

PIE RAPPORTENREEKS

1

COMPENDIUM BRUGGEN

Nederlandse Bruggen Stichting
Technische Universiteit Delft

NBS TU Delft

Uitgave:
Stichting Projectbureau Industrieel Erfgoed
Zeist 1994

Inhoud

Voorwoord	5	7. Bruggen van beton	63
1. Inleiding	7	7.1. De constructie van betonnen bruggen	63
2. IJzerconstructies	9	7.2. Typenordening	65
2.1. IJzersoorten	9	7.2.1. <i>Balkbruggen</i>	66
2.2. Constructies van gietijzer en van smeedijzer en staal	10	7.2.2. <i>Plaatbruggen</i>	67
2.3. Halfprodukten	12	7.2.3. <i>Ingeklemden balk- en plaatbruggen</i>	68
2.4. Verbindingsmethoden	14	7.2.4. <i>Kraagbruggen</i>	68
3. Betonconstructies	15	7.2.5. <i>Schoorbruggen</i>	69
4. De levensduur van bruggen	17	7.2.6. <i>Boogbruggen</i>	70
4.1. De aantasting van ijzerconstructies	17	7.2.7. <i>Raamwerkbruggen</i>	72
4.2. De aantasting van betonconstructies	18	7.2.8. <i>Portaalbruggen</i>	72
4.3. De verandering van het verkeersaanbod	18	7.2.9. <i>Hangbruggen</i>	73
4.4. Grotere belastingen	20	7.2.10. <i>Tuibruggen</i>	74
4.5. Conclusie	21	8. Beweegbare bruggen	75
5. Indeling van bruggen naar functie en type	23	8.1. Typenordening	76
5.1. Indeling van bruggen naar hun functie	23	8.1.1. <i>Ophaalbruggen</i>	77
5.2. Typenordeningen	23	8.1.2. <i>Strauszbruggen</i>	80
6. Vaste bruggen van ijzer en staal	25	8.1.3. <i>Basculebruggen</i>	80
6.1. De constructie van ijzeren en stalen bruggen	25	8.1.4. <i>Klapbruggen</i>	82
6.2. Typenordening	29	8.1.5. <i>Draaibruggen</i>	82
6.2.1. <i>Vollewandliggerbruggen</i>	30	8.1.6. <i>Kraanbruggen</i>	85
6.2.2. <i>Bruggen met span- of schoorwerken</i>	32	8.1.7. <i>Rolbruggen</i>	86
6.2.3. <i>Bruggen met opengewerkte liggers</i>	34	8.1.8. <i>Hefbruggen</i>	87
6.2.4. <i>Vakwerkbruggen</i>	35	8.1.9. <i>Rolbasculebruggen</i>	88
6.2.5. <i>Raamwerkbruggen</i>	50	8.1.10. <i>Aanlegbruggen</i>	89
6.2.6. <i>Kraagbruggen</i>	51	8.1.11. <i>Schipbruggen</i>	90
6.2.7. <i>Bruggen met ingebetonnen liggers</i>	52	8.1.12. <i>Vlotbruggen</i>	91
6.2.8. <i>Portaalbruggen</i>	53	8.2. <i>Bewegingswerken</i>	92
6.2.9. <i>Boogbruggen</i>	54	9. De onderbouw	99
6.2.10. <i>Hangbruggen</i>	61	Literatuur	109
6.2.11. <i>Tuibruggen</i>	62		

Voorwoord

In Nederland is thans in uitvoering het Monumenten Selectie Project (MSP) waarbij door hiertoe gevormde teams in ieder der twaalf provincies en de vier grote steden Amsterdam, Den Haag, Rotterdam en Utrecht voorstellen worden gedaan voor het plaatsen van objecten op monumentenlijsten. Het werk is gebaseerd op het Monumenten Inventarisatie Project (MIP), een grootscheepse inventarisatie van jongere stedenbouw en bouwkunst uit de periode 1850-1940, welk project thans vrijwel is afgerond. Het werk van de MSP-teams vordert snel, in enkele provincies is binnenkort, wat de voorstellen aan de gemeenten betreft, zelfs voltooiing te verwachten.

Bij het opstellen van de monumentenvoorstellen doet zich de omstandigheid voor dat er enerzijds moet worden gehandeld volgens een strak tijdschema, anderzijds bij een aantal categorieën van objecten onvoldoende kennis aanwezig is om tot een verantwoord oordeel te komen. Tot deze categorieën behoren ook de bruggen.

Destijds werd dit kennisprobleem reeds voorzien met betrekking tot de objecten die worden gerekend tot het industrieel erfgoed. In 1989 verscheen er een rapport 'Het industrieel erfgoed en de kunst van het vernietigen' op basis waarvan door de Minister van WVC aanvang 1992 het Projectbureau Industrieel Erfgoed (PIE) werd ingesteld. Een van de werkzaamheden van het Projectbureau is het verstrekken van opdrachten aan een aantal instellingen om onderzoek te verrichten. Zo werd er ook een opdracht gegeven aan de Nederlandse Bruggen Stichting (NBS) voor een onderzoek 'Bruggen als industrieel erfgoed'. Een van de belangrijkste onderdelen van dit onderzoek is het onderwerp 'Waardestelling en selectie'.

Nederland is een bijzonder bruggenland. Niet alleen omdat er vele bruggen in voorkomen maar ook vanwege de vele grachtensteden die het herbergt en die uniek zijn in de wereld. Het is daarom opmerkelijk dat in ons land ten opzichte van de ons omringende landen nog weinig is gedaan aan de geschiedschrijving van de bruggenbouw. In die leemte moest in de eerste plaats worden voorzien.

Tijdens de uitvoering van het onderzoek kwamen er al spoedig contacten met de MSP-teams, meestal gebaseerd op vragen van die zijde over bepaalde bruggen. Uiteindelijk leidde dit tot het bezoeken van vrijwel alle teams door degenen die het onderzoek uitvoeren. Bij de gesprekken bleek er, naast informatie over afzonderlijke bruggen, ook behoefte te bestaan aan voorlichting over het hanteren van juiste benamingen voor de verschillende typen van bruggen en onderdelen daarvan.

Dit leidde tot het besluit om met voorrang een boekje samen te stellen dat in het bijzonder informatie zou bevatten voor de uitvoering van het Monumenten Selectie Project op het gebied van bruggen. Het heeft de naam 'Compendium Bruggen' gekregen omdat het op beknopte wijze kennis wil overdragen. Het is echter niet een gecomprimeerde opsomming van gegevens. Waar dit nodig leek is ook tekst gewijd aan het geven van inzicht in achtergronden van de bruggenbouw die van belang leken voor de monumentenselectie. Zo is een hoofdstuk gewijd aan de levensduur van bruggen om begrijpelijk te maken waarom bruggen ten opzichte van de meeste andere bouwwerken slechts een beperkte bestaansduur hebben. Zo'n constatering leidt tot de conclusie dat bepaalde brugtypen snel verdwijnen hetgeen een overweging dient te zijn bij het besluit om nog bestaande exemplaren van deze typen al dan niet te behouden.

In het Compendium Bruggen zal men geen informatie vinden over hoe men tot waardestelling en selectie van bruggen kan geraken. Over dit onderwerp wordt nu nog studie verricht die binnenkort zal resulteren in een rapport van aanbeveling.

Uit de titel van het onderzoek, 'Bruggen als industrieel erfgoed', waarop dit compendium is gebaseerd, blijkt al dat niet alle Nederlandse bruggen bij dit onderzoek worden betrokken. Het is in het bijzonder gericht op bruggen van ijzer en staal (de eerste ijzeren brug werd in Nederland vermoedelijk in 1836 gebouwd) en van beton (de bouw van betonnen bruggen kwam omstreeks 1900 tot ontplooiing). Vóór 1836 werden bruggen gebouwd van steen (baksteen, natuursteen) en van hout. Ook bij deze bruggen vonden ontwikkelingen plaats in het kader van de industrialisatie van Nederland

maar toch werden zij tot 1940 overwegend gebouwd in traditionele vormen en volgens van oudsher bekende uitvoeringsmethoden, reden om er in dit compendium weinig of geen aandacht aan te schenken.

In het compendium is datgene op het gebied van de bruggenbouw behandeld wat in Nederland gebruikelijk is en was. Vooral bij de typenordeningen is dat het geval. Slechts bij uitzondering zijn brugvormen opgenomen die niet in Nederland maar wel in het buitenland voorkomen. Zo worden bijvoorbeeld wel hangbruggen en zweefbruggen genoemd, om het beeld van de brugtypen volledig te maken. Deze typen zijn in Nederland echter niet gebouwd, wel zijn er niet uitgevoerde ontwerpen voor gemaakt.

Het compendium is vooral gericht op de uitvoering van het Monumenten Selectie Project. Maar het is ook bruikbaar voor historici die zich in een of andere vorm bezig houden met de geschiedenis van de bruggenbouw in Nederland, voor de media als naslagwerk voor benamingen en voor geïnteresseerde leken, voor wie bruggen fascinerende bouwwerken zijn.

Bij het opstellen van de tekst was het onontkoombaar om termen te gebruiken die in de bruggenbouw gebruikelijk maar voor buitenstaanders wellicht minder duidelijk zijn. Deze hebben vooral betrekking op krachten die in constructies werken. Hierover is informatie te vinden in het boek 'Kracht en vorm' van J. Oosterhoff, deel 4 in de serie 'Bouwtechniek in Nederland', een uitgave van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg en de Delftse Universitaire Pers uit 1990. Ook kan het naslaan van het boek 'Constructies van ijzer en beton'. Gebouwen 1800-1940. Overzicht en typologie' (deel 1 in dezelfde serie, 1988) nuttig zijn.

Het compendium kwam tot stand op basis van het onderzoek dat in opdracht van het Projectbureau Industrieel Erfgoed werd verricht. Voor het Projectbureau trad dr. E. Nijhof op als onderzoekcoördinator. Ook voor dit compendium gaf hij richtlijnen en zorgde hij voor het in druk brengen en de verspreiding ervan. De inhoud werd samengesteld door twee werkgroepen van de Nederlandse Bruggen Stichting, de werkgroep 'Bruggen van ijzer en staal' (ir. G.J. Arends, ing. B.H. Coelman, ir. H. de Jong, ing. H.M.C.M. van Maarschalkerwaard, prof.ir. J.

Oosterhoff) en de werkgroep 'Bruggen van beton' (ir. G.J. Arends, prof.ir. J.H. Loenen, prof.ir. J. Oosterhoff, prof.ir. G. Scherpbier, A.A. van der Vlist, ir. H. de Vriend, ir. H. de Vries). Ook de Technische Universiteit Delft werkte mee aan het onderzoek (ir. G.J. Arends, J.S.D. Dijkstra) terwijl als begeleidingscommissie functioneerde het bestuur van de Nederlandse Bruggen Stichting (ir. G. Hardenberg, ir. H.P. Klooster, prof.ir. J. Kuipers, prof.ir. J.H. van Loenen, prof.ir. J. Oosterhoff).

Ongetwijfeld geeft het compendium geen antwoord op alle vragen die bij het Monumenten Selectie Project naar voren komen. Aan beknoptheid en overzichtelijkheid is voorrang gegeven boven volledigheid. De Nederlandse Bruggen Stichting is waar mogelijk gaarne bereid tot nadere informatie. Hiervoor kan men zich wenden tot ir. G.J. Arends, Gebouw voor Bouwkunde, kamer 7.01a, Berlageweg 1, 2628 CR Delft, tel. 015 - 784 886 of 01820 - 20 935.

1 Inleiding

Nederland is op het gebied van de bruggenbouw een bijzonder land. Er zijn maar weinig landstroken in de wereld die zo vlak, laaggelegen en waterrijk zijn als in het westen en noorden van ons land het geval is. Deze geografie gaf in het verleden aanleiding tot een intensief verkeer over water. Terwijl het kanalenstelsel regelmatig werd uitgebreid was, afgezien van spoor- en tramwegen, tot het einde van de 19de eeuw het landwegenstelsel beperkt en in doorsnede van slechte kwaliteit. Vóór de invoering van het spoorwegverkeer omstreeks 1840 kwamen buiten de steden slechts weinig bruggen voor. Voor de scheepvaart waren zij een belemmering en in vaarwegen werden zij dan ook zoveel mogelijk vermeden. Het landverkeer maakte voor het passeren van vaarwater dan ook meestal gebruik van veren. Buiten de vaarwegen zocht men naar doorwaadbare plaatsen. Eerst door de ontwikkeling van de spoorwegen ontstond er op het platteland meer behoefte aan bruggen. Omstreeks 1870 was er een versnelling in de bouw van bruggen voor het wegverkeer maar deze kwam eerst sterk tot ontwikkeling door de komst van de auto omstreeks 1900.

Geheel anders was de situatie in de steden in het westen en noorden van Nederland. Vóór 1800 vond het goederenvervoer voornamelijk over water plaats. Deze goederen moesten in de steden worden gebracht, hetzij voor directe verkoop of verwerking, hetzij voor opslag in pakhuizen. Onder meer hiervoor waren er grachten aanwezig. In kleine steden waren enkele grachten voldoende, in de grote steden, met name in Amsterdam, was er een uitgebreid ringstelsel van grachten. Voor monumentenzorgers is een belangrijk gegeven dat, afgezien van een soortgelijke ontwikkeling in de Vlaamse kuststeden, zulke grachtensteden elders in de wereld zeldzaam zijn.

Door de ligging van de grachten op betrekkelijk geringe afstanden van elkaar en de noodzaak van een zoveel mogelijk onbelemmerd stadsverkeer waren er bruggen nodig waarvan een deel

beweegbaar moest zijn om schepen door te laten. Enkele uitzonderingen daargelaten zijn er elders ter wereld geen steden met een zo dichte bruggenbezetting als de Nederlandse grachtensteden.

Gezien deze unieke situatie is er dus alle reden om in de monumentenzorg in Nederland aandacht te besteden aan bruggen. Een remmende factor daarbij is dat er weinig bekend is over de geschiedenis van de bruggenbouw in Nederland. In tegenstelling tot landen zoals Engeland, Frankrijk en Duitsland zijn daarover geen samenvattende publicaties. In het onderzoek 'Bruggen als industrieel erfgoed', dat door de Nederlandse Bruggen Stichting en de Technische Universiteit Delft in opdracht van het Projectbureau Industrieel Erfgoed wordt uitgevoerd, is dan ook een studie van deze geschiedenis opgenomen. Het voornemen is om hierover in de loop van 1994 een publicatie te laten verschijnen. Hierin zal de basis- en achtergrondkennis worden neergelegd die onder meer nodig is voor de beoordeling van bruggen in het kader van het al dan niet behouden als monument. Voorts is er een studie gaande over 'Waardestelling en selectie' met betrekking tot bruggen. Ook hierover zal in 1994 worden gepubliceerd. Naast deze kennis is echter ook een behoefte bij de teams van het Monumenten Selectie Project gebleken aan informatie over het herkennen en benoemen van brugtypen en onderdelen daarvan in verband met het opstellen van beschrijvingen. Het is de bedoeling dat het Compendium Bruggen in deze leemte voorziet.

