

DE VEILIGHEID VAN HOUTVERBINDINGEN

U.D.C. 624.046.5;
624.01

In een tweetal eerder verschenen artikelen [5, 6] zijn de belangrijkste factoren besproken die de veiligheid van een constructie beïnvloeden en is de wijze behandeld, waarop de afgeleide veiligheidsformule in eenvoudige en meer ingewikkelde gevallen kan worden toegepast.*

In het hieronder volgende artikel wordt deze theorie gebruikt voor het afleiden van de toelaatbare belastingen voor verschillende typen houtverbindingen. Een groot aantal verzamelde gegevens over hun sterkte-eigenschappen resp. die van het daarbij gebruikte hout zijn daartoe in beschouwing genomen, ten einde te trachten hieraan basiswaarden te ontleen die kunnen leiden tot een voor alle beschouwde verbindingmiddelen gelijke mate van veiligheid. De verkregen uitkomst wordt in par. 6 verkort samengevat.

0 Inleiding

Naarmate meer gegevens betreffende de sterkte van houtverbindingen uit onderzoek ter beschikking kwamen, is aandacht besteed aan de wijze waarop de toelaatbare belastingen daaruit bepaald zouden kunnen worden. Bij het opstellen van een documentatieblad over verbindingen met ringdeuvels $\varnothing 73$ mm [9] is daartoe reeds een studie verricht [5], die leidde tot een algemene theorie, waaruit het voorstel resulteerde bij dit verbindingmiddel voor de verhouding tussen sterkte en toelaatbare belasting een waarde van ca. 3,5 aan te houden.

Een verdergaand onderzoek, zich uitstrekkend over andere verbindingen, zoals die met ringdeuvels $\varnothing 112$ mm, kramplaten, bouten resp. draadnagels, en met hetzelfde doel, is als vervolg op bovengenoemde studie verricht. Daar bovendien de laatste tijd een vrij groot aantal gegevens over de sterkte-eigenschappen van hout ter beschikking zijn gekomen en ook enkele ervaringen omtrent de verhouding tussen hout- en verbindingsterkte beschikbaar zijn, kon voldaan worden aan de wens het vraagstuk in zijn geheel aan de orde te stellen.

Lijst van symbolen

\bar{G} = gemiddelde permanente belasting	u = vochtgehalte van hout
\bar{P} = gemiddelde veranderlijke belasting	v_g = variatiecoëfficiënt van G
$\bar{Q} = \bar{G} + \bar{P}$ = gemiddelde totale belasting	v_s = variatiecoëfficiënt van S
\bar{S} = gemiddelde sterkte	w = verhouding tussen breukbelasting en toelaatbare belasting
f_{st} = statistische index	α = lasthoek
r = correlatiecoëfficiënt	$\hat{\sigma}_d$ = druksterkte
s_q = standaardafwijking van Q	$\hat{\sigma}_s$ = stuksterkte
s_s = standaardafwijking van S	$\hat{\tau}$ = schuifsterkte
\hat{s} = splijfsterkte	ψ = verhouding tussen optredende en theoretische breukbelasting
t_g = tijdfactor voor de permanente belasting G	

* Zie literatuurlijst pag. 43.

Met dit artikel wordt beoogd een afsluiting van dit probleem te geven op een voor alle beschouwde verbindingsmiddelen uniforme wijze.

De studie bleef beperkt tot de bovengenoemde typen verbindingsmiddelen, toegepast in vure-, denne- en grenehout. Een uitbreiding tot andere verbindingsmiddelen en/of andere houtsoorten is mogelijk indien daarover voldoende gegevens bekend zijn. Opgemerkt wordt dat als uitgangspunt bij de afleiding van toelaatbare belastingen voor houtverbindingen gesteld is, dat deze alleen bepaald worden door de sterkte van de verbinding en niet door de grootte van de verschuiving bij de gebruiksbelasting. Door bovendien gegevens te verstrekken over deze verschuivingen, die de vervorming en de stijfheid van een constructie mede bepalen, kunnen de verschillende verbindingsmiddelen onderling in dit opzicht worden vergeleken. Indien bij bepaalde constructies eisen aan de vervorming zouden worden gesteld, kunnen deze uiteraard voor de toelaatbare belasting van de gehele constructie maatgevend worden.

1 De veiligheidsformule volgens de statistische methode

In het reeds genoemde artikel in IBC-Mededelingen [5], vergelijk ook [6], is als verband tussen de gemiddelde sterkte \bar{S} en de gemiddelde totale belasting \bar{Q} afgeleid:

$$f_{st} = \frac{\bar{S} - \bar{Q}}{\sqrt{s_s^2 + s_q^2}} \dots \dots \dots (1)$$

Hierin kan voor \bar{Q} geschreven worden: $\bar{Q} = \bar{G} + \bar{P}$, waarin \bar{G} de gemiddelde permanente belasting en \bar{P} de gemiddelde veranderlijke belasting is. Met behulp van (1) kan worden nagegaan welke combinaties van \bar{G} en \bar{P} in bepaalde gevallen toelaatbaar zijn.

Sterkte en belasting zijn geen van elkaar onafhankelijke grootheden: tussen beide kan een wisselwerking bestaan, die tot uitdrukking wordt gebracht door het invoeren van een tijdfactor. Deze tijdfactor is een maat voor de, door de belasting waarop hij betrekking heeft, veroorzaakte sterktevermindering.

Een langer durende belasting geeft een grotere sterktevermindering dan een kort durende belasting van dezelfde grootte en heeft dus een grotere tijdfactor (in beide gevallen is verondersteld dat de belasting zo groot is dat van sterktevermindering sprake is).

In het vervolg worden alleen die belastingscombinaties beschouwd waarbij $\bar{P} = 0$, en derhalve alleen een permanente belasting G aanwezig is. Dit betekent dat de met behulp van de in dit artikel gevonden resultaten vast te stellen toelaatbare belastingen gelden voor dit, voor hout ongunstige, geval van permanente belasting. Voor korter durende belastingen kunnen hogere waarden worden toegelaten; op welke wijze het gunstige effect hiervan in rekening wordt gebracht komt in dit artikel echter niet aan de orde.

