Bodemontwikkeling onder invloed van runderbegrazing

R.H. KEMMERS, P. MEKKINK, J. SEVINK & A. SMIT

De sterk toegenomen vergrassing gedurende de laatste decennia in vooral grove dennenbossen op de hogere zandgronden en de daarmee gepaard gaande vervilting van de strooisellaag heeft tot gevolg dat de successie naar gemengd bos met loofboomsoorten op veel plaatsen stagneert. In de jaren zeventig is het idee ontstaan om de vergrassing terug te dringen door het introduceren van runderbegrazing. Runderbegrazing werd op dat moment al met succes toegepast op vergraste heidevelden. In 1982 begon een begrazingsproef met Schotse Hooglanders op de Imbosch. Hoe effectief runderen als echte graseters kunnen zijn bij het terugdringen van vergrassing in bossen, bij welke graasintensiteit er effecten optreden en wat de gevolgen zijn voor processen in de bodem is onderzocht in een vijfjarig begrazingsexperiment in een grove dennenbos bij Kootwijk. Ofschoon de uitkomsten van dit experiment nog een voorlopig karakter hebben, lijkt runderbegrazing slechts effectief voor het openbreken van de vervilte grasmat indien een hoge graasdruk wordt toegepast (ca. 375 kg drogestofconsumptie per ha/jaar). Bij deze graasdruk komen er echter in de bodem processen op gang komen die op termijn leiden tot bodemdegradatie. Als beheersmaatregel lijkt runderbegrazing geschikt, mits niet langer toegepast dan enkele jaren.

Inleiding

Een belangrijk deel van het Nederlandse bos bestaat uit naaldbomen, die aan het einde van de vorige eeuw en het begin van deze eeuw zijn aangeplant op arme zandgronden. Het betreft grotendeels aanplantingen van grove den en andere naaldboomsoorten, vooral Oostenrijkse en Corsikaanse den, Japanse lariks, fijnspar en Douglasspar, op oude heide-ontginningen, duinen en stuifzanden. In het laatste geval was het doel veelal niet de productie van hout, maar het stabiliseren van het zand en daarmee het voorkomen van verdere verstuiving (zie ook hoofdstuk 2). In de dennenbossen, die inmiddels gemiddeld 60-80 jaar oud zijn, treedt sinds enige tijd in toenemende mate vergrassing op met bochtige smele en pijpestrootje als dominante soorten. Bochtige smele domineert op droge groeiplaatsen, terwijl pijpestrootje op vochtige groeiplaatsen wordt gevonden. Hoewel in de successie van grove dennenbos een fase wordt onderkend waarin bochtige smele domineert in de ondergroei (Fanta 1986), zou de sterk toegenomen atmosferische depositie van stikstof de vergrassing danig versterken. Uit onderzoek is gebleken dat bij verhoogde stikstofgehalten in de bodem de concurrentiekracht van grassen ten opzichte van kruiden en dwergstruiken in heidevegetaties en dennenbossen toeneemt (Roelofs 1991; Hey & Schneider 1991). In grove dennenbos op de arme zandgronden ontwikkelt zich door

vergrassing met bochtige smele een dikke 'vervilte' strooisellaag. Er bestaan aanwijzingen dat door de concurrentiekracht van bochtige smele de natuurlijke successie van dennenbos wordt belemmerd (Hester et al. 1991). De ontwikkeling van een dwergstruiklaag met blauwe bosbes, rode bosbes, struikheide of kraaiheide zou daardoor achterwege blijven en de bosverjonging zou stagneren.

Begrazing als effectgerichte maatregel

Begrazing van bossen met runderen, onder meer om de vergrassing tegen te gaan en de vervilte strooisellaag open te breken, wordt sinds het begin van de jaren tachtig in ons land toegepast. De gedachte daarbij is dat hierdoor de dwergstruiken en de

Sterk vergraste kruidlaag onder grove den op de Imbosch, begin jaren tachtig.

Hooglanders vrijwel aan het zicht onttrokken door bloeiende bochtige smele.

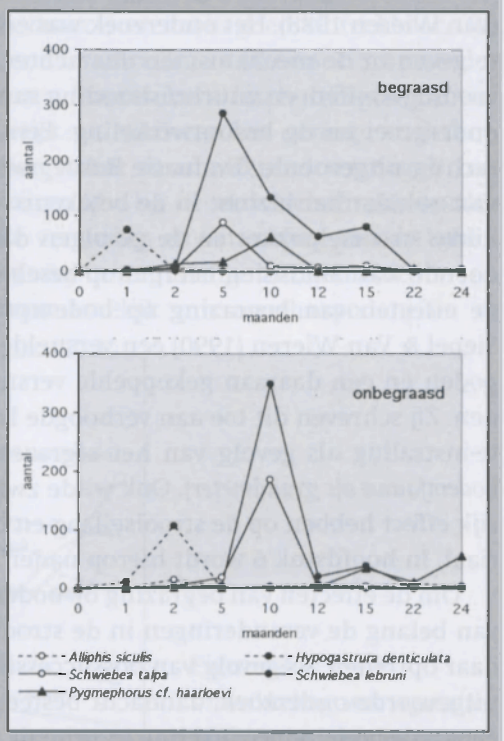
Bodemfauna als graadmeter voor de afbraaksnelheid van organisch materiaal

H. Siepel

De directe bijdrage van de bodemfauna, waaronder mijten, springstaarten, pissebedden, miljoenpoten, slakken en regenwormen aan de vertering van organisch materiaal is betrekkelijk gering, maar de indirecte bijdrage is zeer belangrijk (Dickinson & Pugh 1974; Swift et al. 1979). Deze bestaat uit verkleining van dode bladeren, vruchten, takjes en twijgjes, waardoor het aangrijpingsoppervlak voor microorganismen sterk wordt vergroot en uit een stimulering van bacteriën en schimmels. Op zure bodems met een pH < 5 wordt de reproductie van regenwormen geremd (Ma et al. 1990), kunnen slakken, pissebedden en miljoenpoten onvoldoende kalk verzamelen voor hun huisjes, respectievelijk hun uitwendig skelet en komt het accent van de bodemfauna te liggen op de mesofauna (de kleinste bodemdieren zoals potwormen, aaltjes, mijten en springstaarten). De afbraak van organisch materiaal vindt in een groot aantal stappen plaats waarbij steeds een andere groep bodemdieren op de voorgrond treedt.

De snelheid waarmee de successie van bodemdieren optreedt, kan als graadmeter worden gebruikt voor de snelheid van het afbraakproces. Dit kan worden bestudeerd door middel van strooiselzakjes, gazen zakjes met een maaswijdte van 5 mm of minder (afhankelijk van de te onderzoeken diergroep), waarin een bepaalde hoeveelheid organisch materiaal wordt gestopt. Een groot aantal van deze zakjes wordt in de strooisellaag ingegraven en na verloop van tijd worden er telkens een aantal uitgegraven en onderzocht op het voorkomen van bodemdieren. Zo kan een beeld worden verkregen van de successie van bodemdieren tijdens de decompositie.

Op de Imbosch, waar runderbegrazing plaatsvindt, is een dergelijk experiment gedaan op een open grazige plek, voornamelijk bestaande uit een begroeiing van bochtige smele, om te zien of de afbraaksnelheid van organisch bodemmateriaal anders verloopt bij begrazing (Siepel & Van Wieren 1990). Daarbij werd met name gekeken naar de successie van microarthropoden (springstaarten en mijten), en werd een begraasd terreingedeelte vergeleken met een onbegraasd deel: de successie van vijf soorten microarthropoden in het begraasde terreingedeelte verliep sneller. In plaats van met afzonderlijke soorten kan ook met soortgroepen worden gewerkt. Dit is bijvoorbeeld relevant als in begraasde en onbegraasde terreingedeelten, verschillende soorten voorkomen. De groepering van soorten moet dan wel op strikt ecologische eigenschappen zijn gebaseerd, zoals levensstrategieën of voedselgildes (bv. bacterie-eters, schimmeleters, predatoren en parasitaire soorten).



Figuur 4.1.
Veranderingen in de aantallen van vijf soorten microarthropoden (mijten en springstaarten) in strooiselzakjes gevuld met bladmateriaal van bochtige smele in een met runderen begraasd en een onbegraasd grasland (naar: Siepel & Van Wieren 1990).

natuurlijke verjonging weer een kans kunnen krijgen. Op deze wijze zou de ongewenste ontwikkeling in de dennenbossen op de arme zandgronden kunnen worden omgebogen naar een vanuit het beheer gewenste ontwikkeling van het grove dennenbos naar gemengd bos. Vanuit deze overweging wordt bosbegrazing gezien als een mogelijk zeer relevante beheersmaatregel.

Tot dusverre is in Nederland, maar ook daarbuiten, zeer weinig systematisch onderzoek uitgevoerd naar de effectiviteit van begrazing bij het terugdringen van de vergrassing en de vervilting van de strooisellaag in bossen. Er valt ook weinig te leren uit onderzoek naar de effecten van wilde hoefdieren op bodemprocessen, aangezien ook dit niet of nauwelijks heeft plaatsgevonden. Een uitzondering vormt het onderzoek van Pastor et al. (1993) in boreale bossen waaruit bleek dat selectieve vraat door elanden tot een verandering leidde in de samenstelling en de structuur van de bosvegetatie, waardoor de productiviteit en de beschikbaarheid van voedingsstoffen verminderden. Als belangrijkste mechanisme noemen zij een vermindering van de kwaliteit en kwantiteit van het strooisel. De begrazingsproef met Schotse Hooglanders op de Imbosch (1982-1987) leverde eveneens aanwijzingen op dat begrazing een positief effect heeft op het terugdringen van vergrassing en vervilting van de strooisellaag (Van Wieren 1988). Het onderzoek was echter te beperkt van opzet om tevens inzicht te geven in de mechanismen daarachter, in het bijzonder de veranderingen van de voedingsstoffen- en zuurhuishouding van de bodem en de betekenis daarvan voor de ondergroei en de bosontwikkeling. Een van de hoofdconclusies van de eind jaren tachtig uitgevoerde 'Evaluatie Bosbegrazing' (Van Wieren & Borgesius 1988) luidde dan ook dat het inzicht in de betekenis van begrazing bij de terugdringing van het dikke strooiselpakket en de gevolgen daarvan voor de bosontwikkeling nog onvoldoende was. Sindsdien heeft er op bescheiden schaal wel enig nader onderzoek naar de effecten van begrazing op bodemprocessen plaatsgevonden. Zo constateerden Siepel & Van Wieren (1990) een versnelde successie van populaties van micro-arthropoden en een daaraan gekoppelde versnelde strooiselafbraak in begraasde graslanden. Zij schreven dit toe aan verhoogde bodemtemperaturen door een grotere warmte-instraling als gevolg van het afgrazen van de kruidige vegetatie (zie het kader *Bodemfauna als graadmeter*). Ook wilde zwijnen kunnen met hun wroeten een belangrijk effect hebben op de strooisellaag en de decompositie van organisch bodemmateriaal. In hoofdstuk 6 wordt hierop nader ingegaan.

