

# Evolutie van de verschijningsvorm van vaste bruggen vanaf 1940

## A. Romeijn

Dit artikel geeft een beschrijving van het algemeen historisch beeld, de invloedsfactoren op de verschijningsvorm en de materiaalkeuze van met name stalen bruggen. In een vervolgartikel wordt stilgestaan bij de evolutie van verschillende typen stalen bruggen zoals vakwerk-liggerbruggen, boogbruggen, plaatliggerbruggen, kokerliggerbruggen en tuibruggen. Beide artikelen geven grotendeels een samenvatting van het afstudeerwerk van Niels Menken, juni 2002, TU-Delft [1].

### 1. Algemeen historisch beeld

#### 1.1 Ontwikkeling bruggenbouw periode voor 1945

Vanwege de ruime aanwezigheid van water in de vorm van de grote scheepvaartwegen, vond het transport in Nederland tot halverwege de negentiende eeuw hoofdzakelijk plaats over water. Daarnaast waren grote delen van het land, vanwege hun ligging onder zeeniveau, zeer drassig en daardoor moeilijk begaanbaar voor landverkeer. De uitbreiding van het wegennet kreeg een impuls toen door Napoleon een centraal gezag over de verdeelde Nederlanden werd ingevoerd. Zo ontstonden straatwegen tussen grote steden, zoals tussen Den Haag en Haarlem en tussen Utrecht en Apeldoorn. Deze wegen hadden tot doel de integratie van het ingelijfde gebied met het Franse rijk te bewerkstelligen. Nadat de Fransen in 1813 uit Nederland waren getrokken, werden verdere plannen gemaakt voor de aanleg van een wegennet. Zoals dit er in 1821 uit zag is te zien in figuur



Figuur 1. Het wegennet van 1821 voor wegen van eerste klasse

1. Tot de komst van de auto speelde het landverkeer een ondergeschikte rol en diende alleen plaatselijke vervoersbehoeften. Wanneer er een kanaal of rivier gekruist moest worden werd dit gedaan door middel van bruggen als het om een kleine waterweg ging, en door middel van veerboten bij grote brede wateren. Het landverkeer bestond niet uit zeer zware voertuigen, de aantallen waren niet erg groot en men had ook niet zoveel haast als tegenwoordig het geval is. De pontveren voldeden in die tijd daarom prima. De beschikbaarheid van de veerdiensten was niet erg goed en ook niet altijd even veilig. Bij mist, storm en ijsgang was varen vrijwel onmogelijk en bij een verkeerde manoeuvre kon de veerboot omslaan.

Verkeersbruggen: Op plaatsen waar relatief veel landverkeer de rivier kruiste werd de veerpont vervangen door een schipbrug, die zoals de naam al doet vermoeden een combinatie van een schip en een brug is. Deze overbrugging bestond uit schepen die op een afstand van 5 tot 8 meter hart op hart naast elkaar lagen en waar een rijvloer over was aangebracht. De scheepvaart had hierdoor geen vrije doorvaart, maar de schipbrug kon geopend worden door een aantal naast elkaar gelegen schepen uit te varen waardoor een opening werd gemaakt. Schipbruggen waren goedkoop en snel te bouwen, maar kenden het nadeel van veel onderhoud en de noodzaak de brug te openen voor zelfs het kleinste vaartuig. Ook waren ze kwetsbaar bij ijsgang en hoge waterstanden. Over de grote rivieren bevonden zich schipbruggen over de Lek bij Vianen, over de Rijn bij Arnhem en zelfs vier over de IJssel, namelijk bij Westervoort, Doesburg, Deventer en Zutphen. De schipbruggen zijn in de periode 1900-1950 allemaal vervangen door vaste verkeersbruggen. In 1929 begon men met de uitvoering van het grootschalige in 1927 opgestelde rijkswegenplan van verkeersbruggen; de eerste was een vakwerkbrug over de Bergsche Maas bij Keizersveer, die gereed kwam in 1931. Hierna volgden tot aan het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog nog elf overbruggingen over de grote rivieren. Het bruggenprogramma, zoals in het rijkswegenplan van 1927 was vastgesteld, was op één brug na voltooid toen in mei 1940 de Duitsers Nederland binnenvielen. Om de opmars van de Duitse legers tegen te houden werden alle bruggen door het Nederlandse leger onklaar gemaakt. Dit gebeurde door bij de opleggingen een lading springstof tot ontploffing te brengen, waardoor de bruggen in de rivier stortten.

Spoorbruggen: In de negentiende eeuw deed de trein zijn intrede, eerst in Engeland en later op het Europese vasteland. Nederland kon zich hiervan, om economisch niet buitengesloten te blijven, niet afzijdig houden en in 1839 reed de trein ook in Nederland. In de tweede helft van de negentiende eeuw werd het spoorwegennet

drastisch uitgebreid, waarbij vele bruggen werden gebouwd. De eerste van de 21 grote rivieroverbruggingen die in deze periode gereed kwamen was de spoorbrug over de IJssel bij Westervoort (1856). De Nederlandse inbreng was overigens bij de totstandkoming van al deze kunstwerken gering; de ontwerpers en aannemers van de meeste bruggen kwamen uit de meer geïndustrialiseerde landen om ons heen, Frankrijk, Duitsland en Engeland. In het boek 'Bruggen in Nederland 1800-1940' van J. Oosterhoff, e.a. worden deze bruggen beschreven [2].

