

# De produktie van de grondstof: biomassa

*The production of woody biomass*

P. J. Faber en J. van den Burg  
Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw  
"De Dorschkamp", Wageningen

## 1 Inleiding

Cultures van houtige gewassen, die uitsluitend gericht zijn op de produktie van biomassa voor de opwekking van energie, zijn op dit moment in ons land nog niet te vinden. Of ze er zullen komen hangt af van een groot aantal factoren, zoals de beschikbaarheid van grond, de prijs van andere energiedragers, de rentabiliteit van alternatieve bodemgebruiken en allerlei bedrijfstechnische en sociaal-economische omstandigheden (Bowersox and Ward 1976; De Hoop 1977; Van Boven en De Hoop 1979). Omdat dergelijke cultures er (nog) niet zijn, kan moeilijk in detail worden aangegeven hoe een optimaal teeltsysteem eruit zou moeten zien en wat de verwachtingen zijn voor wat betreft de opbrengsten. In ons land en ook elders worden momenteel proeven genomen om de voorwaarden voor en de mogelijkheden van de produktie van een zo groot mogelijke hoeveelheid biomassa met behulp van houtige gewassen te leren kennen (Kolster en Van der Meiden 1979; Van Veen et al. 1981). Hierbij komen de volgende vraagstukken aan de orde: de keuze van het gewas, de eigenschappen van de bodem, de invloed van de bodembewerking en onkruidbestrijding, het teeltsysteem met inbegrip van bemesting en oogst. In de volgende hoofdstukken zullen deze aspecten kort worden besproken. De griendcultuur en de teelt van berke-, eike-, elze- en essehakhout blijven onbesproken, hoewel kennis ervan ongetwijfeld van belang kan zijn voor de teelt van biomassa. De inhoud van het artikel is in hoofdzaak gericht op de teeltkundige aspecten van de produktie van biomassa, de bedrijfskundige en economische aspecten komen slechts zijdelings aan de orde in literatuurverwijzingen.

## 2 In aanmerking komende boomsoorten

De belangrijkste eisen die aan te gebruiken boomsoorten gesteld moeten worden zijn:

- 1 krachtige jeugdgroei;
- 2 krachtige hergroei na afzetten;
- 3 lage aanlegkosten van een culture met een hoog stamtal.

De naaldboomsoorten vallen af, omdat ze een langza-

## Summary

*For the production of good quality woody biomass the soil must have good structure and texture, a suitable groundwater level, and contain sufficient mineral nutrients and organic matter. The only suitable tree species are those that are cheap to cultivate, having a vigorous juvenile growth and a good capacity to resprout. So far, only poplar clones have been bred and selected for their juvenile growth and disease resistance.*

*It is probably cheaper to establish plantations with cuttings or seed rather than with rooted young plants, as at least 10.000 plants are needed per ha to ensure optimum use is made of the available space from the outset. In the early phase the competing weeds should be removed mechanically or by chemical means: both these methods involve some risk. Heavy machines are required to harvest the crop, and these may compact the soil.*

*Because the total above-ground biomass is harvested, the nutrient cycle is interrupted. To compensate for this, fertilizer must be applied at a minimum rate of 100 kg nitrogen per hectare per annum. It may also be advisable to use nitrogen-fixing tree species (*Alnus*, *Robinia*), or to irrigate with waste water or with liquid animal manure (both of which contain nutrient elements).*

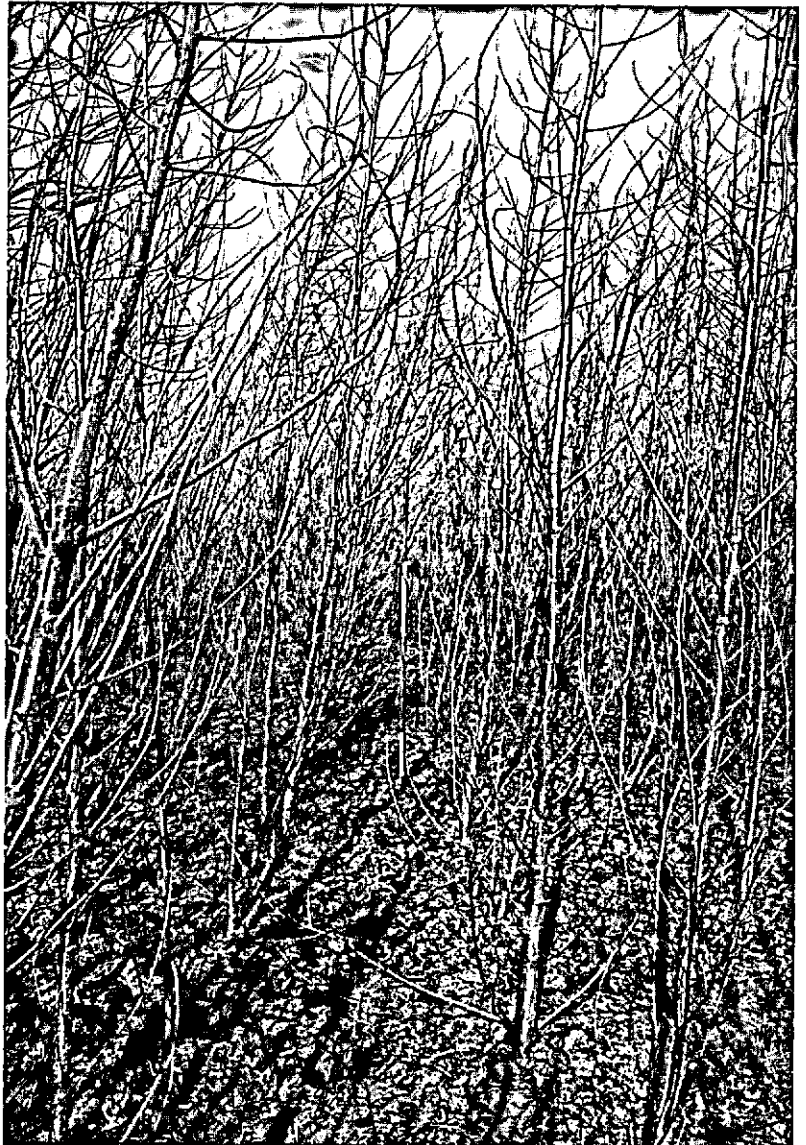
me start hebben en geen volledige afzetting kunnen verdragen.

