

Bij het afscheid van een teeltkundige (2)

Optimale inzet van nutriënten

Jaap Schouls, Geert Nijland en Jan Goudriaan

De huidige Nederlandse landbouw gaat gepaard met aanzienlijke vervuiling. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de stijging van het gehalte aan nitraat in oppervlaktewater ten gevolge van emissie uit de landbouw. Volgens een recent rapport voor het Europees parlement is "the point of departure in the Netherlands the worst situation in the whole of Europe, whereas the measures until now are completely unsatisfactory to fulfil the EU Nitrate Directive"¹.

Voor het optimaliseren van de bemesting is inzicht in de basale relaties tussen beschikbaarheid, opname, opbrengst en 'lek' belangrijk. Ook de discussies over het beleid aangaande extensivering, ecologisering, precisielandbouw en dergelijke worden mede bepaald door de wijze waarop deze fundamentele relaties gedacht worden. Daarbij komen ook sociaal-economische aspecten in beeld, maar hier beperken we ons voornamelijk tot de variaties in nutriëntenbeschikbaarheid en de daaruit volgende effecten voor de genoemde relaties en vraagstellingen.

Situatie

In grote lijnen zijn er twee visies te onderscheiden.

De eerste visie treffen we bijvoorbeeld aan in het rapport *Duurzame Technologische Ontwikkeling*². Wezenlijk is daarbij dat bij een hoge input aan nutriënten een hogere nutriëntenproductiviteit (kg output per kg input) en een lagere emissie (kg surplus per kg product) aangenomen wordt dan bij een lage input.

Mechanismen die daarbij verondersteld worden, zijn de volgende:

- Bij een grotere beschikbaarheid wordt het wortelstelsel omvangrijker en vindt dus een grotere benutting van aanwezige nutriënten plaats.
- Door méér van nutriënt A te geven, wordt niet alleen van A, maar ook van nutriënt B méér opgenomen.
- Deze twee (en andere) mechanismen hebben op zichzelf en door positieve interacties TOENEMENDE MEEROPBRENGST (tot punt A in Figuur 1) en TOENEMENDE GEMIDDELDE OPBRENGST (tot punt B) ten gevolge in het traject van nul tot middelmatige hoeveelheden nutriënt; tussen opbrengst en nutriënt ontstaat een SIGMOÏDE-curve, ook wel genoemd een S-curve.

De consequentie van deze visie is dat bij een productie-overschot de marginale gronden buiten gebruik gesteld dienen te worden en dat op de beste gronden een landbouw past met hoge input.

In de tweede visie (zie bijvoorbeeld Middelkoop et al., 1993³, en Van der Werff et al., 1995⁴) wordt landbouw met hoge input juist als relatief inefficiënt beschouwd. Deze vervuult niet alleen per ha maar ook per kg product méér dan *low-input* landbouw. Het laatste betekent dat, gegeven een bepaalde gewenste totale productie in een regio, bij een hogere gift altijd een lagere nutriëntenproductiviteit en meer surplus ontstaan. Als achtergrond hiervan wordt gezien:

- Bij veel kunstmest blijft het wortelstelsel oppervlakkig zodat de nutriënten-voorraad in de diepere bodemlagen niet benut wordt.
- Hoge bodemvoorraad leidt gemakkelijk tot veel uitspoeling bij veel neerslag en onder bepaalde omstandigheden tot grotere, irreversibele immobilisatie.
- Bij veel kunstmest komen minder endogene nutriënten beschikbaar. Leguminosen binden in stikstofrijke grond minder stikstof en fosfaatmobilisatie door mycorrhizae blijkt af te nemen bij een hoger opneembaar fosfaatiniveau in de bodem.
- Variatie in ruimte en tijd van gewas en bodem.

De afnemende meeropbrengst door d, e, f en of g overweegt op de toenemende meeropbrengst die bij harmonieuze combinaties van nutriënten optreedt, zodat de *overall*-curve er één zal zijn van continu AFNEMENDE MEEROPBRENGST, ook te omschrijven als een VERZADIGINGS-curve (zie Figuur 2).

In deze opvatting ligt het voor de hand om - als het doel maximale nutriëntenproductiviteit is - bij een productie-overschot alle gronden in gebruik te houden met een zo laag mogelijke input van nutriënten. Daarbij kunnen op de betere gronden overigens meer nutriënten 'productief' worden toegediend dan op de slechtere gronden.

