

Bodemontwikkeling en nutriënten in het Smoddebos

Bodemontwikkeling en nutriënten in het Smoddebos

Basisprogramma bosreservaten

**R.H. Kemmers
P. Mekking**

Alterra-rapport 739

Alterra, Wageningen, 2003

REFERAAT

Kemmers, R.H en P. Mekking, 2003. *Bodemontwikkeling en nutriënten in het Smoddebos; Basisprogramma bosreservaten*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 739. Alterra-rapport 739. 37 blz. 12 fig.; 13 ref.

Het Smoddebos (Ov) is een rijk bossysteem op keileemgrond met Gt V. In een transect door een vochtig en een droog bosgedeelte is het humusprofiel beschreven en bodemchemisch onderzocht. De zuur/basen- en de voedingstoestand van de bodem zijn bepalend voor het humusvormtype en kunnen worden verklaard uit een lokaal infiltratie-kwelsysteem. Middenop de rabatten komen matig zure, ijzerarme en matig voedelijke standplaatsen voor. Langs de greppels zijn basen- en ijzerrijkere condities aanwezig met een goede vertering van organische stof en voedselrijkere omstandigheden. In het droge transect II is het effect van begreppeling vrijwel afwezig, is de bodem zeer zuur en voedselarmer. In transect I is een natuurlijk proces van verzuring gaande, terwijl in transect II de zure omstandigheden zijn ontstaan door grondbewerking. De koolstof-, stikstof- en fosforvoorraad in de transecten bedraagt gemiddeld resp. 9,8-14,2 kg, 0,91-1,02 kg en 87-110 g per m². Door bevoeiing in het verleden is de koolstof- en fosforvoorraad in de bodem van transect II significant groter dan in die van transect I. Binnen de transecten varieert de voorraad sterk.

Trefwoorden: Rijke bossen, keileem, bodemontwikkeling, basenverzadiging, nutriënten.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €13,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 739. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Gebiedsbeschrijving	13
2.2 Methoden	13
2.2.1 Inventarisatie en bemonstering	13
2.2.2 Bodemchemische analyse	15
2.2.3 Dataverwerking	15
3 Resultaten, discussies en conclusies	17
3.1 Inventarisatie humusprofielen	17
3.2 Bodemchemische analyses	18
3.2.1 Basentoestand	18
3.2.2 De voedingstoestand	19
3.2.3 De eutrofiëringstoestand	21
3.2.4 Voorraden	23
3.3 Ruimtelijke patronen	26
4 Synthese	31
4.1 Bodemontwikkeling en nutriënten transsect I	31
4.2 Bodemontwikkeling en nutriënten transsect II	31
4.3 Hypothesen	32
Literatuur	35
Bijlage 1 Bodemchemische analyses	37

Woord vooraf

In 1987 is door de Minister van Landbouw en Visserij officieel besloten tot de instelling van bosreservaten om het inzicht te verdiepen in natuurlijke processen bij de bosontwikkeling. In het onderzoekprogramma bosreservaten wordt onderscheid gemaakt tussen een start- en een basisprogramma. Voor het bodemkundige deel loopt het startprogramma inmiddels ca. tien jaar. In 1997 is het basisprogramma voor het bodemkundig onderzoek van start gegaan. Het basisprogramma (Broekmeyer, 1995) voorziet in de mogelijkheid om een aantal bodemchemische variabelen te monitoren met een herhalingsfrequentie van 10 jaar. Gedurende de eerste jaren zijn bosreservaten van de armere pleistocene zandgronden bestudeerd. In 1997 is in de bosreservaten Norgerholt en Tongerense hei de uitgangstoestand vastgelegd ten dienste van deze monitoring (Kemmers et al., 1998). In 1998 volgden de opnamen in de reservaten Lheebroek en Mattemburgh (Kemmers et al., 1999) en in 1999 in het reservaat Galgenberg (Kemmers et al., 2000a). In 2000 zijn een tweetal rijke bossen op resp. een kalkhoudende zandgrond met een kleidek (Houtribbos) en een kalkrijke kleigrond (Hollandse Hout) geïnventariseerd (Kemmers et al. 2000b).

In 2002 is een project van start gegaan waarin rijke bosesystemen worden onderzocht die beïnvloed worden door opkwellend grondwater. Het onderzoek werd uitgevoerd in de kernvlakte van het bosreservaat Smoddebos nabij Losser (Ov). Het Smoddebos is een oud bosesysteem met een rijk karakter. Dit rijke karakter hangt samen met de keileemondergrond en de mogelijke toestroming van basenrijk grondwater. Het veldwerk werd uitgevoerd in de eerste helft van mei 2002. De chemische analyses zijn uitgevoerd door het bureau Giessen en Geurts te Ulft. Het onderzoek werd gefinancierd door het DWK-programma 382 en uitgevoerd in het kader van het project 'Bosreservaten'.

Het veldwerk en de dataverwerking werd uitgevoerd door P. Mekink. De analyse van de data werd uitgevoerd door R.H Kemmers. De projectleiding berustte bij R.W. de Waal.

Samenvatting

Er is de laatste decennia een achteruitgang geconstateerd in de kwaliteit van grondwatergevoede en andere vochtige tot natte rijke bossystemen op de pleistocene zand- en leemgronden. Processen als verdroging en verzuring kunnen leiden tot belangrijke veranderingen in de voedingsstoffen- en de zuurhuishouding van de bodem. Met name van de door grondwater gevoede bossen is nauwelijks bekend wat voor veranderingen in het humuscompartiment plaatsvinden bij afname van de grondwaterinvloed en bij verdroging.

Het doel van het onderzoek waar dit rapport een verslag van geeft is de voedingstoestand (N, P) van de bodem te karakteriseren in relatie tot de vocht-en zuur/basentoestand langs een tweetal transecten in het Smoddebos nabij Losser (Ov.).

Het onderzoek werd uitgevoerd in het reservaatgedeelte dat is gelegen op een tweetal maten, die vroeger regelmatig met beekwater werden bevoeid. Het bos is tussen 1850 en 1900 aangeplant op rabatten. In de voormalige noordoostelijk maat is de kernvlakte uitgezet. De bodem van het Smoddebos bestaat uit keileemgrond met een minerale eerdlaag op Gt V. Het *Stellario-Carpinetum typicum* is de potentieel natuurlijke vegetatie van de kernvlakte (transect I). In de zuidelijke maat (transect II) komt een drogere en iets armere variant van het Eiken-Haagbeukenbos voor. Zomereik en gewone es overheersen de boomlaag.

Langs de twee transecten is op onregelmatige afstanden het humusprofiel beschreven en bemonsterd. Na beschrijving van het humusprofiel is van twee of drie dieptes een bodemmonster gestoken. De bemonstering werd kwantitatief uitgevoerd, zodat monstergewicht en monstervolume bekend waren. De monsters werden geanalyseerd op het gehalte organische stof, totaalstikstof, -fosfor en anorganisch fosfor, uitwisselbare basen en waterstof, ijzeroxiden en op de zuurgraad. Hieruit werden de calciumverzadiging, de C/N en C/P verhouding van de organische stof afgeleid. Met de resultaten van het bodemchemisch onderzoek is de basentoestand, de voedingstoestand en de eutrofiëringstoestand van de bodem bepaald en zijn de koolstof-, stikstof- en de fosforvoorraden in de bodem tot een diepte van 25 cm-mv berekend. Voor een aantal variabelen is de ruimtelijke variatie over de lengte en in de diepte van de transecten in beeld gebracht.

Het humusvormtype blijkt in de transecten bepaald te worden door de positie ten opzichte van de greppels en de ontwateringsdiepte.

Door stagnatie van regenwater in de slecht doorlatende keileem is de uitspoeling van basen in transect I gering, waardoor de keileemgrond nog een matig basenrijk karakter (basenverzadiging 20-60%) met een redelijke zuurbuffercapaciteit via ionenwisseling heeft. Dit natuurlijke verzuringsproces verloopt slechts langzaam. In transect II heeft de bodem een sterk zuur karakter en een zeer lage basenverzadiging

(<10%), wat waarschijnlijk niet aan natuurlijke processen kan worden toegeschreven maar aan bodembewerking of bezanding. De zuurgraad wordt op een laag niveau gebufferd door aluminiumsilicaten.

In de bodem van transsect I wijst de lage C/P verhouding op een intensieve omzetting van organische stof en een snelle nutriëntenkringloop waarbij stikstof en fosfaat in ruime mate door afbraakprocessen beschikbaar komen. Er is echter een ontwikkeling gaande naar tragere omzettingen door zuurder wordende omstandigheden. In transsect II worden ondanks de sterk zure omstandigheden eveneens lage C/P waarden aangetroffen. Mogelijk is deze organische stof verrijkt met fosfor dat in het verleden door bevoeiing vanuit beekwater is aangevoerd. Aan het maaiveld is organische stof geaccumuleerd met een hoge C/P verhouding. De omzetting van organische stof wordt daar geremd door de sterk zure omstandigheden, waardoor er een ontwikkeling gaande is naar voedselarmere omstandigheden. Hoewel de waarden in transsect I iets lager zijn dan in transsect II, is de C/N verhouding in beide transsecten relatief laag, wat moet worden toegeschreven aan atmosferische stikstofdepositie.

Het anorganisch fosfaat wordt in transsect I geadsorbeerd aan ijzeroxiden en in transsect II waarschijnlijk aan aluminiumoxiden. Hierdoor is het verlies aan fosfaat uit het systeem beperkt. In transsect II bereiken de anorganisch fosforgehalten in de F+H horizont een niveau waarbij sprake is van een lichte eutrofiëring. Deze hoge gehalten zijn waarschijnlijk een relict van bevoeiing met beekwater in het verleden. Mogelijk zijn deze fosfaten echter irreversibel gebonden aan aluminiumoxiden en niet beschikbaar, zodat toch sprake is van voedselarme omstandigheden.

De koolstof-, stikstof- en fosforvoorraad in transsect I bedraagt gemiddeld resp. 9,8kg, 0,91kg en 87g per m². In transsect II bedragen de voorraden resp. 14,2kg, 1,02kg en 110g per m². Binnen het transsect varieert de voorraad sterk. De koolstof- en fosforvoorraad in de bodem van transsect II zijn significant groter dan in die van transsect I. Dit verschil is toe te schrijven aan bodemgebruik in het verleden (bevoeiing).

