

Voorspelling van fosfaatopname door Engels raaigras

Naar een betrouwbare schatting van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in de bodem

Om eutrofiering van oppervlaktewater te beperken is minimalisatie van uit- en afspoeling van fosfaat in de bodem geboden. Het nauwkeurig vaststellen van de beschikbaarheid van fosfaat (P) in de bodem is dan ook van groot belang om agrarische- en milieudoelstellingen te kunnen integreren. Met de huidige methodieken is dit echter niet goed mogelijk. Vanuit de bodemchemische processen die de beschikbaarheid van P in de bodem bepalen is daarom een nieuwe methodiek afgeleid.

Door Debby van Rotterdam-Los, Wim Bussink, Erwin Temminghoff en Willem van Riemsdijk

Over de auteurs:

drs. Ing. A.M.D. van Rotterdam-Los was ten tijde van de uitvoering van het in dit artikel beschreven onderzoek werkzaam als AIO bij de leerstoelgroep Bodemscheikunde en Chemische Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit. Dit onderzoek werd uitgevoerd in nauwe samenwerking met het NMI. Momenteel werkt zij als milieuadviseur bodem bij de gemeente Nieuwegein.
dr. D.W. Bussink is senior projectmanager Bodem, Milieu, Bemesting bij het Nutriënten Management Instituut NMI
dr. ir. E.J.M. Temminghoff is universitair docent Bodemscheikunde en Chemische Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit.
prof. dr. W.H. van Riemsdijk is hoogleraar Bodemscheikunde en Chemische Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit.

ACHTERGROND

Van oudsher is de landbouwpraktijk erop gericht om gewassen van voldoende fosfaat (P) te voorzien voor een goede groei en gewaskwaliteit. De aanvoer via dierlijke mest en kunstmest overtrof daarbij veelal de afvoer via de oogst met als gevolg een ophoping van P in de bodem en uitspoeling naar het oppervlakte- en of grondwater. Via het stelsel van gebruiksnormen is de P-gebruiksruimte daarom sterk ingeperkt¹. Bij de agrarische sector is er twijfel of er nog wel optimaal bemest kan worden. Om binnen de P-gebruiksruimte op maat te kunnen bemesten wordt het dus steeds belangrijker om de P-beschikbaarheid op een perceel goed te kunnen schatten. Daarom is een meer universele en accurate methodiek ontwikkeld die beter de P-beschikbaarheid in een bodem kan bepalen. De dynamiek van de P-processen speelt hierbij een belangrijke rol. De methodiek is gebaseerd op een combinatie van twee parameters die gangbaar zijn binnen het routinematig bodemonderzoek maar die tot nu toe afzonderlijk van elkaar worden gebruikt. Met de nieuwe methodiek kan de P-status van een perceel beter worden vastgesteld waardoor de huidige P-adviezen naar verwachting met zeker 15 kg P₂O₅ ha⁻¹ verminderd worden.

