

Siebel, H.N., B.F. van Tooren, H.M.H. van Melick, A.C. Bouman, H.J. During & K.W. van Dort (2000) Bedreigde en kwetsbare mossen in Nederland. Basisrapport met voorstel voor de Rode Lijst. Buxbaumiella 54.

Veerkamp, M.T. (1992) Paddestoelen in bosreservaten. Hinkeloord reports 4. Agricultural University Wageningen.

Veerkamp, M.T. (1999) De paddestoelenflora van het Berken-Zomereiken- en Wintereiken-Beukenbos. De Levende Natuur 100: 173-178.

Waal, R. de, R.J. Bijlsma, E. Dijkman & M. van der Werff. (2001) Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems. De Levende Natuur 102, 118-122.

### Woord van dank

Het paddestoelenonderzoek is uitgevoerd vanuit het voormalige Biologisch Station in Wijster (Wageningen Universiteit) en mede gefinancierd door het Beyerink-Poppingfonds.

Rolf Kemmers en Peter Mekking, Alterra, Wageningen

## Humus een bron van rijkdom

**Het humusprofiel bevat een grote hoeveelheid nutriënten die middels afbraakprocessen weer voor de bosgroei beschikbaar (kunnen) komen. Het humusprofiel is daarmee een bron van rijkdom voor het bos. Sinds 1997 wordt in een aantal bosreservaten het humusprofiel bestudeerd. Dit onderzoek laat zien met welke snelheid de voorraad organische stof en nutriënten in de bodem wordt opgebouwd.**

Hierbij zijn vooral verschillen in bodem, ouderdom van het bos en de vegetatie van belang. De hier gepresenteerde resultaten van het onderzoek hebben betrekking op de bosreservaten van de pleistocene zandgronden.

### Bodem en humusprofiel

Het bodemkundig onderzoek is opgezet om kennis te vergroten van de voedingsstoffen- en zuurhuishouding in relatie tot de spontane ontwikkeling van bosesystemen. De aandacht richt zich daarbij op het humusprofiel, waarin zich de belangrijkste voorraden van voedingsstoffen bevinden. Het humusprofiel geeft de

balans weer tussen strooiselaanvoer en -afbraak. De opbouw en de aard van het humusprofiel is vrij eenvoudig aan veldkenmerken af te lezen. Naast strooisellaag, die óp de minerale ondergrond zijn gelegen kan ook in de minerale ondergrond humus voorkomen. Deze humus is door biologische activiteit vermengd tot een humeuze bovengrond. Zowel de strooisellaag als de humeuze bovengrond maken deel uit van het humusprofiel. Foto 1 laat een voorbeeld zien van een typisch humusprofiel voor een arme en een rijkere zandgrond. De in dit artikel gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op bodemkundig onderzoek in de bosreservaten Norgerholt, Tongerense hei, Lheebroek, Mattemburgh en Galgenberg (zie o.a. Kemmers et al., 1998; Mekking, 1998).