De ruimtelijke variatie van een aantal bodemchemische eigenschappen is met contourlijnen weergegeven. Het ruimtelijk patroon in transsect I vertoont een sterke verticale differentiatie, die kan worden verklaard uit een oppervlakkig systeem van infiltratie midden op de rabatten en kwel naar de greppels tussen de rabatten. Met de infiltratiestroom worden basen (calcium en ijzer) afgevoerd en met de kwelstroom aangevoerd naar de greppels. Hierdoor ontstaat een patroon van zure basen- en ijzerarme, voedselarme standplaatsen op de rabatten. Langs de greppels komen basen- en ijzerrijkere condities voor met een goede vertering van organische stof en voedselrijkere omstandigheden. In transsect II is het effect van de greppel vrijwel afwezig door een betere drooglegging. Transsect II geeft over het geheel genomen een patroon met horizontale differentiatie die kan worden verklaard door een sterk uitloging van de bodem.

1 Inleiding

Er bestaat onvoldoende inzicht in de veranderingen van bodemeigenschappen en de daaraan ten grondslag liggende processen tijdens de spontane bosontwikkeling. Meer inzicht in het effect van spontane processen kan worden verkregen via monitoring. Daartoe wordt het basisprogramma Bosreservaten uitgevoerd. Inzicht in spontane processen kan een belangrijke richting geven aan inrichtings- en beheersmaatregelen bij het bosbeheer. Hiertoe dienen de resultaten van het bodemkundig onderzoek in verband te worden gebracht met het vegetatiekundig en bosbouwkundig onderzoek. Het betreft onderzoek naar eigenschappen en processen die van belang zijn voor de vegetatiesuccessie, zoals de voedingsstoffen- en zuurhuishouding. Veranderingen doen zich voor op verschillende tijdschalen. Het onderzoek zal zich richten op die bodemeigenschappen die naar verwachting op een termijn van een decennium tot enkele decennia meetbaar zullen veranderen. Dit houdt in dat de aandacht geconcentreerd dient te worden op relatief dynamische bodemkenmerken die in het humusprofiel van de bodem aanwezig zijn.

Er is de laatste decennia een achteruitgang geconstateerd van de kwaliteit van grondwatergevoede en andere vochtige tot natte bossystemen op de pleistocene zand- en leemgronden. Uit eerder onderzoek (Jansen et al., 1994) is gebleken dat processen als verdroging en verzuring al snel tot veranderingen kunnen leiden in het humusprofiel, zelfs voordat er nog tekenen zijn van veranderingen in de soortensamenstelling. Met name van de door grondwater gevoede bossen is nauwelijks bekend wat voor veranderingen in het humuscompartiment plaatsvinden bij afname van de grondwaterinvloed en bij verdroging.

Het doel van het onderzoek waar dit rapport een verslag van geeft is de stikstof- en fosforhuishouding in de bodem te karakteriseren in relatie tot de vocht-en zuur/basentoestand langs een tweetal transecten in het Smoddebos. Met de resultaten van dit empirisch onderzoek kunnen hypothesen worden geformuleerd over de gevolgen van verzuring en verdroging voor de ontwikkeling van rijke bossen en hoe in het bosbeheer op deze ontwikkeling kan worden ingespeeld.

2 Materiaal en methoden

2.1 Gebiedsbeschrijving

Het reservaatgedeelte van het Smoddebos omvat ongeveer 5 ha dat in beheer is bij het Overijssels Landschap. De overige 10 ha van het Smoddebos zijn particulier bosbezit. Het reservaatgedeelte is gelegen op een tweetal maten, weiden die regelmatig met beekwater werden bevoeid (Van Dordt en Clerkx, in voorb.). De oude boswal om de voormalige maten is nog steeds duidelijk in het terrein te zien. Binnen de wal zijn sinds 1848 de noordelijke maten van het Smoddebos ingeplant met eik. Op de Militaire Kaart van 1850 is de zuidelijke maat nog als weiland aangegeven. Omstreeks 1900 is ook de zuidelijke maat bebost met eik. Voor de bosaanplant werden brede, vrij ondiepe rabatten aangelegd. In de voormalige noordoostelijk maat is de kernvlakte uitgezet.

De bodem van het Smoddebos is in zijn geheel gekarakteriseerd als keileemgrond met een minerale eerdlaag (leekeerdgrond; Mekking, 2000). Het cultuurdek bereikt een dikte van 35 cm. Het reservaat is gekenmerkt door grondwatertrap V. Door stagnatie op de keileem is het bos erg nat (schijngrondwaterspiegel). Het overtollige vocht wordt afgevoerd via de Snoeijinksbeek naar de Dinkel.

De combinatie van soorten in de kernvlakte wijst op een bos uit de Klasse der Eiken- en beukenbossen op voedselrijke grond (*Quercus-Fagetea*; van Dordt en Clerkx, in voorb.; Stortelder et al. 1999). De vegetatie van de kernvlakte in het Smoddebos wordt in het geheel tot de rijke variant (het anemoontype) van het Eiken-Haagbeukenbos gerekend. Zomereik en gewone es overheersen de boomlaag. Van Dordt en Clerkx (in voorb.) beschouwen het *Stellario-Carpinetum typicum* als de potentieel natuurlijke vegetatie van de kernvlakte. In de zuidelijke maat komt een drogere en iets armere variant van het Eiken-Haagbeukenbos voor (het bosklaverzuringtype).

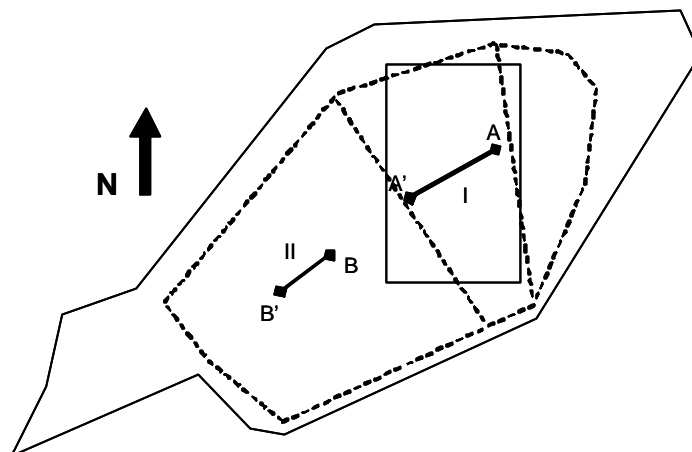
2.2 Methoden

2.2.1 Inventarisatie en bemonstering

Transsecten

Langs een tweetal transsecten is op onregelmatige afstanden het humusprofiel beschreven en bemonsterd. Transsect I (lengte ca. 20m) werd in de kernvlakte en transsect II (lengte ca. 10m) werd in de zuidwestelijke maat van het reservaatdeel uitgezet (zie figuur 1). Beide transsecten verlopen haaks op de lengterichting van de rabatten, zodat enkele greppels werden gekruist. Monsterpunten werden zodanig gekozen dat de ruimtelijke variatie in maaiveldshoogte over de rabatten zo goed mogelijk werd betrokken. Aldus werden zowel de kruin van de rabatten, de greppelbodems als de greppelflanken bemonsterd.

Voor de typering van de beschreven humusprofielen is gebruik gemaakt van een classificatieprogramma dat is ontwikkeld door Buis en van Delft (2003).



Figuur 1 Reservaatsgedeelte van het Smoddebos met globale ligging van de kernvlakte en de transecten I en II (niet op schaal). De onderbroken lijnen geven de positie van de houtwallen aan

Bemonstering

Na beschrijving van het humusprofiel is van twee dieptes een monster gestoken met de humushapper of met de edelmanboor. De edelmanboor werd gebruikt op plaatsen die zo sterk met water waren verzadigd dat niet met een humushapper kon worden bemonsterd. De Ah1 horizont (0-5 cm) werd over het algemeen met de humushapper verzameld (2-4 steken). De Ah2 (5-25cm) werd meestal met de boor bemonsterd. In transect II was bovendien een ectorganische laag (F+H-horizont) aanwezig die werd bemonsterd. Van de ectorganische laag werd niet met een vaste diepte, maar per horizont bemonsterd. De dikte van de verzamelde ectorganische horizont werd genoteerd. In transect I werden geen ectorganische horizonten bemonsterd, omdat ze daar niet voorkomen.

De bemonstering werd kwantitatief uitgevoerd. Hiertoe werd het verzamelde monstervolume en het drooggewicht van het monster bepaald. Voor de bepaling van het monstervolume werd bij bemonstering met de humushapper de monsterdikte vermenigvuldigd met de oppervlakte van de bek van de humushapper (2,71 x 9,0 cm). Bij bemonstering met de boor werd de monsterdikte vermenigvuldigd met de oppervlakte van de cirkel van het boorgat (πr^2 ; $r=4\text{cm}$).

Het drooggewicht werd bepaald na droging van het veldvochtige monster bij 105°C. Door het drooggewicht te delen door het bemonsterde volume werd het bulkgewicht van het monster vastgesteld. Het bulkgewicht werd gebruikt voor de omrekening van gehalten naar voorraden van een element.

2.2.2 Bodemchemische analyse

De gedroogde monsters werden geanalyseerd op de volgende variabelen (Giesen & Geurts, 2002):

- Organische stofgehalte (Gloeiverlies bij 350 ° C in g per 100g droge grond);
- Totaalstikstofgehalte in mg per 100g droge grond (Kjeldahldestructie en NH_4^+ bepaling volgens Berthelot);
- Totaalfosforgehalte in mg P per 100g droge grond (Kjeldahldestructie en PO_4^{3-} bepaling met molybdeenblauw);
- Anorganisch fosforgehalte in mg P per 100g droge grond (extractie met 5% HCl)
- Zuurgraad pH-KCl (1 M KCl);
- Uitwisselbare basen ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$) en waterstof (Bascombextractie bij pH=8,1) in cmol^+ per kg droge grond;
- Fe-oxalaat (met oxalaat extraheerbaar ijzer) in mg Fe per 100g droge stof

Daarnaast werden een aantal afgeleide variabelen bepaald:

- Ca-verzadiging ($\text{Ca}_s = \text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{H}^+)$)
- Organisch fosforgehalte (P-totaal minus P-anorganisch)
- C/N en C/P_{org} verhouding van de organische stof. Voor bepaling van het koolstofgehalte is verondersteld dat 50% van de organische stof uit koolstof bestaat.