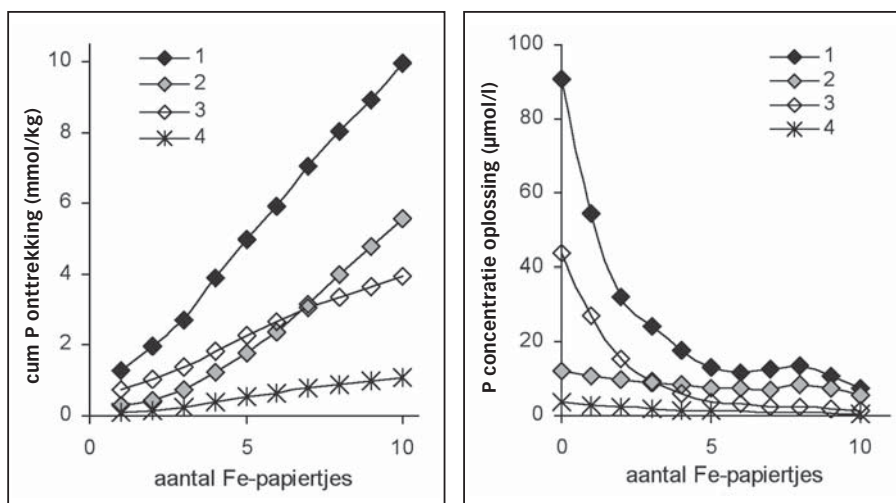
HUIDIGE ROUTINEMATIGE BEPALING VAN DE P-TOESTAND VAN DE BODEM

Al in 1860 beschreef Mulder dat niet de totale hoeveelheid van een nutriënt in de bodem relevant was maar de beschikbaarheid van dit nutriënt². Sindsdien zijn er vele methoden ontwikkeld om deze beschikbaarheid te benaderen³. Binnen het routinematig bodemonderzoek wordt de P-toestand momenteel geschat op basis van één bepaalde extractiemethode. De keuze van deze methode is veelal gebaseerd op efficiëntie op zowel uitvoerend als economisch niveau. Om tot een bemestingsadvies te komen zijn de resultaten van zo'n extractie van oudsher gekoppeld aan gewasrespons in talloze veld- en potproeven. Dit is uitgevoerd voor een aantal gewassen op een aantal representatieve grondsoorten. Vervolgens is dit vaak zwakke correlatieve verband (veelal $r^2 < 0.6$) geëxtrapoleerd naar een algemene relatie die regionaal of voor een land werd toegepast. Zowel de keuze van methode als de interpretatie van de resultaten bieden ruimte voor verbetering. Meer kennis van de P-beschikbaarheid is gewenst om tot betere en scherpere adviezen te komen.

BESCHIKBAARHEID VAN P IN DE BODEM

De beschikbaarheid van P in het milieu en de opname van P in een gewas is een dynamisch proces. Deze is onderzocht door experimenten uit te voeren waarbij P aan een grondsuspensie werd onttrokken door een relatief sterke P-adsorbent (ijzer(hydr-)oxide gecoat papier)^{4,5}. Continue onttrekking werd verkregen door op gezette tijden het Fe-papiertje te vervangen. Deze methode bootst de gewasonttrekking na onder geconditioneerde omstandigheden. De zo onttrokken hoeveelheid P en het effect hiervan op de P-concentratie in de oplossing zijn elke keer als het Fe-papiertje werd vervangen gemeten. Deze experimenten zijn uitgevoerd op sterk van elkaar verschillende Nederlandse landbouwgronden^{5,6}.

Figuur 1 laat de cumulatieve P-onttrekking (Q_{cum}) door 10 Fe-papiertjes zien (Fig. 1a) en de daar bijhorende P-concentratie



FIGUUR 1: DE VERANDERING IN DE CUMULATIEVE P-ONTTREKKING DOOR MIDDEL 10 FE-PAPIERTJES (FIGUUR A) EN DE DAAR BIJHORENDE P-CONCENTRATIE IN DE OPLOSSING OP HET MOMENT DAT IEDER PAPIERTJE WERD VERVANGEN (FIGUUR B) VOOR VIER GRONDEN.