De volgende soorten kunnen in hakhoutcultuur worden geteeld: eik, tamme kastanje, esdoorn, es, els, populier, wilg, berk, hazelaar, Robinia, iep, haagbeuk, lijsterbes, vogelkers, vuilboom, krentenboom en plataan (Crowther and Patch 1981; Fortin et al. 1979; Lavoie 1981; Mitchell 1981).

Van de loofboomsoorten vallen er een aantal af omdat de groeikracht te wensen overlaat of omdat het zaaien, kweken of verplanten moeilijk of duur is. Het aan te bevelen teeltsysteem houdt namelijk een hoog stamtal en een korte omloop in. Daarom moet het kweken van jonge planten door middel van stek of zaad probleemloos en goedkoop zijn.

In de natuurlijke populatie van een soort komen exemplaren voor met verschillende eigenschappen wat betreft bijvoorbeeld groeikracht en ziekteresistentie. Door selectie op gewenste eigenschappen of gecontroleerde kruising kan men materiaal verkrijgen dat homogener van aard is en gunstiger eigenschappen heeft. Zowel door particuliere kwekers als door onderzoeksinstituten wordt dit veredelingswerk gedaan. Bij vegetatieve vermeerdering blijven de eigenschappen van de verkregen cultivar behouden. Bij generatieve vermeerdering is men aangewezen op de zaadkracht van aanbevolen zaadbomen of zaadopstanden. Vegetatief te vermeerderen cultivars van met name de volgende soorten zijn onder controle van de NAKB in de handel: *Robinia pseudoacacia*, *Fraxinus excelsior*,

*Acer pseudoplatanus*, *Ulmus × hollandica*, *Ulmus carpinifolia*, *Populus* diverse hybriden, *Salix* diverse hybriden. Zaadopstanden voor generatieve vermeerdering zijn aanwezig van bijvoorbeeld *Betula verrucosa*, *Alnus glutinosa*, *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* en *Quercus rubra* (Rassenlijst 1973). Indien men niet-veredeld en niet-geselecteerd plantmateriaal gebruikt, zijn de risico's groot dat men door aantastingen en heterogeniteit van eigenschappen genoegen moet nemen met suboptimale opbrengsten. Soms is echter niet speciaal veredeld op groeikracht maar bijvoorbeeld op ziekteresistentie, kroonvorm of bladkleur. Ook dergelijke cultivars behoeven niet bij uitstek geschikt te zijn voor de productie van biomassa in energiecultures. Voor de Nederlandse omstandigheden betekent dit dat



Productieproefveld biomassa met de populierekloon "Donk", twee jaar na aanleg met stek van 30 cm lengte verkregen uit de bewortelde onderstukken van eenjarige planten. Plantverband 1 × 1 m. Gem. hoogte 4,36 m. Gem. 2,0 scheuten per stek, gem. diameter aan de voet van de stek 3,3 cm. Drogestofproductie 14.300 kg/ha.  
Foto: De Dorschkamp.

voorlopig in de eerste plaats populieren voor de teelt in aanmerking komen, want een aantal cultivars voldoet aan alle drie genoemde voorwaarden.

Op "De Dorschkamp" wordt veel aandacht besteed aan het kweken van nieuwe klonen van de populier, waarbij met name geselecteerd wordt op resistentie tegen bladziekten en bacteriekanker en op een krachtige jeugdgroei. Doordat van de eigenschappen van deze klonen veel bekend is, is het risico minder groot dat men voor onaangename verrassingen komt te staan. De volgende klonen zien er daarom voor de productie van biomassa hoopvol uit: Barn, Donk, Agathe F, Spijk, Unal, Dorskamp en Blom. Er zijn verschillen met name wat betreft het aantal scheuten dat na afzetten ontstaat. Het lopende onderzoek besteedt hieraan de nodige aandacht omdat het een belangrijk aspect is bij het voorgenomen teeltsysteem; bij een groot aantal scheuten is de vitaliteit en de groeikracht waarschijnlijk aanzienlijk minder. In de nabije toekomst zullen ook andere soorten in ogenschouw worden genomen. Men heeft in de Verenigde Staten gevonden dat de zilveresdoorn (*Acer saccharinum*) een hogere opbrengst kan geven dan de populier. De proeven werden echter genomen met handelsplantsoen dat toevallig beschikbaar was en niet voor dit doel was geselecteerd (Faber 1981).