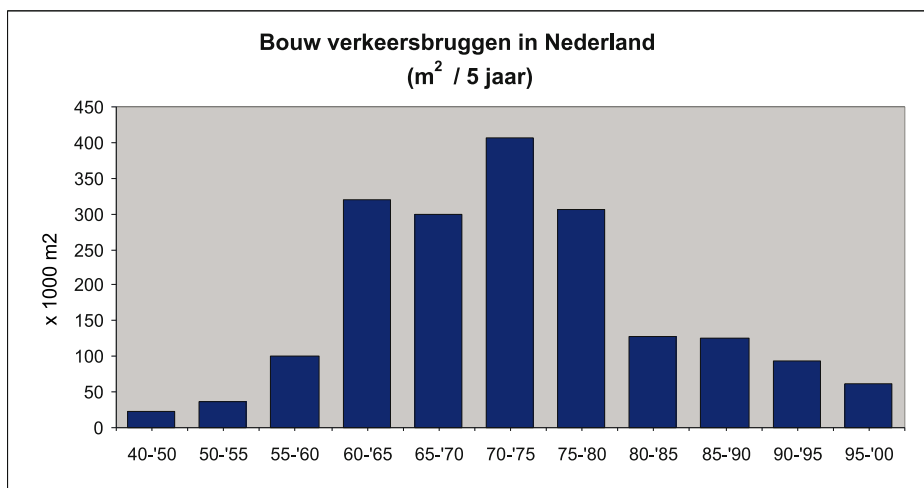
#### Periode 1940 - 1945

Tijdens deze periode werd zowel door de Nederlanders als de Duitsers gewerkt aan herstel van de vernielde bruggen. Vaak was dit een niet al te grote klus omdat de onderbouw meestal volledig intact was gebleven en men daarom kon volstaan met opnieuw plaatsen en repareren van de bovenbouwconstructie. Voor het einde van de oorlog waren alle noemenswaardige bruggen weer volledig in gebruik. De bevrijding van Nederland leidde echter opnieuw tot vernielingen aan de bruggen. Ook deze keer lag de oorzaak in het feit dat bruggen strategische objecten zijn. Om de geallieerde opmars te bemoeilijken vernielden ditmaal de Duitsers vele grote en kleine bruggen. Van de 21 grote rivieroverbruggingen voor spoorverkeer werden er 16 geheel vernield of zwaar beschadigd, terwijl slechts 5 onbeschadigd of licht beschadigd bleven. Behalve de grote bruggen zijn er nog tussen de 900 en 1000 andere, kleinere bruggen vernield of zwaar beschadigd. De vernielingen die de Duitsers aanrichtten waren duidelijk zwaarder dan die van de Nederlanders in 1940. Het eerste grote probleem waarvoor de Spoorwegen en Rijkswaterstaat zich na 1945 zagen gesteld was het opruimen van de vernielde bruggen opdat de rivieren weer vrijkwamen voor de scheepvaart en de afvoer van hoog water en ijs. Het tweede probleem was het herstellen van de landverbindingen. Er waren door de geallieerden wel al veel overbruggingen met militaire noodbruggen opnieuw opengesteld, maar deze bruggen waren tijdelijk van aard en niet alle oeververbindingen waren hersteld. Het was daarom van belang zo spoedig mogelijk de verbindingen tot stand te brengen op die plaatsen waar geen hulpbruggen waren gebouwd en het verkeer zich met een tijdelijke pontverbinding moest behelpen en daarnaast de niet tegen ijsgang en hoog water bestand zijnde overbruggingen door andere te vervangen. Vlak na de oorlog bleek het niet mogelijk de verbroken verbindingen in blijvende vorm te herstellen. Dit was niet alleen vanwege tijdgebrek en gebrek aan materieel, maar vooral vanwege het ontbreken van het benodigde staal [3 en 4]. Er was slechts een kleine hoeveelheid staal in voorraad. Zo was er al voor de oorlog materiaal besteld voor de bouw van de Merwedeburg bij Gorinchem. Voordat met de bouw was begonnen brak de oorlog uit en heeft men nog snel het

materiaal onder de grond weten te verbergen. Hier kon na de oorlog gebruik van worden gemaakt, maar deze en andere voorraden waren veel te klein en de aanvoer van staal van de walswerken was ook beperkt omdat de staalproductie nog niet goed op gang was. Dit leidde uiteraard tot een zeer hoge staalprijs. Er moest dus met zeer beperkte middelen gewerkt worden en daarom werd er in de meeste gevallen eerst naar tijdelijke oplossingen gezocht.

#### 1.2 Ontwikkeling bruggenbouw periode na 1945

Met de aanleg van nieuwe autosnelwegen, en derhalve ook bruggen, werd de draad pas weer in 1953 opgepakt. Onder andere met geld van de Marshallhulp konden deze werken worden gefinancierd. Eerst werden de werken hervat die in 1940 stil waren komen te liggen. Pas in het rijkswegenplan van 1957 presenteerde Rijkswaterstaat plannen voor nieuwe wegen. In dit plan veranderde niet veel ten opzichte van het vooroorlogse plan, echter het was veel meer op autosnelwegen geënt. Dit rijkswegenplan ging nu ook uit van autosnelwegen naar alle uithoeken van ons land. De dichtheid van het net was niet veel gewijzigd. Dat zou fors gaan veranderen met het rijkswegenplan van 1968, waarin een omvangrijke uitbreiding van het wegennetwerk was uitgestippeld [5]. In deze tijd sloeg de massamotorisatie toe en was de behoefte aan uitbreiding van het wegennet groot. De Nederlandse economie was in dezelfde periode, mede door de vondst van aardgas in de bodem van Groningen in 1962, sterk groeiende. Infrastructuur werd hierbij als zeer belangrijk beschouwd en veel geld van de aardgasbaten werd hierin geïnvesteerd. Door de welvaartsexplosie in andere Europese landen werd Nederland steeds belangrijker voor de doorvoer van goederen en het land profileerde zich als 'distributieland', waarvoor een goede infrastructuur uiteraard onontbeerlijk was.

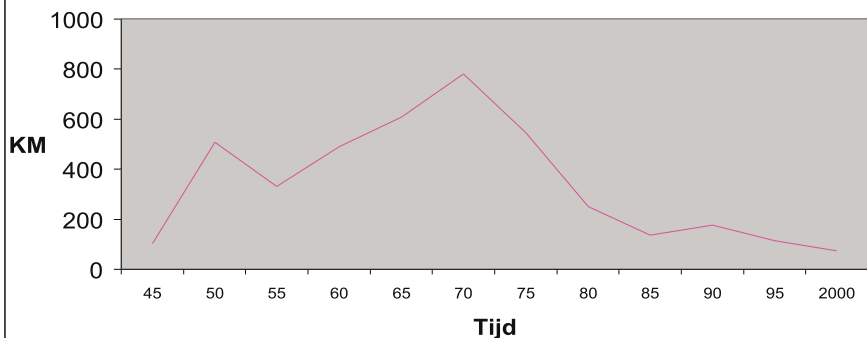


Figuur 2. Aantal m² gebouwde verkeersbrug in Nederland per vijf jaar.

#### Verkeersbruggen

Door de grote uitbreiding van het wegennet nam eveneens de bouw van bruggen fors toe. Dit is in figuur 2 duidelijk te zien. Hierin staat de omzet in de bruggenbouw in vierkante meters gebouwde brug per periode van vijf jaar.

### Aanleg rijkswegen (km)



Figuur 3. Aantal in Nederland gebouwde kilometers snelweg per jaar.

Ter vergelijking is in figuur 3 het aantal kilometers gebouwde autosnelweg weergegeven. De figuren 3 en 4 volgen hetzelfde patroon van een toenemende bouwactiviteit gedurende de jaren '60 en '70 en een daling vanaf 1980.

Aan het begin van de jaren '80 is een verzadigingspunt bereikt en begint de nieuwbouw van wegen af te nemen, waarmee tevens de omzet in de bruggenbouw minder werd. Hiervoor zijn een aantal redenen te geven.

- De meeste werken zijn voltooid en er is voor een groot deel voldaan aan de vraag naar nieuwe infrastructuur.
- De maatschappelijke weerstand tegen de aanleg van infrastructuur wordt groter. Waar vroeger de aanleg van een weg door vrijwel iedereen werd toegejuicht, waren er vanaf de jaren zeventig steeds meer protesten hoorbaar. Het aantal vierkante meters asfalt in Nederland was in de voorgaande jaren enorm toegenomen en de landschappelijke gevolgen en de gevolgen voor het milieu begonnen duidelijk te worden.
- Hiermee valt samen het verschijnen van het rapport van de Club van Rome, waarin gewaarschuwd wordt voor de milieueffecten die toenemende economische groei met zich meebrengt.
- De westerse economieën kwamen in de jaren tachtig in het dal van de conjunctuurgolf terecht, zodat de financiële middelen om te bouwen minder ruim aanwezig waren.

#### Spoorbruggen

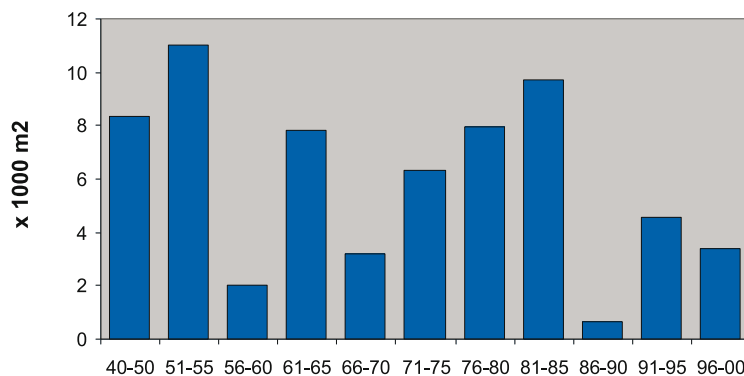
Tot ongeveer 1975 worden niet veel nieuwe spoorbruggen gebouwd, omdat de na 1945 herstelde negentiende-eeuwse bruggen en een aantal militaire noodbruggen nog goed voldeden. Grote uitbreiding van het spoorwegennetwerk heeft ook niet plaatsgevonden tijdens de wederopbouwperiode, dus werden er geen nieuwe bruggen met grote overspanning t.b.v. nieuwe spoorlijnen gebouwd.

