

## Koolstofvoorraden en -vastlegging in het Nederlandse bos

**In de Nota Klimaat-verandering, de Evaluatie Meerjarenplan Bosbouw en het Milieubeleidsplan-plus worden bos en bosbouw gezien als één van de mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-emissie te compenseren. Wereldwijd worden studies verricht om de koolstofvoorraden en de jaarlijkse vastlegging in de biosfeer te kwantificeren. Dit artikel geeft de resultaten van een korte studie naar de koolstofvoorraden en -vastlegging in 15 bostypen van het Nederlandse bos. Per bostype zijn gekwantificeerd huidige koolstofvoorraad in de levende biomassa, in de strooisellaag en in de stabiele humus, en jaarlijkse koolstofvastlegging in de stam door volumieke groei.**

De huidige gemiddelde staande voorraad bedraagt 170 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en de gemiddelde bijgroei 9.0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> op basis van de recente HOSP-cijfers voor het Nederlandse bos. In het Nederlandse bos (330.000 ha) en de bosbodem is momenteel 63x10<sup>6</sup> Mg C vastgelegd (Mega gram = ton). Ter vergelijking: de Nederlandse uitstoot van koolstof bedroeg in 1990 ongeveer 50x10<sup>6</sup> Mg C. Bijna 60% van de in bos vastgelegde koolstof bevindt zich in de stabiele humus in de bodem. De koolstofvoorraad in de levende biomassa van beukenbossen is het hoogst met 124 Mg C ha<sup>-1</sup>, terwijl het gemiddelde over Nederland 59 Mg C ha<sup>-1</sup> bedraagt. In de stabiele humus in

### Summary

*In the framework of the Dutch Research Program on Global Air Pollution and Climate Change this study quantifies, on the basis of existing yield tables, biomass measurements and soil profile descriptions the stocks and fluxes of carbon in the present-day Dutch forests and forest soils (330 000 ha.).*

*Following the Dutch 4<sup>th</sup> Forest Inventory the next parameters are quantified: carbon stock in the living biomass, current annual accumulation of carbon through stem volume increment per site class, carbon stock in the soil stable humus and in the forest floor. Harvesting and decomposition of wood products is only taken into account on a rather rough scale.*

*The present stock of carbon in the living biomass, soil stable humus and forest floor of the Dutch forest amounts to 63x10<sup>6</sup> Mg C. Almost 60% of the carbon is stored in the soil stable humus, which makes this stock rather important as an absolute amount and as a pool that is secured for a long time by the forest. At this moment the standing forest of beech contains the largest stock of carbon per ha in the living biomass (125 Mg C ha<sup>-1</sup>). The average carbon stock in the living biomass of the total forest amounts to 59 Mg C ha<sup>-1</sup>.*

*The present gross annual carbon accumulation through current stem volume increment on the total afforested area amounts to 0.66x10<sup>6</sup> Mg C yr<sup>-1</sup>, equivalent to 1.3% of the Dutch carbon emission. This is however a gross sink because harvesting and product decomposition are not taken into account. At present the gross annual carbon sink through stem volume increment is with 4.6 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> the largest in beech stands on good sites. The average net annual carbon sink for the total Dutch forest amounts to 0.97 Mg C ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>. It became clear that long rotations with species that built up large standing volumes are most suitable for carbon sequestration.*

de bodem is gemiddeld 104 Mg C ha<sup>-1</sup> vastgelegd.

Jaarlijks accumuleert 0.66x10<sup>6</sup> Mg C (ongeveer 1,3% van de jaarlijkse Nederlandse uitstoot) door bijgroei indien houtoogst niet in beschouwing genomen wordt. De netto accumulatie, rekening houdend met houtoogst is geschat op 0.33x10<sup>6</sup> Mg C jr<sup>-1</sup>. De gemiddelde netto vastleggingsnelheid over het gehele oppervlak bedraagt 0.97 Mg C ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Lange omlopen met soorten die een groot staand volume opbouwen, zijn het meest geschikt voor

CO<sub>2</sub>-vastlegging. Men kan daarbij denken aan soorten als beuk, eik en douglas. Beheersmaatregelen gericht op het verhogen van de koolstofvastlegging in bos, hebben vaak slechts een gering effect.

Als gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen en ontbossing neemt de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer toe. De verwachting bestaat dat hierdoor het klimaat op aarde zal veranderen (Houghton et al. 1990, VROM 1991). Niet alleen de temperatuur

op aarde kan gaan stijgen, maar ook kunnen weersextremen in aantal en mate toenemen. Omdat bossen zich slechts langzaam aanpassen aan veranderende omstandigheden, kunnen de effecten op bos en bosbouw ingrijpend zijn (Mohren 1990).

De levende biomassa en de organische stof in de bodem vormen echter ook een opslagplaats van  $\text{CO}_2$ , en bossen vormen de grootste koolstofvoorraad van de biosfeer. Bosaanleg kan daardoor bijdragen aan de reductie van de toename van de atmosferische  $\text{CO}_2$ -concentratie. Wereldwijd worden studies verricht om de koolstofvoorraden en de jaarlijkse vastlegging in de biosfeer te kwantificeren (bijv. Dixon et al. 1991, Dewar & Cannell 1992, Freedman et al. 1992, Kauppi et al. 1992, Milleman & Boden 1985 & 1986). Dit artikel is het resultaat van een korte studie binnen het Nationaal Onderzoek Programma Mondiale Luchtverontreiniging en Klimaatverandering naar koolstofvoorraden en -vastlegging in het huidige Nederlandse bos en de bosbodem.

### De rol van bossen in de koolstofkringloop

Bladeren en naalden van bomen nemen in het proces van fotosynthese  $\text{CO}_2$  uit de lucht op, zetten dit om in suikers en produceren daarbij zuurstof. Suikers die niet gebruikt wordt voor de onderhoudsademhaling worden getransporteerd naar de overige organen van de boom. Daar wordt het omgezet in structuurweefsel (zie figuur 1). Afhankelijk van het orgaan kan de opslagduur varië-

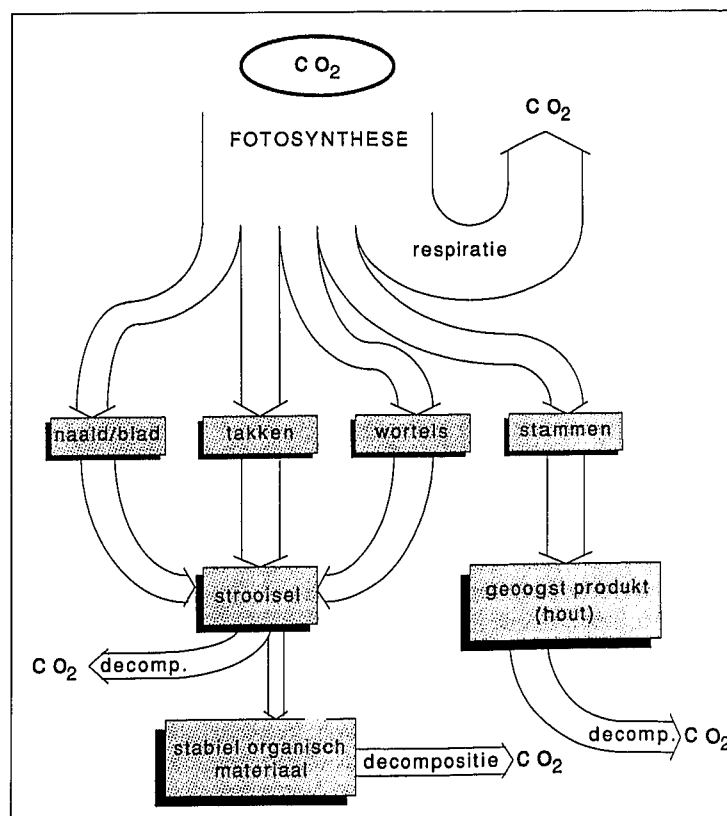
ren van 1 jaar (bladeren en fijne wortels) tot enkele honderden jaren (stamhout).

Door strooiselval hoopt zich op de Nederlandse bosbodem vaak een dik pakket organisch materiaal op. Door afbraak van dit strooisel komt de  $\text{CO}_2$  deels weer vrij. Een klein deel van het strooisel wordt omgezet tot stabiele humus welke lang in de bodem aanwezig kan blijven. Naast deze humusopbouw ten gevolge van de bosontwikkeling in het huidige bos, is door duizenden jaren bodemvorming al een hoeveelheid stabiele humus in de bodem aanwezig. Bij dunningen en eindkap zal het stamhout, afhankelijk van de kwaliteit, gebruikt worden voor papier, emballage of meubelhout. Door afbraak van producten met een korte levensduur (papier, pallets) is vrijwel alle op-

geslagen koolstof gemiddeld na 1 jaar weer vrijgekomen, bij zaaghout met een lange levensduur kan dit oplopen tot 30 jaar. Bij aerobe decompositie van organisch materiaal wordt zuurstof gebruikt: per saldo is na groei en decompositie zowel de koolstofvastlegging als de zuurstofproductie gelijk aan nul.

In relatief jong bos vindt nog netto-opslag van koolstof plaats doordat het staand volume toeneemt. Uiteindelijk zal een evenwichtssituatie ontstaan waarin de vastlegging van koolstof door bijgroei en het vrijkomen van koolstof uit vertering van strooisel en producten elkaar opheffen. In Nederland is op dit moment nog geen evenwichtssituatie bereikt. Omdat ongeveer de helft van de bijgroei wordt geoogst (HOSP 1991), vindt er jaarlijks netto vast-

■ **Figuur 1.** Eenvoudige weergave van koolstoffluxen in een bosopstand (Mohren & Klein Goldewijk 1990).  
Figure 1. Simple representation of carbon fluxes in a forest stand (Mohren and Klein Goldewijk 1990).



