

## 30 | Dunning

SIMON KLINGEN, FRITS MOHREN, GUY GEUDENS, JAN DEN OUDEN

Foto LEO GOUDZWAARD

### 30.1 Inleiding

Een opgroeiende boom heeft steeds meer groei­ruimte nodig, en in een opgroeiend bos concurreren de bomen om ruimte en schaarse groeifactoren. Indi­viduele bomen worden daardoor in hun groei beperkt. Als gevolg van kleine groeiverschillen tussen de bomen onderling ontstaan verschillende sociale posities in het kronendak, ook in een gelijkjarige opstand (zie hoofdstuk 6). De aanvankelijk kleine groeiverschillen tussen de afzonderlijke bomen worden door de concurrentie steeds groter. Door middel van *dunning* beïnvloedt de beheerder de concurrentieverhoudingen zodat de bosontwikkeling in de gewenste richting verloopt. De beheerder kan door dunning bovendien de soortensamenstelling wijzigen. De essentie van dunning is het verlagen van het stam­tal, met als doel de groei­ruimte voor de overblijvende bomen te vergroten en daar­

mee de aanwas te concentreren op een kleiner aantal bomen, die dan sneller dik worden. Als gevolg hiervan kan de bedrijfstijd worden ingekort. Bij dunning kan een deel van het tot dan toe bijgegroeide hout worden geogst, maar de gedunde bomen kunnen ook in het bos achterblijven. In het geval van oogst zorgen dunningen ervoor dat al gedurende de groei van de opstand inkomsten worden verkregen uit het bos zonder te hoeven wachten op de eindoogst. Deze vooropbrengsten kunnen tot ongeveer de helft van het totaal geogste volume bedragen.

Dunning onderscheidt zich van verjongingskap. Bij verjongingskap worden bomen geveld om ruimte te maken voor een nieuwe generatie bos. Dit wordt besproken bij de verjongingssyste­men in het hoog­hout (zie hoofdstuk 25).

Dunning is de meest toegepaste beheermaatregel in het bos. Gewoonlijk wordt vanaf een leeftijd van 20 à 40 jaar in het opgroeiende bos eens in de 4 à 8 jaar gedund. De periode tussen twee dunningen wordt aangeduid als de *dunningsfrequentie* (NL) of *dunningsomloop* (VL). Als het bos ouder wordt, neemt de bijgroei af, groeit het kronendak na een dunning minder snel dicht en wordt gewoonlijk minder vaak gedund.

In een onbeheerd bos gaan na verloop van tijd door de dichte stand de onderstandige bomen kwijnen, waarna vervolgens dichtheidsafhankelijke mortaliteit optreedt, ook wel *zelfdunning* genoemd (zie hoofdstuk 6). Dunningen zoals hier bedoeld, verlagen de dichtheid waardoor deze mortaliteit wordt voorkomen. Ongedunde bossen houden langer een hoog stamtal en een dichte stand. Door natuurlijke sterfte neemt het stamtal weliswaar af, maar dat proces verloopt gewoonlijk veel langzamer dan in vergelijkbare, gedunde opstanden.

De aard en de sterkte van een dunning hangen af van de doelen die de beheerder nastreeft. Bij een meer-voudige doelstelling valt de selectie anders uit dan in een bos met uitsluitend een productiedoel. Vanuit de natuurfunctie en de beleving van het bos verdienen vaak andere bomen de voorkeur en worden daarvoor andere bomen weggenomen dan in een productiebos. Naast de functievervulling moet de beheerder ook een keuze maken over de sterkte van ingrijpen, ofwel de *dunningsintensiteit*. Het aantal bomen (of het oogstvolume) dat idealiter bij een dunning wordt weggenomen, hangt van veel factoren af. De invloed van de boomsoort, de leeftijd, de ontwikkelingsfase en de stabiliteit van de opstand worden hierna besproken bij de verschillende soorten dunning.

Het merken van de te dunnen bomen wordt *blesen*, *schalmen* of *hameren* genoemd. Worden bomen gemerkt door een strook bast van de boom te verwijderen met een bijl of een speciaal mes, dan lijkt het merkteken op de boom op de streepvormige tekening op een paardenhoofd: de bles. In Vlaanderen vergelijkt men het met ronde of ovale schakels van een ketting: de schalm. Het hameren verwijst naar de gewoonte in openbare bossen om in de schalm met een hamer een rijksmarkering te slaan. Tegenwoordig worden de bomen doorgaans gemerkt met milieuvriendelijke verf. Dat is goed zichtbaar en lichamenlijk minder belastend.

Al met al bepaalt de blesser in hoge mate de ontwikkeling van het bos: 'blesen is beleid'. De eisen aan de vakkennis van deze persoon die de dunning markeert in het terrein, worden steeds hoger naarmate een bos meerdere functies tegelijk moet dienen, het bos ouder wordt of de opstand in samenstelling en structuur complexer wordt. Gezien het belang van deze maatregel en de steeds complexere opstandstructuren waarmee de beheerder geconfronteerd wordt, hebben oefenopstanden een grote educatieve waarde. Een mooi voorbeeld is de zogenaamde 'marteloscope' in het eiken-beukenplenterbos van Beau Mousseau in Daverdisse, Wallonië (Baar & Collard 2007).

## 30.2 Soorten dunning

### 30.2.1 Systematische dunning

Bij systematische dunning worden bomen weggenomen volgens een vast patroon. Omdat niet geselecteerd wordt op de individuele kwaliteiten van bomen, spreekt men ook van *aselecte dunning*. Vaak gaan er bij een in rijen gepland bos hele rijen tegelijk uit. Deze manier van dunnen wordt vooral toegepast bij plantages van fijnspar en populier omdat de bomen van deze soorten in de jonge fase weinig individuele verschillen kennen. Selectie is dan minder nuttig. Systematische dunning past meer in de geest van de houtteelt dan van het multifunctionele bosbeheer.

De systematische dunning kent een paar belangrijke voordelen. Het is overzichtelijk in zowel de planning als de uitvoering, en de sterkte van de ingreep is vooraf eenvoudig vast te stellen. Zo levert het wegnemen van iedere vijfde rij een dunningsingreep op van 20% van het opstandvolume. Het blesen is niet nodig of kan beperkt blijven tot de eerste boom van een rij. De bomen kunnen eenvoudigweg achter elkaar weggenomen worden; dat werkt gemakkelijk en geeft gewoonlijk weinig beschadiging aan aanpalende bomen. De ruimte die met het wegnemen van de rijen ontstaat, kan bij deze en latere dunningen dienen als dunningspad voor het vellen en uitrijden van het hout.

Het ontbreken van selectie bij systematische dunning is een nadeel, want er verdwijnen naar verhouding evenveel gewenste als minder gewenste bomen. Staan er in de overblijvende rijen voldoende potentiële toekomstbomen (zie 30.2.4), dan is een aselecte dunning uit het oogpunt van houtkwaliteit geen bezwaar. Er blijft dan immers op een later tijdstip nog voldoende om uit te kiezen. Populierenopstanden die zijn aangeplant in grotere dichtheden dan het eindstamtal, worden op latere leeftijd systematisch gedund om een regelmatige verdeling van bomen in het bestand te handhaven. Dit is goed mogelijk omdat de meeste populierenbeplantingen bestaan uit klonen met genetisch identieke individuen en omdat door de redelijk grote plantafstanden de initiële groeiruimte aanzienlijk is (zie ook hoofdstuk 46). Selectief dunnen kan evenwel beter zijn als er toch onderlinge verschillen tussen de bomen optreden door beschadigingen of externe omstandigheden.

De systematische dunning in de vorm van *rijendunning* versterkt voor lange tijd visueel de rijenstructuur, waardoor een kunstmatig bosbeeld bewaard blijft. Op twee manieren kan het diepe doorzicht langs de rechte rijen verminderen: door een gebogen toegang aan het begin van elk dunningspad of door een verspringing in de gedunde rijen.

