

De rol van bodemorganische stof in boscosecosystemen in een veranderend milieu

Summary

The role of soil organic matter in system functioning in forest ecosystems in the Netherlands in relation with changing environmental conditions

The role of soil organic matter in originally nutrient poor forest ecosystems in the Netherlands is reviewed in the context of changing environmental conditions. Soil organic matter determines for a large part nutrient availability by the microbial breakdown of organic substances and by ionexchange processes. In addition, soil organic matter influences hydrological properties of the forest soil. Large scale environmental problems like soil acidification, climatic change and decreased water availability by lowered groundwater tables in neighbouring agricultural land, all induce changes in the organic matter dynamics in these forests and thus in the water and nutrient availability. It is therefore argued that expanding knowledge of the role of soil organic matter is essential in evaluating the effects of changing environmental conditions on these forest ecosystems.

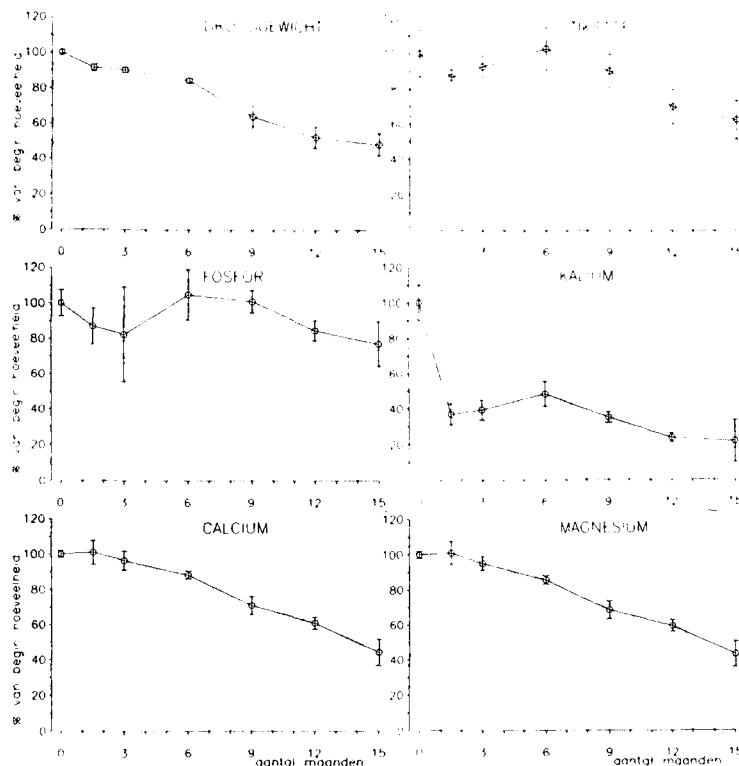
Een deel van de netto primaire produktie in terrestrische ecosystemen bereikt als dode organische stof de bodem. In de bodem wordt deze organische stof afgebroken door bodemfauna en microorganismen (bacteriën en schimmels), die het als voedsel gebruiken voor hun eigen voorziening van energie en koolstof (C). Bodemorganische stof bestaat uit de (tussen)produkten van het afbraakproces en kent een extreme veelvormigheid: gedeeltelijk afgebroken plantenresten, dierlijke uitwerpselen en microbiële cellen, maar vooral ook produkten die tijdens het afbraakproces worden gevormd, zogenaamde

secundaire produkten zoals humine- en fulvozuren. Daarnaast bestaan er verschillen in de structuur waarin bodemorganische stof voorkomt. Samenhangend met de fase in het afbraakproces varieert deze van een losse stapeling van nauwelijks afgebroken plantenresten in het bovenste deel van de strooisellaag, tot een amorphe structuur waarbij deeltjes samengekit voorkomen met minerale bodemdeeltjes in het organisch rijke deel van de minerale bodem. Deze extreme diversiteit leidt tot een complex geheel van chemische, biologische en fysisch hydrologische eigenschappen van bodemorganische stof.

In de van oorsprong voedselarme Nederlandse bossen op de arme, droge zandgronden speelt de geaccumuleerde organische stof een essentiële rol bij de opslag en het langzaam vrijkomen (mineralisatie) van door de vegetatie benodigde chemische elementen. Onderzoek naar het functioneren van deze boscosecosystemen is in Nederland vooral gericht geweest op de effecten van milieuveranderingen (zure regen, verdroging, klimaatsverandering). Hierbij is gebleken dat bodemorganische stof vaak een sleutelrol speelt. In dit artikel komt een aantal, hiervoor relevante eigenschappen van bodemorganische stof aan de orde. Ze worden geïllustreerd aan de hand van onderzoeksresultaten die grotendeels op één en dezelfde Douglas spar locatie in het Speulderbos zijn verzameld. De relatie tussen deze eigenschappen en de betreffende milieuveranderingen zullen in het laatste deel van dit artikel aan de orde komen.

Voedingsstoffen beschikbaarheid

Voor de vegetatie essentiële voedingsstoffen (nutriënten) zitten ofwel ingebouwd in organische verbindingen, of zijn opgelost in het celsap of zijn in kationvorm geadsorbeerd aan de negatieve buitenkant van grote colloïdale organische moleculen. Het beschikbaar komen van deze elementen verloopt dan ook volgens verschillende processen: ingebouwde elementen komen vrij als resultaat van de microbiële afbraak van organische stof, geadsorbeerde elementen door ionwisselingsreacties. De waterfase vormt niet alleen het nutriëntenleverend medium voor de wortels



■ **Figuur 1.** Dynamiek van het gewichtsverlies en van de absolute hoeveelheden van verschillende elementen (N, P, K, Ca en Mg) in afbrekend Douglas spar naaldstrooisel. Het experiment werd uitgevoerd met strooiselzakjes die december 1986 op de bosbodem zijn geplaatst en waarvan na bepaalde periodes enkele zakjes zijn verwijderd ter analyse. De hoeveelheden zijn uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid die aan het begin van het experiment in het strooisel aanwezig was. De getallen geven gemiddelde waarden weer van 6 zakjes, de verticale staafjes komen overeen met het betrouwbaarheidsinterval.

maar vormt ook het leefmilieu van die wortels. Door de mogelijkheid tot het vormen van wateroplosbare complexen met bepaalde, soms toxische kationen (aluminium (Al), zware metalen) en door de zuurneutraliserende capaciteit, heeft bodemorganische stof

grote invloed op dat leefmilieu en daardoor ook op het functioneren van het wortelsysteem van de vegetatie.

