Louis Bolk Instituut

Evenwichtsbemesting Lemselermaten

Een deskstudie

[redacted], [redacted], [redacted]



© 2022 Louis Bolk Instituut

Evenwichtsbemesting Lemselermaten - Een deskstudie

[redacted], [redacted], [redacted]

Publicatienummer 2022-034 LbP

35 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
Kosterijland 3-5
3981 AJ Bunnik
@LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Voorwoord

Voor u ligt de deskstudie naar de mogelijkheden van evenwichtsbemesting op de landbouwpercelen rondom het Natura 2000-gebied de Lemselermaten. Deze studie is uitgevoerd in opdracht van LTO Noord en gefinancierd door de Provincie Overijssel.

Inhoud

Samenvatting **7**

1 Inleiding **9**

2 Werkwijze **10**

3 Literatuuronderzoek **11**

4 Voorbeeldberekening evenwichtsbemesting **17**

4.1 Evenwichtsbemesting gras 17
4.2 Evenwichtsbemesting snijmais 21
4.3 Kerstbomen 21

5 Uitspoelberekeningen met NDICEA **24**

6 Aanbevelingen voor effectieve evenwichtsbemesting **28**

7 Conclusies **31**

Literatuur **32**

Bijlage 1: Nutriënteninhoud drijfmest **35**

Samenvatting

De Lemselermaten is een klein kwel-gevoed Natura 2000-gebied met vochtige heide, schrale graslanden, kalkmoerassen en broekbossen. Hoge concentraties van sulfaat in het grondwater hebben een negatief effect op de natuurwaarde in het gebied. Dit sulfaat in het grondwater ontstaat door pyrietlagen in de bodem die reageren met nitraat uit nabijgelegen agrarische percelen. Via deze deskstudie is onderzocht of door middel van evenwichtsbemesting op de agrarische percelen rondom de Lemselermaten de nitraatuitspoeling substantieel verminderd kan worden om de vorming van sulfaat terug te dringen. Daarnaast werd ook gekeken naar de nutriënten P, K en S.

Uit de verkennende literatuurstudie naar evenwichtsbemesting in vergelijkbare omstandigheden blijkt dat het realiseren van evenwichtsbemesting voor fosfor eenvoudiger is dan voor stikstof. In groeizame jaren kunnen nutriëntenoverschotten van nul behaald worden, maar in jaren waar de opbrengsten door de weersomstandigheden tegenvallen kunnen alsnog hoge overschotten ontstaan. Door het mobiele karakter van stikstof is er in deze gevallen een hoog risico op nitraatuitspoeling. Het vergt veel ervaring en inzicht in de gewasgroei, inhoudsstoffen van de mest en inhoudsstoffen van het geoogste gewas om de nutriëntenoverschotten naar nul te brengen. De gemeten nitraatuitspoeling toonde ofwel geen verandering ten opzichte van reguliere bemesting (De Marke), ofwel een afname (Boetelerveld, Drenthe). De nitraatuitspoeling toonde in alle gevallen veel variatie veroorzaakt door o.a. weersomstandigheden. Op percelen rondom het Boetelerveld werd een lagere uitspoeling van kalium gemeten. Fosfaatuitspoeling bleef in alle gevallen onveranderd, waarschijnlijk door het relatief immobiele karakter van fosfaat waardoor verandering in de bemesting op korte termijn niet terug te vinden zijn in de uitspoeling.

Bij een verwachte jaaropbrengst van 10 ton DS gras/ha wordt 250 kg N/ha, 33 kg P/ha, 252 kg K/ha en 35 kg S/ha met het geoogste gewas afgevoerd van het perceel. Voor de snijmaisteelt is de verwachte jaaropbrengst 12 ton/ha, wat neerkomt op 140 kg N/ha, 24 kg P/ha, 154 kg K/ha en 180 kg S/ha dat het perceel verlaat in het geoogste gewas. Voor gras en snijmais zijn elk twee bemestingsscenario's opgesteld die aansluiten bij deze berekende nutriëntenbalansen; 1) alleen met kunstmest, en 2) voornamelijk met rundveedrijfmest en zo nodig aangevuld met kunstmest.

Met het stikstof-bodemmodel NDICEA zijn deze bemestingsscenario's doorgerekend om te onderzoeken wat de effecten van een nat, gemiddeld en droog jaar zijn op de nutriëntenuitspoeling. Met de ingestelde evenwichtsbemesting is berekend dat in grasland 16,2 (drijfmest en kunstmest) tot 27,6 (kunstmest) kg N /ha /jaar uitspoelt. In maisland met daaropvolgend vanggewas is dit hoger, namelijk 26,7 (drijfmest en kunstmest) tot 24,5 kg N/ha /jaar. In zowel het grasland (niet gescheurd) werden hierdoor nitraatconcentraties in

het grondwater behaald van 7,2 mg/L nitraat tot 12,2 mg/L nitraat. Dit is een behoorlijke verlaging van de huidige gemeten nitraatconcentraties, en zal ook leiden tot een verlaging van de sulfaatconcentraties. In mais waren de resultaten net wat minder goed, met 22,9 tot 24,5 mg/L nitraat in het grondwater als behaalde concentraties in de vierjarige scenario's. We kunnen concluderen dat evenwichtsbemesting van met name grasland kan leiden tot een forse verlaging van de concentratie nitraat in het grondwater in de 30-jaars zone van het intrekgebied. De kanttekening hierbij is dat voor evenwichtsbemesting wel een inspanning nodig is, om via maatwerk en tijdig bijsturen op weersomstandigheden de bemesting in het gebied in te zetten.

1 Inleiding

De Lemselermaten is een klein Natura 2000-gebied in Overijssel met een mozaïek aan vochtige heide, schrale graslanden en broekbossen. Het gebied is uniek om haar resterende kalkmoeras, waarbinnen zeer zeldzame plantensoorten voorkomen. Het hydrologische systeem van de Lemselermaten is gevoelig voor grondwaterverontreiniging doordat het gebied gevoed wordt door kwel. In 2016/2017 werd door onderzoeksbureau B-Ware hoge concentraties sulfaat in het grondwater aangetroffen (Lucassen & Roelofs, 2017) wat zorgt voor veenafbraak en de natuurwaarde in het gebied nadelig beïnvloedt. Uit een vervolgstudie (Verstijnen & Roelofs, 2019) blijkt dat er pyrietlagen in de grond zitten, welke bestaan uit ijzer en zwavel (pyriet: FeS_2). Wanneer de pyriet in contact komt met nitraat ontstaat sulfaat. De nitraat blijkt afkomstig te zijn uit agrarische percelen rondom de Lemselermaten. Theoretisch zou middels evenwichtsbemesting de nitraatuitspoeling substantieel verminderd kunnen worden, waardoor minder sulfaat kan worden gevormd.

Evenwichtsbemesting betekent dat er met de bemesting net zo veel nutriënten aan de bodem worden toegediend, als er worden afgevoerd via het geoogste gewas. In theorie worden op deze manier geen extra nutriënten aan het ecosysteem toegevoegd en blijft de nutriëntenbalans neutraal. In de praktijk zullen er echter altijd wat verliezen optreden omdat de plantbeschikbaarheid van de toegevoegde nutriënten en de plantopname nooit volledig op elkaar aansluiten. Ook zijn er in de bodem nog voorraden van nutriënten (o.a. stikstof) aanwezig in de vorm van organische stof die geleidelijk zullen vrijkomen door mineralisatie van de organische stof. Wanneer de plantbeschikbaarheid van nutriënten op een bepaald moment hoger is dan de behoefte vanuit het gewas is er een risico op uitspoeling. Stikstof is zeer mobiel en spoelt daarom relatief gemakkelijk uit.

Naast de verhoogde zwavel en nitraatgehaltes ligt ook de bodem fosfaat (P) voorraad in de bodem van de agrarische percelen erg hoog, en is de wens deze te verlagen. In deze deskstudie is onderzocht hoe evenwichtsbemesting op de agrarische percelen rond de Lemselermaten eruit zou kunnen zien, en of daarmee de sulfaatgehaltes onder de wettelijke normen kunnen komen.

2 Werkwijze

In een verkennend literatuuronderzoek is gezocht naar studies in zowel Nederland als het buitenland waarbij evenwichtsbemesting is toegepast of waarbij maatregelen zijn toegepast om nitraatuitspoeling te reduceren. De belangrijkste bevindingen uit de studies staan beschreven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 worden een aantal voorbeeldberekeningen gepresenteerd. Voor het berekenen van evenwichtsbemesting zijn de volgende gegevens nodig: 1) de potentiële-/doel-opbrengst van het perceel (in kg droge stof per hectare); 2) nutriëntengehaltes van het geoogste product (in g/ kg droge stof); 3) indien de bemesting met dierlijke mest wordt ingevuld moeten er ook de nutriëntengehaltes in de dierlijke mest bekend zijn.
Omdat deze gegevens niet bekend zijn voor de betreffende agrarische percelen rond de Lemselermaten zijn hier voorbeeldberekeningen gemaakt op basis van fictieve (maar wel realistische) getallen. De voorbeelden laten de denk en rekenwijze zien. Met behulp van de bijgeleverde Excelfile kunnen de getallen aangepast worden.

Voor de gewassen gras en snijmais zijn de hoeveelheid afgevoerde nutriënten berekend. Voor kerstbomen kon niet voldoende informatie gevonden worden over de jaarlijkse opname van nutriënten, en zijn daarom niet verder meegenomen in de voorbeeldberekeningen (indien de missende informatie van het specifieke perceel via de grondgebruiker achterhaald kan worden kan hier mogelijk in een later stadium aan gerekend worden). De hoeveelheid afgevoerde nutriënten zijn tevens de hoeveelheid nutriënten die via bemesting aangevoerd mogen worden. We geven hier voorbeelden voor een praktische invulling voor, voor kunstmest en voor rundveedrijfmest aangevuld met kunstmest.

