



's-Hertogenbosch



Metselwerk boogbruggen

Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch

Gemeente 's-Hertogenbosch

28 juni 2022 (v1.0)



Project
Opdrachtgever

Metselwerk boogbruggen
Gemeente 's-Hertogenbosch

Document
Status
Datum
Referentie

Aanpak constructieve beoordeling metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch
Geaccepteerd, versie 1
28 juni 2022
Raamcontract 041-2018

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

RHDHV/Nebest, Witteveen+Bos, Iv-Infra
Gemeente Utrecht
Gemeente 's-Hertogenbosch

Voorwoord

Dit document beschrijft de aanpak voor het constructief beoordelen van metselwerk boogbruggen in 's-Hertogenbosch en is geïnitieerd door- en in opdracht van de gemeente 's-Hertogenbosch opgesteld. Aanvullend zijn de gemeente Rotterdam en de gemeente Utrecht betrokken geweest bij het bepalen van de scope van het document, voor onder andere de toepassing in het wervengebied in het historisch centrum van Utrecht.

Een eenduidige aanpak voor het beoordelen van de draagkracht van metselwerk boogbruggen ligt in Nederland niet voorhanden. Dat leidt tot uiteenlopende beoordeling van dit type kunstwerk met als gevolg onnodig afkeuren, versterken, het limiteren van de verkeersbelasting of vervangen. Dit document biedt handvatten voor een zo efficiënt mogelijk toewerken naar een oordeel over de constructieve veiligheid, waar het resultaat en de inspanning zijn afgewogen.

Door het openbaar aanbesteden van een raamcontract met de uitvraag voor adviesdiensten van de constructieve veiligheid van kunstwerken zijn de volgende partijen geselecteerd: Iv Infra, Royal HaskoningDHV/Nebest en Witteveen+Bos. Van deze vier advies-/ingenieursbureaus zijn de namen van de personen opgenomen die technisch inhoudelijk betrokken zijn of zijn geweest bij het opstellen van dit document.

Iv-Infra: Lennart Visser

Royal HaskoningDHV: Carlos Genders, Thomas Harrewijn, Rob van der Sman, Rob Vergoossen

Nebest: Adriaan Otte, Gijs Wouters

Witteveen+Bos: Tom Petersen, Marcel Janssen, Willem Nobel, Thomas Naves

Opdrachtgever Gemeente 's-Hertogenbosch:

Yvonne Courage

Ad van Vugt

Martin Roepius

Menno ten Cate

INHOUDSOPGAVE

1	SAMENVATTING	8
2	INLEIDING	11
2.1	Onderwerp	11
2.2	Aanleiding	11
2.3	Doelstelling	12
2.4	Toepassingsgebied	12
2.5	Scope	13
2.6	Diepgang	15
2.7	Leeswijzer	15
3	TERMEN EN DEFINITIES	16
3.1	Boogconstructies	16
3.2	Algemeen	16
4	BEOORDELINGSKADER	19
4.1	Inleiding	19
4.2	Aanleiding voor beoordeling	19
4.3	Gevolgklasse (CC3, CC2, CC1b, CC1a)	19
4.4	Beoordelingsniveau (Nieuwbouw, Verbouw, Gebruik, Afkeur)	20
4.5	Restlevensduur, referentieperiode	20
4.6	Belastingssituaties	20
5	BEOORDELINGSPROCES	22
5.1	Inventarisatie	22
5.2	Constructieve beoordeling	23
5.2.1	Fase 1: Bureaustudie	24
5.2.2	Fase 2a: Inspectie	24
5.2.3	Fase 2b: Onderzoek	24
5.2.4	Fase 3: Verificatieberekening	24
5.2.5	Fase 4: Maatregelen & Advies	24
5.2.6	Fase 5: Proefbelasting	24
5.3	Stroomschema fasen	24

6	BUREAUSTUDIE	25
6.1	Objectinformatie	25
6.2	Areaalgegevens	27
7	INSPECTIE	28
7.1	Toestandsinspectie (fase 2a)	28
7.2	Onderzoek geometrie (fase 2b)	28
8	ONDERZOEK GEOMETRIE	29
8.1	Geometrie	30
8.2	Materiaal	33
9	VERIFICATIEBEREKENING	35
9.1	Inleiding	35
9.2	Veiligheidsfilosofie	36
9.3	Rekenmethodiek metselwerk bruggen	38
9.3.1	2D/3D-berekeningen	38
9.3.2	UGT	38
9.3.3	BGT	41
9.3.4	Variabele belasting	41
9.3.5	Metselwerkeigenschappen	46
9.3.6	Overige aspecten	47
10	HERSTEL EN VERSTERKING GEMETSELDE BOOGBRUGGEN	49
10.1	Inleiding	49
10.2	Monumentale waarde	49
10.3	Instandhouding & herstel schadebeelden	50
10.3.1	Beschadigd voegwerk	50
10.3.2	Uitvoering voegwerkherstel	50
10.3.3	Beschadigde stenen	51
10.3.4	Scheuren	52
10.4	Instandhouding & aanpassingen	54
10.4.1	Gebruik	55
10.4.2	Versterking boog	55
10.4.3	Ondersteuning boog	56
10.4.4	Monitoring	56
10.4.5	Overkluizing	57
10.4.6	Overige aspecten	57
10.5	Conclusie	58

11	PROEFBELASTING	59
11.1	Doel	59
11.2	Proces	59
11.3	Omgevingsaspecten	59
11.4	Rekenkundige voorbereiding	60
11.5	Praktische voorbereiding en uitvoering	60
11.6	Registratie en rapportage	60

12	REFERENTIES	61
----	--------------------	-----------

1	MODELLERING METSELWERK	4
---	-------------------------------	----------

2	VEILIGHEIDSFILOSOFIE	6
---	-----------------------------	----------

2.1	Algemeen	6
2.2	BGT	6
2.3	UGT	7

	Laatste pagina	60
--	----------------	----

Bijlage(n)

Aantal pagina's

I	Handleiding inspectie metselwerk boogbruggen	11
II	BIJLAGE 2A: OVERZICHT KUNSTWERKEN BINNENDIEZE	1
	BIJLAGE 2B: 1994 OVERZICHTSKAART HOOFDSTROMEN	1
	BIJLAGE 2C: OVERZICHT CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID BINNENSTAD	4
	BIJLAGE 2D: KAART KUNSTWERKEN BINNENDIEZE	1
	BIJLAGE 2E: NIEUWE INDELING BINNENDIEZE	1
	BIJLAGE 2F: BENAMING STROOMPJES BINNENDIEZE	1
	BIJLAGE 2G: DIGITALE PLATTEGROND 's-HERTOGENBOSCH	1
III	Aanpak DIANA FEA	4
IV	Voorbeeld invoersheet MEXE-theorie	1

1

SAMENVATTING

Het constructief beoordelen van een metselwerk boogbrug vergt specifieke kennis en kunde. Kennis met het oog op het gedrag van de metselwerk boogbrug en de manier waarop deze constructie het beste kan worden gemodelleerd. Kunde met het oog op het inwinnen van specifieke parameters die van belang zijn voor het uitvoeren van een representatieve berekening.

Het zo efficiënt mogelijk toewerken naar een oordeel m.b.t. de constructieve veiligheid vergt maatwerk per brug, maar voorliggend document geeft hiervoor de nodige concrete handvatten. Daarbij wordt de focus gelegd op verkeersbruggen, omdat deze bruggen destijds (regelmatig meer dan 100 jaar geleden) niet zijn gebouwd en ontworpen voor de hedendaagse (zware) verkeersbelastingen. Voor gemetselde boogbruggen die alleen kunnen worden gebruikt door fietsers en voetgangers is er geen directe aanleiding om een herberekening uit te voeren. Indien er constructieve schadebeelden worden geconstateerd die wijzen op overbelasting, zal een (lichte) kwalitatieve constructieve beoordeling plaatsvinden.

Van groot belang is het doornemen van archiefinformatie van zowel beheerder/eigenaar als bij externe bronnen bekende informatie en bouwhistorische informatie van de omgeving. Vervolgens kan worden vastgesteld welke informatie ontbreekt om een herberekening uit te kunnen voeren.

De minimaal benodigde gegevens voor een herberekening zijn de geometrie van de constructie, de funderingswijze en de opbouw van de ondergrond. Indien de minimaal benodigde gegevens niet beschikbaar zijn vanuit de archiefinformatie, moeten de ontbrekende parameters op locatie worden ingewonnen (inmeten van de brug, deels vrij graven aan bovenzijde, diktemetingen van het metselwerk). In eerste instantie worden alleen de minimaal benodigde gegevens ingewonnen om de (verkeers-)hinder en de onderzoekskosten te beperken.

Zodra er voldoende gegevens beschikbaar zijn, wordt de herberekening uitgevoerd. Indien hieruit volgt dat de brug niet voldoet aan de wettelijke c.q. benodigde constructieve veiligheid, is het soms mogelijk om nader onderzoek uit te voeren om specifieke parameters aan te scherpen, zodat rekenkundig meer capaciteit kan worden gemobiliseerd. Denk hierbij aan metselwerkonderzoek in het laboratorium met het oog op sterkte-eigenschappen of een proefbelasting met het oog op het gedrag van de brug en fundatie-eigenschappen, zodat het rekenmodel beter aansluit op het werkelijke gedrag van de constructie.

Na de herberekening wordt geconcludeerd of er versterkingen dan wel lastbeperkingen noodzakelijk zijn. Wanneer de brug niet voldoet en constructief versterken dan wel ontlasten niet kostenefficiënt kan worden uitgevoerd en lastbeperkingen geen optie zijn, blijft vervangen van de brug over. In alle andere gevallen kan de brug worden behouden en zullen reguliere inspecties en het uitvoeren van tijdig onderhoud waarborgen dat het gebruik van de brug veilig is tijdens de beoogde restlevensduur. Ook bij deze bruggen kan monitoring d.m.v. sensoren een meerwaarde zijn voor het 'slim' beheren van het areaal.

Van het beoordelingsproces en de te nemen stappen zoals beschreven in dit document is een stroomschema opgesteld. Dit betreft een principeschema dat gevolgd *kan* worden. Dit schema beoogt niet compleet te zijn of rigide te moeten worden gevolgd. Wel geeft het zowel adviseur als gemeente inzicht in het te volgen proces. Van groot belang is dat elke stap c.q. elk onderzoek in het schema per brug door de beoordelaar wordt afgewogen op kostenefficiëntie en in overleg met de gemeente wordt ingezet.

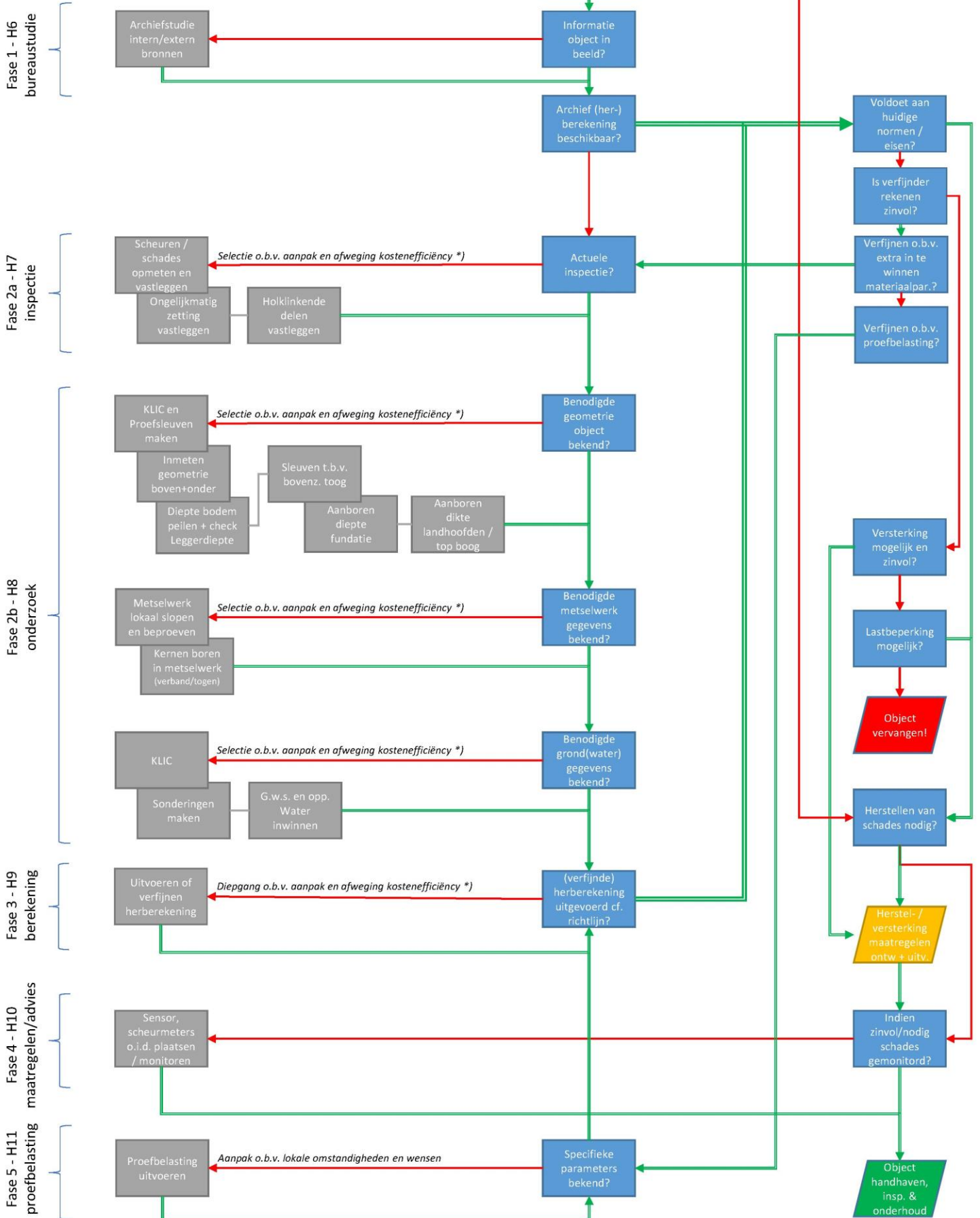
Stroomschema metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch (versie v0f)

→ = JA → = NEE

onderzoek

START

beoordeling



*) kostenefficiëncy = hoogte kosten afgezet tegen de beoogde meerwaarde in de constructieve beoordeling van de in te winnen informatie.

De **basisaanpak** van de beoordeling van een metselwerk boogbrug is als volgt:

1. Archiefinformatie doornemen.
2. a. Inspectie uitvoeren.
 - b. Onderzoek/inwinnen van de volgende gegevens, indien deze niet beschikbaar zijn:
 - Geometrie toog en dekking d.m.v. proefsleuf/vrij graven en door gemeente beschikbaar gestelde 3D-scan onderzijde.
 - Onderzoek enkele/dubbele toog d.m.v. afkloppen; destructief nader onderzoek indien holklinkend.
 - Minimaal 2 sonderingen uitvoeren als er geen (oude) sondering nabij de boog is waarop de draagkrachtige laag staat aangegeven.
 - Aanboren niveau fundatie als er geen tekeningen zijn waarop het funderingsniveau afgeleid/ingeschat kan worden; dit hangt af van het niveau van de draagkrachtige laag t.p.v. de brug.
3. Opstellen Plaxisberekening en toetsing metselwerk toog op basis van de volgende aannames:
 - Fundatie bezwijkt niet (niet 100% stijf, maar ingeschatte veerstijfheid o.b.v. locatie).
 - Aanvulmateriaal standaard verdicht zand.
 - Gelijke grondopbouw/gedrag onder fundatie beide landhoofden.
4. Optioneel: nemen van maatregelen (versterking, lastbeperking, ontlasten, monitoren, vervangen, etc.).
5. Optioneel: verificatie van het gedrag van de fundatie (en de toog) waar dat kritisch is d.m.v. praktijkbelasting en/of nader onderzoek zodat de berekening verfijnd kan worden.

Op basis van het stroomschema en de hierboven omschreven basisaanpak zijn hieronder twee fictieve scenario's, 'eenvoudig' en 'complex', weergegeven. Deze beide scenario's zullen in geen enkele situatie 1 op 1 toepasbaar zijn, maar zijn puur bedoeld als toelichting op het beoordelingsproces. Voor elke individuele brug zal bij het bepalen van de aanpak afgewogen dienen te worden, welke aannames gehanteerd worden, welke gegevens moeten worden ingewonnen of geverifieerd en of de resultaten aanleiding geven tot een verfijning o.b.v. nader onderzoek en/of proefbelasting. De huidige ervaringen wijzen erop, dat de aanpak in veel gevallen vergelijkbaar is met het scenario 'complex'.

Tabel 1-1 Voorbeeldscenario's aanpak

	EENVOUDIG	COMPLEX
<u>Beschikbare info:</u>		
Geometrie toog	Ja	Nee
Geometrie fundatie	Ja	Nee
Geometrie landhoofden	Ja	Nee
Grondgegevens diep	Ja	Nee
Grondgegevens aanvulling	Ja	Nee
Ontwerp-/herberekening	Ja	Nee
<u>In te winnen:</u>		
Inspectie	Ja	Ja
Sleuven graven/KLIC	Nee *	Ja
Boren dikte/diepte	Nee *	Ja
Sonderingen	Nee	Ja
Grondboring	Nee	Ja
<u>Toetsing:</u>		
Controle/belastingvergelijk	Ja	Nee
Herberekening Plaxis	Nee	Ja
Herberekening Plaxis verfijnd	Nee	Optioneel **
<u>Planningsindicatie:</u>	1-2 maanden	3-6 maanden
<u>Optioneel t.b.v. verfijnen:</u>	NO/Proefbelasting	NO/Proefbelasting

*) Het gebruik van de theoretische geometrie conform de areaalgegevens voor de constructieve berekening leidt tot een risico: de werkelijke geometrie kan, zeker bij de oudere bruggen, afwijken van de theoretische. Per object dient de afweging gemaakt te worden of dit risico geaccepteerd kan worden.

**) Optioneel, afhankelijk van de resultaten.

2

INLEIDING

2.1 Onderwerp

Dit document biedt een technisch kader voor de constructieve beoordeling van bestaande metselwerk boogbruggen binnen de gemeente 's-Hertogenbosch en vormt de basis voor de toekomstige beoordeling daarvoor. Het sluit aan op de bestaande regelgeving op het gebied van de beoordeling van bestaande civiele kunstwerken van decentrale overheden. Het geeft inzicht in en richting aan de onderzoeksmogelijkheden om objectspecifiek de juiste keuze in de diepgang van de onderzoeken, berekeningen en beheersmaatregelen te kunnen maken.

2.2 Aanleiding

De gemeente 's-Hertogenbosch heeft de afgelopen jaren een deel van haar civiele kunstwerken onderzocht en beoordeeld op het aspect constructieve veiligheid. Van een deel van de kunstwerken zijn onvoldoende gegevens beschikbaar om een uitspraak te kunnen doen over de constructieve veiligheid. Dit betreft voornamelijk verkeersbruggen. Om de constructieve veiligheid van deze objecten te onderzoeken en te bepalen welke beheersmaatregelen benodigd zijn om de constructieve veiligheid te borgen wanneer hier in eerste instantie niet aan wordt voldaan, heeft de gemeente 's-Hertogenbosch een raamovereenkomst gesloten met een drietal ingenieursbureaus, namelijk Iv-Infra, een combinatie van Royal HaskoningDHV/Nebest en Witteveen+Bos. Binnen deze raamovereenkomst worden tal van objecten constructief beoordeeld. Een deel van de te beoordelen objecten bestaat uit metselwerk boogbruggen.

Binnen Nederland is de kennis met betrekking tot de constructieve beoordeling van metselwerk boogbruggen beperkt in vergelijking met bijvoorbeeld het Verenigd Koninkrijk. Om te borgen dat de beoordelingen uniform, effectief en efficiënt worden uitgevoerd en dat de aanwezige capaciteit van de toegestructies op verantwoorde wijze ten volle wordt benut, is gezamenlijk door de gemeente 's-Hertogenbosch en de drie raamcontractanten een breed en diepgaand onderzoek verricht naar de constructieve staat en -veiligheid van een strategisch gelegen representatieve brug, de brug in de Nieuwstraat te 's-Hertogenbosch (KW1116).

Figuur 2-1 Aanzicht brug Nieuwstraat van oost naar west



De hierbij opgedane kennis en ervaringen op het gebied van inspectie, onderzoek, berekeningswijze en proefbelasting zijn tezamen met reeds aanwezige kennis samengebracht in het voorliggende document. Dit document vormt de basis voor de constructieve beoordeling van metselwerk boogbruggen binnen de gemeente 's-Hertogenbosch.

2.3 Doelstelling

De hoofddoelstelling van voorliggend document luidt:

Het bieden van een technisch kader en een stappenplan ten behoeve van de beoordeling van de constructieve veiligheid van de metselwerk boogbruggen in de gemeente 's-Hertogenbosch dat bijdraagt aan het veilig en duurzaam in stand houden van het areaal, nu en in de toekomst.

2.4 Toepassingsgebied

Dit document is opgesteld ten behoeve van de constructieve beoordeling van de metselwerk boogbruggen binnen de gemeente 's-Hertogenbosch. Het is bedoeld om te worden gebruikt in combinatie met de Eurocodes en de NEN 8700-serie aangaande de beoordeling van bestaande constructies.

Het document is primair geschreven voor zowel de gemeente 's-Hertogenbosch als eigenaar en/of beheerder van de objecten, als voor de inspecteurs, constructeurs en adviseurs die de constructieve beoordelingen uitvoeren.

Het document zal worden bijgewerkt als inzichten uit toekomstige beoordelingen daar aanleiding toe geven.

In de toekomst kan dit document mogelijk input vormen voor het opstellen van een landelijke richtlijn voor de constructieve beoordeling van metselwerk boogbruggen.

2.5 Scope

In navolging van de constructieve beoordeling van de brug in de Nieuwstraat, zijn een 8-tal metselwerk boogbruggen beoordeeld. Deze objecten zijn opgenomen in Tabel 2.1, inclusief globale omschrijving. Ervaringen opgedaan met deze beoordelingen zijn verwerkt in dit document.

Tabel 2-1 Omschrijving van de reeds beoordeelde objecten met scopeverdeling

Objectcode	Objectnaam	Omschrijving	Inspectie	Herberekening
KW1310	Korfboog	Locatie Oude Dieze – Zuidwal over de Binnendieze. Drie togen, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1670 brug aanwezig op locatie, geometrie bekend, funderingsniveau bekend, drie sonderingen/boringen uit 1992, verbouwd/gerestaureerd rond 1965 en 1998, sprongen tussen twee togen, geen constructieve schades bekend.	Nebest	RHDHV
KW1105	Judasbrug	Locatie Papenhulst – Nachtegaalslaantje over de Binnendieze. Twee togen gestapeld, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1422 brug aanwezig op locatie, geometrie bekend, funderingsniveau bekend, één sonderingen/boringen uit 1993, verbouwd/gerestaureerd rond 1965 en 1998, geen constructieve schades bekend.	Nebest	W+B
KW1115	De Verbreede Sint Josephstraat	Locatie Sint Josephstraat over de Binnendieze (Grote Stroom). Drie togen, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1649 brug aanwezig op locatie, geometrie onbekend, funderingsniveau bekend, één sonderingen/boringen uit 1977, verbouwd/gerestaureerd rond 1978 en verbreed rond 1990, geen constructieve schades bekend.	Nebest	RHDHV
KW1152	Visstraat – Breede haven	Locatie Visstraat over de Binnendieze. Twee togen met verschillende diameters, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1356 brug aanwezig op locatie, geometrie onbekend, funderingsniveau onbekend, twee sonderingen/boringen uit 1997, verbouwd/gerestaureerd rond 1968 en 1997, geen constructieve schades bekend.	Nebest	RHDHV
KW1669	Visbrug	Locatie Visstraat over de Binnendieze. (Waarschijnlijk) één toog met blinde muur, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1356 brug aanwezig op locatie, geometrie onbekend, funderingsniveau onbekend, twee sonderingen/boringen uit 1997, verbouwd/gerestaureerd rond 1968 en 1997, geen constructieve schades bekend.	Nebest	RHDHV
KW7904/D 004	Hulsterbrug	Locatie Sint Jorisstraat over de Kleine Vughterstream (Binnendieze). (Waarschijnlijk) één toog onder de weg, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1572 brug aanwezig op locatie, geometrie onbekend, funderingsniveau onbekend, drie sonderingen/boringen uit 1976, verbouwd/gerestaureerd rond 1996 (herstel metselwerk), geen constructieve schades bekend.	Nebest	W+B
KW7909/D 009	Schapenmarkt	Locatie Schapenmarkt over de Verwersstroom (Binnendieze). (Waarschijnlijk) toog en betonoverkluizing, verkeersbelasting, wel zwaar verkeer, sinds 1566 brug aanwezig op locatie, nabij monumentale stadsmuur, geometrie onbekend, funderingsniveau onbekend, geen sonderingen/boringen, betonplaat over toog in 1968, verbouwd/gerestaureerd rond 1985 (metselwerk), geen constructieve schades bekend.	Nebest	W+B
KW7915/D 014	Capucijnenbrug	Locatie Capucijnenpoort over De Binnendieze. Één toog onder de weg, verkeersbelasting, maar geen zwaar verkeer. Geometrie bekend. Beperkte gronddekking op de boog. Boog dateert van begin jaren 80.	Nebest	W+B

Voorafgaand aan de constructieve beoordeling zijn de metselwerk boogbruggen geprioriteerd op basis van een veel gebruikte beoordelingsmethode voor de classificatie van (metselwerk) boogconstructies, de MEXE-theorie (zie Hoofdstuk 5.1). In Tabel 2.2 zijn de geclassificeerde kunstwerken weergegeven in volgorde van belastbaarheid (van lage belastbaarheid naar hoge belastbaarheid). Fiets- en voetgangersbruggen zijn minder risicovol, omdat hier sprake is van een relatief lage belasting.

Tabel 2.2 Prioritering

Objectcode	Objectnaam	Gebruik
KW1149/7539	Uilenburgstraatje	Verkeersbrug
KW1113/7562	In den Boerenmouw	Verkeersbrug
KW7915	Capucijnenbrug	Verkeersbrug
KW1148	Uilenburg (2)	Verkeersbrug
KW1117	Gasthuisstraat	Fiets- en voetgangers
KW1112/7560	Brug naar Zusters van Orthenpoort	Verkeersbrug
KW1147	Korenburgstraat	Verkeersbrug
KW1001	Cavaleriebrug	Verkeersbrug
KW1661	Voldersgatbrug	Fiets- en voetgangers
KW7909	Schapebrug	Verkeersbrug
KW1109/7503	Volderstraatje	Verkeersbrug
KW7904	Hulsterbrug	Verkeersbrug
KW7914/D014	Brabantsmuseum	Fiets- en voetgangers
KW1002	Oud Bogardenstraat	Fiets- en voetgangers
KW1087	Achter Stadhuisbrug	Verkeersbrug
KW1660	Brug Oude Dieze	Fiets- en voetgangers
KW7902/D002/7524	Kruisbroederbrug (huisnr. 7)	Verkeersbrug
KW1390/7545	Molenstraat	Fiets- en voetgangers
KW7911	Abtsbrug	Verkeersbrug
KW1111/7560	Louwenschepoort	Verkeersbrug
KW7905	Koningsbrug	Verkeersbrug
KW1311	Hekelbrug	Verkeersbrug
KW7903/D003/7519	Kruisbroederbrug (huisnr. 17A)	Verkeersbrug
KW1152	Visstraat - Breede Haven	Verkeersbrug
KW1143	Brug Water en Vuurplein	Verkeersbrug
KW1107	Waterstraat - Loeffschebrug (Oost)	Fiets- en voetgangers
KW7906/D006/7507	Mortelbrug	Verkeersbrug
KW1395/7508	Synagoge brug	Fiets- en voetgangers
KW1110	Louwenschepoort - J. Boschtuin	Fiets- en voetgangers
KW7916	Nieuwe Kruisbroedershekel	Verkeersbrug
KW1669	Visbrug (2e poort)	Verkeersbrug
KW7919	Stoomgemaal	Verkeersbrug
KW7918	Parklaan	Verkeersbrug
KW7917	Oude Kruisbroedershekel	Verkeersbrug
KW7908/D008/7552	Achter het Stadhuisbrug (2)	Fiets- en voetgangers

In Tabel 2-3 zijn de objecten weergegeven die nog niet zijn beoordeeld.

Tabel 2-3 Nog niet beoordeelde objecten

Objectcode	Objectnaam	Gebruik
KW1086/7564	Muzerijbrug	Sint Josephstraat
KW1106/7504	Beurdsestraat	Beurdsestraat
KW7907/D007/7552	Autfortschebrug	Achter het Stadhuis
KW7912/D012	Achter de Mollenbrug	Achter de Mollen
Onb./D018/7507	Museumtuin	De Mortel
KW7921/D021	Plateau stoomgemaal	Zuidwal

De waterstand van de Binnendieze is +2,75 m NAP. De hoogste waterstand ooit gemeten is ruim +4,50 m NAP. Het grondwaterpeil zal daar ergens tussen schommelen, maar zal vanwege de zandgrond nooit veel afwijken van het waterpeil.

2.6 Diepgang

Dit document richt zich primair op het:

- 'Wat' Wat kan/moet er worden geïnspecteerd, onderzocht en berekend.
- 'Waarom' Welk onderzoek waarom wel of niet uitvoeren in relatie tot algemene randvoorwaarden zoals nut en noodzaak, bereikbaarheid, huidig gebruik, staat van het object, beschikbaarheid van gegevens, etc.

De 'Hoe-vraag' zal onderdeel uitmaken van de objectspecifieke Plannen van Aanpak (of PvA's voor clusters van objecten) waarbij voorliggend document als kader fungeert.

2.7 Leeswijzer

Het document bevat de volgende hoofdstukken:

- 1 Samenvatting (lv-Infra)
- 2 Inleiding (Witteveen+Bos)
- 3 Termen en definities (Witteveen+Bos)
- 4 Beoordelingskader (Witteveen+Bos)
- 5 Beoordelingsproces (lv-Infra)
- 6 Bureaustudie (Witteveen+Bos)
- 7 Inspectie (Nebest)
- 8 Onderzoek (Nebest)
- 9 Verificatieberekening (Royal HaskoningDHV)
- 10 Maatregelen & Advies (Nebest)
- 11 Proefbelasting (lv-Infra)

Het eerste hoofdstuk bevat een samenvatting waarin de kernzaken van het document duidelijk zijn omschreven in algemene bewoordingen. Dit wordt gevolgd door de inleiding, waarin aspecten als het onderwerp, de aanleiding, de doelstelling, het toepassingsgebied, de scope en de diepgang zijn opgenomen.

Na een lijst met termen en verklarende definities wordt het beoordelingskader uiteengezet. Het kader omvat onder andere de veiligheidsniveau's, restlevensduur, referentieperiode en verschillende belastingsituaties. Na het kader volgt het beoordelingsproces. Hierin worden de verschillende fasen van het proces toegelicht en zijn deze volgordelijk opgenomen in een stroomschema inclusief de iteraties, diepgang en keuzemomenten. De volgende zes hoofdstukken gaan dieper in op de fasen/onderdelen van het beoordelingsproces, te weten: bureaustudie, inspectie, onderzoek, verificatieberekening, maatregelen & advies en proefbelasting.

