

# Bemesting op maat

Teus van Laar

Februari 2010





# Bemesting op maat

Onderzoek naar de mogelijkheden van online doseren van drijfmest op basis van het meststofgehalte.

Naam vak : Bachelorafsluiting agrotechnologie  
Nummer : FTE-80812  
Omvang : 12 credits  
Datum : februari 2010

Student : T. van Laar  
Registratienummer: 880913-494-110  
Opleiding : BSc Agrotechnologie

Begeleider(s) : prof.dr.ir. P.W.G. Groot Koerkamp  
Examinator : dr.ir. W.B. Hoogmoed  
Leerstoelgroep : Agrarische Bedrijfstechnologie  
Bornse Weilanden 9  
6708 WG Wageningen  
The Netherlands  
Tel: (0317) 48 29 80  
Fax: (0317) 48 48 19  
E-mail: [webmaster.fte@wur.nl](mailto:webmaster.fte@wur.nl)



WAGENINGEN UNIVERSITEIT  
WAGENINGEN UR

## **Disclaimer**

Dit verslag het eindproduct van een bachelorafsluiting van de opleiding Agrotechnologie aan Wageningen Universiteit.

De hoofddoelstelling van het vak is dat studenten laten zien door middel van o.a. dit rapport dat ze de competenties van het bachelorprogramma beheersen.

De student werkt gedurende een beperkte tijd (netto acht weken) aan een eigen opdracht, begeleid door een van de docenten. De beperkte tijd brengt ook beperkingen mee ten aanzien van de uitvoering van het onderzoek.

De aard van het studieonderdeel brengt met zich mee dat het naar buiten brengen van resultaten en verder verspreiden van het rapport alleen kan geschieden in overleg met de verantwoordelijke docent(en).

Wageningen Universiteit is nimmer aansprakelijk voor de gevolgen die voortvloeien uit het gebruiken van de informatie uit dit rapport.

**Het is niet toegestaan gegevens of resultaten uit dit onderzoeksverslag te kopiëren, te publiceren of anderszins naar buiten te brengen zonder toestemming van:**

**Leerstoelgroep Agrarische bedrijfstechnologie**

**Wageningen Universiteit**

**Borns Weilanden 9**

**6708 WG Wageningen**

**Tel: (0317) 482980**

## Voorwoord

Dit onderzoek is gedaan in het kader van mijn bachelorafsluiting van de opleiding Agrotechnologie. Het onderwerp is afkomstig van Agrifirm. Agrifirm levert onder andere drijfmest aan akkerbouwers. Hierbij wordt meestal alleen een grove schatting van de meststofgehalten gegeven. De samenstelling van drijfmest is zeer variabel. Akkerbouwers willen graag weten wat er precies wordt aangekocht en uitgereden. Hieruit ontstond bij Agrifirm de vraag, of er een systeem mogelijk en/of beschikbaar is dat de gehalten in drijfmest meet en de dosering hierop aanpast. Deze vraag was neergelegd bij dhr. P.W.G. Groot Koerkamp, die mij dit onderwerp heeft aangedragen bij het vinden van een onderwerp voor mijn bachelorafsluiting.

Graag wil ik dhr. G. Schilstra en dhr N. Maris van Agrifirm bedanken voor het stellen van de vraag. Daarnaast wil ik bedanken voor de samenwerking bij het opstellen van een onderzoeksplan met onderzoeksvragen. Ook hartelijk dank voor het onderhouden van contact en tussentijds becommentarieren van het geproduceerde werk.

Dhr P.W.G Koerkamp wil ik bedanken voor de begeleiding tijdens het proces, van het kiezen van het onderwerp tot de laatste beoordeling toe. Hiervoor wil ik ook dhr. W.B. Hoogmoed bedanken, die bereid was om als examinerator op te treden.

## Samenvatting

Veel akkerbouwers dienen dierlijke drijfmest toe aan hun gewassen. Dit levert een groot financieel voordeel op ten opzichte van kunstmest. Voor kunstmest moet immers betaald worden, terwijl dierlijke mest vaak zelfs met geld toe te verkrijgen is. Er kleven echter wel enkele nadelen aan het gebruik van dierlijke mest. De samenstelling van de verschillende nutriënten (o.a. N, P, K) in drijfmest verschilt nogal, zowel tussen verschillende diersoorten, als binnen een partij drijfmest, afkomstig van een bepaalde diersoort. Dit verschil kan optreden doordat bepaalde delen in de mest bezinken en hierdoor verschillende lagen ontstaan. Denk hierbij aan bijvoorbeeld een dikke fractie, met hoge concentratie nutriënten, en een dunne fractie met lage concentraties. Een ander nadeel bij het gebruik van dierlijke mest is dat deze concentraties onbekend zijn tijdens het moment van toedienen.

Op dit moment is het zo dat er mestmonsters genomen dienen te worden van elke vracht om te weten hoeveel nutriënten er worden toegediend bij het uitrijden van drijfmest. Deze monsters worden geanalyseerd in een laboratorium, en de uitslag met gehalten wordt opgestuurd naar de gebruiker. Deze uitslag wordt gebruikt om de toegediende hoeveelheid N en P te berekenen. Zo wordt dan bepaald of de wettelijke gestelde norm al is opgevuld, of niet.

Bij het toepassen van een inline meet- en regelsysteem kunnen de concentraties van de verschillende nutriënten gemeten worden tijdens het toedienen. Deze informatie is dan direct beschikbaar en hier wordt de dosering op aangepast kunnen worden, zodat er bemest kan worden naar behoefte en eenvoudiger aan de wettelijke gestelde normen voldaan kan worden. Er wordt dus bijvoorbeeld bemest met een dosering in kg N / ha in plaats van m<sup>3</sup> / ha. De concentratie verschillen in drijfmest worden zo opgeheven en de nutriënten worden gelijkmatiger verdeeld.

Er zijn verschillende meetprincipes onderzocht, waarvan er twee geschikt blijken te zijn voor een on-line meetsysteem. Dit is het meten van elektrische geleidbaarheid en het meten van de absorptie van NIR-straling. Beide principes zijn in de praktijk toegepast in, respectievelijk, de Fertimeter van PTM en in het VAN-Control van Zunhammer. De resultaten voor het meten van stikstof zijn vrij goed, terwijl fosfaat haast niet te meten is met beide methoden.

# Inhoudsopgave

Voorwoord.....	III
Samenvatting .....	IV
Inhoudsopgave.....	V
1. Inleiding.....	1
1.1 Beschrijving huidige situatie .....	1
1.2 Beschrijving gewenste situatie .....	2
1.3 Probleembeschrijving.....	2
1.4 Doelstellingen .....	2
1.5 Onderzoeksvragen.....	2
1.6 Afbakening.....	3
2. Belangen .....	4
2.1 Belang veehouder.....	4
2.2 Belang akkerbouwer .....	4
2.3 Milieu .....	5
3. Te meten waarden.....	6
3.1 Stikstof.....	6
3.2 Fosfaat.....	7
3.3 Kalium.....	7
4. Beschikbare methoden .....	9
4.1 Soortelijk gewicht.....	9
4.2 Colorimetrisch.....	9
4.3 Chemische reactie .....	10
4.4 Electriche geleidbaarheid .....	11
4.5 NIRS.....	12
4.6 Vergelijking methodes.....	15
5. Producten .....	16
5.1 PTM Fertimeter .....	16
5.2 Zunhammer VAN-Control.....	19
6. Discussie .....	21
6.1 Geschikt voor inline meting .....	21
6.2 Electriche geleidbaarheid .....	21
6.3 NIRS.....	21
6.4 Verschil in meetbaarheid meststoffen .....	21
6.5 Belang van inline stikstof en fosfaat meten .....	22
6.6 Kosten .....	22
7. Conclusie.....	23
8. Aanbevelingen.....	24
Referenties.....	25
Bijlagen .....	i
Bijlage A.1 Idef0-schema van huidige situatie .....	ii
Bijlage A.2 Idef0-schema van gewenste situatie.....	ix
Bijlage B.1 Regressiebepalingen uit Provolo and Martínez-Suller, 2007.....	xv
Bijlage B.2 Toetsing Fertimeter uit Provolo and Martínez-Suller, 2007 .....	xvi





# 1. Inleiding

Veel akkerbouwers dienen drijfmest toe aan hun gewassen. Dit levert een groot financieel voordeel op ten opzichte van het toedienen van kunstmest (Araji *et al.*, 2001). Sinds 1 januari 2006 gelden er zogenoemde gebruiksnormen voor het gebruik van meststoffen (Ministerie van LNV, 2007). Er gelden regels voor het gebruik van stikstof, fosfaat en er is een norm voor het gebruik van dierlijke mest. Om aan de Europese milieudoelstellingen te voldoen zullen deze gebruiksnormen in de komende jaren aangescherpt worden. Voor de gebruiksnormen van stikstof en fosfaat, zie tabel 1 tot en met 3. Betere benutting van de meststoffen in dierlijke mest wordt dus steeds belangrijker. Het is van groot belang dat de beschikbare meststoffen op een zo gelijk mogelijke manier worden toegediend.

Voor de akkerbouwer is het financieel aantrekkelijk om de geldende normen zoveel mogelijk op te vullen met dierlijke mest. Er kleven echter ook nadelen aan toediening van dierlijke mest ten opzichte van kunstmest. Zo verschilt de samenstelling van dierlijke mest nogal (Bodemacademie, 2009). Vooral voor de gehalten die meetellen voor de gebruiksnormen is dit van belang. Dit zijn de stikstof- en fosfaatgehalten. Ook het kaliumgehalte is van groot belang. Dit is een meststof, die op grote schaal toegediend wordt door middel van kunstmest. Efficiënter gebruik hiervan uit dierlijke mest kan dus grote besparingen van kunstmest opleveren.

De gehalteverschillen treden op tussen drijfmest, dat afkomstig is van verschillende diersoorten, maar ook binnen een partij van dezelfde herkomst. Het verschil kan optreden in de opslagruimte van de mest, bijvoorbeeld een mestkelder. Als er geen beweging is in de mest, ontstaan er bezinklagen (Patni *et al.* 1999). In deze ontstane dikkere fracties zijn het stikstofgehalte en fosfaatgehalte beduidend hoger dan in de overige dunnere fractie. Als het niet mogelijk is om de mest te homogeniseren, door bijvoorbeeld te mixen, zullen er duidelijke verschillen optreden tussen de verschillende vrachten die hieruit geladen worden. Als er een homogene vracht mest geladen is in een tank, kunnen er alsnog verschillen ontstaan binnen de tank. Dit komt door de verschillende fysische eigenschappen van de dunne en dikke fractie en de bewegingen die de tank maakt tijdens transport (Hoeksma *et al.*, 2002). Deze zorgen voor (gedeeltelijke) scheiding van de dunne en dikke fractie.

## 1.1 Beschrijving huidige situatie

Op dit moment is de gangbare manier van zaken dat er bij elke vracht drijfmest, die naar de akkerbouwer gaat, een monster wordt genomen. In de praktijk wordt gebruik gemaakt van bemonsteringsapparatuur van het zijbuistype (Eijkelkamp) of het zuigertype (VMA). Tijdens het opzuigen of lossen neemt het bemonsteringsapparaat vijf deelmonsters van ca. 150 ml. Deze deelmonsters worden genomen bij een vullingsgraad van de tank van 20, 35, 50, 65 en 80%. De deelmonsters komen vervolgens terecht in een monsterpot of een sealzak. De monsterpot of sealzak is dan het monster voor een vracht mest. Dit monster wordt opgestuurd naar een laboratorium, waar de verschillende gehalten aan meststoffen bepaald wordt. De kosten voor een analyse van stikstof- en fosfaatgehalte van een monster bedragen circa 23,50 euro (Bron:Blgg, 2009). De akkerbouwer ontvangt een rapport van de analyse, en weet zo dus hoeveel van elke meststof is toegediend aan de gewassen. Deze waarden zijn het gemiddelde voor de betreffende vracht, maar hier kan dus redelijke variatie inzitten.

De mest wordt over een perceel altijd uitgereden in een bepaalde vaste hoeveelheid ( $m^3/ha$ ). De akkerbouwer weet met het toedienen van drijfmest altijd pas achteraf hoeveel meststof is toegediend, omdat de uitslag van het laboratorium meestal ongeveer twee weken op zich laat wachten. Het valt niet mee om dan precies op de gebruiksnormen uit te komen, wat juist

financieel voordelig is. De resterende ruimte wordt meestal met kunstmest aangevuld, om toch aan de nutriëntbehoefte van het gewas te voldoen. Bovendien is het totaal niet bekend of de meststoffen gelijkmatig over het bemeste perceel verdeeld zijn, wat van belang is voor een goede benutting (Zie Idef0 schema in bijlage A.1).

## **1.2 Beschrijving gewenste situatie**

In de ideale situatie worden de gehalten die van belang zijn, stikstof, fosfaat en kalium, gemeten tijdens het uitrijden. Dit gebeurt inline zodat deze informatie direct beschikbaar is. Met een meet- en regelsysteem kan dan de hoeveelheid drijfmest hierop aangepast worden, en zo ook de hoeveelheid meststoffen. Het meten vindt plaats bij het uistromen uit de tank, zodat de gehalten die gemeten worden ook echt overeen komen met de werkelijke gehalten in de mest, die op dat moment uitgereden wordt. Hierbij speelt de voorkomende variatie in meststoffengehalten binnen een partij geen rol meer. Er kan naar behoefte worden uitgereden en zo precies aan de gebruiksnormen worden voldaan. Ook worden de meststoffen preciezer verdeeld, wat de benutting van dierlijke meststoffen ten goede komt. Eventueel kan er via een GPS-systeem een kaart aan het systeem gekoppeld worden, waarbij op bepaalde locaties in het veld meer of juist minder meststoffen worden toegediend, naargelang de behoefte (Idef0 bijlage A.2).

## **1.3 Probleembeschrijving**

Er zijn pogingen gedaan om een meetsysteem te ontwikkelen, dat inline meststofgehalten kan meten, zodat hiervoor realtime kan worden gecorrigeerd door een regel- en doseersysteem. Het is onduidelijk waarom er nog geen oplossing hiervoor voorhanden is. Het is niet duidelijk wat de precieze knelpunten zijn bij de ontwikkeling van een dergelijk systeem.

## **1.4 Doelstellingen**

Het hoogste doel is om de meststoffen die beschikbaar zijn in dierlijke mest, beter en meer te benutten. Hierbij is het van belang om meer kennis en inzicht te krijgen in de problematiek bij de ontwikkeling van geautomatiseerd meet-, doseersysteem, waarmee de mest op zo een manier gedoseerd kan worden, dat de meststoffen maximaal benut worden.

## **1.5 Onderzoeksvragen**

Hoofdvraag:

- Waarom bestaat er nog geen geschikt systeem dat doseert aan de hand van meststofgehalten?

Hier komen de volgende subvragen uit voort:

- Welke principes bestaan er voor het meten van meststofgehalten in drijfmest?
- Welke principes zijn geschikt voor het toepassen in een inline meet- en regelsysteem?
- Worden deze principes al in de praktijk toegepast? Het zij in de vorm zoals beschreven in de gewenste situatie of een andere vorm.
- Wat zijn de resultaten van deze principes bij het meten van de verschillende meststoffen?

- Wat zijn de voor- en nadelen bij het toepassen van deze methoden?
- Wat zijn de knelpunten?

## **1.6 Afbakening**

Er zal vooral onderzocht worden wat de mogelijkheden zijn van een inline meetsysteem voor meststofgehaltenes, zodat hiernaar bemest kan worden.

Aan het eind van het onderzoek zal er geen kant en klare oplossing zijn, maar wel duidelijkheid of een inline meetsysteem überhaupt mogelijk is. En zo ja, dan zal duidelijk worden wat de aandachtspunten hierbij zijn.

Waarschijnlijk kan er een opstapje gegeven worden tot verder onderzoek en ontwerp van een werkend meet- en regelsysteem.

## **2. Belangen**

### **2.1 *Belang veehouder***

Met de huidige mestwetgeving is het van belang dat de meststoffen uit dierlijke mest zoveel en efficiënt mogelijk toegediend worden. Als de mest geanalyseerd wordt zodra het uitrijden bij een veehouder plaatsvindt, zal direct bekend zijn hoeveel stikstof en fosfaat er is uitgereden op het perceel van de veehouder. Nu is de situatie zo dat de mest pas achteraf geanalyseerd wordt en de uitslag enkele weken op zich laat wachten. Hierdoor is het zeer lastig om precies op de gewenste gift uit te komen. Als deze gewenste gift, de gebruiksnorm betreft, zal dit in de praktijk betekenen dat er meestal onder deze norm bemest wordt, omdat de veehouder een veiligheidsmarge in acht neemt om niet de wettelijke norm te overschrijden. Bij het volledig benutten van de gebruiksnorm van dierlijke mest, zal dus minder mest afgevoerd hoeven te worden wat economisch gezien voordelig is. Een ander economisch voordeel is dat er minder kunstmest nodig is om de mestbehoefte aan te vullen. De beschikbare meststoffen uit de aanwezige dierlijke mest worden gelijkmatig over het perceel verdeeld. Dit komt de stikstof efficiëntie ten goede, omdat elke plek evenveel stikstof toegediend krijgt. Hierdoor zal er ook minder kunstmest nodig zijn, en zal de kwaliteit van het gewas gelijkmatig zijn.