In augustus 1975 werd door de Werkgroep Bruggen van de N.S. een rapport uitgebracht betreffende een

meerjarenplan voor het vervangen en verdubbelen van grote vaste spoorbruggen. De aanleiding tot het opstellen van dit rapport was:

- De toestand van de grote vaste bruggen daterend uit de periode 1860-1900. De in de loop der tijd toegenomen treinbelastingen deden de vraag rijzen of het materiaal, welijker, van de bruggen hiertegen bestand was.
- De onderhoudstoestand van de militaire noodbruggen, die immers waren bedoeld voor tijdelijk gebruik. Deze zouden de toename van het treinverkeer niet aan kunnen.
- De beperkte capaciteit van een aantal enkelsporige bruggen die waren gelegen in dubbelsporige baanvakken.

### Bouw spoorbruggen in Nederland (m<sup>2</sup> / 5 jaar)



Figuur 4. Aantal m<sup>2</sup> gebouwde spoorbrug in Nederland per vijf jaar.

Dit plan werd goedgekeurd en omvatte in totaal de vervanging van 24 overbruggingen, wat een grote impuls betekende voor de bouw van spoorbruggen vanaf 1975 tot ca. 1990.

#### 1. Maatschappelijke factoren

Materiaalkosten vs arbeidsloon  
Esthetica  
Verkeerstoename  
Geluidsemissie  
Duurzaamheid

#### 2. Onderhoud

Conservering  
Opleggingen en voegovergangen  
Deklaag

#### 3. Verkeersbelasting

Verkeerssamenstelling wegverkeer

#### 4. Materiaal

Plaatdikten  
Plaatafmetingen  
Staalsoorten- en kwaliteiten  
Kabeltechnologie

#### 5. Verbindingsmiddelen

Overgang klinken-bouten-lassen

#### 6. Technische (hulp)middelen

Transportmogelijkheden  
Rekenprogrammatuur  
Normering  
Windtunnelonderzoek

#### 7. Concurrentie staal vs beton

Relatie materiaaltoepassing tot overspanning  
Materiaalprijs: verhouding staal - beton  
Eigengewicht: verhouding staal - beton  
Constructiehoogte  
Nederlandse geografie  
Onderbouw en aanbruggen in beton  
Temperatuursinvloeden  
Vermoeingslevensduur  
Integratie van kennis  
Bouwsnelheid

Tabel 1. Categorieën van de belangrijkste invloedsfactoren op de verschijningsvorm van stalen bruggen.

## 2. Invloedsfactoren op de verschijningsvorm van stalen bruggen

Het begrip verschijningsvorm kent meerder gradaties. Op een groot schaalniveau heeft het betrekking op materiaalkeuze, overspanning en keuze voor het brugtype. Op kleiner schaalniveau kan vervolgens worden gefocust op details zoals keuze van verbindingstype, plaatdikte, etc. Op de ontwikkeling van stalen bruggen is in de periode na 1945 een groot aantal factoren van invloed geweest die in wisselwerking met elkaar de verschijningsvorm van bruggen sterk hebben doen veranderen. De invloed van deze afzonderlijke factoren is in de loop der tijd niet hetzelfde gebleven en dit is wat de ontwikkeling van de verschijningsvorm van stalen bruggen zo kenmerkt. De invloedsfactoren die hierin een prominente rol hebben gespeeld zijn samengevat in tabel 1.

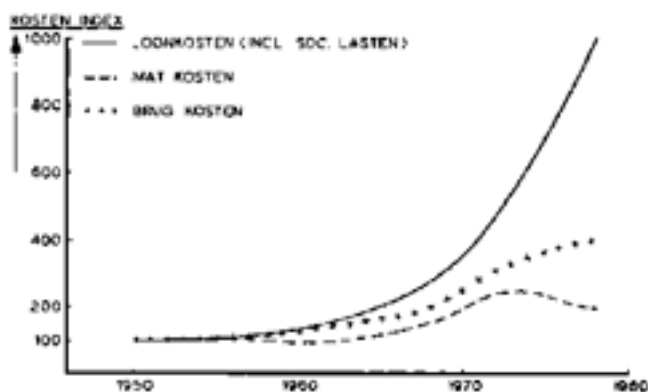
Enkele invloedsfactoren (maatschappelijke factoren, onderhoud, verbindingsmiddelen en concurrentie staal versus beton) worden nader toegelicht.

### 2.1 Maatschappelijke factoren

#### Materiaalkosten versus arbeidsloon

Tot aan 1950-1955 was er een grote schaarste aan staal doordat staalfabrieken en walsenrijen opnieuw moesten worden opgebouwd. De vraag naar staal was juist groot omdat vele bruggen waren vernield. De verhouding tussen materiaalprijs en arbeidsloon lag in deze tijd extreem hoog en materiaalbesparing was noodzakelijk om een brug op economische wijze te bouwen. Veel gebouwde bruggen van vlak na de oorlog werden daarom samengesteld uit profielen met dunne plaatdikten voorzien van vele plooiverstijvers.

De verdere ontwikkeling laat een stijging van de loonkosten zien die vele malen sneller verloopt dan de stijging van de materiaalkosten. De grafiek in figuur 5 geeft de ontwikkeling van de loonkosten en materiaalkosten vanaf 1950 tot 1980 weer. Voor de periode vanaf 1980 wordt deze trend doorgezet.



Figuur 5. Ontwikkeling loonkosten versus materiaalkosten tot 1980 [5].

D e

invloed van de relatief sterk gestegen loonkosten op de verschijningsvorm van bruggen is in het algemeen dat voor een hoger materiaalgebruik wordt gekozen om te kunnen besparen op het aantal te verrichten handelingen tijdens de fabricage en de montage.

#### Esthetica

De landschappelijke inpassing van bruggen is vanaf de jaren dertig van de vorige eeuw een rol gaan spelen bij het ontwerpen ervan. In deze tijd werd de boogbrug veel toegepast omdat deze vorm in combinatie met het landschap als meest gunstig werd beoordeeld. Na de Tweede Wereldoorlog veranderde dit inzicht en werd de brug vooral beoordeeld op de mate waarin de verkeersafwikkeling bevorderd werd. De brug moest hiervoor zo min mogelijk opvallen. In deze tijd zag men de boogbrug zelfs als een storend element dat de omgeving te sterk domineerde. Een vlakke, doorgaande vorm werkte veel minder storend in het Nederlandse landschap. De jaren zeventig vormden dan ook de tijd van de vlakke brug. Zowel bij staal als bij beton werden veel kokerliggers toegepast. In deze tijd stond de economie van het bouwen voorop, hetgeen tot standaardisatie en eentonigheid leidde. Het krachtenspel was niet meer uit de vorm af te lezen en de bruggen werden voor het oog steeds saaier objecten.

Vanaf de jaren tachtig werd steeds kritischer op de grote eenvormigheid gereageerd. Er ontstond een groeiende behoefte om de brug als een stedenbouwkundig element in te zetten. De laatste jaren worden bruggen ontworpen met een markante verschijningsvorm, bruggen die niet alleen overbruggen, maar ook duidelijk maken dat ze zich op een bijzondere plaats bevinden. Om de hoofdvorm van bruggen te bepalen worden weer vaker architecten ingeschakeld. De meer sprekende brugtypen worden dan ook snel populair.

