
Aanpak Rijkswaterstaat voor tanden en nokken

Beoordeling bruggen en viaducten
via Raamovereenkomst Herberekeningen



Rijkswaterstaat beheert circa 110 bruggen en viaducten met tanden en nokken, grotendeels gebouwd in de jaren zeventig. De tanden en nokken kennen risico's door onjuiste wapeningsdetaillering en door corrosie als gevolg van lekkende voegovergangen en blootstelling aan dooizouten. Hierdoor naderen veel van de bruggen en viaducten versneld het einde van de technische levensduur. Rijkswaterstaat heeft een groepsgewijze aanpak ontwikkeld, die bestaat uit archiefstudies, gerichte technische inspecties, herberekeningen en adviezen over de constructieve veiligheid. Waar nodig worden tijdelijke beheersmaatregelen genomen om de constructieve veiligheid te borgen.

In dit artikel wordt de problematiek van de tand-nokconstructies (constructie waarbij een ligger of dek via een tand is opgelegd op een nok aan de naastgelegen constructie, fig. 2) toegelicht.

Vervolgens wordt dieper ingegaan op de aanpak die Rijkswaterstaat heeft ontwikkeld om de bruggen en viaducten te beheren en indien nodig beheersmaatregelen te nemen.

Waarom tanden en nokken?

Tanden en nokken zijn bij Rijkswaterstaat met name toegepast in fly-overs en in viaducten met springwerken (viaducten met als ondersteuning een schuine stut, als onderdeel van een driehoek). Een bekend voorbeeld van fly-overs met tanden en nokken is Prins Clausplein (zie artikelen 'Nieuwe inspectiemethode geeft zicht op kritische tand-nokconstructies' en 'Risicogestuurde beoordeling constructieve veiligheid', elders in dit nummer). Een voorbeeld van een viaduct met springwerken en tanden en nokken is knooppunt Velperbroek (zie artikel 'Viaducten knooppunt Velperbroek tijdelijk ondersteund').

auteur



**IR. KEES JAN
VAN DER WILT**

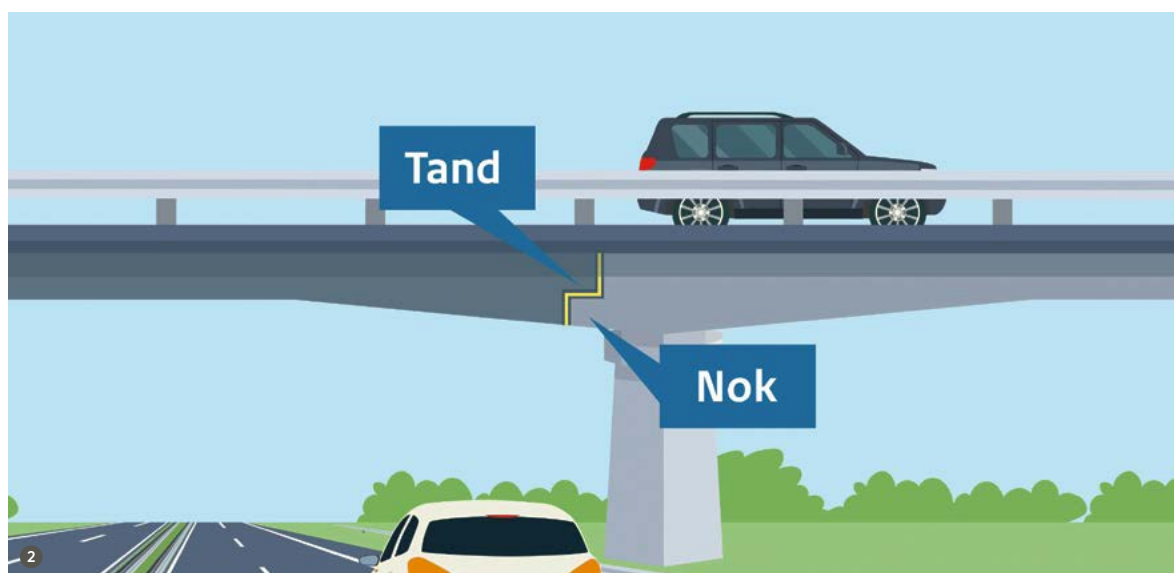
Coördinerend
Technisch Adviseur
Bruggen en Viaducten
Rijkswaterstaat