Samengevat:

- Minder mest afvoer
- Minder kunstmestgebruik
- Hogere efficiëntie dierlijke meststoffen

### **2.2 *Belang akkerbouwer***

Het belang van de akkerbouwer komt grotendeels overeen met die van de veehouder. Door middel van een inline meetsysteem weet de akkerbouwer hoeveel meststof er wordt aangevoerd bij het toedienen van dierlijke mest aan zijn gewassen. Hierdoor kan de akkerbouwer precies zoveel meststoffen uit dierlijke mest toedienen als gewenst is. Er zal geen veiligheidsmarge in acht genomen hoeven te worden. Hierdoor zal ook het gebruik van kunstmest dalen, omdat de gewenste meststoffengift al voor een groter deel is opgevuld met dierlijke meststoffen en het resterende deel (kunstmest) kleiner is. Omdat de meststoffen ook bij de akkerbouwer gelijkmatig verdeeld worden, zal de efficiëntie hiervan ook stijgen.

Een ander punt is dat het gebruik van dierlijke mest aantrekkelijker zal worden voor de akkerbouwer. Nu zijn er namelijk twee grote nadelen bij het gebruik van dierlijke mest ten opzichte van kunstmest: Als eerste is er nogal verschil in gehalten van de meststoffen in drijfmest, daarom weet de akkerbouwer nooit van te voren wat hij toedient. Dit wordt pas achteraf bepaald. Bij kunstmest weet de akkerbouwer dit al van te voren, en kan zo de gift sturen. Het ander nadeel is dat door de variatie van gehalten in drijfmest, de meststoffen niet gelijkmatig over een perceel verdeeld worden, wat bij kunstmest wel het geval is omdat de gehalten hierin niet variëren. Een inline meetsysteem zal deze twee nadelen opheffen.

Samengevat:

- Meer gebruik dierlijke mest
- Minder kunstmestgebruik
- Gebruik van dierlijke mest wordt aantrekkelijker

### **2.3 Milieu**

Een inline meet- en regelsysteem voor het toedienen van drijfmest naar meststofgehaltes zal het milieu ook ten goede komen. Doordat de meststoffen gelijkmatig verdeeld worden zullen er geen piekbelastingen zijn. Hierdoor is de kans op uitspoelen van de meststoffen naar het grondwater kleiner. Door een efficiënter gebruik van de beschikbare dierlijke meststoffen, zal er minder kunstmest nodig zijn. Voor de productie van kunstmest is veel energie nodig. Minder kunstmest gebruik levert dus een energie besparing op wat ten gunste komt aan de totale energieconsumptie en uitputting van de energiebronnen. Ook is het mogelijk, als de juiste informatie beschikbaar is, om aan de variabele behoefte van de plant en bodem te voldoen. Dit voorkomt uitspoeling naar grond- en oppervlakte water en komt de efficiëntie ten goede. Een inline meetsysteem levert dus verschillende milieuvoordelen op:

- Geen piekbelasting (en ondermaatse toediening) meststoffen, als gevolg van schommelingen van nutriëntconcentratie in drijfmest.
- Dosering naar de variabele behoefte van verschillende gewassen
- Dosering op basis van de nutriëntbehoefte van de bodem (met behulp van bijvoorbeeld bodemstikstofkaarten)
- Lager energieverbruik

### 3. Te meten waarden

Er zijn drie primaire voedingsstoffen: N (stikstof), P (fosfor) en K (kalium). Naast deze drie primaire voedingsstoffen zijn er drie secundaire voedingsstoffen: Ca (calcium), Mg (magnesium) en S (zwavel); en zeven microvoedingsstoffen (of sporenelementen genoemd): ijzer, boron, chloor, mangaan, koper, zink en molybdeen. Hieronder zal kort op de primaire voedingsstoffen worden ingegaan, die van belang zijn om inline te kunnen meten.

#### 3.1 Stikstof

De behoefte aan stikstof is groot, maar is nogal verschillend tussen de gewassen, zowel in hoeveelheid als in de verdeling daarvan over het groeiseizoen. Een tekort aan stikstof is terug te zien in een matige groei en een lichtere kleur van het gewas. Bij een teveel aan stikstof wordt het nitraatgehalte in het gewas te hoog, dit is nadelig voor de gezondheid van het vee. Het gebruik van dierlijke mest zorgt voor een regelmatige nalevering van stikstof. Dit komt doordat de langzame afbraak door microorganismen van het organische deel in dierlijke mest voortdurend voedingsstoffen laat vrijkomen, die beschikbaar zijn voor de plant.

De stikstof in mest is aanwezig in verschillende vormen. De belangrijkste verdeling is dat de stikstof bestaat uit minerale (nitraat en ammonium) stikstof en uit organische gebonden stikstof (DLV & WUR, 2005). Het minerale deel is grotendeels afkomstig uit urine. Dit bevat ureumstikstof, dat vrijwel direct in de opslagkelder wordt omgezet tot ammonium. De verhouding tussen N-mineraal en N-organisch verschilt per mestsoort. Ook tussen partijen mest van dezelfde soort fluctueert de verhouding. Mest met een hoog aandeel N-mineraal heeft een snellere stikstofwerking dan mest met een laag aandeel N-mineraal. Dit is omdat planten alleen het minerale stikstof opnemen. Het organische stikstof dient eerst te worden omgezet tot minerale stikstof, dit gebeurt door afbraak van organische stof door bacteriën. Na toediening vervluchtigt een deel van de N-mineraal(ammonium) als ammoniak. Deze vervluchting is afhankelijk van de manier van toedienen, bij direct onderwerken is dit het geringst. Ook is de vervluchting tot ammoniak afhankelijk van het weer. Bij droog, zonnig weer en veel wind vervluchtigt meer ammoniak dan bij regenachtig weer. Als er meer ammoniak vervluchtigt, is de stikstofwerking(stikstofcoëfficiënt) van de mest lager. N-organisch komt geleidelijk vrij door afbraak van de organische stof. Dit gaat sneller bij een hogere temperatuur.

In 2006 is er een nieuw mestbeleid ingevoerd ter vervanging van MINAS. In dit nieuwe mestbeleid gelden gebruiksnormen voor stikstof, fosfaat en dierlijke mest. In tegenstelling tot MINAS wordt er gerekend met werkzame stikstof. De overheid heeft hiervoor werkingscoëfficiënten vastgesteld, die af kunnen wijken van de werkelijke, landbouwkundige werkingscoëfficiënt. Dit kan de volgende oorzaken hebben:

- Afwijking van gemeten stikstofgehalte en werkelijk stikstofgehalte.
- Variatie in de verhouding tussen mineraal en organisch stikstof.
- Onnauwkeurigheid van dosering bij het uitrijden van de mest.
- Variatie in ammoniakvervluchting en/of vrijkomen van organisch gebonden stikstof.

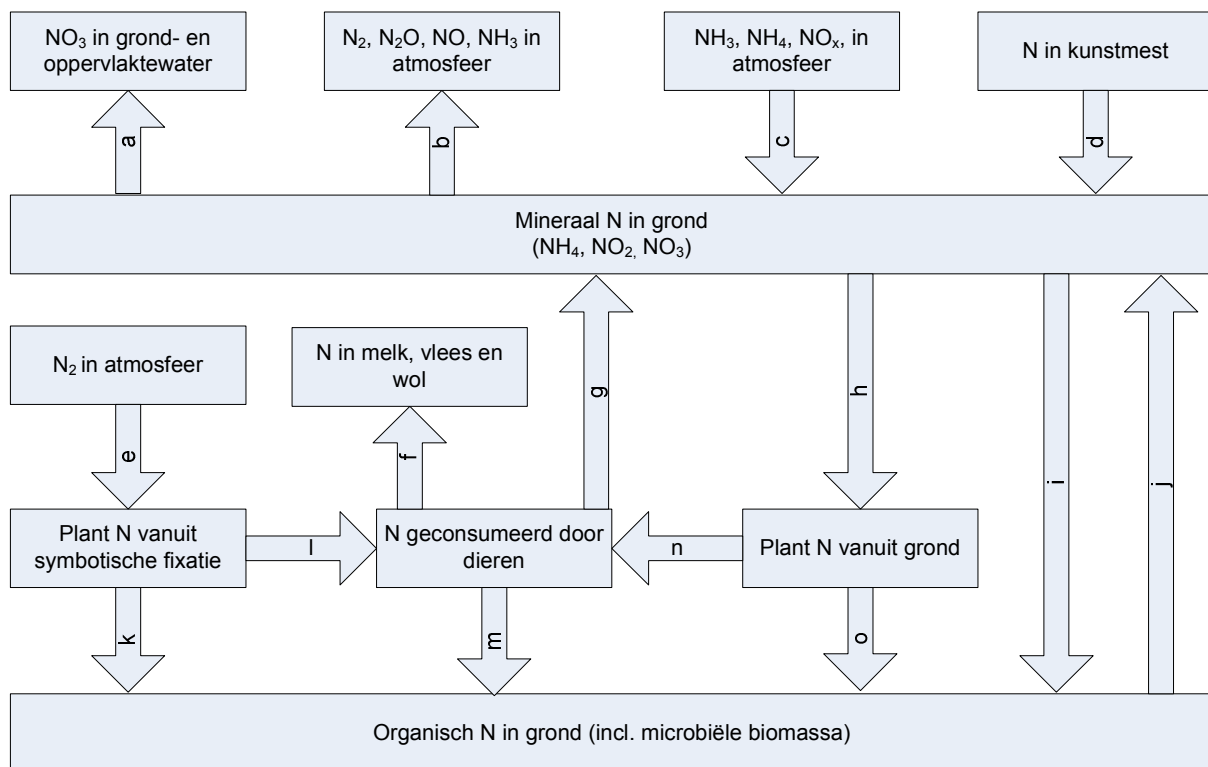
Het meten van Kjeldahl stikstof is een methode waarbij de concentratie van een bepaald deel van het stikstof gemeten wordt. Het gaat hier om de stikstof afkomstig uit ammoniak, ammonium en het organisch gebonden stikstof (EMIS).

Er zijn dus verschillende mogelijkheden voor het meten een stikstofconcentratie in drijfmest.:

TKN            Total Kjeldahl Nitrogen – Som van organisch gebonden stikstof, Ammoniak(NH<sub>3</sub>) en Ammonium (NH<sub>4</sub>)

TN Total Nitrogen – Som van TKN, Nitraat (NO<sub>3</sub>) en Nitriet (NO<sub>2</sub>)  
 NH<sub>4</sub>-N ammonium stikstof (inclusief N, dat aanwezig is als NH<sub>3</sub>)

In drijfmest komt TKN overeen met TN omdat drijfmest nagenoeg geen nitraat en nitriet bevat. Het minerale deel van het stikstof komt overeen met NH<sub>4</sub>-N, omdat het overige minerale deel verwaarloosbaar klein is. In figuur 1 zijn bovenstaande stikstofvormen schematisch weergegeven. Hierin is te zien dat er twee verschillende stikstofvormen afkomstig zijn uit dierlijke mest. Het minerale deel is direct beschikbaar voor de plant. Het organische deel dient eerst afgebroken te worden door microorganismen (pijl j).



**Figuur 1 - Schematische weergave van stikstofvormen aanwezig in mest, grond en atmosfeer. g = uitscheiding van minerale deel stikstof. m = uitscheiding organische deel stikstof.**

### 3.2 Fosfaat

Fosfor (P) is voornamelijk in drijfmest aanwezig in de vorm van fosfaat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Fosfor heeft in de plant enkele zeer belangrijke functies. Het is een structurelement van nucleïnezuur, dat weer een onderdeel is van DNA-moleculen. Verder is P een onderdeel van enzymen, eiwitten en van zogenaamde fosfolipiden, die een rol spelen in celmembranen. P heeft ook een belangrijke rol in de energieoverdracht bij het metabolisme en de fotosynthese in cellen. Bij granen en grassen speelt P een belangrijke rol bij de uitstoeling (Dekker en Postma, 2008).

### 3.3 Kalium

Kalium is een meststof die van belang is voor het realiseren van een optimale groei (Melse en Verdoes, 2002). Kalium reguleert de vochtinhouding in de plant. Daarnaast activeert kali de fotosynthese en is het belangrijk voor het (energie)transport in de plant. Het speelt ook een rol bij de weerstand van het gewas tegen plantenziekten en producteigenschappen, zoals smaak en houdbaarheid. Een goede kaliumtoestand heeft een positieve invloed op de

kwaliteit en opbrengst van aardappelen, met name op kleigrond en löss. Er zijn gewassen die veel en er zijn gewassen die weinig kali nodig hebben. In het algemeen wordt de hoeveelheid kalium (K) uitgedrukt als kg kali (K<sub>2</sub>O); 1 kg K komt overeen met 1,20 kg K<sub>2</sub>O. Bij gewassen met een grote kaliumbehoefte wordt nu veel kunstmest toegediend om aan die behoefte te voldoen. Juist in deze gewassen kunnen besparingen van kunstmest optreden bij een efficiënt kalium gebruik uit dierlijke mest. Aan kalium worden geen wettelijke eisen gesteld. Bij de akkerbouwer spelen vooral de aanvullende behoefte aan stikstof en fosfaat een rol bij de toediening van dierlijke mest.

**Tabel 1 - Stikstof gebruiksnormen voor grasland in 2010, kg N per ha (Bron: LNV-loket, 2010).**

<i>Grasland en -gebruik</i>	<i>Klei</i>	<i>Veen</i>	<i>Zand / löss</i>
Grasland met beweiden	310	265	250
Grasland met volledig maaien	350	300	320

**Tabel 2 - Stikstof gebruiksnormen voor een aantal gewassen in 2010, kg N per ha (Bron: LNV-loket, 2010).**

<i>Gewas</i>	<i>Klei</i>	<i>Zand / veen / löss</i>
Consumptieaardappel	250	245
Pootaardappel	120	120
Zetmeelaardappel	240	230
Suikerbiet	150	145
Wintertarwe	245	160
Zomertarwe	140	140
Zomergerst	80	80
Mais	185	150
Koolzaad (winter)	205	195
Koolzaad (zomer)	120	120

**Tabel 3 - Fosfaatgebruiksnormen voor landbouwgrond in Nederland, kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha (Bron: LNV-loket, 2010).**

<i>Grondgebruik</i>	<i>P-toestand</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>
Grasland	Hoog	90	90	85	85
	Neutraal	95	95	95	95
	Laag	100	100	100	100
Bouwland	Hoog	75	70	65	55
	Neutraal	80	75	70	65
	Laag	85	85	85	85

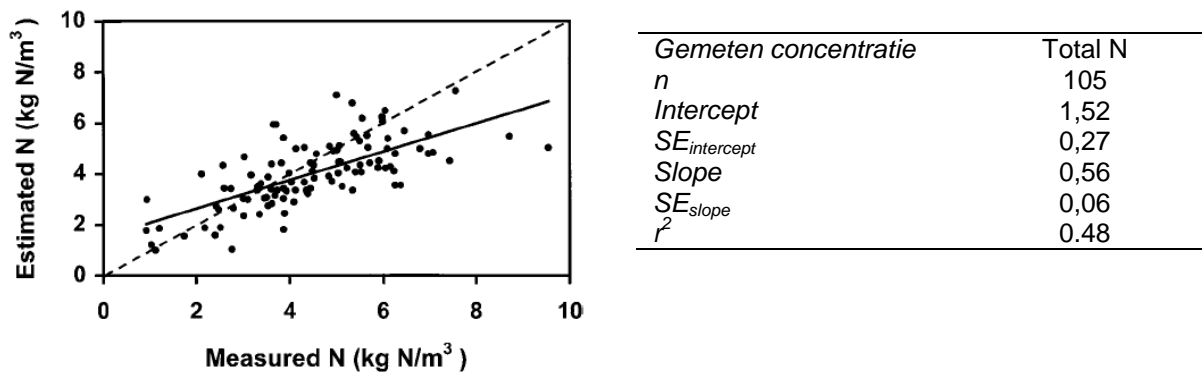


## 4. Beschikbare methoden

Volgens Kessel *et al.* (Kessel *et al.*, 1999; Kessel and Reeves., 2000) zijn er verschillende producten op de markt voor het analyseren van drijfmest. Het gaat hierbij om snelle testen, die op het bedrijf toegepast kunnen worden. De uitkomsten van de metingen met de apparatuur uit Kessel *et al.* (1999) hebben zij vergeleken met laboratoriummetingen. Hiervan zijn de correlatiecoëfficiënten berekend, die een indicatie van de betrouwbaarheid van de geteste apparatuur zijn ten opzichte van de laboratoriumapparatuur. De resultaten van de proeven (Kessel and Reeves, 2000) zijn hieronder weergegeven. De volgende principes werden hier toegepast:

### 4.1 Soortelijk gewicht

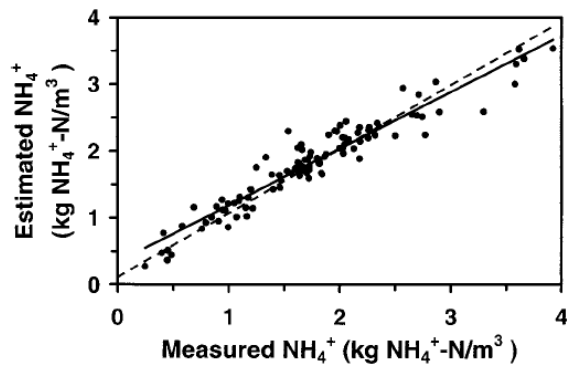
Hierbij wordt gebruik gemaakt van onder andere de verhouding tussen N- en P-gehalte en het drogestofgehalte van drijfmest. Hiernaast is het drogestofgehalte evenredig met het soortelijk gewicht. Door deze twee verhoudingen samen te voegen kan de N- of P-concentratie in drijfmest bepaald worden door middel van de *Hydrometer*. Het soortelijk gewicht wordt bepaald door te kijken naar wat het drijvend vermogen is van het monster dat genomen is uit de mest. Als de mest te dik is, is verdunning met water noodzakelijk. In figuur 2 staan de resultaten van de toetsing van deze meter, ten opzichte van laboratorium uitslagen.



