

Drijfmest, Invloeden op emissies, N-benutting op grasland



Eindrapport
van onderzoek naar stikstof in de kringloop

Februari 2020

Samenvatting

Een consortium van 10 toeleveringsbedrijven en de Vereniging tot Behoud van Boer en Milieu heeft een onderzoek opgezet in samenwerking met 2 onderzoekers. Van januari tot maart 2019 zijn in totaal 171 mestmonsters genomen bij 135 (melk)veebedrijven en is onder andere de ammoniak emissie gemeten. Verderop in dat jaar is gekeken hoe de opbrengst en kwaliteit van de eerste snede gras beïnvloed werd door de bemesting in het vroege voorjaar en hoe goed die bemesting benut werd (vastgelegde N).

Er zijn grote verschillen tussen de mestmonsters van de deelnemende bedrijven in de concentratie aan stikstof, de verhouding tussen organische en ammoniakale stikstof en de C/N verhouding. Dit resulteert in grote verschillen in ammoniak emissie (een factor 6 tussen de hoogste en laagste). De laagste emissies meten we bij bedrijven met een handig rantsoen en een lage ureumafvoer via de melk. Door hierop te sturen via het rantsoen, kan een emissiereductie van ongeveer 30% behaald worden.

Mest van een koe met optimale pensfermentatie is van een optimale kwaliteit, blijft uit zichzelf vrij homogeen en heeft erg beperkte emissies. Deze mest gaat in de mestput spontaan fermenteren en hoeft geen producten of behandelingen, alleen contact met zuivere lucht.

Mest van koeien met een gebrekkige pensfermentatie is stikstofrijk, relatief koolstofarm, emissierijk en heeft de neiging tot het vormen van een drijfslag, schuimlaag of gaslaag. Het deel van de mest onder die laag gaat dan rotten, waardoor veel giftige stoffen ontstaan. Vaak komen er ook nog andere (giftige) stoffen bij van o.a. medicijnen, ontsmettingsmiddelen in voetbaden of spoelwater van de melkmachine. Zo ontstaat een giftig product, dat geen goed voedsel meer is voor het bodemleven. Om een dergelijke mest op te waarderen kunnen allerlei producten gebruikt worden, die de sponsors van dit project aanbieden. Hierdoor zal de mest in het gunstigste geval een betere kwaliteit krijgen, maar hij wordt nooit echt goed.

Er zijn enorme verschillen in de benutting van de mest na bemesting op grasland. We hebben ons vooral gefocust op de stikstofbenutting. Door de aanvoer van stikstof via de bemesting en de afvoer via de eerste snede met elkaar te vergelijken, berekenden we hoeveel procent van de bemeste stikstof door het gras van de eerste snede werd opgenomen.

Het uiteindelijke resultaat is afhankelijk van een hele reeks omstandigheden. Om een zo goed mogelijke benutting van de mest te krijgen, komt het erop aan zoveel mogelijk gunstige invloeden te combineren. Door echt goede kringlooplandbouwpraktijken kregen we een gemiddelde stikstofbenutting van 122%. Dit hebben we vastgesteld bij bedrijven die drijfmest gebruiken die arm aan mineralen en stikstof is, met een C/N >8, een minder dan gemiddelde hoeveelheid NH₄-N. Handig aanwenden van mest betekent: een beperkte hoeveelheid, zo homogeen mogelijk op het land verdelen (bovengronds), als de bodemtemperatuur voldoende hoog is (maart) en zonder gebruik van stikstof uit kunstmest. Het bodemleven krijgt hiermee een hoogwaardig rantsoen en wordt hierdoor geactiveerd. De symbiose tussen plant, bodem en bodemleven gaat dan optimaal voor je werken en stikstof en andere nutriënten uit de bodem vrijmaken voor het gras. We hebben dat bodemleven niet onderzocht in dit project, maar weten wel hoe dit werkt door honderden metingen door expertisebureau Organic Forest Polska in de laatste 6 jaar in Nederland.

Bij een typisch gangbaar beheer, waarbij minstens 25 m³ ammoniakrijke drijfmest in februari door de zodebemester of sleufkouter werd gegeven en later ook nog stikstof uit kunstmest, bedroeg de gemiddelde benutting van stikstof 68%, dus grofweg de helft. Bij een dergelijk beheer maakt het natuurlijke systeem van symbiose geen kans. Als door injecteren een zware overdosering mest op een smal strookje komt op een bodem met een zwak vermogen om nutriënten te binden (CEC- waarde), verwachten we dat er aanzienlijke verliezen kunnen optreden. Door gebrek aan middelen hebben we dat helaas niet kunnen meenemen in dit onderzoek. Vervolgonderzoek moet dus duidelijk maken waar het niet opgenomen deel van de bemeste stikstof gebleven is.

We vonden geen enkel verband tussen de bemesting en de droge stofopbrengst, maar wel met de kwaliteit van het kuilvoer. Bij een hoge OEB vonden we een zwakke benutting van stikstof. Bij tegelijk een hoger dan gemiddeld gehalte aan Boor en Molybdeen in het kuilvoer, vonden we een significant betere benutting. Dit geeft aan dat we door een bladbemesting met de ontbrekende sporenelementen waarschijnlijk een veel groter effect op de groei van het gras kunnen krijgen dan door een zware stikstofbemesting. Ook dat moet duidelijk worden in vervolgonderzoek.

We denken dat er een diepgaande transitie nodig is van de gangbare landbouwpraktijken naar een regeneratieve kringlooplandbouw. Dit is een landbouwsysteem, waarbij oplossingen gezocht worden door in te grijpen in de voedselkringloop op je bedrijf met veel aandacht voor de biologie. Dit wordt de uitdaging voor de eerstvolgende 10 jaar om die transitie mogelijk te maken door een goede samenwerking tussen boerenorganisaties, kennisdragers van kringlooplandbouw en de overheid. Er zijn nu al meer dan 100 boeren, die hierin slagen. Een grote groep boeren zal wel een andere manier van denken moeten ontwikkelen en dat vraagt tijd. De overheid kan de transitie bevorderen door meer ruimte te geven tot initiatief aan boeren die het al goed doen, zodat vele veehouderijen kunnen gaan werken zonder conflicten met de overheid en met respect voor het milieu.

Onderzoeksopzet

Het stikstofprobleem werd eigenlijk al in de jaren negentig van de vorige eeuw opgelost door Ir Jaap van Bruchem, onderzoeker aan de WUR op het proefbedrijf de Minderhoudhoeve.¹ Door een aangepast rantsoen wist hij een groot deel van de problemen in de melkveehouderij op te lossen. Het onderwerp van het onderzoek destijds was de lage eiwitbenutting en stikstofverlies door ammoniakemissie die weer tot milieubelasting leidde. In die tijd werd die kennis niet naar waarde geschat en de Minderhoudhoeve werd helaas gesloten. Sindsdien zijn er echter meerdere boeren bezig met het gedachtegoed van Jaap. Al meer dan 25 jaar passen leden van de Vereniging tot Behoud van Boer en Milieu (VBBM) de principes van de WUR onderzoeker toe op hun kringloopbedrijven. Door een evenwichtig rantsoen, dat de koeien goed kunnen verteren, krijgen we een drijfmest van hoge kwaliteit, die rijpt in de put en zo een goed verteerbaar voedsel voor het bodemleven wordt. Bij deze rijping blijven de eiwitten en aminozuren in de mest behouden. Daarentegen bij rotting worden ze omgezet in ammonium en waterstofsulfide en andere schadelijke verbindingen, die gemakkelijk vervluchtigen.

Om minder stikstofverlies te realiseren gebruiken veehouders advies en hulpmiddelen van allerlei toeleveringsbedrijven. Zo ontstond het idee om samen met de 10 toeleveringsbedrijven uit Nederland en Vlaanderen en twee onderzoekers met private middelen een onderzoek op te starten dat de stikstof in de hele kringloop bekijkt.

Deze opdracht werd toevertrouwd aan Peter Vanhoof van expertisebureau Organic Forest Polska en onafhankelijk Wagenings onderzoeker Anton Nigten. We zochten een antwoord op 2 vragen:

1. Welke factoren hebben invloed op de emissies van ammoniak rechtstreeks uit drijfmest? De bedoeling was om hiermee inzicht te krijgen in de effecten van verschillende bedrijfsmethoden en hoe bepaalde producten/behandelingen werken via het voer of direct in de drijfmestput.
2. Hoe werkt die onderzochte mest daarna door op de opbrengst en kwaliteit van de eerste snede op grasland? Sinds vele decennia is er een overtuiging onder veehouders dat ze de mest kwijt moeten geraken. Wij denken dat mest als een waardevol produkt moet worden gezien. Daarom was onze doelstelling na te gaan hoe de verschillende factoren van mestkwaliteit en het graslandbeheer de opbrengst en kwaliteit van de eerste snede bepalen.

¹ Zie uitgebreide documentaire over het werk van Ir. Jaap van Bruchem op <https://youtu.be/brx19spJXZM>

Fase 1: Emissies uit drijfmest

In de eerste fase onderzochten we in hoeverre de ammoniak (NH_3) emissie uit mest samenhangt met:

- De kwaliteit van het winterrantsoen,
- De melkwaarden (met name ureum)
- De overige stoffen die in de put komen naast mest en urine (spoelwater, medicijnen, ontsmettingsproducten, water, boxenstrooisel...)

Globale omstandigheden

Het najaar 2018 werd gekarakteriseerd door regen in oktober na een erg lange droogteperiode. Het gras begon op het eind van het seizoen nog erg snel te groeien, wat resulteerde in een hoog ruw eiwitgehalte maar met een lage eiwitkwaliteit (hoge OEB)². Vaak werd dit gras vrij nat ingekuild. Sommige bedrijven hebben dit onvoldoende in het rantsoen gecompenseerd, waardoor de emissies serieus toenamen. Bedrijven die wel voldoende energie hebben bijgevoerd, hebben die hoge emissies kunnen beperken.

De emissies zijn een gevolg van een hele reeks dynamische processen en daarom moeilijk te koppelen aan één enkel product of behandeling. Het blijft steeds een combinatie van factoren. We zien bij sommige bedrijven een goed resultaat met bepaalde producten of behandelingen, maar bij anderen is er geen meetbaar of zelfs een negatief effect door gebruik van dezelfde producten omdat ook andere factoren hun invloed lieten gelden.

Bemonstering

We hebben 171 monsters gemeten van 135 melkveebedrijven, een rosékalverenbedrijf, een zoogkoeienbedrijf, een vleesveebedrijf en 3 varkensbedrijven. Veruit de meeste bedrijven liggen verspreid over Nederland, maar er waren ook 2 bedrijven uit West Vlaanderen (B). De drijfmestmonsters werden genomen na mixen op de plaats waar de mest normaal uit de kelder wordt gepompt voor het uitrijden. Van sommige bedrijven werden 2 monsters onderzocht (een controlemeting en testmeting, dus metingen voor en na een behandeling).

Vanwege de privacy vermelden we in dit rapport geen namen van bedrijven, maar wel een bedrijfsnummer. De betrokken bedrijfsleiders kennen het nummer van hun eigen bedrijf en kunnen zo hun positie ten opzichte van de anderen terugvinden.



² De OEB is de Onbestendige Eiwit Balans. Hoe hoger de OEB, hoe lager de eiwitkwaliteit. Sinds onderzoek in de 19^e eeuw weten we dat na een lange droge periode de eerste regen heel veel ammoniak bevat. Dit komt dan in één keer op het gras en in de bodem, waardoor de graskwaliteit lager wordt. Het gras bevat dan veel ammonium en nitraat (dus een hoge OEB) in plaats van volwaardige eiwitten.