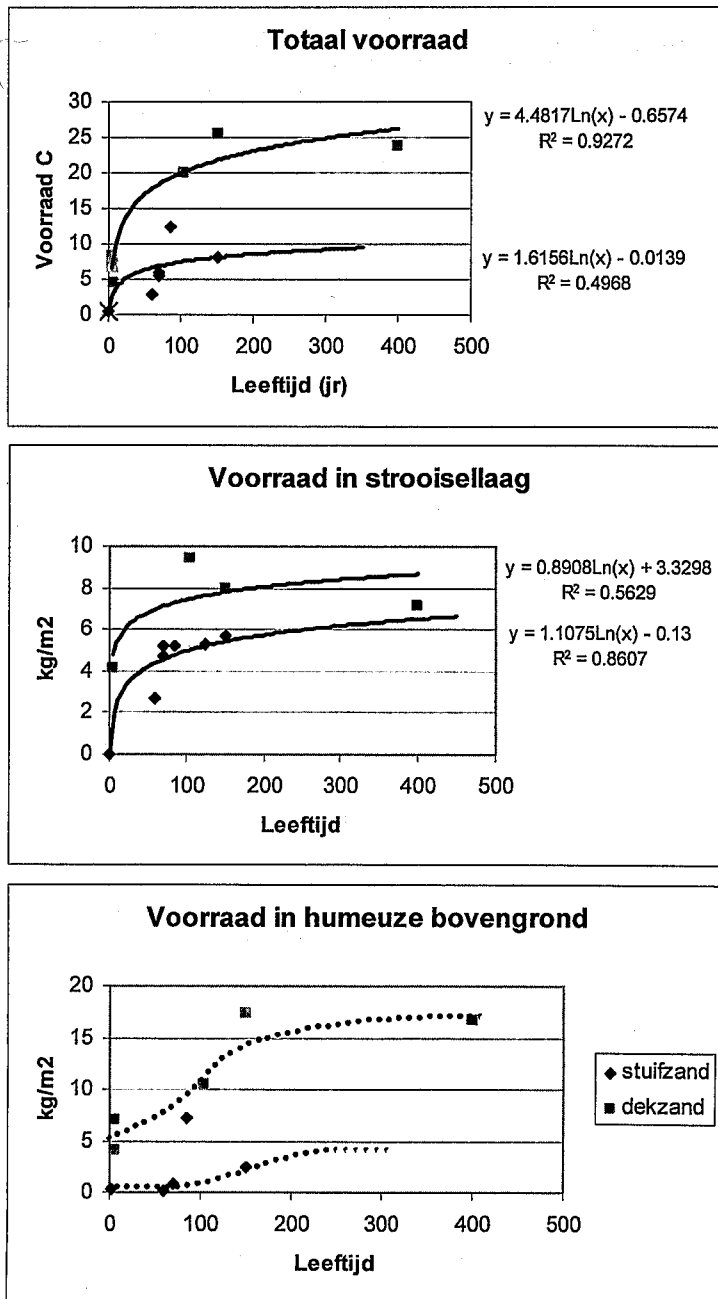
### Ontwikkelingsreeksen

De ontwikkeling van de humusprofielen is op arme en rijkere groeiplaatsen bestudeerd. Op deze groeiplaatsen zijn bossen van verschillende ouderdom onderzocht, welke verschillende fasen in de bosontwikkeling representeren. Twee ontwikkelingsreeksen zijn onderscheiden: 1) op de armere groeiplaatsen van stuifzand naar oud grove

dennenbos (pnv berken-zomereikenbos) en 2) op de rijkere groeiplaatsen (dekzand en gestuwd pre-glaciaal) van heide naar oud eikenbos (pnv wintereiken-beukenbos). Aanvullend zijn voor de armere groeiplaatsen gegevens gebruikt van het Hulshorsterzand (Sevink et al, 1993) en Kootwijk (Kemmers et al, 1996) en voor de rijkere groeiplaatsen van Balloërveld en Noordsche veld (toelichting bodemkaart 12W). In deze ontwikkelingsreeksen ligt het zwaardepunt op de gemeten voorraden Koolstof (C), Stikstof (N) en Fosfor (P) in het humusprofiel (tabel 1).

### Koolstofaccumulatie

In de arme bossen bereikt na 200 jaar de totale C-voorraad in de bodem een evenwicht van ongeveer 9 kg C per m<sup>2</sup> (figuur 1). Tweederde hiervan zit in de strooisellaag (circa 6 kg C per m<sup>2</sup> = 60 ton per ha) en eenderde in de humeuze bovengrond (circa 3 kg C per m<sup>2</sup> = 30 ton per ha). In de loop van de bosontwikkeling is jaarlijks de C-voorraad in de strooisellaag netto met 30 gram per m<sup>2</sup> en in de humeuze bovengrond netto met 15 gram per m<sup>2</sup> toegenomen. In deze reeks van arme bossen vormt de 'Tongerense hei' een uitzondering. In de



Figuur 1. Verband tussen de voorraad koolstof en de leeftijd van bosreservaten op stuifzand en dekzand opgesplitst naar verschillende onderdelen van het humusprofiel

ton per ha) opgeslagen in de strooisellaag. Uitgaande van een beginvoorraad onder heide van 4 kg C per m<sup>2</sup>, bedraagt de jaarlijkse accumulatie in de strooisellaag 20 gram C per m<sup>2</sup>. De voorraad in de humeuze bovengrond bedraagt dan ca. 17 kg C per m<sup>2</sup>. Bij een beginvoorraad van 5 kg C per m<sup>2</sup> is de jaarlijkse accumulatie dan 60 gram C per m<sup>2</sup>. Figuur 1 laat zien dat de accumulatie van C niet constant is. In het begin van de bosontwikkeling is in de strooisellaag de C-accumulatie groter dan in latere fasen, terwijl in de humeuze bovengrond de accumulatie slechts langzaam opgang komt, vervolgens snel toeneemt en dan weer afvlakt (S-curve).

