

meeste gevallen ontstaan branden in gebouwen niet door het aanwezige hout, maar door een andere brandbare stof. Door het toepassen van bepaalde constructies kan de ontvlambaarheid van hout aanzienlijk worden beperkt, evenals door behandeling met brandvertragende middelen. Men moet evenwel in de praktijk terdege rekening houden met deze eigenschap.

Wanneer de gunstige eigenschappen worden gesteld naast de bezwaren – die dus in vele gevallen grotendeels kunnen worden opgeheven – dan blijken de eerstgenoemde ontegenzeggelijk te overheersen, waardoor het hout als een zeer te waarden materiaal kan worden beschouwd en zeker niet in de laatste plaats als bouw materiaal. En het succes van hout als bouw materiaal is verzekerd als men zich goed rekenschap geeft van de eigenschappen, die het bezit: zijn goede en zijn kwade!

#### **Why wood in building and for structural use?**

In this article the applications of wood as a building material are mentioned in short. Further the favourable qualities and the drawbacks of the material are mentioned. The latter can, however, be removed for the greater part by special arrangements.

## METHODE TOEGEPAST BIJ HET OPSTELLEN VAN SORTEEVOORSCHRIFTEN VOOR NAALDHOUT

*Bij het opstellen van sorteervoorschriften voor hout, met het doel in het gesorteerde hout hogere spanningen toe te laten, kan met behulp van de mathematische statistiek zowel de gunstige invloed van het sorteren op de gemiddelde sterkte als die op de spreiding in de sterkte doeltreffend in rekening worden gebracht. Deze methode van interpreteren, toegepast op de uitkomsten van een verricht onderzoek op naaldhout, wordt aan de hand van enkele voorbeelden toegelicht.*

Voor een economische toepassing van hout in constructies is het gewenst uit het in Nederland geïmporteerde, ongesorteerde, naaldhout een partij constructiehout af te splitsen, waarvoor hogere toelaatbare spanningen dan de gebruikelijke kunnen worden ingevoerd. Volgens de Technische Grondslagen voor Bouwvoorschriften (T.G.B. 1955) mag een spanningsverhoging worden toegelaten van 50%, mits wordt gelet op bijzondere sortering en kwaliteit van het hout. In het betreffende voorschrift staat echter nog niet aangegeven, volgens welke regels dit hout dan gesorteerd dient te worden. Dit is de reden, waarom door het Houtinstituut T.N.O., in samenwerking met het Houtvoorlichtingsinstituut en het Instituut T.N.O. voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies een onderzoek werd geëntameerd, waaruit zou moeten volgen, volgens welke regels naaldhout gesorteerd moet worden om ca. 50% hogere spanningen te mogen toelaten.

Daar een groot gedeelte van het in Nederland toegepaste naaldhout aan buiging wordt onderworpen (men denke b.v. aan balklagen), werd het onderzoek begonnen met een bestudering van de buigsterkte. Van een groot aantal balken (ca. 700 stuks) van diverse afmetingen en verkregen van verschillende Nederlandse werven (zodanig, dat zo goed mogelijk het in ons land gebruikelijke constructiehout werd vertegenwoordigd), werd door middel van buigproeven de sterkte en de stijfheid bepaald. Van al deze balken werden zoveel mogelijk gegevens als afmetingen, draadverloop, vochtgehalte, groei-ringbreedte, kwastafmetingen en plaats van de kwasten, volume-gewicht, rot, wan, enz., genoteerd.

Met behulp van de mathematische statistiek werd onderzocht door welke grootheden de buigsterkte wordt beïnvloed. Er bleek b.v. een duidelijk verband te bestaan tussen de buigsterkte en de elasticiteitsmodulus. Correlaties tussen de buigsterkte enerzijds en respectievelijk de gemiddelde groei-ring-

breedte en de kwastafmetingen anderzijds, waren eveneens, hoewel minder duidelijk, aanwezig. Daar een sorteringwijze slechts kans van slagen heeft, indien het sorteren eenvoudig en visueel kan geschieden, werd besloten voorlopig te volstaan met een werkwijze, waarbij de groeiringbreedte en de kwastafmetingen als belangrijkste parameters werden ingevoerd. In navolging van het buitenland werden hieraan nog andere visuele kenmerken als draadverloop, wan, rot, enz. toegevoegd.