### 30.2.2 Laagdunning

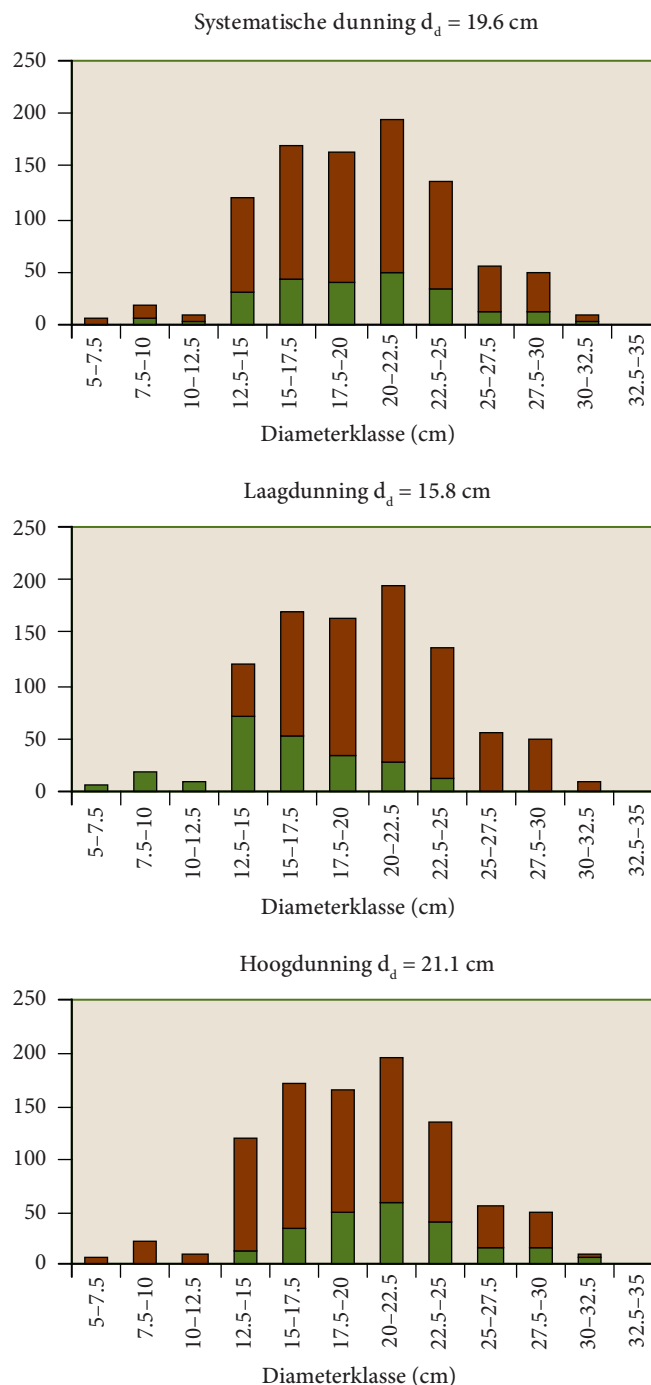
*Laagdunning* is het wegnemen van bomen die achterblijven in groei en de concurrentiestrijd met hun buurbomen hebben verloren. De kronen van deze bomen bevinden zich over het algemeen laag in het kronendak, vandaar de naam 'laagdunning'. Bij een laagdunning is de gemiddelde diameter van de dunningsbomen kleiner dan de gemiddelde diameter van de opstand vóór de dunning (fig. 30-1).

Een laagdunning kan meer of minder intensief zijn (ook wel: sterk of zwak). Als de dunning zich beperkt tot het wegnemen van de dunste bomen, zal dat een beperkt houtvolume opleveren en is er sprake van een zwakke dunning. Het vellen van meer (nog altijd relatief dunne) bomen vergroot het oogstvolume en daarmee de sterkte van de ingreep. Bij een niet al te sterke laagdunning blijft de volumeaanwas van de resterende opstand op hetzelfde peil omdat het kronendak grotendeels gesloten blijft.

Doordat bij een laagdunning in beginsel alleen onderstandige en zwakkere bomen weggaan, heeft dat nauwelijks invloed op de concurrentiestrijd tussen de dominante en codominante bomen in het kronendak. Er wordt niet gestuurd in de concurrentie tussen de overblijvende bomen, waarmee laagdunning geen of nauwelijks invloed heeft op de verdere bosontwikkeling. Laagdunning leidt tot een homogenisering van de opstandstructuur.

Naast het wegnemen van de onderstandige bomen is het bij laagdunning ook evident dat de slecht gevormde exemplaren – soms ook heersende bomen – weggenomen worden (zie fig. 30-2). Door het wegnemen van zowel veel dunne, kansloze bomen als heersende bomen met zware takken of slechte stamvormen, valt deze werkwijze ook te beschouwen als poetsen of opkuisen.

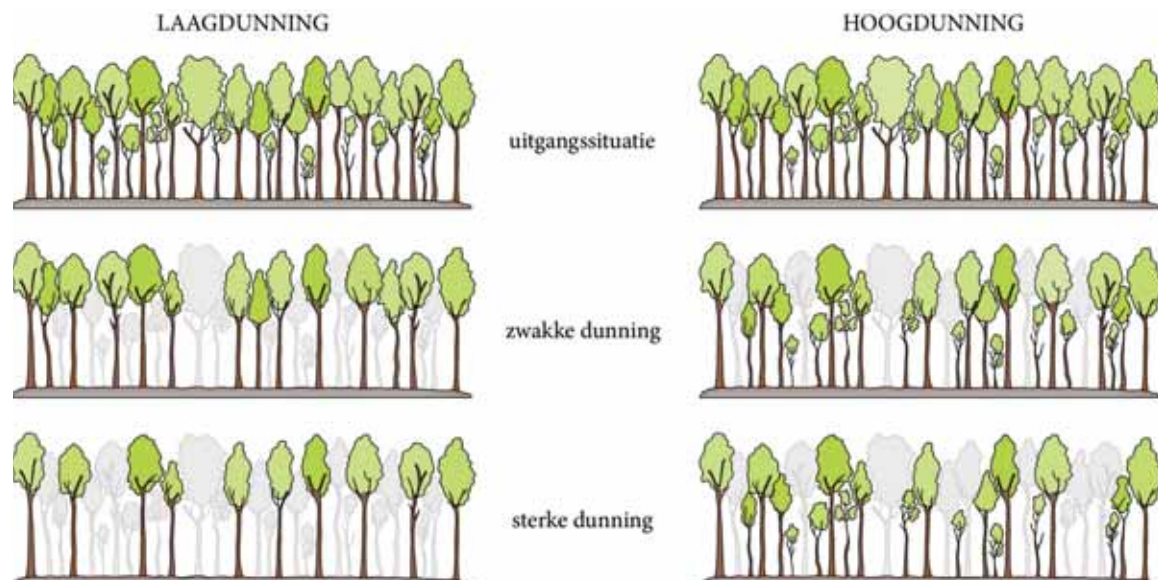
Laagdunning wordt in het moderne bosbeheer vaak verhuisd omdat er niet op kwaliteit gestuurd wordt (anders dan via negatieve selectie) en het een plantageachtig bosbeeld oplevert door de beperkte spreiding in diameters. Toch kan laagdunning een goede ingreep zijn, bijvoorbeeld om de werkruimte te vergroten of als het doorzicht onder in het bos van belang is. Verder heeft laagdunning nauwelijks effect op de totale aanwas, zodat het een goede methode is wanneer meer waarde gehecht wordt aan de aanwas van houtmassa dan aan individuele stamkwaliteit. Bovendien is voor het blesen van een laagdunning weinig vakkennis nodig; het is heel eenvoudig om alleen de dunste en slecht gevormde exemplaren te selecteren. Tot slot blijft het kronendak na laagdunning vrijwel gesloten waardoor geen verhoogd risico op windworp ontstaat (zie fig. 30-5).



**Figuur 30-1.** Diameterverdeling van een 35 jaar oude opstand van grove den in Oostereng (Veluwe), met een oorspronkelijk plantverband van 2 x 2 m. Het huidige stamtal (vóór dunning) is 935 ha<sup>-1</sup>, de gemiddelde diameter is 19.6 cm en het grondvlak is 30.0 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>. Met groen zijn de bomen aangegeven die gedund worden volgens drie dunningsmethoden, waarbij steeds 25% van de bomen wordt gedund. De gemiddelde diameter van de gedunde bomen ( $d_d$ ) staat boven de figuur aangegeven. Grondvlakken na dunning zijn respectievelijk 22.5, 25.1 en 21.6 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, met gemiddelde diameters na dunning van 19.6, 20.9 en 19.2 voor de systematische dunning, laagdunning respectievelijk hoogdunning. Data afkomstig van studentenpracticum Wageningen Universiteit.

### 30.2.3 Hoogdunning

Hoogdunning is de tegenhanger van laagdunning en is te definiëren als het ingrijpen in de concurrentieverhoudingen tussen de bomen in het kronendak. Bij *hoogdunning* ontstaat meer groeiruimte voor de res-



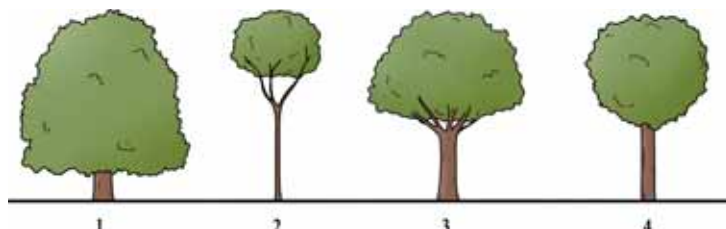
**Figuur 30-2.** Het principe van laagdunning (links) en hoogdunning (rechts). In beide gevallen wordt uitgegaan van dezelfde opstand, waarin zowel een zwakke als sterke dunning wordt uitgevoerd. De donkergekleurde bomen blijven, de lichtgekleurde bomen worden geveld. Naar Dengler (1944).

terende bomen door hun belangrijkste concurrenten weg te nemen (zie fig. 30-2). Er wordt dus geselecteerd in de populatie van heersende en medeheersende bomen. Welke bomen gewent zijn, hangt af van het doel van de opstand. Bij een productiedoelstelling zullen de bomen met de betere stamvormen bevoordeeld worden. Als de natuurwaarde en de schoonheid van het bos (mede) van belang zijn, zullen bijvoorbeeld bomen van een afwijkende soort (mengboomsoorten) of bomen met markante vormen bevoordeeld worden.

