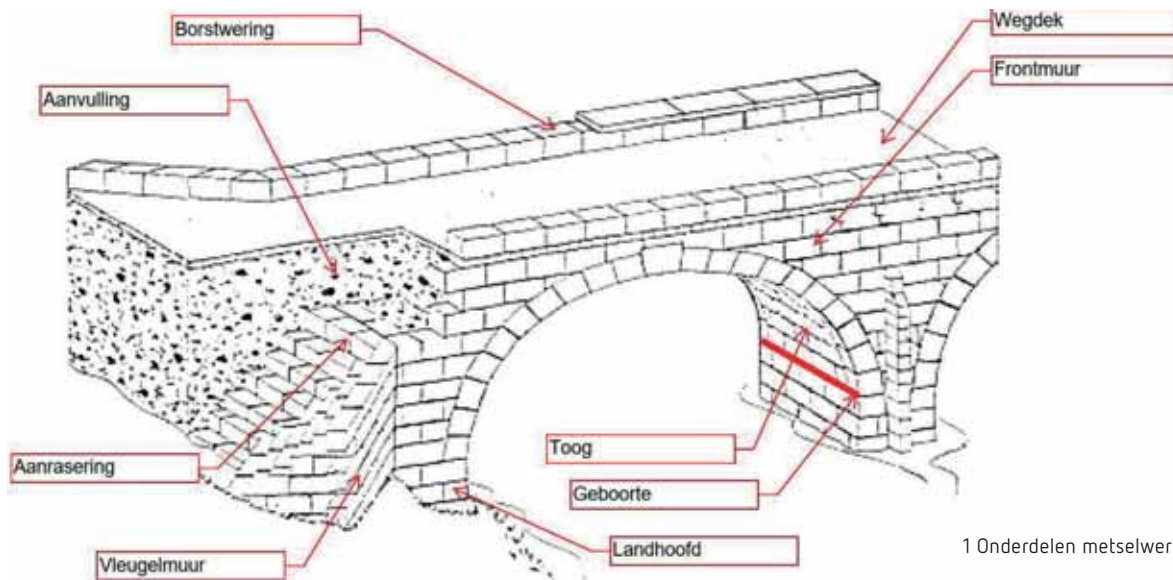




INSPECTIE METSELWERK BOOGBRUGGEN

Menno ten Cate | Gemeente 's-Hertogenbosch

Sinds de Romeinse tijd, tot ca. 1900, was de boogbrug het meest voorkomende type brug. In veel oude binnensteden zijn deze constructies nog in groten getale aanwezig. Na 1900 zijn de boogbruggen verdrongen door betonnen en stalen constructies, waarmee grotere overspanningen tegen lagere kosten te realiseren zijn. Over deze moderne constructies is in de loop der jaren voldoende kennis opgebouwd om deze in goede staat te houden. De gemetselde boogbruggen vragen echter om een andere aanpak. Het bezwijken van een gemetselde boog wordt namelijk eerder veroorzaakt door een gebrek aan stabiliteit dan door een gebrek aan sterkte.



1 Onderdelen metselwerkboogbruggen

Dit artikel is geschreven om de schadebeelden te leren herkennen en er de juiste betekenis aan te geven tijdens een (toestands)inspectie.

De toestandsinspectie, met de daaruit volgende onderhoudsmaatregelen, is gericht op de mogelijke bezwijkmechanismen van de boogbruggen en de meest voorkomende schadebeelden. Tijdens de inspectie is het van belang dat de mogelijke oorzaak van de geconstateerde schades goed wordt herkend zodat de juiste vervolgmaatregelen genomen kunnen worden.

BEGRIPPEN

In figuur 1 zijn de diverse onderdelen van een metselwerkboogbrug aangegeven.

BEZWIJKMECHANISMEN

De gemetselde boogbruggen kennen een geheel ander bezwijkmechanisme dan de 'standaard' ligger op twee steunpunten. De sterkte van de boogbrug wordt voornamelijk bepaald door de stabiliteit van de boogvorm. Dit is een complex samenspel van de gemetselde boog, de beide frontmuren, de fundering en de aanvulling op de boog. De aanwezigheid van specifieke schadebeelden duidt erop dat de stabiliteit van één van deze onderdelen in het geding is. Kennis van de schadebeelden en de bijbehorende bezwijkmechanismen is dus cruciaal bij het veilig in stand houden van deze kunstwerken.

