

Waterberging en natuurontwikkeling op veenweidegronden

Afgraven
Vernatten
Nutriënten-
beschikbaarheid

De rol van nutriënten

Vernatting van veengronden zonder aanvullende maatregelen leidt niet automatisch tot de beoogde soortenrijke vegetatietypen. Een van de oorzaken is een te hoge fosforconcentratie in de bodem, veroorzaakt door de bemesting in het verleden en mineralisatie na vernatting. De bodemchemie speelt een sleutelrol bij de herbestemming van de landbouwgronden voor natuurontwikkeling en waterberging. Voor een succesvolle restauratie van soortenrijke, matig voedselrijke natuur op veengronden adviseren wij als vuistregel een grenswaarde van 200-300 μmol Olsen-P respectievelijk P-AL per liter bodem.

De uitvoering van “Waterbeleid 21ste eeuw” (WB21, 2000) maakt dat bestuurders op zoek gaan naar gebieden en polders voor de tijdelijke opslag van overtollig water. Het is niet vreemd dat de diepe polders hierbij interesse opwekken. In de gebieden waarvoor plannen gemaakt worden lopen de emoties vaak hoog op (foto 1). Beleidsmakers koppelen graag de doelstelling natuurontwikkeling aan waterberging. Inmiddels tonen uitgevoerde projecten echter zeer wisselende resultaten in het behalen van de gestelde natuurdoelen. Vernatten zonder aanvullende maatregelen leidt vaak tot kroosdekken en soortenarme pitrusvelden (Grootjans *et al.*, 2001; Smolders *et al.*, 2006a; Smolders *et al.*, 2008; foto 2) en niet tot de beoogde soortenrijke vegetatietypen (Van Dijk, 2008). We onderkennen hiervoor twee, deels samenhangende, oorzaken:

1. de milieumstandigheden zijn (nog) niet geschikt. De nutriëntenbeschikbaarheid is door de bemestingshistorie van een gebied vaak nog te hoog (Van Dijk, 2008), of de zuurgraad en de buffercapaciteit van het bodemvocht te laag (Koopmans, 2004; Kemmers *et al.*, 2006). Bovendien kan vernatting de fosformobilisatie uit de bodem nog eens sterk verhogen (Lamers *et al.*, 2005; Smolders *et al.*, 2006b; Van Dijk, 2008).
2. de gewenste vegetatie kan zich niet vestigen door afwezigheid van de doelsoorten in de zaadbank of beperkte kolonisatie van elders (Beltman *et al.*, 2005; Soons, 2006; Jansen *et al.*, 2008). De zaadvoorraad van doel-

soorten (veelal relatief zeldzame soorten) is meestal gering en/of kortlevend (Thompson *et al.*, 1997; Knevel *et al.*, 2005).

In dit artikel plaatsen we milieumstandigheden centraal en met name de grenzen die gesteld worden door de bodemvruchtbaarheid.

De rol van de biochemie

Voor natuurontwikkeling op de hogere zandgronden pleitten Smolders *et al.* (2006a) voor bodemchemisch onderzoek vooraf. Ze hanteren een aantal vuistregels om in te schatten of de situatie kansrijk is. Uit het herstelonderzoek op zandgronden zijn grenswaarden afgeleid, waarbij behoud of ontwikkeling van soortenrijke doelvegetaties kansrijk is. Biologisch beschikbare fosfor is een belangrijke sturende variabele, met een grenswaarde rond de 200-300 μmol per liter bodemvolume (P-AL of Olsen-P), Lamers *et al.* (2005). Deze grenswaarde heeft een zekere bandbreedte, die vermoedelijk afhankelijk is van bodem-vegetatietype, maar hierover is nog weinig bekend. De bruikbaarheid van deze grenswaarde als vuistregel voor het handhaven en ontwikkelen van biodiverse plantengemeenschappen op zandgronden is echter onmiskenbaar (onder andere Smolders *et al.*, 2008). Het is de vraag of een dergelijke vuistregel ook voor laagveen opgaat. Fosforbeschikbaarheid en -binding zijn sterk afhankelijk van bodemeigenschappen waarbij de ijzer-, aluminium- en

BOUDEWIJN BELTMAN,
ALFONS SMOLDERS &
JAN VERMAAT

Dr. Ir. B. Beltman
Leerstoelgroep Landschaps-
ecologie, Universiteit Utrecht,
Postbus 800.84,
3508 TB Utrecht
b.beltman@uu.nl
Dr. A.J.P. Smolders
Onderzoekcentrum B-WARE,
Radboud Universiteit Nijmegen
Postbus 9010,
6500 GL Nijmegen
Dr. Ir. J.E. Vermaat Instituut
voor Milieuvraagstukken, Vrije
Universiteit, De Boelelaan 1087,
1081 HV Amsterdam

Foto **Barend Hazeleger**
bvbeeld.nl.
Oudewater, Tiendweg

calciumconcentratie, de pH en de redoxpotentiaal een belangrijke rol spelen. Juist in veenbodems kunnen het ondiepe waterpeil, de lokale verdichting van de bodem en kwel zorgen voor grote horizontale en verticale variatie van fosforbeschikbaarheid.