Het selecteren kan op verschillende manieren gebeuren. Bij het ingrijpen in het kronendak gaat het om het gericht bevoordelen van de gewenste (betere) bomen door concurrerende bomen weg te nemen. Daarbij is er sprake van positieve selectie. Daarnaast kunnen bij een dunningsronde slecht gevormde, heersende bomen worden weggenomen zodat de betere bomen overblijven. In dat geval is er sprake van een negatieve selectie. In beide gevallen wordt echter in het kronendak ingegrepen. De meest gerichte vorm om gewenste bomen te bevoordelen is de *toekomstbomen-*

*methode* (zie 30.2.4). Als er niet met toekomstbomen gewerkt wordt, spreekt men van *vrije hoogdunning* en worden de te bevoordelen bomen bij elke dunning opnieuw gekozen. Het type dunning bepaalt in sterke mate de verdere kroonontwikkeling. Bij hoogdunning gaat het erom dat de resterende bomen een grote kroon kunnen ontwikkelen (zie fig. 30-3).

Doordat hoogdunning zich richt op de selectie in de groep van heersende en medeheersende bomen, ligt de gemiddelde diameter van de dunningsbomen, vooral bij de eerste dunningsbomen, duidelijk hoger dan de gemiddelde diameter van de opstand vóór dunning (fig. 30-1). Bij een gelijk oogstvolume, van bijvoorbeeld 20% van de staande houtmassa, is het aantal te oogsten stammen bij hoogdunning dus kleiner dan bij laagdunning. Dat is gunstiger voor de exploitatie omdat er per volume minder handelingen te verrichten zijn en de prijs voor zwaarder hout gewoonlijk hoger is. Doordat de dunne stammen blijven staan (ze concurreren immers niet met de bomen in het kronendak), is er na de ingreep een grotere spreiding in diameters van de bomen. Dat geeft een gevarieerder, minder kunstmatig bosbeeld (fig. 30-4). Tabel 30-1 geeft een overzicht van de kenmerken van laag- en hoogdunning.



**Figuur 30-3.** Vergelijking van stam- en kroonontwikkeling bij 100-jarige eiken op eenzelfde groeiplaats maar met een verschillende groeigeschiedenis: 1. Vrijstaande boom; 2. Boom uit een opstand met klassieke laagdunning; 3. Boom uit een mid-denbos; 4. Boom uit een bos behandeld met toekomstboomsysteem (De Saint-Voulyr 1969).

In de traditionele plantagebosbouw in Vlaanderen en Nederland was laagdunning de gebruikelijke werkwijze. Hout voortbrengen was het belangrijkste doel, natuur en beleving waren niet aan de orde of waren ondergeschikt. In veel bossen was het zaak om, in een korte productiecycclus, de grootst mogelijke hoeveelheid hout voort te brengen, bij een rationele, gemechaniseerde productiewijze. Bij grove den ging het daarbij veelal om de productie van (relatief dun) mijnhout. In de oudere loofbossen op landgoederen paste men hier en daar wel al hoogdunning toe, niet zelden geïnspireerd door buitenlandse ervaringen. In Drenthe is vanaf de jaren



**Figuur 30-4.** Dunningsproef met 64 jaar oude douglas in Grevenhout op de Veluwe. Boven een onderaanzicht van het kronendak en onder het zijaanzicht van een ongedunde opstand (links), een laagdunning (midden) en een hoogdunning (rechts). De staande volumes zijn respectievelijk 718, 592 en 459 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, de gemiddelde diameters van de dominante bomen zijn respectievelijk 42, 47 en 53 cm, en de opperhoogten bedragen respectievelijk 33.2, 34.6 en 34.7 m. Foto's: Jan den Ouden.

zeventig van de vorige eeuw in de productiebeplantingen (van vooral lariks) hoogdunning toegepast.

### 30.2.4 Toekomstbomendunning

Bij de toekomstbomendunning worden, voorafgaand aan het blesen, de bomen geselecteerd die de beheerder voor de toekomst wil behouden en bevoorstellen. Het kiezen van deze toekomstbomen is een effectief hulpmiddel bij het blesen. Het principe is eenvoudig: de bomen die voorbestemd zijn om de eindopstand te vormen, krijgen doelgericht ruimte. De beheerder dient zich daartoe wel een beeld te vormen van het op langere termijn gewenste bos. De voor het toekomstige bos gewenste bomen worden geselecteerd en (al dan niet tijdelijk) gemerkt.

Toekomstbomen zijn dus de bomen die in het toekomstige bos het belangrijkste zijn, in ecologisch, economisch of esthetisch opzicht.

De keuze van de toekomstbomen hangt nauw samen met het beheerdoel van het betreffende bos. Zeker in geval van een menging van boomsoorten is de keuze niet te maken zonder een beeld van de na te streven bossamenstelling. In het multifunctionele bos zijn in beginsel drie soorten toekomstbomen te onderscheiden: toekomstbomen voor de houtproductie, voor de natuurwaarden of voor de beleving (zie fig. 30-5). Een boom kan meerdere doelen tegelijk dienen. Zo kan een grillige, zwaar betakte zomereik langs een wandelpad een toekomstboom zijn voor natuur én beleving. Of dikke, rechte stammen kunnen bij wandelaars indruk maken, maar ook interessant zijn voor de houtproductie.

**Tabel 30-1.** De kenmerken van laag- en hoogdunning.

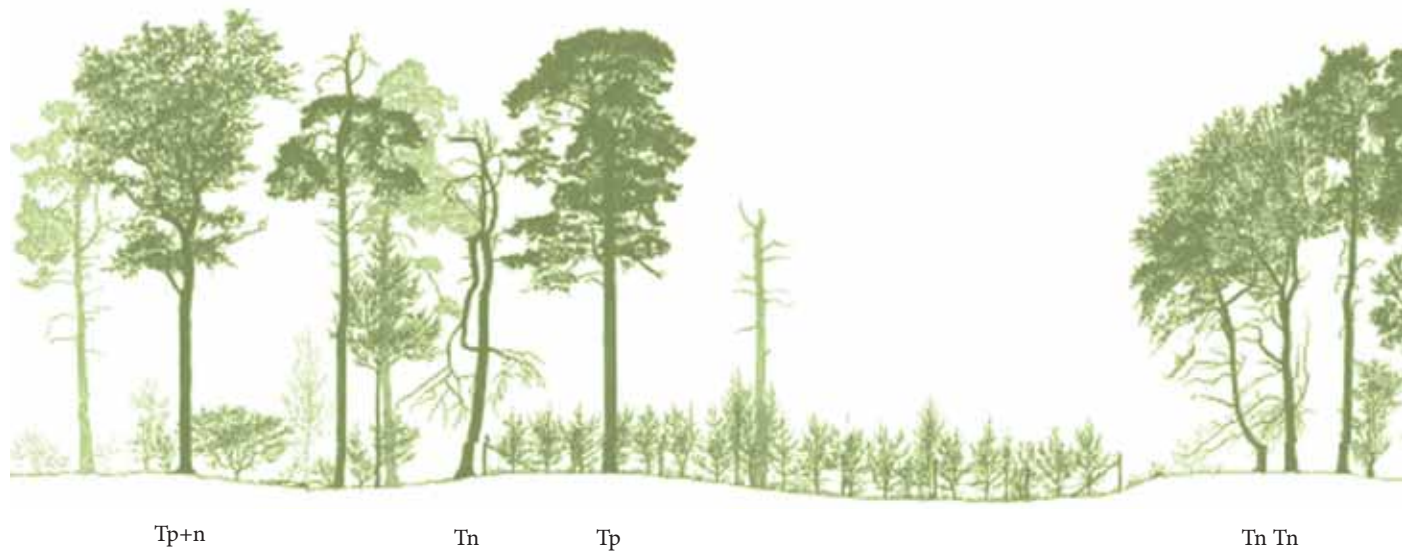
Laagdunning	Hoogdunning
Ingrep vooral in de groep van beheerste en onderdrukte bomen. Weinig verstoring in het kronendak doordat overwegend onderstandige bomen worden weggenomen	Ingrep vooral in de groep van dominante en codominante bomen, waardoor in het kronendak gaten ontstaan
Selectie vooral gebaseerd op verminderde vitaliteit en slechte kroon- en stamvorm van de te dunnen bomen	Selectie uitsluitend gebaseerd op goede kwaliteit en groeipotentieel van de resterende bomen
Weinig tot geen effect op de groei-ruimte van de resterende bomen	Veel effect op de groei-ruimte van de resterende bomen
Gemiddelde diameter van de dunning <i>kleiner</i> dan de gemiddelde diameter vóór de dunning	Gemiddelde diameter van de dunning <i>groter</i> dan de gemiddelde diameter vóór de dunning

### Aantal toekomstbomen per ha

Gewoonlijk worden de aantallen volgroeide bomen zoals die in de volwassen fase van het bos voorkomen, als referentie genomen voor het aantal toekomstbomen. Volgroeide loofbomen bestrijken een oppervlakte van zo'n 150 m<sup>2</sup>, zodat er ruimte is voor 60 à 70 loofbomen per ha, uitgaande van een zekere spreiding over het oppervlak. De meeste soorten naaldbomen komen met minder ruimte toe, waardoor er op een hectare plaats is voor 80 à 100 bomen. Schaduwboomsoorten, zoals de fijnspar, kunnen met nog minder ruimte al een behoorlijke maat krijgen. Vooral op de betere groeiplaatsen zijn hoge grondvlakken haalbaar. Bij fijnspar moeten 120 toekomstbomen een gemiddelde dbh van 65 cm kunnen bereiken, met een grondvlak van zo'n 40 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>.