De digitale bestanden van de analyseresultaten zijn in beheer bij Alterra.

2.2.3 Dataverwerking

Met een Excell-spreadsheet werden scatterdiagrammen gemaakt ter interpretatie van de basentoestand, de voedingstoestand en de eutrofiëringstoestand per horizonttype (Kemmers et al. 2000c).

Basentoestand

De basentoestand wordt weergegeven door de Ca-verzadiging te relateren aan de pH-KCl. Naarmate de Ca-verzadiging van het adsorptiecomplex hoger is, zal de pH op een hoger niveau zijn gebufferd. Bij verzuring worden calciumionen op het adsorptiecomplex verdrongen door waterstofionen, waardoor de pH daalt. De calciumverzadiging in combinatie met de pH geeft informatie in hoeverre de verzuring is voortgeschreden. Als de calciumverzadiging onder de 25% daalt, neemt de oplosbaarheid van aluminium sterk toe en de biologische activiteit in de bodem sterk af, waardoor de omzetting en homogenisatie van strooisel met de minerale ondergrond stagneert. Dit uit zich in de vorming van ectorganische horizonten.

Voedingstoestand

De voedingstoestand wordt weergegeven door de C/N en de C/P verhouding met elkaar in verband te brengen. De C/N- en de C/P waarde zijn via een positief lineair verband aan elkaar gecorreleerd. Hoge waarden wijzen op organische stof die arm aan stikstof en fosfor is en zijn typerend voor vers gevallen strooisel dat nog

nauwelijks door bodemorganismen is omgezet. Bij een actief bodemleven (hoge calciumverzadiging) wordt het strooisel door micro-organismen afgebroken. De koolstof verdwijnt gedeeltelijk als CO₂ naar de atmosfeer en de vrijkomende mineralen (N, P) worden in eerste instantie door de micro-organismen als voedingsstof gebruikt en ingebouwd in lichaamseiwitten (immobilisatie). Het gevolg is dat de C/N en C/P verhouding van de organische stof tijdens dit zogenaamde humificatieproces daalt. Lage waarden van de C/N en C/P verhouding wijzen op goed gehumificeerd stabiel organisch materiaal dat intensief is omgezet en verrijkt is met stikstof en fosfor. Endorganische horizonten (Ah) worden meestal getypeerd door lage C/N en C/P verhoudingen. Ectorganische horizonten hebben meestal hoge verhoudingen. Omgekeerd geeft de C/N en C/P verhouding dus informatie over de mate waarin de bodemfauna actief is. Zure en droge omstandigheden leiden tot inactiviteit en hoge verhoudingen, terwijl basenrijke omstandigheden tot biologische activiteit en lage verhoudingen leiden.

Eutrofiëringstoestand

Na decompositie en humificatie kan fosfor in anorganische vorm worden geadsorbeerd aan ijzer- en aluminiumoxiden die in de bodem voorkomen. Via desorptie kan dit fosfaat in tweede instantie weer beschikbaar komen voor de vegetatie. Met name bij een overmaat aan fosfaat (door aanvoer via waterstromen of anderszins) kan het aandeel geadsorbeerd fosfaat in de bodem groot zijn. Een hoog aandeel anorganisch fosfor is vaak een aanwijzing voor een toestand van eutrofiëring.

Voorraden

De beschikbaarheid van voedingsstoffen wordt bepaald door de mineralisatiesnelheid van organische stof en de aanwezige voorraad daarvan.

Van koolstof, stikstof en fosfor zijn de voorraden in de Ah- of de Aa-en de F+H horizont berekend. Hiertoe werd per horizont het gehalte vermenigvuldigd met het bulkgewicht en omgerekend naar g.m⁻² horizont en vervolgens gesommeerd. Als horizontdikten zijn de gegevens op de veldformulieren gebruikt. Verschillen tussen voorraden van transect I en II zijn getoetst op significantie met een T-toets.

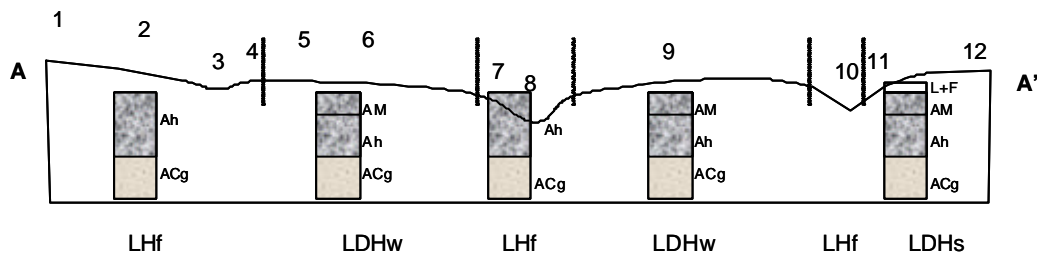
Ruimtelijke patronen

Voor een aantal variabelen is de ruimtelijke variatie over de lengte en in de diepte van de transecten in beeld gebracht. Daartoe werd de verticale dwarsdoorsnede van de transecten (afstand en diepte bemonsteringspunten) opgenomen in een gridnetwerk met een coördinatenstelsel. De coördinaten van de monsterpunten werden als geografie gebruikt voor een programma (SURFER; Keckler, 1995) waarmee de waarden van niet bemonsterde punten in het grid via interpolaties worden berekend en waarmee vervolgens voor verschillende variabelen contourlijnen van het dwarsprofiel van de transecten zijn gemaakt.

3 Resultaten, discussies en conclusies

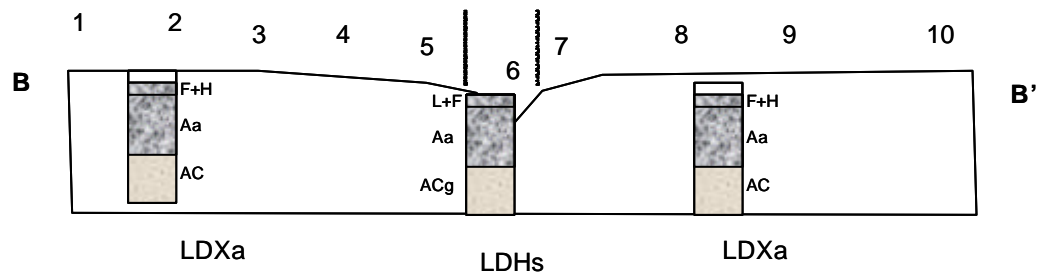
3.1 Inventarisatie humusprofielen

De langs de transecten geïnventariseerde humusprofielen hebben zich ontwikkeld in keileem. In deze keileem heeft zich een minerale eerdlaag (20-35cm) ontwikkeld (leekeerdgrond; Mekking, 2000). In transect I komen periodiek zeer natte omstandigheden voor en zijn binnen 25 cm-mv gley-verschijnselen aanwezig. De eerdlaag kan als Ah-horizont worden getypeerd (zie figuur 2). Binnen deze Ah-horizont kan een Ah1 en een Ah2 horizont worden onderscheiden. Volgens Buis en van Delft (2003) kan een dergelijke humusvorm worden getypeerd als een beekhydromull (LHf). Op de wat minder natte plekken middenop de rabatten heeft zich in de Ah1 een wortelmat ontwikkeld (AM-horizont): wormhydromullmoder (LDHw). Bij plekken 11 en 12 is sprake van stapeling van ruw strooisel (L+F-horizont) op de AM-horizont, waardoor sprake is van een schrale hydromullmoder (LDHs).



Figuur 2 Transect I met globale ligging van monsterpunten en aanwezige humusvormen

In transect II heersen wat drogere omstandigheden en worden, met uitzondering van onder de greppel, geen gley-verschijnselen binnen 25 cm-mv aangetroffen. Waarschijnlijk is er in het verleden een cultuurdek op deze keileem aangebracht. De minerale eerdlaag wordt omschreven als een Aa-horizont. In de Aa-horizont kan een Aa1 en een Aa2 worden onderscheiden. Het transect vertoont minder variatie in humusvormen dan het transect I (zie figuur 3). Er komen twee humusvormen voor: een akkermullmoder (LDXa) en in de greppel een schrale hydromullmoder (LDHs)



Figuur 3 Transect II met globale ligging van monsterpunten en aanwezige humusvormen

Conclusie

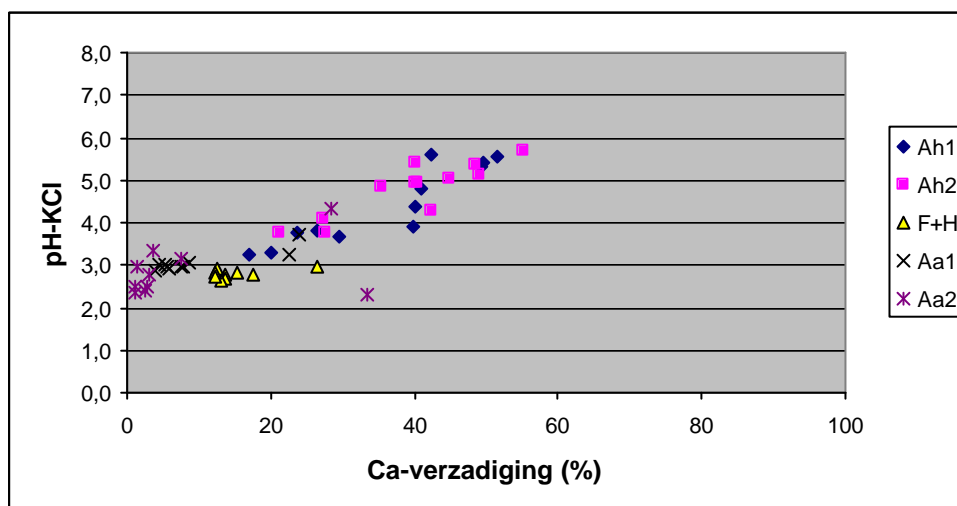
In de transecten wordt het humusvormtype bepaald door de positie ten opzichte van de greppels en de ontwateringsdiepte. Hydromulls hebben zich ontwikkeld onder periodiek natte omstandigheden in of direct langs de greppels. Middenop de rabatten hebben zich hydromullmoders ontwikkeld. Op rabatten met een wat diepere drooglegging komen hydromullmoders nog slechts voor in de directe nabijheid van de greppels. Buiten het bereik van de greppels hebben zich daar xeromullmoders ontwikkeld.

