

„l'Expérience est la source unique de la vérité”

H. Poincaré, *La Science et l'Hypothèse.*

Voor opdrachten of adviezen gelieve men zich te wenden tot het adres:
Instituut T.N.O. voor Bouwmaterialen en -constructies,
Lange Kleiweg 5, Rijswijk Z-H., tel. Delft (01730) 26950*.
Correspondentie-adres uitsluitend: Postbus 49 te Delft.

Voor bijdragen voor dit blad, bijv. op het gebied van eigen waarnemingen en uitvoering van constructies, welke aanleiding zouden kunnen geven tot meer economische werkwijze of verbetering van inzicht, houdt de redactie zich aanbevolen.

Rapporten over intern speurwerk kunnen tegen kostprijs worden verstrekt.

IBC MEDEDELINGEN

ORGAAN VAN HET
INSTITUUT T.N.O. VOOR BOUWMATERIALEN EN -CONSTRUCTIES

VOORTZETTING VAN DE W.G.S.-MEDEDELINGEN

Redacteur: Ir. A. L. Bouma — Postbus 49, Delft

JAARGANG 4

NO. 1

JANUARI 1956

ORIËNTEREND ONDERZOEK NAAR DE CORROSIE VAN STAAL IN BETON

Een onderzoek inzake de corrosie van staal in beton werd verricht met behulp van proefstukken, vervaardigd van mortel, teneinde enigszins georiënteerd te geraken ten aanzien van de invloed van verschillende factoren op de mate van corrosie en tevens om een indruk te verkrijgen omtrent de afmetingen, samenstelling en behandeling van de proefstukken, wanneer de invloed van één of meer factoren in een eventueel voortgezet onderzoek nader zal worden bestudeerd.

In de proefseries zijn de mengverhouding, de cementsoort en de betondekking gevarieerd. Tevens zijn proefstukken vervaardigd met kunstmatig aangebrachte scheuren van verschillende breedten. De proefstukken zijn zowel aan een periodieke besproeiing van een keukenzoutoplossing als aan de atmosferische omstandigheden blootgesteld.

Aan de hand van de verkregen resultaten zijn voorlopige conclusies getrokken omtrent de invloed van de diverse factoren en ten aanzien van een eventueel voortgezet onderzoek.

Inleiding

In de laatste jaren wordt, als gevolg van in de praktijk waargenomen gevallen van beschadiging van beton door corrosie van het wapeningsstaal, meer en meer aandacht gewijd aan dit verschijnsel. Corrosie doet zich voor, zowel in gescheurde als in ongescheurde gedeelten van betonconstructies, vooral wanneer deze zich bevinden in een zeer agressieve omgeving, dus in industriële centra en bij de zee kust. De factoren, die invloed kunnen uitoefenen op de mate, waarin corrosie zal optreden, zijn:

- a. de betonsamenstelling;
- b. de cementsoort;
- c. de betondekking op de wapening;
- d. het al of niet aanwezig zijn van scheuren;
- e. de scheurbreedte;
- f. de aard, kwaliteit en behandeling van het staal;
- g. de atmosferische omstandigheden.

Het doel van het in dit artikel beschreven laboratoriumonderzoek was om enigszins georiënteerd te geraken ten aanzien van de invloed van de genoemde factoren en tevens om een indruk te verkrijgen omtrent de afmetingen, de samenstelling en de behandeling van de proefstukken, wanneer de invloed van één of meer factoren in een eventueel voortgezet laboratoriumonderzoek nader zal worden bestudeerd.

Kort overzicht van het corrosieproces

Algemeen

Corrosie is, volgens de thans algemeen gangbare opvatting, te beschouwen als het gevolg van een elektrochemisch proces, waarbij tengevolge van potentiaalverschillen in het oppervlak van een metaal, dat in contact verkeert met een oplossing die elektrische stroom geleidt, een groot aantal corrosie-elementen werkzaam zijn. Op die plaatsen, waar het metaal ten opzichte van de oplossing meer negatief is dan op andere plaatsen, de z.g. anodische plaatsen, gaat het metaal in oplossing, met andere woorden: het corrodeert. Voor het optreden van corrosie moet worden voldaan aan de volgende voorwaarden:

Het metaal dient in contact te zijn met een elektrolyt. Water en iedere waterige oplossing van een zout, zuur of base kan als elektrolyt werkzaam zijn. Er moeten plaatsen of zones in het oppervlak van het metaal aanwezig zijn met verschillende potentiaal ten opzichte van het elektrolyt. In het oppervlak van metalen, die in de techniek worden gebruikt, zijn steeds potentiaalverschillen aanwezig; zij zijn het gevolg van onzuiverheden, verschillen in samenstelling, plaatselijke vervormingen en spanningen, aanwezigheid van deklagen van oxyden (b.v. walshuid bij wapeningsstaal) of worden veroorzaakt door plaatselijke verschillen in samenstelling van het elektrolyt b.v. door verschillen in zuurstofgehalte. Bij plaatselijke verschillen in zuurstofgehalte komt een zuurstofconcentratie-element in werking, waarbij op de plaatsen, die arm zijn aan zuurstof, corrosie optreedt. Behalve van het bovenstaande is het verloop van het corrosieproces afhankelijk van de zuurstofconcentratie als zodanig en van de geleidbaarheid van het elektrolyt, welke o.a. wordt bevorderd door aanwezigheid van chloriden. Voorts moet de reactie aan de anode gelijke tred houden met die, welke aan de andere elektrode, de kathode, verloopt. In alkalisch milieu (b.v. in beton) bestaat bij staal evenwel de mogelijkheid van passivering door vorming van afsluitende deklagen van oxyden.