**Tabel 1. Staand volume, droge stof en koolstofvoorraden in de onderscheiden bostypen.**

**Referenties: 1: HOSP 1991, 2: Laming 1978, 3: Bosshard 1974, 4: CBS 1985, 5: Cannell 1982, Kimmins et al. 1985, 6: Koolstof gehalte van de droge stof is 50% (Ajtay et al. 1977).**

|                      | staand<br>volume | dicht-<br>heids-<br>getal | droge<br>stof in<br>de stam | bostype<br>areaal | stam<br>droge<br>stof in<br>areaal | stam<br>biomassa/<br>totale<br>biomassa | droge stof<br>van<br>totale<br>biomassa | koolstof<br>voorraad<br>in totale<br>biomassa |
|----------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                      | (m³ ha⁻¹)        | (kg d.s. m⁻³)             | (Mg ha⁻¹)                   | (ha)              | (10⁶ Mg)                           | (%)                                     | (10⁶ Mg)                                | (10⁶ Mg C)                                    |
| referentie           | 1                | 2,3                       |                             | 4                 |                                    | 5                                       |                                         | 6                                             |
| bostype              |                  |                           |                             |                   |                                    |                                         |                                         |                                               |
| P. sylvestris        | 168              | 442                       | 74.3                        | 98 213            | 7.29                               | 67                                      | 10.9                                    | 5.44                                          |
| P. nigra             | 160              | 442                       | 70.7                        | 16 302            | 1.15                               | 66                                      | 1.74                                    | 0.87                                          |
| P. menziesii         | 197              | 460                       | 90.6                        | 15 722            | 1.43                               | 78                                      | 1.83                                    | 0.92                                          |
| L. kaempferi         | 187              | 480                       | 89.8                        | 18 015            | 1.62                               | 73                                      | 2.22                                    | 1.11                                          |
| P. abies             | 177              | 362                       | 64.1                        | 13 262            | 0.85                               | 59                                      | 1.44                                    | 0.72                                          |
| Q. robur & petraea   | 187              | 545                       | 101.9                       | 27 084            | 2.76                               | 61                                      | 4.52                                    | 2.26                                          |
| F. sylvatica         | 285              | 579                       | 165.0                       | 7 150             | 1.18                               | 66                                      | 1.79                                    | 0.89                                          |
| Populus spp. & Salix | 150              | 357                       | 53.6                        | 15 280            | 0.82                               | 75                                      | 1.09                                    | 0.55                                          |
| B. pendula           | 130              | 480                       | 62.4                        | 5 506             | 0.34                               | 69                                      | 0.49                                    | 0.25                                          |
| F. excelsior         | 110              | 463                       | 50.9                        | 3 411             | 0.17                               | 65                                      | 0.26                                    | 0.13                                          |
| A. glutinosa         | 100              | 370                       | 37.0                        | 967               | 0.04                               | 72                                      | 0.06                                    | 0.03                                          |
| Q. rubra             | 200              | 545                       | 109.0                       | 7 856             | 0.86                               | 61                                      | 1.41                                    | 0.70                                          |
| Spontaan bos         | 124              | 420                       | 52.1                        | 23 970            | 1.25                               | 67                                      | 1.87                                    | 0.93                                          |
| Hakhout              | 80               | 482                       | 38.6                        | 22 250            | 0.86                               | 61                                      | 1.41                                    | 0.70                                          |
| Opslagbos            | 86               | 458                       | 39.4                        | 13 084            | 0.52                               | 68                                      | 0.76                                    | 0.38                                          |
| Totaal               |                  |                           |                             | 278 679           | 21.14                              |                                         |                                         | 15.87                                         |

legging plaats. Koolstof-opslag in bos, bosbodem en producten heeft dus een tijdelijk karakter, maar een bepaalde hoeveelheid koolstof is permanent aan de atmosfeer onttrokken. Het grote voordeel van bos ten opzichte van bijv. akkerbouw is dat bossen over een lange periode een grotere biomassa opbouwen en dus gemiddeld een grotere hoeveelheid koolstof permanent aan de atmosfeer onttrekken.

### Methode

Voor de kwantificering van de totale hoeveelheid koolstof zijn in deze studie de terreintypen opgaand bos (234.000 ha), spontaan bos (24.000 ha), hakhout (22.000 ha) en opslagbos (13.000 ha) in beschouwing genomen (CBS 1985). Samen beslaan deze terreintypen 85% van de totale beboste oppervlakte. Het opgaand bos is verdeeld in 12 boomsoorten.

De huidige staande voorraad per boomsoort (HOSP 1991) is met het dichtheidsgetal van de houtsoort (hoeveelheid droge stof per vers volume eenheid) omgerekend naar droge stof hoeveelheden in het stamhout. Met behulp van de verhouding tussen droge stof in de stam en totale hoeveelheid droge stof in de levende biomassa van bossen is de hoeveelheid droge stof bepaald (Cannell 1982). Een koolstof gehalte van 50% (Ajtay et al. 1977) is gebruikt om de koolstofvoorraden te bepalen. De huidige staande voorraad volgens de HOSP-inventarisatie (HoutOogst Statistiek en Prognose oogstbaar hout) is vergeleken met bestaande opbrengsttabellen (Sevenster 1991). Voor sommige, binnen de HOSP-inventarisatie, niet afzonderlijk onderscheiden boomsoorten als Amerikaanse eik, berk, es en els zijn schattingen gemaakt van het staand volume op grond van opbrengsttabel-

len (Tabel 1). Voor de drie terreintypen spontaan bos, hakhout en opslagbos is aangenomen dat voor elk van de boomsoorten van het terreintype het staand volume 80%, 50% respectievelijk 60% bedraagt van het staand volume in het opgaande bos. Alle resultaten zijn uitgedrukt in gewichtseenheden koolstof, om een éénduidige vergelijking mogelijk te maken. Één kilo koolstof komt overeen met  $44/12 = 3.67$  kg CO<sub>2</sub>.

De verdeling van de boomsoorten van het opgaande bos over de bodemtypen is eerder vastgesteld door het Staring Centrum (SC-DLO) door middel van het combineren van de digitale Vierde Bosstatistiek en de 1:50000 Bodemkaart van Nederland (pers comm. ir. W. de Vries, SC-DLO) (Tabel 2). Met behulp van het systeem van bodemkwalificatie voor bosbouw in Schütz & Van Tol (1982) is de relatieve boniteit

**Tabel 2. Verdeling van de boomsoorten van het opgaand bos over de bodemtypen van het Nederlandse bos (pers. comm. De Vries SC-DLO).**

| BODEM TYPE*                  | BODEM-CODE | BOOMSORT |       |       |       |       |      |       |      |       |     |      |      |     |      | Totaal |
|------------------------------|------------|----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-----|------|------|-----|------|--------|
|                              |            | ps       | pn    | pm    | pa    | lk    | oc   | qr    | fs   | pe    | sa  | bp   | fe   | ag  | ol   |        |
| Venige en moergronden        | V/W        | 731      | 120   | 173   | 802   | 633   | 322  | 1344  | 106  | 824   | 146 | 1166 | 420  | 360 | 332  | 7484   |
| Holtpodzolgronden            | Y          | 12820    | 1015  | 3662  | 1246  | 2874  | 451  | 2929  | 1917 | 91    | 2   | 460  | 8    | 12  | 489  | 27976  |
| Veldpodzolgronden            | Hn         | 15961    | 3031  | 2568  | 2824  | 3410  | 1143 | 4183  | 722  | 962   | 28  | 1009 | 130  | 92  | 600  | 36663  |
| Haarpodzolgronden            | Hd         | 27176    | 4230  | 4408  | 454   | 4123  | 1052 | 3437  | 1085 | 106   | 6   | 812  | 11   | 12  | 373  | 49285  |
| Enkeerdgronden               | EZ         | 2878     | 345   | 368   | 342   | 390   | 160  | 1432  | 283  | 525   | 10  | 149  | 29   | 39  | 184  | 7134   |
| Laarpodzolgronden            | cHn/cHd    | 3304     | 312   | 904   | 775   | 805   | 324  | 2795  | 639  | 477   | 13  | 255  | 64   | 48  | 339  | 11054  |
| Beekeerdgronden              | pZg/pZn    | 2344     | 288   | 371   | 482   | 581   | 93   | 1923  | 335  | 1292  | 29  | 272  | 206  | 120 | 298  | 8634   |
| Vlakvaaggronden              | Zn         | 334      | 121   | 42    | 65    | 61    | 68   | 209   | 25   | 293   | 2   | 25   | 15   | 10  | 30   | 1300   |
| Duinvaaggronden              | Zd         | 24523    | 3518  | 1626  | 605   | 954   | 817  | 2040  | 490  | 84    | 3   | 359  | 37   | 1   | 407  | 35477  |
| Keileemgronden               | KX         | 236      | 15    | 40    | 99    | 113   | 27   | 330   | 63   | 99    | 0   | 33   | 39   | 2   | 31   | 1127   |
| Krijteerdgronden             | KD/VE/T    | 15       | 2     | 5     | 82    | 51    | 3    | 90    | 32   | 8     | 0   | 35   | 27   | 0   | 84   | 434    |
| Associaties*                 | Y/Hn/Hd/Zd | 6459     | 1754  | 1334  | 2648  | 3597  | 1029 | 2914  | 421  | 415   | 23  | 562  | 180  | 70  | 673  | 22079  |
| Kalkrijke Zeeduinvaaggronden | ZdA/ZnA    | 164      | 1351  | 13    | 276   | 5     | 164  | 897   | 169  | 1048  | 21  | 85   | 281  | 29  | 880  | 5383   |
| Lössgronden                  | L          | 475      | 21    | 84    | 213   | 202   | 51   | 579   | 277  | 668   | 9   | 124  | 183  | 15  | 474  | 3375   |
| Rivier- en zeekleigronden    | R/M        | 789      | 179   | 125   | 347   | 212   | 124  | 1983  | 587  | 7442  | 654 | 160  | 1780 | 143 | 2663 | 17188  |
| Totaal                       |            | 98209    | 16302 | 15723 | 13260 | 18016 | 5828 | 27085 | 7151 | 14334 | 946 | 5506 | 3410 | 966 | 7857 | 234593 |

\*: Omdat deze bodemeenheden vaak meerdere bodemsubgroepen omvatten, is hier gesproken van bodemtypen.

