



RWS BEDRIJFSVERTROUWELIJK

Rijkswaterstaat Grote Projecten en Onderhoud
t.a.v. DT GPO
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

**Rijkswaterstaat Grote
Projecten en Onderhoud**

Griffioenlaan 2
3526 LA Utrecht
Postbus 2232
3500 GE Utrecht
T 088 797 21 11
www.rijkswaterstaat.nl

memo

Advies over betonnen bruggen met staal gevoelig voor
waterstofverbrossing

Contactpersoon

Bescherming persoonlijke levenssfeer

████████████████████

██████████

█ ██████████

████████████████████

Datum

10 december 2024

Versie Status

1.0 Definitief

Kenmerk nummer:

RWS-2024/ 40864

Geachte DT-leden GPO,

In dit memo wordt namens de afdeling Bruggen en Viaducten een advies gegeven over 13 betonnen bruggen en viaducten waarvan bekend is dat hierin voorspanstaal gevoelig voor waterstofverbrossing is toegepast. Zie bijlage 1 voor het overzicht van deze 13 constructies, die in het verleden door Rijkswaterstaat zijn gebouwd.

Het advies is om deze betonnen bruggen en viaducten binnen een periode van 5 jaar te gaan vervangen (uitfaseren). De belangrijkste overwegingen voor dit advies zijn de onzekerheid over de constructieve veiligheid, de twijfel die bestaat over het waarschuwend vermogen van de constructies en de uitdagingen omtrent het 'precies op tijd' (tijdig en adequaat) handelen bij waarschuwingen vanuit monitoring.

Een belangrijke aanleiding voor de nu voorgestelde gewijzigde strategie rondom betonconstructies met mogelijke waterstofverbrossing, is de recente instorting van de Carolabrücke in Dresden Duitsland. Dit gebeurde zonder duidelijke waarschuwing vooraf, terwijl de eerdere strategieën voor behoud van de constructies gebaseerd waren op dit waarschuwend vermogen. Vanuit de Duitse evaluatie van de instorting van de brug volgde tevens het signaal dat Duitsland de bestaande methodiek voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van deze kunstwerken wil gaan aanpassen.

Op de volgende pagina's is het advies voor de vervanging van de 13 bruggen en viaducten en de onderbouwing daarvan nader toegelicht.

Aanleiding

Op 11 september 2024 is de Carolabrücke in Dresden ingestort. De eerste resultaten van de onderzoeken naar de oorzaken van het instorten van de Carolabrücke zijn inmiddels bekend. Het is vrijwel zeker dat het gebruik van veredeld voorspanstaal de oorzaak is. In dit staal kan intern geïnitieerde corrosie optreden waardoor de wapening zijn functie verliest en de constructie zonder duidelijke waarschuwing vooraf kan bezwijken. Dit mechanisme is op hoofdlijnen vergelijkbaar met het faalmechanisme van de trekankers van de Vlaketunnel en Prinses Margrietunnel.

**Rijkswaterstaat Grote
Projecten en Onderhoud**

Datum

10 december 2024

Toelichting waterstofverbrossing

In staal dat gevoelig is voor waterstofverbrossing kan makkelijker/eerder draadbreek optreden dan gebruikelijk. De oorzaak van deze draadbreek(en) zijn precracks, kleine scheurtjes in het staal die ontstaan door corrosie vóór het aanbrengen van de corrosiebescherming. Uit materiaalproeven blijkt dat de belangrijkste parameter op ontstaan van waterstofverbrossing het materiaal zelf is, niet zozeer de samenstelling of aanbrengingswijze. Deze vorm van spanningscorrosie vindt dus plaats vóór het injecteren (of conserveren) van de draden tijdens de bouwfase. Een draadbreek kan vervolgens overal in de voorspankabel plaatsvinden, en op elk tijdstip, zelfs als de voorspankanalen nadien goed zijn geïnjecteerd en er geen corrosieve omstandigheden in het beton heersen. Draadbreek kan dus ook tientallen jaren na de realisatie plaatsvinden wat het geval was bij de Carolabrücke. Het gebruik van nagespannen voorspanning in kanalen (Carolabrücke) of het gebruik van voorgerekt staal zonder kanalen, zoals bij Steenenhoek, maakt geen wezenlijk verschil ten aanzien van het optreden van waterstofverbrossing.