In hoofdstuk 5 worden met het stikstof-bodemmodel NDICEA (Burgt et al., 2006) drie scenario's doorgerekend om te onderzoeken wat de effecten van een nat, gemiddeld en droog jaar zijn, op de uitspoeling van nitraat en de nitraatconcentraties in het grondwater onder de voorgestelde evenwichtsbemesting. Hiervoor zijn bodemgegevens, weergegevens en depositiewaardes opgezocht die representatief zijn voor het gebied rondom de Lemselermaten.

3 Literatuuronderzoek

In Nederland wordt in meerdere projecten ingezet op het terugdringen van de uitspoeling van nutriënten uit gras- en maispercelen op zandgrond door middel van evenwichtsbemesting. Hierin ligt de focus met name op fosfaat en stikstof. In onderstaande praktijkvoorbeelden zijn verschillende maatregelen toegepast om de bodemoverschotten terug te dringen.

Boetelerveld

Aangrenzend aan het Natura 2000-gebied Boetelerveld is op agrarische percelen op lemige zandgrond een praktijkproef uitgevoerd met evenwichtsbemesting gericht op het reduceren van de uitspoeling van nitraat en fosfaat naar het Boetelerveld (Kuiters et al., 2016; Freriks & Schooten, 2018). Hierbij bestonden de percelen met name uit grasland met daarnaast enkele percelen mais. Getracht werd om binnen het reguliere mestbeleid door extra aandacht te schenken aan het bodembeheer en het bemestingsregime tot een betere nutriëntenbenutting te komen en daarmee verliezen naar het grondwater te reduceren. Verliezen werden in deze proef dus beperkt door het verhogen van de productie en niet door het beperken van de absolute mestgift. Ieder jaar is op perceelsniveau een bemestingsplan uitgewerkt gebaseerd op het gebruik, de bodemvruchtbaarheid en de verwachte gewasopbrengst. De mest is geanalyseerd om inzicht te krijgen in de hoeveelheden van nutriënten die worden uitgereden. Bij het bemesten werd erop gelet dat het perceel goed berijdbaar was, dat de mest goed in de grond terecht kwam en niet erboven en dat de weersomstandigheden gunstig zijn (regenachtig en niet onder scherp drogende omstandigheden). Gedurende vier jaar (2014-2018) is er gemonitord wat de effecten van deze evenwichtsbemesting zijn op de grondwaterkwaliteit en de instandhoudingsmaatregelen van het natuurgebied. Voor ieder jaar zijn bodembalansen opgesteld met de aan- en afvoer van stikstof en fosfaat om de jaarlijkse overschotten te bepalen. Daarnaast zijn er in twee jaren ook nitraatmetingen uitgevoerd in het bovenste grondwater van zowel de percelen waarop ingezet wordt op evenwichtsbemesting als percelen met reguliere bemesting.

De resultaten lieten zien dat de opbrengsten gemiddeld 10-30% hoger waren dan het langjarig landelijk gemiddelde. Op grasland werd evenwichtsbemesting zo goed als gehaald, terwijl er op de maispercelen nog redelijke stikstofoverschotten waren. Voor fosfaat waren de gemiddelde bodemoverschotten bereikt van -32 kg/ha op gras en -3 kg/ha op mais. Voor stikstof waren de bodemoverschotten laag maar nog wel positief. Gemiddeld was het stikstofoverschot op gras 12 kg/ha en op mais 57 kg/ha. Verschillen in overschotten door de jaren heen werden voornamelijk verklaard door wisselende gewasopbrengsten. In vochtige, groeizame jaren blijft de nutriëntenbehoefte van het gewas hoog en worden de toegediende meststoffen beter benut. De nitraatuitspoeling lag

in beide meetjaren lager in de percelen waar evenwichtsbemesting werd toegepast dan in het referentiegebied, maar alleen in het laatste jaar was dit effect significant. De uitspoeling bedroeg 40 mg NO_3 per liter in 2016 en 27 mg NO_3 per liter in 2018 en was daarmee beide meetjaren lager dan de norm uit de nitraatrichtlijn (50 mg NO_3 per liter). Ook de kaliumconcentraties lijken lager te zijn bij de toepassing van evenwichtsbemesting. De gemeten fosfaatconcentraties waren onveranderd wat werd verklaard door het relatief immobiele karakter van fosfaat (Kuiters et al., 2016).

De Marke

Op proefbedrijf "De Marke" in Hengelo (Gelderland) wordt al decennia lang onderzoek gedaan hoe mineralenkringlopen op melkveehouderijen op zand gesloten kunnen worden. Maatregelen die genomen worden zijn onder andere het beperkt beweiden richting het najaar, het hanteren van een kort bemestingsseizoen (maart t/m juli), het afstemmen van de bemesting op de behoefte vanuit het gewas, het beperkt aanhouden van jongvee, scherp voeren en het toepassen van vanggewassen (Verloop et al., 2007a; Verloop & Oenema, 2010; de Boo et al., 2014). Sinds 1992 wordt op het bedrijf de mineralisatie van stikstof op verschillende plekken in de bodem gemeten. Dit geeft inzicht in het gedrag van stikstof in de bodem, waardoor beter gestuurd kan worden met de bedrijfsvoering om bodemoverschotten en daarmee uitspoeling van nutriënten tegen te gaan. De mineralisatie hangt sterk af van de gewasrotatie (Verloop et al., 2007a; Verloop et al., 2014). Meetresultaten lieten zien dat de mineralisatie van N het hoogst is onder blijvend grasland (381 kg N /ha /jaar). De mineralisatie ligt lager onder tijdelijk grasland (322 kg N /ha /jaar) en dit neemt toe naarmate de graszode ouder wordt. In mais loopt deze trend omgekeerd, met de meeste mineralisatie in eerstejaars mais (328 kg N /ha /jaar) ten opzichte van latere maisjaren (182 kg N /ha /jaar). Het gras levert nog flink na waardoor de mineralisatie in eerstejaars mais hoger ligt dan de behoefte vanuit het gewas. Vanaf augustus neemt mais nauwelijks nog stikstof op waardoor vrijgekomen stikstof makkelijk uitspoelt. Om stikstofverliezen zo veel mogelijk te beperken wordt op de Marke niet meer bemest in eerstejaars mais. In de periode van oktober tot en met maart vindt 25% van de jaarlijkse mineralisatie plaats. Dit benadrukt het belang van een vanggewas welke, mits deze zich goed ontwikkelt, kan zorgen voor een flinke reductie van de nitraatuitspoeling. De N-mineralisatie toonde veel variatie in tijd en ruimte die niet te verklaren viel door gemeten veldomstandigheden (Verloop et al., 2014). Dit maakt het lastig om via de bemesting effectief bij te sturen en maakt het volledig terugbrengen van stikstofuitspoeling niet mogelijk.

In de periode van 2000 tot 2007 is het bodemoverschot op 'De Marke' beperkt van 129 kg N /ha /jaar naar 74 kg N /ha /jaar om de nitraatuitspoeling te verlagen. De N-mineralisatie liet in die periode een dalende (maar niet significante) trend zien van 2% per jaar. De nitraatuitspoeling was tegen verwachting in echter precies constant gebleven op een

niveau van iets meer dan 50 mg NO_3 per liter in het grondwater (Verloop et al., 2007a). De afname van de nitraatuitspoeling kan ook uitgebleven zijn door de invloed van andere factoren zoals de grondwaterstand of de verdeling van neerslag over het jaar. In de periode van 1989 tot 2006, zijn Pw en P-Al gedaald met respectievelijk 26 en 25% (Verloop et al., 2010). De totale hoeveelheid fosfaat in de bodem daalde met 16%. De fosfaattoestand varieerde sterk tussen percelen en was sterk gecorreleerd met de mate waarin bodemfosfaat daalde onder evenwichtsbemesting. Hierbij was de daling het sterkst bij percelen met een hoge fosfaattoestand. Het is berekend dat Pw stabiliseert bij 20 en P-Al bij 30-40. De daling van fosfaat in de bodem had geen invloed op de gewasopbrengst, maar ook niet op de fosfaatconcentratie in het grondwater. Daadwerkelijke uitspoeling naar het grondwater lijkt hier te worden bepaald door de grondwaterstand en niet zo zeer door de fosfaattoestand.

Op de Marke wordt uitsluitend met drijfmest bemest, waardoor er maar één soort mest met een vaste N:P verhouding beschikbaar is. Hierdoor is het lastiger om nauwkeurig en zonder overdosering tegelijk in de N behoefte en in de P behoefte van gewassen te voorzien. Permanent grasland kreeg structureel te veel fosfaat en te weinig stikstof, terwijl in de mais de situatie juist omgekeerd was. Een verkenning is uitgevoerd om te berekenen hoe de P toestanden op de percelen van de Marke kunnen worden genivelleerd door middel van mestscheiding (Verloop et al., 2007b). Door scheiden van mest in een dunne fractie met een hoge N:P verhouding (25) en een dikke fractie met een lage N:P verhouding (1,8) kan een P balans op alle bedrijfskavels worden gerealiseerd bij een optimale N voorziening. Ongeveer een derde van de drijfmest die beschikbaar komt, moet hiervoor gescheiden worden.