Nu eenmaal bekend was, welke grootheden in de sorteerregels als indicatoren van de houtkwaliteit in aanmerking kwamen, dienden de begrenzings van deze grootheden vastgesteld te worden en wel zodanig, dat een verhoging van de gebruikelijke toelaatbare buigspanning met 50% voor een gesorteerde partij verantwoord zou zijn. Uit de gegevens van de verrichte proeven en uit gegevens afkomstig van in het buitenland uitgevoerde onderzoeken zijn deze grenzen vastgelegd.

Daar buigproeven slechts informaties verschaffen over de buigsterkte, terwijl de genoemde verhoging betrekking heeft op de toelaatbare buigspanning, is het, voor het vaststellen van de begrenzings, noodzakelijk een verband te leggen tussen de sterkte en de toelaatbare spanning. Tot nu toe was het gebruikelijk dit verband aan te geven met behulp van de veiligheidscoëfficiënt, zijnde het quotiënt van gemiddelde sterkte en toelaatbare spanning. Een verantwoorde methode om de grootte van de veiligheidscoëfficiënt vast te stellen bestaat echter nog niet. Men zou een gebruikelijke waarde kunnen aannemen; voor naaldhout is deze waarde ongeveer 5, hetgeen wil zeggen, dat voor het onderzochte hout, waarvoor de toelaatbare buigspanning  $70 \text{ kg/cm}^2$  bedraagt, de gemiddelde buigsterkte ca.  $350 \text{ kg/cm}^2$  behoort te zijn. Voor een toelaatbare spanning van  $105 \text{ kg/cm}^2$  zou het hout dus zo gesorteerd moeten worden, dat de gemiddelde buigsterkte van deze gesorteerde partij ca.  $525 \text{ kg/cm}^2$  is.

De kans op bezwijken van een constructie of constructiedeel wordt bij een gegeven belasting echter niet alleen en zelfs niet in de eerste plaats bepaald door de gemiddelde sterkte. De spreiding in de sterkte speelt een belangrijke rol. Daarom is getracht een interpretatie-methode te vinden, waarbij ook deze spreiding verwerkt kan worden. Ter inleiding van deze methode zullen in het onderstaande enkele grondbeginselen van de mathematische statistiek worden toegelicht.

De grootte van de spreiding wordt uitgedrukt in de zgn. standaardafwijking. In fig. 1 is ter illustratie het resultaat van een groot aantal proeven in een histogram weergegeven. Op de horizontale as is de sterkte, onderverdeeld in gelijke intervallen, uitgezet. Het oppervlak van elk zuiltje, dat bij een indeling in even brede intervallen evenredig is met de hoogte van het zuiltje, geeft op een bepaalde schaal percentsgewijze aan het aantal proefstukken, dat voldoet aan de betreffende sterkteklasse. De som van al deze oppervlakken is dus 100% ofwel 1. Vervangt men de, door de zuiltjes gevormde, trapjeslijn door een