### 3 Methode van aanleg

Afhankelijk van de boomsoort zal men zaad, stekken of eenjarige bewortelde planten kunnen gebruiken. Bij een te verwachten sterke onkruidgroei zijn de risico's met zaad en stekken zeer groot, zodat men noodzaak zou zijn om bewortelde stekken of planten te gebruiken. Een met het oog op de kosten en teeltrisico's juiste afweging van de keuzemogelijkheden is moeilijk te maken, maar gezien de benodigde hoge aantallen planten per ha – waarover straks meer – is het niet ondenkbaar dat het gebruik van bewortelde planten te hoge kosten met zich mee zal brengen. Om het gebruik van zaad of onbewortelde stekken mogelijk te maken zal daarom het terrein van tevoren voldoende onkruidvrij moeten worden gemaakt. Soorten die gemakkelijk met zaad kunnen worden aangelegd zijn: eik, tamme kastanje, es, esdoorn, acacia, vogelkers en krentenboom. Soorten die zeer goed met stekken kunnen worden aangelegd zijn populier en wilg. Bij gebruik van klonaal stekmateriaal is de genetische kwaliteit gewaarborgd. Bij gebruik van zaad (ook van goedgekeurde herkomst) is het resultaat heterogener. Het gebruik van plant- en zaaimachines bij de aanleg lijkt een vanzelfsprekendheid, het resultaat moet een dichtheid zijn van ongeveer 10.000 planten per ha. De beste tijd voor het aanleggen van een culture is het voorjaar – de maanden maart en april – bij voorkeur bij

enigszins vochtig weer omdat eenjarig loofhoutplantsoen zeer gevoelig is voor uitdrogen van de wortels.

### 4 Eisen ten aanzien van de bodem

Indien als doelstelling van de "short rotation forestry" een zo hoog mogelijke produktie van drogestof gekozen wordt, ongeacht de kosten, dan komen alleen chemisch en fysisch goede gronden in aanmerking. De eisen die aan de bodem worden gesteld komen dan overeen met die van kwekerijgronden en goede landbouwgronden. Het is mogelijk dat sommige soorten nog goed produceren als van enkele van de hieronder geformuleerde eisen wordt afgeweken, maar daaraan is bewust geen aandacht besteed. Uit literatuurgegevens (Aldhous 1972; Baule und Fricker 1967; Fiedler, Nebe und Hoffmann 1973; Fricker 1982; Hahn en Van Elk 1978; Reboisement 1971; Rupf et al. 1961; Stoeckeler and Jones 1957; Stoeckeler and Slabaugh 1965; Wilde 1962; Williams and Hanks 1976) kunnen de onderstaande voorwaarden voor minerale gronden worden geformuleerd:

- het bodemprofiel moet tot 1 m diepte goed doorwortelbaar zijn;
- de bodemstructuur moet aanleg-, verzorgings- en oogstmaatregelen kunnen verdragen;
- de zomergrondwaterstand moet circa 1 à 1.2 m minus maaiveld bedragen, ongeveer overeenkomend met Gt IV;
- de pH-KCl moet minstens 4-5 zijn;
- het organische stofgehalte moet in de bovengrond tenminste 2.5 à 5% bedragen;
- het C/N-quotiënt van de organische stof moet 10-15 bedragen (N-org. 4-6%);
- het stikstofgehalte van de bovengrond (N-totaal) moet tenminste circa 0.15% (0.13 à 0.20%) bedragen;
- voor kleigronden komt daar nog bij dat gronden met 8-17.5% lutum optimaal, en met 5-8% of 17.5-25% redelijk geschikt zijn (Hahn en Van Elk 1978; Vis 1970).

Het bovenstaande heeft noodzakelijk betrekking op bodemfactoren die vrij moeilijk permanent zijn te veranderen. Daarentegen zijn factoren als de P-, K- en Mg-voorziening wel goed te regelen door bemesting.

### 5 Bodembewerking, onkruidbestrijding en bemesting

De voortbrenging van biomassa door middel van houtige gewassen behoort niet tot de bosbouw in eigenlijke zin, maar is te beschouwen als een soort landbouw met bomen of struiken. Aan de bewerking van de bodem voor de aanleg kunnen dan ook dezelfde eisen gesteld worden als voor de teelt van hakvruchten. Na een volledige grondbewerking zal het terrein nog ge-

cultivatord moeten worden. De bestrijding van concurrerende vegetatie (grassen, distels) is vooral het eerste jaar van groot belang, met name als wordt uitgegaan van zaad of onbewortelde stekken (Raitanen 1981). Met behulp van chemische middelen kunnen grassen en ongewenste kruiden worden bestreden, maar dit is niet altijd zonder risico voor de cultures. De onkruidbestrijding met mechanische hulpmiddelen (schoffelen, maaien, frezen) is kostbaarder en vaak minder effectief en geeft ook kans op beschadiging (Aanleg en beheer, 1981, pag. 128-129). Bij voldoende groei is een onkruidbestrijding na het eerste jaar niet meer noodzakelijk. Soms echter wordt men er door een distelverordering wel toe genoodzaakt. In het tweede, maar in elk geval in het derde jaar zal het gewas zo groot zijn, dat schade door onkruidgroei niet meer optreedt. Na het afzetten zullen onkruidgroei als het goed is een dermate krachtige groei vertonen door het relatief grote wortelgestel, dat niet opnieuw tot onkruidbestrijding behoeft te worden overgegaan.