### Dunningsingrep per toekomstboom

De sterkte van de dunningsingrep is bij de toekomstbomenmethode eenvoudig te doseren (en te beschrijven in een dunningsinstructie). De gewenste dunningsintensiteit is aan te geven als het aantal te blesen



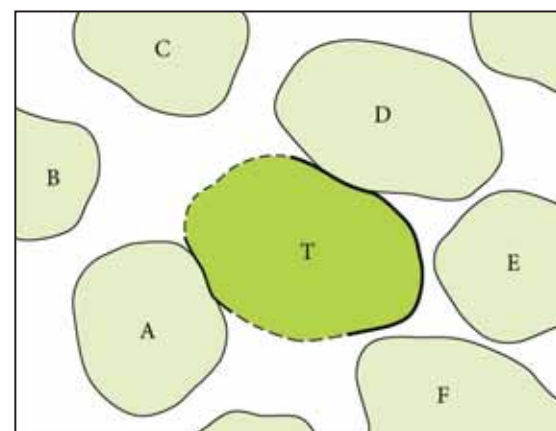
**Figuur 30-5.** Dwarsdoorsnede van een bos op arme zandgrond met berk, eik en grove den waarin de verschillende soorten toekomstbomen aangegeven zijn.  $T_p$  = toekomstboom voor houtproductie,  $T_n$  = idem voor natuur,  $T_{p+n}$  = grote zomereik, toekomstboom voor productie en natuur. Illustratie: Simon Klingens en Jan Sevenster.

bomen per toekomstboom, bijvoorbeeld gemiddeld 1,5 dunningsboom per toekomstboom. Als het aantal toekomstbomen per ha bekend is, kan op die manier eenvoudig een inschatting gemaakt worden van de te verwachten oogst. Het is echter verstandiger om de sterkte van de ingreep in eerste instantie af te stemmen op de mate waarin de kronen van de toekomstbomen na de dunning vrije groei-ruimte hebben (zie fig. 30-6). Daaraan is ook de noodzaak of wenselijkheid van een dunning af te meten. De gewenste graad van vrijstellen bij een dunning loopt voor de verschillende boomsoorten en omstandigheden nogal uiteen. Het hangt onder andere af van de stabiliteit van de boom en van de boomsoort, de aard van de groeiplaats en van de ontwikkelingsfase van het bos. In het algemeen geldt dat de kroon zich goed moet kunnen ontwikkelen, tenminste tot de volgende dunningsingreep.

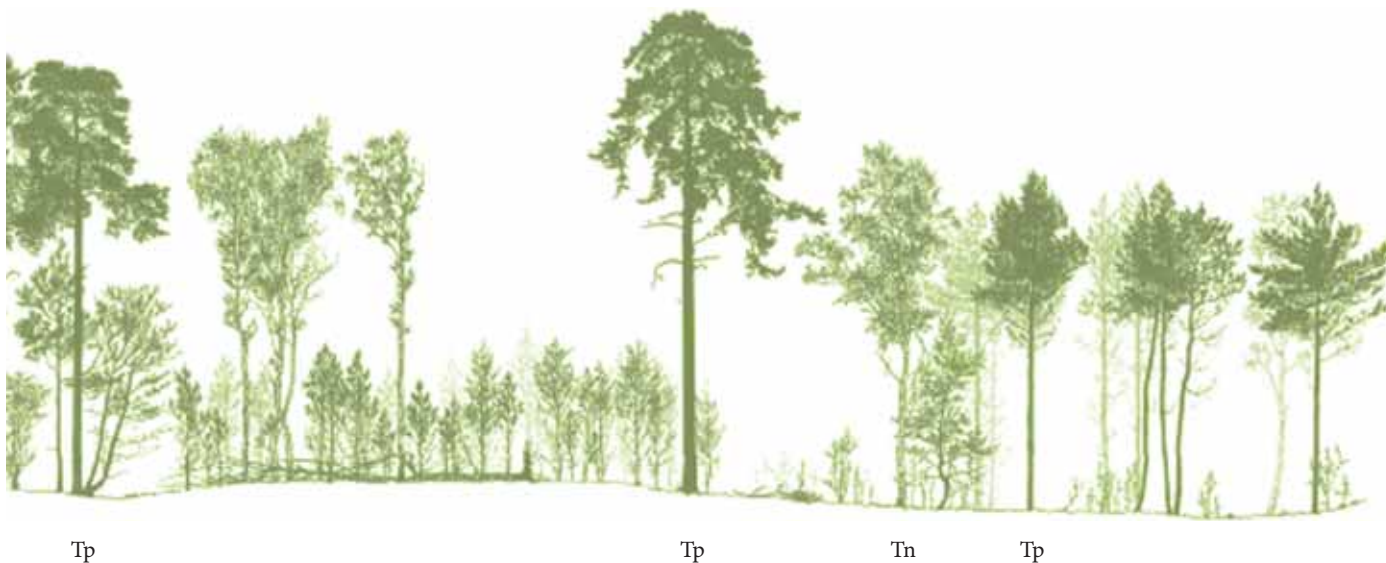
De toekomstbomen zijn voorbestemd om lang in de opstand te blijven en bovendien zo snel mogelijk dik te worden (maar wel met behoud van de gewenste houtkwaliteit; bij sommige doelen, zoals de teelt van fineerhout, kan een langzame groei gewenst zijn). Tijdens de ontwikkeling van een bos is het daarom zaak om vanaf het begin van de dunningsingreep ervoor te zorgen dat de toekomstbomen grote kronen kunnen ontwikkelen om zo snel in de dikte te kunnen groeien. Daartoe moeten de kronen van de toekomstbomen tijdig vrij worden gesteld door de grootste concurrenten weg te nemen. De grootste concurrenten zijn de bomen die over de grootste lengte aan de kroonomtrek van de toekomstboom grenzen en dus het meest de kroonuitbreiding van de toekomstboom belemmeren. Bij eerste dunningsingreep zijn deze bomen nogal eens dikker dan de toekomstbomen. Juist die zware concurrenten dienen het eerst weggenomen te worden om de groei aan de toekomstboom mogelijk te maken. Een extra argument om juist deze dikke bomen weg te nemen is dat bij een ongestuurde ontwikkeling deze dikke buurboom zijn positie verder zal versterken. Wanneer deze buurboom later alsnog wordt weggenomen, zorgt dit voor een forsere ingreep, wat de stabiliteit in gevaar kan brengen en kan leiden tot een verminderde aanwezigheid van het bos.

Naast het wegnemen van de grootste concurrenten kan het ook zinvol zijn dunne bomen naast de toekomstboom weg te nemen. Deze dunne bomen spelen weliswaar geen grote rol in de concurrentie maar kunnen de kroonuitbreiding van de toekomstboom hinderen. Vooral bij soorten die zich niet makkelijk herstellen, zoals grove dennen ouder dan vijftig jaar, is het tijdig opbouwen van een grote en vooral diepe kroon van belang, zodat het raadzaam is ook relatief kleine bomen weg te nemen. Bovendien zullen dunningsingreep in een latere fase van de opstandontwikkeling, wanneer de toekomstbomen een grote kroon en een behoorlijke dikte hebben, steeds meer het karakter van een laagdunning krijgen. Immers, de winnaars van de concurrentiestrijd zijn nadrukkelijk bepaald en de dikte van de dunningsbomen zal steeds meer onder het gemiddelde liggen, in ieder geval lager dan die van de toekomstbomen.