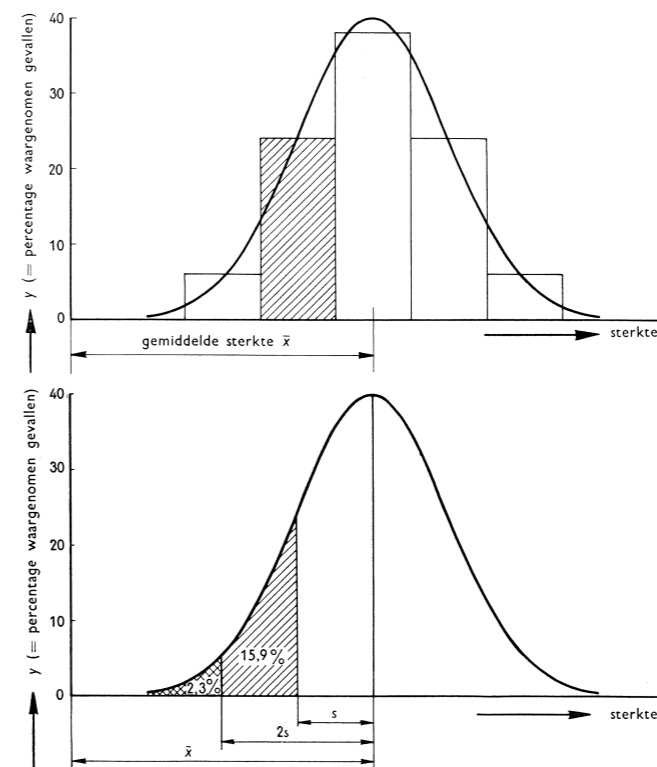


Fig. 1 Histogram

Fig. 2 De waarschijnlijkheid dat de sterkte

$< \bar{x} - s = 15,9\%$   
of  $< \bar{x} - 2s = 2,3\%$

vloeiende lijn, dan verkrijgt men bij een normale verdeling een kromme, waarvoor de formule geldt:

$$y = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2s^2}}$$

waarin  $s$  = standaardafwijking

$x_i$  = sterkte van een proefstuk

$\bar{x}$  = gemiddelde sterkte

Deze kromme wordt de Gauss-kromme of Gauss-Laplace-kromme genoemd.

Het grootste aantal waarnemingen is in dit symmetrische geval gelegen bij de gemiddelde sterkte  $\bar{x}$ . Het aantal proefstukken, waarbij de sterkte kleiner is dan een bepaalde waarde  $x$  wordt bepaald door het oppervlak van dat gedeelte van het histogram, dat gelegen is links van  $x$ . Zo geldt b.v. in het geval van de normale verdeling (zie fig. 2)<sup>1)</sup>:

in 15,9% van de gevallen is de sterkte  $< \bar{x} - s$

in 2,3% van de gevallen is de sterkte  $< \bar{x} - 2s$

in 0,1% van de gevallen is de sterkte  $< \bar{x} - 3s$

In de zgn. cumulatieve verdelingscurve wordt op de verticale as in procenten

<sup>1)</sup> Men zie o.a.: I.B.C.-mededelingen 5 (1957) No. 4.

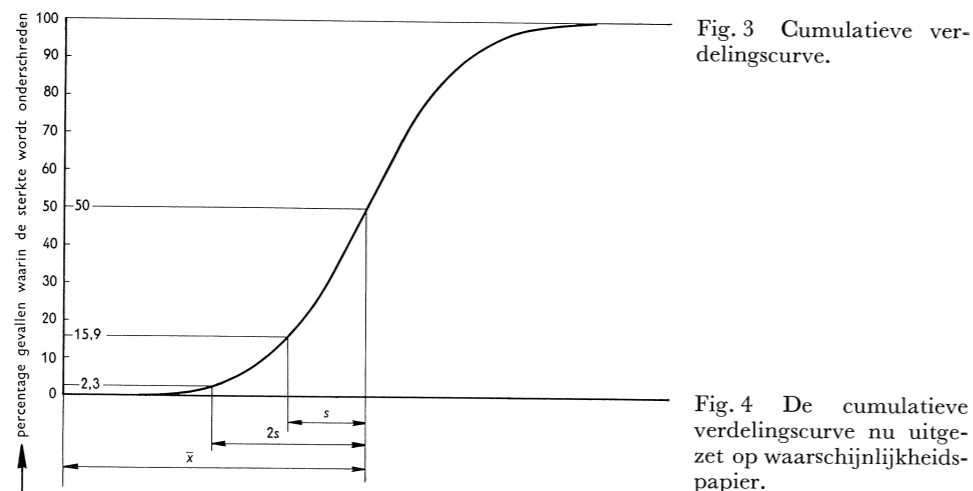


Fig. 3 Cumulative verdelingscurve.