In dit artikel verkennen we de variatie in de bodemchemie van landbouwpercelen op laagveen in de polder Mijdrecht vanuit het perspectief van een mogelijk hergebruik voor nieuwe natte natuur of waterberging. We gebruiken een nabijgelegen onbemest blauwgraslandreservaat, het Armenland Ruwiel, als referentiegebied (foto 3). Omdat de bodemsamenstelling op lokale schaal sterk kan variëren door gebruikshistorie en geologie (Schothorst, 1977; Van Beek et al., 2003) zijn we ook geïnteresseerd in de variatie tussen percelen, dus niet alleen in een gemiddelde waarmee veelal gewerkt zal worden in planning en scenario-ontwikkeling. We stellen ons de volgende vragen:

1. Hoe groot is de lokale variatie in bodemchemie binnen de polder, en hoe verhoudt die zich tot de variatie in de diepte en tot die in het referentie blauwgrasland?
2. Is de vuistregel voor de grenswaarde van fosfaat op zand (200-300 μmol per liter bodemvolume) ook in veengebieden toepasbaar?



Foto 1 Boudewijn Beltman De bevolking gaf op creatieve wijze haar mening over de plannen van de provincie om de polder Mijdrecht te gebruiken voor wateropslag (28-10-2006).

Foto 2 Boudewijn Beltman Pitrus opslag na vernatten in Nieuwkoop. De planten zijn 1,5 m hoog en de drijfslaag bestaat geheel uit klein kroos (*Lemna minor*). Bodem-analyses (01-06-2008) op voor de plant beschikbaar fosfaat (Olsen-P) geeft gemiddeld 468 $\mu\text{mol/L}$ P (n=6, spreiding 361-636 $\mu\text{mol/L}$), d.w.z. boven de aangegeven grenswaarde voor soortenrijke natte natuur.

Foto 3 Boudewijn Beltman Natuurreservaat Armenland Ruwiel nabij Kockengen/Breukelen. Een nooit bemest blauwgrasland.

3. Wat betekenen deze resultaten voor kansen op soortenrijke natuur in veenweidegebieden?

Opzet onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in de diepe polder (5,3–6 meter onder NAP) Groot-Mijdrecht. De bodem bestaat uit veen op klei en klei op veen afzettingen in een gelaagde structuur. Er zijn monsters genomen op verschillende dieptes (op 0-10 cm, 15-25 cm, 50-60 cm en op 100-120 cm). De bovenste 15 cm die de zode of wortellaag vertegenwoordigt is niet geanalyseerd in Mijdrecht (wel in Ruwiel) gezien de bewerkelijke uitzoekprocedure voor de wortels en de ervaring dat de concentraties in deze laag alleen maar hoger zijn dan die in de direct daaronder gelegen laag. In totaal zijn 120 monsters geanalyseerd. De monsterlocaties lagen, ruimtelijk gespreid, op landbouwpercelen in de polder en in het natuurterrein Armenland Ruwiel. De monsters zijn gekoeld bewaard en geëxtraheerd volgens standaardmethoden. De verschillende extractiemethoden ontsluiten verschillende fracties van de in de bodem beschikbare fosfor, zie kader p.97. Zowel de Olsen-P als de Ammoniumlactaat-azijnzurextractie (P-Al) benaderen de direct biologisch beschikbare



fosfor; de oxalaatextractie bepaalt de adsorptiecapaciteit aan amorfe ijzer- en aluminiumhydroxiden en daarmee de fosfaatverzadiging van de bodem (PDS). Met de agresieve cocktail van salpeterzuur en waterstofperoxide op 340°C (destructie) wordt het totale gehalte aan fosfor bepaald. Voor alle bodems is ook de bodemdichtheid bepaald (kilogram droge bodem per liter bodemvolume). Alle concentraties zijn vervolgens omgerekend naar micromol of millimol per liter bodem. In de zoutextracten zijn ook de pH en de nitraat- (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+) concentraties bepaald en in het destructie-extract tevens Ca, Mg en Fe.

