geldt in minder mate ook voor N-totaal. Dit resultaat geeft aan dat de scheidingsefficiëntie van de centrifuge gevolgd door

ultrafiltratie lager was dan van de combinatie zeefbandpers of vijzelpers met flotatie. Hierbij moet wel worden bedacht dat de bedrijven A en H digestaat verwerkten, dat in het algemeen een lager scheidingsrendement oplevert dan onbehandelde varkensdrijfmest (De Buisonjé en Smolders, 2002).

Het percentage van ingaande hoeveelheid N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en K dat in het RO-concentraat terecht kwam varieerde sterk, maar was op de bedrijven B t/m F aanzienlijk hoger dan op de bedrijven A en H. Dit kwam mede omdat een deel van de N en K in het UF-concentraat terecht was gekomen. Op de bedrijven D en F ging meer dan driekwart van de ingaande hoeveelheid N-NH<sub>4</sub> en K naar het RO-concentraat. Op de bedrijven B en C waren de percentages vergelijkbaar, tussen 50 en 60%. Bedrijf E zat onder de 50%.

De RO-concentraten van de bedrijven B t/m F bevatten een groter deel van de ingaande droge stof en organische stof dan de RO-concentraten van de bedrijven A en H, waar een substantieel deel van deze bestanddelen in het UF-concentraat terecht kwam. De combinaties zeefbandpers en vijzelpers met flotatie scheidde vóór de RO relatief minder droge stof en organische stof af dan de combinatie centrifuge/ultrafiltratie.

### 5.7.3 Secundaire nutriënten en spoorelementen

De verdeling van secundaire nutriënten en spoorelementen over de eindproducten was in het algemeen gelijk aan de verdeling van droge stof. De grootste hoeveelheid secundaire nutriënten en spoorelementen werd teruggevonden in de dikke fractie. Dit geldt niet voor het opgeloste SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dat zich op gelijke wijze als ammonium en kalium over de eindproducten verdeelde.

### 5.7.4 Zware metalen

Op dezelfde wijze als voor de hoofdelementen werd een verdeling gemaakt van de inkomende zware metalen over de eindproducten. Van de zware metalen werden Pb, Hg en As niet in het ingaande materiaal en de eindproducten aangetroffen. Cd werd in één monster ruwe mest aangetroffen in een concentratie van 0,30 mg/kg. In geen enkel ander monster werd Cd aangetroffen. Voor Cr, Cu, Ni en Zn werd de massaverdeling berekend. De verdeling van zware metalen over de eindproducten was vergelijkbaar met die van droge stof; het overgrote deel van de hoeveelheid inkomende zware metalen werd teruggevonden in de dikke fractie. Een geringe hoeveelheid kwam in het RO-concentraat terecht (zie voor gehalten Bijlage 1).

## 5.8 Massabalans

### 5.8.1 Hoofdelementen

Tabel 35 vermeldt per pilotbedrijf het procentuele verschil tussen de ingaande en uitgaande massa van de hoofdelementen. De massa in de input werd afgetrokken van de massa in de eindproducten zodat een tekort op de balans met een negatieve waarde wordt aangeduid. De getallen in Tabel 35 komen overeen met de negatieve waarde van de saldi in Tabel 34.

**Tabel 35** Massabalans van de hoofdelementen op de pilotbedrijven. Massa in input (100%) is afgetrokken van procentuele massa in eindproducten.

Bedrijf	P	Org. stof	Droge stof	N-totaal	N-NH <sub>4</sub>	K
A	0	0	-2	-10	-6	-12
B	0	12	16	1	4	-9
C	0	5	4	-4	-4	-8
D	0	2	2	-4	-3	-5
E	0	12	10	2	0	8
F	0	11	10	-3	-1	-3
H	0	8	4	-3	-9	-14

Tabel 35 laat zien dat de massa van P in balans was, hetgeen inherent is aan de berekeningsmethode. Organische stof en droge stof vertoonden op vrijwel alle bedrijven een overschot op de balans, wat mede toe te schrijven is aan toevoeging van hulpstoffen, zoals zuren, zouten en flocculanten, tijdens het verwerkingsproces. Voor N-totaal en N-NH<sub>4</sub> was de balans neutraal tot licht negatief. Een neutrale massabalans voor stikstof was te verwachten omdat de bemonstering van de processtromen direct vóór en direct ná elke processtap heeft plaatsgevonden. De kleine verliezen aan stikstof zijn toe te schrijven aan gasvormige emissies, die direct na mechanische scheiding vanuit de dikke fractie en vanuit de flotatie unit konden optreden. In het kader van dit project werden geen emissiemetingen uitgevoerd. Voor K was de balans op 6 van de 7 bedrijven licht negatief, d.w.z. dat er tijdens het proces geringe verliezen zijn opgetreden. Mogelijk dat tijdens het verwerkingsproces complexvorming met K optrad waardoor dit element (voor een deel) is geprecipiteerd en daardoor ogenschijnlijk uit het systeem is verdwenen. Concrete aanwijzingen werden hier echter niet voor gevonden.

### 5.8.2 *Secundaire nutriënten en spoorelementen*

De massabalans van secundaire nutriënten vertoonde in het algemeen overschotten en tekorten die vergelijkbaar waren aan de massabalans van de hoofdelementen. De massabalans van de spoorelementen toonde grotere overschotten en tekorten dan de massabalans van de hoofdelementen en secundaire nutriënten. Deze verschillen zijn mogelijk terug te voeren op analyse onnauwkeurigheden, met name ten aanzien van de elementen die in zeer lage concentraties, d.w.z. in de buurt van de detectiegrens, in de processtromen voorkwamen. Dit was het geval voor Co en Mo. Een aantal bedrijven lieten voor deze elementen een fors overschot (> 100%) op de massabalans zien. Dit geldt ook voor B en in mindere mate voor Mn. Tekorten op de massabalans waren in het algemeen van een lagere orde grootte dan de overschotten. De grootste tekorten (< 100%) deden zich voor op de massabalans van Co, Mn en Mo.

### 5.8.3 *Zware metalen*

De massabalans van zware metalen vertoonde zowel overschotten als tekorten. Het grootste tekort op de balans werd gevonden op Bedrijf H voor Cr (98%). Het grootste overschot op de balans werd gevonden op Bedrijf B voor Ni (94%). Chroom en nikkel kwamen in zeer lage concentraties in de processtromen voor.



## 6 Discussie

### *Mestverwerking*

Het mestbeleid is erop gericht evenwicht op de mestmarkt te creëren. Met de aanscherping van de gebruiksnormen wordt het overschot aan dierlijke mest in Nederland steeds meer voelbaar op de mestmarkt. Hogere afzetkosten zijn het gevolg. Mestverwerking komt steeds meer in beeld om het mestoverschot binnen of buiten de landbouw verantwoord te kunnen plaatsen. In Nederland zijn diverse mestverwerkingsinitiatieven in gebruik en in ontwikkeling (Melse, 2004; Timmerman en de Buissonjé, 2010). Sommige operationele initiatieven zijn erop gericht om mest uit de markt te nemen, zoals nitrificatie/denitrificatie (kalvergier) en verbranding (pluimveemest). Andere initiatieven verwerken mest met als doel de afzetmarkt van het eindproduct in binnen- en buitenland te vergroten, zoals composteren, pasteuriseren, steriliseren en pelleteren. Een aantal initiatieven past mestscheiding toe om een herverdeling van N en P in de eindproducten tot stand te brengen ten behoeve van maximale benutting van mineralen uit mest en verlaging van het kunstmestgebruik. Voor grondgebonden (rundvee)bedrijven, die wel een P-overschot hebben maar geen N-overschot, kan mestscheiding een oplossing bieden omdat de dunne fractie, met een groot volume en een hoge N/P-verhouding, op het eigen bedrijf kan worden aangewend en de dikke fractie, met een klein volume en een lage N/P-verhouding, tegen relatief lage kosten buiten het eigen bedrijf kan worden afgezet. Voor bedrijven zonder eigen grond is mestscheiding alleen geen oplossing omdat zowel de dikke als de dunne fractie buiten het eigen bedrijf moet worden afgezet. Afzet van de dunne fractie, die 75-85% van het oorspronkelijke mestvolume uitmaakt en relatief lage gehalten aan bestanddelen met bemestende waarde bevat, brengt vergelijkbare transportkosten met zich mee als drijfmest. Membraanfiltratie biedt de mogelijkheid om water uit de dunne fractie af te scheiden en de nutriënten in een klein volume te concentreren. Hoe kleiner de poriëgrootte van het membraan des te meer stof wordt uitgefilterd. Om een gereduceerd af te zetten volume over te houden dient het resterende water hergebruikt te kunnen worden of loosbaar te zijn. Membranen die bij microfiltratie ( $< 10 \mu\text{m}$ ) en ultrafiltratie ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ) worden toegepast zijn te grof om loosbaar water te kunnen produceren. Omgekeerde osmose membranen ( $< 0,001 \mu\text{m}$ ) kunnen dit in principe wel.