3.2 Bodemchemische analyses

In het aanhangsel zijn de resultaten van de bodemchemische analyses, daarvan afgeleide variabelen en voorraadberekeningen weergegeven.

3.2.1 Basentoestand

In figuur 4 is het verband tussen de pH-KCl en de Ca-verzadiging weergegeven.



Figuur 4 De basentoestand uitgedrukt als het verband tussen de zuurgraad (pH-KCl) en Ca-verzadiging van de bodem in transect I (Ah1 en Ah2) en transect II (Aa1, Aa2, F+H)

De Ca-verzadiging in de bodem van transect I varieert, ongeacht de monsterdiepte tussen de 20 en 60% met pH waarden tussen 3,5 en 6. Er is nog een redelijk grote zuurbuftercapaciteit via ionenwisseling beschikbaar. In transect II is de Ca-verzadiging over het algemeen lager dan 20%. De bodem in transect II is sterk zuur en heeft een zeer lage basenverzadiging. De zuurbuftercapaciteit via ionenwisseling is vrijwel geheel uitgeput, zodat buffering waarschijnlijk via verwerking van alumiumsilicaten plaatsvindt. Door deze zure omstandigheden (aluminiummobilisatie) is de biologische activiteit sterk afgenomen, waardoor accumulatie van organische stof is ontstaan (F+H horizont; zie figuur 3). Opvallend

is dat de F+H horizont een wat hogere calciumverzadiging heeft dan de onderliggende Aa horizonten.

In transsect I zijn nattere omstandigheden aanwezig dan in transsect II. Omdat de GLG vrij diep wegzakt, lijken deze natte omstandigheden eerder toe te schrijven aan stagnatie van regenwater op de keileem dan aan kwel. Door deze stagnatie is infiltratie van regenwater en daarmee gepaard gaande uitspoeling van basen gering. Oorspronkelijk zijn de keileemgronden kalkrijk afgezet (Mekkink, 2000), zodat de huidige vrij hoge calciumverzadiging aangeeft dat het natuurlijke ontkalkings- en verzuringsproces in transsect I vrij traag verloopt. In transsect II is de bodem veel duidelijker anthropogeen beïnvloed (Aa-horizonten) en is de grond in het verleden waarschijnlijk bewerkt en/of bezand voorafgaand aan de bosaanplant (van Dort en Clercx, 2003; pers. meded. R.J. Bijlsma, Alterra). Mogelijk ook heeft een betere doorluchting tot een sterkere verwerking en verzuring geleid.

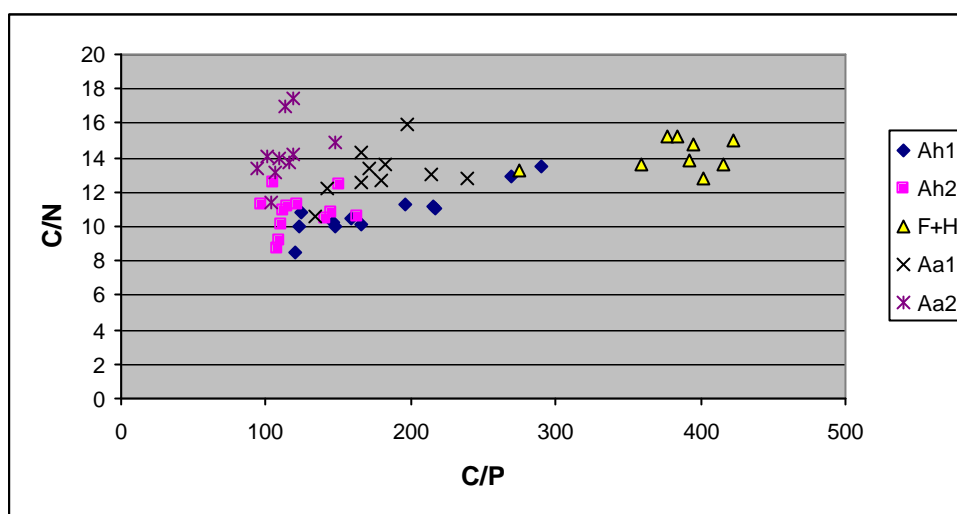
Conclusie

Door stagnatie van regenwater is de uitspoeling van basen in transsect I gering, waardoor de keileemgrond nog een matig basenrijk karakter (basenverzadiging 20-60%) met een redelijke zuurbuftercapaciteit via ionenwisseling heeft. Dit natuurlijke verzuringsproces verloopt slechts langzaam. In transsect II heeft de bodem een sterk zuur karakter en een zeer lage basenverzadiging (<10%), mogelijk als gevolg van een iets betere doorluchting en snellere verwerking of door bezanding voorafgaand aan de bosaanplant. De zuurgraad wordt op een laag niveau gebufferd door aluminiumsilicaten.

3.2.2 De voedingstoestand

In figuur 5 is het verband weergegeven tussen de C/N en C/P verhouding van de onder- en bovengrond van transsect I en II.

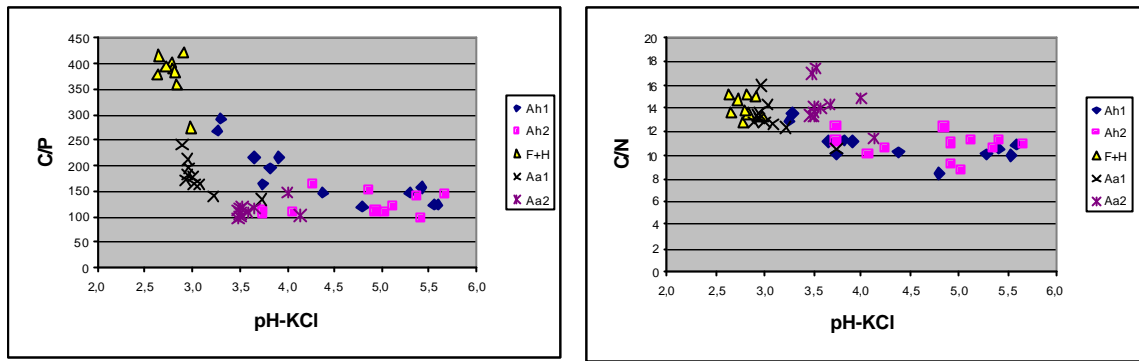
Er is geen duidelijk verband tussen de C/N en C/P verhouding aanwezig. De C/P verhouding geeft een grotere variatie te zien dan de C/N verhouding. Opvallend is dat de C/P verhouding van de Ah-horizonten in transsect I betrekkelijk laag is en tussen dezelfde waarden varieert als de C/P verhouding van de Aa-horizonten in transsect II. Daarentegen zijn er wel duidelijke verschillen in C/N verhouding. In de Ah-horizonten van transsect I varieert de C/N verhouding tussen 8 en 13, terwijl in de Aa-horizonten van transsect II de verhouding varieert tussen 12 en 18. Dit wijst op een actiever bodemleven en een intensievere humificatie in transsect I dan in transsect II. Dit hangt waarschijnlijk samen met de hogere Ca-verzadiging en pH in transsect I. De lagere basenverzadiging in transsect II heeft kennelijk niet tot een hogere C/P verhouding geleid dan in transsect I. Dit kan wijzen op een ruime beschikbaarheid van fosfaat in transsect II voor micro-organismen. Hoewel door extreem zure omstandigheden in dit transsect de P-mineralisatie gering zal zijn, moet er dus een andere bron van fosfaat geweest zijn voor micro-organismen om in hun lichaamseiwitten te kunnen inbouwen. Mogelijk dat extra fosfaat via bevloeiing vanuit beken (van Dort en Clercx, 2003) is aangevoerd.



Figuur 5 De voedingstoestand uitgedrukt als het verband tussen de C/N en C/P verhouding van de bodem in transect I (Ah1 en Ah2) en transect II (Aa1, Aa2 en F+H)

De C/P verhouding geeft in transect II een gradiënt te zien van hoge waarden in de F+H horizont naar lage waarden in de Aa2-horizont. Deze gradiënt is in transect I slechts zwak aanwezig. Deze gradiënten wijzen erop dat er een ontwikkeling gaande is naar horizonten met organische stof die steeds armer is aan fosfor. Dit is een aanwijzing voor accumulatie van strooisel dat slecht wordt afgebroken en omgezet als gevolg van de zure omstandigheden (zie figuur 6). Anderzijds kan ook de verminderde beschikbaarheid van fosfaat door fixatie aan aluminiumoxiden een verklaring zijn voor de hoge C/P waarden onder sterk zure omstandigheden. Door een sterke fixatie is fosfaat niet beschikbaar voor micro-organismen voor de synthese van lichaamseiwitten, waardoor de C/P waarde hoog blijft. Deze vershraling doet zich niet voor ten aanzien van stikstof, hetgeen mogelijk kan worden toegeschreven aan de grote hoeveelheden atmosferische stikstofdepositie tijdens de afgelopen decennia.

Het feit dat de organische stof in de F+H horizont arm is aan N of P impliceert nog niet dat in absolute hoeveelheden minder N of P aanwezig is in deze horizont. De voorraad N of P in deze horizont is juist aanzienlijk groter dan in de andere horizonten, maar de snelheid waarmee de elementen beschikbaar komen is echter gering.