Werkwijze

Op basis van bovengenoemde theoretische overwegingen hebben Nijland en Schouls⁵ inzicht ontwikkeld in de geldigheid van de twee visies op de belangrijkste relaties in dit verband. Deze basale relaties betreffen primair: beschikbaarheid en opname, opname en opbrengst, beschikbaarheid en opbrengst, en secundair: die tussen retentie en verlies. Ze worden met name bezien bij toepassing van meerdere nutriënten in onderling harmonieuze verhoudingen.

Vervolgens zijn de beide visies aan de hand van beschikbare onderzoeksgegevens getoetst. In een simulatiemodel zijn de implicaties van beide visies 'doorgerekend', ook financieel. Hierna volgt een summiere beschrijving van de resultaten met nadruk op de betekenis ervan voor de praktijk.

Resultaten; beschouwing

Nutriëntenproductiviteit

De relatie tussen nutriënt en opbrengst blijkt⁶ een relatie van AFNEMENDE meeropbrengst te zijn en wel volgens een zogenaamde Michaelis-Mentenrelatie (MM-relatie), zowel theoretisch⁷ als experimenteel⁸. De hoogste productiviteit van een eenheid nutriënt wordt dan bij een zo laag mogelijke hoeveelheid nutriënten gevonden, ook wanneer verschillende nutriënten in vaste verhoudingen worden gegeven.

De heterogeniteit in ruimte en tijd - verschil in bodem, in weersomstandigheden, tussen boeren hier en daar, nu en later - blijkt bij opschaling⁹ in de ruimte (van proefveld naar perceel en vervolgens naar regio) of in de tijd (van een bepaald moment naar een langere periode) kromlijnige relaties met afnemende meeropbrengst tot gevolg te hebben. Dit geldt zelfs als de oorspronkelijke relaties eenvoudige Liebig-relaties (met een recht stijgend stuk en vervolgens een horizontaal stuk) waren.

In deze MM-relaties met continu afnemen- de meeropbrengst zijn nutriënten steeds deels substitueerbaar: voor een bepaalde opbrengst kun je bij veel A met minder B toe¹⁰. Een specifieke opbrengst komt dus niet steeds met dezelfde opname (en dus ook niet steeds met dezelfde gift) tot stand. Het is belangrijk om in elke situatie alle nutriënten in ogenschouw te nemen.

Nutriëntenvoorraad en duurzaamheid

Als op basis van prijsverhoudingen en opbrengsteffecten de optimale combinatie voor de gewenste opbrengst wordt vastgesteld, dan zijn er niet alleen gevolgen van die keuze voor de hoeveelheden opname door het gewas, maar bijgevolg ook voor de voorraden van de verschillende nutriënten in de bodem. Bij toediening van meer A en minder B, zal de bodemvoorraad van A minder dan die van B worden aangesproken. Hierdoor dreigt uitputting ten aanzien van bepaalde nutriënten. C.T. de Wit¹¹ wees erop dat de negentiende-eeuwse agronoom Von Wulffen in een vroege systeem- dynamische studie aannemelijk maakte dat door economische optimalisering op de korte termijn de duurzaamheid op langere termijn niet aangetast hoeft te worden. In Von Wulfens beschouwing kon de boer in periodes met relatief hogere gewasprijzen een grotere aanslag op de bodemvoorraden plegen als hij in periodes met relatief lage gewasprijzen in zijn bodemvoorraad investeerde door een grotere veestapel zodat meer organische mest aangewend werd. In de praktijk is er altijd een zekere bodem-

voorraad. Zelfs als er geen teeltgeschiedenis is, dan is er een geschiedenis van natuurlijke begroeiing. Geen *tabula rasa*¹². Dit impliceert dat, zelfs als een S-curve zou gelden, je in de praktijk van de huidige landbouw vrijwel altijd in het rechter deel van de S-curve zit en je dan dus bijna nooit met toenemende meeropbrengst te maken hebt.

Nutriënten uit andere bronnen

De nutriënten die afkomstig zijn uit andere bronnen, zoals depositie en biologische stikstofbinding, dragen vooral bij lagere voedingsniveaus aanzienlijk bij tot de voorraad aan beschikbare voedingsstoffen. Naarmate het niveau van de externe input daalt, wordt de rol van deze interne input groter. Extensivering (verlaging van input van nutriënten) heeft volgens de bovenstaande gedachten- gang dus een positief effect op de productiviteit van de externe nutriënten¹³.

