

OVER DE INVLOED VAN BEUGELS EN GERIBDE STAVEN OP DE SCHEURVORMING IN OP BUIGING BELASTE GEWAPEND-BETONBALKEN

U.D.C. 624.012.4 : 624.072.2 : 624.058

De waarnemingen van een serie proeven op balken, gewapend met geribd staal en voorzien van beugels, zijn vergeleken met de uitkomsten van de formules van Efsen en de G.B.V.-1962. Nagegaan is de invloed van de beugels en staalprofilering op de gemiddelde scheurafstand en op de maximum scheurwijdte. De G.B.V.-formule voor de gemiddelde scheurafstand werd enigszins aangepast en een nieuwe formule voor de maximum scheurwijdte ontwikkeld, om met behulp van deze formules de invloed van de beugels beter te kunnen bepalen.

0 Inleiding

Uit de theorie en uit proeven is gebleken, dat ten gevolge van scheuren de kans op aanzienlijke corrosie van het wapeningsstaal toeneemt [1]. De corrosie vermindert de diameter van de staven en kan verder b.v. aanleiding geven tot bruine vlekken aan het betonoppervlak, of de betondekking kan afgedrukt worden omdat het roesten gepaard gaat met volumevergroting van het staal. Behalve de scheuren hebben ook de betonkwaliteit, de staalkwaliteit, de grootte van de betondekking en de agressiviteit van het milieu invloed op de corrosie. De meeste onderzoekers geven aan, dat bij toeneming van de scheurwijdte de kans op corrosie groter wordt. Hoe groot deze corrosie bij een bepaalde scheurwijdte zal zijn is mede afhankelijk van de eerder genoemde factoren. De CUR-commissie C₁ heeft corrosiewaarnemingen verricht aan tenminste 15 jaar oude gebouwen in diverse milieus [1], welk onderzoek invloed heeft gehad op de voorschriften in de G.B.V. omtrent minimumafmetingen van de betondekking en maximaal toelaatbare scheurwijdten.

Scheuren in een gewapend-betonconstructie kunnen het gevolg zijn van verschillende mechanische, fysische en chemische oorzaken, al dan niet gecombineerd. Daar de scheuren ten gevolge van zuivere buiging en dwarskracht over het algemeen het eenvoudigst kunnen worden bepaald hebben de onderzoekingen op het gebied van scheurvorming zich hoofdzakelijk op deze twee ontstaanswijzen gericht. In het onderhavige onderzoek zal alleen de scheurvorming ten gevolge van zuivere buiging in balken met rechthoekige doorsnede worden nagegaan.

In gewapend-betonbalken zullen altijd beugels aanwezig zijn. Tot op heden zijn echter alle uitgevoerde onderzoekingen verricht met proefstukken zonder

beugels, om complicaties bij de interpretatie van de meetresultaten te vermijden. Enkele onderzoekers hebben in hun rapport gewag gemaakt van een mogelijke beugelinvloed op de scheurvorming [2] zoals b.v.:

ÖDMAN (Zweden): de gemiddelde scheurafstand is waarschijnlijk gelijk aan de beugelafstand, of een geheel aantal malen groter of kleiner dan de beugelafstand. Wordt hieraan niet voldaan, dan wordt de scheurafstand misschien iets groter;

BØHMER (Noorwegen): de beugels geven discontinuïteiten en hun invloed zal als ongunstig moeten worden beschouwd als de beugelafstand groter is dan driemaal de scheurafstand;

REHM en RÜSCH (W.-Duitsland): de beugels zullen een groot selectief effect hebben op de scheurafstand met als meest waarschijnlijk de scheurafstand gelijk aan de beugelafstand.

1 Methode van onderzoek

Uitgaande van theoretische onderstellingen hebben verschillende onderzoekers (o.a. WÄSTLUND, BRICE, SALIGER) formules opgesteld voor de gemiddelde scheurafstand en maximum scheurwijdte, waarbij de nog onbekende coëfficiënten uit een gering aantal proeven werden bepaald.

Het beton is niet homogeen. Van doorsnede tot doorsnede zal onder andere de betontreksterkte verschillend zijn. Om deze redenen is bij scheurvorming een statistisch onderzoek dat uitgaat van een groot aantal proefstukken meer op zijn plaats. Slechts door enkelen, zoals o.a. EFSSEN [4] en in het I.B.B.C.-T.N.O. [3], is dit principe toegepast.

In het onderhavige onderzoek werd uitgegaan van de formule voor de gemiddelde scheurafstand Δl_{gem} , die in ons land aan de hand van de eerder genoemde proeven [3] is ontwikkeld, t.w.:

$$\Delta l_{\text{gem}} = d_s \left(1 + \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right) \dots \dots \dots (1)*$$

Dit heeft als basis gediend voor de huidige G.B.V.-formule voor de maximum scheurwijdte. Formule (1) werd verkregen door ongeveer 180 proefstukken (platen en balken) te beproeven en de scheurafstand te meten over het gedeelte met constant moment, waarin geen beugels aanwezig waren. Deze proefstukken waren gewapend met ongeribd zachtstaal en een klein aantal met zwak geprofileerd staal.

Daar formule (1) reeds goed weergeeft in welke richting de verschillende variabelen op de scheurafstand inwerken, kon het aantal proefstukken in het onderzoek beperkt blijven. Om de invloed van de beugels op de scheurvorming

* De gebruikte notaties zijn overeenkomstig die in de G.B.V.-1962

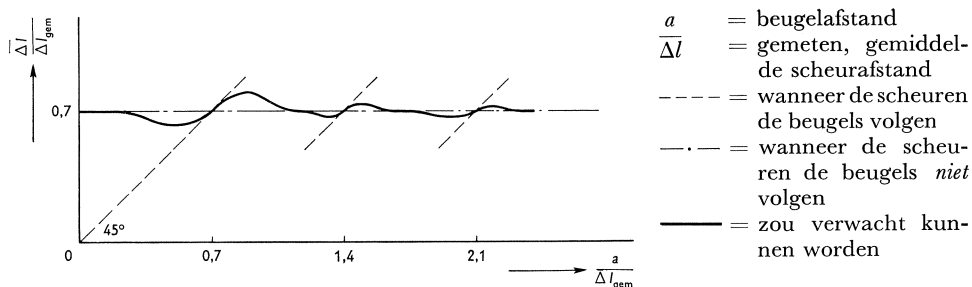


Fig. 1. Prognose van de invloed van de beugels op de gemiddelde scheurafstand.

te onderzoeken is uitgegaan van de onderstelling dat de aanwezigheid van beugels aanleiding zal geven tot de golvende lijn in fig. 1.