Afbraak van organisch materiaal: immobilisatie/mineralisatie

Chemische elementen zoals stikstof (N), zwavel (S) en fosfor (P) komen in organische stof veelal ingebouwd voor in organische verbindingen zoals amino suikers (N), aminozuren (N en S), nucleinezuren (N en P) en vitamines (N, P en S) (Kowalenko, 1978). Voor het grootste deel hebben deze verbindingen een metabolische functie. Microbiëel weefsel bevat relatief meer van deze metabolische stoffen dan stoffen met een structurele functie en bezit hierdoor hogere concentraties aan N, P en S dan dode plantenresten (Swift et al. 1979). Dit verschil wordt vergroot doordat de planten een aanzienlijk deel van deze elementen terugtrekken voordat

het strooisel los raakt van de plant. Door de productie en het ontwijken van kooldioxide (CO₂) tijdens de afbraak van het substraat zal dit verschil weer kleiner worden (relatieve aanrijking). Daarnaast wordt er door de microörganismen ook anorganisch N, P en S vanuit de omgeving opgenomen. Dat kan zijn uit de atmosferische depositie of vanuit ouder strooisel waar voldoende voorradig is. Het netto resultaat is dan ook dat de absolute hoeveelheid N, P en S in het substraat (plantenresten + levend en dood microbiëel weefsel) tijdens deze fase van de afbraak toeneemt. Deze fase wordt daarom immobilisatie fase genoemd (Swift et al. 1979). De immobilisatie fase duurt totdat de concentraties, rekening houdend met de efficiency waarmee de organismen de C uit het substraat kunnen benutten voor de aanmaak van hun biomassa, niet meer beperkend zijn voor de microörganismen. Vanaf dat moment is er geen gebrek meer aan het betreffende elementen zaler netto N, P en S uit het strooisel vrijkomen, de mineralisatie fase.

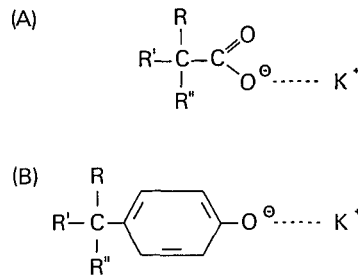
In een experiment waarin de afbraak van pas gevallen sparrenaalden in het veld werd bestudeerd met behulp van nylon (gaas) zakjes gevuld met een bekende hoeveelheid vers strooisel, zien we voor N en P de verschillende fasen. Beide eerder genoemde fasen (immobilisatie- en mineralisatie fase) worden voorafgegaan door een periode van netto verlies aan N en P veroorzaakt door uitspoeling van oplosbare N en P bevattende organische verbindingen: de uitspoelings fase. De immobilisatie fase speelt zich in het Douglas naalden strooisel af tussen 1— en 6, en tussen 3 en 6 maanden, respectievelijk voor N en P (figuur 1). De mineralisatie fase zal in theorie voortduren totdat er niets meer van het substraat aanwezig is. De

snelheid waarmee het substraat afgebroken en het element gemineraliseerd wordt zal echter steeds kleiner worden naarmate het substraat ouder wordt. Dit komt omdat de makkelijk afbreekbare verbindingen verdwijnen en voor een deel worden vervangen worden door resistente, humusachtige verbindingen, die door de microorganismen worden geproduceerd. Tijdens de mineralisatie fase is dan ook niet meer de concentratie van N, P of S beperkend voor de afbraak, maar de afbreekbaarheid van de organische verbindingen.

Andere elementen en dan name kalium (K), komen voor als wateroplosbare zouten in het protoplasma van de plantaardige cellen. K spoelt dan ook voor het grootste deel uit het strooisel op het moment dat cellen beschadigd worden voor of direct na het vallen van het strooisel. Uitspoeling van K voor het loslaten van het blad leidt tot verhoogde K concentraties in de doorval in een loofbos in de herfst, verdere uitspoeling na het vallen leidt tot een sterke afname van de totale hoeveelheid kalium in het pas gevallen blad tijdens de eerste weken na bladval (figuur 1).

Veel langzamer komen calcium (Ca) en magnesium (Mg) uit het strooisel vrij (figuur 1). Ca en Mg komen in het plantaardig weefsel voor in ion-vorm of als in water zeer slecht oplosbare zouten (kristallen) in de celvacuolen, terwijl Ca bovendien sterk gebonden als Ca-pectaat voorkomt in de celwanden (Staaf, 1980). Daarnaast worden deze tweewaardige kationen sterker geadsorbeerd aan organische verbindingen dan bijvoorbeeld K. Het gevolg van deze verschillen met K is dat Ca en Mg langzamer dan kalium uit het strooisel vrijkomen.