### *Omgekeerde osmose*

In het verleden zijn in Nederland reeds experimenten uitgevoerd met omgekeerde osmose als onderdeel van mestverwerking (van Tongeren en van Veen, 1986; van Gastel en Thelosen, 1995). Na 2000 betrof dit naast experimentele ook praktisch operationele installaties (Melse *et al*, 2004). Membraan filtratie werd vooral ingezet voor het verwerken van dunne zeugenmest omdat de afzet van deze mestsoort de hoogste kosten met zich meebracht in verhouding tot de bemestingswaarde. In verschillende landen, met regio's met een vergelijkbare mestproblematiek als in Nederland, wordt eveneens membraan filtratie, waar onder omgekeerde osmose, ingezet bij mestverwerking zowel experimenteel als operationeel (Masse *et al*, 2007; Chiumenti *et al*, 2009). In het algemeen is de inzet van omgekeerde osmose niet gericht op de productie van een kwalitatief hoogwaardig concentraat maar op het produceren van een zo groot mogelijk volume loosbaar water. De gerapporteerde resultaten van experimenten en praktijkinstallaties zijn vaak moeilijk te vergelijken met de resultaten van deze monitoring omdat (voldoende) betrouwbare gegevens over de ingaande mest en de eindproducten en gegevens over de procesomstandigheden ontbreken.

### *Samenstelling RO-concentraat*

Het RO-concentraat van de pilotbedrijven bevatte gemiddeld 7,1 g/kg N, 0,2 g/kg P en 7,8 g/kg K. Deze gehalten wijken af van de gehalten die door van Gastel en Thelosen (1995) zijn gemeten in een experiment, waarin een N-gehalte van 6,7 g/l, een P-gehalte van 0,3 g/l en een K-gehalte van 11,5 g/l werden vastgesteld. Dit experiment werd uitgevoerd met een kleinschalige installatie met zeugenmest als uitgangsmateriaal en bezinking onder toevoeging van een vlokmiddel als voorbehandeling. De gehalten wijken ook af van de resultaten die Chiumenti *et al* (2009) rapporteert: N-, P- en K-gehalten in RO-concentraat van respectievelijk 6,6, 0,08 en 10,0 g/kg. Deze resultaten werden verkregen door metingen aan praktijkinstallaties, waarin digestaat uit co-vergisting van verschillende mestsoorten en co-producten werd verwerkt. De voorbehandeling bestond uit centrifugeren en ultrafiltratie. Opvallend aan deze resultaten is het grote verschil tussen het N-gehalte en het K-gehalte. Hier kan geen verklaring voor worden gegeven. Het P-gehalte van 0,08 g/kg is aanzienlijk lager dan het gemiddelde P-gehalte van het RO-concentraat van de pilotbedrijven, maar komt overeen met het P-gehalte van het concentraat van Bedrijf E.

De verschillen in samenstelling van het RO-concentraat tussen de pilotbedrijven waren voornamelijk toe te schrijven aan verschillen in voorbehandeling en aan verschillen in procesmanagement. Het laatste was sterk afhankelijk van de bedrijfssituatie. Procesparameters zoals werkdruk en flux en ook het

gebruik van hulpstoffen en de reiniging van de membranen werden afgestemd op de specifieke bedrijfsomstandigheden en de markt voor de eindproducten en de hieraan gekoppelde afzetkosten. Een hogere werkdruk leidt weliswaar tot een hogere concentreringsfactor en hogere mineralengehalten in het RO-concentraat maar gaat gepaard met een lagere permeaatflux en een minder zuiver permeaat (van Gastel en Thelosen, 1995). Bovendien verhoogt een hogere werkdruk het risico op vervuiling en beschadiging van de membranen.

Voor de bedrijven die alleen eigen mest verwerken is de verwerkingscapaciteit minder relevant dan voor bedrijven die mest van derden verwerken en daarom een zeker verwerkingsvolume moeten realiseren. Op de bedrijven D en E zijn factoren als opslagcapaciteit van ruwe mest van het eigen bedrijf en de afzetmogelijkheden en -kosten van de eindproducten niet beslissend voor het procesmanagement.

Omdat beide bedrijven hun eindproducten op relatief korte afstand en dus tegen lage kosten kunnen afzetten is sturing van het verwerkingsproces op de kwantiteit en kwaliteit van de eindproducten minder noodzakelijk dan op de andere bedrijven. Voor de grotere bedrijven (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 wel relevant. Voor de grotere bedrijven kan het economisch voordelig zijn om in het uitrijseizoen met een lagere concentratiefactor te werken dan buiten het uitrijseizoen, de periode dat het concentraat opgeslagen moet worden.

RO-concentraat kan aangemerkt worden als een vloeibare NK-meststof. Beide nutriënten komen in ongeveer gelijke concentraties voor. Het is een waterrijk product waarmee geen grote transportafstanden kunnen worden afgelegd, ook niet als de afnemer bereid is de mineralenwaarde ervan te betalen. Om de afzetmogelijkheden te vergroten dient de kwaliteit van het concentraat verbeterd te worden, in termen van hogere gehalten aan N en K en lagere gehalten aan P en organische stof. Op de meeste pilotbedrijven verloopt het verwerkingsproces redelijk optimaal en is met de huidige technieken geen substantiële verhoging van het N- en K-gehalte in het RO-concentraat te realiseren. Hiervoor zijn nieuwe technieken nodig, al dan niet nageschakeld. Te denken valt aan toepassing van een ander type RO-membraan dat een hogere druk aankan, waarmee hogere N en K concentraties kunnen worden bereikt. Hogere concentraties kunnen ook worden bereikt door indampen van het concentraat, b.v. door gebruikt te maken van beschikbare overtollige warmte. Met het oog op vergroting van de afzetmogelijkheden kan ook worden gedacht aan splitsen van het concentraat in een N- en een K-meststof, b.v. door middel van strippen.

De meetresultaten laten zien dat er tussen de pilot bedrijven aanzienlijke verschillen bestaan in het organische stof gehalte in het RO-concentraat. Aangehouden is dat de voorgehandelingstechniek het procesmanagement hierop van invloed zijn. Dit betekent dat sturing op het gehalte aan organische stof mogelijk is en dat op sommige bedrijven een lager os-gehalte in het RO-concentraat gerealiseerd kan worden. Een lager gehalte aan organische stof gaat gepaard met een lager aandeel organisch gebonden stikstof en leidt mogelijk tot een hogere stikstofwerking van het RO-concentraat (Ehlert en Hoeksma, 2011).

De afzetbaarheid van het RO-concentraat is gekoppeld aan de erkenning als kunstmestvervanger en het gebruik ervan boven de norm dierlijke mest. De stikstof in het RO-concentraat wordt voor 100% meegerekend, terwijl die van dierlijke mest maar voor 60 to 80% wordt meegerekend in relatie tot de gebruiksnorm. Gezien de strenge gebruiksnormen die in Nederland gelden (en verder worden aangescherpt de komende jaren), is het wenselijk om een concentraat te produceren met een zo laag mogelijk P-gehalte. De acceptatie van RO-concentraat zal toenemen indien de samenstelling constant en ook gegarandeerd is. Het pilotproject heeft aangetoond dat de productie van een RO-concentraat met constante samenstelling mogelijk is, op voorwaarde dat de samenstelling van het ingangsmateriaal van de RO constant is en het productieproces stabiel verloopt.

#### *Organische microverontreinigingen*

Dierlijke mest is geen bron van organische microverontreinigingen (Driessen *et al*, 1998). Bij diervoeding wordt een strikte kwaliteitsborging gehanteerd. Deze borging is gebaseerd op een GMP<sup>2</sup>/(GMP+HACCP)<sup>2</sup>-systematiek. Risico's op contaminatie worden daarmee beheerst en uitgesloten. Daardoor is er geen verwachting dat mineralenconcentraten van verwerking van drijfmest belast zijn met organische microverontreinigingen die door de Meststoffenwet worden aangewezen.