Figuur 6 De C/P en de C/N verhouding als functie van de zuurgraad in de verschillende horizonten van transect I (Ah1, Ah2) en transect II (Aa1, Aa2 en F+H)

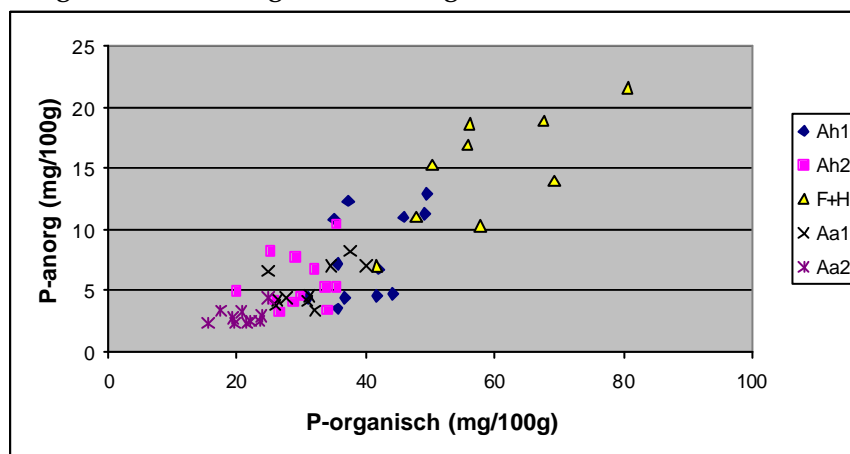
Conclusie

In de bodem van transect I wijst de lage C/P verhouding op een intensieve omzetting van organische stof en een snelle nutriëntenkringloop waarbij stikstof en fosfaat in ruime mate door afbraakprocessen beschikbaar komen. Er is echter een ontwikkeling gaande naar tragere omzettingen door zuurder worden omstandigheden.

In transect II worden ondanks de sterk zure omstandigheden eveneens lage C/P waarden aangetroffen. Waarschijnlijk is deze organische stof verrijkt met fosfor door bevloeiing vanuit beekwater in het verleden. Aan het maaiveld is organische stof geaccumuleerd met een hoge C/P verhouding. De omzetting van organische stof is sterk geremd door de sterk zure omstandigheden, waardoor er een ontwikkeling gaande is naar voedselarmere omstandigheden. In beide transecten is de C/N verhouding laag, wat o.a. samenhangt met atmosferische stikstofdepositie.

3.2.3 De eutrofiëringstoestand

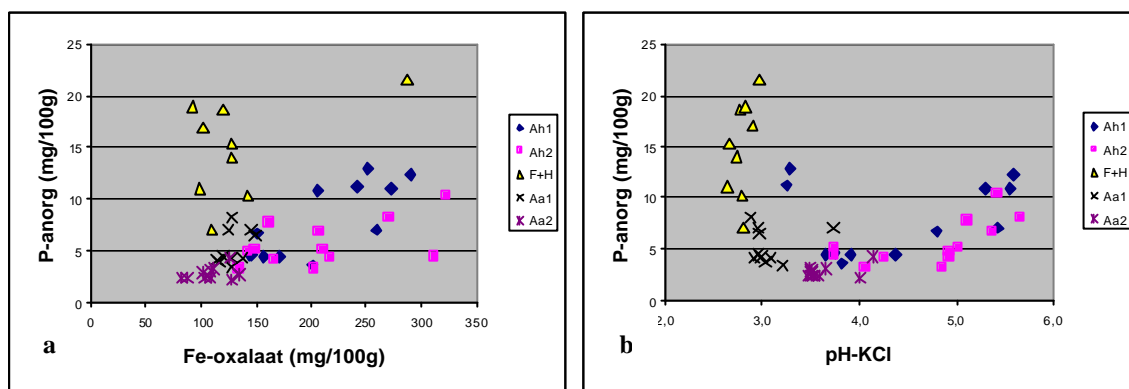
In figuur 7 is de eutrofiëringstoestand weergegeven als het verband tussen het anorganisch en het organisch fosforgehalte.



Figuur 7 De eutrofiëringstoestand uitgedrukt als het verband tussen het anorganisch en organisch fosforgehalte

Naarmate het organisch fosforgehalte hoger is, is ook het anorganisch fosforgehalte hoger. In de strooiselhorizont (F+H) van transsect II komen de hoogste en in de Aa2 horizont de laagste fosforgehalten voor. Naarmate de horizont dichter bij het maaiveld is gelegen nemen de gehalten toe. Dit geldt zowel voor transsect I als voor transsect II. Uit figuur 8a blijkt dat er geen eenduidig verband bestaat tussen het anorganisch fosforgehalte en het ijzergehalte. Dit verband lijkt wel aanwezig te zijn als de F+H horizont buiten beschouwing wordt gelaten.

Anorganisch fosfaat kan worden geadsorbeerd aan ijzeroxiden of aluminiumoxiden. Uit figuur 8 valt af te leiden dat vanaf $\text{pH} > 3,5$ (Aa2-, Ah2- en Ah1-horizonten) meer ijzeroxiden leiden tot meer anorganisch fosfor. Bij lagere waarden van de pH lossen ijzeroxiden op en raken de bodems ontijzerd. Wel kunnen bij deze lage pH waarden aluminiumoxiden worden gevormd, die eveneens in staat zijn fosfaat te adsorberen. Dit lijkt het geval te zijn bij de Aa1 en de F+H horizonten van transsect II. Bij lage ijzergehalten komen toch hoge gehalten anorganisch fosfor voor door aluminiumfixatie.



Figuur 8 Het anorganisch fosforgehalte als functie van het Fe-oxalaatgehalte (a) en de zuurgraad (b)

Door Kemmers et al. (2000c) wordt in broekbossen een gehalte $\text{P-an} < 10 \text{ mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ als niet ge-eutrofeerd, $10 < \text{P-an} < 25$ als licht ge-eutrofeerd en $\text{P-an} > 25$ als sterk ge-eutrofeerd beschouwd. De eutrofiëringstoestand is daarom als laag te typeren. Alleen in de F+H horizonten van transsect II komen matig hoge gehalten anorganisch fosfor voor, wat op een lichte mate van eutrofiëring wijst. Het is niet duidelijk in welke mate het aan aluminium geadsorbeerde fosfaat reversibel is gebonden en weer beschikbaar kan komen voor de vegetatie of de micro-organismen.

Conclusie

Het anorganisch fosfor wordt in transsect I geadsorbeerd aan ijzeroxiden en in transsect II waarschijnlijk aan aluminiumoxiden. Hierdoor is het verlies aan fosfaat uit het systeem beperkt. In transsect II bereiken de anorganisch fosfaatgehalten in de F+H horizont een niveau waarbij sprake is van een lichte eutrofiëring. Deze hoge gehalten zijn waarschijnlijk een gevolg van bevoeiing met beekwater in het verleden.

Mogelijk zijn deze fosfaten echter irreversibel gebonden aan aluminiumoxiden en niet beschikbaar, zodat toch sprake is van voedselarme omstandigheden.

3.2.4 Voorraden

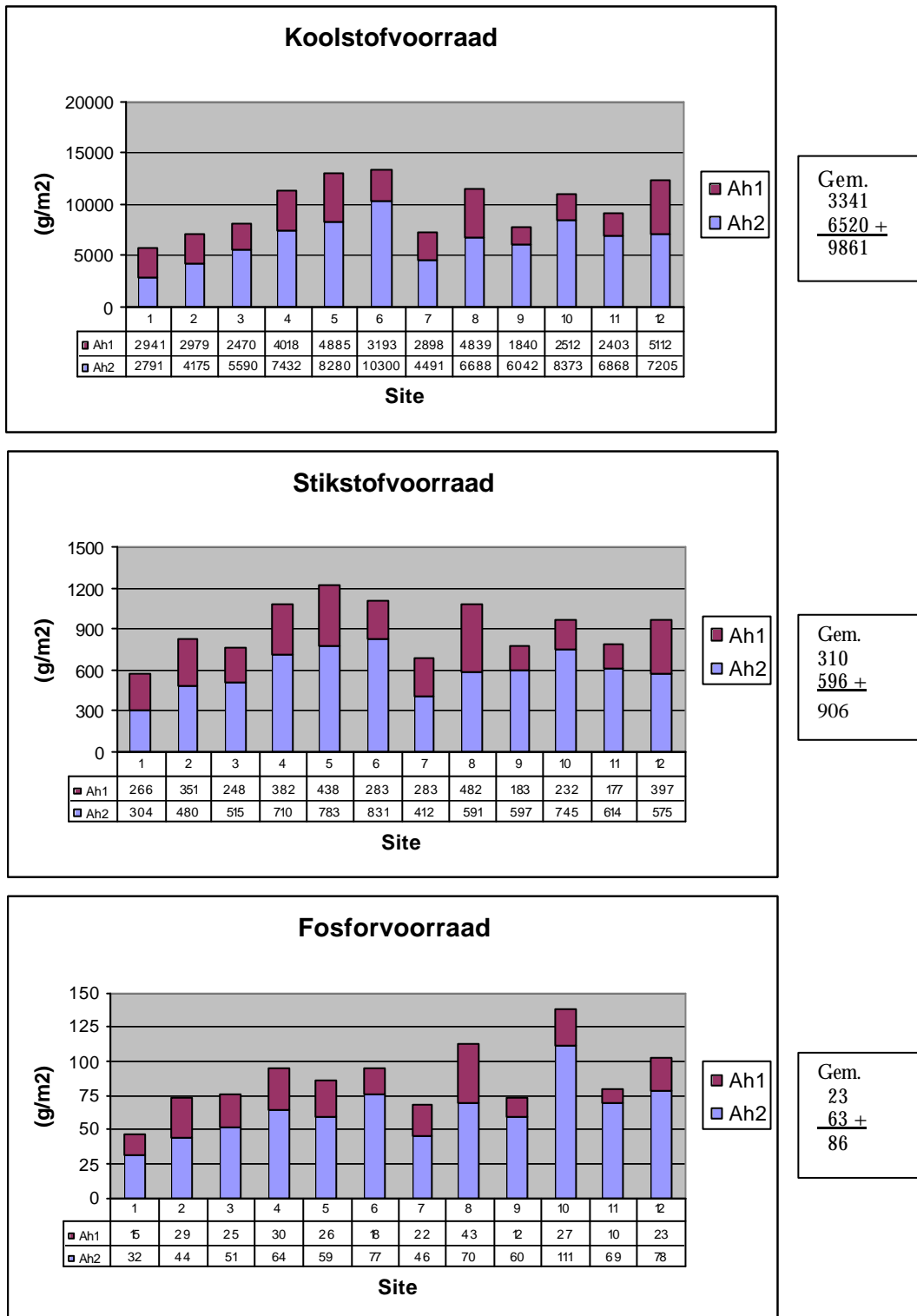
De resultaten van de voorraadberekeningen zijn in figuur 9 en 10 weergegeven als staafdiagrammen met een datatabel. De voorraad is uitgesplitst naar horizont. De voorraden zijn weergegeven in g.m^2 horizont en vervolgens per standplaats gesommeerd. De voorraden moeten met een factor 10 worden vermenigvuldigd voor omrekening naar kg.ha^{-1} .