\*\*: Omdat de schaal van de Bodemkaart van Nederland 1:50000 dusdanig is dat niet alle bodemeenheden afzonderlijk gekarteerd zijn, komen nogal eens associaties van bodemeenheden voor. Binnen het Nederlandse bos gaat het dan vaak om associaties van Duinvaaggronden en Vlakvaaggronden of om Holtpodzolgronden met Haarpodzolgronden.

|                                            |                                   |
|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| ps: Pinus sylvestris                       | (grove den)                       |
| pn: Pinus nigra var. maritima & var. nigra | (Oostenrijkse en Corsicaanse den) |
| pm: Pseudotsuga menziésii                  | (Douglas spar)                    |
| lk: Larix kaempferi                        | (Japanse lariks)                  |
| pa: Picea abies                            | (fijnspar)                        |
| oc: overige coniferen                      | (o.a. sitkaspar, hemlock)         |
| qr: Quercus robur & Q. petraea             | (zomer- en wintereik)             |
| fs: Fagus sylvatica                        | (beuk)                            |
| pe: Populus spp                            | (populier)                        |
| sa: Salix spp                              | (wilg)                            |
| bp: Betula pendula                         | (berk)                            |
| fe: Fraxinus excelsior                     | (es)                              |
| ag: Alnus glutinosa                        | (els)                             |

(in 3 klassen) voor de verschillende bodems bepaald. Door de relatieve boniteit te combineren met de gemeten lopende volumieke bijgroei uit de HOSP-inventarisatie (HOSP 1991), de bestaande opbrengsttabellen en de meetgegevens uit de permanente proefperken van het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (pers. comm. ing. E.J. Dik) is voor iedere combinatie van boomsoort en bodem type de huidige

gemiddelde bijgroei verkregen (Tabel 3).

Met behulp van het dichtheidsgetal en het koolstofgehalte is de koolstofaccumulatie door volumieke bijgroei berekend (Tabel 4). De verkregen waarden zijn echter bruto koolstofaccumulatie snelheden omdat houtoogst niet in de berekening is betrokken. Ongeveer de helft van de huidige bijgroei wordt geoogst waarvan

het grootste deel van de producten een relatief korte levensduur heeft. De bruto accumulatiesnelheden zijn derhalve gehalveerd om netto accumulatie te vinden, waarbij is aangenomen dat er geen netto accumulatie in de producten meer optreedt, omdat de oogst gelijk is aan de lopende produktdecompositie.

De hoeveelheid koolstof per hectare in de stabiele humus per bo-

**Tabel 3. Huidige lopende aanwas bij de huidige gemiddelde leeftijd van de boomsoorten ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ ) op de onderscheiden bodemtypen volgens een combinatie van de HOSP-inventarisatie (1991), relatieve boniteiten volgens Schütz & Van Tol (1982), en de opbrengsttabellen uit Sevenster (1991) en pers. comm Dik. Tevens is ter vergelijking de lopende aanwas volgens de opbrengsttabel bij gemiddelde leeftijd en een gemiddelde groeiklasse weergegeven.**

| Boomsoort                                                                              | ps  | pn   | pm   | lk   | pa   | qr  | fs   | pe/sa | fe   | ag   | bp  | qru |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|------|------|-----|------|-------|------|------|-----|-----|
| <b>Bodem type</b>                                                                      |     |      |      |      |      |     |      |       |      |      |     |     |
| Venige en moergronden                                                                  | 6.0 | 8.5  | 9.0  | 7.0  | 17.0 | 7.0 | 8.0  | 14.0  | 10.0 | 8.0  |     |     |
| Holtpodzolgronden                                                                      | 8.5 | 11.5 | 17.0 | 15.0 | 13.0 | 7.0 | 16.0 | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Veldpodzolgronden                                                                      | 8.5 | 11.5 | 13.0 | 11.0 | 13.0 | 7.0 | 12.0 | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Haarpodzolgronden                                                                      | 6.0 | 8.5  | 13.0 | 11.0 | 9.0  | 5.0 | 8.0  | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Enkeerdgronden                                                                         | 8.5 | 11.5 | 17.0 | 15.0 | 17.0 | 9.0 | 16.0 | 14.0  | 10.0 | 8.0  |     |     |
| Laarpodzolgronden                                                                      | 8.5 | 11.5 | 13.0 | 11.0 | 17.0 | 7.0 | 12.0 | 14.0  | 7.0  | 8.0  |     |     |
| Beekeerdgronden                                                                        | 6.0 | 11.5 | 13.0 | 11.0 | 17.0 | 7.0 | 12.0 | 14.0  | 10.0 | 10.0 |     |     |
| Vlakvaaggronden                                                                        | 6.0 | 8.5  | 9.0  | 7.0  | 9.0  | 5.0 | 8.0  | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Duinvaaggronden                                                                        | 6.0 | 8.5  | 13.0 | 11.0 | 9.0  | 5.0 | 8.0  | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Kelleemgronden                                                                         | 6.0 | 11.5 | 9.0  | 7.0  | 13.0 | 7.0 | 12.0 | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Krijteerdgronden                                                                       | *   | *    | *    | *    | 13.0 | 7.0 | 12.0 | 14.0  | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Associaties                                                                            | 6.0 | 8.5  | 13.0 | 11.0 | 13.0 | 7.0 | 12.0 | 9.0   | 7.0  | 6.0  |     |     |
| Kalkrijke zeeduinvaaggronden                                                           | *   | 11.5 | *    | *    | *    | 7.0 | 12.0 | 9.0   | 10.0 | 8.0  |     |     |
| Lössgronden                                                                            | *   | 11.5 | *    | *    | *    | 9.0 | 16.0 | 14.0  | 13.0 | 10.0 |     |     |
| Zee- en rivierkleigronden                                                              | *   | 8.5  | *    | *    | *    | 9.0 | 12.0 | 18.0  | 13.0 | 10.0 |     |     |
| Gemiddelde voor alle gronden                                                           |     |      |      |      |      |     |      |       |      |      | 7.0 | 7.0 |
| HOSP-gemiddelde                                                                        | 6.8 | 9.5  | 13.1 | 11.6 | 13.5 | 7.0 | 12.8 | 14.6  | #    | #    | #   | #   |
| Lopende aanwas vlg de opbrengsttabel bij huidige gem. leeftijd en een gem. groeiklasse | 6.4 | 12.1 | 14.3 | 8.7  | 15.0 | 6.8 | 12.1 | 12.7  | 8.1  | 8.5  | 5.5 | 5.4 |

\*: deze combinatie van boomsoort en bodemtype komt slechts op een klein areaal voor en is niet van belang.  
#: het gemiddelde voor overig loofhout bedraagt  $8.4 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$ .

demtype is bepaald met behulp van organische stof gehalten per horizont en bodemdichtheden van de 15 onderscheiden bodemsubgroepen. Deze zijn vermenigvuldigd met een factor 0.58 om de hoeveelheid koolstof te verkrijgen (Buringh 1984, Schlesinger 1984) (Tabel 5). Uit diverse literatuurbronnen is de hoeveelheid droge stof in de

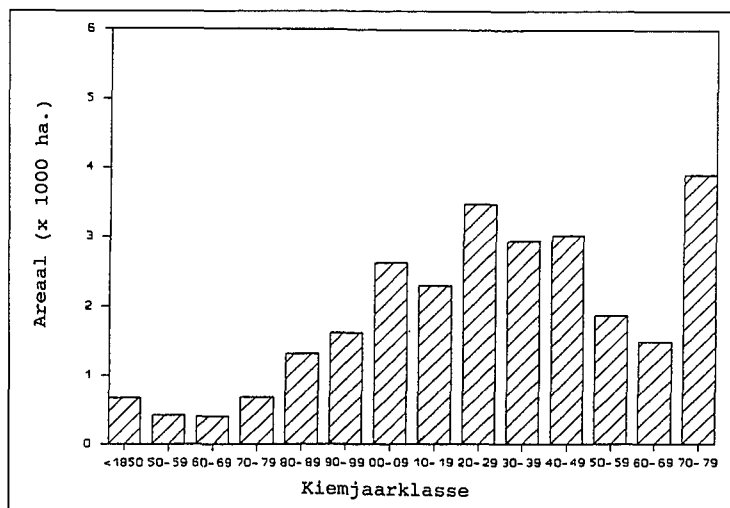
strooisellaag bij de huidige gemiddelde leeftijd van het bostype geschat. Een koolstofgehalte van 50% is gebruikt om de koolstofvoorraad te bepalen (Cannell 1982, De Vries et al. 1990, Kimmins et al. 1985, Ajtay et al. 1977).