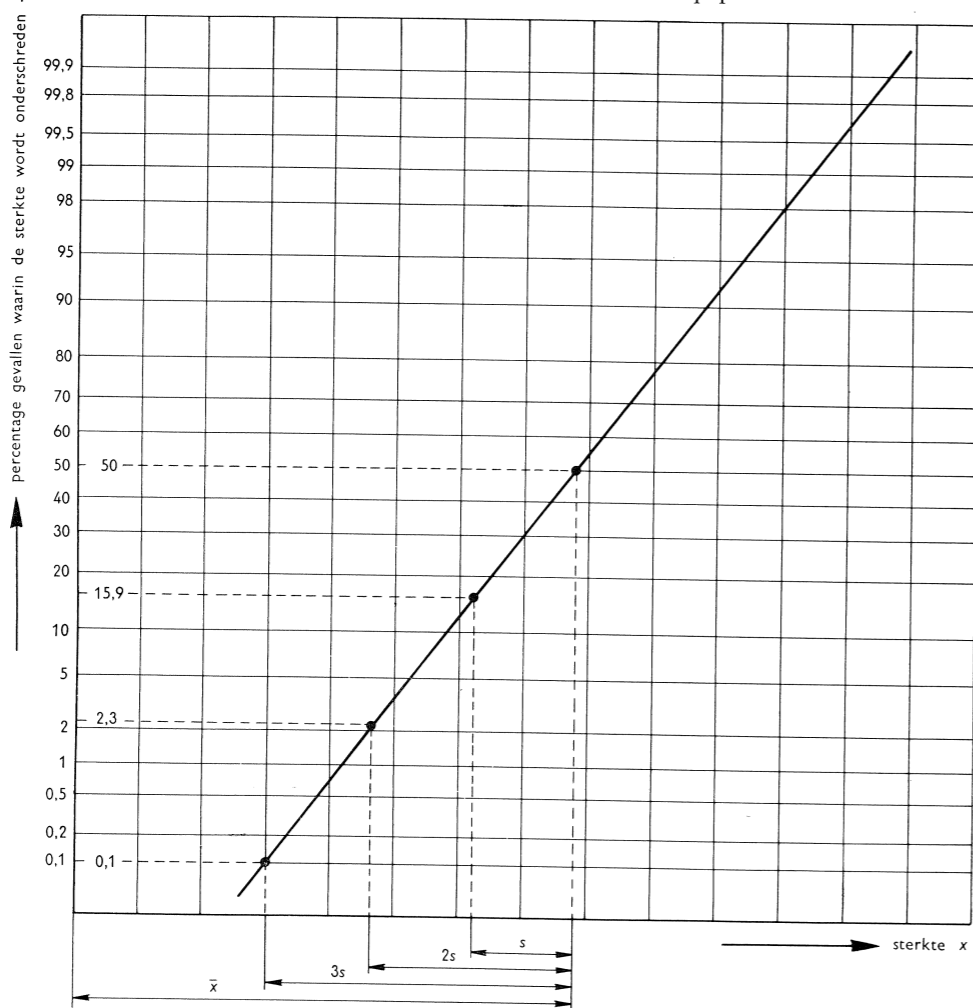


Fig. 4 De cumulatieve verdelingscurve nu uitgezet op waarschijnlijkheidspapier.

bij een bepaalde sterkte uitgezet het totaal aantal waargenomen gevallen, waarvan de sterkte kleiner is dan de betreffende sterkte. Deze cumulatieve curve (zie fig. 3) is dus de integraal van de in fig. 1 en 2 gegeven curve. Het is mogelijk de schaalverdeling op de verticale as zodanig te wijzigen, dat bij een normale verdeling de cumulatieve verdelingscurve een rechte lijn wordt. In fig. 4 is deze schaalverdeling van het zgn. „waarschijnlijkheidspapier” weergegeven. Het 50%-punt correspondeert bij een normale en zelfs bij iedere symmetrische verdeling met de gemiddelde sterkte  $\bar{x}$ , de helling van de rechte lijn is een maat voor de standaardafwijking. Deze standaardafwijking is af te lezen als het verschil in sterkte, behorend bij resp. het 50%-punt en het 15,9%-punt.