Figuur 2 - Totaal N concentratie in runderdrijfmest bepaald door de Hydrometer (Estimated N) versus laboratoriumuitslagen (Measured N) (Bron: Kessel and Reeves, 2000).

### 4.2 Colorimetrisch

De *Reflectometer* maakt gebruik van het toevoegen van een reagens aan de drijfmest. Deze reagens reageert met ammonium, waarbij de intensiteit van de kleur de concentratie weergeeft. De kleur geeft dus de ammoniumconcentratie aan. In figuur 3 staan de resultaten van de toetsing van deze meter, ten opzichte van laboratorium uitslagen.

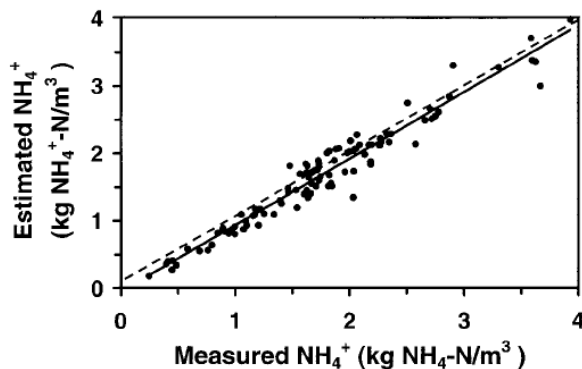


Gemeten concentratie	NH <sub>4</sub> -N
<i>n</i>	104
<i>Intercept</i>	0,34
<i>SE<sub>intercept</sub></i>	0,05
<i>Slope</i>	0,84
<i>SE<sub>slope</sub></i>	0,03
<i>r<sup>2</sup></i>	0,89

Figuur 3 - Totaal N concentratie in runderdrijfmest bepaald door de Reflectometer (Estimated NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) versus laboratoriumuitslagen (Measured NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Bron: Kessel and Reeves, 2000).

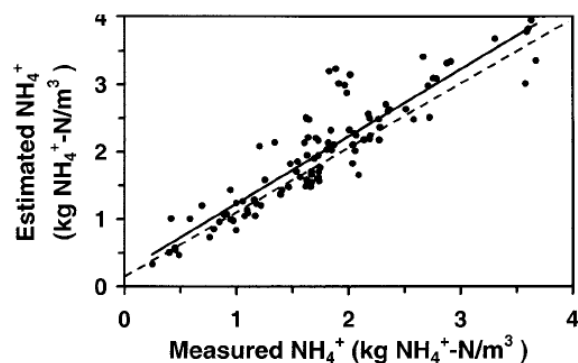
### 4.3 Chemische reactie

De Agros-N-Meter en de Quantofix-N-Volumeter maken gebruik van een chemische reactie. Aan een mestmonster wordt hypochloriet toegevoegd, wat reageert met ammonium. Hypochloriet oxydeert ammonium waarbij het gas N<sub>2</sub> vrijkomt. Door de hoeveelheid gas te meten, wordt de hoeveelheid stikstof, aanwezig in de vorm NH<sub>4</sub> bepaald. In figuur 4 en 5 zijn de resultaten weergegeven van de toetsing van respectievelijk, de Quantofix-N-volumeter en de Agros-N-Meter, ten opzichte van laboratorium uitslagen.



Gemeten concentratie	NH <sub>4</sub> -N
<i>n</i>	105
<i>Intercept</i>	-0,05
<i>SE<sub>intercept</sub></i>	0,05
<i>Slope</i>	0,98
<i>SE<sub>slope</sub></i>	0,02
<i>r<sup>2</sup></i>	0,95

Figuur 4 - Totaal N concentratie in runderdrijfmest bepaald door Quantofix-N-volumeter (Estimated NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) versus laboratoriumuitslagen (Measured NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Bron: Kessel and Reeves, 2000).

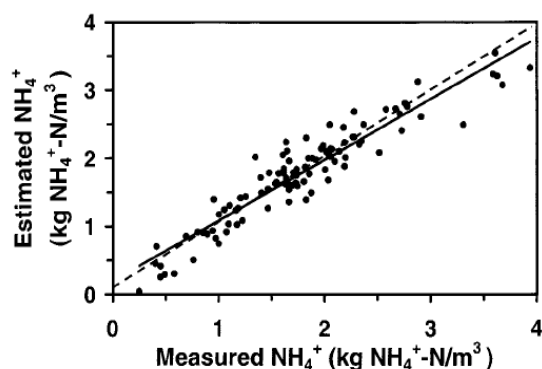


Gemeten concentratie	NH <sub>4</sub> -N
<i>n</i>	104
<i>Intercept</i>	0,23
<i>SE<sub>intercept</sub></i>	0,09
<i>Slope</i>	0,99
<i>SE<sub>slope</sub></i>	0,05
<i>r<sup>2</sup></i>	0,81

Figuur 5 - Totaal N concentratie in runderdrijfmest bepaald door de Agros N meter (Estimated NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) versus laboratoriumuitslagen (Measured NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Bron: Kessel and Reeves, 2000).

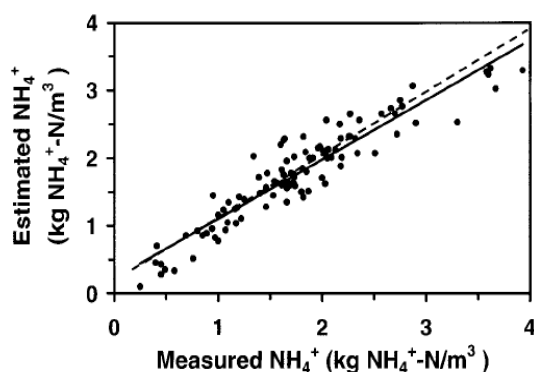
#### 4.4 Electricische geleidbaarheid

Electricische geleidbaarheid (EC) is een veel gebruikte manier om de concentratie ammonium stikstof te bepalen in drijfmest (Cross and Wright, 1996; Fleming *et al.*, 1993; Williams *et al.*, 1996). Maar het kan ook gebruikt worden voor het meten van Kalium (Stevens *et al.*, 1995). Deze methode is gebaseerd op de relatie tussen de concentratie ammonium ionen in drijfmest en de electricische geleidbaarheid hiervan. De EC van een bepaalde oplossing is een waarde voor de stroom van elektronen als gevolg van de kationen en anionen in de oplossing. Deze verhouding is sterk afhankelijk van de ionische sterkte, dat is de totale concentratie van ionen die aanwezig zijn in de oplossing. Dit wordt ook beïnvloedt door het type ionsoort dat gemeten wordt, de specifieke ion-concentratie en de temperatuur. In drijfmest zijn vooral de kationen Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en Kalium ( $\text{K}^+$ ) aanwezig (Stevens *et al.*, 1995). De verandering in de concentratie van Ammonium en Kalium wordt gereflecteerd in de totale ionische sterkte. Deze waarde wordt gemeten bij het meten van electricische geleidbaarheid. Ondanks dat de verhouding tussen EC en de gewenste ion-concentratie bepaald kan worden, blijft dit een indirecte meetmethode en kan een verandering van concentratie van een bepaald ion gevolgen hebben voor de verhouding tussen EC en het andere ion. Het meten van de EC van drijfmest kan door middel van twee verschillende apparaten, een sonde die bijvoorbeeld in een tank op een vaste positie gemonteerd kan worden (resultaat van toetsing staat in figuur 6) of een handmeter, die met de hand in de drijfmest gebracht dient te worden (figuur 7). De sensor bestaat uit twee elektroden en een thermistor, voor temperatuurcompensatie. EC wordt gemeten in Siemens per Meter. De gewenste meststofconcentratie zou dan kunnen worden bepaald door een vooringeprogrammeerde kalibratiecurve, die de verhouding tussen de concentratie van de meststof en EC aangeeft.



Gemeten concentratie	Total N
<i>n</i>	103
<i>Intercept</i>	0,20
<i>SE<sub>intercept</sub></i>	0,06
<i>Slope</i>	0,89
<i>SE<sub>slope</sub></i>	0,03
<i>r<sup>2</sup></i>	0,89

Figuur 6 -  $\text{NH}_4^+$ -concentratie in runderdrijfmest bepaald door een electricische geleiding meter in de vorm van een vaste sonde (Estimated  $\text{NH}_4^+$ ) versus laboratoriumuitslagen (Measured  $\text{NH}_4^+$ ) (Bron: Kessel and Reeves, 2000).

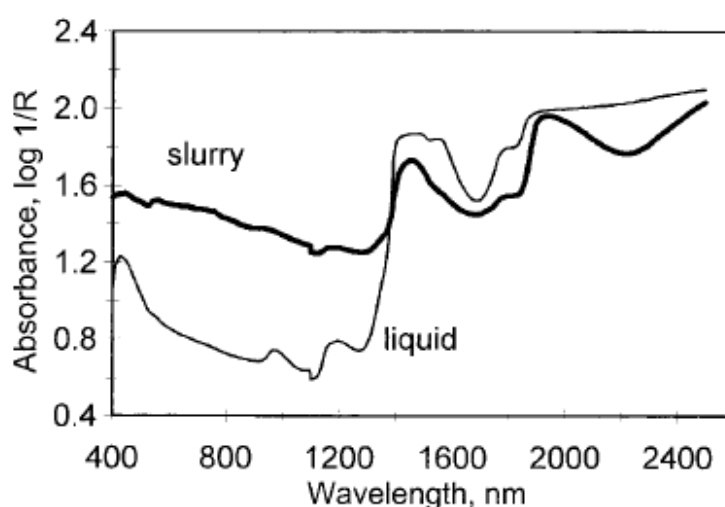


Gemeten concentratie	Total N
<i>n</i>	103
<i>Intercept</i>	0,22
<i>SE<sub>intercept</sub></i>	0,06
<i>Slope</i>	0,87
<i>SE<sub>slope</sub></i>	0,03
<i>r<sup>2</sup></i>	0,87

Figuur 7 -  $\text{NH}_4^+$ -concentratie in runderdrijfmest bepaald door een electricische geleiding meter in de vorm van een handmeter (Estimated  $\text{NH}_4^+$ ) versus laboratoriumuitslagen (Measured  $\text{NH}_4^+$ ) (Bron: Kessel and Reeves, 2000).

## 4.5 NIRS

Near Infrared (NIR) spectroscopie betreft de spectroscopie die gebruik maakt van het nabij infrarood gedeelte van het elektromagnetische spectrum. Dit betreft de golflengtes tussen 800 en 2500 nm. Elke molecuul heeft een specifieke frequentie, waarmee ze draait of vibreert. Deze verschillende resonantiefrequenties hangen af van de moleculaire structuur en de atoommassa. Het NIR spectrum van een stof kan bepaald worden door alle golflengten uit het spectrum via een lichtstraal naar de stof te sturen, en dan registreren welke golflengten teruggekaatst worden. In figuur 8 is een voorbeeld weergegeven van het weerkaatste spectrum van een bepaald monster. De absorptie kan bepaald worden door te kijken naar de golflengten die niet teruggekaatst worden. Het NIR-spectrum dat door een bepaalde stof geabsorbeerd wordt, is kenmerkend voor de gemeten stof. Water is een van de grootste absorbeerders in het NIR-spectrum en absorbeert vooral NIR straling met een golflengte van 1400 nm en 1900 nm. Dit is ook in figuur 8 terug te zien, in beide monsters wordt opvallend veel straling geabsorbeerd bij deze twee golflengten, waarbij het monster met het hoogste vochtgehalte (liquid) hier de grootste pieken vertoont. Het monster 'slurry' bevat ook een grotere hoeveelheid vaste delen, wat resulteert in een hogere absorptie tussen 400 en 700 nm. Voor betrouwbare metingen is een absorptie van minder dan 2,0 gewenst, hierdoor is het gebied >1900 nm niet bruikbaar. Een groot voordeel van NIR is, dat het veel dieper in het te meten product doordringt dan bijvoorbeeld midden infrarode straling. Hierdoor wordt de stroom niet alleen aan het oppervlakte gemeten, maar vooral dieper. Dit levert een grotere betrouwbaarheid van de metingen op, omdat dit een representatiever beeld geeft van de te meten stroom. De concentratie aan bepaalde stoffen die aanwezig in het gemeten monster kan door middel van kalibratiemethoden berekend worden uit de hoogte van de pieken.

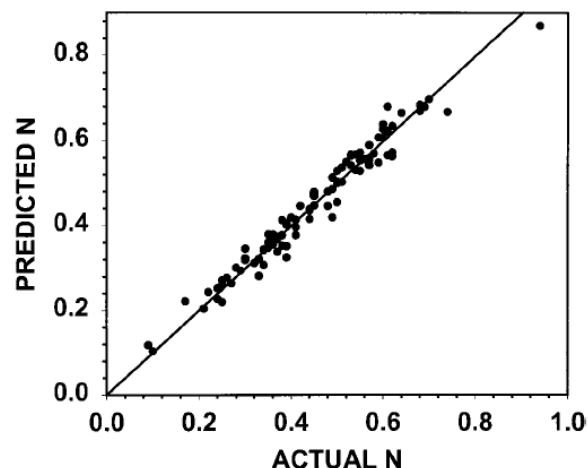


Figuur 8 - Spectra van monsters, die variëren in vochtgehalte (Bron: Malley *et al.*, 2002).

NIR-technologie werd 30 jaar geleden voor het eerst gebruikt in de agrarische sector bij het meten van vochtgehalte in graan. Sindsdien is deze technologie ontwikkeld en verder verfijnd, zodat graanmonsters geanalyseerd kunnen worden op vocht-, eiwit-, zetmeel-, vezel- en oliegehalte (Hardy *et al.*, 1996). Rippke *et al.* (1995) hebben onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van de meetwaarden van deze graananalyse-apparaten. Hierbij kwam hij op een correlatie coefficient ( $r^2$ ) van 0,996 voor vochtgehalte meten en 0,980 voor het meten van eiwitgehaltes in korrelmais. In sojabonen kwam men uit op een  $r^2$  van 0,990 en 0,984 voor vochtgehalte en eiwitgehalte. Statistisch gezien zijn dit goede resultaten. Deze methode is daarom ook aanvaard als vervanging van chemische methodes om een nauwkeurige, betrouwbare analyse van granen uit te voeren.