### Stikstofmineralisatie

De dikte van de verschillende horizonten, het C/N gehalte van het organische stof in deze horizonten (tabel 1) en bekende gegevens over de afbraaksnelheid van organische stof (Kemmers et al, 1996) zijn gebruikt om een schatting te geven van de N-voorraad en de N-leverantie vanuit de organische stof voor beide ontwikkelingsreeksen (figuur 2). Tussen beide reeksen bestaan aanzienlijke verschillen. In de armere bossen kan de N-leverantie uiteindelijk 70 kg N per ha per jaar bedragen en dit niveau wordt al na ca. 35 jaar bereikt. De stikstof komt vrijwel volledig beschikbaar uit de strooisellaag, de bijdrage vanuit de humeuze bovengrond is verwaarloosbaar. In de rijkere bossen kan de N-leverantie uiteindelijk oplopen tot ca. 400 kg N per ha per jaar. Dit niveau wordt eerst na 150 jaar

humeuze bovengrond komt meer koolstof voor dan in de andere arme bossen. Hierdoor is ook de totale voorraad afwijkend. Dit bos is niet op voormalig stuifzand maar op heide met een podzolprofiel aangelegd. Op grond van de mineralogisch arme onder-

grond (zgn witte zanden) is dit reserverta toch in de ontwikkelingsreeks van de arme groeiplaatsen geplaatst.

De totale C-voorraad in de rijkere bossen bereikt na 200 jaar een evenwicht bij 25 kg C per m<sup>2</sup>. Hiervan is ca. 8 kg C per m<sup>2</sup> (= 80

**Tabel 1. Dikte, zuurgraad en C/N verhoudingen van de organische stof van humushorizonten en daarin voorkomende gehalten organische stof, stikstof en fosfor in bosreservaten op arme en rijke zandgronden met het jaar van 'aanleg' en hun leeftijd**

Reservaat	Aanleg jr	Leeftijd jr	L+F1horizont					F2+H horizont						
			dikte mm	Org St %	N-tot mg/100g	P-tot mg/100g	C/N	pH-KCl	dikte mm	Org St %	N-tot mg/100g	P-tot mg/100g	C/N	pH-KCl
<i>Arme zandgronden</i>														
Uitgestoven laagte Hulshorst		1												
Kootwijk 1B	1928	60	42.0	90.7	1866.1	72.9	24.4	3.2	31.3	62.9	1054.1	41.5	29.8	2.7
Lheebroek-1	1928	70	35.1	79.7	1723.5	49.1	23.6	2.8	39.2	66.8	1512.1	55.0	22.1	2.2
Lheebroek-2	1928	70	34.0	81.9	1913.6	64.7	21.7	2.8	46.5	63.6	1508.4	52.6	21.1	2.1
Tongerense hei	1912	85	22.4	87.7	1876.0	78.0	23.4	2.8	43.7	72.1	1618.0	56.7	22.3	2.2
Hulshorst oud	1870	124												
Mattemburgh-2	1850	150	35.5	86.6	2186.6	69.5	19.8	2.9	67.1	50.6	1706.9	55.9	14.8	2.2
<i>Rijke zandgronden</i>														
Balloerveld		5							50.0	36.6	300.0		61.0	2.9
Noordsche veld geen toponiem		5												
Galgenberg	1894	105	28.7	90.8	2269.6	334.7	20.0	2.5	62.8	79.7	1820.5	252.6	21.9	2.0
Mattemburgh-1	1850	150	42.2	84.9	2178.4	67.9	19.5	2.8	71.2	53.8	1730.8	55.3	15.5	2.2
Norgerholt	1595	400	35.2	80.1	2365.0	96.6	16.9	2.8	72.8	51.6	1713.0	55.7	15.1	2.2
	Bodem code	PNV	Ae/Ah1horizont					Ah2-horizont						
<i>Arme zandgronden</i>														
Uitgestoven laagte Hulshorst	a/bZ41	B/Z												
Kootwijk 1B	a/bZ41	B/Z	50	1.0	23.6	3.9	21.0	3.1						
Lheebroek-1	a/bZ51	B/Z	50	1.9	31.0	6.4	30.7	3.1						
Lheebroek-2	a/bZ51	B/Z	50	3.1	79.6	8.4	19.4	3.0						
Tongerense hei	Hd82g	B/Z	150	7.4	137.7	11.4	26.9	2.6						
Hulshorst oud	a/bZ41	B/Z	150											
Mattemburgh-2	bZ41p	W/B ?	50	8.6	299.3	29.4	14.3	2.7						
<i>Rijke zandgronden</i>														
Balloerveld	Y23	*)	100	2.7				3.2	50	6.3				3.6
Noordsche veld geen toponiem	Hn23	*)	70	5				3.3	130	5.2				3.3
Galgenberg	Hd21	*)	250	3.1				3.5	120	1.3				3.5
Galgenberg	Y75	W/B	165	5.5	93.8	69.4	29.2	2.8						
Mattemburgh-1	sHn42	W/B	240	10.2	366.1	32.0	13.9	2.6						
Norgerholt	eY35	W/B	350	8.9	318.0	30.1	14.1	2.6						