Bij het vrijkomen van deze metaalkationen is er sprake van microbiële afbraak voor zover de kati-



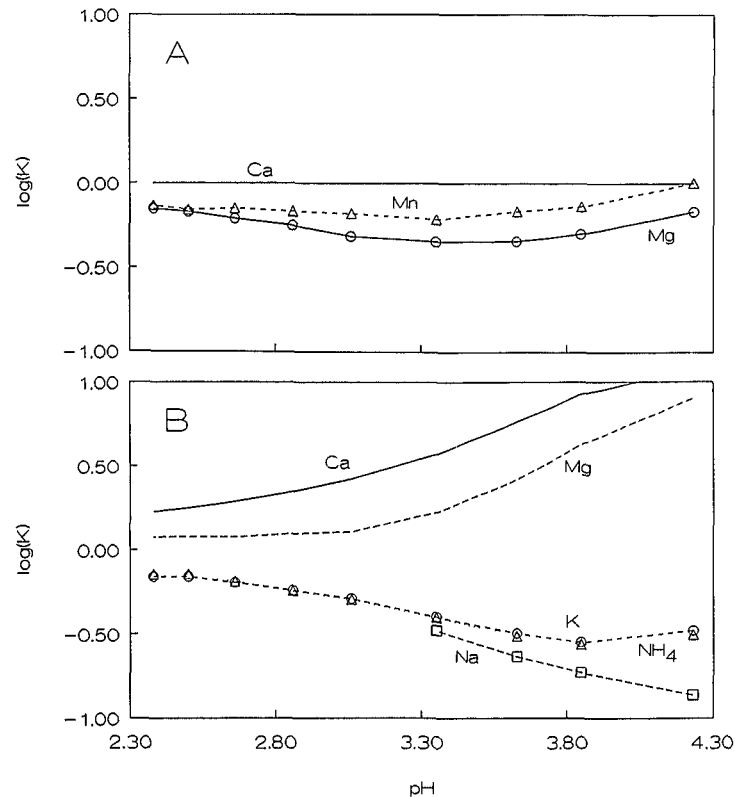
■ *Figuur 2. Gedeprotoneerde carboxylgroep (A) en fenolische hydroxylgroep (B). R staat voor een niet nader gedefiniëerd stuk van een organisch molecuul, K⁺ geeft het geadsorbeerde kation weer.*

onen gebonden zijn in organische stof, voor een ander deel zijn het ionwisselingsprocessen en spelen de verschillen in adsorptie affiniteit een rol in de snelheid waarmee deze elementen vrijkomen in de waterfase.

Ionwisseling

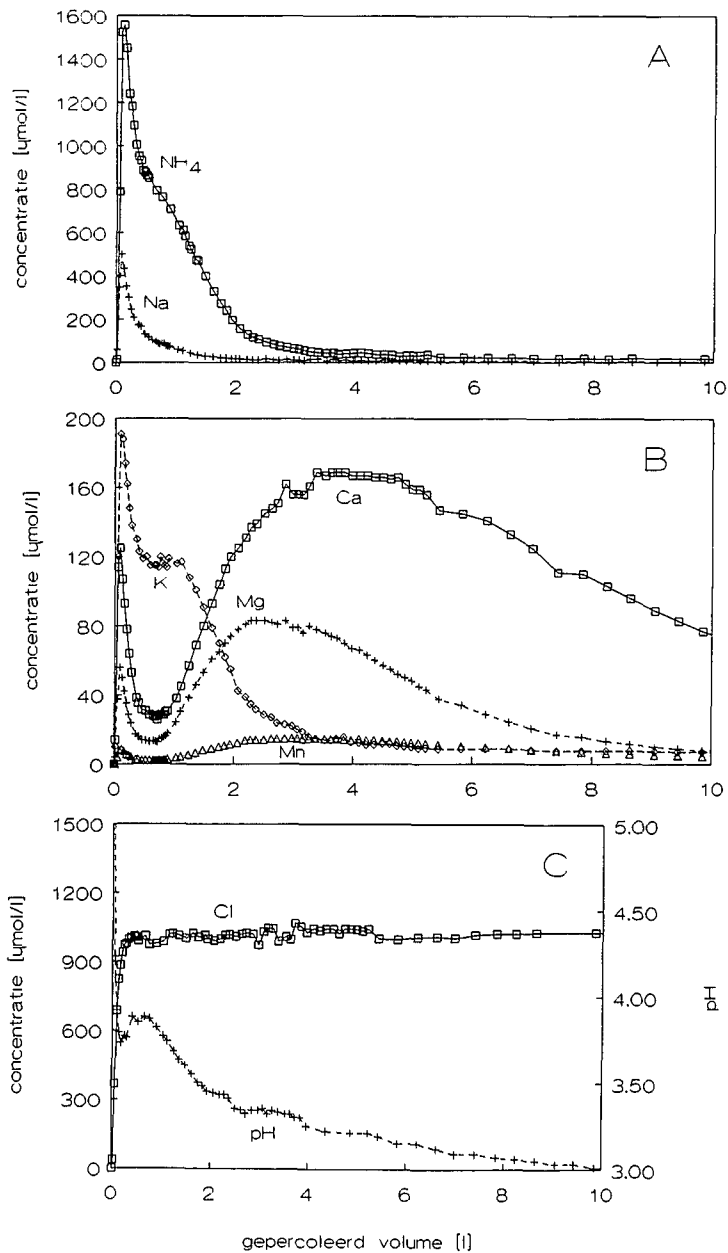
De voor de organismen van belang zijnde kationen bevinden zich in de bodem opgelost in het bodemwater of geadsorbeerd, in Speuld voornamelijk aan de orga-