#### **Voorbeeld berekening:**

Koolstofvoorraad en -vastlegging

in het opgaand bos van zomer- en wintereik

Aan de hand van dit bostype worden de berekeningen verduidelijkt. Figuur 2 en 3 geven inzicht in het huidige areaal opgaand bos van zomer- en wintereik. In tegenstelling tot de meeste andere boomsoorten van het Nederlandse bos is het are-



■ **Figuur 2.** Verdeling van het areaal opgaand bos van zomereik over de kiemjaarklassen (CBS 1985).  
*Figure 2.* Distribution of the area of standing forest of pedunculate oak over the germination decennia (CBS 1985).

op de goede, middelmatige en slechte groeiplaatsen van respectievelijk 4.91, 3.82 en 2.73 Mg ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Dit resulteert in een huidige jaarlijkse koolstofvastlegging van 51x10<sup>3</sup> Mg C in het opgaand bos van zomer- en wintereik. Accumulatie in takken, bladeren en wortels is verwaarloosbaar verondersteld, omdat aangenomen mag worden dat de biomassa van deze organen niet meer toeneemt gezien de gemiddelde leeftijd van eik in Nederland.

#### Koolstof voorraad in de strooisellaag

Uit diverse bronnen is de hoeveelheid droge stof in de strooisellaag geschat op 55 Mg ha<sup>-1</sup> bij de huidige gemiddelde leeftijd van zomereik van 60 jaar (De Vries et al. 1990, Kimmins et al. 1985). Bij een koolstof gehalte van 50% resulteert dit in 27.5 Mg C ha<sup>-1</sup> en in een hoeveelheid van 0.74x10<sup>6</sup> Mg voor het totale areaal van zomer- en wintereik.

aal zomer- en wintereik redelijk verspreid over de bodemtypen. De Veldpodzolen (Hn), Haarpodzolen (Hd) en Laarpodzolen (cHd/cHn) zijn wel de belangrijkste bodemtypen, maar daarnaast komen ook nog aanzienlijke arealen voor op uiteenlopende bodemtypen. Ook de leeftijdsverdeling van zomer- en wintereik is redelijk gespreid in tegenstelling tot de meeste andere boomsoorten waar een grote piek voorkomt in de kiemjaarklassen van 1930 tot 1960.

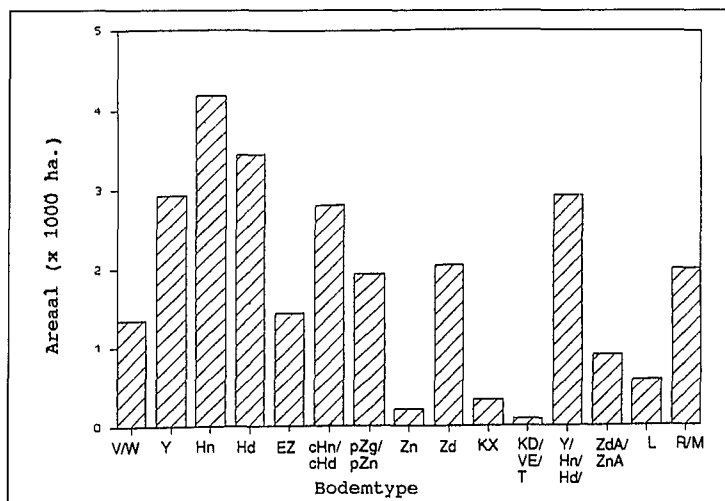
#### Koolstofvoorraad in levende biomassa

De huidige staande voorraad spilhout bedraagt volgens de HOSP-inventarisatie (1991) 187 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Volgens biomassa metingen in Cannell (1982) is bij de huidige gemiddelde leeftijd van zomereik in Nederland ongeveer 60% van de biomassa in de stam opgeslagen. Bij een dichtheidsgetal van 545 kg m<sup>-3</sup> (Laming

1978), resulteert dit in gemiddeld 167 Mg droge stof per ha (Mega gram = ton). Dit is 83.5 Mg C ha<sup>-1</sup> in de levende biomassa (zie figuur 5). In het totale areaal opgaand bos is dan 2.26x10<sup>6</sup> Mg C opgeslagen (Tabel 1).

#### Jaarlijkse koolstofvastlegging in stamhout

De aanwascijfers in Tabel 3 en de areaal verdeling over de bodemtypen resulteren in een areaal per groeiklasse. Bij een dichtheidsgetal van eikehout van 545 kg m<sup>3</sup> (Laming 1978), geeft dit een droge stof toename in het stamhout



■ **Figuur 3.** Verdeling van het areaal opgaand bos van zomereik over de bodemtypen (pers. comm. De Vries, SC-DLO).  
*Figure 3.* Distribution of the area of standing forest of pedunculate oak over the soil types (pers. comm. De Vries, SC-DLO).

Koolstof voorraad in de stabiele humus

De gegevens van organische stof gehalten, dichtheden en profielbeschrijvingen hebben geresulteerd in de koolstof hoeveelheden per hectare als weergegeven in Tabel 5. De verdeling van het areaal opgaand bos van zomereik geeft  $3.0 \times 10^6$  Mg C in de stabiele humus. Gemiddeld per

hectare komt dit overeen met 111 Mg C (Figuur 5).

Bovenstaande berekeningen voor eik zijn eveneens uitgevoerd voor de overige bostypen om de totale koolstofvoorraad en -vastlegging voor het Nederlandse bos te berekenen.

Resultaten:

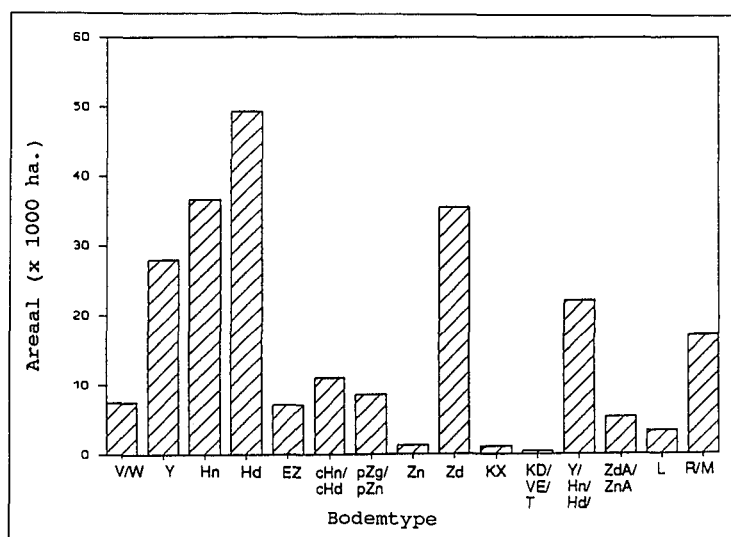
Koolstofvoorraad en -vastlegging

in het totale Nederlandse bos

Uit tabel 1 blijkt dat de koolstofvoorraad in de levende biomassa van de beschouwde 85% van het Nederlandse bos  $15.87 \times 10^6$  Mg bedraagt. Grove den heeft door zijn grote areaal 1/3 deel opgeslagen. Het areaal van een boomsoort blijkt het meest bepalend te zijn voor de opgeslagen voorraden, omdat de staande vo-

**Tabel 4. Huidige koolstofvastlegging door bijgroei. Huidige bijgroei volgens de HOSP-inventarisatie en opbrengsttabellen. Referenties: 1: HOSP 1991, 2: Laming 1978, 3: Bosshard 1974, 4: CBS 1985 en pers. comm. De Vries SC-DLO, 5: aangenomen is dat de biomassa van takken, bladeren en wortels netto niet verder toeneemt 6: Koolstofgehalte is 50% (Ajtay et al. 1977).**

