

Schade aan van aluminium-cement vervaardigde voorgespannen elementen

Naar aanleiding van verschillende bij veestallen ingestorte daken in Beieren (Duitsland) is een onderzoek ingesteld. Dit onderzoek betreft ca. 350.000 m² daken van veestallen en ca. 300.000 m² vloeren in scholen en woningen. Hoewel het onderzoeksprogramma nog niet geheel is afgesloten, zijn de resultaten, die tot nu toe werden verkregen, belangwekkend. De voorgespannen balken bezweken ten gevolge van corrosie, die ontstaat bij bepaalde klimatologische omstandigheden van beton vervaardigd van aluminium-cement. Van 9000 objecten, waarvan bij 5200 objecten aluminium-cement werd gebruikt, is onderzocht of speciale veiligheidsmaatregelen noodzakelijk waren. Van de hierbij inbegrepen onderzochte veestaldaken bleek in 80 % van de gevallen, dat minstens bij enige balken gevaar voor breuk aanwezig is. Daarbij is ondersteuning of vervanging noodzakelijk. Hieronder volgt een korte samenvatting van de onderzoeksresultaten, waarbij eerst iets wordt vermeld over corrosie en over aluminium-cement.

Corrosie

In beton, gemaakt van normale cementen draagt de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zorg voor een basisch milieu. De verse specie heeft een pH van ca. 12,6. Bij $\text{pH} > 9$ is er sprake van een actieve corrosiebescherming doordat het staal van een oxydehuidje wordt voorzien. Bij inwerking van CO_2 zal de pH-waarde afnemen, doch bij een goede betondekking wordt dit voorkomen. De basische werking van de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is onvoldoende bij blootstelling van het beton aan chloriden. Er ontstaat dan zwavelwaterstof, die atomaire waterstof ontwikkelt. Hierdoor ontstaat een aantasting van het staal loodrecht op de staafas, die met het oog niet is waar te nemen.

Het Duitse Comité voor Gewapend Beton is doende met het opstellen van een rapport, waarbij de invloed van de scheurwijdte op corrosiebescherming wordt onderzocht.

Aluminium-cement

Aluminium-cement wordt bereid uit kalksteen en bauxiet (CaO en Al_2O_3). De in Duitsland gebruikte aluminiumcementen (Tonerdeschmelzzement = TSZ) worden vervaardigd van kalk- en aluminiumrijke hoogovenslakken. Het Duitse aluminium-cement heeft een hoog sulfide aandeel nl. ca. 1,3 %.

Het voordeel van het gebruik van de aluminiumcementen wordt gevonden in de hoge aanvangsterkte, waardoor snel ontkisten mogelijk is. Vooral in betonfabrieken geeft dit een economisch gebruik van de bekisting. De verhouding van Al_2O_3 tot SiO_2 , die bij p.c. ca. 0,67 bedraagt is bij aluminiumcement wel 2,5.

Er zijn drie redenen die grotere aantasting van het staal kunnen veroorzaken. In de eerste plaats is de pH waarde laag en is er geen actieve corrosiebescherming door vorming van een oxydehuidje op het staal. Verder blijkt de druksterkte na verloop van 20 à 30 jaar af te

nemen met een daarbij gepaard gaande vergroting van de porositeit. Deze teruggang in sterkte wordt bespoedigd en versterkt door inwerking van warmte en vochtigheid. Zelfs is het ongunstig, indien door hydrateringswarmte de temperatuur boven +21 °C oploopt. De vergroting van de porositeit geeft de mogelijkheid van aantasting t.g.v. CO_2 -inwerking. Bij een hoog sulfide-gehalte is er dan tevens de ongunstige situatie door H_2S vorming.

Geconstateerde bezwijkingen

Bezwijking van veestaldaken trad op, zonder duidelijke waarschuwing, in de vorm van groter wordende vervormingen. Ook was opvallend dat een dak in zijn geheel instortte en niet slechts enkele liggers. Aan de hand van de breukvlakken van het staal (meestal warmgewalst met $\sigma_e = 145 \text{ kg/mm}^2$ en $\sigma_{ar} = 160 \text{ kg/mm}^2$, doch ook wel koud vervormd) kon dit worden verklaard. Bij enkele staven trad nl. brosse breuk op, bij de overige was er sprake van insnoering. De liggers met de aangetaste staven brachten belasting via het vulbeton over op de goede liggers totdat deze werden overbelast en het gehele dak daardoor instortte. Daar de instorting niet volgde na een extra hoge belasting is het verklaarbaar dat er geen zichtbaar grote vervorming optrad.