\*) Heidevelden

bereikt. In tegenstelling tot de armere gronden komt hier het merendeel van de voor de planten beschikbare stikstof uit de humeuze bovengrond.

### Fosfaatbeschikbaarheid

In tegenstelling tot stikstof is fosfaat slecht gecorreleerd met de voorraad aan organische stof. Vooral het moedermateriaal lijkt bepalend voor de P-voorraad in de bodem. Door vertering komt dit beschikbaar voor de vegetatie en uiteindelijk in het door de vegetatie geproduceerde strooisel. Dit effect komt duidelijk in beide ontwikkelingsreeksen naar voren. De arme gronden hebben een lage P-voorraad in de humeuze bovengrond en de rijkere bossen een grote P-voorraad. Deze verschillen zijn minder duidelijk voor het P-gehalte in de strooisellaag.

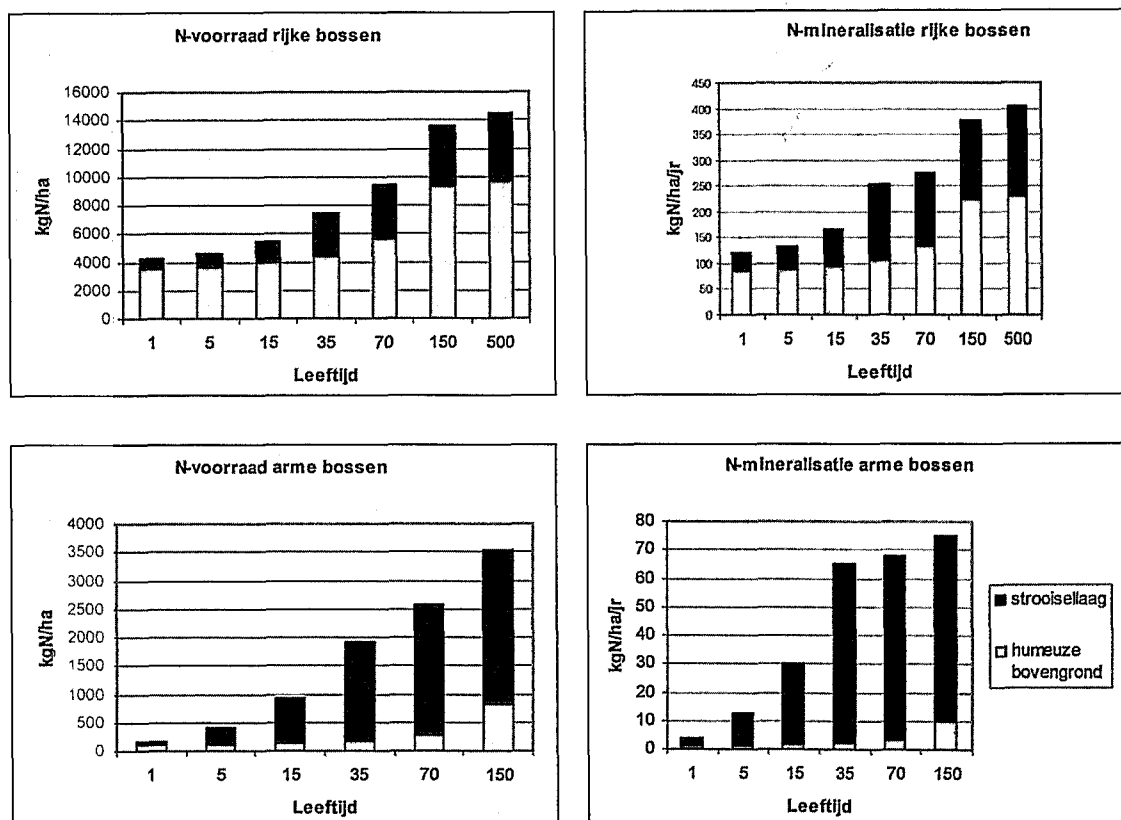
In Galgenberg zou het fosfaat door vertering afkomstig kunnen zijn van de mineralogisch rijke 'bruine' preglaciale zanden. In Norgerholt en Mattemburgh zou de keileem resp. Tegelen klei, die in de ondergrond voorkomt, de bron van het fosfaat kunnen zijn. Mogelijk worden de fosfaten daar gemobiliseerd en via wortels naar de oppervlakte gepompt. Daarnaast komt in Norgerholt een cultuurdek op de moderpodzol voor. Ook dit cultuurdek kan een fosfaatbron zijn.