Corrosie van staal in beton

In het algemeen bevat beton vocht. Het is een bekend feit, dat uit vochtige lucht waterdamp in het beton dringt en condenseert en wel meer naarmate de

luchtvochtigheid groter is. In het beton vormt zich een vloeistoffase, die alkalisch reageert door de bij verharding van het cement gevormde vrije kalk. Onder normale omstandigheden bedraagt de zuurgraad (pH) van het water in beton ongeveer 12,5. In verband met deze zuurgraad wordt het water als niet-corrosief voor het wapeningsstaal beschouwd. Door inwerking van koolzuur uit de lucht wordt evenwel successievelijk de vrije kalk omgezet in het onoplosbare calciumcarbonaat, zodat het alkalisch milieu verloren gaat. Enerzijds heeft dit tot gevolg, dat het gevaar voor corrosie van de wapening toeneemt, anderzijds is het mogelijk, dat de kans op aantasting vermindert, omdat het gevormde calciumcarbonaat de poriën in het beton afsluit en het toetreden van water dus wordt belemmerd. Dit laatste zal waarschijnlijk het sterkst tot uiting komen bij de dichtere betonsoorten.

De aanwezigheid van, bij verbranding van kolen en olie gevormde, zwavelverbindingen, die goed in water oplossen en door hun zure reactie de vrije kalk neutraliseren, werkt ongunstig.

Wanneer het beton uit de omgeving chloriden kan opnemen, wordt de geleidbaarheid van de vloeistof in het beton verhoogd en wordt ook de bescherming van eventueel op het staal gevormde afdekkende lagen verminderd. Beide factoren vergroten dus de kans op corrosie.

Indien in het beton een scheur aanwezig is, wordt door het gemakkelijker kunnen toetreden van zuurstof uit de lucht het corrosieproces bevorderd. De corrosie zal zich evenwel niet behoeven te beperken tot de plaats van de scheur, omdat zich een zuurstofconcentratie-element kan vormen. Het staal ter plaatse van de scheur kan als kathode optreden en de zich aan weerszijden van de scheur bevindende gedeelten van het staal kunnen anodisch zijn tengevolge van een tekort aan zuurstof (bij het corrosieproces wordt zuurstof verbruikt en deze wordt door diffusie slechts langzaam aangevuld). Het gevolg is, dat eveneens corrosie zal optreden aan weerszijden van de scheur.

In verband met de invloed van het kalkgehalte op het corrosieproces is te verwachten, dat cementsoorten, die bij verharding in verschillende mate vrije kalk ontwikkelen, ook op verschillende wijze het verloop van de aantasting zullen beïnvloeden.

Treedt de corrosie in geringe mate op, dan zal deze nog geen beschadiging van het beton tot gevolg hebben. De gevormde ijzerhydroxyden, die in het beginstadium in colloïdale verdeling aanwezig zijn in water, zullen zich in de poriën van het beton afzetten en een bruine kleur veroorzaken. Bij voortgaande roestvorming ontstaan echter dikkere lagen, die als gevolg van de met dit proces gepaard gaande volumevergroting, aanleiding geven tot spanningen, waartegen het beton niet bestand is, met als gevolg dat de betondekking wordt afgedrukt.

Bij het ontwerpen van het schema van het oriënterend laboratoriumonderzoek werd rekening gehouden met overwegingen, die volgen uit de bovenstaande beschouwingen over het mechanisme van het corrosieproces.

Opzet van het onderzoek

Algemeen

Niet controleerbare locale verschillen hebben een belangrijke invloed op het verloop van het corrosieproces. Het gevolg is, dat meestal een grote spreiding optreedt in de resultaten van een corrosie-onderzoek, hetgeen nog wordt bevorderd door het feit, dat de aantastingsnelheid geen lineaire functie is van de tijd. Het lijkt dus noodzakelijk of een groter aantal parallellen (overeenkomstige proefstukken) of meer waarden voor de factoren in het onderzoek te betrekken dan bij beter reproduceerbare onderzoeken het geval zou zijn. Met het oog op het oriënterend karakter van het onderzoek en in verband met de beschikbare middelen werd het aantal parallellen op drie gesteld. De resultaten van de proeven zullen aantonen, dat het totaal aantal waarnemingen vrij klein was.