Resultaten

De lokale variatie in totaal P-gehalte van de bodems in de polder Mijdrecht is aanzienlijk en een deel van de totale P is biologisch beschikbaar – de helling van de regressie Olsen-P/totaal-P suggereert maximaal 10%; figuur 1a). Duidelijk is ook, dat met de diepte de concentratie als regel afneemt. Dieper dan 50 cm blijken de concentraties in Mijdrecht vergelijkbaar met die in het blauwgrasland van Ruwiel. Ook correleren de verschillende fracties P, zoals bijvoorbeeld Olsen-P en P-Al (figuur 1b). De gezamenlijk variatie van alle



Analyse van fosfor- en ijzergehalten in de bodem

Fosfor (P) is in de bodem in verschillende fracties aanwezig. Deze fracties zijn gebonden aan verschillende ionen/stoffen in de bodem (calcium, ijzer, organische stof) en de mate waarin verschilt over een groot pH-traject. Tevens verschillen ze in de mate waarin de P beschikbaar is voor de opname door planten:

1. Aan calcium gebonden P komt vooral voor bij een neutrale tot basische pH. Deze Ca-P-complexen zijn moeilijk oplosbaar en ook voor planten relatief slecht toegankelijk;
2. Het aan amorfe ijzer- en aluminiumhydroxiden gebonden fosfor komt voor bij neutrale tot zuurdere pH's. Deze fractie is te bepalen met een oxalaatextractie $\text{P}(\text{Ox})$ (Kemmers *et al.*, 2005);
3. De biologisch beschikbare fractie wordt met een aantal verschillende 'milde' methoden bepaald. Veel gebruikt zijn de ammoniumlactaat-azijnzuurextractie (P-Al, Egnér *et al.*, 1960), de P-Olsen (met bicarbonaat als extractiemiddel, Olsen *et al.*, 1954) en de zoutextractie (P-NaCl, 35 gram verse bodem met 200 ml NaCl oplossing (0,2M).

Daarnaast zijn een aantal berekeningsmethoden in gebruik om de fosfaatverzadiging in te schatten, zoals de fosfaatverzadigingsgraad $\text{PSD} = 100\% \times (\text{P}_{\text{ox}} / (0,5(\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}})))$. Een veel gebruikte grenswaarde waarboven sprake is van fosfaatverzadiging is 20 % (Kemmers *et al.*, 2005). Ook voor ijzer zijn verschillende fracties te onderscheiden. De fractie die vastgelegd wordt, is niet meer beschikbaar voor planten. Onderscheiden kunnen worden ijzer(hydr)oxiden en ijzersulfiden (FeS en FeS_2 (pyriet)). Met name in anaerobe, zwavelrijke bodems kan een belangrijk deel van het ijzer zijn vastgelegd als ijzersulfide waardoor de Fe-beschikbaarheid voor P-binding sterk is verminderd. Indien een bodem pyrietrijk is of veel sulfaat wordt aangevoerd met oppervlaktewater, kan de fosfaatbinding aan ijzer sterk afnemen, met eutrofiering als gevolg (Smolders *et al.*, 2003, 2006b).

bodemvariabelen is bekeken met een principale componenten analyse (figuur 2). De eerste drie nieuwe synthetische assen verklaren 74% van de totale variatie, een duidelijke indicatie van sterke covariatie van de verschillende variabelen. Inderdaad zien we duidelijke clusters (figuur 2). Met toenemende diepte blijkt de concentratie beschikbaar P duidelijk af te nemen. Met toenemende gehalten organische stof, dus in onveraaarde veenbodems, neemt de Fe(Ox) af, en nitraat en het totale P-gehalte covariëren zowel met de beschikbare P als met de Fe(Ox). Ten slotte covarieert de cluster bindingsplaatsen (tot-Fe + tot-Al + tot-Ca + tot-Mg) zowel positief met diepte als met Fe(Ox).

Kort door de bocht betekent dit dat in de meest organische veenbodems de laagste totaal P-concentraties worden gemeten, en dat er minder beschikbaar fosfor is in de diepere strata. De Olsen-P en de ammoniumlactaat-azijnzuur-P (P-Al, figuur 1a) tonen een mooi rechte lijn verband. Hieruit kan worden afgeleid dat in elk geval voor de polder Mijdrecht beide extractiemethoden even geschikt zijn om in te schatten of en tot hoe diep afgegraven zou dienen te worden om een P-gelimiteerde uitgangssituatie te krijgen.