In het compendium is als hoofdbestanddeel een aantal typenordeningen opgenomen over:

- Vaste bruggen van ijzer en staal.
- Bruggen van beton.
- Beweegbare bruggen.
- De onderbouw van bruggen.

Opmerking verdient dat de benaming 'typenordening' is gehanteerd in plaats van het meer gebruikelijke 'typologie'. Volgens 'Van Dale Groot woordenboek van hedendaags Nederlands, Utrecht/Antwerpen 1984' wordt onder typologie verstaan: "leer van de indeling van de mensen, de dieren, de planten enz. in een aantal soorten binnen welke de afzonderlijke leden van de

soort een aantal eigenschappen gemeen hebben." Het woord 'typologie' is dus van toepassing op de leer van de indeling, niet op de indelingen zelf. Daarom is voor de indelingen gekozen het woord 'typenordening'.

De typenordeningen worden vooraf gegaan door enkele korte hoofdstukken over ijzer- en staalconstructies en betonconstructies.

Uitvoeriger is het hoofdstuk 'De levensduur van bruggen' waarin de beperkte bestaansduur van bruggen wordt behandeld en de consequenties die dit voor de monumentenzorg heeft.

Zoals in het Voorwoord reeds is gezegd is in het compendium nauwelijks of geen informatie opgenomen over houten en stenen bruggen. Dit komt voort uit het onderzoek 'Bruggen als industrieel erfgoed' waarin alleen bruggen van ijzer en staal en van beton worden behandeld. In dit geval is het zo spoedig mogelijk laten verschijnen van het compendium verkozen boven een volledigheid, waarbij alle brugtypen aan de orde worden gesteld.

2. IJzerconstructies

IJzer is een materiaal dat omstreeks 1800 in gebruik kwam om gehele bruggen mee te bouwen. Daarvoor werden bruggen van hout en steen gemaakt, waarbij ijzer alleen dienst deed als ankers, trekstangen en dergelijke. De eerste ijzeren brug is de Iron Bridge over de Severn bij Coalbrookdale in het westen van Engeland. Deze gietijzeren boogbrug, met een overspanning van 30 m, kwam in 1779 gereed. In Nederland dateert de eerste ijzeren brug uit 1836, een toegangsbrug bij het kasteel Beverweerd bij Werkhoven in de provincie Utrecht.

In dit compendium wordt er de voorkeur aan gegeven om in de naamgeving eenvoudigheidshalve geen onderscheid te maken tussen smeed- of welijzer en staal en in het algemeen te spreken van ijzerconstructies, ook als deze van staal zijn gemaakt, zoals in de 20ste eeuw gebruikelijk werd. Een belangrijke overweging hierbij is dat voor 1940 vrij algemeen werd gesproken over ijzerconstructies, ook al werden zij van staal gemaakt. Zo werd in publicaties over de verkeersbrug over de IJssel bij Zwolle, die in 1930 gereed kwam, de middenoverspanning aangeduid als een 'ijzeren boogbrug', hoewel zij was gemaakt van staal. En nu nog noemt men een winkel, waar men artikelen koopt die overwegend van staal zijn gemaakt, een ijzerhandel. Pas in de dertiger jaren ging men er toe over om dit materiaal staal te noemen. Bij het gebruik van de woorden 'ijzer' en 'ijzerconstructies' wordt staal dus als een ijzersoort opgevat.

Het hoofdstuk 'IJzerconstructies' heeft een viertal onderdelen. In 2.1 'Ijzersoorten' en 'Constructies van gietijzer en van staal' wordt het verschil aangegeven tussen gietijzer, smeedijzer en staal en tussen constructies die van deze materialen zijn gemaakt. Vaak worden in geschiedkundige publicaties ijzerconstructies uit de 19de eeuw aangeduid als te zijn gemaakt van gietijzer, dat wil zeggen ijzer dat in vloeibare toestand in mallen is gegoten. Dit materiaal is in de 19de eeuw weliswaar veel gebruikt, maar veel groter is het aantal constructie van smeedijzer. Dit materiaal werd in de vorm van gewalste profielen,

platen en dergelijke (in de 19de eeuw gewoonlijk 'getrokken' ijzer genoemd) gebruikt, terwijl de onderdelen gewoonlijk door middel van klinken met elkaar werden verbonden.

In 2.3 'Halfprodukten' komen de elementen aan de orde, zoals deze door walserijen werden geleverd en waarvan ijzerconstructies werden gemaakt. Ten slotte wordt in 2.4 een samenvatting gegeven van de drie verbindingsmethoden voor ijzerconstructies: met schroeven, klinknagels en lasnaden.

2.1 Ijzersoorten

a. *Gietijzer*

Uit de hoogoven afkomstig ruwijzer, dat langzaam wordt afgekoeld en uitstekend in vormen gegoten kan worden (grijs gietijzer). Het heeft een hoog koolstofgehalte (meer dan 2,5%) en is hard en bros. Hierdoor laat het zich niet walsen en is het onder normale omstandigheden niet lasen smeedbaar. Als constructiemateriaal vooral in de 19de eeuw regelmatig toegepast, met name voor de ha-meipoorten van ophaalbruggen.

b. *Smeedijzer of welijzer*

In deegachtige toestand volgens het puddelovenproces uit ruwijzer verkregen materiaal met een laag koolstofgehalte (minder dan 0,2%). Het laat zich uitstekend smeden, walsen en lassen. Als constructiemateriaal toegepast tot circa 1900. Bij een koolstofgehalte hoger dan 0,2% spreekt men van wel- of puddelstaal (voor 1900 gewoonlijk van staal). Dit materiaal is hardbaar en werd gebruikt voor werktuigbouwkundige constructies.

c. *Staal (voor 1930 meestal vloe- of smeltijzer genoemd)*

In vloeibare toestand uit ruwijzer verkregen materiaal met een laag koolstofgehalte. Constructiestaal heeft een koolstofgehalte van minder dan 0,2%. Dit materiaal is goed te walsen, te lassen en te smeden. Het werd toegepast vanaf circa 1870 en verdrong na 1900 het smeedijzer. Voor werktuigbouwkundige toepassingen wordt staal met een hoger koolstofgehalte gebruikt (tot ruim 2%). Dit materiaal is niet smeedbaar, slecht lasbaar en goed hardbaar.

2.2 Constructies van gietijzer en van smeedijzer en staal.

IJzer (algemeen)

- Roest- of corrosiegevoelig (bij gebrek aan onderhoud zijn op en nabij het ijzerwerk vaak bruine roestvlekken zichtbaar).
- Wordt door een magneet aangetrokken.
- Voelt kouder aan dan hout.
- Geeft bij tikken een helderder geluid dan hout en steen.

Gietijzer

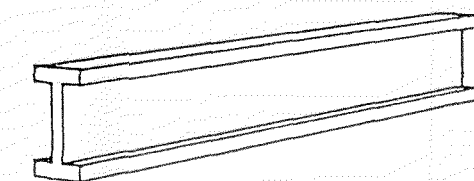
- Het oppervlak is vaak wat ruw, soms met putjes, terwijl een enkele maal gietnaden zichtbaar zijn (laatstgenoemde ontstaan door deling van de gietvorm).
- Fors gedimensioneerd, grote materiaaldikte.
- De elementen hebben afgeronde binnenhoeken. Deze zijn niet alleen nodig om het model uit de gietvorm (van vormzand) te kunnen halen zonder deze te beschadigen (goed lossend), maar ook om bij het optreden van krimpspanningen ten gevolge van afkoeling scheurvorming te vermijden; tevens worden daardoor (bij bijvoorbeeld de aansluiting van het lijf aan de flens) spanningsconcentraties bij belasting voorkomen.

De buitenhoeken zijn vaak niet afgerond maar scherp.

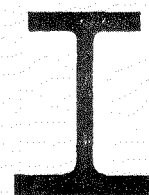
- Beter roestbestendig dan smeedijzer en staal.
- Klinkt bij tikken doffer dan smeedijzer en staal.
- Gietijzeren elementen kunnen holten omsluiten (holle kolommen en hameistijlen, uit één stuk gegoten).
- De dwarsdoorsnede in de langsrichting is vaak niet constant (niet-prismatisch).

Voorbeelden:

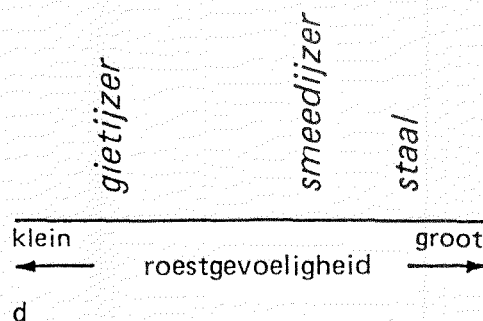
- o bij balken en liggers is de hoogte en/of breedte vaak aangepast aan het krachtenverloop.
- o bij I-balken bevinden zich tussen de onder- en bovenflens vaak meegegoten dwarsschotjes.
- o gietijzeren liggers hebben vaak openingen in dwarsrichting (opengewerkte liggers).
- o bij kolommen en hameistijlen heeft het onderste gedeelte vaak een andere vorm dan het bovendeele (zie ook h en k).



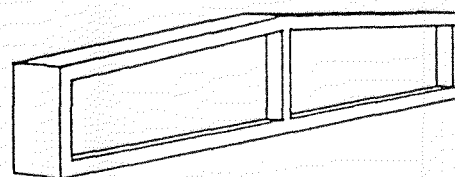
b



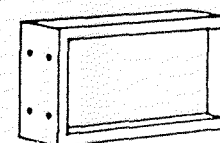
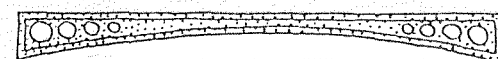
c



d

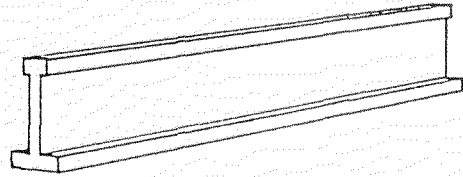


g

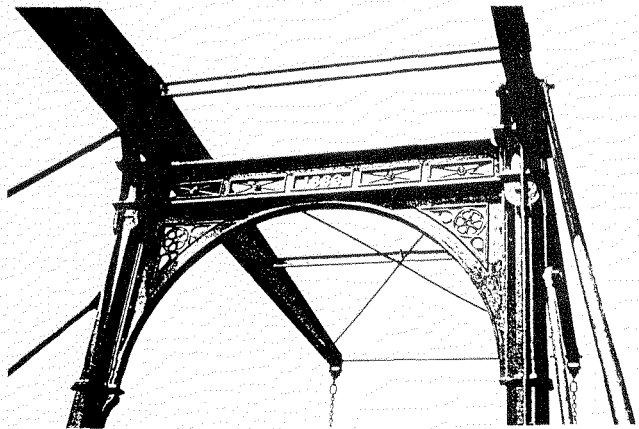


h

- h. De oplegpunten zijn veelal aangepast:
 - o balken en liggers hebben vaak een aange-goten eindschot of verbrede rand.
 - o kolommen en hameistijlen hebben meestal een meegegoten voet en kop (consoles).
- i. De doorsnede is vaak aangepast aan de mate-riaaleigenschappen: bij I-balken (op twee steunpunten) is de (op trek belaste) onder-flens groter dan de bovenflens.
- j. De onderdelen van een constructie zijn door middel van schroefbouten met elkaar verbonden, slechts zelden geklonken (verbinding tussen giet- en smeedijzer).
- k. Vaak rijk gedecoreerd:
 - o opengewerkte elementen hebben meestal ook een decoratieve functie.
 - o kolommen en hameistijlen zijn meestal voorzien van een meegegoten relief (zoals cannelures of groeven in langsrichting en ringen en groeven in dwarsrichting).
- l. Elementen soms voorzien van meegegoten naam en plaats van de ijzergieterij en een jaartal (jaar waarin het element gegoten is).
- m. Kan slecht trekkrachten verdragen: in het ver-leden op trek belaste elementen soms ge-scheurd.
- n. Het breukvlak heeft een dof, korrelig uiterlijk met een (donker) grijze kleur (brosse breuk); soms zijn er holten (gietgallen) aanwezig.



i

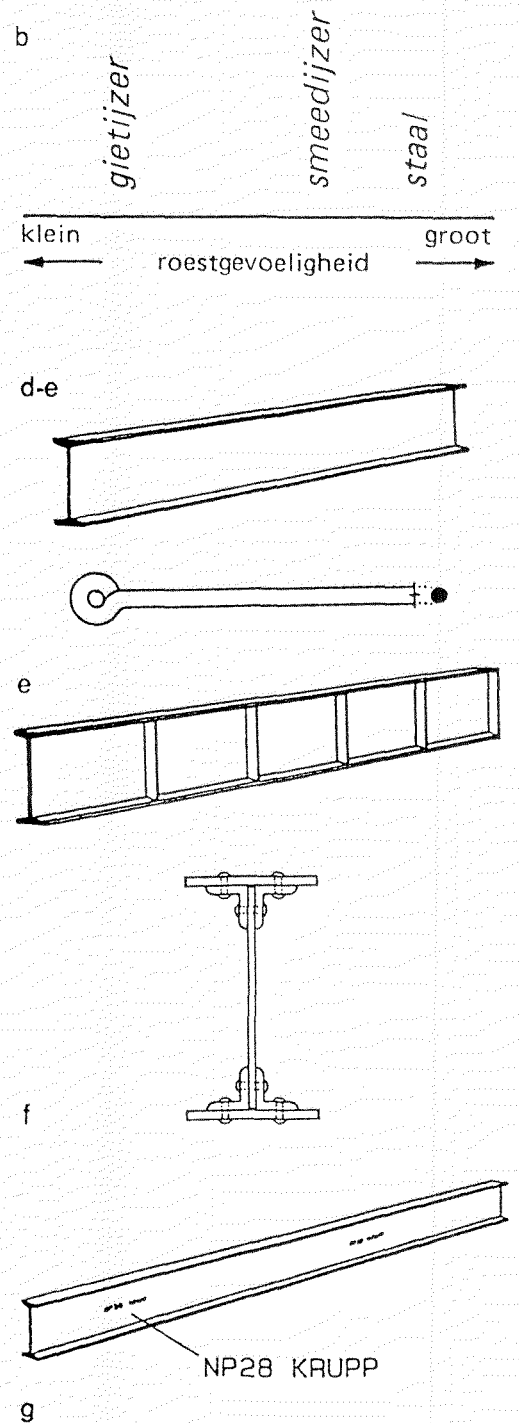


k



Smeed- of welijzer en staal

- a. Het oppervlak is tamelijk glad (indien niet geroest).
 - b. Roest (zonder behandeling) gemakkelijk in vochtige omgeving (smeedijzer en staal roesten in dezelfde atmosfeer sterker dan gietijzer, terwijl bij smeedijzer roestvorming minder snel zal optreden dan bij staal).
 - c. Klinkt bij tikken over het algemeen helderder dan gietijzer.
 - d. Constructie-elementen gewoonlijk slank gedimensioneerd met relatief geringe materiaaldikte.
 - e. Gewalste profielen hebben in de langsrichting een constante dwarsdoorsnede (prismatische vorm).
- Opmerkingen:
- o rondijzeren (trek)staven bezitten aan de uiteinden meestal een aangesmeed oog.
 - o grote liggers zijn vaak voorzien van verstijvingsribben, die één geheel lijken uit te maken met de ligger; deze zijn er echter na het walsen aangelast.
- f. Grote elementen gewoonlijk samengesteld uit aan elkaar geklonken of (na circa 1925) gelaste profielen, strippen en/of platen. (Na 1900 worden er overigens ook profielen met grotere afmetingen dan voorheen gewalst; voor 1900 was de maximale profielhoogte circa 500 mm.)
 - g. Profielen vaak op regelmatige afstanden voorzien van een opgewalste naam van de walserij en (gestandaardiseerde) profielaanduiding (met name de stalen profielen van na circa 1900).
 - h. Kan in tegenstelling tot het gietijzer grote trekkrachten opnemen.
 - i. Breukvlak heeft vaak een vezelig uiterlijk (taaie breuk); smeed- of welijzer heeft een gelaagde structuur.