Met de oogst van de bovengronds gevormde biomassa (hout + bast) worden minerale voedingsstoffen aan de kringloop onttrokken. Omdat het niveau van bodemvruchtbaarheid gehandhaafd moet blijven, moet deze onttrekking op de een of andere manier worden gecompenseerd. Stikstof (N) is het element waaraan de meeste aandacht wordt besteed omdat de onttrekking ervan het grootst is en omdat het niveau in de bodem niet in korte tijd kan worden veranderd (Finch 1969). Staaf and Bjoerkroth (1981) geven als vuistregel dat bij de toepassing van de boommethode – die in veel opzichten met "short rotation" vergelijkbaar is – 5 à 15% van de in de bewortelde zone aanwezigbare totale hoeveelheid N wordt verwijderd door de oogst. Onderzoek in kwekerijen en in korte omloopproeven (Akkerman 1976; Baker 1978; Baule und Fricker 1967; Fiedler et al. 1973; Fortin et al. 1979; Frison 1967, 1968, 1969; Frissel et al. 1978; Pohjonen 1980; Rupf et al. 1961; Wittwer and Immel 1980; Zavitkovsky 1979) leiden tot de conclusie, dat door populier en wilg, afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid, 50 tot 200 kg N/ha/jaar wordt onttrokken. Voor andere loofboomsoorten bedraagt de onttrekking minder, namelijk 15 tot 70 kg N/ha/jaar. Daartegenover staat dat de N-bemesting in kwekerijen erg hoog is: 75 tot 200 kg N/ha/jaar (Aldous 1972; Baule und Fricker 1967; Fiedler et al. 1973; Hahn en Van Elk 1978; Rupf et al. 1961; Williams and Hanks 1976). De conclusie moet dus zijn, dat voor het handhaven van een optimale bodemvruchtbaarheid jaarlijks met circa 100 à 150 kg N/ha moet worden bemest om de verliezen aan stikstof te compenseren.

Hoewel dergelijke bemestingen technisch mogelijk zijn vraagt Ulrich (1976) zich af of zoiets wel juist is omdat dergelijke eenmalige grote N-giften niet door de

bodem kunnen worden vastgelegd. Bemestingsonderzoek in korte omloopproeven is nog maar weinig uitgevoerd (Siren 1981; Zuffa et al. 1979) en dan nog voornamelijk in populierenbeplantingen (Blackmon 1977; Blake and Raitanen 1981) en beplantingen van *Platanus occidentalis* (Wittwer 1980; Wood et al. 1976).

De problemen bij de N-voorziening in korte omloopcultures doen de vraag rijzen of hier misschien gebruik kan worden gemaakt van het vermogen van *Alnus*-soorten en leguminosen, stikstof uit de lucht te binden. Literatuurgegevens (Akkermans 1971; Van den Burg et al. 1982; Fortin et al. 1979; Holmsgaard 1969; Tarant en Trappe 1971) wijzen op een jaarlijkse N-binding van 12 tot 300 kg N/ha met als gemiddelde waarde circa 100 kg N/ha. Dit getal is van dezelfde orde van grootte als de jaarlijkse N-onttrekking bij korte omloop. Wat de praktische mogelijkheden hiervan is nog niet bekend. Men kan denken aan *Alnus*-soorten als producent van biomassa (DeBell et al. 1978) en mengingen met andere loofboomsoorten (Courrier et Garbaya 1981; DeBell and Radwan 1979). Zowel de positieve als de negatieve invloed van de elms op de groei van de andere loofboomsoorten worden in deze onderzoeken aangetoond. De vraag is of het mogelijk is de elms als medehoofdboomsoort gedurende een omloop van circa vier tot vijf jaar te telen. In ieder geval dient de elms dan niet meer als hulpboomsoort, die na enkele jaren wel weer kan verdwijnen.

## 6 Teeltsysteem en oogst

Een zo groot mogelijke hoeveelheid biomassa wordt verkregen als een korte omloop wordt gecombineerd met een dicht plantverband, waarbij periodiek, dat wil zeggen eens in de drie à vijf jaar, de cultuur wordt afgezet. Dit afzetten mag niet te dicht bij de grond gebeuren, want dan zijn de mogelijkheden van uitlopen ongunstiger. Het uitlopen moet namelijk niet plaatsvinden vanuit het cambium op het snijvlak, maar uit slapende knoppen langs de stam. Het ziet er naar uit, dat een plantdichtheid van 10.000 per ha het meest gewenst is. Bij een hoger stamtal neemt het aandeel bast van de zeer dunne stammen snel toe en moet frequenter geoogst worden. Bij een lagere plantdichtheid wordt het eerste en soms het tweede jaar de groeiplaats niet volledig benut, waardoor de gemiddelde jaarlijkse productie lager uitvalt. Tevens is het aandeel van de takken in de geproduceerde biomassa dan groter. Het aantal scheuten dat na het afzetten ontstaat, mag niet te groot zijn, want dat gaat ten koste van de lengte- en diktegroei van de scheuten. Verschillende klonen van populier bleken in dit opzicht verschillend te reageren. De dikte van de stam tijdens het afzetten speelt hierbij mogelijk ook een rol. Omdat nog onvoldoende bekend is waar precies de optimale ligging, is het de bedoeling in