Als bij de dunning uitsluitend de toekomstbomen worden vrijgesteld, zullen er in de ruimte tussen de toekomstbomen delen zijn waar (tot aan latere dun-



**Figuur 30-6.** Projectie van boomkronen rondom een toekomstboom (T). De stippellijn markeert de lengte waar de kroonrand zich kan uitbreiden, ongeveer 40% van de kroonomtrek. Indien T een stabiele grove den is, kan de boom bij de komende dunning voor ten minste 80% vrijgesteld worden, bijvoorbeeld door de bomen A en D weg te nemen.



ningen) niet gedund wordt. In deze ongedunde delen blijven dus relatief dunne en onderstandige bomen staan, soms zelfs dode bomen. Deze werkwijze levert in zowel het horizontale als het verticale vlak een kleinschalige variatie in bosstructuur, wat bijdraagt aan de variatie van het bosbeeld.

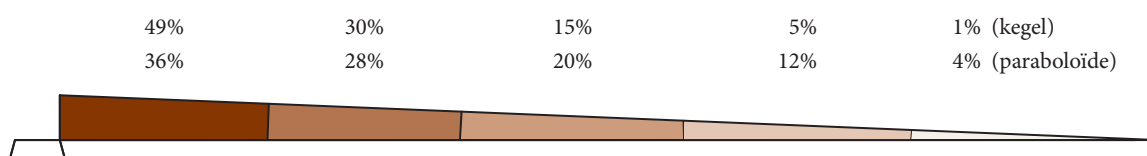
### 30.3 De eerste dunning: het omslagpunt

Bij een opgroeiend bos is de vraag wanneer de eerste dunning nodig is. In de meeste gevallen staat het jonge bos dicht en zijn er hoge stamtallen (ten minste  $3000 \text{ ha}^{-1}$ ). Door de dichte stand blijven de kronen klein en daarmee de stammen dun. De dichte stand maakt het bos onder het kronendak donker, waardoor de onderste takken afsterven. Bij loofbomen vallen de takken er na het afsterven gewoonlijk snel af. Voor de houtkwaliteit is dat gunstig omdat op de delen van de stam waarvan de takken zijn afgestoten, vanaf dat moment noestvrij hout aangroeit (zie ook hoofdstuk 31). Anderzijds blijven in de dichte stand de kronen van de individuele bomen klein, en blijft daarmee de diktegroei beperkt. Als het voortbrengen van waardevol hout (mede) een doel is, is het nuttig dit afsterven van de takken te benutten en het bos dicht te laten. Het moment in de opstandontwikkeling waarop de eerste dunning kan plaatsvinden, wordt aangeduid als het *omslagpunt*, omdat dan een wezenlijk andere fase in het beheer van de opstand aanbreekt; van een periode (in beginsel) zonder maatregelen en met een dichte stand wordt overgegaan naar een fase met dunningen

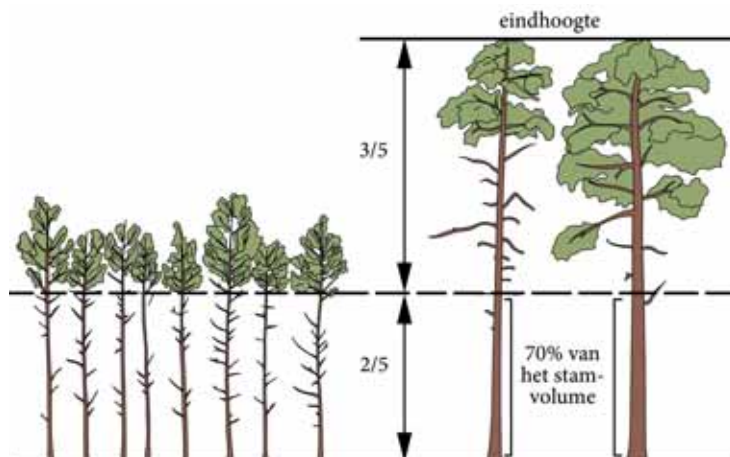
en een ijler bos. In sommige gevallen zal eerder moeten worden ingegrepen in de opstandontwikkeling. Dit is besproken in hoofdstuk 29.

Het omslagpunt wordt bepaald door de gewenste takvrije stamlengete die de beheerder wenst te bereiken en kan daardoor nauwkeurig worden bepaald. Vaak wordt als grondslag voor het bepalen van het omslagpunt het gegeven genomen dat bij een boom die in opstandverband is opgegroeid, ongeveer 70% van het stamvolume zich bevindt in het onderste  $2/5$  deel van de totale boomhoogte (zie fig. 30-7). Van een 20 m hoge grove den zit dus ongeveer 70% van het houtvolume in de onderstam van 8 m. Belangrijker nog is te beseffen dat die 70% een nog groter deel van de waarde van het hout van de boom vertegenwoordigt. Immers, hoe dikker het hout, hoe gunstiger de verhouding tussen kosten en opbrengsten. Het dikke hout heeft per volume-eenheid lagere opwerkingskosten (kosten voor bewerkingen in het bos zoals vellen, snoeien, korten en uitrijden), minder kosten voor laden en lossen, relatief meer kwaliteitshout en een hoger zaagrendement. In het bovenste deel van de stam zit naar verhouding weinig (hout)kwaliteit en veel (snoei)werk. Dit alles leidt ertoe dat ruwweg 90% van de houtwaarde van een boom in het onderste  $2/5$  deel van de stamlengete zit.

Op basis van het voorgaande kan het omslagpunt worden gedefinieerd als het moment waarop bij de bomen in een opstand over een lengte van  $2/5$  van de te verwachte eindhoogte de takken zijn afgestorven (zie fig. 30-8). Het bereiken van het omslagpunt is dus niet aan een vast tijdstip gebonden. Voor langzaam groeiende bomen ligt dat moment later dan bij snelle groeiers op een goede groeiplaats. De te verwachten eindhoogte is over het algemeen goed af te leiden uit



**Figuur 30-7.** Aandeel in het totale stamvolume van vijf stamdelen van gelijke lengte, uitgaande van een kegelvormige stam en een stam met de vorm van een paraboloïde (zie Box 4.2). In het onderste  $2/5$  deel van het stamstuk bevindt zich respectievelijk 79% en 64% van het totale boomvolume.



**Figuur 30-8.** De bepaling van het omslagpunt. In de opstand links zijn de takken afgestorven over een stamlengte die overeenkomt met  $2/5$  van de verwachte eindhoogte van de boom, en is het omslagpunt bereikt.

de groei en hoogte van de bomen in de omgeving of uit de opbrengsttabel. Zo worden de grove dennen op de arme groeiplaatsen in Brabant en in de Kempen mogelijk niet veel hoger dan 15 m, op de betere plekken van de Veluwe bereiken de dennen 22 m. De gewenste lengte takvrije stam is daar respectievelijk 6 m en een kleine 9 m. De  $2/5$ -regel kan niet voor alle soorten en groeiplaatsen aangehouden worden. Op betere groeiplaatsen kan bijvoorbeeld een soort als eik 30 m hoog worden, wat zou betekenen dat pas gedund zou worden wanneer de bomen een takvrije stamlengte van 12 m bereikt hebben. De praktijk leert dat eerder dunnen de voorkeur verdient, om te voorkomen dat de kroon van de bomen te klein wordt en er risico op waterlotvorming na dunning ontstaat. Berk kan op betere groeiplaatsen 25 m hoog worden, maar heeft een beperkt vermogen om zijn kroon opnieuw uit te breiden na een lange dichte stand. Wachten tot 10 m takvrije stamlengte lijkt ook in dit geval niet aangewezen (zie ook Hein et al. 2009).

Als er minder waarde gehecht wordt aan de stamkwaliteit, maar meer aan het snel verkrijgen van dikke bomen, kan eerder met de dunningen worden begonnen. Dit betekent wel dat de bomen een lagere kroon aanzet behouden en dus veel langer levende takken houden in het onderste stamstuk. Het stamstuk met waardevol hout is bij dergelijke bomen dus korter dan zou kunnen. Om toch waardevol hout te krijgen kan een vroege dunning worden gecombineerd met het opsnoeien van de stam (zie hoofdstuk 31).

### 30.4 Ecologische aspecten van dunning

Naast de groei van de afzonderlijke bomen worden door dunning tal van andere ecologische processen

beïnvloed. Hier wordt achtereenvolgens ingegaan op de gevolgen voor het lichtregime en de waterbalans, de biologische bodemactiviteit en de nutriëntenkringloop, en de stormvastheid.

Dunning grijpt rechtstreeks in op de concurrentieverhouding tussen bomen. Concurrentie, als ecologisch proces, is uiteindelijk bepalend voor de structuur van een bos, de soortensamenstelling en daarmee ook de biodiversiteit. Via de sturing van de concurrentieverhoudingen heeft dunning op langere termijn een sterk sturende werking op al deze aspecten.

De concurrentiepositie van een boom wordt sterk bepaald door de hoeveelheid bladoppervlak en waar dit blad zich bevindt ten opzichte van de invallende straling (voor de lichtonderschepping, zie ook hoofdstuk 4) en de hoeveelheid en verdeling van wortels in het bodemprofiel. Door dunning neemt het blad- en/of naaldoppervlak in het kronendak af, en behalve dat er meer licht overblijft voor de resterende bomen, valt er ook meer licht op de bosbodem. Daardoor ontstaat er na dunning vaak een weelderigere en soortenrijkere ondergroei, afhankelijk van de intensiteit van de ingreep. Soms ontstaat er voor enkele jaren een duidelijke storingsvegetatie, die weer verdwijnt wanneer het kronendak zich na enkele jaren weer sluit.