| bostype            | relatieve boniteits-klasse | volumieke bijgroei ( $m^3 ha^{-1} jr^{-1}$ ) | dichtheids getal ( $kg d.s.m.^{-3}$ ) | d.s. toename in stam ( $Mg ha^{-1} jr^{-1}$ ) | areaal (ha) | biomassa toename in totale areaal ( $10^3 Mg jr^{-1}$ ) | Jaarlijkse koolstofvastlegging in stam ( $10^3 Mg C jr^{-1}$ ) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| referentie         | 1                          | 2,3                                          |                                       |                                               | 4           | 5                                                       | 6                                                              |
| P. sylvestris      | I                          | 8.5                                          | 442                                   | 3.75                                          | 34963       | 131.1                                                   | 65.6                                                           |
|                    | II                         | 6.0                                          | 442                                   | 2.65                                          | 61803       | 163.8                                                   | 81.9                                                           |
|                    | III                        | 3.5                                          | 442                                   | 1.55                                          | 1443        | 2.2                                                     | 1.1                                                            |
| P. nigra           | I                          | 11.5                                         | 442                                   | 5.08                                          | 6378        | 32.4                                                    | 16.2                                                           |
|                    | II                         | 8.5                                          | 442                                   | 3.76                                          | 99223       | 7.31                                                    | 8.7                                                            |
|                    | III                        | 5.5                                          | 442                                   | 2.43                                          | 2           | 0.05                                                    | 0.02                                                           |
| P. menziesii       | I                          | 17.0                                         | 460                                   | 7.82                                          | 4030        | 31.5                                                    | 15.8                                                           |
|                    | II                         | 13.0                                         | 460                                   | 5.98                                          | 11211       | 67.0                                                    | 33.5                                                           |
|                    | III                        | 9.0                                          | 460                                   | 4.14                                          | 482         | 2.0                                                     | 1.0                                                            |
| L. kaempferi       | I                          | 15.0                                         | 480                                   | 7.20                                          | 3264        | 23.5                                                    | 11.8                                                           |
|                    | II                         | 11.0                                         | 480                                   | 5.28                                          | 13470       | 71.1                                                    | 35.6                                                           |
|                    | III                        | 7.0                                          | 480                                   | 3.36                                          | 1282        | 4.3                                                     | 2.2                                                            |
| P. abies           | I                          | 17.0                                         | 362                                   | 6.15                                          | 24011       | 4.8                                                     | 7.4                                                            |
|                    | II                         | 13.0                                         | 362                                   | 4.71                                          | 68993       | 2.5                                                     | 16.2                                                           |
|                    | III                        | 9.0                                          | 362                                   | 3.26                                          | 3960        | 12.9                                                    | 6.5                                                            |
| Q. robur & petraea | I                          | 9.0                                          | 545                                   | 4.91                                          | 3994        | 19.6                                                    | 9.8                                                            |
|                    | II                         | 7.0                                          | 545                                   | 3.82                                          | 17405       | 66.5                                                    | 33.2                                                           |
|                    | III                        | 5.0                                          | 545                                   | 2.73                                          | 5886        | 16.1                                                    | 8.0                                                            |
| F. sylvatica       | I                          | 16.0                                         | 579                                   | 9.26                                          | 24772       | 2.9                                                     | 11.5                                                           |
|                    | II                         | 12.0                                         | 579                                   | 6.95                                          | 2968        | 20.6                                                    | 10.3                                                           |
|                    | III                        | 8.0                                          | 579                                   | 4.63                                          | 1706        | 7.9                                                     | 3.9                                                            |
| P. spp. & Salix    | I                          | 18.0                                         | 357                                   | 6.43                                          | 8096        | 52.1                                                    | 26.0                                                           |
|                    | II                         | 14.0                                         | 357                                   | 5.00                                          | 4001        | 20.0                                                    | 10.0                                                           |
|                    | III                        | 9.0                                          | 357                                   | 3.21                                          | 3183        | 10.2                                                    | 5.1                                                            |
| F. excelsior       | I                          | 13.0                                         | 463                                   | 6.02                                          | 1963        | 11.8                                                    | 5.9                                                            |
|                    | II                         | 10.0                                         | 463                                   | 4.63                                          | 936         | 4.3                                                     | 2.2                                                            |
|                    | III                        | 7.0                                          | 463                                   | 3.24                                          | 511         | 1.7                                                     | 0.8                                                            |
| A. glutinosa       | I                          | 10.0                                         | 370                                   | 3.70                                          | 278         | 1.0                                                     | 0.5                                                            |
|                    | II                         | 8.0                                          | 370                                   | 2.96                                          | 476         | 1.4                                                     | 0.7                                                            |
|                    | III                        | 6.0                                          | 370                                   | 2.22                                          | 212         | 0.5                                                     | 0.2                                                            |
| B. pendula         | II                         | 7.0                                          | 480                                   | 3.36                                          | 55061       | 8.5                                                     | 9.3                                                            |
| Q. rubra           | II                         | 7.0                                          | 545                                   | 3.82                                          | 7856        | 30.0                                                    | 15.0                                                           |
| Spontaan bos       | II                         | 5.0                                          | 420                                   | 2.10                                          | 23970       | 50.3                                                    | 25.2                                                           |
| Hakhout            | II                         | 8.4                                          | 482                                   | 4.05                                          | 22250       | 90.1                                                    | 45.1                                                           |
| Opslagbos          | II                         | 7.1                                          | 458                                   | 3.25                                          | 13084       | 42.5                                                    | 21.3                                                           |
| Totaal             |                            |                                              |                                       |                                               | 288268      |                                                         | 557.5                                                          |



■ **Figuur 4.** Verdeling van het totale areaal opgaand bos over de bodemtypen (pers. comm. De Vries, SC-DLO).

Figure 4. Distribution of the total area of standing forest over the soil types (pers. comm. De Vries, SC-DLO).

bijgroei cijfers uit de opbrengst-tabellen bij de huidige gemiddelde leeftijd en een gemiddelde groeiklasse (Sevenster 1991). De HOSP- resultaten voor afzonderlijke boomsoorten zijn enigszins hoger voor Japanse lariks en enigszins lager voor Corsicaanse en Oostenrijkse den volgens de opbrengsttabel.

lumes niet sterk verschillen. Toch komen nog aanzienlijke verschillen in de koolstofvoorraad per hectare voor. Beuk met een staand volume van 285 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, kent de hoogste koolstofvoorraad per hectare met 124 Mg C ha<sup>-1</sup>. Gevolgd door Amerikaanse eik en inlandse eik met respectievelijk 89 en 84 Mg C ha<sup>-1</sup>. Gemiddeld voor het Nederlandse bos bedraagt de koolstofvoorraad in de levende biomassa 59 Mg C ha<sup>-1</sup>. Het laagste scoort zwarte els met 25.7 Mg C ha<sup>-1</sup>. Ook populier heeft op dit moment slechts 36.0 Mg C ha<sup>-1</sup> opgeslagen.

De verdeling van het opgaande bos over de 15 bodemeenheden is weergegeven in Tabel 2 en de verdeling van het totale areaal opgaand bos over de bodemeenheden is verduidelijkt in figuur 4.

Het Nederlandse bos is duidelijk geconcentreerd op een gering aantal bodemeenheden, de meeste behoren tot de droge, arme zandgronden. Het areaal op de Haarpodzolgronden (Hd) is het grootst met bijna 50000 ha. Samen met de Stui/zandgronden

(Zd), Veldpodzol- (Hn), Holtpodzolgronden (Y) en associaties hiervan is 73% van het Nederlandse opgaande bos omvat. Bijna alle boomsoorten zijn geconcentreerd op deze bodemtypen. Eik, beuk en berk vertonen een wat bredere verdeling over de bodemtypen. Populier, wilg en es zijn sterk geconcentreerd op de zee- en rivierklei gronden. Een belangrijk deel van het areaal van berk en els komt voor op de venige en moergronden.

De combinatie van gemiddelde bijgroei volgens de HOSP-inventarisatie, relatieve boniteiten per bodemtype, opbrengstabellen en proefperkgegevens heeft geleid tot de waarden voor gemiddelde aanwas per bodemtype zoals in Tabel 3 weergegeven. Binnen ieder bodemtype uit tabel 3 kan echter nog vrij grote variatie bestaan in grondwaterstanden, vochtleverend vermogen, voedingstoestand e.d. De groei per bodemtype kan dus uiteenlopen.

De gemiddelde bijgroei per boomsoort volgens de HOSP-inventarisatie komt over het algemeen goed overeen met de lopende

Tabel 4 geeft de jaarlijkse vastlegging door bijgroei. Hieruit blijkt dat jaarlijks 0.56.10<sup>6</sup> Mg C wordt vastgelegd in het stamhout in de hier beschouwde 85% van het Nederlandse bos. In het totale Nederlandse bos komt dit dan neer op ongeveer 0.66x10<sup>6</sup> Mg C per jaar. Dit is 1.3% van de jaarlijkse Nederlandse emissie van koolstof welke ongeveer 50x10<sup>6</sup> Mg C bedroeg in 1990 (Van der Born et al. 1990). Het gaat hier echter nog om een bruto accumulatie omdat jaarlijks ongeveer de helft van de bijgroei wordt geoogst. De netto accumulatie is derhalve geschat op 0.33x10<sup>6</sup> Mg C.

Opvallend is dat beuk op goede groeiplaatsen met 4.6 Mg C ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> de grootste hoeveelheid koolstof per jaar vastlegt in het stamhout. Op een tweede plaats komt douglas-spar met 3.9 Mg C ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. De gemiddelde bruto vastlegging voor het Nederlandse bos bedraagt 1.9 Mg C ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup>. Populier die vaak genoemd wordt als een geschikte boomsoort voor koolstofvastlegging heeft op dit moment een bruto vastlegging van 3.2 Mg C ha<sup>-1</sup> jr<sup>-1</sup> op de goede groeiplaatsen. Bij deze cijfers dient echter bedacht

**Tabel 5. Droge stof gewicht en koolstofvoorraad van de stabiele humus in de bodem per hectare.**

| Bodemtype                 | droog gewicht<br>van de stabiele<br>humus (Mg ha <sup>-1</sup> ) | koolstofvoorraad<br>van de stabiele<br>humus (Mg C ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Venige en moergronden     | 733                                                              | 425                                                                   |
| Holtpodzolgronden         | 226                                                              | 131                                                                   |
| Veldpodzolgronden         | 182                                                              | 106                                                                   |
| Haarpodzolgronden         | 185                                                              | 107                                                                   |
| Enkeerdgronden            | 314                                                              | 182                                                                   |
| Laarpodzolgronden         | 127                                                              | 74                                                                    |
| Beekeerdgronden           | 130                                                              | 75                                                                    |
| Vlakvaaggronden           | 28                                                               | 16                                                                    |
| Duinvaaggronden           | 84                                                               | 49                                                                    |
| Kelleemgronden            | 127                                                              | 74                                                                    |
| Krijteerdgronden          | 63                                                               | 37                                                                    |
| Associaties               | 168                                                              | 97                                                                    |
| Zeeduinvlakvaaggronden    | 92                                                               | 53                                                                    |
| Lössgronden               | 106                                                              | 61                                                                    |
| Zee- en rivierkleigronden | 137                                                              | 79                                                                    |

te worden dat het hier gaat om vastlegging tijdens een eerste omloop, de netto vastlegging in opeenvolgende omlopen wordt steeds kleiner indien decompositie van produkten uit eerdere omlopen mee in beschouwing wordt genomen.