Nakatani *et al.* (1996) vermelden dat NIR-spectroscopie gebruikt kan worden voor een nauwkeurige bepaling van totaal koolstof, totaal stikstof, as, cellulose, hemicellulose en lingine in compost, afkomstig van runderen. Nakatani heeft de correlatiecoëfficiënten bepaald tussen de bepaling van C:N-ratio met NIR-analyse en door middel van chemische analyse. C:N is de verhouding tussen totaal aanwezig koolstof en totaal aanwezig stikstof in mest. Dit getal geeft aan wat voor waarde de mest heeft als bemesting. De Kation Wisseling Capaciteit (CEC) van grond of compost is een waarde die aangeeft hoe groot de capaciteit van grond is om kationnutrienten te bevatten. CEC wordt bepaald door de hoeveelheid klei en/of humus aanwezig is. Deze twee delen zijn essentieel voor het vasthouden van vocht en kationnutrienten. Zware kleigronden, met hoog organisch stof gehalte hebben een grotere capaciteit dan zandgronden met laag OS-gehalte. Voor het meten van CEC vond Nakatani een correlatiecoëfficiënt van 0,997. Nakatani en Harada (1995) hebben NIR-analyse getoetst voor het meten van totaal stikstof, ammonium stikstof en nitraat stikstof in vaste rundermest. Respectievelijk waren de correlatiecoëfficiënten hier 0,980, 0,791 en 0,890.

In het laatste decenium is NIR-spectroscopie nog verder verbeterd tot een niet-vernietigende techniek voor het snel analyseren van samenstelling en kwaliteit van een product (Shenk *et al.*, 1992; Reyns *et al.*, 2001; Reyns, 2002; De Belie *et al.*, 2003; Paulsen *et al.*, 2003; Paulsen & Singh, 2004). Reeves en Kessel (2000) hebben de FOSS-NIRSystems Model 6500 scanning monochromator gebruikt om de haalbaarheid van het meten van voedingsstoffenconcentraties in mest, afkomstig van melkkoeien, te bepalen met behulp van spectroscopie. Hiervoor zijn monsters, afkomstig van 107 verschillende bedrijven, geanalyseerd met standaard methodes en NIR-spectroscopie. Hierbij zijn de concentraties totaal koolstof, totaal stikstof, ammoniumstikstof, vocht, fosfaat, kalium en pH, die uit de twee methoden voort kwamen, met elkaar vergeleken en getoetst. Er is een kalibratiemethode ontwikkeld, waarbij eerst onnauwkeurige en niet-realistische metingen verwijderd werden. Na het uitvoeren van de kalibratiemethode werd duidelijk dat NIR-spectroscopie nauwkeurig het vochtgehalte, totaal koolstofgehalte, totaal N-gehalte (figuur 9) en ammonium-N-gehalte kan bepalen, met een  $r^2$  van 0,945, 0,950, 0,956 en 0,967, respectievelijk. Voor het fosfaat- en kaliumgehalte waren de resultaten niet toereikend genoeg.



Figuur 9 - Kalibratieresultaten voor totaal N (Bron: Reeves en Kessel, 2000)

Millmier *et al.* (2000) hebben drie verschillende mestsoorten geanalyseerd met NIRS, namelijk vloeibare varkenslagoonmest, varkenschrijfmest en vaste rundermest. Ook hier zijn de uitkomsten ervan vergeleken met uitkomsten van gebruikelijke meetmethoden. De kalibraties zijn afgeleid met behulp van een Partial Least Squares (PLS) regressie. PLS stelt de correlatie vast tussen de geschatte en werkelijke variabelen. Principal Component Analysis (PCA) is gebruikt om uitzonderlijke meetwaarden uit te sluiten. Voor elke mestsoort is een kalibratie ontwikkeld tussen reflectiepatroon in het spectrum en elke chemische component. Er is getest op drogestofgehalte (DS) totaal stikstof, ammonium stikstof, fosfaat

en kalium. De resultaten van de toetsingen staan kort weergegeven in tabel 4. Millmier *et al.* heeft de resultaten van de toetsing gebaseerd op de Standard Error of Prediction (SEP). Dit is een maat voor de spreiding van de waarde rond de regressie lijn. Een meststofconcentratie met een kleine SEP geeft aan dat de geschatte waarde dichtbij de werkelijke waarde ligt. Hieruit is de ratio tussen de range van de waarden en de SEP berekend voor elke meststof en type mest. Een grote range:SEP ratio geeft aan dat nauwkeurige voorspellingen te doen zijn van deze specifieke data.

**Tabel 4 - Resultaten van testen voor verschillende mestsoorten, correlatiecoëfficiënt  $r^2$  en ratio range:SEP (Bron: Millmier *et al.*, 2000).**

Mestsoort		DS	Total N	NH <sub>3</sub> -N	P	K
Liquid swine pit manure	$r^2$	0,920	0,897	0,794	0,688	0,887
	range:SEP	11,1	9,8	8,0	8,4	8,9
Liquid swine lagoon effluent	$r^2$	0,947	0,829	0,787	0,783	0,840
	range:SEP	11,1	8,2	7,0	6,8	9,0
Solid beef feedlot manure	$r^2$	0,955	0,817	0,976	0,764	0,905
	range:SEP	13,6	12,4	15,9	7,6	12,0

**Tabel 5 - Criteria voor waarde range:SEP (Bron: Williams and Hurburgh, 1999).**

range : SEP	Criteria
<4	Niet bruikbaar
4-8	Onderscheid tussen hoge en lage waarden van betreffende nutriënt
8-12	Mogelijkheid tot schatting van kwantitatieve data
>12	Goede voorspelbaarheid

Met behulp van tabel 5 is er geconcludeerd dat droge stof, totaal stikstof, ammonium stikstof en kalium in vaste mest goed te voorspellen zijn met NIRS. Voor de andere mestsoorten scoren kalium en stikstof redelijk. Het vaststellen van fosfaat heeft verder onderzoek nodig

Malley *et al.* (2002) hebben varkensmest geanalyseerd met NIRS. Hierbij werden zeer goede resultaten gehaald met een set van 64 monsters van 7 verschillende bedrijven. Met een set van 75 monster van 25 bedrijven werden beduidend minder goede resultaten gehaald.

Seays *et al.* (2004) hebben NIRS getest aan de hand van het scannen van 169 varkensmestmonsters. Hieruit werd geconcludeerd dat kwantitatieve voorspellingen konden gemaakt worden voor totaal N, NH<sub>4</sub>-N en K. Voor droge stof, organische stof, P en Mg kan alleen onderscheid worden gemaakt tussen hoge en lage concentraties. Schatting van Ca, Na en pH was (nog) niet mogelijk.

Seays heeft ook onderzoek gedaan (Seays *et al.*, 2005). naar de haalbaarheid van spectroscopische metingen in het zichtbare en nabij-infrarode spectrum voor inline analyse. De resultaten zijn weergegeven in tabel 3. De nauwkeurigheid van elke kalibratie is gevalueerd op de correlatiecoëfficiënt  $r^2$  voor gemeten waarde met NIRS versus data set, afkomstig van laboratoriumtesten en op de ratio van de standaard deviatie van de data set (SD) en root mean square error van cross-validation (RMSECV) of voorspelling (RMSEP).  $R^2$  is een indicatie van de variantie in de Y-variabele, afhankelijk van de X-variabele. De ratio tussen de SD en RMSECV of RMSEP wordt de ratio of prediction to deviation (RPD) genoemd. Dit is de factor, waarmee de voorspellingsnauwkeurigheid vergroot wordt in vergelijking tot het gebruik van gemiddelde samenstelling van alle monsters. De interpretatie van voorspellingsnauwkeurigheid, gebaseerd op  $r^2$  en RPD (tabel 6) is interessant bij het vergelijken van de meetnauwkeurigheden van het meten van de verschillende bestandsdelen. Deze waarden geven niet weer wat de nauwkeurigheid is van de sensor, vergeleken met de standaard analyseprocedure. Dit wordt bepaald door het vergelijken van RMSECV en RMSEP met de standaardfout van de laboratorium metingen (SEL).

**Tabel 6 - Resultaten van de toetsingen van het meten van de verschillende componenten (Bron: Saeys et al., 2005).**

<i>Comonent</i>	$r^2$	<i>RPD</i>	<i>RMSEP</i>	<i>SEL</i>
Droge stof	0,91	3,22	12,000	2,368
Organische stof	0,90	3,00	9,292	2,150
Fosfaat	0,75	1,78	1,120	0,164
Calcium	0,59	1,30	1,490	
Magnesium	0,80	1,84	0,502	
Totaal stikstof	0,86	2,63	1,225	0,151
Ammonium stikstof	0,76	2,00	1,125	
Kalium	0,69	1,68	1,148	0,420

**Tabel 7 - Criteria voor waarde RPD en  $r^2$ .**

<i>RPD</i>	$r^2$	<i>Criteria</i>
<1,5	<0,5	Niet bruikbaar
1,5-2,0	0,5-0,65	Onderscheid tussen hoge en lage waarden van betreffende nutriënt
2,0-2,5	0,65-0,81	Mogelijkheid tot schatting van kwantitatieve data
2,5-3,0	0,82-0,9	Goede voorspelbaarheid
>3,0	>0,9	Uitstekende voorspelbaarheid

De resultaten uit tabel 6 geven door middel van de criteria uit tabel 7 aan dat het meten van droge stof met NIRS zeer goed haalbaar is, omdat dit resulteert in een hoge  $r^2$  en RPD. Voor organische stof en totaal stikstof zijn de resultaten goed. Voor  $\text{NH}_4$ -stikstof, fosfaat en magnesium kan NIRS-techniek gebruikt worden voor schatting van waarden, maar is niet echt nauwkeurig. Bij Kalium en Calcium kan alleen onderscheid gemaakt worden tussen hoge en lage waarden,  $r^2$  en RPD zijn hier namelijk beiden laag. De slechtere resultaten voor Mg, P en Ca zijn deels te verklaren, omdat de NIR-analyse van deze componentenvolledig afhangt van de correlatie met andere componenten, zoals DM, OS en totaal N. Zelf zijn de componenten Mg, K en Ca veel minder actief in het gemeten spectrum (Burns and Ciurczak, 1992).

#### 4.6 Vergelijking methodes

Uit bovenstaande is tabel 8 opgesteld. Hierin staan de verschillende principes en de parameters die gemeten worden. Omdat het gewenst is om de meting inline uit te kunnen voeren tijdens het uitrijden, is het van belang dat het gebruikte systeem hiervoor geschikt is. Bij alle systemen waarbij een monster dient genomen te worden, voor verdere analyse in bijvoorbeeld een mobiel veldlaboratorium, is dit niet het geval.

**Tabel 8 - Overzicht van verschillende methoden die beschikbaar zijn voor meten van meststoffen in drijfmest**

<i>Principe</i>	<i>Gemete concentratie</i>	<i>Inline mogelijk</i>
Soortelijk gewicht	TN P	nee
Colorimetrisch	$\text{NH}_4$ -N	nee
Chemische reactie	$\text{NH}_4$ -N	nee
Electrische geleidbaarheid	TKN, $\text{NH}_4$ -N, P, K	ja
Nabij infrarood spectrofotometrie (NIR)	TN, $\text{NH}_4$ -N, P, K, DS	ja

Uit tabel 4 blijkt dat alleen het meten van electrische geleidbaarheid en NIR-analyse geschikt zijn voor een inline meetsysteem. Daarom wordt in het volgende hoofdstuk alleen ingegaan op producten die van deze methoden gebruik maken.

## 5. Producten

### 5.1 PTM Fertimeter

Op de Landbouwbeurs in Zuidlaren won mesttankfabrikant Duport BV uit Dedemsvaart in 2003 de noviteiten award met de PTM Fertimeter (Boerderij, 2003). Volgens Duport kan met dit apparaat in 20 seconden het stikstof-, ammoniak-, fosfaat- en kaliumgehalte bepaald worden in drijfmest. Dit apparaat is door het Italiaanse bedrijf PTM ontwikkeld, samen met de universiteit van Milaan. Duport zag wel wat in deze techniek en haalde de Fertimeter naar Nederland. Ze verwachtte dat er veel belangstelling zou zijn onder mestdistributeurs. Door middel van dit apparaat zijn de mestdistributeur immers van het probleem af, dat men niet weet wat er precies wordt aangevoerd aan meststoffen. (Loonbedrijf, 2003)



Figuur 10 - De PTM Fertimeter in de vorm van een handsonde

Door middel van een sonde wordt de elektrische geleiding (EC) van de mest gemeten en aan de hand daarvan, de gehalten N, P en K bepaald. Deze sonde is in twee vormen verkrijgbaar; een handsonde (Figuur 10), die in de mest gehouden kan worden en een sonde die vast op de tank gemonteerd is (Figuur 11). Duport heeft in samenwerking met Acmaa proeven met de meter uitgevoerd. De resultaten hiervan lieten een lichte afwijking zien ten opzichte van de laboratoriumuitslagen, maar deze vielen wel binnen de marges die het laboratorium toelaat (8%).



Figuur 11 - De PTM Fertimeter in vaste tankopstelling

Om nauwkeurige metingen uit te kunnen voeren is het nodig dat het apparaat gekalibreerd wordt. Dit moet gebeuren voor elke mestsoort. Zelfs al bij mest afkomstig van dezelfde diersoort, maar van een ander bedrijf, met een ander rantsoen. Dit wordt veroorzaakt doordat elke situatie de relatie tussen de EC van mest en de gehalten van de verschillende meststoffen verschilt. Hierdoor zal dit apparaat niet wettelijk erkend worden als een



meetinstrument omdat het ter plekke te kalibreren is en daardoor niet fraudebestendig is. De kalibratiecurven, die hiervoor benodigd zijn worden opgesteld door de universiteit van Milaan. Het apparaat zal dus niet als definitieve analyse kunnen worden gebruikt, maar wel als vrij nauwkeurige richtlijn van wat er wordt af/aangevoerd.

Er is onderzoek gedaan naar de resultaten van de PTM Fertimeter (Provolo and Martínez-Suller, 2007). In dit onderzoek is eerst gekeken naar of er een correlatie is tussen EC van drijfmest en de verschillende meststofconcentraties in drijfmest. Daarna is een gekalibreerde meter gebruikt om de correlatie tussen meststofconcentraties gemeten met de Fertimeter en laboratoriumuitslagen te toetsen. Dit is gedaan voor verschillende mestmonsters uit varkens- en rundveedrijfmest.

Zoals hierboven beschreven is het nodig de Fertimeter voor elke mestsoort te kalibreren voor het meten van totale N gehalte, Ammonium-N, Fosfaat en Kalium. Voor deze vier meststoffen is getoetst in hoeverre de EC maatgevend is voor het bepalen van de concentratie. In tabel 9 staan de regressievergelijkingen weergegeven die gelden tussen de meststofconcentratie en de gemeten EC ( $\text{ms}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Ook staan hier de correlatiecoëfficiënten en standaardfouten vermeld. Dit is gedaan voor twee soorten runderdrijfmest en drie soorten varkensdrijfmest.

**Tabel 9 - Regressievergelijkingen, correlatiecoëfficiënten en standaardfouten tussen EC en meststofgehalte in drijfmest, gerangschikt naar diersoort (Bron: Provolo and Martines-Suller, 2007).**

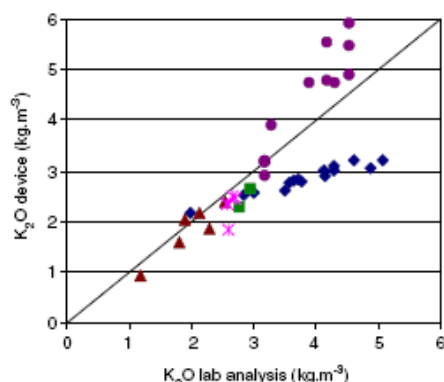
<i>Diersoort</i>	<i>Meststof</i>	<i>Vergelijking</i>	<i>r<sup>2</sup></i>	<i>Std. Fout.voorsp.</i>
Mestvarkens	TKN	0,161 EC + 0,345	0,799	0,509
	NH <sub>4</sub> -N	0,112 EC + 0,316	0,753	0,404
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,058 EC + 0,493	0,138	0,920
	K <sub>2</sub> O	0,136 EC + 0,047	0,151	1,126
Fokzeugen	TKN	0,133 EC + 0,229	0,857	0,441
	NH <sub>4</sub> -N	0,110 EC + 0,070	0,860	0,358
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,087 EC + 0,017	0,136	1,783
	K <sub>2</sub> O	0,166 EC - 0,387	0,754	0,768
Geïntegreerd bedrijf, fok+mest	TKN	0,179 EC - 0,665	0,899	0,381
	NH <sub>4</sub> -N	0,142 EC - 0,473	0,954	0,198
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,038 EC - 0,017	0,282	0,385
	K <sub>2</sub> O	0,038 EC - 0,017	0,835	0,312
Melkkoeien	TKN	0,364 EC - 1,731	0,849	0,417
	NH <sub>4</sub> -N	0,196 EC - 1,180	0,771	0,289
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,186 EC - 0,802	0,562	0,446
	K <sub>2</sub> O	0,388 EC - 1,978	0,640	0,789
Kalveren	TKN	0,079 EC + 0,495	0,728	0,231
	NH <sub>4</sub> -N	0,077 EC + 0,304	0,795	0,186
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,002 EC + 0,602	0,002	0,252
	K <sub>2</sub> O	0,098 EC + 0,956	0,409	0,561

Vanuit tabel 9 is door de auteur tabel 10 opgesteld met gemiddelde waarden voor de correlatiecoëfficiënt en de standaardfout van de vier verschillende meststoffen. Hier uit blijkt dat de correlatie tussen EC en de beide stikstof metingen (TKN en NH<sub>4</sub>-N) het grootst is. Tussen EC en fosfaat is er nagenoeg geen correlatie waar te nemen ( $r^2$  is 0.224 gemiddeld) De correlatie van de metingen van K<sub>2</sub>O is afhankelijk van de mestsoort waarin gemeten wordt. Bij kalveren en mestvarkens is de correlatiecoëfficiënt te laag voor het gebruik van EC voor het meten van K<sub>2</sub>O. Voor een grafische weergave van de resultaten, zie Bijlage B.1.