Productieproefveld biomassa met de populierekloon 'Una', twee jaar na aanleg met stek van 50 cm lengte, in een plantverband van  $1 \times 1$  m. Gem. hoogte 4,10 m. Gem. 1,5 scheut per stek, gem. diameter aan de voet van de stek 3,0 cm. Drogestofproductie 6.000 kg/ha. Foto: De Dorschkamp.

de lopende proefnemingen met populier aandacht aan dergelijke aspecten te besteden. In het algemeen zal het echter niet lonend zijn het aantal scheuten na afzetten kunstmatig te corrigeren. Het afzetten vindt plaats zodra de dichtheid zo hoog is opgelopen, dat de aanwas per ha terugloopt. Bij een te hoog concurrentieniveau gaan de bomen kwijnen, en worden gevoeliger voor allerlei aantastingen (*Pseudomonas*, *Dothichiza*, bastvlekkenziekte bij populier). Tijdig afzetten is dus nodig om de cultuur gezond te houden. Dit geldt voor klonale cultures in sterkere mate dan voor cultures van een gezaaide populatie, omdat klonale exemplaren in principe alle dezelfde concurrentiekracht hebben. Bij zaaisels zal ten gevolge van de concurrentie een steeds sterkere differentiatie optreden: de zwakke

exemplaren worden overgroeid door de sterkere, waardoor alleen de onderdrukte exemplaren zullen gaan kwijnen. Het stadium van optimale dichtheid is per soort verschillend, lichte houtsoorten als populier zijn eerder aan hun limiet dan schaduwverdragende soorten als esdoorn, els, hazelaar, haagbeuk, vogelkers en lijsterbes. Het vaststellen van het optimale tijdstip van afzetten zal naar verwachting nog wel het een en ander aan onderzoek vergen. Wegens de kosten zal de oogst van een gewas gezien de geringe afmetingen en de hoge aantallen niet per stuk kunnen geschieden. Er wordt gedacht aan de inzet van een machine, die het gewas afmaait en daarna bundelt of versnipperd. Het laatste heeft het bezwaar, dat zware machines noodzakelijk zijn die de bodemstructuur en

de afgezette stronken nadelig zouden kunnen beïnvloeden. In Zweden worden reeds proeven met prototypes genomen (Boxsem en Leek 1981).

Op de speciale problemen van korte omlopen wordt hier niet verder ingegaan. Recent zijn literatuurstudies verschenen die zich bezig houden met de problemen van het beheer (Paavilainen 1981), de onkruidbestrijding (Raitanen 1981) en afnemende opbrengsten als gevolg van verouderingsprocessen (Blake 1981). De mogelijke gevolgen van korte omloopcultures voor de groeiplaats zijn besproken door Baker (1978), Kimmins (1977), Kreuzer (1979), Ulrich (1981) en Van Hook (1982). De grootste problemen liggen bij de onderbreking van de kringloop van de minerale voedingsstoffen, de verdichting van de bodem als gevolg van de inzet van machines en de vermindering van het gehalte aan organische stof in de bodem omdat bij de voorgestelde oogstmethode weinig organisch materiaal wordt achtergelaten.

Handhaving of verbetering van het produktieniveau is wellicht mogelijk door bevoeiing met afvalwater (Faber 1981; Frissel et al. 1978) of door de toepassing van gier of drijfmest (Hofmann und Luetzke 1980).

## 7 Te verwachten opbrengsten

Op grond van gegevens van Frissel (Frissel et al. 1978) maakte Sybinga (1977) de volgende berekeningen: De gemiddelde instraling van de zon in De Bilt (1939-1963) is  $8.18 \times 10^9$  Kcal/ha/jaar, terwijl 1 KCal 0.264 g glucose uit  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  kan worden geproduceerd. Dit geeft een maximaal mogelijke drogestofproductie van 2159.52 ton/ha/jaar. Om allerlei redenen kan een levend produktiesysteem niet de totale hoeveelheid ingestraalde energie in drogestof omzetten. Het netto-rendement noemt men de lichtbenuttingsfactor. Deze heeft Sybinga berekend op grond van de volgende acht reductiefactoren:

- 1 conversiefactor 0.286;
- 2 bruikbare deel van het spectrum 0.43;
- 3 lichtbenutting bladerdak 0.80;
- 4 aftrekpost ademhaling 0.33;
- 5 omzetting glucose-hout 0.9;
- 6 restant na verwijdering van blad 0.85;
- 7 bovengrondse deel 0.8;
- 8 seizoenbenutting 0.83.

Zo komt hij tot een lichtbenuttingsfactor van 0.033, wat leidt tot een maximum drogestofproductie van 71.26 ton/ha/jaar. Hij stelt dan een genetische en teelt-efficiency van 50% wat leidt tot een realiseerbare drogestofproductie van 35 ton/ha/jaar.