Wanneer de bij de permanente belasting G behorende tijdfactor t_g wordt

genoemd, dan kan in (1) worden ingevuld $\bar{Q} = t_g \bar{G}$, waardoor (1) overgaat in:

$$f_{st} = \frac{\bar{S} - t_g \bar{G}}{\sqrt{v_s^2 \bar{S}^2 + t_g^2 v_g^2 \bar{G}^2}} \dots \dots \dots (2)$$

Na kwadrateren volgt als oplossing van $\frac{\bar{S}}{\bar{G}}$ hieruit:

$$\frac{\bar{S}}{\bar{G}} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - (1 - f_{st}^2 v_s^2)(1 - f_{st}^2 v_g^2)}}{1 - f_{st}^2 v_s^2} \cdot t_g \dots \dots \dots (3)$$

Hierin is:

- f_{st} - de statistische index, een maat voor de veiligheid;
- v_s - de variatiecoëfficiënt van de sterkte van de verbindingen;
- v_g - de variatiecoëfficiënt van de belasting G ;
- t_g - de tijdfactor van de (permanente) belasting G .

De verhouding \bar{S}/\bar{G} , dit is de verhouding tussen de gemiddelde sterkte \bar{S} en de toelaatbare permanente belasting \bar{G} , wordt in het vervolg = w genoemd.

In overeenstemming met hetgeen in [5] en [6] is voorgesteld wordt voor f_{st} de waarde $f_{st} = 2,5$ aangehouden en $v_g = 10\%$ genomen, waarmede:

$$w = \frac{1 + \sqrt{1 - 0,9375(1 - 6,25v_s^2)}}{1 - 6,25v_s^2} \cdot t_g \dots \dots \dots (4)$$

Alvorens de grootte van v_s en t_g te bespreken volgt eerst een overzicht van de sterkte-eigenschappen van het in een groot aantal verbindingen voorkomende hout.

2 Sterktecijfers van vurehout

2.1 Nederlandse cijfers

Sinds enkele jaren worden regelmatig gegevens verzameld betreffende de sterkte-eigenschappen van het hout, waaruit de in het Stevin-laboratorium onderzochte verbindingen zijn opgebouwd. Aldus zijn een groot aantal druk-, stuik-, schuif- en slijtproeven uitgevoerd. De afmetingen van de hiervoor gebruikte proefstukjes staan in fig. 1. Het vochtgehalte van het hout bij de beproeving bedroeg gemiddeld ca. 12%. Om een eventueel verband tussen verbindingsterkte en houtsterkte te kunnen aantonen zijn de proefstukken, na het bezwijken van de verbinding, zoveel mogelijk gezaagd uit de directe omgeving van het verbindingsmiddel. Hoewel de proeven voornamelijk betrekking hebben op vurehout, kunnen de verkregen resultaten, zoals veelal gebruikelijk, ook worden toegepast op denne- en grenehout.

Een samenvatting van alle proefresultaten geeft tabel 1, alsmede fig. 2, waarin de histogrammen van de sterkte-eigenschappen zijn getekend. Fig. 3

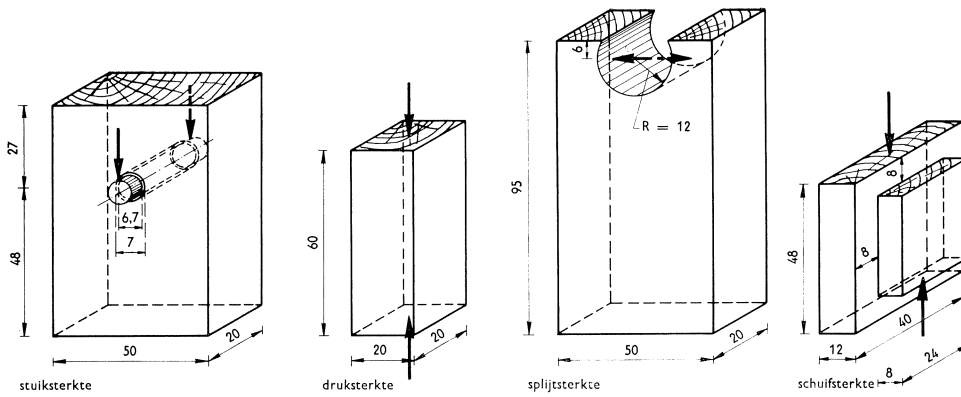


Fig. 1. Afmetingen van de proefstukken ter bepaling van de sterkte-eigenschappen van hout.

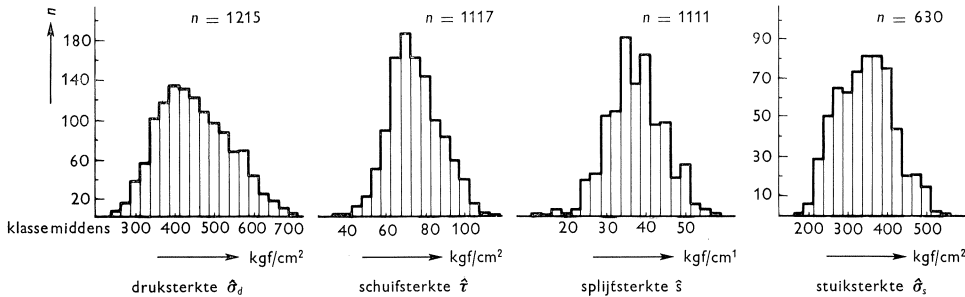


Fig. 2. Histogrammen van de sterkte-eigenschappen van vurehout.

Tabel 1. Sterktecijfers vurehout gevonden aan kleine proefstukjes *).

sterkte-eigenschap	gemiddelde waarde	standaard-afwijking	variatie-coëfficiënt	aantal proefstukken
druksterkte $\hat{\sigma}_d$	450 kgf/cm ²	88,9 kgf/cm ²	19,7%	1215
stuijsterkte $\hat{\sigma}_s$	345 kgf/cm ²	70,2 kgf/cm ²	20,3%	630
schuifsterkte $\hat{\tau}$	74,7 kgf/cm ²	12,8 kgf/cm ²	17,1%	1117
spleijsterkte \hat{s}	37,4 kgf/cm ¹	7,1 kgf/cm ¹	18,9%	1111

*) De waarde van de schuifsterkte is in sterke mate afhankelijk van de vorm en de afmetingen van het proefstuk; de in de tabel vermelde gemiddelde waarde zal daarom meestal niet de in verbindingen optredende waarde zijn. Eenzelfde opmerking geldt voor de gevonden spleijsterkte.

geeft de cumulatieve frequentieverdelingen van de vier onderzochte eigenschappen.

Uit een en ander blijkt dat de sterkte-eigenschappen bij benadering normaal verdeeld zijn, uitgezonderd in het gebied van de lage sterktecijfers. Hier treedt een vrij duidelijke afwijking van de normale verdeling op, die in twee van de vier gevallen bestaat uit het in sterk verminderde mate aanwezig zijn van een „staart”.¹⁾ Het feit dat bij de spleijsterkte wel een verhoudingsgewijs groot

¹⁾ Het aantal waarnemingen in zo'n staart is vanzelfsprekend niet groot, zodat aan het beloop van de frequentieverdeling in dat gebied niet te veel gewicht mag worden toegekend.