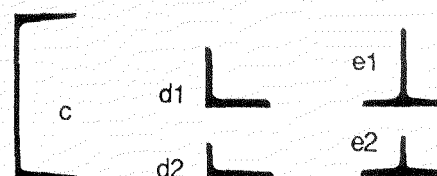
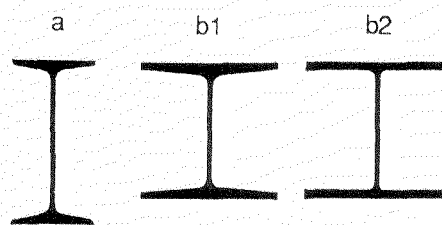
**2.3 Halfprodukten**

IJzerprodukten, zoals deze door de walserijen worden geleverd.

Profielijzer (profielstaal)

Het profiel- of faconijzer was verreweg het belangrijkste halfprodukt.

- a. INP (I-normaalprofiel; ook wel dubbel T-balk of balkijzer genoemd; heeft schuine flenzen (na 1945 verschenen de IPE-profielen met evenwijdige flenzen)).
- b. Breedflens(-I-)profiel (ook wel B-, Grey-, Differdinger- of Peiner-profiel genoemd):
 - 1. met hellende flenzen.
 - 2. met parallelle flenzen (DIN, DIR, DIL, DIE, DIH, na 1945 verschenen de HE-profielen).
- c. UNP (U-normaalprofiel; ook wel kanaal- of gootprofiel genoemd).
- d. Hoekprofiel (LNP):
 - 1. gelijkzijdig (gelijkbenig).
 - 2. ongelijkzijdig (ongelijkbenig).
- e. T-profiel (TNP):
 - 1. gelijkzijdig (gelijkbenig; ook wel hooglijfprofiel genoemd).
 - 2. ongelijkzijdig (ongelijkbenig; ook wel breedflens(-T-)profiel genoemd).
- f. Z-profiel (ZNP)
- g. Kwadrantprofiel
- h. Zorès-profiel



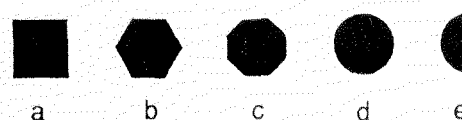
Staafijzer

Tot het staaf- of stafijzer behoren de aan vier zijden gewalste elementen, waarvan de dwarsafmetingen gewoonlijk klein zijn ten opzichte van de lengte. Vaak wordt het profielijzer als een aparte groep van het staafijzer beschouwd.

Vormen van de staven:

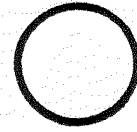
- a. Vierkant
- b. Zeskant
- c. Achtkant
- d. Rond
- e. Halfrond
- f. Rechthoekig:
 - 1. bandijzer (-staal)
Platte staven met geringe dikte ($< 4\text{ mm}$) en breedte ($< 150\text{ mm}$).
 - 2. platijzer (-staal)
Relatief smalle staven (circa 10 mm dik en 150 mm breed).
 - 3. strippen (vroeger ook wel universaal- of universeelijzer genoemd)
Relatief brede stroken ijzer (180 tot 600 mm) en een dikte van minimaal 5 mm .

De naam strip werd vroeger ook wel voor platijzer gebruikt.



Buizen

Buizen of pijpen komen voor met en zonder langsnaad.

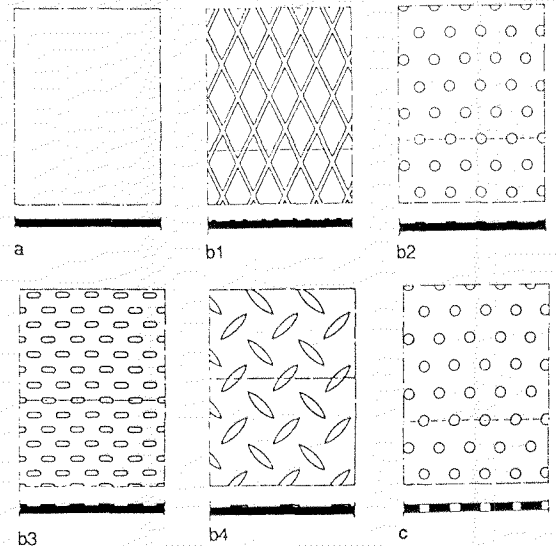
**Plaatijzer (plaatstaal)**

Platen hebben een breedte van meer dan 600 mm. In tegenstelling tot het rechthoekige staafijzer (strippen) is het plaatijzer slechts aan twee zijden gewalst.

De volgende platen worden onderscheiden:

- a. Vlak en glad
- b. Geprofileerd (ook wel geribd genoemd):
 - 1. geruite plaat
 - 2. nopjesplaat
 - 3. rupsplaat
 - 4. tranenplaat
- c. Geperforeerd

Naast ronde perforaties komen ook andere vormen voor.

**2.4 Verbindingsmethoden****a. Schroefboutverbindingen**

De schroefbouts hebben gewoonlijk een zeskantige kop en dito moer.

b. Klinkverbindingen

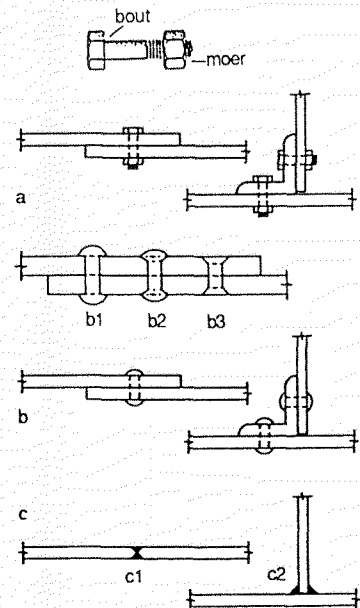
De kop van de klinknagels kan de volgende vorm hebben:

- 1. bolkop
Komt verreweg het meest voor.
- 2. half verzonken kop
Komt bij constructiewerk zelden voor.
- 3. verzonken kop
Werd toegepast als het oppervlak vlak moest zijn.

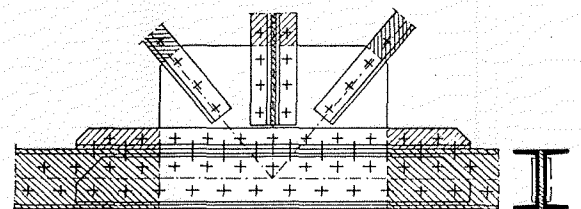
c. Lasverbindingen

Zijn te verdelen in:

- 1. stompe lassen
- 2. hoeklassen



Om de verschillende elementen van bijvoorbeeld een vakwerk met elkaar te verbinden, werden schets- of knoopplaten gebruikt.



3.

Betonconstructies

Afgezien van het gebruik van ongewapend beton in brugfunderingen, reeds in het midden van de 19de eeuw, werd in Nederland omstreeks 1880 begonnen met het bouwen van bruggen van beton. Vooral na 1920 nam het aantal betonnen bruggen in ons land sterk toe.

Beton is een materiaal dat uitstekend bestand is tegen drukkrachten. De weerstand tegen trekkrachten is echter gering. Daarom werden in die delen van betonconstructies, waarin trekkrachten optreden, ijzeren, later stalen staven (de wapening) aangebracht: het *gewapend beton*. Later ging men op andere wijze de geringe treksterkte van beton compenseren: met staven van hoogwaardig staal werden betonelementen op die plaatsen, waar later trekkrachten zouden optreden, van te voren onder drukspanning gebracht: het *voorgespannen beton*. Deze methode kwam in Nederland eerst na 1945 tot toepassing. Bruggen van voorgespannen beton zullen in dit compendium dan ook niet of nauwelijks worden besproken.

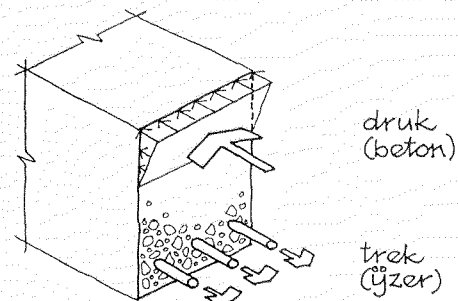
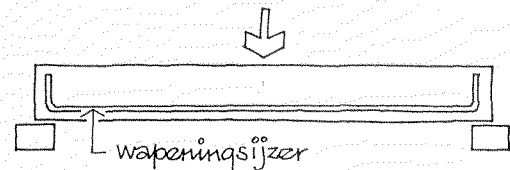
In principe is het mogelijk om bruggen te bouwen waarin alleen maar drukkrachten optreden. Dit is in hoofdlijnen het geval bij boogbruggen. De wapening zou dan achterwege kunnen worden gelaten (constructies van ongewapend beton). In het buitenland zijn voorbeelden van boogbruggen van ongewapend beton. Voor zover bekend vond dit in Nederland geen toepassing.

Wat de uitvoering van betonconstructies betreft zijn er twee mogelijkheden:

- Voor 1940 was normaal het op de bouwplaats storten van beton in houten vormen (bekistingen) waarin de wapening reeds was geplaatst: '*in het werk gestort beton*', ook wel '*ter plaatse gestort beton*' genoemd.
- Daarnaast is er de methode om betonelementen, zoals platen, balken en kolommen, vooraf te vervaardigen, ze naar de bouwplaats te vervoeren en daar te monteren: *geprefabriceerd beton*. De vervaardiging kan plaats vinden in een zo-

genaamde veldfabriek, nabij de bouwplaats, of in een betonwarenfabriek.

In Nederland kwam voor 1940 in de betonnen bruggenbouw prefabricage slechts bij uitzondering voor. Eerst na 1945 vond het vooraf vervaardigen van betonelementen veelvuldig toepassing. Daarom zijn bruggen van geprefabriceerd beton, afgezien van enkele uitzonderingen, in dit compendium buiten beschouwing gelaten.



Het principe van gewapend beton

4

De levensduur van bruggen

In de monumentenzorg concentreert men zich vooral op gebouwen, dat wil zeggen op bouwwerken die dienen ter bescherming van activiteiten die zich daarin afspelen en die vooral gekenmerkt worden door het beschermende dak met meestal omsluitingen door buitenwanden. In het algemeen hebben deze bouwwerken een lange levensduur. Juist omdat zij een buitenhuid hebben, die het inwendige tegen de buitenwereld moet beschermen, kunnen gebouwen eeuwenlang meegaan.

Geheel anders is het gesteld met bouwwerken zoals bruggen en sluizen. Zij zijn in de buitenlucht gelegen en worden blootgesteld aan allerlei soorten aantasting van buitenaf. Alleen al daardoor is hun een kortere levensduur beschooren dan gebouwen. Maar ook vervullen bruggen en sluizen functies die in de loop van de tijd sterk aan verandering onderhevig zijn geweest.

Voor bruggen geldt dat het verkeersaanbod, dat zij moeten verwerken, zowel over land als over water, sterk toegenomen is en dat deze expansie nog steeds plaats vindt. Ook zijn de afmetingen van voer- en vaartuigen in de loop van de tijd groter geworden. Een en ander heeft tot gevolg dat bruggen breder moeten worden en dat doorvaartwijdten moeten worden vergroot. In veruit de meeste gevallen leidt dit tot vervanging van oude bruggen door nieuwe. Daarbij speelt vaak ook nog een rol dat de gewichten van de voertuigen zijn toegenomen en dat de rijsnelheden zijn verhoogd. Ook al zouden bruggen dezelfde breedte en doorvaarthoogte kunnen houden dan nog kan hun veiligheid in het geding zijn.

Tenslotte hebben oorlogsomstandigheden een rol gespeeld. Zowel in 1940 als in 1945 zijn in ons land vele bruggen vernield. Lang niet alle bruggen, die in eerste instantie voor 1940 werden gebouwd, verkeren meer in de originele staat.

4.1

De aantasting van ijzerconstructies

Bruggen liggen in de buitenlucht. Bij ijzeren bruggen worden de ijzerconstructies omspoeld door buitenlucht en zijn zij blootgesteld aan de corroderende werking daarvan. De agressiviteit van de lucht is niet in alle delen van ons land gelijk. Van oudsher zijn ijzerconstructies in de buurt van de zee, vanwege het zout in de lucht, meer onderhevig aan roesten. In het algemeen is de luchtsamenstelling na 1950 door de snelle industriële ontwikkeling ongunstiger geworden, waardoor het roesten van ijzer in sterke mate wordt bevorderd. Dit geldt vooral voor de omgeving van chemische industrie.

Al in de eerste tijden van de ijzertoepassing voor brugconstructies werden teer en verf gebruikt voor het tegengaan van corrosie. In de moderne tijd zijn er geavanceerde beschermingstechnieken ontwikkeld. Anderzijds laat het onderhoud van ijzerconstructies in vele gevallen te wensen over. Vaak wordt, indien de beheerder niet meer gesteld is op het behoud van een brug, het onderhoud ervan uitgesteld of achterwege gelaten.

Een gelukkige omstandigheid is dat het oude gietijzer en welijzer beter bestand zijn tegen corrosie dan het moderne staal, juist omdat een aantal verontreinigingen erin is achtergebleven.

Een bijzonder aspect van de levensduur van ijzerconstructies is de *vermoeiing* van het materiaal.

Bruggen worden ontworpen voor de zwaarste lasten die kunnen voorkomen. In het algemeen zullen deze zware lasten niet zo vaak aanwezig zijn als de minder zware voertuigen die een brug talloze malen kunnen belasten. Deze veel voorkomende lasten vormen de vermoeiingsbelasting.