Gemiddeld bedraagt in transect I de koolstofvoorraad $9,9.10^3$ g per m^2 . Deze voorraad ligt in transect I volledig in de Ah-horizont opgeslagen. In transect II is de voorraad significant groter en bedraagt $14,3.10^3$ g per m^2 , verdeeld over de Aa-horizont en een ectorganische L+F horizont ($\text{Prob}_{\text{T-test}}=0.003$). De voorraad in deze ectorganische horizont bedraagt $3,7.10^3$ g.

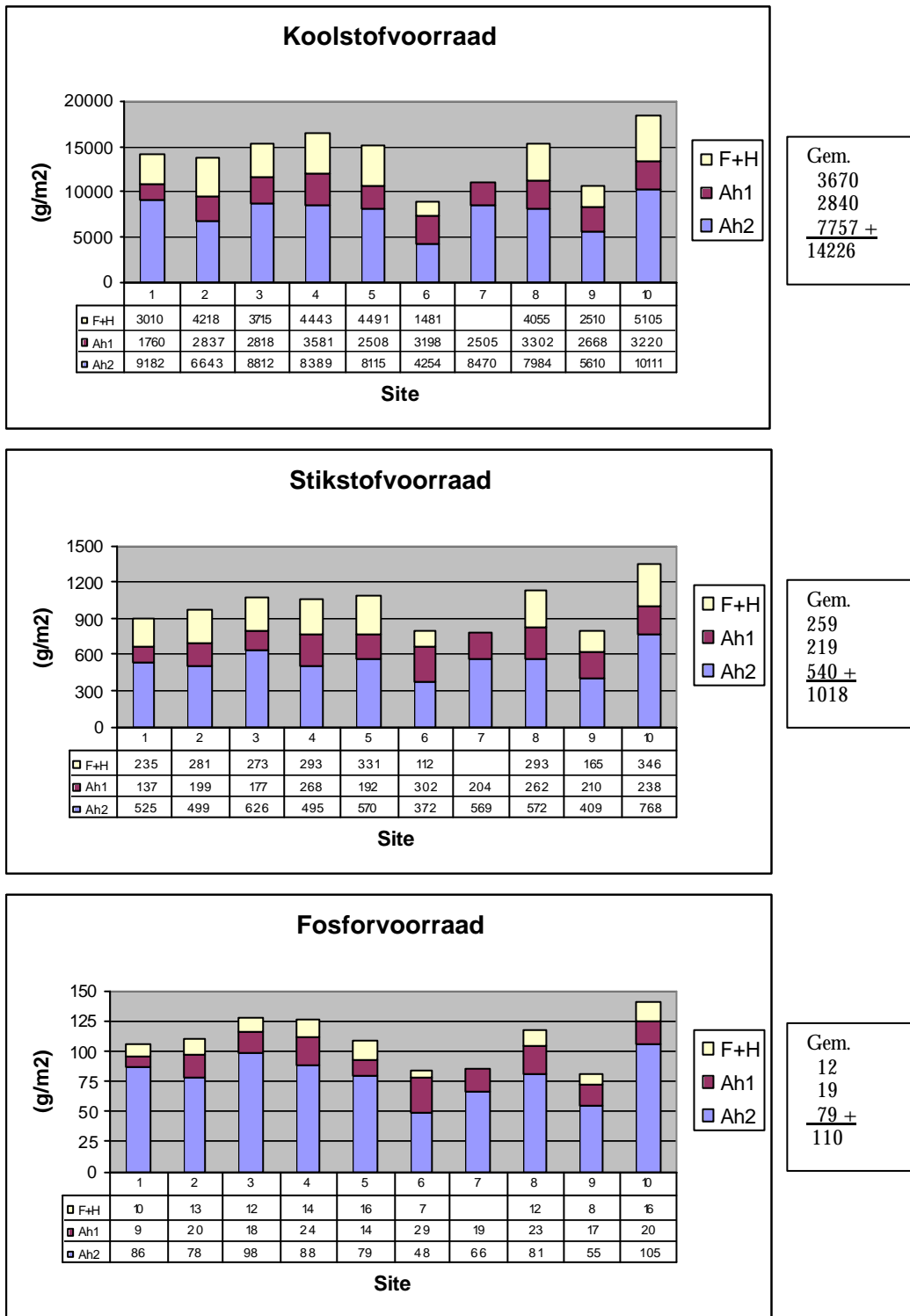
De verschillen in stikstofvoorraden van transect I (910 g) en II (1018 g) zijn niet significant. De fosforvoorraad is in transect I (86 g) zwak significant ($\text{Prob}_{\text{T-test}}=0.03$) kleiner dan in transect II (110 g).

De voorraden variëren sterk over het transect. De voorraden in/langs de greppels met een iets hogere basenverzadiging zijn meestal iets lager dan de voorraden op de rabatten.

Transect II is gelegen in een perceel met een opgebracht cultuurdek (Aa-horizonten). Het bemestend effect daarvan komt naast de koolstofvoorraad tot uiting in de voorraad fosfor. De stikstofvoorraad is niet verschillend. Dit wijst erop dat het bemestend effect van fosfor langer in de bodem aanwezig blijft. Dit kan goed worden verklaard uit het fosfaatfixerend vermogen door de aanwezigheid van ijzer- en aluminiumoxiden. Voor stikstof heeft het bodemsysteem kennelijk een meer open karakter.



Figuur 9 Voorraden koolstof, stikstof en fosfor in transect I



Figuur 10 Voorraden koolstof, stikstof en fosfor in transect II

Conclusie

De koolstof-, stikstof- en fosforvoorraad in transsect I bedraagt gemiddeld resp. 9,9 kg, 906 g en 86 g per m². In transsect II bedragen de voorraden resp. 14,2 kg, 1018 g en 110 g per m². Binnen het transsect varieert de voorraad sterk. De koolstof- en de fosforvoorraad in de bodem met een cultuurdek (transsect II) is significant groter dan die in de bodem van transsect I.

3.3 Ruimtelijke patronen

In figuur 11 en 12 is de ruimtelijke variatie van een aantal bodemchemische eigenschappen met contourlijnen weergegeven.

Transsect I

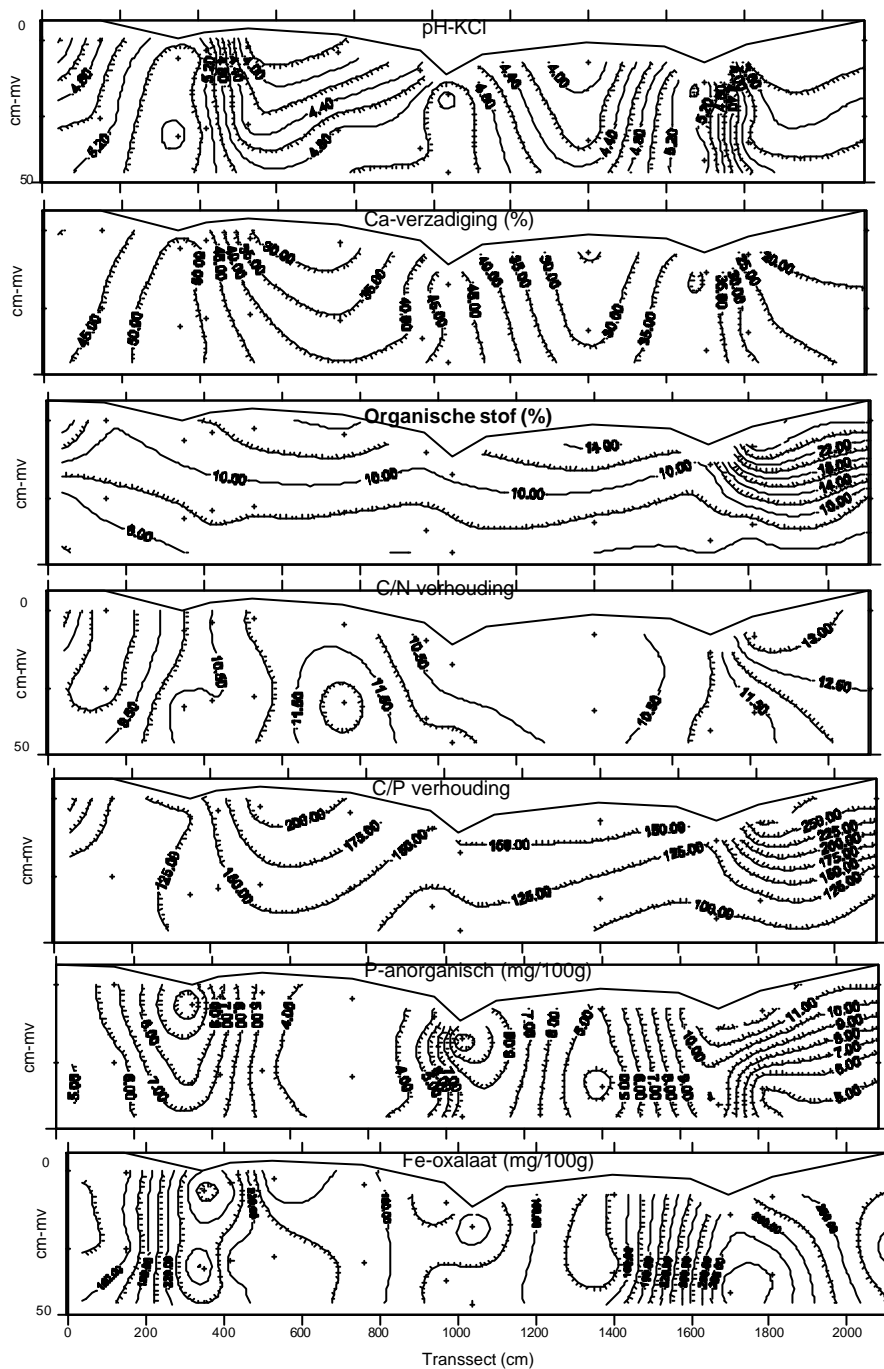
In het ruimtelijke patroon van de zuurgraad en de Ca-verzadiging komt duidelijk het effect van de greppels tot uiting. Onder de greppels komen tot in het maaiveld hogere waarden van de pH en Ca-verzadiging voor dan op het midden van de rabatten. Dit patroon lijkt te kunnen worden verklaard uit een oppervlakkig systeem van infiltratie midden op de rabatten en kwel naar de greppels. Met de infiltratiestroom worden basen afgevoerd en met de kwelstroom worden basen aangevoerd naar de greppels.