Om de invloed van de aanhechting tussen beton en staal zoveel mogelijk constant te doen zijn, is bij het onderhavige onderzoek gewapend met geribd staal (Hi-bond). Hierbij zullen oneffenheden op het staaloppervlak, zoals b.v. roest, in vergelijking met de ribben niet veel invloed hebben op de aanhechting. Door de grotere aanhechting van geribd staal kan een kleinere scheurafstand verwacht worden dan formule (1) aangeeft. Om deze reductie, en daarmee ook de gemiddelde hoogte van de golflijn in figuur 1 te bepalen werd uitgegaan van de door EFSSEN [4] gevonden formule voor de gemiddelde scheurafstand in balken gewapend met geribd staal n.l.:

$$\Delta l_{\text{Efsen}} = k_1 + k_2 \cdot \beta \dots \dots \dots (2)$$

waarin k_1 en k_2 constanten zijn afhankelijk van de staalspanning, en

$$\beta = \frac{2bd}{n\pi \varnothing}$$

Uit vergelijking van de uitkomsten van de formules (1) en (2) bleek, dat $\Delta l_{\text{Efsen}} \approx 0,7 \Delta l_{\text{gem}}$. Om deze reden is de gemiddelde hoogte van de golflijn in fig. 1 bij $\Delta l/\Delta l_{\text{gem}} = 0,7$ getrokken.

Om de invloed van de beugels en geribde staven op de scheurvorming te onderzoeken zijn 27, van beugels voorziene, rechthoekige balken beproefd. De afmetingen van deze balken varieerden van $16 \times 16 \times 230$ tot $20 \times 30 \times 400$ cm. De diameter van de hoofdwapeningsstaven varieerde van $\varnothing 8 \dots 18$ mm, de wapeningspercentages van ca. 0,5 tot 1,6%. De beugels ($\varnothing 6$ —QR 24) zijn op onderling gelijke afstanden over de balk verdeeld. De beugelafstand varieerde tussen 3,6 en 46 cm en was zodanig gekozen, dat een goede verdeling van de waarnemingen langs de horizontale as van fig. 1 kon worden verkregen. De betonkwaliteit heeft, zoals uit onderzoeken is gebleken, niet veel invloed op de scheurvorming, zodat gestreefd is naar een met de praktijk vergelijkbare betonkwaliteit. Voor 1 m^3 beton met een luchtgehalte van 2%

werden de volgende hoeveelheden zand, grind, cement en water gebruikt:

zand-grindmengsel: 1820,45 kg ($Fm = 5,24$)

cement (P.C.-A): 325 kg

water $0,55 \times 325 = 178,75$ kg

De prismadruksterkte ($10 \times 10 \times 30$ cm) was na 28 dagen gemiddeld 314 kgf/cm^2 .

2 Wijze van beproeven

De balken werden 28 dagen na het storten aan een z.g. vierpuntsbuigproef onderworpen (zie fig. 2). De afstand tussen de lasten, dus de lengte van het gebied waarover het moment constant is, bedroeg $5 h_t$ om te zorgen dat een voldoende aantal scheuren zou ontstaan om een gemiddelde scheurafstand te bepalen. De afstand van oplegging tot last was $3 \text{ à } 4 h_t$, teneinde vroegtijdig bezwijken ten gevolge van de dwarskracht te voorkomen.

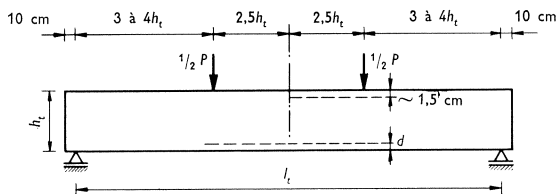


Fig. 2. Belastingsschema en plaats van de meetpunten (-----).

De grootte van de belastingstrappen is steeds zodanig gekozen dat na 8 à 10 trappen het vloei-moment werd bereikt. Bij elke belastingstrap werden, met behulp van afneembare mechanische rekmeters, in de trekzone ter plaatse van de wapening en in de drukzone op ongeveer 1,5 cm onder de bovenzijde van de balk (zie fig. 2) rekmetingen verricht met een meetlengte van 10 cm (5 cm overlappend). Met behulp van deze metingen kon de plaats van de neutrale lijn, de balkkromming en de breedte van iedere scheur worden berekend. De met het blote oog waargenomen scheuren en de bijbehorende scheurhoogten werden bij iedere belastingstrap genoteerd. Tevens is na afloop van elke beproeving het scheurenbeeld opgetekend [5].

3 Interpretatie van de meetresultaten

3.1 Gemiddelde scheurafstand

De scheurafstand-formule (1) is geldig als het scheurpatroon zich volledig heeft ontwikkeld. In het onderhavige onderzoek bleek uit grafieken, waarin de scheurafstand was uitgezet tegen de belasting, dat het scheurpatroon zich