Onderzoeksmethoden

De **gangbare analyses** van de mest werden uitgevoerd door ALNN uit Ferwert (www.alnn.nl). De volgende waarden zijn onderzocht: droge stofgehalte (DS), organische stofgehalte (OS), asgehalte, totaal stikstof (N-tot), ammoniakale stikstof (NH_4^+ ; NH_3); organische stikstof (N-org), P, K, Mg, Na, S, zuurgraad (pH) en de verhouding tussen koolstof en stikstof (C:N).

De bioelektronische (BEV) metingen zijn uitgevoerd door expertisebureau Organic Forest Polska (www.organic-forest.eu). Van elk drijfmestmonster werden de **pH, de elektrische geleidbaarheid** (= EC, *Electrical Conductivity*), een maat voor de concentratie aan opgeloste zout-ionen die elektriciteit geleiden) en de **redoxpotentiaal** (Eh) bepaald in de onverdunde mest. We gebruikten daarvoor het meettoestel Consort 3050 met glazen elektroden voor pH en Eh, een kunststof elektrode voor de EC en een temperatuursensor.

Op basis van deze 3 meetwaarden en de temperatuur zijn vervolgens ook de rH₂ en P-waarde berekend. Omdat deze waarden minder gebruikelijk zijn volgt hier een korte toelichting:

De **rH₂** is een maat voor de **partiële druk van waterstof en zuurstof**. De meeteenheid gaat van 0 tot 42, waarbij 28 een neutrale waarde is. Er is bij 28 sprake van een balans tussen waterstof en zuurstof in zuiver water. Een hogere waarde geeft aan dat het milieu verzadigd is met zuurstof, een lagere waarde dat het verzadigd is met waterstof. Drijfmest heeft steeds relatief lage waarden, hetgeen duidt op weinig zuurstof en dus een anaeroob milieu.

De **P-waarde**³ is hoog bij een extreem hoog of extreem laag redoxpotentiaal en tegelijk een hoge geleidbaarheid door opgeloste ionen van mineralen. Voor drijfmest is de P-waarde dus hoog bij erg anaerobe mest, die rijk is aan oplosbare zouten en daardoor 'verbrandend' (vochtonttrekkend) werkt op de bodem of het gras. Als de mest verdund wordt met water, daalt de concentratie opgeloste zouten en stijgt de redoxpotentiaal, waardoor de P-waarde drastisch afneemt. De P-waarde is dus een maat voor de **agressiviteit van de drijfmest**.

De **Solvita test** voor organische meststoffen werd ook uitgevoerd door expertisebureau Organic Forest Polska, volgens het meetprotocol van Solvita⁴. We deden 100 gram mest in hermetisch afsluitbare plastic potjes, waarin twee kaartjes werden vastgezet: één met een NH₃-gevoelige gel, het tweede met een CO₂-gevoelige gel. Onder invloed van de concentratie van respectievelijk NH₃ en CO₂ veranderen de gels van kleur. Na 4 uur bij een temperatuur van 25°C werd de kleur ingelezen met een speciaal hiervoor ontwikkeld apparaat. Voor de emissie van ammoniak kregen we een resultaat in **gram NH₃ per ton per 4 uur bij 25°C**. Voor CO₂ was de meeteenheid in vol%.



Om de meetwaarden te kunnen beoordelen vroegen we aan de bedrijfsleiders een vragenlijst zo correct mogelijk in te vullen om de aard van het winterrantsoen in beeld te brengen.

³ De P-waarde is een vermogen berekend uit het redoxpotentiaal (= het potentiaalverschil, de drijvende kracht, tussen de aanwezige ionen die elektronen kunnen uitwisselen) en de elektrische weerstand (het omgekeerde van de EC). Deze waarde werd voor het eerst systematisch gebruikt door prof Louis Claude Vincent in 1935. De eenheid is in $\mu\text{W}/\text{cm}^3$

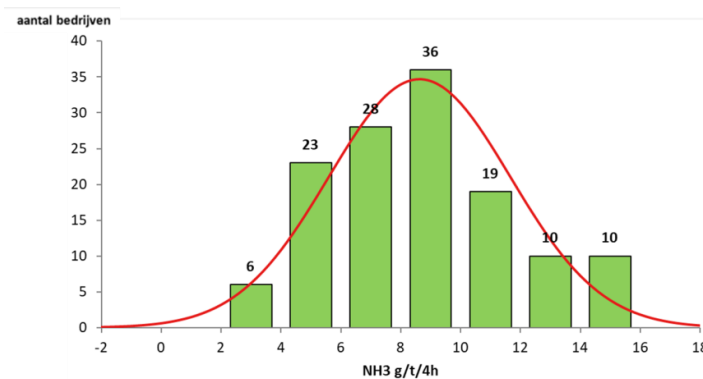
⁴ Zie www.solvita.com en een kort filmpje over de methode op https://www.youtube.com/watch?v=nD8O_TRN6bY

Onderzoeksresultaten en discussie

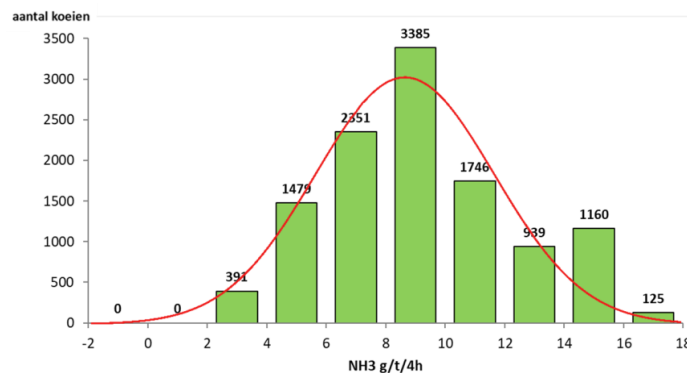
We onderscheiden een globaal overzicht van de resultaten over alle bedrijven heen en enkele aparte gevallen. We hebben een aantal monsters uit de berekeningen geschrapt omdat ze niet representatief bleken. We geven 3 voorbeelden van niet representatieve monsters: de mest werd net voor bemonsteren met 30% water verdund, de dunne fractie van de mest werd overgepompt in een andere put, het drogestofgehalte van de mest was lager dan 4% of hoger dan 14% (normaal is ca 7-11%).

Statistische normaalverdeling

De verdeling van de emissie van laag naar hoog was redelijk verdeeld met een maximum aantal bedrijven rond de gemiddelde emissie van 8,7 gram ammoniak, zodat wij voldoende representatieve bedrijven in ons onderzoek hadden.



Ook het aantal koeien was goed rond dat gemiddelde verdeeld, zodat we mogen stellen dat er niet persé een relatie is tussen groot of klein bedrijf om een hoge of juist lage emissie te hebben. Het verschil tussen de hoge en lage emissie is zodanig groot, dat er een aanmerkelijke ammoniak emissie reductie gehaald kan worden als bedrijven met een bovengemiddelde emissie de werkwijze van de bedrijven met de lage emissie overnemen.



Uit de beide figuren is wel te concluderen dat in ons onderzoek mogelijk een lichte oververtegenwoordiging is van boeren die het al iets beter dan gemiddeld doen. Het verbeterpotentieel landelijk zou daarmee iets groter kunnen zijn dan wat we uit dit onderzoek kunnen concluderen.

Resultaten van BEV metingen

Omdat het te onoverzichtelijk is om de alle BEV meetwaarden op een driedimensioneel diagram uit te zetten, gebruiken we 2 diagrammen: een met de pH, redoxpotentiaal en rH₂ en een tweede met redoxpotentiaal, elektrische geleidbaarheid en P-waarde

pH-rH₂ diagram

Op de horizontale as staat de zuurgraad (pH). Waarden onder de 6,7 zijn zuur en boven de 7,3 - basisch. Tussen 6,7 en 7,3 beschouwen we als neutraal. Ter vergelijking: de ammonia oplossing uit het keukenkastje heeft ongeveer een pH van 8. Dat is al flink basisch.

Op de verticale as staat de rH₂ waarde die de hoeveelheid beschikbare zuurstof in het systeem weergeeft. Bij het bekijken van het diagram geldt:

Waarden boven grofweg 14 op de verticale as zijn aeroob en waarden onder 14 zijn meer anaeroob. Dus hoe lager je in het diagram komt, des te minder zuurstof er in het systeem is.

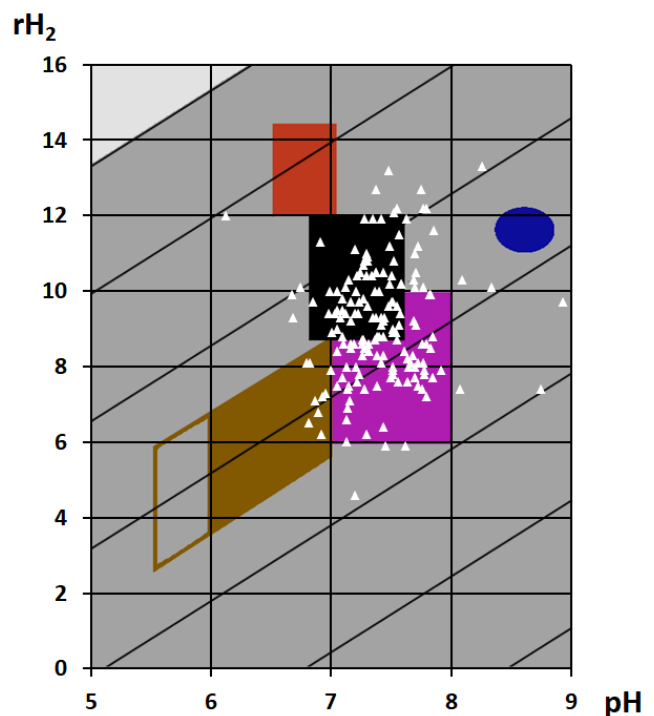
Hoe verder je naar rechts komt op de horizontale as, des te basischer is het systeem. In een basisch milieu is er meer NH₃ emissie dan in een zuur milieu, omdat in een zuur milieu de NH₃ wordt omgezet in ammonium (NH₄⁺), dat niet vervluchtigt.

Het bruinrode blok bovenaan is de normaalwaarde voor verse rectale koemest, dus mest zonder urine. Het zwarte blok is de normaalwaarde voor rundveedrijfmest, het paarse blok is de normaalwaarde voor varkensdrijfmest (of slechte kwaliteit rundveedrijfmest) en het bruine ruitvormige blok stelt de normaalwaarde van het (anaerobe) pensmilieu voor.

Het blauwe ovaal stelt de meetwaarde voor waarbij micro-organismen die ernstige klauwproblemen veroorzaken zich erg goed kunnen ontwikkelen.

We zien een flinke spreiding van de meetwaarden (de witte puntjes). Er zijn dus enorme verschillen in mestkwaliteit.

Een groot aantal metingen van rundveedrijfmest heeft waarden, die typisch zijn voor varkensdrijfmest (het paarse blok). Dit beoordelen we als een slechte kwaliteit rundveemest. Een mogelijke oorzaak hiervan is teveel niet in eiwit omgezette stikstof in het najaarsgras. Een deel van de metingen komt in de buurt van rectale mest en beoordelen we als erg goede drijfmest.



Eh- EC diagram

Op de horizontale as staat de redoxpotentiaal (Eh), op de verticale as de geleidbaarheid (EC). Hoe hoger de EC, des te meer opgeloste zouten (mineralen) er in de mest zitten. Deze zouten komen vooral via de urine in de drijfmest.