Twee pilotbedrijven (A en H) vergisten varkensdrijfmest of rundveedrijfmest. Beide bedrijven vergisten daarnaast covergistingsmaterialen van de zogenoemde positieve lijst. Deze lijst is bijlage Aa Onderdeel IV van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet (URMW). Ook deze positieve lijst is een vorm van kwaliteitsborging. Vergisting van dierlijke mest met covergistingsmaterialen van de positieve lijst kan

<sup>2</sup> GMP<sup>2</sup>: *Good Management Practice* is een kwaliteitssysteem dat HACCP-principes toepast ter borging van de voedselveiligheid. HACCP staat voor Hazard Analysis of Critical Control Points. Dit is een preventieve systematiek waarbij fysische, chemische en biologische risico's op voorhand worden aangegeven en risico's worden uitgesloten waardoor controle op het eindproduct niet meer nodig is. Daartoe worden kritische punten (*critical control points*) van het proces vastgesteld ter uitsluiting en/of beperking van deze risico's.



daardoor eveneens niet leiden tot contaminatie van het digestaat. Geen van de organische microverontreinigingen overschrijdt de samenstellingseisen van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Een referentiekader voor NK-meststoffen voor contaminanten gebaseerd op bepaling van de EU-Verordening 2003/2003 ontbreekt. Nederland kent daarentegen een toetsingskader voor meststoffen, anders dan die welke het label 'EG-meststof' voeren. Het oogmerk hierbij is dat meststoffen daardoor geen dusdanige hoeveelheden contaminanten bevatten dat bij toepassing bij verantwoord landbouwkundig gebruik – schade wordt berokkend aan het milieu, de gebruiker, (landbouwhuis)dieren of planten. De resultaten wijzen uit dat organische microverontreinigingen mineralenconcentraten niet belasten. In dit onderzoek is niet gekeken naar de aanwezigheid van antibiotica en medicijnresten.

#### *Mechanische scheiding*

De resultaten laten zien dat de verschillen in de samenstelling van de dikke en dunne fracties tussen de pilotbedrijven voor een groot deel konden worden verklaard door verschil in scheidingstechniek. De zeefbandpers en de vijzelpers in combinatie met flotatie bleken zeer effectief in het afscheiden van droge stof, organische stof en P zoals blijkt uit Tabel 34. De centrifuge was minder effectief. Het hoge scheidingsrendement werd verkregen door gebruik te maken van vlokmiddelen in verschillende samenstellingen en doseringen. Op basis van de resultaten was het niet mogelijk een dosis/effect relatie van de flocculanten aan te tonen omdat het gehalte aan zwevende deeltjes in de processtromen niet is gemeten en de gemeten componenten (droge stof en organische stof) geen bruikbare maatstaven zijn. De keuze van het type flocculant en de dosering werd door de bedrijven gaandeweg het project gemaakt, waarbij verschillende overwegingen een rol hebben gespeeld, waaronder de kosten. Zonder vlokmiddelen is het scheidingsrendement van een zeefbandpers en een vijzelpers voor droge stof, organische stof en P beduidend lager dan met gebruik van vlokmiddelen (Verdoes *et al*, 1992). Hjorth *et al* (2008) bereikte bij scheiding van varkensmest met een centrifuge zonder vlokmiddel een scheidingsrendement voor P van 60% en een rendement van 95% bij optimaal gebruik van een polymeer vlokmiddel. Krumpelman *et al* (2005) vond een maximaal scheidingsrendement bij gecombineerd gebruik van een polymeer vlokmiddel en  $AlCl_3$  of  $FeCl_3$ . Overigens wordt in deze publicatie niet gewezen op de extra hoeveelheid chloor in het eindproduct en daardoor grotere kans op chloorschade aan gewassen. Volgens Christensen *et al* (2009) kan de juiste dosering van een flocculant rechtstreeks van het droge stof gehalte van de te behandelen mest worden afgeleid. De op de pilotbedrijven gevonden scheidingsrendementen van de zeefbandpers en de vijzelpers in combinatie met flotatie voor P zijn hoger dan het rendement dat door Schröder *et al* (2009) wordt ingeschat, die een maximaal rendement van 75% verwacht.

De scheidingsrendementen van de centrifuge bleven duidelijk achter bij die van de zeefbandpers en vijzelpers in combinatie met flotatie. Dit kan worden verklaard door het feit dat met de centrifuge vergiste mest wordt gescheiden. De Buissonjé en Smolders (2002) en Mantovi *et al* (2010) hebben aangetoond dat vergisting een negatieve invloed heeft op het scheidingsrendement. Verloop *et al* (2010) vond daarentegen een hoger scheidingsrendement bij scheiding van vergiste rundveedrijfmest ten opzichte van niet vergiste drijfmest. Dinuccio *et al* (2010) rapporteert eveneens een hoger scheidingsrendement van vergiste mest bij scheiding van rundveedrijfmest met een vijzelpers. Bedrijven A en H kwamen met de combinatie centrifuge/ultrafiltratie tot vergelijkbare verwijderingsrendementen voor droge stof, organische stof en P als de andere bedrijven met de combinatie zeefband/flotatie en met de combinatie vijzelpers/flotatie. Dit komt ook tot uitdrukking in de gehalten in de dunne fractie. Een hoog verwijderingsrendement betekent een laag gehalte in de dunne fractie. De laagste gehalten aan droge stof, organische stof en P worden gevonden in de dunne fracties na scheiding met een combinatie vijzelpers/flotatie. De samenstelling van de dunne fracties van de pilotbedrijven komen redelijk overeen met de samenstelling die door Melse *et al* (2004) wordt gerapporteerd.

De resultaten laten zien dat met de scheidingstechniek sturing mogelijk is wat betreft de gehalten aan droge stof, organische stof en P in de dikke en dunne fractie, maar dat de scheidingstechniek vrijwel geen invloed heeft op de gehalten aan N en K. De laatste zijn vooral afhankelijk van het ingangsmateriaal. Voor het produceren van dikke en dunne fracties met constante gehalten aan N en K moet met ruwe mest van constante samenstelling worden gewerkt.

De dikke fractie is de afgelopen twee jaar voor een groot deel afgezet naar vergistingsinstallaties, zij het tegen hoge kosten. Een kleine deel van de dikke fractie heeft afzet gevonden als grondstof voor enkele composteerbedrijven. Ervan uitgaande dat het digestaat uit de vergister weer in de mestketen terecht komt en de compost in het buitenland wordt afgezet, heeft het tweede afzetkanaal met het oog op het fosfaatoverschot de voorkeur boven de eerste.

### *Ultrafiltratie en flotatie*

De beide UF-installaties draaiden in combinatie met een centrifuge en de flotatie-units in combinatie met een zeefbandpers of een vijzelpers. Dit is toeval. Ultrafiltratie leverde vergelijkbare resultaten op als flotatie als het gaat om de kwaliteit (organische stof en P-gehalte) van het UF-permeaat en het effluent van de flotatie. Van Gastel en Thelosen (1995) vonden vergelijkbare resultaten bij verwerking van zeugenmest met bezinking, onder toevoeging van een flocculant, als voorbehandeling voor de RO. De vraag is welke van deze technieken het meest kosteneffectief is, ultrafiltratie of flotatie. Ultrafiltratie brengt een hogere investering en een hoger energieverbruik met zich mee dan flotatie. Een bijkomende kostenpost van ultrafiltratie is de afzet van het permeaat dat wettelijk als dierlijke mest wordt gekwalificeerd en in vergelijking met ruwe mest een lage bemestende waarde heeft. Daar staat tegenover dat bij ultrafiltratie met minder hulpstoffen kan worden volstaan dan bij flotatie. Overigens brengt Bedrijf A het UF-concentraat niet meer als eindproduct (dierlijke mest) op de markt maar wordt het teruggevoerd naar de vergister. Bedrijf H wendt het UF-concentraat voor een deel aan op het eigen bedrijf en voert de rest terug naar de vergister. Een globale kostenberekening laat zien dat de investeringskosten van de pilotbedrijven met een UF-installatie aanzienlijk hoger zijn dan van bedrijven zonder UF-installatie van vergelijkbare omvang, in de zin van de hoeveelheid verwerkte mest (De Hoop *et al*, 2011).

