
Minder bouwfouten door krimp- en knoopbeschoeiwing?

Voorbeelden van veel voorkomende schades

Als je eenmaal een fout hebt gemaakt, dan maak je die niet zo snel nog een keer. Niet voor niets is er het spreekwoord 'Een ezel stoot zich geen tweemaal aan dezelfde steen.' Maar we moeten natuurlijk niet allemaal eerst een fout maken om het vervolgens niet meer te doen. Oftewel: we moeten ook leren van fouten die door anderen zijn gemaakt. Helaas echter zien we bij Adviesbureau Hageman nog te vaak dezelfde bouwfouten telkens opnieuw langskomen. Hoe kunnen we het aantal bouwfouten verminderen, vooral de fouten die leiden tot schade?

Constructieve veiligheid heeft al decennia lang de aandacht en in de loop der tijd zijn er door partijen, zoals CUR, Betonvereniging en VNconstructeurs, initiatieven genomen om die beter te borgen. Een aantal instortingen aan het begin van deze eeuw, zoals een in aanbouw zijnde toneeltoren in Hoorn (2001), een parkeerdek van een Van der Valk hotel in Tiel (2002) en balkons van Patio Sevilla in Maastricht (2003), alsmede een verzakking bij het Bos en Lommerplein in 2006, gaven hieraan een sterke impuls. Deze en andere instortingen zijn geanalyseerd om ervan te leren. CUR had een project 'Leren van instortingen' [1] en onder dezelfde titel schreef prof. Van Herwijnen een boek [2]. In die studies is er aandacht voor alle aspecten die kunnen hebben bijgedragen aan de instorting. Naast uitvoering en ontwerp zijn dat bijvoorbeeld ook ver-

auteurs



**DR. IR. DICK
HORDIJK**

Adviesbureau Hageman



**IR. SANDER VAN
DER VOSSEN**

Adviesbureau Hageman

gunningverlening, communicatie, controles en verantwoordelijkheden. Minder ernstig dan instortingen, maar zeker ook onwenselijk, zijn bouwschades. Die komen veel meer voor en in verschillende verschijningsvormen.

Bouwschade ter lering

In de jaren 90 (1992) was er in *Cement* een artikelenserie onder de titel 'Bouwschade ter lering' [3]. In vier artikelen besprak de toenmalige directeur van Adviesbureau Hageman, ir. Peter de Jong, bouwschades met een constructieve achtergrond. Op basis van ervaringen met 650 schadegevallen over een periode van circa 30 jaar, concludeerde hij dat schades veelal het gevolg zijn van fouten die steeds opnieuw worden gemaakt. Inmiddels, circa 30 jaar en vele schadegevallen verder, is de conclusie uit de

eerdere analyse van schadegevallen nog precies hetzelfde.

In de introductie van de artikelenserie in 1992 wees De Jong op het gebrek aan communicatie over gemaakte fouten (zie kader). De redactie van *Cement* schreef toen “*blij te zijn met de informatie over de bouwschades, want daarmee zou het taboe dat op het onderwerp ligt, worden doorbroken*”. Tegenwoordig lijkt er niet echt een taboe meer te zijn. Het over fouten publiceren zit misschien minder in het bloed bij bouwpartijen. Daar ligt wellicht ook meer een taak bij onderzoeksbureaus en vakbladen, zoals *Cement*, waar goed invulling aan wordt gegeven. Als voorbeelden kan worden gewezen op de rubriek VARCE en de enkele jaren terug verschenen artikelen onder de titel ‘Dick voor Mekaar’. Door meerdere bureaus wordt regelmatig gerapporteerd over zaken die fout zijn gegaan.

Het is veel meer de vraag hoe we de diverse aandachtspunten goed bij de jonge, maar toch ook bij de ervaren constructeurs tussen de oren krijgen. In de hoop daar weer een steentje aan bij te dragen, worden navolgend enkele voorbeelden besproken. Daarbij wordt niet zozeer ingegaan op individuele bouwschades, maar wordt geschetst dat er min of meer sprake is van groepen van bouwschades. In bijlage A van de recent door NEN uitgebrachte NTA 8790 [4] is ook een opsomming opgenomen van eerder agetroffen schades die de constructieve betrouwbaarheid negatief kunnen beïnvloeden.