Door het toepassen van tanden en nokken kan slanker worden ontworpen en een grotere overspanning worden gehaald. Slanker ontwerpen leidt tot lagere materiaalkosten en minder grondverzet. Ook voor architecten geniet slanker ontwerpen de voorkeur. Het wordt over het algemeen mooier gevonden dan het alternatief: stapelen van het brugdek op een oplegbalk of -wand. Doordat het inhangdek (met de tand) vaak wordt geprefabriceerd, is er op de bouwlocatie minder hinder en hoeft de weg niet (langdurig) te worden gestremd. Grotere overspanningen worden verkregen door het toepassen van lange tafelconstructies of springwerken. Hierdoor is ondanks de beperkte dekhoogte een lange overspanning mogelijk.

Nadelen van tanden en nokken ontstaan met name in de beheer- en onderhoudsfase.

Problematiek tanden en nokken

Tanden en nokken vormen een kritisch onderdeel van de totale constructie van een brug of viaduct. Als een tand of nok faalt, betekent dit automatisch dat het volledige brugdek faalt. Een voorbeeld waarbij een →



falende nok heeft geleid tot het bezwijken van de brug is de Ponte di Annone in Brianza, Italië, waarbij het brugdek op de onderliggende snelweg terecht kwam (2016).

Tanden en nokken kennen twee hoofdproblemen, namelijk een onjuist ontwerp van de wapening en een afname van de draagkracht door aantasting (corrosie) van de wapening.

Wapeningsdetaillering De onjuiste wapeningsdetaillering is in 2008 al uitgebreid toegelicht in *Cement* (zie dossier 'Tanden en nokken') en kort samengevat in het artikel 'Detaillering tand-nokconstructies' elders in dit nummer. Kort gezegd gaat het om drie problemen: ophangwapening die de verkeerde kant is opgebogen (fig. 3), de diagonale wapening die niet goed is verankerd en een te korte trekbandwapening.

Aantasting Aantasting van de tanden en nokken ontstaat doordat aan de bovenzijde van het dek, tussen de tand en nok, een voegovergang aanwezig is. Bij voegovergangen treedt regelmatig (na verloop van tijd) lekkage op, wat ervoor zorgt dat water met dooizouten langs de tanden en nokken kan stromen. Als dooizouten vervolgens indringen in het beton, kan na een bepaalde tijd corrosie van de wapening optreden. Omdat bij sommige tanden en nokken een scheur in de keel (binnenste hoek van de tand of

nok) optreedt, kan de corrosie ook zeer lokaal ontstaan, in de vorm van putcorrosie.

Of al corrosie is opgetreden bij de tanden en nokken is vaak moeilijk vast te stellen, omdat de nok moeilijk inspecteerbaar is. Zeker de keel van de nok (foto 4) is moeilijk of zelfs helemaal niet inspecteerbaar. Dit komt doordat de voegruimte vol zit met vuil of tempex dat tijdens de bouw is toegepast. Als de voegruimte wel open is, dan is deze alsnog moeilijk inspecteerbaar, omdat de ruimte vaak alleen toegankelijk is van onderaf. Voor toegankelijkheid vanaf boven moet het voegsysteem vaak eerst (deels) worden verwijderd. De inspecteur voert meestal met behulp van een endoscoop een visuele inspectie uit. Dit geeft maar een beperkt beeld van de nok; een scheur precies in de keel is niet altijd goed vast te stellen. Bovendien is zonder destructief onderzoek van het beton de mate van corrosie niet vast te stellen.