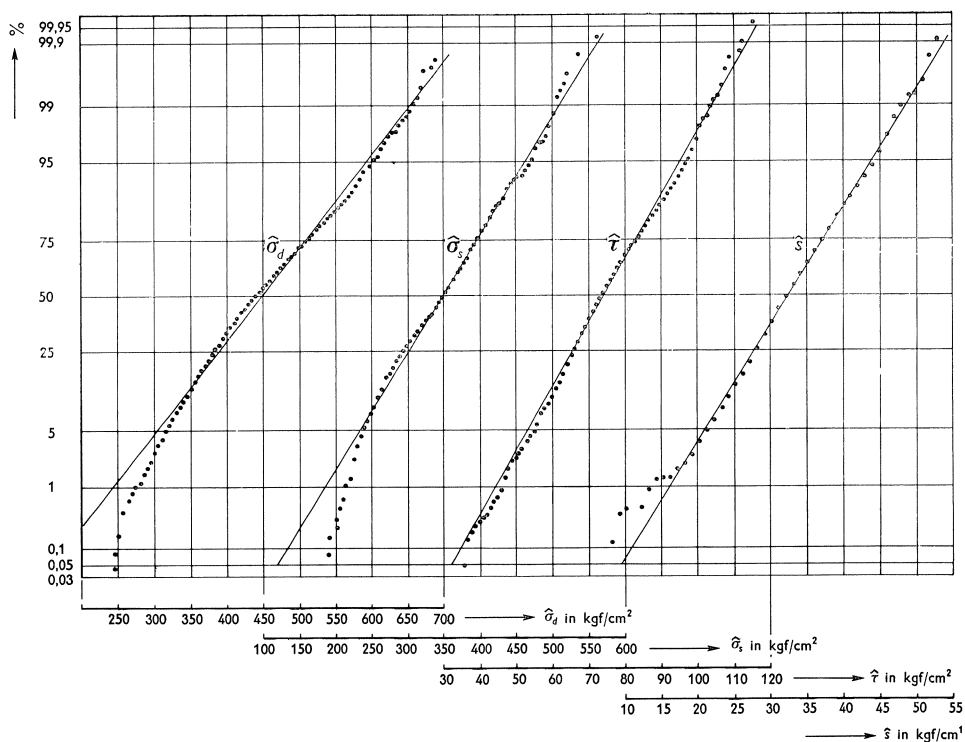


Fig. 3. Cumulatieve frequentieverdeling van de sterkte-eigenschappen van vurehout.

aantal lage waarden optreedt kan een gevolg zijn van reeds vóór de beproeving aanwezige scheurtjes, ontstaan ten gevolge van b.v. het drogen van het hout of de beproeving van de verbinding.

De gehele populatie is opgebouwd uit verschillende partijen hout, die onderling soms sterk afwijkende gemiddelde sterktecijfers hadden. Door dit feit en het grote aantal proeven krijgen de in tabel 1 vermelde cijfers een positieve betekenis. Om na te gaan of er sprake is van voldoende representatie van het in Nederland in de bouw gebruikte vurehout, zijn voorts nog een aantal gegevens vermeld betreffende de druksterkte, de eigenschap waarover het meest bekend is.

Tabel 2a geeft een overzicht van de voor ons van belang zijnde resultaten van het naaldhoutonderzoek van het Houtinstituut TNO.¹⁾ Opgemerkt wordt dat het hier drukproeven op hout van grote afmetingen betreft, zodat de cijfers niet direct vergelijkbaar zijn met de bij kleine proefstukken gevonden sterktecijfers.

Verwacht mag worden dat er tussen beide een verband bestaat, en wel zodanig dat de gemiddelde sterkte uit grote proefstukken verkregen lager uitvalt

¹⁾ Bedoeld is het onderzoek ten behoeve van de naaldhoutsortering, opgenomen in NEN 3180 (KVH 1958).

dan die uit kleine, terwijl een kleinere variatiecoëfficiënt zal worden gevonden. Deze verwachting wordt bevestigd bij vergelijking van tabel 2 met tabel 1.

De in tabel 1 vermelde cijfers betreffen steeds kleine, nagenoeg foutvrije proefstukken. *Het is aannemelijk dat juist deze waarden van belang zijn voor de sterkte van een verbinding.* Bij vergelijking van tabel 2 met tabel 1 moet deze omstandigheid in het oog worden gehouden. Vooral speelt dit een rol bij de in tabel 2b vermelde proefresultaten van het Stevin-laboratorium (bron [14]), daar het in dit geval ongekeurd hout betrof dat in bepaalde gevallen zelfs niet aan de eisen voor standaardbouwhout voldeed. Zowel het kwaliteitsverschil als de invloed van het vochtgehalte op de druksterkte komen duidelijk tot uitdrukking in de TNO-cijfers van tabel 2a.

Tabel 2. Druksterkte vurehout – Proefresultaten grote afmetingen.

a. Naaldhoutonderzoek TNO (afmetingen $5 \times 15 \times 40$ cm en $8 \times 20 \times 40$ cm). Bron [12]

	$\hat{\sigma}_{d_{gem}}$ kgf/cm ²	variatie- coëfficiënt %	aantal proefstukken	volumegewicht	vochtgehalte %
<i>constructiehout</i>					
316		17	76	0,45	14–20
447		11	29	0,45	11
329		14	111	0,47	16
272		15	42	0,48	20
222		18	38	0,49	27
<i>standaardbouwhout</i>					
282		18	59	0,46	14–20
368		11	25	0,45	11
283		14	131	0,46	16
239		11	53	0,47	20
201		16	44	0,48	27

b. Proeven Stevin-laboratorium

bron	$\hat{\sigma}_{d_{gem}}$ kgf/cm ²	variatie- coëfficiënt %	aantal proefst.	volumedichtheid	vochtgehalte %	afmetingen mm
[14]	272	15	26	0,30–0,40	ca. 15?	$\left\{ \begin{array}{l} 70 \times 105 \times 600 \\ 70 \times 215 \times 600 \end{array} \right.$
[18]	404	10	36	–	ca. 11	

2.2 Correlatie tussen de sterkte-eigenschappen

Van een groot aantal stukken hout is de correlatie tussen de verschillende sterkte-eigenschappen nagegaan. Het resultaat van dit onderzoek is vermeld in tabel 3, waarin het aantal bij het onderzoek betrokken paren proefstukken en de correlatiecoëfficiënt r zijn vermeld.