Scheurvorming door verhinderde krimpverkorting

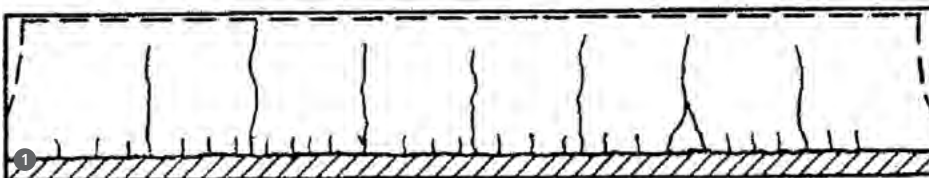
Dé eigenschap van beton die zonder enige twijfel leidt tot de meeste bouwschades is krimp. Dat was in 1992 al zo, toen scheurvorming door krimpbelemmering de absolute nummer één was in een opgestelde schade top 10 voor beton [3].

Kelderwanden Een veelvoorkomend schadegeval is scheurvorming in, en daardoor lekkage door, kelderwanden. Doordat de wand wordt gestort op een vloer die enige tijd eerder is aangebracht, wordt de wand door de vloer verhinderd te verkorten en ontstaan er verticale scheuren (fig. 1). Door voldoende horizontale wapening aan te brengen, kan de scheurwijdte voldoende klein worden gehouden. Er is veelal alleen sprake van krachtsafdracht in verticale richting naar de kelder-vloer en de begane grondvloer, waardoor in horizontale richting vaak een laag wapeningspercentage is toegepast met lekkende scheuren tot gevolg. Uit economische overwegingen kan ervoor worden gekozen die scheuren op te laten treden en later te injecteren. Een probleem is het als de constructeur het risico bij het ontwerp niet onderkent en er met de opdrachtgever, die een waterdichte kelder verwacht, niet over communiceert. In nummer vijf van de serie over bouwfouten in 1992 [5] is dit behandeld en is gesteld dat met een wapeningspercentage van 0,5% à 0,7% de scheurwijdte in de meeste gevallen voldoende kan worden beperkt.

Bedrijfsvloeren Scheurvorming in bijvoorbeeld kelder- en bedrijfsvloeren zit in dezelfde categorie als de kelderwanden. De verhindering van de krimp is nu door de ondergrond, door funderingspalen en/of door aansluitende gebouwdelen. Problemen doen zich vooral voor bij lange, ongedilateerde vloervelden.

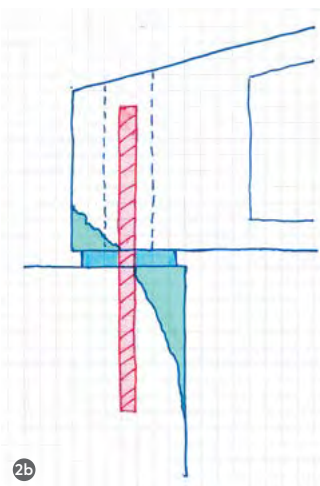
Geprefabriceerde betonelementen Een andere categorie betreft geprefabriceerde betonelementen. Hierbij heeft een deel van de krimp al vrij op kunnen treden als een element op de bouw wordt geplaatst. Maar ook dan nog zal krimpverkorting op willen treden en als dat niet vrij kan, kan dat tot schade leiden. Overigens speelt hierbij →

Dé eigenschap van beton die zonder enige twijfel leidt tot de meeste bouwschades is krimp



CITAAT UIT ARTIKEL 'BOUWSCHADE TER LERING (I)' 1992 [3]:

Wie al lang meeloopt in de bouw twijfelt aan het waarheidsgehalte van het spreekwoord 'door schade en schande wordt men wijs'. Schade blijkt het gevolg van voor de hand liggende fouten. Dezelfde fouten worden wellicht steeds opnieuw door anderen gemaakt. Men mag aannemen dat iemand zichzelf confronteert met de eigen fouten en daaruit lering trekt. Maar de mededeelzaamheid daarover naar collega's toe ontbreekt dikwijls. Bedrijven houden uit commerciële belangen hun fouten intern. Macro-economisch gezien is schade een zeer nadelig verschijnsel, maar elke bouwbranche verdedigt uiteraard zijn eigen economische belangen.



vervorming door temperatuurverandering vaak ook een belangrijke rol.