Constructieve beoordeling onjuiste detaillering

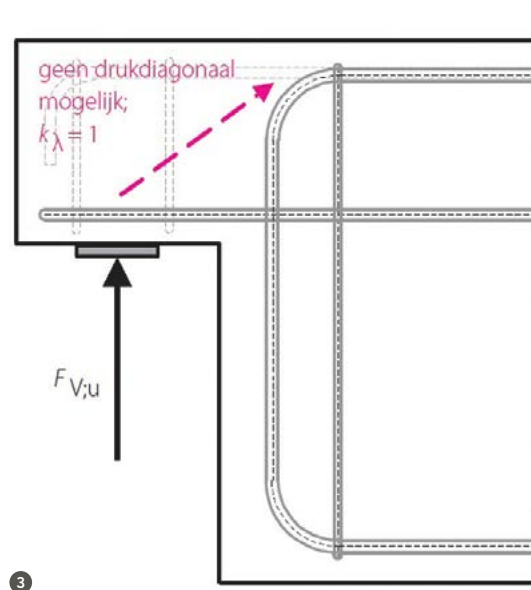
Rijkswaterstaat heeft circa 10 jaar geleden ingezet op een groepsaanpak voor het beoordelen van bruggen en viaducten. Met een groepsaanpak wordt bedoeld dat voor gelijksoortige bruggen (constructietype) eenzelfde soort systematiek wordt toegepast om bruggen te beoordelen op constructieve veiligheid.

BUREAU HERBEREKENINGEN

Binnen Bureau Herberekeningen werken Rijkswaterstaat GPO, zes (combinaties van) ingenieurs- en adviesbureaus en kennisinstituten gelijkwaardig samen. De bureaus zijn:

- Antea Group – Boorsma
- Arcadis – SBE (ondersteund door NLyse)
- Arup – IV – Wagemaker
- Haskoning
- Sweco Nederland – Nebest
- Witteveen+Bos

NL-EEA- berekeningen worden uitgevoerd in de Raamover- eenkomst Herberekeningen



Een van de constructietypen is dat van de bruggen en viaducten met tanden en nokken. De eerste stap voor dit constructietype was een inventarisatie van alle viaducten in het areaal van Rijkswaterstaat en hoe deze viaducten zijn ontworpen. Dit is vervolgens verder uitgewerkt naar een quickscan tanden en nokken.

Met deze quickscan, uitgevoerd door Wagemaker en TNO, zijn 59 bruggen en viaducten met tanden en nokken beoordeeld. De belangrijkste conclusies waren dat een groot deel van de tanden en nokken een onjuiste wapeningsdetaillering heeft, uitgaande van de detailleringsregels van de Eurocode. Hierdoor kon destijds niet worden vastgesteld of deze bruggen en viaducten voldoende draagvermogen hadden.

Internationaal onderzoek Vanwege deze conclusie is vervolgens gekozen om meer onderzoek te doen naar tanden en nokken met onjuiste wapeningsdetaillering. Eerst is door TNO een inventarisatie gedaan van wetenschappelijk onderzoek dat internationaal beschikbaar is over tanden en nokken met onjuiste wapeningsdetaillering. Dit bleek helaas zeer beperkt. De reden is dat, hoewel er wel veel onderzoek naar is gedaan, tanden en nokken internationaal anders worden gedetailleerd dan in Nederland gangbaar is. De enige twee onderzoeken waarover infor-

matie te vinden was, zijn de zogenoemde Kleinman-proef (naar prof. Cees Kleinman, zie artikelenserie 'Nokken met die tanden' uit 2006) en de Steinle-proef (naar prof. Alfred Steinle). Beide proeven zijn met een niet-lineaire eindige-elementenanalyse (NL-EEA) nagerekend. Zie verder het artikel 'Modelleringsstrategie foutief gedetailleerde tand-nokconstructies', elders in dit nummer.

Rijkswaterstaat heeft deze rekenmethodiek met NL-EEA overgenomen als toetsingsmethodiek voor de tanden en nokken met onjuiste wapeningsdetaillering. Met de methode wordt een representatief deel van de bruggen en viaducten met tanden en nokken constructief beoordeeld (als onderdeel van de groepsbeoordeling voor alle 110 bruggen en viaducten). Dus niet alle bruggen en viaducten met tanden en nokken worden individueel beoordeeld. Dit is ook niet nodig, omdat van veel bruggen en viaducten 'tweelingen' aanwezig zijn. Een voorbeeld daarvan is knooppunt Velperbroek. Dit knooppunt heeft vier nagenoeg gelijke viaducten. In dit geval is maar één NL-EEA-berekening nodig. Ook wanneer bruggen en viaducten binnen één aanlegproject zijn gebouwd en sterke overeenkomsten vertonen, wordt niet voor elke afzonderlijke brug of viaduct een NL-EEA-berekening uitgevoerd. In dat geval worden alleen de maatgevende tand en nok getoetst.