### 2.2 Onderhoud

Ingegeven door hogere arbeidslonen en verhoogde milieueisen zijn de onderhoudskosten van stalen bruggen t.o.v. de stichtingskosten in de tijd toegenomen. Er bestaan verschillende rubrieken van onderhoud waarvan de grootste het onderhoud aan de conservering is. Andere onderhoudsgevoelige delen van een brug zijn de brugopleggingen en voegovergangen en de deklaag. Deze moeten binnen de levensduur van de brug soms meerdere malen opnieuw worden afgesteld dan wel vervangen worden. Vergeleken met betonnen bruggen speelt deze problematiek een grote rol bij stalen bruggen, vanwege corrosie en een vaak lagere stijfheid, waardoor meer secundaire effecten optreden. Bij het ontwerpen van bruggen dient men rekening te houden met de onderhoudsvriendelijkheid ervan. Plaatsen waar vuil en vocht zich kunnen ophopen dienen te worden vermeden. Verbandstaven in spoorbruggen (slingerverband, windverband, remverband) zijn gevoelig voor corrosie omdat zich hier gemakkelijk nesten van vuil vormen. Ook bout- en klinknagelvelden zijn plaatsen waar dit snel gebeurt. Om blijvende bescherming aan het staal te bieden valt niet te ontkomen aan regelmatig onderhoud van de conservering. Om de vijf à tien jaar moet de toplaag plaatselijk overgeleverd worden en een volledige vervanging van het gehele conserveringssysteem is om de twintig à dertig jaar nodig. In de wijze waarop wordt zorggedragen voor het onderhoud van bruggen is veel veranderd. De belangrijkste oorzaak hiervan is de toegenomen aandacht voor het milieu vanaf de jaren '80.

De verscherpte wetgeving voor arbeidsomstandigheden (ARBO) heeft ook invloed gehad op de conservering van staal, vooral ten aanzien van omstandigheden in de conserveringsloods. Tot ca.1988 bestond er geen wetgeving t.a.v. het vervuilen van het oppervlaktewater bij werkzaamheden aan het water, zoals (grit)stralen en verven. Bij deze werkzaamheden komen verf- en gritresten in het oppervlaktewater terecht, die onder meer zware metalen (tin, koper) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) bevatten. Toen in het begin van de jaren '80 bij scheepswerven baggerspecie werd aangetroffen die vele zware metalen in aanzienlijke gehalten bevatte is door het Rijk actie ondernomen om deze problematiek bij de bron aan te pakken. Hiertoe is de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater in het leven geroepen en sindsdien is voor mogelijke vervuilende werkzaamheden op of aan het water een vergunning nodig. Aan deze vergunning zijn voorschriften verbonden met betrekking tot het voorkomen c.q. beperken van de emissies naar het oppervlaktewater.



*Figuur 6.  
Onderhoud aan de  
brug bij Katerveer,  
Zwolle*

Voor bruggen zijn de volgende van belang:

- Het opvangen van grit en verf dat bij het stralen van een brug vrijkomt en het beperken van de spuitnevel bij het verven van deze objecten. Dit is mogelijk door het te behandelen object 'in te pakken'. Zie figuur 6
- Het gebruiken van minder milieuonvriendelijke conserveringsproducten

Oorspronkelijk werden voor bijv. sluisdeuren en deuren van stormvloedkeringen veelal koolteerhoudende epoxy coatings toegepast vanwege hun bijzonder goede anti-corrosieve eigenschappen. Uit milieuoverwegingen worden deze koolteerhoudende producten vrijwel niet meer gebruikt. Inmiddels zijn alternatieve, minder milieubelastende coatings ontwikkeld.

Ook zijn de ARBO-eisen, opgesteld voor productiemedewerkers die werkzaam zijn in de verloods, sterk verzaamd.

De dampen die bij het aanbrengen van verflagen vrijkomen, moeten worden afgezogen om te voorkomen dat deze worden ingeademd. Door de toegenomen kosten van de conservering verdient het meer en meer aanbeveling het onderhoud aan een brug te vergemakkelijken of als het kan overbodig te maken. Onderhoudsvriendelijkheid is een aspect geworden waar bij het ontwerp van bruggen tegenwoordig veel rekening wordt gehouden. Het onderhoud begint bij wijze van spreken al op de tekentafel. Het belang van het onderhoud blijkt ook uit nieuwe aanbestedingsvormen waarbij de aannemer van het werk verantwoordelijk wordt gesteld voor het

ontwerp, de bouw en het eerste onderhoud. Er kan in het constructief ontwerp van de brug op verschillende manieren rekening worden gehouden met onderhoud.

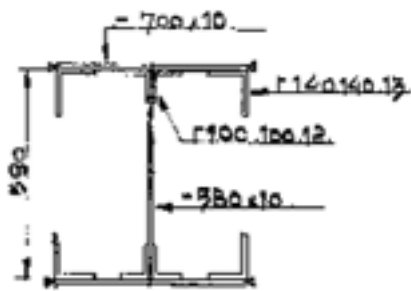
### **2.3 Verbindingsmiddelen**

In de periode 1940-2000 heeft zich ten aanzien van de keuze voor verbindingen in stalen bruggen, en ook voor staalconstructies in het algemeen, een ontwikkeling laten zien van klinknagelverbindingen naar boutverbindingen en lasverbindingen. Voor de Tweede Wereldoorlog werden nagenoeg alle verbindingen in de bruggenbouw geklonken. Lasverbindingen kwamen al wel voor, maar alleen in kleinere bruggen. Voor grote bruggen over de rivieren achtte men dit type verbinding nog onvoldoende betrouwbaar. Bij deze grote bouwwerken was een maximale veiligheid gewenst en ze mochten niet dienen als proef- of leerstuk voor een nieuwe techniek, die het lassen toen nog was.

Al voor de ontwikkeling van het lassen in met name vakwerkbruggen is een ontwikkeling gaande van vermindering van het aantal klinknagels in vakwerkbruggen. Dit is goed waar te nemen aan de diagonalen van vakwerkbruggen. Het oude profiel dat hiervoor werd gebruikt was een dubbel T-profiel, dat was opgebouwd uit een lijfplaat, waaraan via hoekstalen de flenzen waren geklonken. De flenzen waren aan de uiteinden tegen knik verstijfd met een aangeklonken hoekstaal. In figuur 7 is de doorsnede van dit profiel afgebeeld.

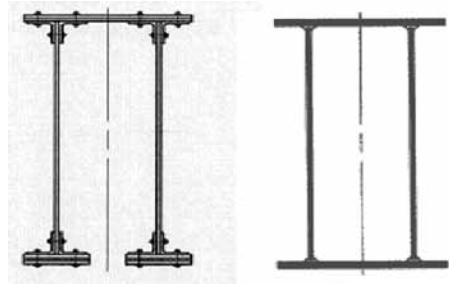
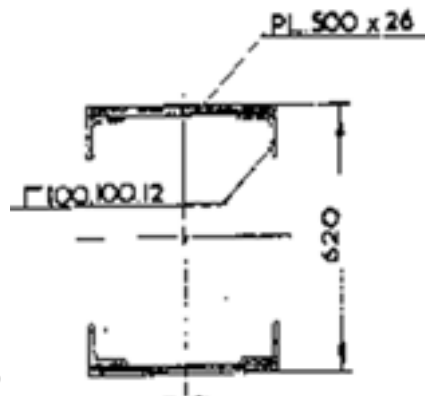
Om het aantal klinknagels te verminderen en hierdoor kosten te besparen, is het dubbel T profiel vervangen door het z.g. open profiel, zie figuur 8. Behalve op klinknagels betekende dit ook een besparing op hoekstalen, omdat nu de verstijvingen van de flenzen werden gebruikt om de koppelplaten aan te bevestigen. De lijfplaat was hierdoor overbodig geworden. Voor de verbinding tussen de flenzen werden koppelplaten gebruikt. In figuur 9 (linker afbeelding) is de oude verkeersbrug bij Moerdijk afgebeeld, waarin dit type diagonaal voorkwam. Dit profiel was geschikt om trek en druk op te nemen, maar was niet zeer stijf. Daarom werd het niet toegepast in spoorbruggen. In de spoorbrug bij Moerdijk van 1955 werd het oude dubbel T-profiel met lijfplaat toegepast.