Het verschil in fosfaatgehalte in de humeuze bovengrond vormt het meest markante verschil tussen de armere en rijkere bossen op de pleistocene zandgronden; een aanwijzing dat een ruime fosfaatvoorraad van doorslaggevend belang is voor de ontwikkeling van een wintereiken-beukenbos.

### C- en N-voorraden in bodem en biomassa

In de literatuur zijn gegevens beschikbaar over de C en N-voorraden in de levende biomassa van het bos (De Vries et al., 1990). Deze zijn gebruikt om een schatting te maken van de relatieve betekenis van de bodem (incl. strooisel) voor de opslag van C en N. De bodemvoorraden zijn gebaseerd op onze metingen in 70 jaar (Lheebroek) en 150 jaar (Mattemburgh) oud grove denbos op arm stuifzand en een 100 jaar oud grove denbos (Galgenberg) en een 400 jaar oud eikenbos (Norgerholt) op rijkere zandgrond. Dood hout is hierbij buiten beschouwing gelaten.

Op arme zandgrond bedraagt in een jong bos de totale hoeveelheid koolstof ca.130 ton per ha



Figuur 2: Het verband tussen de stikstofvoorraad, de stikstofmineralisatie en de leeftijd van bosreservaten op arme en rijke zandgronden opgesplitst naar verschillende onderdelen van het humusprofiel

wat kan oplopen tot 200 ton in een oud bos. Hiervan wordt ca. 40% in de bodem opgeslagen (figuur 3). Op de rijkere zandgronden gaat het om een totale hoeveelheid koolstof variërend van ca. 280 in jongere tot ruim 400 ton per hectare in oude bossen. Hiervan ligt 60 tot 70% van de totale C-voorraad opgeslagen in de bodem. Voor zowel arme als rijkere bossen verschuift tijdens het ouder worden de koolstofvoorraad van de strooisellaag naar humeuze bovengrond. Een belangrijk onderscheid tussen de armere en rijkere bodems is de bijdrage van de strooisellaag aan de koolstofvoorraad. Op de armere gronden wordt het merendeel van de koolstofvoorraad in de strooisellaag opgeslagen, terwijl in de rijkere bodems het me-