Het gele blok is de normaalwaarde voor verse melkkoeienurine, met een hoge EC omdat die veel opgeloste zouten bevat.

Het zwarte blok is de normaalwaarde voor rundveedrijfmest, en het roodbruine blok is de normaalwaarde voor verse rectale koemest die nauwelijks zouten bevat.

Het donkergrijze gebied midden en rechts is anaeroob (het systeem bevat weinig/geen zuurstof). Het lichtgrijze gebied links heeft een positief redoxpotentiaal, het is reactief en bevat zuurstof dus is aerob, maar in dat gebied vinden we nooit drijfmest.

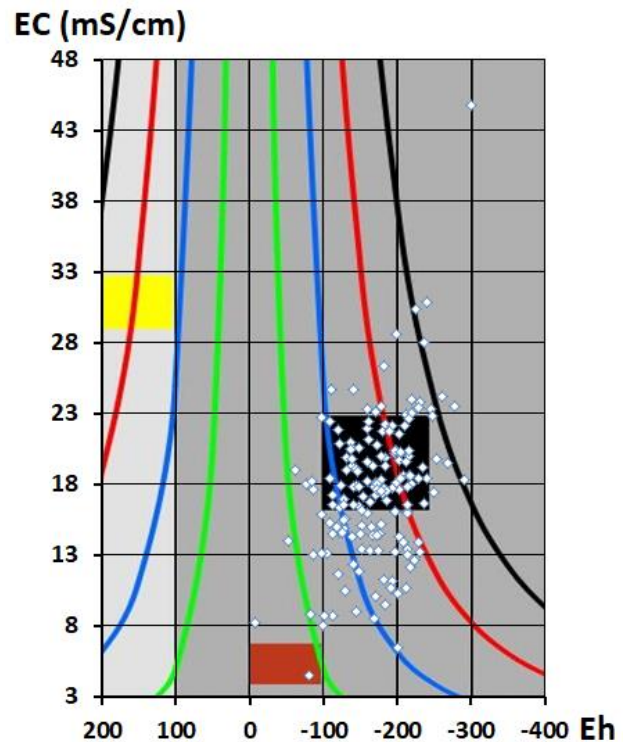
Naarmate de mest zwakker anaeroob is (minder zuurstofarm, minder laag redoxpotentiaal) en armer aan opgeloste minerale zouten (lage geleidbaarheid of EC) wordt hij chemisch minder reactief. Dergelijke mest werkt zacht en heeft een lage P-waarde, en meestal ook een lage ammoniakemissie. De gekleurde krommen geven de P-waarde aan.

Tussen de lichtgroene krommen heeft de mest minder dan 50 W/m^3 en is extreem zachtwerkend. Tussen de lichtgroene en de donkerblauwe kromme van 250 W/m^3 vinden we zachtwerkende mest. Deze mest geeft meestal een erg lage emissie van NH_3 .

Tussen de donkerblauwe en rode kromme vinden we normale drijfmest met gemiddelde waarden.

Tussen de rode en de zwarte kromme is de mest agressief en rechts van de zwarte kromme van 1500 W/m^3 extreem agressief. Er is dan een grote kans op verbranding van het gras, wortels en de bodem zelf. Dit blijkt tegelijk ook de meest emissierijke mest.

Het erg afwijkende meetpunt bovenaan rechts is van urine, die 2 maanden opgeslagen werd in een open emmer. Hieruit is duidelijk geworden dat de ureum uit de urine ook wordt afgebroken naar ammonium en ammoniak zonder dat er mest bij komt.



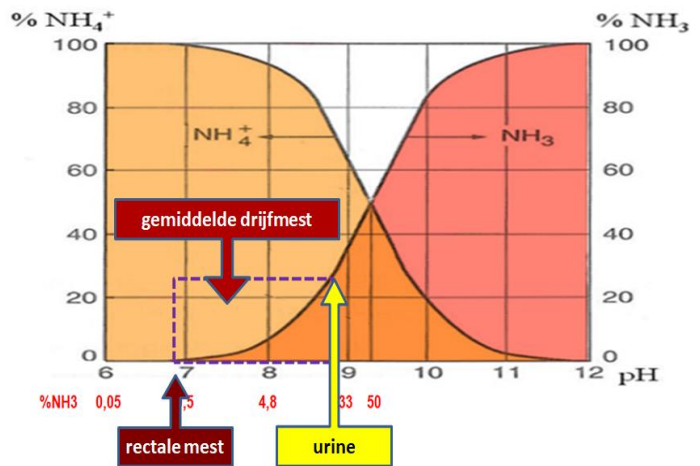
Op basis van de metingen van pH, redoxpotentiaal en EC en de berekening van de P-waarde kunnen we een vrij goede voorspelling maken van de emissie uit de mest. Deze eenvoudige metingen zouden dus gebruikt kunnen worden om de mestkwaliteit te controleren.

pH en emissies

De uitvinder van het Solvita systeem – Dr William Brinton – volgt het principe dat je de verhouding tussen de stikstof van in water opgelost ammonium (NH_4) en gasvormig ammoniak (NH_3) kan berekenen vanuit de pH. Bij een pH lager dan 7.0 is er zo goed als geen NH_3 -gas en blijft de anorganische stikstof in oplossing als NH_4 .

Naarmate de pH stijgt, neemt het aandeel NH_3 -gas toe en NH_4 af. In de metingen van drijfmest varieert de pH van iets minder dan 7 tot ongeveer 8,5 (aangeduid met paarse streepjeslijn op de onderstaande grafiek).

Hieruit kan geconcludeerd worden dat het wenselijk is de pH van de drijfmestput zo dicht mogelijk bij de 7 te houden. Een pH meting samen met de meting van ammoniakale-N uit de lab-analyse geeft dus een grove indicatie voor de mate van NH_3 emissie.

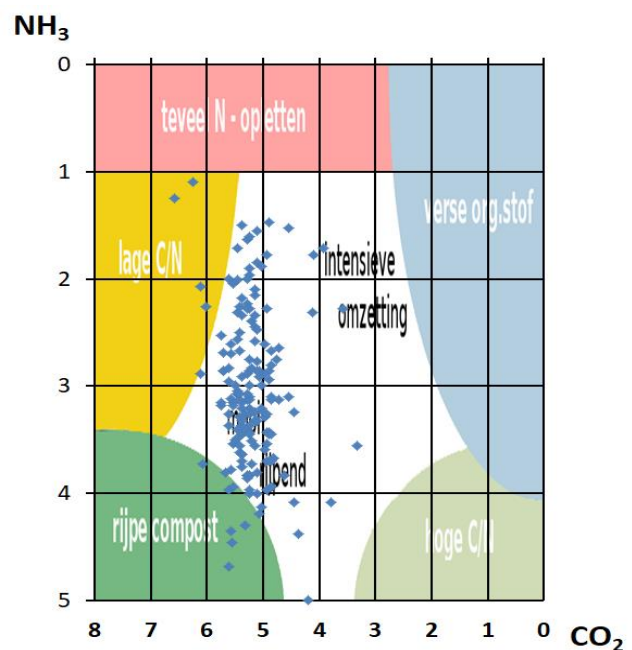


Resultaten van de emissiemetingen met het Solvita systeem

De Solvitametingen hebben we uitgezet op het diagram van Solvita waarmee de kwaliteit van compost en organische meststoffen wordt bepaald:

Op de horizontale as staat de kleurcode van Solvita in cijfers voor CO_2 . Op de verticale as staat de kleurcode voor NH_3 . **Een hoger cijfer geeft telkens een betere vertering aan, dus een lagere concentratie aan NH_3 en CO_2 .** Bij het verteringsproces wordt zuurstof verbruikt en ontstaat kooldioxide.

Ook hier zijn grote verschillen te zien. De groene zone onderaan links is typisch voor rijpe compost. Goed geroijpte drijfmest komt in dezelfde buurt. Emissierijke mest komt in de buurt van de gele zone met een lage C/N-verhouding⁵.



We zien dat er een grote spreiding is, dus er zijn flinke verschillen in mestkwaliteit.

⁵ De C/N verhouding is de verhouding tussen de hoeveelheid koolstof en stikstof. Koolstof is in staat de ammoniakale stikstof te binden. Een hoog aandeel koolstof geeft dus een lage emissie.

Resultaten van de analyses door ALNN:

Als we kijken naar de spreiding zijn ook hier weer enorme verschillen.

kg/ton mest	DS	Org.St.	NH ₄ -N	Org N	Ntot	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	S	C/N
Hoogste waarde	139	94,0	2,7	3,1	5,1	2,1	8,3	3,2	1,8	1,0	16,7
Gemiddelde	85	62,2	1,6	2,0	3,7	1,3	5,5	1,3	0,8	0,6	8,6
Laagste waarde	23	13,0	0,5	0,1	1,8	0,2	2,3	0,4	0,3	0,2	3,4

De overheid heeft bij wet bepaald dat alle drijfmest van melkvee per definitie 4 kg N stikstof per ton bevat, ongeacht wat er werkelijk in zit. Dat is voordelig voor wie meer dan 4 kg N in de mest heeft. Hoewel deze boer stikstof verliest (wat voor hem nadelig is), wordt hij door de overheid beloond voor zijn milieutechnisch ongunstige werkwijze. Wie het beter doet en minder stikstof in de mest heeft omdat zijn koeien het voer beter benutten, en dus het milieu niet belast, wordt door de rekenmethode van de overheid onterecht gestraft. Hij mag immers maar evenveel drijfmest op zijn land uitrijden als de collega met stikstofrijkere mest.

Als de wetgever beoogt het milieu minder te belasten, kan hij zich in de nabije toekomst beter baseren op de werkelijke hoeveelheid stikstof in de mest dan op een theoretisch gemiddelde van 4 kg/ton. De hele sector gaat dan moeite doen om zo efficiënt mogelijk om te gaan met stikstof uit mest. Deze aangepaste maatregel zou tegelijk ook een gunstig effect hebben op het bodemleven en de uitspoeling van nitraat in het grondwater verminderen.

Correlaties bij drijfmest van melkvee

Na statistische verwerking van de meetresultaten met het rekenprogramma Analyse-it kregen we onderstaand diagram (een PCA diagram), dat duidelijk de onderlinge correlaties toont.

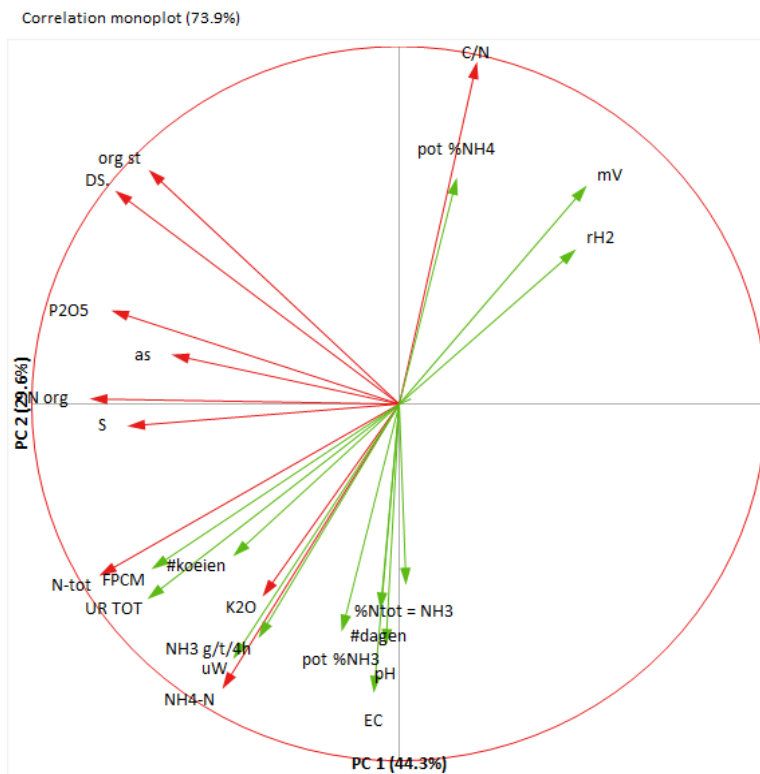
Bij het beoordelen worden de volgende vuistregels gebruikt:

Pijlen die vlak naast elkaar staan en in dezelfde richting wijzen, wijzen op een sterke positieve correlatie: bijvoorbeeld: een hoog gehalte ammonium in de mest correleert sterk met een hoge ammoniakemissie.