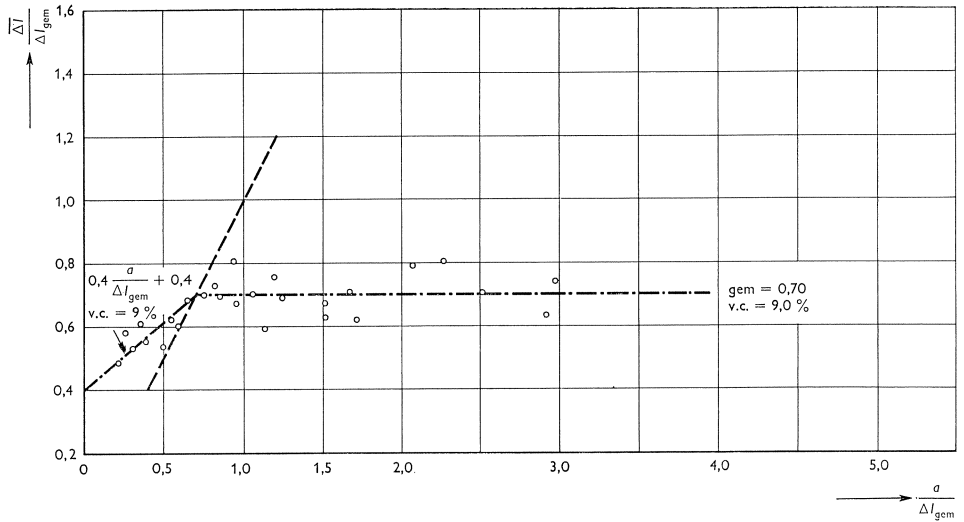


Fig. 3a. Vergelijking van de gemeten gemiddelde scheurafstanden met de formule voor de gemiddelde scheurafstand, welke is verwerkt in de formule voor de maximum scheurwijdte

in de G.B.V.-'62:
$$\Delta l_{gem} = d_s \left(1 + \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right).$$

$\overline{\Delta l}$ = gemeten gemiddelde scheurafstand bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$;

a = beugelafstand

— — — — — wanneer de scheuren de beugels volgen;

- · - · - · — — — — — wanneer de scheuren de beugels *niet* volgen.

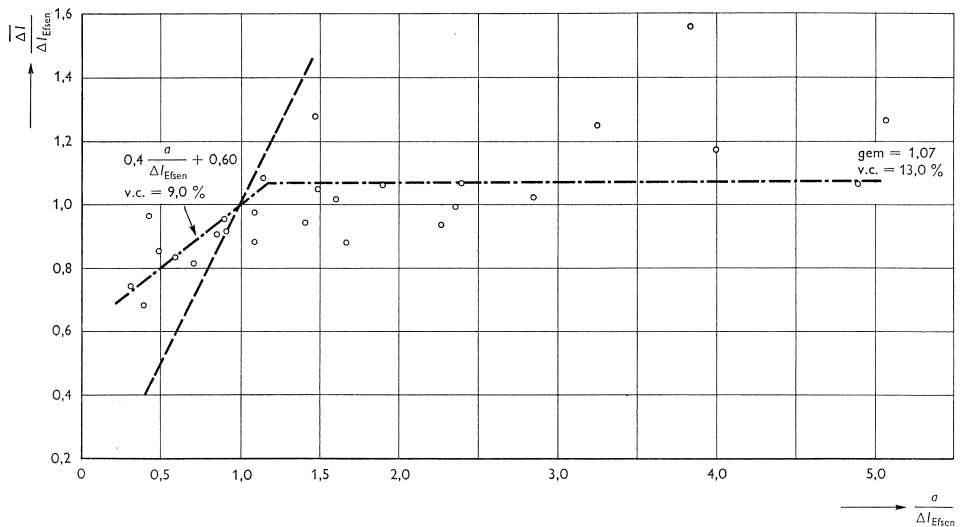


Fig. 3b. Vergelijking tussen de volgens de formule van Efsen berekende, en de gemeten waarden voor de gemiddelde scheurafstand. $\Delta l_{Efsen} = k_1 + k_2 \beta$.

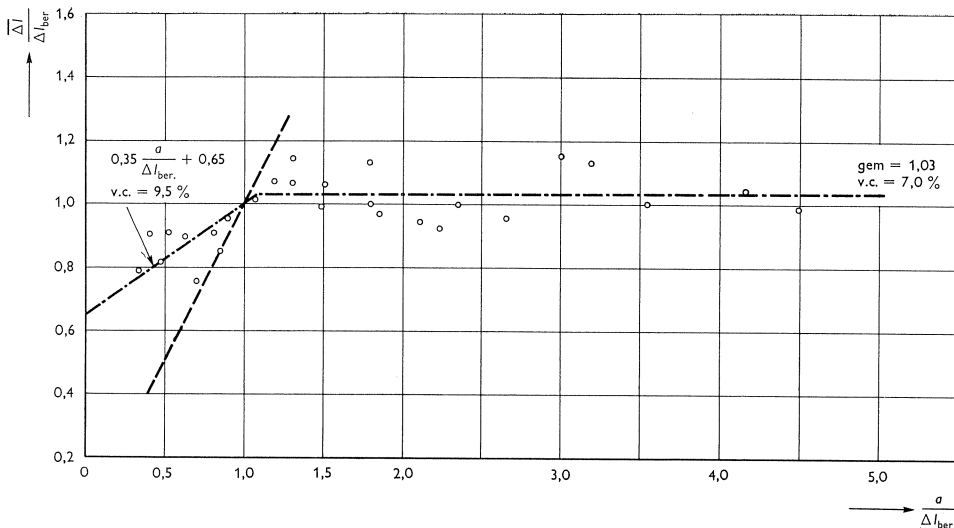


Fig. 3c. Bepaling van de invloed van de beugels op de gemiddelde scheurafstand met behulp van een formule voor de gemiddelde scheurafstand, welke zo goed mogelijk voldoet aan de gemeten waarden in het gebied $a > \bar{\Delta}l$.

$$\Delta l_{ber} = d_s \left(1,1 + 0,44 \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right).$$

volledig ontwikkeld had bij een staalspanning van $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$. Uit fig. 3a blijkt, dat de G.B.V.-1962 formule te hoge uitkomsten geeft bij gebruik van geribd staal. Andere onderzoekers hebben ook reeds naar de invloed van geribd staal ten opzichte van ongeribd staal op de scheurafstand gezocht en geven de volgende waarden voor $\Delta l_{geriba} / \Delta l_{ongeribd}$:

WÄSTLUND	0,72
BRICE	0,80
SALIGER	0,50
C.E.B.	0,75

De formule van EFSSEN (vgl. 2) gaf gemiddeld een enigszins te kleine scheurafstand (zie fig. 3b) met een hogere variatiecoëfficiënt dan formule (1). (EFSSEN vond zelf als variatiecoëfficiënt 30 à 50%.)