Door het afgenomen bladoppervlak na dunning neemt in het algemeen de totale evapotranspiratie af, vooral door afname van de interceptieverliezen (zie hoofdstuk 10), waardoor de voorraad bodemvocht minder snel uitgeput raakt tijdens een droge periode. Ook is er hierdoor meer vocht beschikbaar voor de ondergroei. Ook dit effect is tijdelijk doordat het totale bladoppervlak na dunning weer toeneemt. Door dunning neemt de levende biomassa tijdelijk af en wordt organisch materiaal toegevoegd aan de strooisellaag. Ook neemt de microbiële activiteit in de bodem toe als gevolg van de verhoogde instraling op de bosbodem, waardoor het strooisel sneller afbreekt door de hogere temperatuur. In het algemeen hebben gedunde bestanden een dunner strooiselpakket, een hogere biologische bodemactiviteit met meer regenwormen en een gunstiger bodemstructuur dan ongedunde bestanden (André et al. 1994). Een dunning kan in dit verband gezien worden als een verstoring die leidt tot een verhoogde mineralisatie van organisch materiaal (strooisel). De totale koolstofvoorraad in het boscysteem neemt daardoor tijdelijk af als gevolg van de toegenomen afbraak van organisch materiaal en de afvoer van het dunningshout. Omdat de totale groei meestal niet of nauwelijks afneemt, is dit effect van korte duur, afhankelijk van de intensiteit van de dunning, zodat na de dunning de biomassa, evenals de totale koolstofvoorraad, weer toeneemt.

Door de toegenomen afbraak van organisch materiaal na dunning kan ook de beschikbaarheid van schaarse voedingsstoffen toenemen. Het strooisel bevat nutriënten zoals stikstof, fosfor en calcium, en bij afbraak van strooisel komen deze vrij in de strooisellaag en in de bovenste bodemlagen. Meestal worden deze voedingsstoffen meteen weer opgenomen door de wor-



tels van de resterende bomen, of worden ze gebonden aan het uitwisselingscomplex in de bodem. Bij zeer intensieve dunning, gecombineerd met een sterke verstoring van de strooisellaag, kan er uitloging van voedingsstoffen plaatsvinden. Dat moet voorkomen worden door de verstoring van de strooisellaag zo veel mogelijk te beperken.

In het algemeen is het wenselijk om te dunnen tijdens het winterseizoen, bij lage temperaturen, zodat de verstoring geringer is dan in de zomer met hogere temperaturen en veel biologische activiteit. Een bijkomend voordeel bij vorst in de winter is de veel geringere bodembeschadiging bij de uitsleep van stammen. Dunning in het voorjaar en de zomer dient ook vermeden te worden om de broedvogels niet te verstoren.

Het effect van dunning op de totale aanwas hangt van veel factoren af. Indien de intensiteit van de dunning zodanig is dat de lichtonderschepping door de blijvende opstand gereduceerd is, bijvoorbeeld bij een volkomenheidsgraad van 0,5, zal de lopende volumeaanwas afnemen. Om geen negatief effect van dunning op de productie te riskeren was het daarom vroeger gebruikelijk om te dunnen met een lage intensiteit en in korte intervallen ("früh, oft und mäßig", zie Heyer 1848). Daarbij werd veelal via laagdunning getracht een gesloten, uniform kronendak te bereiken. Maar bij concentratie van de volumeaanwas op zorgvuldig geselecteerde toekomstbomen neemt de waardeaanwas sterk toe, en dit compenseert een eventuele afname van de volumeaanwas. De afname in totale productie als gevolg van dunning wordt weergegeven in tabel 30-2, met daarin gegevens van een dunningsproef met beuk in het Zoniënwoud. Daarbij werd het

effect van verschillende soorten dunning op de totale productie bestudeerd in een langlopend experiment, vanaf 1897. In tabel 30-2 is te zien dat de totale werkhoutproductie 13-15% afneemt met toenemende dunningsintensiteit. In tabel 1 in Box 30.1 (Voorbeelden van een dunningsproef met fijnspar) wordt hetzelfde beschreven voor een dunningsexperiment met fijnspar, waar bij de sterkste dunning de totale aanwas 10% lager is dan in de onbehandelde opstand, maar waar de totale financiële waarde beduidend hoger is door de grotere stamdiameters.

In het algemeen kan gesteld worden dat dunning de aanwas enigszins negatief kan beïnvloeden, maar dat dit ruimschoots gecompenseerd wordt door de waardevermeerdering van de toekomstbomen. Het adagium 'früh, oft und mäßig' kan daarom beter vervangen worden door 'spät, nicht so oft und kräftig' (Klingen 2003) wanneer het gaat om de productie van hoogwaardig kwaliteitshout.

Dunning verandert de bosstructuur en daarmee ook het microklimaat in de opstand (zie hoofdstuk 9). Bij dunning wordt het kronendak geopend en dringen straling en wind dieper in het bos door. De uitwisseling van CO<sub>2</sub> en waterdamp met de atmosfeer neemt hierdoor toe, en de luchtvochtigheid onder het resterende kronendak neemt af, terwijl de temperatuur in het bos dicht bij de openveldtemperatuur komt te liggen. Het windprofiel in het kronendak verandert door de toegenomen ruwheid van het kronendak na dunning. Hierdoor zullen ook de depositie van luchtverontreiniging en de invang van fijnstof na dunning toenemen. Dit effect is waarschijnlijk echter beperkt,

**Tabel 30-2.** Dunningsproef Zoniënwoud: homogeen gelijkjarige beukenopstand van 1866, met aanleg dunningsproef in 1897. Opname uit 1980 (gegevens INBO). (NB: de gemiddelde aanwas heeft betrekking op het werkhoutvolume).

	Overblijvende opstand					Totale productie	
	Stamtal (N ha <sup>-1</sup> )	Werkhout-lengte <sup>4</sup> (m)	Dgem (cm)	Grondvlak (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Werkhout-volume <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Gemiddelde aanwas (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	Werkhout-volume <sup>4</sup> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
Zonder dunning	329	37	45.37	53.2	1050.0	11.8	1341.0
Zwakke laagdunning <sup>1</sup>	290	38	47.26	50.9	1033.3	11.1	1375.1
Matige laagdunning	222	38.5	50.71	44.9	926.3	12.1	1379.4
Sterke laagdunning <sup>2</sup>	109	37	58.95	29.8	590.4	10.5	1191.7
Zwakke hoogdunning <sup>3</sup>	175	35	51.41	36.3	698.8	10.5	1196.8
Matige hoogdunning	109	35.5	57.46	28.3	539.5	10.6	1202.8
Hoogdunning met toekomstbomen	113	34	56.04	27.9	531.5	10.2	1168.4

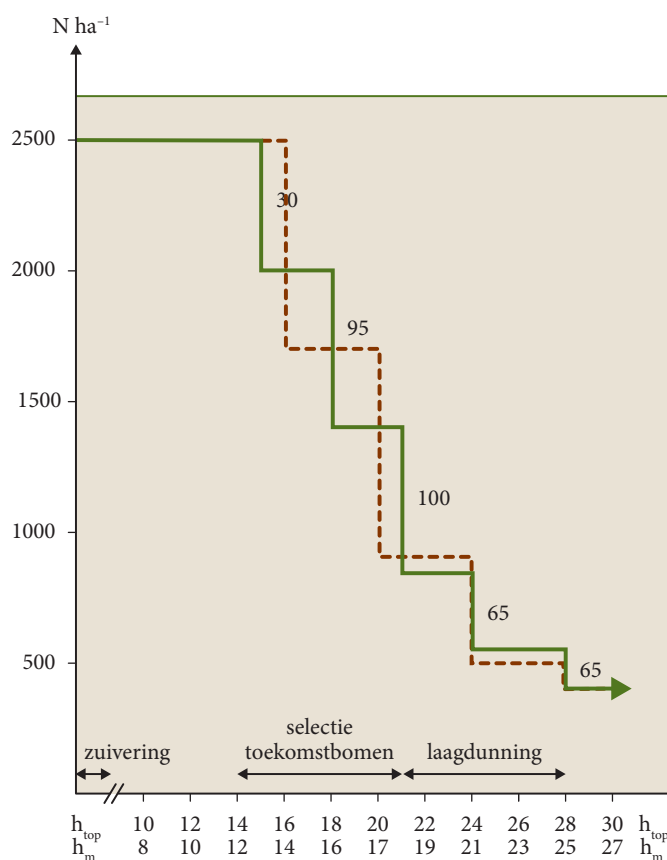
1. Enkel wegnemen van onderstandige en afstervende bomen.
2. Vrijstellen van dominante bomen door het wegnemen van alle onderstandige bomen.
3. Gedomineerde bomen blijven staan, smalkronige bomen in de bovenetage worden weggehaald.
4. Aftopdiameter 7 cm.

zeker bij de dunningsintensiteit waarmee we in het reguliere beheer te maken hebben. Voor een uitvoeriger behandeling van de ruwheid van een kronendak en de consequenties daarvan voor de uitwisseling met de atmosfeer wordt hier verwezen naar gespecialiseerde handboeken, zoals Jones (1992).