Ten einde de eventuele gunstige invloed van een houtsortering, zowel op de gemiddelde sterkte als op de spreiding, in rekening te kunnen brengen is bij de interpretatie van de buigproeven nu als volgt te werk gegaan:

Op waarschijnlijkheidspapier werden de uitkomsten van de buigsterkte van de totale, beproefde en nog niet gesorteerde, partij hout weergegeven; in fig. 5 geeft dit lijn I. De gebruikelijke toelaatbare spanning voor deze partij is 70 kg/cm<sup>2</sup>. Uit deze figuur blijkt na een extrapolatie, dat de kans, dat de buigsterkte kleiner is dan deze toelaatbare spanning van de orde van grootte van 1<sup>0</sup>/<sub>100</sub> is. Wordt een groot aantal balken beproefd, dan zal bij ca. 1 balk per 1000 balken de sterkte dus kleiner zijn dan 70 kg/cm<sup>2</sup>. Uiteraard is de kans op bezwijken van een constructie, vervaardigd van hout van dergelijke kwaliteit, veel kleiner, omdat in werkelijkheid de spanning van 70 kg/cm<sup>2</sup> zelden optreedt.

De verdeling blijkt niet geheel normaal te zijn. Het 50%-punt is gelegen bij een buigsterkte van ca. 370 kg/cm<sup>2</sup>; het 15,9%-punt bij ca. 250 kg/cm<sup>2</sup>, hetgeen bij een normale verdeling zou corresponderen met een standaardafwijking van ca. 120 kg/cm<sup>2</sup>.

Wordt uit de totale partij hout op een bepaalde wijze een gedeelte gesorteerd, dan kunnen voor het gesorteerde gedeelte de uitkomsten van de buigsterkte op dezelfde wijze in een grafiek worden weergegeven. Voor dit gedeelte kan, bij een aangenomen toelaatbare spanning, de kans worden bepaald, dat deze wordt onderschreden. Omgekeerd kan ook bij een geaccepteerde kans op overschrijding, welke men ten hoogste gelijk zal stellen aan de tot nu toe geaccepteerde kans, de toelaatbare spanning worden vastgesteld. Afhankelijk van de toegepaste sorteeregels zullen volgens deze laatste werkwijze verschillende toelaatbare spanningen worden gevonden. Tevens bepalen deze regels de omvang van het gesorteerde gedeelte. Het opstellen van definitieve sorteeregels zal zodanig dienen te geschieden, dat enerzijds een redelijke verhoging van de toelaatbare spanning wordt verkregen en dat anderzijds het gesorteerde gedeelte een redelijk percentage vormt van de oorspronkelijke partij. In fig. 5 lijn II is, als voorbeeld, de cumulatieve verdelingscurve aan-