Bestaande methodiek(en) beoordeling constructieve veiligheid

In Nederland zijn de bewuste staalsoorten in betonconstructies beperkt toegepast. De constructies met voorspanstaal gevoelig voor waterstofverbrossing zijn in de jaren 1999-2003 door Rijkswaterstaat geïnventariseerd. TNO kwam destijds al tot de conclusie dat het niet mogelijk was om tot een eensluidend oordeel te komen ten aanzien van de constructieve veiligheid. TNO adviseerde daarom dat de verhoogde gevoeligheid voor waterstofverbrossing reden was om het gedrag van de constructies te monitoren. Deze monitoring heeft maar op enkele constructies voor enkele jaren plaatsgevonden en is dus momenteel niet meer aanwezig.

In Duitsland worden deze bruggen en viaducten (ca 1000 kunstwerken) sinds 2011 getoetst volgens de "Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion" (BASt 06/2011). Uitgangspunt van deze handleiding is dat beheerders kunnen vertrouwen op het waarschuwend vermogen van de constructie door het optreden van scheurvorming (ruim) voordat de constructie bezwijkt.

De Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK) schrijft dan ook voor om bij een constructieve beoordeling van kunstwerken waarin deze voorspanstaalsoorten gebruikt zijn, aanvullend onderzoek te doen die overeenkomt met de uitgangspunten van de Duitse handleiding. Voor zover bekend is slechts zeer beperkt ervaring met het toetsen volgens deze handleiding (bij RWS alleen viaduct 37H-003-11 J.F.Kennedyweg en de nog lopende beoordeling van 38G-103-01 Steenenhoek in project A27 Houten Hooipolder). Tevens staat in de RBK dat de belastingen op deze kunstwerken niet mogen worden verhoogd.

In Duitsland wordt de handleiding nu, naar aanleiding van het, zonder duidelijke waarschuwing, instorten van de Carolabrücke geëvalueerd. De meest recente berichtgeving is dat het bezwijken van de Carolabrücke een reden is om af te stappen van de huidige aanpak waarbij wordt vertrouwd op waarschuwend vermogen. In de nieuwe Duitse aanpak wordt een risico-inschatting per brug gemaakt, waarna risicovolle bruggen worden uitgerust met een monitoringssysteem op basis van akoestische emissie (AE) sensoren. Een openstaande en cruciale vraag hierbij is welk risico een beheerder en/of overheid bereid is om te accepteren. Dit omdat de kans op bezwijken door aantasting van de wapening aanwezig blijft (zie ook de beheersmaatregel monitoring en de overwegingen) en het aantal reeds bezweken voorspankabels onbekend is.

Beheersmaatregelen

Op hoofdlijnen zijn er twee mogelijke beheersmaatregelen om de kans op bezwijken van constructies door waterstofverbrossing te beperken: (1) de constructies vervangen en (2) het monitoren van de constructies. Versterken van deze constructies wordt niet haalbaar geacht omdat het vrijwel onmogelijk is om de voorspanwapening in deze constructies gefaseerd/stapsgewijs te vervangen.

N.B. het aanpassen c.q. verbreden van deze constructies, waarbij de krachtsverdeling wijzigt, wordt om evidente redenen dan ook sterk afgeraden.

Constructies vervangen

Het risico op bezwijken van de constructies ontstaat door de kans op draadbreek, of meerdere draadbreken, in het voorspanstelsel in het dek. Aangezien het tijdstip en de plaats van een eventuele draadbreek moeilijk voorspelbaar is, is vervanging van het dek de enige beheersmaatregel om de kans op bezwijken van het dek volledig weg te nemen.

Het advies is daarbij om het dek, waarin het veredeld voorspanstaal aanwezig is, te vervangen. De meeste constructies op de lijst (zie bijlage 1) zijn gebouwd eind jaren 50, begin jaren 60 van de vorige eeuw waardoor een volledige vervanging van de bruggen en viaducten mogelijk aan te bevelen is. Dit laatste ook om tot een voorspelbare en programmeerbare opgave van brugvervangingen te komen en niet een nieuw dek (met levensduur 100 jaar) op een al 75 jaar oude onderbouw te plaatsen.

Monitoren

Zowel het advies van TNO als het vernieuwde Duitse advies gaan uit van een monitoringstrategie. Dit kan doormiddel van AE-sensoren die een draadbreek kunnen detecteren en/of met een verhoogd inspectieregime waarbij met name het ontstaan van (nieuwe) scheuren en het toenemen van de doorbuiging in de gaten gehouden moeten worden. Een nadeel is dat de nul-situatie van de constructie niet exact bekend is, zodat het niet duidelijk is of er al schade is opgetreden voorafgaand aan de plaatsing van het monitoringssysteem. Er kan op specifieke locaties aanvullend onderzoek worden gedaan naar de huidige status van het voorspanstaal, het is echter praktisch vrijwel ondoenlijk om een representatief deel van het voorspanstaal te onderzoeken.

Monitoring kan eventueel ook ingezet worden als een overbruggingsmaatregel tot aan vervanging.