Door de zuurdere condities is de accumulatie van organische stof midden op de rabatten groter dan nabij de greppels. Door de basenrijkere omstandigheden is de biologische activiteit nabij de greppels groter, waardoor de decompositie van organische stof groter is, zodat minder stapeling van organische stof heeft plaats gevonden. Een zeer sterke stapeling van organische stof is aanwezig bij standplaats 11 en 12. De zuurgraad bereikt daar de laagste waarden van het transsect.

Ook in de C/N en C/P verhouding komt de invloed van de greppels tot uiting. Met name bij de C/P verhouding is te zien dat de laagste waarden voorkomen rond de greppels. Daar is sprake van de grootste biologische activiteit, waardoor intensieve humificatie plaatsvindt wat resulteert in organische stof met een lage C/P verhouding. De hoogste C/N en C/P verhoudingen komen voor bij standplaats 11 en 12.

De gehalten anorganisch fosfor zijn het hoogst onder de greppels, waar tevens de hoogste gehalten ijzeroxiden worden gemeten. Het anorganisch fosfaat wordt er gefixeerd door de ijzeroxiden. De aanwezigheid van deze ijzeroxiden hangt samen met de toestroming van ijzer via oppervlakkige kwel. Midden op de rabatten zijn door de zure omstandigheden ijzeroxiden (vooral tijdens natte perioden, waarbij reducerende omstandigheden optreden) niet stabiel waardoor ze oplossen en uitspoelen (zie ook figuur 8). De fosfaatadsorptie is daardoor tussen de greppels gering.

Met name de patronen van het anorganisch fosfor- en de ijzergehalten suggereren een sterke horizontale stromingscomponent richting greppels.



Figuur 11 Ruimtelijke patronen van bodemeigenschappen in een verticale uitsnede van transsect I (met het +symbool is de plaats van een monsterpunt weergegeven)

Transsect II

Op hoofdlijnen worden in transsect II dezelfde patronen aangetroffen (figuur 12), zij het dat de absolute waarden van de verschillende chemische bodemeigenschappen soms sterk afwijken van die in transsect I.

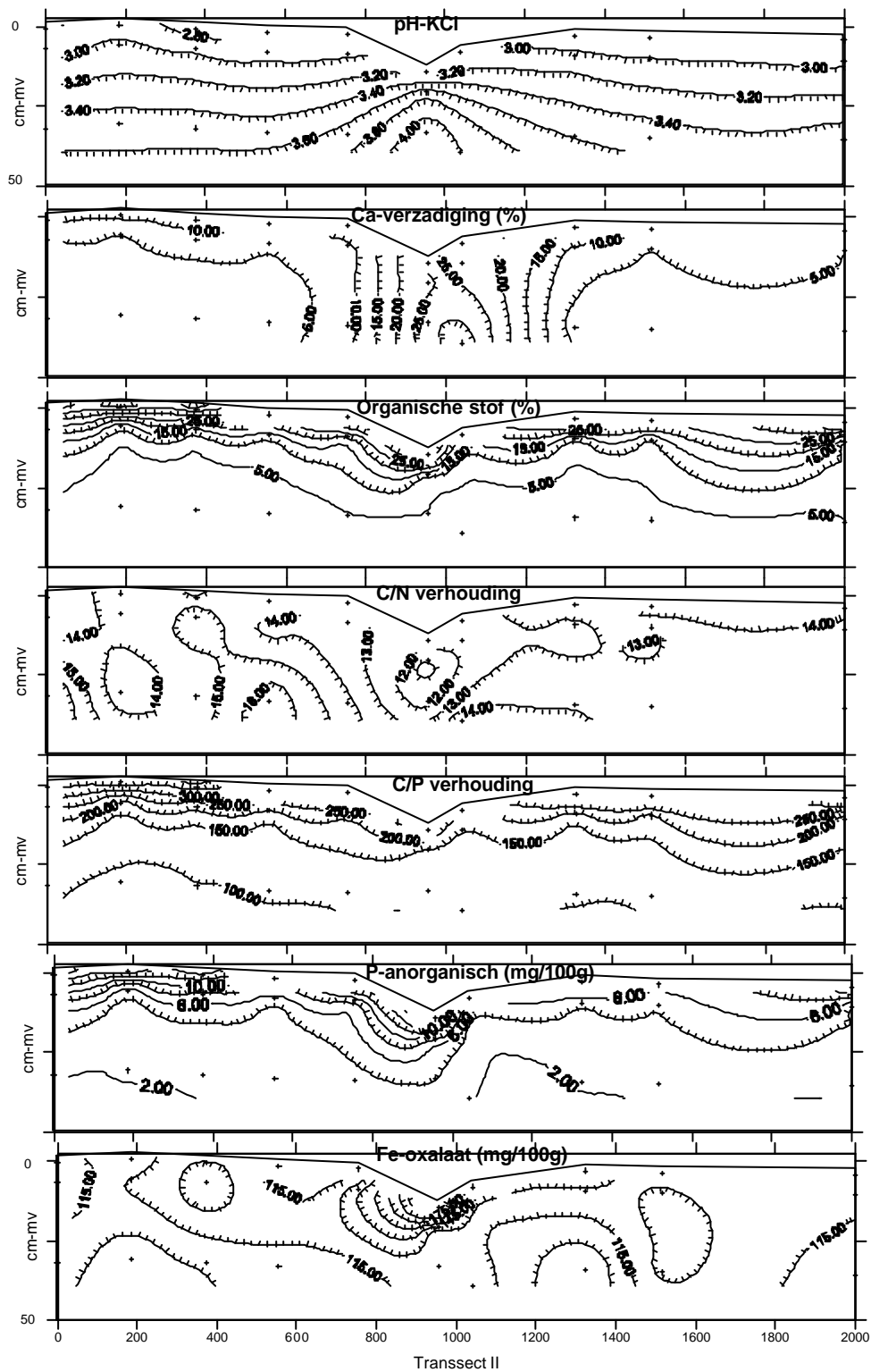
In de zuurgraad komt het effect van de greppel alleen op wat grotere diepte tot uiting. Bij de Ca-verzading is dit effect nog iets duidelijker aanwezig. Het transect geeft over het geheel genomen een beeld van een sterk uitgeloogde bodem, waardoor er vooral nabij het maaiveld zeer zure omstandigheden voorkomen. Rondom de greppels lijkt dit proces iets te zijn vertraagd, waardoor iets minder zure omstandigheden voorkomen.

De sterk zure omstandigheden hebben geleid tot de ontwikkeling van ectorganische horizonten met als gevolg dat er vrij hoge gehalten organische stof voorkomen nabij het maaiveld.

De C/N verhouding geeft een onduidelijk beeld. De laagste waarden komen voor onder de greppel. In de wat diepere horizonten komen over het algemeen relatief hoge waarden voor in vergelijking met transect I. Dit wijst op een geringere biologische activiteit als gevolg van de sterk zure omstandigheden. Dichter naar het maaiveld zijn de C/N verhoudingen lager dan op grotere diepte. Bij de C/P verhouding is dit juist omgekeerd: narmate de omstandigheden zuurder zijn, is de C/P verhouding hoger. Dat dit verschijnsel niet optreedt bij de C/N verhouding kan een aanwijzing zijn dat nabij het maaiveld extra minerale stikstof beschikbaar is dat door micro-organismen is ingebouwd in de organische stof (N-immobilisatie). Deze minerale stikstof is waarschijnlijk afkomstig van atmosferische depositie.

Nabij de greppel is het gehalte ijzeroxiden het hoogst. Dit lijkt samen te gaan met iets hogere gehalten anorganisch fosfor. Midden op de rabatten is het gehalte anorganisch fosfor niet wezenlijk lager dan bij de greppel, ondanks dat het gehalte ijzeroxiden er lager is dan bij de greppel. Dit wijst erop dat niet ijzer maar wellicht aluminium een rol speelt bij de fosfaatfixatie.

Opvallend is dat in transect II de laagste gehalten ijzeroxiden op grotere diepte voorkomen, terwijl daar bij transect I juist de hoogste gehalten voorkomen. Het verschil in ijzeroxiden op 25 cm-mv tussen transect I en II bedraagt ongeveer een factor 2. Dit wijst op een neerwaarts transport bij transect I. Een opwaarts transport bij transect lijkt niet waarschijnlijk, gegeven het sterke infiltratie karakter dat uit de basentoestand blijkt. Een verklaring zou kunnen zijn dat de ijzergehalten zijn verhoogd door bevoeiing in het verleden (van Dordt en Clerkx, in voorb.; Kemmers et al., 2003).