Uit resten werden stukken staal vrij gemaakt en onderzocht. Hierbij werden gave delen geconstateerd en delen waar een sterke oppervlaktecorrosie was opgetreden. De beoordeling op het oog gaf wel een aanwijzing, doch was op zichzelf onvoldoende.

De plaats van de breuk was bij enkele objecten bij het zwaarst belaste punt, bijv. bij een dakopbouw. Ook trad dit op ter hoogte van het gebint van de stal, waar de CO_2 bevattende uitademingsgassen van het vee kwamen. Het uitademen betekent eveneens een vochtige warmte. Beide zijn de reeds genoemde ongunstige factoren, die teruggang van sterkte geven, met de daarbij groter wordende porositeit van aluminium-cementbeton.

Onderzoekingen

De elementen van de schadegevallen waren door drie betonwarenfabrieken geleverd. De schade was nagenoeg gelijk en kennelijk onafhankelijk van de aard der fabrieken.

Opvallend is, dat er zware schade is opgetreden bij het lichtgrijze beton en een lichtere bij het blauwgroene beton. De daken van de beschouwde veestallen hadden zowel de ene als de andere als gemengde kleuren. Bij de blauwgroene daken blijkt nog een actieve corrosiebescherming aanwezig te zijn, bij de lichtgrijze is dit niet meer het geval. Uit een onderzoek bleek, dat verharding zonder koeling of bevochtiging lichtgrijze beton geeft, terwijl de blauwgroene kleur ontstaat indien deze twee zaken wel in acht worden genomen. Hoewel direct na het storten de pH waarde bij beide soorten gelijk is, verandert deze vrij snel op bovengenoemde wijze. (Deze kleuring treedt overigens ook op bij hoogovencement!). Het is niet bekend