■ *Figuur 3. De ionwisselingscoëfficiënten van de verschillende kationen t.o.v. Calcium, als functie van de pH in ectorganisch materiaal uit Speuld. De concentratie van de verschillende kationen is in de oplossing bepaald na schudden van het strooisel in oplossingen met verschillende HCl concentraties. In figuur 3A staan de bivalente kationen weergegeven. Hierin komt de getrokken lijn overeen met de (gestelde) ionwisselingscoëfficiënt van Ca van 1 (logK = 0). De monovalente kationen staan weergegeven in figuur 3B, waarbij ter vergelijking de ionwisselingscoëfficiënten van Ca en Mg zijn ingetekend alsof zij monovalente kationen waren.*



nische stof. In een dergelijke goed gedraineerde bosbodem staan de in het water opgeloste stoffen bloot aan uitspoeling. Van daar dat kationen beter in het ecosysteem vastgehouden kunnen worden, naarmate er meer organische stof aanwezig is en naarmate de adsorptiecapaciteit hiervan hoger is. Voor elk kation apart is daarnaast de adsorptieaffiniteit ten opzichte van andere kationen van belang. Kationen die sterker adsorberen dan anderen worden beter vastgehouden. De kationen worden in humeuze verbindingen voornamelijk geadsorbeerd door de in deze verbindingen veel voorkomende functionele groepen: carboxyl- en fenolische hydroxylgroepen (figuur 2). De ligging van de ionwisselings-evenwichten wordt bepaald door de soort functionele groep, door de plaats van deze groep binnen het molecuul en de heersende omstandigheden (zoals pH en totale ionconcentratie in de waterfase). Hierdoor en omdat de exacte samenstelling van de organische stof niet bekend is, bestaan er eigenlijk geen algemeen geldige evenwichtsconstantes voor ionwisseling aan organische stof. Toch worden er wel zogenaamde conditionele evenwichtsconstantes bepaald, bijvoorbeeld met behulp van titraties aan het totale mengsel van organische stof. Deze 'constantes' gelden dan echter alleen voor dat mengsel en zijn vaak niet echt constant, maar variëren enigszins in de tijd en met de heersende condities. Desalniettemin kunnen dergelijke resultaten helpen bij het inschatten van de affiniteit van de organische stof van een bepaalde lokatie voor bepaalde kationen.

Van het strooisel uit de Douglassparlocatie uit het Speulderbos zijn enkele ionwisselingscoëfficiënten (K) bepaald (figuur 3).



■ *Figuur 4. Het concentratieverloop in het percolaat tijdens een percolatieproef (tijdduur: 25 dagen) van de ectorganische laag (oppervlakte kolom: 113 cm²) van een Douglas spar bos (Speulderbos) met HCl (0.001 M, pH3). Het verloop van de Cl⁻ concentratie (4A) geeft de doorslag weer van de percolatie vloeistof. Op dat moment zijn de aanwezige hoeveelheden kationen in de bodemplossing uitgespoeld en wordt het verloop verder bepaald door ionwisselings- en mineralisatieprocessen.*

Het strooisel werd geschud met verschillende concentraties zout- zuur, waarna de kationconcentraties in het extract werden gemeten.

De K's werden berekend met de volgende empirische formules:

monovalent kation (M⁺): $K_{M^+} =$

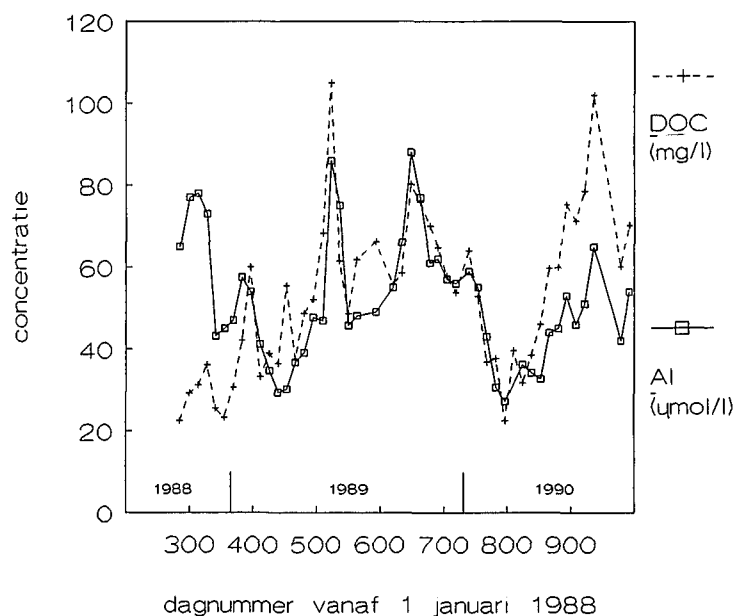
$$\frac{(K_{Ca^{2+}} \times [Ca^{2+}] / [Ca^{2+}]_{\text{totaal}})^{1/2}}{[M^+] / [M^+]_{\text{totaal}}}$$

bivalent kation (M²⁺): $K_{M^{2+}} =$

$$\frac{K_{Ca^{2+}} \times [Ca^{2+}] / [Ca^{2+}]_{\text{totaal}}}{[M^{2+}] / [M^{2+}]_{\text{totaal}}}$$

De K's geven een affiniteit van aan ten opzichte van die van calcium, het kation met de hoogste concentratie in het strooisel. Hoe groter de K, hoe groter de adsorptie-affiniteit ten opzichte van calcium. De K van calcium is gesteld op 1 (logK=0), dus als een bivalent kation een K van 1 heeft, is de affiniteit gelijk aan die van calcium. Voor monovalente kationen is de relatie minder eenvoudig doordat in die formule een wortel voorkomt. Ter vergelijking is daarom in figuur 3 een lijn opgenomen die de K voorstelt van een monovalent kation dat zich identiek aan magnesium gedraagt, het bivalente kation met de laagste affiniteit. Uit figuur 3 blijkt de volgende affiniteitsreeks: het sterkste bindt Ca, dan Mn, Mg, K en NH₄, Na.

De zuurneutralisatiecapaciteit ten gevolge van ionverwisseling van deze strooisellaag is bepaald middels een percolatieproef (figuur 4). Er werd gepercoleerd met een HCl oplossing van pH=3. Zoals blijkt uit de pH in het experiment wordt een groot deel van de protonen (H⁺) in het strooisel opgenomen. Pas aan het eind van de proef als het overgrote deel van de overige kationen is uitgespoeld daalt de pH in het percolaat naar 3. Dit bufferende effect van het strooisel wordt bereikt ten koste van een verlies aan andere kationen. Deze spoelen uit in de volgorde natrium, ammonium, ka-



■ *Figuur 5. Opgelost organische koolstof (DOC) en aluminium concentratie in bodemwater (onder de strooisellaag) uit een eikenbos (Buunderkamp). Het water is tweewekelijks verzameld met behulp van een plaatlysimeter met een onderdruk van 100 mbar.*

lium, magnesium, mangaan en calcium. De schudproeven geven dus een redelijke indicatie van het gedrag van de kationen in deze percolatieproef.