Bij pijlen in dezelfde richting vlak naast elkaar waarvan er één korter is dan de ander, is ook sprake van een sterke correlatie maar die in minder gevallen voorkwam. Kali correleert dus even sterk als ammonium met de ammoniakemissie, maar in veel minder gevallen.

Pijlen die recht tegenover elkaar staan en in tegengestelde richting wijzen, geven een sterke negatieve (omgekeerde) correlatie aan. Bijvoorbeeld: hoe hoger de C/N verhouding, des te lager de ammoniakemissie;

Als de pijlen in een rechte hoek op elkaar staan is er geen negatieve en geen positieve correlatie, dus geen verband tussen beiden. Bijvoorbeeld: het droge stofgehalte van de mest zegt niets over de ammoniakemissie.



Betekenis van afkortingen	
DS	Droge stof
Org st	Organische stof
P205	Fosfor
K20	Kali
S	Zwavel
N.org	Organische N
N-tot	Totale N
NH4-N	Ammoniakale N
As	Asrest
C/N	C/N verhouding
FPCM	Meetmelk
UR TOT	Ureum per dag in melk
NH ₃ g/t/4h	NH ₃ emissie
pH	pH
EC	Elektrische geleidbaarheid
mV	Redoxpotentiaal
rH2	Partiele zuurstofdruk
uW	P waarde in watt/m ³
#koeien	Aantal koeien op bedrijf
#dagen	Aantal dagen in de put
pot%NH ₃	Potentieel %NH ₃ uit NH ₄
pot%NH ₄	Potentieel %NH ₄ blijft NH ₄
%N-tot = NH ₃	Aandeel van totale stikstof dat emitteert als NH ₃ in een tijd van 4 uur bij 25°C

Uit dit PCA-diagram blijken volgende correlaties:

Bij een hoge ammoniakemissie (NH₃ gram/ton/4u) bevat de drijfmest veel ammoniakale stikstof (NH₄-N) en kalium (uit de urine). Het is makkelijk te begrijpen dat er meer ammoniakgas kan vrijkomen als er meer ammoniakale stikstof in de mest zit. De mest werkt dan ook agressief (hoge P-waarde in μ W). Agressieve mest bevat extreem weinig zuurstof en erg veel minerale zouten. Verder krijgen we meer emissie bij een hoge pH en hoge EC, dus bij een basische mest, die veel opgeloste minerale zouten bevat. Dergelijke waarden zijn typisch voor rottende mest.

Koolstofrijke en stikstofarme drijfmest (hoge C/N verhouding) is meestal neutraal tot zwak alkalisch en arm aan minerale zouten. Dit geeft aan dat er een fermentatie in de put bezig is in plaats van een rotting.

Er is meer NH₃-emissie bij zuurstofarme mest. Dit is een gegeven om ter harte te nemen bij de schijnoplossing van een dichte “emissie-arme” vloer op de mestput. In dit soort mestputten ontstaan in het anaerobe milieu door rotting meer dan gemiddelde hoeveelheden ammoniak met als gevolg dat tijdens het uitrijden van deze drijfmest een hogere milieubelasting ontstaat.

De droge stof, organische stof en fosfaat in de mest lijken geen verband te hebben met de emissies.

Met het toenemend aantal dagen dat de mest in de put zat, stijgt de pH en EC en neemt de C/N verhouding af. Met een toenemend aantal koeien per bedrijf neemt de melkproductie in liters meetmelk (FPCM Fat and Protein Corrected Milk) toe. Tegen de verwachting in vonden we geen sterke correlatie tussen het gemiddeld ureumgehalte per liter tankmelk en de emissies bij vergelijking van bedrijven onderling. Om de reden daarvan te achterhalen bekeken we hoe de eiwitbenutting in de koe gebeurt.

Eiwitbenutting in de koe

Bij deze hele discussie omtrent emissies uit mest moet het principiële vertrekpunt zijn dat de bron aangepakt wordt: dus het vermijden van de vorming van teveel ureum en daarmee ook teveel ammoniak.

Dit doet de boer door ervoor te zorgen dat de koe enerzijds niet te veel stikstof en zwavel binnenkrijgt in de vorm van laagwaardig eiwit, maar anderzijds ook niet teveel volwaardig eiwit krijgt in verhouding tot de hoeveelheid energie (koolstofrijk materiaal). Ureum en nitraat in de melk, en methaan, ammoniak en waterstofsulfide uit de bek, evenals te veel stikstof en zwavel in de urine wijzen allemaal op hetzij een te eiwitrijk rantsoen met te weinig energie, of op een rantsoen met een te hoog gehalte stikstof en zwavel die geen eiwitten zijn. Vaak zijn er dan tegelijkertijd ook te weinig sporenelementen in een goed benutbare vorm.

Alle belangrijke organen raken dan overbelast: de pens, de darmen, de lever en de nieren. De pens probeert de schadelijke stoffen via de bek af te voeren; de lever probeert met name het te veel aan ammonium om te zetten in ureum en dan voert het lichaam dit af via de nieren en naar de melk of elders in het lichaam. Als er te veel nitraat in de pens is, probeert het lichaam dit te binden aan natrium, calcium of magnesium om het nitraat onschadelijk te maken en af te voeren via de nieren. Het moet ons dan ook niet verbazen dat veel koeien niet oud worden. Hun organen zijn al te vaak overbelast.

Er komen weinig koeien in het slachthuis waarvan de lever niet is beschadigd of vervet. En de nieren? Als er nierstenen ontstaan, zijn de nieren slechter in staat om de schadelijke stoffen goed af te voeren. Om 'stenen' te voorkomen (nierstenen; galstenen en blaasstenen) moet het dier voldoende magnesium en citraat binnenkrijgen. Hoge gehalten aan kalium, en aan ammonium belemmeren echter de opname van magnesium, en een hoge zoutinname versnelt de afvoer van magnesium. Dat magnesiumtekort, gecombineerd met tekorten aan sporenelementen, kan er toe leiden dat er klauwproblemen ontstaan.

Bij een hoge melkproductie wordt onbenut eiwit als ureum afgevoerd in een groter aantal liters dan bij een laagproductieve koe. Een koe die 20 liter melk geeft met een ureumgehalte van 20 mg/100ml voert per dag 4000 mg ureum af. Maar een hoogproductieve koe, die 40 liter per dag geeft met hetzelfde melkureum, voert 8000 mg ureum per dag af. De belasting van het lichaam van de koe wordt dus veel beter in kaart gebracht door de liters melk te vermenigvuldigen met het ureumgehalte per liter. Zo krijgen we een hoeveelheid uitgescheiden **ureum per koe per dag** via de melk. We vonden een sterke correlatie tussen dit **dagureum per koe** en de emissies bij vergelijking van bedrijven onderling.

Op je eigen bedrijf is het ureumgehalte in de tankmelk wel degelijk de parameter waarop gestuurd kan worden, omdat je melkproductie in liters constant is. Bij de hoogproductieve koeien (in een vroeg lactatiestadium), wil je dan eigenlijk liefst een lager melkureumgehalte dan bij minder productieve koeien (op het einde van de lactatie).

Emissies en eiwitbenutting in de koe

Bij een slechte eiwitbenutting wordt de urine rijker aan ureum en daardoor de drijfmest ook. Dus als de drijfmest ook een meer dan gemiddelde concentratie aan ammoniakale stikstof heeft, is dat nog eens een bevestiging van een slechte benutting in het dier en rottingsprocessen in de mestput. De ammoniakale stikstof in de mest had eigenlijk melkeiwit moeten zijn, maar is het niet geworden.

Op basis van deze twee eenvoudige criteria hebben we een selectie gemaakt van bedrijven waar de koeien het eiwit in het voer beter en waar ze het minder goed hebben verteerd.

Vertering in de koe en mestkwaliteit		Niet optimaal verteerd >21 mg melkureum >1,7 kg NH ₄ -N/ton	Optimaal verteerd <21 mg melkureum <1,7 kg NH ₄ -N/ton	Verskil in % t.o.v. niet optimaal verteerd
Algemeen	Aantal bedrijven	34	33	
	Aantal koeien	3311	2515	-24%
	Aantal koeien / bedrijf	97	79	-19%
Melkwaarden	Ureum per 100 ml	24,2	18,5	-24%
	Meetmelk/dag in de winterperiode	27,2	24,6	-10%
Mestanalyse	C/N	7,4	8,7	+18%
	kg Ntot /ton mest	4,0	3,2	-20%
	kg Norg / ton mest	2,1	1,8	-14%
	Norg als % van Ntot	52,5%	56,2%	+7%
	kg NH ₄ -N per ton	1,97	1,33	-32%
	g NH ₃ -N per ton (potentiële emissie)	32,6	20,4	-37%
	g NH ₄ -N per ton (potentiële uitspoeling)	1938	1319	-32%
Solvitaming	Gemiddelde emissie g NH₃-N/ton/4u	10,5	7,3	-30%
BEV metingen	pH	7,46	7,37	-1%
	EC (hoe rijk aan minerale zouten?)	19,3	17,0	-12%
	rH ₂ (hoeveel zuurstofdruk?)	8,5	9,4	+11%
	P-waarde (hoe agressief?)	748	457	-39%

Het is de kunst om de hoeveelheid onverteerd eiwit en ammonium in de mest maximaal te beperken en het beetje onverteerd eiwit door de juiste micro-organismen te laten omzetten in microbiëel eiwit (organische stikstof). Daarnaast is het belangrijk er voor te zorgen dat het aanwezige ammonium niet wordt omgezet in ammoniakgas. Dat kan als er in de pens voldoende energie tegenover het eiwit staat. In het totale rantsoen willen we de onbestendige eiwitbalans (OEB) daarom licht positief tussen 8 en 12 g/kg DS hebben. Dit geeft een goede balans tussen eiwit en energie. Verder moeten we ook nog een goede balans hebben tussen snelle en langzame energie.

Een specifiek gegeven voor het najaar 2018 is dat het gras vooraf al veel stikstofverbindingen bevatte die geen eiwitten zijn⁶. Dan spreken we van een slechte kwaliteit gras en dat herkennen we in de voeranalyse aan een hoge OEB waarde en een hoog nitraatgehalte. Roest op het gras in het najaar wijst ook daarop.

⁶ zoals: ammonium, nitraat, cyanide, stikstofmonoxide, nitrosaminen, aminozuren of peptiden

Dit gras zorgt al in de pens voor problemen. De bacteriën kunnen de stikstofverbindingen ook op hun beurt onvoldoende omzetten in bacteriëel eiwit, bijvoorbeeld omdat de enzymen met de bijbehorende sporenelementen daarvoor ontbreken. Enzymen bevatten altijd sporenelementen, maar ammoniak belemmert de opname van sporenelementen. Als het gras bemest is met ammonium arme mest dan zien we dat het meer echt eiwit bevat. We moeten er door een verstandige stikstofbemesting ook naar streven dat het gras geen nitraat (0,0 mg/kg) bevat en een voldoende hoeveelheid sporenelementen opneemt.