Vervaardiging van de proefstukken

Als proefstukken werden gekozen prisma's van $10 \times 10 \times 30$ cm³. Zij werden vervaardigd van cement en zand. Hoewel, door het achterwege laten van grind, de proefstukken niet bestonden uit beton, werd aan deze werkwijze de voorkeur gegeven, omdat bij gebruik van grind, waarvan de korrelgrootte eventueel afhankelijk zou kunnen worden gesteld van de betondekking op de wapening, een veranderlijke zou worden ingevoerd, die wellicht het trekken van conclusies omtrent de invloed van de betondekking zou kunnen bemoeilijken.

De volgende mengverhoudingen, in volumedelen, van het cement en het zand werden in de proeven betrokken: 1 : 3; 1 : 4,5 en 1 : 6, respectievelijk overeenkomend met cementhoeveelheden van ongeveer 425, 300 en 225 kg per m³ mortel.

Als cementsoorten werden gekozen hoogovencement B en portlandcement B. Voorts werd Maaszand gebruikt.

Tijdens de vervaardiging van de proefstukken werden de mortels in half-plastische toestand verwerkt. Het vullen van de mallen geschiedde in drie lagen, die elk op de gebruikelijke wijze werden aangestampt. De proefstukken werden ontvormd na 1 dag bewaard te zijn in vochtige lucht; de verharding vond eveneens in vochtige lucht plaats gedurende 27 dagen.

Voor de wapening werd slechts één staalsoort gebruikt, nl. rondstaal met een diameter van 10 mm. De staven werden aan een einde 180° gebogen met een straal van 2 cm. Het lange been van elke staaf was 20 cm lang, het omgebogen, korte been 8 cm. Het ombuigen geschiedde om na te gaan of het koud deformerende van het staal invloed zou hebben op de snelheid, waarmee de corrosie zou plaats vinden. Alle staven zijn kort voor het verwerken door middel van zandstralen van walshuid en roest ontdaan. Dit is geschied om alle

staven in een gelijke begintoestand te brengen, opdat de resultaten van het onderzoek beter vergelijkbaar zouden zijn.

Voor de betondekking werden vier afmetingen aangehouden, te weten: 5, 13, 21 en 30 mm. Teneinde deze afmetingen te verkrijgen, werden de staven opgelegd op mortelblokjes met een hoogte van respectievelijk: 85, 77, 69 en 60 mm.

Met het oog op de versnellende werking van scheuren op het corrosieproces leek het gewenst eveneens proeven te verrichten met behulp van gescheurde proefstukken. Het aanbrengen van scheuren door middel van een belasting zou een aanzienlijke complicatie van het onderzoek betekenen, daar de proefstukken ook tijdens de uitvoering van het onderzoek in belaste toestand zouden moeten blijven verkeren. Bovendien was het gewenst, dat niet alleen een scheur aanwezig zou zijn ter plaatse van het koud gedeformeerde staal in de bocht van een staaf, doch ook ter plaatse van een recht gedeelte. De scheuren werden om deze reden kunstmatig aangebracht door middel van stalen plaatjes, die iets werden ingevet en geplaatst werden in de nog niet verharde mortel. Na voldoende verharding werden de plaatjes verwijderd. De scheurbreedten bedroegen, overeenkomend met de dikten van de plaatjes: 0,1; 0,3 en 1,5 mm.

Proefseries

De *ongescheurde proefstukken* werden vervaardigd met behulp van de beide cementsoorten, met de drie verschillende mengverhoudingen en met de vier genoemde afmetingen voor de betondekking. Elke variatie werd, zoals reeds vermeld, in drievoud in het onderzoek betrokken, zodat elke serie uit drie parallellen bestond. Er werden in totaal $2 \times 3 \times 4 \times 3 = 72$ ongescheurde proefstukken vervaardigd.

Ten aanzien van de *gescheurde proefstukken* is het aantal variaties in betondekking teruggebracht tot twee. Er werden alleen afmetingen van 13 en 30 mm toegepast. Voorts werden de proefstukken hoofdzakelijk van hoogovencement B vervaardigd volgens tabel 1.

Tabel 1

| meng- verhouding | scheur- breedte | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|
| | 0,1 mm | 0,3 mm | 1,5 mm |
| 1 : 3 | * | | * |
| 1 : 4,5 | ** | ** | ** |
| 1 : 6 | * | (*) | * |

* : serie van drie parallellen, vervaardigd met hoogovencement B.

(*) : serie van drie parallellen, vervaardigd met portlandcement B.

Elke serie bestond weer uit drie parallellen. Van de proefstukken met een mengverhouding van 1 : 4,5 werden steeds twee series vervaardigd, met de bedoeling deze op verschillende wijzen te behandelen (zie: Uitvoering van het onderzoek). In totaal werden dus $2 \times 11 \times 3 = 66$ gescheurde proefstukken gemaakt.

Uitvoering van het onderzoek

De proefstukken werden na verharding opgesteld in de buitenlucht en gedurende de eerste maand dagelijks besproeid met een 3%-oplossing van keukenzout in water, opdat het corrosieproces zou worden versneld, zodat binnen redelijke tijd het onderzoek resultaten zou opleveren. Vervolgens werden zij 7 maanden uitsluitend aan de atmosferische omstandigheden blootgesteld.