Organische stof zou ook de mobiliteit van kationen kunnen bevorderen, indien kationen adsorberen aan opgeloste organische stof (DOC). In figuur 5 is het gedrag te zien van DOC en Al in met een poreuze plaat verzamelde bodemoplossing. Aluminium in vrije, ion vorm is slechts beperkt oplosbaar onder de heersende pH condities. Uit de figuur blijkt dat de opgeloste organische stof op dezelfde manier fluctueert als Al. Waarschijnlijk komt het Al grotendeels gecompliceerd aan organische stof voor en wordt de mobiliteit dus bepaald door de hoeveelheid opgeloste organische stof en de mate waarin Al hieraan kan adsorberen.

Vochthuishouding

In bossen op droge zandgronden in Nederland is de beschikbaarheid van water beperkt. In dergelijke systemen speelt bodem-

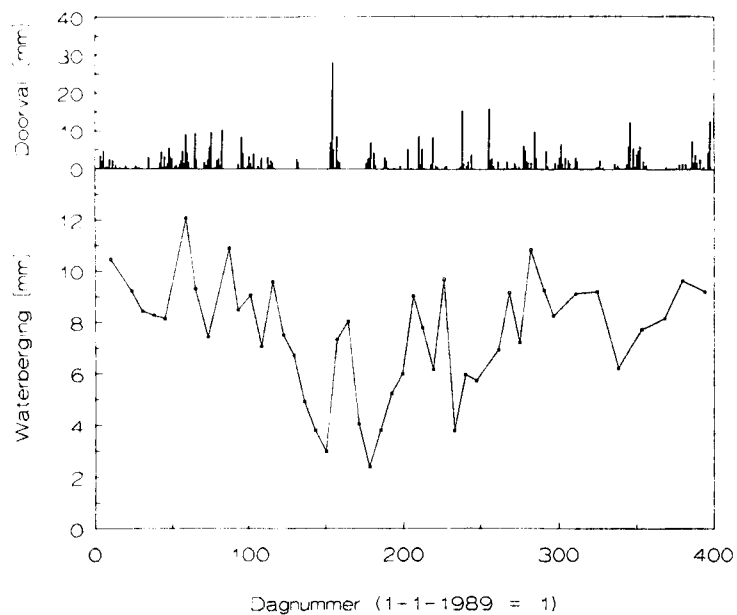
organische stof een belangrijke rol in de vochthuishouding als intermediair tussen minerale bodem en microklimaat en door beïnvloeding van bodemfysische eigenschappen van de minerale bodem. Een onderscheid tussen ectorganische (totaal aan organische stof bovenop de minerale bodem) en endorganische stof (organische stof in de minerale bodem) is hierbij belangrijk (Verstraten et al. 1990; Emmer et al. 1991).

Invloed van de ectorganische laag op de vochthuishouding

De ectorganische laag laat zich in bodemfysische zin karakteriseren als een laag met geringe dichtheid, hoog poriën volume en een laag volumetrisch- maar hoog gravimetrisch watergehalte (respectievelijk 0.1 cm³/cm³ tegen 2

à 3 gram/gram organische stof). Deze eigenschappen leiden ertoe dat de organische laag een sterk bufferende werking heeft op het water aanbod aan de wortelzone in de minerale bodem: tijdens neerslag kan de organische laag veel water opnemen waarna een deel hiervan langzaam in 1 à 2 dagen naar de minerale bodem draineert. Door deze buffering van de waterfluxen wordt voorkomen dat er grote hoeveelheden water tijdens een regenbui naar het grondwater draineren en onbereikbaar worden voor de wortels. Het deel van het water dat in de organische laag achter blijft is onderhevig aan verdamping en opname door wortels die in het onderste deel van de laag aanwezig zijn. Verdampfings- en opnamesnelheden uit deze laag zijn over het algemeen het grootst vlak na regenbuien. In het licht van waterbeschikbaarheid speelt de ectorganische laag dus een enigszins tegenstrijdige rol als enerzijds waterleverancier voor de vegetatie en anderzijds als verliespost door verdamping aan het bodemoppervlak (Walsh en Voigt, 1977). Turbulente wind over de bosvloer zorgt echter voor een snelle uitdroging van het bovenste deel van de ectorganische laag die hierdoor een isolerende werking krijgt en verdere verdamping uit het onderste deel van de laag hindert. In droge perioden blijft er zodoende in de ectorganische laag een tijdlang extra water beschikbaar voor opname voor vegetatie.

Uit onderzoek in het Speulderbos (Tiktak en Bouten, 1990) blijkt dat de waterberging in de ectorganische laag in 1989 varieerde van 2.5 tot 12 mm (figuur 6). Opvallend is de grote dynamiek door het hele jaar die veelal veroorzaakt werd door regenbuien en vervolgens snelle drainage uit de organische laag. Uit de scherpe



■ **Figuur 6.** Waterbergingsdynamiek (lijnen) en neerslag (staafjes) in het Speulderbos. Horizontaal staat de tijd in dagnummers, doorgenummerd vanaf 1 januari 1989. Vertikaal staat de waterberging, berekend als verschil tussen nat- en drooggewicht van de bemonsterde strooisellaag.