Overwegingen omtrent de beheersmaatregelen

De volgende aspecten omtrent de uitvoerbaarheid van de beheersmaatregelen en de kans van bezwijken van de constructies zijn meegewogen in het advies.

Rijkswaterstaat Grote
Projecten en Onderhoud

Datum

10 december 2024

- Scheurvorming/draadbreek door waterstofverbrossing is een fenomeen dat optreedt bij veredeld voorspanstaal door de gebruikte productiemethode. De effecten en risico's kunnen echter nog versterkt worden wanneer er tijdens plaatsing water bij het staal is gekomen, of wanneer er andere degradatie-effecten zijn (bijv. corrosie door chloride indringing). De gevolgen van waterstofverbrossing zijn dat de taaiheid van het staal afneemt waardoor de weerstand tegen scheurgroei ook afneemt. Een kleine imperfectie leidt dan tot een brosse draadbreek. Tevens heeft de afname van de taaiheid invloed op de vermoeiingssterkte van het staal.
De effecten van waterstofverbrossing zijn vaak kwalitatief beschreven maar moeilijk te kwantificeren in een constructie. Hier is heel veel onderzoek voor nodig en het is praktisch vrijwel ondoenlijk om een representatief deel van het voorspanstaal te onderzoeken. Bijvoorbeeld bij het TNO onderzoek naar mogelijke waterstofverbrossing in het viaduct bij Breda [1] is in totaal 16 meter draad onderzocht. Dit maakte maar 0,13‰ uit van de totale draadlengte van de voorspanning. Om bovenstaande redenen is in dit memo het uitvoeren van dergelijke inspecties niet als mogelijke beheersmaatregel opgenomen.
- Aangezien meestal de exacte status van het aantal intacte draden in het voorspanstelsel niet bekend zal zijn, moet er bij toepassing van een monitoringstelsel ruimte zijn voor voldoende waarschuwend vermogen. Draadbreek is bijvoorbeeld detecteerbaar door een sensorsysteem van AE-sensoren te plaatsen. Ook een toename in de vervorming en/of scheurwijdtes in het beton kunnen gemeten worden. Wat echter vaak niet duidelijk is, is hoeveel schade er al opgetreden was voor de plaatsing van het monitoringstelsel, en daarmee in hoeverre de constructie van zijn bezwijkpunt af is.
Een tweede aspect rondom de vraag of een constructie voldoende zou waarschuwen is het verschil in ontwerpen tussen Nederland en Duitsland. In Nederland is er in vergelijking met de Duitse constructies minder traditionele wapening toegepast en een hogere benutting van het voorspanstaal, waardoor de herverdelingsmogelijkheden bij het ontstaan van schade beperkter zijn.
- Monitoring zou een goedkoper en qua hinder minder ingrijpend alternatief zijn dan vervanging van de constructies, maar gezien bovenstaande 2 punten is het lastig om met dit soort systemen alle risico's af te dekken en daarmee de constructieve veiligheid te borgen (conform het in Nederland wettelijk niveau: Besluit Bouwerken Leefomgeving, dat verwijst naar de NEN8700 serie voor bestaande bouwwerken). Daarnaast is het uitvoeren van de benodigde aanvullende onderzoeken en het instellen en onderhouden van de monitoringssystemen niet alleen zeer specialistisch werk maar ook arbeidsintensief. Daarom wordt monitoren als beheersmaatregel niet geadviseerd.
- Tot slot geldt dat bij plaatsing van een monitoringstelsel ook de vervolgstappen (vooraf) georganiseerd moeten zijn omtrent het 'precies op tijd' handelen. In een netwerk zoals het hoofdwegennet van Nederland betekent dit dat zodra een alarm van het monitoringstelsel afgaat dat alsnog de snelweg per direct afgesloten moet worden en pas weer na

aanvullend onderzoek opengesteld kan worden. Of dat er misschien wel extra beheermaatregelen genomen moeten worden voorafgaand aan die openstelling, zoals verkeersbeperkingen of het plaatsen van een ondersteuningsconstructie. Deze zaken zijn op dit moment nog niet gestructureerd georganiseerd en zijn wel een randvoorwaarde voor het borgen van constructieve veiligheid op basis van monitoring. Daarom wordt monitoren als beheersmaatregel niet geadviseerd.

Advies

Op basis van bovenstaande overwegingen is het advies van de afdeling Betonnen Bruggen en Viaducten om de betonnen bruggen en viaducten met voorspanstaal gevoelig voor waterstofverbrossing binnen en periode van 5 jaar te gaan vervangen (uitfaseren).