Van de series bestaande uit gescheurde proefstukken, vervaardigd met hoogovencement B met een mengverhouding van 1 : 4,5, werd steeds een van beide series op deze wijze behandeld, terwijl de andere serie niet werd besproeid en dus alleen aan de atmosferische omstandigheden werd onderworpen, zodat een indruk zou worden verkregen omtrent de invloed van het besproeien.

Na 8 maanden werd van iedere serie een proefstuk uitwendig geïnspecteerd op zichtbare roestvorming, waarna het wapeningsstaal werd blootgelegd en de mate van corrosie beoordeeld. Op grond van de verrichte waarnemingen werden vervolgens alle proefstukken op dezelfde wijze behandeld.

Beoordeling van de proefstukken

Conclusies naar aanleiding van de beoordeling

Het uiterlijk van de proefstukken

Bij de beoordeling van het uiterlijk van de proefstukken kon worden vastgesteld, dat geen van de proefstukken was beschadigd door het afdrucken van de betondekking. Wat betreft de ongescheurde proefstukken, kon alleen bij een aantal met een betondekking van 5 mm roestvlekjes worden geconstateerd. Deze traden in de sterkste mate op bij de proefstukken, vervaardigd met een mengverhouding van 1 : 6. Bij een aantal gescheurde proefstukken met een betondekking van 13 mm was een bruine kleur zichtbaar. Bij de proefstukken met een dekking van 30 mm was deze slechts in enkele gevallen te constateren. In beide gevallen was de bruine kleur bij de proefstukken, gemaakt met een mengverhouding van 1 : 6, duidelijker zichtbaar dan bij de proefstukken met een mengverhouding van 1 : 3.

Corrosie van het wapeningsstaal

Nadat de staven waren blootgelegd, werd de mate van roestvorming beoordeeld. Alle staven bleken roestvorming te vertonen, zij het dat in vele ge-



Fig. 1. Uitbreiding van de roestvorming naar weerszijden van de scheuren. (De scheuren waren nabij het boven- en ondereinde dwars op de staafrichting aangebracht).

vallen het roestproces zich nog in het beginstadium bevond en zich, behalve op enkele staven, nog geen min of meer aansluitende roestlagen hadden gevormd. De spreiding in de mate van roestvorming was vrij groot, vooral bij de gescheurde proefstukken. In vele gevallen was er zowel een verschil in roestvorming langs de enkele wapeningsstaaf als tussen de parallellen aanwezig.

Bij alle gescheurde proefstukken was de roestvorming niet beperkt gebleven tot de plaats van de scheuren, maar strekte de roestvorming zich uit over een afstand van enkele centimeters naar weerszijden van de scheuren (zie fig. 1). Dit houdt waarschijnlijk verband met de besproken invloed van het optreden van verschillen in zuurstofoetreding.

De mate van roestvorming van het wapeningsstaal werd op twee wijzen beoordeeld:

- a. Elke groep staven, afkomstig uit een serie, werd beoordeeld naar het gemiddeld uiterlijk. Met behulp van het gemiddeld uiterlijk werden de groepen onderling vergeleken en ten opzichte van elkaar gekwalificeerd als ongeveer gelijk of als meer of minder sterk geroest. Naar aanleiding van deze vergelijkingen is getracht de invloed van de verschillende variabele factoren bij benadering aan te geven.
- b. Aan alle staven werd, afhankelijk van de mate van roestvorming, een cijfer toegekend, waarbij als basis diende de roestschaal, zoals aangegeven in DIN DVM 3210. Deze schaal wordt sinds een aantal jaren gebruikt door de Corrosie Commissie IVa bij de beoordeling van de roestvorming, veroorzaakt door atmosferische omstandigheden, van geverfde proefplaten. De betekenis van de cijfers van de DIN-schaal is bij figuur 2 weergegeven. Deze cijfers houden, zoals uit de percentages blijkt, rekening met het progressieve verloop van het corrosieproces. Aangezien de roestschaal bestemd is voor de beoordeling van geverfde staalconstructies, waarbij reeds in een betrekkelijk vroeg stadium van het corrosieproces moet worden overgeschilderd, dekt deze schaal voornamelijk de eerste stadia van roestvorming. De sterke aantasting evenwel, die in vele gevallen bij de staven van de gescheurde proefstukken werd waargenomen, was reeds verder voortgeschreden dan het laatste stadium, dat door de DIN-schaal wordt aangegeven, zodat eigenlijk een cijfer, dat belangrijk hoger zou liggen dan 5, had moeten worden