Tabel 6 geeft een overzicht van de koolstofvoorraden in bos en bosbodem. Dit is nog eens verduidelijkt in figuur 5. De totale koolstofvoorraad bedraagt op dit moment  $54.17 \times 10^6$  Mg, opgeslagen in levende biomassa, strooisel en stabiele humus van de beschouwde 85% van het Nederlandse bos. De hoeveelheid opgeslagen in het totale Nederlandse bos is geschat op  $63.7 \times 10^6$  Mg C. Bijna 60% van de koolstof ligt in de stabiele humus opgeslagen. Deze stabiele humus wordt voor een deel vastgehouden door de aanwezigheid van het bos, maar is niet het resultaat van de bosontwikkeling van het huidige bos. De opgeslagen hoeveelheid die door duizenden jaren bodemontwikkeling en 100 jaar bosontwikkeling is vastgelegd, is slechts weinig

meer dan de jaarlijkse Nederlandse koolstofemissie.

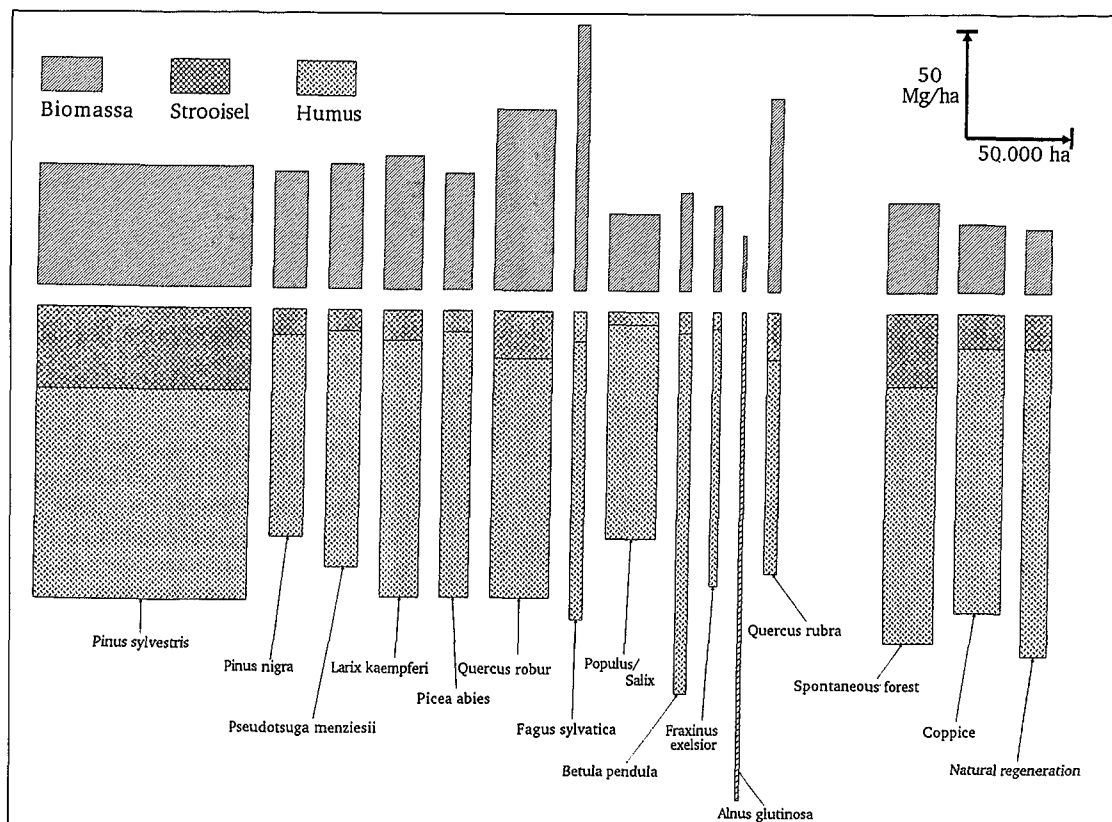
Uit figuur 5 blijkt direct het belang van de stabiele humus voor de opslag van koolstof. Deze hoeveelheid kan per boomsoort enigszins verschillen door de

verdeling van de boomsoorten over de bodemsubgroepen. Berk en els komen vooral voor op de venige en moergronden waardoor voor deze boomsoorten een hoger gemiddelde per hectare is gevonden. Grove den heeft door zijn grote areaal in absolute zin de meeste koolstof opgeslagen. De hoeveelheid koolstof per hectare in de strooisellaag is bij grove den het hoogste, waarschijnlijk omdat de soort is aangelegd op de armste bodems waar de vertering traag verloopt. Spontaan bos bestaat grotendeels uit grove den, waardoor in dit bostype ook een grote hoeveelheid koolstof in de strooisellaag is gevonden.

Wanneer de opslag per hectare in de levende biomassa in beschouwing wordt genomen, blijkt dat soorten in een lange omloop en dus met een relatief hoge leeftijd het belangrijkste zijn. Dit zijn beuk, inlandse eik en Amerikaanse eik. Verder is duidelijk dat snel groeiende soorten als populier

**Tabel 6. Totale koolstofvoorraden ( $\times 10^6$  Mg C) in elk bostype verdeeld over levende biomassa, strooisellaag en stabiele humus.**

|                                               | Areaal<br>(ha) | Levende<br>biomassa | Strooisel<br>laag | Stabiele<br>humus |
|-----------------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Opgaand bos:</b>                           |                |                     |                   |                   |
| grove den                                     | 98 213         | 5.44                | 3.80              | 9.5               |
| Oostenrijkse en<br>Corsicaanse den            | 16 302         | 0.87                | 0.18              | 1.5               |
| Douglas spar                                  | 15 722         | 0.92                | 0.15              | 1.7               |
| Japanse lariks                                | 18 015         | 1.11                | 0.26              | 2.1               |
| fijnspar                                      | 13 262         | 0.72                | 0.13              | 1.6               |
| zomer- en winter-eik                          | 27 084         | 2.26                | 0.74              | 3.0               |
| beuk                                          | 7 150          | 0.89                | 0.10              | 0.9               |
| populier en wilg                              | 15 280         | 0.55                | 0.11              | 1.5               |
| berk                                          | 5 506          | 0.25                | 0.06              | 0.9               |
| es                                            | 3 411          | 0.13                | 0.03              | 0.4               |
| els                                           | 967            | 0.03                | 0.01              | 0.2               |
| Amerikaanse eik                               | 7 856          | 0.70                | 0.11              | 0.5               |
| <b>Overige terrein typen:</b>                 |                |                     |                   |                   |
| spontaan bos                                  | 23 970         | 0.93                | 0.80              | 2.8               |
| hakhout                                       | 22 250         | 0.70                | 0.36              | 2.7               |
| opslag bos                                    | 13 084         | 0.38                | 0.20              | 2.0               |
| <b>Totaal (<math>\times 10^6</math> Mg C)</b> |                | 15.87               | 7.00              | 31.3              |



en wilg, die vaak genoemd worden voor de opslag van koolstof, slechts een kleine hoeveelheid koolstof per hectare in de levende biomassa hebben geaccumuleerd. Douglas-spar kan, wanneer de gemiddelde leeftijd en het areaal nog flink gaan toenemen zoals in het MJP-Bosbouw is voorzien, ook een belangrijke soort worden voor de opslag van koolstof in de levende biomassa.

### Beheersmogelijkheden ter vergroting van de koolstofvastlegging

Door Mohren & Klein Goldewijk (1990) en Schroeder (1991) is onderzoek verricht naar de mogelijkheden van een intensiever beheer om de koolstofopslag te vergroten.

Een combinatie van 30% omloopverlenging, 10% produktieverhoging en 30% verlenging

van gebruiksduur resulteert volgens Mohren en Klein Goldewijk in een verhoging van de CO<sub>2</sub> opslag van 20 tot 30%. Het is echter onwaarschijnlijk dat deze combinatie van maatregelen toegepast kan worden. Omloopverlenging alleen, resulteert volgens hen in een tragere CO<sub>2</sub> opslag, omdat de gemiddelde groeisnelheid over de gehele omloop afneemt.

Het verkorten van de omloop resulteert in een hogere opslagsnelheid over een korte periode, maar de gemiddeld vastgelegde hoeveelheden zijn op de lange termijn juist kleiner. Schroeder noemt bemesting van arme groeiplaatsen als een manier om de koolstofvastlegging te vergroten. De CO<sub>2</sub>-uitstoot ten gevolge van de produktie van de meststof, doet het effect echter vrijwel weer teniet.

■ **Figuur 5.** Koolstofvoorraden per hectare en voor het totale areaal in 3 compartimenten van 15 bostypen van het Nederlandse bos (y-as = koolstofvoorraad per ha (Mg ha<sup>-1</sup>); x-as = areaal (ha)) (Nabuurs en Mohren 1993a en 1993b).