Het is niet mogelijk om een zuivere vergelijking te maken van de effecten van beide technieken omdat geen meetgegevens beschikbaar zijn van de samenstelling van de input van de flotatie-units. Het was praktisch onmogelijk om van deze processtroom representatieve monsters te nemen. De samenstelling van de UF-permeaten van Bedrijf A en Bedrijf H komen vrijwel overeen wat betreft de gehalten aan N, P en K, maar laten aanzienlijke verschillen zien in de gehalten aan droge stof en organische stof. Het verschil in rendement voor organische stof tussen beide UF-installaties is opvallend. Het is niet mogelijk om op basis van de meetgegevens een duidelijke verklaring te geven voor dit verschil. Een mogelijke oorzaak kan de toevoeging van zwavelzuur aan de input van de UF-installatie van Bedrijf H zijn. Zwavelzuur vormt met ammonium ammoniumsulfaat dat bij de elementen-analyse als de anorganische componenten  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  worden gemeten, maar bij de ruw as-bepaling niet worden meegenomen. Het ruw as-gehalte wordt te laag ingeschat en vervolgens wordt het organische stof gehalte te hoog ingeschat, dat immers als het verschil tussen het droge stof gehalte en het ruw as gehalte wordt berekend. Het sulfaatgehalte van het UF-permeaat van Bedrijf H is fors hoger dan van Bedrijf A. Het aantal meetgegevens van Bedrijf H is te gering en de bedrijfsomstandigheden tijdens de meetperiode te onzeker om hier harde uitspraken over te doen. Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat het verschil in rendement van beide UF-installaties voor organische stof verband heeft met het verschil in mestsoort.

### *Massaverdeling over de eindproducten*

De gerealiseerde massaverdeling van de ingaande mest over de eindproducten verschilde op de meeste pilotbedrijven aanzienlijk van de massaverdeling die door de bedrijven bij aanvang van het pilotproject werd opgegeven en verwacht. Veelal betrof dit een opgave van de leverancier van de verwerkingsinstallatie. Volgens deze opgaven zou een aandeel dikke fractie, RO-concentraat en RO-permeaat van gemiddeld resp. 20, 30 en 50% verwacht mogen worden, behalve op de bedrijven met een UF-installatie waar een hoeveelheid UF-concentraat aan het systeem wordt onttrokken. Bedrijf C voldoet aan de gemiddelde massaverhouding tussen de eindproducten. De verschillen tussen de pilotbedrijven in dit opzicht zijn terug te voeren op verschillen in samenstelling van de ruwe mest en in procesmanagement. De massaverdeling van de eindproducten is zeer bepalend voor het economische perspectief van het verwerkingsconcept omdat de afzetkosten van de eindproducten verschillen (De Hoop *et al*, 2011). Het is tegen de huidige lozingskosten voordelig om een zo groot mogelijk volume loosbaar RO-permeaat te produceren. Voor de afzet van de dikke fractie en vooral het RO-concentraat is de transportafstand een belangrijke factor. Uiteindelijk zullen de verwerkingskosten inclusief afzet van de eindproducten aan de veehouder/mestleverancier worden doorberekend.

### *Massabalans van de verwerkingsinstallaties*

De massabalans toonde wat betreft de hoofdelementen geringe overschotten en tekorten. De overschotten aan droge stof en organische stof die op de meeste pilotbedrijven werden vastgesteld, kunnen mogelijk worden verklaard door meetfouten (bemonstering en analyse). Voor het tekort aan K, dat op 6 van de 7 pilotbedrijven werd vastgesteld, liggen bemonsteringsfouten (niet representatieve monsternamen) als mogelijke oorzaak niet voor de hand, omdat K als opgelost element minder gevoelig is voor fouten in de bemonstering. N-totaal en  $\text{N-NH}_4$  laten een vrijwel sluitende balans zien. Alleen op Bedrijf A is een tekort van 10% vastgesteld.

## Conclusies

Het pilotproject heeft aangetoond dat de productie van een RO-concentraat uit dierlijke mest met constante samenstelling mogelijk is, op voorwaarde dat de samenstelling van het ingangsmateriaal en de instelling (EC-waarde) van de RO-installatie constant zijn.

Het RO-concentraat kan aangemerkt worden als een NK-meststof. Het RO-concentraat dat in 2009 en 2010 op de pilotbedrijven is geproduceerd bevatte gemiddeld 7,1 g/kg stikstof en 7,8 g/kg kalium. Ongeveer 90% van de stikstof bestaat uit ammonium. Daarnaast bevat het concentraat een geringe hoeveelheid organische stof en fosfor. Er is geen aantoonbaar verschil in de samenstelling van het concentraat tussen 2009 en 2010.

Er zijn duidelijk verschillen in samenstelling van het RO-concentraat tussen de pilotbedrijven. De verschillen tussen bedrijven kunnen voor een klein deel worden verklaard door een verschil in samenstelling van de ruwe mest. De verschillen kunnen voor een groot deel worden verklaard door een verschil in voorbehandelingstechniek. De RO-concentraten van bedrijven met een combinatie van centrifuge en ultrafiltratie en met een combinatie van zeefbandpers en flotatie bevatten hogere gehalten aan hoofdelementen dan bedrijven met een combinatie van vijzelpers en flotatie. Tussen de combinaties centrifuge/ultrafiltratie en zeefbandpers/flotatie bestaan geen significante verschillen.

Er is een indicatie dat de mestsoort (rundvee- en varkensdrijfmest) van invloed is op de samenstelling van het RO-concentraat.

Verschillen in samenstelling van het RO-concentraat tussen bedrijven met dezelfde voorbehandelingstechniek zijn toe te schrijven aan een verschil in procesmanagement. Het ingestelde *setpoint* van de EC-waarde is bepalend voor de zoutgehalten in het RO-concentraat.

Binnen bedrijven varieert de samenstelling van het RO-concentraat. De variatie binnen bedrijven moet worden toegeschreven aan onregelmatige procesvoering. De bedrijven C en F hebben RO-concentraten van relatief constante samenstelling geproduceerd vergeleken met de andere bedrijven.

Er zijn geen duidelijke trends in de tijd waargenomen in de samenstelling van de RO-concentraten.

RO-concentraten onderschrijden maximaal toelaatbare gehalten aan organische microverontreinigingen voorgeschreven door de samenstellingseisen van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. In dit opzicht zijn mineralenconcentraten schoon en onverdacht.

Het verschil in EC-waarde tussen de input en de ingestelde EC-waarde van de RO-installatie is maatgevend voor de mate waarin de input kan worden geconcentreerd. De concentratiefactoren verschillen sterk tussen de pilotbedrijven, zowel door verschil in EC-waarde van de input als verschil in ingestelde EC-waarde. De ingestelde EC-waarde is een keuze van de ondernemer die de keuze o.a. laat afhangen van factoren als energie- en onderhoudskosten en afzetbaarheid van het concentraat.

De samenstelling van de dikke fractie na mechanische scheiding verschilt tussen de pilotbedrijven. De samenstelling is voor een groot deel afhankelijk van de scheidingstechniek. De dikke fracties na scheiding met een centrifuge en een zeefbandpers bevatten hogere gehalten aan droge stof, organische stof, fosfor en totaal stikstof dan de dikke fracties na scheiding met een vijzelpers. De gehalten aan ammonium en kalium worden voor een groot deel bepaald door de gehalten in de ruwe mest

De samenstelling van de dunne fractie varieert tussen bedrijven. Zowel de scheidingstechniek als de ruwe mest hebben invloed op de samenstelling. De gehalten aan N-totaal, N-NH<sub>4</sub> en K in de ruwe mest zijn sterk bepalend voor de gehalten aan deze componenten in de dunne fractie. De dunne fractie bevat een gering gehalte aan organische stof. Scheiding met een combinatie van zeefbandpers of vijzelpers en flotatie, met gebruik van een vlokmiddel, levert een 'schonere' dunne fractie op dan met de combinatie van centrifuge en ultrafiltratie.

Het permeaat van omgekeerde osmose voldoet niet aan de normen voor lozing op het oppervlaktewater. Na ionenwisseling kan wel aan de normen worden voldaan. Voor lozing van RO-permeaat op het riool gelden eisen van de waterbeheerder.

De massaverdeling van de ruwe mest over de eindproducten verschilt tussen de pilotbedrijven, evenals de verdeling van de hoofdelementen over de eindproducten. De dikke fractie bevat het overgrote deel aan fosfor, droge stof en organische stof. Het RO-concentraat bevat het overgrote deel aan ammonium en kalium. Tijdens het productieproces treden kleine verliezen op van stikstof en kalium. Het berekende verlies aan stikstof bedraagt maximaal 10% (range -2 tot 10).