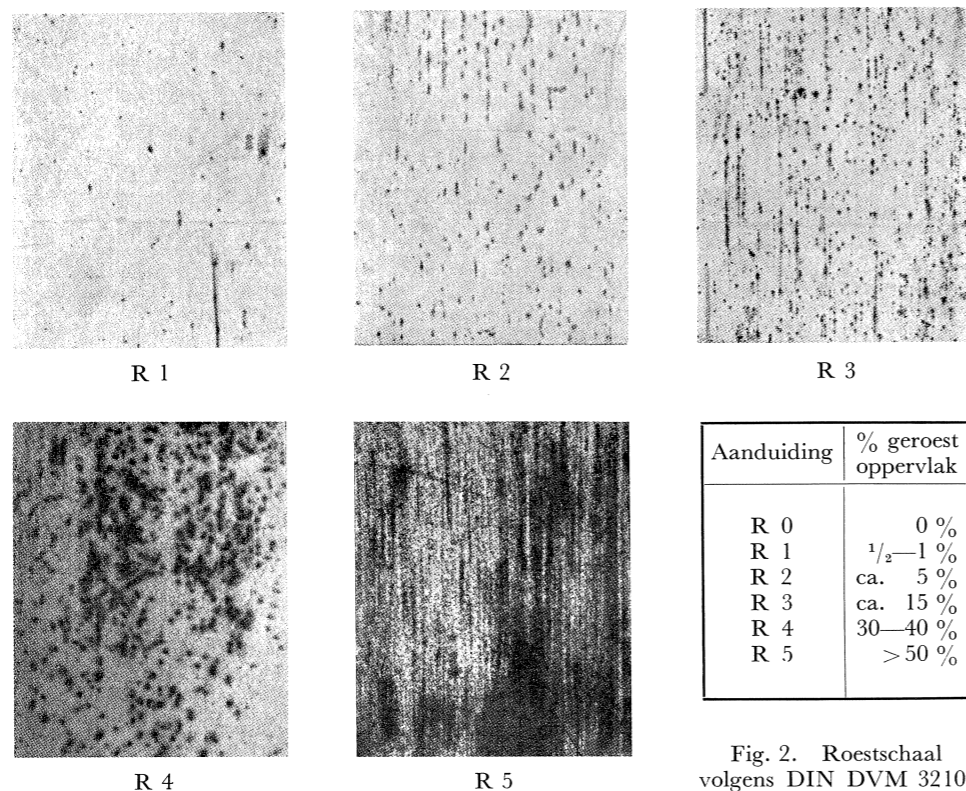


Fig. 2. Roestschaal volgens DIN DVM 3210.

toegekend. Bovendien was in de omgeving van de scheuren de roestvorming sterker dan ter plaatse van de ongescheurde gedeelten. De gegeven cijfers werden hoofdzakelijk bepaald door de mate van roestvorming ter plaatse van de ongescheurde gedeelten, die ongeveer in dezelfde omstandigheden verkeerden als de ongescheurde proefstukken. Slechts voor een klein gedeelte werden zij bepaald door de sterke roestvorming in de omgeving van de scheuren. Om deze redenen werd een beoordeling met behulp van roestcijfers bemoeilijkt, zodat met het toekennen van een gemiddeld cijfer ten aanzien van de staven van de gescheurde proefstukken in het algemeen een niet geheel juist beeld werd verkregen.

Alle staven werden onafhankelijk door vier waarnemers beoordeeld. Een statistische berekening toonde aan, dat geen der waarnemers systematisch hogere of lagere cijfers had gegeven dan de overige waarnemers.

De verschillen tussen de waarnemingen aan één staaf bedroegen voor de ongescheurde proefstukken nooit meer dan 1 schaaldeel en voor de gescheurde proefstukken in enige gevallen 2 schaaldelen. De standaardafwijking van het gemiddelde van 30×4 waarnemingen bedroeg $30 \times 0,15$, zodat gemiddeld 95% van de waarnemingen zullen voorkomen in het gebied,

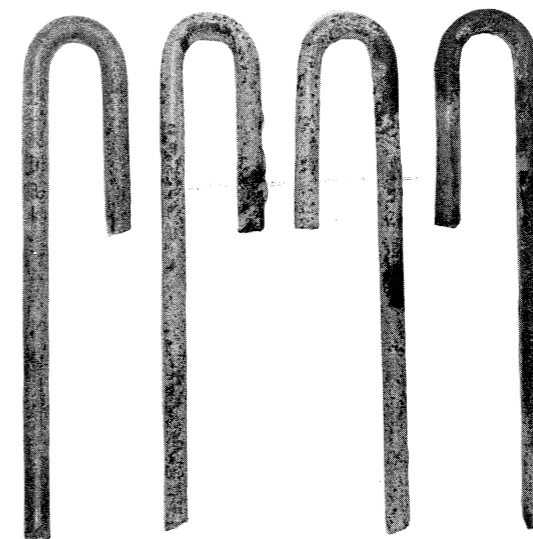
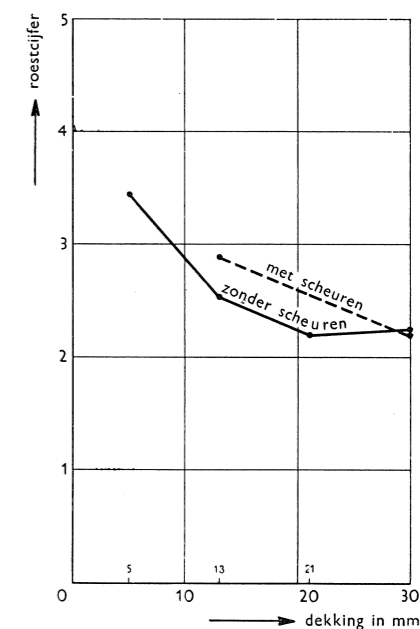
Fig. 3. De roestvorming als functie van de betondekking voor gescheurde en ongescheurde proefstukken, ongeacht de cementsoort, de mengverhouding en de scheurbreedte.