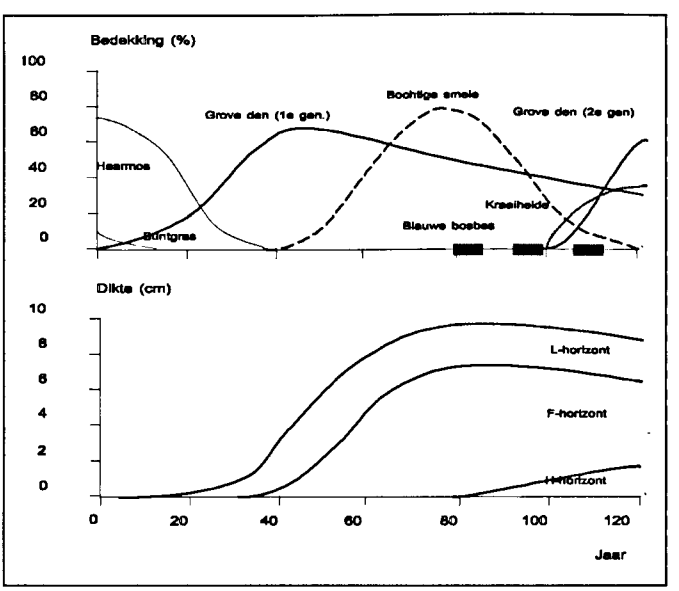
Om de effecten van begrazing op bodemprocessen goed te kunnen begrijpen is het van belang de veranderingen in de strooisellaag te relateren aan veranderingen die daar optreden als gevolg van bossuccessie. Daarom wordt, alvorens in te gaan op het uitgevoerde onderzoek, aandacht besteed aan de vegetatiesuccessie en de daarmee gepaarde bodemontwikkeling in primair grove dennenbos, aan de effecten van atmosferische depositie en aan de effecten die verwacht kunnen worden van begrazing door hoefdieren in grove dennenbos op arme zandgronden.

De ontwikkeling van de bodem tijdens primaire successie

De vegetatiesuccessie in primair grove dennenbos op stuifzanden en in uitgestoven laagten van de Veluwe is uitgebreid bestudeerd door Fanta (1986). In Figuur 4.2 zijn de te onderscheiden fasen weergegeven. De eerste fase bestaat uit een vegetatie van hoofdzakelijk buntgras en schapegras en wordt gevolgd door een fase waarin grove den zich tot een gesloten bos ontwikkelt. Daarna volgt een langdurige fase met achtereenvolgens opkomen, dominantie en geleidelijke afname van bochtige smele. Vervolgens verschijnen in de ondergroei soorten als kraaiheide, struikheide en blauwe bosbes (zie ook hoofdstuk 2).

Parallel aan de vegetatiesuccessie ontwikkelt de bodem zich van zeer humusarm zand, zonder enige bodemgelaagdheid (profielontwikkeling), tot een micropodzol met een dikke strooisellaag. Deze ontwikkeling hangt onder meer samen met de slechte afbreekbaarheid van het strooisel, dat door de grove den (naalden, schors, takken, dennenappels) en door soorten in de ondergroei wordt geproduceerd. Die slechte afbreekbaarheid hangt samen met het relatief hoge gehalte aan lignine en het lage stikstofgehalte (Swift et al. 1979). Het strooisel van grassen en dwergstruiken heeft vaak wat minder ongunstige eigenschappen, maar is evenmin goed afbreekbaar. Ook de groeiplaats is niet bevorderlijk voor een snelle afbraak van strooisel. Stuifzanden en de oudere grovere zanden van de uitgestoven laagten bevatten buitengewoon weinig voedingsstoffen. Deze spoelen gemakkelijk uit vanwege het geringe vochthoudend vermogen van deze gronden. Bovendien is het zuurbufferend vermogen zeer klein. De (zure) neerslag en de organische zuren, die bij de strooiselafbraak worden geproduceerd, leiden dan ook tot een snelle verzuring en verarming van de bovengrond. Daarmee wordt de strooiselafbraak verder in ongunstige zin beïnvloed.

Onder invloed van de bodemfauna (voornamelijk micro-arthropoden) en de



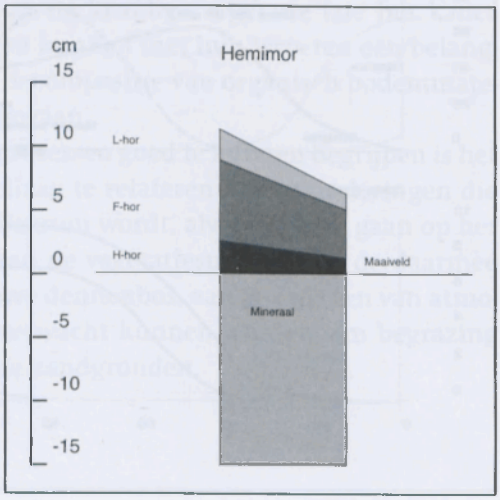
Figuur 4.2.
Ontwikkeling van vegetatiefasen en bodemhorizonten tijdens de primaire successie van een grove dennenbos op uitgestoven laagten in een stuifzandgebied (naar: Fanta 1986).

bodemflora (voornamelijk schimmels) verandert het strooisel geleidelijk van nog goed herkenbare plantenresten in fijn verdeelde, veelal donkerbruine tot zwarte organische stof. Bij de omvorming van strooisel spelen afbraakprocessen (decompositie) en syntheseprocessen (humificatie) een rol (Swift et al. 1979). De decompositie en de daarbij optredende mineralisatie (afbraak van organische stoffen tot water, koolzuur en anorganische verbindingen) verloopt traag. Bodemdieren, die organische stof in de bodem vermengen (bioturbatie), ontbreken vrijwel geheel en menging van het afbrekende strooisel met de minerale bodem treedt dan ook vrijwel niet op. Een deel van de vrijkomende mineralen wordt weer opgenomen door micro-organismen voor de opbouw van lichaamsstoffen. Daarnaast worden nieuwe complexe organische stoffen gesynthetiseerd uit eenvoudiger verbindingen. Het gevolg van dit alles is dat geleidelijk steeds meer organische stof op de bodem accumuleert in de vorm van een 'ecto-organische' laag (Fig. 4.3). Binnen deze laag treedt eveneens een geleidelijke ontwikkeling op. In eerste instantie komt alleen een L-horizont voor, gevolgd door een F-horizont en tenslotte een H-horizont (zie het kader *Humusprofiel*). Binnen de F-horizont kan onderscheid worden gemaakt tussen de F_1, bestaande uit nog vrij los gepakt materiaal, en de F_2, die een dichte pakking heeft, overeenkomend met de H-horizont.

De humushorizonten zijn intensief doorworteld. De wortels van bochtige smele, blauwe bosbes en kraaiheide bevinden zich vooral in de organische toplaag, maar ook in de minerale ondergrond (Emmer 1995). In de minerale ondergrond vindt men ook de fijnere wortels van de grove den. Naast naaldstrooisel vormen daarom ook wortels na afsterven een belangrijke bron van organische stof in de bodem.

Chemische eigenschappen van strooisellagen

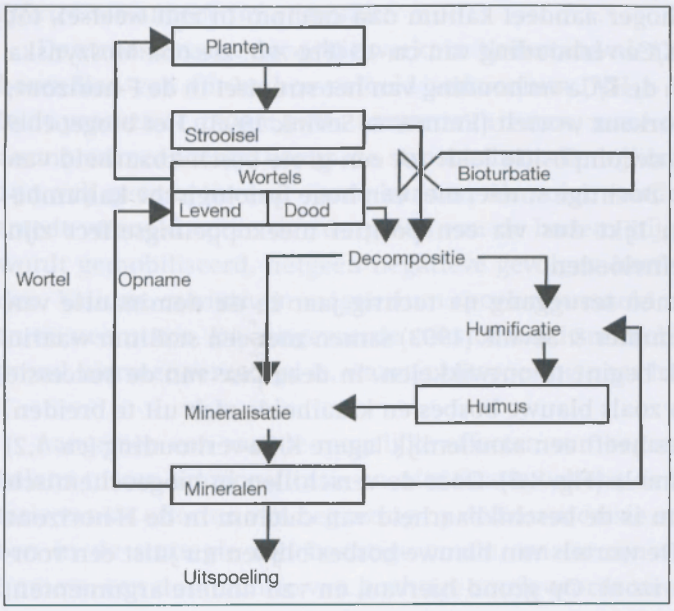
Tijdens de bodemontwikkeling treden grote veranderingen op in de chemische eigenschappen van de bodemhorizonten. Deze zijn uitvoerig beschreven door



Figuur 4.3.
De opbouw van een humusprofiel dat karakteristiek is voor een grove dennenbos op stuifzand.

Humusprofiel

Zoals een bodemprofiel de resultante is van een groot aantal traag verlopende processen (eeuwen), zo is een humusprofiel het resultaat van betrekkelijk snel (decennia) verlopende processen van strooiselaanvoer en -afbraak. Het humusprofiel integreert een veelheid van processen zoals biomassaproductie, mineralisatie en humificatie over de tijd. Een humusprofiel kan worden gedefinieerd als een toestand die de balans weergeeft tussen strooiselaanvoer en -afbraak en die wordt gekenmerkt door een karakteristieke combinatie van organische horizonten die van elkaar verschillen in verteringsgraad. Aan het humusprofiel zijn kenmerken verbonden die met het blote oog goed waarneembaar zijn. Deze kenmerken omvatten dikte en verteringsgraad van de organische horizonten. Op basis van deze kenmerken ontwikkelden Klinka et al. (1981) een classificatiesysteem voor humusvormen (humusprofieltypen). In dit systeem wordt als referentiedikte van het humusprofiel een laag van 40 cm aangehouden, waarbinnen een ectorganisch (organische toplaag) en een endorganisch (diepere bodemlagen) gedeelte kunnen worden onderscheiden. In het ectorganische gedeelte kunnen een L-, F- en H-horizont voorkomen. De L-horizont (L staat voor het Engelse woord litter: strooisel) bestaat uit onverteerde dode plantendelen, zoals bladeren, naalden en schors. De F- horizont (fragmentatie of ook wel fermentatie) bestaat uit meer of minder verteerd strooisel, waarbij macroscopisch herkenbare plantenweefsels domineren. Indien excrementen van bodemfauna rijkelijk aanwezig zijn, is er sprake van een Fa-horizont. Bij afwezigheid van bodemfauna wordt de afbraak vooral door schimmels veroorzaakt en is er sprake van een Fq-horizont. De H-horizont (humus) bestaat uit fijn verdeelde organische stof, waarbij macroscopisch herkenbare plantendelen slechts in beperkte hoeveelheden voorkomen. In het endorganische gedeelte kan een Ah-horizont voorkomen. Dit is een minerale horizont met fijn verdeelde organische stof welke door homogenisatie of wortelsterfte in het minerale bodemprofiel terecht is gekomen.