3.2 Invloed van de beugels op de gemiddelde scheurafstand

Om tot een uitspraak te kunnen komen over de invloed van de beugels op de scheurafstand, is het noodzakelijk een formule te kennen die zo goed mogelijk aan de gemeten scheurafstanden voldoet. Uit de fig. 3a en b blijkt al, dat er alleen van een duidelijke invloed gesproken kan worden als de beugelafstand kleiner is dan de gemiddelde scheurafstand ($a < \Delta l_{formule}$). In het gebied waar de beugelafstand groter is dan de scheurafstand liggen de waarden $\bar{\Delta}l / \Delta l_{formule}$ binnen het spreidingsgebied, zodat hier niet van een duidelijke beugelinvoed

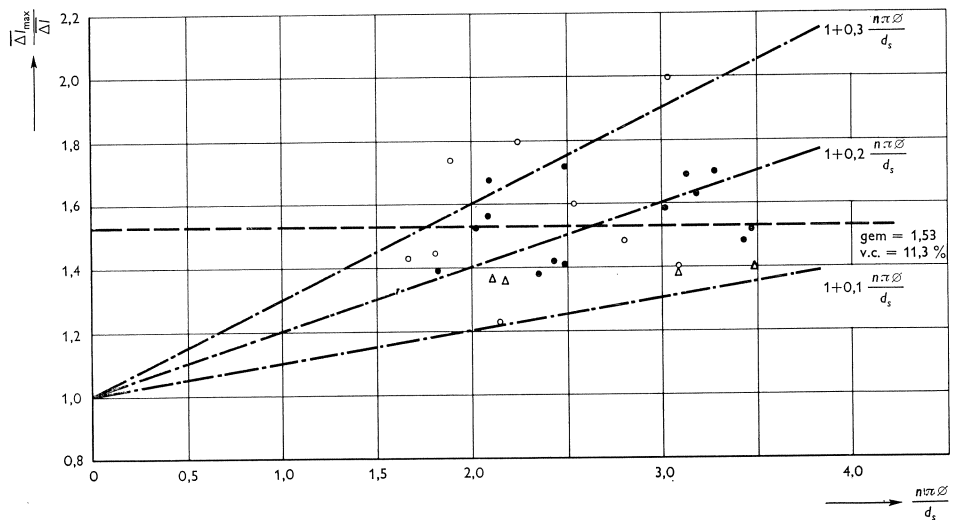
gesproken kan worden. Om deze reden is met behulp van alle waarnemingen in het gebied $a > \Delta l_{\text{formule}}$ een formule opgesteld, die zo goed mogelijk voldoet aan de gevonden scheurafstanden, t.w.:

$$\Delta l_{\text{ber}} = d_s \left(1,1 + 0,44 \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right) \dots \dots \dots (3)$$

In fig. 3c is te zien, dat de beugels de gemiddelde scheurafstand verkleinen tot minimaal een factor van ca. 0,8 wanneer de beugelafstand kleiner is dan de gemiddelde scheurafstand. Fig. 3c laat tevens zien, dat de uitspraken van de diverse onderzoeker (zie 0) niet juist zijn. Alleen de uitspraak van REHM en RÜSCH, dat de beugels een groot selectief effect uitoefenen op de scheurafstand kan nog enigszins worden ondersteund. Bij beschouwing van de scheurpatronen (zie [5]) kan namelijk worden vastgesteld, dat vele scheuren de beugels volgen (selectief effect), maar dit komt niet tot uitdrukking in de gemiddelde scheurafstand, doordat er ook nog tussenscheuren zijn.

3.3 Maximum scheurafstand

Bij de proeven [3], die leiden tot de huidige G.B.V.-formule, werd gevonden dat alle waarden $\frac{\overline{\Delta l}_{\text{max}}}{\Delta l}$ gelegen waren binnen $\gamma = 1 + 0,1 \frac{n\pi \varnothing}{d_s}$ en



- $\overline{\Delta l}_{\text{max}}$ = gemeten maximum scheurafstand bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$;
- Δl = gemeten gemiddelde scheurafstand bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$;
- o : $0 < a/\Delta l_{\text{ber}} < 1,0$ (Δl_{ber} volgens fig. 3c);
- △ : $1,0 < a/\Delta l_{\text{ber}} < 1,4$;
- + : $a/\Delta l_{\text{ber}} > 1,4$

Fig. 4. De ligging van de gemeten maximum scheurafstanden ten opzichte van de in de G.B.V.-1962 verwerkte grenzen voor deze grootheid.

$\gamma = 1 + 0,3 n\pi \varnothing / d_s$ met als gemiddelde $\gamma_{gem} = 1 + 0,2 n\pi \varnothing / d_s$. Om de invloed van geribd staal op deze grootheid te kunnen onderzoeken is in fig. 4 $\overline{\Delta l}_{max} / \Delta l$ uitgezet tegen $n\pi \varnothing / d_s$. Uit deze figuur blijkt, dat 23 van de 27 balken binnen de „G.B.V.-grenzen” liggen. Uit een recent onderzoek bij het I.B.B.C.-T.N.O., waarbij balken en platen gewapend met geribd staal werden onderzocht, blijkt dat de platen geheel buiten deze grenzen liggen. Gezien ook de waarnemingen van het onderhavige onderzoek, zou het wellicht beter zijn een gemiddelde waarde voor γ te nemen, dan een afhankelijkheid van $n\pi \varnothing / d_s$, bijvoorbeeld $\gamma = \Delta l_{max} / \Delta l = 1,6$ wanneer vgl. (3) wordt gebruikt voor de gemiddelde scheurafstand Δl .

EFSEN heeft geen formule voor de maximum scheurafstand opgesteld.