De Tweede Wereldoorlog heeft ertoe bijgedragen dat de overgang van klinken naar lassen versneld heeft plaatsgevonden. De (nood)situatie waarin men toen verkeerde is de reden hiervoor. Omdat met lassen een hogere productiesnelheid kon worden gehaald bij het bouwen van oorlogsmaterieel zijn constructiewerkplaatsen, onder druk van de oorlog die gewonnen moest worden, overgegaan tot het lassen. De Amerikanen liepen hierbij voorop met de bouw van bijna 3000 z.g. Liberty schepen, die met lasverbindingen in elkaar waren gezet. De productie van deze schepen was een vroeg voorbeeld van seriematige productie in de staalbouw. Vooraf gereedgemaakte standaardelementen werden door middel van lasverbindingen verbonden. De productie van de schepen ging zeer snel en toen deze goed op gang was geraakt werden de 400 voet lange schepen in 5 tot 16 dagen gebouwd. Dit ging echter ten koste van de kwaliteit, met name van de lasver-



Figuur 7 Doorsnede geklonken profiel (boven)

Figuur 8 Doorsnede open profiel (rechts)



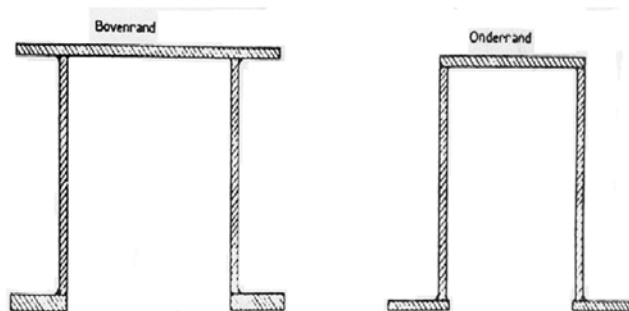
Figuur 10. Ontwikkeling in doorsnede opbouw: links geklonken hoedligger, rechts gelaste koker.

bindingen. Het gebruikte materiaal was onvoldoende bestand tegen de invloeden van het lassen, wat heeft geleid tot brosse breuk van lasverbindingen. Een groot aantal Liberty schepen is hierdoor in het noordelijke gedeelte van de Atlantische Oceaan gezonken. Het optreden van de vele fouten heeft ertoe geleid dat men hiervan ook veel heeft geleerd en dit is de ontwikkeling van de lastechniek, ook in de bruggenbouw, ten goede gekomen. Gelijktijdig met de opkomst van het lassen begon het klinken halverwege de jaren '50 in onbruik te geraken. Goede vaklieden, die het specialistische vak goed konden uitvoeren, werden schaars omdat door de toegenomen welvaart voor veel mensen mogelijkheden ontstonden om ander werk te kiezen. Klinken was zeer zwaar werk, dat bovendien luidruchtig was en daardoor bepaald niet prettig om uit te voeren. Nederlandse klinkers waren niet meer te vinden en daarom werden gastarbeiders uit Italië, Spanje en Turkije aangetrokken, die wel bereid waren het werk te doen. Het lassen en de voor-spanbout vonden uiteindelijk meer toepassing en verdrongen het klinken. De overgang van geklonken naar gelaste verbindingen is voor vakwerkliggerbruggen een zeer belangrijke ontwikkeling, die zich vooral vanaf de jaren '60 bij de spoorbruggen voordoet (fig. 10). Verkeersbruggen werden al vanaf de jaren '50 met gelaste verbindingen gefabriceerd en geassembleerd. De brug over de Maas bij Gennep en de Algerabrug over de Hollandse IJssel te Krimpen zijn opgebouwd uit gelaste

kokers voor de boven- en onderrand. De verbeteringen van de gelaste koker t.o.v. het geklonken hoedprofiel zijn:

#### Goedkopere fabricage

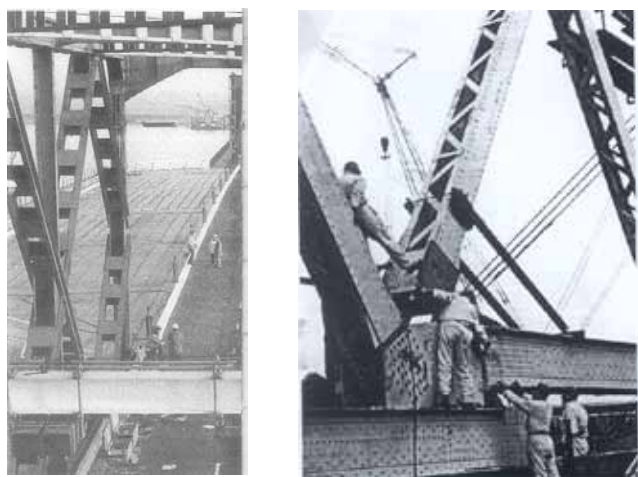
Met lassen kon een vele malen hogere productiesnelheid worden bereikt. Het aantal manuren om een koker in elkaar te zetten was met lassen veel lager.



Figuur 11. Profielen boven- en onderrand vakwerkbrug over de Maas te Gennep.

#### Gesloten doorsnede

De hoedligger kende een open onderkant omdat de binnenzijde van het profiel bereikbaar moest zijn om de klinknagels te kunnen monteren. Alleen bij zeer grote profielen – groot genoeg om een man in te sturen om de tegenhouder op de kop van de klinknagel te zetten – was een gesloten koker mogelijk. Met gebruik van lassen kon de koker geheel gesloten worden uitgevoerd, waarbij op iedere hoek een lasverbinding aan de buiten-zijde van de koker kon worden gelegd, tussen lijfplaat en flens. Het grote voordeel van de gesloten doorsnede van de gelaste koker is dat de binnenzijde niet aan atmosferische invloeden wordt blootgesteld en dus niet, of minder zwaar, hoeft te worden geconserveerd. Ook konden vogels geen nesten bouwen in het binnenste van de koker, wat bij hoedprofielen wel vaak voorkwam en de levensduur verkortte. Ook kon gebruik worden gemaakt van de torsiestijfheid van het kokerprofiel door de dwarsdragers momentvast te verbinden, waardoor een stijvere rijvloer kon worden verkregen. De eerste gelaste profielen waren die van de boven- en onderrand van de verkeersbrug over de Maas bij Gennep (1955). De vormgeving van deze profielen is afgeleid van die van de geklonken hoedprofielen, zoals in figuur 11 te zien is. Bij de fabricage bleek dat deze geometrie voor de gelaste uitvoering minder geschikt was, omdat de



Figuur 9. Links: voorbeeld van open profiel: oude verkeersbrug bij Moerdijk

Rechts: voorbeeld van geheel geklonken spoorbrug: Demkabrug 1965.

profielen door de asymmetrische vorm sterk vervormden tijdens het lassen.

Het lassen is in de bruggenbouw verreweg de meest toegepaste verbindingmethode geworden. Lassen bleek de meest economische verbinding, die naarmate de staalkwaliteit en de techniek van het lassen verbeterde, het gebruik van voorspanbouten en klinken heeft verdrongen.

De voordelen die men in de gelaste verbinding zag, waren onder meer de volgende:

- Snellere productie en automatisering, wat besparing aan manuren oplevert.
- Het veel eenvoudiger verbindingdetail, zonder lasplaten, hoekstalen en vele klinknagels.
- Het gladde staaloppervlak bij de gelaste verbinding, dat sneller en beter te schilderen is en geen plek vormt waar vuil en vocht zich kan ophopen.
- Het niet optreden van verzwakking door klinknagelgaten.
- Grotere ontwerpvrijheid. Zo kan een plaatligger, doorgaand over meerdere steunpunten, worden gemaakt met een hoge lijfhoogte t.p.v. de middensteunpunten.
- Lager eigen gewicht van de constructie. Bij een gelaste verbinding blijven verbindingshoekstalen en stripjes achterwege.
- Betere arbeidsomstandigheden. Klinken is immers een zeer uitputtend en lawaaiig werk.