in de oplossing (C) op het moment dat ieder papertje werd vervangen (Fig. 1b). De vier gronden vertonen een grote variatie in Q_{cum} gedurende het experiment. De hoeveelheid P die door de eerste Fe-papertjes wordt onttrokken is nauw verbonden met de initiële concentratie in de oplossing ($r^2=0.97$ $n=17$)⁶. In overeenstemming hiermee is de initiële onttrekking van grond 3 groter dan die van grond 2. Echter, met de voortdurende onttrekking van P gedurende het experiment wordt Q_{cum} van grond 3 lager dan van grond 2 (Fig. 1a). Na twee uur heeft het eerste Fe-papertje uit de verschillende gronden al minstens evenveel P verwijderd als er initieel aan P in de oplossing aanwezig was. Ook in het veld is de P-fractie in de bodemoplossing laag ten opzicht van de hoeveelheid die een plant nodig heeft en erg laag ten opzichte van de totale hoeveelheid P in de bodem. Tijdens het onttrekken van P aan de bodem moet er dus nalevering plaatsvinden vanuit de vaste fase. De fractie die deze direct beschikbare fractie aanvult is P dat reversibel is gebonden aan het oppervlak van bodemdeeltjes en wordt aangeduid met de term P-kwantiteit (Q). Deze nalevering uit zich in de buffering (weerstand bieden tegen verandering) van C. De mate van buffering varieert echter tussen de gronden (Fig. 1b). Zo is bijvoorbeeld het bufferende vermogen (BP) van grond 2 groter dan van grond 3. Ondanks de initieel hogere C van grond 3 in vergelijking met grond 2, resulteert de lagere BP in een sterke daling van C gedurende de onttrekking van P waardoor de beschikbaarheid afneemt. Zoals we net zagen wordt er uiteindelijk minder P aan grond 3 onttrokken dan aan grond 2. De verandering in de hoeveelheid P die kan worden onttrokken gedurende het experiment vertoont een nauwe relatie met de verandering in C.

DESORPTIE-ISOTHERMEN

De desorptie-experimenten met de Fe-papertjes laten zien dat de beschikbaarheid van P in de bodem niet statisch is maar dynamisch. Ze wordt bepaald door de initiële concentratie in de oplossing, BP en Q. Deze parameters kunnen worden geïntegreerd in een sorptie-isotherm welke de relatie weergeeft tussen Q en C tijdens het onttrekken (of toevoegen) van P aan een bodem. BP is een functie van zowel C als Q en is gerelateerd aan de helling van de desorptie-isotherm⁷. In Figuur 2 staan de desorptie-isothermen weergegeven van dezelfde vier gronden als weergegeven in Figuur 1. Pot-experimenten met dezelfde gronden en gras laten zien dat gedurende het onttrekken van P via gras vergelijkbare desorptie-isothermen worden verkregen als met de onttrekking via de Fe-papertjes (Fig. 2). De dynamische beschikbaarheid van P in een bodem is dus te beschrijven via de

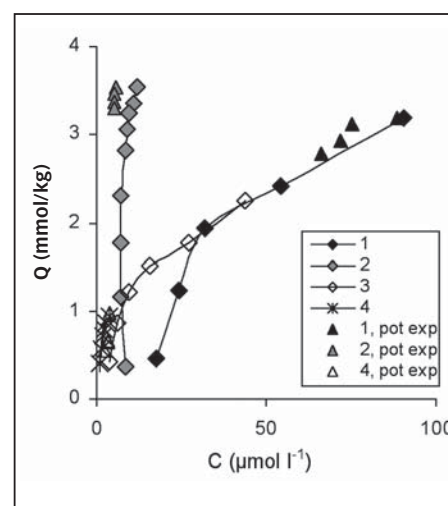
desorptie-isotherm.

DESORPTIE-ISOTHERMEN VERSUS ROUTINEMATIG BODEMONDERZOEK

Een desorptie-isotherm is bodemspecifiek en het bepalen hiervan is arbeidsintensief en duur. Het voorspellen van de desorptie-isotherm is daarom gewenst. Als de aanname wordt gedaan dat de helling van de isotherm constant is en door de oorsprong gaat ($C=0$ bij $Q=0$) dan kan deze lineaire sorptie-isotherm worden bepaald door het meten van zowel een maat voor Q als een maat voor C aan het begin van een experiment of groeiseizoen. Deze Q_0 en C_0 kunnen worden benaderd met een extractiemethode. C_0 kan bijvoorbeeld worden benaderd door P- $CaCl_2$ en Q_0 door P-Olsen of P-AL. Behalve dat Q_0 en C_0 een maat zijn voor respectievelijk de initiële hoeveelheid reversibel gebonden P en de concentratie in de bodemoplossing,