Figuur 4.4.
Schematisch overzicht van de belangrijkste bodemprocessen in relatie tot de afbraak van organisch materiaal.

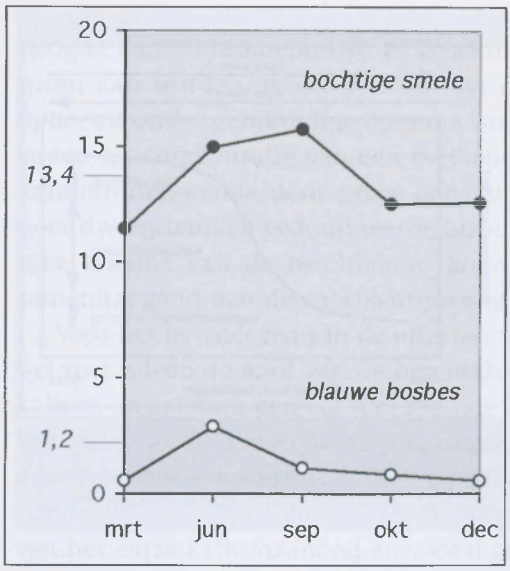
Emmer (1995) en worden hier kort samengevat. Bij de strooiselafbraak komen nutriënten vrij die door planten worden opgenomen dan wel microbieel worden vastgelegd. Ook kan er adsorptie plaatsvinden aan organische stof of uitspoeling naar diepere lagen. Bij mineralisatie van organische stof komt vooral in de L- en F_1-horizont stikstof (N) vrij in de vorm van ammonium (NH_4^+) (ammonificatie). Nitrificatie, de vorming van nitraat (NO_3^-) uit ammonium, lijkt een ondergeschikte rol te spelen, geheel overeenkomstig de verwachtingen en beperkt zich vooral tot de F_2- en H-horizont. Kalium (K) komt snel en in vrij grote hoeveelheden vrij, spoelt makkelijk uit, maar wordt in relatief grote hoeveelheden weer opgenomen door de vegetatie. Calcium (Ca) en magnesium (Mg) komen eveneens snel maar in kleinere hoeveelheden vrij. De behoefte van de vegetatie aan calcium is kleiner, maar calcium wordt als tweewaardig kation sterk aan de organische stof geadsorbeerd, in tegenstelling tot kalium. Magnesium wordt wat minder sterk geadsorbeerd dan calcium maar sterker dan kalium en de behoefte van de vegetatie is wat hoger.

Als gevolg van deze verschillen in biogeochemisch gedrag is de beschikbaarheid van kalium ten opzichte van calcium en magnesium in de L- en F_1-horizont groot. In de F_2- en H-horizont wijzigt deze verhouding zich ten gunste van vooral calcium. Gegeven het feit dat tijdens de successie het aandeel van de F_2- en H-horizont in de ectorganische laag sterk stijgt, houdt dit een grote verschuiving in de verhouding tussen deze nutriënten in.

Relatie tussen vegetatie- en bodemsuccessie

In de vegetatiesuccessie begint bochtige smele zich ca. 40 jaar na de vestiging van grove den massaal uit te breiden. Het grove dennenbos heeft dan een kroonbedekking van ca. 40%. De uitbreiding van bochtige smele loopt parallel aan een sterke ontwikkeling van de F-horizont, terwijl van een H-horizont nog geen sprake is. Bochtige smele heeft een aanzienlijk hoger aandeel kalium dan calcium in zijn weefsel, tot uitdrukking komend in een K/Ca-verhouding van ca. 13 (Fig. 4.5; zie ook Moszynska 1991). Dit weerspiegelt zich in de K/Ca-verhouding van het strooisel in de F-horizont, waarin bochtige smele bij voorkeur wortelt (Emmer & Sevink 1993). Het biogeochemisch gedrag van kalium bij decompositie leidt tot een grote beschikbaarheid van kalium in de L- en F-horizont. Bochtige smele, met een hoge fysiologische kaliumbehoefte, profiteert hiervan en lijkt dus via een positief meekoppelingseffect zijn milieu-omstandigheden te beïnvloeden.

De door Fanta waargenomen teruggang na tachtig jaar in de dominantie van bochtige smele valt volgens Emmer & Sevink (1993) samen met een stadium waarin een H-horizont zich duidelijk begint te ontwikkelen. In deze fase van de successie beginnen ook andere soorten zoals blauwe bosbes en kraaiheide zich uit te breiden. Het weefsel van blauwe bosbes heeft een aanzienlijk lagere K/Ca-verhouding (ca. 1,2) in vergelijking tot bochtige smele (Fig. 4.5). Door de verschillen in biogeochemisch gedrag van kalium en calcium is de beschikbaarheid van calcium in de H-horizont groter dan in de F-horizont. De wortels van blauwe bosbes blijken nu juist een voorkeur te hebben voor de H-horizont. Op grond hiervan, en van andere argumenten,



Figuur 4.5.
Kalium/calcium-verhouding in het blad van bochtige smele en blauwe bosbes op een groeiplaats op arme zandgrond (midden-Veluwe).

komen Emmer & Sevink (1994) tot de conclusie dat de geleidelijke afname van bochtige smele waarschijnlijk het gevolg is van door successie bepaalde veranderingen in de chemische eigenschappen van de ectorganische laag. Hierdoor ontstaat in het humusprofiel een niche-differentiatie waarbij bochtige smele optimale condities vindt in F-horizonten, die grotendeels bestaan uit weinig afgebroken strooisel en met een relatief grote hoeveelheid kalium ten opzichte van calcium, zoals voorkomend tijdens vroege stadia van successie. Blauwe bosbes en kraaiheide vinden optimale condities in H-horizonten, grotendeels bestaande uit sterk verteerd strooisel en met een relatief grote hoeveelheid calcium ten opzichte van kalium.

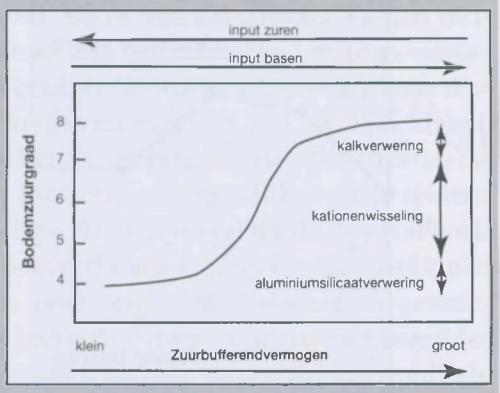
Effecten van atmosferische depositie

De atmosferische depositie werkt in Nederland niet alleen verzurend, maar bevat bovendien een flinke hoeveelheid ammonium (NH_4). De aanvoer van ammonium leidt potentieel tot een extra toevoer van zuren, maar ook tot een verhoging van de ammoniumconcentraties in de strooisellaag. De bijkomende effecten in de bodem zijn vrij gecompliceerd, maar kunnen als volgt worden samengevat. Podzolering treedt versneld op en de zuurgraad van de bodem stijgt, waardoor aluminium (Al) wordt gemobiliseerd, hetgeen negatieve gevolgen heeft voor de vitaliteit van grove den. Kalium, calcium en magnesium spoelen versneld uit en de ammoniumconcentratie neemt toe. De aangevoerde stikstof wordt microbieel vastgelegd tot de bovengrond hiermee verzadigd is, waarna uitspoeling naar het grondwater optreedt.

Aangezien een van de mogelijke effecten van begrazing een verschuiving in de balans tussen ammonificatie en nitrificatie behelst, is het voor een goede interpretatie van de effecten van begrazing op de bossuccessie ook van belang inzicht te hebben in de strategie van bochtige smele om in zijn stikstofbehoefte te voorzien. Immers, een dominantie van bochtige smele wordt steeds in verband gebracht met

Zuurneutraliserend vermogen

De zuurgraad van de bodem wordt uitgedrukt in de pH-waarde en is een maat voor de hoeveelheid H^+-ionen (protonen) in de bodem. Wanneer zuur in de vorm van H^+-ionen in de bodem terechtkomt via het regenwater of anderszins, zal de pH dalen. De mate waarin hangt af van het zuurneutraliserend vermogen van de bodem. Een aantal bodembestanddelen draagt aan deze buffering bij. Uit Figuur 4.6 wordt duidelijk bij welke pH de diverse bestanddelen een rol spelen, alsmede in welke mate. Zo treedt bijvoorbeeld rond pH 4 buffering door aluminium-hydroxiden op, als gevolg waarvan aluminium vrijkomt. Een dergelijk verschijnsel kan aanleiding geven tot aluminium-toxiciteit.



Figuur 4.6.
Trajecten in de zuurgraad van de bodem waarbij verschillende zuurbuffermechanismen werkzaam zijn.

hoge depositieniveaus van ammonium (Roelofs 1991). De stikstofhuishouding in het plant-bodemsysteem is nauw verweven met de zuur- en basenhuishouding. Opname van ammonium door de plant gaat gepaard met uitscheiding van waterstofionen of andere positief geladen ionen (o.a. kalium). Bij nitraatvoeding vindt juist tegelijkertijd opname van positieve ionen of waterstofionen plaats. Hoewel bochtige smele positief reageert op ammoniumdepositie, is het niet bekend of er daadwerkelijk sprake is van ammoniumopname dan wel, na omzetting van ammonium in nitraat (nitrificatie), van nitraatopname. Hoewel onder zure omstandigheden nitrificatie moeilijk verloopt, toonde het onderzoek van Tietema (1992) aan dat nitrificatie mogelijk blijft indien de bodem met stikstof verzadigd is. Gegeven de grote kaliumopname, lijkt het daarom ecofysiologisch waarschijnlijker dat bochtige smele via nitraat in zijn stikstofbehoefte voorziet. De dominantie van bochtige smele lijkt daardoor meer bepaald door ruime beschikbaarheid van kalium en nitraat dan van ammonium.

Uit onderzoek van Roelofs et al. (1985) blijkt dat bij grove den een sterke afname in vitaliteit optreedt als gevolg van ammoniumdepositie. Boxman et al. (1988) stelden dat boven een kritische NH_4/K-verhouding van 5 de vitaliteit afneemt. In eerste instantie stimuleert ammonium de groei van grove den. Andere basische kationen worden daardoor limiterend. Bovendien heeft Roelofs aangetoond dat de ammoniumopname door grove den gepaard gaat met afgifte van kalium door de naalden. Dit versterkt de onbalans tussen kalium en ammonium in de boom. Kaliumuitstoot bij grove den zou verhoogde kaliumconcentraties in de ectorganische laag tot gevolg kunnen hebben, waarvan bochtige smele mogelijk profiteert. Dit kan, naast het verhoogde ammoniumaanbod, een oorzaak zijn voor het verlengen van het stadium met bochtige smele in de bossuccessie.