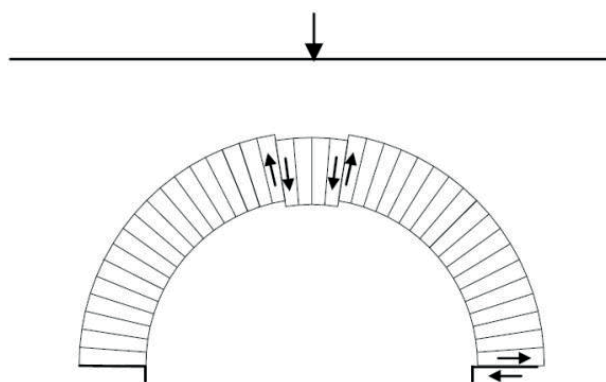
In de praktijk kan blijken dat schadebeelden aan meerdere mechanismen gekoppeld kunnen worden. Daarnaast hebben onzichtbare delen (bijvoorbeeld onder de waterlijn) invloed op de aard van de constructie en of schadebeelden zichtbaar zijn of zelfs wel/niet schadelijk zijn.

BEZWIJKMECHANISMEN BOOG

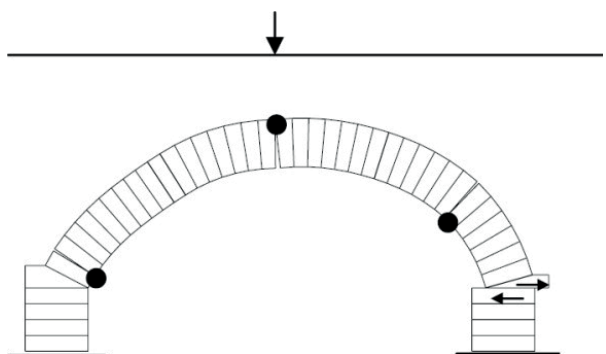
Door lokale overbelasting van de boog wordt een deel van de boog doorgedrukt. Wanneer dit mechanisme optreedt in combinatie met het bezwijken van de verbinding van de boog op het landhoofd, kan de boog zijn stabiliteit verliezen (er ontstaat ruimte zodat een deel van het metselwerk uit de boog kan vallen) en gedeeltelijk bezwijken (zie fig. 2). Dit mechanisme is herkenbaar aan langsscheuren en hoogteverschillen in de top van de boog

en een horizontale scheur met een horizontale verplaatsing in het landhoofd, ter plaatse van de geboorte van de boog.

Pons kan ook optreden zonder afschuiving, wanneer de metselstenen zodanig bros zijn dat deze onder invloed van de optredende belasting verbrijzelen voordat een horizontale verplaatsing op of in het landhoofd optreedt.



2 Pons met afschuiving



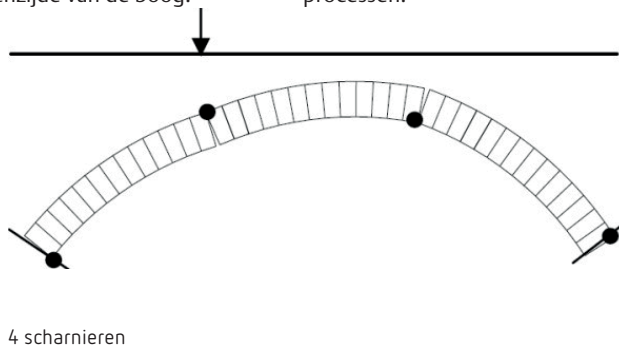
3 Afschuiving, Dit mechanisme is vooral van belang voor bogen met weinig gronddekking.

Bij het ontstaan van een derde axiale (langs)scheur in de boog, is er acuut gevaar voor instorting.