3.4 Maximum scheurwijdte

Reeds in de inleiding is vermeld dat, in verband met de kans op corrosie van het wapeningsstaal, het van belang is de te verwachten maximum scheurwijdte in een constructie te kennen. Bij de opzet van de formule voor de maximum scheurwijdte in de G.B.V.-1962 in geval van geribd staal is ondersteld dat de gemiddelde scheurafstand bij gebruik van geribd staal gelijk is aan die bij gebruik van glad staal. De aanhechting, tussen twee scheuren, bij gebruik van geribd staal werd in de vorm van een aftrekterm in de formule voor de maximum scheurwijdte ingebracht.

De G.B.V.-formule geldt voor de scheurwijdte, die op de lange duur is te verwachten aan de onderzijde van platen en balken bij voorgeschreven nuttige belasting [3]. Om de gevonden waarden bij het onderhavige onderzoek (t.p.v. de wapening) te kunnen vergelijken met deze formule, moet de formule dus nog met een factor $(h-x)/(h_t-x)$ worden gereduceerd, waarbij de waarden x (= hoogte van de drukzone) zijn verkregen uit de rekmetingen in de trekzone ter plaatse van de wapening en de rekmetingen in de drukzone op ongeveer 1,5 cm onder de bovenzijde van de balk (zie 2 en fig. 2a en b). Bij de totstandkoming van de G.B.V.-formule werd de gemeten maximum scheurwijdte gereduceerd met een factor $5/6$, omdat in de praktijk niet altijd de volle nuttige belasting aanwezig is. Om de maximum scheurwijdten van het onderhavige onderzoek te kunnen vergelijken met die volgens de G.B.V., moet deze formule met een factor $6/5$ vermenigvuldigd worden, zodat:

$$w_{max_{G.B.V.}} = \frac{h-x}{h_t-x} \left(0,6 \sigma_a \Delta l - 20 \frac{\Delta l^2}{\varnothing} \right) \times 10^{-6} \text{ cm} \dots \dots \dots (4)$$

Uit de fig. 5a en 6a blijkt, dat formule (4) gemiddeld een te hoge waarde geeft, wat op zich zelf redelijk is, gezien het feit dat de proeven kortstondig zijn uitgevoerd.

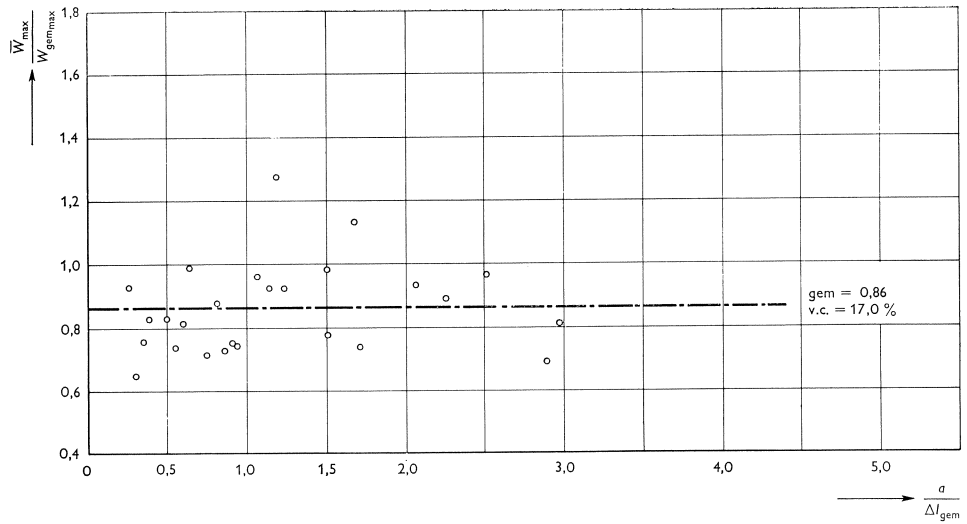


Fig. 5a. Vergelijking tussen de gemeten maximum scheurwijdten en de berekende waarden volgens de formule van de G.B.V.-1962 bij $\sigma_a = 2500 \text{ kgf/cm}^2$.

\bar{w}_{max} = gemeten maximum scheurwijdte; a = beugelafstand;

$$w_{\text{gem,max}} = \frac{h-x}{h_t-x} \left(0,6 \cdot \sigma_a \cdot \Delta l - 20 \frac{\Delta l^2}{\varnothing} \right) \times 10^{-6} \text{ cm};$$

$$\Delta l_{\text{gem}} = d_s \left(1 + \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right).$$

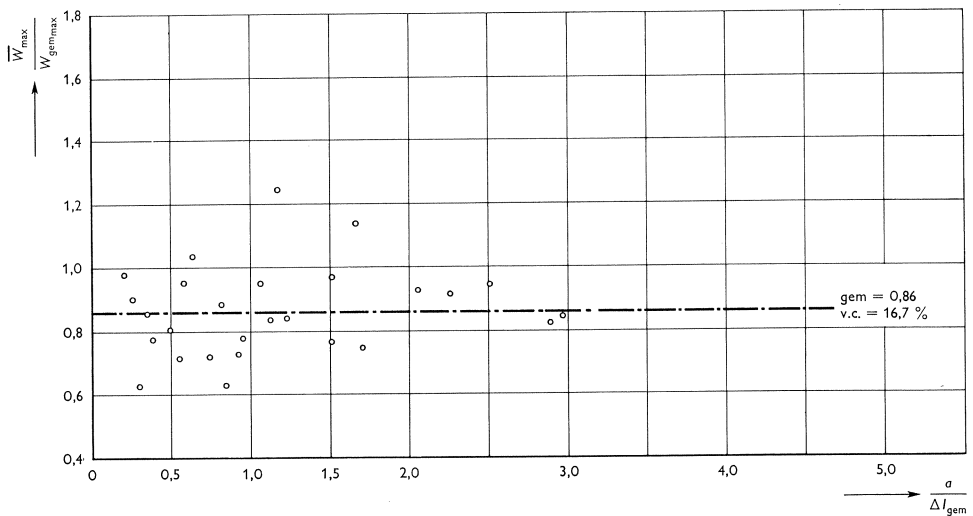


Fig. 6a. Vergelijking tussen de gemeten maximum scheurwijdten en de berekende waarden volgens de formule van de G.B.V.-1962 bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$.