De mogelijke effecten van begrazing

Uit het onderzoek van de primaire successie op stuifzand komt naar voren dat de grasfase met bochtige smele mogelijk langer voortduurt onder invloed van een ver-

hoogde ammoniumdepositie. Er bestaan echter duidelijke aanwijzingen dat ammonium kan worden omgezet in nitraat en dat bochtige smele bij voorkeur nitraat opneemt onder gelijktijdige opname van kalium. Kalium wordt door naalden uitgestoten ter compensatie van een overschot aan kationen dat ontstaat als gevolg van ammoniumopname door grove den. In een latere successiefase ontstaat toch een door dwergstruiken gedomineerde bodemvegetatie. Dit gaat gepaard met een duidelijke afname van de beschikbare hoeveelheid kalium ten opzichte van calcium, samenhangend met de voortschrijdende bodemontwikkeling.

Voor het bestuderen van de effecten van begrazing is het dus belangrijk te weten dat niet alleen de aard van de beschikbare stikstof maar ook de verhouding tussen kalium en calcium een rol speelt bij de concurrentie tussen grassen en dwergstruiken in het bijzonder en de bosontwikkeling in zijn algemeenheid. Begrazing kan leiden tot verschuivingen in de verhoudingen tussen de genoemde elementen. Aangezien bochtige smele volgens hierboven beschreven mechanismen profiteert van het extra kaliumaanbod en vooral gebaat lijkt bij nitraat als stikstofbron, moet het effect van begrazing als gunstig worden opgevat als de K/Ca-verhouding afneemt en de NH_4/NO_3-verhouding toeneemt in de strooisellaag. Wanneer men de mogelijke effecten van begrazing wil beschrijven, is het zinvol om goed onderscheid te maken tussen de verschillende activiteiten: grazen, betreden en bemesten (urineren).

Grazen resulteert in het bevreten van zowel de bodemvegetatie als de struiklaag waarin bosverjonging voorkomt. Het komt erop neer dat er lokaal bovengrondse biomassa wordt afgevoerd met de daarin aanwezige nutriënten en dat de toelevering van strooisel aan de bodem vermindert. Op arme zandgrond leidt een hoge graasdruk tot een duidelijke afname van zowel de bovengrondse als de ondergrondse biomassa. In extreme situaties kan de productiviteit zo sterk dalen dat het systeem degradeert. De sterke overbegrazing tijdens de Middeleeuwen die hebben geleid tot grootschalige zandverstuivingen (Buis 1985), zijn in dit verband een bekend voorbeeld (zie ook hoofdstuk 2).

Bij introductie van runderen in een bos, waarin al of niet reeds wilde hoefdieren (permanente begrazing) voorkomen, zal zich een nieuw evenwicht instellen tussen de aan- en afvoer van organische stof in de bodem. Zolang het evenwicht niet is bereikt, zal de capaciteit van de bodem om nutriënten vast te houden (kationen-adsorptiecapaciteit of CEC) afnemen, daar deze vrijwel geheel door de organische stof wordt bepaald. Door vraat wordt de dichte grasmat gereduceerd tot een kort geschoren 'gazon' met een open structuur. Fluctuaties in vocht en temperatuur worden door de hoge en dichte, niet-begraasde vegetatie gedempt. Onder de korte grasmat zullen veel grotere fluctuaties in temperatuur en vocht optreden, waardoor het microklimaat wijzigt. Bij een open bosstructuur zullen deze fluctuaties nog groter zijn. De strooiselafbraak neemt met stijgende temperatuur naar verhouding toe en ook een afwisseling tussen droog en vochtig bevordert de afbraak. Kortom, na introductie van runderen mag worden verwacht dat de strooiselafbraak en -mineralisatie tijdelijk toenemen totdat er een nieuw evenwicht is ontstaan.

Betreding houdt in het extreme geval in dat planten worden vertrapt en afsterven

waardoor de strooiseltoevoer volledig stopt. Bovendien wordt de bovengrond mechanisch sterk verstoord. In de praktijk komt deze verstoring erop neer dat de organische toplaag door de minerale bodem wordt gewerkt, dan wel zijdelings wordt verplaatst. Grotere extremen in bodemtemperaturen en een sterkere aëratie leiden verder tot versnelling van de afbraak. Door betreding worden paden gevormd, waar de strooisellaag op den duur volledig gaat ontbreken. Minder intensieve betreding, zoals tijdens het grazen plaatsvindt, zou kunnen leiden tot compactie van de organische toplaag. In het laatste geval zal het effect van de compactie waarschijnlijk wegvallen tegen de hiervoor beschreven effecten van het grazen. Het betredingseffect hangt ook samen met het lichaamsgewicht in relatie tot de hoefgrootte. Relatief zware dieren met een groot hoefoppervlak zullen minder effect veroorzaken dan relatief lichte dieren met een klein hoefoppervlak.

Bemesten vormt eigenlijk het complement van grazen. Wat op de ene plek wordt afgevoerd door de hoefdieren, komt in de vorm van urine en mest op een andere plek, maar in geconcentreerde vorm, terecht. De in mest en urine aanwezige nutriënten zullen voor een deel in het systeem blijven (gesloten kringloop), of ten dele via de lucht en het drainagewater worden afgevoerd. De in urine voorkomende elementen zijn relatief mobiel en worden zeer lokaal gedeponeerd. Gegeven de geringe dikte van de ectorganische laag, is het waarschijnlijk dat deze elementen relatief snel uitspoelen. Ook kan vervluchtiging van stikstof optreden. De nutriënten in mest zijn minder mobiel en minder gevoelig voor uitspoeling en vervluchtiging.

Een begrazingsexperiment

Om inzicht te krijgen in de effecten van begrazing door hoefdieren op de vergrassing, vervilting en strooiselvertering, is een experimenteel begrazingsonderzoek opgezet. De lengte van de periode waarover en de intensiteit waarmee runderbegrazing als (tijdelijke) effectgerichte maatregel zou moeten worden toegepast vormden daarbij een belangrijk aandachtspunt. De belangrijkste onderzoekvragen werden aangereikt vanuit het beheer. Het ging daarbij in het bijzonder om de vraag of de verhouding tussen de ophoping en de afbraak van strooisel door begrazing in een voor de bosontwikkeling gunstige richting kan worden beïnvloed en welke effecten dit heeft op de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de bodem. Ook diende inzicht te ontstaan bij welke intensiteit van begrazing een aantoonbaar effect optreedt in de strooisellaag en op de biomassaproductie van de korte vegetatie (grassen, kruiden en dwergstruiken). Immers, de korte vegetatie wortelt betrekkelijk ondiep en is voor vocht en nutriënten grotendeels afhankelijk van de strooisellaag. Het onderzoek werd uitgevoerd in een primair grove dennenbos op stuifzand, aangeplant in 1928. Drie proefvelden van elk ca. 1 ha zijn vanaf 1990 respectievelijk niet, matig intensief en intensief begraasd met jong rundvee. In alle terreinen zijn uitvoerige bodembemonsteringen en -beschrijvingen uitgevoerd in de uitgangssituatie, na twee jaar en na vijf jaar begrazing.

Bij onderzoek naar de effecten van begrazing op bodemprocessen moet rekening

De effecten van runderbegrazing op de strooisellaag werd door middel van een graasexperiment met MRIJ-vee onderzocht in een sterk vergrast grove dennenbos in Kootwijk.

worden gehouden met een aantal factoren die het onderzoek kunnen compliceren. Zo is het gedrag van de hoefdieren tamelijk onvoorspelbaar, waardoor de patronen in de verschillende activiteiten van deze dieren in de vorm van grazen, betreden en bemesten in de tijd sterk kunnen variëren. Het is te verwachten dat de intensiteit van de begrazing binnen een bepaald gebied van plaats tot plaats sterk uiteenloopt en dat dit patroon in de loop van de jaren verandert. Iedere activiteit van begrazing zal naar verwachting een verschillend effect op de strooisellaag hebben, met als resultaat een ruimtelijk mozaïek van effecten. Een groot aantal eigenschappen, waaronder de pH, beschikbaarheid van stikstof en andere relevante eigenschappen kunnen door het jaar heen sterk variëren. Daarom werd gekozen voor een onderzoekopzet, waarbij gebieden met verschillende begrazingsintensiteit werden vergeleken met een onbegraasd gebied door middel van een bemonstering. Op deze wijze kon de invloed van seizoen en weer worden uitgesloten.

Bodemeigenschappen variëren niet alleen in de tijd, maar ook in de ruimte. Uit eerder onderzoek in primair grove dennenbos is bijvoorbeeld bekend dat de zuurgraad en hoeveelheid organische stof op korte afstand sterk kunnen variëren. De gebruikelijke aanpak van een dergelijk probleem is het nemen van een groot aantal monsters, zodat men eventueel vastgestelde verschillen in eigenschappen statistisch op hun betrouwbaarheid kan toetsen.

Onderzoek naar aantoonbare effecten in combinatie met een veelheid aan patro-

nen die bovendien in de tijd kunnen veranderen, vraagt een analyse van zeer grote aantallen monsters, waaraan hoge kosten zijn verbonden. Aangezien de middelen daartoe ontbraken, werd een opzet gekozen waarbij slechts ten dele een statistische onderbouwing mogelijk was. Hiertoe werden grote aantallen monsters van eenvoudig te bepalen bodemvariabelen systematisch verzameld. Op grond van te verwachten effecten werd geschat dat ca. 50 monsterplekken per gebied nodig zouden zijn om verschillen in de voornoemde variabelen met voldoende zekerheid te kunnen vaststellen. Om inzicht te verkrijgen in de processen werden bovendien per homogeen vlak uit het begrazingspatroon mengmonsters verzameld voor meer bewerkelijke analyses van diverse bodemchemische variabelen. Dergelijke variabelen kunnen niet statistisch worden bewerkt. Wel zijn zij in een aantal gevallen gerelateerd aan de systematisch verzamelde variabelen zodat op basis van significante verschillen in het laatste type variabele, gesignaleerde trends in variabelen van mengmonsters toch als vrij betrouwbaar kunnen worden beoordeeld.

Het onderzoekgebied

Het experiment werd opgezet in het bosbegrazingscompartiment 'Kootwijkerveen' (Fig. 4.7) dat niet eerder werd begraasd met runderen. Het onderzoekgebied was geselecteerd op homogeniteit in ondergroei van bochtige smele en op bodemkundige opbouw. Binnen het gebied werden drie proefvelden van 1 ha elk omrasterd. Voorafgaand aan het feitelijke experiment werd een bodemgeografisch onderzoek verricht. De bodems in het onderzochte gebied konden worden geclassificeerd als duin- en vlakvaaggronden met een micropodzol en een textuur variërend van zeer tot matig fijn leemarm zand (Mekkink & Kemmers 1993). Zij zijn gevormd in stuifzand waarvan de dikte wisselt. Op grond van geringe verschillen in organischestofgehalte van het stuifzand en de dikte van het stuifzanddek zijn vier bodemtypen onderscheiden. De dominante humusvorm kan als hemimor worden getypeerd, gekenmerkt door een dikke ectorganische laag, waarbinnen de LF-horizont dikker is dan de H-horizont, en door het ontbreken van een duidelijk ontwikkelde endorganische laag.