Drenthe

In het project 'Grondig boeren voor water' hebben melkveehouderijen in Drenthe gewerkt aan het verminderen van de (nitraat)uitspoeling en het verbeteren van het bedrijfsresultaat door het efficiënter gebruik van nutriënten in de bodem (Korevaar et al., 2019). Maatregelen waarmee boeren aan de slag gingen waren onder andere het optimaliseren van het beweidingsplan, het gerichter bemesten, het verhogen van de leeftijd van de veestapel, het houden van minder jongvee, het scherper voeren, het verbeteren van de waterhuishouding en het onderzaaien van gras in de mais. De nitraatconcentraties in het bovenste grondwater zijn gemeten in 2018 en 2019. Hieruit bleek net als op de Marke dat de nitraatconcentraties onder grasland lager zijn dan onder maisland. In relatief korte tijd wisten melkveehouders hun mineralenmanagement flink te verbeteren, hoewel het hoog houden van de productie en het terugdringen van de nutriëntenoverschotten door bijvoorbeeld droogte of andere weersextremen niet altijd mogelijk is. De droge zomer in 2018 leidde bijvoorbeeld tot lagere gewasopbrengsten en daardoor tot verhoogde

nitraatuitspoeling het jaar erop. Gemiddeld genomen waren de nitraatconcentraties onder gras in beide jaren onder de 50 mg NO3/l, op mais waren de concentraties hoger.

Cranendonck

Op het praktijkcentrum Cranendonck (Noord-Brabant) is onderzocht hoe het op droge zandgronden mogelijk is om nitraatuitspoeling te reduceren (De boer, 2005). Hierbij is onder andere gekeken naar het effect van maaien en beweiden. Bij beweiden ontstaan door excretie van urine plaatselijke pieken in stikstofconcentraties die niet volledig benut kunnen worden door het grasland. Hierdoor is nitraatuitspoeling in beweide graslanden hoger dan in graslanden die gemaaid worden. Voornamelijk in het najaar, wanneer de stikstofbehoefte van het gras afneemt, kan beweiden tot is het risico op stikstofuitspoeling groot. Door vroeger in het seizoen te stoppen met beweiding zou de nitraatuitspoeling dus gereduceerd kunnen worden. Op Cranendonck is de nitraatuitspoeling onder gemaaide percelen en beweide percelen gevolgd. De nitraatuitspoeling was significant lager onder gemaaide percelen dan onder percelen die beweid zijn. Bij de beweide percelen was de uitspoeling beduidend lager op percelen waar beweid werd tot begin augustus in plaats van half oktober. In een vergelijkbare proef van De Vliegher et al. (2003) werd ook een vermindering van de nitraatgehalte in de bodem gevonden wanneer vroegtijdig gestopt werd met begrazen met in plaats van beweiden in het najaar een najaarssnede.

Heino

Na 17 jaar fosfaatevenwichtsbemesting in Heino (dekzand) daalde het P-AL-getal ongeveer met 10% ten opzichte van de referentie waar een fosfaatoverschot van 40 kg/ha werd toegediend, maar was nog steeds voldoende (Van Middelkoop et al., 2016). De drogestofopbrengst was waar evenwichtsbemesting was toegepast 6% gedaald. De verwachting is dat P-AL op den duur gaat stabiliseren, maar dit is na 17 jaar nog niet gebeurd. De uitspoeling van fosfaat is in deze proef niet gemonitord.

Overige onderzoeken

Uitspoeling beperken onder mais

Buiten Nederland is op verschillende plekken onderzoek gedaan naar het terugdringen van de uitspoeling van nutriënten onder grasland en maispercelen. Op een zandgrond in Melle (België) is gedurende acht jaar de stikstofuitspoeling bestudeerd in rotaties van grasland en mais. Vergelijkbaar als op de Marke werd de hoogste mineralisatie van stikstof gemeten na het scheuren van het grasland in de eerstejaars mais. De optimale stikstofbemesting voor eerstejaars mais werd berekend op 2 kg N/ha (Nevens & Reheul, 2002). De literatuurstudie van (Conijn & Taube, 2004) laat zien dat de mineralisatie van stikstof in het eerste jaar na het scheuren kan variëren tussen de 127 en 400 kg N/ha. De hoeveelheid stikstof die vrijkomt wordt hierbij onder andere bepaald door de leeftijd van de grasmat, waarbij bij het scheuren van een oudere grasmat meer stikstof mineraliseert (Johnston et al., 1995). In een proef in

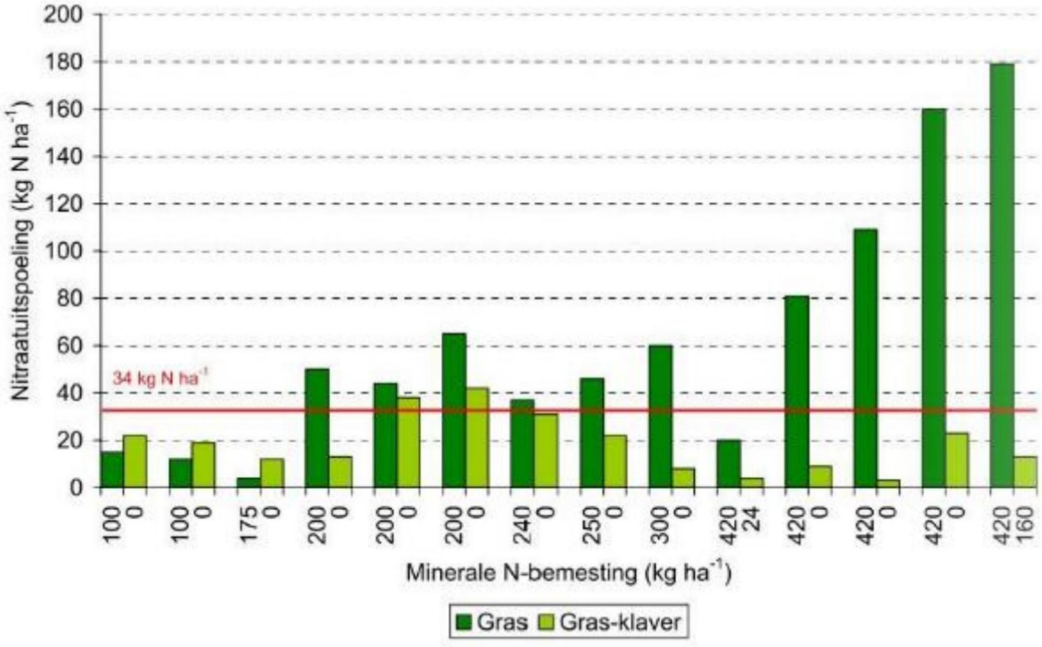
Denemarken is de stikstofuitspoeling na een periode van grasland in verschillende gewassen gemeten (Eriksen et al., 2015). De hoogste stikstofverliezen werden gemeten in mais (>50 kg N/ha). In totaal neemt maïs zo'n 250 – 300 kg N/ha op tijdens het groeiseizoen. Vanaf augustus neemt mais nauwelijks nog stikstof op terwijl door mineralisatie nog wel stikstof vrij komt. Dit maakt de teelt van mais, zeker na een periode van grasland, erg gevoelig voor uitspoeling van nitraat.

Om uitspoeling na de teelt van mais te verminderen kan naderhand een vanggewas worden geteeld of kan mais met een onderzaai worden geteeld. In een experiment op zandgrond in Noord-Duitsland zijn de minerale stikstof en de nitraatconcentratie in het grondwater gemeten onder mais met en zonder onderzaai van Engels raaigras (Wachendorf et al., 2006). Er was een significant verband gevonden tussen de stikstofuitspoeling en zowel het stikstofoverschot als ook het minerale stikstof in de bodem. Gemiddeld spoelde 45% van de minerale stikstof uit. Met een onderzaai van Engels raaigras was de uitspoeling van stikstof significant lager. In verschillende studies op zand- en zandleemgrond in Nederland en België is mais met verschillende vanggewassen als onderzaai of nazaai gevolgd om de effecten op maisopbrengst en stikstofuitspoeling te bepalen (Vervisch, 2021; Hilhorst & Verloop, 2014). Daarnaast werden twee verschillende bemestingsregimes getest; volgens advies (100 kg N/ha) en geen bemesting. In deze proeven werd geen opbrengstdaling waargenomen in de mais met onderzaai. Ook tussen bemeste en onbemeste objecten werden geen verschillen gevonden in gewasopbrengst. Nitraatgehaltes in de bodem daalden met 25-35% wanneer een snelgroeiend gras, bijvoorbeeld Italiaans raaigras, in een later stadium van de mais werd ingezaaid. Het is belangrijk dat het gras niet te vroeg wordt gezaaid zodat het niet te veel gaat concurreren met de mais, maar tegelijkertijd ook niet zo laat wordt gezaaid dat het gewas zich niet meer weet te vestigen onder de grote maisplanten. De nazaai leidde in de proeven niet altijd tot een reductie van uitspoeling, omdat het vanggewas vaak te laat werd gezaaid om zich goed te kunnen ontwikkelen. In het project Vruchtbare Kringlopen Achterhoek en Liemers zijn voederbieten geteeld in plaats van mais om de uitspoeling van nitraat te beperken. Voederbieten groeien nog door tot in november en leggen over het seizoen heen gemiddeld zo'n 125 kg N/ha meer vast dan mais. In de bodem onder de voederbieten was het gehalte N-mineraal 37 kg N/ha ten opzicht van 165 kg N/ha onder mais (Pijlman et al., 2016).