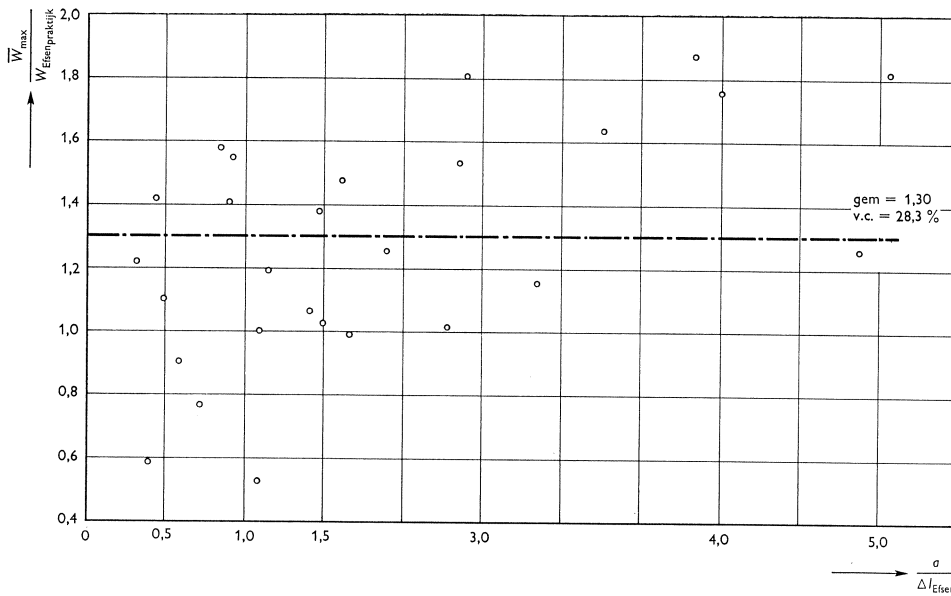


Fig. 5b. Vergelijking tussen de volgens de formule van Efsen berekende, en de gemeten waarden voor de maximum scheurwijdten bij $\sigma_a = 2500 \text{ kgf/cm}^2$.

$$\bar{w}_{\max} = \text{gemeten maximum scheurwijdte}; \quad a = \text{beugelafstand};$$

$$w_{\text{Efsenpraktijk}} = \frac{\sigma_a}{E_a} \beta; \quad \Delta I_{\text{Efsen}} = k_1 + k_2 \beta.$$

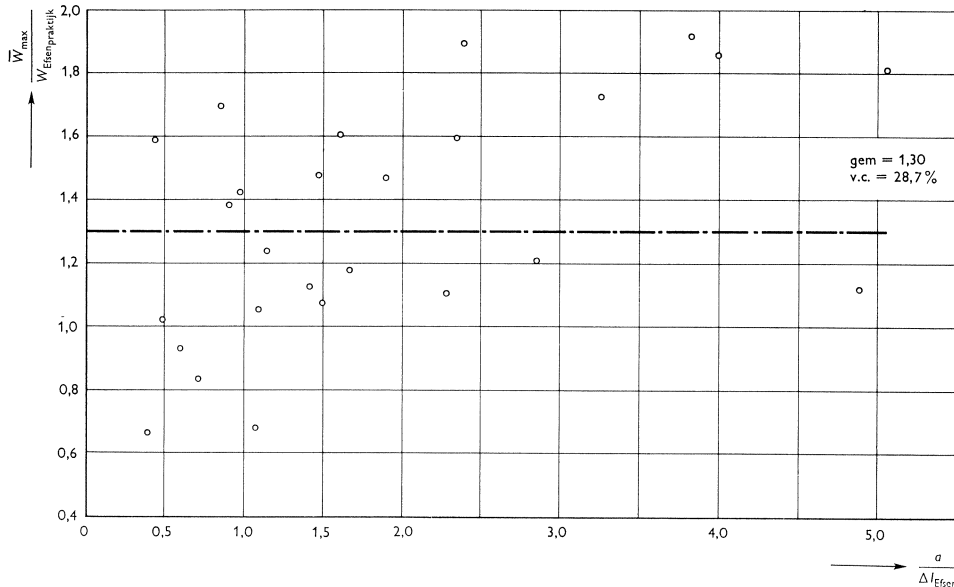


Fig. 6b. Vergelijking tussen de volgens de formule van Efsen berekende, en de gemeten waarden voor de maximum scheurwijdten bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$.

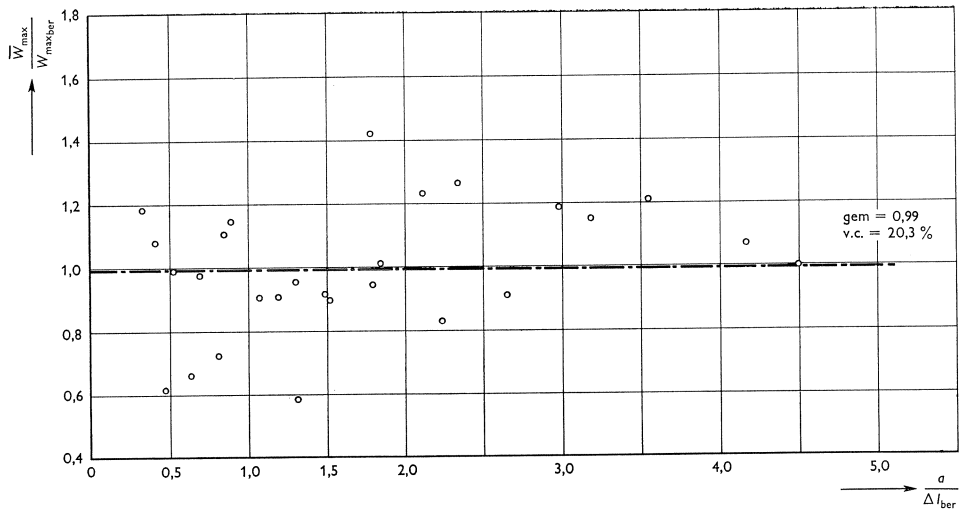


Fig. 5c. Bepaling van de invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte door middel van een uit het onderhavige onderzoek ontwikkelde formule bij $\sigma_a = 2500 \text{ kgf/cm}^2$.