Een relatief veel voorkomende schade is het afscheuren van een hoek beton voor een stek, als die stek, door bijvoorbeeld aangegoten te zijn, iedere onderlinge verplaatsing tussen het prefab element en het onderliggend constructiedeel verhindert. Een voorbeeld van een dergelijke schade, waarbij overigens kruipvervorming door de voorspanning in de ligger ook een rol zal hebben gespeeld, is behandeld in de rubriek Dick voor Mekaar [6] (fig. 2).

Ook al treedt verkorting ook op door temperatuurverandering, het aantal bouwschades bij betonconstructies zou zeer sterk verminderen als het beton niet meer door uitdroging in de tijd zou verkorten (krimpen). Helaas bestaat dat beton nog niet. En het voorschrijven van een krimparme betonsoort en goede nabehandeling, zoals in sommige bestekken staat, zal bij een laag wapeningspercentage lekkende scheuren niet kunnen voorkomen. Voor alle duidelijkheid: door het krimpgedrag is beton zeker niet een minder geschikt bouw materiaal. Er moet alleen rekening mee worden gehouden en dat gebeurt helaas nog steeds te vaak niet.

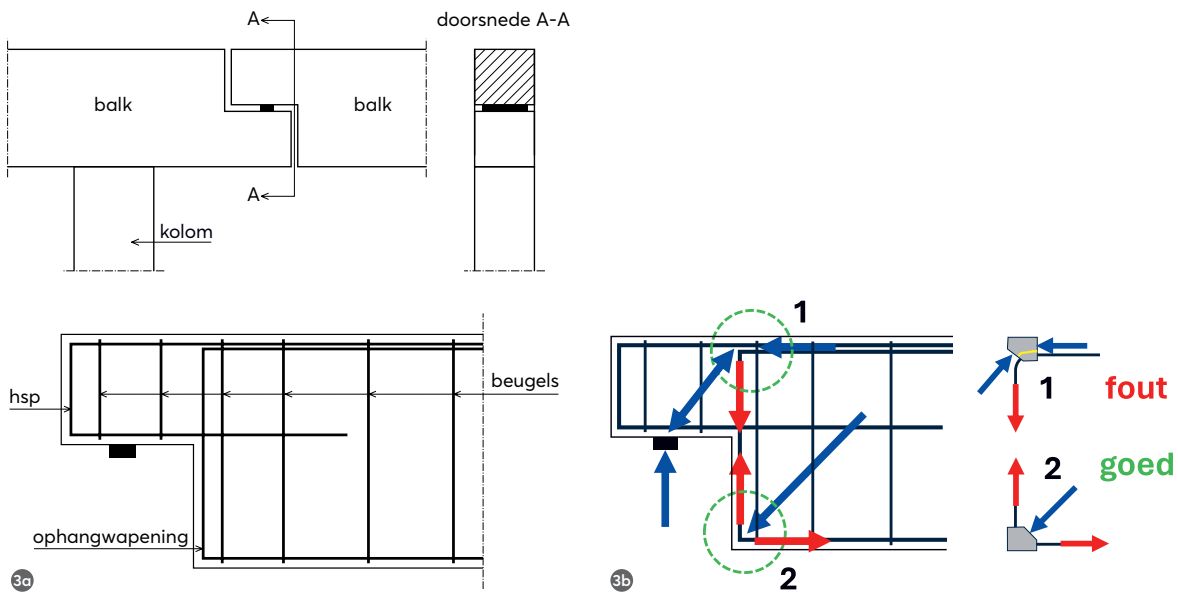
Onjuiste wapeningsdetaillering

Eén van de colleges Forensic Structural Engineering aan de TU Delft, met als titel 'The devil is in the detail', betref fouten bij

wapeningsdetaillering. Twee bekende voorbeelden hiervan uit het recente verleden met significante consequenties op nationaal niveau betroffen de breedplaatvloeren en nokken en tanden. Over de breedplaatvloerenkwestie is de afgelopen jaren veelvuldig gepubliceerd in *Cement* en onder de titel 'Nokken met die tanden' zijn in de periode 2006-2009 diverse artikelen van onder andere prof. Kleinman in *Cement* verschenen.