Uitspoeling beperken onder grasland

Graslanden kunnen gedurende het hele jaar stikstof opnemen en zijn daardoor relatief efficiënt in hun stikstofbenutting. Zoals in Boetelerveld ook is aangetoond kan met gerichte bemesting het stikstofoverschot in gras geminimaliseerd worden zonder in te leveren op grasopbrengst. Voor de uiteindelijke nitraatuitspoeling maakt het wel uit hoe het grasland beheerd wordt. De proef op Cranendonck liet zien dat beweiden kan leiden tot een hogere nitraatuitspoeling door piekconcentraties stikstof waar urine in de bodem terechtkomt. Het

inzaaien van gras-klaver in plaats van puur gras kan ook de mate van nitraatuitspoeling beperken. Verbruggen et al. (2003) en Nevens (2003) hebben de nitraatuitspoeling onder begraasde en gemaaide gras en gras-klaver percelen in West-Europa met elkaar vergeleken. Gras-klaver percelen werden hier niet of in mindere mate bemest. Uit de studies blijkt dat zowel onder begraasde als gemaaide percelen de nitraatuitspoeling onder gras-klaver lager is dan onder percelen met puur gras. Dit effect is met name te zien op begraasde percelen waar de nitraatuitspoeling grotere pieken kent (Figuur 1). Grasklaver is een zichzelf regulerend systeem. Bij te lage stikstofconcentraties gaat het klaver stikstof binden uit de lucht om de productie op peil te houden, terwijl bij te hoge concentraties het klaver geen stikstof bindt maar stikstof gebruikt uit de bodemvoorraad (Prins et al., 2010; de Wit et al., 2004). Hierdoor voorziet gras-klaver in zekere mate in zijn eigen stikstofvoorziening en kan het gras-klaver systeem flexibeler omgaan met fluctuerende hoeveelheden vrijgekomen stikstof in de bodem. Dit zelfsturende principe werkt op kleine schaal, iets wat met het uitrijden van mest niet gaat. Hierdoor is het reducerende effect op de nitraatuitspoeling in begraasde percelen groter is. Op mest- of urineplekken wordt meer stikstof uit de bodem opgenomen terwijl buiten deze plekken meer stikstof uit de lucht gebonden wordt. Een té hoog klavergehalte kan het risico op nitraatuitspoeling juist weer verhogen. Het aandeel klaver in gras-klaver dient daarom niet hoger te zijn dan 40%.



Figuur 1: Nitraatuitspoeling onder begraasd grasland en onder begraasd gras-klaver uit de 12 locaties opgenomen in de literatuurstudie van Nevens (2003).

4 Voorbeeldberekening evenwichtsbemesting

Om vast te stellen hoeveel er bemest mag worden volgens de evenwichtsbemesting, moet eerst worden berekend hoeveel nutriënten er zullen worden afgevoerd via het geoogste gewas. Voor een effectieve evenwichtsbemesting is het belangrijk dat de opbrengst én nutriëntengehaltes in het geoogste product per perceel worden bepaald. Voor de betreffende percelen in deze deskstudie is deze informatie niet beschikbaar. Daarom gebruiken we hier gemiddelde/fictieve waardes als voorbeeld.

Algemene werkwijze voor het opstellen van een evenwichtsbemesting:

1. Bepaal de potentiële/doel-opbrengst (in droge stof/ha) van een perceel op basis van metingen in voorgaande jaren.
2. Bepaal de nutriëntengehaltes van het geoogste product (in g/kg droge stof).
3. Bereken de totale hoeveelheden nutriënten die worden afgevoerd/geoogst op basis van de gehaltes en de opbrengst.
4. In geval van grasland wordt meerdere keren per jaar geoogst. De opbrengst en inhoudsstoffen moeten per snede worden bepaald om de bemesting op af te stemmen.
5. Doe mestanalyses om nutriënteninhoud van de mest te bepalen.
6. Maak een bemestingsplan waarbij de verschillende nutriënten in de juiste hoeveelheden worden toegediend.
7. Splits het toedienen van de bemesting om de nutriëntenbeschikbaarheid zo veel mogelijk gelijk te trekken met de gewasbehoefte. Overtollige beschikbare nutriënten op het moment dat het gewas ze niet kan opnemen leidt tot uitspoel.

In hoofdstuk 5 wordt de potentiële uitspoeling van stikstof met de in dit hoofdstuk gepresenteerde bemestingsschema's getest met het bodemstikstofmodel NDICEA.

4.1 Evenwichtsbemesting gras

Nutriëntenbalans

Gras wordt doorgaans 4 tot 6 keer per jaar gemaaid. In Tabel 1 staan voorbeeld-nutriëntengehaltes voor 4 sneden die in deze voorbeeldberekening worden gebruikt. In Tabel 2 staan de opbrengsten en de resulterende totale hoeveelheden nutriënten die worden afgevoerd met het geoogste product. Dit zijn dus tevens de hoeveelheden nutriënten die mogen worden bemest bij een evenwichtsbemesting. In dit voorbeeld is de afgevoerde hoeveelheid stikstof 298 kg N/ha. Dit is hoger dan de wettelijk toegestane stikstofbemesting (250 kg N/ha, bij een blijvend grasland met weiden, zie RVO website). De stikstofbemesting wordt dus naar beneden bijgesteld naar 250 kg N/ha. De wettelijk toegestane fosfaatgift op grasland is 75 kg P/ha. Dat is hoger dan de berekende P gift die

volgt uit de evenwichtsbemesting (33 kg P/ha). Hier hoeven dus geen aanpassingen voor worden gedaan.

Tabel 1. Voorbeeld nutriëntengehaltes van gras per snede en gebruikt in de berekening in dit rapport (Tabel 2).

	Inhoudsstoffen (g/kg DS)			
	N	P	K	S
Snede 1:	27,2	3,7	27,8	3,3
Snede 2:	38,2	4	25	4
Snede 3:	21,4	2	23	3
Snede 4:	20	2	20	3
Totaal	**106,8**	**11,7**	**95,8**	**13,3**

Tabel 2. Afvoer van nutriënten via geoogst product. Dit zijn tevens de maximale hoeveelheid nutriënten die via bemesting mogen worden toegediend bij een evenwichtsbemesting.

	Droge stof (t/ha)	Totale afvoer van nutriënten in geoogst product (kg/ha)			
		N	P	K	S
Snede 1:	3,1	84	11	86	10
Snede 2:	3,9	149	16	98	16
Snede 3:	2	43	4	46	6
Snede 4:	1,1	22	2	22	3
Totaal	**10**	**298**	**33**	**252**	**35**

In de volgende hoofdstukken wordt de bemesting op twee manieren ingevuld, 1) alleen met kunstmest, en 2) voornamelijk met rundveedrijfmest en zo nodig aangevuld met kunstmest. In de voorbeelden worden gangbare soorten kunstmest ingezet (o.a. KAS). Een nadeel van dit soort meststoffen is dat de nutriënten direct plant-beschikbaar zijn, ook als de plant ze nog niet kan opnemen. Daarom is er meer risico op uitspoeling. Er zijn ook 'slow release' kunstmestsoorten beschikbaar die mogelijk de opname efficiëntie van de nutriënten door de plant kunnen verbeteren. Deze meststoffen zijn niet in dit voorbeeld gebruikt omdat hier ook een hoger prijskaartje aan hangt en we eerst willen laten zien wat de effecten zijn van meer gangbare kunstmest.

Bemesting kunstmest

In Tabel 2 staan de totale hoeveelheden nutriënten die met de evenwichtsbemesting mogen worden toegevoerd (met uitzondering van stikstof waarbij het wettelijke maximum van 250 kg N/ha wordt aangehouden. Om tot de 250 kg N/ha te komen zal er per snede 12 kg N/ha minder N worden toegediend dan staat aangegeven in Tabel 2. Dus bijvoorbeeld bij snede 1 wordt 84-12 = 72 kg N/ha toegediend.

Bij het berekenen van de kunstmestgift moet goed in de gaten worden gehouden dat de P, K en S gehaltes die op de kunstmestverpakkingen staan, eigenlijk de gehaltes aan de geoxideerde vorm van de elementen zijn. Dus een kunstmestverpakking waarop staat "30% P", bevat eigenlijk 30% P_2O_5. In Tabel 3 staan de omrekenfactoren om van het element naar de oxide-vorm om te rekenen en de hoeveelheid toe te dienen kunstmest te kunnen bepalen. Dus in 100 kg van de P kunstmest uit het voorbeeld zit 30 kg P_2O_5 of 30 x 0,437 = 13 kg P.

Tabel 3. Omrekenfactoren voor om voor P, K en S de oxide-vorm om te rekenen naar de element-vorm. Omgekeerd, wanneer de element vorm moet worden omgerekend naar de oxide vorm, dan moet het element-gehalte worden gedeeld door de omrekenfactor.

Element	**Omrekenfactor**
P_2O_5 naar P	Vermenigvuldigen met 0,437
K_2O naar K	Vermenigvuldigen met 0,83
SO_3 naar S	Vermenigvuldigen met 0,4

In Tabel 4 staat een mogelijke invulling van een evenwichtsbemesting met gangbare kunstmest. Zwavel (S of sulfaat SO_3) is in dit voorbeeld niet tot het evenwicht bijbemest omdat dit element juist het probleem in deze casus vormt. Wanneer de groei achterblijft of de kwaliteit van het gras minder wordt kan eventueel nog worden geëxperimenteerd met minimale bijmesting van S. Bij deze invulling met kunstmest is zo goed mogelijk geprobeerd om per snede de onttrekking die plaatsvindt aan te vullen. In de onderste regel van de tabel staat ter controle nogmaals de elementen bij elkaar opgeteld, en weer omgerekend van oxide-vorm naar de element-vorm. Vergelijk deze met de onttrekking in Tabel 2.

Tabel 4. Voorbeeld voor de invulling van evenwichtsbemesting met kunstmest.

		Mestgift	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**SO_3**
		Kg /ha	Toegediende nutriënten bij de kunstmestgift (kg/ha)			
Snede 1	KAS	265	72			
	Kalizout	174			104	
	Triplesuperfosfaat	56		26		3
Snede 2	KAS	508	137			
	Kalizout	195			117	
	Triplesuperfosfaat	79		36		4
Snede 3	KAS	115	31			
	Kalizout	92			55	
	Triplesuperfosfaat	20		9		1
Snede 4	KAS	37	10			
	Kalizout	45			27	
	Triplesuperfosfaat	10		5		0
		Totaal in oxide vorm	250	76	304	7
	Totaal omgerekend naar elementen		**250**	**33**	**252**	**2.8**

Bemesting drijfmest en kunstmest

Bij de invulling van de evenwichtsbemesting met drijfmest is eerst gekeken per element (N, P, K en S) hoeveel drijfmest er zou mogen worden toegediend om aan de evenwichts-bemesting van dat element te komen. De maximale hoeveelheid zwavel die toegediend mag worden (35 kg/ha) wordt als eerste bereikt met een drijfmestgift van 50 m^3. (In bijlage 1 staan de in dit voorbeeld gebruikte inhoudsstoffen van drijfmest.) De resterende hoeveelheden N, P en K die nog mogen worden toegediend zijn met kunstmest aangevuld.