De proefvelden waren gelegen in een ca. zestigjarige opstand van grove den. Het aantal bomen per hectare was voor alle drie de proefvelden vergelijkbaar. De kroonbedekking bedroeg ca. 90%. In de struiklaag kwamen vooral sporkehout, ruwe berk, zomereik, wilde lijsterbes en gewone braam voor. In de ondergroei waren er per proefveld slechts geringe verschillen. De ondergroei bestond overwegend uit bochtige smele met wat plekken rankende helmbloem, stekelvaren, vossebes, kraaiheide, dopheide, struikheide, blauwe bosbes en zandzegge. Plaatselijk kwam ook pijpestrootje voor.

Begrazingsregime

Gekozen werd voor een vergelijkend onderzoek, waarbij effecten van begrazing met verschillende intensiteit in twee proefvelden werden vergeleken met een proefveld zonder begrazing. Aangezien het onderzoek bedoeld was om de effecten van

Figuur 4.7.
De ligging van de drie proefvelden binnen het begrazingscompartiment 'Kootwijkerveen'.

begrazing te meten en de processen die daarbij optreden in de strooisellaag te analyseren, werd bewust gekozen voor een hoge graasdruk. Om praktische en logistieke redenen was er een korte jaarlijks herhaalde graasperiode in mei-juli met jong zwartbont vee gedurende vijf jaar. De begrazingsintensiteit van het intensief begraasde proefveld werd bepaald door de periode die zes stuks jongvee nodig hadden om de vegetatie in de kruidlaag weg te vreten. Dit bleek in de praktijk neer te komen op vraat van ca. 50% van de bovengrondse kruidlaag. Aansluitend werd in het tweede, matig intensief begraasde proefveld hetzelfde koppel jongvee ingeschaard gedurende de helft van de periode die nodig was geweest voor het intensief begraasde proefveld. In Tabel 4.1 zijn de experimenteel opgelegde graasdrukken uitgedrukt in kg droge-stofconsumptie per ha/jaar. Hiervoor is het aantal graasdagen vermenigvuldigd met de levende biomassa van de hoefdieren en de dagelijkse voedselopname per kg levende biomassa. De graasdruk varieerde enigszins van jaar tot jaar vanwege variaties in het gewicht van de ingeschaarde dieren. Uit deze tabel valt af te leiden dat de graasdruk, zelfs voor het 'matig intensief' begraasde proefveld (ca. 190 kg droge stof per ha/jaar), hoog is in vergelijking met de praktijk van bosbegrazing met

Tabel 4.1.
Graasdruk in kg drogestofconsumptie per ha/jaar van de runderen in het matig intensief en intensief begraasde proefveld in het compartiment 'Kootwijkerveen'.

Jaar	matig intensief	intensief begraasd
1990	154	308
1991	230	460
1992	250	500
1993	160	320
1994	144	288
gemiddeld	188	375
standaarddeviatie	±49	±97

semi-wilde hoefdieren zoals op de Imbosch, waar een graasdruk van runderen heerst van ca. 50 kg drogestofconsumptie per ha/jaar. In andere terreinen is een modale graasdruk tussen 40 en 100 kg drogestofconsumptie per ha/jaar geen uitzondering (Van Wieren & Borgesius 1988). Daarbij dient men ook te beseffen dat een modale graasdruk uitgaat van een homogeen begrazingspatroon, terwijl in werkelijkheid selectieve graaspatronen aanwezig zijn, waarbij sommige terreindelen in het geheel niet en andere delen juist met voorkeur worden begraasd. De hier toegepaste graasdruk ligt daarom aanzienlijk dichter bij de realiteit dan wellicht in eerste instantie lijkt. In het experiment heeft de hoge graasdruk een proeftechnische achtergrond: effecten moesten binnen een termijn van enkele jaren aantoonbaar zijn.

Bemonsteringstrategie

Bij aanvang van het onderzoek werd in ieder proefveld een grid van 50 meetpunten uitgezet met een onderlinge afstand van 15 m (Kemmers et al. 1996). Deze meetpunten zijn in 1990, 1992 en 1994 bemonsterd, dat wil zeggen voorafgaand aan de begrazing en na respectievelijk drie jaar en vijf jaar begrazing. Bij elk meetpunt werd een beschrijving gemaakt van de dikte van te onderscheiden horizonten en werden monsters genomen voor de bepaling per horizont van het organisch-stofgehalte, de zuurgraad (pH) en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV). Van de wortels in de diverse horizonten werd de biomassa bepaald. Aanvullend werden via bulkbemonstering, binnen bodemkundig homogene vlakken, monsters verzameld voor de bepaling van uitwisselbare elementen, totaalelementvoorraden en de stikstofmineralisatie. Er werd gebruik gemaakt van een humushapper, waarmee een vast oppervlak kan worden bemonsterd. Bemonstering op basis van een vast oppervlak was nodig om veranderingen in hoeveelheden organische stof en nutriënten per eenheid van bodemoppervlak en horizont te kunnen vaststellen.

In 1992 zijn de proefvelden niet meer opgedeeld in bodemeenheden, maar is in het intensief begraasde proefveld onderscheid gemaakt tussen begraasde, vertrapte

en bemeste punten. Met uitzondering van de mestplekken werd er sequentieel bemonsterd. De mestplekken van 1992 konden in 1994 namelijk niet meer worden teruggevonden. Bij de laatste bemonsteringsronde in 1994 is er in het intensief begraasde proefveld nog een eenheid bij gekomen. Er is toen onderscheid gemaakt tussen vlakken met begraasde bochtige smele en begraasde blauwe bosbes. In 1994 zijn bovendien metingen verricht aan de bovengrondse biomassa van de bodemvegetatie.

Resultaten

Biomassa korte vegetatie

De bovengrondse biomassa van de kruidlaag in het grove dennenbos bedroeg ca. 1400 kg/ha (Tabel 4.2). Intensieve begrazing reduceerde deze bovengrondse biomassa met ca. 50%. Uitgaande van een jaarlijkse strooiseltoevoer van naalden van ca. 3000 kg/ha (Emmer 1995; De Vries et al. 1990) bedroeg bij de intensieve begrazing de reductie in strooiseltoevoer slechts 16% van het totaal. De productiviteit van de kruidlaag bleek na vijf jaar intensieve runderbegrazing te zijn teruggelopen met ca. 18%.

De ondergrondse biomassa bedroeg in de uitgangssituatie ca. 11.000 kg/ha (Tabel 4.2). Als reactie op het instellen van runderbegrazing nam de wortelbiomassa af met ruim 30% na vijf jaar intensieve begrazing. Er vond in de begrazingsperiode dus een extra toevoer van dode wortelbiomassa naar de voorraad organische stof plaats van ca. 3300 kg/ha. De verminderde strooiseltoevoer van bovengrondse biomassa werd door de verhoogde wortelsterfte dus ruimschoots gecompenseerd.

Voorraad organische stof

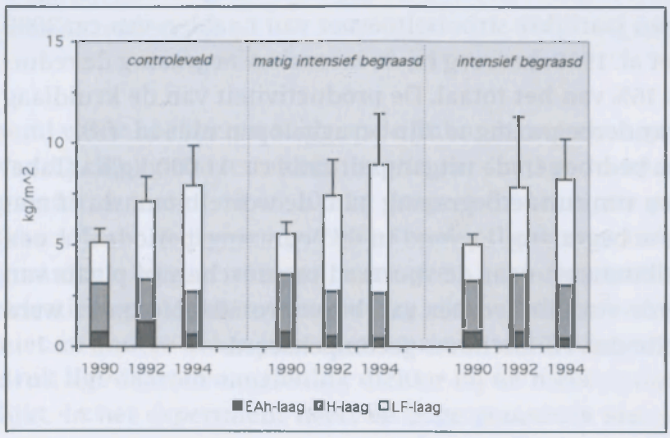
Figuur 4.8 geeft de gehalten aan organische stof in de verschillende horizonten weer in de verschillende proefvelden. Allereerst blijkt er een aanzienlijk verloop in de tijd op te treden, zoals blijkt uit het onbegraasde controlevlak, waar de voorraad

Tabel 4.2.

Onder- en bovengrondse biomassa (kg droge stof/ha) van de kruidlaag na 5 jaar matig intensieve en intensieve runderbegrazing in het grove dennenbos in Kootwijkerveen (tussen haakjes, de standaarddeviatie).

Biomassa	Controle onbegraasd	Matig intensief begraasd	Intensief begraasd
bovengronds	1.423 (±749)	1.044 (±578)	838 (±937)
ondergronds	10.700 (±3500)	7.180 (±3470)	6.970 (±3450)

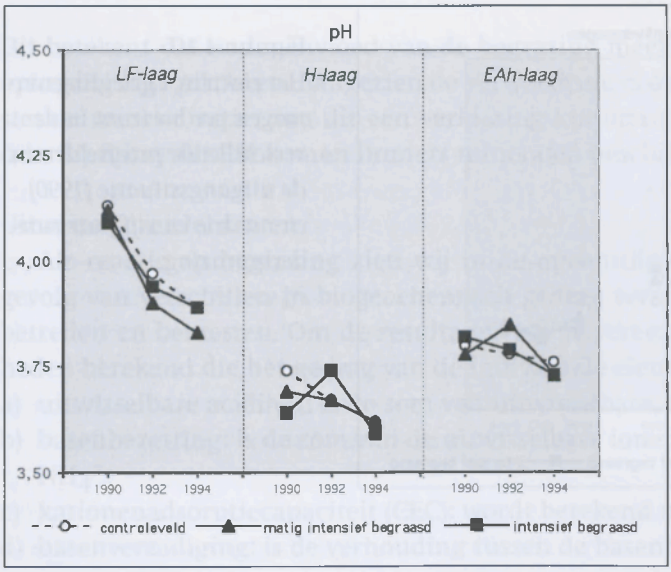
organische stof in het hele profiel in vijf jaar toeneemt van 50 tot 86 ton/ha. Deze toename zien we ook in het matig intensief en het intensief begraasde proefveld optreden. Hoewel de verwachting was dat door begrazing de organische-stofvoorraad zou afnemen, zijn er in de periode van vijf jaar geen verschillen aantoonbaar als gevolg van de runderbegrazing. Nu was er reeds eerder geconstateerd dat de toevoer van organische stof via verhoogde wortelsterfte het verlies aan toevoer via bovengrondse biomassa compenseerde, hetgeen duidelijk verklaart waarom er geen effect was op de voorraad organische stof in de bodem.