begrensd door de waarden, welke aan weerszijden op 0,15 schaaldeel afstand van het gemiddelde van de waarnemingen van één staaf liggen.

Uit het verrichte onderzoek kunnen de volgende voorlopige conclusies worden getrokken:

Het bleek, dat noch bij de gescheurde, noch bij de ongescheurde proefstukken verschil was te constateren tussen de mate van roestvorming ter plaatse van de rechte gedeelten van de wapeningsstaven en in de bochten van de staven. Een invloed van het buigen — koud deformerend — van het staal komt dus in het resultaat van het onderzoek niet tot uiting.

Wanneer de gemiddelden van de roestcijfers als functie van de betondekking worden uitgezet ongeacht de cementsoort, de mengverhouding en de scheurbreedte, blijkt dat deze voor de ongescheurde proefstukken toenemen naarmate de betondekking afneemt van 21 tot 5 mm. Wanneer de betondekking toeneemt van 21 tot 30 mm blijken zij ongeveer constant te blijven. De gemiddelden van de gescheurde proefstukken zijn uiteraard hoger dan van de ongescheurde proefstukken (zie fig. 3).



Bij het uitzetten van de roestcijfers, afkomstig van de ongescheurde proefstukken, vervaardigd met de verschillende mengverhoudingen, als functie van de betondekking, blijkt in verband met de optredende spreiding en de kleinere

Fig. 4. Roestvorming bij staven, afkomstig uit ongescheurde proefstukken, vervaardigd van portlandcement B met een mengverhouding van 1 : 6 met v.l.n.r. afmetingen van de betondekking van 30, 21, 13 en 5 mm.

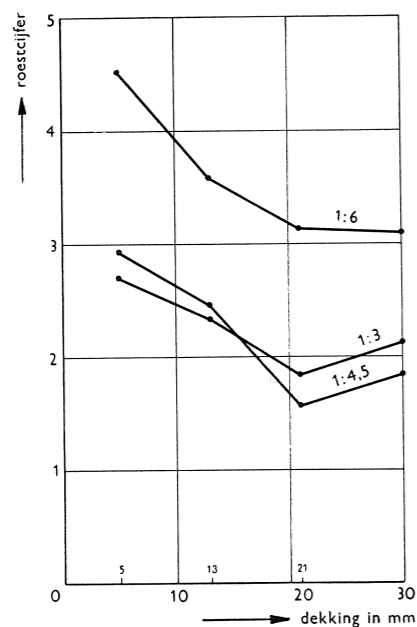


Fig. 5. De roestvorming als functie van de betondekking voor verschillende mengverhoudingen in ongescheurde proefstukken, vervaardigd met portlandcement B.

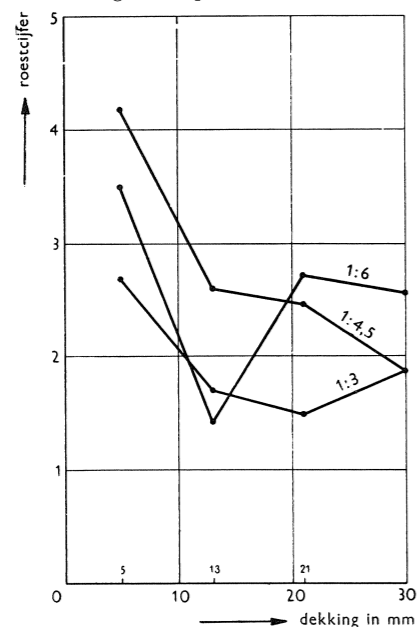


Fig. 6. De roestvorming als functie van de betondekking voor verschillende mengverhoudingen in ongescheurde proefstukken, vervaardigd met hoogovencement B.