komt de verhouding Q_0 over C_0 overeen met de helling van de isotherm en is daarmee een maat voor het vermogen van de grond om C te bufferen (BP). Dit wordt ondersteund door de experimenten met de Fe-papertjes waarin de relatieve afname in C een nauw verband laat zien met zowel de verhouding P-AL over P- $CaCl_2$ als de verhouding P-Olsen over P- $CaCl_2$ ($r^2=0.89$ $n=17$)⁶.

Er zijn echter meerdere kanttekeningen te plaatsen bij de aanname van een lineaire sorptie-isotherm: (i) De desorptie-isotherm van P is vaak een kromme. Hoe dichter een grond bij zijn adsorptiemaximum komt hoe groter de fout bij de aanname van een rechte sorptie-isotherm. Het onttrekken van P leidt dan tot een sterkere daling in C dan op basis van een lineaire isotherm is te verwachten. De versimpeling heeft dus vooral effect op de nauwkeurigheid van de voorspelling bij gronden met een relatief lage BP, bijvoorbeeld voor de gronden 1 en 3 (Fig. 2). (ii) Er is geen eenduidige methode om Q_0 te bepalen. P-AL en P-Olsen bijvoorbeeld extraheren een behoorlijk verillende hoeveelheid P. (iii) Verder zal de aanname dat alleen het reversibel gebonden P de P-concentratie in de bodemoplossing buffert bij langdurige



FIGUUR 2: DE DESORPTIE-ISOTHERM VAN VIER GRONDEN, AFGELEID DOOR MIDDEL VAN 10 FE-PAPIERTJES DIE ACHTEREENVOLGENDE IN EEN GRONDSUSPENSIE ZIJN GEPLAATST (Q_0 EN C_0 ZIJN GELIJK GESTELD AAN RESPECTIEVEELIJK P-OLSEN EN P- $CaCl_2$). VOOR GROND 1, 2 EN 4 IS OOK DE DESORPTIE-ISOTHERM AFGELEID, AFGELEID DOOR MIDDEL VAN HET ONTTREKKEN VAN P DOOR ENGELS RAAIGRAS IN EEN POTEXPERIMENT.

Perceel	waardering	P-AL (mg P2O5/100g)	P-CaCl ₂ (mg P/kg)	P-gehalte gras (g P/kg ds)
1	Voldoende	35	1,0	3,1
2	Voldoende	32	4,0	4,6
3	Vrij laag	23	6,0	4,1
4	Ruim voldoende	41	2,0	4,2
5	Vrij laag	19	0,24	2,7

TABEL 1: PRAKTIJKVOORBEELDEN WAARIN HET P-GEHALTE IN (1STE SNEDE, MEERJARIG) GRAS OP VERSCHILLENDE PERCELEN MET VERSCHILLENDE NIVEAUS VOOR P-AL EN P-CaCl₂ WORDEN VERGELEKEN. DE WAARDERING IS OP BASIS VAN HET HUIDIGE BEMESTINGSADVIES DAT ALLEEN OP P-AL IS GEBASEERD.

onttrekking niet opgaan. De P dat deel is van de minerale en organische fase en/of P dat is gebonden aan (intern) oppervlak van bodemdeeltjes kan het reversibel gebonden P aanvullen en zo langer dan verwacht op basis van Q_0 een bepaalde, lage, P-concentratie in de bodemoplossing handhaven. Bij het meten van één enkele fractie, zoals normaal is binnen het routinematig bodemonderzoek, kan geen gedetailleerde informatie worden verkregen over de potentiële P-beschikbaarheid als gevolg van het onttrekken of toevoegen van P aan een grond. Zoals hierboven is besproken is dit inzicht wel te verkrijgen met kennis van de grond specifieke desorptie-isotherm. Ondanks de kanttekeningen bij de aanname van een lineaire sorptie-isotherm betekent de informatie, afgeleid uit de combinatie van een maat voor Q_0 en C_0 , een sprong voorwaarts in de nauwkeurigheid waarmee de P-beschikbaarheid is te schatten. De combinatie van deze twee parameters geeft namelijk inzicht in de schaal van de isotherm en door middel van de verhouding