pieken wordt duidelijk dat de waterberging frequenter varieerde dan de wekelijkse metingen. In het winter seizoen (dag 0-100 en 300-400), wanneer de vegetatie geen water opneemt en verdamping zeer laag is, was de minimale berging gemiddeld ongeveer 8 mm. Deze berging is te zien als een drempel waaronder geen drainage meer optreedt naar de minerale bodem. In het groeiseizoen (dag 100-300) is een duidelijke verlaging van de waterberging te zien, deze wordt veroorzaakt door wortelopname en verdamping uit de ectorganische laag. Uit het verschil tussen gemiddelde minimale berging tijdens winter perioden en de minimale berging tijdens droge perioden in het groeiseizoen (2.5 à 4 mm) kan worden afgeleid dat er in droge perioden in de zomer ongeveer 5 mm dynamische berging beschikbaar is voor buffering van regenbuien. Grotere hoeveelheden neerslag die boven het niveau van 8 mm uitkomen draineren ten dele naar de minerale bodem. Regenbuien van enkele mm, die relatief het vaakst voorko-

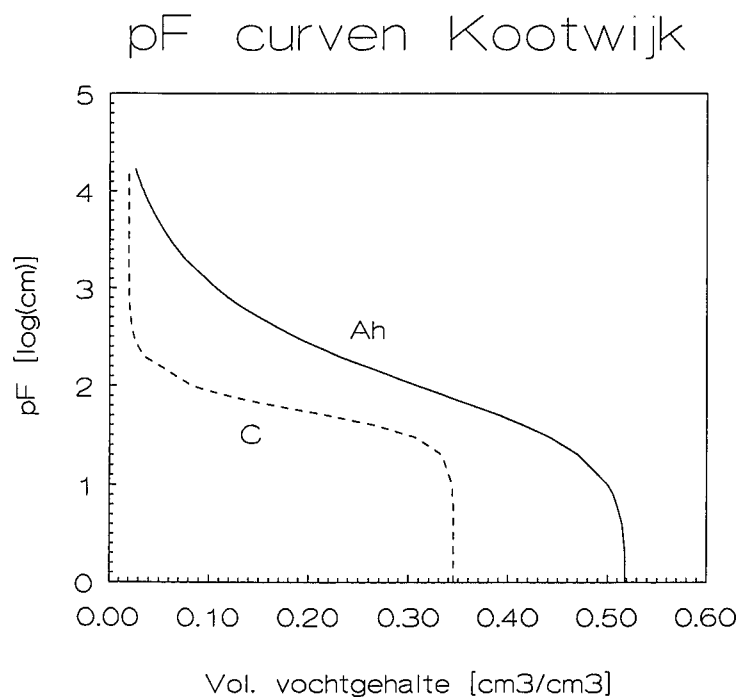
men, zullen echter volledig in deze organische laag kunnen blijven 'hangen'. De verhouding verdamping - wortelopname uit de organische laag is zodoende van groot belang voor de watervoorziening van de vegetatie. De mate waarin deze processen optreden is afhankelijk van lokale omstandigheden: van microklimaat dat voornamelijk verdampingsnelheden bepaalt en ook van vegetatietype dat het type (ec)organisch profiel bepaalt. Hydrologisch is hierbij vooral de hoeveelheid organische stof, de aard van de ectorganische laag en de mate van uitwisseling van water en energie aan het oppervlak en met minerale van belang (Walsh en Voigt, 1977): een grotere hoeveelheid strooisel zal leiden tot een groter waterbergend-

vermogen; een ruwe open structuur van loofbladeren zal leiden tot een grotere verdamping uit de ectorganische laag dan een gladde naaldstrooisel, een geleidelijke overgang van ectorganische laag naar de minerale bodem zal contactproblemen verminderen en leiden tot grotere drainage naar de minerale bodem. De resultaten die voor Speuld gevonden zijn zullen dus waarschijnlijk niet zonder meer gelden voor bossen met andere omstandigheden.

Invloed van organische stof op fysische eigenschappen van de minerale bodem

Naast beïnvloeding van hydrologische processen aan het bodemoppervlak leidt accumulatie van organische stof tot verandering van de waterretentie karakteristieken van de minerale bodem. De waterretentie karakteristiek (ook wel pF-curve genoemd) geeft hierbij aan welke volumefractie water door capillaire zuigkrachten wordt vastgehouden in de poriën: wijde poriën verliezen hun water bij lagere zuigkrachten dan nauwe poriën. De invloed van organische stof werkt op twee verschillende manieren: in de eerste plaats direct door veranderingen in de poriën grootte verdeling en extra absorptie van water door hydrofiële groepen. In de tweede plaats zorgt mechanische menging van organische stof door bodemfauna voor een stabiele hogere porositeit in de minerale bovengrond.

In figuur 7 worden de pF-curven van de Ah en C horizont van een zandgrond van een Douglas spar opstand bij Kootwijk getoond. Duidelijk is een hogere porositeit (watergehalte bij $pF = 0$) bij de Ah horizont en een geleidelijkere curve wat duidt op relatief veel kleinere poriën. De C horizont, met dezelfde textuur maar met



minder organische stof, heeft daarentegen een lagere porositeit en een curve met scherpere vormen, hier zijn vooral veel grove poriën aanwezig die hun water bij hogere zuigkrachten snel verliezen. Voor waterbeschikbaarheid voor vegetatie is de hoeveelheid water van belang die vrijkomt tussen $pF 2$ en 4.2 , beneden $pF 2$ is de waterdoorlatendheid hoog en draineert het water uit de wortelzone, $pF 4.2$ is het verwelkingspunt van de vegetatie waarbij geen water meer kan worden opgenomen. Uit figuur 7 kan dan worden afgelezen dat er in de Ah horizont ongeveer $0.28 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ in dit traject beschikbaar is terwijl dit in de C horizont $0.06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ is.

Een hoger organisch stof gehalte leidt dus tot een beter waterleverend vermogen van het minerale deel van zandgronden, dit effect is vooral te verwachten in de A en B horizonten en hangt dus naast de bodemvormende processen af van de dikte van deze horizonten.