Afbraak van onverteerde koolhydraten (cellulose, zetmeel) in een anaeroob milieu levert methaan op. Als er veel methaan en veel ammoniak vrijkomt tijdens de vertering in de pens, dan ademt de koe dat uit. Onderzoek heeft aangetoond dat koeien die zeewier⁷ en/of tanninehoudende kruiden⁸ opnemen duidelijk minder methaan uitstoten. De uitstoot van methaan gaat vaak gepaard met die van ammoniak en die van waterstofsulfide. Allemaal via de bek. Als de koe veel waterstofsulfide uitstoot, kan zij hersenbeschadigingen⁹ oplopen. De ammoniak zelf kan schade aan de longen en de slokdarm veroorzaken.

Drijfmest van koeien die het rantsoen voldoende fijn verteerd hebben blijft uit zichzelf homogeen en heeft een beperkte emissie. Drijfmest van koeien met een minder goede vertering herken je aan laagvorming. Alles wat de mest afsluit van de lucht creëert anaerobe omstandigheden. Dit kan gebeuren door een of meerdere van onderstaande factoren:

- een drijfslag van onverteerde ruwvezel of door teveel strooisel vanuit de boxen
- een schuimlaag door teveel onverteerd zetmeel,
- een CO₂- of een methaanlaag bovenop de mest, die niet weg kan door onvoldoende ventilatie of door een emissie-arme vloer.

De eerste 2 factoren kan de veehouder verbeteren door een aangepast rantsoen, dat goed verteert in het dier.

De derde factor wordt in principe door de wetgever opgelegd in een poging om emissies te beperken... Je krijgt dus **super emissierijke mest onder een emissiearme vloer**. Het ironische aan de hele zaak is dat je dan eigenlijk een open methaanvergister onder je stal krijgt. Dit is een levensgevaarlijk en dus onverantwoord systeem. In het beste geval verliest de veehouder enkel kostbare koolstof.

Om de koe maximaal en gezond te laten presteren is de totale balans van het rantsoen cruciaal. Net zoals in de bodem, is de balans in de pens tussen stikstof, koolstof, mineralen en sporenelementen van het grootste belang om een optimale pensfermentatie te krijgen. Bij een optimale balans heeft de mest een veel betere kwaliteit en zijn er veel minder emissies.

⁷ <https://www.boerderij.nl/Rundveehouderij/Nieuws/2019/8/Bromine-uit-zeewier-krachtige-methaanremmer-463900E/>

⁸ https://www.inagro.be/DNN_DropZone/Publicaties/283/teeltfiches_kruiden_grasland.pdf

⁹ poly-encefalomalacia

Gescheiden opvang van mest en urine

Bij bedrijf M029 hebben we mest, urine en drijfmest apart bemonsterd. De mest en urine hebben we 2 maanden in open emmers bewaard en dan gemeten. De drijfmest werd onmiddellijk gemeten en had een beperkte emissie, door een handig rantsoen. Onze metingen toonden aan dat de ammoniak vooral ontstaat door afbraak van ureum in de urine, ook als er geen mest in de urine komt. Ureum wordt omgezet in ammoniak en koolzuurgas.

De rectale mest bevat vooral de droge stof, organische stof, organische stikstof, fosfaat en magnesium. Tijdens de opslag is de rectale mest iets zuurder geworden en ook de concentratie aan oplosbare minerale zouten is beperkt gestegen in een zwak anaeroob milieu. De wijziging van meetwaarden is typisch voor een fermentatieproces. **Er was geen enkele NH₃ emissie uit de rectale mest zonder urine.**

Uit de urine kregen we een gigantische emissie, ver boven de waarden die het Solvita systeem kan meten. De pH steeg tot 8,75 en de EC tot 44,8 mS/cm. Door het uiteenvallen van verschillende stoffen steeg dus de concentratie aan reactieve zouten. Uit de chemische analyse bleek dat de urine vooral K, Na en ammoniakale stikstof bevat. Dit houdt ook in dat het apart opvangen van urine een mogelijkheid geeft om een overmaat aan kali van een melkveebedrijf af te voeren naar een akkerbouwer.

in kg/ton	Rectale mest	Urine	Drijfmest
Organische stof	94	12	75
Totale stikstof	3,9	6,4	4,6
Organische stikstof	3,9	1,4	2,3
Ammoniakale stikstof	0,0	5,0	2,3
P ₂ O ₅	1,9	0,01	1,4
K ₂ O	1,9	13,1	4,6
MgO	1,2	0,4	1,4
Na ₂ O	0,4	2,2	0,8
C/N verhouding	12,2	0,8	8,2

Ammoniak ontstaat dus vooral in de urine door het uiteenvallen van ureum in water. Het enzym urease kan deze chemische reactie versnellen. Elke kg ureum die volledig uiteenvalt in water, geeft 501 g ammoniak (NH₃), wat overeenkomt met 413 g ammoniakale stikstof en 649 g CO₂. Het CO₂ wat we meten tijdens de Solvita test komt dus minstens voor een deel van het afgebroken ureum. Veel CO₂ betekent dus niet noodzakelijk dat er aerobe processen in de mest bezig zijn, zeker niet als er een flinke emissie van NH₃ bij waargenomen wordt.

In tegenstelling tot wat algemeen aanvaard wordt, vind deze ontbinding ook plaats zonder dat de urine in contact komt met mest. Iedereen die ooit een slecht onderhouden urinoir heeft bezocht zal het met ons eens zijn, het kan er flink stinken. Bij een gescheiden opvang van urine, zal dus die urine zeker een behandeling moeten krijgen om het ontstaan van NH₃ te voorkomen.

Ureaseremmers zijn daartoe geen optie, omdat die ook in het gewas verhinderen dat ureum wordt afgebroken. Het resultaat is dan een hoog ruw eiwitgehalte en een hoge OEB, een hoge ammoniakfractie en/of teveel nitraat, dus een slechte kwaliteit eiwit.

Om de emissies uit urine te beperken zijn volgende opties het onderzoeken waard: het gebruik van huminezuren, het verzuren van de urine door melkzuurbacteriën met toevoeging van suiker. Toekomstig onderzoek onder praktijkomstandigheden zal moeten aantonen welke methode praktisch het best toepasbaar en meest effectief is. Er is ook meer onderzoek nodig naar een praktische manier om mest en urine gescheiden op te vangen (fijn geperforeerde vloer en mestschuif, koeientoilet,...). Mechanisch mest scheiden is op langere termijn geen goede optie, want dat kan alleen als het rantsoen slecht verteerd is. Het levert wel een goede kwaliteit vaste mest op.

Bedrijf M013 vangt een deel van de urine apart op. Het is een intensief bedrijf met een hoge productie en hoog dag-ureum per koe, dus je zou een emissierijke drijfmest verwachten. Toch is de mest emissiearm, waarschijnlijk door het lagere percentage urine. De urine van dit bedrijf hebben we niet apart gemeten. De verwachting is wel dat daar een forse emissie uit komt.

Omdat in de urine naast de ammoniakale stikstof vooral kalium en natrium zit, zou die aan een akkerbouwer geleverd kunnen worden ter vervanging van kunstmest, op voorwaarde dat de emissie beperkt kan worden. Het grote voordeel voor de veehouders is dat ze zo een deel van de overmaat aan kali kunnen afvoeren. De dikke fractie van de mest kan zonder problemen bovengronds bemest worden en is emissieloos, omdat ze vooral organisch gebonden stikstof bevat. Het is dan wel belangrijk dat de dikke fractie tijdens de opslag voldoende zuurstofrijk blijft en gaat rijpen. Bij onvoldoende zuurstof ontstaan rottingsprocessen waarbij veel giftige verbindingen en uiteindelijk ook ammoniak ontstaan.

Fase 2: Mestkwaliteit in relatie tot de opbrengst en kwaliteit van kuilvoer van de eerste snede

In een tweede fase van dit kringlooponderzoek, keken we hoe het graslandbeheer en de bemesting met drijfmest en kunstmest een invloed hebben op de opbrengst en kwaliteit van de eerste snede. We onderzochten de invloeden van:

- De hoeveelheid gebruikte drijfmest (hoeveel m³ per ha)
- De kwaliteit van de drijfmest (emissie-arm of rijk, gehalte aan nutriënten)
- De manier van toepassen (bovengronds, sleepslang¹⁰ of zodebemester)
- De datum van eerste bemesting
- Eventuele andere meststoffen (kunstmest, andere organische bemesting)
- De overige stoffen die in de put komen naast mest en urine (spoelwater, medicijnen, ontsmettingsproducten, water, boxenstrooisel...)

Onderzoeksmethoden

We vroegen aan de deelnemende bedrijven om een enquête in te vullen, die duidelijk maakt hoe het grasland beheerd werd in het voorjaar 2019.

- Op welke datum hoeveel drijfmest gegeven werd en op welke manier
- Op welke datum nog iets anders werd bemest, wat en hoeveel
- Op welke datum de eerste snede gemaaid werd
- Een voeranalyse van de eerste snede en het aantal ha waarvan de eerste snede werd geoogst of de op een andere manier vastgestelde droge stofopbrengst

Op basis van die gegevens en geïnspireerd door een publicatie van de WUR¹¹ hebben we op dezelfde manier berekend hoeveel nutriënten

- aangevoerd werden door de bemesting (dosering per ha x gegevens van drijfmestanalyse)
- afgevoerd werden met de eerste snede (DS-opbrengst x gegevens van voeranalyse)

Zo berekenden we hoeveel % van de bemeste nutriënten we in de eerste snede terugvonden.

We kregen ingevulde vragenlijsten en kuilanalyses terug van 82 bedrijven. Veruit de meeste analyses werden gemaakt door Eurofins, enkele door ALNN. We konden helaas maar **gegevens gebruiken van 67 bedrijven**, omdat sommige bedrijven onvolledige informatie doorgaven. Onder de bruikbare gegevens waren wel de voor het onderzoek interessante bedrijven met de hoogste en laagste ammoniak emissie.

¹⁰ In het verdere verloop van dit rapport bedoelen we met “sleepslang” het sleufkoutersysteem. Alleen op veen werd een sleepvoet gebruikt.

¹¹ van Schouten, Honkoop en van Houwelingen, Stikstofwerking van enkele kunstmeststoffen op grasland op veengrond, WUR, 2017

Onderzoeksresultaten en discussie

Door de enorme spreiding van meetwaarden en omstandigheden is het vrij complex om een eenvoudige conclusie te trekken. We zullen ons daarom beperken tot het aangeven van een aantal trends, die steeds ontstaan door een combinatie van factoren. Dit geheel van omstandigheden resulteert uiteindelijk in een bepaalde opbrengst en kwaliteit van het geoogste gras. We meten dus het eindresultaat en gaan terugkijken welke factoren daartoe geleid hebben.