Tabel 3. Correlatie tussen de sterkte-eigenschappen van vurehout.

sterkte-eigenschappen	r	aantal paren
druksterkte–stuiksterkte	0,78	564
druksterkte–schuifsterkte	0,21	1081
druksterkte–splijtsterkte	0,26	1081
schuifsterkte–splijtsterkte	0,33	1064

Uit deze tabel blijkt geen duidelijk verband tussen de druksterkte enerzijds en de schuif- en splijtsterkte anderzijds, noch tussen de schuif- en splijtsterkte onderling, doch wel een duidelijke correlatie tussen de druksterkte en de stuiksterkte. Voor het verband tussen deze beide is (afgerond) gevonden:

$$\hat{\sigma}_s = (0,6\hat{\sigma}_a + 60) \text{ kgf/cm}^2 \dots \dots \dots (5)$$

Deze betrekking geldt bij een vochtgehalte van gemiddeld 12%.

2.3 Buitenlandse sterktecijfers

Nadere informatie over hout van dezelfde herkomst als het in Nederland geïmporteerde wordt ook verstrekt door de in tabel 4 vermelde proefresultaten van het Forest Products Research Laboratory te Princes Risborough, Engeland. Bij een vochtgehalte van 12% werd aan kleine proefstukken een gemiddelde druksterkte van 400 kgf/cm² gevonden en een variatiecoëfficiënt van 13%. Het betrof hier hout met een laag volumegewicht. Dit betekent dat de gemiddelde waarde aan de lage kant zal zijn. Wegens het ontbreken van hout met een groter volumegewicht zal ook de variatiecoëfficiënt klein zijn.

Tabel 4. Druksterkte vurehout – Proefresultaten Forest Products Research Lab., Princes Risborough, Engeland.

(Afmetingen 2×2×6 cm resp. 5×5×15 cm; resultaten van 5×5×15 cm herleid tot 2×2×6 cm door ze te delen door 0,96). Bronnen [10] en [11].

hout	$\hat{\sigma}_{d_{gem}}$ kgf/cm ²	variatie- coëfficiënt %	aantal proefst.	uit aantal balken	volumegewicht	vochtgehalte %
1. Engels vuren	389	13	132	15	0,37	12
2. Joegoslavisch vuren	380	13	46	8	0,38	12
3. Engels vuren	415	–	–	18	0,43	12
idem 1	159	16	133	15	–	nat
idem 2	200	14	48	8	–	nat
idem 3	191	–	–	18	–	nat

F. KOLLMANN [3] geeft voor de gemiddelde druksterkte van foutvrij vurehout, afmetingen 2×2 cm of 5×5 cm, vochtgehalte $u = 12\%$: 500 kgf/cm²; als minimum en maximum geeft hij 350 resp. 790 kgf/cm². Voor foutvrij dennehout zijn de overeenkomstige cijfers: gem. 470 kgf/cm²; min. en max.: 310 resp.

590 kgf/cm². Voor foutvrij grenehout gem. 550 kgf/cm²; min. en max. 350 resp. 940 kgf/cm².

L. ČIŽEK [1] maakt melding van door G. JANKA uitgevoerde drukproeven op Middeneuropees vuren. Van 1277 drukproeven met afmetingen 10 × 10 × 10 cm was de gemiddelde druksterkte 360 kgf/cm², en de variatiecoëfficiënt 14%. Voorts vermeldt hij dat 375 proeven met afmetingen 4 × 4 × 6 cm een gemiddelde druksterkte van 530 kgf/cm² opleverden met een variatiecoëfficiënt van eveneens 14%.

G. SCHNEEWEISS [8] vond uit 40 proeven op prisma's 3 × 3 × 4,5 cm een gemiddelde druksterkte van 298 kgf/cm² bij een gemiddeld vochtgehalte $u = 18,5\%$. De variatiecoëfficiënt bedroeg 19%, terwijl het volumegewicht (Rohwichte) $r_u = 0,395$ kg/dm³ was.

T. MATEUS [7] heeft een zeer groot aantal proeven verricht op Pinus pinaster Ait., onder meer drukproeven op 2 × 2 × 6 cm bij een vochtgehalte $u = 12\%$. Hij vond een vrij groot verschil tussen de resultaten van wel en niet foutvrij hout; de variatiecoëfficiënt was 18%.

Onderlinge vergelijking van al deze gegevens wordt bemoeilijkt door de verschillen in afmetingen en vochtgehalte van de proefstukken.

2.4 Sterkte en vochtgehalte

Het verband tussen de druksterkte en het vochtgehalte van vurehout is weergegeven in fig. 4. De gegevens voor deze figuur zijn ontleend aan [12]. De beide getrokken krommen geven het verband van druksterkte en vochtgehalte voor kleine geheel foutvrije proefstukken (ontleend aan KOLLMANN) resp. voor constructiehout van grote afmetingen (resultaten onderzoek TNO). Het in tabel 1 gevonden gemiddelde voor de druksterkte, groot 450 kgf/cm² bij gemiddeld 12% vochtgehalte, blijkt midden tussen beide krommen te liggen.

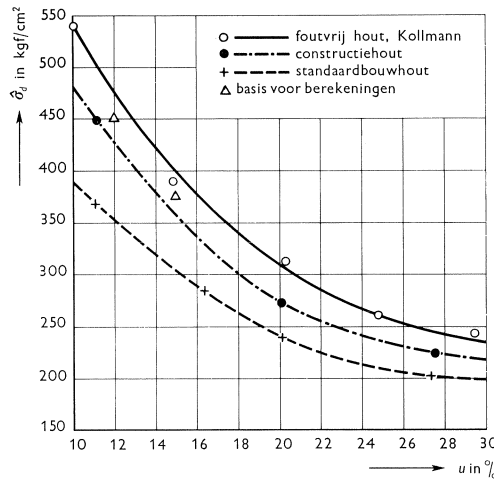


Fig. 4. Verband tussen druksterkte en vochtgehalte van vurehout.

Het verband tussen stuiksterkte en vochtgehalte is anders dan dat tussen druksterkte en vochtgehalte. FAHLBUSCH [2] heeft een formule voorgesteld, geldig voor vochtgehalten u tussen 5% en 30%, die als volgt luidt:

$$\hat{\sigma}_{s,u} = \hat{\sigma}_{s,12\%} \cdot \frac{12+14}{u+14} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (6)$$

2.5 Conclusie

Alle in het bovenstaande vermelde resultaten in aanmerking genomen, lijkt de conclusie gewettigd dat als basis voor berekeningen e.d. aangehouden kan worden voor de druksterkte: $\hat{\sigma}_a = 450 \text{ kgf/cm}^2$ bij $u = 12\%$, of $\hat{\sigma}_a = 375 \text{ kgf/cm}^2$ bij $u = 15\%$.