Wanneer voertuigen over een brug rijden ontstaan er spanningswisselingen in het materiaal van de draagconstructie. Het kenmerkende van vermoeiing is dat een belasting, die op zich zelf niet groot genoeg is om breuk te kunnen veroorzaken, door herhaald optreden toch breuk tot gevolg kan hebben.

Behalve het aantal malen dat een belasting

voorkomt is voor vermoeiing ook de grootte van de spanningsverandering tijdens het passeren van het voertuig maatgevend. Bij eenzelfde aantal wisselingen zal een grotere spanningsverandering eerder tot breuk leiden dan een kleinere. Wanneer de optredende spanning klein genoeg is, is het mogelijk de belasting een oneindig aantal malen over de brug te laten rijden zonder dat er breuk optreedt. Deze grenswaarde wordt bepaald met proeven. Gebruikelijk was om een spanning, die twee miljoen malen zonder breuk kan worden verdragen, als ondergrens te beschouwen. De in het verleden bij berekeningen gehanteerde toelaatbare spanningen waren zodanig laag dat ze onder deze grens lagen. Er werd toen niet met vermoeiing gerekend.

Doordat in de loop der tijd de grootte van de voertuigbelasting is toegenomen en bovendien de frequentie van het verkeer dikwijls groter is geworden, kunnen er situaties ontstaan waarbij de optredende spanningen boven de grenswaarde komen en vermoeiingsschade ontstaat. Bovendien hebben meer recente proeven aangetoond dat de ondergrens lager ligt dan aangenomen werd bij twee miljoen wisselingen. In geval van corrosie ligt de ondergrens nog lager.

Het is duidelijk dat bij het beheer van bruggen uit een oogpunt van veiligheid met het vermoeiingsverschijnsel rekening moet worden gehouden. Met name bij spoorbruggen, waar de verkeersbelasting ten opzichte van het eigen gewicht van de brug groter is dan bij bruggen voor gewoon verkeer, is het een belangrijke overweging bij de vraag of een brug al dan niet in stand moet worden gehouden.

4.2

De aantasting van betonconstructies

In de laatste decennia is gebleken dat beton niet zo goed bestand is tegen aantasting door de buitenlucht als eerder wel werd gedacht. In het beton komt niet gebonden (vrije) kalk voor. Deze vrije kalk kan door zuren uit de lucht of in water worden omgezet in andere verbindingen. Koolzuur uit de lucht veroorzaakt de zogenaamde carbonatatie (het gaat een verbinding aan met de vrije kalk). Zo ontstaat een zone aan de buitenkant van een betonconstructie waarvan het alkalische karakter verdwijnt. Niet alleen wordt

het beton aan de buitenzijde aangetast maar ook het wapeningsijzer lijdt hieronder. IJzer is tegen roesten goed bestand in een alkalische omgeving die vooral door de vrije kalk in stand wordt gehouden. Zodra deze alkalische omhulling er niet meer is en er vocht en zuurstof aanwezig zijn zal het ijzer gaan roesten.

De aantastingsproblematiek geldt in het bijzonder voor betonconstructies in de buitenlucht zoals bij bruggen het geval is. Bij oude betonconstructies is een gunstige factor dat er meer cement in werd verwerkt om tot een voldoende sterkte te komen dan tegenwoordig bij de kwalitatief uitstekende cementsoorten het geval is. Dit compenseert de omstandigheid dat er vroeger meer aanmaakwater werd gebruikt om het beton goed in de bekistingen te verspreiden. Hierdoor werd de poreusiteit groter hetgeen aantasting bevordert. De voornaamste oorzaken van aantasting van oude betonconstructies zijn de veelvuldige aanwezigheid van zogenaamde grindnesten (grindkorrels waartussen het zand-cementmengsel bij het betonstorten is weggelopen) en een te kleine dikte van de betonlaag aan de buitenzijde die de wapening moet beschermen (de betondekking). In de eerste Gewapend Beton Voorschriften uit 1912 volstond men met het voorschrijven van een betondekking van 15 mm voor balken en kolommen en van 10 mm voor andere constructiedelen. Voor beton, dat aan de buitenlucht werd bloot gesteld, waren er geen afzonderlijke eisen. Thans werkt men met betondekkingen van ongeveer 30 mm in de buitenlucht.

4.3

De verandering van het verkeersaanbod

Zowel over land als over water is sinds het begin van de moderne bruggenbouw in Nederland, vanaf omstreeks 1840, de verkeersintensiteit aanzienlijk toegenomen. Deze toename heeft op het behoud van *spoorbruggen* slechts een betrekkelijk geringe invloed gehad. In veel gevallen was een uitbreiding van enkel naar dubbel spoor een voldoende maatregel. Soms werd bij de aanleg van een enkelsporige brug de onderbouw zo ingericht dat daarop nog een tweede brug naast de eerste kon worden geplaatst.

Geheel anders is de situatie met betrekking tot *verkeersbruggen*. In de 19de eeuw was, buiten de steden, het verkeer over land van geringe betekenis. De expansie van het verkeer lag bij de spoorwegen en later, vanaf 1880, ook bij de tramwegen.

Een weerspiegeling van de verkeersintensiteit is bij een verkeersbrug de breedte van de rijvloer. In de 19de eeuw was deze breedte normaal ongeveer 3,5 m (gemeten tussen de leuning). Bij de weinige verkeersbruggen over de grote rivieren was deze breedte niet veel groter. De nieuwe ijzeren verkeersbrug over de IJssel bij Kampen, uit 1874, kreeg een breedte van 5,0 m. Later, omstreeks de eeuwwisseling, kwamen er meer verkeersbruggen over de grote rivieren. Zo kreeg de brug over de Bergsche Maas bij Heusden, uit 1895, een breedte van 6,5 m maar zij was dan ook mede ingericht voor tramverkeer.

Het verschijnen van de auto in het verkeer omstreeks 1900 heeft grote invloed gehad op de brugbreedte. Aanvankelijk werd voor de auto nog weinig ruimte beschikbaar gesteld, getuige een ontwerp voor de overbrugging van de Waal bij Nijmegen uit 1908 waarbij men uitging van een breedte van 6,6 m, als volgt opgebouwd: ruimte voor een tramrijtuig (2,2 m), een hooiwagen (3,0 m), aan de buitenzijde ruimten van 0,5 en 0,45 m en in het midden van 0,45 m. Ook een brede automobiel ($b = 2,0$ m) kon de brug passeren. Toen de Waalbrug in 1936 werd gerealiseerd kreeg zij bij de zijoverspanningen, waar de hoofdliggers onder de rijvloer waren gelegen, een vrije breedte van 20 m, opgebouwd uit vier rijstroken van 3 m met aan weerszijden fiets- en voetpaden, respectievelijk breed 1,5 en 2,5 m. De tweede Van Brienenoordbrug, uit 1992, heeft een breedte van ruim 27 m. Samen met de eerste brug uit 1965 is er circa 48 m beschikbaar voor autoverkeer benevens een tweetal fiets- en voetpaden aan weerszijden van de hoofdliggers van de oude brug.

In de steden werd al vroeg rekening gehouden met de intensivering van het verkeer. Zo had de oude Willemsbrug over de Nieuwe Maas te Rotterdam in 1878 reeds een rijpad van 9 m breedte, met aan weerszijden, buiten de hoofd-

liggers, een voetpad van 3,5 m. De nieuwe Willemsbrug kreeg in 1981 een breedte van ongeveer 32 m tussen de leuning. In de jaren 1960 werd in Rotterdam een tiental nieuwe bruggen gebouwd waarvan bij de meeste de breedte varieerde van 15 tot 20 m.

Aan het einde van de 19de eeuw begon vooral in de steden het tramverkeer belangrijke invloed uit te oefenen op de bruggenbouw. Zo werd in 1882 in Amsterdam reeds een ontwerp gemaakt voor een nieuwe brug over de Amstel met een breedte van 15 m waarin ruimte was voor twee tramsporen. De Berlagebrug uit 1932 kreeg een breedte van 23 m (15 m voor een rijweg met dubbel tramspoor en twee voetpaden van 4 m). In de kleine steden stelde men zich wat bescheidener op: in Meppel werden in 1930 over de Hooogeveensche Vaart twee bruggen gebouwd met breedten van 5,0 en 5,5 m, in 1935 een brug in een ceintuurbaan breed 8,0 m. Deze bruggen kunen thans het stedelijke verkeer nauwelijks meer verwerken. Het proces van de verbreding van de rijvloer en daarmee de bedreiging van het behoud van waardevolle bruggen schrijdt nog steeds voort.

Bij de *scheepvaart* is de situatie geheel anders. Bij het vrachtverkeer was er na 1945 ook een toename van de verkeersstromen maar vooral door de grotere afmetingen van schepen waren er grotere doorvaartwijdten nodig. Ook was in een aantal gevallen de doorvaarthoogte niet meer voldoende. Het verkeer te water wordt thans gekenmerkt door vervoer over grote afstanden met grote schepen. De naoorlogse ontwikkeling, die reeds in de dertiger jaren werd ingezet, leidde tot de aanleg van een net van grote kanalen dat zich over het gehele land uitstrekt en vrijwel is voltooid. Vele oude bruggen verdwenen daarbij.

Het lokale vrachtvervoer met kleinere schepen is sterk afgenomen. Ook verdween de behoefte om met vrachtschepen in de steden te komen. Hun rol werd overgenomen door de vrachtauto. De grote kanalen werden om de steden gevoerd en in vele steden werden grachten gedempt om plaats te maken voor straten waarbij de bruggen werden gesloopt. Ook aan deze wijze van saneren is thans vrijwel een einde gekomen.

De sterke toename van de recreatievaart heeft zowel positieve als negatieve invloed op het behoud van bruggen. Zo is één van de doelstellingen van de herinrichting van het Merwedekanaal tussen Gorinchem en Vianen de voortzetting van het recreatieverkeer, zij het tegen minimale kosten. Dit laatste houdt in dat een aantal bruggen zal worden vervangen. Een en ander houdt ook verband met de voorgenomen geautomatiseerde afstandsbediening van de bruggen. Anderzijds is er de tendens om op uitgesproken toeristisch vaarwater, waar geen beroepsvaart meer is, zoals langs de Turfroute in Zuidoost Friesland, de kunstwerken in hun oude staat intact te laten en deze door de recreanten te laten bedienen.

4.4

Grotere belastingen

Een van de redenen, waarom bruggen een beperkte levensduur hebben, is de omstandigheid dat de verkeersbelasting in de loop van de tijd groter is geworden.

Aan het einde van de 19de eeuw werd aangenomen dat de grootste belastingen op bruggen voortkwamen uit mensenmassa's. Hiervoor rekende men 300 tot 500 kg per m² brug. De laatste waarde gold voor stedelijke bruggen met veel verkeer. De belasting door zwaar beladen wagens was voor de hoofdliggers van grote bruggen niet maatgevend maar voor onderdelen, bijvoorbeeld de dwarsdraggers, moest wel met zware wiel- of aslasten worden gerekend. Voor bruggen buiten de steden nam men een maximaal wagengewicht aan van 12 ton (1 ton = 1000 kg), in de steden rekende men met 20 ton omdat daar soms zware werktuigen werden vervoerd. Voor de wagens van 20 ton waren de aslasten 10 ton, terwijl verder werd gerekend met het gewicht van vier paarden, ieder 0,4 ton. Dit waren belastingen die in het buitenland werden gehanteerd voor de berekening van bruggen. In Nederland gold de overweging dat zware lasten over water werden vervoerd en dat zij op de wegen zelden voorkwamen. Buiten de steden werd nog onderscheid gemaakt tussen de noordelijke provincies (aslasten van maximaal 1,5 ton) en de zuidelijke provincies (in Limburg

aslasten van 3 ton). Voor de steden golden grotere belastingen (in Rotterdam werd gerekend met een zwaarste wagen van 4,5 ton).

Omstreeks 1900 kwam de auto in het verkeer waardoor dit een geheel ander karakter kreeg. Uiteraard had dit ook consequenties voor bruggen.

De eerste voorschriften voor belastingen op bruggen verschenen in 1920 in de vorm van een beschikking van de Minister van Waterstaat. In 1933 vond de eerste uitgave plaats van de 'Voorschriften voor het ontwerpen van stalen bruggen' (VOSB). Deze voorschriften zijn een aantal malen herzien. Er wordt thans gewerkt aan een nieuwe herziening. Geldig is nu nog de VOSB 1963 waarin voor verkeersbruggen drie belastingklassen voorkomen. In de zwaarste klasse wordt gerekend met voertuigen van 60 ton, verdeeld over drie assen, in de lichtste klasse met 30 ton, eveneens met drie assen. Daarbij komt nog een belasting, gelijkmatig verdeeld over het gehele brugdek, van 0,4 ton per m². Op zo'n belasting worden ook de fiets- en voetpaden berekend.

In Nederland werd voor verkeersbruggen omstreeks 1900 dus rekening gehouden met wagens met een maximum gewicht van circa 5 ton, thans gelden voor de zwaarst belaste bruggen wagengewichten van 60 ton. Deze toename is een belangrijke reden voor het verdwijnen van vele oude verkeersbruggen.

Voor *spoorbruggen* werd ten tijde van de aanleg van de spoorwegen in de 19de eeuw uitgegaan van een belasting die overeenkwam met de zwaarste locomotieven uit die tijd. In het begin, omstreeks het midden van de 19de eeuw, waren dat locomotieven met aslasten van 11 ton. In 1877 kwamen er voorschriften waarin locomotieven met asdrukken van 13 ton maatgevend waren. Al spoedig werd deze belasting in grootte overtroffen door inmiddels in gebruik gekomen zwaardere locomotieven. Om in deze leemte te voorzien ging men voor de berekening van bruggen onder andere een Zwitserse locomotief met asdrukken van 15 ton gebruiken.

Omdat de onderlinge afstand van assen en ook de asdrukken van de gebruikte locomotieven sterk van elkaar verschilden werd, om de laststelsels onderling te kunnen vergelijken, het totale gewicht omgerekend naar een gewicht per m spoorweg, dus het totale gewicht gedeeld door de lengte van een locomotief of treinstel. Deze aanduiding geeft voor bruggen met een lengte groter dan 15 m een goed beeld van de grootte van de belasting. In de 19de eeuw was dat circa 4 ton per m. Voor kleinere bruggen zijn de zwaarst belaste assen van de locomotief maatgevend en kan niet zonder meer het gewicht per m worden gebruikt.

In het begin van de 20ste eeuw was er een verdere toename van de aslasten naar 17 ton en vervolgens naar 20 ton in de tweede helft van deze eeuw. Het gewicht per m nam in deze periode toe naar 5 ton en vervolgens naar 8 ton. Een en ander werd geregeld in voorschriften van 1917 en 1933. De laatste voorschriften zijn die van 1963.