*Figure 5. Stocks of carbon in three main compartments of fifteen forest types of the present Dutch forests. The vertical axis gives the stock of carbon per ha, the horizontal axis gives the area of the forest type (Nabuurs and Mohren 1993a and 1993b).*

### Toekomstige ontwikkelingen

Bos en bosbouw worden in de Nota Klimaatverandering gezien als een belangrijke sector voor het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-emissie. Eén van de actiepunten was dat de regering het huidige tempo van bosuitbreiding ook na 2000 wil volhouden. De Commissie Bosuitbreiding (1993) is daarop ingesteld om voorstellen te



■ Opstand van zomereik op een rijke bodem met een goede vochtvoorziening. De leeftijd is ongeveer 70 jaar en de lopende volume bijgroei kan geschat worden op ongeveer  $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  ( $I_e V$  bij  $t=70$  en groeiklasse 8 (Sevenster 1991)). A good growing stand of pedunculate oak in the Netherlands on a rich soil with a high moisture availability. The age is approximately 70 years and the current volume increment can be estimated at  $8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$  ( $I_e V$  at  $T=70 \text{ yr}$  and site class 8, Sevenster 1991)

formuleren voor het wegnemen van knelpunten voor bosuitbreiding. In de periode 1988-2000 was in het kader van het MJP-Bosbouw al een bosuitbreiding van 40.000 ha voorzien. Uitvoering van overige doelstellingen in het Meerjarenplan Bosbouw zullen ook een positief effect hebben op de  $\text{CO}_2$ -vastlegging in het Nederlandse bos. Met langere omlopen en meer aandacht voor eik, beuk en douglas, zal tegen het midden van de volgende eeuw de totale hoeveelheid vastgelegd koolstof zeker zijn toege-

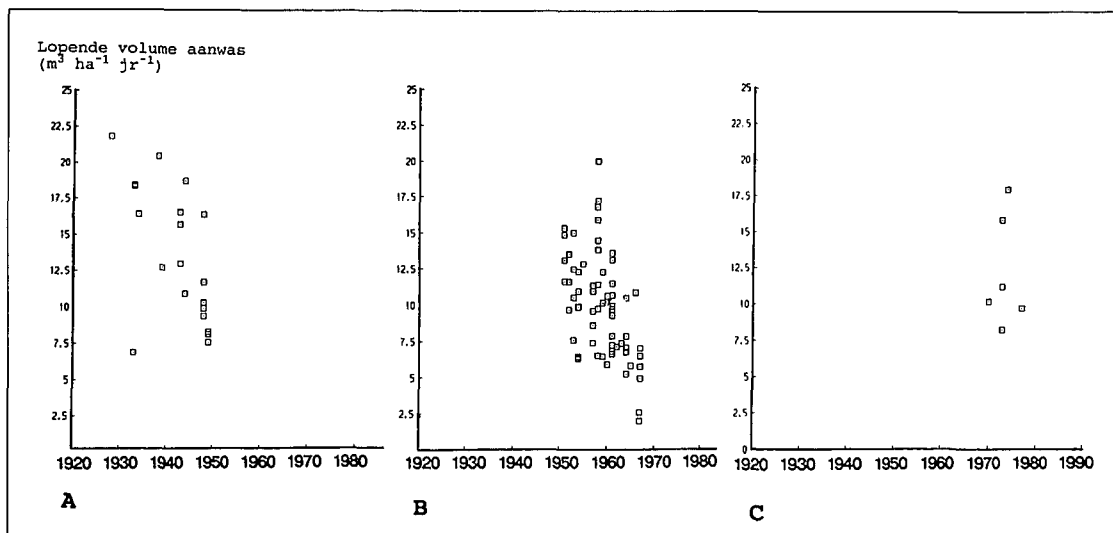
nomen. Mogelijk kan door verlenging van het produktgebruik, hergebruik en aanleg van energiehout plantages de gemiddelde opslag toenemen respectievelijk de vermeden  $\text{CO}_2$ -emissie worden verhoogd.

Er zijn echter ook bedreigingen voor de vastlegging van  $\text{CO}_2$ . Wanneer het klimaat daadwerkelijk zal veranderen, zal zowel het bos als de bosbodem op korte en lange termijn hiervan te lijden hebben (Mohren 1990). Klimaatverandering kan leiden tot een versnelde afbraak van organi-

sche stof in de bodem en dus een verminderde vochtleverantie door de bodem. Tevens is het mogelijk dat de neerslaghoeveelheid en -verdeling over het jaar gaat veranderen en stormen kunnen in aantal en sterkte gaan toenemen. Bij klimaatverandering kunnen de concurrentieverhoudingen tussen de boomsoorten wijzigen waardoor een andere boomsoortensamenstelling ontstaat. Voortgaande verzuring kan ook de mogelijkheden van het Nederlandse bos voor  $\text{CO}_2$ -vastlegging gaan beperken. Volgens Kauppi et al. (1992) heeft luchtverontreiniging tot dusverre voornamelijk slechts lokaal bossterfte veroorzaakt leidend tot netto  $\text{CO}_2$ -emissie. Over grote gebieden waar de gemiddelde depositie veel geringer is zou het bos juist geprofiteerd hebben van de extra nutriënten, zoals stikstof.

## Discussie

Het is duidelijk dat de koolstofvoorraden en -vastlegging in het bos en bosbodem zeer gering zijn t.o.v. de jaarlijkse uitstoot van Nederland ( $50 \times 10^6 \text{ Mg C}$ ) en t.o.v. de voorraden in de mondiale biosfeer ( $550 \times 10^9 \text{ Mg C}$ ) (Houghton et al. 1990). De jaarlijkse bruto vastlegging is 1.3% van de nationale uitstoot en de totale voorraad in bos en bosbodem is slechts weinig meer dan



■ **Figuur 6.** Lopende volume aanwas van 45 tot 60-jarige Douglas opgenomen in 3 tijdvakken: A: voor 1950, B: 1951-1970 en C: 1971-1991 (pers. comm. Dik, IBN-DLO).

**Figure 6.** Current volume increment of 45- to 60-years-old Douglas-fir stands recorded in three time era: A: before 1950, B: 1951-1970 and C: 1971-1991 (pers. comm. Dik, IBN-DLO).

de jaarlijkse uitstoot. Dit was te verwachten gezien het kleine bosoppervlak en de lage leeftijd van het bos. Echter, er vindt op dit moment een significante netto vastlegging plaats in het bestaande bos, doordat de kap achterblijft bij de aanwas. Gezien de relatief lage gemiddelde leeftijd van het bos, mag verwacht worden dat dit nog enige decennia aanhoudt.

De resultaten van dit onderzoek zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op de bijgroei en staande voorraad gegevens van de HOSP-inventarisatie. Deze inventarisatie gaf een veel hogere bijgroei dan lange tijd voor het Nederlandse bos is aangenomen. De resultaten zijn op dit moment de meest betrouwbare gegevens van het Nederlandse bos en zijn gebaseerd op een landelijke inventarisatie waarbij 3000 opstanden in 1984/85 zijn ingemeten en in 1988/89 1200 van deze opstanden opnieuw zijn gemeten. Eerdere bijgroei cijfers van het Nederlandse bos waren gebaseerd op eenmalige metingen of globale schattingen en zijn eigenlijk niet vergelijkbaar.

Er zijn diverse verklaringen mogelijk voor de hoge bijgroei ( $9.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$  gemiddeld voor Nederland). Allereerst is het mogelijk dat het alleen maar lijkt alsof het Nederlandse bos sneller is gaan groeien. Nooit eerder is de bijgroei op een dergelijke schaal gemeten en lange tijd kunnen we dus gedacht hebben dat het Nederlandse bos slechts langzaam groeide, terwijl dat niet zo was. Ten tweede kan de verklaring liggen in het feit dat de periode 1984-1989 bestond uit goede groei-jaren, waardoor de HOSP-inventarisatie een overschatting voor de lange termijn zou kunnen betekenen. Ten derde ligt een mogelijke verklaring in de stikstof depositie waardoor het bos op arme bodems de laatste decennia een uitvoerige stikstofbemesting heeft ondergaan leidend tot een toegenomen groei.

Enige ondersteuning voor de eerste verklaring is gevonden in de bijgroei metingen van de permanente proefvelden van het instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. Voor Douglas zijn de bijgroei metingen aan 45 tot 60-jarige opstanden uitgesplitst naar

het tijdvak waarin de opnamen zijn verricht (figuur 6). Voor de perioden < 1950, 1951-1970 en 1971-1991 is een gemiddelde bijgroei gevonden van respectievelijk 14.2, 9.9 en  $12.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ jr}^{-1}$ . Dit zou er op kunnen wijzen dat er geen sprake is van een extra toegenomen groei. Ook voor andere boomsoorten waarvoor veel proefveldgegevens beschikbaar waren (Oostenrijkse den, Corsicaanse den, Japanse lariks, fijnspar, populier en Amerikaanse eik) bleken deze gegevens de HOSP-resultaten in ieder geval niet tegen te spreken (Nabuurs en Mohren 1993a).

Een hogere groei en voorraad dan lange tijd zijn aangenomen worden ook gemeld uit andere Europese landen (Kauppi et al. 1992). Veelal wordt dit verklaard

uit een combinatie van conservatief interpreteren van inventarisaties in het verleden en het bemestend effect van luchtverontreiniging. Ook de toegenomen CO<sub>2</sub> concentratie heeft mogelijk een bemestend effect gehad, hoewel dit effect waarschijnlijk slechts marginaal is.