In het geval van drijfmest mag voor de wettelijke N ruimte gerekend worden met de stikstof-werkingscoëfficiënt (werkzame stikstof). Bij drijfmest van eigen bedrijf is dit 45%, en bij aangevoerde drijfmest 60%. Om aan de voorzichtige kant te zitten gaan we in dit voorbeeld uit van een werkingscoëfficiënt van 60%. In Tabel 5 staan twee kolommen voor stikstof weergegeven. In de kolom *N totaal* is te zien hoe de maximale stikstof gift van 298 kg N wordt bereikt. In de kolom *N werkzaam* is te zien hoe met deze invulling de werkzame stikstof de wettelijke limiet van 250 kg N niet overschrijdt.

Bij de bemesting over de sneden is de verdeling van de stikstofgift gebaseerd op tabel 2-8 van het bemestingsadvies grasland, maximale stikstofgift per snede (Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 2021). Dezelfde verhoudingen waarin de totale stikstofgift wordt verdeeld over de sneden in het bemestingsadvies, is hier ook grotendeels aangehouden. Kleine aanpassingen zijn gedaan zodat er niet voor te kleine hoeveelheden drijf- of kunstmest uitgereden hoeft te worden.

Tabel 5. Voorbeeld voor de invulling van evenwichtsbemesting met drijfmest en kunstmest. De kolommen N totaal en N werkzaam laten zien dat we met deze invulling komen tot zowel de maximale. Onder de mestgift is de hoeveelheid drijfmest (dm) uitgedrukt in m^3/ha, en de hoeveelheid kunstmest (km) in kg/ha.

		Mestgift	**N totaal**	**N werkzaam**	**P**	**K**	**S**
		m^3/ha (dm) of kg/ha (km)	Toegediende nutriënten (kg/ha)				
Snede 1	Drijfmest	27	111	67	15	130	19
	KAS	80	22	22			
Snede 2	Drijfmest	23	95	57	13	111	16
Snede 3	KAS	160	44	44			
	Kalizout	21				10	
Snede 4	KAS	100	27	27			
		Totaal	**298**	**250**	**28**	**252**	**35**

4.2 Evenwichtsbemesting snijmais

Nutriëntenbalans

In Tabel 6 staan voorbeeld-nutriëntengehaltes en de totale afvoer van nutriënten bij de oogst van snijmais, bij een opbrengstniveau van 12 t/ha. Dit zijn dus tevens de maximale hoeveelheid nutriënten die via evenwichtsbemesting mogen worden toegediend.

Tabel 6. Voorbeeld Inhoudsstoffen en totaal afgevoerde hoeveelheid nutriënten in snijmais.

		Inhoudsstoffen (g/kg DS)			
		N	**P**	**K**	**S**
Inhoudsstoffen		11,7	2	12,8	15
	Droge stof (t/ha)	**Totale afvoer van nutriënten in geoogst product (kg/ha)**			
Totale afvoer	12	140	24	154	180

Bemesting kunstmest

Om de nutriëntenopname beter af te stemmen op de gewasbehoefte wordt ¼ van de totale bemesting bij het zaaien gegeven, en ¾ van de bemesting wanneer het gewas begint te sluiten (~juni). In Tabel 7 staat een voorbeeldinvulling voor evenwichtsbemesting met kunstmest. Ook hier is de SO_3 ruimte niet volledig ingevuld, enkel voor zover het een onderdeel was van de kali en fosfaatmeststof.

Tabel 7. Voorbeeld voor de invulling van evenwichtsbemesting met kunstmest

		Mestgift	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**	**SO_3**
		Kg /ha	Toegediende nutriënten bij de kunstmestgift (kg/ha)			
Gift 1	KAS[1]	130	35			
	Patentkali[2]	154			46	65
	Triplesuperfosfaat[3]			14		1
Gift 2	KAS	390	105			
	Patentkali	461			138	196
	Triplesuperfosfaat	89		41		4
	Totaal in oxide-vorm		140	55	184	266
			N	P	K	S
Totaal in element-vorm			**140**	**24**	**153**	**106**

[1] KAS bevat 27% N
[2] Patentkali bevat 30% K_2O, 42,5% SO_3
[3] Triplesuperfosfaat bevat 46% P_2O_5, 4,5% SO_3

Bemesting drijfmest en kunstmest

Bij de invulling van de evenwichtsbemesting met drijfmest is eerst gekeken per element (N, P, K en S) hoeveel drijfmest er zou mogen worden toegediend om aan de evenwichtsbemesting van dat element te komen. De maximale hoeveelheid kalium die

toegediend mag worden (154 kg/ha) wordt als eerste bereikt met een drijfmestgift van 32 m³/ha. Echter, met het advies wat we hier aanhouden om de (N) bemesting te splitsen met een kwart bij de zaai, en de resterende bemesting bij het sluiten van het gewas. Hierdoor wordt er uiteindelijk in totaal 9 m³ drijfmest aangewend bij de zaai. De resterende hoeveelheden N, P en K die nog mogen worden toegediend zijn met kunstmest aangevuld in de tweede gift. Het resultaat zou mogelijk verbeterd kunnen worden door gespecialiseerde mechanisatie die drijfmest toedienen op een later moment in de teelt mogelijk maakt (bv. https://www.melkvee.nl/artikel/442322-bespaar-op-dure-kunstmest-in-maisteelt/) , maar daar is nu niet van uit gegaan.

Tabel 8. Voorbeeld voor de invulling van evenwichtsbemesting met drijfmest en kunstmest. Onder de mestgift is de hoeveelheid drijfmest (dm) uitgedrukt in m³/ha, en de hoeveelheid kunstmest (km) in kg/ha.

		Mestgift	**N**	**P**	**K**	**S**
		m³/ha of kg /ha	Toegediende nutriënten (kg/ha)			
Gift 1	Drijfmest	9	37	5	43	6
Gift 2	KAS	390	105			
	Triplesuperfosfaat	94		19		2
	Patentkali	440			110	75
		Totaal	**140**	**24**	**153**	**83**

4.3 Kerstbomen

Er is weinig (tot niets) bekend over de jaarlijkse nutriëntenopname door kerstbomen, ook in de internationale literatuur. Een studie uit Amerika (New Jersey, Zinati et al., 2016) vond dat afvoer van nutriënten in geoogste kerstbomen lineair correleerde met de biomassa van de kerstboom. Dit was in 11-jarige bomen die varieerden in eindgewicht. Maar, het is niet duidelijk of deze correlatie ook geldt voor bomen die kleiner zijn omdat ze nog jonger zijn, en of hiermee dus de jaarlijkse nutriëntenopname tijdens de groei kan worden berekend. De totale nutriëntenafvoer door geoogste kerstbomen in deze studie, bij een plant dichtheid van 1,5 x 1,5 meter (4302 bomen per ha) en een gemiddelde boombiomassa van ongeveer 22 kg, was 560 kg N/ha, 61 kg P/ha, 168 kg K/ha en 28 kg S/ha. Deze waardes komen ook redelijk overeen met een andere studie uit Amerika (Hart et al., 2009).

Er is één Nederlandse rapportage (Van der Meij & Smeets, 2012) gevonden waarin een Duits onderzoek uit 1999 wordt aangehaald. In dit onderzoek vonden ze dat bij 3-jarig plantgoed na één jaar 20 kg N/ha was opgenomen, in het derde jaar 30-50 kg N/ha, en in het vijfde jaar 60-90 kg N/ha. Er is geen informatie over de overige nutriënten P, K en S.

Door gebrek aan gegevens over de jaarlijkse nutriëntenopname van kerstbomen kan voor kerstbomen op dit moment geen voorbeeld evenwichtsbemesting berekend worden. Met specifieke gegevens van opname en afvoer van de bomen op een doelperceel (jaarlijkse aangroei (in kg) van de bomen die blijven staan, aantal bomen dat geoogst wordt en grootte daarvan, inhoudsstoffen) zou hier in een vervolgstap eventueel wel aan verder gerekend kunnen worden. Met de huidige informatie was dit nog niet mogelijk.

5 Uitspoelberekeningen met NDICEA

Voor de scenario's zoals deze beschreven zijn in hoofdstuk 4 zijn met het NDICEA koolstof-stikstof model (Burgt *et al.*, 2006) berekeningen gemaakt voor de hoeveelheid nitraat die tijdens vier groeiseizoenen uitspoelt. Er is ter vergelijking een scenario toegevoegd met maaien en afvoeren van grasland, zonder bemesting. Voor de berekeningen is de periode 2018 t/m 2021 genomen. Deze periode omvatte droge jaren (zoals 2018) en ook een natter jaar (2021). De variatie tussen de jaren is daarbij ook in de onderstaande tabel weergegeven. De berekeningen zijn gemaakt met de lokale bodemsoort en hoeveelheid bodemorganische stof zoals gemeten (Lucassen en Roelofs, 2017). Depositie van stikstof voor het gebied is opgezocht op de Grootschalige Concentratie- en Depositiekaarten Nederland (https://data.rivm.nl/apps/gcn/) en bedroeg 1200 µmol/ha/jaar.

De hoeveelheden nitraat die verloren gaat door uitspoeling en denitrificatie zijn omgerekend naar concentraties in het grondwater. Daarbij is gerekend is met grondwatertrap VI (vastgestelde droogste grondwatertrap in de 30-jaars zone van het intrekgebied, Aggenbach 2021; persoonlijk contact S. van de Salm Euqator), met een jaarlijks neerslagoverschot van 300 mm en met de uitspoelingsfractie zoals weergegeven door Fraters *et al.* (2007) voor grasland en bouwland op zandgrond. De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Resultaten van de NDICEA scenariostudie naar evenwichtsbemesting in de Lemselermaten.