Voor het bepalen van de grootte van de doorsneden van onderdelen van een brug is naast de belasting ook de grootte van de toegelaten spanning in het materiaal van belang. In de beginperiode werden de spanningen laag gehouden omdat men nog niet voldoende kennis bezat van alle factoren die van invloed zijn op de sterkte van een brug. Men ging uit van een vijf- tot zesvoudige zekerheid ten opzichte van de breukspanning van het materiaal. In de 20ste eeuw was er een snelle ontwikkeling van de kennis van het materiaal en van de mechanica. Thans wordt een zekerheid van circa 2,5 ten opzichte van de breukspanning gehanteerd.

4.5

Conclusie

De levensduur van bruggen ten opzichte van de meeste andere bouwwerken is beperkt. Dit houdt in dat het bruggenbestand aan snelle verandering onderhevig is.

Met name bruggen, die voor 1940 werden gebouwd en die nu reeds tenminste vijftig jaar oud zijn, worden constant bedreigd met vervanging

en sloop. De voorbeelden daarvan zijn bijna dagelijks aan de orde.

De omstandigheid van de beperkte levensduur dient te worden betrokken bij de beoordeling of een brug al dan niet als monument in stand dient te worden gehouden.

Zo zijn in de noordelijke provincies nog vrij veel draaibruggen met tuiwerk aanwezig. Ieder jaar verdwijnt er echter een aantal. Het is niet denkbeeldig dat het type zeldzaam gaat worden. Dit dient aanleiding te zijn tot een systematisch onderzoek om aan te wijzen welke bruggen van dit type in ieder geval behouden dienen te worden. Ook voor andere brugtypen geldt dit.

Een dergelijk onderzoek vergt een aanzienlijke tijd die nu niet beschikbaar is. Daarom dient bij de thans plaats vindende selectie de overweging van de beperkte levensduur van bruggen te worden meegenomen. Een en ander zal aanleiding zijn tot behoudendheid bij het nemen van een beslissing.

5 Indeling van bruggen naar functie en type

5.1

Indeling van bruggen naar hun functie

Naar functie kunnen de bruggen als volgt worden ingedeeld:

1. Verkeersbruggen
2. Spoorbruggen
3. Trambruggen
4. Voet/fietsbruggen
5. Viaducten
6. Aquaducten
7. Militaire bruggen

1. Verkeersbruggen

Verkeersbruggen zijn bestemd voor het zogenaamde 'gewoon verkeer'. In de huidige tijd bestaat dit voornamelijk uit auto's (personenauto's, bussen, vrachtauto's en dergelijke), hoewel op de meeste verkeersbruggen ook plaats is voor voetgangers en fietsers. In vroeger tijden, in de 19de eeuw, waren het vooral bespannen voertuigen, handkarren en voetgangers die van deze bruggen gebruik maakten.

In de literatuur wordt deze brugsoort ook wel aangeduid als 'bruggen voor gewoon verkeer' maar de kortere benaming 'verkeersbruggen' is in de praktijk gebruikelijk.

2. Spoorbruggen

Deze bruggen zijn bestemd voor spoorwegverkeer. Ook de naam 'spoorwegbruggen' komt voor.

3. Trambruggen

Toen het tramwegverkeer overal in ons land plaats vond (tussen 1880 en 1950) waren er vele bruggen die speciaal voor deze verkeerssoort waren ingericht. Vaak was er een combinatie met gewoon verkeer. Toen het tramverkeer op het platteland en in de kleinere steden ophield, verdwenen deze bruggen of werden zij ingericht voor gewoon verkeer of dat van voetgangers en fietsers. In enkele grote steden bleef het tramverkeer gehandhaafd. Omdat, in verband met de toename van het gewoon verkeer, de bruggen in

deze steden in de loop van de tijd een grote breedte kregen was daarop ook plaats voor trams. Speciale trambruggen komen ook daar niet meer voor.

4. Voet/fietsbruggen

Tenslotte is er nog de categorie van de bruggen waarover alleen verkeer van voetgangers en fietsers wordt toegelaten, de voet/fietsbruggen. Vaak waren deze bruggen vroeger, voor de opkomst van de auto, ook en vooral toegankelijk voor wagens en karren. In de laatste decennia zijn deze bruggen, omdat zij te smal waren voor het autoverkeer en men ze toch wilde behouden, voet/fietsbruggen geworden.

5. Viaducten

Viaducten zijn bruggen waarbij een verkeersweg of een spoorweg gevoerd wordt over een eerder gelegen verkeersweg of spoorweg. Met de benaming 'brug' in engere zin wordt bedoeld de overbrugging van water.

6. Aquaducten

Bij aquaducten wordt een waterweg over een verkeersweg, spoorweg of een andere waterweg gevoerd. In Nederland waren er voor 1940 geen aquaducten. Het eerste aquaduct was dat over de Ringvaart van de Haarlemmermeerpolder in de rijksweg 's-Gravenhage-Amsterdam uit 1960.

7. Militaire bruggen

Door het leger zijn in het verleden vele tijdelijke bruggen gebouwd volgens zeer verschillende systemen.

5.2

Typenordeningen

In de volgende hoofdstukken van het Compendium Bruggen wordt een aantal typenordeningen behandeld. Zij zijn bedoeld voor gebruik bij het Monumenten Selectie Project, om een begrippenkader voor bruggen te geven en om eenheid te scheppen in de benamingen.

Voor dit doel zijn de typenordeningen globaal gehouden. Zij geven de voornaamste begrippen weer zoals die in de objectbeschrijvingen voor monumentenlijsten kunnen voorkomen. Een gedetailleerde behandeling van alle mogelijke

brugonderdelen is vermeden omdat daardoor de overzichtelijkheid verloren zou gaan.

In de typenordeningen zijn voornamelijk Nederlandse brugtypen opgenomen die voor 1940 voorkwamen, met uitzonderingen. Zo wordt bijvoorbeeld wel de hangbrug als type genoemd hoewel in Nederland nimmer hangbruggen zijn gebouwd. Ook komt de tuibrug in de ordeningen voor. Daarvan is in Nederland wel een aantal gebouwd over de grote waterwegen maar zij zijn alle na 1945 tot stand gekomen. De reden, waarom deze en sommige andere typen wel zijn opgenomen, is dat zij zozeer bij het totaalbeeld van de brugtypen behoren dat het weglaten ervan een tekortkoming zou zijn.

Soms wordt bij de behandeling van brugtypen gerefereerd aan de krachten, die in brugconstructies werken, zulks in verband met de functie van bepaalde elementen en de vorm ervan. Voor het verkrijgen van een globaal inzicht in de werking van krachten in constructies wordt aanbevolen het raadplegen van: J. Oosterhoff, *Kracht en vorm. De draagconstructie van bouwwerken eenvoudig verklaard*, Delft 1990.

Achtereenvolgens worden behandeld de typenordeningen van:

- Vaste bruggen van ijzer en staal.
- Bruggen van beton.
- Beweegbare bruggen.

Daarnaast wordt nog een overzicht gegeven van begrippen en benamingen van de onderbouw van bruggen.

6

Vaste bruggen van ijzer en staal

6.1

De constructie van ijzeren en stalen bruggen

De constructie van ijzeren en stalen bruggen bestaat gewoonlijk uit een hoofddraagconstructie en een secundaire constructie. Daar overheen ligt bij verkeersbruggen het wegdek en bij spoorbruggen de houten dwarsliggers met de spoorstaven. Deze constructie geldt voor zowel vaste als voor beweegbare bruggen.

Meestal is tevens een windverband aangebracht om horizontale windkrachten te kunnen opnemen. Een (vaste) brug wordt veelal ondersteund via een 'vaste' en een 'beweegbare' oplegging.

Eenvoudige (kleinere) bruggen

De meest eenvoudige brug voor gewoon verkeer bestaat uit een aantal naast elkaar gelegen gewalste of geklonken liggers met daarop een rijdek. De liggers zijn plaatselijk in dwarsrichtingen aan elkaar gekoppeld. Voor het rijdek werden vroeger meestal houten planken toegepast. Later, na 1900, werden de dekken in veel gevallen van gewapend beton gemaakt.

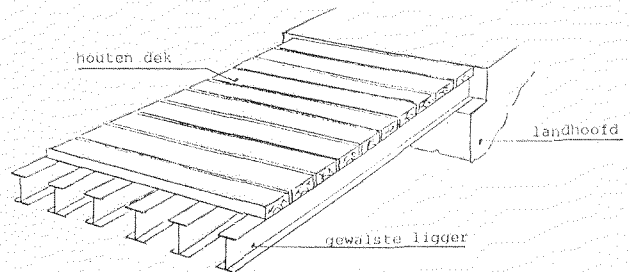
Een eenvoudige spoorbrug bestaat uit twee, op een afstand van circa 1,5 m, naast elkaar gelegen gewalste of geklonken liggers met daarop de houten dwarsliggers met de spoorstaven. Tussen de liggers zijn koppelingen en een verband aangebracht.

Bruggen bestaande uit een hoofddraagconstructie met langs- en dwarsdragers (grotere bruggen)

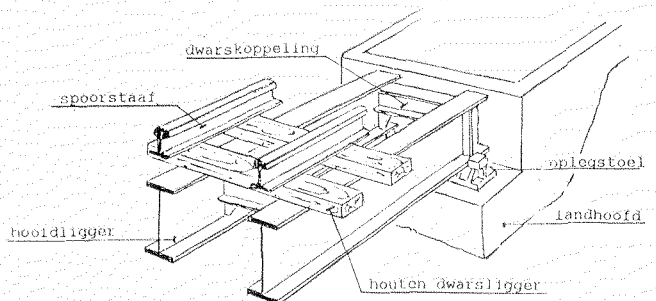
Naarmate de overspanning toeneemt, is het nodig dat de hoogte en ook de breedte van een brug groter worden. Men gaat er dan toe over een hoofddraagconstructie toe te passen met secundaire draagbalken: *langs- en dwarsdragers*.

De hoofddraagconstructie wordt gevormd door twee of meer naast elkaar gelegen hoofdliggers, bestaande uit een vollewandligger, een vakwerk of een boog. De hoofdliggers zijn aan elkaar gekoppeld door dwarsdragers waartussen, of waarop, de langsdragers rusten.

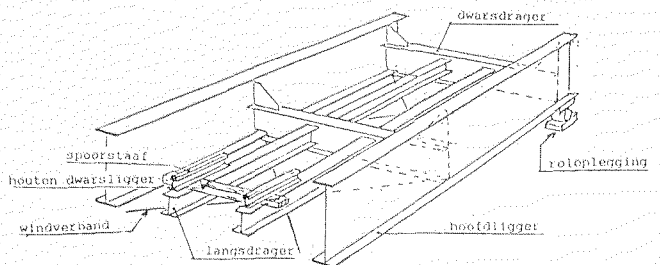
Hoofdliggers van bruggen met een grotere hoogte worden zowel aan de onder- als aan de bovenzijde aan elkaar gekoppeld.



Eenvoudige brug voor gewoon verkeer: gewalste liggers met houten dek.



Eenvoudige spoorbrug: de houten dwarsliggers met de spoorstaven rusten rechtstreeks op de hoofdliggers.

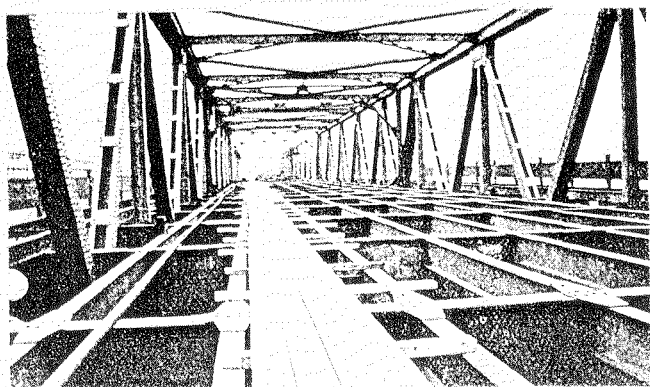


Spoorbrug: twee hoofdliggers met langs- en dwarsdragers.

Bij spoorbruggen zijn er per spoor meestal twee langsdragers met daarop de houten dwarsliggers en de spoorstaven.

Bij bruggen voor gewoon verkeer bestaat de rijvloer in veel gevallen uit een groot aantal langsdragers met daarop een dek van hout of gewapend beton.

Er kunnen bruggen worden onderscheiden met een laaggelegen, een hooggelegen of een verzonken rijvloer.

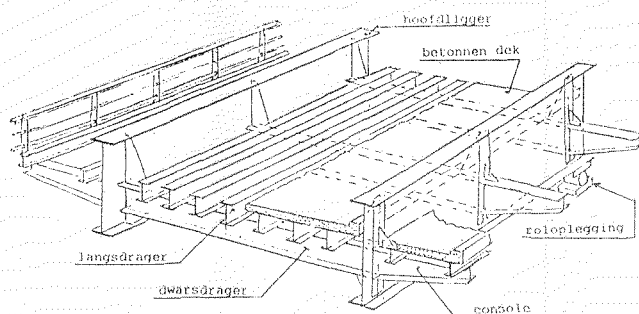


Brug voor gewoon verkeer bij Zaltbommel met laaggelegen rijvloer: hoofdliggers aan de bovenzijde gekoppeld door een bovenwindverband.

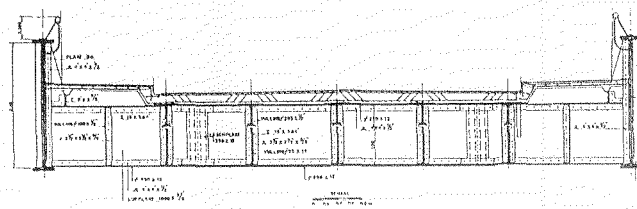
Constructie van een moderne stalen brug voor gewoon verkeer.

Mede door de opkomst van het elektrisch lassen heeft zich na de tweede wereldoorlog, vooral bij de bruggen voor gewoon verkeer, een nieuwe ontwerpgedachte ontwikkeld. Hadden bij de bruggen van vóór de oorlog alle onderdelen gescheiden functies, bij de nieuwe opzet werd uitgegaan van een samenwerking van alle onderdelen. De krachtenwerking van een brug wordt daarbij als geheel in beschouwing genomen. Het elektrisch lassen leende zich uitstekend voor deze wijze van ontwerpen.

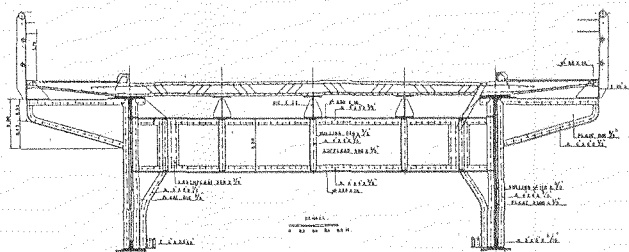
Het vroegere rijdek van beton of hout werd vervangen door een stalen plaat, voorzien van versterkingsribben. De stalen plaat vormde tevens de bovenflenzen van de dwarsdragere en de langsdragers. Ook nam de plaat de functie van het windverband over. De aldus gevormde rijvloer staat bekend als *orthotrope plaat*, hetgeen een samentrekking is van 'orthogonaal anisotroop' d.w.z. in loodrecht op elkaar staande richtingen verschillend in (buiings)eigenschappen.