**Tabel 10 - Gemiddelde waarden voor de vier verschillende meststoffen.**

	$r^2$	Std. Fout.
TKN	0,826	0,396
NH <sub>4</sub> -N	0,827	0,287
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,224	0,757
K <sub>2</sub> O	0,558	0,711

De werking van de gekalibreerde Fertimeter is getoetst aan de hand van laboratoriummetingen. In bijlage B.2 staan de resultaten hiervan weergegeven. Hierin is duidelijk te zien dat de kalibratie in veel gevallen niet voldoet. Ook is duidelijk te zien dat er voor het meten van een bepaalde meststofconcentratie in verschillende mestsoorten verschillende kalibraties benodigd zijn.



**Figuur 12 - Regressie tussen labresultaten en fieldtest van meting van K<sub>2</sub>O voor vijf mestsoorten (Bron: Provolo and Martines-Suller, 2007). Voor volledige resultaten, zie bijlage B.2.**

Bijvoorbeeld bij de resultaten van K<sub>2</sub>O in figuur 12 is duidelijk te zien dat de verschillende mestsoorten een andere regressie lijn bevatten, terwijl volgens Provolo de resultaten uit tabel 4 zijn gebruikt voor het opstellen van de verschillende kalibraties. Dit is blijkbaar nog niet voldoende. Goede resultaten kunnen dus alleen behaald worden, als er voor elke meststof in een bepaalde mestsoort een kalibratiecurve wordt bepaald, die de relatie tussen EC en concentratie aangeeft.

Duport BV heeft laten weten (A. Dunnewind, 27 oktober 2009) dat ze is gestopt met het verder ontwikkelen van de PTM Fertimeter en het toepassen hiervan op hun mesttanks. De uitslagen van de testen die uitgevoerd zijn, waren wel correct, maar alleen als er niet van bedrijf of mestsoort gewisseld werd. Was dit wel het geval, dan gaf de Fertimeter afwijkingen. Het is dus zeker noodzakelijk dat de meter elke keer weer opnieuw gekalibreerd wordt. Zelf al bij het veranderen van het (merk) voer is dit al nodig. Het kalibreren werd gedaan door de Universiteit van Milaan, die ook de ontwikkeling van de Fertimeter gedaan heeft samen met PTM. Door de noodzaak van kalibratie en de afstand tot Milaan werd dit wel heel complex.

## 5.2 Zunhammer VAN-Control

Zunhammer heeft VAN-Control ontwikkeld. VAN staat voor “Verteilmenge in Abhängigkeit des N-Gehalts“, ofwel: Doseren, afhankelijk van N-gehalte. Op de Argitechnica in 2007 heeft Zunhammer hiervoor een zilveren medaille gewonnen (Böhrnsen, 2008). Het systeem meet gehalten in drijfmest door middel van een NIR-spectrometer die ontwikkeld is door het Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik (ILV) en kan tijdens de toediening van drijfmest N-, P-, K- en droge stof-gehalte bepalen. De NIR-sensor (figuur 13) analyseert de golflengten uit het spectrum van 850 tot 1650 nm. De lichtbron is een halogeen lamp, omdat deze lamp een zeer breed lichtspectrum heeft. Deze sensor analyseert de meststroom door een glazen venstertje in de leiding, die van de pomp naar het verdelingsmechanisme loopt.



**Figuur 13 - Links: Schematische tekening NIR-sensor met lamp(1), sensor(2) en voorbij stromende drijfmest(3). Midden: Venster in buis, waarop sensor gemonteerd is. Rechts: Onderkant, links de halogeen lamp, rechts de sensor (Bron: Böhrnsen, Profi Magazine, 2008).**

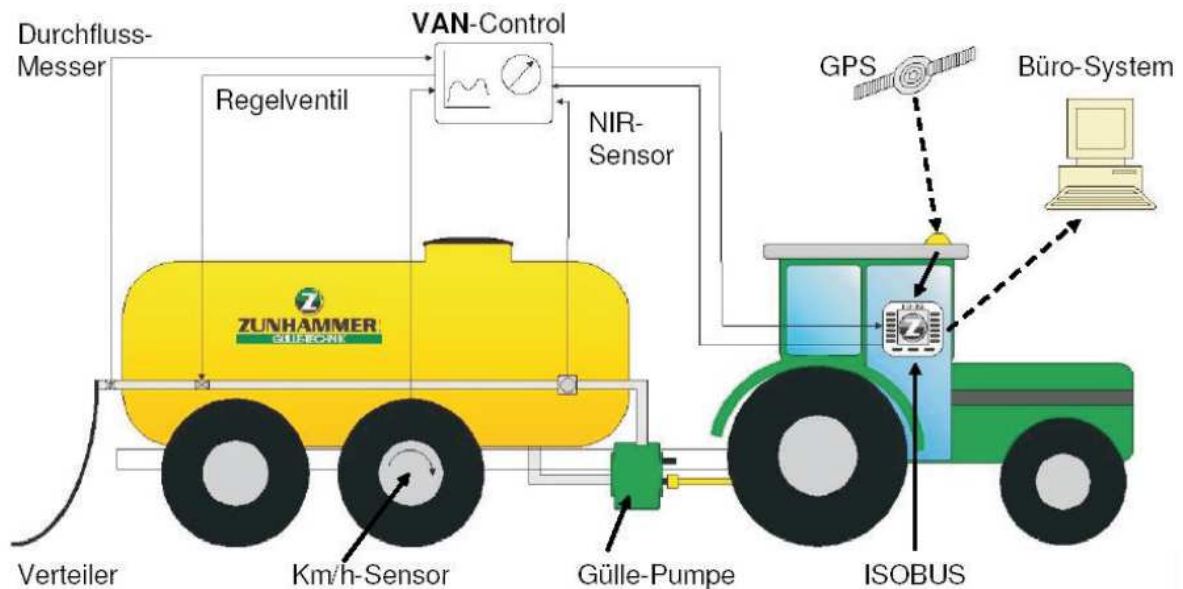
Volgens het de brochure van Zunhammer levert dit product vele voordelen op voor de akkerbouwer, onder andere wat hierna beschreven wordt. Het is mogelijk om de hoeveelheid toegediende meststoffen te documenteren, in het geval van plaatsspecifiek bemesten. Ook is het mogelijk om de dosering hierop aan te passen, zodat er gedoseerd wordt naar kg meststof per hectare. Hierbij kan zowel N, P als K dienen als control parameter. Hierdoor kunnen organische meststoffen nauwkeuriger en efficiënter toegediend worden. Aan eventuele geldende normen kan nu ook nauwkeurig voldaan worden. De plant kan bemest worden met precies de benodigde hoeveelheid meststof (Zunhammer, 2009). Het kalibreren van de sensor dient vooraf, bij de productie te gebeuren. De gebruiker hoeft dan alleen te kiezen welke mestsoort er uitgereden gaat worden, zodat de juiste kalibratie-instellingen opgehaald worden. Zunhammer werkt samen met het ILV eraan om deze kalibraties verder te optimaliseren.



**Figuur 14 - Mogelijke locatie van de sensor met links daarvan de doorstroommeter (Bron: Zunhammer, 2009).**

Om daadwerkelijk ook de dosering aan te passen op gehalten, dient de mesttank te zijn voorzien van een doorstroommeter (figuur14) met automatische doseerregeling. De

gebruiker kiest dan hoeveel stikstof (of andere meststof) hij toegediend wil hebben per hectare en het systeem zal de dosering aanpassen aan de gemeten gehalten. In figuur 15 is het systeem schematisch weergegeven. Hierbij is het systeem gecombineerd met een GPS-systeem, waarbij exact gedocumenteerd kan worden hoeveel meststoffen er overall toegediend wordt. Het systeem wordt geleverd met een ISOBUS-terminal, voor uitwisseling van data en aansturen van apparatuur.



**Figuur 15 - Schematische weergave van het VAN-Control (Bron: Zunhammer, 2009).**

Zunhammer heeft laten weten (Sebastian M. Zunhammer, 24-11-2009) dat er op dit moment twee VAN-Control systemen in gebruik zijn in een praktische toepassing. Beide systemen opereren in Duitsland. Zunhammer heeft voor deze twee systemen de kalibratie ontwikkeld. Hiervoor zijn er 700 metingen gedaan in verschillende mestsoorten uit heel Duitsland. Deze twee systemen werken nu naar wens van de gebruikers, waar de nadelen ten gevolgen van variatie in drijfmestsamenstelling komen te vervallen.

## **6. Discussie**

### **6.1 *Geschied voor inline meting***

Er zijn twee meetprincipes geschikt gevonden voor het inline meten van gehalten. Dit is gebeurd door middel van door de auteur gestelde criteria, namelijk dat er geen monster genomen dient te worden. Deze twee principes meten zowel stikstof als fosfaat en kalium. De overige principes laten wel goede resultaten zien. Deze principes zijn vooral gericht op het meten van stikstof. Door minder strenge eisen te stellen, bijvoorbeeld minder vaak monstereken, kunnen deze principes misschien ook toegepast worden, in de toekomst.

### **6.2 *Electrische geleidbaarheid***

Het meten van elektrische geleiding is gebaseerd op het meten van de hoeveelheid ionen dat aanwezig is in drijfmest. Doordat elektrische geleiding alleen aangeeft hoeveel ionen er aanwezig zijn, is een relatie met P niet logisch. Omdat de concentratie van P vaak evenredig is met de stikstofconcentratie, zal er meestal wel indirect een verband waar te nemen zijn, die weergegeven wordt in de regressievergelijkingen. Dit is ook te zien in de uitkomsten van Provolo and Martines-Suller, (2007). Een ander kritisch punt, wat aandacht vraagt, is de constructie van de sensor. Doordat er een dubbele sonde in de mest geplaatst dient te worden is het niet ondenkbaar dat na verloop van tijd de mest op deze sondes gaat aankoeken. Regelmatig onderhoud zal dan ook noodzakelijk zijn. De vele kalibraties die nodig zijn, zullen een belemmering voor het gebruik van de sensor zijn. Stel dat een loonwerker dit wil toepassen op zijn mesttank. Dit zou betekenen dat hij voor elke klant en elke andere mestsoort zijn meter moet laten kalibreren. Dit zou niet haalbaar zijn.

### **6.3 *NIRS***

Een tweede methode die ook gebruikt kan worden voor het in-line meten is Near Infrared Spectroscopy. Voorspellingen van het droge stofgehalte met NIRS-techniek zijn relatief erg betrouwbaar. Dit komt met name doordat water straling bij bepaalde golflengten zeer sterk absorbeert, waardoor schatting van DS-gehalte goed mogelijk is. Er dient kritisch gekeken te worden dat er niet alleen water gemeten wordt, en zo bijvoorbeeld het stikstofgehalte hiervan afgeleid wordt. Dunnere mest (lager DS-gehalte) heeft immers meestal een lagere stikstofconcentratie. Van dit principe maakt ook de Hydrometer (zie 4.1) gebruik. Er zijn op dit moment twee VAN-Control systemen in gebruik in Duitsland, die deze techniek toepassen. Na zeer veel ijkmetingen, zo'n 700, werken deze twee systemen naar behoren. Als dit systeem op andere bedrijven toegepast gaat worden, is het nog maar de vraag of er dan niet meer kalibraties plaats dienen te vinden. Hoogstwaarschijnlijk zal voor gebruik in bijvoorbeeld Nederland de omstandigheden te veel verschillen met Duitse omstandigheden. Zoals samenstelling van mest en voer.

### **6.4 *Verskil in meetbaarheid meststoffen***

Bij beide methoden zijn de resultaten van het meten van fosfaat veel slechter. Een verklaring hiervoor wordt deels al gegeven in 6.2. Een verklaring voor de metingen met NIRS is dat fosfaat nagenoeg alleen voorkomt in (verschillende) organische verbindingen (Provolo and Martines-Suller, 2007). Hierdoor is fosfaat minder goed te meten, omdat het niet in een specifieke vorm voorkomt.

## **6.5 Belang van inline stikstof en fosfaat meten**

De normen (tabel 1 tot 3) voor het gebruik van stikstof en fosfaat zijn de afgelopen jaren scherper geworden. Vooral voor fosfaat lijkt het dat deze trend zich voorzet. Waar nu nog vaak stikstof de beperkende factor is bij het toedienen van drijfmest, zal in de toekomst vaker fosfaat de beperkende factor zijn. Dit wordt mede veroorzaakt door normen aan grond(water), die vastgesteld zijn op Europees niveau. De meeste technieken die behandelde zijn, zijn gericht op het meten van stikstof concentraties in drijfmest. Om zoveel mogelijk aan de wettelijke normen te kunnen voldoen is het gewenst om naast stikstof ook goed het fosfaatgehalte te kunnen meten in drijfmest.

## **6.6 Kosten**

De prijs van de PTM Fertimeter is relatief gezien vrij laag, namelijk rond de 2500 euro. Dit is exclusief de regelapparatuur voor het aansturen van de dosering. Het VAN-Control systeem kost 35.000 euro, wat een gevolg is van de gebruikte methode, die zeer duur is. Hierbij gaat het wel om een compleet systeem, inclusief doorstroommeter en doseerapparatuur. In de huidige situatie bestaan de kosten van de wettelijke verplichte monsternamen voornamelijk uit de analyse van de mest in het laboratorium. De kosten van een monster analyseren op stikstof- en fosfaatgehalte bedragen, afhankelijk van het aantal, circa 23,50 euro (Bron: Blgg). Als de inline metingen deze verplichte monsternamen zouden kunnen vervangen, komen deze kosten te vervallen. Hierbij gaat het dus om 23,50 euro per vracht (30m<sup>3</sup>-40m<sup>3</sup>). Hierbij dient het systeem wel aan een aantal voorwaarden te voldoen. Namelijk dat de metingen betrouwbaar zijn en het systeem fraude ongevoelig is. Met name bij de Fertimeter is dit nu nog niet het geval, omdat het apparaat ter plekke te kalibreren is. Een ander economisch voordeel dat behaald kan worden is het lagere gebruik van kunstmest, door beter te voldoen aan de norm die geldt voor dierlijke mest en hierdoor minder kunstmest nodig is voor aanvulling. In dit onderzoek is dit niet onderzocht, maar efficiënter gebruik van dierlijke mest kan leiden tot hogere gewas opbrengsten, hetgeen financieel voordeel oplevert.

## 7. Conclusie

Voor het meten van meststofconcentraties zijn er verschillende producten op de markt. Met name voor het meten van stikstofconcentratie zijn er een aantal producten met verschillende principes beschikbaar. Veel van deze technieken zijn gericht op het meten van stikstofconcentraties. Om goed te kunnen voldoen aan de wettelijke gestelde normen is het van belang zowel stikstof als fosfaat goed te kunnen meten. De regelgeving zorgt er namelijk voor dat in de toekomst fosfaat voor meer beperkingen gaat zorgen.

Door de auteur is een criteria gesteld voor het geschikt zijn voor inline metingen. Hierdoor zijn er twee systemen geschikt voor een inline meetsysteem, namelijk het meten van Elektrische geleiding (EG) en Nabij Infrarood Spectroscopie (NIRS).

Uit de resultaten voor het meten met behulp van EG blijkt het volgende. Bij totaal stikstof en ammonium stikstof is een goede schatting mogelijk, bij kalium kan onderscheid gemaakt worden tussen hoge en lage waarden. De metingen van fosfaatgehalte zijn niet bruikbaar.

De resultaten voor het meten van totaal stikstof met behulp van NIRS zijn goed, er is een goede voorspelling te doen van het gehalte. Voor ammonium stikstof is het resultaat iets minder, hier is alleen een schatting mogelijk. Bij kalium en fosfaat is er alleen onderscheid mogelijk tussen hoge en lage waarden.