De laatste jaren neemt de literatuur over de drogestofproductie in korte omlopen snel toe (Bonduelle 1979; Boxsem en Leek 1981; Cannell 1979, 1980; Cannell and Smith 1980; Fortin et al. 1979; Frissel et

al. 1978; Lavoie 1981; Mitchell 1981; Paavilainen 1981; Pardé 1980; Pohjonen 1980; Rabbinge 1982; Siren 1979a, b Van Veen et al. 1981; Wittwer 1980; Wittwer and Immel 1980; Wood et al. 1980; Zavitkovsky 1979). Uit deze publikaties valt af te leiden, dat de mogelijkheden gebonden zijn aan de theoretisch maximale jaarlijkse bruto-fotosynthaten-productie van circa 176 ton/ha. Als gevolg van diverse onvermijdelijke "aftrekposten" wordt hiervan hoogstens 40 ton drogestof/ha/jaar in de vorm van stamhout + takhout + bast vastgelegd en nog circa 4 ton drogestof/ha/jaar in de bladmassa. Dit onder ideale omstandigheden geldende getal van 40 ton drogestof zal echter in de meeste gevallen wel niet haalbaar zijn. Het verschil met de werkelijkheid is nogal groot. Voor het "gemiddelde" Nederlandse bos rekent Rabbinge (1982) onder de huidige omstandigheden met een jaarlijkse drogestofproductie van 1.5 ton/ha. De meeste onderzoekers op dit terrein rekenen op gemiddelde waarden van 6 tot 8 ton drogestof/ha/jaar en op haalbare gemiddelde waarden van 10 tot 12 (mogelijk 13 tot 16) ton drogestof/ha/jaar, als men snelgroeiende cultivars gebruikt in vier- tot vijfjarige omlopen op zeer vruchtbare gronden. De situatie in Nederland met betrekking tot een van de grootste kanshebbers bij het biomassa-onderzoek, de populier, is de volgende: een gemiddelde jaarlijkse bijgroei van  $20 \text{ m}^3/\text{ha}$  is voor populierenopstanden als zeer goed te beschouwen. Deze volumebijgroei komt overeen met 8 ton drogestof/ha/jaar. De grootste lopende bijgroei die tot dusverre, met de populier bij dichte plantverbanden is bereikt, bedraagt  $60 \text{ m}^3/\text{ha}$  spilhout. Inclusief de takken komt dit naar het zich laat aanzien reeds dicht bij  $75 \text{ m}^3/\text{ha}$ , naar schatting overeenkomend met een hoogste lopende aanwas van circa 25 ton drogestof/ha/jaar. Dit is echter een topwaarde, die niet als een gemiddelde over een gehele omloop gehaald kan worden, omdat de eerste jaren na de aanleg de groeiplaats nog niet volledig wordt benut. Waarschijnlijk zal bij een tweede en derde rotatie met hetzelfde gewas, als het wortelstelsel relatief zeer groot is, een hoog groeniveau gehandhaafd blijven mits er voldoende water en voedingsstoffen toegevoerd worden.

## Literatuur

- Aanleg en beheer van bos en beplantingen. P. R. Schütz en G. van Tol (eindred.). 1981. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp"/Pudoc, Wageningen. 504 blz.
- Aldhous, J. R. 1972. Nursery practice. Forestry Commission Bulletin No. 43. 184 p.
- Akkerman, A. J. J. 1976. Bemesting en bemestingsnormen voor boomkwekerijgewassen op zandgrond en dalgrond. Groen 32 (7): 226-227.
- Akkermans, A. D. L. 1971. Nitrogen fixation and nodulation of