Een zware bovenbelasting, in combinatie met een zwakke verbinding van de boog op het landhoofd, en onvoldoende tegendruk van de bovenliggende grond, kan tot bezwijken van de boogbrug leiden (zie fig. 3). Door het afschuiven van de boog op het landhoofd ontstaat ruimte voor de boog om in enkele segmenten in te storten. Dit mechanisme is te herkennen aan horizontale scheuren met een verplaatsing in het landhoofd, ter plaatse van de geboorte van de boog. Bij het ontstaan van een derde axiale (langs)scheur in de boog, is er acuut gevaar voor instorting.

Het meest voorkomende bezwijkmechanisme ontstaat wanneer door overbelasting zich vier scharnieren kunnen vormen in de boog (zie fig. 4). Deze scharnieren zijn zichtbaar als axiale (langs)scheur in de boog. Na het ontstaan van het 4^e scharnier kan de boog zijn vorm niet meer behouden, met bezwijken als gevolg.

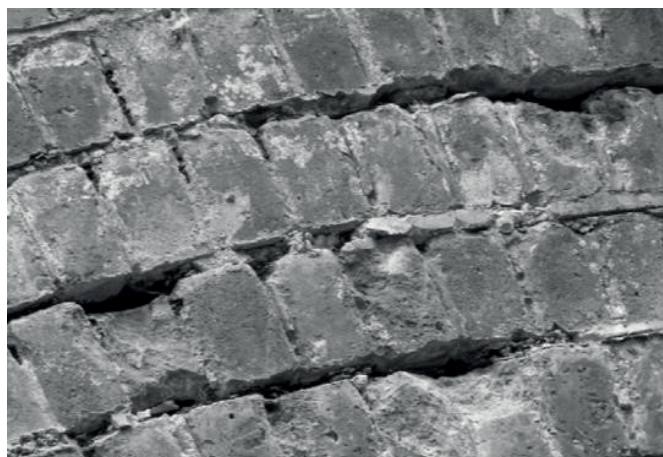
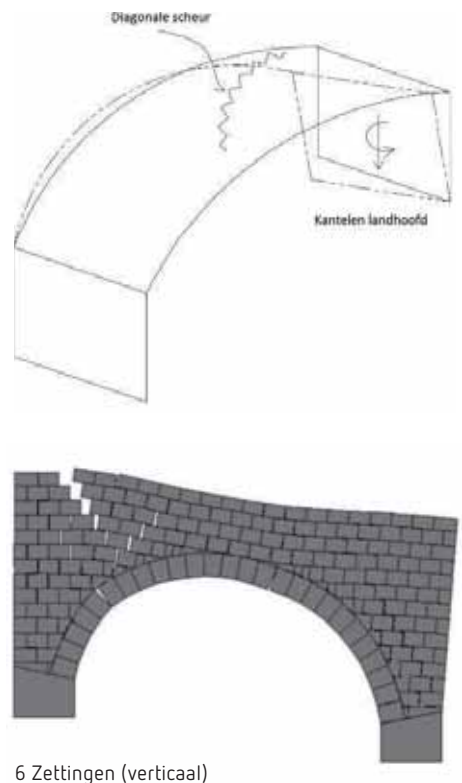
In de praktijk zijn twee van de vier scharnieren niet direct zichtbaar, enkel de scheurvorming aan de binnenzijde van de boog.



De boogvorm in een gemetselde boogbrug is van wezenlijk belang voor de sterkte van de gehele constructie. Wanneer de boog, inwendig, zijn samenhang verliest heeft dit direct gevolgen voor de draagkracht (zie fig. 5a+b). Hol klinkende delen zijn een eerste aanwijzing voor een proces dat uiteindelijk leidt tot gedeeltelijk of geheel bezwijken van de constructie. De oorzaak kan liggen in fysische invloeden (vorst e.d.), chemische invloeden, onjuist uitgevoerde reparaties (materialen) of constructieve processen.

BEZWIJKMECHANISMEN LANDHOOFD

Zettingen (gelijkmatig of kantelen) van één van de landhoofden (zie fig. 6) zorgt voor een verandering van de vorm van de gemetselde boog. Door de vormverandering vermindert de samenhang en sterkte van de boog. De oorzaak voor dit mechanisme is te vinden in de fundering van het landhoofd (zie fig. 7).