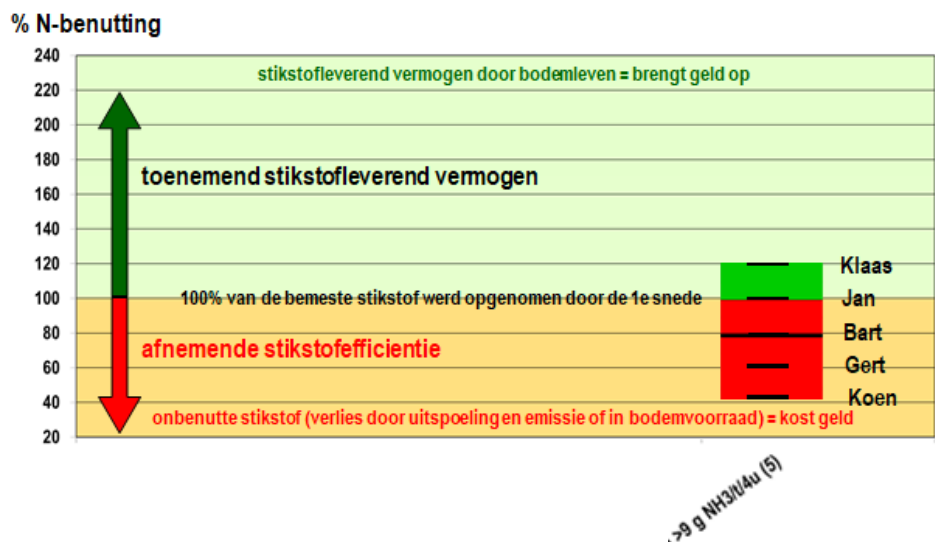
Benutting van stikstof

Om die reden en gezien de huidige zorgen in Nederland om ammoniakemissie hebben we ons in eerste instantie beperkt tot de stikstofproblematiek. We hebben selecties gemaakt van groepen bedrijven. De berekende benutting in % heeft veel te maken met het stikstofleverend vermogen van het bodemleven. Bij een benutting van 100% hebben we met de eerste snede evenveel stikstof geoogst als bemest werd. We spreken dan van een stikstofleverend vermogen door het bodemleven van 0%.

Bij een benutting van meer dan 100% (lichtgroene achtergrond en donkergroene staaf op het staafdiagram) vinden we meer stikstof in de eerste snede terug dan wat bemest werd. We hebben dan een positief **stikstofleverend vermogen**, dat vooral te verklaren is door een voldoende intensief bodemleven (stikstofbinding door vlinderbloemigen en vrijlevende stikstofbinders als Azotobacter, vrijkomende stikstof uit het bodemvoedselweb en mineralisatie van organische stof).

Bij een benutting van minder dan 100% (oranje achtergrond en rode staven in het staafdiagram) werd **een deel van de bemeste stikstof niet opgenomen** door het grasland tot op de dag van het maaien van de eerste snede. We kiezen er bewust voor dit geen verlies te noemen. Vervolgonderzoek moet duidelijk maken waar die stikstof gebleven is: vastgelegd in de bodem onder organische vorm, uitgespoeld in het grondwater als nitraat, door emissies in de atmosfeer als ammoniak, lachgas, nitriet of door denitrificatie als N_2 . Hoe dan ook, we hebben in ons onderzoek vastgesteld dat er enorme verschillen zijn tussen de bedrijven onderling en dat dit een concrete winst of verliespost is voor de betrokken bedrijven.

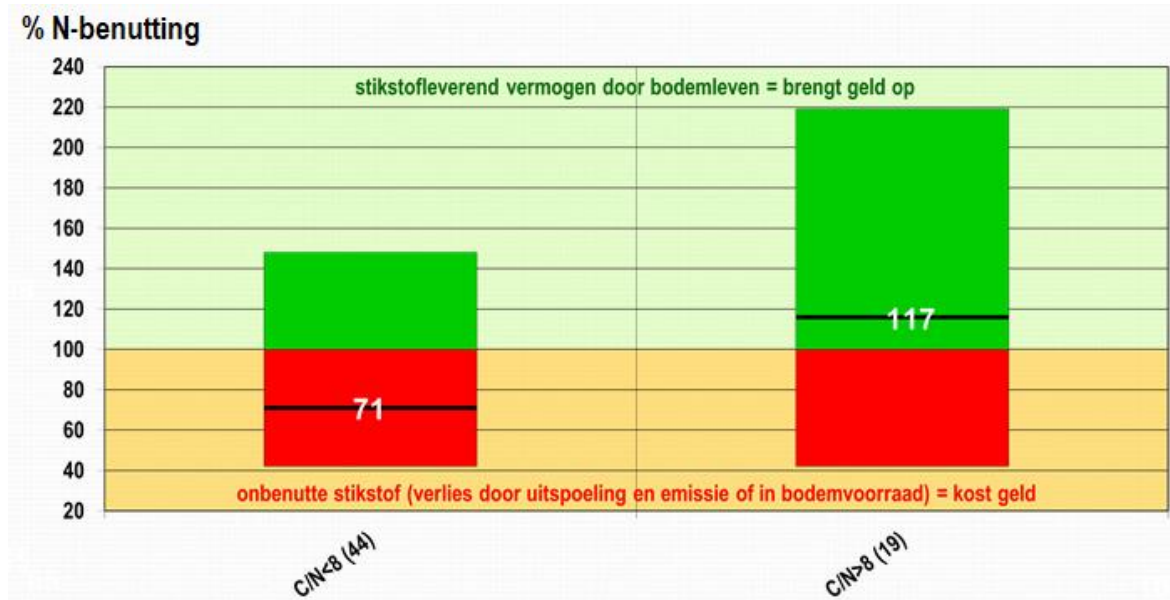
Het groene en rode deel van het staafdiagram geeft de spreiding van de berekende waarden aan. Het zwarte streepje – het rekenkundig gemiddelde van de selectie. Het getal tussen haakjes achter de benaming van de serie geeft aan hoeveel bedrijven in die groep zitten.



In elke selectie op basis van gemeten waarden zijn er steeds bedrijven die het beter en die het minder goed doen dan het gemiddelde.

De C/N verhouding

Net zoals dieren een correct stikstofgehalte in de vorm van eiwit in het voer nodig hebben, heeft ook het bodemleven een correct stikstofgehalte in de organische stof nodig. We drukken dit uit in de C/N verhouding. In een normale bodem is de C/N verhouding ongeveer 10, dus er is dan 10 keer zoveel koolstof als stikstof.



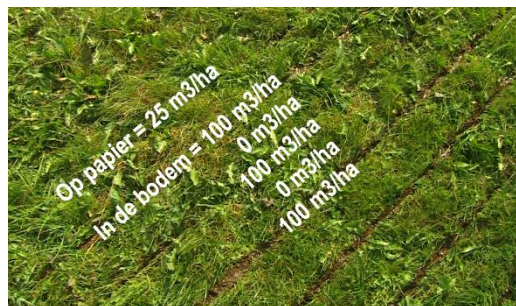
Als we een bemesting geven met een lagere C/N verhouding (bij voorbeeld C/N=6) geven we iets wat duidelijk stikstofrijker en koolstofarmer is dan de bodem. Dat kan stikstofrijke mest zijn of stikstofarme mest samen met extra stikstof uit kunstmest. Het bodemleven zal dan niet nog meer stikstof gaan leveren, omdat er naar verhouding al teveel is. Daarom zal een bemesting met stikstofrijk materiaal het stikstofleverend vermogen van het bodemleven verminderen en een versterkte afbraak van de organische stof veroorzaken, waardoor de bodemkwaliteit meestal afneemt.

Maar als we een bemesting geven die ongeveer even veel of meer koolstof bevat dan de bodem (C/N groter dan 8), dan stimuleren we het stikstofleverend vermogen van de bodem juist wel. Die relatief stikstofarme en koolstofrijke mest komt van dieren met een optimaal verteerd rantsoen. Daarmee neemt ook de stikstofbenutting toe en de verliezen door emissie in de atmosfeer of uitspoeling naar de ondergrond nemen af.

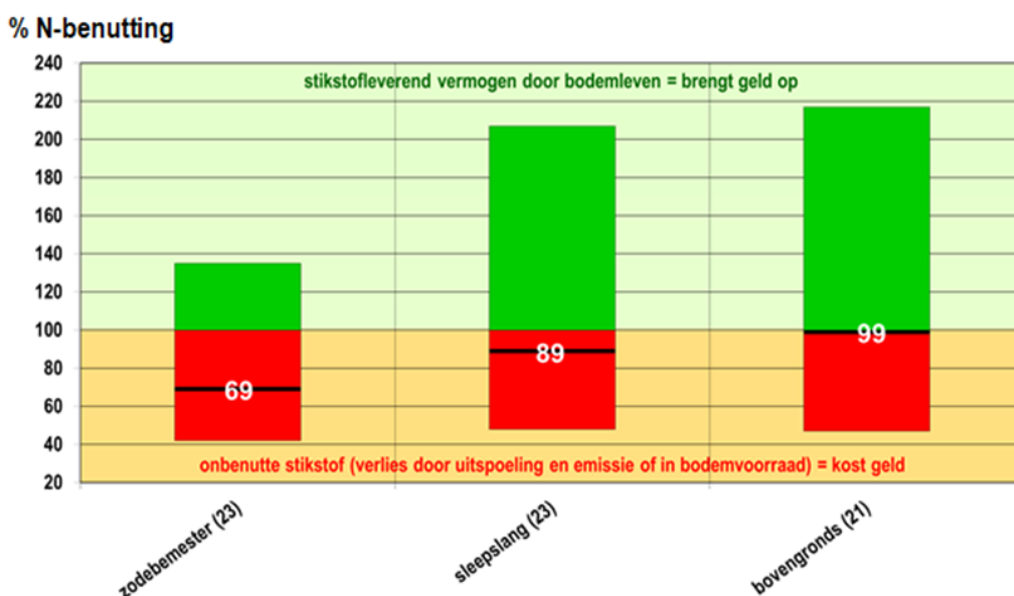
Het tijdstip van uitrijden heeft invloed. Naarmate de bodemtemperatuur toeneemt, is het bodemleven actiever, neemt het gras ook meer op en nemen de mogelijke verliezen af.

Het lijkt niet gunstig om in het vroege voorjaar te bemesten met een C/N verhouding lager dan 8. Toch zijn er ook boeren die erin slagen om een beperkt stikstofleverend vermogen te realiseren bij bemesting in februari. Dit heeft te maken met andere factoren zoals de manier van uitrijden en de datum van maaien van de eerste snede. Bovendien gaat het niet zo zeer om de datum van bemesten maar om de bodemtemperatuur. Lokaal kan het in februari wat warmer geweest zijn dan verwacht.

Bij bemesting met de zodebemester en sleufkouter blijft een aanmerkelijk deel van de stikstof onbenut. Anders gesteld: het stikstofleverend vermogen van het bodemleven is serieus afgenomen. Naarmate de mest homogener verdeeld wordt over het land, neemt de stikstofbenutting toe.



Het past niet in een goede landbouwpraktijk om de mest op een smalle strook te willen injecteren in de bodem met zware machines (zie bovenstaande afbeeldingen). Door de plaatselijke zware overdosering, is het klei-humuscomplex van de bodem nooit in staat om de bemeste zouten vast te houden. Met name op humusarme zandbodems is bekend dat nutriënten makkelijk uitspoelen naar het grondwater. Verliezen naar de ondergrond zijn met injectie dan ook tegelijk onvermijdelijk en onaanvaardbaar. Bij bovengronds bemesten komt op elke spreekwoordelijke cm^2 van het bodemoppervlak een druppel mest, die de bodem makkelijker kan vasthouden. In onderstaande figuur is de effectiviteit van de manier van mest uitrijden in beeld gebracht.