Q over C ook in BP. De onnauwkeurigheid door de aanname van een lineaire isotherm, vooral voor gronden met een lage BP, is te corrigeren door regelmatig grondonderzoek uit te voeren.

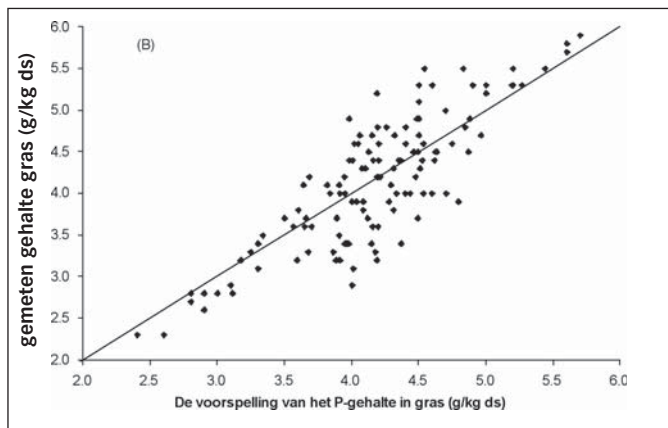
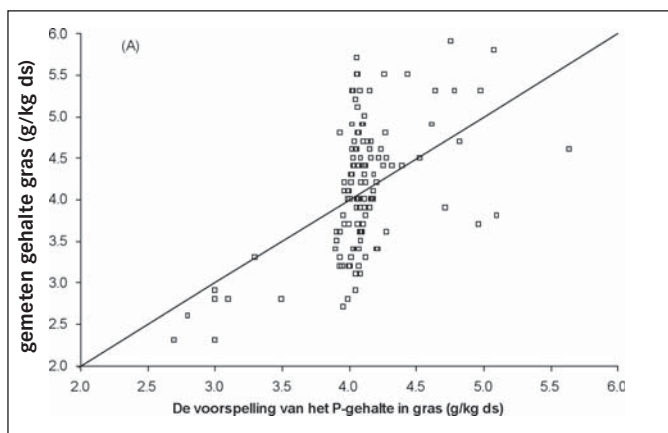
IMPLICATIES VOOR DE PRAKTIJK

Het effect van het gebruik van de combinatie van een maat voor C (P-CaCl₂) en een maat voor Q (P-AL) op het bemestingsadvies is uitgewerkt voor een set praktijkgegevens die zijn verkregen van monitoringproeven op een groot aantal percelen binnen Nederland. De meerwaarde van een combinatie van P-AL en P-CaCl₂ om de beschikbaarheid voor het gewas te bepalen in vergelijking met alleen het gebruik van P-AL blijkt uit twee praktijkvoorbeelden voor raaigras (Tabel 1). De percelen 1 en 2 krijgen de waardering voldoende volgens het huidige bemestingsadvies welke alleen gebaseerd is op P-AL. Ondanks de vergelijkbare waarde voor PAL is P-CaCl₂ voor perceel 2 vier keer zo hoog in vergelijking met perceel 1. De hogere P-CaCl₂ is een indicatie voor de grotere P-beschikbaarheid ondanks dezelfde P kwantiteit (P-AL). Als gevolg is ook het P-gehalte in het gras hoger op perceel 2 dan op perceel 1. Perceel 3 en 4 krijgen de waardering vrij laag en ruim voldoende volgens het huidige bemestingsadvies. Voor perceel 3 is de waarde van P-AL twee keer zo laag als perceel 4 maar is P-CaCl₂ drie keer zo hoog. Uiteindelijk resulteert dit in een gelijke P-gehalte van het gewas op beide percelen. Uit beide voorbeelden blijkt dat het P-gehalte in het gewas niet kan worden afgeleid op basis van P-AL alleen maar wel op basis van de combinatie van P-AL en P-CaCl₂.