\bar{w}_{\max} = gemeten maximum scheurwijdte; a = beugelafstand;

$$w_{\max,ber} = \frac{\sigma_a}{E_a} \times \Delta l_s; \quad (\Delta l_s = \text{bepalende scheurafstand});$$

$$\Delta l_{ber} = d_s \left(1,1 + 0,44 \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right).$$

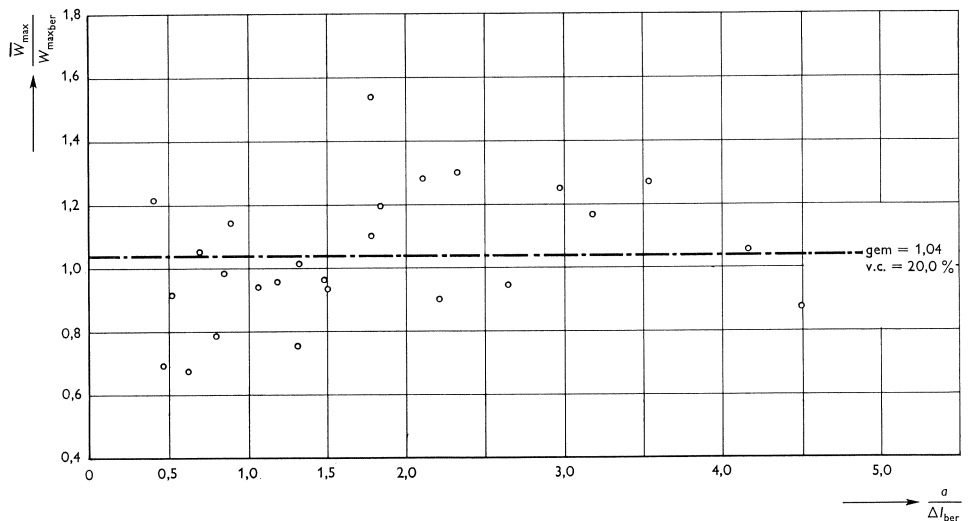


Fig. 6c. Bepaling van de invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte door middel van een uit het onderhavige onderzoek ontwikkelde formule bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$.

EFSEN heeft bij de formulering van de maximum scheurwijdte gebruik gemaakt van de spreiding in de gemiddelde scheurwijdte w_{gem} , waarbij $w_{\text{gem}} = (\sigma_a/E_a) \Delta l_{\text{EFSEN}}$. Door te definiëren dat de maximum scheurwijdte overeenkomt met de waarde die 1% kans heeft overschreden te worden, kwam EFSEN tot de praktijkformule:

$$w_{\text{max}} = \frac{\sigma_a}{E_a} \cdot \beta \quad \dots \dots \dots (5)$$

In de fig. 5b en 6b is deze formule vergeleken met de gemeten maximum scheurwijdten. Uit deze figuren blijkt, dat de gemeten waarden gemiddeld $1,3 \times$ zo groot zijn als de formule aangeeft. De spreiding is bovendien veel groter dan in geval van formule (4). EFSEN kwam zelf tot een variatiecoëfficiënt (v.c.) van 40 à 65% [4].

3.5 Invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte

Om de invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte te kunnen onderzoeken is het van belang een zo goed mogelijke formule voor deze grootte te vinden. In het algemeen kan worden gesteld, dat de grootte van de scheurwijdte wordt bepaald door het rekverschil van staal en beton over een afstand gelijk aan de som van de halve scheurafstanden ter weerszijden van de beschouwde scheur (= bepalende scheurafstand). Om deze reden is de bepalende scheurafstand om deze scheur gemeten. Uit fig. 7 blijkt, dat $\overline{\Delta l_s} = 1,3\overline{\Delta l}$ met een v.c. = 19,5% of:

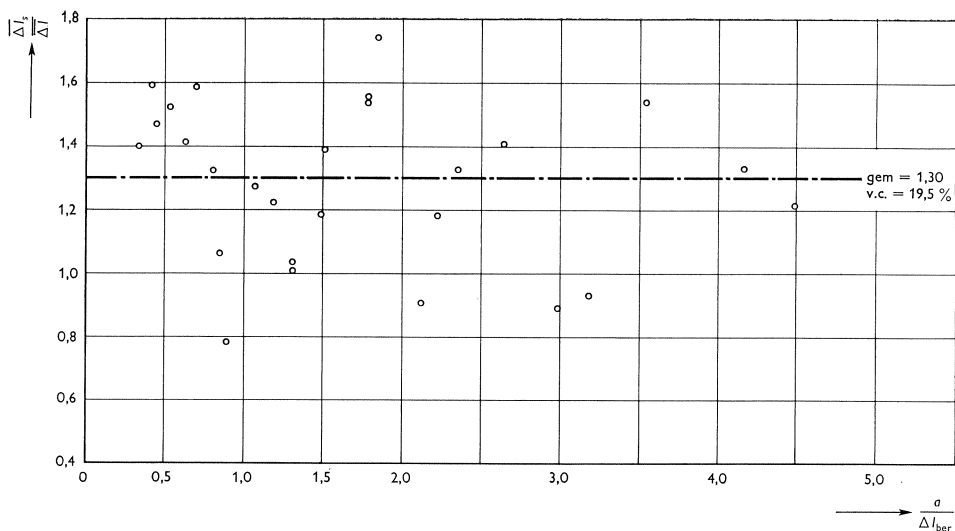
$$\Delta l_s = 1,3 \Delta l_{\text{ber}} \approx d_s \left(1,5 + 0,6 \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right) \dots \dots \dots (6)$$

Met behulp van de bepalende scheurafstand kan de vergelijking voor de maximum scheurwijdte worden opgeschreven:

$$w_{\text{maxber}} = \lambda \cdot \frac{\sigma_a}{E_a} \cdot \Delta l_s \dots \dots \dots (7)$$