Nutriëntenoverschot

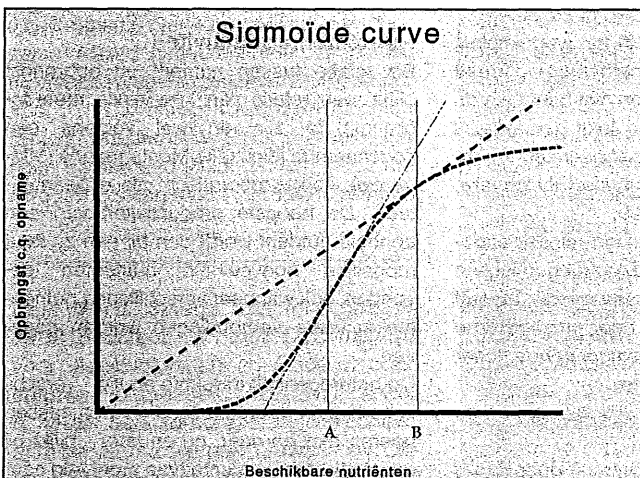
Het nutriëntensurplus per kg opbrengst is bij MM het laagst bij de laagste beschikbaarheid van nutriënten, bij een sigmoïde curve is deze het laagst bij een middelmatige beschikbaarheid. Bij deze beschikbaarheid is de totale vervuiling bij een bepaalde, vooraf gewenste opbrengst ook het geringst¹⁴. De geldigheid van de MM-relatie bevestigt de intuïtieve veronderstelling dat hogere beschikbaarheid leidt tot lagere nutriëntenproductiviteit en grotere emissie. In de literatuur zijn er relatief weinig waarnemingen over opbrengst en nutriënten- surplus over een brede *range* van beschikbaarheid. Een dalend surplus per kg

opbrengst bij verhoging van de beschikbaarheid aan nutriënten komt wel eens voor, maar is eerder uitzondering dan regel. Wanneer een dalend surplus per kg bij een verhoging van de beschikbaarheid wordt gevonden, ontstaat dit vermoedelijk door specifieke interacties: dieper wortelstelsel, groter tekort aan vocht in een later stadium, meer uitspoeling. Het lijkt zich vooral voor te doen bij diep wortelende gewassen met een zeer lang groeiseizoen.

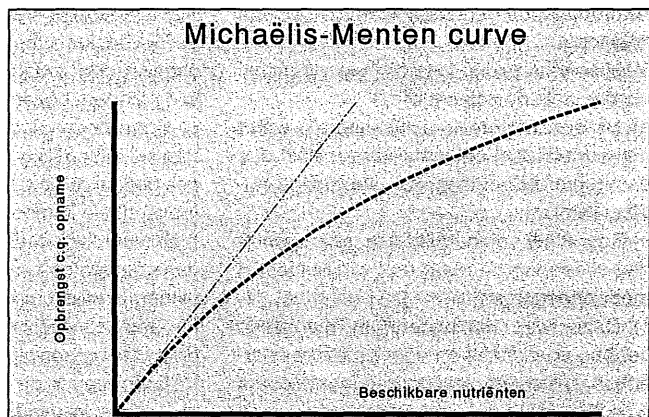
Een laag benuttingspercentage door het gewas hoeft niet altijd samen te gaan met een groot 'lek'. Als het gewas sterk benadeeld wordt door onkruid, neemt dit onkruid uiteraard wel een belangrijk deel van het overschot aan nutriënten op. Minder onkruiden kan dan de nutriëntenproductiviteit doen stijgen, terwijl de uitspoeling tegelijk toeneemt.

Bedrijfseconomie

Boeren maximaliseren niet de nutriënten- productiviteit - dan zouden ze volgens de Michaelis-Mentenrelatie minimale hoeveelheden moeten geven - maar ze proberen het saldo te maximaliseren. Het feit dat hoge nutriëntenproductiviteit en milieuvriendelijkheid¹⁵ (anders gezegd: zuinigheid en zuiverheid) meestal hand in hand gaan¹⁶, is dus niet relevant. Het hoogste saldo per ha ontstaat bij die beschikbaarheid waarbij de kosten van de laatst gegeven eenheid nog juist gedekt worden door de financiële opbrengst die daardoor ontstaat. Bij de Michaelis-Mentenrelaties bleek dat dit in de genoemde studie het geval is bij een enigszins lagere beschikbaarheid dan bij de S-vormige relatie - de laatste blijft langer steil¹⁷.