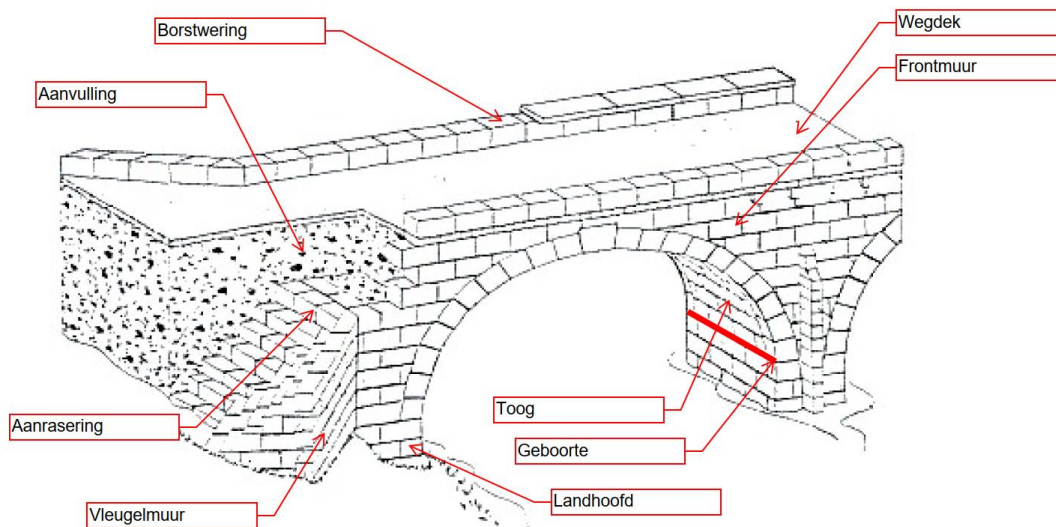
3

TERMEN EN DEFINITIES

3.1 Boogconstructies

Onderstaande afbeelding bevat de belangrijkste termen met betrekking tot metselwerk boogconstructies. De afbeelding is afkomstig uit het document 'Handreiking inspectie metselwerk boogbruggen' opgesteld door M. ten Cate van de gemeente 's-Hertogenbosch. Het document is bijgevoegd als bijlage 1.

Figuur 3-1 Termen metselwerk boogconstructies (Bron: 'Handreiking inspectie metselwerk boogbruggen' - M. ten Cate)



3.2 Algemeen

Onderstaande termen en definities zijn voor een groot deel afkomstig van CUR-aanbeveling 117 en de CROW-CUR-aanbeveling 124.

Tabel 3-1 Termen en definities

Term	Definitie	Bron
Afkeurniveau	Wettelijk minimumniveau van constructieve veiligheid, op het onderschrijden waarvan (voor)aanschrijving en handhaving door het bevoegd gezag moet volgen.	NEN 8700
Archiefonderzoek	Het inventariseren, raadplegen en/of bestuderen van tekeningen, berekeningen en rapportages, bestekken of andere documenten betreffende ontwerp, bouw, reparaties, renovaties of aanpassingen.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Areaal	Een set van meerdere constructies.	CROW-CUR-aanbeveling 124
As-built gegevens	De gegevens die de gebouwde situatie weergeven, zoals revisietekeningen,	CUR-aanbeveling 117

Term	Definitie	Bron
	werkbestek, informatie uit inventarisatie, toestandsinspectie, contractopname, (deformatie)metingen en/of onderzoek materiaaleigenschappen	
Beheerder	De instantie die gemandateerd is door de onderhoudsplichtige instantie (meestal is dit de eigenaar) om het beheer te voeren van een of meerdere kunstwerken.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Beheersmaatregel	Een maatregel waarmee een geïdentificeerd risico kan worden beheerst, door de oorzaak of het gevolg van het risico (gedeeltelijk) weg te nemen.	CUR-aanbeveling 117
Belasting	Externe druk, kracht, opgelegde verplaatsing of milieu-invloeden waar de constructie of elementen van de constructie aan worden onderworpen.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Belastingeffect	Het effect dat belasting heeft op het gedrag van de constructie in termen van spanningen, rekken of afgeleide (snede)grootheden zoals normaalkracht, dwarskracht, moment, krommingen, et cetera.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Belastingspreiding	Ruimtelijke spreiding van een belasting waardoor de spanning op het aangrijpingsvlak van de belasting evenredig wordt verlaagd.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Beoordeling constructieve veiligheid	Het controleren of vaststellen of een constructie al dan niet voldoet aan de eisen die worden gesteld aan de constructieve veiligheid, bijvoorbeeld aan de hand van eerder uitgevoerde berekeningen of een verificatieberekening.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Betrouwbaarheid	Geschiktheid van een constructie of een constructief element om te voldoen aan de voorgeschreven eisen, met inbegrip van de ontwerp levensduur, waarvoor zij is ontworpen. Betrouwbaarheid is meestal uitgedrukt in probabilistische termen.	NEN-EN 1990
Bevoegd gezag	Het orgaan dat toeziet op de handhaving van het minimum veiligheidsniveau.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Bezwijkmechanisme	Wijze waarop bezwijken van een constructie plaatsvindt, bijvoorbeeld afschuiving onder invloed van dwarskracht of buiging onder invloed van een buigend moment.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Constructieve schade	Schade aan een kunstwerk die een negatief effect heeft op het constructieve draagvermogen van de constructie.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Constructie(onder)-deel	Deel van een constructie dat als losstaand onderdeel te schematiseren is, afhankelijk van de geometrie van het constructieonderdeel. Voor definities van verschillende constructiedelen zie NEN 6720 par. 2.3.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Degradatie	Achteruitgang in de tijd van de sterkte en/of stijfheid van een materiaal, een constructie of een onderdeel daarvan.	CROW-CUR-aanbeveling 124
EEM/FEM	Eindige Elementen Methode (EEM) of Finite Element Method (FEM). Rekenmethode voor het schematiseren van een constructie ten behoeve van het numeriek bepalen van het belastingeffect.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Falen	Het niet meer kunnen voldoen aan de functies waarvoor de constructie bedoeld is. Bij de beoordeling van constructies wordt met falen bedoeld dat de veiligheid van de constructie of onderdelen daarvan, niet voldoet aan de eisen die daaraan worden gesteld.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Gebruiksniveau	Privaatrechtelijk minimumniveau van constructieve veiligheid voor de instandhouding van bruggen.	NEN 8701
Grenstoestanden	Toestanden waarboven de constructie niet langer aan de van toepassing zijnde ontwerp- en berekeningscriteria voldoet. Toelichting: onderscheid wordt gemaakt in uiterste grenstoestanden (UGT of ULS) en bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT of SLS).	NEN-EN 1990
Kunstwerk	In dit document: 'Metselwerk boogbrug'. In het Bouwbesluit 2012 wordt een kunstwerk aangeduid als een 'bouwwerk geen gebouw zijnde'.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Lastbeperking	Limitering van het maximale voertuiggewicht of aslast op een brug/viaduct middels het plaatsen van een verkeersbord of middels fysieke maatregelen.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Nieuwbouwniveau	Het betrouwbaarheidsniveau dat van toepassing is bij het realiseren van een nieuwe brug of bij het geheel vervangen van een constructie.	CROW-CUR-aanbeveling 124

Term	Definitie	Bron
NTO	Nadere Technische Omschrijving, omschrijving van een kunstwerk, opgesteld door gemeente met verwijzing naar beschikbare objectinformatie en de concrete vraagstelling m.b.t. constructieve veiligheid.	Projectdefinitie
Ontwerplevensduur	Tijdshorizon waarover bij het ontwerpen van een constructie aan het nieuwbouwniveau moet zijn voldaan.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Referentieperiode	Tijdperiode, gekozen en gebruikt als grondslag voor de statistische waardebepaling van veranderlijke belastingen en eventueel voor buitengewone belastingen.	NEN 8700
Restlevensduur	Veronderstelde periode gedurende welke een bestaande of verbouwde constructie of een deel ervan is te gebruiken voor het beoogde doel.	NEN 8700
Toetsen	Vergelijking van de rekenkundige waarde van het belastingeffect met de rekenkundige waarde van de sterkte van de constructie of het beschouwde onderdeel binnen de kaders van NEN-EN 1990 en NEN 8700.	CROW-CUR-aanbeveling 124
Uiterste grenstoestanden	Toestanden samengaand met instortingen of met andere soortgelijke vormen van constructief bezwijken (uiterste grenstoestanden komen in het algemeen overeen met het uiterste draagvermogen van een constructie of een constructief element).	NEN-EN 1990
Verbouwniveau	Wettelijk minimumniveau van constructieve veiligheid bij het toetsen van ontwerpen voor verbouw.	NEN 8700
Verificatieberekening	Het (opnieuw) bepalen van de krachtswerking in de constructie en, aan de hand daarvan, beoordelen of voldaan wordt aan de eisen die aan de constructieve veiligheid worden gesteld.	CROW-CUR-aanbeveling 124

4

BEOORDELINGSKADER

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het beoordelingskader met betrekking tot metselwerk boogbruggen. Voor de aanpak van de beoordeling van metselwerk boogbruggen wordt uitgegaan van het beoordelingskader zoals dit is opgenomen in de CROW-CUR-aanbeveling 124 (2019) 'Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden'.

4.2 Aanleiding voor beoordeling

De eigenaar van een bouwwerk dient ervoor zorg te dragen dat het bouwwerk geen gevaar vormt voor de gebruiker (Woningwet Artikel 1a). Een bestaand bouwwerk moet voldoen aan de van toepassing zijnde voorschriften (Woningwet Artikel 1b). In het burgerlijk wetboek (BW boek 6, artikel 162 en 174) is vastgelegd dat de bezitter aansprakelijk is voor gevolgschade wanneer diens opstal niet voldoet aan de eisen. Dat wettelijke kader maakt dat van elk object de belastbaarheid bekend moet zijn. Het ontbreken van een ontwerp- en/of herberekening volgens de vigerende normen vormt daarom aanleiding de constructie constructief te beoordelen.

Daarnaast worden in CROW-CUR-aanbeveling 124, paragraaf 3.2.1 een zestal aanleidingen, die overeenkomen met de NEN 8700/8701, benoemd voor het vaststellen van de toestand van een constructie en het uitvoeren van een daaraan gekoppelde beoordeling van de constructieve veiligheid:

- a. Routinematige beoordeling zonder directe aanleiding
- b. Einde ontwerp- en/of restlevensduur
- c. Geconstateerde en/of vermoede schade
- d. Verandering van gebruik
- e. Herontwerp
- f. Veranderende ontwerpcondities

Om te bepalen of er aanleiding voor een beoordeling is, moet het object worden beschouwd. De beschouwing dient minimaal te bestaan uit het inspecteren van de brug, het beoordelen van eventueel geconstateerde en/of vermoede schade (aanleiding c) en het bepalen van de huidige en toekomstige functie van de brug (aanleiding d).

Toename van de karakteristieke blijvende en/of verkeersbelasting op de brug (aanleiding f) is ook aanleiding voor beoordeling. Dit geldt ook indien de ontwerpbelasting onbekend is. Dit laatste is van toepassing op het merendeel van de metselwerk boogbruggen.

4.3 Gevolgklasse (CC3, CC2, CC1b, CC1a)

Gevolgklasse CC3 wordt alleen toegepast in overleg met de gemeente voor bruggen waar de gevolgen van bezwijken groot of zeer groot zijn (verlies van mensenlevens, economisch en sociaal). Dergelijke metselwerk boogbruggen zijn bij de gemeente 's-Hertogenbosch niet aan de orde.

Voor bruggen met meer dan 2.000 vrachtwagens per jaar wordt uitgegaan van CC2.

Voor bruggen met minder dan 2.000 vrachtwagens per jaar wordt uitgegaan van CC1b.

4.4 Beoordelingsniveau (Nieuwbouw, Verbouw, Gebruik, Afkeur)

Volgens het Bouwbesluit 2012 mag een bestaande metselwerkboogbrug worden getoetst op afkeurniveau indien geen sprake is van gedeeltelijk vernieuwen, veranderen of vergroten van het object. In die gevallen moet minimaal worden uitgegaan van verbouwniveau.

Het is niet wenselijk dat alle metselwerk boogbruggen binnen het areaal worden getoetst op afkeurniveau. Om die reden wordt in lijn met de ontwerpnorm NEN8700:2011/A1:2018 Ontw. in de basis het gebruiksniveau toegepast. De belastingfactoren moeten worden toegepast conform NEN8700:2011/A1:2018 Ontw. Voor een enkele brug kan eventueel (tijdelijk) wel van het afkeurniveau worden uitgegaan.

4.5 Restlevensduur, referentieperiode

De minimale restlevensduur voor gevolgklasse CC1b, CC2 en CC3 is gelijk aan 15 jaar. Voor de berekening wordt uitgegaan van 30 jaar. Deze periode dient altijd in overleg met de gemeente te worden vastgesteld. De constructieve veiligheid moet voor de aangehouden restlevensduur zijn gewaarborgd. De referentieperiode is minimaal gelijk aan de restlevensduur.

Deze aan te houden restlevensduur/referentieperiode wil niet zeggen dat na verstrijken van die periode de brug versterkt of vervangen moet worden. Indien afdoende onderhoud wordt uitgevoerd, zodat er geen degradatie van de brug optreedt en er geen (sterkere) toename van de belastingen plaatsvindt, dan voldoet de brug nog steeds en kan deze na afloop van de beschouwde restlevensduurperiode opnieuw beoordeeld worden, voor nogmaals eenzelfde restlevensduur.

4.6 Belasting situaties

Voor de beoordeling van metselwerk boogbruggen wordt onderscheid gemaakt tussen een viertal typen:

- 1 Fiets- en voetgangersbruggen, niet toegankelijk voor onderhoudsvoertuigen en hulpdiensten.
- 2 Fiets- en voetgangersbruggen, toegankelijk voor onderhoudsvoertuigen en hulpdiensten.
- 3 Verkeersbruggen die voldoen aan de randvoorwaarden conform NEN8701:2011/A1:2018 Ontw. (het 'decentrale model').
- 4 Overige verkeersbruggen.

Fiets- en voetgangersbruggen, ontoegankelijk voor onderhoudsvoertuigen en hulpdiensten

Hierbij moet het fysiek onmogelijk zijn (doorgang smaller dan 1,5 m) dat een voertuig (zwaarder dan 3,5 ton) gebruik kan maken van de brug. Dit doordat bijvoorbeeld de brug te smal is of doordat een permanent obstakel voor de brug aanwezig is. Een verwijderbaar (wegklapbaar) obstakel is geen 'permanent obstakel'.

Voor fiets- en voetgangersbruggen geldt dat het niet aannemelijk is, dat de belasting sinds de aanleg van de brug is toegenomen. Wat betreft de karakteristieke belastingen is geen aanleiding aanwezig voor de beoordeling van de brug, tenzij nog andere aanleidingen aanwezig zijn (geconstateerde en/of vermoede schades, wijziging gebruik, etc.). Wel zal er een inspectie en een (lichte) kwalitatieve constructieve beoordeling plaats moeten vinden.

Fiets- en voetgangersbruggen, toegankelijk voor onderhoudsvoertuigen en hulpdiensten

De noodzaak voor de beoordeling van de brug hangt af van het type (gewicht, afmetingen, etc.) van het onderhoudsvoertuig en dat van voertuigen van de hulpdiensten. Indien de belasting ten gevolge van het onderhoudsvoertuig en/of de voertuigen van de hulpdiensten maatgevend zijn boven de fiets- en voetgangersbelasting en/of de ontwerpbelasting van de brug is dit aanleiding voor een constructieve beoordeling van de brug. Indien deze niet maatgevend zijn, dan kan brug worden beschouwd als fiets- en voetgangersbrug. Naast deze afweging zal er altijd een inspectie moeten worden uitgevoerd.

N.B. Het onderhoudsvoertuig (Ravo 5i, 12 ton totaalgewicht, assen 8 en 4 ton, asafstand 2 meter, spoorbreedte 1,75 meter) van de gemeente 's-Hertogenbosch is maatgevend boven het onbedoelde voertuig conform de Eurocode vanwege de kleinere asafstand. Indien een brug getoetst wordt op belasting uit het onderhoudsvoertuig, is daarmee het gebruik van de brug door het onbedoelde voertuig conform de

EC dus eveneens afgedekt. Indien sprake is van toegang voor hulpdiensten/huisvuilophaalwagens, dan moeten deze apart beschouwd worden.

Verkeersbruggen die voldoen aan de randvoorwaarden conform NEN8701:2011/A1:2018 Ontw. (decentrale model)

De voorwaarden waaraan voldaan moet worden om het decentrale model toe te mogen passen, zijn:

- Het jaarlijkse aantal zware voertuigen N_{obs} is gedurende de referentieperiode in geen enkel jaar groter dan 125.000 en binnen de referentieperiode is geen wijziging naar een groter aantal zware voertuigen voorzien.
- De invloedslengte van (een onderdeel van) de brug is niet groter dan 20 m.
- De brug ligt in een route waar voertuigen met een permanente ontheffing wegenbelasting niet zijn toegelaten. Deze beperking moet bij de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW) zijn geregistreerd.
- De brug wordt niet frequent belast door voertuigen met een afwijkend hoge beladingsgraad (ontsluiting industrieterrein of overslaggebied) of door wielconfiguraties die afwijken van tabel NB.6 – 4.7 in NEN-EN 1991-2+C1:2011/NB:2011.

In die gevallen mag de verkeersbelasting worden bepaald conform NEN8701:2011/A1:2018 Ontw. Voor elk transport dat afwijkt van de wettelijke toelaatbare voertuiggewichten en voertuigafmetingen dient een aparte verificatie uitgevoerd te worden.

Overige verkeersbruggen

In alle overige gevallen moet de verkeersbelasting worden bepaald conform NEN-EN 1991-2 en NEN 8701.

Indien beperkingen aan het gebruik (aslast en/of voertuiggewicht) aanwezig zijn kan de rekenkundige belasting verlaagd worden. Indien niet voldaan wordt aan de Eurocode-belasting kan door deze beheersmaatregel de brug (tijdelijk) behouden blijven.

Voor alle bruggen is het van belang inzicht te hebben in het werkelijke gebruik en of in de ligging in busroutes en/of 'officiële' transportroutes voor zwaar verkeer.

5

BEOORDELINGSPROCES

5.1 Inventarisatie

Gemeente 's-Hertogenbosch heeft meerdere metselwerk boogbruggen. Het is van belang inzicht te krijgen in het complete areaal om daarna de beoordeling van de objecten te kunnen prioriteren en clusteren. Deze inventarisatie wordt deels door de gemeente uitgevoerd en deels door de adviseur.

Archiefonderzoek areaalgegevens

De bij de gemeente beschikbare archiefgegevens worden door de gemeente verzameld en ter beschikking gesteld aan de adviseur. Daarbij wordt ook per object een "Nadere Technisch Omschrijving" (NTO) opgeleverd met daarin een overzicht van de beschikbare informatie van het object en de opdrachtomschrijving voor de constructieve beoordeling. De adviseur neemt alle informatie door en adviseert de gemeente waar mogelijk met informatie uit externe bronnen.

Afweging noodzaak herberekening

Er is een herberekening (als specifiek onderdeel van het beoordelingsproces) nodig wanneer:

- Een constructieve beoordeling in de vorm van een ontwerpberekening en/of herberekening ontbreekt.
- De eventueel wel beschikbare (her)berekening:
 - niet gebaseerd is op de vigerende normen (belastingen toegenomen);
 - niet klopt wat betreft aanpak;
 - onvolledig is.
- Constructieve schadebeelden aanwezig zijn die niet te verklaren zijn en/of wijzen op overbelasting.

Clustering objecten

Op basis van alle objectinformatie zal de adviseur een voorstel doen voor de bundeling van diverse objecten. Deze kunnen bijvoorbeeld worden gebundeld op basis van:

- bouwjaar;
- overspanning (type en vorm toog);
- huidig gebruik;
- gewenst gebruik (eis OG: LM1, decentraal of lastbeperking acceptabel);
- schadebeelden.

De adviseur zal de clustering nader toelichten en de aanpak voor het cluster van objecten formuleren.

Prioritering

Naast de clustering van objecten kan de adviseur ook een voorstel doen voor de prioritering van de objecten binnen het areaal gebaseerd op het belang, ligging/gebruik, schadebeelden. Gemeente 's-Hertogenbosch heeft deze prioritering voor het areaal reeds uitgevoerd.

Prioritering met de MEXE-theorie

Een internationaal veel gebruikte beoordelingsmethode voor de classificatie van (metselwerk) boogconstructies is de MEXE-theorie (The Military Experimental Establishment) [1.] en [2.]. De theorie is gebaseerd op het werk van Pippard [3.] en Heyman [3.] die sinds de Tweede Wereldoorlog deze methode hebben geïntroduceerd. De MEXE-theorie is sindsdien de meest toegepaste beoordelingsmethode voor boogconstructies. De simpliciteit van de methode past bij een prioritering zodat de boogconstructies geclassificeerd worden. De methode kan worden gezien als een VO (voorontwerp) formule die beschreven is

als: Empirische vergelijking van Britse origine voor het bepalen van de boogdikte 'd' voor een bovenbelasting 'W'. Een prioritering op basis van de bezwijkbelasting van een groep boogconstructies is het resultaat. Een ontwerp van een nieuwe boogbrug of een herberekening van een bestaande boogbrug met enkel het gebruik van de MEXE-theorie is ten strengste afgeraden. Een verificatieberekening volgens Hoofdstuk 9 is dan noodzakelijk.

Een voorbeeld van een invoersheet met quick scan (prioritering op basis van de MEXE theorie) voor een groep metselwerk boogbruggen staat in bijlage IV. Het opvragen van een bewerkbare versie is mogelijk bij de auteurs van dit rapport. De ambitie is de invoersheet te vervangen met een webapplicatie.

De bepaling van de toelaatbare bovenbelasting 'W' komt tot stand door de berekening van permanente belasting en buigende momenten in de kruin van de boog. Er is gebruikgemaakt van de volgende schematisatie en voornaamste aannames:

- de boog heeft een parabolische vorm (2D);
- de kruinbelasting hoeft niet de meest kritische belastingpositie te zijn;
- de vulling geeft enkel verticale belasting;
- het gewicht van de boog is gelijk aan het gewicht van de aanvulling;
- de druklijn moet binnen de halve boogdikte liggen, zodat een gelimiteerde druksterkte en een ongedefinieerde treksterkte geldt.

Stijfheidseffecten door constructieve elementen (steunwanden,-ribben, ankers, etc.) kunnen niet aan de capaciteitskant meegerekend worden. Ook wordt de fundering van de boogbrug en het effect van de fundering op de boogconstructie volledig buiten beschouwing gelaten.

Een zestal parameters is benodigd voor een eerste inschatting van de toelaatbare belasting met behulp van de MEXE-theorie. Dit betreffen de: overspanning (l), boogdikte in de kruin (d), dikte van de aanvulling op de boog (h), steekhoogte t.o.v. de geboorte (a), druksterkte van het metselwerk (f) en het gewicht van de aanvulling (σ). In dit onderzoek is de dagmaat aangehouden als overspanning. Voor het soortelijk gewicht (σ) van de aanvulling kan op 18 kN/m³ aangehouden worden en de druksterkte op 8,5 N/mm² (gemiddelde druksterkte van metselwerk van voor 1945) indien zich geen bijzonderheden voordoen zoals ernstige schade of degradatie van het metselwerk.

$$W = \frac{\left(\frac{256 f h d}{l} \right) + 128 \sigma l h \left(\frac{a}{28d} - \frac{1}{21} - \frac{h+d}{4a} \right)}{\left(\frac{25}{a} + \frac{42}{d} \right)}$$

Een vergelijking kan gemaakt worden tussen het resultaat uit de MEXE-theorie en de berekende bezwijkbelasting van de boog op belastingpositie I (zie paragraaf 9.3.4) in een verificatieberekening (zie hoofdstuk 9). Het beeld voor de bruggen in 's Hertogenbosch is dat de bepaalde bezwijkbelasting uit de MEXE-theorie van gelijke orde van grootte is als het resultaat van de verificatieberekening. Het verschil tussen deze resultaten van de twee methoden neemt toe voor een kleine grondaanvulling op de boog (circa $h < 0,4$ m).

5.2 Constructieve beoordeling

De constructieve beoordeling van een metselwerk boogbrug bestaat uit verschillende fasen. Deze fasen kunnen cyclisch zijn, d.w.z. iteratief worden doorlopen, vanwege de beoogde kostenefficiënte aanpak. Eerst zal bijvoorbeeld op basis van aannames en/of een minimum aan in te winnen gegevens worden gerekend. Als blijkt dat de constructie dan niet voldoet, wordt verfijnder gerekend, mits hiervan voldoende 'winst' wordt verwacht. Voor de verfijningsslag is vrijwel altijd extra informatie nodig die op locatie moet worden ingewonnen. Het inwinnen is veelal kostbaar en levert vaak hinder voor (scheepvaart)verkeer en omwonenden.

5.2.1 Fase 1: Bureaustudie

Betreft het doornemen van alle van de gemeente ontvangen informatie en waar mogelijk (i.o.m. de gemeente) ook doornemen van informatie van externe bronnen, zoals het Stadsarchief of archieven van het Waterschap.

5.2.2 Fase 2a: Inspectie

De inspectie is erop gericht om de staat van de brug vast te leggen en om informatie over de geometrie te controleren of in te winnen en daarbij de schades vast te leggen. De constructeur zal vervolgens beoordelen of deze schades constructief van aard zijn en daarom meegenomen moeten worden in de verificatieberekening.

5.2.3 Fase 2b: Onderzoek

Het onderzoek is erop gericht om ontbrekende informatie m.b.t. de geometrie in te winnen (KLIC-melding uitvoeren, vrijgraven en boren), waterstanden te bepalen en de (invloed van) eventuele schades te beoordelen. Eventueel aanvullend nader onderzoek kan worden uitgevoerd naar materiaaleigenschappen (steen, mortel, grond).

5.2.4 Fase 3: Verificatieberekening

De constructie wordt doorgerekend op basis van de beschikbare informatie en eventuele conservatieve aannames. Op basis van de rekenresultaten kan extra informatie worden ingewonnen op locatie t.b.v. aanscherpen van de aannames in het rekenmodel, als verwacht wordt dat de brug dan wél voldoet aan de gestelde eisen, of verwacht wordt dat dit van relevante invloed is op de rekenkundige capaciteit. Dit laatste kan namelijk in bepaalde gevallen ook negatief uitpakken.

5.2.5 Fase 4: Maatregelen & Advies

Dit betreft het adviseren van te nemen beheersmaatregelen (versterken, beperken d.m.v. ontlasten, accepteren van schades en monitoren) en is onderdeel van het beoordelingsproces. Het doorlopen van het beoordelingsproces zelf is ook onderdeel van deze fase.

5.2.6 Fase 5: Proefbelasting

Door het uitvoeren van een proefbelasting kan het rekenmodel worden verfijnd. Wanneer het werkelijke gedrag bekend is (stijfheid/vervormingen van fundatie en toog), dan kan het rekenmodel hier zo goed mogelijk op worden afgestemd.

5.3 Stroomschema fasen

Van het beoordelingsproces en de te nemen stappen zoals beschreven in dit document is een stroomschema opgesteld (zie pagina 7). Dit betreft een principeschema dat gevolgd *kan* worden. Dit schema beoogt niet compleet te zijn of rigide te moeten worden gevolgd. Wel geeft het zowel adviseur als gemeente inzicht in het te volgen proces.

Van groot belang is, dat elke stap en elk onderzoek in het schema per brug door de beoordelaar dient te worden afgewogen op kostenefficiëntie en in overleg met de gemeente wordt ingezet. Daarbij dient de adviseur een risicoanalyse op te stellen voor:

- het niet (volledig) kunnen inwinnen van extra geometrie-, grond- en/of materiaalparametergegevens en
 - het niet (volledig) behalen van extra capaciteit bij verfijning van de berekening en/of proefbelasting.
- Deze dient te resulteren in een afgewogen aanpak en een verantwoorde aanbieding aan de gemeente.

Naast het stroomschema zijn, ter toelichting, in de samenvatting ook de basisaanpak van de beoordeling en twee scenario's opgenomen.

6

BUREAUSTUDIE

Voor het rekenkundig vaststellen van de capaciteit van een metselwerk boogbrug is objectinformatie nodig. Deze objectinformatie betreft het (huidige) functionele gebruik, de geometrie van het object, eventuele modificaties in het verleden en de grondgegevens, maar ook (generieke) areaalgegevens.

6.1 Objectinformatie

Tijdens de bureaustudie worden de door de gemeente verstrekte en/of de via/bij derden aanwezige archiefgegevens doorgenomen. Archiefgegevens kunnen zijn: tekeningen aanleg/modificatie (as-built gegevens), berekeningen aanleg/modificatie, bestekken, dagboeken bouw, locatiegegevens, verkeerssituatie, inspectierapporten, paspoort object, (3D-)inmeting, artikelen en (advies)rapportages.

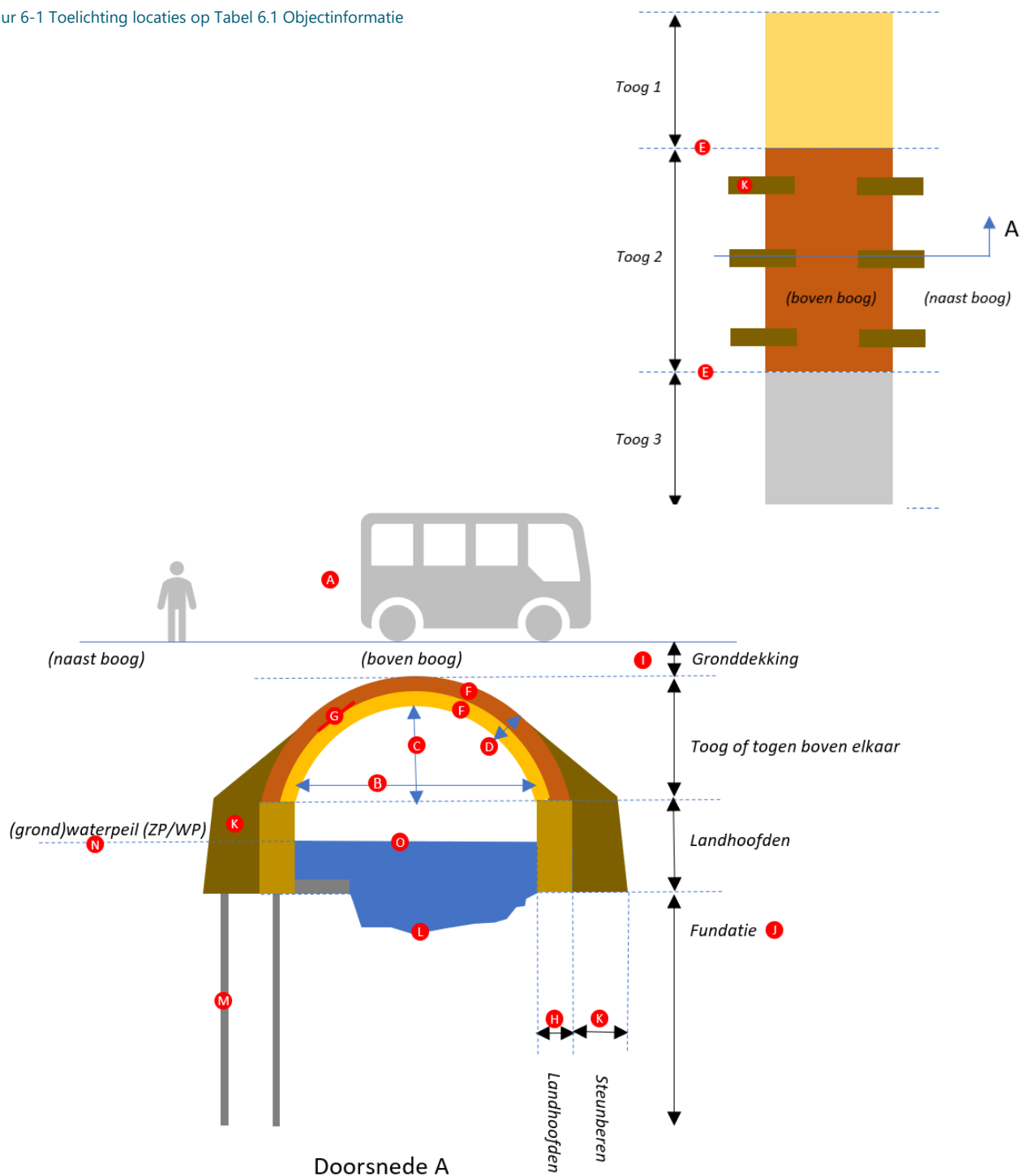
De bureaustudie richt zich op het vinden van de gegevens, zoals weergegeven in onderstaande tabel. Als informatie niet beschikbaar is, dient overwogen te worden om de voor de berekening benodigde gegevens in te winnen op locatie of een (conservatieve) aannahme te doen. In de derde kolom is aangegeven welke gegevens ten behoeve van een verificatieberekening minimaal nodig zijn.