■ **Figuur 7.** Waterretentie karakteristieken van de Ah en C horizont van een Douglas spar bosbodem (holtpodzol in stuifzand) nabij Kootwijk. Horizontaal is het watergehalte in volumefractie (cm^3/cm^3) uitgezet, vertikaal staat de logaritme van de zuigkracht of drukhoogte: de pF waarde. Organisch stof gehalten zijn respectievelijk 4 en < 1 gewichtsprocent. Duidelijk is de grotere porositeit van de Ah ten opzichte van de C, af te lezen als het watergehalte bij bijna verzadiging ($pF=0$). Verder valt het geleidelijker verloop van de curve van de Ah op.

Het waterleverend vermogen van deze gronden is vooral hoog aan het begin van het groeiseizoen wanneer de gehele bodem zijn optimale vochttoestand heeft, namelijk het watergehalte bij $pF 2$. Tijdens het groeiseizoen is de beschikbare hoeveelheid water in de bodem afhankelijk van de al opgenomen hoeveelheid, verdamping aan het bodemoppervlak en van aanvulling door regenbuien. Vooral tijdens de

grotere regenbuien versterken het bufferend vermogen van de ectorganische laag en het grotere waterbergend vermogen van organisch stof houdende horizon ten elkaar omdat het drainage water uit de ectorganische laag in de A en B horizon ten geborgen kan worden. Praktisch gezien is dit dan ook de verklaring van de hogere infiltratiecapaciteiten en grotere waterbeschikbaarheid van organischstofrijke bosbodems in vergelijking met landbouwgronden.

Bodemorganische stof en milieuveranderingen.

In dit artikel is een aantal facetten van de rol van bodemorganische stof in het functioneren van bosecosystemen aan de orde gekomen. De behandelde facetten hebben gemeen dat ze van belang zijn in het bepalen van de effecten van milieuveranderingen op deze ecosystemen.

De effecten van zure regen op de vitaliteit van de bossen lopen voor een belangrijk deel via de bosbodem. Stikstofdepositie en stikstofomzettingen in de bodem spelen hierbij een zeer grote rol (Schneider en Heij, 1990). Het middels zure regen gedeponeerde NH₄ kan door microorganismen in de bosbodem worden omgezet tot nitraat (NO₃), welke reactie gepaard gaat met produktie van protonen (zuur). De nitraat produktie in zure bosgronden wordt vooral uitgevoerd door autotrofe bacteriën (De Boer et al. 1991). Ofschoon deze organismen geen organische stof nodig hebben voor hun metabolisme, blijkt uit onderzoek naar de verticale verdeling van dit proces dat de nitrificatie met name voorkomt in organisch rijke bodemhorizonten (Tietema en Verstraten, 1988). Wanneer het mobiele NO₃ uit het (organische) bodemcompartiment uitspoelt, blijven de protonen achter. Drainage- en ionver-

wisselingsprocessen bepalen in hoeverre de gevormde protonen uitspoelen, tot een verlaging van de pH leiden ofwel worden uitgewisseld tegen aan organische stof geadsorbeerde kationen (Verstraten et al. 1989). In het laatste geval zijn toxische Al concentraties mogelijk en kunnen kationen samen met NO₃ uitspoelen. Een aantal onderzoekers ziet dan ook in het resulterende gebrek aan kationen (Ca, Mg en Mn) één van de belangrijkste oorzaken van de teruggang in vitaliteit van het Nederlandse bos (Roelofs et al. 1985).

Uit onderzoek blijkt dat de strooiselafbraak in bossen als gevolg van stikstof depositie wordt geremd (Fog, 1988). Deze remming treedt met name op in de latere fase van het afbraakproces, wanneer de afbreekbaarheid van de organische verbindingen de beperkende factor is. Dit zal een accumulatie van bodemorganische stof tot gevolg hebben en daarmee uiteindelijk een mogelijk gebrek aan de beschikbaarheid van essentiële elementen (P en S) voor de vegetatie.

Min of meer onduidelijk zijn nog de mogelijke gevolgen van het broeikas effect op de Nederlandse bossen. Verhoogde CO₂ concentraties in de atmosfeer en hogere temperaturen zouden kunnen leiden tot een hogere netto primaire produktie. Die verhoogde produktie zal, bij gelijkblijvende nutriëntenvoorziening, gepaard gaan met hogere C-element ratio's in het geproduceerde strooisel en dus met moeilijker afbreekbaar organisch materiaal. Beide milieuveranderingen zouden in de toekomst derhalve op deze manier kunnen leiden tot een direkte beperking van de nutriënten beschikbaarheid voor de vegetatie. Daarnaast zal een veranderende organische stof dynamiek invloed hebben op de waterhuishouding door enerzijds

beïnvloeding van de waterberging binnen de ectorganische laag en, op langere termijn, een mogelijke verandering van de vocht karakteristiek van het endorganisch deel van de bodemorganische stof.

De toenemende grondwaterstandsverlaging in de Nederlandse landbouwgebieden gaat ook in de vaak aangrenzende bosecosystemen gepaard met een verdroging. Maar ook een temperatuurverhoging als gevolg van een toekomstige klimaatverandering zou kunnen leiden tot waterbeperkende omstandigheden als een verhoogde evapotranspiratie niet wordt gecompenseerd door een verhoogde neerslag. Aangezien de vochtvoorziening voor de bossen op de droge zandgronden een kritische factor is, is het duidelijk dat dergelijke milieuveranderingen een verminderde vitaliteit tot gevolg zullen hebben. De effecten van waterbeperkende omstandigheden zullen enerzijds direct het functioneren van de vegetatie beïnvloeden, anderzijds de activiteit van bodemfauna en microorganismen bepalen en daarmee de nutriëntenvoorziening, voorziening.