Globaal bekeken zijn de waarden voor Olsen-P slechts circa 5-10 % van de totaal P-concentratie. Vergelijken met de zandgronden – met concentraties vaak veel hoger dan 1000 $\mu\text{mol/l}$ bodem – zijn de Olsen-P waarden relatief laag. De Olsen-P concentraties van het nooit bemeste blauwgrasland Ruwiel zijn inderdaad vele malen lager dan die uit de landbouwgebieden (figuur 1) en liggen in de orde van grootte van 200-300 $\mu\text{mol/l}$ Olsen-P of P-Al. Deze natuurlijke concentraties zijn gelijk aan de grenswaarde voor voedselarme(re) (P-gelimiteerde) vegetatietypen, zoals opgesteld door Smolders *et al.* (2006) voor zandgebieden. Voor stikstof (N) is een grote variatie waargenomen en het nitraatgehalte (NO_3^-) neemt af met de diepte.

Discussie

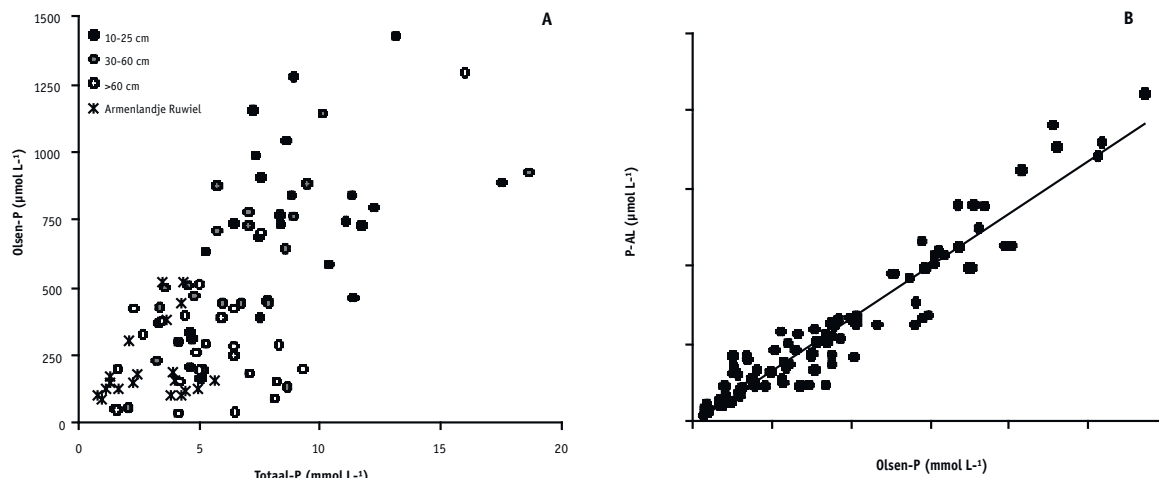
Het bodemonderzoek in Mijdrecht laat zien dat er veel variatie bestaat in nutriëntenbeschikbaarheid in de ruimte afhankelijk van het landgebruik. Overal in de landbouwpercelen worden aan het oppervlak hogere waarden totaal P, ijzergebonden fosfaat P(Ox) en biologisch beschikbaar fosfaat (Olsen-P en P-Al) gemeten.

Figuur 1a Beschikbaar fosfaat (Olsen-P) uitgezet tegen totaal-P. De monsters uit het onbemeste natuurreservaat Armenland Ruwiel tonen lage totaal-P en beschikbare fractie. In formule: $y=2.6+0.00077x$, $R^2=0.53$, $p<0.001$.

Figure 1a Available phosphate (Olsen-P) against total-P. The samples from the nature reserve Armenland Ruwiel (not fertilized) have lower total-P and availability. Formula: $y=2.6+0.00077x$, $R^2=0.53$, $p<0.001$.

Figuur 1b Twee beschikbaar fosfaat fracties (Olsen-P versus Ammoniumlactaat-azijnzuur-P) tonen een duidelijk lineair verband: $y=-6.7+0.68x$, $R^2=0.91$, $p<0.001$.

Figure 1b Two available phosphate fractions (Olsen-P versus Ammoniumlactaat-azijnzuur-P) show a clear linear interdependence: $y=-6.7+0.68x$, $R^2=0.91$, $p<0.001$.