Raamovereenkomst De NL-EEA-berekeningen worden uitgevoerd in de Raamovereenkomst (ROK) Herberekeningen, een project van Rijkswaterstaat met zes (combinaties van) Nederlandse ingenieursbureaus (Bureau Herberekeningen). Deze samenwerkingsvorm maakt het mogelijk dat er extra onafhankelijke toetsen worden uitgevoerd op deze berekeningen en dat de ingenieursbureaus van elkaar kunnen leren om tot een goede kwaliteit te komen.

De rekenmethodiek met NL-EEA-berekeningen is sterk afhankelijk van de wijze van modelleren van de aanhechting tussen de wapening en het beton (zie artikel 'Modelleringsstrategie foutief gedetailleerde tand-nokconstructies'). En deze methodiek is nog niet volledig gevalideerd, omdat, zoals gezegd, het aantal proeven naar tanden en nokken met onjuiste wapeningsdetailering beperkt is. Daarom wordt in opdracht van Rijkswaterstaat door de TU Delft en TNO aanvullend wetenschappelijk onderzoek uit-

gevoerd naar de draagkracht van tanden en nokken met onjuiste wapeningsdetailering (zie artikel 'Onderzoeksprogramma tanden en nokken bij de TU Delft', elders in dit nummer). De basis voor dit onderzoek zijn de meest voorkomende wapeningsdetaileringen in tanden en nokken in bruggen en viaducten van Rijkswaterstaat. De resultaten leveren naar verwachting voldoende inzicht in de correctheid van de NL-EEA-berekeningen (modelleringen en uitgangspunten) en de daarbij aan te houden veiligheidsmarges. Wanneer dit onderzoek is afgerond (in 2030), zijn ook de herberekeningen afgerond en kan de constructieve groepsbeoordeling worden afgerond.

Archiefstudie en inspectie

Voor elk viaduct of elke brug met tanden en nokken is een archiefstudie uitgevoerd. Het doel van deze archiefstudies was om na te gaan of er signalen waren dat er eventueel al aantasting aan de tand of nok door corrosie

Rijkswaterstaat heeft samen met Concept Ingenieurs een nieuwe methodiek ontwikkeld voor gerichte technische inspectie

heeft opgetreden. Signalen van aantasting zijn onder andere dat de voegovergangen lekken, dat bij zichtbare delen van de tanden en nokken corrosie van de wapening is opgetreden, of dat er degradatie van het beton is geconstateerd. Deze signalen geven een vermoeden dat er mogelijk ook aantasting opgetreden zou kunnen zijn op de meest kritische locaties van de tand of nok: in de keel bij de ophangwapening. Daarnaast is gekeken naar overige factoren die invloed hebben op aantasting, zoals de betondekking. Voor elk viaduct zijn deze signalen en factoren omgezet in een score op 'mogelijke aantasting door corrosie'. Viaducten met een hoge score zijn als eerste geprioriteerd, Viaducten met een hoge score zijn als eerste geprioriteerd, om een gerichte technische inspectie uit te voeren om de mate van aantasting goed in beeld te brengen (foto 4).

Specifiek voor de tanden en nokken heeft Rijkswaterstaat in samenwerking met Concept Ingenieurs een nieuwe methodiek

voor gerichte technische inspectie ontwikkeld (GTI). In het verleden werden de inspecties vanaf de onderzijde van het dek uitgevoerd, wat geen goed beeld gaf van de meest kritische locaties van de nok, zoals de keel. En hoewel vanaf onderaf wel een visuele inspectie kan worden uitgevoerd, is het niet mogelijk de daadwerkelijke afname van de wapening door corrosie te meten. Dit komt doordat de voegruimtes niet goed bereikbaar zijn. De nieuwe methodiek gaat uit van een inspectie vanaf de bovenzijde van het dek. De voegovergang wordt aan de bovenzijde verwijderd en vervolgens wordt een uitgebreide technische inspectie uitgevoerd. De inspectie bestaat bijvoorbeeld uit dekkingsmetingen, potentiaalmetingen, het boren van kernen voor het bepalen van chloride-indringing of het vrijmaken van een aantal wapeningsstaven om wapeningsdiameters (corrosie) te bepalen. Met deze inspectietechniek kan nauwkeurig worden vastgesteld of corrosie al is opgetreden en in welke mate deze heeft geleid tot wapeningsafname. →



Voor nieuwbouw sluit Rijkswaterstaat het gebruik van tanden en nokken in bruggen en viaducten uit

MEER LEZEN

Meer over tand-nokconstructies staat in het dossier 'Tanden en nokken' op Cementonline.