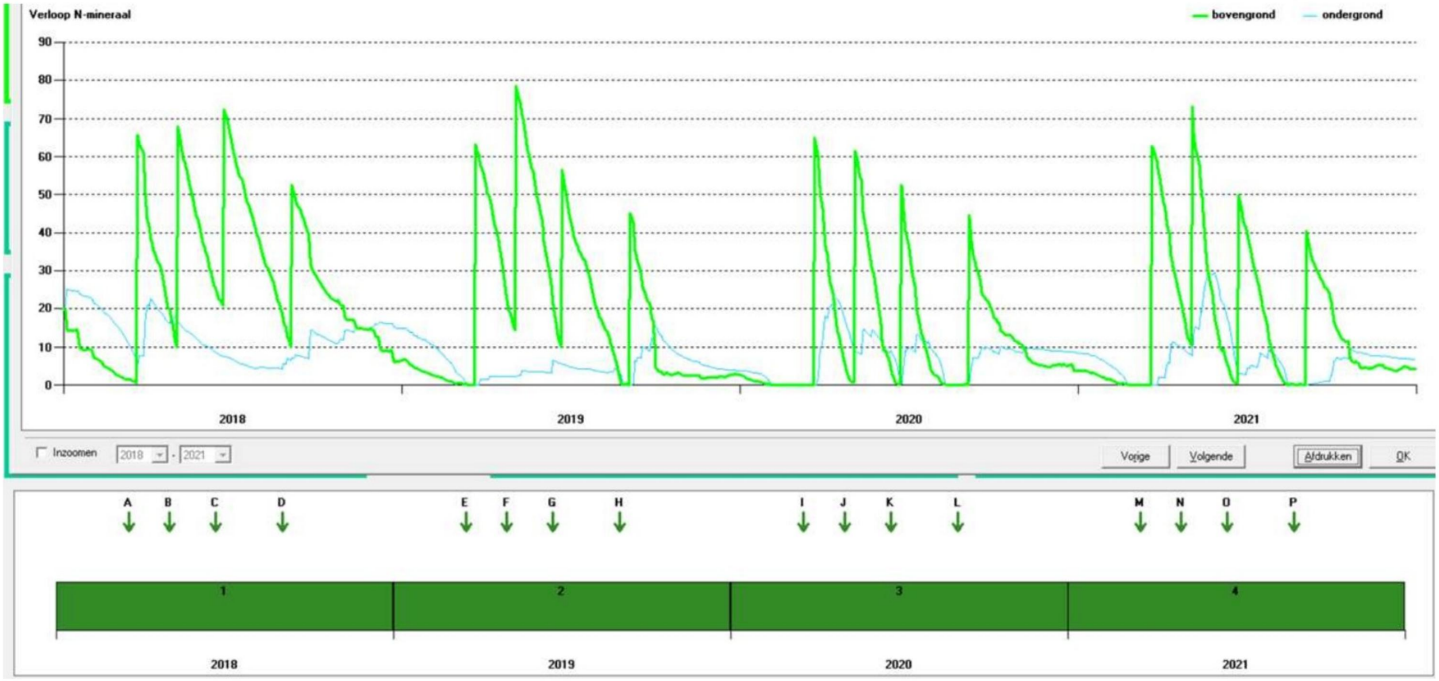
Scenario:	Grasland, kunstmest	Grasland, drijfmest en kunstmest	Mais, vanggewas, kunstmest	Mais, vanggewas, drijfmest en kunstmest	Grasland, maaien en afvoeren
Behaalde opbrengst ton/ha DS	8	8	12	12	1,6
Bemest stikstof (kg N/ha)	250	298	140	140	0
Hoeveelheid N uitgespoeld + gedenitrificeerd (kg N/ha/jaar)	27,6	16,2	28,6	26,7	8,6
Behaalde concentratie nitraat in grondwater (2018 - 2021; mg/L)	12,2	7,2	24,5	22,9	3,8
Variatie door weer (nat vs droog) (mg/L nitraat)	7,3 – 18,5	3,1 – 12,6	14,3 – 41,9	11,1 – 42,5	-3,5 – 10,8
Bovengrens nitraat t.b.v. natuurdoel (mg/L)[1]	*15 - 20*	*15 - 20*	*15 - 20*	*15 - 20*	*15 - 20*

[1] *Bovengrens toelaatbare nitraatconcentratie, persoonlijke communicatie Onderzoekscentrum B-WARE. Zie volgende paragraaf voor meerdere normen*

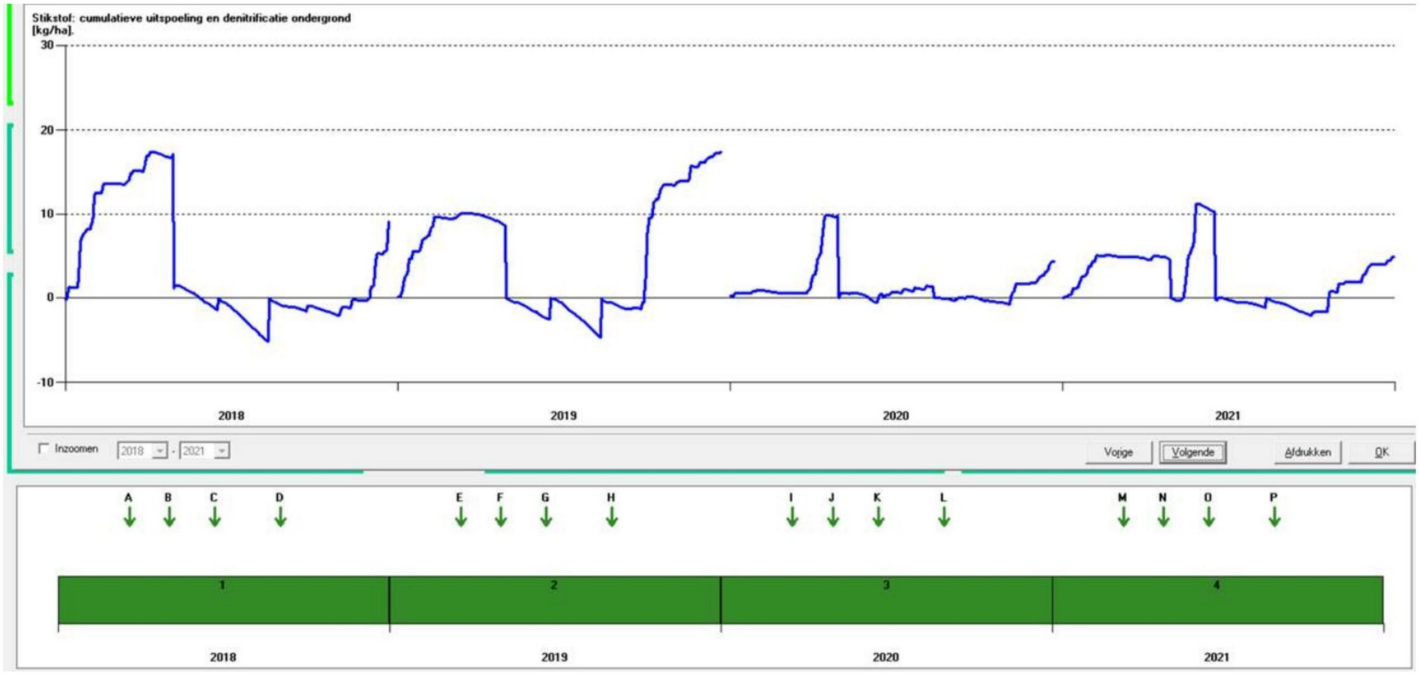
We zien hier dat er voor de ingestelde evenwichtsbemesting in grasland 16 (drijfmest en kunstmest) tot 28 (kunstmest) kg N/ha /jaar uitspoelde en denitrificeerde. In maisland met daaropvolgend vanggewas was dit hoger, namelijk 27 (drijfmest en kunstmest) tot 29 kg N/ha /jaar. Zoals door Fraters et al. (2007) is beschreven belandt hiervan een gedeelte in het grondwater. Dit resulteerde in nitraatconcentraties variërend van 7,2 tot 12,2 mg/L nitraat voor grasland en 22,9 tot 24,5 mg/L nitraat voor mais met matig groeiend vanggewas. Dit is aan de lager dan (grasland) tot net hoger dan (mais) de door Onerzoekscentrum B-ware gestelde bovengrens van de maximaal toelaatbare concentratie nodig voor de natuurdoeltypen in de Lemselermaten. Er zijn echter andere normen in omloop (zie volgende paragraaf). In beide gevallen betekent dit een aanzienlijke verlaging van de nitraatconcentraties (omgerekend bij mais < 400 umol/L en bij grasland <200 umol/liter): Aggenbach (2021) rekent bijvoorbeeld met 1 mmol (1000 umol) sulfaat in het toestromende grondwater. Als we aannemen dat nitraat één op één uitwisselt met sulfaat in de pyrietbank betekenen deze hoeveelheden een behoorlijke verlaging.
Bij deze doorrekening moet als belangrijke kanttekening worden gesteld dat het NDICEA model een bodemmodel is, en geen gewasgroeimodel. Dit betekent dat indien door omstandigheden de opbrengsten zoals ingesteld niet worden gehaald, er ook niet door moet worden gegaan met verdere bemesting (maar dit zal normaal gesproken ook niet het geval zijn). Daarbij was met name het opsplitsen van de bemestingen zoals hierboven beschreven is van groot belang voor het beperken van de stikstofverliezen. Er zou nog lagere uitspoeling gehaald kunnen worden met de inzet van slow release meststoffen, of door het vanggewas als onderzaai in de mais vroeger te laten starten, zodat dit meer stikstof kan opnemen. Dit is in deze studie niet verder onderzocht.