## LITERATUUR

- Buisonjé, de F. E. & M.A.H.H. Smolders (2002). Mest vergisten verlaagt scheidingsrendement. Praktijkkompas Varkens 20, November 2002.
- Chiumenti, R, A. Chiumenti & F. da Borso (2010). Digestate treatment by means of a full scale membrane system: an innovative method for managing surplus nitrogen and for valorising farm effluents. Ramiran International Conference 13-15 September 2010, Lissabon.
- Christensen, M.L., M. Hjorth & K. Keiding (2009). Characterization of pig slurry with reference to flocculation and separation. Water Research 43 (2009) 773-783.
- Dijk, van T.A., J.J.M. Driessen, P.A.I. Ehlert, P.H. Hotsma, M.H.M.M. Montforts, S.F. Plessius & O. Oenema (2009). Protocol beoordeling stoffen Meststoffenwet, versie 2.1, Werkdocument 167, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen, 74 p.
- Dinuccio, E, E. Paschetta, F. Gioelli & P. Balsari (2010). Efficiency of mechanical separation of digested and not digested slurry. Ramiran International Conference 13-15 September 2010, Lissabon.
- Doude van Troostwijk, M. (2002). Optimalisatie coagulatie bij behandeling oppervlaktewater tot drinkwater. H2O, 2002, No. 24, pag. 40-42
- Driessen, J.J.M., A.H. Roos, H. Bannink, G.M. Booiman - Hagens, G. Brouwer (1996). Zware metalen, organische microverontreinigingen en nutriënten in dierlijke mest, compost, zuiverings-slib, grond en kunstmeststoffen. Rapport / DLO-Rijks-Kwaliteitsinstituut voor Land- en Tuinbouwproducten (RIKILT-DLO) (96.14)
- Ehlert, P.A.I. & P. Hoeksma (2011). Landbouwkundige en milieukundige perspectieven van mineralenconcentraten. Deskstudie in het kader van de pilots mineralenconcentraten. Alterra-rapport 2185, Alterra Wageningen UR, 82 p.
- Gastel, van J.P.B.F. & J.G.M. Thelosen (1995). Vermindering van het volume van zeugenmest door middel van omgekeerde osmose. Praktijkonderzoek Varkenshouderij. Proefverslag nummer P 1.129, Sterksel, 48 p.
- Geel, van W., W. van Dijk & W. van den Berg (2011). Stikstofwerking van mineralenconcentraten bij aardappelen. Verslag van veldonderzoek in 2009 en 2010. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. Projectnummer: 32 501 316 00, Lelystad, 58 p.
- Hilhorst, G. & K. Verloop (2010). Scheiden van rundveemest met decanter van GEA Westfalia Separator. Testresultaten van scheiden met vergiste en onvergiste rundveemest. Koeien en Kansen. Rapport 57, 14 p.
- Hjorth, M., M.L. Christensen & P.V. Christensen (2008). Flocculation, coagulation and precipitation of manure affecting three separation techniques. Bioresource Technology 99 (2008) 8598-8604.
- Hoop, de J.G., C.H.G. Daatselaar, G.J. Doornwaard & N.C. Tomson (2011). Onderzoek naar mineralenconcentraten. Gebruikerservaringen en economische analyse. Rapport, LEI Wageningen UR, Wageningen, 49 p.
- Krumpelman, B.W., T.C. Daniel, F.G. Edwards, R.W. McNew & D.M. Miller (2005). Optimum Coagulant and Flocculant Concentrations for Solids and Phosphorus Removal from Pre-Screened Flushed Dairy Manure. ASAE, Vol. 21 (1) :127-135.
- KWIN 2009-2010. Kwantitatieve Informatie Veehouderij. Animal Sciences Group Wageningen UR. Handboek 7.
- Mantovi, P., C. Fabbri, M. Soldano & S. Piccinini (2010). Effects of solid/liquid separation on raw and digested slurries. Ramiran International Conference 13-15 September 2010, Lissabon.
- Masse, L, D.I. Massé & Y. Pellerin (2007). The use of membranes for the treatment of manure: a critical literature review. Biosystems engineering 98 (2007) 371-380.
- Melse, R.W., F.E. de Buisonjé, N. Verdoes & H.C. Willers (2004). Quick scan van be- en verwerkingstechnieken voor dierlijke mest. Rapportage opdrachtgever 1390938000, Wageningen UR Animal Sciences Group, Wageningen, 48 p.
- Middelkoop, van J.C. & G. Holshof (2011). Stikstofwerking van mineralenconcentraten op grasland. Livestock Research Wageningen UR, Rapport 475, 44 p.

- Monteny, G.J., F.E. de Buissonjé, D.A.J. Starmans & J.C. van Middelkoop (2007). Verkenning perspectieven van producten uit mestverwerking voor toelating als EG-meststof. ASG Wageningen UR, Rapport nr. 85, 29 p.
- Pieters, J.G., G.G.J. Neukermans & M.B.A. Colanbeen (1999). Farm-scale Membrane Filtration of Sow Slurry. *J. Agric. Engng Res.* (1999) 73, 403-409.
- Schröder, J.J., F.E. de Buissonjé, G. Kasper, N. Verdoes & K. Verloop (2009). Mestscheiding: relaties tussen techniek, kosten, milieu en landbouwkundige waarde. *Plant Research International*, Wageningen UR, Rapport 287, 35 p.
- Timmerman, M. & M.A.H.H. Smolders (2004). Mineralenbalans op afdelingsniveau bij vleesvarkens. *Animal Sciences Group Wageningen UR, Praktijkrapport Varkens 35*, 29 p.
- Timmerman, M., P.J.P.W. Claessen en A.J.J. Bosma (2005). Scheiding van varkensmest d.m.v. TowerFilter® en WEDA-vijzelpers. *Animal Sciences Group Wageningen UR, Praktijkrapport Varkens nr. 41*, 26 p.
- Timmerman, M & F.E. de Buissonjé (2010). Praktijkinitiatieven Mestverwerking. *Livestock Research Wageningen UR, Rapport 367*, 8 p.
- Tongeren, van W.G.J.M. & H.J. van Veen (1986). Toepassing van omgekeerde osmose bij zuivering van varkenschijfmest. *H<sub>2</sub>O* (19) 1986, nr. 21.
- Verdoes, N., G.M. den Brock & J.H.M. van Cuyck (1992). Mechanische mestscheiders als mogelijke schakel in de mestbewerking op bedrijfsniveau. Proefstation voor de Varkenshouderij, Proefverslag nummer P 1.77., 56 p.
- Vries, de J.W., P. Hoeksma & C.M. Groenestein (2011). Levens Cyclus Analyse (LCA) Pilots mineralenconcentraten. *Livestock Research Wageningen UR*, 61 p.