5a en b Verlies samenhang boog

Zettingen van een landhoofd zijn te herkennen aan een verandering van de boogvorm, verticale scheuren bij de aansluiting van het landhoofd op de aansluitende muren, diagonale scheuren in de boog, knikken in de lijn van de lintvoegen en/of het losscheuren van de boog op de frontmuur. Ongelijkmatige zettingen kunnen makkelijk en snel herkend worden aan het feit dat de lintvoegen niet evenwijdig lopen met de waterlijn. Dit is een eerste indicatie dat er mogelijk iets mis is met de fundering (onvoldoende draagvermogen/overbelasting en/of houtaan-tasting).

Door de optredende zettingen kan ook scheurvorming aan de onderzijde ontstaan, met name in het deel dat niet direct onder de frontwand zit. Dit zal gepaard gaan met optredende scheurvorming aan de overstaande zijde van de boog.



Wanneer slechts een deel van de fundering bezwijkt (door bijvoorbeeld onderspoeling, rotte paalkoppen, e.d.), ontstaat een diagonale scheur vanaf de onderkant van het landhoofd tot in de frontmuur. Wanneer deze schade zich verder kan ontwikkelen, kan dit leiden tot het instorten van het losgescheur-

de deel, instabiliteit van het bovenliggende grondpakket, randverzakking van de toog en instabiliteit van de frontmuur. Aanwijzingen voor dit bezwijkmechanisme zijn het ontstaan van een diagonale scheur en een afwijking in de lijn van de lintvoegen.



7a+b Gedeeltelijk bezwijken fundering

Door de optredende zettingen kan ook scheurvorming aan de onderzijde ontstaan, met name in het deel dat niet direct onder de frontwand zit

Een horizontale verplaatsing van één van de landhoofden leidt tot een vlakker boogvorm en creëert ruimte voor de boog om bij een relatief kleine belasting te bezwijken (zie fig. 8). De oorzaak van dit bezwijkmechanisme kan gevonden worden in een verminderde stabiliteit van de achterliggende grond. Aanwijzingen voor een horizontale verplaatsing zijn een vlakker boogvorm, axiale

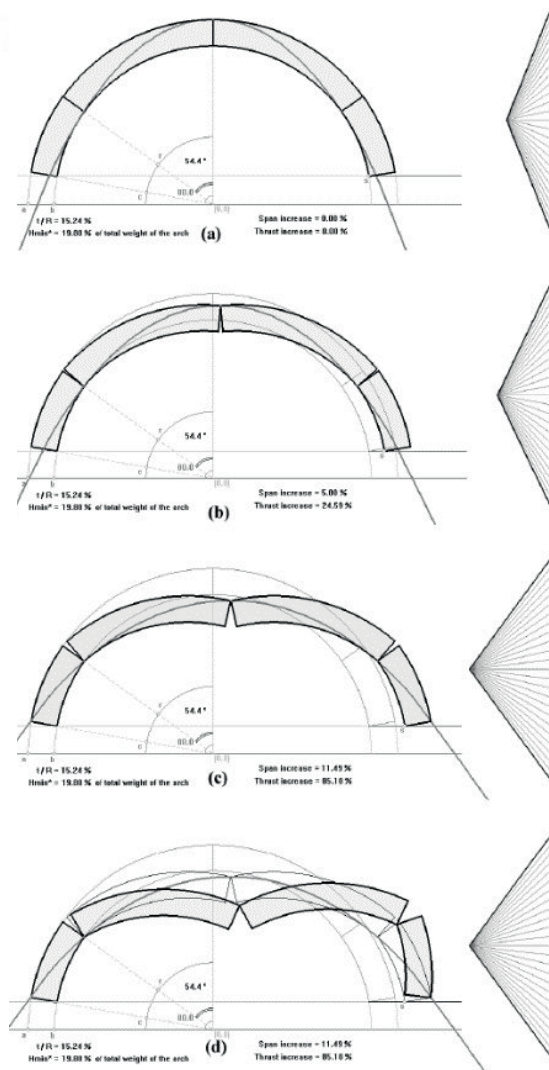
(langs)scheuren in de boog, scheuren ter plaatse van de aansluiting van het landhoofd op de aansluitende muren en/of horizontale scheuren in de frontmuur.