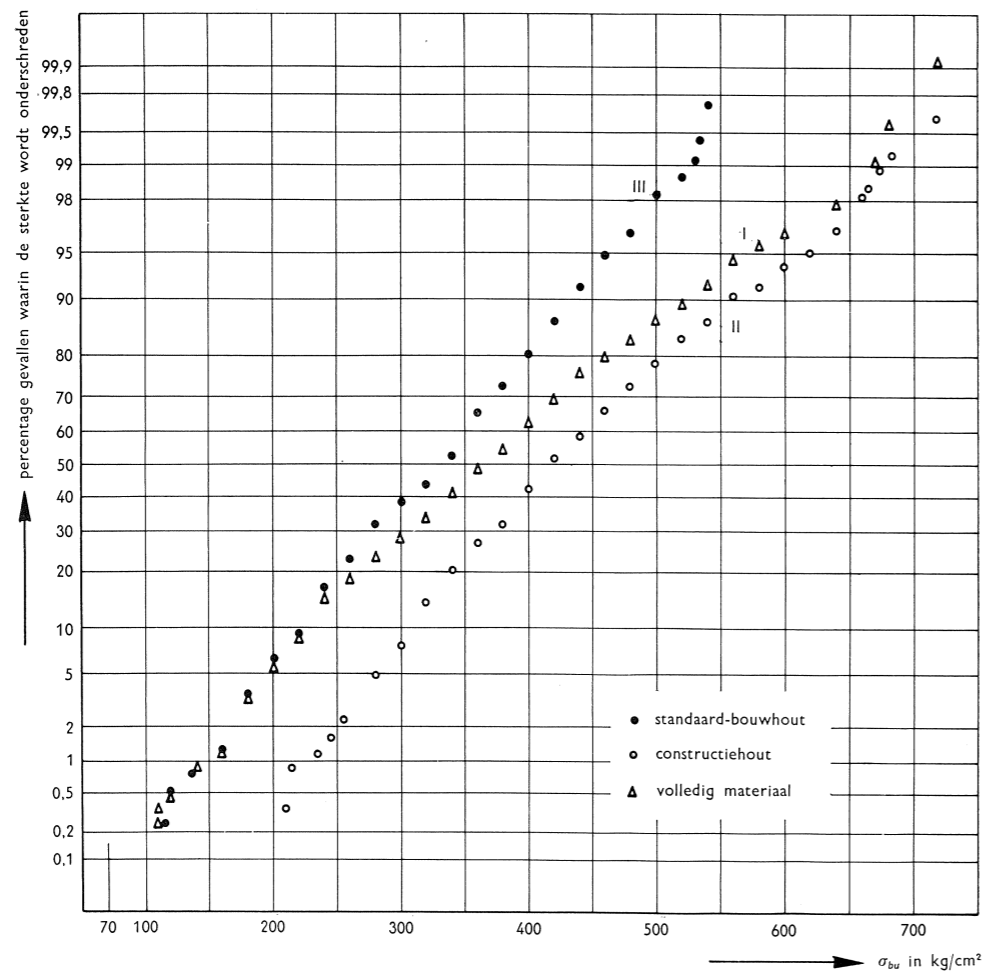


Fig. 5 Cumulatieve verdelingscurve voor de buigsterkte  $\sigma_{bu}$  van Middeneuropees naaldhout.

gegeven voor een uit de totale partij gesorteerd gedeelte, waarvoor o.a. geldt:  
 groeiringsbreedte  $< 4$  mm  
 kwastindex  $< 0,4$

Onder de kwastindex wordt verstaan de verhouding van de doorsnede van de kwast op de smalle zijde van het hout en de breedte van het hout ter plaatse. Voor het op deze wijze gesorteerde hout komt het 50%-punt overeen met  $420 \text{ kg/cm}^2$ . De gemiddelde sterkte is dus door het sorteren met ca.  $50 \text{ kg/cm}^2$  gestegen. Voor het 15,9%-punt geldt  $330 \text{ kg/cm}^2$ , wat bij een normale verdeling zou corresponderen met een standaardafwijking van  $90 \text{ kg/cm}^2$  tegen  $120 \text{ kg/cm}^2$  bij ongesorteerd hout. Door het sorteren is de spreiding dus eveneens gunstig beïnvloed. Dit heeft tot gevolg, dat, zoals uit de extrapolatie van