De nieuwe methodiek is onder andere toegepast bij Prins Clausplein (zie artikel 'Nieuwe inspectiemethode geeft zicht op kritische tand-nokconstructies' van Concept Ingenieurs, elders in dit nummer).

Advies constructieve veiligheid

Na afronding van een herberekening en/of een gerichte technische inspectie wordt door de afdeling Bruggen en Viaducten van Rijkswaterstaat een intern constructief advies opgesteld. In dit advies worden de bevindingen vertaald naar een advies voor de beheerder van de brug of het viaduct. Meestal volgt uit de herberekening of inspectie dat de constructie voldoet aan het minimaal benodigde veiligheidsniveau volgens de normen en richtlijnen (Eurocodes, NEN 8700-serie en Richtlijn bestaande Kunstwerken (RBK)). In dat geval zijn geen beheersmaatregelen nodig en wordt de brug of het viaduct op 'groen' gezet in het dashboard constructieve veiligheid van Rijkswaterstaat.

Als uit de berekening volgt dat de constructie niet voldoet aan het veiligheidsniveau of als uit de inspectie volgt dat er al aantasting heeft plaatsgevonden, zijn er vaak wel beheersmaatregelen nodig. Mogelijke maatregelen zijn onder andere het versterken of ondersteunen van het constructiedeel (vaak de nok), een (as-)lastbeperking voor vrachtwagens door middel van bebording, aanpassingen aan de rijbaanindeling, monitoring of maatregelen om de aantasting te vertragen.

Bij meerdere bruggen en viaducten met tanden en nokken zijn het afgelopen jaar beheersmaatregelen genomen. Dit geldt voor een deel van de 17 bruggen en viaducten met tanden en nokken met een verhoogd risico (zie bericht 'Maatregelen bij bruggen en viaducten met tand-nokconstructie' op *Cementonline*). Bij knooppunt Velperbroek is bijvoorbeeld gekozen voor een ondersteuningsconstructie in combinatie met een beperking van het gebruik voor zwaar vrachtverkeer. Bij meerdere bruggen en viaducten met tanden en nokken wordt op dit moment een gerichte technische inspectie voorbereid of wordt een herberekening uitgevoerd. Dit zal ook worden opgevolgd met een constructief advies. Indien nodig adviseert de

afdeling Bruggen en Viaducten beheersmaatregelen om de veiligheid voor de weggebruikers te kunnen blijven borgen.

De beheersmaatregelen vormen geen eindoplossing, maar worden ingezet om de constructieve veiligheid te borgen totdat de brug kan worden versterkt of vervangen. Voor bruggen en viaducten met tanden en nokken is vervanging op dit moment de enige haalbare optie. Een gevalideerde versterkingstechniek die toepasbaar is op een groot deel van deze bruggen en viaducten is namelijk nog niet beschikbaar. Een uitdaging bij het toepassen van versterkingstechnieken is de mogelijke aanwezigheid van chloriden, die ook nieuwe constructie-elementen kunnen aantasten. Daarnaast is in bestaande tanden en nokken vaak al veel wapening aanwezig, waardoor de beschikbare ruimte voor het aanbrengen van extra wapeningsstaven beperkt is. Het is bovendien wenselijk dat de versterkingstechnieken in korte tijd kunnen worden aangebracht, zodat de verkeershinder zoveel mogelijk wordt beperkt.

Tijdige signalering

Rijkswaterstaat staat de komende jaren voor de opgave om bruggen en viaducten met tanden en nokken veilig en beschikbaar te houden totdat vervanging of versterking kan plaatsvinden. Met een gestructureerde groepsaankoop worden eventuele veiligheidsrisico's tijdig en onderbouwd gesignaleerd. Waar nodig worden beheersmaatregelen genomen, die soms gepaard gaan met tijdelijke verkeershinder.

Voor nieuwbouw sluit Rijkswaterstaat het gebruik van tanden en nokken in bruggen en viaducten uit, vanwege toekomstige beheer- en onderhoudsproblemen. ●