Wellicht ten overvloede wordt opgemerkt dat deze waarden gelden voor kleine proefstukken.

Uitgaande van de gevonden basiswaarde voor de druksterkte $\hat{\sigma}_a = 450 \text{ kgf/cm}^2$ bij $u = 12\%$ en gebruik makende van de bij $u = 12\%$ geldende formule (5) wordt voor de stuksterkte afgeleid:

$$\hat{\sigma}_s = 330 \text{ kgf/cm}^2 \text{ bij } u = 12\%.$$

Toepassing van (6) levert de waarde van de stuksterkte bij $u = 15\%$:

$$\hat{\sigma}_s = 330 \cdot \frac{12+14}{15+14} = 296, \text{ afgerond } 300 \text{ kgf/cm}^2.$$

Resumerend vinden wij dat voor het in Nederland in de bouw toegepaste vurehout gerekend kan worden met de in tabel 5 vermelde cijfers voor de druksterkte en stuksterkte van kleine nagenoeg foutvrije proefstukken.

Tabel 5. In berekeningen aan te houden gemiddelde sterktecijfers.

vochtgehalte $u \%$	12	15
druksterkte $\hat{\sigma}_a \text{ kgf/cm}^2$	450	375
stuksterkte $\hat{\sigma}_s \text{ kgf/cm}^2$	330	300

3 De bij verbindingen aanwezige variatiecoëfficiënt van de sterkte, v_s

Een benadering van de variatiecoëfficiënten van de sterkte bij de verschillende typen verbindingen kan geschieden door uit te gaan van de proefresultaten.

Van alle in de loop der jaren in het Stevin-laboratorium beproefde verbindingen is berekend de verhouding ψ tussen de opgetreden breukbelasting en de theoretische sterkte. Deze laatste is bepaald met behulp van [9] en de daaraan ten grondslag liggende theorie [4] en [16] voor verbindingen met ringdeuvels $\varnothing 73 \text{ mm}$, alsmede van [20] voor ringdeuvels $\varnothing 112 \text{ mm}$. Bij de bout- en draadnagelverbindingen is gebruik gemaakt van de in [13] resp. [19] gegeven theoretische afleidingen. Bij de kramplaatverbindingen is het boutaandeel berekend met behulp van de in [13] gegeven theorie, het kramplaatdeel volgt uit de in [17] vermelde proefresultaten. Het resultaat van al deze berekeningen¹⁾ is vermeld in tabel 6, waarin de gemiddelde waarde en de variatiecoëfficiënt van ψ per type verbindingsmiddel zijn opgenomen.

¹⁾ Een uitvoerige verantwoording van de werkwijze is gegeven in bijvoegsel 6 van [21].

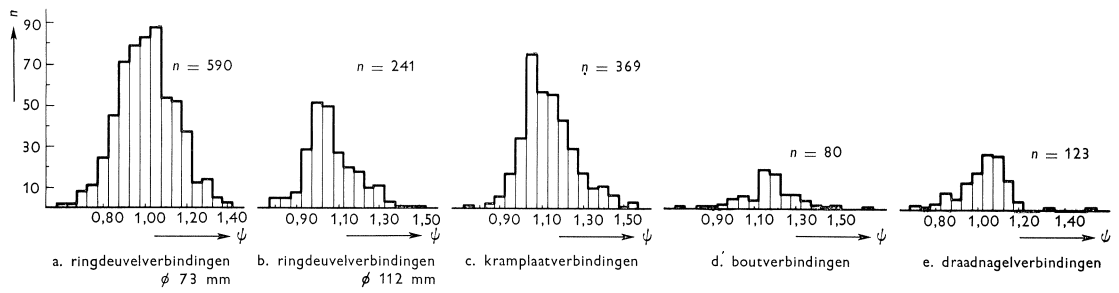


Fig. 5. Histogrammen van $\psi = \frac{\text{optredende breukbelasting}}{\text{theoretische breukbelasting}}$ bij verschillende verbindingen.

Tabel 6. Gemiddelde waarde en variatiecoëfficiënt van ψ per verbindingmiddel.

verbindingmiddel	ψ_{gem}	variatiecoëfficiënt %	aantal proefstukken
ringdeuvels ϕ 73 mm	1,01	13,7	590
ringdeuvels ϕ 112 mm	1,06	11,5	241
kramplaten	1,14	11,3	369
bouten	1,18	12,1	80
draadnagels	1,03	11,5	123

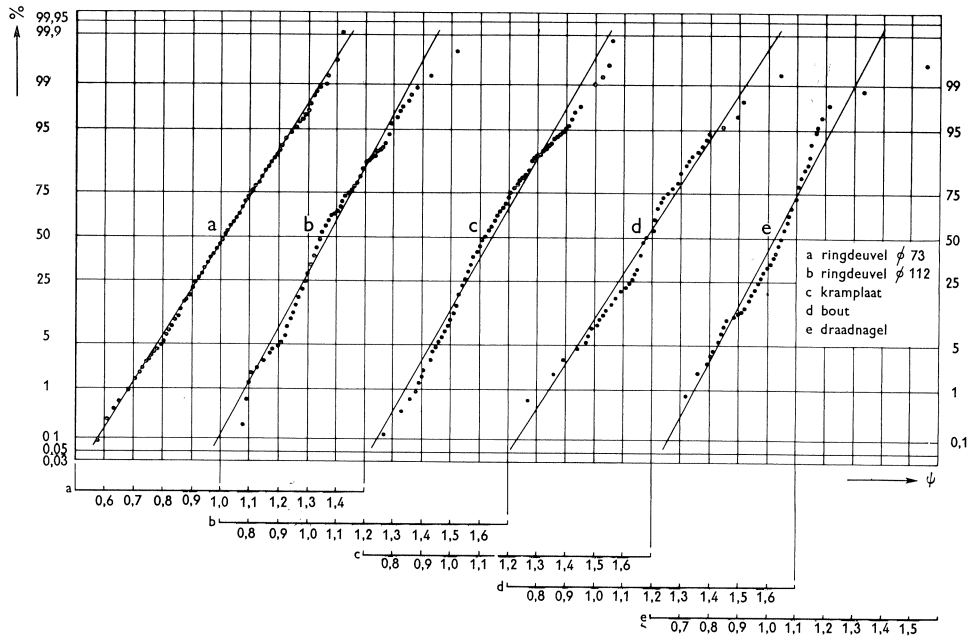


Fig. 6. Cumulatieve frequentie van de verhouding $\psi = \frac{\text{optredende breukbelasting}}{\text{theoretische breukbelasting}}$ bij verschillende verbindingen.