## 2.4 Concurrentie staal versus beton

### Materiaalprijs/kostprijs

De ontwikkeling van de materiaalpreisen is vanzelfsprekend van invloed op de mate waarin de materialen staal en beton zijn toegepast. Er is echter geen groot verschil in toename van de prijs van de materialen staal en beton. In de begintijd van het voorgespannen beton in Nederland werd bij de aanbesteding van grote bruggen in veel gevallen de kostprijs bepaald van een betonnen en een stalen variant. Na ongeveer 1980 was dit niet meer gebruikelijk, omdat bekend was dat voor de range van meest voorkomende overspanningen een stalen brug ongeveer 25 procent duurder is dan een betonnen brug.

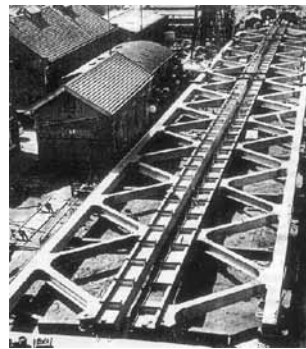
### Eigen gewicht

Staal is sinds het begin van de bouw van grote bruggen het meest geschikte materiaal voor grote overspanningen die met beton niet konden worden gerealiseerd. Het materiaal beton heeft echter een indrukwekkende ontwikkeling doorgemaakt en met dit materiaal kunnen nu zonder moeite overspanningen tot 300 meter worden gerealiseerd. Door tuikabels toe te passen kan de brug nog groter worden. De belemmerende factor voor de overspanninglengte bij betonnen bruggen blijft echter het eigen gewicht.

De totale bouwtijd bepaalt in sterke mate de totale stichtingskosten. De bouwplaats- en rentekosten worden immers door de bouwtijd bepaald. Meer en meer zullen er bouwmethoden komen waarmee het mogelijk is om in korte tijd een complete brug te realiseren. Hierbij

speelt het eigen gewicht een grote rol. Wanneer een hoge bouwsnelheid sterk gewenst is, dan leent staal zich goed om te worden toegepast.

Door de toename van de hijscapaciteit in de werkplaatsen worden steeds grotere en zwaardere secties in de werkplaats geassembleerd en daarna over water naar de bouwlocatie getransporteerd. De ontwikkelingen in de productiefaciliteiten zijn voor een belangrijk deel te danken het feit dat Nederlandse staalbouwers zich vanaf ca. 1970 op de markt van offshore constructies zijn gaan begeven. De werkomstandigheden op de bouwlocatie van offshore constructies, ver in zee en sterk afhankelijk van de weersomstandigheden, zijn zeer slecht te noemen. Voor dergelijke constructies is het, om een betere efficiëntie te bereiken, noodzakelijk grote secties te fabriceren en in hun geheel naar de bouwlocatie te transporteren. De consequentie was dat grotere hallen werden gebouwd en de hijscapaciteit werd vergroot.



Figuur 12. Assemblage hoofdliggers Dintelhaven spoorbrug. (links)  
Figuur 13. Plaatsing van een brugsectie met uitbouwwagen; Ewijk. (boven)

Ook werden zwaardere transportmiddelen ontwikkeld. Hier werd in de bruggenbouw profijt van getrokken door afmetingen van te monteren onderdelen te vergroten. Samengestelde rijvloersecties en delen van hoofdliggers en ook compleet samengestelde bruggen konden nu worden gemonteerd (zie figuren 12 en 13). Bij een vergelijkbare brug in beton is een uitvoering op deze wijze, vanwege het grotere eigen gewicht, geen praktische oplossing.

### Constructiehoogte

De constructiehoogte speelt bij bruggen in het Nederlandse landschap een belangrijke rol. Met constructiehoogte wordt, in tegenstelling tot de betekenis van dit begrip in de utiliteitsbouw, het hoogteverschil bedoeld tussen bovenkant van de rijvloer (rails c.q. het asfalt) en de onderkant van de (hoofdligger van) de brug. De hoge ligging van de brug moet opgenomen worden in het verticaal alignment van de weg, wat betekent dat een groot zandlichaam of lange aanbruggen nodig zijn om de op hoogte gelegen brug te bereiken. Vooral bij spoorverkeer geldt het belang van een lage constructiehoogte, dit in verband met de geringe toegestane maximum helling.

### Onderbouw en aanbruggen in beton

De onderbouwconstructie van grote verkeersbruggen, ongeacht de materiaalkeuze voor de bovenbouw, wordt altijd uitgevoerd in beton. Eveneens worden de aanbruggen altijd gebouwd in beton, sinds de opkomst, rond 1960, van voorgespannen geprefabriceerde liggers. Omdat er al een deel van het project in beton wordt

uitgevoerd, wordt soms besloten het hele project in beton uit te voeren. In sommige gevallen komt het voor dat er binnen het aannemersbedrijf een beton- en een staalafdeling is, maar in de meeste gevallen is dit niet zo. Veel aannemersbedrijven werken alleen met beton of staal, en niet met beide.

### Temperatuursinvloeden

Door de lage massa van stalen bruggen t.o.v. betonnen bruggen en de opwarmingsnelheid c.q. afkoelingsnelheid treden bij stalen bruggen eerder problemen op veroorzaakt door (ongelijkmatige) uitzetting en door gladheid van de rijvloer bij vorst.

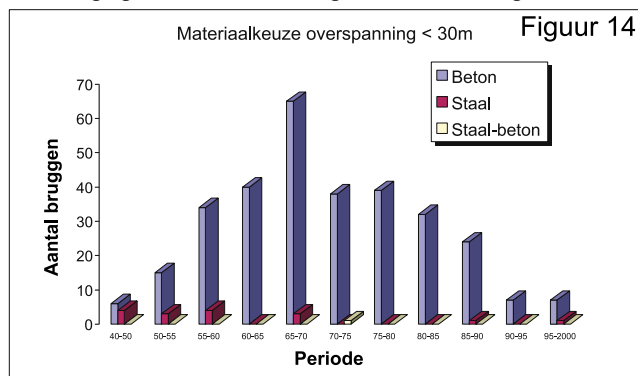
### Vermoeiingslevensduur

Bij stalen bruggen worden eerder problemen t.g.v. vermoeiingsschade ondervonden dan bij betonnen bruggen. Hiervoor zijn twee redenen aan te geven. Ten eerste ligt bij staal de verhouding tussen belasting uit variabele belasting en belasting uit eigen gewicht hoger, waardoor het effect van spanningswisselingen beter merkbaar wordt. Ten tweede komen bij stalen bruggen veel gelaste verbindingen voor waar zich spanningsconcentraties voordoen. Het bereik waartussen de spanning in deze onderdelen van de brug varieert (de spannings-range) komt daardoor hoog te liggen, zodat minder wisselingen hoeven plaats te vinden totdat bezwijken op vermoeiing plaatsvindt. Betonnen bruggen hebben dikke, massieve doorsneden waarin bovendien geen plotselinge overgangen voorkomen. De spanningsrange blijft hierdoor klein.

## 3. Materiaalkeuze bruggen

### 3.1 Verkeersbruggen

In het hiernavolgende wordt de ontwikkeling van de materiaalkeuze in de bruggenbouw in de periode 1940-2000 beschreven. Voor de gegevens van de bruggen is gebruik gemaakt van het DISK bestand van Rijkswaterstaat. Hierin staan beknopte gegevens zoals lengte, breedte e.d. van de meeste grote verkeersbruggen in Nederland. Voor belangrijke bruggen die niet in opdracht van Rijkswaterstaat zijn gebouwd, zoals enkele in Rotterdam, is informatie uit tijdschriftartikelen gehaald. Verder is de beperking gesteld dat bruggen met een totale lengte van het kunstwerk kleiner dan 30 meter niet worden meegeteld. Om de ontwikkeling in materiaalkeuze in beeld te brengen zijn de bruggen uit het gegevensbestand ingedeeld in categorieën van