**Bijlage 1      Samenstelling processtromen**

### Samenstelling processtromen Bedrijf A

		Digestaat		Mest		Mest/digest.		Dikke fractie		Dunne fractie		Permeaat UF		Droog product		Concentraat UF		Concentraat RO		Permeaat RO	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	97,2	15,7	74,8	25,6	81,8	23,4	290	36,6	26,3	4,14	12,1	2,37	796	140	37,9	7,51	29,1	8,48	1,32	0,78
Ruw as	g/kg	29,6	4,61	22,7	10,1	24,9	8,31	70,2	9,17	10,9	1,53	8,12	1,69	208	48,4	11,9	1,93	18,6	3,69	1,17	0,79
Org. stof	g/kg	67,6	11,2	52,1	15,8	56,9	15,4	220	30,6	15,5	2,96	3,94	1,02	588	99,0	26,0	5,98	10,5	7,93	0,15	0,10
N-totaal	g/kg	8,13	0,79	6,53	1,62	6,92	1,47	11,2	0,69	4,62	0,75	3,18	0,45	23,2	2,94	5,43	1,12	6,41	0,69	0,75	0,46
N-NH4	g/kg	5,28	0,36	3,87	0,35	4,32	0,81	5,95	0,91	3,37	0,49	2,94	0,46	5,25	1,97	3,30	0,72	5,92	1,03	0,73	0,43
P	g/kg	1,98	0,27	1,52	0,43	1,66	0,42	7,54	1,19	0,25	0,05	0,07	0,03	21,5	3,93	0,40	0,09	0,20	0,15	0,01	0,00
K	g/kg	5,47	0,44	4,01	0,58	4,48	0,90	4,24	0,83	3,67	0,68	3,28	0,59	15,1	4,74	3,42	0,87	7,08	1,38	0,39	0,28
Ca	g/kg	2,46	0,42	1,52	0,59	2,03	0,68	10,5	1,98	0,46	0,10	0,03	0,01	27,0	6,33	0,81	0,15	0,18	0,38	0,00	0,00
Mg	g/kg	1,21	0,15	0,76	0,38	1,00	0,36	5,96	1,64	0,12	0,15	0,00	0,00	15,0	2,75	0,18	0,18	0,02	0,01	0,00	0,00
Na	g/kg	1,38	0,57	1,38	1,17	1,32	0,90	0,93	0,30	0,90	0,26	0,84	0,24	3,31	1,28	0,86	0,27	2,06	0,88	0,11	0,08
Cl-	g/kg	1,93	0,33	2,20	1,33	2,03	0,82	1,24	0,33	1,43	0,23	1,33	0,23	5,70	1,79	1,42	0,55	3,22	1,21	0,22	0,20
B	mg/kg	5,55	0,69	4,41	0,59	5,22	0,84	19,2	2,89	6,35	6,44	3,64	3,68	43,6	10,7	5,47	4,41	2,10	1,85	1,21	1,35
Cd	mg/kg	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Co	mg/kg	0,79	0,66	0,05	0,06	0,58	0,64	0,16	0,12	0,24	0,36	0,05	0,10	1,08	0,40	0,41	0,55	0,16	0,05	0,01	0,00
Cr	mg/kg	2,01	1,54	0,33	0,15	1,53	1,48	2,71	0,55	0,51	0,66	0,31	0,53	8,67	3,17	0,85	0,95	0,27	0,48	0,09	0,16
Cu	mg/kg	26,6	2,71	24,4	6,93	25,6	5,10	63,2	24,8	16,0	4,95	0,04	0,06	154	56,9	32,7	13,1	0,13	0,32	1,06	3,66
Fe	mg/kg	301	196	123	42,6	220	163	754	323	70,1	9,91	0,83	0,64	1722	311	143	21,4	53,3	227	0,32	0,28
Mn	mg/kg	47,0	7,54	37,9	7,51	44,4	8,20	196	42,6	7,88	1,29	0,17	0,20	437	249	15,1	2,63	0,42	0,48	0,03	0,03
Mo	mg/kg	1,39	1,09	0,43	0,03	1,12	0,97	0,76	0,44	0,65	0,67	0,01	0,00	2,51	0,35	1,18	1,11	0,01	0,00	0,01	0,00
Ni	mg/kg	2,23	1,74	0,57	0,10	1,76	1,60	1,29	0,64	0,94	0,97	0,40	0,50	5,34	2,09	1,42	1,42	0,59	0,08	0,09	0,16
S	mg/kg	883	174	548	143	731	232	2268	500	341	65,0	176	71,4	5704	1481	517	63,5	283	96,9	101	56,1
SO4	mg/kg	10,5	0,71	380	84,0	257	202	508	282	291	196	133	103			324	130	323	248	70,6	60,4
Zn	mg/kg	266	239	67,1	19,7	176	191	184	71,9	115	155	3,15	8,16	428	151	183	223	4,37	16,8	1,98	6,32
pH		8,07	0,11	7,67	0,15	7,88	0,24			8,11	0,34	8,30	0,28			8,16	0,38	8,22	0,25	9,04	0,31
s.g.	g/ml	1,04	0,01	1,04	0,01	1,04	0,01	1,16	0,01	1,02	0,00	1,01	0,00			1,02	0,01	1,03	0,00	1,00	0,00
EC	mS/cm	35,2	0,57	28,4	1,72	32,0	3,79			31,1	4,01	29,3	4,48			28,0	5,09	55,5	6,48	5,85	3,21



### Samenstelling processtromen Bedrijf B

		Mest		Dikke fractie		Dunne fractie		Ingaand RO		Concentraat RO		Permeaat RO		Permeaat RO na ionenwisselaar	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	77,4	11,6	283	19,1	20,0	3,11	21,9	12,7	38,6	4,56	0,24	0,12	0,20	0,00
Ruw as	g/kg	21,7	2,55	70,6	5,46	12,3	1,24	12,5	6,71	21,1	1,99	0,20	0,01	0,20	0,00
Org. stof	g/kg	55,8	9,29	212	17,4	7,68	2,06	9,37	10,1	17,5	3,57	0,03	0,11	0,03	0,00
N-totaal	g/kg	6,33	0,57	12,8	1,19	4,27	0,91	4,36	4,09	7,12	1,33	0,04	0,03	0,03	0,01
N-NH4	g/kg	4,21	0,47	5,56	0,99	3,85	0,93	4,13	3,89	6,77	1,28	0,04	0,03	0,02	0,02
P	g/kg	1,65	0,29	6,35	0,45	0,05	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
K	g/kg	4,23	0,46	3,96	0,36	3,70	0,41	3,89	4,30	6,53	0,74	0,05	0,00	0,05	0,00
Ca	g/kg	1,93	0,37	7,87	0,90	0,12	0,03	0,06	0,00	0,10	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	g/kg	0,99	0,25	3,66	0,44	0,21	0,09	0,23	3,31	0,41	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	g/kg	0,93	0,08	0,77	0,11	0,85	0,07	0,90	0,88	1,57	0,14	0,05	0,00	0,05	0,00
Cl-	g/kg	1,44	0,16	0,89	0,08	1,34	0,15	1,60	0,35	2,47	0,41	0,10	0,30	0,02	0,02
B	mg/kg	5,90	0,58	26,6	6,80	2,69	0,37	2,41	0,85	2,47	0,93	0,66	0,39	0,88	0,42
Cd	mg/kg	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Co	mg/kg	0,05	0,07	1,20	1,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,07	0,11	0,01	0,00	0,01	0,00
Cr	mg/kg	0,38	0,07	1,93	0,51	0,19	0,16	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	0,05	0,05	0,07
Cu	mg/kg	21,7	5,26	88,7	20,4	0,45	0,16	0,04	0,08	0,15	0,39	0,02	0,02	0,01	0,00
Fe	mg/kg	172	40,0	8330	1305	78,0	16,4	45,2	18,0	67,3	26,0	0,40	0,28	5,31	13,4
Mn	mg/kg	51,2	16,6	232	12,2	2,53	0,46	3,43	71,0	5,27	2,87	0,01	0,00	0,01	0,00
Mo	mg/kg	0,36	0,30	0,56	0,96	0,01	0,00	0,01	1,76	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Ni	mg/kg	0,54	0,12	3,05	0,28	0,24	0,21	0,40	0,12	0,60	0,14	0,01	0,00	0,03	0,04
S	mg/kg	784	150	4987	592	2681	561	3302	596	6049	1673	7,76	5,40	5,02	6,72
SO4	mg/kg	431	294	2911	2518	7469	1782	9320	1966	14869	2076	7,34	4,67	0,00	0,00
Zn	mg/kg	76,8	14,1	303	31,8	7,45	17,4	5,85	16,5	5,90	17,0	2,31	6,55	0,38	0,11
pH		7,65	0,20			7,58	0,23	7,68	0,25	7,77	0,16	6,21	0,68	5,43	0,88
s.g.	g/ml	1,04	0,01	1,13	0,01	1,02	0,00	1,02	0,00	1,03	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
EC	mS/cm	28,6	2,16			36,6	5,83	38,2	7,86	58,2	6,94	0,43	0,32	0,16	0,11

### Samenstelling processtromen Bedrijf C

		Mest		Dikke fractie		Dunne fractie		Concentraat RO		Permeaat RO	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	72,0	11,9	290	17,1	16,2	1,56	40,2	3,69	0,37	0,31
Ruw as	g/kg	19,2	2,07	56,9	3,87	8,60	0,82	20,9	1,62	0,26	0,12
Org. stof	g/kg	52,8	10,2	233	16,3	7,20	2,32	19,3	2,45	0,12	0,28
N-totaal	g/kg	6,29	0,60	12,61	0,65	4,01	0,55	8,92	0,45	0,29	0,14
N-NH4	g/kg	4,25	0,39	5,38	0,64	3,35	0,45	7,77	0,50	0,28	0,13
P	g/kg	1,55	0,24	6,89	0,50	0,13	0,03	0,34	0,05	0,01	0,00
K	g/kg	4,19	0,37	3,63	0,31	3,51	0,29	8,44	0,78	0,08	0,07
Ca	g/kg	1,41	0,27	7,13	0,80	0,12	0,07	0,32	0,14	0,00	0,00
Mg	g/kg	0,92	0,19	4,86	0,50	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Na	g/kg	0,87	0,06	0,70	0,08	0,76	0,07	1,85	0,17	0,04	0,02
Cl-	g/kg	1,60	0,19	1,00	0,19	1,25	0,23	3,04	0,73	0,01	0,01
B	mg/kg	4,87	2,82	18,8	4,01	2,98	2,19	2,96	1,47	0,31	0,15
Cd	mg/kg	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Co	mg/kg	0,04	0,06	0,12	0,20	0,01	0,00	0,09	0,05	0,01	0,00
Cr	mg/kg	0,34	0,13	1,93	0,16	0,04	0,05	0,44	0,80	0,01	0,00
Cu	mg/kg	24,8	5,48	127	22,5	0,58	0,13	4,40	2,83	0,01	0,00
Fe	mg/kg	133	35,8	743	105	20,0	44,0	14,1	13,7	0,22	0,19
Mn	mg/kg	29,0	7,33	175	22,4	0,94	0,11	2,72	0,16	0,01	0,00
Mo	mg/kg	0,14	0,23	1,79	0,03	0,02	0,01	0,07	0,06	0,01	0,00
Ni	mg/kg	0,57	0,07	2,14	0,58	0,34	0,23	0,61	0,23	0,01	0,00
S	mg/kg	740	347	3151	1260	310	397	511	579	210	173
SO4	mg/kg	277	174	1180	1178	683	1086	577	1520	94,0	59,1
Zn	mg/kg	133	223	564	756	20,8	71,0	28,3	102	14,6	50,4
pH		7,57	0,23			8,01	0,18	7,93	0,19	8,72	0,70
s.g.	g/ml	1,04	0,01	1,10	0,01	1,02	0,00	1,04	0,00	1,00	0,00
EC	mS/cm	29,4	1,84			32,4	3,45	63,2	2,82	2,39	1,21