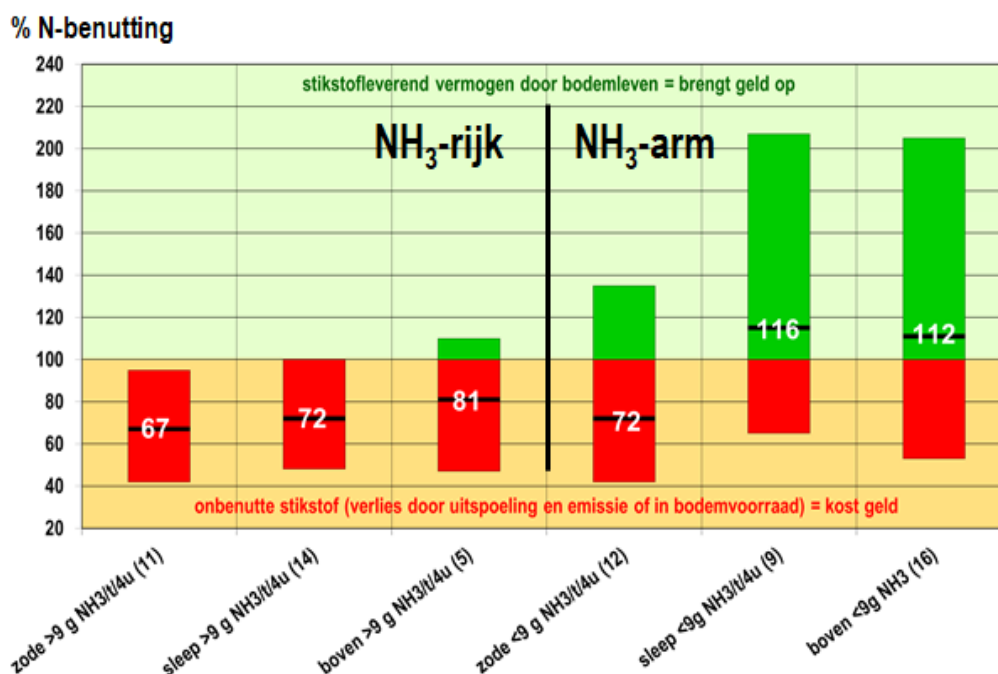


Naast de invloed van de C/N verhouding en het tijdstip van bemesten (bodemtemperatuur) zijn er nog vele factoren die volgens ons onderzoek de benutting van de mest verbeteren:

- de manier van uitrijden (beter bij bovengronds bemesten)
- de dosering mest per keer (betere benutting bij een beperkte dosering mest)
- de verdeling van de mest op het perceel (beter bij homogene bovengrondse verdeling)
- het tijdstip van maaien (betere benutting bij later maaien)
- het bodemtype (betere benutting bij zwaardere kleibodems dan bij lichte zandgronden)
- de kwaliteit van de mest (beter bij goed verteerd rantsoen, met minder ammoniakale stikstof)

De uiteindelijke benutting blijkt dus het resultaat van een combinatie van factoren. **Hoe meer positieve factoren samen komen, hoe beter de benutting.** Sommige invloeden neutraliseren elkaars effect. Zo gaat de goede invloed van een beperkte dosering teniet door teveel stikstof. Een stikstofkunstmest verlaagt de C/N verhouding erg snel (kunstmest heeft een C/N kleiner dan 0,5). Onderzoek door Pijlman en van Eeckeren van het Louis Bolkinstituut bevestigt dit in een artikel in V Focus van januari 2020¹².

In onderstaande figuur is de stikstofbenutting in beeld gebracht van de combinatie van de factoren: emissierijk of emissie arme mest met de manier van mest uitrijden.



Bij een combinatie van de manier van uitrijden en de NH₃ emissie uit de mest werd duidelijk dat de huidige mestwetgeving gebaseerd is op een illusie. **Het “emissiearm” aanwenden van emissierijke mest resulteert in een erg zwakke N-benutting.** Het zou kunnen dat er even wat minder emissies naar de atmosfeer zijn, maar in de plaats daarvan komt een uitspoeling naar de ondergrond in de vorm van nitraat. Het emissieprobleem wordt dus verlegd naar de ondergrond. Dr Erisman gaf dit 20 jaar geleden al aan in zijn boek¹³ “De Vliegende Geest, ammoniak uit de landbouw en de gevolgen voor de natuur”.

Omdat het mestbeleid hierop gebaseerd is, is het van groot belang te kijken waar die niet benutte stikstof gebleven is. Daarom willen we in een vervolgonderzoek graag de nitraatuitspoeling opvolgen (graag samen met het Waterschap) en ook de mogelijke toename van de bodemvoorraad aan stikstof.

Het komt er in principe op neer dat veehouders dezelfde belangen hebben als milieubeschermers, want als er verliezen optreden van nutriënten naar de atmosfeer of naar het bodemwater, betekent dit ook een direct financieel verlies voor veehouders.

¹² Pijlman, van Eeckeren, Stikstofbenutting verhogen in veenweiden, V Focus, januari 2020.

¹³ Erisman, J.W., De vliegende geest, Ammoniak uit de landbouw en de gevolgen voor de natuur, eerste druk, november 2000.

Vergelijking van een gangbaar systeem met een kringloop systeem

Een club boeren die in de loop van de laatste ruim 25 jaar een grote ervaring heeft opgebouwd met kringlooplandbouw, is de Vereniging tot Behoud van Boer en Milieu (VBBM). De leden lukken erin om hun bedrijf rendabel te maken met respect voor het milieu. Het is dus een win-win situatie onder het motto “zonder een sterk ecologisch kapitaal, geen economisch kapitaal”.

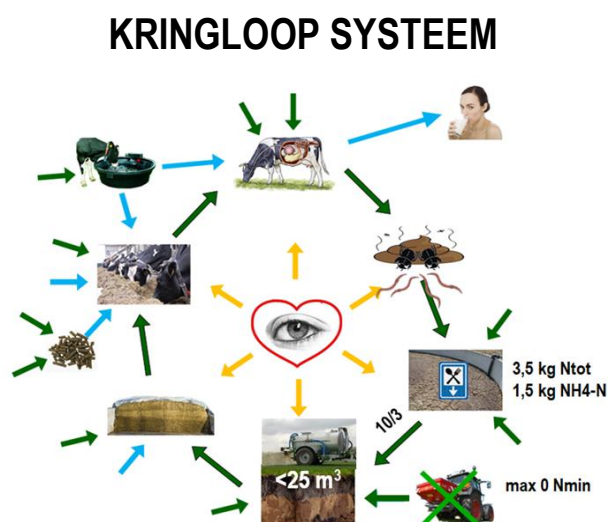
Deze kringloopboeren baseren zich op de kennis van WUR onderzoeker Ir Jaap van Bruchem op proefbedrijf de Minderhoudhoeve in de negentiger jaren. Door met die kennis verder te experimenteren zijn ze tot een Natuurlijk Kringloop Systeem¹⁴ gekomen. Er werd een certificeringssysteem bedacht, waarbij leden punten kunnen scoren op 9 duurzaamheidsthema's, die veel breder gaan dan alleen maar ammoniak-emissies. Afhankelijk van een minimaal aantal behaalde punten kunnen ze een bronzen, zilveren of gouden certificaat van het Natuurlijke Kringloop Systeem behalen. Er zijn momenteel reeds 42 gecertificeerde kringloopbedrijven die graag hun kennis beschikbaar stellen.

Het verschil tussen de 2 uitersten: een puur gangbaar en goed kringloopsysteem kunnen we als volgt voorstellen. De meeste bedrijven zullen een positie hebben tussen beide extremen in. In onderstaande schema's geven de rode pijlen een ongunstige invloed aan, de groene een positieve, de blauwe en gele een neutrale invloed.



Ook in een puur gangbaar systeem werken ingrepen door in de volgende schakels van de kringloop, maar omdat daar zelden rekening mee wordt gehouden, genereert dit problemen.

Vaak ziet men de oorzaak van of verbanden tussen de problemen niet, waardoor ze blijvend gecompenseerd moeten worden.



In een gezond kringloopsysteem houden we er bewust rekening mee dat elke ingreep in de kringloop de daaropvolgende schakels beïnvloedt.

Door daar handig op in te spelen wordt dit een zichzelf versterkend biologisch systeem, waarbij geen onnodige kosten ontstaan. De bodem heeft een sterk nutriëntenleverend vermogen.

¹⁴ Voor meer informatie over het natuurlijk kringloop systeem zie http://www.devbbm.nl/?page_id=163

Door het aanpassen van 5 factoren kan de benutting van de stikstof en andere nutriënten op elk bedrijf significant verbeteren. Vergelijken we even het bemestingsbeheer op een typisch gangbaar en een typisch kringloopbedrijf, gebaseerd op meetresultaten uit ons onderzoek. In beide groepen hadden we 8 bedrijven.

GANGBAAR SYSTEEM	KRINGLOOP SYSTEEM
Relatief eiwitrijk intensief rantsoen	Relatief eiwitarm structuurrijk rantsoen
Drijfmest met min 1,7 kg NH ₄ -N	Drijfmest met max 1,7 kg NH ₄ -N/ton (en C/N>8)
Minimaal 25 m ³ drijfmest per ha	Maximaal 25 m ³ drijfmest per ha
Zo vroeg mogelijk in februari bemest	Ten vroegste in maart bemest
Met zodebemester of sleufkouter	Bovengronds
Met minstens 50 kg N uit kunstmest	Zonder kunstmest

% N-benutting	% benutting

Uit de onderzoeksresultaten komen aanwijzingen dat de beste kringloopboeren het significant beter doen dan hun beste gangbare collega's door te werken op gemakkelijk haalbare normen. Het zou dus voor de andere bedrijven ook relatief eenvoudig moeten zijn om de emissies naar de atmosfeer en het grondwater significant te verminderen door een handig beheer van de kringloop, zonder hoogtechnologische investeringen.

In de moderne tijd met veel technische mogelijkheden moeten we er steeds aan blijven denken dat de techniek in dienst moet staan van de biologie en niet omgekeerd.

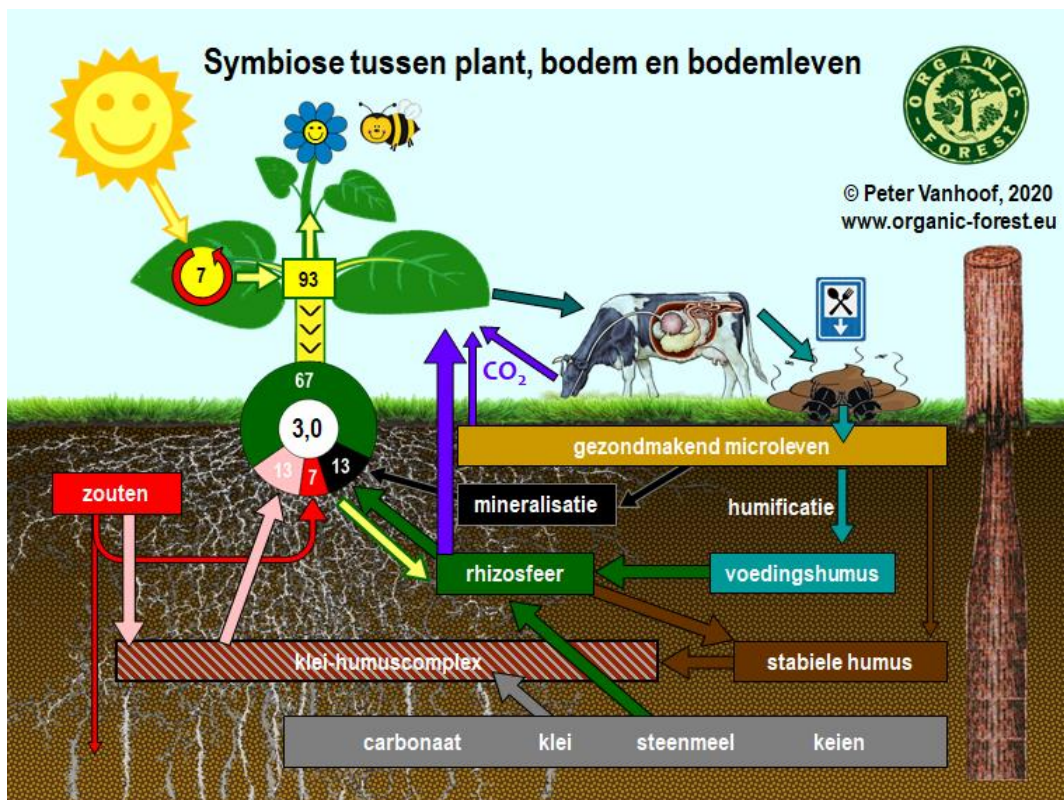
Onze bevindingen, dat bij een goed stikstofleverend vermogen van de bodem ook het vermogen om andere voedingsstoffen uit de bodem vrij te maken toeneemt, werd eveneens door de Duitse onderzoeker Edwin Scheller¹⁵ aangetoond in een meerjarig onderzoek onder praktijkomstandigheden.