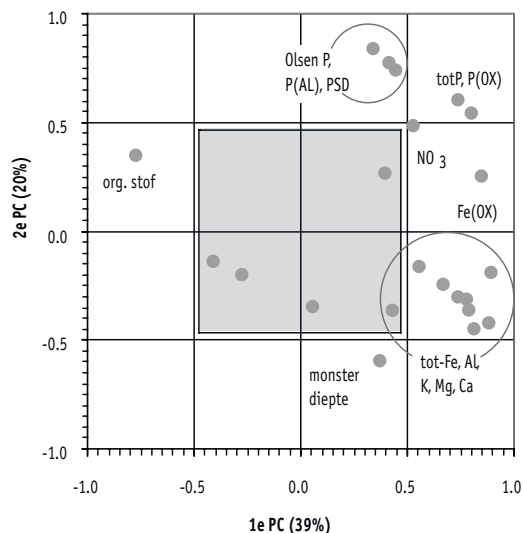
De totaal P-concentraties zijn niet zo extreem hoog als de concentraties die op de zandgronden gevonden zijn (Lamers et al., 2005; Smolders et al., 2006a; Smolders et al., 2008). De P(Ox) fractie toont een sterke correlatie met totaal P (figuur 2), hetgeen suggereert dat P-binding aan ijzer en aluminium een belangrijke rol speelt bij de immobilisatie van P. Uit de extracties blijkt echter dat een groot deel van het fosfor en ijzer in de bodem in respectievelijk de P(Ox) en de Fe(Ox) fractie voorkomt. Dit doet vermoeden dat met een oxalaatextract in organische, gereduceerde bodems (met veel ijzersulfideverbindingen (FeS)) een overschatting plaatsvindt van de amorfe ijzerfractie. Mogelijk gaat ook een deel van het aanwezige ijzersulfide, na oxidatie, in oplossing in het extract. Deze overschatting wordt uiteindelijk ook doorberekend in de fosfaatverzadigingsgraad, de PSD. Uit de berekening van de PSD, waar immers de Fe(Ox) in de noemer staat, zou blijken dat nagenoeg geen van de bodems fosfaatverzadigd (PSD > 20%) is. Dit betekent dat de veel toegepaste P(Ox) en daarmee de PSD (fosfaatverzadiging) bepaling wellicht minder geschikt zijn voor reductieve organische bodems.

Experimenten met fytoeters (zie kader p. 100, en figuur 3) laten zien dat planten een luxe opname tot 4-8 mg/g P in de droge biomassa vertonen en stikstofconcentraties tot 25 mg/g N, een overschot indicatie. Zelfs in de afgegraven situatie liggen de P-concentraties in de plant rond de 0,7 mg/g P en de stikstof boven de 15 mg/g N, daarmee zeker geen limiterende omstandigheden indicierend (Van der Vegt, 2006).

De toename van organische stof met de diepte, die in het PCA diagram (figuur 2) samenviel met een afname in P, komt overeen met resultaten van Olde Venterink et al. (2001). Ook zij vonden het percentage organische stof als eerste, belangrijkste verklarende factor voor soortenrijkdom en productiviteit respectievelijk nutriëntenrijkdom. De grenswaarde voor voedselarme of matig voedselrijke

vegetatietypen (200-300 µmol/l P) wordt onder weilanden alleen beneden de 50 cm diepte en in het referentiegebied over de gehele diepte gradiënt gemeten. Voor voedselrijke riet en liesgrasnatuur en (onder zeer ijzerrijke omstandigheden) dotterbloemgraslanden kan een hogere Olsen-P grenswaarde worden aangehouden van 500-800 µmol/l (database B-WARE). Deze waarde lijkt in het veenweidegebied door afgraven overal bereikt te kunnen worden. Op plekken waar de fosfaatconcentratie hoog is, wordt ook (nog) een hoger stikstofgehalte in de bodem gemeten als gevolg van de bemesting. Uitmijnen (Koopmans, 2004; Kemmers et al., 2006) is een alternatief maar vergt een lange adem omdat steeds slechts een relatief klein deel van de fosfaatvoorraad van de bodem wordt afgevoerd.

Op basis van dit onderzoek kan gesteld worden dat het inrunderen van landbouwgrond op laagveen of plasdras vernatten waarschijnlijk leidt tot sterke eutrofiëring, met een beperkte diversiteit qua planten (figuur 2; zie ook Van Dijk, 2008). Indien eenmaal de P uit de bodemcomplexen is bevrijd, dan zal de snellere omloop in de algen of ho-



Figuur 2 Principale componenten analyse van alle variabelen. De correlatiecoëfficiënten van de variabelen met de principale componenten zijn weergegeven. De eerste principale component correleert negatief met organische stof en positief met Fe(Ox); de tweede negatief met diepte en positief met P(AL) en Olsen-P. Intermediaire clusters worden gevormd door de bindingsplaatsen (tot-Fe + tot-Al + tot-Ca + tot-Mg + tot-K), door tot-P en P(Ox). De derde as verklaart 15% en correleert significant met totaal zwavel.