**Samenstelling processtromen Bedrijf D**

		Mest		Dikke fractie		Dunne fractie		Concentraat RO		Permeaat RO	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	36,5	23,8	240	40,0	8,85	0,95	25,8	3,98	0,27	0,12
Ruw as	g/kg	15,3	7,87	79,8	9,05	6,07	0,65	18,0	2,76	0,23	0,05
Org. stof	g/kg	21,2	16,0	160	33,5	2,78	0,62	7,81	1,59	0,05	0,12
N-totaal	g/kg	3,23	0,95	10,9	0,94	1,94	0,22	5,26	0,62	0,12	0,06
N-NH4	g/kg	2,21	0,38	4,28	0,48	1,66	0,21	4,72	0,56	0,11	0,06
P	g/kg	0,88	0,75	7,06	0,71	0,04	0,01	0,11	0,04	0,01	0,00
K	g/kg	2,74	0,31	2,77	0,77	2,35	0,23	6,81	0,90	0,06	0,02
Ca	g/kg	1,40	1,18	10,5	0,82	0,14	0,11	0,29	0,16	0,00	0,01
Mg	g/kg	0,64	0,48	6,34	0,52	0,02	0,01	0,05	0,03	0,00	0,00
Na	g/kg	0,72	0,07	0,59	0,07	0,61	0,06	1,89	0,43	0,05	0,00
Cl-	g/kg	1,28	0,20	0,86	0,21	1,22	0,31	3,28	0,54	0,03	0,02
B	mg/kg	4,85	1,79	23,5	5,08	3,10	2,05	2,71	1,77	1,34	0,74
Cd	mg/kg	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Co	mg/kg	0,01	0,00	0,18	0,29	0,01	0,00	0,06	0,05	0,01	0,00
Cr	mg/kg	0,45	0,34	3,55	0,48	0,07	0,10	0,49	0,81	0,06	0,09
Cu	mg/kg	24,1	19,6	223	42,2	0,32	0,48	0,85	0,43	0,01	0,00
Fe	mg/kg	178	166	1232	130	4,32	4,83	8,33	3,24	0,37	0,32
Mn	mg/kg	20,5	18,6	182	14,3	0,50	0,40	1,24	0,81	0,01	0,00
Mo	mg/kg	0,19	0,31	2,36	0,70	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Ni	mg/kg	0,60	0,27	3,49	0,19	0,19	0,07	0,54	0,22	0,07	0,10
S	mg/kg	371	178	2537	448	132	31,0	295	160	44,6	18,7
SO4	mg/kg	279	105	1321	907	105	41,5	372	639	56,9	40,7
Zn	mg/kg	71,8	81,6	390	46,0	0,74	0,99	1,33	0,83	0,04	0,07
pH		7,93	0,30	8,21		8,17	0,23	7,93	0,19	8,14	1,14
s.g.	g/ml	1,02	0,01	1,11	0,01	1,01	0,00	1,03	0,00	1,00	0,00
EC	mS/cm	20,8	1,18	19,7		19,5	1,81	48,3	5,28	1,07	0,45

**Samenstelling processtromen Bedrijf E**

		Mest		Dikke fractie		Dunne fractie		Concentraat RO		Permeaat RO	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	53,1	19,8	188	64,8	12,3	2,33	19,4	6,28	0,81	0,64
Ruw as	g/kg	18,5	4,58	45,4	14,0	7,63	1,15	13,0	4,36	0,67	0,53
Org. stof	g/kg	34,6	15,5	142	53,2	4,62	1,65	6,32	2,27	0,13	0,16
N-totaal	g/kg	4,77	0,70	8,85	2,05	2,59	0,25	4,16	1,40	0,30	0,20
N-NH4	g/kg	3,17	0,15	3,48	0,69	2,21	0,22	3,56	1,37	0,29	0,19
P	g/kg	1,29	0,57	5,04	2,39	0,06	0,02	0,08	0,03	0,01	0,00
K	g/kg	4,05	0,46	3,36	0,51	3,23	0,43	5,53	1,91	0,26	0,25
Ca	g/kg	1,53	0,82	7,07	4,41	0,10	0,04	0,09	0,04	0,00	0,00
Mg	g/kg	0,92	0,50	3,31	1,14	0,04	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00
Na	g/kg	0,70	0,14	0,55	0,10	0,58	0,12	1,02	0,37	0,07	0,04
Cl-	g/kg	1,21	0,26	0,77	0,18	1,03	0,22	1,83	0,71	0,12	0,11
B	mg/kg	2,62	0,12	92,3	115	1,61	1,17	2,28	1,06	0,16	0,05
Cd	mg/kg	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Co	mg/kg	0,08	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	0,03	0,01	0,00
Cr	mg/kg	0,37	0,16	2,35	0,24	0,01	0,00	0,14	0,15	0,01	0,00
Cu	mg/kg	23,1	14,6	81,3	34,0	0,40	0,31	0,24	0,31	0,04	0,07
Fe	mg/kg	194	115	876	350	7,15	6,09	7,69	5,51	0,21	0,23
Mn	mg/kg	25,8	18,2	119	2,52	0,48	0,02	0,42	0,23	0,01	0,00
Mo	mg/kg	6,83	8,92	0,85	1,19	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Ni	mg/kg	0,51	0,18	2,31	0,02	0,08	0,09	0,34	0,15	0,01	0,00
S	mg/kg	548	213	1854	554	136	28,6	197	90,0	58,4	62,4
SO4	mg/kg	404	235	351	270	186	95,6	195	80,0	97,4	120
Zn	mg/kg	92,6	98,3	340	339	1,10	1,04	0,73	0,85	0,02	0,02
pH		7,62	0,20			7,94	0,18	7,96	2,36	8,24	0,88
s.g.	g/ml	1,03	0,01	1,08	0,02	1,01	0,00	1,02	0,31	1,00	0,00
EC	mS/cm	25,0	3,09			24,3	2,27	38,2	12,8	3,17	2,24

**Samenstelling processtromen Bedrijf F**

		Mest		Dikke fractie		Dunne fractie		Concentraat RO		Permeaat RO	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	65,1	25,7	316	17,1	16,7	1,97	33,9	1,97	0,36	0,28
Ruw as	g/kg	19,9	6,92	73,0	7,71	9,71	1,10	20,3	1,37	0,28	0,16
Org. stof	g/kg	45	19	243	15,2	7,01	1,23	13,7	1,95	0,08	0,14
N-totaal	g/kg	6,08	1,01	13,7	0,59	4,15	0,33	8,12	0,34	0,31	0,17
N-NH4	g/kg	4,08	0,64	5,77	0,85	3,47	0,37	7,13	0,28	0,29	0,17
P	g/kg	1,57	0,42	7,95	0,80	0,14	0,04	0,26	0,05	0,01	0,00
K	g/kg	4,06	0,63	3,76	0,37	3,86	0,35	8,08	0,29	0,08	0,04
Ca	g/kg	1,94	0,58	10,19	1,74	0,09	0,02	0,20	0,09	0,00	0,00
Mg	g/kg	1,03	0,28	5,98	0,65	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00
Na	g/kg	0,86	0,14	0,74	0,09	0,85	0,08	1,84	0,14	0,05	0,00
Cl-	g/kg	1,32	0,32	0,98	0,22	1,32	0,40	2,94	0,43	0,01	0,02
B	mg/kg	6,51	3,45	26,9	5,40	2,12	0,24	3,51	0,40	0,30	0,15
Cd	mg/kg	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Co	mg/kg	0,01	0,00	0,20	0,33	0,01	0,00	0,05	0,07	0,01	0,00
Cr	mg/kg	0,18	0,30	1,48	1,30	0,05	0,07	0,11	0,10	0,02	0,01
Cu	mg/kg	23,3	7,77	129	19,7	0,38	0,23	0,69	0,18	0,02	0,03
Fe	mg/kg	201	68,6	994	125	25,2	49,7	11,3	9,21	0,73	0,90
Mn	mg/kg	32,0	20,6	224	12,3	1,38	0,08	2,43	0,04	0,01	0,00
Mo	mg/kg	0,06	0,08	2,13	0,22	0,15	0,17	0,06	0,09	0,01	0,00
Ni	mg/kg	0,70	0,43	2,07	0,23	0,37	0,17	0,55	0,01	0,01	0,00
S	mg/kg	674	140	2980	227	203	36,4	293	39,0	169	50,2
SO4	mg/kg	305	130	819	825		61,9	141	136	79,6	43,7
Zn	mg/kg	131	123	693	625	0,90	0,29	1,66	0,62	0,06	0,07
pH		7,73	0,16			8,05	0,11	8,07	0,13	9,18	0,40
s.g.	g/ml	1,04	0,01	1,13	0,02	1,02	0,00	1,04	0,00	1,00	0,00
EC	mS/cm	28,0	3,14			31,3	8,76	60,3	2,60	2,48	2,06