¹⁵ Edwin Scheller, Grundzüge einer Pflanzenernährung des ökologischen Landbaus, Verlag Lebendige Erde, 2013.

Verklaring van het nutriëntenleverend vermogen van het bodemleven

We hebben het nutriëntenleverend vermogen van het bodemleven niet echt gemeten, maar afgeleid uit de berekeningen. Expertisebureau Organic Forest Polska heeft hiermee in de laatste 6 jaar een ruime praktijkervaring opgedaan.

In de echte kringlooplandbouw zijn er geen afvalstromen, maar wordt alles hergebruikt zoals in de natuur. De oogstresten en mest komen bovenop de bodem, waar ze verteren door een zuurstofminnend (aeroob) bodemleven. Dat dit gebeurt in de bovenste 10-15 cm van de bodem, kun je goed zien aan hoe een houten paal rot in de grond. Als er een gevarieerd bodemleven aanwezig is met veel vertegenwoordigers van het bodemvoedselweb, is het gezondmakend bodemleven sterker dan de zogenaamde ziekteverwekkers¹⁶. Er ontstaan 3 producten uit de organische stof: mineralen, voedingshumus (organische stikstof, aminozuren, chelaten) en stabiele humus. Deze laatste vormt samen met de kleimineralen het klei-humuscomplex, dat een deel van de minerale zouten kan vasthouden. Bij overbemesting worden meer minerale zouten gegeven dan de bodem kan vasthouden. Dat gebeurt bij bemesten op smalle strookjes door mestinjectie. Een minstens gedeeltelijk verlies door uitspoeling is dan het onvermijdelijke en logische gevolg.



In een goed functionerend ecosysteem is het de plant die bepaalt wat er nodig is. Er zijn dan niet teveel snelwerkende zouten zoals ammonium en nitraat in de bodem aanwezig. De energie gegenereerd uit fotosynthese investeert een gewas in bovengrondse groei, bloei en zaden/vruchten, maar ook in ondergrondse groei van wortels en de symbiose met microleven in de directe wortelomgeving (rhizosfeer). Als er niet teveel snelwerkende zouten in het bodemvocht opgelost zijn, heeft de plant voldoende energie om al zijn levensfuncties naar behoren uit te voeren. Er gaat dan veel energie in de

¹⁶ Zie ook het boek: Geheimen van een vruchtbare aarde, Erhard Hennig, Agriton, 1996

vorm van suikers (wortelexudaten) naar het wortelsysteem en het microleven in de rhizosfeer, dat in ruil daarvoor voedsel aan de plant levert vanuit de voedingshumus en uit niet wateroplosbare bodemvoorraden van bodemeigen mineralen (echte mineralen, geen opgeloste zouten).

Als je de achtergrond van dit levend systeem goed begrijpt¹⁷ en er handig op inspeelt, kun je dankzij de symbiose tussen de plant en het bodemleven meer dan 100% benutting van nutriënten behalen. Organic Forest Polska ontwikkelde in de laatste 6 jaar een innovatieve bodemtest, de “Vanhoof-test”, die een systeemanalyse is van de symbiose tussen plant, bodem en bodemleven¹⁸. Omdat een brede kijk op dit hele ecosysteem erg belangrijk is, worden bewortelingsdiepte en -intensiteit, potentieel aan bodemleven, bodemvoorraden, verhoudingen tussen bodemmineralen en mineralen en sporenelementen in het plantsap dé tools om vooruitgang te boeken. Je kunt vaak met inzet van beperkte, maar goed gekozen middelen of handelingen een beter resultaat op de opbrengst en kwaliteit krijgen dan door nog meer kilo's stikstof te bemesten. Daarbij is John Kempf van Advancing Eco Agriculture een bijzonder inspirerende figuur, die zijn kennis gratis deelt met iedereen en kennis van innovatieve onderzoekers wereldwijd helpt verspreiden.¹⁹

De basis van het verdienmodel van elke veehouderij is een goed functionerende biologie, dus alles wat die biologie verstoort, ondermijnt het milieu en het verdienmodel voor de veehouder. Door een focus op de biologie behouden we tegelijk de boer en het milieu.

Kwaliteit kuilvoer

In het onderzoek vonden we geen enkel verband tussen het bemestingsniveau en de DS-opbrengst. Een goede stikstofbenutting en een optimaal stikstofleverend vermogen van de bodem zijn belangrijk, maar een goede kwaliteit voer is ook belangrijk. Er zijn bedrijven die ondanks een zwak stikstofleverend vermogen, dus relatief grote hoeveelheden onbenutte stikstof, toch een goede kwaliteit kuilvoer weten te verkrijgen. Toch is het beter een goede kwaliteit zonder verliezen te realiseren.

Een lage kwaliteit eiwit in het gras (hoge OEB waarde) is het gevolg van een uitgeschakeld stikstofleverend vermogen van de bodem door overbemesting met stikstof en zonder voldoende sporenelementen om dit om te zetten in eiwit. Als er voldoende Molybdeen en Boor tegelijk aanwezig zijn, bleek de stikstofbenutting duidelijk beter te zijn. Bij een laag molybdeengehalte kan het gras de opgenomen stikstof niet zo vlot omzetten tot volwaardig eiwit. Een deel van de stikstof blijft dan in de plant als een onvolwaardig eiwit, waardoor de OEB stijgt. Bij tegelijk voldoende Mo en B stijgt het gemiddelde stikstofleverend vermogen spectaculair. We kunnen dus veel meer bereiken door te zorgen voor voldoende sporenelementen dan door nog meer stikstof te gaan geven, met name op veengrond die van nature en hoog stikstofleverend vermogen heeft.

Een hoogkwalitatief kuilvoer is de basis voor een gezonde veestapel en een goede benutting van nutriënten door het dier en dus ook van het inkomen en werkplezier van de veehouder.

¹⁷ Zie boek Dr Hans Peter Rusch, Bodemvruchtbaarheid, een zaak van biologisch denken, eerste druk 1968, Nederlandse vertaling, 2014

¹⁸ www.organic-forest.eu/nl-menu

¹⁹ www.advancingecoag.com/webinars

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Dit onderzoek werd uitgevoerd met beperkte middelen en op een relatief klein aantal melkveebedrijven. **De resultaten die we verkregen geven dan ook een richting aan, die we in het vervolgonderzoek verder willen valideren.** Omdat we ook niet zeker wisten welke verschillen we zouden gaan vinden in dit eerste onderzoek, hebben we bepaalde gegevens niet opgevraagd, omdat die niet relevant leken. Daarom willen we in een vervolgonderzoek onderstaande informatie opnemen bij de verwerking van de resultaten.

1. Meer gedetailleerde gegevens van de bedrijven:
 - a. MPR lijsten om het productieniveau in beeld te brengen over het hele jaar
 - b. Gegevens uit de kringloopwijzer
 - c. Indien VBBM leden, dan de gegevens die gebruikt zijn voor het certificaat.
2. Meer bedrijven meten, zodat in elke selectie met een specifieke werkwijze er minstens 10 bedrijven zijn. In dit onderzoek hadden we soms maar één bedrijf in een bepaalde selectie, waar je dan geen echte conclusies aan kunt knopen.
3. Om te onderzoeken waar de niet opgenomen stikstof gebleven is:
 - a. Gangbare chemische bodemanalyse, maar nat chemisch gemeten (zoals Kinsey-analyse?)
 - b. Bodemstructuur en beworteling
 - c. Nitraatmetingen, lachgasmetingen,
 - d. Biodiversiteit in het grasland: botanische samenstelling,
 - e. Vanhoof-test voor meten van het bodemleven en het nutriëntenleverend vermogen.
4. Om een beeld te krijgen van de meststoffenbenutting op jaarbasis:
 - a. Gegevens van alle sneden, voeranalyses en droge stof opbrengst
 - b. Totale hoeveelheid eigen mest en totale hoeveelheid bijgekochte (kunst)mest.
5. Het lijkt ook nuttig om op enkele erg goed presterende bedrijven veel meer metingen te doen, om te achterhalen waarom het zo goed gaat.

Het zou wenselijk zijn als het onderzoek kan gebeuren in samenwerking met andere onderzoeksinstellingen zoals het Louis Bolk Instituut en WUR in Nederland of ILVO en Inagro in Vlaanderen.

Omdat de bevindingen van dit onderzoek wel een duidelijke trend aangeven, maar nauwkeuriger gevalideerd moeten worden in een vervolgonderzoek, en de situatie op elk bedrijf anders is, raden we veehouders aan adviezen op maat te zoeken bijvoorbeeld bij de sponsors of onderzoekers van dit project. Deze gaan er allemaal van uit dat de biologie belangrijker is dan de techniek. Een individueel advies is altijd beter dan een reeks algemene adviezen.

Uitgegeven op 21 februari 2020 door onderzoekers

Ing. Peter Vanhoof, expertisebureau Organic Forest Polska, organic.forest.pl@gmail.com

Ir. Anton Nigten, onafhankelijk onderzoeker, aonigten@hotmail.com

met assistentie van Drs. Annette van der Knaap, chemicus, a.van.der.knaap@planet.nl

met dank aan Henk Heida, Karel Kennes, Luc Meeuwissen, Peter Takens, Wigle Vriesinga en Hans Wildenbeest voor hun bijdrage aan dit eindrapport

Met grote dank aan de veehouders, die aan dit onderzoek hebben meegewerkt

Met grote dank aan de sponsors van dit onderzoek:

Vereniging tot Behoud van Boer en Milieu www.devbbm.nl

Actimin (Vitasol BV), Heemstede www.actimin.nl

Crehumus, Emmeloord www.crehumus.nl

Drs. Annette van der Knaap a.van.der.knaap@planet.nl

Koolstofkring BV, Drachten www.dekoolstofkring.nl

Loonbedrijf de Schalm, Alphen www.deschalm.eu

Mulderagro, Kollumerzwaag www.mulderagro.nl

Napagro bvba, Arendonk (BE) www.napagro.eu

Natural Grown, Deerlijk (BE) www.naturalgrown.be

Nedmag BV, Veendam www.nedmag.nl

Vogelsang BV, Dordrecht www.vogelsang-bv.nl

Samen sterk voor een regeneratieve kringlooplandbouw