In Figuur 2 wordt de stikstofdynamiek gedurende de simulatie in een van de scenario's (grasland met kunstmest) als voorbeeld getoond. Hier zien we dat de bemesting netjes na elke snede werd toegepast op vier momenten gedurende het seizoen (pijltjes met letters onderin). We zien het N-mineraal in 0-30 cm (groene lijn) en N-mineraal in 30-70 cm (blauwe lijn). Daarbij valt op dat na iedere bemesting het N-mineraal in de bovengrond toeneemt, maar dit efficiënt door het grasland wordt opgenomen, waardoor het N-mineraal in de laag onder de 30 cm eigenlijk gedurende het hele jaar vrij laag kan blijven.

In Figuur 3 zien we in hetzelfde scenario (grasland met kunstmest) de cumulatieve uitspoeling en denitrificatie uit de bovenste 70 cm van de bodem. Hier is te zien dat de verliezen vooral plaatsvinden in het najaar, de winter en het vroege voorjaar, als de omstandigheden relatief nat zijn. In praktijksituaties in de akkerbouw worden vaak waarden gevonden van meer dan 100 kg N/ha na specifieke teelten. In onze scenario's is dit nergens het geval, omdat bemesting en gewasopname goed op elkaar zijn afgestemd.



Figuur 2: Scenario met gras en kunstmestgift: mineraal stikstof (kg N/ha) tijdens het seizoen in bovenlaag van de bodem (0-30 cm) en in de direct daar onderliggende diepere bodemlaag (30-70 cm).



Figuur 3: Scenario met gras en kunstmestgift: cumulatieve uitspoeling en denitrificatie van stikstof (mg/L) tijdens het seizoen uit het bodem deel van 0-70 cm diepte.

Referentiewaarde voor de nitraatconcentratie voor het natuurdoel.

De EU kwaliteitsnorm voor nitraat is 50 mg/L nitraat (=11.3 mg/L nitraat-N), en is gebaseerd op gezondheidskundige aspecten. Deze waarde is daardoor hoger dan de norm voor het

bereiken van een goede eutrofiëringstoestand: voor de ecologie gelden andere maten, maar die zijn voor het grondwater niet eenduidig. Er wordt wel gesproken van 25 mg/L nitraat (=5,6 mg/L N) als streefwaarde voor de grondwaterkwaliteit van natuurgebieden op zandgrond (Boumans, 1994). Persoonlijke communicatie met Onderzoeks instituut B-WARE, die voorgaande studies in het gebied hebben uitgevoerd (Lucassen, E. & Roelofs, J. 2017; Verstijnen, Y. & Roelofs, J. 2019), leverde een lagere maximum concentratie in het grondwater, van 15 tot 20 mg/L nitraat (=3,4 – 4,6 mg/L N) als bovengrens (Tabel 9). Hun rapportages laten zien dat een dergelijke streefwaarde ver beneden de gemeten problematiek in het gebied ligt. Toch zijn er nog andere getallen in omloop. Het RIVM noemt voor de meeste sloten in Nederland (oppervlaktewater) een norm van 10,6 mg/L nitraat (=2,4 mg/L N; *website:* Normen voor stikstof in grondwater en oppervlaktewater onvoldoende op elkaar afgestemd | RIVM). In lager gelegen percelen kan het grondwater echter snel in het oppervlaktewater terechtkomen. In het technisch overleg van 7 september 2022 kwam ook een ander rapport van het RIVM ter sprake (Claessens et al, 2014). Daarin wordt de kwaliteitsstandaard voor de volgende generatie stroomgebiedbeheersplannen (vanaf 2021) gezet. Omdat er niet voldoende informatie is over de effecten van de concentratie van nitraat in het grondwater op de kwaliteit van terrestrische ecosystemen, wordt in dit rapport de maximale concentratie in het oppervlaktewater uit het Handboek Natuurdoeltypen ook gebruikt voor het grondwater. De waarden zijn <4.4 mg/L nitraat (= <1.0 mg/L N). Er wordt wel gediscussieerd dat grondwater en oppervlaktewater niet per definitie één op één overeen hoeft te komen omdat bij het uittreden binding aan bodemdeeltjes en verdunning een rol speelt. Om die reden wordt in dit rapport ook vermeld dat deze concentraties in het grondwater voor nitraat grofweg een factor 2 en voor fosfaat en factor 5 hoger kunnen zijn. Dit alles maakt het niet gemakkelijk om tot een eenduidige streefwaarde te komen. Daarbij komt dat lager niet altijd beter is: kleine hoeveelheden nitraat in het grondwater kunnen weer andere stoffen bufferen (zoals fosfaat). Wij hebben in de bovenstaande tabel de waarden zoals gesteld door Onderzoekscentrum B-ware naast de berekeningen gezet. Desgewenst kan echter ook een andere waarde uit het bovenstaande als uitganspunt genomen worden.

6 Aanbevelingen voor effectieve evenwichtsbemesting

Nutriëntenboekhouding

Om tot evenwichtsbemesting te komen is het essentieel om een goede nutriënten-boekhouding te hebben. Het moet helder zijn hoeveel van welke nutriënten aangevoerd wordt naar het perceel via de bemesting en hoeveel er afgevoerd wordt via het geoogste gewas. Het is dus belangrijk om de gewasopbrengsten en inhoudsstoffen goed te meten zodat de bemesting hierop afgestemd kan worden. Hiervoor moeten ook van de gebruikte meststoffen bepalingen gedaan worden van de inhoudsstoffen.

Het is verstandig elk jaar de balans op te maken van de aangevoerde en afgevoerde nutriënten. Bepaal van welke nutriënten er een overschot is toegediend en bedenk welke aanpassingen aan de bedrijfsvoering gemaakt kunnen worden om dit overschot het volgende jaar verder terug te dringen.

Naleverend vermogen van de bodem

Hoewel in theorie via evenwichtsbemesting niet meer nutriënten in het systeem komen dan er worden afgevoerd, zullen er in de praktijk nog wel verliezen (uitspoeling) van nutriënten voorkomen. Zeker in de eerste jaren na de start van evenwichtsbemesting, wanneer er nog (grote) reserves van nutriënten in de bodem zitten die gedurende het seizoen vrijkomen. Om deze uitspoeling zo veel mogelijk te voorkomen moet de bemesting worden aangepast op het nutriënten-leverend vermogen van de bodem. Wanneer bijvoorbeeld compost of andere langzaam mineraliserende organische stofbronnen worden toegepast komen daar nutriënten in volgende jaren uit vrij. Ook na het scheuren van grasland levert de bodem nog ruime tijd nutriënten na. Grasklaver percelen kunnen ook stikstof binden en zorgen voor extra beschikbare stikstof in de bodem. Om inzicht te krijgen in het stikstof-leverend vermogen van de bodem moeten regelmatig bodemanalyses worden uitgevoerd, en moet de stikstoflevering in mindering worden gebracht op de bemesting.

Weersomstandigheden

Weersomstandigheden hebben een groot effect op de gewasgroei. Wanneer de gewasgroei terugvalt door bijvoorbeeld droogte zal de opname van nutriënten ook teruglopen. Hierdoor daalt de nutriëntenbenutting en is er een groter risico op uitspoeling. Het is belangrijk de gewasgroei goed in de gaten te houden en de bemesting hierop aan te passen. Verwacht je een vochttekort maar kan je niet beregenen, wees dan terughoudend met bemesten. Dien na een periode van droogte pas weer meststoffen toe wanneer er voldoende neerslag (30-40mm) is gevallen. Wanneer te vroeg weer bemest wordt is het bodemleven onvoldoende op gang gekomen om de nutriënten vrij te maken.

In veel gevallen heeft stikstof zich in de droogteperiode opgehoopt waardoor bemesten na regenval niet direct nodig is.

Opname efficiëntie van nutriënten verbeteren

Evenwichtsbemesting werkt alleen wanneer de toegediende nutriënten ook daadwerkelijk door het gewas worden opgenomen en worden afgevoerd via het geoogste product. De nutriënten opname-efficiëntie van het gewas moet dus zo optimaal mogelijk zijn. Er zijn verschillende manieren om de nutriënten opname-efficiëntie te verhogen. Het soort meststof is een belangrijk aspect. Er zitten grote verschillen in de snelheid waarmee nutriënten vrijkomen uit verschillende mestsoorten en dit moet worden afgestemd op de behoefte van het gewas. Wanneer er bijvoorbeeld veel minerale stikstof beschikbaar is, maar de plant er (nog) geen behoefte aan heeft is er een groot risico op uitspoeling.

Om nog beter te sturen via de bemesting kan gebruik gemaakt worden van precisiebemesting doormiddel van taakkaarten die de opbrengstvariatie in het perceel in kaart brengen. Dit reduceert de kans op uitspoeling van te veel nutriënten op plekken waar de groei door andere redenen dan bemesting achterblijft. Bij mais kan rijbemesting de nutriëntenbenutting ook verbeteren.

Sturen via modellen

Op basis van opname curves of groeimodellen kan de timing van bemestingen nog verder gefinetuned worden. Daarnaast kan het bodemstikstofmodel NDICEA helpen inzicht te geven in de stikstofdynamiek uit organische meststoffen over de jaren heen. NDICEA berekent zowel de stikstofbehoefte per gewas als de hoeveelheid vrijgekomen en uitgespoelde stikstof uit de bodem als gevolg van afbraak van organische stof in de bodem.