Figuur 4.8.
Voorraad organische stof per horizont in de verschillende proefvelden in de uitgangssituatie (1990) en na drie en vijf jaar runderbegrazing.

Door de uitbundige groei van bochtige smele, in combinatie met de langzame afbraak van organisch materiaal op arme zandgrond, kan er zich een dikke viltlaag ontwikkelen in vergraste bos- en heideterreinen.

Enkele jaren van intensieve begrazing en betreding kan de viltlaag terugdringen.



Figuur 4.9.
De pH per horizont in de verschillende proefvelden in de uitgangssituatie (1990) en na drie en vijf jaar runderbegrazing.

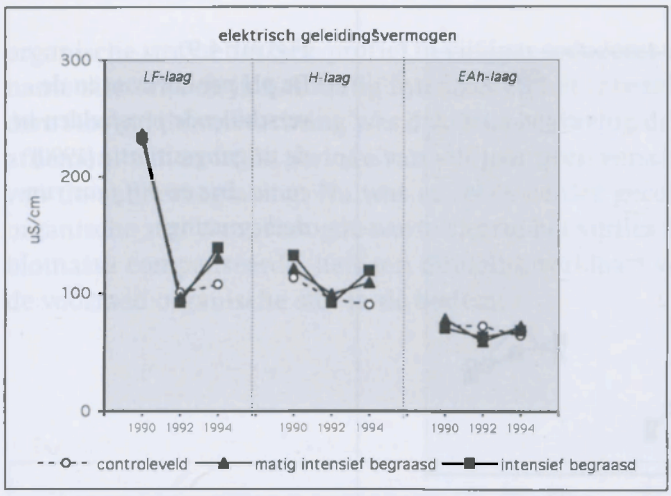
Graadmeters voor veranderingen in het decompositieproces

Zuurgraad en elektrisch geleidingsvermogen

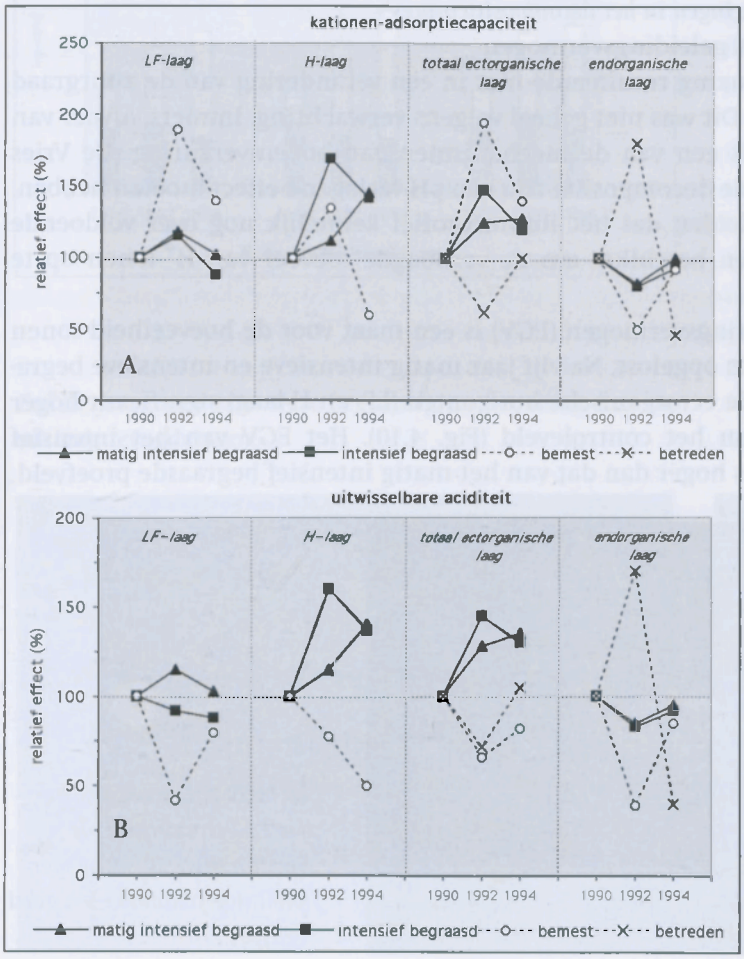
Vijf jaar runderbegrazing resulteerde niet in een verandering van de zuurgraad van de bodem (Fig. 4.9). Dit was niet geheel volgens verwachting. Immers, afvoer van mineralen via grazen is een van de mechanismen van bodemverzuring (De Vries 1994). Ook een verhoogde decompositie zou een pH-verlagend effect moeten hebben. Hieruit kunnen wij afleiden dat het humusprofiel kennelijk nog over voldoende zuurbufferend vermogen beschikte om de verhoogde toevoer van H^+-ionen op te kunnen vangen.

Het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) is een maat voor de hoeveelheid ionen die in het bodemvocht is opgelost. Na vijf jaar matig intensieve en intensieve begrazing bleek het EGV in de ectorganische horizonten (LF- en H-laag) significant hoger te zijn ten opzichte van het controleveld (Fig. 4.10). Het EGV van het intensief begraasde proefveld was hoger dan dat van het matig intensief begraasde proefveld.

In mest zijn voedingsstoffen in geconcentreerde vorm aanwezig waardoor sommige paddestoelen goed gedijen.



Figuur 4.10.
Het elektrisch geleidingsvermogen per horizont in de verschillende proefvelden in de uitgangssituatie (1990) en na drie en vijf jaar runderbegrazing.



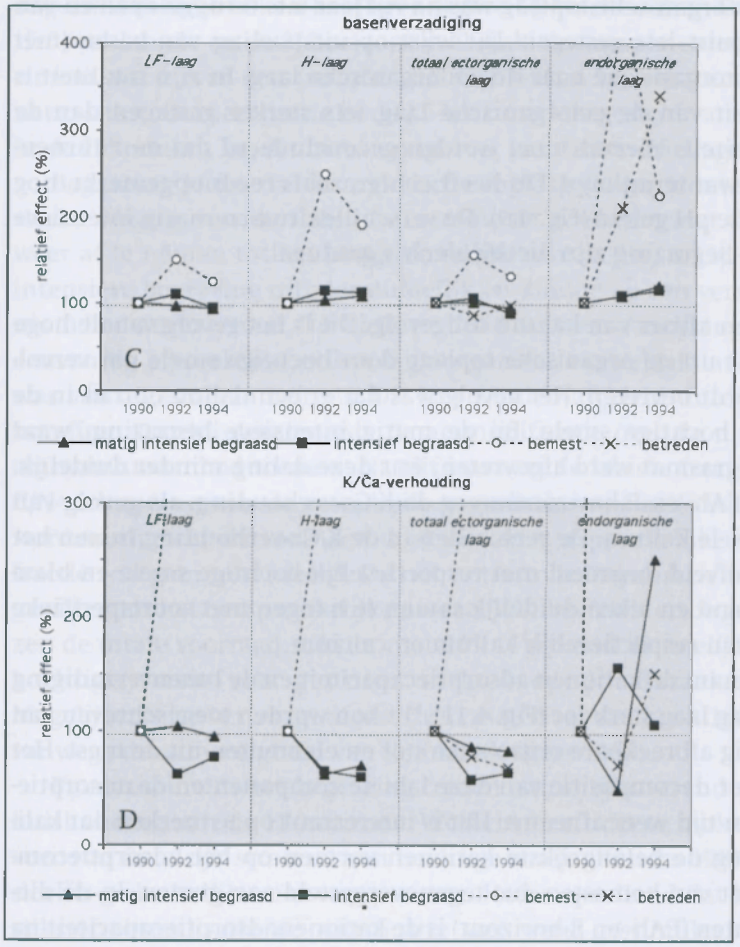
Figuur 4.11.
Relatieve veranderingen van enkele bodemchemische variabelen in de verschillende horizonten ten opzichte van het controleveld (is op 100 gesteld) onder invloed van matig intensieve en intensieve begrazing, bemesting en betreding;
a) kationen-adsorptiecapaciteit;
b) uitwisselbare aciditeit;
c) basenverzadiging;
d) K/Ca-verhouding.

Dit betekent dat onder invloed van de begrazing meer ionen in de strooisellaag in oplossing zijn gekomen. Aangezien de verwachting is dat begrazing leidt tot een versterkte mineralisatie, zou dit een verklaring kunnen zijn voor de verhoogde waarden. Bij mineralisatie komen immers mineralen beschikbaar.

Uitwisselbare elementen

Als reactie op begrazing zien wij in de opeenvolgende jaren de elementen als gevolg van verschillen in biogeochemisch gedrag verschillend reageren op grazen, betreden en bemesten. Om de resultaten wat te vereenvoudigen zijn diverse grootheden berekend die het gedrag van de individuele elementen integreren:

a) uitwisselbare aciditeit: is de som van uitwisselbare Al^{3+}- en H^{+}-ionen;
b) basenbezetting: is de som van de uitwisselbare ionen van Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} en NH_4^{+};
c) kationenadsorptiecapaciteit (CEC): wordt berekend uit sommatie van a) en b);
d) basenverzadiging: is de verhouding tussen de basenbezetting en de CEC.



Figuur 4.11.
Vervolg

De veranderingen in de verschillende grootheden als gevolg van begrazing zijn uitgedrukt in een relatieve maat, waarbij het niveau in het controleveld steeds op 100 is gesteld (Fig. 4.11). Dit was nodig aangezien voor de bepaling van de elementen de monsters per proefveld zijn samengenomen en er geen statistische toets kon worden uitgevoerd.

Eerder werd reeds opgemerkt dat het totale gehalte aan organische stof in het bodemprofiel niet afnam door begrazing. Wel leidde het grazen na vijf jaar tot een toename van de kationen-adsorptiecapaciteit in de organische toplaag (LFH-horizonten) met ca. 20%. Deze toename vond vooral plaats in de H-horizont en trad in de LF-horizont slechts tijdelijk op. Hieruit kan worden afgeleid dat er aanrijking had plaatsgevonden met organische-stofcomponenten die de kationen-adsorptiecapaciteit hebben verhoogd. Het adsorptiecomplex wordt bezet met positief geladen ionen die bij de decompositie vrijkomen. Dit werd in verband gebracht met de eerder gesignaleerde verhoogde wortelsterfte. Het bleek dat de toename in de kationen-adsorptiecapaciteit vooral kon worden toegeschreven aan een stijging van de uitwisselbare aciditeit en in het bijzonder aan een sterke stijging van uitwisselbaar aluminium. De basenverzadiging van de organische toplaag was na vijf jaar iets teruggelopen en van de endorganische laag juist iets gestegen. Dit wijst op uitspoeling van basen (met name kalium) van de ectorganische naar de endorganische laag. In zijn totaliteit is de uitwisselbare aciditeit van de ectorganische laag iets sterker gestegen dan de kationen-adsorptiecapaciteit. Hieruit moet worden geconcludeerd dat de zuurneutralisatie-capaciteit dus wat terugloopt. Dit heeft echter, zoals reeds opgemerkt, nog niet tot een daling van de pH geleid (Fig. 4.9). De verschillen tussen matig intensieve begrazing en intensieve begrazing zijn hierbij slechts gradueel.