Hierin is λ een factor ≤ 1 . In de fig. 5c en 6c is te zien, dat bij $\sigma_a = 3500$ kgf/cm² : $\lambda = 1,04$ en bij $\sigma_a = 2500$ kgf/cm² : $\lambda = 0,99$. Uit deze twee waarden voor λ , zo weinig afwijkend van de eenheid, zou geconcludeerd kunnen worden dat de invloed van de aanhechting (τ) op de maximum scheurwijdte klein is. Een waarde $\lambda > 1$ als uitkomst is theoretisch niet mogelijk, maar zou verklaard kunnen worden met de volgende twee opmerkingen:

- a. Bij het meten van de bepalende scheurafstand zijn relatief kleine scheuren niet verwaarloosd. Bij de beproeving is echter gebleken, dat naast een grote scheurwijdte een kleine scheur kan ontstaan die zich niet verder ontwikkelt, wat tot gevolg kan hebben dat $\overline{\Delta l_s}$ eigenlijk te klein wordt afgelezen.
- b. Door de spreiding in de berekende Δl_{gem} (v.c. = 7,0%) en de spreiding in Δl_s (v.c. = 19,5%) kan bij enkele balken een te kleine waarde voor Δl_s worden berekend.



a = beugelafstand; $\bar{\Delta l}_s$ = gemeten bepallende scheurafstand;
 $\Delta l_{ber} = d_s \left(1,1 + 0,44 \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right)$; $\bar{\Delta l}$ = gemeten gemiddelde scheurafstand.

Fig. 7. Bepaling van de formule voor de bepallende scheurafstand en de maximum scheurwijdte bij $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$.

De figuren 5 en 6 tonen aan, dat de eventuele invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte kleiner is dan de spreiding in de meetresultaten. Terwijl de invloed van de beugels op de gemiddelde scheurafstand nog wel duidelijk merkbaar was, is deze invloed op de maximum scheurwijdte niet meer terug te vinden. Dit komt omdat de spreiding in de maximum scheurwijdte groter is dan bij de gemiddelde scheurafstand en omdat de bepallende en maximum scheurafstand voor $a < \Delta l$ over het algemeen boven het gemiddelde liggen (zie fig. 4 en 7).

4 Samenvatting en conclusies

De invloed van de beugels op de gemiddelde scheurafstand is onderzocht door de gemeten scheurafstanden te vergelijken met een formule voor de gemiddelde scheurafstand (Δl_{ber}), welke zo goed mogelijk aan de waarnemingen voldeed:

$$\Delta l_{ber} = d_s \left(1,1 + 0,44 \frac{\sqrt{bh_t}}{n\pi \varnothing} \right)$$

Uit deze vergelijking bleek, dat alleen van een duidelijke invloed gesproken kon worden als de beugelafstand kleiner is dan de scheurafstand. In dit laatste geval kunnen de beugels de gemiddelde scheurafstand tot minimaal ca. 0,8 maal verkleinen (zie fig. 3c).

Voor de berekening van de maximum scheurafstand bij gebruik van geribd staal lijkt het beter een gemiddelde waarde te gebruiken voor $\gamma = \Delta l_{\max}/\Delta l$, dan een afhankelijkheid van $n\pi \varnothing/d_s$ zoals deze in de G.B.V.-1962 is verwerkt. Uit een recent onderzoek bij het I.B.B.C.-T.N.O. op platen en balken en het onderhavige onderzoek blijkt, dat voor balken:

$$\gamma_{\text{gem}} = \frac{\Delta l_{\max}}{\Delta l_{\text{ber}}} = 1,6$$

genomen zou kunnen worden.

De formule voor de maximum scheurwijdte in de G.B.V. geeft ten opzichte van de resultaten van het onderhavige onderzoek gemiddeld enigszins te hoge waarden, wat op zich zelf redelijk is daar deze laatste proeven kortstondig zijn uitgevoerd. Ondanks deze redelijke overeenstemming is de opbouw van de formule, bij gebruik van geribd staal, niet juist. De formule voor de bepaalde scheurafstand in de G.B.V. geeft namelijk voor geribd staal te hoge waarden, wat weer gedeeltelijk gecompenseerd wordt door de aftrekterm, waarin de aanhechting (τ) is opgenomen. Uit het onderhavige onderzoek blijkt nu de invloed van de aanhechting gering te zijn (zie 3.5).

Om de invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte te onderzoeken is een formule opgesteld, waarbij werd uitgegaan van de bepalende scheurafstand om de grootste scheur (Δl_s): d.i. ($1/2 \Delta l_{\text{links}} + 1/2 \Delta l_{\text{rechts}}$). Uit de waarnemingen bleek (zie fig. 7) dat:

$$\Delta l_s = 1,3 \Delta l_{\text{ber}}$$

De maximum scheurwijdte kan dan berekend worden volgens:

$$w_{\max} = \lambda \cdot \frac{\sigma_a}{E_a} \Delta l_s$$

Voor $\sigma_a = 3500 \text{ kgf/cm}^2$ bleek: $\lambda = 1,04$ bij een v.c. = 20,0% te zijn en voor $\sigma_a = 2500 \text{ kfg/cm}^2$: $\lambda = 0,99$ bij een v.c. = 20,3%. Uit de vergelijking van de gemeten maximum scheurwijdten met de berekende volgens deze laatste formule en de G.B.V.-1962 formule bleek, dat de eventuele invloed van de beugels op de maximum scheurwijdte kleiner is dan de optredende spreiding.

De formules van EFSN blijken minder geschikt voor het berekenen van de maximum scheurwijdte dan de G.B.V.-formule.

5 Literatuur

1. Onderzoek naar de toelaatbare scheurbreedte in gewapend-betonconstructies. CUR-rapport no. 10.
2. Bond and crack formation. RILEM-symposium, Stockholm 1957.
3. LEEUWEN, ir. J. v., Over de scheurvorming in platen en balken. Heron 1962-1.
4. EFSN, prof. dr. AXEL, Tensile cracks in reinforced concrete. De Ingenieur 1959-no. 41.
5. NELISSEN, ir. L. J. M., Over de invloed van geribd staal en beugels op de scheurvorming in op buiging belaste gewapend-betonbalken. Rapport-Stevin-Lab. 5-66-4.