Tabel 6-1 Objectinformatie

Onderwerp	Onderdeel	Minimaal nodig voor herberekening	Figuur ref.
Gebruik	Regulier verkeer (onbeperkt gebruik of beperkingen in gebruik)	Nee	A
	Fiets- en/of voetgangersbrug (inclusief of exclusief onderhoudsvoertuigen/hulpdiensten)	Nee	A
			A
Geometrie	Overspanning (dagmaat)	Ja	B
	Hoogte toog	Ja	C
	(Verloop) dikte toog	Ja	D
	Aantal togen naast elkaar (wel/niet gekoppeld)	Nee	E
	Aantal togen boven elkaar (wel/niet gekoppeld)	Ja	F
	Mate van samenwerking verschillende bogen o.b.v. percentage holklinkend	Ja	G
	Dikte landhoofden	Ja	H
	Gronddekking (opbouw en incl. bestrating)	Ja	I
	Fundatieniveau en -type (op staal of palen)	Ja	J
	Aanwezigheid/afmetingen steunberen	Nee	K
	Bodemdiepte (verloop) van landhoofd naar landhoofd	Ja	L
Materiaalgegevens:	Sterkteparameters steen	Nee	
	Sterkteparameters voeg	Nee	
	Specificaties palen (lengte, aantal, diameter)	Nee	M
Bouwmethode:	Bouwmethode (bestek)	Nee	
	Tijdelijke situaties (bestek/dagboek)	Nee	
Waterstanden:	Grondwater (zomer/winterpeil)	Ja	N
	Oppervlaktewater (zomer/winterpeil)	Ja	O
Grondopbouw:	Boven de boog (in basis uitgaan van zand)	Nee	
	Naast de boog/landhoofd (conusweerstand + wrijvingsgetal)	Ja	
	Onder de fundatie landhoofden (idem)	Ja	

Onderwerp	Onderdeel	Minimaal nodig voor herberekening	Figuur ref.
Inspectieresultaten:	Historische inspectie schadebeelden + eventueel uitgevoerde (herstel)maatregelen	Nee	
	Actuele inspectie schadebeelden	Nee	
Modificaties:	Uitgevoerde aanpassingen in functioneel gebruik	Nee	
	Uitgevoerde aanpassingen in geometrie (uitbreiding/renovatie/versterking)	Nee	
	Uitgevoerde aanpassingen in grondgegevens	Nee	
Kabels & Leidingen:	Actueel aanwezige K&L boven de toog	Nee	
	In constructie aangebrachte sparingen t.b.v. K&L	Nee	
	Voorzieningen boven op de toog t.b.v. K&L	Nee	

Figuur 6-1 Toelichting locaties op Tabel 6.1 Objectinformatie



6.2 Areaalgegevens

Naast de specifieke gegevens die door de gemeente worden geleverd bij het NTO is in het archief van de gemeente 's-Hertogenbosch de volgende areaalinformatie beschikbaar en nuttig om door te nemen bij het archiefonderzoek:

- Handleiding inspectie metselwerk boogbruggen DEF – 24 februari 2020 (**bijlage 1**)
- Overzicht kunstwerken in de Binnendieze (**bijlage 2a**)
- 3D-scan filmpjes: BD2-1, BD2-2, BD2-3 en BD2-noord (beschikbaar in Box)
- Dossier reparatie voegen Binnendieze 2005 (beschikbaar in Box) met daarin:
 - Foto's;
 - Veel beschrijvende documenten;
 - Rapport Fugro 7205-0487-000-1 met grondwaterpeilingen.
- Dossier herstel togen en bruggen Binnendieze 2017 (beschikbaar in Box) met daarin:
 - In mapje 05 Revisie gegevens van herstelwerkzaamheden aan:
 - 1107 Loeffschebrug Waterstraat
 - 1113 In den Boerenmouw
 - 1117 Gasthuisstraatje
 - 1147 Korenbrug
 - 1148 Uylenhof hotel
 - 1149 Uilenburg
 - 1390 Molenbrug Molenstraat
- Foto's en filmpjes rondgang Binnendieze 19 september 2019 (beschikbaar in Box)
- Inspectiefoto's 2011 (beschikbaar in Box)
- Publicaties monumenten, vestingwerken (beschikbaar in Box)
- Tekeningen restauratie Binnendieze ca 1980 (beschikbaar in Box)
 - Verwerstroom, Vughterstream, Lombardje, Kleine Vughterstream, Wolvenhoek, Keizerstraat, Prins Bernhardstraat, Kerkstream, Vismarkt, Kruisbroederstraatje
 - Inmeting funderingsplaten
 - 48914 bevaarbaarheid Binnendieze (opstappunten) december 1982
- Overzichtskaart hoofdstromen Dieze-Steketee-Hoogma 1994 (**bijlage 2b**)
- Overzicht constructieve veiligheid Binnenstad 19 mei 2020 (**bijlage 2c**)
- Overzichtskaart kunstwerken Binnendieze 19 mei 2020 (**bijlage 2d**)
- Overzichtskaart nieuwe indeling Binnendieze 22 juni 2020 (**bijlage 2e**)
- Kaartje benaming stroompjes Binnendieze (**bijlage 2f**)
- Plattegrond 's-Hertogenbosch (**bijlage 2g**)

7

INSPECTIE

7.1 Toestandsinspectie (fase 2a)

De toestandsinspectie omvat het uitvoeren van een visuele inspectie van de gehele constructie aan de boven- en onderzijde van de brug.

Bij deze inspectie worden meteen de (on)mogelijkheden beoordeeld en vastgelegd t.b.v. eventueel uit te voeren nader onderzoek en kan het bodempeil worden verkend d.m.v. prikken.

Voor aandachtspunten, oorzaken schades en gerelateerde schadebeelden wordt tevens verwezen naar de door gemeente 's-Hertogenbosch opgestelde handleiding inspectie metselwerk boogbruggen (zie bijlage 1).

Visuele inspectie: CUR-aanbeveling 117, klasse B2 – Toestandsinspectie:

Alle fysiek bereikbare onderdelen worden visueel op handafstand geïnspecteerd conform CUR-Aanbeveling 117, klasse B2 (Toestandsinspectie). Hierbij wordt het oppervlak gecontroleerd op losliggende/holklinkende delen metselwerk door middel van afkloppen met een hamer. De overige (anders dan metselwerk) onderdelen worden eveneens onderworpen aan een visuele inspectie. De locatie, het type en de omvang van schades en overige gebreken worden vastgelegd in een inspectietabel en op tekening. Van de kenmerkende schadebeelden worden foto's gemaakt. Ook worden er overzichtsfoto's gemaakt ter referentie van de locaties van de schades, maar ook t.b.v. de locaties zonder schade met het oog op vergelijking met toekomstige inspecties.

Visuele inspectie: CUR-aanbeveling 117, klasse B3 – Contractuele vooropname:

Het in kaart brengen van alle schades en afwijkingen, waarbij locatie, schadeomvang, verloop/vorm van de schade, ernst van de schade en mogelijke oorzaken worden opgenomen.

- De positie van schades worden ingetekend op een inspectietekening van de brugconstructie.
- De omvang van de schade wordt in tabelvorm vastgelegd.

7.2 Onderzoek geometrie (fase 2b)

Onderzoek Geometrie: CUR-aanbeveling 117, klasse B1 – Inventarisatie:

Dit onderzoek richt zich op het vinden de geometrische gegevens van de constructie zoals is weergegeven in Tabel 6-1. Het onderzoek is gestoeld op de klasse B1 – Inventarisatie. Het onderzoek gaat ook verder door het toepassen van destructieve onderzoeksmethodes. In hoofdstuk 8 wordt hierop nader ingegaan.

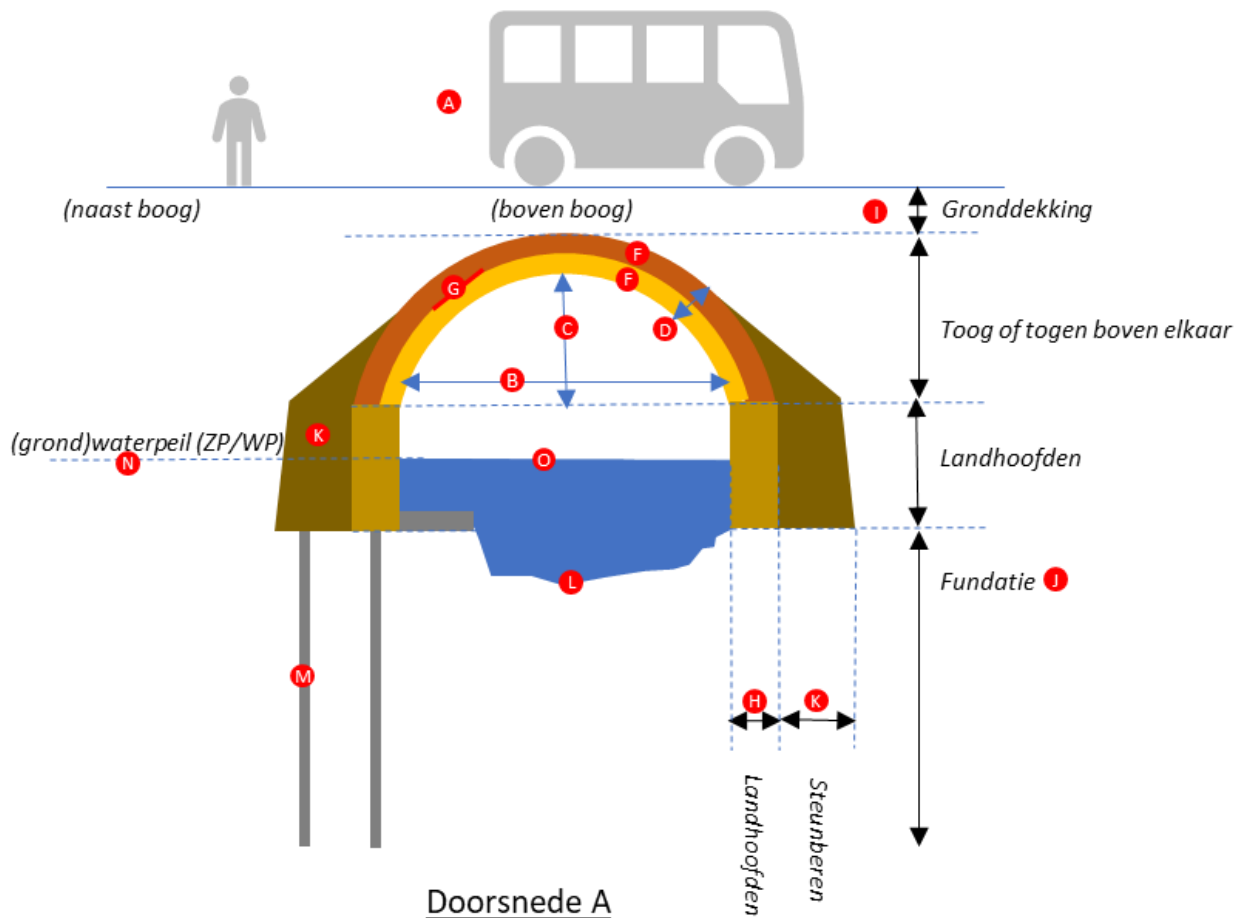
8

ONDERZOEK GEOMETRIE

Het uit te voeren onderzoek wordt bepaald door de constructeur n.a.v. de analyse van de beschikbare archiefinformatie. Daarbij wordt een selectie gemaakt uit de mogelijke onderzoeken met als doel het zo kostenefficiënt mogelijk inwinnen van (een selectie van) de objectgegevens zoals genoemd in paragraaf 6.1. Indien er sprake is van meerdere togen zal de constructeur een afweging moeten maken voor het inzetten van extra onderzoek, afhankelijk van de opbouw en positie van de diverse togen. Zo zal een niet bereiden, maar met een woning overkluisde toog, als niet maatgevend kunnen worden verondersteld t.o.v. een toog onder de rijweg.

Het onderzoek is erop gericht om ontbrekende informatie m.b.t. de geometrie in te winnen (KLIC uitvoeren, vrijgraven en boren), waterstanden en de (invloed van) eventuele schades. Onderstaande Figuur 8-1 geeft nogmaals weer waarop het geometrisch onderzoek is gericht.

Figuur 8-1 Objectinformatie



8.1 Geometrie

Bepaling verloop bovenliggende wegverharding [A]

Het inmeten van de bovenzijde van de brug – het straatniveau – dat als basis dient voor de op te stellen tekening van de brugconstructie. Het inmeten kan uitgevoerd worden met behulp van een digitaal waterpasinstrument of met behulp van een DTM-meting (Digitaal Terrein Meting) en/of 3D-scan.

Bepaling verloop toog – onderzijde [B], [C] en [D]

- Het inmeten van de afmetingen van de brug: overspanning, hoogte, lengte, breedte.
- Bepaling van het verloop van de toog met behulp van een pointcloud en controleren met metingen.

Voor de gehele Binnendieze wordt een nauwkeurige (2-3mm) 3D-scan beschikbaar gesteld door de gemeente o.b.v. een vaste scanpositie aan de onderzijde van de bruggen. Indien deze niet beschikbaar is, zal de onderzijde worden ingemeten door de adviseur.

Bepaling verloop toog – bovenzijde [D], [H], [I] en [K]

- Het inmeten van de afmetingen van de brug: overspanning, hoogte, lengte, breedte.
- Het vrij graven van een gedeelte van de bovenzijde van de welfbrug en het inmeten (en/of uitvoeren van een 3D-scan) van de geometrie van het vrijgemaakte deel van de welfconstructie. Let op: het vrij graven van de boog ten behoeve van de geometrie-bepaling kan in de praktijk in combinatie worden uitgevoerd met het ontgraven van de boorlocaties (zie punt: Bepaling fundatieniveau). Tevens kunnen de opbouw van de gronddekking en de verharding op de brug worden bepaald. Het vrij graven geschiedt in principe over de volledige doorsnede van de overspanning tot en met de landhoofden en in de lengterichting van de toog:

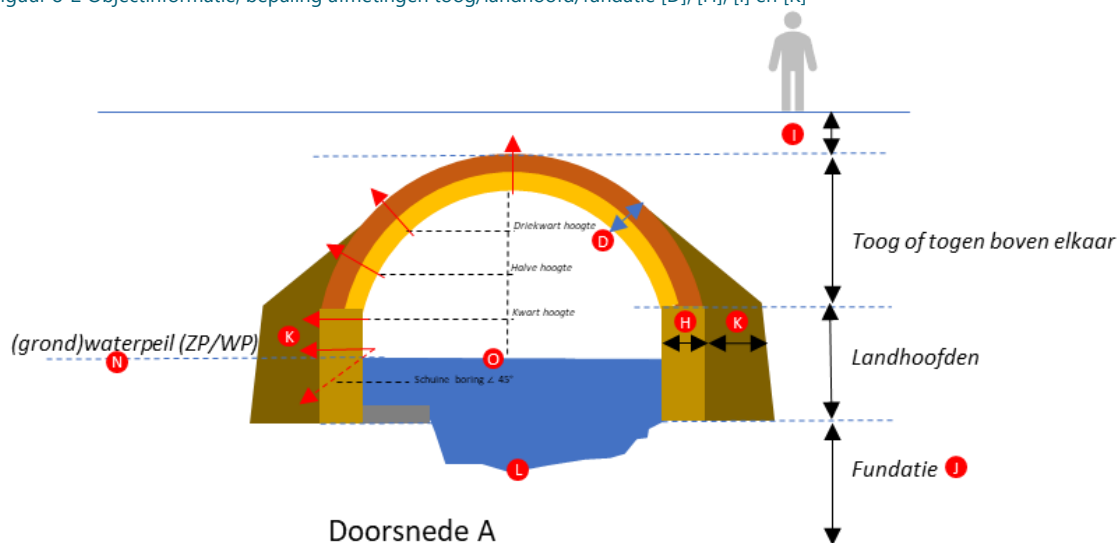
- tweemaal dwarsprofiel aan het begin en eind van de toog;
- tweemaal lengteprofiel ter hoogte van aanzet fundering/toog.

Het achterhalen van het lengteprofiel is met het doel eventuele steunberen op te sporen. Echter dit zorgt relatief voor veel hinder. De kans op steunberen is beperkt en kan alleen met een 3D-berekening meegenomen worden. Het achterhalen van het lengteprofiel dus pas uitvoeren nadat een 2D-som uitgevoerd is (zonder invloed steunberen) wanneer verfijning van de berekening nodig en kostenefficiënt wordt geacht.

Het verloop van de bovenzijde van de toogconstructie en de breedte van de fundering zijn voor het modelleren van belang.

- Een aandachtspunt bij het vrijgraven is de kruisingshoek van de overspanning met het bovenliggende wegennet. Het vrijgraven en opnemen van de geometrie dient bij voorkeur volledig parallel aan de overspanningsrichting (haaks op de watergang) van de brug te gebeuren. Indien om praktische redenen toch parallel aan het wegennet wordt gegraven, dient de kruisingshoek nauwkeurig te worden vastgelegd.

Figuur 8-2 Objectinformatie, bepaling afmetingen toog/landhoofd/fundatie [D], [H], [I] en [K]



N.B. Een alternatieve methode die zal worden beproefd op haalbaarheid, betrouwbaarheid en nauwkeurigheid is het inzetten van een grondradar. Deze zal zowel over het maaiveld als tegen de binnenzijde van de toog worden gereden, waarna de beelden worden geanalyseerd. Als blijkt dat deze methode werkbaar is en betrouwbare resultaten oplevert, kan dit een reductie opleveren van het boren en vrij graven. De resultaten van een proef met deze methode worden, zodra beschikbaar, in dit document verwerkt.

Bepaling afmetingen toog/landhoofd/fundatie [D] en [H]

a) Om de constructiehoogte van de toog en de breedte van de landhoofden (incl. aanrassing) te bepalen, dienen enkele gaten met een minimale diameter van 70 mm met diamant (boren met kleinere diameter en met lucht is onbetrouwbaar gebleken bij referentieproject Nieuwstraat) te worden geboord. Uitgangspunt hierbij is om aan beide zijden te boren, ofwel per zijde aan het begin en aan het eind van de boog:

- o tweemaal net boven de waterlijn;
- o tweemaal op een kwart hoogte boven de waterlijn;
- o tweemaal op halve hoogte boven de waterlijn;
- o tweemaal op driekwart boven de waterlijn.
- o tweemaal in de top van de toog.

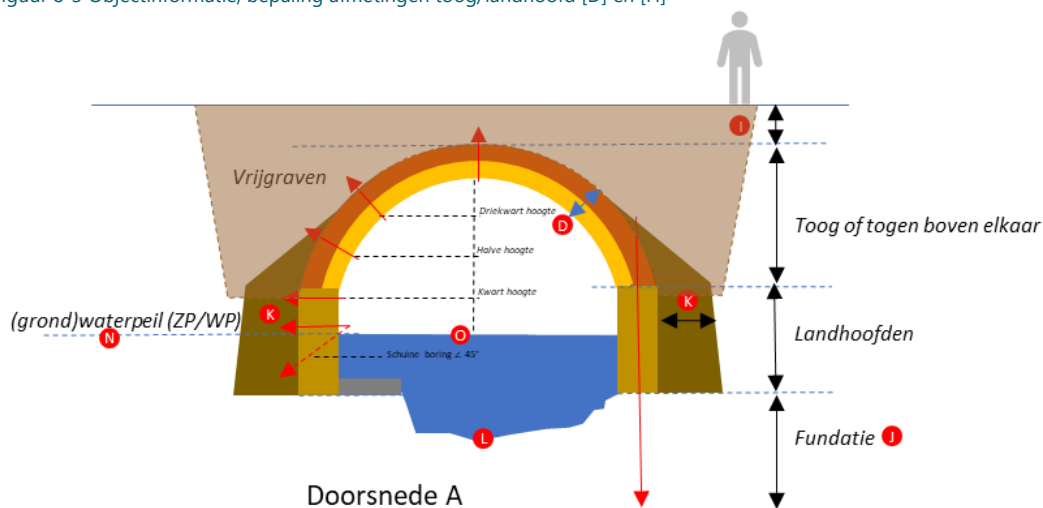
Alle boringen worden in radiale richting t.o.v. van de toog uitgevoerd (evt. kunnen de lagere boringen ook horizontaal uitgevoerd worden). Als een grote sprong in constructiehoogte van de toog wordt geconstateerd, wordt getracht de exacte locatie van deze sprong te lokaliseren (door een boring tussen twee locaties uit te voeren).

Het inmeten geschiedt aan de hand van de uitgekomen kernen die op volgorde achter elkaar worden gelegd. Een controlemeting kan worden uitgevoerd met behulp van een rolmaat of een duimstok die in het gat wordt geplaatst.

N.B. Wanneer de bovenzijde van de toog wordt vrij gegraven en ingemeten is het voldoende om alleen t.p.v. de landhoofden te boren.

b) Om het mogelijke verloop in de breedte van de landhoofden te bepalen, dienen aan weerszijden schuine boringen te worden uitgevoerd. De schuine boring zo schuin mogelijk uitvoeren (bij voorkeur onder een vaste hoek van 45 graden). Hieruit volgt de dikte op een niveau ca. 1 m onder waterniveau. Als op basis van de schuine boring de resulterende breedtemaat van het landhoofd minder dan 0,25 m afwijkt van de horizontale boring, dan is één schuine boring per landhoofdzijde afdoende. Anders een tweede schuine boring aan die zijde uitvoeren. Het verschil in funderingsbreedte, bepaald uit de twee schuine boringen aan dezelfde zijde, mag niet meer dan 0,20 m bedragen. Let op: de resulterende breedtemaat is de maat van de schuine boring onder een hoek van 45 graden gedeeld door $\sqrt{2}$.

Figuur 8-3 Objectinformatie, bepaling afmetingen toog/landhoofd [D] en [H]



Bepaling fundatieniveau [J]

Het bepalen van het funderingsniveau van de landhoofden. Per landhoofd(zijde) zijn twee verticale boringen met een minimale diameter van 50 mm (praktisch Ø70 mm) benodigd om het funderingsniveau (voor die zijde) te bepalen (zie bovenstaande Figuur 8-3). Indien het verschil in funderingsniveau tussen beide boringen minder is dan 0,25 m, dan is dat afdoende nauwkeurig. Indien het verschil tussen beide meer dan 0,25 m bedraagt, dan dient een derde verticale boring aan die zijde te worden uitgevoerd. Het resultaat van die boring moet dan binnen 0,25 m van één van de andere twee liggen. Zo niet, dan overleggen met de constructeur of een vierde boring noodzakelijk is.

Hieronder het stappenplan voor het verticaal boren:

- Eenmaal verticaal boren bij elk landhoofd. Indien het funderingsniveau van beide boringen minder dan 0,25 m verschilt, dan gereed (twee boringen bij Ø70 mm vanaf bovenkant metselwerk toog).
- Indien het funderingsniveau minder dan 0,50 m verschilt én het funderingsniveau van beide verticale boringen minimaal NAP (of lager dan NAP) is dan gereed.
- Aan elke zijde één extra verticale boring toevoegen (beginnend aan de zijde waar het funderingsniveau uit de eerste boring het hoogst is). Indien het funderingsniveau tussen beide verticale boringen aan dezelfde landhoofdzijde minder dan 0,25 m verschilt dan gereed.
- Aan de landhoofdzijde waar het verschil groter is dan 0,25 m tussen beide boringen een extra verticale boring uitvoeren. Indien het verschil tussen boring 1 en 3 of het verschil tussen boring 2 en 3 minder dan 0,25 m dan gereed.
- De maatvoering (diepte grensovergang) van iedere geboorde kern evenals het materiaal uit de boring zal worden omschreven.
- Het niveau van de draagkrachtige laag kan bepaald worden uit een sondering (indien beschikbaar). Anders kan deze ingeschat worden op basis van algemene grondopbouw en locatie van de brug.
- Bevindingen tijdens onderzoek ter plaatse overleggen met de constructeur.

Lintvoegmetingen

Het uitvoeren van lintvoegwaterpassingen om mogelijke scheefstanden/verzakkingen van de boogconstructie in kaart te brengen. Op ten minste vier locaties: aan weerskanten van de overspanning; nét boven de waterlijn en één meter daarboven. Hiermee kan inzicht worden verkregen of tijdens de bouw destijds eventuele correcties in het opmeten van de boog zijn doorgevoerd.

Bepaling bodemprofiel en waterstanden [L], [N] en [O]

Het bepalen van het bodemprofiel geschiedt met een slibbaak en wordt vastgelegd in raaien. Op een onderlinge afstand van 2 meter wordt daarbij de (indicatieve) waterdiepte en dikte van de eventuele sliblaag onder de brugconstructie opgemeten (in lengterichting van de doorvaart). Ook het onderwatertalud is relevant, dus elke 2 meter wordt het onderwatertalud ingemeten (ten opzichte van NAP), tenzij er een betonnen strook aanwezig is die is opgesloten met houten damwanden.

Als een dikke sliblaag aanwezig is, is het goed om de samenstelling van deze sliblaag te weten. Hiertoe dient een waterbodemonderzoek te worden uitgevoerd.

In combinatie met de bepaling van het bodemprofiel dienen eveneens de waterstanden te vastgesteld c.q. te worden opgezocht. Het gaat hierbij om de grondwaterstand (zomer/winterpeil) en het oppervlaktewater (zomer/winterpeil).

8.2 Materiaal

Het bepalen van materiaaleigenschappen van metselwerk middels kernen en relevante schadebeelden.

Monstername en analyse

- Monsters nemen om het volgende vast te stellen: Algemene opbouw van het metselwerk (generiek) en onderliggende samenhang tussen verschillende toogconstructie (in geval meerdere bogen):
 - a) Het boren en uitnemen van vier metselwerkkernen $\varnothing 75$ mm (lengte in situ te bepalen) uit eenzelfde toog/bouwperiode, voor het beoordelen van de opbouw en samenhang; per zijde van de toog worden twee kernen uitgenomen:
 - Een visuele beoordeling van de kernen op samenhang, opbouw, type mortel, ingesloten holttes en relevante schadebeelden.
 - Het boorgat wordt ook visueel onderzocht (met een endoscoop) om ook hier te kijken naar de opbouw van het metselwerk en eventuele gebreken. Een boorkern kan bij het uitnemen breken; een scheur (breukvlak) hoeft niet per definitie door te lopen in het achterblijvende metselwerk.
 - b) Het boren en uitnemen van drie metselwerk kernen $\varnothing 100$ mm uit eenzelfde toog/bouwperiode (lengte in situ te bepalen) uit origineel metselwerk om te onderzoeken in het laboratorium op:
 - Karakteriseren mortel (mortelsamenstelling, korrelverdeling).
 - Karakteriseren steen (type, hardheid, wateropname).
 - Afschuifproef of drukproef cilinder (indicatief).
- Diepte holklinkende delen metselwerk
Op minimaal twee locaties waar het metselwerk hol klinkt, worden circa vijf metselstenen voorzichtig weggenomen tot halfsteens of steens diepte waarna visueel beoordeeld wordt wat het verband is tussen de lagen.
- Diepte reparaties
Op een door constructeur te bepalen aantal reparatieplekken worden metselwerk kernen met een diameter van 50 mm uitgenomen om de diepte van de reparatieplekken te bepalen. De kernen worden visueel beoordeeld op type metselsteen en toegepaste metsel- en voegmortel waaruit de diepte van de reparatie kan worden bepaald.
- Diepte en eventueel verloop van eventuele scheuren
Op scheuren in het metselwerk worden metselwerk kernen met een diameter van 50 mm geboord, om het scheurverloop in de constructie te bepalen. De boordiepte van de kern is afhankelijk van de geometrie en de positie van de te onderzoeken scheur.
- Trekankers
Een veelvoorkomend constructiedeel van gemetselde boogbruggen zijn trekankers. Trekankers zorgen ervoor dat de frontwanden ten gevolge van spatkrachten niet bezwijken. Dit ankertype ligt veelal op of in de bovenste gemetselde laag van de boogconstructie. Als voor de brugconstructie trekankers gebruikt zijn, dan zijn ze hoogstwaarschijnlijk aan de frontwanden zichtbaar. Een stalen ankerplaat is dan zichtbaar. Daaruit is ook de positie van het anker te herleiden.
 - a) Onderzoek naar de ligging en de onderhoudsstaat van de trekankers, door middel van vrij graven en opzoeken van het trekanker. Bij het vrij graven van de doorsnede van de boog (zie punt Bepaling verloop toog – bovenzijde) kunnen eveneens de trekankers voorzichtig worden vrij gegraven.

Bodemonderzoek [A]

Het uitvoeren van een bodemonderzoek bij de brugconstructie en heeft als doel de geotechnische eigenschappen van het grondpakket op en achter de gemetselde boogconstructie in kaart te brengen. Gedacht kan worden aan het volgende (per situatie kan dit heel anders zijn, indien scherp gerekend moet worden is er meer informatie nodig):

- a) Voorbereiding:
 - o Het uitvoeren en interpreteren van een KLIC-melding.
 - o Verzorgen ontheffing milieuzone.
 - o Het uitzetten van de boor- en sondeerpunten t.o.v. een vast en reproduceerbaar referentiepunt.
- b) Het uitvoeren van vier mechanische grondboringen: aan beide zijden direct achter de brug en op $\frac{1}{4}$ en $\frac{3}{4}$ van de overspanning, tot een maximale diepte van vijf meter onder maaiveld (bij voorkeur tot onder funderingsniveau). De aanwezigheid van puin in de grond kan verstrend werken en is een risico.
 - o Het steken van ongeveer 10 ongeroerde steekmonsters (1 per meter en per bodemlaag).
 - o Classificatie van de bodemlagen.
 - o Bepaling van het nat en droog volumegewicht en het watergehalte.
 - o Bepaling van sterkte- en stijfheidseigenschappen.
- c) Het uitvoeren van vier sonderingen: Per zijde één sondering binnen 5 m achter landhoofd en één sondering op 10-15 m afstand. Diepte tot 25 m minus maaiveld.
 - o Alle sonderingen worden met de plaatselijke wrijvingsweerstand en het wrijvingsgetal gepresenteerd en met waterspanning.
- d) Het waterpassen t.o.v. NAP.

N.B. Voor een eerste indicatie kunnen de boringen vervallen en zouden de sonderingen kunnen volstaan. Indien de bodemopbouw vanuit het archief bekend is, zou grondonderzoek achterwege kunnen worden gelaten en conservatief meegenomen kunnen worden in de berekening. Bij eventuele optimalisatie kan het alsnog worden uitgevoerd.