In fig. 5 zijn de histogrammen van ψ gegeven, terwijl fig. 6 de cumulatieve frequentieverdelingen te zien geeft. Uit deze figuren blijkt dat naarmate het aantal verbindingen groter is de verdeling van ψ meer op de normale verdeling gaat lijken, hoewel er in de meeste gevallen sprake is van een verhoudingsgewijs kleine frequentie bij lage ψ -waarden.

De in tabel 6 gevonden variatiecoëfficiënten van ψ zijn niet alleen een gevolg van de spreiding in de sterkte van de verbindingen, doch voor een deel ook van onvolkomenheden in de theorie die aan de theoretische breukbelasting ten grondslag is gelegd. Om deze extra bron van fluctuatie enigszins uit te schakelen zijn de verbindingen in onderling beter vergelijkbare groepen verdeeld, en is van elke groep de variatiecoëfficiënt van ψ berekend. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 7.

Tabel 7. Gemiddelde waarde en variatiecoëfficiënt van ψ en aantal proefstukken (n) waarop deze betrekking hebben.

lasthoek		trek; 0°			druk; 0°			20° à 30°	40°	50° à 70°	90°	
		1	2	3 en 4	1	2	3	1 en 2				
ringdeuvels \varnothing 73 mm	ψ_{gem}	0,99	1,02	1,03	1,04	1,02	1,05	1,01	1,03	1,03		
	var.c. %	14,4	11,2	9,3	15,0	12,6	12,6	11,6	15,8	12,7		
	n	192	45	25	69	68	45	47	21	70		
ringdeuvels \varnothing 112 mm	ψ_{gem}	1,02	1,14		1,03	1,20		1,05		1,03		
	var.c. %	13,7	9,1		11,1	9,1		8,7		8,3		
	n	47	56		34	15		49		40		
kramplaten	ψ_{gem}	1,14	1,16	1,05	1,07			1,13		1,13	1,08	
	var.c. %	11,8	10,5	7,5	6,0			8,4		9,7	10,0	
	n	228	71	15	5			20		20	10	
bouten	ψ_{gem}	1,18	1,26	1,13				1,20		1,16		
	var.c. %	12,9	8,1	15,5				4,8		11,9		
	n	35	10	15				10		10		
draadnagels	aantal draadnagels per verbinding varieert tussen 24 en 214											
	ψ_{gem}	1,03						1,05			1,03	
	var.c. %	10,0						17,5			10,1	
	n	96						19			8	

Verondersteld wordt dat de variatiecoëfficiënten van ψ van de verschillende groepen verbindingen alle tot dezelfde populatie behoren. Noemen we deze variatiecoëfficiënten v_i en de gemiddelde waarde van de variatiecoëfficiënt van de gehele populatie v , dan volgt v uit:

$$v = \sqrt{\frac{\sum[(n_i - 1)v_i^2]}{\sum(n_i - 1)}} \dots \dots \dots (7)$$

Toepassing van (7) op tabel 7 geeft de v -waarden van tabel 8.

Tabel 8. Gemiddelde waarde van de variatiecoëfficiënt v van ψ .

type verbindingsmiddel	$\Sigma[(n_i - 1)v_i^2]$	$\Sigma(n_i - 1)$	v (%)
ringdeuvels \varnothing 73 mm	10,24	573	13,4
ringdeuvels \varnothing 112 mm	2,47	235	10,3
kramplaten	4,43	362	11,1
bouten	1,11	75	12,1
draadnagels	1,57	120	11,4
totaal	19,82	1365	gemidd. 12,1

De in tabel 8 vermelde waarden van v per type verbindingsmiddel verschillen slechts weinig van die in tabel 6. De benadering van v_s is thans beter omdat de extra fluctuatie in v_s , veroorzaakt door de onvolkomenheden in de theorie, voor een deel geëlimineerd is, nl. voor zover het betreft het in één schema brengen van verschillende typen verbindingen zoals recht en scheef, één- en meer-assig. Binnen deze groepen blijft de invloed van de theorie nog bestaan (b.v. in de verschillen veroorzaakt door houtdikte, eindafstand e.d.).

In tabel 8 is ook de waarde van v als gemiddelde van alle verbindingen vermeld. Deze blijkt 12,1% te zijn. Daar de variatiecoëfficiënten voor de verschillende typen verbindingsmiddelen weinig verschillen vertonen, is deze gemiddelde v een redelijke benadering voor *alle* verbindingen. Voor de variatiecoëfficiënt van de sterkte van houtverbindingen wordt verder met 12% gerekend.

4 De tijdfactor, t_g

Over de grootte van de tijdfactor bij houtverbindingen is minder bekend dan over de grootte van deze factor bij het hout zelf. Uit de literatuur [15] blijkt dat soms voor beide tijdfactoren eenzelfde waarde wordt aangehouden, terwijl ook wel voor verbindingen met een kleinere waarde wordt gewerkt, die dan bijvoorbeeld gelijk gesteld wordt aan de wortel uit de tijdfactor voor hout.

In het Stevin-laboratorium is enige jaren geleden begonnen met een onderzoek naar het gedrag van enkele typen houtverbindingen onder langdurige belasting. Dit onderzoek loopt nog te kort om op grond daarvan definitieve uitspraken te kunnen doen. Toch is al wel duidelijk dat het tijdeffect van de belasting bij de onderzochte verbindingen in de meeste gevallen inderdaad kleiner is dan de gegevens over hout doen verwachten, en in geen enkel geval groter.

Vrij algemeen wordt verondersteld dat boven een bepaalde grenswaarde een permanente belasting op den duur tot bezwijken van een verbinding leidt, daarbeneden niet (althans niet binnen b.v. 100 jaar). Voor deze grens worden waarden genoemd die meestal gelegen zijn tussen 55 en 60% van de sterkte. Voorgesteld wordt deze waarde op 55% te stellen, met $t_g = 1,8$.

Een veronderstelling die zowel door literatuur als door proeven wordt ingegeven is, dat mogelijk de verbindingen waarbij de schuifsterkte een belangrijke rol speelt in een verhoudingsgewijs ongunstige positie verkeren. Veiligheids-halve wordt voorgesteld om bij deze verbindingen met een iets grotere tijd-factor te rekenen, nl. met $t_g = 1,9$. Het bovenstaande voorstel leidt tot tabel 9.