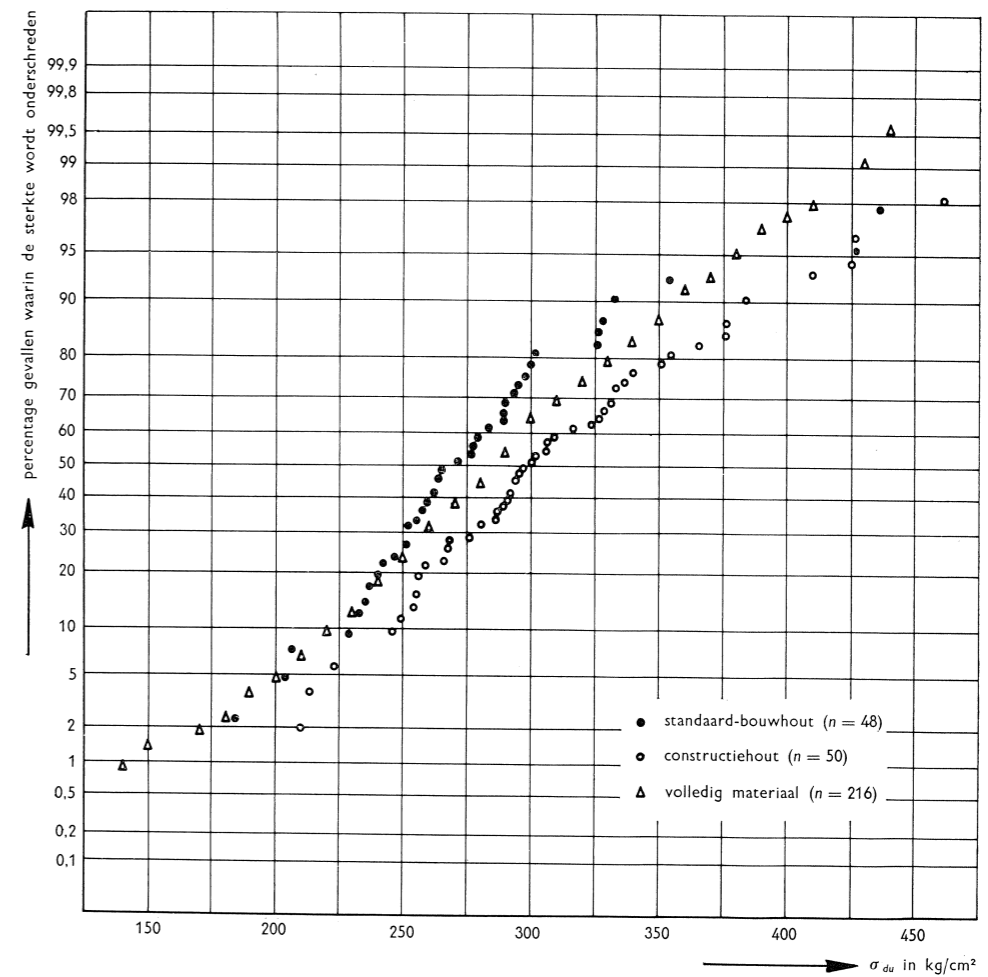


Fig. 6 Cumulatieve verdelingscurve voor de druksterkte evenwijdig aan de vezelrichting  $\sigma_{du}$  voor Middeneuropees naaldhout.

de verdelingscurve blijkt, een kans van  $1/1000$  onderschrijding correspondeert met een buigspanning van ca.  $170 \text{ kg/cm}^2$ .

Het is dus volgens dit diagram zeker verantwoord voor deze gesorteerde partij hout de toelaatbare buigspanning op  $105$  à  $110 \text{ kg/cm}^2$  te stellen. De veiligheidsmarge van deze waarde ten opzichte van de „theoretische” waarde van  $170 \text{ kg/cm}^2$  werd o.a. wenselijk geacht in verband met de omstandigheid, dat voor de bepaling van de toelaatbare spanning op bovenstaande wijze de cumulatieve verdelingscurven geëxtrapoleerd moesten worden.

Het op deze wijze uit een totale partij gesorteerde hout is „constructiehout” genoemd. Heeft men het goede constructie-hout geselecteerd, dan is de resterende partij hout uiteraard van mindere kwaliteit dan de totale partij.

Door uit deze resterende partij de slechtste stukken te verwijderen (b.v. door hout met kwastindex  $> 0,75$  af te keuren) is het echter mogelijk weer een partij hout te verkrijgen (het „standaard-bouwhout”), waarvoor als toelaatbare spanning wederom  $70 \text{ kg/cm}^2$  toegelaten kan worden. In fig. 5 is het resultaat van dit bouwhout met de lijn III aangegeven. Hieruit ziet men duidelijk, dat de gemiddelde sterkte van bouwhout lager is dan die van niet gesorteerd hout, maar dat, dank zij de kleinere spreiding, de kans op onderschrijding van  $70 \text{ kg/cm}^2$  niet merkbaar verschilt van de overeenkomstige kans bij niet gesorteerd hout.

Op bovenstaande wijze is het dus mogelijk met behulp van de waarschijnlijkheidsrekening het tot nu toe gebruikte naaldhout te splitsen in twee klassen, t.w. in „standaard-bouwhout” en in „constructie-hout”, waarvoor als toelaatbare buigspanning mag worden ingevoerd resp.  $70$  en  $105$  à  $110 \text{ kg/cm}^2$ . De kans op bezwijken is bij een constructie, ontworpen op deze spanningen, gelijk aan of kleiner dan de tot nu toe blijkbaar geaccepteerde kans bij gebruik van ongesorteerd hout en een toelaatbare buigspanning van  $70 \text{ kg/cm}^2$ .