9

VERIFICATIEBEREKENING

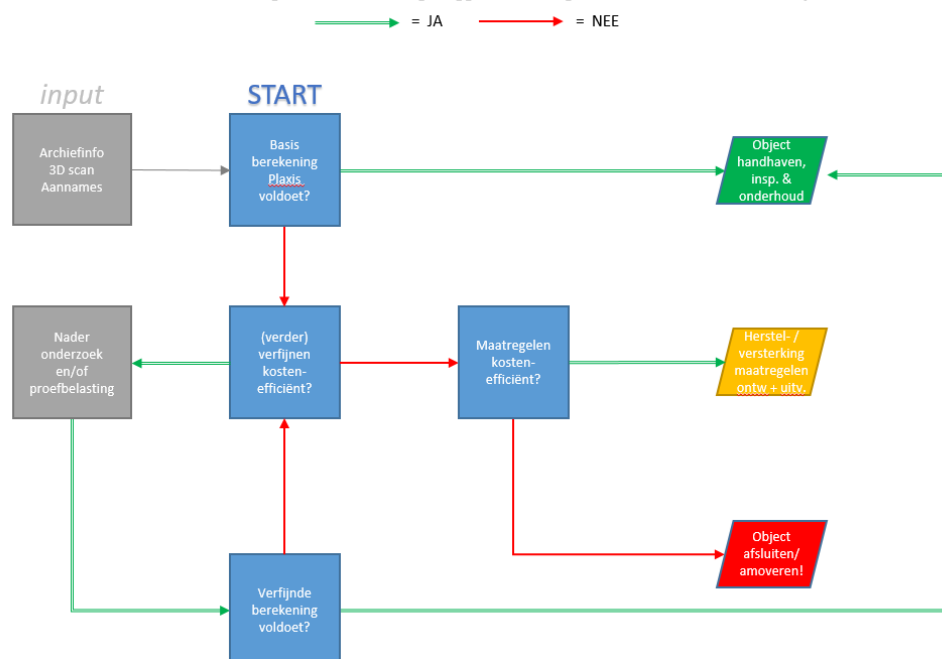
9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de berekeningswijze ten behoeve van het bepalen van de constructieve veiligheid van gemetselde boogbrugconstructie met behulp van eindige elementenprogramma's. Uit de voorafgaande studie (deelopdracht 02 - KW1116 Welfbrug Nieuwstraat - Onderzoek Constructieve veiligheid - Fase 2: Vooronderzoek Validatie VK proeven, ref: 115505/20-009.589, d.d. 19 juni 2020) is gebleken dat het gedrag van een gemetselde boogconstructie goed kan worden gemodelleerd met eindige elementenprogramma's, waarin zowel grond als constructie beschreven kunnen worden als een continuüm. De aanpak zoals gepresenteerd in dit rapport is met name toegespitst op gebruik van het programma Plaxis. Een aanpak met het programma DIANA FEA is toegelicht in Bijlage III. Andere gangbare constructieve programma's als SCIA Engineer en het speciaal voor gemetselde boogconstructies geschreven programma LimitState Ring zijn voor boogbruggen, zijdelings gesteund door grond, minder geschikt. Voor de berekening zijn de eigenschappen van de brug noodzakelijk (vorm, dikte en sterkte- en stijfheidseigenschappen), maar ook de funderingswijze en -dimensies. Tevens dient de grondopbouw met sterkte- en stijfheidseigenschappen te worden ingevoerd, evenals de waterspanningen en de (verkeers)belasting waarop de brug getoetst moet worden. Uit de toetsing volgt of de brug de belasting kan dragen, hoe de brug vervormt ten gevolge van de belasting en welke spanningen in de brug optreden. Het gedrag van de brug blijkt met name afhankelijk van de funderingswijze en de funderingsdiepte.

Aangezien het achterhalen van alle benodigde gegevens tijd en geld kost, kan het voordelig zijn om in eerste instantie een berekening te maken op basis van conservatieve aannames. Indien de brug hierbij niet blijkt te voldoen, kan op basis van nader onderzoek een verfijnde berekening worden gemaakt.

Figuur 9-1 Stroomschema verificatieberekening

Stroomschema berekening metselwerk boogbruggen 's-Hertogenbosch, versie v0a, d.d. 25 juni 2020



Bij de berekening wordt uitgegaan van een spreiding van de verkeersbelasting door grond tot een oppervlak van ca. 3 m breed en 2,2 m lang voor de 2 aslasten van loadmodel 1. Vanwege de locatie en beperkte overspanning is de bijdrage van een tweede laststelsel veelal niet mogelijk. Zowel de getalswaarden voor het decentrale model als van het Eurocode model worden doorgerekend. Hierbij geldt dat hoe dichterbij de brug komt, hoe langer de berekening duurt, waarbij mogelijk geen (positief) antwoord gevonden wordt.

In lengterichting (rijrichting) worden meerdere posities van het laststelsel beschouwd om zo de maatgevende positie te bepalen. In de berekening wordt 1 strekkende meter aangehouden. Zolang de toog breder is dan de spreidingsbreedte in dwarsrichting is de berekening dus conservatief (en geldig). Als het mogelijk is dat het laststelsel op de rand van de toog (vleugelmuur) zou kunnen staan dan dient hier wat betreft spannings spreiding rekening mee te worden gehouden. Kortom er wordt een plakje van 1m breed uitgenomen. Wanneer 3D-effecten meegenomen moeten worden, zoals de invloed van frontwanden of de werkelijke spannings spreiding, dient te worden overgestapt naar een 3D-Plaxismodel.

Het niet-lineaire gedrag wordt in de Plaxisberekening meegenomen door de belasting stapsgewijs op te voeren. Afhankelijk van welke stappen doorgerekend kunnen worden (zonder bezwijken/grote vervormingen) volgt de rekenkundig toelaatbare belasting.

Dit kan volgens de drie methoden uit de FIB Modelcode worden bekeken, zie verder par. 9.2:

- Hierbij is methode GRF (Global Resistance Factor) te vergelijken met de in het verleden gebruikte overall veiligheidsfactor. Men rekent dan zowel aan de sterktekant met karakteristieke (5% onderschrijding) waarden en aan de belastingkant ook met karakteristieke waarden (volgens de norm). Tussen sterkte en capaciteit moet dan een overall veiligheidsfactor zitten.
- De 2e methode, PF (Partial Factor method), is conform tegenwoordig in Eurocode gebruikelijk is, maar ook in de Nederlandse norm gebruikelijk was. Men rekent dan met partiële factoren op sterkte (karakteristiek/materiaalfactor) en belasting (karakteristiek * belastingfactor).
- De derde methode ECOV (Estimation of Coefficient Of Variation of Resistance Method) is wat meer probabilistisch. Men gaat zowel een keer van karakteristieke als gemiddelde waarden van de sterkte uit. Uit de verschillen haal je de standaardafwijking in de resultaten. Vervolgens bepaalt men daaruit de rekenwaarde voor de sterkte. Aan de belastingkant reken je weer gewoon met een belastingfactor. Deze methode wordt vanwege de lange rekentijd alleen in uitzonderingssituaties toegepast.

Maatgevend is de belasting waarbij door het ontstaan van meerdere plastische scharnieren in de boogconstructie doorgaand bezwijken kan plaatsvinden. De plastische scharnieren ontstaan wanneer het buigend moment gelijk is aan de capaciteit van het metselwerk.

Indien een proefbelasting uitgevoerd wordt, kan een predictie en een postdictie van de proef uitgevoerd worden met een model met gemiddelde waarden voor de sterkte, waarbij ook de treksterkte van het metselwerk in rekening gebracht wordt.

Indien uit de berekening afdoende veiligheid volgt, wordt ook een bruikbaarheidsgrenstoestandberekening uitgevoerd met gemiddelde waarden voor sterkte en ook een treksterkte. Uiteindelijk wordt dan bekeken bij welke belasting de gemiddelde treksterkte van het metselwerk overschreden wordt. Dat geeft een indicatie van de kans op en locatie van scheurvorming in de praktijk.

9.2 Veiligheidsfilosofie

Voor bestaande constructies dienen de Eurocode en de NEN 8700-serie te worden toegepast. Daarnaast kan gebruik gemaakt worden van de RBK versie 1.1 (Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken van Rijkswaterstaat) of CUR-aanbeveling 124:2019 (Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden).

Op basis hiervan kan een minimale betrouwbaarheid van een bestaande brug vastgesteld worden. Om aan deze betrouwbaarheid te voldoen, is de gangbare werkwijze een lineair elastisch eindige elementenmodel van de brug te maken. Op dit model worden representatieve belastingen vermenigvuldigd met een partiële belastingfactor gezet, terwijl de sterkte wordt bepaald met karakteristieke waarden gedeeld door een partiële materiaalfactor. De grootte van de waarden hangt af van de benodigde minimale betrouwbaarheid en de referentieperiode (restlevensduur).

Het gedrag van metselwerk boogbruggen is door scheurvorming in het metselwerk en de grond-constructie-interactie echter grotendeels niet-lineair elastisch.

Hierdoor kunnen het constructieve gedrag en de constructieve veiligheid van metselwerk boogbruggen betrouwbaar worden bepaald met een niet-lineair eindige elementenprogramma, bijvoorbeeld Plaxis. In lijn met de NLFEA [Rijkswaterstaat Technical Document, Guidelines for Nonlinear Finite Element Analysis of Concrete Structures, RTD 1016-1:2016, version 2.0, Final, 24 June 2016] is onderstaande veiligheidsfilosofie voor de verificatie van metselwerk boogbruggen opgesteld.

Grenstoestanden

Omdat het een bestaande constructie betreft, behoeft vanuit de bouwregelgeving (publiekrechtelijk) alleen naar uiterste grenstoestanden (UGT) gekeken te worden. Met andere woorden naar het uiterste draagvermogen, *nét* voordat de constructie bezwijkt. Echter de wens is, dat metselwerk boogbruggen duurzaam veilig zijn en geen (grote) tekenen van degradatie zoals scheurvorming en vervormingen vertonen. Om hieraan te voldoen, zullen ook bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) beschouwd worden.

Voor de uiterste grenstoestand wordt ervan uitgegaan, dat het metselwerk geen trek op kan nemen. Omdat een absolute waarde van 0 veelal tot instabiliteit in de niet-lineaire berekeningen zorgt, mag in de berekeningen een zeer lage plastische waarde ($5 \text{ kPa} = 0,005 \text{ MPa}$) voor de treksterkte worden ingevoerd, uitgaande van het MC-model. Indien met het Concrete-model wordt gewerkt, dient de scheurenergie correct te worden meegenomen om de werkelijke (rekenwaarde) van de treksterkte in rekening te mogen brengen. Zie verder par. 9.3.5.

De BGT wordt berekend met karakteristieke waarden van de verschillende grootheden. In de BGT worden de vervormingen en de scheurvorming gecontroleerd. In de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt *wél* rekening gehouden met de treksterkte van het metselwerk. Het overschrijden van de treksterkte duidt in dat geval op (mogelijke) scheurvorming.

In de UGT moet de sterkte van de constructie worden gecontroleerd. In de NLFEA (gebaseerd op FIB-modelcode 2010) worden hiervoor drie verschillende methoden toegepast:

1. Global Resistance Factor-methode (GRF);
2. Partial Factor method (PF);
3. Estimate of Coefficient Of Variation of resistance method (ECOV).

Via alle drie de methoden kan afdoende veiligheid worden aangetoond, zodat in principe de meest gunstige methode mag worden toegepast voor de verificatie van de constructie. Bij de ECOV-methode moeten per belastingpositie twee berekeningen tot bezwijken worden doorgerekend. Dit vergt een veel grotere inspanning dan de andere methoden, geeft een grotere kans op numerieke problemen en vergt een deskundige interpretatie van de gevonden bezwijkmechanismen. Daarom wordt geadviseerd om altijd eerst op basis van de GRF- en de PF-methode te toetsen. Indien op basis van beide methoden een tekort aan veiligheid wordt berekend, kan mogelijk op basis van de ECOV-methode worden geoptimaliseerd. Omdat er voor gemetselde boogbruggen nog geen ervaring is opgedaan met welke methode het meest voordelig is, is het raadzaam om eerst zowel de GRF- als de PF-methoden uit te werken en zal in het begin moeten worden meegewogen welke beschouwing het meeste vertrouwen geeft. Mogelijk kan na het berekenen van meerdere gemetselde boogconstructies worden gesteld, dat bepaalde beschouwingen altijd maatgevend zijn en er dus bepaalde beschouwingen niet meer hoeven te worden uitgevoerd.

GRF

Volgens deze methode, die ook in de Eurocode 2 is opgenomen, is de globale weerstand van de constructie een willekeurige variabele. De effecten van verschillende onzekerheden zijn geïntegreerd in een globale ontwerpweerstand en kunnen dan worden uitgedrukt in een globale veiligheidsfactor. Het is dus vergelijkbaar met een berekening met karakteristieke waarden waarop een overall veiligheidsfactor wordt toegepast door de belasting te verhogen, zoals voorheen gebruikelijk was.

PF

Volgens deze methode zijn de basisvariabelen deterministische grootheden. Bij PF wordt daarom onderscheid gemaakt tussen de onzekerheden en de variabiliteit, afkomstig van de verschillende grootheden, door middel van toegekende ontwerpwaarden per grootte. Bij deze methode worden dus partiële factoren toegepast, aan zowel de sterktekant als de belastingkant, conform de huidige Nederlands normen.

ECOV

De willekeurige verdeling van de weerstand van gewapend beton (en metselwerk) kan worden beschreven door een lognormale verdeling met twee parameters: de gemiddelde weerstand en de variatiecoëfficiënt VR. Bij deze methode wordt de constructie getoetst op basis van een tweetal berekeningen: met het berekende gemiddelde en met de karakteristieke waarden van de weerstand. Dit is een probabilistische benadering op basis van de karakteristieke en gemiddelde waarden van de sterkte van het metselwerk.

9.3 Rekenmethodiek metselwerk bruggen

9.3.1 2D/3D-berekeningen

Het staat de constructeur vrij om een 2D-berekening te maken, waarin enkel de boog wordt meegenomen, of een 3D-berekening te maken, waarin ook frontwanden en andere elementen worden meegenomen. Naast dat een 3D-berekening een grotere ontwerpspanning vraagt, is hier ook meer informatie over de constructie voor nodig. In de praktijk zal het over het algemeen raadzaam zijn om eerst een 2D-berekening uit te voeren. Indien de constructie op basis hiervan niet blijkt te voldoen, kan mogelijk verder worden geoptimaliseerd met een 3D-berekening door de draagkracht van frontwanden of andere elementen mee te nemen in het model. In onderstaande is de rekenmethodiek voor een 2D-berekening uitgewerkt. De systematiek van een 3D-berekening is vergelijkbaar.

Plane strain vs. Plane stress

In de continuümmechanica is het mechanisch gedrag van materialen gemodelleerd als een continue massa en dus niet als discrete deeltjes. Plane strain is een spanningsconditie in de lineaire elastische breukmechanica waarin geen rek is aangenomen in de normaal richting (richting oneindige as) van de trekspanning en de scheurgroei. In dikke platen en oneindig lange doorsnede is dit spanningstoestand het geval.

Een materiaal is in 'Plane stress' als de spanningsvector nul is in een bepaald vlak. Dit is vaak het geval voor dunne platen (of in een schijf) waar de spanningsanalyse is gesimplificeerd zodat de spanningstoestand representatief is aan een 2-dimensionale tensor.

Metselwerk boogconstructies hebben vaak een minimale verhouding in overspanning en breedte van 1 op 2. Daarbij zijn metselwerk boogconstructies opgesloten tussen borstwering en frontmuren, vaak met stalen trekankers dwars op het vlak van deze wanden en bij benadering oneindig doorgaande grondlichamen achter de landhoofden. Door deze geometrische kenmerken is het valide om een metselwerk boogconstructie als Plane strain te modelleren met een 2D-berekening.

9.3.2 UGT

UGT-GRF

De GRF wordt berekend met karakteristieke waarden voor zowel metselwerk als grond. De variabele belasting wordt met een gecombineerde belastingfactor vanuit de belastingfactor op de variabele belasting en de materiaalfactor van metselwerk ($\gamma_Q \cdot \gamma_M$) verhoogd. Hierin is $\gamma_Q = 1,2$ conform CC2 verbouwniveau. Voor een beoordeling volgens het gebruiksniveau CC2 conform NEN 8700 Ontw. 2018 bedraagt $\gamma_Q = 1,1$.

De partiële factor voor de materiaalsterkte $\gamma_M = 2,2$ (conform NEN-EN 1996-1-1) bestaat uit het product van een modelfactor $\gamma_{Rd} = 1,42$ gebaseerd op een variatiecoëfficiënt van 25% voor metselwerk en een sterktefactor van $\gamma_m = 1,55$. Voor CC2 gebruiksniveau onder het decentrale model resulteert dus een gecombineerde belastingfactor van $1,1 \cdot 1,42 \cdot 1,55 = 2,42$, voor verbouw 2,641.

De GRF wordt berekend met karakteristieke waarden voor het metselwerk en de grond (grond als variabele belasting), maar met een gecombineerde belastingfactor over de variabele belasting:

- karakteristieke waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van de treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm²) heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat;
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;
- karakteristieke waarde van de cohesie van de grond;
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (karakteristieke waarde maal gecombineerde belastingfactor: CC2 gebruik: 2,421 / CC2 verbouw: 2,64).

Als alternatief kan de veiligheid ook worden verdeeld over de variabele belasting en de sterkte van grond. Bij bovenstaande benadering wordt indirect door de hoge materiaalfactor van het metselwerk dus met een te hoge veiligheid op grond gerekend. Voor beton en betonstaal geldt hetzelfde, waardoor in de NLFEA (en FIB modelcode) de karakteristieke waarde van de sterkte voor één van de materialen is aangepast. Eventueel kan worden besloten om de partiële factor van de grond als factor in de globale veiligheidsfactor te gebruiken en de karakteristieke sterkte van het metselwerk te verlagen, verder GRF-2 genoemd. Indien de partiële materiaalfactor van 1,2 (op basis van hoek van inwendige wrijving van de grond) wordt gebruikt (i.p.v. 2,2) wordt de globale veiligheidsfactor (over de variabele belasting) dus 1,32 voor CC2 gebruik en 1,44 voor CC2 verbouw. De karakteristieke sterkte van het metselwerk moet dan vermenigvuldigd worden met een factor $1,2/2,2 = 0,545$ (overeenkomstig moet de karakteristieke waarde voor de cohesie van de grond verlaagd worden met een factor $1,2/1,5 = 0,8$).

De GRF-2 wordt dus berekend met verlaagde karakteristieke waarden voor het metselwerk, maar met een lagere gecombineerde belastingfactor over de variabele belasting:

- $0,545 \cdot$ karakteristieke waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van de treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm²) heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat;
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;
- $0,8 \cdot$ karakteristieke waarde van de cohesie van de grond (volgt uit de verhouding van de partiele factoren 1.5/1.2);
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (karakteristieke waarde maal gecombineerde belastingfactor: CC2 gebruik: 1,32 / CC2 verbouw: 1,44).

Wanneer de berekening volledig kan doorrekenen, zonder dat 4 plastische scharnieren ontstaan of grote vervormingen van enkele centimeters in het metselwerk ontstaan, kan worden geconcludeerd dat de constructie voldoet.

UGT-PF

De PF wordt berekend met rekenwaarden voor zowel metselwerk, grond als variabele belasting. Hierbij is $\gamma_Q=1,2$ conform CC2 verbouwniveau. Voor een beoordeling volgens het gebruiksniveau CC2 conform NEN 8700 Ontw. 2018 bedraagt $\gamma_Q=1,1$.

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt, dat de bezwijkbelasting met name beïnvloed wordt door het volumieke massa van de grond en de sterkteparameters. Hiervoor worden rekenparameters aangehouden op basis van de NEN 9997 Tabel A.4a kolom Keerwand. Voor de overige parameters worden karakteristieke waarden toegepast.

De PF ziet er als volgt uit:

- rekenwaarde van de druksterkte van het metselwerk (karakteristiek/2,2);
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot, dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm²) heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat;
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- rekenwaarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond door de lage karakteristieke waarde van het laaggemiddelde te delen door een partiële factor van 1,2 conform Tabel A.4a NEN9997-1+C2-Keermuur;
- lage karakteristieke waarde van het laaggemiddelde van de cohesie van de grond met een partiële factor van 1,5 conform Tabel A.4a NEN9997-1+C2-Keermuur;
- rekenwaarde van het volumieke massa van de grond door de gemiddelde waarde te delen door een partiële factor van 1,1 conform Tabel A.4a NEN9997-1+C2-Keermuur (Geldt met name naast de brug. Een reductie van het grondgewicht op de brug mag geen gunstige invloed hebben op het resultaat, wat bij een grote gronddekking (meer dan een meter) in de beschouwing moet worden meegenomen);
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond;
- rekenwaarde van de variabele belasting (Karakteristieke waarde maal belastingfactor (CC2 gebruik: 1,1/CC2 verbouw: 1,2).

Wanneer de berekening volledig kan doorrekenen, zonder dat 4 plastische scharnieren ontstaan of grote vervormingen van enkele centimeter in het metselwerk ontstaan, kan worden geconcludeerd dat de constructie voldoet.

UGT-ECOV (alleen in uitzonderingssituatie toepassen)

Estimation of Coefficient Of Variation of Resistance Method (ECOV)

In dit geval worden 2 niet-lineaire bezwijksommen uitgevoerd. De eerste som met een gemiddelde waarde van de druksterkte van het metselwerk en de andere met karakteristieke waarden van de druksterkte van het metselwerk. Verder worden karakteristieke waarden aangehouden voor de grond. De variabele belasting wordt opgevoerd tot bezwijken van de constructie.

De eerste som met gemiddelde waarden, die resulteert in P_{um} , is dus met:

- gemiddelde waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- verwaarloosbaar kleine treksterkte van het metselwerk om wegvallen van treksterkte na ontstaan van scheuren mee te nemen in het model, maar nog wel zó groot dat geen numerieke instabiliteit ontstaat waardoor het model niet meer doorrekent. Een waarde van maximaal 5 kPa (0,005 N/mm²) heeft een verwaarloosbare invloed op het resultaat;
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;
- karakteristieke waarde van de cohesie van de grond;

- gemiddelde waarde van het volumieke massa van de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond.
- de variabele belasting wordt opgehoogd tot bezwijken van de constructie plaatsvindt (ontstaan van 4 plastische scharnieren). De bezwijkbelasting geeft de P_{um} (Bezwijkbelasting op basis gemiddelde sterkte metselwerk).

De tweede som die resulteert in de P_{uk} (Bezwijkbelasting op basis karakteristieke sterkte metselwerk) is gelijk aan de eerste som, behalve dan dat voor de druksterkte van het metselwerk de karakteristieke waarde wordt aangehouden.

Op basis van beide berekeningen wordt de variatiecoëfficiënt bepaald tussen beide bezwijkbelastingen $V_R = 1/1,65 \cdot \ln(P_{um}/P_{uk})$. Daarmee wordt vervolgens de 'materiaalfactor' $\gamma_R = e^{(0,8+3,8 \cdot V_R)}$ bepaald. Door de P_{um} te delen door deze materiaalfactor en een modelfactor voor metselwerk van 1,42 wordt de 'bezwijkbelasting' verkregen. Als deze bezwijkbelasting hoger is dan de rekenwaarde van de variabele belasting (Karakteristieke waarde maal belastingfactor (CC2 gebruik: 1,1/CC2 verbouw: 1,2), dan mag worden geconcludeerd dat de constructie voldoet.

9.3.3 BGT

De bruikbaarheidsgrenstoestand wordt berekend zonder belastingfactoren:

- gemiddelde waarde van de druksterkte van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van de treksterkte van het metselwerk;
- gemiddelde waarde van het volumieke massa van metselwerk;
- gemiddelde waarde van de korteduurstijfheid van het metselwerk;
- karakteristieke waarde van de hoek van inwendige wrijving van de grond;
- karakteristieke waarde van de cohesie van de grond;
- gemiddelde waarde van het volumieke massaan de grond;
- karakteristieke waarde van de stijfheid van de grond.
- karakteristieke waarde van de variabele belasting. Eventueel kan hiervoor de frequente waarde van de variabele belasting (dus met een factor $0,8 \cdot$ karakteristiek) gerekend worden.

De BGT-berekening is nog steeds een conservatieve benadering van de werkelijkheid, omdat voor de grondparameters met de karakteristieke waarden (in plaats van gemiddelden) wordt gerekend. De werkelijke vervormingen zullen dus naar verwachting kleiner zijn dan volgens de BGT-berekening.

Indien bij deze toets de gemiddelde druksterkte en/of de gemiddelde treksterkte wordt overschreden, dan duidt dat op (mogelijke) scheurvorming. Specifiek die locaties behoeven extra aandacht bij inspectie om te controleren of deze in werkelijkheid ook optreedt. Als ook de scheurvorming daadwerkelijk optreedt, dient deze gemonitord te worden (of deze toeneemt) en moet overwogen worden om de (verkeers-)belasting te verlagen.

Veelal zullen de vervormingen van de boogconstructie ruim binnen de algemene grenzen ($L/300$) vallen en niet maatgevend zijn. Relatief grote vervormingen geven ook aanleiding om de constructie middels inspectie te controleren.

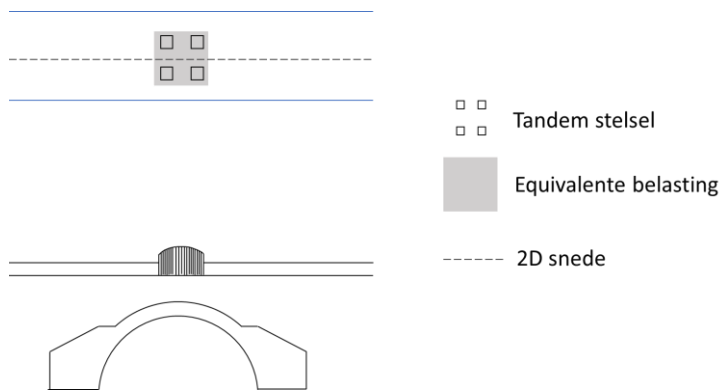
9.3.4 Variabele belasting

De variabele belasting op de brug betreft de verkeersbelasting. Voor de verkeersbelasting wordt zowel de normbelasting (NEN-EN 1991-2 met aanvullingen van NEN 8701) als het decentrale lastmodel aangehouden. Voor CC2 verbouw met 30 jaar referentieperiode/trend en een aantal zware voertuigen van 50.000 per jaar gelden dan de volgende belastingen:

Tabel 9-1 Belastingen

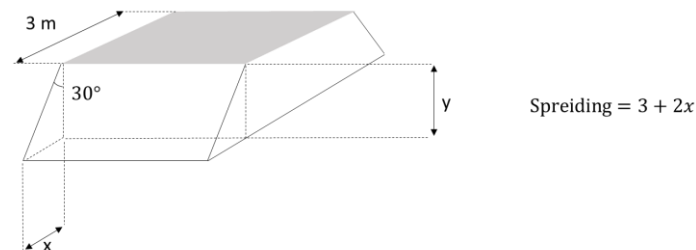
	Norm		Decentraal	
	Q _{k1}	q _{k1}	Q _{k1}	q _{k1}
Basiswaarde	300	9,0	300	9
Alfa q (N _{obs} = 50.000)	0,95	0,95	0,80 * 0,98	1,35 * 0,98
Referentieperiode reductie (T = 30 jaar)	0,99	0,99		
Trendreductie (tot 2050)	0,99	0,99		
Referentieperiode & Trendreductie	0,98	0,98	0,95	0,95
Karakteristieke waarde	279	8,38	223	11,3

In Tabel 9-1 is de belastingspreiding over de breedte nog niet verwerkt. Volgens NEN-EN 1991-2-C1 mag het tandemstelsel (bestaande uit twee aslasten h.o.h. 1,2 m) worden vervangen door een equivalente, gelijkmatig verdeelde belasting q_{eq} die wordt verdeeld over een rechthoekig vlak met breedte van 3 m en lengte van 2,2 m (Figuur 9-2).



Figuur 9-2 Equivalente, gelijkmatige verdeelde belasting

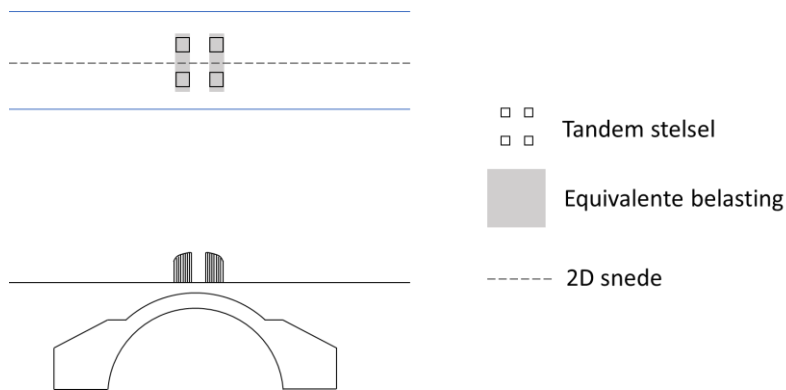
Om praktische redenen kan deze worden aangebracht op onderkant verharding=bovenkant grond (onderkant klinkerverharding). De rest van de spreiding in langsrichting volgt uit het eindige elementenmodel. In de breedterichting wordt op de brug belastingspreiding verondersteld onder een hoek van 30 graden over de hoogte van het grondpakket tot de as van de metselwerkboog met als maximum de brugbreedte. De spanningspreiding wordt dus richting landhoofden groter dan ter plaatse van het midden van de boog (Figuur 9-2). Naast de brug kan belastingspreiding onder 45 graden tot de afstand van het landhoofd worden toegepast (Figuur 9-3), zoals gebruikelijk is voor bijvoorbeeld damwandberekeningen, met als maximum de brugbreedte.



Figuur 9-3 Toename spanningsbreedte (uit het vlak) als functie van de gronddekking

Bij het bepalen van de spreiding moet rekening gehouden worden met beperkingen van de spreiding, bijvoorbeeld de rand van de brug of de aanwezigheid van een langsvoeg. Indien de brug ruimte biedt aan meer dan één theoretische rijstrook (wegbreedte $\geq 5,4$ m) dan geldt de zijkant van rijstrook ook als begrenzing van de spreiding. De verkeersbelasting kan op elke willekeurige positie op de brug of naast de landhoofden staan.

N.B. In werkelijkheid zijn de aslasten (veel) lager en de asafstanden (veel) groter. Het rekenmodel staat toe om uit te gaan van deze gelijkmatig verdeelde belasting door grond. Alleen indien in werkelijkheid de gronddekking kleiner is dan 30 cm, is het model niet conservatief en zou met separate aslasten gerekend moeten worden (**Error! Reference source not found.**) op bovenkant verharding. In een 2D-berekening kan de eerder geschetste aanpak voor de belastingspreiding uit het vlak worden gevolgd. Bij kleine gronddekkingen kunnen lokale bezwijkmechanisme maatgevend worden, zoals pons. Dit is onder andere afhankelijk van de boogdikte en metselwerkverband. De onzekerheid in de rekenresultaten is groot bij dit bezwijkmechanisme.



Figuur 9-4 Rekenen met separate aslasten

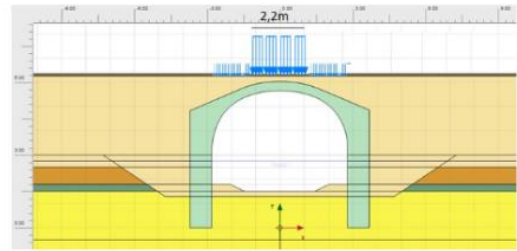
Voor de oppervlakte van $3 * 2,2\text{m}^2$ geldt voor de norm dus $2 * 279 \text{ kN}/(3 * 2,2)=84,6 \text{ kN/m}^2$. Samen met de UDL van $8,38 \text{ kN/m}^2$ geeft dit $93,0 \text{ kN/m}^2$.

Voor het decentrale model geldt dan dus $2 * 223 \text{ kN}/(3 * 2,2)=67,7 \text{ kN/m}^2$. Samen met de UDL van $11,3 \text{ kN/m}^2$ geeft dit $79,0 \text{ kN/m}^2$ (factor 0,85).

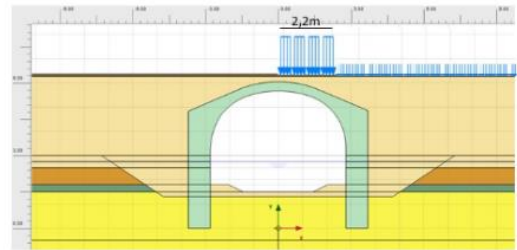
Volgens de NLFEA moet de belasting per positie in stapjes worden aangebracht. Om zowel de normbelasting als het decentrale lastmodel in een berekening mee te nemen, wordt voorgesteld om altijd de basiswaarde van het decentrale model aan te houden. Dus voor de aslasten een karakteristieke waarde van de gespreide belasting van $79,0 \text{ kN/m}^2$ over een oppervlak van 3 m in breedterichting en 2,2 m in lengterichting (op onderkant verhardingsniveau=onderkant klinkerverharding=bovenkant grond). Op de ongunstige delen in lengterichting nog een gelijkmatige belasting van $11,3 \text{ kN/m}^2$. De normbelasting is dan circa een factor 1/0,85 hoger. Voor het Eurocode(norm)model kan dus een belasting met een factor (1,177) hoger worden aangehouden.