### Samenstelling processtromen Bedrijf H

		Digestaat		Dikke fractie		Dunne fractie		Permeaat UF		Concentraat UF		Concentraat RO		Permeaat RO	
		Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv	Gem.	Stdv
Droge stof	g/kg	92,1	7,64	260	16,1	31,8	3,22	18,2	4,56	53,7	5,74	113	33,5	0,20	0,00
Ruw as	g/kg	26,2	3,65	67,4	7,10	11,1	0,98	10,7	1,34	12,3	1,41	41,8	3,34	0,20	0,00
Org. stof	g/kg	65,8	4,02	193	13,0	20,7	2,56	7,55	3,37	41,4	4,53	70,7	34,9	0,00	0,00
N-totaal	g/kg	6,78	0,51	10,41	1,11	4,79	0,38	3,32	0,21	6,80	0,51	11,0	0,87	0,02	0,00
N-NH4	g/kg	3,83	0,24	3,68	0,79	3,13	0,26	3,21	0,17	3,71	0,38	10,5	0,46	0,01	0,00
P	g/kg	1,33	0,18	4,70	0,63	0,22	0,03	0,07	0,04	0,41	0,05	0,27	0,06	0,01	0,00
K	g/kg	5,34	0,45	4,51	0,36	4,67	0,35	4,56	0,29	4,82	0,40	15,67	1,49	0,05	0,00
Ca	g/kg	1,22	0,12	3,71	0,39	0,25	0,04	0,08	0,04	0,46	0,15	0,34	0,06	0,00	0,01
Mg	g/kg	0,77	0,07	2,78	0,43	0,05	0,01	0,01	0,00	0,09	0,02	0,06	0,02	0,00	0,00
Na	g/kg	0,71	0,12	0,60	0,16	0,63	0,12	0,61	0,06	0,65	0,11	2,06	0,19	0,05	0,00
Cl-	g/kg	1,80	0,11	1,20	0,09	1,74	0,12	1,87	0,38	1,64	0,16	6,03	1,49	0,00	0,00
B	mg/kg	2,87						1,34		2,99		4,36		0,97	
Cd	mg/kg	0,01						0,01		0,01		0,01		0,01	
Co	mg/kg	0,01						0,01		0,01		0,01		0,01	
Cr	mg/kg	0,50						0,01		0,01		0,01		0,01	
Cu	mg/kg	4,69	0,29	17,47	2,37	0,51	0,14	0,10	0,13	2,08	1,01	0,03	0,02	0,01	0,00
Fe	mg/kg	304	38,8	1106	211	27,8	3,92	3,06	1,20	71,1	27,0	7,48	3,13	0,34	0,14
Mn	mg/kg	21,0						0,12		5,21		0,51		0,01	
Mo	mg/kg	0,34						0,01		0,31		0,01		0,01	
Ni	mg/kg	0,56						0,01		0,46		0,26		0,01	
S	mg/kg	565	89,6	1570	148	202	52,5	813	1451	362	95,0	15375	5693	4,15	3,33
SO4	mg/kg	211	192	245	107	169	204	2233	4385	132	159	39340	10905	1,75	0,96
Zn	mg/kg	18,7	1,12	67,1	7,54	2,28	0,28	0,06	0,06	6,02	2,16	0,46	0,90	0,01	0,00
pH		7,73	0,25			8,02	0,30	7,87	0,85	8,08	0,28	7,01	0,29	7,97	1,44
s.g.	g/ml	1,04	0,00	1,10	0,01	1,02	0,00	1,02	0,00	1,02	0,00	1,06	0,01	1,00	0,00
EC	mS/cm	27,1	1,02			30,3	1,87	32,5	1,44	28,7	1,60	91,5	9,47	0,10	0,03

**Bijlage 2      Meetgegevens organische microverontreinigingen**

**Meetgegevens van dioxines**

Gehaltes in ng/kg product, totaal gehaltes in ng TEQ/kg product

Contaminant	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
2,3,7,8-TCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,7,8-PeCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2,3,4,7,8-PeCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
OCDF	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
2,3,7,8-TCDD	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,7,8-PeCDD	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
OCDD	0,126	<0,10	0,116	<0,10	<0,10	0,160	0,129	<0,10
WHO-PCDD/F-TEQ [lb]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WHO-PCDD/F-TEQ [ub]	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17



**Meetgegevens van non-ortho-PCB's**

Gehaltes in ng/kg product, totaal gehaltes in ng TEQ/kg product

Contaminant	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
PCB 81	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
PCB 77	0,113	<0,05	0,081	0,087	0,099	<0,05	0,147	0,198
PCB 126	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
PCB 169	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
WHO-NO-PCB-TEQ [lb]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WHO-NO-PCB-TEQ [ub]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

**Meetgegevens van mono-ortho-PCB's**

Gehaltes in ng/kg product, totaal gehaltes in ng TEQ/kg product

Contaminant	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
PCB 123	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 118	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 114	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 105	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 167	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 156	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 157	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
PCB 189	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
WHO-MO-PCB-TEQ [lb]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WHO-MO-PCB-TEQ [ub]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
WHO-PCB-TEQ [lb]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WHO-PCB-TEQ [ub]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
WHO-PCDD/F-PCB-TEQ [lb]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
WHO-PCDD/F-PCB-TEQ [ub]	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19

**Meetgegevens van indicator PCB's**

Gehaltes in ng/kg product, totaal gehaltes in ng TEQ/kg product

Contaminant	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
PCB 028	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
PCB 052	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
PCB 101	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
PCB 153	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
PCB 138	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
PCB 180	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100
Totaal indicator PCB's [ub]	600	600	600	600	600	600	600	600
lb met lower bound detectiegrenzen								
ub met upper bound detectiegrenzen								

**Meetgegevens van PAK's**

Gehalten in ng/g produkt,

Contaminant	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
Naftaleen	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Fenanthreen	<2	<10	<10	<2	<2	<10	<10	<2
Antraceen	<2	<10	<10	<2	<2	<10	<10	<2
Fluoranteen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benzo(a)antraceen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Chryseen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benzo(k)fluoranteen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benzo(a)pyreen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benzo(g,h,i)peryleen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2

**Meetgegevens van organochloorbestrijdingsmiddelen**

Gehalten in ng/g produkt,

Contaminant	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
$\alpha$ -HCH	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
$\beta$ -HCH	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
$\gamma$ -HCH (lindaan)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
HCB	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Aldrin	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Dieldrin	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Endrin	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Isodrin	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
o,p'-DDE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
p,p'-DDE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
o,p'-TDE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
p,p'-TDE	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
o,p'-DDT	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
p,p'-DDT	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

**Meetgegevens van minerale olie**

Gehalten in mg/kg

Koolwaterstoffractie	RIKILT nr							
	227596	227597	227598	227599	227600	227601	227602	227603
Koolwaterstof berekend als diesel (C10-C24)	<1	<1	7	5	7	<1	10	7
Minerale olie (C25-C56)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Totaal (C10-C56)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	<10



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E [info.livestockresearch@wur.nl](mailto:info.livestockresearch@wur.nl) | [www.livestockresearch.wur.nl](http://www.livestockresearch.wur.nl)