Beide systemen worden in de praktijk toegepast. Het meten van EG is toegepast in de PTM Fertimeter. NIRS wordt door Zunhammer gebruikt in het VAN-Control systeem. De Fertimeter is erg afhankelijk van kalibraties. Dit dient al opnieuw te gebeuren bij een kleine verandering in de omstandigheden. Het VAN-Control is erg duur in aanschaf ten opzichte van de Fertimeter.

## 8. Aanbevelingen

Voor verder onderzoek naar het inline meten van mestgehaltenes zijn er enkele aanbevelingen.

Er zal vooral gericht moeten worden op het meten van fosfaatgehalte. Dit is samen met stikstof de belangrijkste parameter. De normen voor fosfaat zijn de laatste jaren strenger geworden en het ziet ernaar uit dat deze trend doorzet (tabel 3). En aangezien de huidige resultaten ten opzichte van stikstof veel minder zijn is hier nog veel verbetering nodig. Eerst zal vooral onderzocht moeten worden wat de oorzaak is van de slechte meetbaarheid. Onder andere of het feit dat fosfaat voornamelijk in organische verbindingen voorkomt werkelijk de oorzaak is.

Een kosten-baten analyse van een inline meetsysteem is zeer bruikbaar om de rendabiliteit van een dergelijk systeem te onderzoeken. Een deel van de factoren zijn al genoemd in de discussie (6.5). Ander factoren die belangrijk zijn, zijn de levensduur(afschrijving), onderhoud en de capaciteit van het systeem.

Ook dient de mogelijkheid tot het toepassen van de afgewezen principes, in dit onderzoek, te worden onderzocht. Mogelijk kunnen de principes, waarbij een monster genomen dient te worden toch worden toegepast, hetzij met een lagere monsterfrequentie.



## Referenties

- Araji, A.A., Z.O. Abdo and P. Joyce, 2001. Efficient use of animal manure on cropland: economic analysis. *Bioresource Technology* 79: 179-191
- Bodemacademie, 2009. Tabel met samenstelling mestsoorten. Website [www.bodemacademie.nl](http://www.bodemacademie.nl). 18-09-2009
- Boerderij, 2003. Fertimeter in de prijzen. Website [www.boerderij.nl](http://www.boerderij.nl). 21-12-2003.
- Böhrnsen, Anja, 2008. Gülle-nährstoffe online kontrollieren. *Profi*, magazine für professionelle agrartechnik, 8.
- Burns, D. and E. Cziurczak (ed.), 1992. *Handboek of near-infrared spectroscopy*. Marcel Dekker, New York
- Cross, T. and P. Wright, 1996. Using electronic conductivity to determine ammonia content of dairy manure. *American Society of Agricultural Engineers Annual International Meeting*. ASAE Paper no. 962080, St. Joseph, MI.
- De Belie N., D.K. Pedersen, M. Martens, R. Bro, L. Munck and J. de Baerdemaeker, 2003. The use of visible and near-infrared reflectance measurements to assess sensory changes in carrot texture and sweetness during heat treatment. *Biosystems Engineering* 85(2): 213–225
- Dekker, P.H.M. and R. Postma, 2008. Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting. *Praktijkonderzoek Plant & Omgeving*, Lelystad. PPO nr. 3250061800
- DLV & WUR, 2005. Mest- en mineralenkennis voor de praktijk, Blad 15 in serie Plantaardig. [www.hetInvloket.nl](http://www.hetInvloket.nl)
- EMIS, 2009. Website [www.emis.vito.be](http://www.emis.vito.be). 15-11-2009
- Fleming, R.J., J.E. McLellan, and S.H. Bradshaw, 1993. On-farm measurement of available manure-N. ASAE Paper no. 934025, St. Joseph, MI.
- Hardy, C.L., G. Rippke, C.R. Hurburgh Jr., en T.J. Brumm, 1996. Calibration and field standardization of Foss Grainspec Analyzers for corn and soybeans. In *Near Infrared Spectroscopy-The Future Wave*. Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conference on NIR Spectroscopy. Charlton, Chichester, West Sussex, UK. NIR Publications.
- Hoeksma, P., J.V. van den Berg, E. Evers, M.M.W.B. Hendriks, and G.C.C. Kupers, 2002. Bemonsteringsnauwkeurigheid bij laden en lossen van transportvoertuigen voor drijfmest. IMAG, Wageningen
- Kessel, J.S. Van, R.B. Thompson, and J.B. Reeves, 1999. Rapid On-Farm Analysis of Manure Nutrients Using Quick Tests. *The Journal of Agricultural Science* 12: 215-224
- Kessel, J.S. Van, and J.B. Reeves, 2000, On-Farm Quick Tests for Estimating Nitrogen in Dairy Manure. *Journal of Dairy Science* 83: 1837-1844
- LNV-loket, 2010. Website [www.Invloket.nl](http://www.Invloket.nl). 02-02-2010
- Loonbedrijf, 2003. In 20 seconden mestgehaltenes meten. *Vakblad Loonbedrijf* 12: pag 5

- Malley D. F., L. Yesmin and R.G. Eilers, 2002. Rapid analysis of hog manure and manure-amended soils using near-infrared spectroscopy. *Journal of the American Soil Science Society* 66: 1677–1686
- Melse, R. en N. Verdoes, 2002. In dierlijke mest is ook kalium van belang. *PraktijkKompas Varkens*, Mei 2002: 18-19
- Millmier, A., J.Lorimor, C. Hurburgh Jr., C. Fullhage, J. Hattey and H. Zhang, 2000. Near-infrared Sensing of Manure Nutrients. *Transactions of the ASAE* 43: 903-908
- Ministerie van LNV, 2007. Brochure Mestbeleid 2008-2009 tabellen
- Nakatani, M., and Y. Harada, 1995, Principal component analysis of near infrared spectra of animal waste compost. *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 66: 422–424.
- Nakatani, M., Y. Harada, K. Haga, and T. Osada, 1996. Near infrared spectroscopy analysis of the changes in quality of cattle wastes during composting processes. *Japanese Soil & Fertility Society* 66(2): 159-161.
- Patni, N.K., S. Bittman, and T. Kannangara, 1999. Composition variation in stored swine manure slurry. Symposium of the HEMS, Ottawa, Canada.
- Paulsen M. R., L.O. Pordesimo, M. Singh and S.W. Mbuvi, 2003. Maize starch yield calibrations with near infrared reflectance. *Biosystems Engineering* 85(4): 455–460
- Paulsen M. R. and M. Singh, 2004. Calibration of a nearinfrared transmission grain analyser for extractable starch in maize. *Biosystems Engineering* 89(1): 79–83
- Provolo, G, and L. Martines-Suller, 2007. In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity. *Bioresource Technology* 98: 3235-3242
- Reeves III J B and Van Kessel J S. 2000, Near-infrared Spectroscopic Determination of Carbon, Total Nitrogen, ammonium-N in Dairy Manures. *Journal of Dairy Science* 83:1829–1836
- Reyns P.; K. Maertens, J. de Baerdemaeker 2001. On-line measurement of corn moisture content on a combine harvester using NIR technology. In: *Proceedings 3<sup>rd</sup> European Conference on Precision Agriculture* (G. Grenier, S. Blackmore, eds), p 851. Montpellier, France
- Reyns P., 2002. Continuous measurement of grain and forage quality during harvest. PhD Thesis, Catholic University of Leuven, Belgium, p 228
- Rippke, G. R., C. L. Hardy, C. R. Hurburgh Jr., and T. J. Brumm, 1995. Calibration and field standardization of Perstorp Infratec Analyzers for corn and soybeans. In *Proc. NIR-95, The Future Waves, 7th Int. Conference on Near-Infrared Spectroscopy*. Winnipeg, Manitoba, Canada: Canadian Grain Commission.
- Saeyns W., P.Darius, H. Ramon, 2004. Potential for on site nalysis of hog manure using a visual and near-infrared diode array reflectance spectrometer. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 12: 299–309

Saeys W., A.M. Mouazen, H. Ramon, 2005. Potential for Onsite and Online Analysis of Pig Manure using Visible and Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *Biosystems Engineering* 91(4), 393-402

Shenk J S; J.J. Workman Jr; and M.O. Westerhaus, 1992. Application of NIR Spectroscopy to Agricultural Products. In: *Handbook of Near-infrared Analysis* (Burns D A; Ciurczak E W, eds), p 681. Marcel Dekker Inc., New York

Stevens, R.J., C.J. O'Brice and O.T. Carton, 1995. Estimating nutrient content of animal slurries using electrical conductivity. *The Journal of Agricultural Science* 125: 233-238.

Williams, J.R., B.J. Chambers, K.A. Smith, S. Brookman, D. Chadwick, and B.F. Pain, 1996. The development of user friendly systems for on-farm estimation of the available nitrogen content in solid manures and slurries. MAFF Open Contract CSA 2849. ADAS and IGER, UK.

Williams, P. and C. Hurburgh, 1999. AACC Method 39-40, 5<sup>th</sup> Ed. St. Paul Minn.: American Association of Cereal Chemists (AACC)

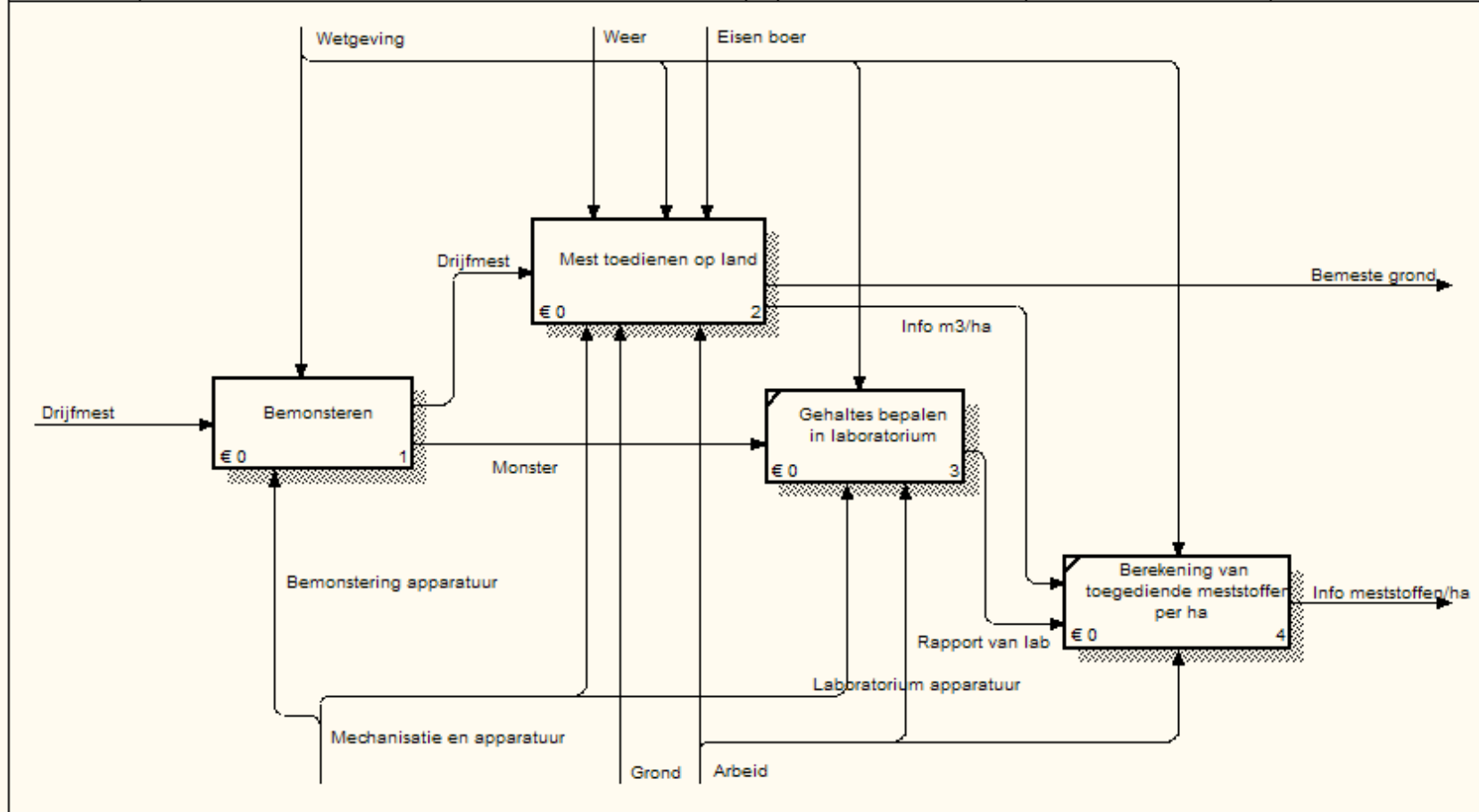
Zunhammer, 2009. Brochure Zunhammer VAN-Control

## **Bijlagen**



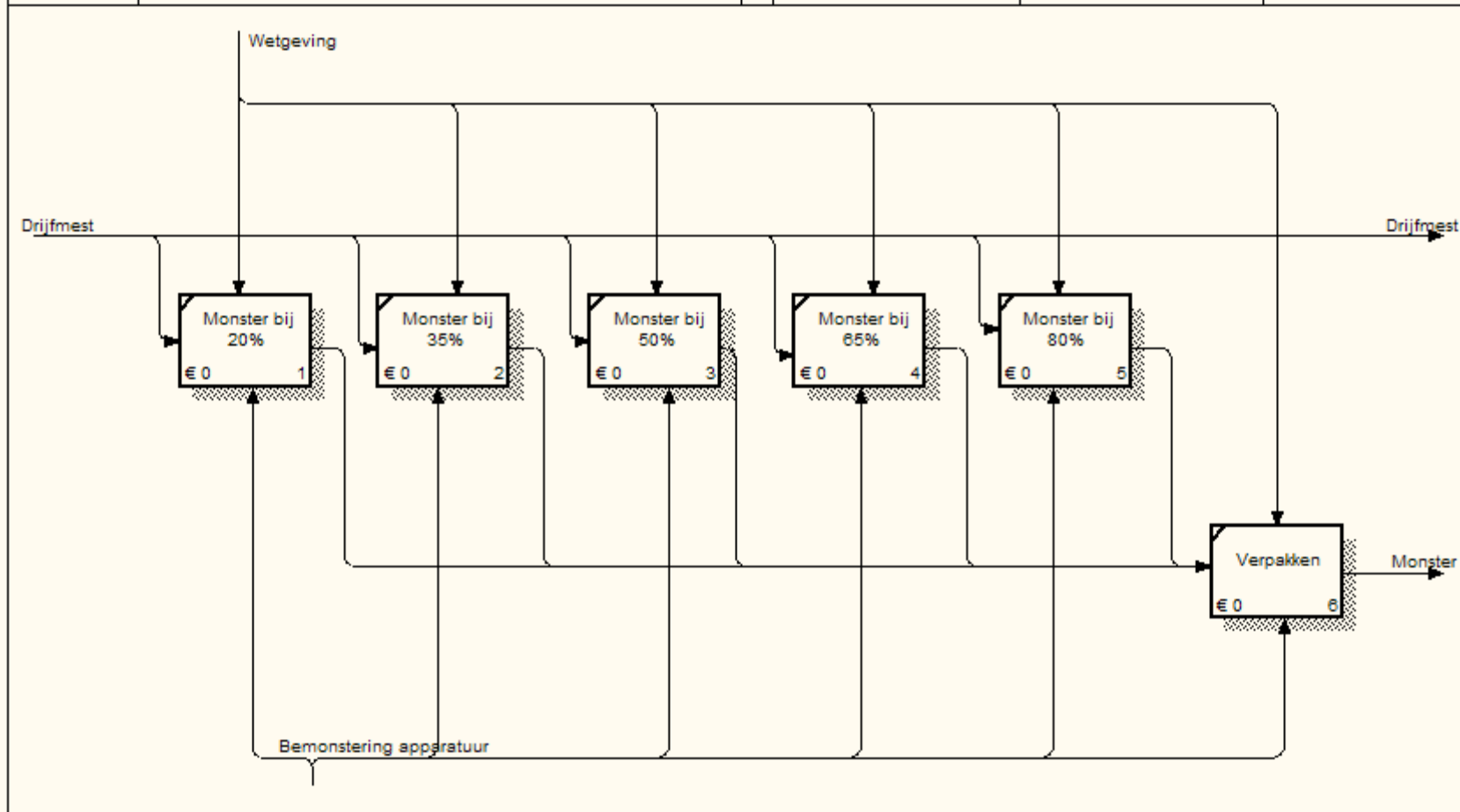


USED AT:	AUTHOR: Teus van Laar	DATE: 5-11-2009	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: A-0
	PROJECT: Bemonstering van drijfmest huidig	REV: 9-3-2010	DRAFT			
			RECOMMENDED			
			PUBLICATION			
NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10						