Figuur 1. Relatie (schematisch) tussen de proportionele beschikbaarheid van meerdere nutriënten en de opbrengst. In het geval van een Mitscherlich-productiefunctie is deze relatie een S-curve, met toenemende meeropbrengst (tot punt A) en toenemende gemiddelde opbrengst (tot punt B). In het punt B zal het nutriëntenoverschot ook het geringst zijn, in het geval dat het om een opnamecurve gaat.



Figuur 2. Relatie (schematisch) tussen de proportionele beschikbaarheid van meerdere nutriënten en de opbrengst. In het geval van een Michaelis-Menten-productiefunctie (MM-curve) is deze relatie een verzadigingscurve, met afnemende meeropbrengst en afnemende gemiddelde opbrengst. De hoogst haalbare productiviteit (ligt bij beschikbaarheid nul) is de raaklijn aan de curve in de oorsprong. De beschikbaarheden waarbij de marginale productiviteit respectievelijk de gemiddelde productiviteit maximaal is, vallen hier dus samen.

Op korte termijn zullen lagere productprijzen leiden tot een lagere optimale input. Op langere termijn zullen lage prijzen ertoe kunnen leiden dat de kleinere boeren op marginale gronden zich niet kunnen handhaven. Als vervolgens de vrijgekomen grond weer gebruikt wordt in *megafarms* met hoge arbeidsproductiviteit en hoge niveaus van input, leiden de lage prijzen alsnog tot een hogere inzet van externe input. De korte- en de lange-termijneffecten van veranderingen van prijzen van input en output (hierbij ook denken aan andere output dan kg drogestof) kunnen dus tegengesteld zijn.

Milieu-economisch van belang is nog dat prijzen van externe input vaak erg laag zijn omdat de kosten van de secundaire effecten er vaak onvoldoende in verdisconteerd zijn. Prijzen van landbouwproducten daarentegen zijn in het algemeen juist relatief hoog door het markt- en prijsbeleid van de overheid. Dat verklaart hoe boeren tot te hoge externe input komen. Evident is dat niet de maximale opbrengst bij voorbaat het best is, zeker niet wanneer de milieukosten op langere termijn in rekening worden gebracht.

Strategieën om te krimpen

Bij een productie-overschot moet gereduceerd worden, hetzij in areaal, hetzij in intensiteit van productie door minder nutriënten, hetzij in beide. Uitgaande van de doelstelling, een zo laag mogelijk verbruik van nutriënten en een zo laag mogelijk nutriëntensurplus per kg product te bereiken, zal een S-vormige relatie tot het braakleggen van marginale gronden en tot hoge giften op de betere gronden leiden. Bij de MM-relatie daarentegen dienen alle gronden in gebruik te blijven, maar met een sterke verlaging van de nutriënten-niveaus¹⁸. Wel dient dan de nutriëntenbeschikbaarheid op de beste grond relatief hoog, en op de slechtste grond relatief laag te zijn. Wanneer echter van de bedrijfseconomische doelstelling van een zo hoog mogelijk saldo wordt uitgegaan, zullen, wanneer de vaste kosten per ha groter worden dan de opbrengsten, ook bij geldigheid van het MM-model de marginale gronden toch buiten gebruik worden gesteld behalve wanneer er bij de boer nog andere overwegingen zijn om dit niet te doen. De bovenstaande beschouwing heeft echter uitsluitend betrekking op de output en de input van de variabele factoren en de daaruit berekende productiviteit.

Criteria bij de keuze tussen extensiveren en intensiveren

De keuze voor al of niet intensieve landbouw wordt enerzijds bepaald door de uitgangsvisie op de basale relaties, anderzijds door de gekozen, maatschappelijke doelen.

Maatschappelijk wordt het niveau van de nutriënten bepaald door de afweging van de behoefte aan voedsel en bio-grondstoffen, de behoefte aan een redelijk inkomen voor de boer, de aanvaardbaarheid van een bepaald niveau van emissie, de wenselijkheid om grond en arbeid anders dan voor de landbouw te gebruiken, en mogelijk nog andere positieve en negatieve functies van intensivering of extensivering. Dit vereist dus een politieke afweging. Ecologie, economie en andere doelen gaan daarbij niet als vanzelf samen¹⁹. Afhankelijk van de gekozen prioriteiten is een ander niveau van externe input optimaal.

Intensivering met precisielandbouw en de (neven)effecten

Ecologische modernisering in de vorm van precisielandbouw - meer kunstmest geven waar de opbrengstpotentie groter is - handhaaft (of versterkt soms zelfs) de heterogeniteit van de grond, zodat de relatie van afnemende meeropbrengst en toenemend surplus per kg product met stijgende beschikbaarheid blijft gelden²⁰.