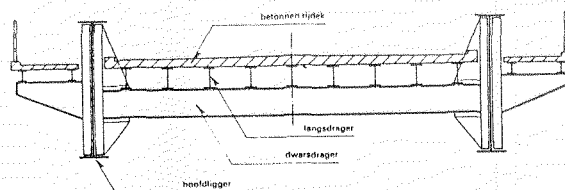
Brug voor gewoon verkeer: verzonken rijvloer, dwarsdragere en langsdragere met een betonnen dek; consoles met voet-/rijwielpaden.



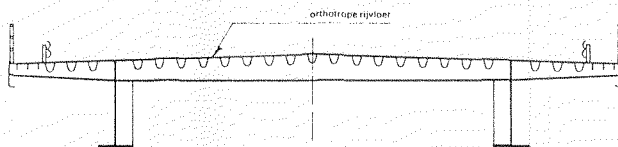
Brug voor gewoon verkeer met laaggelegen rijvloer.



Brug voor gewoon verkeer met hooggelegen rijvloer.



Brug voor gewoon verkeer met verzonken rijvloer.



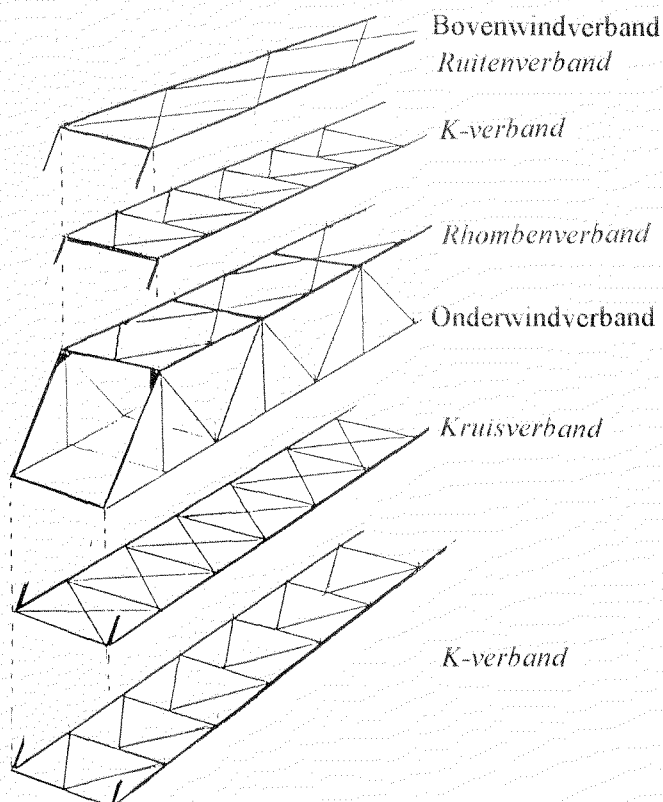
Moderne verkeersbrug waarbij alle constructie-onderdelen samenwerken.

Windverbanden en portalen

Om de horizontale krachten ten gevolge van wind, of zijdelingse stoten, op te kunnen nemen, is er aan de onderkant van de brug een onderwindverband.

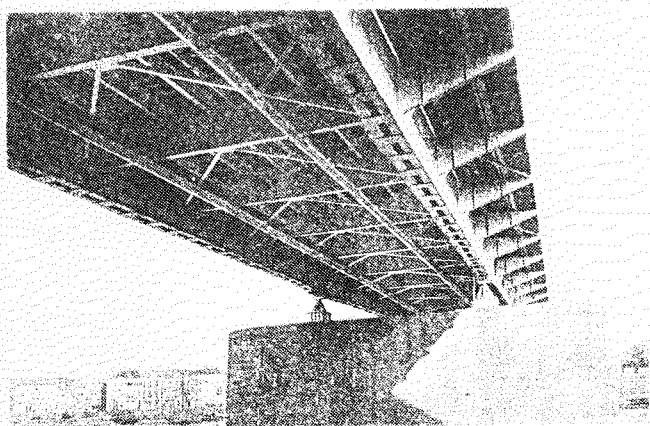
Bij bruggen met een grotere hoogte is er ook aan de bovenzijde een verband, het bovenwindverband. De krachten in het bovenwindverband worden naar portalen ter plaatse van de bruginnen geleid en aldaar opgenomen.

Ter verhoging van de zijdelingse stijfheid worden er bovendien dikwijls dwarsportalen toegepast.

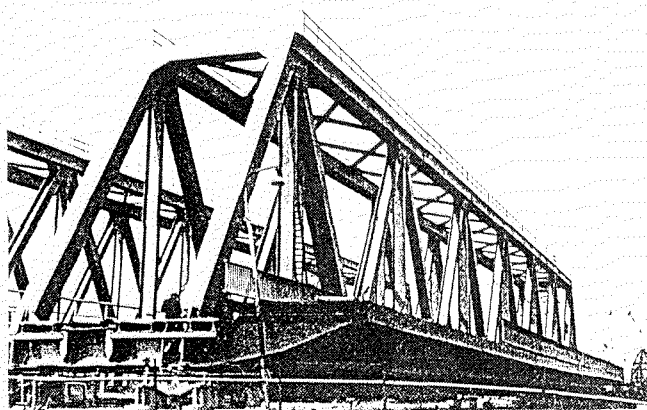
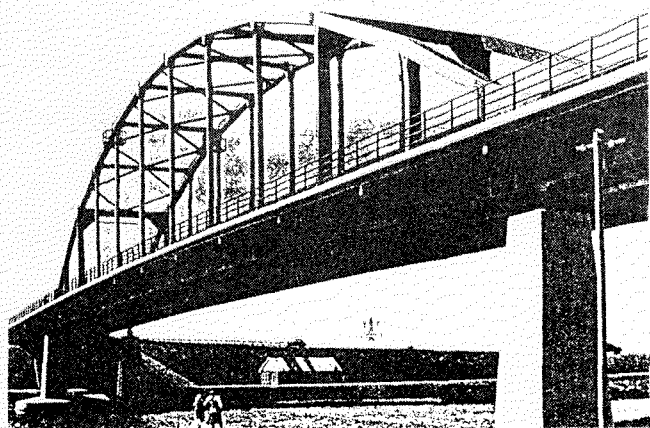


Overzicht windverbanden.

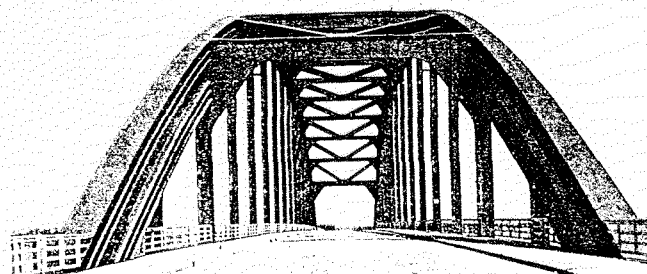
Benedenwindverband van de brug over de Rijn te Arnhem.



Rhombenverband van de brug voor gewoon verkeer over het Merwedekanaal te Breukelen.



Ruitenverband van de spoorbrug over de Beneden Merwede te Baanhoek.



Eindportaal en K-verband van de brug voor gewoon verkeer over de Lek te Vianen.

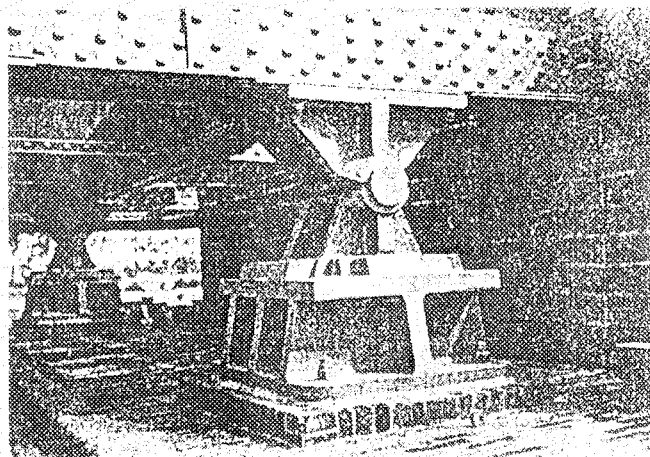
Opleggingen

Voor het inleiden van de krachten die de brug uitoefent op de landhoofden en de eventuele tussenpijlers worden er *oplegstoelen* toegepast die de oplegdruk spreiden.

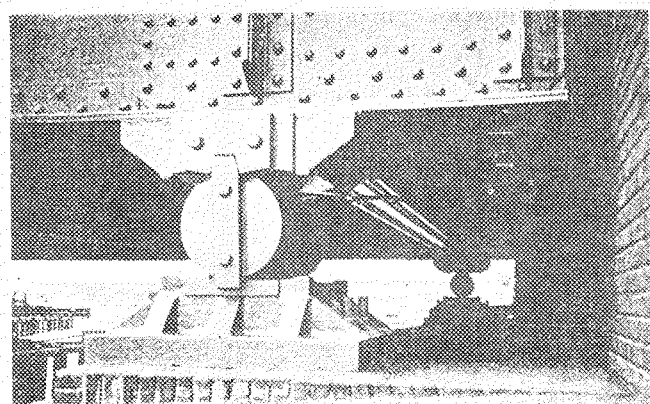
Grotere bruggen, hierbij valt te denken aan bruggen groter dan 10 m, worden aan één zijde vastgehouden door een 'vaste' oplegging. Voor het vrij kunnen doorbuigen van de brug is deze oplegging voorzien van een scharnier en wordt daarom wel *scharnieroplegging* genoemd. Soms gebruikt men een kom die op een taats rust. Een dergelijke oplegging heet een *taatsoplegging*.

Aan de andere zijde van de brug is een 'beweegbare' oplegging, ook *roloplegging* genoemd, waardoor lengteveranderingen ten gevolge van temperatuurschommelingen mogelijk zijn. Hiermee kan de brug ook vrij doorbuigen. Omdat de rolbeweging beperkt is, wordt dikwijls gebruik gemaakt van een afgeplatte rol.

Na 1960 heeft er een grote ontwikkeling op het gebied van de constructie van de opleggingen plaatsgevonden. Bij moderne opleggingen wordt gebruik gemaakt van rubberblokken, al of niet opgesloten in 'potten'. Bij het beweegbaar maken van dergelijke opleggingen wordt gebruik gemaakt van glijdvlakken voorzien van een materiaal met een geringe wrijving.

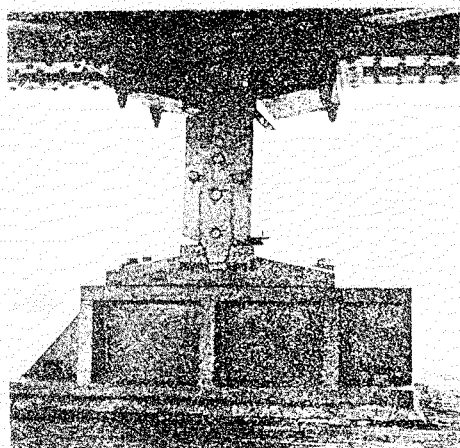


Vaste oplegging (scharnieroplegging).

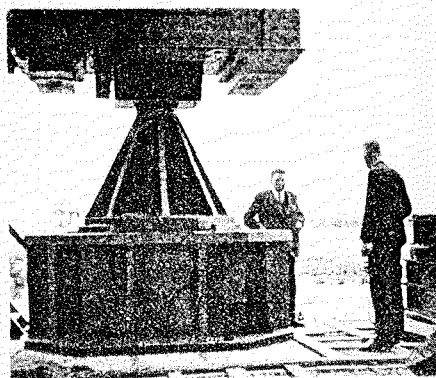


Beweegbare oplegging van de vaste brug over de Oosterdoksluizen te Amsterdam (volledige rol).

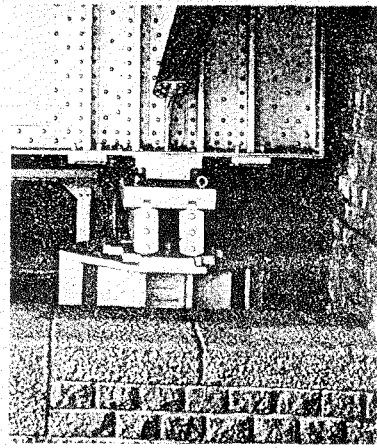
Vaste oplegging van de boogbrug te Vianen (taatsoplegging).



Beweegbare oplegging van de spoorbrug bij Hattem (afgeplatte rol).



Beweegbare oplegging met grote oplegdruk van de brug over de Rijn te Arnhem (twee afgeplatte rollen).



6.2

Typenordening

Indeling naar het uiterlijk van de constructie:

- | | |
|--|--|
| 6.2.1. Vollewandliggerbruggen | 6.2.7. Bruggen met ingebetonneerde liggers |
| 6.2.2. Bruggen met span- of schoorwerken | 6.2.8. Portaalbruggen |
| 6.2.3. Bruggen met opengewerkte liggers | 6.2.9. Boogbruggen |
| 6.2.4. Vakwerkbruggen | 6.2.10. Hangbruggen |
| 6.2.5. Raamwerkbruggen | 6.2.11. Tuibruggen |
| 6.2.6. Kraagbruggen | |

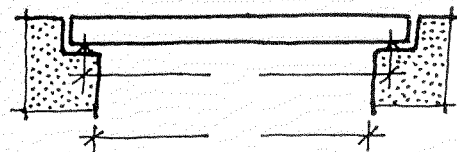
Balk- of liggerbruggen

Bij balk- en liggerbruggen bestaat de hoofddraagconstructie uit balken of liggers. Deze heeft meestal een rechte onderrand, terwijl de bovenrand recht of gebogen kan zijn. Het omgekeerde komt echter ook voor.

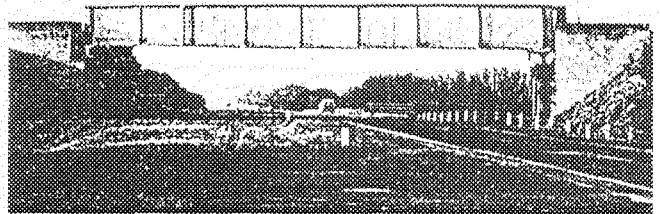
Liggerbruggen komen voor als:

- a. *Balk- en liggerbruggen op twee ondersteuningen.*
- b. *Liggerbruggen op meer dan twee ondersteuningen.*

De balken of liggers van een brug op twee ondersteuningen worden alleen aan de beide uiteinden ondersteund. In de bruggenbouw worden dit 'liggers op twee steunpunten' genoemd. Meestal worden twee balken of liggers gebruikt, onderling verbonden door dwarsdragers of dwarskoppelingen. De onderrand is gewoonlijk recht. Bij in het verlengde van elkaar gelegen bruggen van dit type hebben de tussenpijlers een relatief grote breedte, omdat zij de uiteinden van twee bruggen moeten ondersteunen.