Voor vier posities van de belasting in lengterichting op de brug wordt de berekening uitgevoerd.

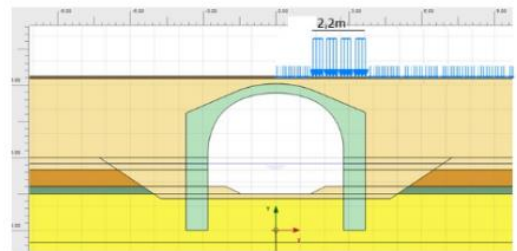
Positie I: Geconcentreerde belasting ($Q_{ki}=q_{eq}=67,7 \text{ kN/m}^2$) in het midden van de brug en UDL ($11,3 \text{ kN/m}^2$) over de hele bruglengte (tot voorzijde=dagmaat landhoofden)



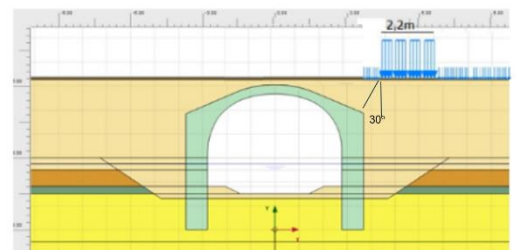
Positie II: Geconcentreerde belasting ($Q_{ki}=q_{eg}$) tussen midden brug en 2,2 m vanuit midden brug. UDL over dezelfde halve brug lengte inclusief UDL op en achter landhoofden.



Positie III: Geconcentreerde belasting op landhoofd. Beginnend aan achterzijde landhoofd met 2,2 m richting midden overspanning. UDL op halve bruglengte en achter landhoofden (kan eventueel vervallen indien het draagvermogen apart wordt beschouwd, zie ver onder kopje "belastingpositie III – draagvermogen").



Positie IV: Om de landhoofden te toetsen dient de geconcentreerde belasting naast de brug te worden aangebracht, waarbij de afstand tot de brug afhankelijk is van de diepteligging van de brug (30 graden vanaf bovenzijde landhoofd).



Per positie van de belasting moet de brug volgens elke methode (BGT en voor UGT: GRF, PR, ECOV) worden doorgerekend.

Positie III - draagvermogen

Bij belastingpositie III wordt hoofdzakelijk het geotechnisch draagvermogen van de fundering van de landhoofden getoetst en niet zozeer de boog. Voor de toetsing van het geotechnisch draagvermogen mag meer belastingspreiding in rekening worden gebracht, zal over het algemeen een groter funderingsoppervlak in rekening mogen worden gebracht en zijn de partiële factoren op de sterkte van de grond net anders (1,15 over hoek van inwendige wrijving i.p.v. 1,2 en over cohesie 1,6 i.p.v. 1,5). Indien in de Plaxisberekening niet wordt voldaan aan de benodigde veiligheid bij belastingpositie III, kan een gunstiger resultaat worden verkregen door het draagvermogen van de fundering analytisch aan te tonen. Eventueel kan belastingpositie III dus in de Plaxis-berekening achterwege worden gelaten, maar indien hiermee voldoende veiligheid wordt berekend is aangetoond dat ruim wordt voldaan aan het benodigde draagvermogen.

Indien voor belastingpositie I en II het draagvermogen van de fundering onvoldoende blijkt te zijn en er onwaarschijnlijk grote zakkingen optreden, is het mogelijk de beoordeling van de boog en het draagvermogen van de fundering los te koppelen. Een oplossing hiervoor is de grondeigenschappen van de laag of lagen onder het funderingsniveau te verhogen zodat een meer aannemelijke zakking optreedt. Vervolgens is het draagvermogen van de fundering analytisch aan te tonen.

Bij belastingpositie IV wordt het horizontaal evenwicht gecontroleerd van het landhoofd rekening houdend met de werking van de boogconstructie. Weliswaar wordt belastingspreiding van de belasting tot de constructie in rekening gebracht, maar mogelijk zou de spreiding over een grotere breedte mogen plaatsvinden. Dit is een 3D-situatie. Met Plaxis 3D kan dit goed worden meegenomen. Mogelijk kan in een latere fase op basis van 3D-berekeningen een betere spreiding worden bepaald voor 2D-berekeningen. Overigens geldt dit ook voor de berekeningen in het algemeen (belastingpositie I en II) omdat de spreiding over de boog zelf anders zal zijn dan over de landhoofden. Naar verwachting zal met 3D-berekeningen nog kunnen worden geoptimaliseerd.

De EEM-berekening kan als volgt worden opgebouwd:

Tabel 9-2 Opbouw EEM-berekening

STAP	Omschrijving	Wijziging in stap
1	Huidige situatie met maatgevende maaiveldniveau's en (grond)waterstanden	Metselwerk: Gemiddelde waarde druksterkte en treksterkte, Gemiddelde waarde volumieke massa en stijfheid Grond: Karakteristieke waarde sterkte- en stijfheidsparameters, Gemiddelde waarde volumieke massa Verkeersbelasting: Geen
2D	Toets SLS Decentrale lastmodel	Verkeersbelasting: Decentrale lastmodel
3D	Verwaarlozing treksterkte voor constructieve toets	Metselwerk: Karakteristieke waarde Druksterkte en Treksterkte 5 kPa
4D	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde druksterkte (Karakteristiek/2,2), Treksterkte 5 kPa Grond: Rekenwaarde hoek van inwendige wrijving (karakteristiek/1,2), Rekenwaarde cohesie (karakteristiek/1,5) Rekenwaarde volumieke massa (karakteristiek/1,1) [gedraineerd]
5D	Toets UGT-PF Decentrale lastmodel	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,1 / Verbouw: 1,2) [ongedraineerd]
2N (vanaf stap 1)	Toets SLS Normbelasting	Verkeersbelasting: Normbelasting (bijv. Decentraal * 1,1765)
3N	Verwaarlozing treksterkte voor constructieve toets	Metselwerk: Karakteristieke waarde Druksterkte en Treksterkte 5 kPa
4N	Rekenwaarden grond en metselwerk	Metselwerk: Rekenwaarde (Karakteristiek/2,2), Grond: Rekenwaarde hoek van inwendige wrijving (karakteristiek/1,2), Rekenwaarde cohesie (karakteristiek/1,5) Rekenwaarde volumieke massa (karakteristiek/1,1)
5N	Toets UGT-PF Normbelasting	Verkeersbelasting: Rekenwaarde (Belastingfactor CC2 Gebruik: 1,29 / Verbouw: 1,41)
6D (vanaf stap 3D)	Toets UGT-GRF Decentrale lastmodel	Verkeersbelasting: Rekenwaarde met gecombineerde belastingfactor (CC2 Gebruik: 2,421/Verbouw: 2,641)
6N (vanaf stap 3D)	Toets UGT-GRF Normbelasting	Verkeersbelasting: Rekenwaarde met gecombineerde belastingfactor (CC2 Gebruik: 2,848/Verbouw: 3,107)
Eventueel:		
7 (vanaf stap 1)	Gemiddelde waarde druksterkte t.b.v. UGT-ECO_Um	Metselwerk: Gemiddelde druksterkte, Treksterkte 5 kPa
8D en 8N	Toets UGT-ECO_Um	Verkeersbelasting: Stapsgewijs opvoeren tot bezwijkbelasting
9D en 9N (vanaf stap 3)	Toets UGT-ECO_Puk	Verkeersbelasting: Stapsgewijs opvoeren tot bezwijkbelasting

Verkeersbelasting wordt ongedraineerd doorgerekend, dus ook de extra belasting ten gevolge van de rekenwaarde. De overige stappen kunnen gedraineerd worden doorgerekend.

Gezien de complexiteit van de berekeningen en de interpretatie van de resultaten zullen de berekeningen door of in samenwerking met een ervaren geotechnisch adviseur/constructeur moeten worden uitgevoerd.

9.3.5 Metselwerkeigenschappen

Voor de materiaaleigenschappen van metselwerk kan worden uitgegaan van de eigenschappen gegeven in de NPR9998+C1:2020. In onderstaande tabel zijn de karakteristieke waarden van metselwerk opgenomen volgens 9.3.2.2 van NPR9998+C1:2020 voor metselwerk met mortel. Voor de gemiddelde waarden mag tabel F.2 van de NPR9998:2018 aangehouden worden. Om op gemiddelde waarden te komen mag de karakteristieke waarde eventueel ook worden verhoogd met factor 1,5, zie 9.1.3.2 van NPR 9998. Conform de NEN-EN 1996-1-1 NB kan de korteduur stijfheid worden benaderd door de druksterkte te vermenigvuldigen met een factor 700.

Indien onbekend kan voor het volumieke massa van metselwerk 23 kN/m³ worden aangehouden.

Tabel 9-3 Materiaaleigenschappen

	Artikel 9.3.2.2 NPR 9998	Karakteris- tieke waarde	Tabel F.2 NPR 9998 (2020)	Gemiddelde waarde	
Druksterkte	f_k	5	$f_{m,a,m}$	8,5	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E_k	3.500 ¹⁾	E_m	5.000	N/mm ²
Glijdingsmodulus			G_m	2.000	N/mm ²
Buigtreksterkte bezwijkvlak evenwijdig lintvoeg	G_k	1.458 ²⁾	$f_{x,1,m}$	0,15	N/mm ²
Buigtreksterkte bezwijkvlak loodrecht lintvoeg	$f_{x,1,k}$	0,42	$f_{x,2,m}$	0,55	N/mm ²
Treksterkte bezwijkvlak evenwijdig lintvoeg = sterkte loodrecht op de voeg	$f_{x,2,k}$		$f_{m,a,b,per}$	0,1	N/mm ²
Treksterkte bezwijkvlak loodrecht lintvoeg			$f_{m,a,t,par}$	0,35	N/mm ²
Initiële schuifsterkte	$f_{v,0,k}$	0,2	$f_{m,a,v,0}$	0,3	N/mm ²
Maximale schuifsterkte	$f_{v,max,k}$	0,78			N/mm ²
Wrijvingscoëfficiënt			$m_{m,a,m}$	0,75	
Breukenergie trek loodrecht lintvoegen			$G_{ft,per}$	10	N/m
Breukenergie trek evenwijdig lintvoegen			$G_{ft,par}$	35	N/m
Breukenergie belasting op druk			$G_{f,c}$	20.000	N/m
Breukenergie bij afschuiving (lintvoeg)			$G_{f,v,par}$	100	N/m

1) 700 maal druksterkte

2) Op basis van de dwarscontractiecoëfficiënt $\nu=0,20$ – $G = E/(2*(1+\nu))$

Het metselwerk kan gemodelleerd op basis van het Mohr-Coulombmodel, waarbij voor de cohesie de helft van druksterkte wordt aangehouden en de hoek van inwendige wrijving op 0 wordt gesteld. De tension cut-off (maximale trekspanning) kan gelijk worden gesteld aan de (fictieve) buigtreksterkte bezwijkvlak loodrecht op de lintvoeg. Voor de Poissonverhouding kan een waarde 0,2 worden aangehouden.

Het metselwerk mag ook op basis van het Concrete-model worden geschematiseerd. Bij een lage waarde van de scheurenergie $G_{t,28}$ (circa 0,01 kN/m of lager) kunnen numerieke problemen optreden.

Indien meer bekend is over de baksteendruksterkte en de toegepaste mortelklasse kunnen mogelijk gunstigere materiaaleigenschappen worden aangehouden op basis van NEN-EN 1996-1-1.

De eigenschappen van het metselwerk kunnen ook middels inspectie en proeven worden bepaald. Dit vergt echter veel proeven, zeker indien delen van de brug in verschillende perioden zijn aangelegd en/of gerepareerd. Een grote hoeveelheid benodigde kernboringen in de brug kan echter onwenselijk zijn.

9.3.6 Overige aspecten

Updated Mesh

De vervorming van de brug zelf kan invloed hebben op het berekeningsresultaat. De kromming van de brug kan nadelig vervormen ten gevolge van de belasting. Om dit tweede orde effect mee te nemen dienen de berekeningen te worden uitgevoerd met Updated Mesh. Bij hele kleine vervormingen (indien de verschilvervorming tussen de boog en de landhoofden maximaal 0,2% bedraagt) heeft de vervorming van de brug geen invloed en kan desgewenst de Updated Mesh achterwege blijven.

Geometrie boogconstructie

In de berekeningen dient uit te worden gegaan van een conservatieve benadering van de boogconstructie wat betreft vorm en dikte: een kleine dikte in combinatie met een "plattere" en bredere vorm is maatgevend. De beschikbare informatie over de brug varieert vaak sterk. Van bruggen kunnen ontwerptekeningen beschikbaar zijn, maar het kan ook zo zijn dat in het geheel geen informatie voorhanden is. Het verkrijgen van informatie door middel van inspectie kan kostbaar zijn. Over het algemeen zal het dan ook raadzaam zijn door op basis van beschikbare informatie en conservatieve aannamen de verificatie van de brug uit te voeren. Indien hiermee niet kan worden aangetoond dat de brug voldoet, kan aanvullende informatie worden verkregen middels inspectie, maar ook uit proefbelastingen door fitting van het rekenmodel. Zie voor een nadere uitwerking van de processtappen het stroomschema op pagina 6.

Indien de boog van de constructie is ingemeten, dient voor een conservatieve benadering ten behoeve van de constructieve veiligheid van de boogconstructie de inmeting van de boog te worden gecorrigeerd ten aanzien van de meetnauwkeurigheid van de betreffende scan. De hoogte van de boog dient hierbij te worden afgevlakt en de breedte te worden verruimd.

Bij zowel de sterktoets als de schadetoets dient rekening te worden gehouden met beschadigingen. In geval van holklinkende ruimten wordt zolang niet zeker is of beide boogdelen krachten kunnen overdragen geen onderlinge wrijving tussen beide boogdelen in rekening gebracht, wat dus twee bogen zonder interfase oplevert. Na afdoende herstel van de holle ruimte waarop beide bogen weer samenwerken geldt de werking van een massieve boog. Afhankelijk van de situatie kan zonder herstelwerkzaamheden mogelijk worden verfijnd door in geval van holklinkende delen toch enige interface tussen de beide bogen aan te houden, bijvoorbeeld in geval de brugdelen door de belasting tegen elkaar aan worden gedrukt. Op basis van schaalproeven in Engeland zou een interface van 20 graden mogelijk kunnen zijn. Als de losse bogen niet voldoen en massief wel zou de interface eigenschappen in stappen kunnen worden opgehoogd om te bekijken wanneer wel wordt voldaan. De beoordeling hangt natuurlijk wel af van de oorzaak van de twee losse bogen. Als er ooit later fysiek een tweede boog onder een originele boog is gemetseld (zoals bij de Judasbrug) dan is de kans natuurlijk groter dat er nauwelijks tot geen interface aanwezig is. Als origineel de boog massief was is de kans groter dat enige samenwerking zal plaatvinden. Ook de ouderdom en het aantal aanpassingen/wijzigingen van de boog maakt natuurlijk uit hoe aannemelijk een interface is. Als je bij een lage waarde (bijvoorbeeld 10 graden) al wel voldoet dan is mogelijk injecteren (nog) niet nodig en kan puur de regelmatige controle van holle delen uitgevoerd worden. Indien pas bij hogere waarden (20 graden) voldaan wordt dan is in de (nabije) toekomst wel injecteren noodzakelijk. Wordt pas bij 30 graden voldaan dan moet geïnjecteerd worden of zelfs opnieuw opgemetseld (ingeboet). Een alternatief om dat te voorkomen is een proefbelasting met een hoge belasting uitvoeren om zo in de praktijk te testen hoe de boog zich gedraagt.

Voor de waarde van de interface maar zeker ook voor de lengte van de 'twee losse bogen' is een inschatting van constructeur/geotechnicus en de ervaring van de inspecteur(s) belangrijk. Op basis hiervan dient een veilige keuze voor de schematisering te worden gemaakt.

Dikte boogconstructie

Indien het dikteverloop van de boogconstructie niet bekend is, dient deze voor de toetsing van de constructieve veiligheid aan de veilige kant te worden meegenomen. Over het algemeen zal de dikte van de boog in het midden van de brug min of meer constant zijn en mogelijk iets toenemen richting landhoofden.

Voor een conservatieve benadering wordt de ondergrens van de gemiddelde dikte van de boog aangehouden en wordt deze nog gecorrigeerd voor de eventuele reductie in verband met de uitslijting van voegen.

Fundering

Ook over de funderingswijze en afmetingen is niet altijd voldoende informatie bekend. Voor een veiligheidsbeschouwing dient voor de fundering ook een conservatieve benadering te worden toegepast: bij een fundering op staal betreffende de funderingsdiepte en -breedte en bij een fundering op palen voor wat betreft de eigenschappen van de paalfundatie. Het verkrijgen van informatie door middel van inspectie kan kostbaar zijn. Over het algemeen zal het dan ook raadzaam zijn door op basis van conservatieve aannamen de verificatie van de brug uit te voeren. Indien hiermee niet kan worden aangetoond dat de brug voldoet, kan aanvullende informatie worden verkregen middels inspectie, maar ook uit proefbelastingen door fitting van het rekenmodel.

Grondopbouw en geotechnische parameters

In de berekening dient een karakteristieke bodemopbouw te worden aangehouden, waarbij naast de landhoofden slappe lagen maatgevend zijn.

Voor de constructieve berekening van de boogconstructie dient de sterkte van de grond te worden aangehouden bij lage rekstijfheid ($<2\%$). Voor de berekening van het draagvermogen van de wanden (fundering op staal) mag de piekwaarde of residuele sterkte worden toegepast, zie 3.2 van NEN8707. In de praktijk zal in de Plaxisberekening de sterkte van de grond bij lage rekken worden aangehouden ten behoeve van de toetsing van de constructie. Indien het draagvermogen hierbij kritisch is, is dus nog enige ruimte aanwezig.

In lijn met beton dat rechtstreeks tegen de grond is gestort, waarvoor conform (7) van NEN 9997-1+C2 de wandwrijving gelijk mag worden gehouden aan de hoek van inwendige wrijving van het omringende materiaal, wordt rond het metselwerk geen interface toegepast.

(Grond)waterniveau en geometrie

Ten aanzien van het (grond)waterniveau en het maaiveldniveau moet rekening worden gehouden met de ongunstigste combinatie hiervan, die gedurende de levensduur kan optreden, waarbij de brug nog normaal in gebruik is. Indien kabels en leidingen moeten kunnen worden aangebracht of vervangen of de watergang moet kunnen worden drooggezet voor onderhoud, dan dient dit dus meegenomen te worden in de berekening. Eventueel aanwezig betonnen voorland tegen de landhoofden wordt meegenomen in de beoordeling/berekening.

10

HERSTEL EN VERSTERKING GEMETSELDE BOOGBRUGGEN

10.1 Inleiding

Op basis van een constructieve beoordeling wordt bepaald of een brugconstructie nog geschikt is voor beoogd gebruik. Als de bestaande constructie geschikt is, kan men besluiten om aanwezige schades te herstellen, met als meest rigoureuze maatregel het opnieuw opmetselen van de (bestaande boog).

Als de brug niet voldoet aan het beoogde (toekomstige) gebruik, zal men de brug moeten versterken of vervangen. In welke mate het daarbij nog nodig is om onderhoud uit te voeren aan de bestaande boog is afhankelijk van de onderhoudstoestand van de betreffende boog en de constructieve beoordeling door de constructeur.

In basis kunnen schades en gebreken ontstaan door klimatologische invloeden (natuurlijke degradatie), ontwerp- en/of uitvoeringsfouten, overbelasting; of een combinatie van genoemde oorzaken. Bij oude metselwerk boogbruggen van voor 1933, nog ontworpen op 'paard en wagen' zou men ook kunnen spreken van decennialang 'oneigenlijk gebruik'.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de herstelmogelijkheden voor gemetselde boogbruggen. Er worden verschillende schadebeelden en gebreken besproken en ook het herstel hiervan. Wanneer de huidige gemetselde boog constructief niet voldoet, kan men een lastbeperking accepteren en instellen, anders zal men een versterkingsmaatregel moeten treffen.

10.2 Monumentale waarde

Het uitvoeren van onderhoud aan objecten met een monumentale waarde is alleen zinvol wanneer dit op langere termijn de instandhouding ten goede komt. Bij alle werkzaamheden ongeacht de omvang wordt de cultuurhistorische waarde beïnvloed. Daar is het uitgangspunt bij werken aan een monumentaal object dat behoud voor vervangen gaat. Bij het beoordelen van de monumentale beheerobjecten is eerst gekozen voor ingrepen die toename van aantasting voorkomt. Dit kan bijvoorbeeld alleen het reinigen van een vervuild oppervlak zijn. Pas wanneer reinigen niet voldoende is wordt gekozen voor het herstellen van beschadigde delen. Hierbij is het uitgangspunt terughoudend te werken, bijvoorbeeld alleen plaatselijk herstel van voegwerk.

In geval ook reparatie niet volstaat zal een keuze gemaakt worden voor vernieuwen of vervangen. Ook de te gebruiken materialen dienen in overeenstemming te zijn met de bestaande materialen in het object. Bijvoorbeeld bij werkzaamheden aan metselwerk dient te worden gewerkt met een mortel die afgestemd is op de aanwezige en nieuw te gebruiken metselstenen. De voegmortel dient niet sterker te zijn dan het omliggende materiaal en offert zich op termijn op ten opzichte van de metselsteen. Ook heeft de mortel een functie in de vochtinhouding, een te dampdichte mortel zal de vochtbalans verstoren met nieuwe schades aan het metselwerk als gevolg.

De uitvoering van onderhoud vraagt bij monumentale objecten vaak om specifieke kennis en kunde. Daarom wordt geadviseerd om te werken volgens de uitvoeringsrichtlijnen van Stichting Erkende Restauratiekwaliteit Monumentenzorg (ERM). Voor werken aan metselwerk zijn dit de richtlijnen URL 4003 'historisch metselwerk' en URL 4006 'historisch voegwerk'. Ook het uitvoerende bedrijf is bij voorkeur een door ERM gecertificeerd bedrijf volgens de Beoordelingsrichtlijn BRL ERM 4000.

10.3 Instandhouding & herstel schadebeelden

Bij ouder metselwerk werd in het verleden geen rekening gehouden met verhinderde vervorming in het metselwerk als gevolg van thermische belasting (krimp- en uitzetting). Dit zorgt vaak voor kleine verticale scheuren met een regelmatige onderlinge afstand. Ook in constructiedelen met grote vormveranderingen die monoliet verbonden (gemetseld) zijn, denk aan massieve landhoofden en slanke vleugelwanden, zullen op termijn scheuren optreden. Deze zijn niet constructief van aard, maar zullen wel leiden tot vervuiling en lokaal versnelde aantasting van het metselwerk (wortelgroei en/of vorstschade). Het aanbrengen van een dilatatie op deze locaties, het accepteren van deze kleine scheuren, of het periodiek herstel van deze niet constructieve scheuren behoort tot de mogelijkheden.

Een algemeen aspect betreft vochtbelasting van metselwerk. Het advies is altijd om vochtindringing van bovenaf in de metselwerk boog te voorkomen. Men dient daarom, ongeacht de onderhoudstoestand van een metselwerk boog, een waterdicht membraan aan de bovenzijde aan te brengen om de vochtbelasting te minimaliseren. Verder dient men rekening te houden met een goede afvoer van hemelwater, met name bij meerdere boogconstructies naast elkaar.

10.3.1 Beschadigd voegwerk

Slijtage van de voegmortel is een veel voorkomend schadebeeld aan metselwerk in het algemeen. De oorzaak van dit schadebeeld is uiteenlopend en in veel gevallen een combinatie van meerdere opties. Het resultaat van het schadebeeld is dat het voegwerk deels of integraal is verdwenen of losligt.

Voor herstel van de voegen is het van belang om de volgende vragen beantwoord te hebben, voorafgaand aan de herstelwerkzaamheden:

- Is informatie met betrekking tot de samenstelling van de voeg bekend?
- Is informatie met betrekking tot de sterkte en wateropname van de stenen bekend?
- Is de huidige voegmortel geschikt voor de metselsteen (niet te sterk, damp-open)?
- Zijn de metselstenen 'vol en zat' gemetseld? Dat wil zeggen dat de stenen in een overmatige hoeveelheid specie zijn gelegd en geen apart voegwerk aanwezig is.

Het stappenplan voor herstel dient er als volgt uit te zien:

1. Bureaustudie samenstelling en eigenschappen bestaand voegwerk en metselstenen.
2. Afhankelijk van stap 1: nader onderzoek naar de samenstelling en eigenschappen van de bestaande mortel en metselstenen.
3. Keuze van samenstelling mortelreceptuur.
4. Bepalen lokaal of integraal herstellen van voegwerk. Indien het huidige voegwerk niet geschikt is en op termijn de bestaande metselstenen zal beschadigen kan gekozen worden voor integraal vervangen van het voegwerk.
5. Uitvoeren herstelwerkzaamheden.

Wanneer na onderzoek blijkt dat ingrijpender werkzaamheden nodig zijn dan het vervangen van voegen en inboeten van enkele metselstenen, is afhankelijk van de beschermde status van het kunstwerk meer voorbereiding nodig. De monumentencommissie van de gemeente kan om een restauratieplan vragen.

10.3.2 Uitvoering voegwerkherstel

Voegmortel in het metselwerk vormt de verbinding tussen de bakstenen in het metselwerk. Bij thermische en hygrische uitzetting en krimp van metselwerk neemt de voeg deze vervorming op. Daarnaast zijn voegen van belang voor de vochtregulering van het metselwerk.

Bij civiele kunstwerken is bij voorkeur tijdens het metselen doorgestreekt door 'vol en zat' metselen. Er is dan geen sprake van voegmortel. Hiermee wordt voorkomen dat tussen legmortel en voegmortel holtes ontstaan. Voegen zijn onderhevig aan slijtage en bij kalkgebonden mortel meestal zwakker dan de baksteen. Oudere constructies zijn op enig moment hervoegd, hierdoor is dan toch voegmortel aanwezig. Wanneer voegen vervangen moeten worden is het aanbrengen van een duurzame voeg gewenst. Van belang is hierbij dat de voegmortel compatibel is met de omliggende materialen zodat de voeg zijn functie in vochtregulering en uitzetting/krimp blijft vervullen.

Om een goede hechting tussen de nieuwe voegmortel, de aanwezige metselstenen en legmortel te verkrijgen is een juiste uitvoering belangrijk. In de Uitvoeringsrichtlijn 4006 van Stichting ERM worden de juiste voorbereidende en uitvoerende werkzaamheden voor het uitvoeren van hervoegwerk aan historisch metselwerk omschreven. Als ook inboetwerk nodig is, bijvoorbeeld bij vervangen van gescheurde stenen is uitvoeringsrichtlijn URL 4003 toe te passen.



Figuur 10-1: Rond waterlijn uitgesleten voegen



Figuur 10-2: Cementgebonden voegmortel losgekomen.

10.3.3 Beschadigde stenen

Beschadigde metselstenen kunnen veel verschillende oorzaken hebben. In deze paragraaf worden beschadigde stenen ten gevolge van scheuren buiten beschouwing gelaten, deze worden in paragraaf 10.3.4 behandeld.

Voor het uitvoeren van herstelwerkzaamheden is het van belang om de oorzaak inzichtelijk te hebben. Immers als deze niet wordt verholpen zal het schadebeeld opnieuw ontstaan. Enkele oorzaken kunnen zijn:

- Vorstschade; dit schadebeeld ontstaat veelal op plekken die regelmatig belast worden met vocht. Naast het herstellen van de stenen zal ook een oplossing gezocht moeten worden voor de vochtbelasting.
- Schade ten gevolge van verhinderde vervorming met de voegmortel. Als herstelwerkzaamheden aan de voegen heeft plaats gevonden in het verleden, bestaat de kans dat dit niet met een juiste mortel is gedaan. Als de mortel te 'sterk' is voor de metselstenen worden bij temperatuurverschillen en vochtbelasting de stenen kapot gedrukt. Hierbij blijft de mortel vaak intact en krijg je als het ware een 'honingraat' van metselwerk.
- Schade ten gevolge van vervormingen/zettingen. Door vervormingen aan de constructie kunnen stenen los gaan zitten.
- Zoutbelasting; wanneer in het metselwerk aanwezige zouten kristalliseren wordt de metselsteen beschadigd. Zichtbare schadebeelden zijn verpoedering en afschilferen.
- Vochtbelasting; door sterke vochtbelasting kan naast vorstschade ook z.g. verkleien van de metselstenen ontstaan. Na jarenlange vochtbelasting wordt de metselsteen zacht en kleiig.

De noodzaak van herstel dient afgewogen te worden tegen de zogenoemde 'nuloptie'; wat gebeurt er als we niks doen? Bij veel schades aan metselwerk is alleen sprake van een inbreuk op de esthetische waarde en niet op het functioneren van de constructie.

Herstel van beschadigde stenen is doorgaans in de vorm van de vervangen. Hierbij dienen de beschadigde stenen te worden ingeboet en verwijderd en nieuwe stenen te worden ingemetseld. De keuze van de nieuwe steen dient bepaald te worden op basis eigenschappen van de huidige steen, zoals kleur, vochtopname, sterkte, etc. Als deze gegevens niet bekend zijn vanuit archiefgegevens, zullen deze middels materiaalonderzoek vastgesteld moeten worden.



Figuur 10-3: Vorstschaade



Figuur 10-4: Zoutschaade



Figuur 10-5: Te harde voegmortel



Figuur 10-6: Verkleien

10.3.4 Scheuren

Voor scheuren in metselwerk geldt dat eerst bekend moet zijn wat de oorzaak is. Immers als scheuren veroorzaakt worden door overbelasting, zal de constructie eerst versterkt of ontlast moeten worden, zie hiervoor ook paragraaf 10.4. Na het versterken of ontlasten van de boog is het mogelijk dat herstel van de scheuren niet meer nodig zal zijn.

Oorzaken van scheuren kunnen zijn:

- Overbelasting van het kunstwerk.
- Zettingen van de fundering.
- Verhinderde vervormingen.
- Stijfheidsverschillen

Scheuren worden doorgaans hersteld door deze V-vormig in te slijpen en te vullen met mortel. De keuze van de mortel is net als bij de keuze van een nieuwe voeg afhankelijk van de eigenschappen van de bestaande voegmortel en metselstenen, zie hiervoor ook paragraaf 10.3.1.

Indien scheuren watervoerend zijn, kan overwogen worden om deze te injecteren met een polyurethaanhars. Afhankelijk van de ernst van de watervoerende scheur dient vanuit esthetisch oogpunt te worden afgewogen of injectie nodig is. Voor injectie dienen gaten geboord te worden in het metselwerk, die net als de watervoerende scheur niet fraai zijn.



Figuur 10-7: Rollaag losgescheurd door stijfheidsverschil



Figuur 10-8: Verticale scheur door verhinderde vervorming



Figuur 10-9: Doorgaande scheur in gewelf



Figuur 10-10: Trapvormige scheur door zettingsverschil (falen fundering)

Holklinkend metselwerk in het gewelf:

Wanneer een gemetseld gewelf bij afkloppen hol klinkt, kan dit duiden op laterale scheurvorming in het metselwerk of een constructie van twee samenwerkende bogen.