- Alnus (glutinosa)* and *Hippophae (rhamnoides)* under natural conditions. *Dissertatione Rijks-Universiteit Leiden*. 85 p.
- Baker, J. B. 1978. Nutrient drain associated with hardwood plantation culture. In: *Proceedings Second Symposium on Southeastern Hardwoods*. p. 48-53.
- Baule, H., und C. Fricker, 1976. *Die Düngung von Waldbäumen*. Bayerische Landwirtschaftsverlag. München. 259 p.
- Blake, T. J. (ed.). 1981. Growth-related problems of aging and senescence in fast growing trees on short rotations. *International Energy Agency Report 1981-21*, 43 p. Published by NE, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Blake, T. J., and W. E. Raitanen (ed.). 1981. A summary of factors influencing coppicing. *International Energy Agency Report NE 1981-22*, 24 p. Published by NE, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Blackmon, B. G. 1977. Effects of fertilizer nitrogen on tree growth, foliar nitrogen, and herbage in eastern cottonwood plantations. *Soil Science Society of America Journal* 41: 992-995.
- Bonduelle, M. 1979. Biomass production of *Salicaceae* coppices. In: *IUFRO, Proceedings of the meeting concerning poplars in France and Belgium, 17-22 September 1979, of Working Parties S2-02-10 and S2-03-07, with participation of the International Energy Agency Forest Biomass*, p. 18-33. Published by the Dorschkamp Research Institute for Forestry and Landscape Planning, Wageningen, Netherlands.
- Boven, B. van, en D. W. de Hoop. 1979. Verkenningen van de economische mogelijkheden van de teelt van hout voor de energievoorziening. *Landbouwkundig Tijdschrift* 91 (3): 55-58.
- Bowersox, T. W., and W. W. Ward. 1976. Economic analysis of a short rotation fiber production system for hybrid poplar. *Journal of Forestry* (11): 750-753.
- Boxsem, W., en N. A. Leek, 1981. *Bosbouw en energieproductie - De Forestry Energy Meeting gehouden in September 1980 in Jönköping, Zweden*. Nederlands Bosbouw Tijdschrift 53 (9): 293-302.
- Burg, J. van den, A. D. L. Akkermans en W. Kriek. 1982. *Els en stikstofvoorziening in de Flevopolders*. Flevoverichten (in voorbereiding).
- Cannell, M. G. R. 1979. Productivity of closely-spaced young poplar on agricultural soils in Britain. In: *IUFRO, Proceedings of the meeting concerning poplars in France and Belgium, 17-22 September 1979 of Working Parties S2-02-10 and S2-03-07, with participation of the International Energy Agency Forest Biomass*, p. 42-61. Published by the Dorschkamp Research Institute for Forestry and Landscape Planning, Wageningen, Netherlands.
- Cannell, M. G. R. 1980. Productivity of closely-spaced young poplar on agricultural soils in Britain. *Forestry* 53 (1): 1-21.
- Cannell, M. G. R., and R. I. Smith. 1980. Yields of minirotaion closely spaced hardwoods in temperate regions: Review and Appraisal. *Forest Science* 26 (3): 415-428.
- Courrier, G., et J. Garbaye. 1981. A propos de la sylviculture des peuplements melanges - Un exemple de l'effet bénéfique de l'aune sur croissance des peupliers. *Revue Forestière Française* 33 (4): 289-292.
- Crowther, R. E., and D. Patch, 1980. *Coppice Research Information Note No. 54/80/SILS*, issued by the Forestry Commission Research and Development Division. 3 p.
- DeBell, D. S., and M. A. Radwan, 1979. Growth and nitrogen relations of coppiced black cottonwood and red alder in pure and mixed plantings. *Botanical Gazette* 140 (supplement): 97-101.
- DeBell, D. S., R. F. Strand and D. L. Reukema, 1978. Short rotation production of red alder: some options for future forest management. In: *Utilization and management of Alder, Proceedings of a Symposium held at Ocean Shores Washington, April 25-27, 1977; USDA Forest Service General Technical Report PNW-70*, p. 231-245.
- Faber, P. J. 1981. *Houtteelt en energie - Oriëntatiereis naar de Verenigde Staten (20 augustus-7 september 1980)*. Rapport Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en land-schapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 263.
- Fiedler, H. J., W. Nebe and F. Hoffmann. 1973. *Forstliche Pflanzenernährung und Düngung*. Fischer, Stuttgart. 481 p.
- Finch, A. 1969. *Pflanzenernährung in Stichworten*. Hirt, Kiel. 200 p.
- Fortin, J. A., R. Lavalley and Y. Piche. 1979. Forest utilization for energy and the role of nitrogen fixation - A Literature Review. ENFOR Project P-9, 166 p. Departement d'Ecologie et Pedologie, Faculté de Forestière et Géodesie, Université Laval, Sainte-Foy, Quebec Canada.
- Fricker, G. 1982. *Der Waldbaum und NPK*. Kali-Briefe, Fachgebiet 22, 29. Folge Nr. 1/1982, S. 1-5.
- Frison, G. 1967. *Asportazioni minerali nel barbatellaio di pioppo*. *Cellulosa e Carta* 18 (12): 10-24.
- Frison, G. 1968. *Asportazioni minerali nel vivaio di pioppi eu-roamericani*. *Cellulosa e Carta* 19 (4): 1-10.
- Frison, G. 1969. *Asportazioni minerali nel pioppeto*. *Cellulosa e Carta* 20 (6): 1-8.
- Frissel, M. J., C. P. van Goor, D. W. de Hoop and J. Olie. 1978. Feasibility study of short rotation forestry for energy purposes. Note Foundation ITAL, Wageningen. 7 p.
- Hahn, J., en B. C. M. van Elk. 1978. *Boomteelt*. Wolters-Noordhoff, Groningen. 350 p.
- Hofmann, G., und R. Luetzke, 1980. *Abwasser-Gülleverwertung in Gehölzplantagen - Ein Beitrag zur Intensivierung und zur Lösung von Problemen des Umweltschutzes*. Beiträge für die Forstwirtschaft 14 (3 & 4): 168-171.
- Holmsgaard, E. 1960. Amount of nitrogen-fixation by alder - Review of literature and an investigation of a planting-experiment (Deens met een Engelse samenvatting). *Det Forstlige Forsøgsvaesen i Danmark* 26 (2): 253-270.
- Hoop, D. W. de. 1977. *Onderzoek naar de rentabiliteit van "short rotation forestry" in relatie met de energieprijis*. Interne Nota Landbouw-Economisch Instituut, nr. 223.
- Kolster, H. W., en H. A. van der Meiden. 1979. *Houtproductie bij zeer korte omlopen (een proefbeplanting in Hummelo)*. *Populier* 16 (1): 3-7.
- Kimmings, J. P. 1977. Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole-tree harvesting. *Forest Ecology and Management* 1: 169-183.
- Kreutzer, K. 1979. *Ökologische Fragen zur Vollbaumernte*. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 98: 298-308.
- Lavoie, E. (ed.). 1981. *Inventory of species and cultivars potentially valuable for forest biomass production*. International Energy Agency Report NE 1981-17, 43 p. Published by NE, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Mitchell, C. P. 1981. *Forest biomass for energy in the United Kingdom*. In: *Proceedings Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop and Study Tour, 2-3 Oct. 1980, Garpenberg*,