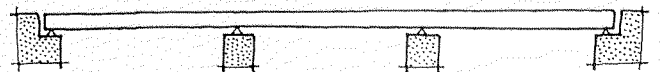
Ligger op twee steunpunten.



Balkbrug op twee steunpunten.

Behalve liggers op twee steunpunten zijn er ook 'doorgaande' liggers die in de lengterichting van de brug op meer dan twee plaatsen zijn ondersteund en dus over de tussenpijlers doorgaan. Hierbij zijn in principe drie typen te onderscheiden:

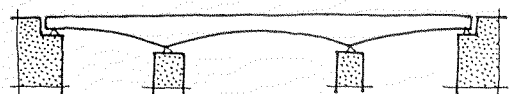
- o Doorgaande liggers met evenwijdige onder- en bovenrand.
- o Doorgaande liggers met een afschuining bij de steunpunten, zodat de hoogte daar groter is.
- o Doorgaande liggers met een opgebogen onder- rand.



Balkbrug uitgevoerd als doorgaande ligger.



Doorgaande balkbrug met grotere hoogte bij de tussensteunpunten.



Doorgaande balkbrug met grotere hoogte bij de tussensteunpunten: vloeiend verloop van de hoogte.

Doorgaande liggers leiden, vanwege een gunstiger krachtenverdeling tot materiaalbesparing. De berekening van de krachten is echter minder eenvoudig dan die van een balk op twee steunpunten. Een voordeel is verder dat ter plaatse van de tussensteunpunten de pijlers minder breed behoeven te zijn. Doorgaande liggers zijn gevoelig voor het zakken van de steunpunten. Hierdoor kunnen extra spanningen in de ligger ontstaan.

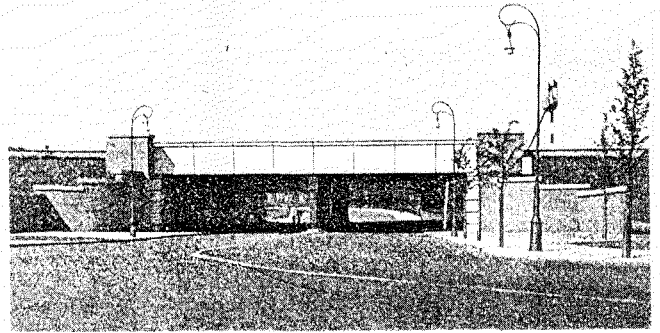
Omdat bij doorgaande liggers de krachten erin bij de steunpunten het grootst zijn, worden zij daar vaak hoger gemaakt dan midden tussen de steunpunten. Door het hoger maken van de liggers ter plaatse van de steunpunten wordt de krachtenverdeling zodanig beïnvloed, dat in het midden met een kleinere hoogte kan worden volstaan. Enerzijds kan dit van voordeel zijn voor de doorvaart-hoogte, anderzijds kan dit uit esthetische overwegingen aantrekkelijk zijn. Dit laatste is met name het geval bij een vloeiend verloop van de hoogte, bijvoorbeeld door een paraboolvorm te kiezen.

6.2.1. Vollewandliggerbruggen

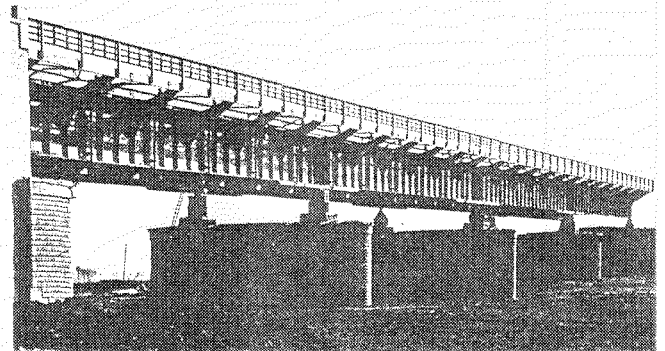
Bij deze bruggen bestaat de hoofddraagconstructie uit vollewandliggers. Een vollewandligger is meestal opgebouwd uit een verticale plaat (het lijf) die aan de onder- en aan de bovenzijde is begrensd door een horizontale plaat (de flenzen). In het lijf bevinden zich geen openingen; dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de vakwerkbruggen. Als vollewandliggers komen diverse constructie-elementen voor.

Gietijzeren balken

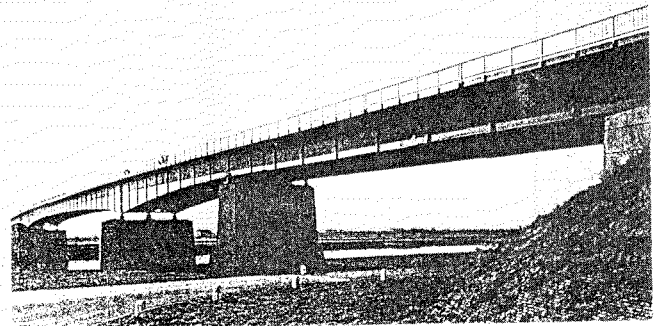
Deze bezitten meestal een licht gebogen bovenrand en zijn voorzien van dwarsschotten ter versteviging van het lijf. Gietijzeren balken zijn onder meer toegepast in de spoorbruggen te Halfweg uit circa 1870.



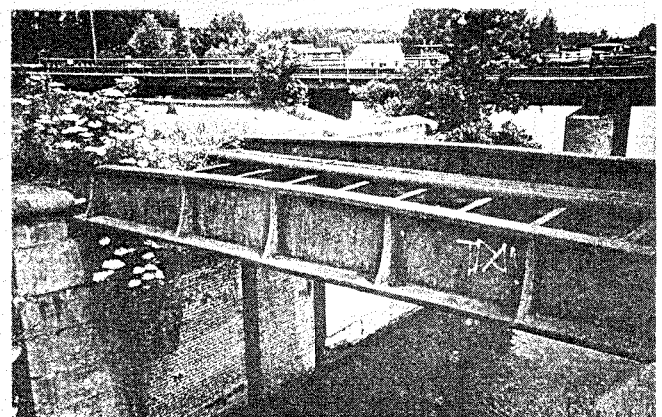
Brug te Amsterdam met ligger op drie steunpunten.



Brug over de Lek te Vianen: ligger op vijf steunpunten.



Verkeersbrug te Rhenen: doorgaande ligger met opgebogen onderrand.



Gietijzeren brug te Halfweg.

Gewalste I-profielen

De gewalste I-profielen verschenen omstreeks 1850 en hadden schuine flenzen. Met gewalste I-profielen zijn talloze eenvoudige balkbruggen gebouwd. Door de hoofdliggers te voorzien van koppelingen, verbanden en houten dwarsliggers was het op eenvoudige wijze mogelijk hiermee kleine spoorbruggen te bouwen.

Ook werden de gewalste I-profielen toegepast bij balkbruggen voor gewoon verkeer. Meestal gebruikte men hierbij een houten brugdek. later, na 1900, werden de dekken gewoonlijk van gewapend beton gemaakt.

Gewalste breedflensprofielen

Toen omstreeks 1900 de breedflens I-profielen verschenen, werden de mogelijkheden vergroot. Met deze balken konden grotere overspanningen worden bereikt dan met I-balken met smalle flenzen, terwijl de toelaatbare belasting hoger wordt. Van de breedflensbalken bestaan twee uitvoeringen:

- Grey-balk met schuine flenzen. Deze kwamen rond 1900 in productie.
- DIN-balk met evenwijdige flenzen. Deze werden na 1920 toegepast.

Samengestelde of geconstrueerde liggers

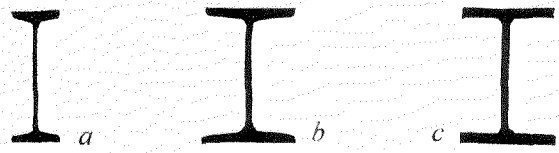
Omstreeks 1850 ging men voor de grotere overspanningen in veel gevallen uit plaat- en eventueel profielijzer (of -staal) samengestelde liggers gebruiken. Op deze wijze kon men iedere gewenste hoogte en doorsnede van een balk samenstellen. De benaming 'vollewandligger' wordt vooral aan dit soort liggers gegeven. Zij worden gebruikt voor overspanningen tot ongeveer 40 m. Samengestelde liggers worden met name ook veel gebruikt voor liggers op meer dan twee steunpunten. Er bestaan twee uitvoeringen:

Geklonken liggers.

In de periode tussen 1850 en 1950 werden veel geklonken samengestelde liggers toegepast. Deze liggers zijn opgebouwd uit ijzeren (stalen) platen en profielen (meestal L-ijzer of L-staal). De samenstellende delen zijn door middel van klinknagels met elkaar verbonden.

Gelaste liggers.

Omstreeks 1930 werd het elektrisch lassen geïntroduceerd en ging men er toe over vollewandlig-



Gewalste I-profielen:

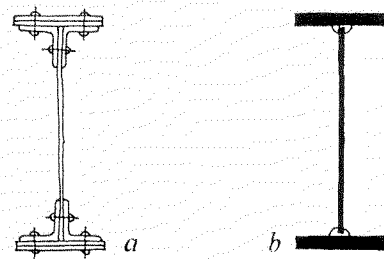
a INP-profiel

b Breedflens-profiel (Grey-balk) met schuine flenzen.

c Breedflens-profiel (DIN-balk) met evenwijdige flenzen.



Spoorbrug met samengestelde liggers.



Samengestelde profielen:

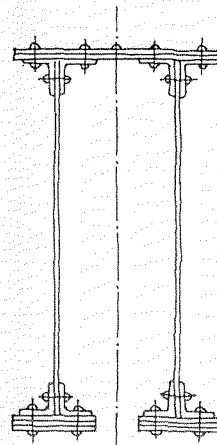
a Uit plaat- en profielstaal d.m.v. klinken samengestelde ligger.

b Uit plaat d.m.v. elektrisch lassen samengestelde ligger.

gers samen te stellen uit delen van plaatstaal en deze door middel van elektrisch lassen met elkaar te verbinden. In het begin waren er veel problemen met het lassen van bruggen. De eerste gelaste bruggen waren teveel 'vertaalde' klinkconstructies. Ook het materiaal had in het begin nog niet die eigenschappen die nodig waren voor het lassen.

Hoedliggers

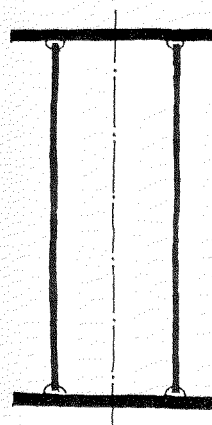
Hoedliggers bestaan uit twee geconstrueerde liggers, waarvan de bovenflenzen door plaatijzer (plaatstaal) onderling zijn verbonden. Hiermee krijgt de ligger twee lijfplaten waardoor brede flenzen met een beperkte dikte mogelijk zijn. Zij werden toegepast wanneer een overspanning zo groot was dat de flenzen voor liggers met één verticale lijfplaat te breed en te dik zou worden om de vereiste draagkracht te bereiken. Toen er de mogelijkheid was van het elektrisch lassen, ging men er toe over ook gelaste hoedliggers te maken.



Uit plaat- en profielstaal d.m.v. klinken samengestelde hoedligger.

Kokerliggers

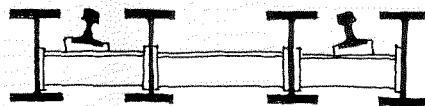
Kokerliggers zijn meestal samengesteld uit plaatmateriaal met gelaste verbindingen. Zij hebben hetzelfde voordeel als de hoedliggers. Hoewel er ook geklonken kokerliggers zijn gemaakt (onder meer de spoorbrug bij Westervoort uit 1855), gaf men bij geklonken liggers de voorkeur aan hoedliggers, die aan de onderkant open zijn. Geklonken kokers zijn namelijk moeilijk waterdicht te maken en daardoor gevoelig voor roesten. Bij een gelaste koker is het in principe wel mogelijk om deze waterdicht te maken. In het begin waren er echter veel problemen bij het beheersen van de vervormingen die door krimpspanningen ten gevolge van het lassen worden veroorzaakt.



Uit plaat d.m.v. elektrisch lassen samengestelde koker.

Tweelingliggers

Deze komen voor bij spoorbruggen. Op geringe afstand worden daarbij twee I-profielen (zowel met smalle als met brede flenzen) geplaatst, met daartussen ondersteuning met verzonken spoorstaven (rails).



Tweelingligger voor spoorwegverkeer, opgebouwd uit gewalste liggers.

6.2.2. Bruggen met span- of schoorwerken

Bij bruggen met een spanwerk of een schoorwerk bestaat de hoofddraagconstructie uit liggers op twee steunpunten, waarbij door een toegevoegde constructie de krachten in de liggers worden verkleind.

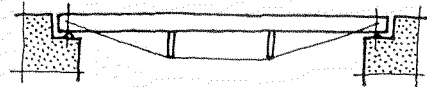
Bruggen met spanwerken

Wanneer een balk niet sterk of stijf genoeg is voor een bepaalde overspanning, kan een versterking plaats vinden door onder de balk trekstangen aan te brengen die vanuit de einden naar één of meer 'staanders' onder de balk lopen, waarmee een extra ondersteuning wordt gevormd. In Nederland komen spanwerkbruggen weinig voor. Zij hebben gewoonlijk een kleine overspanning. Er bestaan twee typen:

- Enkelvoudig spanwerk met één staander in het midden.
- Tweevoudig spanwerk met aan weerszijden van het midden een staander.



Spanwerk met één ondersteuning in het veld.



Spanwerk met twee ondersteuning in het veld.

Bruggen met schoorwerken

In plaats van trekstangen te gebruiken om een balk extra ondersteuning te geven, kan dat ook gebeuren door het toepassen van drukschoren. De schoren steunen vanuit het landhoofd op één of meer plaatsen de balk. Door de schuin geplaatste schoren wordt de ontlastende werking versterkt. Hierdoor kan met een kleine liggerhoogte toch een grote overspanning worden verkregen met een grote vrije ruimte onder de brug.

Schoorbruggen van ijzer of staal komen zelden voor. Er bestaan twee typen schoorbruggen:

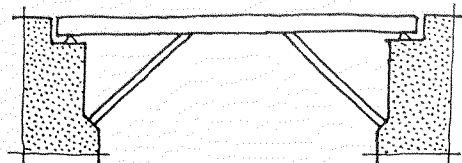
- Bruggen waarbij de schoren scharnierend met de ligger zijn verbonden.