Zoals in de *fib* Model Code [7] is aangegeven, kan in betonconstructies voor het dimensioneren onderscheid worden gemaakt in B- en D-gebieden. In B-gebieden (B van Bernoulli) variëren de krachten en buigende momenten geleidelijk. Op basis van berekende buigende momenten en dwarskrachtenlijnen wordt veelal de benodigde wapening wel goed aangebracht. Bij de D-gebieden (D van Discontinuity) varieert dit veel abrupter. Er wordt ook wel gesproken over de B van 'Bekend' en de D van 'Denken'.

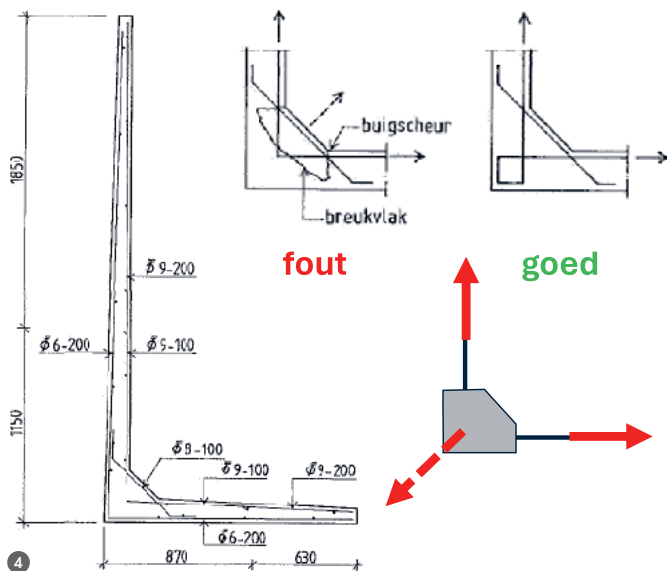
In D-gebieden met een niet-lineaire rekverdeling over de hoogte van de doorsnede, zoals bij opleggingen en dichtbij geconcentreerde belastingen, mogen volgens Eurocode 2 [8] (artikel 6.5) staafwerkmodellen worden toegepast. Staafwerkmodellen bestaan uit drukstaven, trekstaven en knopen. Problemen doen zich vaak voor als de krachtswerking in een knoop niet goed is verzorgd. De tandverbinding zoals die indertijd veelvuldig in de praktijk voorkwam en die prof. Kleinman in zijn eerste *Cement*-artikel in 2006 gebruikte om op de onjuiste



detailtering te wijzen, is weergegeven in figuur 3a [9]. In figuur 3b is het staafwerkmodel getekend, waarbij is ingezoomd op twee knopen. Bij knoop 2 kan de drukstaaf zich goed afzetten in de knoop, doordat de ophangwapening door de knoop direct doorloopt in de trekbandwapening onderin de balk. Oftewel, beide trekstaven, de onderen ophangwapening, zijn goed in de knoop verankerd. Bij knoop 1 daarentegen is de trekstaaf (ophangwapening) niet goed in de knoop verankerd en kan er een scheur ontstaan. Dit beperkt in sterke mate de