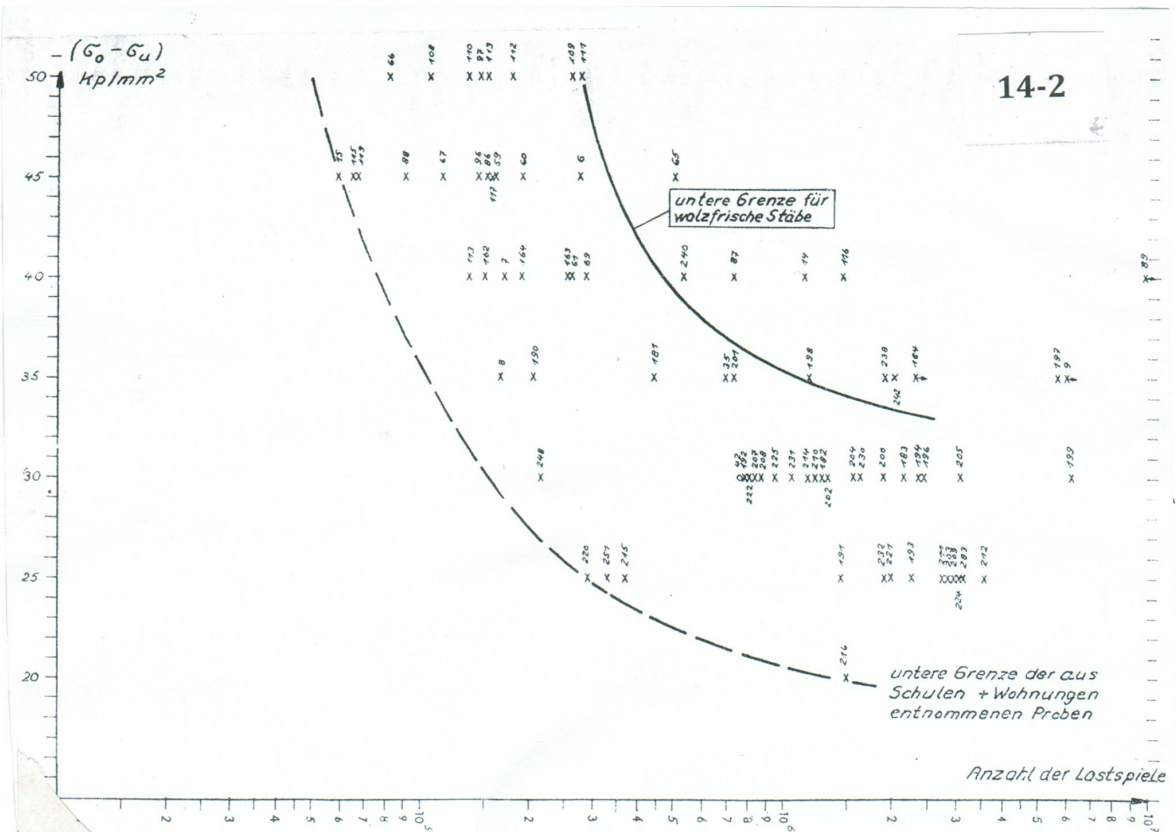


Fig. 1. De uitkomsten van de vermoeiingsproeven, met een Amsler-HFP 10, op voorgespannen vloer- en dakelementen van scholen en woningen.

of naderhand de verkleuring tot lichtgrijs nog op kan treden, doch dit wordt nog onderzocht.

Bij 9000 objecten (waarvan 5200 met aluminiumcement) is van het beton een stukje genomen en onderzocht op de actieve beschermingsgraad. Hierbij werd onderzocht of de pH in het gunstige of ongunstige gebied lag. Verder kon de verhouding van Al_2O_3 tot SiO_2 worden bepaald en op grond daarvan mede worden geconstateerd of er aluminiumcement was toegepast.

Verder bleek dat de staven die in uitsparingen aan de zijden der balken waren aangebracht, sterker waren aangetast dan de in de balk opgenomen staven. De dekking was hier poreuzer en geringer dan in het laatste geval.

Van het staal van de vloeren in de scholen werden totaal 250 proefstukken genomen en aan een wisselbelasting onderworpen. Hierbij werden tevens belastingswisselingen uitgevoerd op nieuwe staven. Het resultaat is te zien in figuur 1, waar een ondergrens voor beide is aangegeven. Hoewel er sprake is van een teruggang bij deze vermoeiingsproef is de uiteindelijke teruggang in treksterkte slechts 10%. De breukvlakken van een nieuwe staaf, een sterk en minder sterk aangetaste staaf van elementen uit een school en tenslotte een sterker aangetaste staaf uit een veestalelement zijn in de figuren 2 t/m 5 te zien. De pijlen geven de plaats van uitgang van de breuk aan.

Ook bleek, dat nabij de balkeinden sterkere aantasting optrad, hetgeen waarschijnlijk zijn oorzaak vindt in bij het spannen ontstane scheuren.

Voorlopige conclusies

Aantasting in de vorming van corrosie van voorspanstaal treedt duidelijk meer op indien de klimatologische omstandigheden ongunstiger zijn, bijv. vochtige warmte en groot CO_2 gehalte. Hoewel in scholen de omstandigheden gunstiger zijn dan in veestallen treedt ook hier corrosie op. In woningen is de omstandigheid nog gunstiger; bovendien zijn de belastingen en overspanningen hier minder groot. Het onderzoek toonde aan, dat in veestallen ondersteuning noodzakelijk is als veiligheidsmaatregel. Hoewel reeds veel scholen zijn onderzocht is nog niet gebleken, dat hier directe gevaren aanwezig zijn, hetgeen ook geldt voor de woningen. Toch blijkt het noodzakelijk het onderzoek voort te zetten, daar niet bekend is hoe de situatie na een groot aantal jaren zal zijn.

Deze publikatie leert wel, dat het beter is bij voorgespannen beton in het geheel niet aan aluminium-cement te denken.

R. A. T.

Zement-Kalk-Gips, maart 1964, Nr. 3.