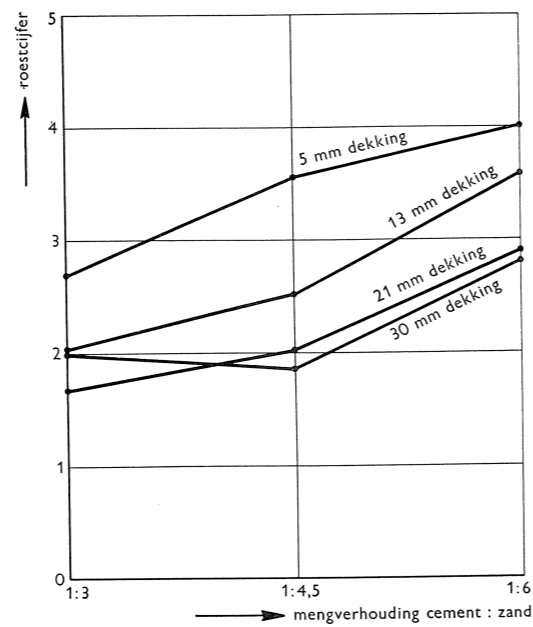


Fig. 7. De roestvorming als functie van de mengverhouding voor verschillende afmetingen van de betondekking in ongescheurde proefstukken, ongeacht de cementsoort.

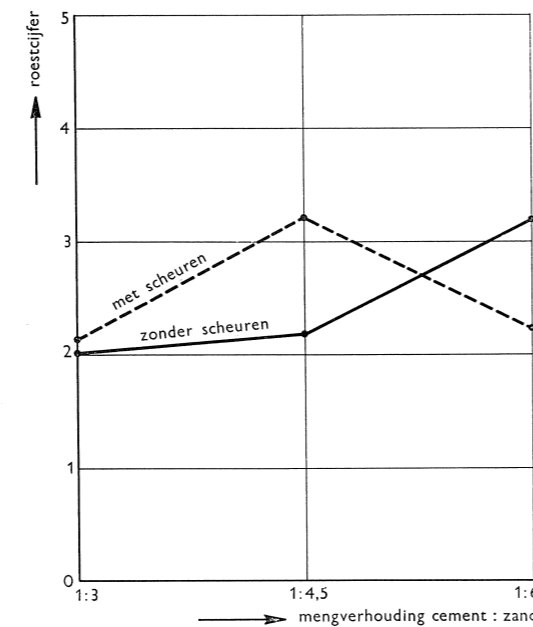


Fig. 8. De roestvorming als functie van de mengverhouding voor gescheurde en ongescheurde proefstukken, ongeacht de cementsoort en de betondekking, waarbij evenwel alleen afmetingen van 13 en 30 mm zijn betrokken.

aantallen het verloop minder regelmatig te zijn. Wat betreft de met portlandcement B vervaardigde proefstukken is de mate van roestvorming bij de proefstukken met een mengverhouding van 1 : 6 duidelijk groter dan bij de proefstukken met de beide andere mengverhoudingen, waarbij de mate van roestvorming onderling weinig verschilt (zie fig. 5). Figuur 4 toont enkele staven, afkomstig uit proefstukken met een mengverhouding van 1 : 6. Uit het onderzoek met behulp van de proefstukken, met hoogovencement B vervaardigd, zijn enige zeer afwijkende cijfers verkregen, zoals b.v. voor de proefstukken met een mengverhouding van 1 : 6 en een betondekking van 13 mm, die een zeer gunstig cijfer opleverden, dat geheel buiten het kader van de overige resultaten valt (zie fig. 6). Dit afwijkende cijfer is niet betrokken in de grafiek van figuur 3. Uit een vergelijking van de figuren 5 en 6 is niet duidelijk vast te stellen of er verschil bestaat tussen de mate van roestvorming in overeenkomstige proefstukken, welke echter vervaardigd zijn met verschillende cementsoorten.

In figuur 7 zijn uitgezet de roestcijfers, afkomstig van de ongescheurde proefstukken als functie van de mengverhouding voor de verschillende afmetingen van de betondekking. In deze grafiek zijn de cijfers van de proefstukken, vervaardigd met beide cementsoorten, betrokken. In het algemeen kan worden vastgesteld, dat de mate van roestvorming toeneemt naarmate minder cement in de mortels is verwerkt.

In figuur 8 zijn de roestcijfers van de gescheurde en de ongescheurde proefstukken met afmetingen van de betondekking van 13 en 30 mm in een grafiek verenigd. Opmerkelijk zijn de gunstige cijfers van de gescheurde proefstukken met een mengverhouding van 1 : 6. Het is moeilijk te zeggen of dit reëel is.

Bij de gescheurde proefstukken bleek, dat bij toenemende scheurbreedte van 0,1 tot 0,3 mm (proefstukken vervaardigd met hoogovencement B met een mengverhouding van 1 : 4,5) geen duidelijke toename van de mate van aantasting was vast te stellen. Er waren gevallen, waarbij zelfs een vermindering optrad. Bij de proefstukken met een scheurbreedte van 1,5 mm was de mate van roestvorming minder dan bij de proefstukken met kleinere scheurbreedte. De spreiding in de resultaten was evenwel zeer groot. Het is mogelijk, dat enerzijds na het uittrekken van de stalen plaatjes de kunstmatige scheuren enigszins zijn vernauwd, anderzijds door het uittrekken iets zijn verwijd. Uit dit gedeelte van het onderzoek kunnen dus geen conclusies van grote draagwijdte worden getrokken.