- Kleine scheurtjes kunnen geïnjecteerd worden met een dunvloeiende kalkmortel. Als de scheuren door de gewelfkap lopen, de onderzijde zeer zorgvuldig afdichten. Vooraf de scheur goed uitzuigen en schoonmaken met water. Grotere scheuren iets ophakken en door wigjes op spanning brengen. Vervolgens dicht laten lopen met een dik vloeiende mortel van luchtkalk. Het metselwerk is meestal kurkdroog, daarom is het erg belangrijk om het metselwerk langs de scheuren ruim van tevoren zo vochtig maken dat de kalkmortel goed afbindt.
- Grotere scheuren moeten in het verband van het gewelf ingeboet worden. Dit kan per gewelfkap verschillend zijn! Bij schoon metselwerk is de scheur soms zo breed dat het noodzakelijk is de scheur over meerdere stenen op te vangen. Bij inboetwerk is het bijna altijd noodzakelijk de nodige stutten en onderstempelingen aan te brengen. Bij zeer ernstige scheurvorming is een complete formeelconstructie als ondersteuning noodzakelijk om het krachten spel in bedwang te houden dat ontstaat bij het loshalen van ribben en/of gewelfkappen. Wanneer de samenhang van het metselwerk te gering is kan dit na plaatsen van een formeel geheel uitgenomen worden en opnieuw opgebouwd.



Figuur 10-11: Formeel onder gewelf



Figuur 10-12: Uitgenomen metselstenen boven gewelf



Figuur 10-13: Opbouw metselwerk gewelfboog op het formeel



Figuur 10-14: Opbouw metselwerk gewelfboog op het formeel

10.4 Instandhouding & aanpassingen

Als op basis van de constructieve beoordeling blijkt dat de huidige metselwerk boogbrug niet voldoet aan de ontwerpbelastingen die horen bij het werkelijke of in de toekomst beoogde gebruik, dient men een lastbeperking in te stellen of een (versterkings)maatregel uit te voeren wanneer men de brug wil behouden. In tabel 10.1 zijn diverse maatregelen benoemd.

Tabel 10-1 Maatregelen t.b.v. constructie

Optie	Omschrijving
1	Instellen lastbeperking, op basis van constructieve beoordeling.
2	Wijzigen rijbaanindeling. Zwaar verkeer niet op/bij de rand van de boog laten rijden.
3	Afwaarderen boogbrug naar fiets- en voetgangersbrug.
4	Injecteren van scheuren/ holle ruimte. Bestaande boog handhaven, maar injecteren (grouten) van de boog om de hechting tussen metselwerk onderling, of gescheiden ringen (indien van toepassing), te herstellen.
5	Versterking van bestaande boog. Bestaande boog handhaven en versterken door middel van aanbrengen wapening.
6	Versterking van de bestaande brug boog. Bestaande boog handhaven, maar vrijgraven en verdikken van de boog met extra metselwerk (vertand).
7	Versterking van de boog. Bestaande boog (deels) handhaven en aanbrengen (gewapend) betonnen zadel.
8	Vernieuwen van bestaande boog.

	Boog ontmantelen en geheel of gedeeltelijk opnieuw opmetselen met een grotere constructiedikte (rijbaandee). Eventueel met, zoveel mogelijk, hergebruik bestaande stenen.
9	Vervangen van de boog. Bestaande boog vervangen voor gewapend betonnen boog, eventueel aan binnenzijde van de boog toepassen van metselwerk bekleding.
10	Versterking steunpunten door aanpassingen aan fundering en vergroten mate van ondersteuning boog (minimaliseren optredende vervormingen boog als gevolg van wijken steunpunten door spatkrachten).
11	Aanbrengen ontlastconstructie (overkluizing).
12	Accepteren restrisico en monitoring.

10.4.1 Gebruik

De meest eenvoudige methode is instellen van een lastbeperking en/of het wijzigen van het gebruik (wegindeling) van de brug. Dit zorgt in de constructieve beoordeling voor een gunstig effect aan de kant van de belastingen.

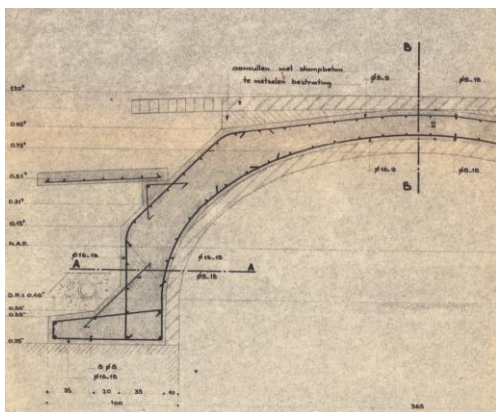
10.4.2 Versterking boog

Het injecteren van scheuren en/of mogelijke holle ruimten tussen verschillende ringen/ lagen metselwerk wordt niet gezien als een betrouwbare methode om de sterkte en/of samenhang van het metselwerk te verbeteren. De effectiviteit van deze methode is na uitvoering nauwelijks te controleren. Het versterken, verstevigen, van de bestaande boog is mogelijk wanneer men met name een boogconstructie heeft die uit verschillende ringen, of lagen, metselwerk bestaat die men wil koppelen voor het vergroten van de samenhang en spreiding van de belastingen.

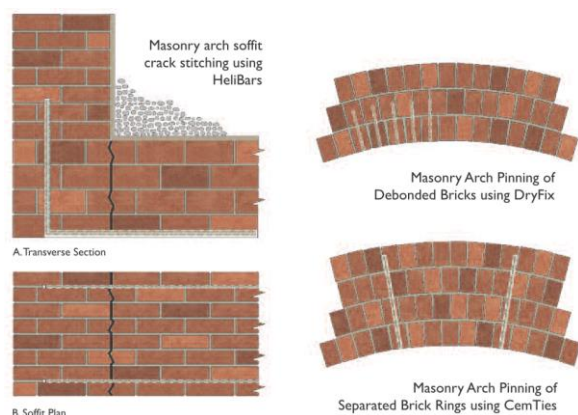
Wanneer de landhoofden voldoende steundruk kunnen leveren voor de boog, zal de boog behoorlijk sterk zijn en flink wat belasting kunnen opnemen. Mocht dit onvoldoende zijn, dan kan men de boog versterken. De meest praktische methode is door een (gewapend) betonnen zadel of plaat toe te passen op de bovenzijde van de boog, door deze voldoende stijf te maken kunnen spatkrachten op het landhoofd afnemen en wordt de onderliggende boog ontlast. Voor de uitstraling kan men de binnenzijde van de boog ook afwerken met metselwerk, zie ook Figuur 10-15. Men ook de constructiehoogte van een bestaande boog groter maken door een extra ring, vertand, op de bestaande ring te metselen.

Aandachtspunt is het beperken van de gewichtstoename op de steunpunten van de boog en daarmee ook de fundering. Het verzwaren van de boog zelf hoeft niet per definitie te leiden tot gewichtstoename; men kan werken met lichte(re) constructiematerialen en het verminderen van eventuele gronddekking op de kroon van de boog in de nieuwe situatie. De invloed van een eventuele gewichtstoename op de fundering en het zettingsgedrag moet worden beoordeeld door de constructeur/geotechnicus.

De verdikking van een boog zou men zowel aan de boven- als de onderzijde van de boog kunnen aanbrengen. De verdikking aan de onderzijde beperkt veelal de doorvaarbreedte en -hoogte en men zal ook moeten zorgen voor een voldoende oplegging van de binnenste boog.



Figuur 10-15: Gewapend betonnen boog



Figuur 10-16: Aanbrengen wapening (bron: www.helifix.co.uk).

10.4.3 Ondersteuning boog

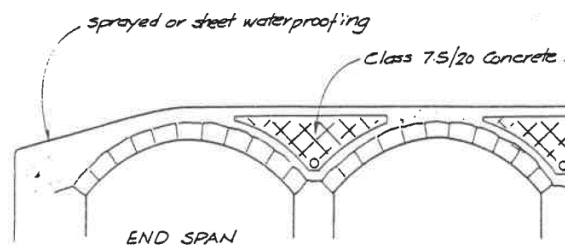
Algemeen gesteld blijkt dat een metselwerk boog zeer sterk is wanneer de boog bij de geboorte (Engels: skewback) stijf wordt ondersteund. Dus een grote horizontale weerstand (passief) vanuit de landhoofden die het horizontaal willen wijken van de boog tegengaan is zeer gunstig voor de maximaal toelaatbare belasting in een boog.

Wanneer de steunpunten mogelijk gevoelig zijn voor zettingen en/of verplaatsingen, kan men de steundruk (passieve weerstand) op de boog vergroten. De gevoeligheid voor het verplaatsen van landhoofden en tussensteunpunten (bij meerdere bogen), kan men beoordelen op basis van bodemgesteldheid (grondonderzoeken) en/of deformatiemetingen van het werkelijke gedrag (reguliere situatie of een proefbelasting).

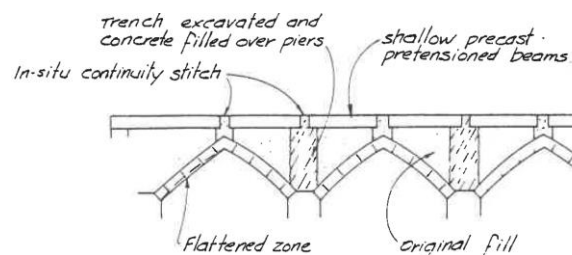
De horizontale steundruk kan worden vergroot door een grondverbetering toe te passen achter de landhoofden en/of bestaande aanrazing. Bij een brug met meerdere bogen kan men de tussensteunpunten aanrazen, als dit nog niet het geval is. Hierdoor wordt de horizontale steundruk op de (bestaande) metselwerk bogen vergroot en neemt de sterkte van de bogen (opneembare belasting) toe.

Definitie: Aanrazen ~ 'Het schuin verhogen van rechtstanden naast het gewelf' of 'De ruimte tussen en op gewelven met metselwerk aanvullen en met het overige gelijk maken.'

Als verticale verplaatsingen een risico zijn, dient men mogelijk funderingsherstel uit te voeren. Bij instandhouden van een bestaande gemetselde constructie zijn trillingen en zettingen tijdens de uitvoering als gevolg van heiwerkzaamheden niet wenselijk, men zal daarom moeten uitgaan van een trillingsarm ('-vrij') paalsysteem. De mogelijkheden en uitvoeringsaspecten voor funderingsherstel (verticaal draagvermogen) hiervan vallen buiten het kader van deze richtlijn.



Figuur 10-17: Aanrazen; opvullen van ruimte tussen gewelven.



Figuur 10-18: Interne overbrugging (Eng. 'overslabbing')

bron: P.J. Welch, Conference Arch bridges, Londen, 1995

10.4.4 Monitoring

Het advies is om te allen tijde het zettingsgedrag van gemetselde boogbruggen te monitoren met behulp van deformatiemetingen. Het gaat vaak om oudere constructies die in principe de (bij de bouw) verwachte zettingen al lang hebben ondergaan.

In de praktijk blijkt, dat wanneer er sprake is van zichtbaar vervormingsgedrag van de boogconstructie, dat dit is herleiden tot een falende fundering of overbelasting van de constructie. Denk bij de fundering aan de aantasting van een houten paalfundering en/of het verlagen van de waterbodem waarbij de draagkracht van de fundering afneemt. Bij overbelasting gaat het vaak om zeer (intensief) zwaar bouwverkeer. Dit kan een periode zijn van veel, intensief regulier vrachtverkeer of het passeren van een enkele bijzondere voertuigcombinatie (bijzonder, zwaar transport, >60 ton) of het oneigenlijk gebruik van de rijbaan; bijvoorbeeld een uitwijkende vrachtwagen op de rand/ voetpad van het brugdek.



Figuur 10-19: Vervormde boog

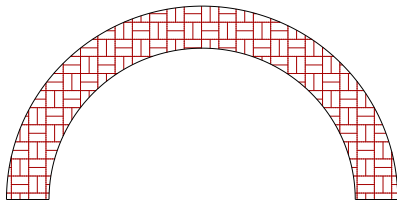


Figuur 10-20: Scheuren in straatwerk, direct gelegd in specie op de boog

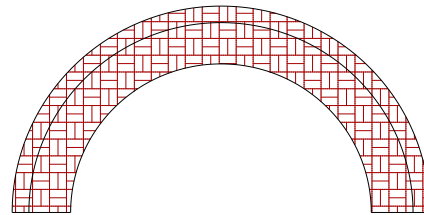
Men kan, mochten er twijfels ontstaan over de plaatsvastheid van de steunpunten bij reguliere verkeersbelastingen en/of bij een proefbelasting, het gedrag van steunpunten in meer detail bepalen door het uitvoeren van een continue meting gedurende een bepaalde periode.

10.4.5 Overkluizing

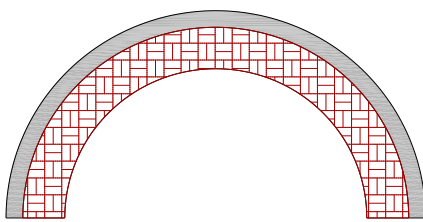
Wanneer een gewelf vanwege de historische waarde behouden moet blijven en aanpassingen niet gewenst zijn, kan men een nieuwe brugconstructie over het bestaande gewelf/de boog plaatsen: een overkluizing. De bestaande constructie wordt hierdoor volledig ontlast en dient in basis alleen zijn eigen gewicht te kunnen (blijven) dragen. De overbrugging kan worden uitgevoerd door het toepassen van (prefab) betonnen platen. Zie Figuur 10-18 voor een voorbeeld bij een meervoudige boogconstructie.



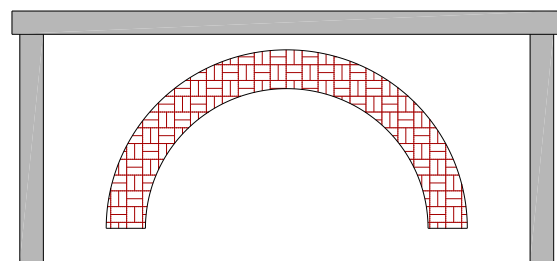
Originele boogbrug



Versterking met metselwerk



Versterking met gewapend beton



Overkluizing van beton

Figuur 10-21: Basisprincipes versterking boog

10.4.6 Overige aspecten

De boog of het gewelf is cruciaal en neemt direct de verkeersbelastingen op en draagt deze af naar de steunpunten. Vaak zijn er wel schades of gebreken zichtbaar bij de aansluiting van de boog op de vleugelwanden. Dit komt door het gedrag, verschil in stijfheid, tussen de boog en aansluiting met de vleugelwanden of de borstwering. De vleugelwanden en de borstwering worden voornamelijk horizontaal belast en zullen daardoor ook eerder loskomen van de boog die met name horizontaal wordt belast en in verticale zin wat meer zal verplaatsen dan de vleugelwanden of de borstwering. Omdat metselwerk nauwelijks trekspanningen kan opnemen, zal dit op termijn altijd leiden tot scheuren. Voor de sterkte van de boog is dit niet direct van invloed.

De sterkte en stabiliteit van de vleugelwanden staat op zichzelf, dit betreft in basis een grondkerende constructie die zowel de verticale als de horizontale belasting moet kunnen opnemen.

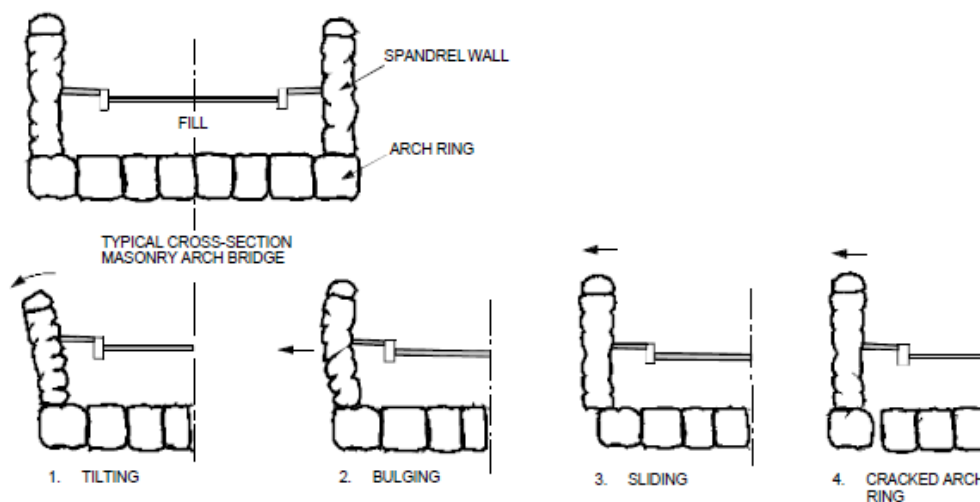
De borstwering is vaak opgemetseld op de boog en draagt wel belastingen af aan de boog. De borstwering kan loskomen van de boog, maar ook zorgen voor een scheurinleiding in de boog. Voor de borstwering zijn enkele bezwijkmechanismen in Figuur 10-24 gegeven.



Figuur 10-22: Borstwering komt los van de brug en de landhoofden tekenen zich af in het zijaanzicht.



Figuur 10-23: Afschuiving borstwering en frontwand



Figuur 10-24: Vervormingen aan leuning

Bron: Design manual for roads and bridges, Part 4, November 2001

10.5 Conclusie

Bij de instandhouding van metselwerk boogbruggen dient men in principe schades en gebreken aan metselwerk te herstellen volgens de vigerende uitvoeringsrichtlijnen. Daarbij is het van belang om de keuze van de toe te passen mortel en (nieuwe) stenen te bepalen op basis van de eigenschappen van de huidige mortel en de stenen. Denk naast de mechanische eigenschappen ook aan kleur en gedrag ten aanzien van vochtopname. Als deze gegevens niet bekend zijn vanuit archiefgegevens, zullen deze met materiaalonderzoek vastgesteld moeten worden.

Op basis van de constructieve beoordeling kan worden bepaald of aanpassingen aan de constructie nodig zijn. Dit bepaalt de constructeur in overleg met de gemeente. Aanvullende (versterkings)maatregelen ten aanzien van de constructieve veiligheid kunnen invloed hebben op de omvang van benodigde herstelwerkzaamheden van het bestaande metselwerk.

11

PROEFBELASTING

11.1 Doel

Het doel van een proefbelasting is voornamelijk om meer informatie van het werkelijke gedrag van de brug te verkrijgen onder een vooraf gekende belasting. Hierop kan dan daarna het rekenmodel gefit worden, in de verwachting dat de rekenkundige toetsing vervolgens een gunstiger resultaat geeft.

Voor het aantonen van de benodigde constructieve veiligheid (normbelasting) van metselwerk boogbruggen is een proefbelasting, zonder voorafgaande herberekening, op dit moment niet geschikt.

11.2 Proces

Om tot het uitvoeren van proefbelasting te komen worden de navolgende stappen gevolgd:

- Schouw object met oog op:
 - Geen schades aan of bijzonderheden nabij brug die proefbelasting onmogelijk maken.
- Afstemmen met opsteller rekenmodel over:
 - Verwachting vervormingen.
 - Belastinggrootte en positie.
 - Statische of mobiele belasting.
- Zoeken naar voertuig of statisch aan te brengen ballast, afstemmen met partij (let op: vergunning of ontheffing i.v.m. lengte/gewicht incl. doorlooptijd).
- Datum vaststellen met alle betrokkenen.
- Inspectie object uitvoeren met oog op:
 - Bereikbaarheid (ponton, laad-/los punt, steiger nodig?).
 - Oriëntatie toog (zonlicht).
 - Montagevoorzieningen en -positie van het meetsysteem.
 - Schades vastleggen (scheuren / holle delen / ongelijkmatige zettingen).
- Aanbrengen meetpunten.
- 3D scan uitvoeren t.b.v. 0-meting en vastleggen meetpunten.
- Verkeersmaatregelen aanvragen en inzetten (let op: standaard ca. 8 weken).
- Afstemmen met omgeving.
- Proefbelasting uitvoeren:
 - 0-meting.
 - Belasting stapsgewijs aanbrengen en verwijderen (van klein naar groot).
 - Tijdens belastingstap meten + beoordelen vervormingen.
 - Na elke belastingstap inspectie.
 - Eindmeting.
- Analyse resultaten .
- Verfijnen rekenmodel (fitten) en constructieve beoordeling uitvoeren.

11.3 Omgevingsaspecten

De volgende aspecten spelen een rol bij het uitvoeren van proefbelasting:

- K&L.
- Inrichting straat (situatie/winkels/etc.).
- Oriëntatie toog (i.v.m. zonlicht).
- Drukte straat (afsluiting).

- Obstakels (paaltjes, putten, bloembakken, etc.).
- Toestand bestrating (i.v.m. eventuele inzet rijplaten).
- Bereikbaarheid locatie laden/lossen ponton en materiaal.
- Bereikbaarheid bovenzijde toog (afmetingen ballast voertuig).
- Bereikbaarheid onderzijde toog (inspectie/meten).
- Aanwezigheid, afstand tot en status van bebouwing (i.v.m. eventuele schades/overlast).

11.4 Rekenkundige voorbereiding

Vanuit het rekenmodel is reeds inzicht verkregen in het vervormingsgedrag en de kritische belasting met het oog op bezwijken. Dat bepaalt de maximale belastingen, vervormingen en de wijze van aanbrengen van belastingen op en nabij de boog.

11.5 Praktische voorbereiding en uitvoering

Voor de proefbelasting wordt een uitgebreid Plan van Aanpak opgesteld. Dat is een levend document vanaf de start van de organisatie van het proefbelasten tot aan de proefbelasting zelf. Een voorbeeld hiervan is beschikbaar bij de gemeente 's-Hertogenbosch en het projectteam Nieuwstraat.

11.6 Registratie en rapportage

De volgende rapportages/data worden als resultaat van de proefbelasting gezien en gebruikt bij het verfijnen van het rekenmodel (werkelijk gedrag) t.b.v. de herberekening:

- Verslag van de dagleiding/logboek.
- Foto's inspectie, go-pro beelden gedurende dag.
- Meetverslag van uitgevoerde metingen.
- De ruwe meetdata + grafische weergave.
- Beknopt inspectieverslag.

12 REFERENTIES

Referentie	Versie	Jaartal	Auteur	Titel
[1.] BD21/97		1993	Department of Transport, HMSO, London	The assessment of highway bridges and structures
[2.] BD21/93		1993	Department of Transport, HMSO, London	The assessment of highway bridges and structures
[3.]		1982	J. Heyman	The masonry arch
[4.]		2021	DIANA FEA	DIANA FEA 10.5 Manual. https://dianafea.com/manuals/d105/Diana.html
[5.]		2021	DIANA FEA	DIANA FEA 10.5 Manual. Verification Report, Material Soil Model
[6.]		2017	Schreppers G.M.A. et al.	DIANA Validation report for Masonry modelling
[7.]		2017	P.A. Korswagen, M. Longo, E. Meulman, C. van Hoogdalem	Damage sensitivity of Groningen masonry structures - experimental and computational studies - Stream 1
[8.]		2019	P.A. Korswagen, M. Longo, E. Meulman	Damage sensitivity of Groningen masonry structures - experimental and computational studies - Stream 2
[9.]		2019	P.A. Korswagen, M. Longo, E. Meulman, J.G. Rots	Crack Initiation And Propagation In Unreinforced Masonry Specimes Subjected to Repeated In-Plane Loading During Light Damage

Bijlage(n)



BIJLAGE 1: HANDLEIDING INSPECTIE METSELWERK BOOGBRUGGEN



's-Hertogenbosch

Inspectie metselwerk boogbruggen



Menno ten Cate

Gemeente 's-Hertogenbosch

14-2-2020

Inhoud

1. Inleiding	2
1.1 Begrippen	2
2. Bezwijkmechanismen.....	3
2.1 Bezwijkmechanismen boog	3
2.1.1 Pons met afschuiving.....	3
2.1.2 Afschuiving	3
2.1.3 4 scharnieren	4
2.1.4 Verlies samenhang boog	4
2.2 Bezwijkmechanismen landhoofd	4
2.2.1 Zettingen (verticaal)	4
2.2.2 Gedeeltelijk bezwijken fundering	5
2.2.3 Horizontale verplaatsing landhoofd	6
2.3 Uitspoeling landhoofd	6
2.4 Bezwijkmechanismen frontmuur.....	7
3. Overige schadebeelden	8
3.1 Vorstschade.....	8
3.2 Zoutuitbloei	8
3.3 Schade a.g.v. sulfaat	9
3.4 Uitloging.....	9
3.5 Vegetatie.....	9
3.6 Verkeerd materiaalgebruik	10
3.7 Uitzetting – krimp.....	10
3.8 Vochtbelasting	10
3.9 Oude reparatievakken	10

1. Inleiding

Sinds de Romeinse tijd, tot ca. 1900, was de boogbrug het meest voorkomende type brug. In veel oude binnensteden zijn deze constructies nog in grote getale aanwezig. Na 1900 zijn de boogbruggen verdrongen door betonnen en stalen constructies waarmee grotere overspanningen, tegen lagere kosten te realiseren waren. 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. Deze memo is geschreven om de schadebeelden te herkennen en de juiste aandacht te geven tijdens een (toestands)inspectie.

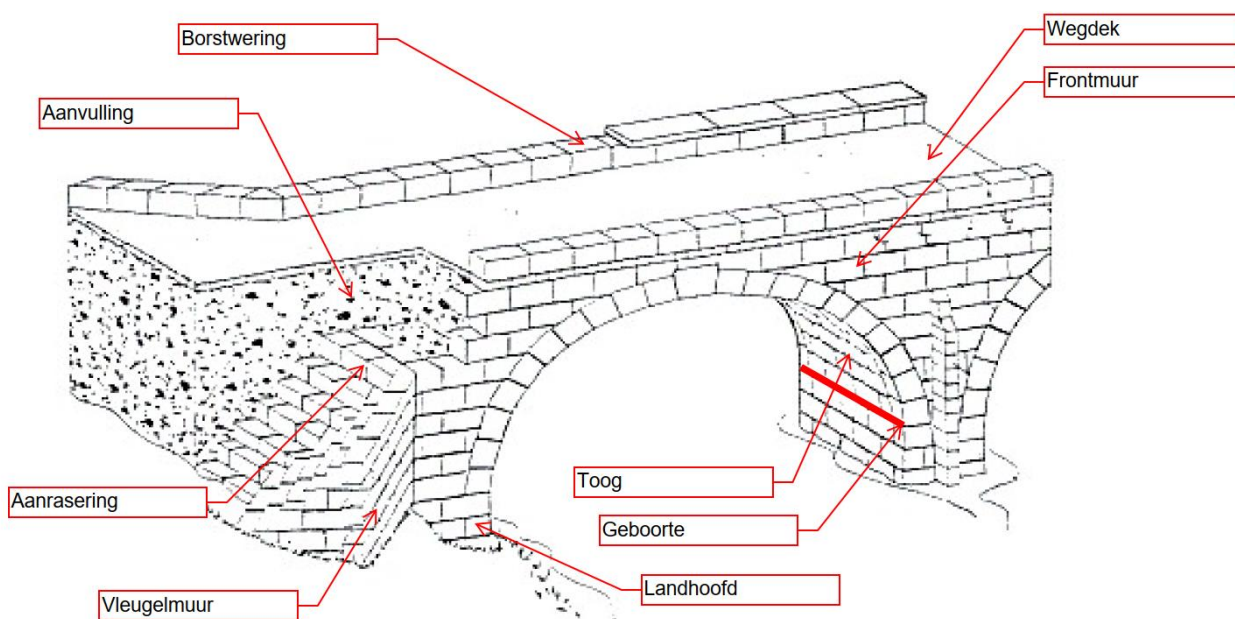
De toestandsinspectie, met de daaruit volgende onderhoudsmaatregelen, is gericht op de mogelijke bezwijkmechanismen van de boogbruggen en de meest voorkomende schadebeelden. Tijdens de inspectie is het van belang dat de mogelijke oorzaak van de geconstateerde schades goed wordt herkend zodat de juiste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

Leeswijzer:

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de bezwijkmechanismen en de bijbehorende schadebeelden.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de cosmetische schadebeelden en de mogelijke gevolgen voor de constructieve veiligheid.

1.1 Begrippen



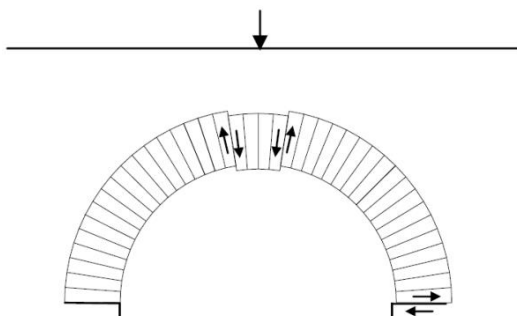
2. Bezwijkmechanismen

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.

2.1 Bezwijkmechanismen boog

2.1.1 Pons met afschuiving

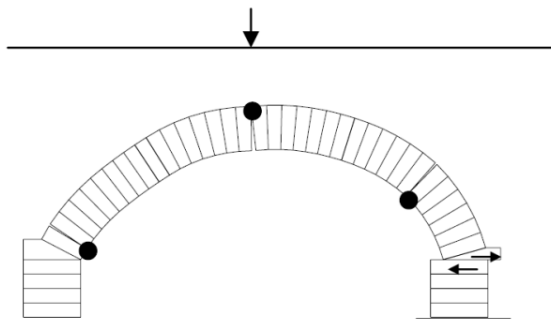


Door lokale overbelasting van de boog wordt een deel van de boog doorgedrukt. Wanneer dit mechanisme optreedt in combinatie met het bezwijken van de verbinding van de boog op het landhoofd, kan de boog zijn stabiliteit verliezen (er ontstaat ruimte zodat een deel van het metselwerk uit de boog kan vallen) en gedeeltelijk bezwijken. 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.

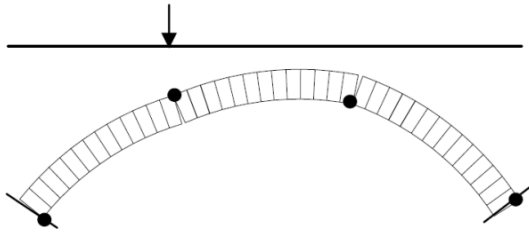
Dit mechanisme is vooral van belang voor bogen met weinig gronddekking.

2.1.2 Afschuiving



Een hoge 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. 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 3^{de} axiale (langs)scheur in de boog, is er acuut gevaar voor instorting.

2.1.3 4 scharnieren



Het meest voorkomende bezwijkmechanisme ontstaat wanneer door overbelasting zich 4 scharnieren kunnen vormen in de boog. Deze scharnieren zijn zichtbaar als axiale (langs)scheur in de boog. Na het ontstaan van het 4^{de} 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.

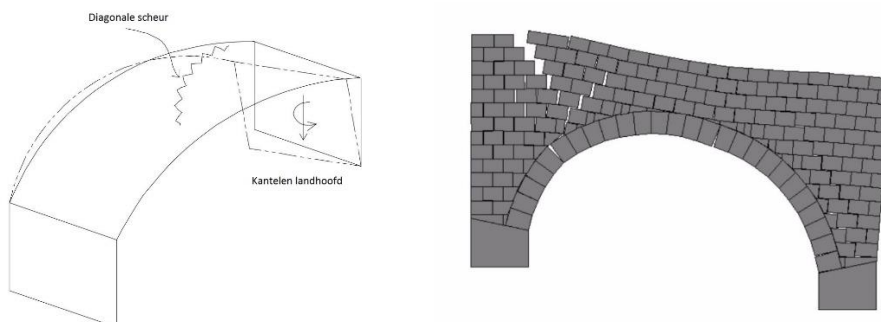
2.1.4 Verlies samenhang boog



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. 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.

2.2 Bezwijkmechanismen landhoofd

2.2.1 Zettingen (verticaal)



Zettingen (gelijkmatig of kantelen) van één van de landhoofden 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. 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 houtaantasting).