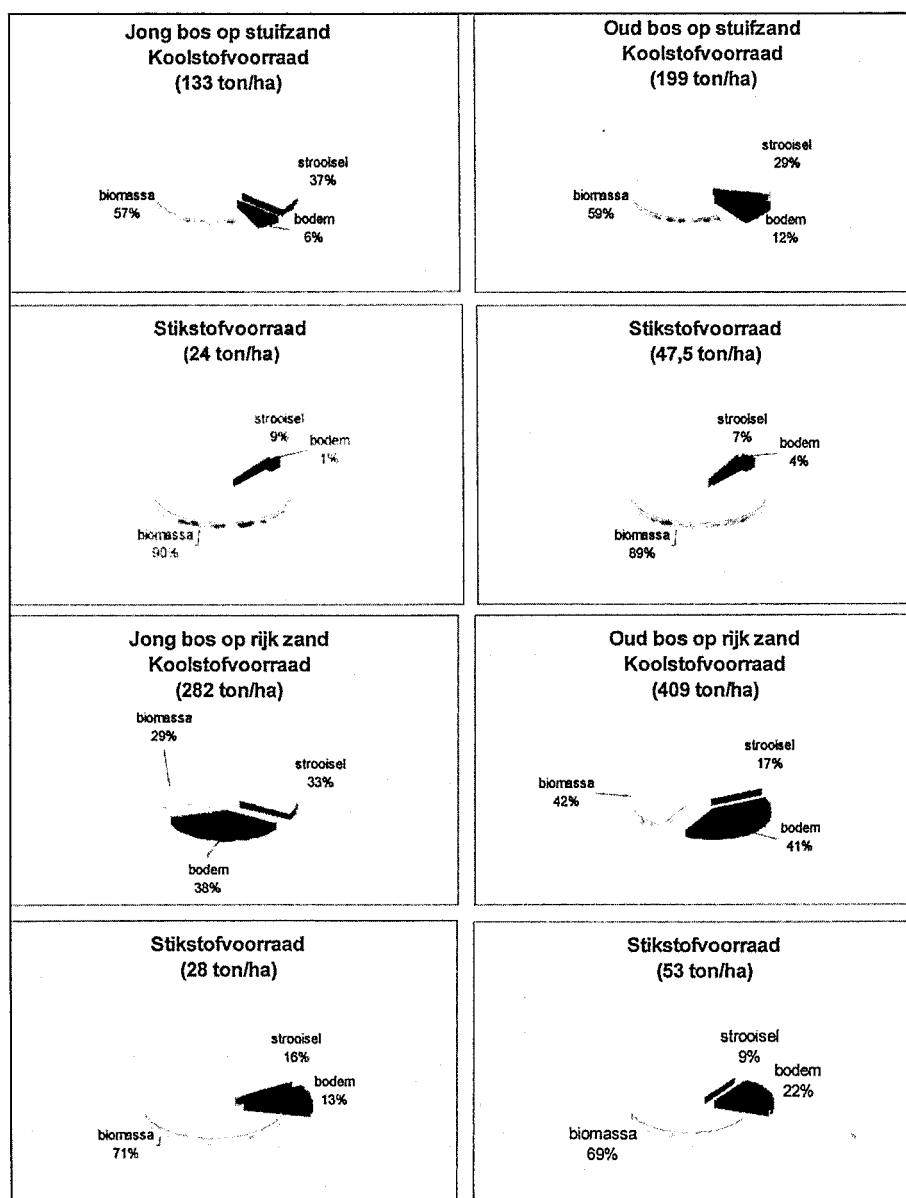
rendeel in de humeuze bovengrond is opgeslagen. De relatieve betekenis van de bodem voor de opslag van N is gering. Op de arme groeiplaatsen is slechts 10% van de totale N-voorraad (ca. 24 tot 48 ton) in het bosecosysteem in de bodem opgeslagen. Op de rijkere groeiplaatsen gaat het om ca. 30% van de totale N-voorraad (ca. 28 tot 53 ton). Opnieuw zien we dat op de armere groeiplaatsen de N-opslag in de strooisellaag veel belangrijker is dan in de humeuze bovengrond, terwijl op de rijkere gronden de N-opslag in de humeuze bodems bijna gelijk is aan of beduidend hoger is dan in het strooisel. Ook voor stikstof geldt dat naarmate de bossen ouder worden de voorraad verschuift van strooi-

sellaag naar humeuze bovengrond.

### Humus van vitaal belang voor het beheer

Het is duidelijk dat er in rijkere bossen meer koolstof wordt vastgelegd dan in arme bossen. Dit moet worden toegeschreven aan een grotere biologische activiteit in de bodem als gevolg van het mineralogisch rijkere substraat. Opvallend is dat koolstof in de arme bossen vooral in de strooisellaag en in de rijke bossen vooral in de humeuze bovengrond wordt vastgelegd. In arme bossen is de strooisellaag dus de belangrijkste bron van koolstof en daaraan gekoppeld stikstof. In rijkere systemen is de humeuze bovengrond juist belangrijker dan de strooisellaag, die niette-