NODE: <b>A0</b>	TITLE: <b>Drijfmest toedienen</b>	NUMBER:
--------------------	--------------------------------------	---------

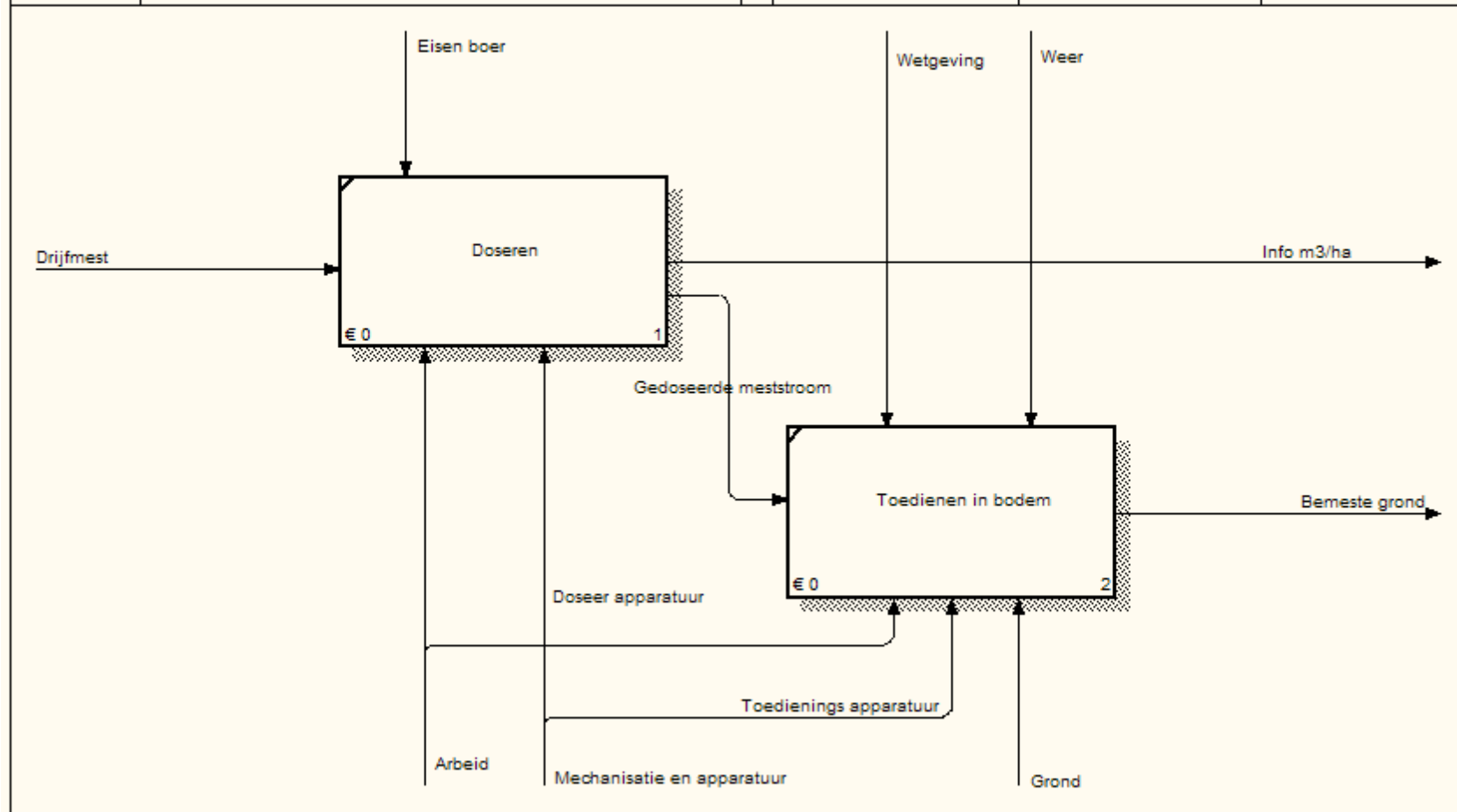
USED AT:	AUTHOR: Teus van Laar	DATE: 9-11-2009	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: A0
	PROJECT: Bemonstering van drijfmest huidig	REV: 9-11-2009	DRAFT			
			RECOMMENDED			
			PUBLICATION			
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10					



NODE: <b>A1</b>	TITLE: <b>Bemonsteren</b>	NUMBER:
--------------------	------------------------------	---------



USED AT:	AUTHOR: Teus van Laar	DATE: 5-11-2009	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: A0
	PROJECT: Bemonstering van drijfmest huidig	REV: 9-3-2010	DRAFT			
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		RECOMMENDED			
			PUBLICATION			



NODE: <b>A2</b>	TITLE: <b>Mest toedienen op land</b>	NUMBER:
--------------------	---	---------

### **Beschrijving van activiteiten in Idef0 model van huidige situatie:**

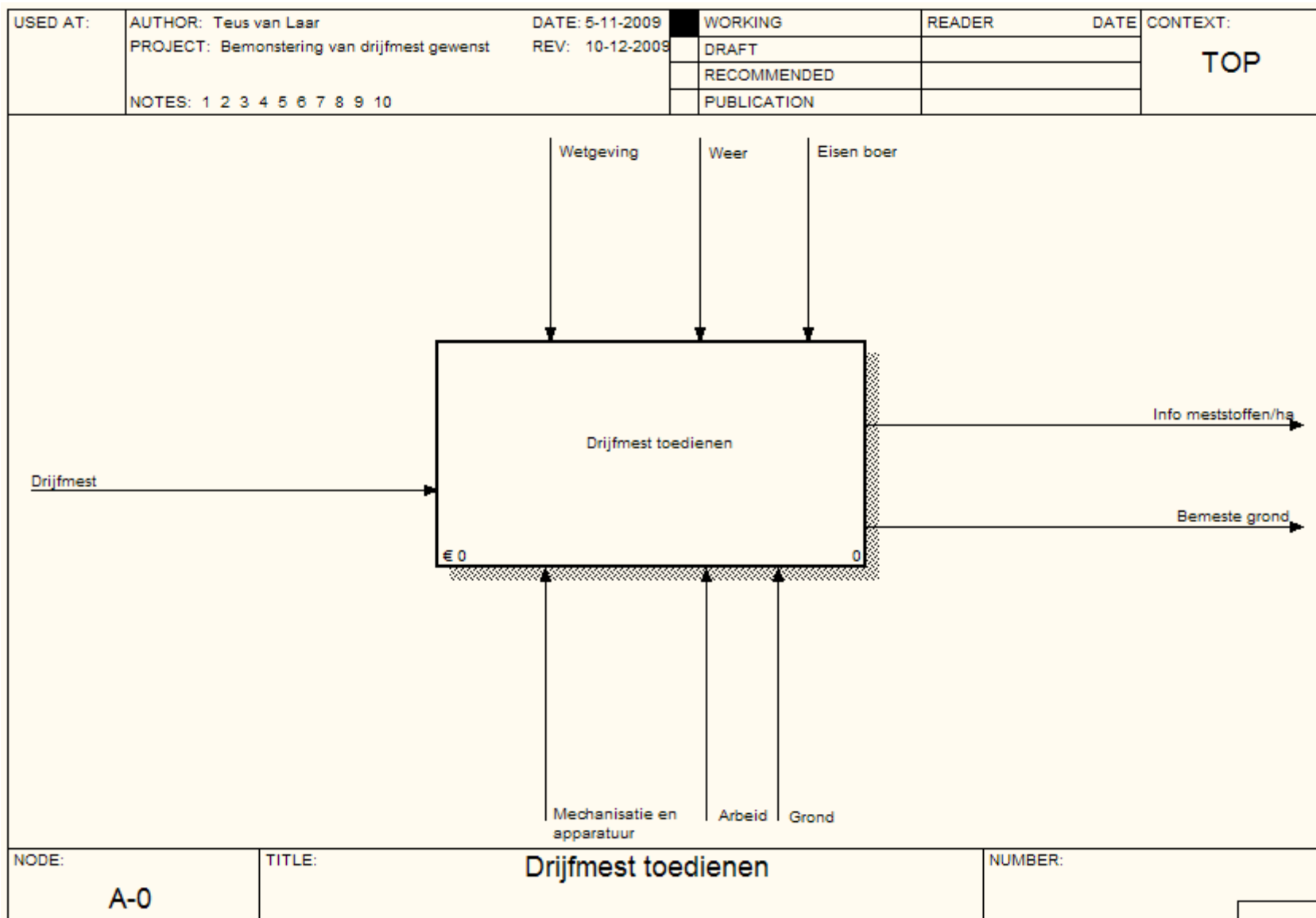
Bemonsteren	Het bemonsteren van een vracht drijfmest houdt in dat er 5 deelmonsters genomen worden, die samengevoegd worden tot het gemiddelde monster van een vracht.
Berekening van toegediende meststoffen per ha	Aan de hand van het Laboratoriumrapport en de informatie van de doseercomputer wordt berekend hoeveel meststoffen er per hectare toegediend zijn, dit zal dan gebruikt worden in de mestboekhouding.
Doseren	Aan de hand van de volgende informatie wordt er gedoseert: -Wensen van de boer, hoeveel wil de boer aan het gewas toedienen? -Wetgeving, wordt gemiddeld genomen de norm niet overschreden? -Data van metingen Er zal uitgereden worden naar 1 van de gemeten concentraties.
Drijfmest toedienen	Het toedienen van drijfmest aan de bodem. Dit kan zowel een akkerbouwbedrijf betreffen, als een veehouderij (grasland). Dit omvat alle samenhangende activiteiten: Meten, doseren, toedienen, laboratoriumonderzoek, berekening van toegediende meststoffen.
Gehaltes bepalen in laboratorium	Het bepalen van N, P, en K gehaltes van het monster in een wettelijk erkend laboratorium.
Mest toedienen op land	Het uitrijden van de mest. Hier valt onder: Meten Doseren Toedienen
Monster bij 20%	Monster nemen bij een 20 % gevulde tank
Monster bij 35%	Monster nemen bij een 35 % gevulde tank
Monster bij 50%	Monster nemen bij een 50 % gevulde tank
Monster bij 65%	Monster nemen bij een 65 % gevulde tank
Monster bij 80%	Monster nemen bij een 80 % gevulde tank
Toedienen in bodem	Het werkelijk inbrengen van de drijfmest in de bodem. Hier spelen de weersomstandigheden een rol, maar ook de wetgeving. Zo mag er in bepaalde perioden niet worden uitgereden en dient de mest direct ondergewerkt te worden. Mogelijke toedienings apparatuur: Bouwlandinjecteur Graslandinjecteur Zodebemester Sleufkouter
Verpakken	Het verpakken van de 5 deelmonsters in een gesealde zak

### **Beschrijving van pijlen in Idef0 model van huidige situatie:**

Arbeid	Totale arbeid die benodigd is voor het toedienen van drijfmest.
Bemeste grond	Grond, dat bemest is met drijfmest
Bemonstering apparatuur	Apparatuur dat benodigd is voor het meten van drijfmest in een tank. Meestal zijbustype van Eijkelkamp of zuigtype van VMA.
Doseer apparatuur	Dit betreft: Doseercomputer Regelbare klep/kraan
Drijfmest	Vaste mest, gemengd met urine. Hierdoor ontstaat halfvloeibare mest. Dit kan zowel varkens- als runderdrijfmest betreffen.
Eisen boer	Hieronder vallen de eisen die de boer stelt aan de hoeveelheid meststoffen die toegediend worden aan de gewassen.
Gedoseerde meststroom	Stroom van drijfmest, die gedoseert is a.h.v. gewenste toediening
Grond	Grond, waarop de mest wordt toegediend
Info m3/ha	Informatie over volume dat is toegediend per hectare.

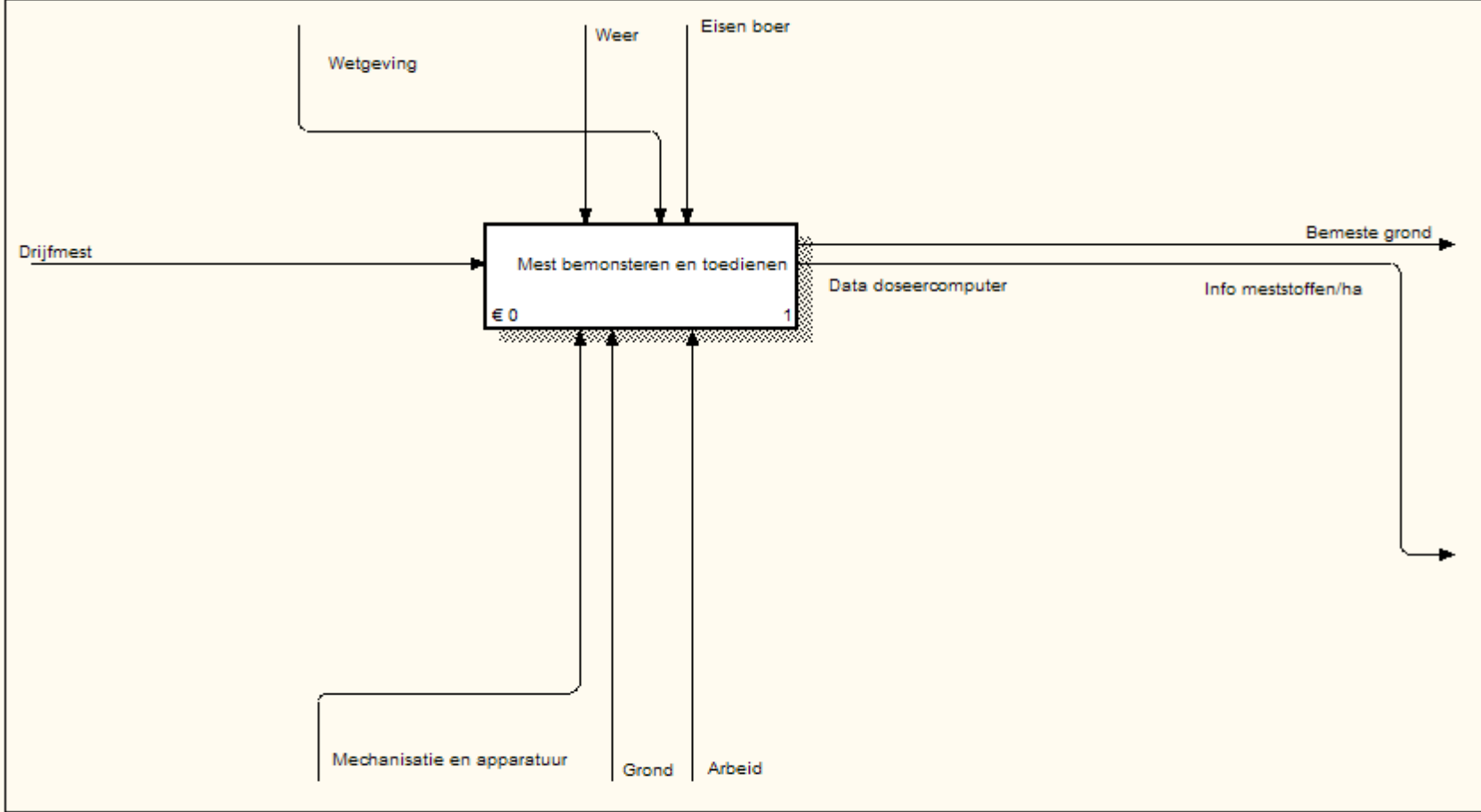
Info meststoffen/ha	Informatie over de hoeveelheid meststoffen die per hectare toegediend zijn. Meest relevant zijn N, P, en K. (kg/ha)
Laboratorium apparatuur	Wettelijk erkende apparatuur voor het meten van meststofconcentraties in drijfmestmonsters
Mechanisatie en apparatuur	Alle mechanisatie en apparatuur die nodig is voor het toedienen van drijfmest: Doseerapparatuur, regelapparatuur, toedieningsapparatuur, etc.
Monster	De samengevoegde deelmonsters, die samen het gemiddelde tankmonster vormen.
Rapport van lab	Rapport van het laboratorium met de concentraties die gemeten zijn voor de verschillende meststoffen in het monster.
Toedienings apparatuur	Alle mechanisatie en apparatuur die nodig is voor het werkelijk toedienen van drijfmest in de bodem.
Weer	Het weer heeft invloed op de mogelijkheden van het uitrijden van de mest en op de meststoefficientie.
Wetgeving	Er geldt een wetgeving voor het gebruik van dierlijke mest. Zo zijn er wettelijke normen opgesteld en dient de mest direct ondergewerkt te worden. Elke vracht mest die af- of aangevoerd wordt dient bemonsterd te worden. Dit moet gebeuren volgens wettelijk vastgestelde richtlijnen.