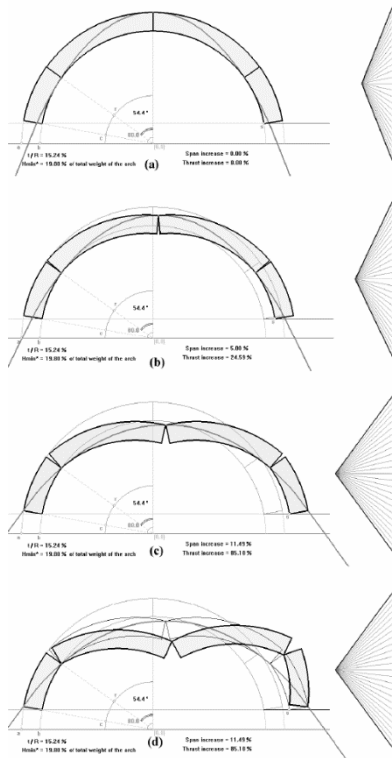
Door de optredende zettingen kan ook scheurvorming aan de onderzijde ontstaan, met name in het deel dat niet direct onder de frontwand zit. Dit zal gepaard gaan met optredende scheurvorming aan de overstaande zijde van de boog.

2.2.2 Gedeeltelijk bezwijken fundering



Wanneer slechts een deel van de fundering bezwijkt (door bijvoorbeeld onderspoeling, rotte paalkoppen, ...), 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 losgescheurde deel, instabiliteit van het bovenliggende grondpakket, randverzakking van de toeg 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.

2.2.3 Horizontale verplaatsing landhoofd



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. 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.

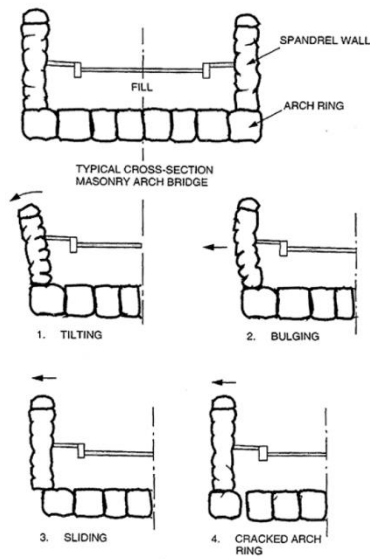
Vervorming zal pas waarneembaar zijn na een relatief grote verplaatsing van de landhoofden.

2.3 Uitspoeling landhoofd



Door uitspoeling en/of onderspoeling van het landhoofd komt de stabiliteit van het landhoofd in gevaar. 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, ...). Materiaalverlies ter plaatse van de voet van het landhoofd is een eerste indicatie dat bezwijken door onderspoeling of uitspoeling een reëel risico is.

2.4 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. De eerste tekenen zijn te herkennen aan de vorm van de frontmuur in de 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 (plaatje 3 en 4 in de figuur links).

3. 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, ...) kan leiden tot een verminderde stabiliteit en samenhang van de constructie.

3.1 Vorstschade



Als gevolg van de vorst – dooi cyclus 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 of verbrijzeling van de steen door gebruik van te harde mortelsoorten.

3.2 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, als zoutopslag) of in het bouw materiaal zelf (baksteen kan afhankelijk van soort klei, baktemperatuur en brandstofsoort meer of minder sulfaten 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 voeg- en metselmortel wordt de voegmortel uitgedrukt. Wanneer de zoutkristallen zich in de steen vormen, kan dit leiden tot afschilferen of verkrumelen van de steen.

3.3 Schade a.g.v. sulfaat



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. 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.

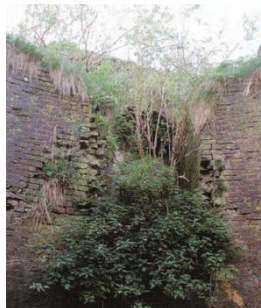
Meer info: https://www.dbnl.org/tekst/bale021kalk01_01/bale021kalk01_01_0006.php

3.4 Uitloging



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

3.5 Vegetatie



De wortels van planten kunnen grote schade aanbrengen aan metselwerk constructies. 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.

3.6 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 in andere onderdelen van de 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 vochtgerelateerde schades in de stenen.

3.7 Uitzetting – krimp

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

3.8 Vochtbelasting

Een continue vochtbelasting verhoogt de gevoeligheid van de constructie voor verontreinigingen in uit de omgeving die tot een achteruitgang in de kwaliteit van de constructie kunnen 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 membraam.

Een verzadigd grondpakket kan in periodes met vorst uitzetten en zorgen voor horizontale verplaatsingen van muurdelen, met de bijbehorende schades tot gevolg.

3.9 Oude reparatievakken

Reparatievakken duiden op een eerdere schade. Wanneer hierover 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 gaat het achterliggende mechanisme doorwerken.



BIJLAGE 2A: OVERZICHT KUNSTWERKEN IN BINNENDIEZE

BIJLAGE 2B: 1994 OVERZICHTSKAART HOOFDSTROMEN

BIJLAGE 2C: OVERZICHT CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID BINNENSTAD

BIJLAGE 2D: KAART KUNSTWERKEN BINNENDIEZE

BIJLAGE 2E: NIEUWE INDELING BINNENDIEZE

BIJLAGE 2F: BENAMING STROOMPJES BINNENDIEZE

BIJLAGE 2G: DIGITALE PLATTEGROND DEN BOSCH

Beschikbare informatie

Overzicht bruggen en overkluizingen Binnendieze



KW	Oud KW		locatie	Functie	jaar NTO		Tekeningen	Berekeningen	Informatie	In box	Opmerking:
	nr	KW naam			oorspronkelijk	2022					
1001		Cavaleriebrug	Cavaleriestraat	Fiets-/voetgangers	2022	Ja, aantal gezien	nee	-			
1086	7564	Muzerijbrug	Sint Josephstraat	Fiets-/voetgangers	2022	Ja	?	-	nvt		Nieuwe stalen brug (2010), eerst archiefgegevens opvragen.
1105		Judasbrug	Papenhulst	Verkeersbrug	2020	Beperkt	Nee	NTO gereed	Ja		
1106	7504	Beurdsestraat	Beurdsestraat	Verkeersbrug	2021						Beton/Metselwerk
1107		Waterstraat	Waterstraat	Verkeersbrug	2019	Ja	Nee	NTO gereed	Ja		
1109	7503	Volderstraatje	Volderstraatje	Verkeersbrug	2021						
1111	7560	Louwenschepoort	Louwenschepoort	Verkeersbrug	2021						
1112	7560	Brug naar Zusters van Orthenpoort	Zusters van Orthenpoort	Verkeersbrug	2021						
1113	7562	In den Boerenmouw	In den Boerenmouw	Verkeersbrug	2021						
1115	7565	St Josephstraat, de verbrede	Sint Josephstraat	Verkeersbrug	2019			NTO gereed	Ja		
1116	7567	Nieuwstraat	Nieuwstraat	Verkeersbrug	2019			NTO gereed	nvt		
1125		Geerlingsebrug	Hinthamerstraat	Verkeersbrug	2019	Ja	Ja	NTO gereed	nvt		Reeds uitgevoerd, voldoet met uit te voeren maatregel.
1148		Uilenburg(2)	Uilenburg	Verkeersbrug	2021	Revisietekening 2020 nav restauratie 2018/2019	Goudstikker de Vries	17R80231			
1149	7539	Uilenburgstraatje	Uilenburgstraatje	Verkeersbrug	2021	Revisietekening 2020 nav restauratie 2018/2019	Goudstikker de Vries	17R80231			
1152	7546	Visstraat-Brede Haven	Visstraat	Verkeersbrug	2019	Beperkt	Nee	NTO gereed	Ja		
1310		Oude Dieze -Zuidwal	Oude Dieze	Verkeersbrug	2019	Ja	Ja, (Scia-1992)	NTO gereed	Ja		
1390	7545	Molenstraatbrug	Molenstraat	Berekenen op onbedoeld voertuig?	2021	Revisietekening 2020 nav restauratie 2018/2019	Goudstikker de Vries	17R80231			(niet verwarren met brug 7901, Molenbrug)
1395	7508	Synagogebrug	Prins Bernardstraat	Fiets-/voetgangers	2022						
1669		Visbrug (2e poort)	Visstraat	Verkeersbrug	2020				NTO gereed	Ja	
7901	D001/7530	Molenbrug	Vugtherstraat	Overkluizing, verkeer	2019	Weinig			NTO gereed	Ja	
7902	D002/7524	Kruisbroedersbrug(1)	Kruisbroedersstraatje	Overkluizing, verkeer	2021						
7903	D003/7519	Kruisbroederbrug(2)	Kruisbroedersstraatje	Overkluizing, verkeer	2021						
7904	D004/7515	Hulsterbrug	St. Jorisstraat	Overkluizing, verkeer	2020	Zeer Weinig	Nee	NTO gereed	Ja		
7905	D005	Koningsbrug	Keizerstraat	Overkluizing, verkeer	2020	Weinig	Nee	NTO gereed	Ja		
7906	D006/7507	Mortelbrug	De Mortel	Overkluizing, verkeer	2021						
7907	D007/7552	Autfortschebrug	Achter het Stadhuis	Overkluizing, verkeer	2021						
7908	D008/7552	Achter het Stadhuisbrug	Achter het Stadhuis	Overkluizing, verkeer	2021						
7909	D009/7552	Schapeenmarkt	Brug op de Schapeenmarkt	Overkluizing, verkeer	2020	Nog geen tekeningen gevonden	Nee	NTO gereed	Ja		
7910	D010/7550	Minderbroedersstraat	Minderbroedersbrug	Overkluizing, verkeer	2020	alleen locatietekening (zonder maatvoering)	Nee	NTO gereed	Ja		Betonkoker
7911	D011/7548	Abtsbrug	Postelstraat	Verkeersbrug	2020	Nog geen tekeningen gevonden	Nee	NTO gereed	Ja		
7912	D012	Achter de Mollenbrug	Achter de Mollen	Fiets-/voetgangers	2021						Huidige bereikbaarheid nagaan ivm bouwwerkzaamheden
7914	D014	Capucijnenbrug	Capucijnenpoort	Verkeersbrug	2021			-			
7918	D016	Sint Corneliushekel	Parklaan	Onbekend, verkeer	2019	Nee	Nee	NTO gereed	Ja		In afwachting van informatie. (Voormalige uitstroombopening van de Parkstroom. Nu mogelijk alleen nog een rioleringsbuis.)
	D018/7507	Museumtuin	De Mortel	tuin museum	2022						
7920	D020	Oude Kruisbroedershekel	Spinhuiswal	Overkluizing, verkeer	2020	Weinig	Nee	NTO gereed	Ja		
7921	D021	Plateau stoomgemaal	Zuidwal	Fiets-/voetgangers	ntb						

Project 17R80231: o.a. Herstel metselwerk, berekening (door Goudstikker de Vries), aanbrengen waterdichte laag op toog, 3D-scan bovenzijde toog

De binnenstad van 's-Hertogenbosch de Binnendieze

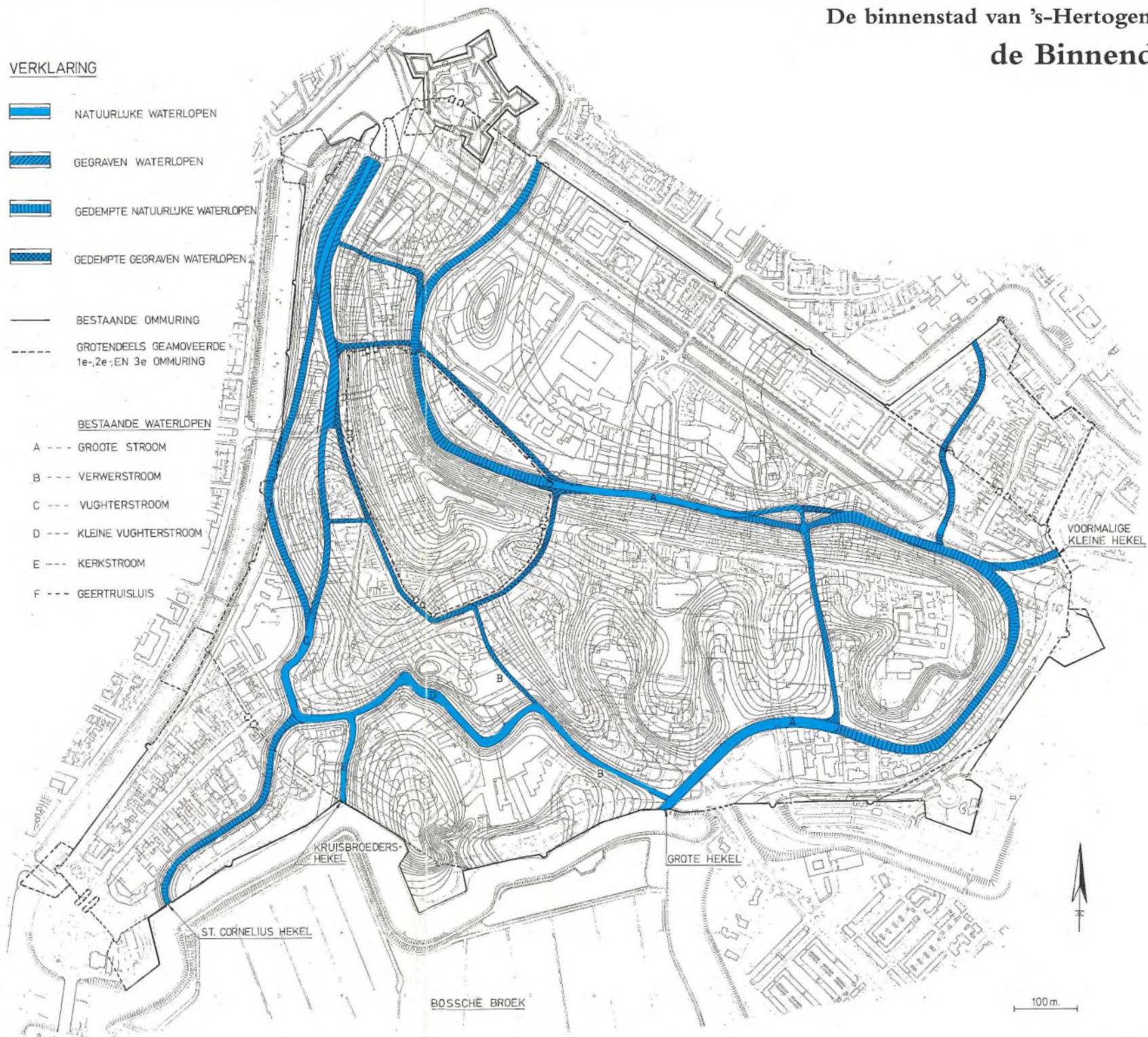
VERKLARING

-  NATUURLIJKE WATERLOPEN
-  GEGRAVEN WATERLOPEN
-  GEDEMPTE NATUURLIJKE WATERLOPEN
-  GEDEMPTE GEGRAVEN WATERLOPEN

-  BESTAANDE OMMURING
-  GROTENDEELS GEAMOVEERDE
1e-, 2e-, EN 3e OMMURING

BESTAANDE WATERLOPEN

- A --- GROOTE STROOM
- B --- VERWERSTROOM
- C --- VUGHTERSTROOM
- D --- KLEINE VUGHTERSTROOM
- E --- KERKSTROOM
- F --- GEERTRUISLUIS

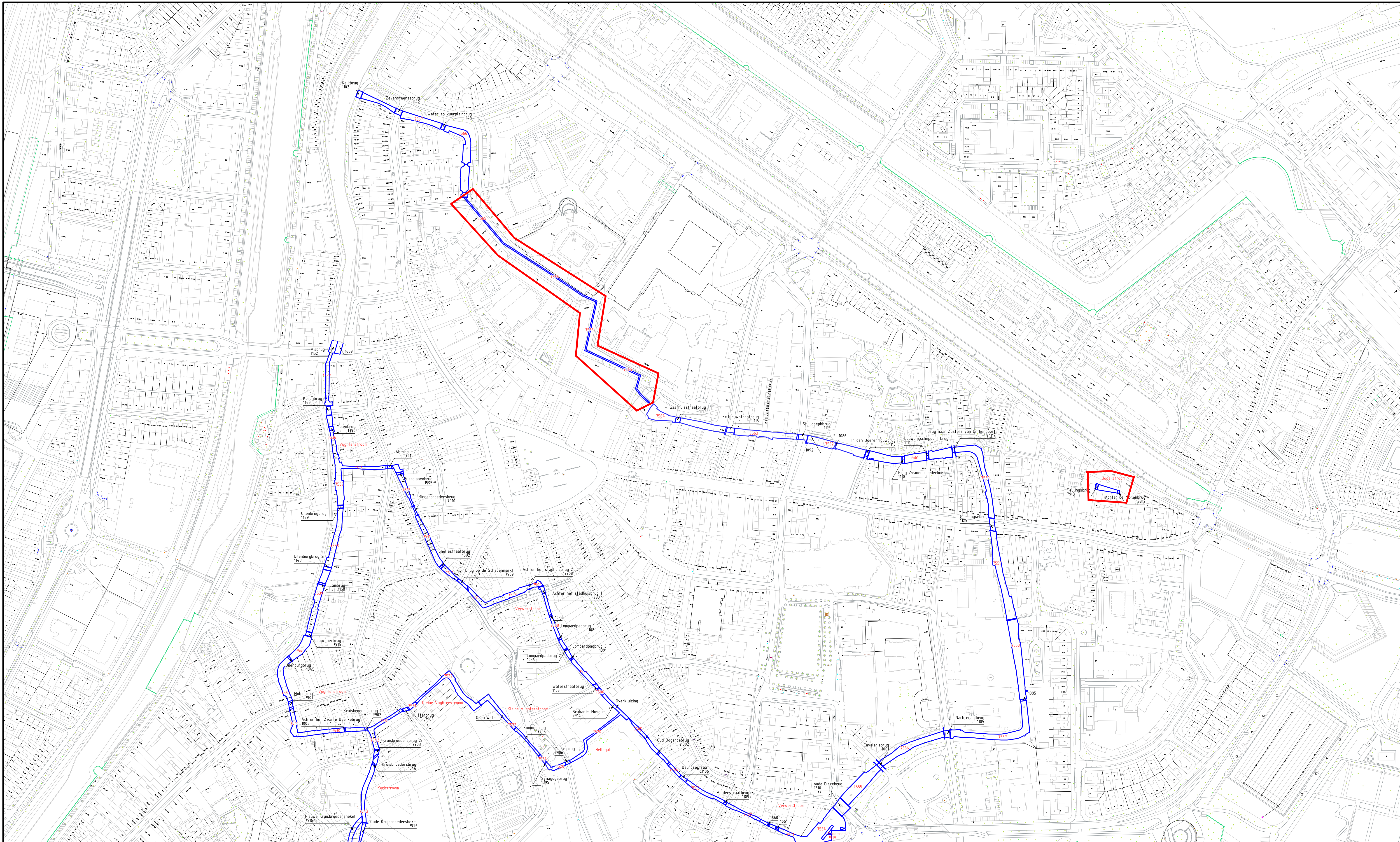


ID	OBJECT_GUID	Woonplaats	Wijk	Openbare ruimte	Algemene onderhoudsstaat	Kunstwerknaam	Kunstwerktype	Belastingklasse	Jaar einde exploitatie	Breedte	Doorvaarbreedte	Doorvaarhoogte	Doorrijbreedte	Doorrijhoogte	Lengte
2713	6BACFC41A8825796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Hekellaan	Goed	Cavaleriebrug	Fiets-voetbrug			2065	4,4	6	2,5		13,9
2808	6BACFC41A8E15796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Papenhulst	Goed	Judasbrug	Verkeersbrug			2038	7,55	5,9	2,5		9,8
292	6BACFC419F0D5796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Beurdsestraat	Redelijk	Beurdsestraat	Verkeersbrug			2057	10	3,4	2		3,4
293	6BACFC419F0E5796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Waterstraat	Goed	Waterstraat	Verkeersbrug			2068	7	3,7	2		4,5
2912	6BACFC41A9495796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Volderstraatje	Redelijk	Volderstraatje	Verkeersbrug			2078	3,3	3,5	2		4,1
698	6BACFC41A0A35796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Louwschepoort	Redelijk	Louwschepoort	Verkeersbrug			2068	2,9	5,5	2,4		10,75
2403	6BACFC41A74C5796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad		Redelijk	Brug naar Zusters van Orthenpoort	Verkeersbrug			2065	3,6	5,5	2,9		6
699	6BACFC41A0A45796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad		Redelijk	In den Boerenmouw	Verkeersbrug			2045	4,05	6,5	2,7		7,6
697	6BACFC41A0A25796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Sint Josephstraat	Redelijk	St Josephstraat, de verbrede	Verkeersbrug			2070	40	6	2,1		6
696	6BACFC41A0A15796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Nieuwstraat	Redelijk	Nieuwstraat	Verkeersbrug			2070	20	5	2,7		5
2434	6BACFC41A7685796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Uilenburg	Redelijk	Uilenburg(2)	Verkeersbrug			2070	4,3	8,9	2,5		9,5
3302	F1285E49-0743-4683-B25A-9337D0EF3835	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Uilenburgstraatje	Redelijk	Uilenburgstraatje	Verkeersbrug			2065	4	5,8	2,5		7
2402	6BACFC41A7485796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Vismarkt	Matig	Visstraat - Breede Haven	Verkeersbrug			2050	60	4,1	2,4		4,1
3324	7F31568F-D3B0-4DEF-82DF-AC83704C8A0A	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Stationsplein	Matig	Traversetunnel	Tunnel			2045	8			4,5	339
2779	6BACFC41A8C45796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Oude Dieze	Goed	Oude Dieze - Zuidwal	Verkeersbrug			2090	15,3	5,3	2,1		5,3
475	6BACFC419FC45796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Molenstraat	Redelijk	Molenstraat	Verkeersbrug			2060	4,55	5	2,8		5,7
625	6BACFC41A05A5796E0535B320A0A6AF1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Prins Bernhardstraat	Goed	Synagoge brug	Fiets-voetbrug			2085	2,2	2,5	2,1		3,2
3095	D05A025B-F586-431C-BC19-C41EA01024EE	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Vismarkt	Matig	Visbrug (2e poort)	Verkeersbrug								
3328	0BE16170-8F45-4191-9C89-C592D65A3922	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Vughtestraat		Molenbrug	Overkluizing								
3329	4040DD31D-8F5E-45E1-BC91-4188859A47CD	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Kruisbroedersstraatje	Nog onbekend	Kruisbroederbrug (1)	Overkluizing								
3330	B28DFD2E-EA3D-4593-9731-ABC35F898401	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Kruisbroedersstraatje		Kruisbroederbrug (2)	Overkluizing								
3331	34C47712-A7BD-4906-89A2-7907ABCAD617	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Sint Jorisstraat		Hulsterbrug	Overkluizing								
3332	2244C072-611A-43CD-8232-DF56C453D9EB	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Keizerstraat		koningsbrug	Overkluizing								
3333	356CA2FA-A9F4-458F-9667-A74CC7DF8545	's-Hertogenbosch	Binnenstad	De Mortel		Mortelbrug	Overkluizing								
3334	1F5E0ADA-10C5-4803-84FD-E025595FBDB0	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Achter het Stadhuis		Autfortschebrug	Overkluizing								
3335	06218F8D-D9B0-4E9F-8D18-A158F230C630	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Achter het Stadhuis		Achter het Stadhuisbrug	Overkluizing								
3336	B29EA5A7-0E3F-41C8-9F46-F38B337D91D4	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Schapevmarkt		Brug op de Schapevmarkt	Overkluizing								
3337	19FF0B4B-6132-496F-86BB-5BE094569820	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Minderbroedersstraat		Minderbroedersbrug	Duiker								
3338	E2CGA1A0-4493-428F-A795-103833177877	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Postelstraat		Abtsbrug	Overkluizing								
3115	9BC8CFDD-3F88-461A-87D1-18103081CA67	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Achter de Mollen		Achter de Mollenbrug	Fiets-voetbrug								
3339	D2DB2135-EE37-489F-9ABF-3AA25B07A33F	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Capucijnenpoort		Capucijnenbrug	Overkluizing								
3342	009E9939-6AF6-463D-9736-616FC483ECA1	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Parklaan		Parklaanbrug	Overkluizing								
3344	7D1DC113-F7EB-41EE-98BF-7291DF99F285	's-Hertogenbosch	Binnenstad			Museumtuin	Overkluizing								
3341	47D0F1DF-30EE-45BD-A420-2510520CC88F	's-Hertogenbosch	Binnenstad	Spinhuiswal	Nog onbekend	Oude Kruisbroedershekel	Overkluizing					140			

ID	OBJECT_GUID	Oppervlakte	Wettelijk monumentaal status	Inspecteur	Toelichting	Eigenaar	Buurt	Aanlegjaar	Kunstwerknummer	Kunstwerk materiaal	Inspectiedatum	Aantal overspanningen
2713	6BACFC41A8825796E0535B320A0A6AF1	68,31		Westenberg - Sonnemans		Gemeente	Binnenstad oost	1975		1001 Metselwerk	16-11-2017 00:00:00	2
2808	6BACFC41A8E15796E0535B320A0A6AF1	71,66	Beschermd stadsgezicht	Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad oost	1935		1105 Metselwerk	26-6-2014 00:00:00	1
292	6BACFC419F0D5796E0535B320A0A6AF1	34,06		Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1980		1106 Beton / metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
293	6BACFC419F0E5796E0535B320A0A6AF1	35,58		Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1978		1107 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
2912	6BACFC41A9495796E0535B320A0A6AF1	14,67		Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1988		1109 Metselwerk	26-6-2014 00:00:00	1
698	6BACFC41A0A35796E0535B320A0A6AF1	30,33	Rijksmonument	Westenberg - Hoogma	gerenoveerd (1985)	Gemeente	Binnenstad oost	1978		1111 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
2403	6BACFC41A74C5796E0535B320A0A6AF1	48,41		Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad oost	1975		1112 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
699	6BACFC41A0A45796E0535B320A0A6AF1	46,38		Westenberg - Modders	Dubbele rioolzinker aangelegd onder de Dieze (1978). Toeg verlengd aan de oostzijde van de straat, bij de aanleg van de parkeergarage (1990).	Gemeente	Binnenstad oost			1113 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
697	6BACFC41A0A25796E0535B320A0A6AF1	262,19		Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1920		1115 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
696	6BACFC41A0A15796E0535B320A0A6AF1	207,81	Beschermd stadsgezicht	Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1920		1116 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
2434	6BACFC41A7685796E0535B320A0A6AF1	40,03		Westenberg - Hoogma	voetplaat stalen klappaal	Gemeente	Binnenstad centrum	1980		1148 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
3302	F1285E49-0743-4683-B25A-9337D0EF3835	27,61		Westenberg - Hoogma	1 mantelbuis onder de brug	Gemeente	Binnenstad centrum	1975		1149 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
2402	6BACFC41A7485796E0535B320A0A6AF1	140,41		Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1930		1152 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
3324	7F31568F-D3B0-4DEF-82DF-AC83704C8A0A	2105,54		Westenberg - Veen	In de leuning is Chroom-6 aanwezig. Zie onderzoek 2018. Huidige brug is gebouwd in 1992. Op deze locatie is een brug aanwezig geweest vanaf 1670. Achter de westelijke wand staat een betonnen keermuur, welke gebouwd is in 1965.	Gemeente	Het Zand	1955		1189 Beton	10-6-2014 00:00:00	
2779	6BACFC41A8C45796E0535B320A0A6AF1	233,46	Beschermd stadsgezicht	Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad oost	1992		1310 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
475	6BACFC419FC45796E0535B320A0A6AF1	24,31	Rijksmonument	Westenberg - Hoogma		Gemeente	Binnenstad centrum	1945		1390 Metselwerk	15-7-2014 00:00:00	1
625	6BACFC41A05A5796E0535B320A0A6AF1	5,96		Westenberg - Sonnemans		Gemeente	Binnenstad centrum	1995		1395 Metselwerk	16-11-2017 00:00:00	1
3095	D05A025B-F586-431C-BC19-C41EA01024EE	28,88			Achter de kopwand loopt de toog door. Onduidelijk wat zich hier achter bevind.	Gemeente	Binnenstad centrum			1669 Metselwerk	13-2-2019 00:00:00	1
3328	0BE16170-EF45-4191-9C89-C592D65A3922	45,57	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum	1664	D001	Metselwerk		1
3329	4040D31D-8F5E-45E1-BC91-4188859A47CD	11,34	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D002	Metselwerk		1
3330	B28DFD2E-EA30-4593-9731-ABC35FB98401	48,01	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D003	Metselwerk		1
3331	34C47712-A7BD-4906-89A2-7907ABCAD617	29,38	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D004	Metselwerk		1
3332	2244C072-611A-43CD-8232-DF56CA53D9E8	141,53	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D005	Metselwerk		1
3333	356CA2FA-A9F4-458F-9667-A74CC7DF8545	19,75	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D006	Metselwerk		1
3334	1F5E0ADA-10C5-4803-84FD-E025595FBD80	43,95	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D007	Metselwerk		1
3335	06218FD-D9B0-4E9F-BD18-A158F230C630	21,36	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D008	Metselwerk		1
3336	B29EA5A7-0E3F-41C8-9F46-F38B337D91D4	53,17	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D009	Metselwerk		1
3337	19FF0B4B-6132-496F-868B-5BE094569820	23,33	Beschermd stadsgezicht		Rond 1965 is de metselwerk toeg ingestort en vervangen door een betonnen koker	Gemeente	Binnenstad centrum	1966	D010	Beton		1
3338	E2CGA1A0-4493-428F-A795-103833177877	32,87	Beschermd stadsgezicht			Gemeente	Binnenstad centrum		D011	Metselwerk		1
3115	9BC8CFDD-3F88-461A-87D1-18103081CA67	18,82	Beschermd stadsgezicht		Afmetingen indicatief! Brug is niet toegankelijk voor voertuigen (aansluitende wegen ca. 150 cm breed)	Gemeente	Binnenstad oost	1880	D012	Metselwerk		1
3339	D2DB2135-EE37-489F-9ABF-3AA25B07A33F	29,38	Beschermd stadsgezicht		Onbekend hoe deze constructie eruit zien. Het kan zijn dat er slechts een betonbuis aanwezig is. Erfgoed foto 0002199, Sint-Corneliushekel.	Gemeente	Binnenstad centrum		D014	Metselwerk		1
3342	009E9939-6AF6-463D-9736-616FC483ECA1	18,75	Beschermd stadsgezicht		De hekel zelf staat niet benoemd als rijksmonument. De stadsmuur is wel een rijksmonument.	Gemeente	Binnenstad centrum		D016	Ongedefinieerd		
3344	7D1DC113-F7EB-41EE-98BF-7291DF99F285	46,86	Beschermd stadsgezicht		Waarschijnlijk aangelegd in de 14e eeuw. Houten schuif en aanpassing in 1880. Zie ook http://www.bosche-encyclopedie.nl/overig/waterstaatkundige%20werken/sluis%20(kruisbroedersheke%20).htm	Gemeente	Binnenstad centrum		D018	Metselwerk		1
3341	47D0F1DF-3DEE-45BD-A420-2510520CC88F	58,68	Beschermd stadsgezicht		De hekel zelf staat niet benoemd als rijksmonument. De stadsmuur is wel een rijksmonument.	Gemeente	Binnenstad centrum		D020	Metselwerk		1