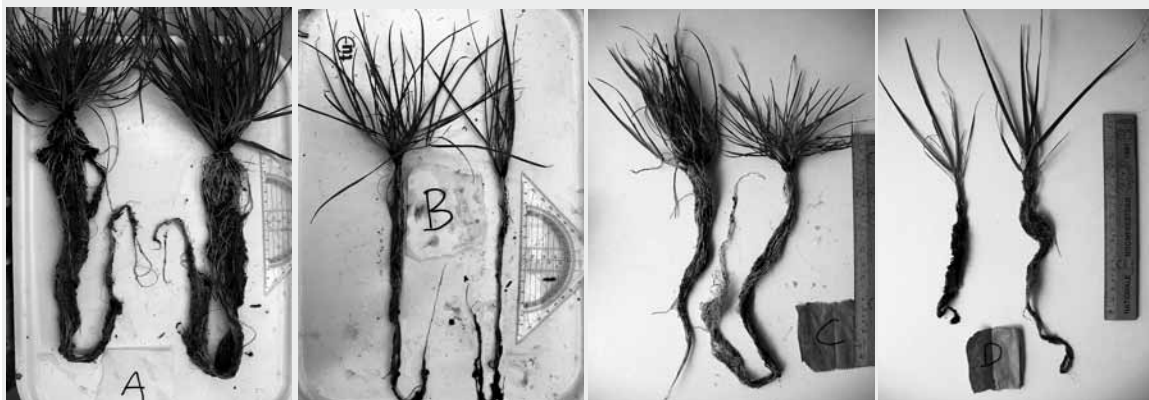
Figure 2 Principal Components Analyses of all the variables. The correlation coefficients of the variables with the principal components are shown. The first principal component correlates negatively with organic matter and positively with Fe(Ox); the second negatively with depth and positively with P(AL) and Olsen-P. Intermediate clusters are being formed by binding places (tot-Fe + tot-Al + tot-Ca + tot-Mg + tot-K), by tot-P and P(Ox). The third axis counts for 15% and correlates significantly with total sulfur.

gere planten (kroos en pitrus) eutrofiëringsproblemen blijven veroorzaken. Hiermee kan het advies van Smolders *et al.* (2006a) gevoelig onderschreven worden: bodemonderzoek vooraf kan veel ellende en ineffectieve investeringen voorkomen.

Goedkope oplossingen zoals het louter plasdras vernatten van landbouwgrond of het opzetten van het peil zonder flankerende maatregelen zullen niet leiden tot soortenrijke voedselarme natuur met de gewenste doelsoorten. Robuste, eutrofe moerasnatuur met recreatiemogelijkheden

Fytometerest

Of een verlaagd nutriëntengehalte en vernatting inderdaad effect hebben op de plantengroei kan getest worden met fytometers (Wheeler *et al.*, 1992) In een experimentele opstelling worden dan de maatregelen vergeleken met een controlesituatie, waarin niets gebeurt. In dit geval zijn er twee maatregelen: afgraven van de nutriëntrijke bovenlaag en vernatten. Dit geeft in een experiment vier varianten: (1) de controle (2) vernatten, (3) afgraven en (4) vernatten en afgraven. Bodemkolommen zijn in de kas in een proefopstelling gebracht met vier behandelingen: de oorspronkelijke 0-30 cm-laag zowel droog (controle) als vernat en de onderliggende 30-60 cm ook in een natte en droge behandeling. Alle vier varianten zijn in 10-voud uitgevoerd. Dezelfde bodemanalyses als in het veldonderzoek zijn gedaan voor en na het experiment. In dit voorbeeld zijn op de kolommen drie fytometers geplant, planten die als testmeetlat dienen: Engels raaigras (*Lolium perenne*, de huidige dominante plant), kamgras (*Cynosurus cristatus*) en echte koekoeksbloem (*Lychnis flos-cuculi*), soorten die in schraallanden kunnen voorkomen (Van der Vegte, 2006). Van deze planten is de biomassa gemeten en de nutriënteninhoud geanalyseerd. Figuur 3 toont de fytometers, na 60 dagen, op de bodemcilinders in de vier varianten: originele toplaag droog (C) respectievelijk originele toplaag vernat (A) en 30 cm afgegraven zowel droog (B) als nat (D). Het beelden zijn consistent. Afgraven vermindert het bodem-P gehalte ten opzichte van de originele toplaag, maar in de variant plasdras zetten zonder afgraven (dus originele bodem-nat) wordt het gehalte aanzienlijk verhoogd. Alle drie de fytometers reageren verschillend, maar duidelijk is dat plasdras altijd tot verhoogde groei aanleiding geeft, terwijl bij vernatting na afgraven dit niet optreedt.