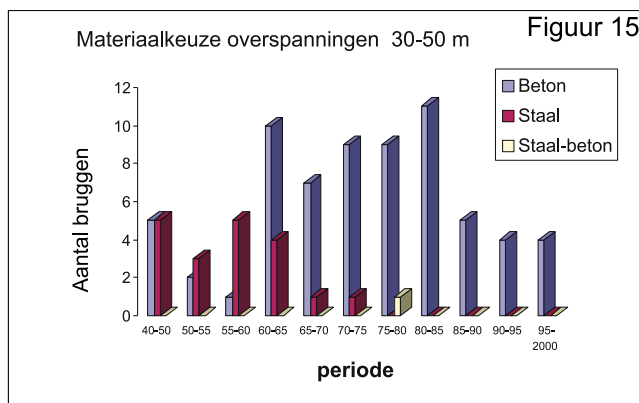


lengte van hoofdoerspanning. De indeling in overspanningscategorieën is als volgt:

- Bruggen met hoofdoerspanning kleiner dan 30 meter
- Bruggen met hoofdoerspanning tussen 30 en 50 meter
- Bruggen met hoofdoerspanning tussen 50 en 100 meter
- Bruggen met hoofdoerspanning tussen 100 en 200 meter
- Bruggen met hoofdoerspanning groter dan 200 meter

### Materiaalkeuze verkeersbruggen < 30 m. fig 14

Op het gebied van bruggen met een hoofdoerspanning van minder dan dertig meter is beton absoluut meester. Stalen plaatliggerbruggen komen alleen kort na de oorlog en in enkele incidentele gevallen voor. Met gewapend betonnen plaat- of balkbruggen konden deze korte overspanningen gemakkelijk worden gerealiseerd, en bovendien tegen lagere kosten dan in staal. De vele viaducten over de snelwegen, die ook in deze overspanningscategorie vallen, werden in beton gebouwd. Beton had hierdoor in deze overspanningscategorie een grote afzet, waardoor bij de bouw van deze bruggen gebruik kon worden gemaakt van seriematige fabricage. De bouwkosten konden hierdoor lager worden. Met het voorgespannen beton, dat vanaf ca. 1952 voor geprefabriceerde liggers werd toegepast, werd de positie van het beton nog verder versterkt. Met voorgespannen geprefabriceerde liggers kon met lagere constructiehoogten worden volstaan en werd eveneens de montage vereenvoudigd.

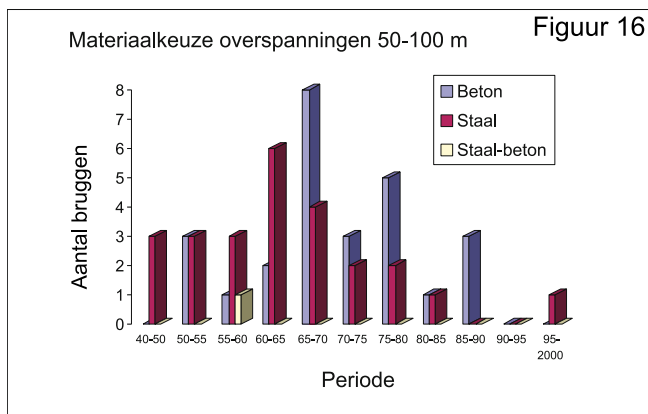


### Materiaalkeuze verkeersbruggen 30 – 50 m. fig 15

De bruggen met iets grotere hoofdoerspanning (tussen de 30 en 50 meter) zijn tot ca. 1960 nog voornamelijk in staal gebouwd. Rond die tijd begint men in Nederland met de toepassing van het voorgespannen beton en neemt de omzet in beton een vlucht. Een tweede verklaring voor de toename van het gebruik van beton is dat vanaf 1950 de betoncentrales zijn opgekomen. Dit betekende een grote verbetering voor de beschikbaarheid van beton op iedere locatie vóór de tijd van de betoncentrales moest bij ieder bruggenbouwproject een betonfabriek ter plaatse worden gebouwd om het benodigde beton te fabriceren. Het transporteren van beton over de weg in mixers bestond nog niet. Vanaf het moment dat dit wel mogelijk werd was het ook voor kleinere projecten aantrekkelijk om in beton te bouwen. Het gebruik van staal neemt langzaam af totdat dit in ongeveer 1975 tot nul is gedaald. Op een staal-betonviaduct over de rijksweg A12 bij Zoetermeer na komt

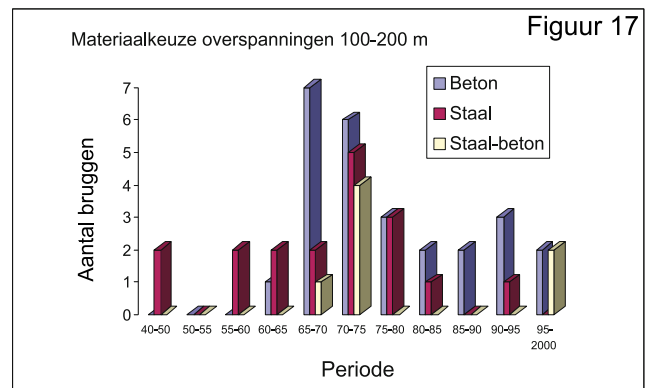


staal voor de relatief korte hoofdoverspanning van 30-50 meter niet meer voor. De hiervoor genoemde verbeteringen die de betonindustrie had bereikt en de toegenomen overspanningen die met voorgespannen beton kunnen worden gehaald, geven een verklaring voor dit verloop. De stalen bruggen die in deze overspanningscategorie voorkomen zijn veelal verstijfde staaf-boogbruggen, maar er is een overgang te zien naar plaatliggerbruggen. De eerste betonnen bruggen met deze overspanning waren boogbruggen met laaggelegen rijvloer. Het betreft hier herbouwde bruggen over het Twentekanaal, en er is dus geen sprake van een nieuw brugtype. Tegen het eind van de jaren vijftig wordt voor een overspanning van 33 m een kokerligger in voorgespannen beton gebruikt, en later ook grotere overspanningen met gewone liggerbruggen.

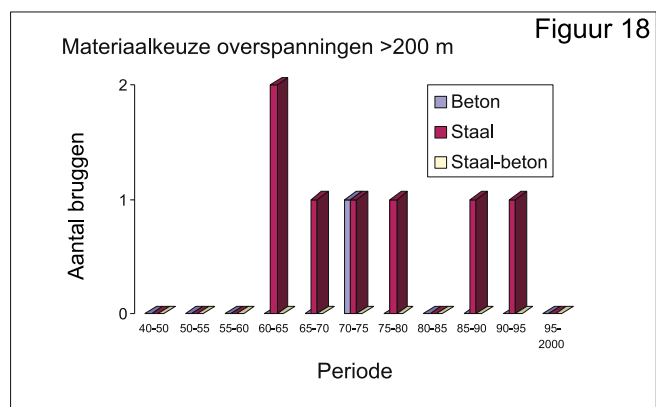


**Materiaalkeuze verkeersbruggen 50 – 100 m (fig. 16).** In vergelijking met de vorige grafiek van de categorie hoofdoverspanningen tussen de 30 en 50 meter is bij de categorie 50 – 100 meter een verschuiving te zien van de opkomst van beton en een minder snelle uitdemping van het aantal bruggen dat uitgevoerd is in staal. De opkomst van beton is hier voor een deel toe te schrijven aan de uitbreiding van de toepassing van het voorgespannen beton. De bouw van de brug over de Maas in Roermond in 1961 is een belangrijke stap in de ontwikkeling van het voorgespannen beton in Nederland. Veel belangrijker is de introductie halverwege de jaren '60 van een nieuwe bouwmethode voor beton. De uit Duitsland afkomstige methode van vrije uitbouw werd in Nederland toegepast bij de brug over de Maas en Julianakanaal bij Wessum die in 1966 gereed was en een totale lengte had van 506 meter en een hoofdoverspanning van 100 meter. Deze bouwmethode bleek zeer aantrekkelijk en heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan verbetering van de positie van het materiaal beton in de bruggenbouw voor de grotere overspanningen. De piek in de bouw van betonnen bruggen rond 1970 is hieraan toe te schrijven. Van de 11 bruggen werden er 8 in beton gebouwd. Bij de stalen bruggen komen voor deze overspanningen vele brugtypen voor. Er is een trend waarneembaar van boog- en vakwerkbruggen naar plaatliggerbruggen. Tot ongeveer 1970 kwamen veel verstijfde staaf-boogbruggen voor. De eerste stalen tuibrug wordt in 1968 gebouwd, de Harmsen-brug in het Rotterdamse havengebied, met een overspanning van 109 meter. De eerste in Nederland gebouwde staal-betonbrug met een overspanning van ruim 60 meter werd in 1957 over

de Maas in Venlo gebouwd. Verdere toepassing van staal-beton in bruggen heeft echter niet plaatsgevonden voor bruggen met hoofdoverspanningen tussen de 50 en 100 meter.