Extensivering met ecologische landbouw en de (neven)effecten

De aanwending van nutriënten is niet alleen van belang voor de hoogte van de productie, maar ook voor de zekerheid van de productie. Vaak wordt de gift vanuit economisch en ecologisch gezichtspunt te hoog gekozen teneinde al te grote risico's van opbrengstderiving door tekorten te voorkomen. Ervaring en onderzoek zullen meer *know-how* en vertrouwen ter zake moeten opleveren.

Vrijheidsgraden en randvoorwaarden

Onderdelen van bovenstaande analyse kunnen irrelevant worden als er geen 'vrijheidsgraden' zijn in: (i) de opbrengst-niveaus (zoals bij voedseltekort), (ii) de toegestane emissie (zoals in een waterwingebied), (iii) de hoeveelheid toe te passen bemesting (als die niet betaalbaar of niet verkrijgbaar is, zoals in sommige ontwikkelingslanden), (iv) de prijzen van input en output (zoals in de huidige periode van landbouwmarkt-liberalisatie).

Waar een keuze mogelijk is in deze zaken, kan met behulp van bovengenoemde relaties een verkenning uitgevoerd worden.

Noten

¹⁾ COM (98) 16, *Resolution on the reports of the Commission to Council and European Parliament on the implementation of Council Directive 91/676/EEC.*

²⁾ *Duurzaam landgebruik; resultaten definitiestudie.* AB-DLO, PE-LUW, RUL-Mibi en Heidemij Advies BV; werkdocument VDO, interdepartementaal onderzoeksprogram-

ma Duurzame Technologisch Ontwikkeling (DTO) (Delft, 1996), 82 pp.

³⁾ Middelkoop, N., J.J.M.H. Ketelaars en H.G. van der Meer, "Productie- en emissiefuncties voor het gebruik van stikstof bij de teelt van gras ten behoeve van de rundveehouderij", in: *Verkenning van input-output relaties.* NRLO-rapport 93/9 (Den Haag, 1993), pp. 9-52.

⁴⁾ Van der Werff, P.A., A. Baars en G.J.M. Oomen, "Nutrient balances and measurement of nitrogen losses on mixed agricultural farms on sandy soils", *Biological Agriculture and Horticulture*, 11 (1995): 41-50.

⁵⁾ Nijland, G.O., en J. Schouls, *The relation between crop yield, nutrient uptake, nutrient surplus and nutrient application.* Wageningen Agricultural University Papers 97.3 (Wageningen, 1997), 151 pp.

⁶⁾ In deze tekst zijn ter wille van de leesbaarheid de uitkomsten van de genoemde studie als feiten weergegeven, terwijl ze uiteraard slechts gelden binnen de uitgangspunten en vooronderstellingen van de studie.

⁷⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 18-23 en appendix 12.6.

⁸⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 24-35.

⁹⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 14 en 19-20.

¹⁰⁾ Zie referentie in noot 5, p. 23 en figuur 4.3.1 op p. 26.

¹¹⁾ De Wit, C.T., "Een bodemvruchtbaarheidstheorie uit de eerste helft van de 19e eeuw", *Landbouwkundig tijdschrift*, 81 (1981), 8: 245-251.

¹²⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 85-86 en figuur 6.4.1 op p. 48.

¹³⁾ Zie referentie in noot 5, p. 91.

¹⁴⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 68 en 76.

¹⁵⁾ Zie referentie in noot 5, p. 76.

¹⁶⁾ Als uitzondering geldt de situatie waarin bij het bestrijden van onkruid de productiviteit stijgt, maar de emissie toeneemt, zoals gesteld in de paragraaf 'nutriëntenoverschot'.

¹⁷⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 43-45 en figuur 6.3.1.

¹⁸⁾ Zie referentie in noot 5, pp. 57 en 77.

¹⁹⁾ Zie referentie in noot 5, p. 91 en figuur 6.3.2 op p. 44.

²⁰⁾ Zie referentie in noot 5, p. 87.

Ir. J. Schouls was werkzaam als universitair docent bij de leerstoelgroep Gewas- en Graslandkunde van de Landbouwuniversiteit Wageningen. Drs. G.O. Nijland was werkzaam als universitair docent bij de voormalige leerstoelgroep Ecologische Landbouw van de Landbouwuniversiteit Wageningen. Dr.ir. J. Goudriaan is persoonlijk hoogleraar bij de leerstoelgroep Plantaardige Productie-Systemen van Wageningen Universiteit.