De resultaten van het hier gepresenteerde onderzoek zijn in overeenstemming met resultaten van Mohren & Klein Goldewijk (1990), die concluderen dat de op lange termijn gemiddeld opgeslagen hoeveelheid koolstof het grootst is in loof- en naaldbossen in een lange omloop op rijke standplaatsen. Zij geven voor de hoeveelheid koolstof die gemiddeld is vastgelegd in de levende biomassa in opeenvolgende omlopen de volgende cijfers: grove den, matige groei: 59 Mg C ha<sup>-1</sup>; eik, goede groei 99 Mg C ha<sup>-1</sup>; populier goede groei 35 Mg C ha<sup>-1</sup> (alleen deze bostypen zijn qua groeisnelheden vergelijkbaar). Deze waarden zijn goed in overeenstemming met de waarden per hectare in de levende biomassa uit figuur 5. Mohren en Klein Goldewijk geven voor douglas een gemiddelde lange termijn waarde van 131 Mg C ha<sup>-1</sup>, terwijl in deze studie een huidige gemiddelde voorraad werd gevonden van 59 Mg C ha<sup>-1</sup>. Hieruit blijkt dat douglas in Nederland nog veel potentie heeft voor koolstofvastlegging.

Het effect van populier in korte rotaties valt op lange termijn tegen, maar deze bedrijfsvorm kent echter ook het voordeel dat het hout als vervanger voor fossiele brandstoffen kan fungeren, waardoor dit bostype beoordeeld dient te worden met dit extra criterium. In het onderhavige onderzoek zijn de bostypen niet op dergelijke extra parameters beoordeeld. Het onderzoek heeft

duidelijk gemaakt dat bos in lange omlopen kan zorgen voor een duurzame onttrekking van CO<sub>2</sub> aan de atmosfeer. De rol van stabiele humus in de totale voorraad is daarbij belangrijk. Het huidige bos zorgt voor het vasthouden van deze organische koolstof en heeft daarnaast de potentie nog enige decennia als netto koolstof sink te fungeren.

### Literatuur

- Ajtay, G.L., Ketner, P. & P. Duvigneaud. 1977. Terrestrial primary production and phytomass. In: Bolin, B., Degens, E.T., Kempe, S. & P. Ketner (eds.) The global carbon cycle. Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council on Scientific Unions (ICSU). SCOPE 13. pp. 129-181.
- Born, G.J. van der, Bouwman, A.F., Olivier, J.G.J. & R.J. Swart. 1990. The emission of greenhouse gases in The Netherlands. RIVM report no. 222901003. Bilthoven.
- Bosshard, H.H. 1974. Holzkunde, Band 2: Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Reihe der Experimentelle Biologie. Bd 19. Basel.
- Buringh, P. 1984. Organic carbon in soils of the world. In: Woodwell, M. The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement by remote sensing. Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment. SCOPE 23. John Wiley and Sons, Chichester. pp. 91-110.
- Cannell, M.G.R. (ed.) 1982. World forest biomass and primary production data. Natural Environment Research Council, Institute of Terrestrial Ecology. Scotland. Academic Press, London & New York. 391 pp.
- CBS. 1985. De Nederlandse bosstatistiek, deel 1 de oppervlakte bos, 1980-1983. Centraal Bureau voor de Statistiek in samenwerking met Staatsbosbeheer. Staatsuitgeverij. Den Haag. 83 pp.
- Commissie Bosuitbreiding. 1993. Goede gronden voor nieuw bos. Advies van de Commissie Bosuitbreiding onder v.z. Rouwenhoff. DHV Milieu en Infrastructuur BV. 35 pp. + bijl.
- Dewar, R.C. & M.G.R. Cannell. 1992. Carbon sequestration in the trees, products and soils of forest plantations; an analysis using UK examples. *Tree Physiology* 11: 49-71.
- Dixon, R.K., Schroeder, P.E. & J.K. Winjum. 1991. Assessment of promising forest management practices and technologies for enhancing the conservation and sequestration of atmospheric carbon and their costs at the site level. United States Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Washington. EPA/600/3-91/067. 138 pp.
- Freedman, B., Meth, F. & C. Hickman. 1992. Temperate forest as a carbon-storage reservoir for carbon dioxide emitted by coal fired generating stations. A case study for New-Brunswick, Canada. *Forest Ecology and Management*. 55: 15-29.
- HOSP. 1991. Houtoogst, voorraad en bijgroei in het Nederlandse bos. Begeleidingsgroep "Houtoogststatistiek en prognose oogstbaar hout". Utrecht. 15 pp. + app.
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J. & J.J. Ephraums. 1990. Climate Change. The IPCC Assessment. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. World Meteorological Organization (WMO) and United Nations Environment Programme (UNEP). Cambridge University Press, Cambridge etc. 365 pp.
- Kimmins, J.P., Binkley, D., Chatarpaul, L. & J. de Catanzaro. 1985. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service. Information Report PI-X-47 E/F. Canada.
- Kauppi, P.E., Miellikainen, K. & K. Kuusela. 1992. Biomass and Carbon budget of European forests, 1971-1990. *Science* 256: 70-74.
- Laming, P.B. 1978. Houtsoorten, informatie voor de praktijk. Houtinstituut TNO.
- Milleman, R.E. & T.A. Boden. 1985. Major world ecosystems ranked by carbon in live vegetation: a database. Carbondioxide Information Center. Oak Ridge National Laboratory for the US Department of Energy. 164 pp.
- Milleman, R.E. & T.A. Boden. 1986. Worldwide organic soil carbon and nitrogen data. Carbondioxide Information Center. Oak Ridge

- National Laboratory for the US Department of Energy. 136 pp.
- Mohren, G.M.J. 1990. Effecten van klimaatverandering op bossen en bosbouw. In: Wolff, W.J. (ed.) Verslag van de workshop op 2 oktober 1990 te Wageningen gewijd aan het Rapport van de Werkgroep II van het Intergovernmental Panel on Climate Change. Rapport Rijksinstituut voor natuurbeheer, Arnhem, Leersum, Texel. nr 90-21.
- Mohren, G.M.J. & C.G.M. Klein Golde-wijk. 1990. Bosbouw in Nederland als maatregel in het kader van de klimaat/CO<sub>2</sub>-problematiek; Voorstudie: 1 CO<sub>2</sub>-vastlegging in bos. In opdracht van: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. De Dorschkamp, Instituut voor Bosbouw en Groenbeheer. Rapport nr. 613. Wageningen. 89 pp.
- Nabuurs, G.J. en G.M.J. Mohren. 1993a. Carbon stocks and fluxes in Dutch forest ecosystems. Institute for Forestry and Nature Research. IBN Research Report nr. 93/1. Wageningen. 85 pp.
- Nabuurs, G.J. en G.M.J. Mohren. 1993b. Carbon stocks and fluxes in Dutch forest ecosystems. Netherlands Journal of Agricultural Science. in press.
- Schlesinger, W.H. 1984. Soil organic matter: A source of atmospheric CO<sub>2</sub>. In: Woodwell, M. The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement by remote sensing. Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment. SCOPE 23. John Wiley and Sons. Chichester.
- Schroeder, P. 1991. Can intensive forest management increase carbon storage in forests? Environmental Management 15(4): 475-481.
- Schütz, P.R. & G. van Tol. (eds.) 1982. Aanleg en beheer van bos en beplantingen. Rijksinstituut voor onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw, "De Dorschkamp". Wageningen.
- Sevenster, J. (ed.) 1991. Opbrengst-tabellen voor belangrijke boomsoorten in Nederland. Werkgroep Opbrengst tabellen. Conceptversie. 230 pp.
- Vries, W. de., Hol, A. & S. Tjalma. 1990. Literatuurstudie naar voorraden en verblijftijden van elementen in boscosystemen. Staring Centrum. Rapport 94. Wageningen. 205 pp.
- VROM. 1991. Nota Klimaatverandering. Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991. Staatsuitgeverij. Den Haag. 111 pp.



**'Bomen rooien is werk voor vakmensen!'**

**Rondhouthandel/transport**  
Wij kopen alle soorten rondhout, op stam of geveld en kunnen ieder houttransport verzorgen, óók op internationale bestemmingen.

**Bomen rooien**  
Met onze gekwalificeerde medewerkers en ons moderne materieel rooien wij zowel kleine als grote partijen, onder alle omstandigheden. Ook herbeplanting en subsidieaanvragen kunnen wij voor u regelen.

**Milieuvriendelijke verwerking**  
Snoeihout wordt op milieuvriendelijke wijze verwerkt tot een bruikbaar composteringsproduct.

**Machinerhuur**  
Van Weert en Zonen verhuurt loaders, snippermachines, klepelmachines en een stobbenfrees.

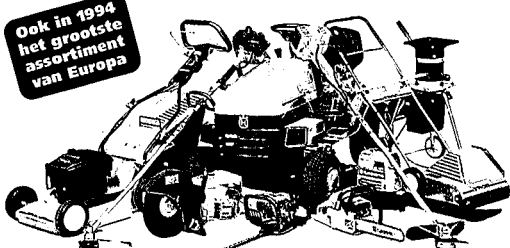
*Wij zullen u desgewenst graag onze uitgebreide brochure toezenden. Belt u ons even; wij zijn dagelijks tussen 7.00 en 18.00 uur bereikbaar.*

**Houthandel, Transport en Boomrooibedrijf  
Fa. A. van Weert en Zonen**  
Kruisbroeksestraat 12, 5281 RT Boxel  
Tel. 04116-72717 / 75585, 04113-2073  
Fax 04116-83745

**maaïen, zagen,  
knippen, trimmen,  
snoeien, snijden,  
hakselen, frezen,  
blazen, slijpen  
verticuteren...**

Het gaat allemaal in een handomdraai met het praktische Bos & Tuingereedschap van Husqvarna, voor professional en doe-het-zelver.

Ook in 1994 het grootste assortiment van Europa



**Husqvarna**  
**BOS & TUIN**

Husqvarna Nederland b.v.  
De Nort 20, 3931 NG Woudenberg

Bel voor meer informatie: Tel.: 03498-68888 Fax: 03498-65440