Grazen had vooral een afvoer van kalium tot gevolg. Dit is het gevolg van de hoge opname van dit element uit de organische toplaag door bochtige smele dat vervolgens door begrazing wordt bevreten. Het gevolg was dat er een daling optrad in de K/Ca-verhouding onder bochtige smele. Bij de matig intensieve begrazing, waar slechts een deel van de grasmat werd afgevreten, was deze daling minder duidelijk. In de minerale bodem (EAh- en B-horizont) steeg de K/Ca-verhouding, als gevolg van inspoeling van het mobiele kalium. De verschillen in de K/Ca-verhouding tussen het intensief begraasde proefveld, begroeid met respectievelijk bochtige smele en blauwe bosbes waren opvallend en leken duidelijk samen te hangen met soortspecifieke verschillen in opname van respectievelijk kalium en calcium.

Op bemeste plekken nam de kationen-adsorptiecapaciteit en de basenverzadiging van de organische toplaag laag sterk toe (Fig. 4.11). Dit kon worden toegeschreven aan de toevoer van eenvoudig afbreekbare organische stof en elementen uit de mest. Het is te verwachten dat door decompositie van deze labiele componenten de adsorptiecapaciteit na verloop van tijd weer afneemt. Het is interessant op te merken dat kalium en natrium verreweg de belangrijkste kationen vormen op het adsorptiecomplex. In feite is het effect van bemesten dus tegenovergesteld aan grazen. In de diepere organische horizonten (EAh- en B-horizont) is de kationenadsorptiecapaciteit na

vijf jaar iets afgenomen, maar de basenverzadiging door inspoeling vanuit de ectorganische laag sterk gestegen. De K/Ca-verhouding loopt onder bemeste plekken zeer sterk op.

Op betreden plekken werden de organische toplaag en het onderliggend zand met elkaar gemengd. De basenverzadiging bleef vrijwel ongewijzigd (Fig. 4.11) maar er trad wel een verlaging op van de K/Ca-verhouding. In de dieper gelegen horizonten steeg de basenverzadiging wel sterk. Door een relatief belangrijk aandeel van kalium trad een verschuiving op tussen de elementverhoudingen die zich onder andere uitte in een verhoging van de K/Ca-verhouding.

Beschikbaarheid van stikstof

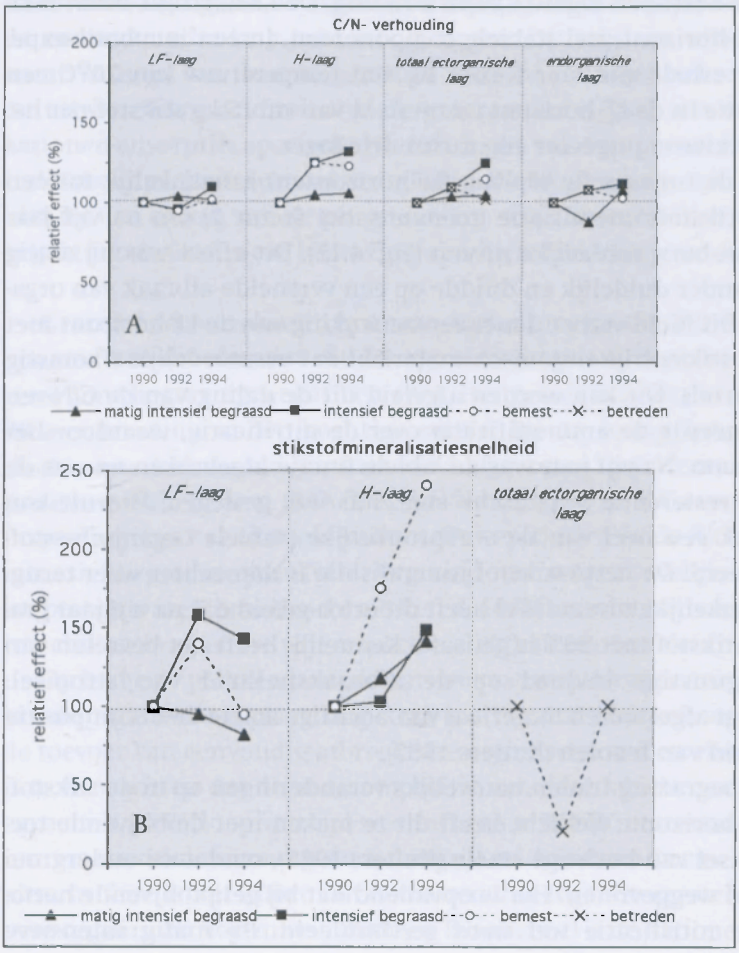
Globaal genomen kan men in organisch bodemmateriaal twee fracties onderscheiden: een stabiele fractie, onder meer bestaande uit ligninen en andere moeilijk afbreekbare organische verbindingen, met een relatief hoge koolstof/stikstofverhouding (C/N), en een labiele fractie, die relatief snel wordt afgebroken. De laatste fractie bestaande uit verbindingen zoals suikers, hemi-cellulosen en eiwitten, is afkomstig uit vers strooisel en heeft een lagere C/N-verhouding. De LF-horizont bevat relatief veel labiele en de H-horizont veel stabiele componenten. In een incubatie-experiment werd over een periode van vier weken bij een temperatuur van 20°C een netto-stikstofmineralisatie in de LF-horizont vastgesteld van ca. 15 kg stikstof per ha. In de H-horizont lag dit niveau ongeveer een factor drie lager.

Begrazing leidde in de organische toplaag (LF-horizonten) aanvankelijk tot een sterke stijging van de stikstofmineralisatie (toename met factor 2) om na vijf jaar weer af te nemen tot het oorspronkelijke niveau (Fig. 4.12). Dit effect was bij matig intensieve begrazing minder duidelijk en duidde op een versnelde afbraak van organisch bodemmateriaal. Dit hield verband met een aanrijking van de LF-horizont met eenvoudig afbreekbaar, stikstofrijk organisch materiaal dat vermoedelijk afkomstig was van afgestorven wortels. Dit kan worden afgeleid uit de daling van de C/N-verhouding. Daarbij domineerde de ammonificatie over de nitrificatie, waardoor het ammoniumaanbod toenam. Na vijf jaar was de labiele fractie afgebroken en was de C/N-verhouding van de resterende organische stof zelfs wat gestegen. Hieruit kon worden afgeleid dat ook een deel van de oorspronkelijke stabiele organische-stoffractie was gemineraliseerd. De netto-stikstofmineralisatie is dan echter weer teruggevallen tot het oorspronkelijke niveau. Wel heeft dit ertoe geleid dat na vijf jaar grazen de totale voorraad stikstof met 20% is gedaald. Kennelijk heeft het bevreten van bochtige smele een gunstige invloed op de afbraaksnelheid van strooisel. Mogelijkerwijze vertraagt afgestorven materiaal van bochtige smele de decompositie vanwege de aanwezigheid van fenolen (Kuiters 1987).

Bij matig intensieve begrazing traden nauwelijks veranderingen op in de stikstofhuishouding van de LF-horizont. Wellicht heeft dit te maken met de blijvende toevoer van fenolrijk strooisel van bochtige smele (Kuiters 1987), omdat de ondergroei slechts gedeeltelijk werd weggevreten. Het is opvallend dat bij gelijkblijvende netto-stikstofmineralisatie de nitrificatie wel werd gestimuleerd. Bij matig intensieve

begrazing werd het gevormde ammonium kennelijk omgezet in nitraat.

In de H-horizont vond een aanrijking plaats met stabiele organische stof vanuit de LF-horizont, waardoor de C/N-verhouding toenam. Daarnaast trad kennelijk aanvulling op met beter afbreekbaar materiaal dan de oorspronkelijk in de H-horizont aanwezige organische stof, waardoor na vijf jaar zowel de mineralisatiesnelheid als de netto-mineralisatie waren toegenomen. Deze aanvulling kan heel goed afkomstig zijn van afgestorven wortelmateriaal. Dit materiaal bestaat uit labiele organische-stofcomponenten, die makkelijk afbreekbaar zijn en daardoor de netto-mineralisatie stimuleren, maar die echter niet van invloed zijn op de C/N-verhouding van de gehele horizont. Ook moeten we ons realiseren dat het weliswaar gaat om een aanzienlijke toename, maar dat de netto-mineralisatie duidelijk lager blijft dan in de LF-horizont. Het resultaat is dat na vijf jaar nog geen lagere stikstofvoorraad aanwezig was in vergelijking tot de uitgangssituatie. De nitrificatie bleef ver achter bij de ammonificatie waardoor ammonium accumuleerde. De verhoging van de ammonificatie in de organische toplaag in combinatie met het verdwijnen van kalium leidt tot een



Figuur 4.12.
Relatieve veranderingen van enkele bodemparameters in de verschillende horizonten ten opzichte van het controleveld (is op 100 gesteld) onder invloed van matig intensieve en intensieve begrazing, bemesting en betreding;
a) C/N-verhouding;
b) stikstofmineralisatiesnelheid;
c) netto-stikstofmineralisatie;
d) NH_4/NO_3-verhouding.

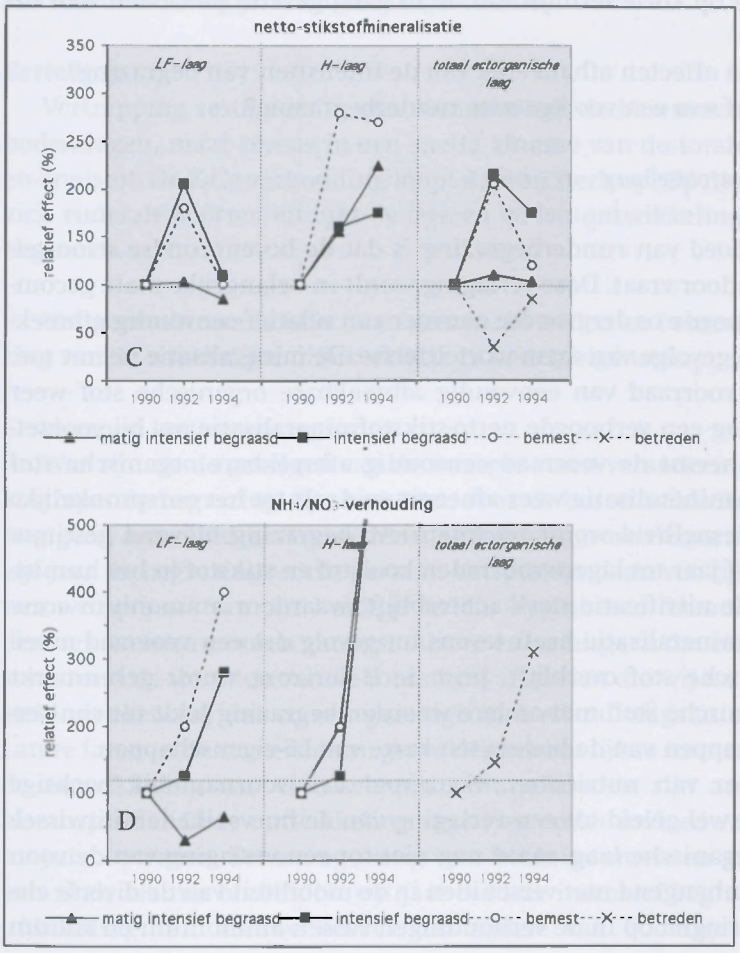
zeer sterke toename van de NH_4/K-verhouding, zelfs bij matig intensieve begrazing.