- Sweden. p. 52-58. Information from project Forestry Energy No. 20, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Paavilainen, E. (ed.). 1981. Biomass yields and management of natural coppice stands, International Energy Agency Report NE 1981-19, 50 p. Published by NE, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Pardé, J. 1980. Forest biomass. *Forestry Abstracts* 41 (8): 343-362.
- Pohjonen, V. 1980. [Energy willow farming on old peat industry areas] (Fins met een Engelse samenvatting). *Suo* 31 (1): 7-9.
- Rabbinge, R. 1982. Energiewinning door landbouwproductie. *Landbouwkundig Tijdschrift* 94 (1): 25-30.
- Raitanen, W. E. (ed.). 1981. Survey of weed control methods. International Energy Agency Report NE 1981-20. 93 p. Published by NE, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Rassenlijst van naald- en loofbomen voor bos- en landschapsbouw in Nederland. 1973. Uitgave Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp", Wageningen.
- Reboisement-"Fertilization". 1971. Ministère de l'Agriculture, "CERAFER" Centre Technique Forestier. 24 p.
- Rupf, H., S. Schoenhar, und M. Zeyher, 1961. *Der Forstpflanzgarten*, 2. Aufl., 252 S. BLV Verlagsgesellschaft, München.
- Siren, G. 1979a. Energy forestry research in Sweden. In: Proceedings from a symposium arranged by the International Energy Agency (IEA) Planning Group on growth and production. Bogesund/Stockholm, September, 24, 1979 (ed. K. Perttu), p. 5-15, Energy Forestry Project (EFP), Swedish University of Agricultural Sciences, Technical Report nr. 8.
- Siren, G. 1979b. Preliminary tests of fast-growing *Salix* clones. In: IUFRO Proceedings of the meeting concerning poplars in France and Belgium, 17-22 September 1979, of Working Parties S2-02-10 and S2-03-07, with participation of the International Energy Agency Forest Biomass, p. 162-177. Published by the Dorschkamp Research Institute for Forestry and Landscape Planning, Wageningen, Netherlands.
- Siren, G. 1981. Present stage of Energy Forestry Research in Sweden. Proceedings International Forestry Energy Meeting 29 Sept.-2 Oct. 1980, ELMIA, Jönköping, p. 107-117. Information from project Forestry Energy No. 19 National Swedish Board for Energy Source Development.
- Staafl, H., and G. Bjoerkroth. 1981. Complete tree utilization and soil fertility in Swedish forests. In: Proceedings Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop and Study Tour 2-3 Oct. 1980. Garpenberg, Sweden, p. 82-99, Information from project Forestry Energy, No. 20, National Swedish Board for Energy Source Development.
- Stoekeler, J. H., and G. W. Jones. 1957. Forest nursery practice in the Lake States. USDA Forest Service, Agricultural Handbook No. 110.
- Stoekeler, J. H., and P. E. Slabaugh. 1965. Conifer nursery practice in the Prairy-Planes. USDA Forest Service, Agricultural Handbook No. 279.
- Sybinga, J. 1977. Discusstion "Short Rotation Forestry". Instituut voor Toepassing van Atoomenergie in de Landbouw, Wageningen.
- Tarrant, R. F., and J. M. Trappe. 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environment. *Plant and Soil, Special Volume 1971*: 335-348.
- Ulrich, B. 1976. Fate of applied nutrients in forest ecosystems. Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen, Publ. Nr. 266/76.
- Ulrich, B. 1981. Destabilisierung von Waldökosystemen durch Biomassennutzung. *Forstarchiv* 52 (6): 199-203.
- Van Hook, R. I., D. W. Johnson, D. C. West et al. 1982. Environmental effects of harvesting forests for energy. *Forest Ecology and Management* 4: 79-94.
- Veen, J. A. van, H. Breteler, J. J. Olie et al. 1981. Nitrogen and energy balance of a short rotation poplar forest system. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 29: 163-172.
- Vis, T. 1970. Een inventariserend onderzoek naar de groei van enkele houtsoorten op jonge zeelei- en zeezandgronden in Zeeland. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 42 (1): 14-29.
- Wilde, S. A. 1962. *Forstliche Bodenkunde*. Parey, Hamburg. 239 p.
- Williams, R. D. and S. H. Hanks. 1976. *Hardwood Nurseryman's Guide*. USDA Forest Service Agricultural Handbook No. 473.
- Wittwer, R. F. 1980. Early stand development in closely spaced, fertilized American sycamore plantations. *Tree Planters' Notes* 31 (4): 26-29.
- Wittwer, R. F., and M. J. Immel, 1980. Chemical composition of five deciduous tree species in four-year-old, closely spaced plantations. *Plant and Soil* 54: 461-467.
- Wood, B. W., S. B. Carpenter and R. F. Wittwer. 1976. Intensive culture of American sycamore in the Ohio River Valley. *Forest Science* 22: 338-342.
- Zavitkovsky, J. 1979. Energy production in irrigated, intensively cultured plantations of *Populus* "Tristis x1" and Jack pine. *Forest Science* 25 (3): 383-392.
- Zsuffa, L., D. Boufford and M. A. Leggat. 1979. Up-date of Canadian Activities in Poplar Biomass Production and Utilization. ENFOR Project P-139, 62 p. Poplar Council of Canada, Tree Breeding Unit, Maple, Ontario, Canada.