Figuur 3 De planten (fytometers) na 60 dagen bij de verschillende behandelingen: originele toplaag droog (A) respectievelijk originele toplaag vernat (C) en 30 cm afgegraven zowel droog (B) als vernat (D).

Figure 3 The plants (phytometers) after 60 days under different conditions: original top layer dry (C), and wet (A), and after digging 30 cm off the top/ layer, dry (B) and wet (D).

zal zich goed kunnen ontwikkelen na het verwijderen van de bouwvoor tot 30 à 50 cm diepte. Met een lokaal wisselend peilbeheer in de zomer zouden door de oxidatie van de droogvallende grond extra doelen bereikt kunnen worden (Smolders *et al.*, 2003, 2006b). Door het binnendringen van zuurstof zal het gereduceerde Fe²⁺ (ferro-ijzer) omgezet worden in Fe³⁺ (ferri-ijzer). Deze Fe³⁺-voorraad zal de aanwezige fosfor steviger vastleggen. Een neven-doel zou kunnen zijn dat ammonium geoxideerd wordt tot nitraat, dat bij een volgende vernatting gebruikt wordt door denitrificerende bacteriën. Daarnaast kan sulfide oxideren tot sulfaat dat geen ijzer vastlegt. Een extra verzuringsrisico ligt evenwel op de loer. Daarnaast geeft elke drooglegging een risico van enige mineralisatie van de veenbodem (Baas, 2001), vandaar dat korte perioden van peilverlaging vermoedelijk te verkiezen zijn.

De drie gestelde vragen naar variatie, grenswaarden en toekomst kunnen duidelijk beantwoord worden. Ondanks het landbouwgebruik van de laatste 50 jaar is er nog veel variatie in ruimte en diepte aanwezig, dit biedt kansen voor de toekomst. Voor het ontwikkelen van soortenrijke, voedselarme natuur van het type blauwgraslan-

den kan een grenswaarde van 200-300 µmol/l Olsen-P of ammoniumlactaat-azijnzuur-P worden aangehouden. Bij een hogere fosfaatbeschikbaarheid kan het best worden ingezet op een eutrofer natuurdoeltype, bijvoorbeeld rietmoeras. Hiermee kunnen uitbreidingen van natuurgebieden of verbindingzones ingericht worden, zodat dispersie en vestiging van zeldzaam geworden vegetatietypen betere kansen krijgen.

Dank

De auteurs danken Annet van Biezen en Hans Mankor van de provincie Utrecht, Dienst Ruimte en Groen, de particuliere landeigenaren, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Marcel Klinge & Lennart Turlings (Witteveen+Bos), Paul van der Ven en Sandra Robat voor hun bijdrage aan het onderzoek. Fenneke van der Vegte voerde het fyto-meter experiment uit en leverde de foto's voor figuur 3, waarvoor onze dank. Zij werd onder meer begeleid door Tom van den Broek van Haskoning. Dit onderzoek is gedeeltelijk gefinancierd door de provincie Utrecht en uitgevoerd onder coördinatie van Witteveen+Bos (2006).

Summary

Nature development on meadows: the role of nutrients

Boudewijn Beltman, Alfons Smolders & Jan Vermaat

Sod removal, re-wetting, availability of nutrients

The variation in phosphorus availability in peat soil was studied in meadows in agricultural use and in a never fertilized nature reserve. We were interested if a standard could be derived for plant species-rich, moderate nu-

trient-rich nature. Soil samples till 1.2 meter deep were analysed with different methods Oxalate-extraction, the Olsen-extraction, the ammonium-lactate-vinegar-acid-extraction (P-Al), the salt-extraction and the total-P content. Also ICP analyses of Fe, Ca, K, Na, S were carried out. Olsen-P and P-Al showed a nice linear relation. Olsen-P decreased with depth and the total-P, nitrate, Fe and most cations were negatively correlated with organic matter content. As a rule of thumb for conservation and restoration of species rich nature a target level of 200-300 µmol Olsen-P or P-Al per liter soil is advised.