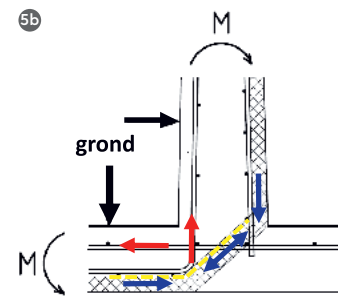
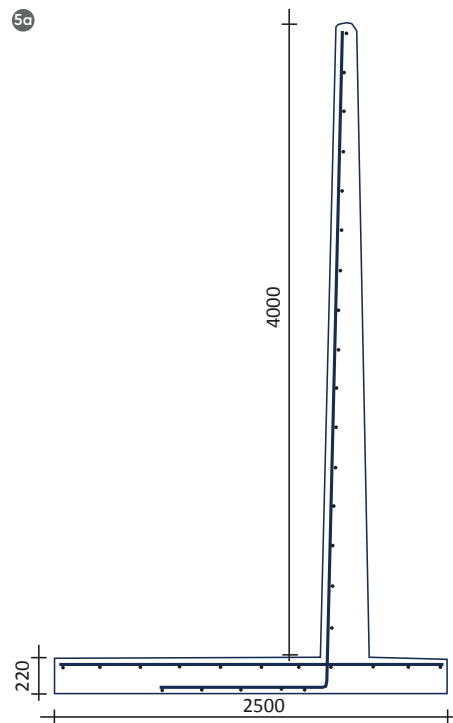
capaciteit van de schuine drukstaaf. De ophangwapening is wel goed in de knoop verankerd als deze aan de bovenzijde de tand in is gebogen, of als voor de ophangwapening beugels zijn toegepast die de knoop omsluiten.

In de bouwschadereeks in 1992 [10] wees Peter de Jong op een detailleringfout bij keerwanden (fig. 4). In dat geval kwamen twee trekstaven bij elkaar in een knoop en ontbrak de derde trekstaaf. Nadien zijn er bij keerwanden ook detailleringfouten →



3 Detailtering van de tandverbinding waarvoor Kleinman [9] in 2006 aandacht vroeg (a) en analyse van twee knopen in het staafwerkmodel voor deze tandverbinding (b)
 4 Bezwijken L-vormige keerwand door verkeerde detailtering van de wapening [10]

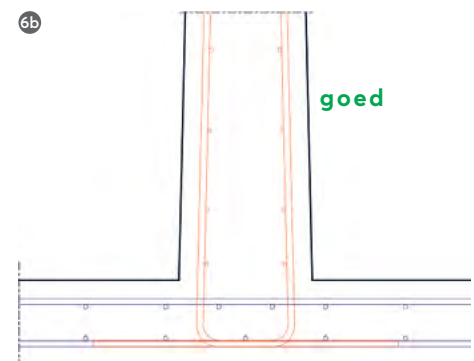
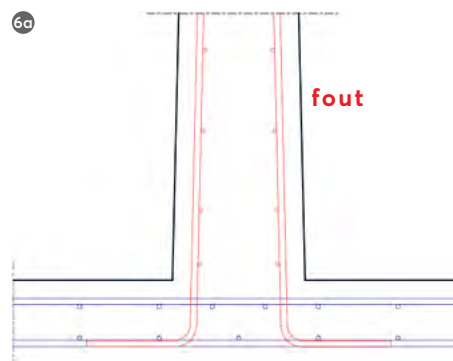
Problemen doen zich vaak voor als de krachtwerking in een knoop van staafwerkmodellen niet goed is verzorgd



waargenomen, die vergelijkbaar zijn met fouten die bij de tandenkwestie speelde. Bij één van de schadegevallen was een keermuur met wapening toegepast zoals is getoond in figuur 5a. Er was een keermuur bezweken en er waren keermuren waarin scheurvorming was opgetreden. In figuur 5b is te zien dat ook hier op basis van een staafwerkmodelbenadering de knoop aan de onderzijde van de voetplaat, waar twee drukstaven en een trekstaaf samenkomen, niet goed is verzorgd. De trekstaaf is niet in de knoop verankerd, zodat een scheur kan optreden, die in figuur 5b met een gele streeplijn is getekend. Bij een verwijderde

keermuur met scheurvorming is ook precies die scheur opgetreden (fig. 5c).

De wijze waarop wandwapening in de onderliggende vloerplaat moet zijn verankerd om de wand voldoende bestand te laten zijn tegen een horizontale belasting, is besproken in VARCE 11 [11]. Daarin is erop gewezen dat de naar buiten gebogen wapening fout is en de naar binnen gebogen wapening goed is (fig. 6). Maar ook dat er een CUR-rapport 147 uit 1991 is [12], waarin over resultaten van onderzoek naar het effect van de detaillering van de wapening op de capaciteit van hoekaansluitingen is gerapporteerd. →