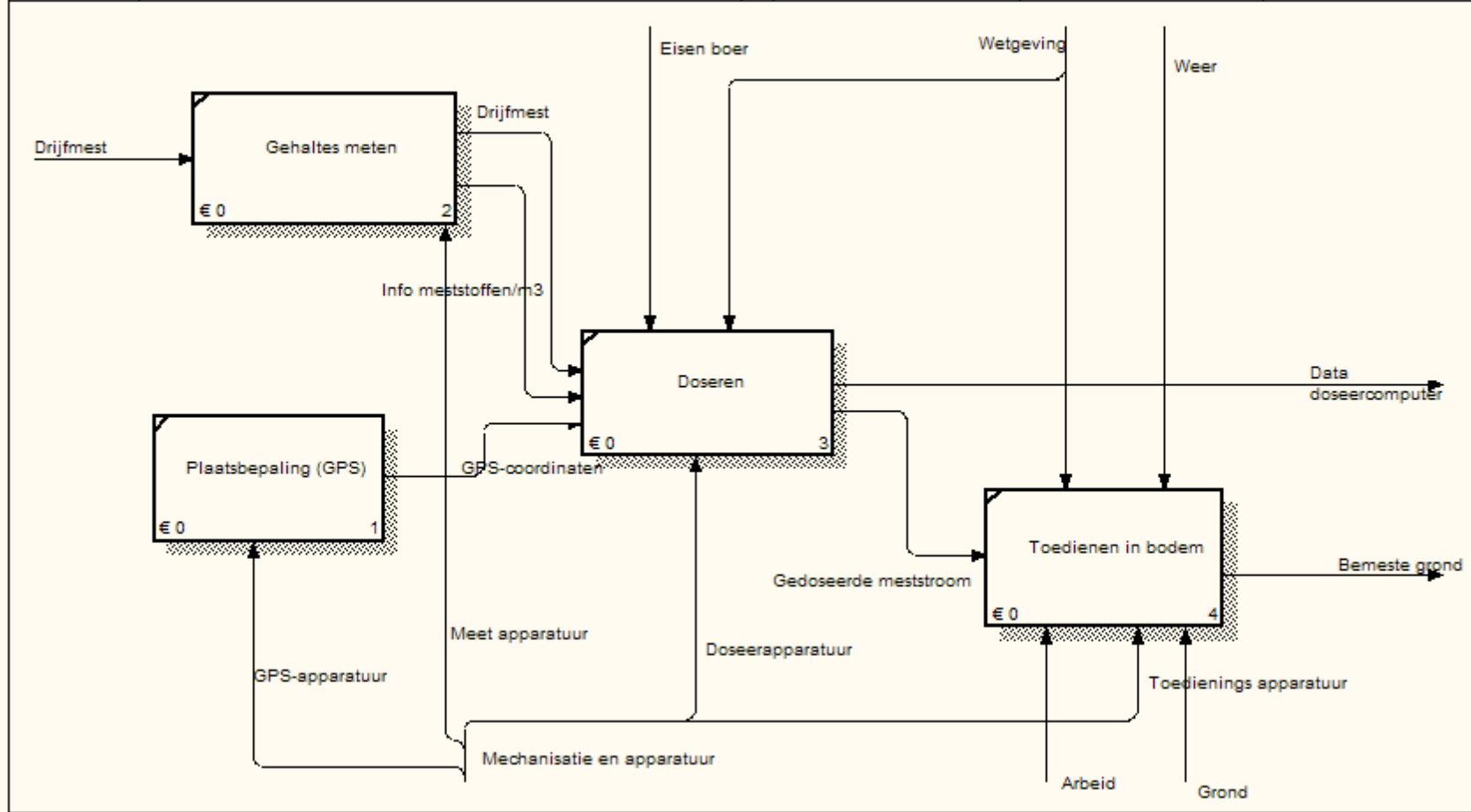
NODE: <b>A-0</b>	TITLE: <b>Drijfmest toedienen</b>	NUMBER:
---------------------	--------------------------------------	---------

USED AT:	AUTHOR: Teus van Laar	DATE: 5-11-2009	WORKING	READER	DATE	CONTEXT:  A-0
	PROJECT: Bemonstering van drijfmest gewenst	REV: 9-3-2010	DRAFT			
			RECOMMENDED			
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		PUBLICATION			



NODE: <b>A0</b>	TITLE: <b>Drijfmest toedienen</b>	NUMBER:
--------------------	--------------------------------------	---------

USED AT:	AUTHOR: Teus van Laar	DATE: 5-11-2009	WORKING	READER	DATE	CONTEXT: A0
	PROJECT: Bemonstering van drijfmest gewenst	REV: 9-3-2010	DRAFT			
			RECOMMENDED			
			PUBLICATION			
	NOTES: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10					



NODE: <b>A1</b>	TITLE: <b>Mest bemonsteren en toedienen</b>	NUMBER:
--------------------	--	---------

### Beschrijving van activiteiten in Idef0 model van gewenste situatie:

Doseren	Aan de hand van de volgende informatie wordt er gedoseert: -Wensen van de boer, hoeveel wil de boer aan het gewas toedienen? -Wetgeving, wordt gemiddeld genomen de norm niet overschreden? -Data van metingen -GPS-coördinaten in het geval van specifiek bemesten Er zal uitgereden worden naar 1 van de gemeten concentraties.
Drijfmest toedienen	Het toedienen van drijfmest aan de bodem. Dit kan zowel een akkerbouwbedrijf betreffen, als een veehouderij (grasland). Dit omvat alle samenhangende activiteiten: Meten, doseren, toedienen, laboratoriumonderzoek.
Gehaltes meten	Het meten van de verschillende meststofgehalten in drijfmest. Dit gebeurt online, tijdens het uitrijden.
Mest bemonsteren en toedienen	Het uitrijden van de mest. Hier valt onder: Meten Doseren Toedienen
Plaatsbepaling (GPS)	Plaats bepalen door middel van een GPS systeem. Output zijn gps-coördinaten, die gebruikt kunnen worden voor plaatsspecifiek bemesten.
Toedienen in bodem	Het werkelijk inbrengen van de drijfmest in de bodem. Hier spelen de weersomstandigheden een rol, maar ook de wetgeving. Zo mag er in bepaalde perioden niet worden uitgereden en dient de mest direct ondergewerkt te worden. Mogelijke toedienings apparatuur: Bouwlandinjecteur Graslandinjecteur Zodebemester Sleufkouter

### Beschrijving van pijlen in Idef0 model van gewenste situatie:

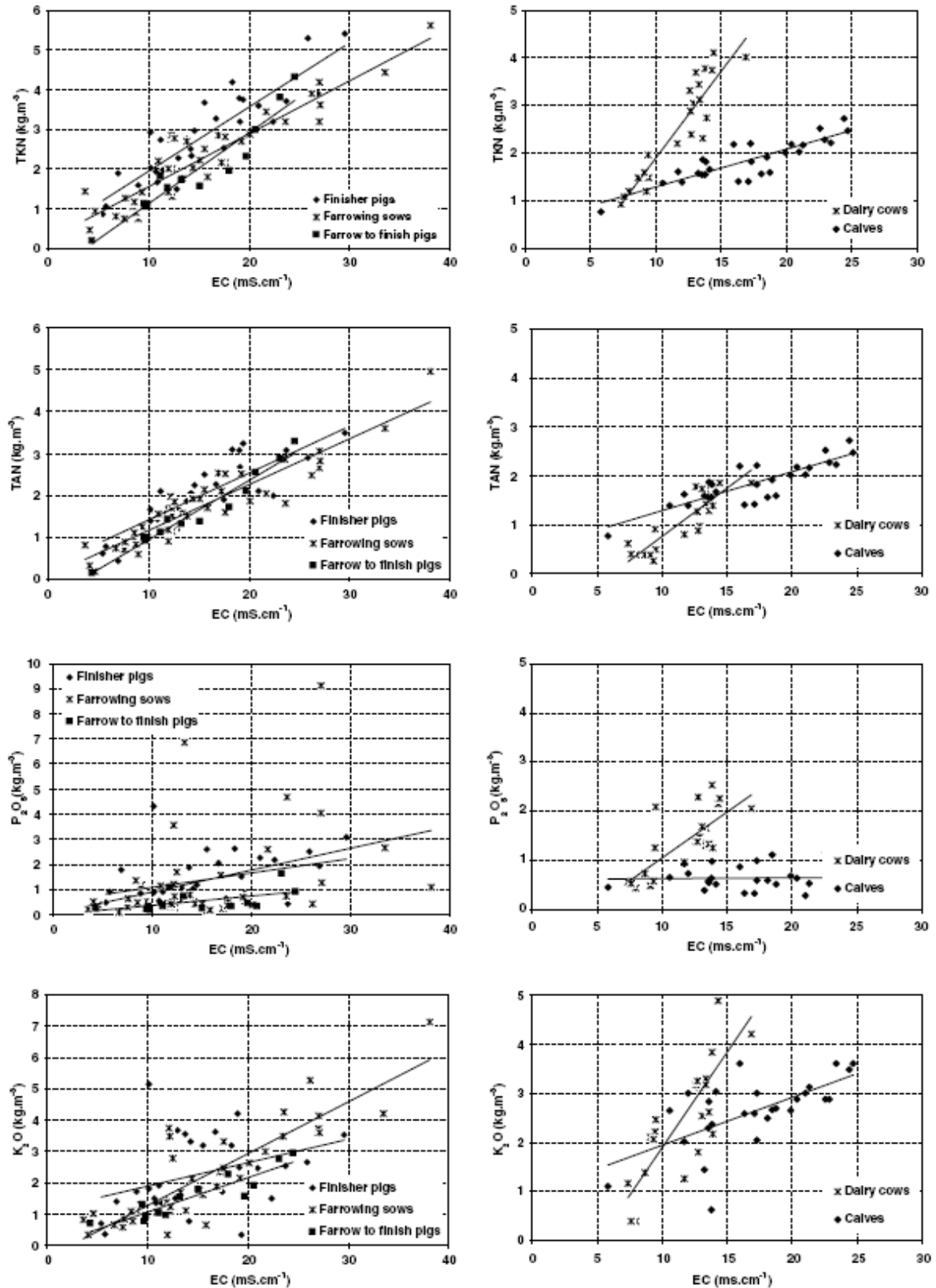
Arbeid	Totale arbeid die benodigd is voor het toedienen van drijfmest.
Bemeste grond	Grond, dat bemest is met drijfmest
Data doseercomputer	Data uit doseercomputer, over wat werkelijk is toegediend. bevat o.a.: N/ha P/ha K/ha m <sup>3</sup> /ha Meststof toegediend per locatie (GPS-coördinaten)
Doseerapparatuur	Dit betreft: Doseercomputer Regelbare klep/kraan
Drijfmest	Vaste mest, gemengd met urine. Hierdoor ontstaat halfvloeibare mest. Dit kan zowel varkens- als runderdrijfmest betreffen.
Eisen boer	Hieronder vallen de eisen die de boer stelt aan de hoeveelheid meststoffen die toegediend worden aan de gewassen.
Gedoseerde meststroom	Stroom van drijfmest, die gedoseert is a.h.v. gewenste toediening
GPS-apparatuur	Plaatsbepaling apparatuur
GPS-coördinaten	nodig voor plaatsbepaling door middel van GPS-systeem
Grond	Grond, waarop de mest wordt toegediend
Info m <sup>3</sup> /ha	Informatie over volume dat is toegediend per hectare.
Info meststoffen/ha	Informatie over de hoeveelheid meststoffen die per hectare toegediend zijn. Meest relevant zijn N, P, en K. (kg/ha)
Info meststoffen/m <sup>3</sup>	Informatie over hoeveel N, P en K de mest per m <sup>3</sup> bevat
Mechanisatie en apparatuur	Alle mechanisatie en apparatuur die nodig is voor het toedienen van drijfmest: Doseerapparatuur, regelapparatuur, toedieningsapparatuur, etc.
Meet apparatuur	Apparatuur dat de verschillende meststofgehalten meet: N P K
Toedienings apparatuur	Alle mechanisatie en apparatuur die nodig is voor het werkelijk toedienen van drijfmest in de bodem.



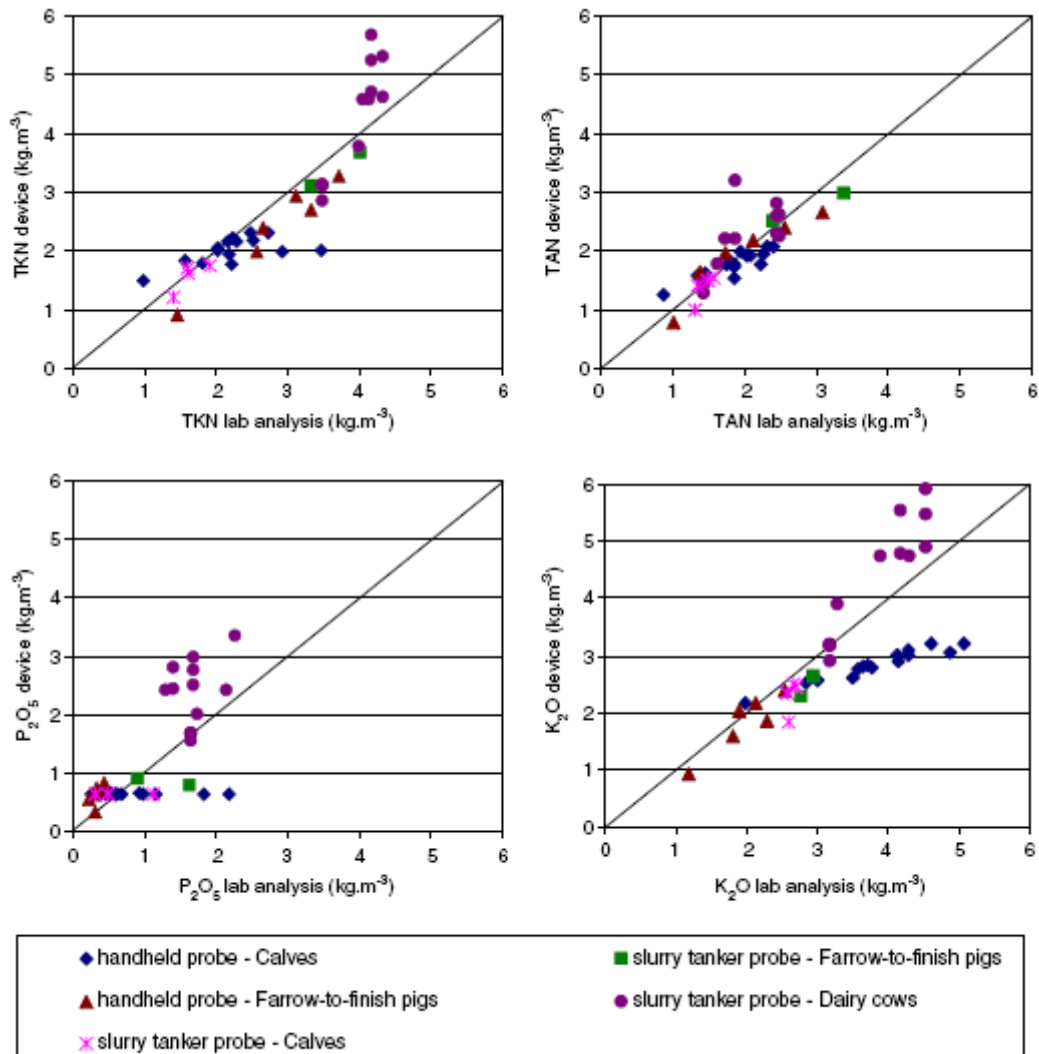
Weer	Het weer heeft invloed op de mogelijkheden van het uitrijden van de mest en op de meststofefficiëntie.
Wetgeving	Er geldt een wetgeving voor het gebruik van dierlijke mest. Zo zijn er wettelijke normen opgesteld en dient de mest direct ondergewerkt te worden.

**Bijlage B.1**

**Regressiebepalingen uit Provolo and Martínez-Suller, 2007**



Resultaten van de bepaling van de lineaire regressie tussen EG (EC) en verschillende soorten drijfmest (links varkensdrijfmest, rechts runderdrijfmest). De EG van een bepaald monster is uitgezet op de horizontale as. Op de verticale as zijn de resultaten van het laboratorium van dit monster uitgezet. Door de verkregen punten is een regressielijn getekend, waarvan de regressie coëfficiënten bepaald zijn.



Hier is de PTM Fertimeter getoetst. Op de horizontale as staan de resultaten verkregen in een laboratorium. De resultaten van de monsters door middel van de Fertimeter zijn uitgezet op de verticale as. De Fertimeter is hierbij gekalibreerd met eerder verkregen regressiecoëfficiënten. Dit is gedaan voor verschillende mestsoorten.