Nadat het onderzoek van de buigsterkte was afgesloten, werd een oriënterend onderzoek op een klein aantal balken verricht naar de druksterkte in de vezelrichting. Het hout werd daartoe weer gesorteerd op de wijze, die voor de buigsterkte deugdelijk was gebleken. In fig. 6 is het resultaat van dit laatste onderzoek gegeven. Het blijkt, dat het effect van deze sortering op de druksterkte veel minder duidelijk is dan op de buigsterkte. Dit is dan ook de reden, waarom het onderzoek naar een sorteringswijze voor de druksterkte nog wordt voortgezet. Uit de tot nu toe beschikbare gegevens blijkt niet duidelijk, dat de toelaatbare drukspanning na sortering op de wijze, zoals beschreven voor de buigspanningen, verhoogd mag worden.

#### **Method applied when drawing up grading regulations for coniferous wood**

When drawing up regulations for the grading of wood with a view of admitting higher stress in the graded wood, it is possible to bring into calculation effectively with the aid of mathematical statistics, the favourable influence of the grading on the average strength as well as that on the spreading in the strength. This method of interpretation, applied during an investigation of coniferous wood, is illustrated by reference to some examples.

## ENKELE BESCHOUWINGEN OVER HET VERVAARDIGEN VAN GELIJMDE, DRAGENDE, HOUTCONSTRUCTIES

*Bij gelijmde, dragende, houtconstructies kunnen de eigenschappen van het hout gunstig worden benut. De vervaardiging dient evenwel zeer zorgvuldig te geschieden teneinde verzekerd te zijn van de deugdelijkheid van de constructies. Enkele belangrijke voorwaarden, waaraan bij de fabricage dient te worden voldaan, worden besproken.*

### **Inleiding**

In de utiliteitsbouw nemen de gelijmde, dragende, houtconstructies een belangrijke plaats in. Dit is niet te verwonderen als men bedenkt, dat juist door het verlijmen bepaalde gunstige eigenschappen van het hout beter tot uiting komen, terwijl enkele bezwaren grotendeels kunnen worden ondervangen.

Zo kunnen door het verlijmen de natuurlijke gebreken als kwasten en onregelmatig draadverloop beter worden verdeeld, terwijl het hout van betere kwaliteit op die plaatsen kan worden aangebracht, waar hogere spanningen zullen optreden. Constructies of constructiedelen van grote afmetingen kunnen worden opgebouwd uit kleine delen. Grote gebogen delen kunnen eenvoudig worden vervaardigd door planken van  $18$ – $25$  mm dikte vooraf te buigen en daarna door middel van lijmen samen te voegen. Bij de vormgeving beschikt men dus over meer graden van vrijheid (zie de foto's op pag. 70). Voorts kan in het algemeen worden gesteld, dat men de maatvoering beter in de hand heeft.

Gelijmde houtconstructies bezitten evenwel het bezwaar, dat fouten, gemaakt bij de fabricage, zich in een later stadium kunnen openbaren als ernstige gebreken. Een controle aan het gereedgekomen produkt is veelal niet voldoende om eventueel gemaakte fouten te herkennen. Het is dus noodzakelijk, dat de vervaardiging geschiedt met toepassing van goed gekozen grondstoffen – hout en lijm – en volgens een juiste methode, zodat de kans op fouten zo gering mogelijk is. Het ligt om deze reden in de bedoeling van de „Vereniging van Nederlandse Gemeenten” certificaten te gaan verstrekken aan die fabrieken, die aan te stellen eisen voldoen, vrijwel op de wijze als in Duitsland reeds enige tijd gebruikelijk is.

### **Richtlijnen**

Door het Houtinstituut T.N.O. zijn richtlijnen voor de vervaardiging van gelijmde, dragende, houtconstructies opgesteld. Deze richtlijnen zijn voor een deel gebaseerd op eigen onderzoekingen en ervaringen met betrekking tot in de praktijk veel gemaakte fouten en voor een deel spruiten zij voort uit de resul-