Vervorming zal pas waarneembaar zijn na een relatief grote verplaatsing van de landhoofden.

Door uitspoeling en/of onderspoeling van het landhoofd komt de stabiliteit van het landhoofd in gevaar (zie fig. 9). Dit kan optreden na onzorgvuldig baggeren of in gebieden met grote stroomsnelheden langs het landhoofd (na overstromingen, getijdegebieden, snelstromende rivieren, weggroten van een houten bescherming, bezwijken riolering of waterleiding, e.d.). Materiaalverlies ter plaatse van de voet van het landhoofd is een eerste indicatie dat bezwijken door onderspoeling of uitspoeling een reëel risico is.

BEZWIJKMECHANISMEN FRONTMUUR

Een horizontale belasting achter de frontmuur (grondbelasting, verkeersbelasting, vorstbelasting of een rustende belasting) kan een vervorming van de frontmuur tot gevolg hebben. Wanneer de holle ruimte, die door de vervorming ontstaat, wordt opgevuld met grond kan de vervorming een progressief karakter krijgen met bezwijken van de frontmuur tot gevolg.



8 Horizontale verplaatsing landhoofd



9 Uitspoeling landhoofd

De eerste tekenen van vervorming van de frontmuur zijn te herkennen aan de vorm van de frontmuur in dwarsdoorsnede, aangevuld met een verzakking van het straatwerk (of maaiveld) achter de muur. Indien één van deze bezwijkmechanismen optreedt ondanks de aanwezigheid van een horizontale verankering, dient deze inclusief de aansluitingen met de muurankers geïnspecteerd te worden.

Een bijkomend effect van deze vervorming is dat de capaciteit van de boogbrug afneemt. Dit is vooral het geval wanneer de verbinding tussen de boog en de frontmuur is bezweken (zie fig. 4 en 5).

OVERIGE SCHADEBEELDEN

De sterkte van een boogbrug is afhankelijk van de staat van de verschillende onderdelen en de wijze waarop deze onderdelen kunnen samenwerken. Achterstallig onderhoud aan het metselwerk (b.v. ontbrekende voegen, vorstschade in stenen, uitspoeling onder de fundering, e.d.) kan leiden tot een verminderde stabiliteit en samenhang van de constructie.

Als gevolg van de vorst–dooicyclus kunnen schilfers van het metselwerk afspatten. Dit komt vooral voor in gebieden met natte, koude winters.



10 Vorstschade

Als gevolg van de vorst–dooicyclus kunnen schilfers van het metselwerk afspatten. Dit komt vooral voor in gebieden met natte, koude winters. Dit verschijnsel kan verward worden met delaminatie door zoutvorming (zie fig. 11) of verbrijzeling van de steen door gebruik van te harde mortelsoorten.



11 Zoutuitbloei



De vorming van zoutkristallen kan schade aan het metselwerk tot gevolg hebben. Belangrijke schadelijke zouten zijn sulfaten, chloriden en nitraten. De herkomst van zouten kan liggen in de bodem (grondwater), in de omgeving (bijvoorbeeld de nabijheid van de zee), in het gebruik (bijvoorbeeld als stal, of zoutopslag, e.d.) of in het bouw materiaal zelf omdat baksteen afhankelijk van soort klei, baktemperatuur en brandstofsoort meer of minder sulfaten kan bevatten. Bij de zoutkristallisatie kan het gaan om efflorescentie (zoutuitbloei) aan het materiaaloppervlak, om crypto-florescentie (onder het materiaaloppervlak) en tenslotte ook om omzetting van mortelbestanddelen en zouten tot zwellende verbindingen. Als gevolg van zoutkristallisatie op het grensvlak van voegen en metselmortel wordt de voegmortel uitgedrukt. Wanneer de zoutkristallen zich in de steen vormen, kan dit leiden tot afschilferen of verkrumelen van de steen.