Bij het vergelijken van de gemeten en geschatte P-gehalten in gras voor alle gegevens uit de monitoringproeven blijkt dat de combinatie P-AL en P-CaCl₂ een veel nauwkeurigere voorspelling geeft dan op basis van P-AL alleen (Fig.3). Toepassing van deze bevindingen in eerste aangepaste bemestingsadviezen voor grasland laten zien dat de bemesting gemiddeld zo'n 15 kg P₂O₅ ha⁻¹ omlaag gaat ten opzichte van de huidige adviesmethodiek op basis van alleen P-AL. Dit werd bevestigd in monitoringproeven in Drenthe⁸ en Noord-Brabant. Na verdere toetsing in de praktijk zullen deze gegevens resulteren in een nieuw bemestingsadvies waarbij de nieuwe systematiek voor zowel grasland als bouwland is toe te passen. Verder kan het systeem van reparatiebemesting beter onderbouwd worden. Op grond van Tabel 1 zou bijvoorbeeld reparatiebemesting op basis van P-AL op perceel 5 niet nodig zijn, terwijl het gemeten P-gehalte in gras daar wel aanleiding toe geeft en wat in combinatie met P-CaCl₂ wel vastgesteld had kunnen worden. In regio's waar nagedacht wordt over het uitmijnen (ten behoeve van verbetering oppervlaktewaterkwaliteit) zijn betere voorspellingen mogelijk over wanneer uitmijnen leidt tot risico's voor de gewasopbrengst. In de situatie van omvorming van landbouw naar natuur is beter aan te geven hoe lang het duurt voordat de beschikbaarheid voldoende is gedaald voor een bepaalde ecologische doelstelling.

REFERENTIES

1. Ministerie van Justitie. Staatsblad, tekst Meststoffenwet, 2006
2. Mulder G, 1860. De scheikunde der bouwbare aarde, Rotterdam.
3. Neyroud JA and Lischer P, 2003. Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? Journal of Plant Nutrition and Soil Science 166, 422-431.
4. Van der Zee SEATM, Fokkink LGJ and Van Riemsdijk WH, 1987. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. Soil Science Society America Journal 51, 599-604.
5. Van Rotterdam AMD, Temminghoff EJM, Schenkeveld WDL, Hiemstra T, Van Riemsdijk WH, 2009b. Phosphorus removal from soil using Fe oxide-impregnated paper: processes and applications. Geoderma, doi:10.1016/j.geoderma.2009.04.013
6. Van Rotterdam AMD, Temminghoff EJM, Bussink DW, Van Riemsdijk WH, 2009a. Integrating soil phosphorus supply potential and standard soil tests (submitted).
7. Barrow NJ, 1967. Relationship between uptake of phosphorus by plants and the phosphorus potential and buffering capacity of the soil – an attempt to test Schofield's hypothesis. Soil Science 104, 99-106.
8. Hietkamp D, 2008a. Melkveehouders in Drenthe bemesten op maat. Uit de voeten met aangepast advies. Veldpost nr 30.



FIGUUR 3: DE VERGELIJKING VAN HET GEMETEN P-GEHALTE IN (MEERJARIG) GRAS EN HET VOORSPELDE P-GEHALTE IN GRAS GEBASEERD OP (A) P-AL EN (B) EEN COMBINATIE VAN P-AL EN P-CaCl₂. DE DATA ZIJN AFKOMSTIG VAN MONITORINGSGEGEVENS IN NEDERLAND.