Uit de in dit artikel aangestipte eigenschappen mag blijken dat de bodemorganische stof een centrale rol inneemt in het complexe geheel van factoren die het functioneren van de Nederlandse bossen op arme, droge zandgronden bepaalt. Binnen de evaluatie van de effecten van (toekomstige) milieuveranderingen op het voortbestaan van deze bossen zal derhalve veel aandacht besteed moeten worden aan de rol hierin van bodemorganische stof.

Literatuur

Boer, de, W. A. Tietema, P.J.A. Klein
Gunniewiek & H.J. Laanbroek.
(1991) The chemolithotrophic am-

- monium-oxidizing community in a nitrogen saturated acid forest soil in relation to pH-dependent nitrifying activity. *Soil Biology and Biochemistry*. In press.
- Emmer, I.M., M. Hulshoff & V. Breij. (1991), Bodemontwikkeling gedurende een primaire successie van Grove-dennenbos. *Geografisch Tijdschrift XXV*, in druk.
- Fog, K., (1988), The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Review* 63: 433-462.
- Kowalenko, C.G., (1978), Organic nitrogen, phosphorus and sulfur in soils. In: Schnitzer M. and S.U. Khan(Eds). *Soil Organic Matter. Developments in Soil Science 8*. Elsevier Scientific Publishing Company.
- Roelofs, J.G.M., A.J. Kempers, A.L.F.M. Houdijk & J. Jansen. (1985), The effect of air-borne ammonium sulphate on *Pinus nigra* var. *maritima* in The Netherlands. *Plant & Soil*, 84: 45-56.
- Schneider, T., & G.J. Heij. (1990), Thematic Reports. Dutch Priority Programme on Acidification. Nr. 200-07. RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Staa, H. (1980), Release of plant nutrients from decomposing leaf litter in a South Swedish beech forest. *Holarctic Ecology* 3: 129-136.
- Swift, M.J., O.W. Heal & J.M. Anderson. (1979), Decomposition in terrestrial ecosystems. *Studies in Ecology Volume 5*. Blackwell Scientific Publications.
- Tietema, A. & J.M. Verstraten. (1988), The nitrogen budget of an oak-beech forest ecosystem in the Netherlands in relation to atmospheric deposition. Report no 04-01, National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, The Netherlands.
- Tiktak, A. & W. Bouten. (1990), Soil hydrological system characterization of the two acifern stands using monitoring data and the soil hydrological model "SWIF". Dutch Priority Programme on Acidification, 102.2.01. R.I.V.M., Bilthoven. The Netherlands
- Verstraten, J.M., A. Tietema & J.C.R. Dopheide. (1989), Bodemverzuring: principes en voorbeelden. *Geografisch Tijdschrift XXIII*, pp. 251-261.
- Verstraten, J.M., J. Sevink & W. Bouten. (1990), Strooiselverwijdering in vergraste bossen: een maatregel ter voorkoming van de effecten van luchtverontreiniging? In: *De vitaliteit van het Nederlandse bos: Wat kan de beheerder?* pp. 85-95. Rapport nr. 609, De Dorschkamp, Wageningen.
- Walsh, R.P.D., & P.J. Voigt. (1977), Vegetation litter: an underestimated variable in hydrology and geomorphology. *Journal of Biogeography* 4: 253-274.

SCRIPTIES

De teelt van walnotenhout

Groot, P. de en M. Hullegie, 1991. *De teelt van walnotenhout*, Afstudeeropdracht I.H.A.L., Velp.

Twee studenten van de I.A.H.L. te Velp hebben als afstudeeropdracht de teelt van de walnoot en in het bijzonder de Europese (*Juglans regia*) bestudeerd. Het werk bestaat uit een combinatie van literatuurstudie en veldwerk in de weinige noteopstanden in Nederland en direct over de grens in Duitsland. Het aardige is in dit geval dat nu eens een soort bekeken is die tot dusver nog maar weinig aandacht heeft gekregen, terwijl er sprake is van een redelijk groeiende boomsoort waarvan de houtkwaliteit zeker goed kan zijn. Dergelijke studies kunnen de creativiteit van bosbouwers en beleidsmakers prikkelen. Dit betekent overigens niet dat er te hoog gespannen verwachtingen van areaaluitbreiding gekeesterd moeten worden, maar in het streven naar variatie lijkt de noot een bijdrage te kunnen leveren. Omdat de houtsoort in de industrie vrij zeldzaam is worden nu voor goede stamstukken vrij hoge prijzen betaald. Het gevaar bestaat dat men daardoor snel

geneigd is goede bedrijfsresultaten te verwachten, hetgeen zich ook wel bij andere soorten, bijvoorbeeld kers voordoet. De Groot en Hullegie hebben geen economische berekening van de teelt gemaakt, wat in dit al omvangrijke werk begrijpelijk is, maar suggereren wel goede resultaten op grond van huidige hoge prijzen.

In de scriptie komen na het algemeen botanische hoofdstuk achtereenvolgens aan de orde: de groeiplaatseisen, aanleg en verzorging, teeltrisico's en sommier enige bedrijfskundige aspecten. Samenvattend kunnen enige conclusies genoemd worden. Walnoot vereist een goede en vrij diepe bodem waarbij puur zand of pure klei niet gewenst is. De soort kan enigszins nachtvorstgevoelig zijn. Bepanting met eenjarig plantsoen met onbeschadigde wortel lijkt de voorkeur te hebben boven andere vormen als ook zaaien. Plant niet in menging, omdat de boom veel licht behoeft. Snoei is noodzakelijk om een goede stamvorm te creëren. Dit dient vroeg, vaak en met mate te gebeuren. De eindopstand zal een honderd bomen moeten bevatten. De schrijvers gaan helaas maar in zeer beperkte mate in op de kwaliteit van het hout, terwijl houtproductie toch uiteindelijk het doel van de teelt is. Het geheel is zonder meer een aardige scriptie die aanzetten geeft om teelt van walnoot misschien op sommige plekken eens in overweging te nemen.

RPvdZ