ID	OBJECT_GUID	Beheerder	Zijaanzicht	Vooranzicht	Bouwjaar geschat	Bestandsmap	IMGEO_ID	Bestek / project	Verkeersbepalende maatregel
2713	6BACFC41A8825796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	C933CDCD-5CA0-45B6-86DC-8BE00B6AC324	166008BD-5E2C-430B-9739-B8E7EBFD99BA	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos IW 2017\1001\IMG_0602.JPG			
2808	6BACFC41A8E15796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	73C2FA0-71FD-485C-BDD8-8BA756C41803	143CB600-D5D7-49FC-9475-FFDD5117AECC	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1105\IMG_0545.JPG			
292	6BACFC419F0D5796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	B59A8E3D-9971-490F-9F07-99562CB98235	465CF0F4-56AC-44A8-99C8-D9A7F3CA969E	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1106\IMG_0460.JPG			
293	6BACFC419F0E5796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	149C2243-EC37-4326-9ECE-5C7080D22D49	1D497121-1189-42A6-943B-AE869846C9CD	Y	R:\OBJECTENBEHEER\00OBJ010 - KUNSTWERKEN\BRUGGEN TUNNELS VIADUCTEN\inspectiefotos 2014\1107\IMG_0440.JPG			
2912	6BACFC41A9495796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	940E7A73-3982-4134-9AFE-1F8B353821E6	086482DD-F609-4586-9AED-34E9F8120ADA	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1109\IMG_0002.JPG			
698	6BACFC41A0A35796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	5D208A67-43D1-48CD-8C59-0EADF01C8CDE	E18FA0C7-9CE5-45F4-A778-DA5D714251B8	Y	R:\OBJECTENBEHEER\00OBJ010 - KUNSTWERKEN\BRUGGEN TUNNELS VIADUCTEN\inspectiefotos 2014\1111\IMG_0183.JPG			
2403	6BACFC41A74C5796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	E536E585-876F-47E5-B91F-FE711D8C4241	95367A18-4748-4BC1-9B08-978A275878BE	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1112\IMG_0176.JPG			
699	6BACFC41A0A45796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	CBE1F573-D07A-4CAF-AEFD-B1CD020EA1ECA	BAC7D648-9C8E-43F1-83AB-032E1269A9A6	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1113\IMG_0591.JPG			
697	6BACFC41A0A25796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	D1FC7AE-3891-4509-B988-114480012E97	F6FD483D-876E-45EF-A9D9-FC96CD3E23A	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1115\IMG_0607.JPG			
696	6BACFC41A0A15796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	A44960D7-8E02-48B0-8C75-D1C9E089EC3C	9DA81754-DC8C-456E-971F-95607A11C31B	Y	R:\Objectenbeheer\00OBJ010 - Kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\Archief\1116 Nieuwstraat			
2434	6BACFC41A7685796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	2C80472D-5018-462E-830F-792F4F7CD7EF	08A8746C-F59C-4648-9813-758CCDC175D2	Y	R:\OBJECTENBEHEER\00OBJ010 - KUNSTWERKEN\BRUGGEN TUNNELS VIADUCTEN\inspectiefotos 2014\1148\IMG_0669.JPG	G0796.340be0864832bf87e0538d1013ac73b0		
3302	F1285E49-0743-4683-B25A-9337D0EF3835	Gemeente	C7588028-6D14-4840-8BB4-30E0599FD2BB	5B134C64-078E-49B1-A59F-8C2D227784E3	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1149\IMG_0677.JPG	G0796.340be089b3bdbf87e0538d1013ac73b0		
2402	6BACFC41A7485796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	BBF34F45-F4B2-4F53-A656-AF04D6936FC2	2F01C6EE-C7C5-42AA-8C1F-E94FFD257F4F	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1152\IMG_0710.JPG			
3324	7F31568F-D3B0-40EF-82CF-AC83704C8A0A	Gemeente	B74E505E-C0EC-4167-87FA-4482939016E	D463190C-26C0-4018-81A6-AA3541D28881	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1189\IMG_0002.JPG	G0796.340be08642e5bf87e0538d1013ac73b0		
2779	6BACFC41A8C45796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	CA40988D-8FA3-474E-846A-D67778F35FBA	CS919E4F-5A80-465D-9750-109B3868DB8F	N	R:\OBJECTENBEHEER\00OBJ010 - KUNSTWERKEN\BRUGGEN TUNNELS VIADUCTEN\inspectiefotos 2014\1310\IMG_0479.JPG			
475	6BACFC419FC45796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	CEDE3548-A9C8-4935-B686-EF84C25FF5AC	9A316F1D-1506-497F-A3A4-9D6C94D28F44	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos 2014\1390\IMG_0685.JPG			
625	6BACFC41A05A5796E0535B320A0A6AF1	Gemeente	00C23C77-797D-455E-8D55-8A815FCEC586	4BC80886-184F-4929-93F3-FE6D38F8F25E	Y	R:\objectenbeheer\00obj010 - kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\inspectiefotos IW 2017\1395\IMG_0659.JPG			
3095	D05A025B-F586-431C-BC19-C41EA01024EE	Gemeente		7F915919-93A5-4368-AE32-65C85CFE88B1		R:\Objectenbeheer\00OBJ010 - Kunstwerken\bruggen tunnels viaducten\Archief\1669 Visbrug 2e poort	G0796.7d351910f0163cf4e054022128574717		
3328	0BE16170-EF45-4191-9C89-CS92D65A3922	Gemeente							
3329	4040D31D-8F5E-45E1-BC91-4188859A47CD	Gemeente							
3330	B28DFD2E-EA30-4593-9731-ABC35FB98401	Gemeente							
3331	34C47712-A7BD-4906-89A2-7907A8CAD617	Gemeente							
3332	2244C072-611A-43CD-8232-D5F6C45D9E8	Gemeente							
3333	356CA2FA-A9F4-458F-9667-A74C7DF8545	Gemeente							
3334	1F5E0ADA-10C5-4803-B4FD-E025595F8DB0	Gemeente							
3335	06218F8D-D9B0-4E9F-8D18-A158F230C630	Gemeente							
3336	B29EA5A7-0E3F-41C8-9F46-F38B337D91D4	Gemeente							
3337	19FF0B4B-6132-496F-86BB-5BE094569820	Gemeente			Y				
3338	E2CGA1A0-4493-428F-A795-103833177877	Gemeente							
3115	98C8CFD-3F88-461A-87D1-18103081CA67	Gemeente			Y				
3339	D2DB2135-EE37-489F-9ABF-3AA25B07A33F	Gemeente							
3342	009E9939-6AF6-463D-9736-616FC483ECA1	Gemeente							
3344	7D1DC113-F7EB-41EE-A9BF-7291DF99F285	Gemeente							
3341	47D0F1DF-30EE-45BD-A420-2510520CC88F	Gemeente	446EAB6A-9D5A-4DA5-AC13-CB4C928ECD03	30889F09-4274-4578-A333-350285061187	Y				

ID	OBJECT_GUID	Constructieve veiligheid	Beheerder vakgebied	Status	X	Y	Lengte	Oppervlakt	Omtrek
2713	6BACFC41A8825796E0535B320A0A6AF1	Sd. Onderzoek 2022	Vaste kunstwerken	Bestaand				68,31046607	42,4699435
2808	6BACFC41A8E15796E0535B320A0A6AF1	Sb. Onderzoek 2020	Vaste kunstwerken	Bestaand				71,66154969	34,21252417
292	6BACFC419F0D5796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				34,05960149	26,40392381
293	6BACFC419F0E5796E0535B320A0A6AF1	Sa. Onderzoek 2019	Vaste kunstwerken	Bestaand				35,57684049	27,57261563
2912	6BACFC41A9495796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				14,67083028	15,51146645
698	6BACFC41A0A35796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				30,33091234	28,0715489
2403	6BACFC41A74C5796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				48,41125654	35,94085268
699	6BACFC41A0A45796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				46,38042884	31,86113455
697	6BACFC41A0A25796E0535B320A0A6AF1	Sa. Onderzoek 2019	Vaste kunstwerken	Bestaand				262,193178	103,6204205
696	6BACFC41A0A15796E0535B320A0A6AF1	Sa. Onderzoek 2019	Vaste kunstwerken	Bestaand				207,8051685	68,32737511
2434	6BACFC41A7685796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				40,03347598	27,24594979
3302	F1285E49-0743-46B3-B25A-9337D0EF3835	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				27,61418449	22,16461946
2402	6BACFC41A74B5796E0535B320A0A6AF1	Sa. Onderzoek 2019	Vaste kunstwerken	Bestaand				140,4113475	66,9774945
3324	7F31568F-D3B0-4DEF-82DF-AC83704CAB0A	Sa. Onderzoek 2019	Vaste kunstwerken	Bestaand				2105,544356	923,7576139
2779	6BACFC41A8C45796E0535B320A0A6AF1	Sa. Onderzoek 2019	Vaste kunstwerken	Bestaand				233,4644155	61,43911768
475	6BACFC419FC45796E0535B320A0A6AF1	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				24,31223101	19,99959179
625	6BACFC41A05A5796E0535B320A0A6AF1	Sd. Onderzoek 2022	Vaste kunstwerken	Bestaand				5,959184595	9,810489768
3095	0D5A025B-F586-431C-BC19-C41EA01024EE	Sb. Onderzoek 2020	Vaste kunstwerken	Bestaand				28,87723492	26,06679189
3328	08E16170-FF45-4191-9CB9-C592D65A3922	Sa. Onderzoek 2019	Water	Bestaand				45,56728709	30,25685386
3329	4040D31D-8F5E-45E1-BC91-4188859A47CD	Sc. Onderzoek 2021	Water	Bestaand				11,34087882	14,04550679
3330	B28DFD2E-EA30-4593-9731-ABC35FB98401	Sc. Onderzoek 2021	Water	Bestaand				48,00816392	31,25007031
3331	34C47712-A7BD-4906-89A2-7907ABCAD617	Sb. Onderzoek 2020	Water	Bestaand				29,38466424	24,40140676
3332	2244C072-611A-43CD-8232-DF56C453D9EB	Sb. Onderzoek 2020	Water	Bestaand				141,5271016	90,2289479
3333	356CA2FA-A9F4-458F-9667-A7AC7DF8545	Sc. Onderzoek 2021	Water	Bestaand				19,75409672	18,63554492
3334	1F5E0ADA-10C5-4803-84FD-E025595FBDB0	Sc. Onderzoek 2021	Water	Bestaand				43,94808651	31,49297632
3335	06218F8D-D9B0-4E9F-BD18-A158F230C630	Sc. Onderzoek 2021	Water	Bestaand				21,3623764	22,20868533
3336	B29EA5A7-0E3F-41C8-9F46-F38B337D91D4	Sb. Onderzoek 2020	Water	Bestaand				53,1671668	42,38164589
3337	19FF0BAB-6132-496F-86BB-SBE094569820	Sb. Onderzoek 2020	Water	Bestaand				23,32930887	32,9026458
3338	E2CGA1A0-4493-428F-A795-103833177877	Sb. Onderzoek 2020	Water	Bestaand				32,87344422	25,20965964
3115	98C8CFD-3F88-461A-87D1-18103081CA67	Sc. Onderzoek 2021	Vaste kunstwerken	Bestaand				18,81948134	19,77959085
3339	D2DB2135-EE37-489F-9ABF-3AA25B07A33F	Sc. Onderzoek 2021	Water	Bestaand				29,37806613	22,17352127
3342	009E9939-6AF6-463D-9736-616FC483ECA1	Sa. Onderzoek 2019	Water	Bestaand				18,75204328	18,53424949
3344	7D1DC113-F7EB-41EE-A9BF-7291DF99F285	Sd. Onderzoek 2022	Water	Bestaand				46,85575309	33,02201969
3341	47D0F1DF-3DEE-45BD-A420-2510520CC88F	Sb. Onderzoek 2020	Water	Bestaand				58,68105925	59,62207913



Wijz.	Omschrijving	Datum	Getekend	Gecontroleerd
Binnendieze 01 Binnestad Overzichtstekening Binnendieze				
Documentnaam	REB-STER-BNN-BSK-1.dgn	Bladz. 1 van 5		
Verse	Status/bewerking	Datum	Getekend	Gecontroleerd
Formaat	Besteknummer	Documenttype	Afdeling	
Schaal	1:2000	tekening		





Namen van de stroompjes in de Binnendieze

PLATTEGROND

Kaartverkoop en infobalies Kring Vrienden van 's-Hertogenbosch

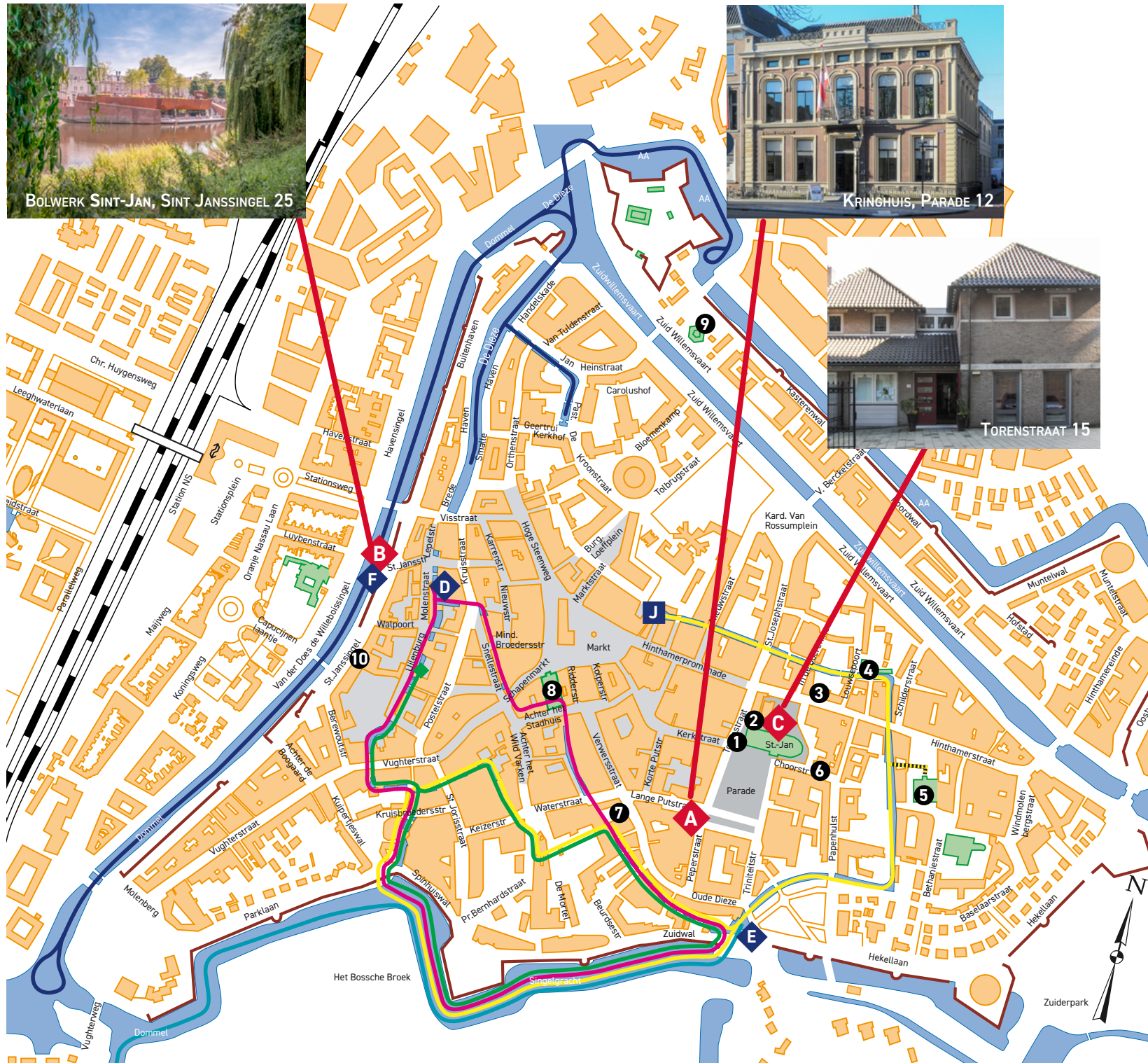
- A** Kringhuis, Parade 12, 5211 KL
- B** Bolwerk Sint-Jan, Sint Janssingel 25, 5211 DA
- C** Torenstraat 15, 5211 KK
(niet voor vaartochten)

Opstapplaats vaartochten

- D** Steiger tegenover Molenstraat 15A
Vertrekpunt voor:
 - Vestingroute
 - Historische route
- E** Steiger hoek Zuidwal-Oude Dieze
(Voldersgat)
Vertrekpunt voor:
 - Salonboot
 - Historische route
 - Jeroen Boschroute, hemel- en hellevaart
- F** Steiger Bolwerk
Vertrekpunt voor:
 - HandelsRoute
- J** Herman Moerkerkplein

Alle vaarroutes kaartverkoop bij **A** en **B**

- 1** Sint-Janskathedraal
- 2** Sint-Jansmuseum
- 3** Museum Het Zwanenbroedershuis
- 4** Oeteldonks Gemintemuseum
- 5** Jheronimus Bosch Art Center
- 6** Museum Slager
- 7** Het Noordbrabants Museum
- 8** Stadhuis
- 9** Kruithuis
- 10** Mariënborg



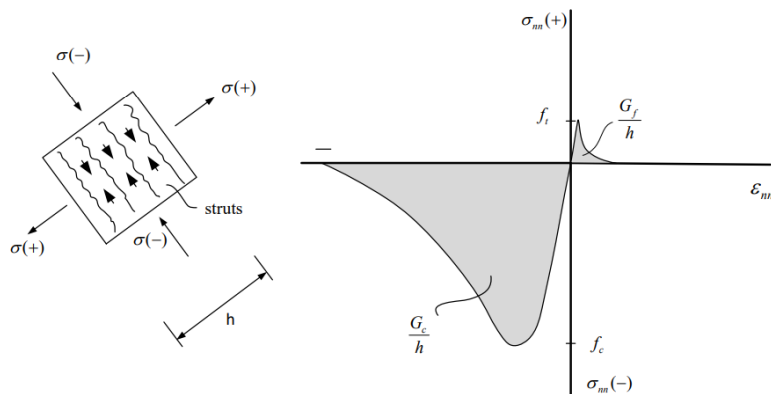


BIJLAGE 3: AANPAK DIANA FEA

1

MODELLERING METSELWERK

Hoewel metselwerk in de aard als een anisotroop materiaal moet worden beschouwd, wordt het materiaal in eindige elementen analyses vaak geïdealiseerd als een homogeen isotroop materiaal. In DIANA FEA wordt veelal het Total Strain Rotating Crack Model (TSRC-Model) gebruikt om het metselwerk op deze wijze te modelleren. Het constitutieve model op basis van total strain is ontwikkeld volgens de principes van de Modified Compression Field Theory, oorspronkelijk voorgesteld door Vecchio & Collins. Het Total Strain Crack Model volgt de 'smeared cracking' benadering. Het 'smeared cracking'-model beschouwt scheurvorming als een verdeeld effect over de elementen van het Eindige Elementen Model (EEM), waarbij scheurvorming ontstaat in de richting van de hoofdtrekspanningen (Figuur 1-1). Onder belasting wordt het metselwerk blootgesteld aan zowel trek- als drukspanningen, wat kan leiden tot scheuren en verbrijzeling van het materiaal. Hiermee wordt in het model rekening gehouden.



Figuur 1-1 Trek en druk spanning versus rek

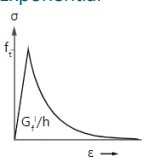
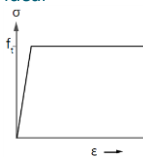
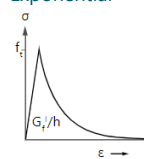
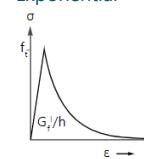
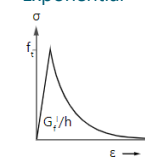
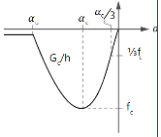
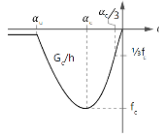
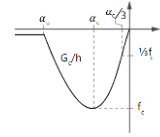
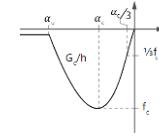
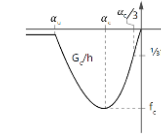
Het TSRC-Model maakt dus gebruik van isotrope parameters van het metselwerk, voor de stijfheid, de trek- en druksterkte en de breukenergie op trek en druk (beschrijvend het 'cracking/crushing' gedrag). In de formulering is de breukrek afhankelijk van de elementgrootte, door de breukenergie 'G' te consumeren over een bepaalde lengte, genaamd de scheurbandbreedte 'h' (Figuur 1-1). De berekening van de parameter 'h' is gebaseerd op de Rots-methode die afhankelijk is van de grootte, de richting van de scheur, de vorm en de interpolatiefunctie van het gebruikte eindige element [4.]. De werkelijke optredende scheurbreedte 'w' wordt berekend door de breukrek te vermenigvuldigen met de scheurbandbreedte. Op deze wijze wordt de invloed van de element-grootte op de scheurbreedte ('mesh afhankelijkheid') zoveel als mogelijk gereduceerd. Een gevoeligheidsstudie van het scheurgedrag van metselwerkwallen gemodelleerd met verschillende element-grootte is uitgevoerd in [8.]. De resultaten in termen van schade en scheurbreedte veranderen nauwelijks voor verschillende element-grootte. Het mogelijke afschuifgedrag wordt eveneens berekend volgens de hoofdspansingsrichtingen.

Het gebruik van het Total Strain Rotating Crack-model wordt aanbevolen voor bros materiaal zoals beton en metselwerk. Uit testvalidaties is gebleken dat het Total Strain Rotating Crack-model een efficiënt en goed model is voor gedrag van metselwerk onder unidirectionele belasting [6.]. Meer informatie over het materiaalmodel is te vinden in [4.].

Voor de drukspanning kan een parabolisch gedrag worden gekozen voor zowel de BGT als de UGT-berekeningen [6.]. Voor de trekspanning kan een exponentiële softening curve voor BGT-berekeningen (simulatie van het werkelijke gedrag) en initieel een elastoplastische curve voor UGT-berekeningen gekozen (Tabel 1-1). Het laatste kan worden gecombineerd met de gepresenteerde aanpak in het rapport om de treksterkte van het metselwerk in een UGT-berekening te verwaarlozen en deze zo laag als mogelijk te nemen zonder numerieke instabiliteit te veroorzaken. Echter, dit uitgangspunt kan detectie van verkeerde faalmechanismes

opleveren. Het metselwerk bezit immers in bepaalde spanningsrichtingen zeker wél een bepaalde treksterkte. Daarom is het aan te bevelen om de invloed van de aanname t.a.v. de treksterkte altijd te onderzoeken middels een gevoeligheidsanalyse waarin het wegvallen van de treksterkte ná scheuren fysiek wordt gemodelleerd. Daartoe kan opnieuw een exponentiële softening curve worden gekozen voor de UGT-berekening. In deze gevoeligheidsanalyse dienen de parameters die de softening curve beschrijven te worden gevarieerd. Een voorbeeld voor verschillende type analyses (UGT-GRF, UGT-GRF2 of UGT-PF) is gegeven in Tabel 1-1. In de tabel wordt rekening gehouden met de bijbehorende veiligheidsfactoren op de overige materiaal parameters. De breukenergie op druk en de trekenergie op trek worden respectievelijk berekend met de formules $G_{fc} = 15 + 0,43 \times f_c - 0,0036 \times f_c^2$ en $G_{ft} = 0,025 (2 \times f_t)^{0,7}$ uit [6.] Deze zijn gebaseerd op experimentele testen [6.].

Tabel 1-1 Total Strain Rotating Crack Model parameters

TSCM	Eenheid	BGT	UGT-GRF	UGT-GRF	UGT-PF	UGT-GRF2
E	MPa	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
ν	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
γ	kN/m ³	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Scheur oriëntatie	-	Rotating	Rotating	Rotating	Rotating	Rotating
f_t	MPa	0,10	0,005	gevoeligheidsanalyse e.g. $f_t = \{0,01; 0,03; 0,05; 0,07\}$		
Trekcurve	-	Exponential 	Ideal 	Exponential 	Exponential 	Exponential 
$G_{ft,I}$	N/m	10,0	-	$G_{ft} = 0.025 (2 \times f_t)^{0,7}$		
Scheurband breedte 'h'	-	Rots	Rots	Rots	Rots	Rots
f_c	MPa	8,5	5,0	5,0	2,27	2.73
drukcurve	-	Parabolic 	Parabolic 	Parabolic 	Parabolic 	Parabolic 
G_{fc}	N/m	20 000	17 060	17 060	15 958	16 147

2

VEILIGHEIDSFILOSOFIE

2.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zal worden toegelicht hoe de toegelichte modelleringsaanpak in het voorgaande hoofdstuk kan worden gebruikt om BGT- en UGT-toetsing uit te voeren. Hierbij is zoveel als mogelijk vermeden om de informatie t.a.v. de algemeen geldende aanpak (zoals gepresenteerd 9) te herhalen.

2.2 BGT

De BGT wordt berekend met karakteristieke waarden van de verschillende grootheden. In de BGT worden de vervormingen en scheurvorming gecontroleerd. In de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt wel rekening gehouden met de treksterkte van het metselwerk. Omdat middels de toegelichte modellering van het metselwerk in het voorgaande hoofdstuk de scheurwijdtes en bijbehorende lengtes kunnen worden uitgelezen, kan onderstaand criterium worden gebruikt om de constructie te beoordelen in de BGT.

In de periode van 2017-2019 is een experimenteel en numeriek onderzoek over de BGT-toetsing van metselwerk-constructies door de TU Delft uitgevoerd [7.]-[9.]. Het onderzoek richtte zich op het definiëren en kwantificeren van lichte schades. In dit onderzoek wordt een nieuwe, dimensie loze parameter voor het schade-niveau (ψ) voorgesteld. De parameter beschrijft het totaal van zichtbare scheuren in één getal zodat de smalste zichtbare scheuren met een breedte van 0,1 mm (scheuren kleiner dan 0,1 mm zijn moeilijk te zien met het blote oog) resulteren in een waarde van ongeveer één ($\Psi = 1$). Iets grotere scheuren van bijna 1 mm breedte komen overeen met twee ($\Psi = 2$) en scheuren van ongeveer 4 mm breed geven een waarde van drie ($\Psi = 3$). De bijbehorende schadeniveaus zoals weergegeven in tabel 2-1 zijn op het gemak van eventueel herstel gebaseerd. De parameter Ψ beschrijft deze kwalitatieve en benaderende beschrijvingen op een kwantitatieve en reproduceerbare manier. De nieuwe parameter ψ omvat het aantal scheuren, de scheurbreedte en de scheurlengte met een wiskundige uitdrukking die de schade objectief kwantificeert. De parameter wordt berekend volgens de formules van afbeelding 2.1.

Afbeelding 2.1 Formules schade-parameter (ψ) [9.]

$$\Psi_D = 2 \cdot n_c^{0.15} \cdot c_w^{0.3}$$
$$\psi = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} c_{w,i}^2 \cdot c_{l,i}}{\sum_{i=1}^{n_c} c_{w,i} \cdot c_{l,i}}$$

In de formules staat n_c voor het aantal scheuren in de constructie en c_w is de breedte gewogen en lengte gemiddelde scheurbreedte (in mm). De parameter c_w is de maximale scheurbreedte langs elke scheur (gemeten op het breedste punt) in mm en c_l is de scheurlengte in mm.

Tabel 2-1 Opdeling van de schadeparameter in schade-subniveaus [9.]

Damage State	DS0	DS1			DS2
Damage Level	DL0	DL1	DL2	DL3	DL4
parameter van schade	$\psi < 1,0$	$1,0 \leq \psi < 1,4$	$1,5 \leq \psi < 2,4$	$2,5 \leq \psi < 3,4$	$\psi \geq 3,5$
geschatte scheurbreedte	onmerkbaar scheuren	tot 0,1 mm	tot 1 mm	Tot 5 mm	5 - 15 mm
schadebeschrijving	-	haarscheurtjes	fijne scheurtjes. Misschien geïsoleerde lichte breuk in	verschillende lichte breuken in de constructie.	openstaande scheuren waar de twee losse metselwerk delen

Damage State	DS0	DS1			DS2
Damage Level	DL0	DL1	DL2	DL3	DL4
parameter van schade	$\psi < 1,0$	$1,0 \leq \psi < 1,4$	$1,5 \leq \psi < 2,4$	$2,5 \leq \psi < 3,4$	$\psi \geq 3,5$
			de constructie. Scheuren in metselwerk zichtbaar bij nadere inspectie	Scheuren zijn zichtbaar en mogelijk moet er worden gerepareerd om de waterdichtheid te garanderen	zichtbaar van elkaar verplaatst zijn. Vaak water- en zandvoerend

De BGT-berekening kan op basis van een aangenomen maximale vervorming (e.g. $L/300$) en schadebeperkingen (DS1-DL2) getoetst (geschatte scheurbreedte tot 1 mm). Bij schadeniveau DS1-DL2 worden alleen kleine scheuren verwacht. Dit is acceptabel als BGT-limiet van een oude metselwerkconstructie die al scheuren heeft. Volgens het concept gepresenteerd in [7.], zou DS1-DL1 (geschatte scheurbreedte tot 0,1 mm) een te streng criterium zijn voor een oude metselwerkconstructie, waarin dergelijke scheurbreedtes niet eens zouden kunnen worden waargenomen.

Veelal zullen de vervormingen van de boogconstructie ruim binnen de algemene grenzen ($L/300$) vallen en niet maatgevend zijn. Als aan een van de twee condities (vervorming of schadebeperking) niet is voldaan, wordt de toets als niet voldoende beschouwd. Specifiek die locaties behoeven extra aandacht bij inspectie om te controleren of de geschatte scheurvorming in werkelijkheid ook optreedt. Als ook de scheurvorming daadwerkelijk optreedt, dient deze gemonitord te worden (of deze toeneemt) en moet overwogen worden om de (verkeers)belasting te verlagen.

2.3 UGT

In de toetsingsprocedure voor de UGT wordt in dit rapport ervan uitgegaan dat het metselwerk geen of weinig trek op kan nemen. Dit om het wegvallen van de treksterkte na scheuren te kunnen meenemen in de modellering. Omdat een absolute waarde van 0 veelal voor instabiliteit in de niet-lineaire berekeningen zorgt, is in de berekeningen initieel een zeer lage plastische/constante waarde (0,005 MPa) voor de treksterkte aanbevolen. In DIANA FEA kan deze benadering ook worden gevolgd, zoals gepresenteerd in het voorgaande hoofdstuk. Het is echter aan te bevelen om het wegvallen van de treksterkte in DIANA FEA fysiek te modelleren, daar dit uitgangspunt (treksterkte gelijk aan 0) soms onrealistische faalmechanismes oplevert. Het is ten allen tijde zeer aan te bevelen om de gevoeligheid van de parameters die het bezwijken in trek beschrijven te onderzoeken en de invloed daarvan op de capaciteit te beoordelen.

IV

BIJLAGE 4: VOORBEELD INVOERSHEET MEXE-THEORIE

Classificeren van metselwerk boogconstructies obv de MEXE theorie

Gemeente:

Versie:

Datum:

Auteur:

Controle:

Controle:

Datum:

Parameters : Zie figuur rechts >>

Overspanning boog (binnen maat) = l

Boogdikte bij de kruin = d

Dikte aanvulling = h

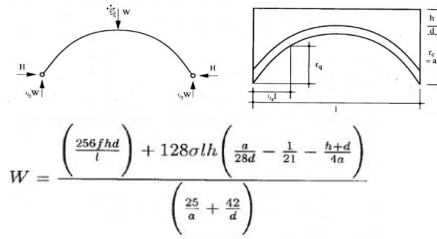
Steekhoogte boog = a

Druksterkte materiaal = f

Volumieke massa aanvulling = σ

Gemiddelde druksterkte metselwerk, $f_{m,act}$ = N/mm²

Volumieke massa (grond)aanvulling = kN/m³



Nr.	Kunstwerk nummer	Kunstwerknaam	Gebruik	Historie		GEOMETRIE [m]				Bezwijkbelasting	Onderhoudstoestand		Advies
				Brug op locatie sinds	Herbouw(boog) & onderhoud	L	d	h	a	W [ton]	Zettingen & scheuren	Toestand metselwerk	
1			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
2			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
3			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
4			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
5			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
6			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
7			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
8			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
9			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
10			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
11			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
12			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
13			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
14			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
15			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
16			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
17			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
18			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
19			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
20			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
21			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
22			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
23			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
24			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
25			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
26			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
27			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
28			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
29			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
30			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
31			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
32			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
33			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
34			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
35			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
36			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
37			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
38			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
39			wegverkeersbrug							#DIV/0!			
40			wegverkeersbrug							#DIV/0!			