Mais na gras

Wanneer mais wordt geteeld na een periode van grasland is het vaak het geval dat er meer stikstof mineraliseert dan er opgenomen kan worden door de mais. Dit resulteert in een hoog risico op nitraatuitspoeling. Door in eerstejaars mais niet te bemesten kan de hoeveelheid stikstof die uitspoelt worden beperkt zonder de maisopbrengst te drukken. Daarnaast kan een onderzaai van gras in de mais ervoor zorgen dat de stikstof die vrijkomt wanneer de stikstofbehoefte vanuit de mais laag is in mindere mate uitspoelt (Truyers et al., 2022). Hierbij is het belangrijk dat het vanggewas niet te vroeg wordt gezaaid om te voorkomen dat het gaat concurreren met de mais, maar tegelijkertijd ook niet zo laat wordt gezaaid dat het vanggewas zich niet meer weet te vestigen onder de grote maisplanten.

Gras-klaver als alternatief voor bemesting

Het inzaaien van gras-klaver in plaats van puur gras kan ook de mate van nitraatuitspoeling beperken. Grasklaver is een zichzelf regulerend systeem. Bij te lage stikstofconcentraties gaat het klaver stikstof binden uit de lucht om de gewasproductie op peil te houden, terwijl bij te hoge concentraties het klaver geen of minder stikstof bindt en in plaats daarvan stikstof gebruikt uit de bodemvoorraad. Hierdoor voorziet gras-klaver in zekere mate in zijn eigen stikstofvoorziening en vereist het een minder hoge mestgift dan regulier grasland. Het gras-klaver systeem kan flexibeler omgaan met fluctuerende hoeveelheden vrijgekomen stikstof in de bodem. In percelen die begraast worden kan gras-klaver hierdoor de pieken in nitraatuitspoeling die veroorzaakt worden door de excretie van urine en mest enigszins beperken.

7 Conclusie

We kunnen concluderen dat evenwichtsbemesting met grasland in theorie goed mogelijk is in het doelgebied rondom de Lemselermaten om de huidige problematiek met nitraatuitspoeling en de hoge sulfaatgehalten zoals gemeten in het onderzoeksgebied sterk te doen verminderen. Ook met mais is dit het geval, maar de effecten daarvan waren wat minder goed en kwamen toch wat hoger uit in nitraatconcentratie. Met diverse technische oplossingen (slow release meststoffen en onderzaaien van een vanggewas) kan dit mogelijk nog wat beter maar dit valt buiten de scope van deze studie.
Om tot evenwichtsbemesting te komen is het essentieel om voortdurend op de hoogte te zijn van de nutriëntenbehoefte vanuit het gewas, de inhoudsstoffen van de beschikbare meststoffen en de inhoudsstoffen van het geoogste product. Alleen dan kan maatwerk geleverd worden via de bemesting om een hoge nutriëntenbenutting te realiseren.
Wanneer de geschatte doelopbrengsten niet gehaald worden (bijvoorbeeld door te droge omstandigheden), is het van belang ook tijdelijk de bemesting te verminderen.

Literatuur

Aggenbach, C. 2021. Expertadvies sulfaatproblematiek Natura 2000 gebied Lemselermaten. Rapport. KWR 2021.067 24 p.

De Boer, H. C. (2005). Effect van najaarsbeweiding en type stikstofmeststof op nitraatuitspoeling uit een droogtegevoelige zandgrond. Animal Sciences Group/Praktijkonderzoek. 16 pp.

de Boo, M., Verloop, J., & Oenema, J. (2014). Hou vast die mineralen (interview met Koos Verloop en Jouke Oenema). WageningenWorld, 2014(1), 24-27.

Boumans, L.J.M. 1994. Nitraat in het bovenste grondwater onder natuurgebieden op zandgrond in Nederland. RIVM Rapport 712300002. 59 p.

Burgt G.J.H.M. van der, Oomen G.J.M., Habets A.S.J. & Rossing W.A.H. (2006) : The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 275-294.

Claessens, J. Verweij, V., Lukacs, S., de Nijs, A.C.M. 2014. Kwaliteitsstandaarden voor interactie grondwater met terrestrische ecosystemen. RIVM Rapport 607402010. 62 p.

Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2021). Bemestingsadvies. Wageningen Livestock Research. https://edepot.wur.nl/413891

Fraters, B., L.J.M. Boumans, T.C. van Leeuwen, J.W. Reijs. 2007. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. RIVM Rapport 680716002. 83 p.

Hart, J., Landgren, C., Fletcher, R., Bondi, M., Withrow, B., Chastagner, G. 2009. Christmas tree nutrient management guide. Western Oregon and Washington. Oregon State University.
https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8856.pdf

Hilhorst, G. J., & Verloop, J. (2014). Tegelijkzaai, onderzaai of nazaai?. Nieuwsbrief Koeien & Kansen, 2014(40), 2-2.

Korevaar, H., Gielen, J., Bos, A. J., Domhof, B., van Essen, E., & van den Brink, C. (2019). Eindrapportage Grondig boeren voor Water. Rapportnr. BF3610WATRP1912121542WM. Royal Haskoning. 80 pp.

Kuiters, A. T., Corporaal, A., Weijters, M. J., & Bobbink, R. (2016). Monitoring van effecten van evenwichtsbemesting op de grondwaterkwaliteit van het Natura 2000-gebied Boetelerveld (No. 2772). Wageningen Environmental Research. 72 pp.

Lucassen, E., Roelofs, J. 2017. Uitwerking onderzoeksvragen in het kader van Natura 2000 gerelateerd aan bodemonderzoek, grondwaterkwaliteit en inschatting interne eutrofiëring. Rapportnr. 2016.044, B-WARE, Nijmegen. 172 p.

Pijlman, J., Hilhorst, G. J., Gerner, L., & van Kessel, T. (2016). Voederbieten: minder stikstofverliezen na scheuren grasland. V-focus, 13(2), 32-33.

Prins, U., de Vries, A., & Deru, J. (2010). Vermindering uitspoeling nutriënten in het Drentsche Aa gebied: verslaglegging maatregelen op bedrijfsniveau: Demopercelen grasklaver en direct zaaien snijmaïs (No. 2010-017 LbD). Louis Bolk Instituut. 23 pp.

Truyers, E., Geudens, K., Van de Ven, G. (2022). Gelijk- en onderzaai gras bij maïs na gescheurd grasland. Landbouwcentrum voor voedergewassen VZW. 5 pp.

Van der Meij, J. en Smeets, H. 2012. Verbeterde kwaliteit kerstdennen met optimale bemesting. DLV plant, januari 2012. https://edepot.wur.nl/289263. 26 pp.

van Middelkoop, J. C., Ehlert, P. A. I., & Regelink, I. C. (2016). Fosfaatgehalte in de bodem blijft voldoende hoog: jarenlange fosfaatbemesting volgens bedrijfsspecifieke gebruiksnormen zorgt voor zes procent lagere drogestofopbrengst. Veeteelt, 33(8), 44-45.

Verbruggen, I., Nevens, F., & Reheul, D. (2003). Risico voor nitraatuitspoeling onder gras-klaver en onder gras zonder klaver: een vergelijking. Publicatie van het Steunpunt Duurzame Landbouw, 3, 1-32.

Verloop, J., Hilhorst, G. J., & Oenema, J. (2007a). Stikstof mineralisatie op melkveebedrijf" De Marke": analyse van waarnemingen en van hun betekenis voor het management (No. 132). Animal Sciences Group. 66pp.

Verloop, J., Hilhorst, G. J., Hermans, A. T. W. M., Oenema, J., & Aarts, H. F. M. (2007b). Verbeterd mineralenbeheer op melkveebedrijven door mestscheiding: verkenning van de bijdrage aan de benutting van N en P aan de hand van resultaten van proefbedrijf 'De Marke' (No. 44). Animal Sciences Group. 43 pp.

Verloop, J., Oenema, J., Burgers, S. L. G., Aarts, H. F. M., & Van Keulen, H. (2010). P-equilibrium fertilization in an intensive dairy farming system: effects on soil-P status, crop yield and P leaching. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 87(3), 369-382.

Verloop, J., & Oenema, J. (2015). Aandachtspunten voor een betere ruwvoerteelt. V-focus, 12(3), 38-39.

Verloop, J., Hilhorst, G. J., Oenema, J., Van Keulen, H., Sebek, L. B. J., & Van Ittersum, M. K. (2014). Soil N mineralization in a dairy production system with grass and forage crops. Nutrient cycling in agroecosystems, 98(3), 267-280.

Verstijnen, Y. & Roelofs, J. 2019. Aanvullend sulfaatonderzoek Lemselermaten (concept rapportage). Onderzoekscentrum B-WARE BV.

De Vliegher, A., Carlier, L., Latre, J., & Martens, L. (2003). Invloed van een vervroegde stopzetting van de begrazing op de grasopbrengsten en de stikstofreserve in de bodem: resultaten 2000-2002. Brochure voedergewassen 2003, oogstjaar 2002. Landbouwcentrum voedergewassen, 12 pp.

de Wit, J., van Dongen, M., van Eekeren, N., & Heeres, E. (2004). Handboek Grasklaver – Teelt en voiding van grasklaver onder biologische omstandigheden. Louis Bolk Instituut, 109 pp.

Zinati, G.M., Heckman, J.R., Vodak, M.C. 2016. Nutrient uptake and removal by Christmas tree harvest. Journal of plant nutrition, 39, issue 11, pp 1506-1512

Bijlage 1: Nutriënteninhoud drijfmest

Kengetallen van Eurofins drijfmestanalyse

Drijfmest	**Kg/m3**
N totaal	4,1
P	0,6
K	4,8
S	0,7

Toelichting grondslagen

In dit document kunt u secties vinden die onleesbaar zijn gemaakt. Deze informatie is achterwege gelaten op basis van de Wet open overheid (Woo). De letter die hierbij is vermeld correspondeert met de bijbehorende grondslag in onderstaand overzicht.

J Art. 5.1 lid 2 sub e

Het belang van de openbaarmaking van deze informatie weegt niet op tegen het belang van de eerbiediging van de persoonlijke levenssfeer van betrokkenen