Figuur 12 Ruimtelijke patronen van bodemeigenschappen in een verticale uitsnede van transsect II (met het +symbool is de plaats van een monsterpunt weergegeven)

Conclusies

Het ruimtelijk patroon in transsect I vertoont een sterke verticale differentiatie, die kan worden verklaard uit een oppervlakkig systeem van infiltratie midden op de rabatten en kwel naar de greppels tussen de rabatten. Met de infiltratiestroom worden basen (calcium en ijzer) afgevoerd en met de kwelstroom worden basen aangevoerd naar de greppels. Hierdoor ontstaat een patroon van zure basen- en ijzerarme, voedelarme standplaatsen op de rabatten. Langs de greppels komen basen- en ijzerrijkere condities voor met een goede vertering van organische stof en voedselrijkere omstandigheden. In transsect II is het effect van de greppel vrijwel afwezig door een betere drooglegging. Transsect II geeft over het geheel genomen een patroon met horizontale differentiatie die kan worden verklaard door een sterk uitloging van de bodem.

4 Synthese

In het Smoddebos zijn twee transecten onderzocht die dwars over rabatten zijn uitgezet. De bodems in beide transecten hebben zich ontwikkeld in keileem.

4.1 Bodemontwikkeling en nutriënten transect I

In de bodem van transect I, die periodiek met water is verzadigd, hebben zich verschillende humusvormen ontwikkeld als functie van hun positie in een oppervlakkig hydrologisch systeem met infiltratie en kwel:

- Op de rabatten hebben zich onder invloed van infiltratie in een rijk bodemsubstraat hydromullmoders ontwikkeld, gekenmerkt door gley-verschijnselen binnen 25 cm-mv en een matige basenverzadiging (<35%). De activiteit van het bodemleven is enigszins gereduceerd waardoor er sprake is van de vorming van wortelmatten. De bovenste bodemhorizonten zijn door uitspoeling van basen verzuurd en de zuurbuffercapaciteit via ionenwisseling is gering. De organische stof is relatief arm aan stikstof en fosfor waardoor de C/N en C/P waarden relatief hoog zijn. In de Ah-horizonten is het gehalte ijzeroxiden door de zure omstandigheden laag waardoor slechts weinig anorganisch fosfaat is geadsorbeerd.
- Op enkele plekken is de bodem zo sterk verzuurd (basenverzadiging < 20%) dat zich een dunne laag onverteerd strooisel heeft ontwikkeld. Hier kunnen de humusvormen als schrale hydromullmoders worden getypeerd. Binnen de gradiënt is de organische stof op deze plaatsen het armst aan stikstof en fosfor.
- Nabij de greppels wordt de bodemverzuring geremd door periodieke toestroming van basen via zeer oppervlakkige kwel. Hier hebben zich beekhydromulls ontwikkeld. De basenverzadiging bij deze humusvorm is nog matig hoog (35-55%). Er is nog sprake van een actief bodemleven, waardoor er intensieve humificatie en homogenisatie van organisch materiaal plaatsvindt. De organische stof is rijk aan stikstof en fosfor, wat zich uit in lage C/N en C/P verhoudingen. In de Ah-horizonten komen vrij hoge gehalten ijzeroxiden voor, waardoor ook meer anorganisch fosfaat is geadsorbeerd dan bij de hydromullmoders. Nabij de greppels komt in deze humusvorm een grote voorraad fosfor voor, hetgeen het gevolg van de fosfaatfixatie aan ijzeroxiden.

4.2 Bodemontwikkeling en nutriënten transect II

Over het algemeen zijn de omstandigheden waaronder bodemvorming in dit transect heeft plaatsgevonden droger geweest. De humusvormen hebben zich eveneens ontwikkeld als een functie van hun hydrologische positie.

- Gley binnen 25 cm-mv komt nog slechts voor in een smalle zone langs de greppel. Daar heeft zich een schrale hydromullmoder ontwikkeld. De basenverzadiging in de Aa1-horizont bereikt er nog juist 25%. Er is sprake van een sterke verzuring wat zich uit in de vorming van een dunne strooisellaag, waarin een relatief hoog gehalte ijzeroxide aanwezig is, waaraan veel anorganisch fosfaat is gefixeerd. De C/N verhouding in de Aa-horizont van deze humusvorm is de laagste in het transsect. De voorraden koolstof, stikstof en fosfor zijn de laagsten die in het transsect voorkomen ($C < 9$ kg, $N < 0,8$ kg en $P < 90$ g per m^2).
- Op de rabatten buiten de invloedssfeer van de greppels hebben zich xeromullmoders ontwikkeld. De omstandigheden zijn extreem zuur, waardoor de biologische activiteit sterk gereduceerd is en geen homogenisatie meer plaatsvindt. Dit uit zich in de accumulatie van een vrij dikke F+H horizont. De Aa-horizont heeft een lagere basenverzadiging (<5%) dan de bovenliggende F+H horizont (10-15%), waaruit kan worden geconcludeerd dat de vegetatie uit de diepere ondergrond basen weet te mobiliseren die via bladval weer in de wortelzone terechtkomen. Ondanks lage ijzergehalten wordt er in de F+H horizont hogere gehalten anorganisch fosfor (15-25 mg/100g) gemeten dan in de beekhydromulls van het eerste transsect. Geconcludeerd wordt dat onder deze extreem zure omstandigheden fosfaat wordt gefixeerd door aluminiumoxiden. De voorraden koolstof en stikstof zijn hoog en schommelen tussen de 13,5 en 18,5 kg C en 0,85 en 1,35 kg N per m^2 . Een belangrijk deel daarvan (ca. 25%) ligt opgeslagen in de F+H horizont. Het verschil in voorraad met de hydromullmoder is vrijwel volledig toe te schrijven aan de ectorganische F+H horizont.
- De bodemverrijking door bevoeiing is nog slechts merkbaar in een verhoogde fosforvoorraad van de bodem en niet (meer) in de stikstofvoorraad.

4.3 Hypothesen

Uit de resultaten komen een aantal aanwijzingen naar voren die tot enkele hypothesen voor vervolgonderzoek hebben geleid:

1. Het reservaatsgedeelte van het Smoddebos kan niet als een grondwatergevoed ecosysteem worden beschouwd. Er is sprake van een bosecosysteem dat zich ontwikkeld heeft op een basenrijk substraat. Op zeer lokale schaal komen er kwelzones voor langs de greppels die de rabatten van elkaar scheiden. De rabatten functioneren als infiltratiezone en de greppels gedurende een deel van het jaar als kwelzone.
2. In het reservaatsgedeelte is een verzuringsproces gaande dat niet aan verdroging of wegvallen van kwel kan worden toegeschreven, maar aan een natuurlijk proces van verzuring van een basenrijk bodemsubstraat.
3. De bodemontwikkeling in de keileem in het noorsoostelijke 'maatje' wijst op een zeer langzame successie naar moderpodzolen met tragere

nutriëntenkringlopen en geringere beschikbaarheid van voedingsstoffen dan nu het geval is.

4. De bodem in het zuidwestelijke 'maatje' is extreem zuur niet door een proces van uitloging maar door grondbewerking of door bezanding in het verleden.
5. De effecten van bevoeiing uit zich in het zuidwestelijke maatje nog steeds in een verhoogd fosforgehalte van de organische stof en een verhoogde fosforvoorraad in de bodem. De fosfor is vastgelegd in zeer stabiele goed gehumificeerde organische stof, waaruit nog nauwelijks voedingsstoffen via mineralisatie beschikbaar komen.
6. De vegetatie in het zuidwestelijke 'maatje' verrijkt zijn eigen standplaats met basen door deze op grotere diepte te mobiliseren, via het wortelstelsel te transporteren naar het bladerdek en via strooiselval naar de bovengrond terug te voeren.
7. Het effect van het bevoeien van de maten komt in de zuidwestelijke maat tot uiting in een onlogische Fe-gradiënt in het bodemprofiel dat door infiltratie is beïnvloed: hoge gehalten bovenin en lage gehalten onderin. Het ijzer is door bevoeiingswater aangevoerd.

Literatuur

Broekmeyer, M.E.A., 1995. *Bosreservaten in Nederland*. Wageningen, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. IBN-rapport 133.

Buis, E. en S.P.J. van Delft, 2003. Handleiding humusvormen 1; een programma ter classificatie van humusvormen vanuit de ecologische bodemtypering. Wageningen. Alterra. Rapport 708.

Dort K.W. van & A.P.P.M. Clerckx, 2003. Bosreservaat Smoddebos-Duivelshof. Bosstructuur en vegetatie bij aanwijzing tot bosreservaat. Wageningen. Alterra. Rapport 752.

Giesen & Geurts. 2002. Analyserapport Smoddebos. Ulft.

Jansen, P.C., R.H. Kemmers en P. Mekking. 1994. Eco-hydrologische systeembeschrijving van het landgoed 'De Wildenborch'. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 296.

Keckler, D. 1995. Surfer for Windows, user guide, version 6. Golden Software, inc. Colorado. USA.

Kemmers, R.H., P.Mekking & R.W. de Waal, 1998. De uitgangstoestand van bodemvariabelen in Norgerholt en Tongerense hei; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 592.

Kemmers, R.H. en P. Mekking, 1999. Humusprofielen in de bosreservaten Lheebroek in Mattemburgh; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 686

Kemmers, R.H., M.M. van der Werff en R.W. de Waal, 2000a. Humusprofielen van het bosreservaat Galgenberg; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. Alterra. Rapport 116.

Kemmers, R.H., P.Mekking en R.W. de Waal, 2000b. Humusprofielen in de bosreservaten Hollandse Hout en Houtrbbos; Basisprogramma bosreservaten. Wageningen. Alterra. Rapport 175.

Kemmers, R.H., R.W. de Waal, A.H.F. Stortelder en A.C. Zuidhoff. 2000c. OBN-referentieproject Springendal/Korenburgerveen. Resultaten monitoring 1990 en 2000 Korenburgerveen. Nieuwegein. KIWA NV/ Alterra. Rapport KOA 00125.

Mekking, P. 2000. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 36 Bosreservaat Smoddebos-Duivelshof. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 98.36.

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & M. Hermy. 1999. Querco-Fagetea. In A.F.H. Stortelder, J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel (1999): De vegetatie van Nederland. Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen. Opulus Press. Uppsala, Leiden.