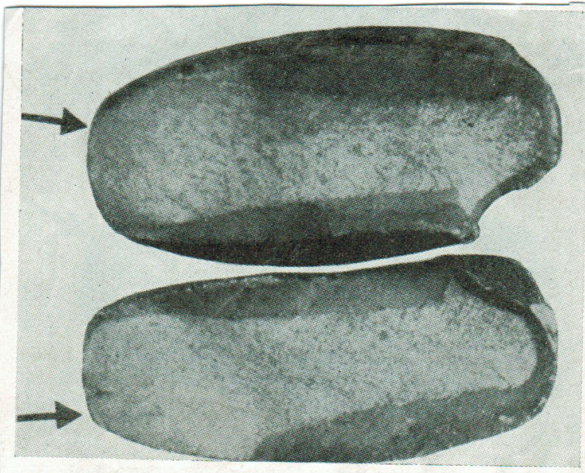


Fig. 2. Breukvlak van een nieuwe (niet ingebetonnerde) staaf.

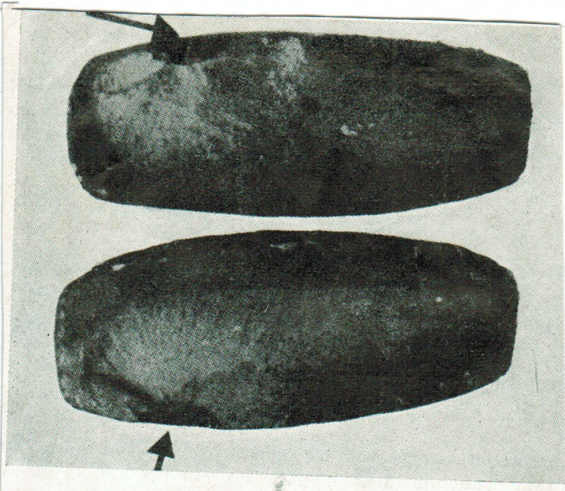


Fig. 3. Breukvlak van een sterk aangetaste staaf afkomstig uit een school.

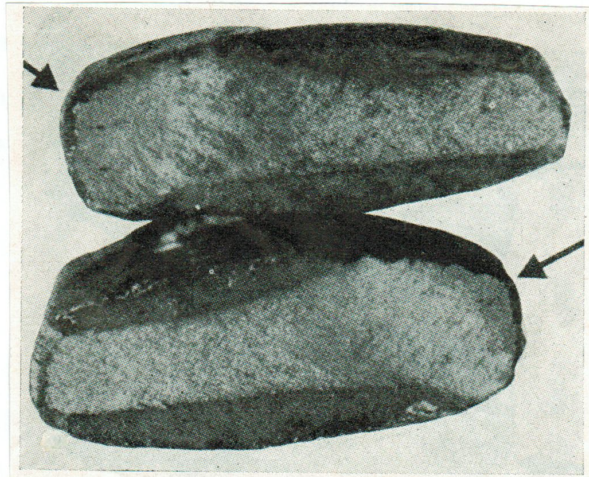


Fig. 4. Breukvlak van een minder sterk aangetaste staaf uit een school.

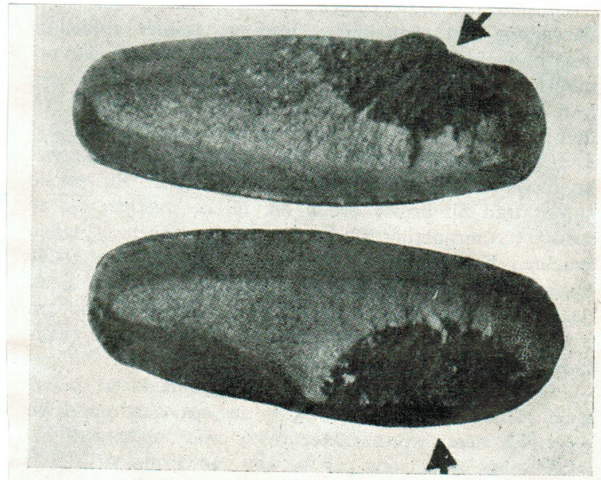


Fig. 5. Breukvlak van een sterk aangetaste staaf van een betonelement uit een veestal.