Er was geen groot verschil te constateren tussen de resultaten van de overeenkomstige proefstukken, die wel en die niet met een keukenzout-oplossing waren besproeid. In het algemeen kon worden vastgesteld, dat de besproeide proefstukken iets minder sterk geroeste staven vertoonden dan de andere, hetgeen niet in overeenstemming was met de verwachtingen.

Tijdens het blootleggen van de staven werd een merkbaar verschil waargenomen tussen de aanhechting van het staal met de mortel, gemaakt met be-

hulp van portlandcement B en die met hoogovencement B. Deze laatste mortel bleef steeds aan de staven hechten, in tegenstelling tot de eerste, waaruit de staven geheel glad te voorschijn kwamen.

Conclusies ten aanzien van een eventueel voortgezet laboratorium-onderzoek

Ten aanzien van een eventueel voortgezet laboratoriumonderzoek kan worden geconcludeerd, dat allereerst dient te worden gezocht naar een meer bevredigende wijze van beoordeling van de mate van corrosie. Zowel de beoordeling door middel van onderlinge vergelijking en kwalificatie van het uiterlijk van de staven als de beoordeling met behulp van de roestschaal volgens DIN DVM 3210 bleek aanzienlijke bezwaren te hebben.

Wanneer in een onderzoek de invloed van één factor op de mate van corrosie wordt onderzocht, kan dit geschieden door in een proevenserie deze factor te variëren en alle overige factoren op bepaalde waarden te fixeren. Het is dan mogelijk, dat een bepaalde correlatie wordt gevonden tussen deze factor en de mate van corrosie. Indien evenwel in een andere proevenserie de constant te houden factoren op andere waarden worden gefixeerd kan een correlatie worden gevonden, die verschilt van die uit de eerste proevenserie bepaald. Om op deze wijze alle mogelijkheden te onderzoeken zouden vele proefstukken noodzakelijk zijn. Indien een aantal factoren gelijktijdig wordt gevarieerd is het wellicht mogelijk, met behulp van de waarnemingsrekening, toch de invloed van iedere variabele factor afzonderlijk te bepalen. Het aantal proefstukken zou dan aanzienlijk kunnen worden beperkt.

Ten aanzien van de verschillende factoren kan, naar aanleiding van het verrichte onderzoek, het volgende worden geconcludeerd:

Daar geen invloed was te constateren van het koud deformereren van het staal zou in eerste instantie kunnen worden volstaan met het buiten beschouwing laten van deze factor in een eventueel voortgezet onderzoek.

In figuur 3 is te zien, dat de betondekking niet met grotere intervallen mag variëren, dan in het onderzoek is geschied. Het lijkt zelfs gewenst, tussen 5 en 21 mm twee afmetingen van de betondekking in een voortgezet onderzoek te betrekken.

Figuur 5 toont aan, dat voor de met portlandcement B vervaardigde proefstukken de mengverhoudingen niet geheel juist zijn gekozen. De lijnen behorende bij de mengverhoudingen 1 : 3 en 1 : 4,5 vallen vrijwel samen.

Figuur 6 laat zien, dat eerst omtrent de keuze van de mengverhouding van de met hoogovencement B vervaardigde proefstukken conclusies kunnen worden getrokken, nadat meer proeven zijn verricht.

Uit het oriënterend onderzoek is moeilijk te concluderen of de beide cementsoorten het corrosieproces op verschillende wijze hebben beïnvloed, zodat beide in een voortgezet onderzoek zullen moeten worden betrokken.

De invloed van de scheurbreedte is niet duidelijk. Een voortgezet onderzoek zal omtrent deze factor opheldering moeten verschaffen.

Tenslotte dienen de omstandigheden voor de behandeling van de proefstukken te worden vastgesteld. Het onverwachte resultaat van het besproeien van de proefstukken maakt een beslissing moeilijk. Ondanks het ogenschijnlijk negatieve resultaat lijkt het toch gewenst de proefstukken te onderwerpen aan een behandeling met een keukenzoutoplossing ter versnelling van het corrosieproces, opdat binnen redelijke tijd een resultaat wordt verkregen. Teneinde de omstandigheden beter te kunnen beheersen, is het vermoedelijk beter de periodieke besproeiing te vervangen door het plaatsen van de proefstukken gedurende 24 uur in een 0,5% keukenzoutoplossing, voorafgaande aan een opstelling in de buitenlucht.

Summary

An investigation of the corrosion of steel in concrete was carried out with the aid of test pieces of mortar to get orientated in some degree about the influence of different factors and to get at the same time an impression about the dimensions, composition and treatment of the test pieces when the influence of one or more factors would be studied more penetrating in a possibly continued investigation.

In the test series composition, type of cement and covering of the reinforcement were varied. Test pieces with artificial cracks of different width were made too. The test pieces were exposed as well to periodical sprinkling with a solution of cooking-salt as to atmospheric influences.

From the obtained results preliminar conclusions are drawn about the influence of the different factors and about a possibly continued investigation.