Figuur 3: Aandelen koolstof en stikstof in de verschillende compartimenten van het ecosysteem in arme en rijke bossen



min eveneens een substantiële bron van voedingsstoffen is. Voor beide bossystemen geldt dat tijdens de ontwikkeling de belangrijkste bron van zowel koolstof als stikstof verschuift van de strooisellaag naar de humeuze bovengrond. Naast de betekenis voor de voedingsstoffenhuishouding zal het ook duidelijk zijn dat met de accumulatie van de organische stof in de bodem tevens

een betere vochtbuffer in de bodem wordt opgebouwd (De Waal et al., 2001), wat voor de kieming van zaden van belang kan zijn. Dit onderzoek laat zien dat jaarlijks op de armere zandgronden 50 tot 70 kg N per ha door mineralisatie voor de plantengroei beschikbaar komt. Op de rijkere groeiplaatsen is dit jaarlijks 350 tot 400 kg per ha. Via de atmosfeer bereikt jaarlijks een vrucht

stikstof de grond in een orde van grootte die varieert tussen de 30 tot 60 kg per ha. Op de armere gronden betekent dit een verhoging van de stikstofbeschikbaarheid met 50 tot 100%. De bossen op rijkere gronden blijken in dit opzicht een robuuster karakter te hebben. De atmosferische input leidt hier tot een verhoging van de stikstofbeschikbaarheid met 10 tot 15%.



Tevens mag duidelijk zijn dat arme bossen uiterst kwetsbaar zijn voor brand, omdat de gehele strategische voedselvoorraad, die in de strooisellaag ligt opgeslagen, zal verdwijnen zoals de brand van 1995 in Kootwijk leerde. Anderzijds betekent dit dat



*Een arm en een rijk bos*

een te sterke accumulatie van stikstof door atmosferische depositie vrij gemakkelijk met het strooisel kan worden verwijderd via pluggen of via gecontroleerd branden. Rijkere bossen zijn in dit opzicht minder kwetsbaar en manipuleerbaar omdat hun voedselvoorraad voor een belangrijk deel ligt opgeslagen in de minerale bodem en zodoende is afgeschermd voor verbranding. Tenslotte zou het voor de maatschappelijke discussies over CO<sub>2</sub>-vastlegging interessant zijn na te gaan onder welke bodemkundige omstandigheden het meest perspectief aanwezig is voor bosaanleg ter compensatie van CO<sub>2</sub>-emissie. Met name kunnen hieruit nieuwe inzichten ontstaan over de invloed van bodemkundige condities (o.a. zuurgraad, textuur) op de koolstofvastlegging in de bosbodem

in relatie tot andere koolstof 'sinks'. Het moge duidelijk zijn dat daarbij niet alleen de bijdrage van de biomassa c.q. boomsoort, maar ook de betekenis van de bodem in de afweging niet mag ontbreken. Het bosreservaten programma kan ons wat dat betreft nog veel leren.

### Literatuur

- Clerkx, A.P.P.M., M.J. Schelhaas & M.E. Sanders, 2001. Bosreservaat Mattemburgh; bosstructuur en vegetatie bij aanwijzing tot bosreservaat. Wageningen. Alterra rapport 223.
- Kemmers, R.H., P. Mekkink, A. Smit and J. Sevink, 1996. Effecten van bosbegrazing op het humusprofiel van arme zandgronden onder naaldbos. DLO-Staring Centrum. Rapport 294. Wageningen
- Kemmers, R.H., P.Mekkink & R.W. de Waal, 1998. De uitgangstoestand van bodemvariabelen in Norgerholt en Tongerense hei; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 592.
- Mekkink, P. 1998. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland; deel Bosreservaat Mattemburgh. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 98.30.
- Sevink, J., R.H.Kemmers, and I.M. Emmer, 1993. Soil research in Dutch forest reserves: the implications of spatial and temporal soil variability. In Broekmeyer, M.E.A., W. Vos and H. Koop (Eds.), European Forest reserves. Pudoc Sci. Publ., Wageningen.
- Vries, W. de, A. Hol, S. Tjalma & J.C.H. Voogd, 1990. Literatuurstudie naar voorraden en verblijftijden van elementen in bosesystemen. DLO-Staring Centrum. Rapport 94. Wageningen.
- Waal, R.W. de, R. J. Bijlsma, E. Dijkema & M. van der Werff., 2001. Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems. De Levende Natuur 102:118-122.