Tabel 9. Voorgestelde grootte van t_g

type verbindingsmiddel	t_g
ringdeuvels \varnothing 73 mm en \varnothing 112 mm	1,9
kramplaten { boutaandeel	1,9
{ kramplataaandeel	1,8
bouten	1,9
draadnagels	1,8

5 De verhouding tussen sterkte en toelaatbare belasting, w

Nu de waarden van v_s en t_g verkregen zijn kan w worden berekend met behulp van (4). Voor $v_s = 12\%$ en $t_g = 1,8$ wordt gevonden $w = 2,74$; voor $v_s = 12\%$ en $t_g = 1,9$ is $w = 2,89$.

De zo verkregen waarden van w geven de verhouding tussen sterkte en toelaatbare belasting van *verbindingen, gemaakt van hout van gemiddelde sterkte en beproefd bij een gemiddeld vochtgehalte*. Daar de sterkte-eigenschappen van het hout waaruit de verbinding is opgebouwd en het vochtgehalte van het hout beide invloed op de sterkte van de verbinding hebben, is het duidelijk dat de verhouding tussen verbindingsterkte en toelaatbare belasting niet gelijk is aan de boven berekende w , indien houtsterkte en/of vochtgehalte bij de beproeving afwijken van deze gemiddelde waarden. In zulke gevallen is dan een nadere correctie nodig.

De gemiddelde sterktecijfers van het in Nederland in de bouw gebruikte hout zijn in par. 2 reeds vermeld. Voor de gemiddelde waarde van het vochtgehalte moet thans een keuze worden gedaan. Hierbij zijn in hoofdzaak twee mogelijkheden aanwezig. In de eerste plaats kan onderscheid worden gemaakt tussen constructies in gesloten en in open gebouwen, met als gemiddelde waarden van het vochtgehalte van het hout 12% resp. 18%.¹⁾ Wanneer in dit geval de toelaatbare belastingen voor constructies in gesloten gebouwen gelden, dan moet voor constructies in de open lucht onder dak een reductie worden toegepast. In de tweede plaats is het mogelijk alle constructies „onder één noemer te brengen” en als gemiddeld vochtgehalte 15% aan te houden. De toelaatbare belastingen gelden dan voor alle constructies onder dak.

¹⁾ De genoemde waarden zijn de gemiddelde vochtgehalten behorend bij de droogteklassen II en III volgens NEN 3180 (KVH 1958). De in gesloten gebouwen optredende vochtgehalten van het hout variëren tussen 8% en 15%, de in open gebouwen optredende vochtgehalten tussen 15 à 17% en 21 à 25%.

De invloed van het vochtgehalte op de sterkte van verbindingen is aanzienlijk geringer dan b.v. op de druksterkte van hout. Bij hout- en draadnagelverbindingen is de sterkte van de verbinding in een groot aantal gevallen recht evenredig met de vierkantswortel uit de stuiksterkte van het toegepaste hout, vergelijk [13] en [19].

Met behulp van fig. 4 en formule (6) is tabel 10 samengesteld, waarin de verhoudingscijfers zijn gegeven voor achtereenvolgens de druksterkte $\hat{\sigma}_d$, de stuiksterkte $\hat{\sigma}_s$ en voor $\sqrt{\hat{\sigma}_s}$ bij verschillende vochtgehalten, betrokken op een vochtgehalte van 15%.

Tabel 10. Invloed van het vochtgehalte u op $\hat{\sigma}_d$, $\hat{\sigma}_s$ en $\sqrt{\hat{\sigma}_s}$; verhoudingscijfers, betrokken op $u = 15\%$ als basis.

u	12%	15%	18%	21%	25%
$\hat{\sigma}_d$	1,2	1	0,85	0,75	0,65
$\hat{\sigma}_s$	1,1	1	0,9	0,85	0,75
$\sqrt{\hat{\sigma}_s}$	1,05	1	0,95	0,9	0,85

Uit deze tabel volgt onder meer voor de verhouding van de sterkte van overeenkomstige bout- of draadnagelverbindingen bij $u = 12\%$ en $u = 25\%$ een waarde van $1,05/0,85 \simeq 1,25$. Uit proeven op ringdeuvelverbindingen, zie [21], is gebleken dat er bij deze verbindingen, waarbij dikwijls de schuifsterkte van het hout maatgevend is voor de verbindingssterkte, eenzelfde verhouding bestaat tussen de breukbelastingen bij deze vochtgehalten.

Uit het bovenstaande volgt dat voor het verband tussen de sterkte van verbindingen en het vochtgehalte van het erin toegepaste hout met goede benadering de in de onderste regel van tabel 10 gegeven verhoudingscijfers kunnen worden aangehouden. Vanwege de geringe verschillen in sterkte bij de in constructies voorkomende vochtgehalten wordt voorgesteld eenvoudigheidshalve voor alle constructies $u = 15\%$ aan te houden als gemiddeld vochtgehalte waarbij de toelaatbare belastingen worden berekend.

Bij ringdeuvelverbindingen en het kramplaatdeel van kramplaatverbindingen is de sterkte uit proeven bepaald. Voor het grootste gedeelte der verbindingen met ringdeuvels $\varnothing 73$ mm is hout gebruikt dat afkomstig was van het eerder genoemde naaldhoutonderzoek TNO. De door TNO voor dit hout opgegeven waarden voor de druksterkte van proefstukken met grote afmetingen bedroegen gemiddeld 440 kgf/cm^2 bij 11% vochtgehalte. Daar bij kleiner worden van de afmetingen de druksterkte in het algemeen toeneemt kan als vergelijkingswaarde voor de gemiddelde waarde van de druksterkte bij $u = 11\%$ worden aangehouden 450 à 500 kgf/cm^2 , hetgeen blijktens fig. 4 goed overeenstemt met de gemiddelde houtkwaliteit. Het bij de beproeving van de verbindingen gemeten vochtgehalte van het hout bedroeg 10 – 12% , gemiddeld

11%. Hier zal dus een correctie plaats moeten vinden naar een gemiddeld vochtgehalte van 15%. Op grond van bovenstaande beschouwingen over de invloed van het vochtgehalte wordt voorgesteld de uit de proeven (bij $u=11\%$) gevonden sterktecijfers van de verbindingen te corrigeren door deze te delen door 1,1 (veiligheidshalve naar boven afgerond). Voor de verhouding tussen proefresultaat en toelaatbare belasting geldt dus $w_{\text{proef}} = 1,1 \cdot 2,89 = 3,2$.

Bij de verbindingen met ringdeuvels $\varnothing 112$ mm was de gemiddelde druksterkte van het hout 380 kgf/cm^2 , bepaald bij ca. 12% vochtgehalte. Gezien fig. 4 betreft het hier dus hout met een verhoudingsgewijs lage druksterkte. Hiertegenover staat dat voor de gemiddelde schuifsterkte is gevonden 80 kgf/cm^2 , wat hoger is dan gemiddeld wordt gevonden. Daar bij ringdeuvelverbindingen de schuifsterkte een belangrijke rol speelt wordt voorgesteld geen correctie voor houtkwaliteit toe te passen. Het vochtgehalte van het hout bij de beproeving van de verbindingen bedroeg 10 tot 19%, gemiddeld 15%, zodat hier evenmin een correctie nodig is.