Naar de mening van de afdeling Betonnen Bruggen en Viaducten zijn er te veel onzekerheden omtrent het waarschuwend vermogen van de constructies en het 'precies op tijd' handelen bij waarschuwingen vanuit monitoring, om de huidige werkwijze als basisstrategie te blijven handhaven. Het borgen van de constructieve veiligheid van de benoemde 13 bruggen en viaducten met deze methode is in onze ogen onvoldoende.

Dit advies betekent niet dat al deze bruggen en viaducten op dit moment constructief onveilig zijn. Het is echter anderzijds ook niet mogelijk om met voldoende zekerheid vast te stellen dat de constructies wel constructief veilig zijn.

Tot slot willen we nog enkele aandachtspunten meegeven:

- De bruggen Steenenhoek west en oost (38G-103-01/02) vallen momenteel onder project A27 Houten Hooipolder. Het zou een mooie meekoppeling zijn als dit project de vervanging zou kunnen uitvoeren.
- Voor de bruggen en viaducten die niet meer in beheer zijn bij Rijkswaterstaat (zie bijlage 1) geldt dat we als Rijkswaterstaat de verantwoordelijkheid hebben om de andere beheerders op de hoogte te stellen van het geconstateerde risico.
- Indien de tijdspanne van 5 jaar tot aan vervanging niet gehaald wordt, wordt geadviseerd om in de overbruggingsperiode tot aan vervanging extra maatregelen te nemen door middel van een combinatie van inspecties, berekeningen en het plaatsen van een monitoringssysteem.

Bescherming persoonlijke levenssfeer

[1] TNO Rapport 2000-BT-MK-R0334 Onderzoek naar mogelijke waterstofverbrossing van voorspanstaal in viaduct Breda (44D-114), 13 april 2001

Bijlage 1 Kunstwerken met veredeld voorspanstaal en verhoogde kans op waterstofverbrossing

Rijkswaterstaat Grote
Projecten en Onderhoud

Het advies in dit memo betreft de volgende 13 kunstwerken:

Datum
10 december 2024

BO_code	BO_naam	Beheerder	BO_arch	stichtjaar	Voorspansysteem
37H-003-11	J.F.Kennedyweg	RWS	37H-105	1962	Polensky en Zöllner
38G-103-02	Steenenhoek oost	RWS	38G-103	1959	Neptun Oval 30
38G-103-01	Steenenhoek west	RWS	38G-103	1959	Neptun Oval 30
44D-114-01	Cadettencamp Oost	RWS	44D-114	1961	Polensky en Zöllner
44D-114-02	Cadettencamp West	RWS	44D-114	1961	Polensky en Zöllner
51G-107-01	Spoorviadukt noord	RWS	51G-107	1962	Polensky en Zöllner
51G-107-02	Spoorviadukt zuid	RWS	51G-107	1962	Polensky en Zöllner
44D-106-01	Oosterhoutse Brug Noord	RWS	44D-106	1960	Polensky en Zöllner VO100
44D-106-02	Oosterhoutse Brug Zuid	RWS	44D-106	1960	Polensky en Zöllner VO100
40B-108-02	Rozendaals viaduct - Oost	RWS	40B-108	1957	Freyssinet st135/170
40B-108-01	Rozendaals viaduct - West	RWS	40B-108	1957	Freyssinet st135/170
37H-001-01	Algerabrug	RWS	37H-101	1958	Onbekend
37E-003-03	V20-13 /Kleinpolderplein	RWS	37E-109	1969	KA-systeem KA 141/140

De volgende kunstwerken vallen buiten de scope van dit memo omdat ze op dit moment niet in beheer zijn bij Rijkswaterstaat of omdat er nog nader onderzoek naar het staaltpe gedaan moet worden.

Wel geldt voor de viaducten die niet in beheer zijn bij Rijkswaterstaat, dat we als Rijkswaterstaat de verantwoordelijkheid hebben om de andere beheerders op de hoogte te stellen van het geconstateerde risico.

BO_code	BO_naam	Beheerder	BO_arch	stichtjaar	Voorspansysteem
40B-107-01	Spoorviaduct Europaweg	RWS	44D-106	1960	'Zusje' 44D-106-01/02
40B-107-02	Spoorviaduct Europaweg	RWS	44D-106	1960	'Zusje' 44D-106-01/02
Niet in beheer bij RWS:					
37E-003-04	Stadhoudersweg oost	Gemeente	37E-110	1969	KA-systeem KA 141/140
37E-003-06	Stadhoudersweg west	Gemeente	37E-112	1969	KA-systeem KA 141/140
37E-003-07	Stadhoudersweg centraal	Gemeente	37E-113	1969	KA-systeem KA 141/140
16G-100-01	'Spoorlijn Meppel'	Gemeente	16G-100	1958	Onbekend