Aanwezigheid van sulfaat (bijvoorbeeld afkomstig uit de lucht, in de vorm van zwaveldioxide (SO₂), of uit baksteen) kan met componenten uit hydraulische bindmiddelen, en in mindere mate bij traskalkmortel, leiden tot het ontstaan van expansieve verbindingen zoals ettringiet en thaumasiet (fig. 15).



12 Schade a.g.v. sulfaat

Een typisch schadebeeld is het afspringen van schollen metselwerk. Soms gaat het ook om het uitdrukken van de voegen, gepaard gaand met zwellen, laagvorming in of verkrummen van de metselmortel.

Soms staat de muur daarbij bol. In dat geval kan het beeld gemakkelijk worden verward met dat van vorstschade.

Zuivere uitbloei van zouten, dat niet gepaard gaat met materiaalverlies, heeft alleen gevolgen voor het esthetische beeld van de constructie.

De wortels van planten kunnen grote schade aanbrengen aan metselwerkconstructies (fig. 13). Enerzijds door het uitzetten van de wortelpakketten, wanneer de planten langere tijd door kunnen groeien, anderzijds door vergroten van de porositeit van de mortels en faciliteren van uitloging en andere mechanismen. De wortels kunnen de constructie zodanig vervormen en uit elkaar drukken, dat bezwijken (van een deel van de constructie) daarop volgt. Daarnaast kan de aanwezigheid van beplanting bestaande scheuren en schades camoufleren.



13 Vegetatie

VERKEERD MATERIAALGEBRUIK

Kalkgebonden mortels bezitten een hoge vervormingscapaciteit. Constructies die zijn gemetseld met zuivere kalkmortels kunnen bepaalde vervormingen opnemen, soms zonder dat daarbij zichtbare scheuren optreden.

Daarnaast bezitten kalkmortels in zekere mate een zelfherstellend vermogen. Daaronder wordt verstaan dat kleine scheurtjes, als gevolg van herkristallisatie, weer gevuld kunnen worden. Wanneer tijdens herstelwerkzaamheden gebruik gemaakt wordt van veel hardere cementmortels, moeten de vervormingen door andere onderdelen van de



14



15 Uitloging



constructie (vaak de metselstenen) worden opgenomen, hetgeen vaak tot schade leidt. Een bijkomend effect van het gebruik van cementmortel is dat het vochttransport niet meer door de voeg kan plaatsvinden, maar door de metselsteen. Op termijn leidt dit tot vorstschade en andere vocht gerelateerde schades in de stenen.

UITZETTING – KRIMP

Uitzetting en krimp van de constructie door temperatuurverschillen en/of een nat-droogcyclus kan leiden tot inwendige scheurtjes, afbrokkelen van de stenen en verlies van voegmateriaal.

VOCHTBELASTING

Een continue vochtbelasting verhoogt de gevoeligheid van de constructie voor verontreinigingen uit de omgeving wat tot een achteruitgang in de kwaliteit van de constructie kan leiden. Afhankelijk van de mate van vochttransport, kan zelfs uitspoeling van mortels en het achterliggende grondpakket optreden met verzwakking van de constructie tot gevolg. Vochtdoorslag kan duiden op een gebrekkig functionerend of ontbrekend waterafsluitend membraan. Een verzadigd grondpakket kan in periodes met vorst uitzetten en zorgen voor horizontale verplaatsingen van muurdelen, met de bijbehorende schades tot gevolg.

OUDE REPARATIEVAKKEN

Reparatievakken duiden op een eerdere schade. Wanneer over de schade geen informatie bekend is, bestaat de kans dat de schade terugkeert. Dit is vooral het geval bij herstel met de verkeerde materialen, of bij 'symptoombestrijding'. In het laatste geval is de oorzaak van de eerdere schade niet weggenomen en werkt het achterliggende mechanisme door.



Bron

Bovenstaande verhandeling is gepubliceerd als bijlage bij het Project 'Metselwerk Boogbruggen - Aanpak Constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen' 's-Hertogenbosch, dd 28-06-2020 (v 1.0)
Samenstellers: RHDV/Nebest, Witteveen*Bos, Iv-Infra