Moraal en suggestie

Ondanks vele initiatieven in het verleden om van instortingen en fouten te leren, is de moraal van het verhaal dat dit tot op heden nog onvoldoende succesvol is geweest. Telkens weer worden dezelfde fouten opnieuw gemaakt. Wat kan worden gedaan om daar een structurele verbetering in aan te brengen? Zou er misschien iets moeten zijn vergelijkbaar met de 'vergeetmenietjes' bij de mechanica? Wellicht is het een idee om voortaan als een constructief ontwerp af is, standaard apart nog een krimpbeschouwing en een knoopbeschouwing te laten uitvoeren door een collega-constructeur. In de krimpbeschouwing zou de collega de gehele constructie, zonder te rekenen, dan nog eens na moeten lopen op de consequenties van krimpvervormingen. Kunnen die optreden? En zo niet, wat kunnen de gevolgen zijn van een verhinderde vervorming? Bij de knoopbeschouwing zou dan voor de gehele constructie nog eens moeten worden gekeken naar de detaillering van de wapening bij alle discontinuïteiten (krachtsinleidingen, opleggingen, verbindingen, enz.). Ook hierbij hoeft dan niet direct te worden gerekend. Met het eenvoudigweg beoordelen van locaties waar zich knopen bevinden, uitgaande van staafwerkmodellen, kunnen waarschijnlijk al fouten eruit worden gehaald.

Tot besluit

Voor alle duidelijkheid: in principe zou er tijdens het ontwerpproces al goed naar krimp en wapeningsdetaillering moeten zijn gekeken. Wellicht echter dat het helpt als een collega-constructeur met een speciale focus voor respectievelijk krimpvervormingen en wapeningsdetaillering het ontwerp nog eens controleert op fouten. Een voordeel daarvan is ook dat de constructie integraal wordt beschouwd, zodat mogelijke fouten bij aansluitingen van constructies en/of disciplines (staal- en betonconstructeur) kunnen worden onderkend. Wellicht dat dit doet denken aan de taken van de vroegere hoofdconstructeur. Zo is het niet bedoeld. Het is puur ingegeven vanwege het feit dat het op deze twee onderwerpen nog te vaak fout gaat. Misschien dat het ook helpt als er voor beide onderwerpen een overzicht

beschikbaar is van wat er veelal fout gaat en waarom, vergelijkbaar met het blaadje met vergeetmenietjes. Daarbij zouden dan eventueel ook andere onderwerpen kunnen worden opgenomen, zoals vorstschade. Oftewel: pas op met water in de constructie in het geval van vorst. ●

Wellicht is het een idee om standaard een krimpbeschouwing en een knoopbeschouwing te laten uitvoeren door een collega-constructeur

LITERATUUR

- 1 Mans, D.G., Leren van instortingen. *Cement* 2007/4, p. 24-27.
- 2 Van Herwijnen, F., Leren van instortingen; Waarom bruggen en gebouwen soms instorten en hoe dat is te voorkomen! *Bouwen met Staal*, 2009.
- 3 De Jong, P., Bouwshade ter lering (I); Een oriëntatie. *Cement* 1992/2, p. 26-28.
- 4 NTA 8790, Periodieke beoordeling betrouwbaarheid van constructieve veiligheid van bestaande bouwwerken. NEN, oktober 2023.
- 5 Stoffers, H., Wubs, A.J., Bouwshade ter lering (V); Scheurvorming in kelderwanden. *Cement* 1992/12, p. 29-31.
- 6 Hordijk, D.A., Dick voor Mekaar (3); Verbinden: vast, los of tussenvorm? *Cement* 2018/2, p. 62-64.
- 7 fib Model Code for Concrete Structures 2020 (MC2020). Verschijnt binnenkort.
- 8 NEN-EN 1992-1-1+C2, Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen. November 2011.
- 9 Kleinman, C.S., Nokken met die tanden! *Cement* 2006/7, p. 56-59.
- 10 De Jong, P., Bouwshade ter lering (IV). *Cement* 1992/6, p. 15-19.
- 11 VARCE 11. *Cement* 2017/4, blz. 54-57.
- 12 CUR-rapport 147, Kolombalkverbindingen in gewapend betonconstructies. SBRCURnet, 1991.