Dunning verhoogt de kans op windworp in de jaren direct volgend op de dunningsingreep. Hoe intensiever de dunning, hoe groter ook de kans op windworp direct na de dunning. Door het weghalen van kronen worden de resterende bomen meer aan de wind blootgesteld, waardoor het risico op windworp of stambreuk toeneemt. Deze blootstelling aan wind leidt tot een groeireactie in de overblijvende bomen, die vervolgens een sterker wortelstelsel en stam maken waardoor zij beter bestand raken tegen windkrachten en waardoor dus het risico op windworp afneemt (zie hoofdstuk 37). Onderzoek van windworp in Baden-Württemberg (Albrecht 2009) liet zien dat stevige dunningen in de eerste ontwikkelingsfasen de bomen meer bestand maakt tegen wind. Ook in de dunningsproef van 1897 in een beukenopstand in het Zoniënwoud bij Brus-

sel (zie tabel 30-2) bleken de ongedunde opstanden en de opstanden met laagdunning zeer gevoelig voor windworp, terwijl de opstanden met sterke hoogdunning en toekomstbomendunning zeer stabiel waren (Delvaux 1972). In latere ontwikkelingsfasen, wanneer de bomen hoger zijn, is het vooral belangrijk het kronendak zo veel mogelijk gesloten te houden zodat de opstand als geheel stabiel is door het onderlinge krooncontact (collectieve stabiliteit; zie hoofdstuk 37). Dit is vooral van belang bij windworpgevoelige soorten zoals fijnspar en douglas. De h/d-verhouding van een boom lijkt onder dergelijke omstandigheden een minder betrouwbare voorspeller van windworp. Vooral het wegdunnen van dominante bomen (in de eerste hoogdunningen) kan tot tijdelijk zeer instabiele opstanden leiden (Albrecht 2009).

### 30.5 Kwantitatieve aspecten van dunning



**Figuur 30-9.** Dunningsrichtlijnen aan de hand van stamtalcurves voor fijnspar. In de figuur zijn twee dunningsintensiteiten aangegeven waarbij met vier (stippellijn) respectievelijk vijf (volle lijn) dunningen het stamtal wordt teruggebracht van 2,500 tot 400 ha<sup>-1</sup>. Het tijdstip van de dunning wordt bepaald door de hoogte van de opstand. De dunning wordt ingezet bij een opperhoogte ( $h_{top}$ ) van 15 m of 16 m en de volgende dunning vindt dan plaats bij een  $h_{top}$ -toename van respectievelijk 3 m (volle lijn) of 4 m (stippellijn). De getallen 30-95-100-65-65 geven het volume (in m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) aan dat per dunning, in het geval van de volle lijn, geoogst wordt. Aanvankelijk vindt een toekomstbomendunning plaats, die vervolgens overgaat in een laagdunning (Abetz 1975).

De uitvoering van de dunning in de praktijk wordt sterk bepaald door de beoordeling van de groeiomstandigheden van de individuele bomen in de opstand. Om deze praktijkervaringen te bundelen en ten behoeve van het onderzoek van dunning zijn er in het verleden verschillende kwantitatieve benaderingen ontwikkeld om richtlijnen en vuistregels voor dunning te ontwikkelen. Een voorbeeld daarvan is de Stand Density Index van Reineke (1933, zie hoofdstuk 6). Deze indexen zijn te zien als indicatoren, waarmee het mogelijk wordt om een veldsituatie te vergelijken met een standaard, bijvoorbeeld in de vorm van opbrengsttabellen. Opbrengsttabellen moeten beschouwd worden als een statistische samenvatting van een groot aantal proefperken die over een lange reeks van jaren gemeten zijn (zie hoofdstuk 4). Deze proefperken zijn meestal beheerd conform de beheersystemen die gangbaar waren ten tijde van de metingen, en daarnaast kunnen de groeiomstandigheden gewijzigd zijn. Dit beperkt de waarde van opbrengsttabellen als vergelijkingsmateriaal voor het definiëren van dunningen.

De belangrijkste biometrische kenmerken van een bosopstand zijn hoogte (in een gelijkjarig bos meestal uitgedrukt als opperhoogte  $H_{top}$  of dominante hoogte  $H_{dom}$ ), stamtal per hectare en het grondvlak (zie tabel 4-1). In een gelijkjarig bos neemt, bij afwezigheid van dunning, het grondvlak bij gelijkblijvend stamtal toe door de diametergroei van de individuele bomen, totdat de dichtheid zo hoog wordt dat er mortaliteit (zelfdunning) optreedt. Stamtalreductie door dunning vindt meestal plaats ver voor het moment waarop mortaliteit optreedt. De eenvoudigste richtlijn voor de dunning maakt gebruik van de ontwikkeling van het stamtal, waarbij van een groot aantal individuen in de verjonging naar een beperkt aantal bomen in de eindopstand wordt toegewerkt. Afhankelijk van de

boomsoort en de maximale kroonvang die wenselijk is voor de groei van kwaliteitshout, kunnen dan op basis van ervaringen *modelstamtalcurves* (D: Baumzahlleitkurven; zie Kramer 1988) afgeleid worden, die als richtlijn voor de dunning kunnen gelden (zie fig. 30-9). Voor een bepaalde boniteit (groeiplaats) geeft de stamtalcurve een indicatie voor het gemiddelde stamtal dat gehandhaafd dient te worden om uiteindelijk het gewenste aantal bomen in de eindopstand te bereiken, zonder dat er aanwasverlies optreedt door te sterke dunningen.

Een variant op de modelstamtalcurves vormt het S-percentag (E: spacing-index) naar Hart-Becking (Hart 1928; Becking 1953). Het S% wordt berekend als de verhouding tussen de gemiddelde boomaafstand ( $a$ ) en de opperhoogte van de opstand ( $H_{top}$ ), weergegeven als percentage:

$$S\% = 100 \cdot (a / H_{top})$$

De gemiddelde boomaafstand kan uitgedrukt worden als functie van het stamtal. Bij een vierkantsverband is  $a$  eenvoudig te berekenen uit het stamtal  $N$  als  $a = 100 / \sqrt{N}$ . Bij een gegeven waarde voor het S% kan dan bij een zekere  $H_{top}$  de waarde voor  $a$  berekend worden als  $a = (H/100) \cdot S$ , waarna het gewenste stamtal  $N$  berekend kan worden uit de gemiddelde afstand  $a$  tussen de afzonderlijke bomen. Deze gemiddelde afstand hangt af van de ruimtelijke configuratie van de bomen. Bij een vierkantsverband geldt  $N = 10,000 / a^2$ ; bij een driehoeksverband geldt  $N = 10,000 / (0.5 \cdot \sqrt{3} \cdot a^2)$ , dat wil zeggen:  $N = 10,000 / (0.866 \cdot a^2)$ ; voor minder regelmatige verbanden ligt de waarde voor  $N$  tussen deze extremen:  $N = 10,000 / (0.933 \cdot a^2)$  (Assman 1961).

De dunningsintensiteit wordt vervolgens weergegeven als een na te streven waarde voor het S%, waarbij een hogere waarde voor S% correspondeert met een lage relatieve dichtheid. Het stamtal wordt vervolgens zodanig gereguleerd door middel van dunning dat er een stamtalcurve in relatie tot de hoogte ontstaat die de curve van het betreffende S% zo goed mogelijk volgt. Opvallend daarbij is dat dit ervoor zorgt dat, in het geval van laagdunning, de relatie tussen het stamtal en de gemiddelde diameter ( $d_g$ ) een rechte lijn volgt even-

wijdig aan de zelfdunningslijn (zie fig. 6-12). Op deze manier worden dunningsingrepen zodanig gemodelleerd dat enerzijds de dichtheid laag genoeg wordt gehouden om sterfte te voorkomen, maar anderzijds hoog genoeg blijft om geen verlies van productiviteit te veroorzaken.