Onder mestplekken werd de C/N-verhouding van de verschillende horizonten nauwelijks beïnvloed. In de organische toplaag nam de NH_4/NO_3-verhouding toe. In de H-horizont werden de mineralisatiesnelheid en de netto-mineralisatie sterk gestimuleerd. In de H-horizont was sprake van een aanrijking met kationen, hetgeen mogelijk een gunstige invloed had op de mineralisatiesnelheid. De ammonificatie domineerde de nitrificatie.

Op betreden plekken trad na twee jaar een zeer sterke afname op van de stikstofmineralisatiesnelheid en de netto-stikstofmineralisatie en een vrijwel volledig herstel na vijf jaar. De totale voorraad koolstof en stikstof in het bodemprofiel is na vijf jaar met ca. 20% gedaald.

Conclusies en implicaties voor het beheer

De belangrijkste vraag waarop het onderzoek antwoord moest geven luidde: in hoeverre kan door middel van runderbegrazing het dikke strooiselpakket in grove



Figuur 4.12.
Vervolg

dennenbos worden gereduceerd, waardoor de vervilte grasmat wordt opengebroken en er weer bosverjonging kan gaan optreden? Daarbij was tevens de vraag aan de orde of runderbegrazing als een tijdelijke dan wel als een permanente maatregel moest worden beschouwd. Tenslotte was de vraag bij welke intensiteit van begrazing de gewenste effecten optreden.

Effectiviteit van begrazing

De effecten van runderbegrazing op de strooisellaag lijken duidelijk. Zelfs na vijf jaar is bij de meest intensieve vorm van begrazing (375 kg drogestofconsumptie per jaar) geen significante vermindering van de hoeveelheid organische stof in de bodem geconstateerd. In dit opzicht lijkt begrazing, bedoeld als tijdelijke maatregel om de vervilting terug te dringen, binnen een termijn van vijf jaar nog niet effectief. Daarbij moet echter de kanttekening worden geplaatst dat er binnen deze betrekkelijk korte periode wel degelijk processen in de strooisellaag worden beïnvloed door de begrazing. Hierbij kunnen drie vragen worden gesteld:

a) Wat zijn de gevolgen op korte termijn van de in gang gezette processen voor de bosontwikkeling?
b) Zijn de waargenomen effecten afhankelijk van de intensiteit van begrazing?
c) Wat is het perspectief van een voortgezette runderbegrazing?

Kortetermijneffecten in de strooisellaag

Grazen

De belangrijkste invloed van runderbegrazing is dat de bovengrondse strooiselaanvoer wordt verlaagd door vraat. Deze verlaging wordt in belangrijke mate gecompenseerd door een verhoogde ondergrondse aanvoer van relatief eenvoudig afbreekbare organische stof ten gevolge van extra wortelsterfte. De mineralisatie neemt toe, als gevolg waarvan de voorraad van eenvoudig afbreekbare organische stof weer afneemt. Treedt eerst nog een verhoogde netto-stikstofmineralisatie op, bij voorzetting van de begrazing neemt de voorraad eenvoudig afbreekbare organische stof zodanig af, dat de netto-mineralisatie weer afneemt en daalt tot het oorspronkelijke niveau. De mineralisatiesnelheid wordt bij intensieve begrazing blijvend gestimuleerd en leidt binnen vijf jaar tot lagere voorraden koolstof en stikstof in het humusprofiel. Het blijkt dat de nitrificatie sterk achterblijft, waardoor ammonium accumuleert. De versterkte mineralisatie heeft tevens tot gevolg dat een voorraad moeilijk afbreekbare organische stof overblijft. Juist de H-horizont wordt gekenmerkt door deze stabiele organische stof, met andere woorden begrazing leidt tot een versterking van H-eigenschappen van de bodem ten koste van LF-eigenschappen.

De verlaagde aanvoer van nutriënten, via afvoer van voornamelijk bochtige smele, heeft na vijf jaar wel geleid tot een verlaging van de hoeveelheden uitwisselbaar kalium in de ectorganische laag, maar nog niet tot een verlaging van de voorraad aan calcium. Samenhangend met verschillen in de mobiliteit van de diverse elementen treden veranderingen op in de verhoudingen tussen ammonium en kalium

(toename) en kalium en calcium (afname). Daartegenover is de hoeveelheid uitwisselbare aciditeit toegenomen, wat vooral is toe te schrijven aan aluminium. Hoewel de zuurneutralisatiecapaciteit is afgenomen, heeft dit nog niet geleid tot een daling van de zuurgraad. Er werden geen aanwijzingen gevonden dat in dit opzicht matig intensieve begrazing een fundamenteel ander effect zou hebben dan intensieve begrazing. De waargenomen verlaging van de productiviteit in het intensief begraasde proefveld hangt mogelijk samen met de verminderde beschikbaarheid van kalium. De netto-stikstofmineralisatie ligt na vijf jaar immers op hetzelfde niveau als aan het begin van het experiment. Ook kan de fysieke beschadiging van de vegetatie tot verstoring van de groei hebben geleid.

Bemesting

Overeenkomstig de verwachtingen leidt bemesting tot toename van juist die elementen, die op begraasde bodems verdwijnen. Opvallend is overigens dat de beschikbare hoeveelheden en voorraden stikstof weinig worden beïnvloed. Wel vindt een blijvend verhoogde mineralisatiesnelheid van de H-horizont plaats. Kennelijk wordt stikstof hoofdzakelijk via urine uitgescheiden.

Betreding

Vertrapping resulteert in een toename van de basenverzadiging van de diepere bodemlagen, maar tevens in een snelle afname van de totale hoeveelheden stikstof en koolstof. De K/Ca-verhouding loopt daarbij sterk op. Op deze plekken ontwikkelen zich ruderale soorten en lijkt de bos- en bodemontwikkeling weer van voorafaan te beginnen.

Het gecombineerde effect van grazen, betreden en bemesten leidt tot een vergroting van de ruimtelijke differentiatie in bodemeigenschappen.

Gevolgen van kortlopende begrazing

Wat zijn nu de gevolgen van de waargenomen veranderingen, die door tijdelijke, kortlopende begrazing zijn ontstaan, voor de bosontwikkeling? Het onderzoek kan nog geen antwoord geven op de vraag hoe het grove dennenbos zal reageren als na vijf jaar de begrazing wordt gestopt. Uitspraken daarover zijn speculatief. Wel kunnen we op basis van ons huidige inzicht hypothesen formuleren, die in vervolgonderzoek kunnen worden getoetst. Als we ervan uitgaan dat een nieuw evenwicht ontstaat rond de waarden van de toestandsvariabelen die wij na vijf jaar hebben vastgesteld, denken wij dat er een gunstige invloed zal uitgaan op de bosontwikkeling. Latere fasen in de successie van grove dennenbos lijken immers gekoppeld te zijn aan de ontwikkeling van eigenschappen die gebonden zijn aan H-horizonten in het humusprofiel. Deze ontwikkeling zagen we onder invloed van intensieve begrazing nu juist optreden. Dit is ongunstig voor bochtige smele en gunstig voor dwergstruiken zoals blauwe bosbes. Na vijf jaar is in de intensief begraasde proefvelden enige uitbreiding van blauwe bosbes ten nadele van bochtige smele te constateren.

Daartegenover staat dat de voor de vitaliteit van het grove dennenbos gewenste verhouding tussen ammonium en kalium door de intensieve begrazing verder uit balans raakt. Het is niet onwaarschijnlijk dat hierdoor een kaliumgebrek in het systeem ontstaat waardoor de bosverjonging op den duur zal stagneren.

Het bosbeheer lijkt hierdoor voor een dilemma geplaatst te worden: om de vergrassing terug te dringen is een hoge graasdruk nodig, die echter de bosverjonging ongunstig beïnvloedt. Bij de hoge graasdruk verandert niet alleen de voedingsstoffentoestand in ongunstige zin, maar is tevens de kans op succesvolle vestiging van zaailingen gering.

Intensiteit van kortetermijnbegrazing

Teneinde de vergrassing te kunnen terugdringen is een hoge graasdruk vereist. Door begrazing moet aanzienlijk meer biomassa worden weggevreten dan er via strooiselval vanuit andere bronnen aan organische stof binnenkomt. In ons voorbeeld bedroeg deze afvoer circa 690 kg per ha/jaar op een totale geschatte strooiselaanvoer van 4400 kg per ha/jaar gedurende een periode van vijf jaar. Dit komt overeen met een jaarlijkse strooiselafvoer via begrazing van ca. 15%. Bij de door ons als matig intensief beschouwde vorm van begrazing treedt nog geen versterking van mineralisatie op en vindt juist een stimulering van de nitrificatie plaats, die de vergrassing door bochtige smele lijkt te bevorderen. Omdat de intensiteit van de 'matig intensieve begrazing' juist de helft was van die bij 'intensieve begrazing', kan worden geconcludeerd dat een begrazingsdruk die minder dan 8% van de strooiselafvoer via vraat realiseert, op de korte termijn niet tot gewenste effecten zal leiden.

Gevolgen van langlopende begrazing

Ook het effect van langlopende begrazing is speculatief en slechts met nader onderzoek vast te stellen. Indien de hypothese luidt dat bij intensieve begrazing over een langere periode de reeds waargenomen tendens zich voortzet, zullen de voorraden koolstof en stikstof verder dalen, de netto-stikstofmineralisatie verder afnemen en de productiviteit verder teruglopen. Dit zal leiden tot een afname van de voorraad organische stof in de bodem, maar ook tot een zodanige aantasting van de zuurneutralisatie-capaciteit dat de pH daalt en aluminium wordt gemobiliseerd. Met een verdere stijging van de NH_4/K-verhouding zal de vitaliteit van het grove dennenbos daardoor afnemen, waarbij overigens niet duidelijk is of grove den in staat is om de uitgespoelde kalium weer uit diepere minerale horizonten op te nemen (kalium-pomp). De K/Ca-verhouding zal dalen wat weliswaar ongunstig is voor de groei van bochtige smele, maar het is de vraag of de productiviteit van het systeem voldoende is om volgende successiefasen te kunnen dragen.