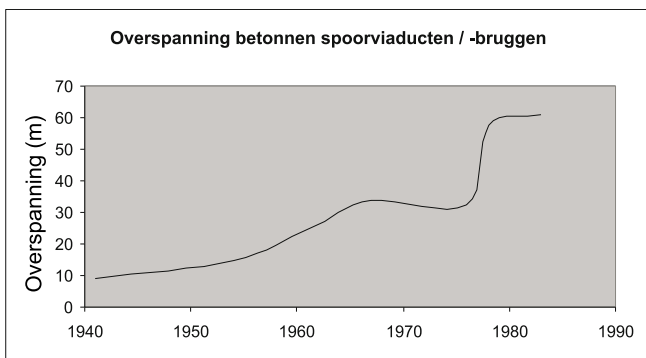
**Materiaalkeuze verkeersbruggen 100 – 200 m (fig. 17).** De materiaalkeuze voor de hoofdoverspanningen tussen 100 en 200 meter laat ook overgang zien van staal naar beton. Links in de grafiek, de periode vanaf 1940 tot 1960, is te zien dat alleen staal toepassing vond voor deze grote overspanningen. Vanaf eind jaren '60 komt de keuze voor beton op. Er worden in deze periode een aantal kokerliggerbruggen gebouwd volgens de steigerloze uitbouwmethode. De later gebouwde betonnen bruggen zijn voor het grootste deel kokerlig-gerbruggen. De tuibrug komt voor deze overspanning, en overigens ook nog voor overspanningen boven de 200 meter, ook een keer voor bij de brug over de Berg-sche Maas bij Heusden, gebouwd in 1990. Bij de stalen bruggen komen veel verschillende brugtypen voor; vakwerkbruggen, plaatliggerbruggen, verstijfde staafboogbruggen en tuibruggen. In de piek die loopt van 1965 tot 1975 is ook een opkomst van de staal-beton brug te zien. Dit zijn de staal-beton bruggen die zijn gebouwd over het Schelde-Rijn kanaal.



**Materiaalkeuze verkeersbruggen > 200 m (fig. 18).** Voor hoofdoverspanningen van meer dan 200 meter worden in Nederland vooral stalen bruggen toegepast. Er is één brug met een overspanning van meer dan 200 meter in beton gebouwd. Dit is de Waalbrug bij Tiel, een tuibrug met een overspanning van 267 meter. Voor 1964 kwamen bruggen met deze grote overspanning in het geheel niet voor. In de tijd daarna komen ze verder ook niet veel voor, omdat voor Nederland geen behoefte is aan dergelijke grote bruggen. De eerste brug

van dergelijke grote afmeting is de Van Brienoordbrug, een stalen boogbrug met een overspanning van 287 m, gebouwd in 1964. Deze lengte is in Nederland niet meer overtroffen, behalve door de tweede van Brienoordbrug die er in 1989 naast is gelegd. Deze brug, eveneens een boogbrug, heeft een overspanning van 295 meter. De keuze voor een boogbrug is vrij opmerkelijk, omdat de tuibrug in deze tijd het meest voorkomende brugtype was voor dergelijke overspanningen. Op grond van esthetica is gekozen voor een boogbrug. De laatste boogbrug die voor de tweede van Brienoordbrug werd gebouwd was de brug over de Beneden Merwede bij Dordrecht (203 m overspanning). Hierna werd in alle gevallen gekozen voor een tuibrug i.p.v. een boogbrug. Grote tuibruggen die vanaf 1970 in Nederland zijn gebouwd zijn de volgende:

- Waalbrug bij Ewijk (1975) met 270 m overspanning over het zomerbed.
- Waalbrug bij Tiel (1975) in beton met een overspanning van 267 m.
- Willemsbrug over de Nieuwe Maas in Rotterdam (1980) met 260 m overspanning.
- Tweede oeververbinding over de IJssel bij Kampen (1983) met 193 m overspanning.
- Erasmusbrug over de Nieuwe Maas in Rotterdam (1996) met een overspanning van 284 m.



Figuur 19. Overspanning betonnen spoorviaducten en -bruggen.

### 3.2 Spoorbruggen

Het voorgespannen beton heeft ook bij bruggen en viaducten voor spoorverkeer toepassing gevonden, zij het in mindere mate dan bij verkeersbruggen. Het mindere gebruik van beton in spoorbruggen komt doordat betonnen (koker)liggers met hooggelegen rijvloer, die bij betonnen bruggen veel voorkomen, een zeer hoge constructiehoogte hebben. Hoewel de overspanning van voorgespannen betonnen spoorbruggen wel is toegenomen wordt voor overspanningen groter dan ca. 60 m gekozen voor staal. Nadat in de jaren '50 het voorgespannen beton haar intrede maakte is te zien dat de overspanningen van betonnen spoorviaducten toenemen. Zie figuur 19, die is gemaakt m.b.v. van gegevens van de Nederlandse Spoorwegen.

Als vanaf 1976 de bouw van grote spoorbruggen een impuls krijgt, doordat vele oude overbruggingen moeten worden vervangen, en tevens verdubbeling van het spoor plaats moet vinden, wordt voor beton gekozen voor de aanbruggen. De overspanning van de voorgespannen betonnen liggers voor spoorbruggen

nam toe, omdat deze in dit geval werd bepaald door de aanwezige steunpunten waar in het verleden de stalen vakwerkliggerbruggen (met 30-60 m overspanning) waren opgelegd. De eerste brug met betonnen aanbruggen was de brug over de IJssel bij Zutphen. De aanbruggen, bestaande uit zes overspanningen, zijn gebouwd in voorgespannen beton met overspanningen ter lengte van 33 m. Een volgende brug waarbij betonnen aanbruggen zijn toegepast is de brug over de Waal bij Nijmegen (1978). De overspanning bij deze aanbruggen was 57,50 m. De brug over de Lek bij Culemborg werd in 1980 vervangen, waarbij ook de stalen aanbruggen van 60 meter overspanning werden vervangen door voorgespannen betonnen liggers. De materiaal-keuze voor spoorbruggen met grotere overspanningen dan 60 m is altijd nog staal, hoewel er voor de overbrugging van het Hollands Diep bij Moerdijk een ontwerp is gemaakt voor een betonnen brug met overspanningen van 100 meter. Dit is echter niet uitgevoerd, de keuze is gevallen op een staal-beton brug met een stalen kokerligger als hoofdligger.

### Referenties

- [1] C.T.L. Menken, Afstudeerwerk "Bruggen in Beweging: De evolutie van vaste stalen bruggen in Nederland 1940 – 2000". Juni 2002, TU-Delft.
- [2] J. Oosterhoff "Bruggen in Nederland 1800-1940 deel1".
- [3] Ir. A.H. Foest "Na-oorlogse herbouw met spoorverdubbeling van de spoorbrug bij Moerdijk" De Ingenieur 30 maart 1956 no. 13.
- [4] Tien jaar stalen bruggen in Rotterdam. Special van Bouwen met Staal.
- [5] Rijkswaterstaat '50 jaar overbrugd'



5-puntsbuigproef houten liggers (zie blz. 24)