Wanneer we de diameter van de bomen als maatstaf nemen, dan kan met de opbrengsttabellen als basis een eenvoudige vergelijkingsmaatstaf voor het grondvlak van de opstand berekend worden. Het grondvlak, zoals weergegeven in de opbrengsttabellen, dient dan als *normaal grondvlak* (waarbij het grondvlak na dunning wordt gebruikt). De verhouding tussen het werkelijke grondvlak bij een bepaalde leeftijd en het normale grondvlak uit de opbrengsttabel wordt de *volkomenheidsgraad* genoemd. Bij een volkomenheidsgraad van meer dan 1 kan er aanleiding zijn om te gaan dunnen. Bij een volkomenheidsgraad van minder dan 1 is de dichtheid geringer dan de referentiewaarde uit de tabel, en kan dunning vooralsnog achterwege blijven. Om aanwasverliezen te voorkomen wordt wel als vuistregel gehanteerd dat de volkomenheidsgraad niet lager dan 0.75 mag worden. Merk op dat hierbij de gemiddelde waarden voor een opstand worden vergeleken, terwijl eerder bij de bespreking van de verschillende dunningsmethoden individuele bomen en hun groeiomstandigheden beoordeeld werden. De opbrengsttabellen zijn dan ook niet zozeer bedoeld om dunningsrichtlijnen te geven, maar wel om opbrengstniveaus te beschrijven. Deze opbrengsten kunnen met verschillende opstandstructuren gerealiseerd worden.

Tot slot van dit hoofdstuk over dunning wordt in Box 30.1 nog een voorbeeld van dunningsproef met een fijnspar beschreven bij wijze van praktijkvoorbeeld van de hierboven aangehaalde aspecten.

## Aanbevolen literatuur

Balleux & Ponette (2006); Leibundgut (1978); Röhrig et al. (2006).

## Box 30.1 Voorbeelden van een dunningsproef met fijnspar

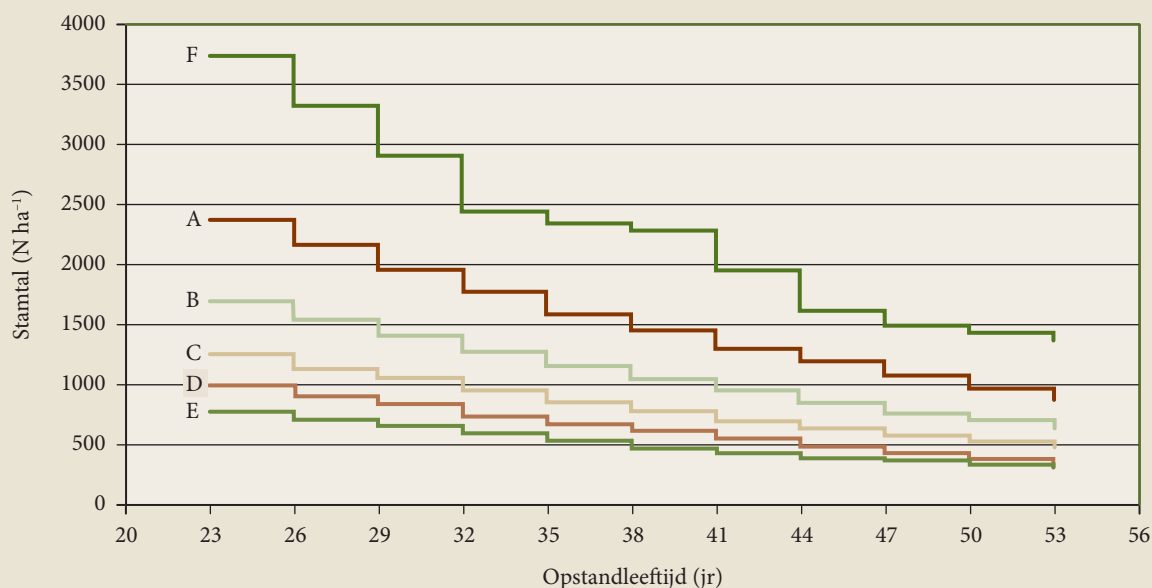
(André et al. 1994; Balleux & Ponette 2006)

De dunningsproef die kort toegelicht wordt, werd in 1970 opgestart in toen 23 jaar oude homogene, gelijkjarige fijnsparopstanden in Libin, Wallonië. De bedoeling van deze proef was in de eerste plaats om de invloed van verschillende dunningsregimes op de rentabiliteit na te gaan, maar daarnaast ook om inzicht te verwerven in de ecologische gevolgen van de dunningen.

De plantdichtheid bij aanplant was 4444 bomen  $\text{ha}^{-1}$  ( $1.5 \times 1.5 \text{ m}$ ). Door natuurlijke mortaliteit was dit in 1970 met 18% gereduceerd tot circa 3600 bomen  $\text{ha}^{-1}$ . Er werden vijf dunningsbehandelingen (A tot E) en één controle aangelegd (F). Het zijn allemaal toekomstboomsystemen met toenemende intensiteit van A naar E, waarbij het de bedoeling was om toe te werken naar een uiteindelijke onderlinge afstand tussen de toekomstbomen van 3,6 m bij behandeling A ( $880 \text{ ha}^{-1}$ ) tot 6 m bij behandeling E ( $320 \text{ ha}^{-1}$ ). Bij de eerste dunning in 1970 werd bij behandeling A 30% van het stamtal en 15% grondvlak verwijderd, bij behandeling E was dit respectievelijk 79% en 62%. Nadien werd iedere drie jaar nog tien keer gedund (laatste keer in het jaar 2000), waarbij telkens tussen 2 en 17% van de bomen werd weggenomen (fig. 1). Bij elke dunningsronde werden alle bomen in de opstanden opgemeten waardoor een goede inschatting gemaakt kon worden van de groeidynamiek in de opstanden. Deze wordt samengevat in tabel 1. Het is duidelijk dat de behandelingen een grote invloed hebben op de opstandkenmerken na elf dunningen. Naarmate de behandelingsintensiteit toeneemt, zijn stamtal, grondvlak en voorraad lager terwijl de gemiddelde boomomtrek groter is. De behandelingen hebben echter nauwelijks

invloed op de totale productie. Door het feit dat de aanwas bij de sterkere dunningen geconcentreerd wordt in minder, maar sneller groeiende en dus dikkere bomen na 53 jaar, is er wel een verschil in de totale financiële opbrengst. Bovendien wordt bij de sterkere dunningen ook een beduidend grotere vooropbrengst gerealiseerd. Uit onderzoek naar de technologische kwaliteit van het hout bleek bovendien dat de lagere houtdichtheid in de sneller gegroeide bomen aanvaardbaar was. Aangezien de stammen al over een voldoende lengte takvrij waren bij de aanvang van de dunning in 1970, was de impact van de dunningsintensiteit op takkigheid beperkt.

De verschillen in dunningsintensiteit hadden ook een impact op de ecologische kenmerken van de bestanden. In de sterkst gedunde bestanden bereikten grotere hoeveelheden licht en water de bosbodem en waren de temperatuurfluctuaties groter dan in de minder sterk gedunde bestanden (André et al. 2004). Jonard et al. (2006) toonden daarnaast aan dat bij de sterkste dunning (E) de gezamenlijke massa van de OL-, OF- en OH-laag  $45.3 \text{ ton ha}^{-1}$  bedroeg terwijl deze in de ongedunde controleopstand (F) bijna 10 ton hoger was. Het aantal regenwormen (vooral epigeïsche) was duidelijk hoger bij sterke dunning. De nutriëntenstatus (bepaald als de concentraties van N, P en K in de naalden) was evenwel slechter in de sterk gedunde opstanden, vermoedelijk door afvoer van de nutriënten opgeslagen in de dunningsbomen en door reductie van de nutriëntenvoorraden en bewortelingsruimte in het humusprofiel.



**Figuur 1.** Overzicht van de stamtafname volgens de opstandleeftijd (periode 1970-2000) bij de verschillende behandelingen (A tot E) en in de ongedunde controleopstand (F). Zie tekst voor meer uitleg over de behandelingen.

**Tabel 1.** Overzicht van de uitkomsten van de verschillende behandelingen in het jaar 2000, na 11 dunningen en bij een opstandleeftijd van 53 jaar (naar Balleux & Ponette 2006).

Variabele	Behandeling					
	F	A	B	C	D	E
Stamtal (N ha <sup>-1</sup> )	1367	873	633	480	360	320
Gem. omtrek op borsthoogte (cm)	67.7	76.4	85.6	93.1	101.5	108.4
Grondvlak (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	52.9	42.4	38.0	34.1	30.2	30.4
Voorraad (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	637	524	477	429	379	380
Volume gecumuleerde dunningen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	127 <sup>1</sup>	226	277	307	329	315
Totale productie (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	764	750	754	736	708	695
Gem. aanwas (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> jr <sup>-1</sup> )	14.4	14.1	14.2	13.9	13.4	13.1
Fin. waarde (€ ha <sup>-1</sup> )	18981	21607	25013	26716	28179	28530
Voorraad	18981	21241	23403	23225	21930	22783
Gecumuleerde dunningen <sup>2</sup>	-	366 (1.7%) <sup>3</sup>	1610 (6.4%) <sup>3</sup>	3491 (13.1%) <sup>3</sup>	6249 (22.2%) <sup>3</sup>	5746 (20.1%) <sup>3</sup>

1. Natuurlijke mortaliteit tussen 1970 en 2000, voornamelijk door zelfdunning.

2. Gekapitaliseerd met een rentevoet van 3.2%.

3. % van de totale waarde.