Bij de kramplaatverbindingen is hout gebruikt dat een gemiddelde druksterkte had van 460 kgf/cm^2 bij ca. 12% vochtgehalte. Volgens fig. 4 stemt dit goed overeen met de gemiddelde houtkwaliteit. Het vochtgehalte bij de beproeving van de verbindingen was 13–18%, gemiddeld 15%. Noch voor houtkwaliteit, noch voor het vochtgehalte is hier dus een correctie nodig.

Bij boutverbindingen, draadnagelverbindingen, alsmede bij het boutaandeel van kramplaatverbindingen wordt de breukbelasting berekend langs theoretische weg, met de stuiksterkte van het hout als één der uitgangspunten [13], [17] en [19]. Door $\hat{\sigma}_s = 300 \text{ kgf/cm}^2$ te stellen wordt met de gemiddelde waarden van houtkwaliteit en vochtgehalte rekening gehouden (zie tabel 5). De toelaatbare belasting volgt uit de zo berekende sterkte na deling door w .

6 Conclusies

De in dit artikel vermelde resultaten worden nu kort samengevat. In par. 2 is betoogd dat voor de gemiddelde druk- resp. stuiksterkte van het in Nederland in de bouw gebruikte hout aangehouden kan worden 375 resp. 300 kgf/cm^2 . Deze waarden gelden voor hout met een vochtgehalte van 15%. Dit vochtgehalte is een bruikbaar gemiddelde voor hout dat wordt toegepast in constructies onder dak. Een nadere onderverdeling van deze constructies in b.v. open en gesloten gebouwen is niet aangebracht, daar in par. 5 is aangetoond dat de optredende wisselingen in vochtgehalte de verbindingsterkte niet meer dan 10% doen toe- of afnemen.

Uitgaande van hout met de genoemde gemiddelde sterktecijfers bij een vochtgehalte van 15% zijn de in tabel 11 vermelde waarden gevonden voor de verhouding tussen sterkte en toelaatbare belasting van de beschouwde typen verbindingsmiddelen.

Tabel 11. Verhouding w tussen sterkte en toelaatbare belasting (bij $\hat{\sigma}_d = 375 \text{ kgf/cm}^2$, $\hat{\sigma}_s = 300 \text{ kgf/cm}^2$ en $u = 15\%$).

type verbindingsmiddel	w
ringdeuvels	2,9
kramplaten	2,9
{ boutaandeel	2,75
{ kramplataandeel	2,75
bouten	2,9
draadnagels	2,75

In geval van hout met andere dan de bovengenoemde sterktecijfers en in geval van afwijkende vochtgehalten zal de uit proefnemingen gevonden verbindingssterkte moeten worden gecorrigeerd. Deze correctie geeft, tezamen met de uit tabel 11 af te lezen waarde van w , een verhouding w_{proef} tussen de gemiddelde sterkte zoals die uit de proeven volgt en de toelaatbare belasting. Voor enkele series in het Stevin-laboratorium beproefde verbindingen zijn in par. 5 de waarden van w_{proef} afgeleid.

7 Literatuurlijst

1. ČIŽEK, L., Statistische Auswertung von Versuchsergebnissen und ihre Auswirkung auf zulässigen Spannungen für Holzbauten; Holz als Roh- und Werkstoff 19 (1961) H.11.
2. FAHLBUSCH, H., Ein Beitrag zur Frage der Tragfähigkeit von Bolzen in Holz bei statischer Belastung; Dissertation T.H. Braunschweig, 1949.
3. KOLLMANN, F., Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Bd I (1951).
4. KUIPERS, J., Onderzoek naar het draagvermogen van ringdeuvelverbindingen; I.B.C.-mededelingen 6 (1958) no. 3/4.
5. KUIPERS, J., Enkele beschouwingen over de veiligheid in constructies; I.B.C.-mededelingen 8 (1960), no. 1.
6. KUIPERS, J., De veiligheid van constructies, onderworpen aan combinaties van verschillende belastingen; Heron 11(1963), no. 2/3.
7. MATEUS, T., Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira; Lissabon 1961.
8. SCHNEEWEISS, G., Anwendung der Streuungserlegung auf die Ergebnisse von Längsdruckversuchen an Holz; Holzforschung und Holzverwertung 15 (1963), 3.
9. Documentatie nr. 4, Ringdeuvels; uitg. Houtvoorlichtingsinstituut Amsterdam, 1961.
10. FPR-Bulletin no. 34, The strength properties of timber; London (1954).
11. FPR-Bulletin no. 45, The strength properties of timber; London (1961).
12. Rapport Houtinstituut T.N.O. no. H-60-56. Rapport betreffende aanvullende drukproeven (klasseren van naaldhout); 1960.
13. Rapport Stevin-lab., no. 4-63-6-B-2; Vermeyden, P., Proeven op boutverbindingen; 1963.
14. Rapport Stevin-lab. no. 4-59-2-hd-1; Vermeyden, P., Kruipproeven op gedrukte prismatische houten staven; 1959.
15. Rapport Stevin-lab. no. 4-59-7-HD-3; Vermeyden, P., Literatuuronderzoek betreffende het tijdeffect van verschillende factoren op hout en houtverbindingen; 1959.
16. Rapport Stevin-lab. no. 4-60-1-HV-18; Kuipers, J., Onderzoek van ringdeuvelverbindingen, de scheve verbindingen; 1960.
17. Rapport Stevin-lab. no. 4-63-13-K-3; Vermeyden, P., Proeven op kramplaatverbindingen; 1963.
18. Rapport Stevin-lab. no. 4-63-11-kb-9; Kuipers, J., Knikproeven op massieve houten staven; 1963.

19. Rapport Stevin-lab. no. 4-63-4-N-3; Vermeyden, P., Herzien ontwerp voorschrift draadnagelverbindingen; 1963.
20. Rapport Stevin-lab. no. 4-64-3-R-4; Schippers, J., Proeven op rechte en scheve 1-assige verbindingen met TECO-ringdeuvels \varnothing 112 mm en \varnothing 73 mm; 1964.
21. Rapport Stevin-lab. no. 4-64-6-vc-8; Kuipers, J. en P. Vermeyden, De verhouding tussen de sterkte en de toelaatbare belasting van houtverbindingen; 1964.