Literatuur

- Baas, W.J., 2001.** Bodemdaling in veengebieden. *Landschap* 18/2 109-117.
- Beek, C.L. van, L. Brouwer, & O. Oenema, 2003.** The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator of nitrogen leaching to surface water. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 67, 233-244.
- Beltman, B., T. van den Broek & P. Vergeer, 2005.** Het beperkte succes van laagveenrestauratie. *Landschap* 22/4 173-180.
- Dijk, J. van, 2008.** Vernatting in het westelijk veenweidegebied. *Landschap* 25/1: 4-15.
- Egnér, H., H. Riehm & W.R. Domingo, 1960.** Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden. II Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungl. Landbrukshögskolans Annaler* 26:199-215.
- Grootjans, A.P., P. Vrieling, M. Bakker, B. Beltman, A.C. Zuidhof & R.H. Kemmers, 2001.** Bevoeiing als beheersmaatregel; mogelijkheden voor herstel van verzuurde en verdroogde graslanden. Eindrapport fase-2 OBN. Ede. EC-LNV nr 2001/052.
- Jansen, A., J. Schaminée & A. Stortelder, 2008.** Koolmansdijk, parel in de Achterhoek door succesvol natuurherstel. *De Levende Natuur* 109: 228-233.
- Kemmers, R.H., 2005.** Haalbaarheid natuurdoelen op fosfaatverrijkte gronden: dertig jaar natuurontwikkeling op fosfaatverrijkte landbouwgronden. Wageningen. Alterra rapport 1040.
- Kemmers, R.H., A.T. Kuiters, P.A. Slim & J.P. Bakker, 2006.** Is ontgronden noodzakelijk voor natuurherstel op voormalige landbouwgronden. *De Levende Natuur.* 107: 170-175.
- Knevel, I.C., R.M. Bekker, D. Kunzmann, M. Stadler & K. Thompson, 2005.** The LEDA traitbase collecting and measuring standards of life-history traits of the Northwest Europe flora. University of Groningen. ISBN 90 367 2321 3.
- Koopmans, G.F., 2004.** Characterization, desorption and mining of phosphorus in non-calcareous Sandy soils. Wageningen. Proefschrift.
- Lamers L., E. Lucassen, F. Smolders & J. Roelofs, 2005.** Fosfaat als adder onder het gras bij "nieuwe natte natuur" *H₂O* 22:28-30.
- Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe & L. A. Dean, 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ 939.* Washington, D.C. US Government Print Office.
- Olde Venterink, H, M.J.Wassen, J.D.M. Belgers & J.T.A. Verhoeven, 2001.** Control of environmental variables on species density in fens and meadows: importance of direct effects and effects through community biomass. *J. of. Ecology* 89:1033-1040.
- Schothorst, C.J., 1977.** Subsidence of low moor peat soils in the western Netherlands. *Geoderma* 17, 265- 291.
- Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen & J.G.M. Roelofs, 2003.** Waterpeilregulatie in broekbossen: bron van aanhoudende zorg. *H₂O* 36: 17-19.
- Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, H.B.M. Tomassen, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2006a.** De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad voor Natuur, Bos en Landschap* 3(4): 5-11.
- Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen & J.G.M. Roelofs, 2006b.** Internal eutrophication: How it works and what to do about it, a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.
- Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, M. van der Aalst, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2008.** Decreasing the abundance of *Juncus effusus* on former agricultural lands with non calcareous sandy soils: possible effects of liming and soil removal. *Restoration Ecology* 16: 240-248.
- Soons, M.B., 2006.** Wind dispersal in freshwater wetlands: Knowledge for conservation and restoration. *Applied Vegetation Science* 9: 271-278.
- Vegte, F. van der, 2006.** Natte natuur in de polder Groot Mijdrecht. Master-verslag Biologie. Universiteit Utrecht.
- WB21, 2000.** Waterbeleid voor de 21^e eeuw. Geef water de ruimte en aandacht die het verdient. Advies van de commissie Waterbeheer 21^e eeuw.
- Wheeler, B.D., S.C. Shaw & R.E.D. Cook, 1992.** Phytometric assessment of the fertility of undrained rich-fen soils. *Journal of Applied Ecology* 29: 466-475.
- Witteveen+Bos, 2006.** Functiecombinatie natuur en water Groot-Mijdrecht-Noord. Rapport UT479-2.