Bij dit type worden de schoren alleen op druk belast. Een voorbeeld is een stalen voetbrug over de spoorlijn Amsterdam - Amersfoort nabij Hilversum.

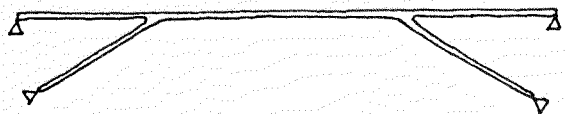
- Bruggen waarbij de schoren buigstijf met de ligger zijn verbonden.

Wanneer de schoren van een schoorbrug buigvast aan de ligger verbonden worden, ontstaat er een raamwerking en worden de schoren niet alleen op druk maar ook op buiging belast. Een voordeel hiervan is dat de buiging in de ligger wordt verminderd en de overspanning daardoor groter kan worden.

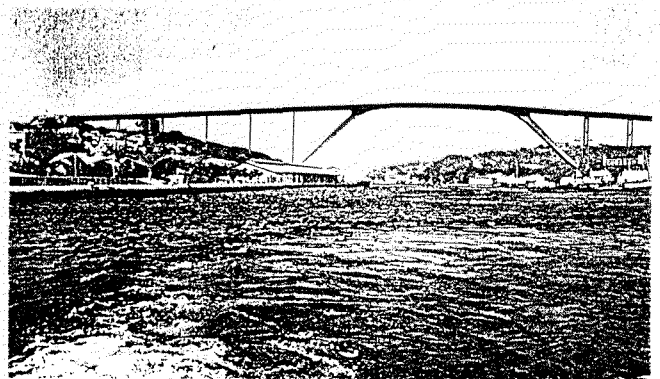
Een voorbeeld van dit type is de in 1969 gebouwde brug over de St-Annabaai te Willemstad op Curaçao.



Schoorbrug.



Raamwerkbrug afgeleid uit een schoorwerk.



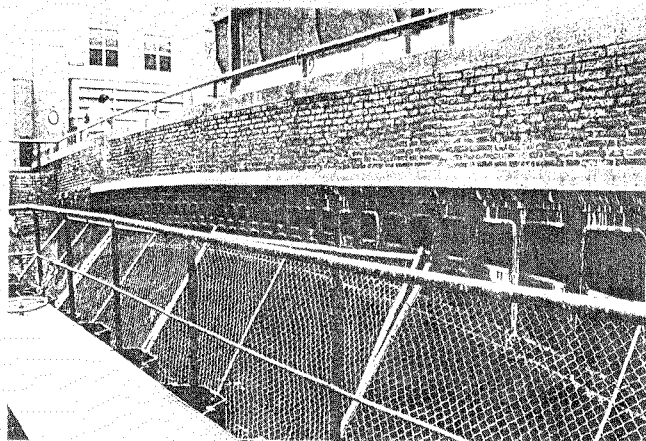
Schoorbrug te Willemstad op Curaçao.

6.2.3. Bruggen met opengewerkte liggers

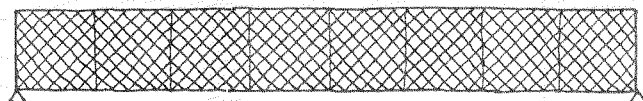
Opengewerkte liggers bezitten in tegenstelling tot de volwandige liggers een 'open lijf'. Tot deze liggers behoren de opengewerkte ligger van gietijzer en de tralieligger. Vollewandliggers krijgen bij grote overspanningen een groot eigen-gewicht, waardoor het nuttige draagvermogen kleiner wordt. Omdat een groot deel van de krachten met name in de boven- en onderrand worden opgenomen, is het mogelijk om het eigen gewicht te verkleinen door uit het lijf materiaal weg te laten.

Opengewerkte liggers van gietijzer

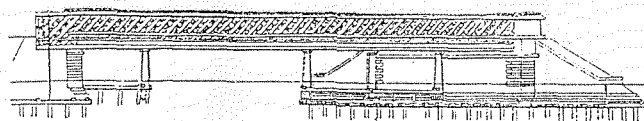
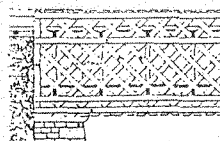
Gietijzeren liggers zijn gewoonlijk uit één stuk gegoten. De uitsparingen in het lijf hebben zowel een economische (gewichts- en materiaalbesparing) als een decoratieve functie. Zij bezitten vaak een omhooggebogen onderrand. Bij een sterk omhooggebogen onderrand spreken we van een boogbrug. Het gietijzer, dat slecht trekkrachten kan opnemen, wordt dan vooral op druk belast. Een voorbeeld van een brug met opengewerkte liggers van gietijzer is de Tolbrug in Dordrecht uit 1854.



Gietijzeren ligger van de Tolbrug te Dordrecht.



Tralieligger.



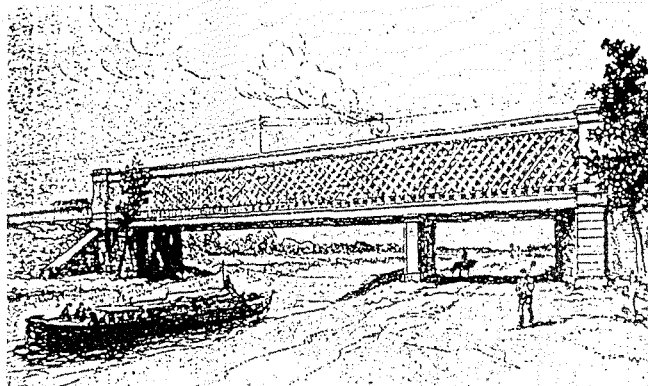
Principe van een houten traliebrug volgens Town.

Tralieliggerbruggen

Een tralieligger bestaat uit een evenwijdig lopende onder- en bovenrand met daartussen een fijnmazig netwerk van kruiselings aangebrachte diagonalen. Deze diagonalen omsluiten ruiten van kleine afmetingen.

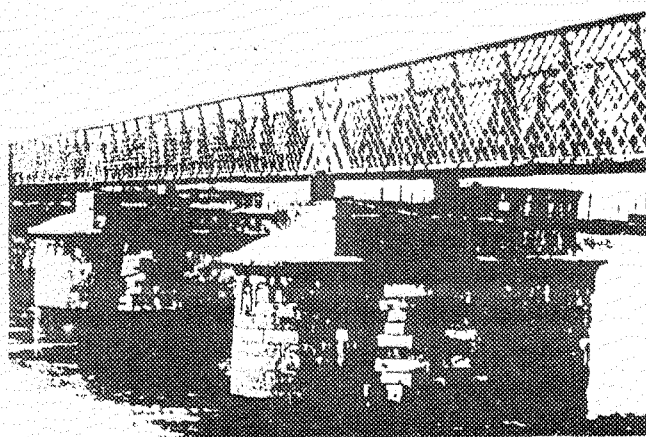
De eerste tralieliggerbruggen werden in Amerika toegepast (systeem Town; patent 1820) en waren van hout. Omstreeks 1850 ging men er toe over het welijzer voor de tralieliggers toe te passen. Met dit systeem verkreeg men voor grote bruggen een belangrijke besparing aan eigen gewicht in vergelijking met de eerder gebouwde welijzeren hoge vollewand- en kokerliggers. In plaats van de dichte wanden ontstond een netwerk van kruisende diagonalen, uitgevoerd als smalle platte staven.

Ook in ons land kenden we een houten tralieliggerbrug, de in 1842 gebouwde spoorbrug bij Vogelenzang over de Trekvaart tussen Haarlem en Leiden.



De houten traliebrug bij Vogelenzang uit 1842.

De meeste tralieliggerbruggen waren doorgaande liggers. Bekende voorbeelden van inmiddels verdwenen spoorbruggen uitgevoerd als welijzeren tralieliggers, zijn de in 1856 gebouwde spoorbrug over de Maas bij Maastricht (twee bruggen achter elkaar, ieder met drie overspanningen van 33 m) en de in 1864 gebouwde spoorbrug over de IJssel bij Zwolle waarvan de bruggen over het rivierbed overspanningen hadden van 75 m. De tralieligger is tot omstreeks 1865 in ons land toegepast en kan als een overgangsvorm worden gezien naar de nog meer open vakwerken.



Spoorbrug met tralieligger over de Maas bij Maastricht.

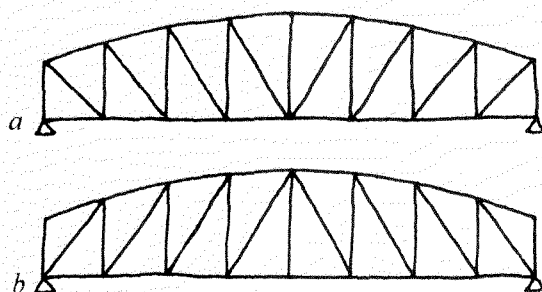
6.2.4. Vakwerkbruggen

Bij vakwerkbruggen bestaan de hoofdliggers uit een vakwerk. Vakwerken zijn constructies die in beginsel zijn opgebouwd uit driehoeken. Omdat een driehoek, bestaande uit staven die in de hoekpunten scharnierend met elkaar zijn verbonden, een vormvast element is, zullen de samenstellingen van driehoeken dat in de regel ook zijn. Zo kunnen constructies worden opgebouwd die als ligger fungeren en die bestaan uit een onderrand (meestal recht) en een bovenrand (recht of gebogen) met daartussen schuine en (meestal) verticale staven.

De ontwikkeling van de meer open vakwerken met diagonalen en verticalen betekende een belangrijke stap verder. Dit werd mogelijk nadat omstreeks 1855 door o.a. Culmann en Schwedler de theorie van het berekenen van de krachten in de staven van vakwerken werd geïntroduceerd.

Vakwerken kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. Enerzijds kan worden gekeken naar het stavenpatroon, terwijl anderzijds onderscheid kan worden gemaakt naar de vorm van de onder- en bovenrand. Hier is gekozen voor een hoofdingeling naar de vorm van de randen. Omdat de diverse stavenpatronen bij verschillende hoofdvormen voorkomen zullen deze eerst worden besproken.

Het stavenpatroon bestaat uit diagonalen (schuin geplaatste staven) en meestal verticalen (verticaal geplaatste staven). Bij de diagonalen onderscheid men 'stijgende' en 'vallende' diagonalen. Stijgende



Diagonalen in een vakwerkligger:

a. Vallende diagonalen.

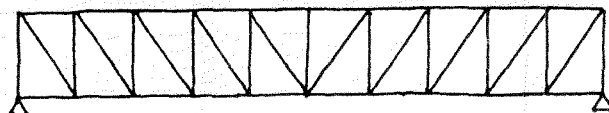
b. Stijgende diagonalen.

diagonalen lopen, gezien van het einde van de brug naar het midden toe, omhoog en snijden als ze worden doorgetrokken de verticale middenas boven de ligger. Vallende diagonalen lopen van het einde van de brug naar het midden toe naar beneden en snijden als ze worden doorgetrokken de verticale middenas beneden de ligger.

Ingedeeld naar het stavenpatroon komen de volgende vakwerken voor:

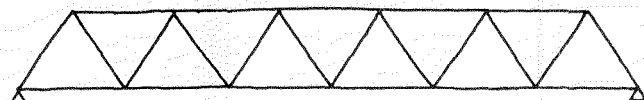
a Enkelvoudige vakwerken, al of niet met verticalen.

Dit type vakwerken ontstond omstreeks 1900. In de beginperiode bestonden deze vakwerken meestal uit velden met verticalen, waartussen per veld slechts één stijgende of vallende diagonaal is geplaatst. Dergelijke vakwerken worden ook wel N-ligger genoemd. Ook worden er grotere velden toegepast (6 tot 7 m). Eén en ander werd mogelijk doordat enerzijds de kennis van het knikken van staven was toegenomen en men in staat was lange op druk belaste staven op de juiste wijze te berekenen en te construeren. Anderzijds kreeg men de beschikking over gewalste profielen, waarmee op eenvoudige wijze grotere veldlengten voor de rijvloeren konden worden gerealiseerd.



Enkelvoudig vakwerk met verticalen en uitsluitend vallende diagonalen (N-ligger).

Een ontwikkeling na 1940 laat zien dat de enkelvoudige vakwerken evolueren naar aaneengeschakelde, nagenoeg gelijkzijdige driehoeken gevormd door uitsluitend diagonalen en de randen. Hierbij ontstaan velden van 10 tot circa 12 m. Zij worden gewoonlijk V-liggers genoemd.

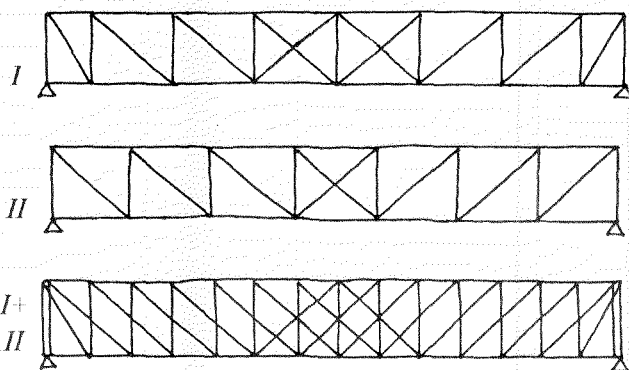


Enkelvoudig vakwerk met aaneengeschakelde driehoeken gevormd door uitsluitend diagonalen en de randen.

b Twee- of meervoudige vakwerken

Bij de in de 19de eeuw gebouwde vakwerken met diagonalen en verticalen werd in de beginperiode, omstreeks 1860, voor de onderlinge afstand van de verticalen geen grotere maat dan 4 m aangehouden. Dit hield verband met de rijvloerconstructie waarvan de dwarsdragers telkens aan de verticalen waren bevestigd en waarbij aldus een overspanning van circa 4 m voor de langsliggers werd gevormd. Destijds was men van mening dat het niet wenselijk was deze maat voor spoorbruggen groter te kiezen.

Om voldoende ruimte te hebben om de diagonalen aan de randen te kunnen verbinden, vond men het nodig de helling van de diagonalen niet te steil te doen zijn. Aangezien voor de hoogte van een vakwerk circa $1/7$ tot $1/9$ van de lengte van de overspanning werd aangehouden, kon voor de kleinere overspanningen (tot ongeveer 30 m) aan deze voorwaarden

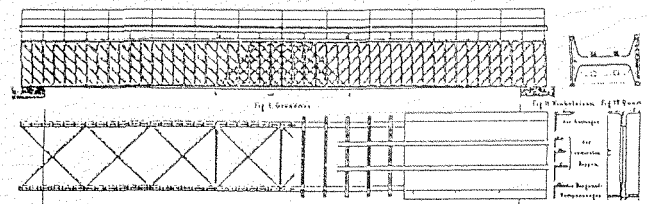


Tweevoudig vakwerk samengesteld uit twee enkelvoudige vakwerken met verticalen, diagonalen en in enkele velden tegendiagonalen.

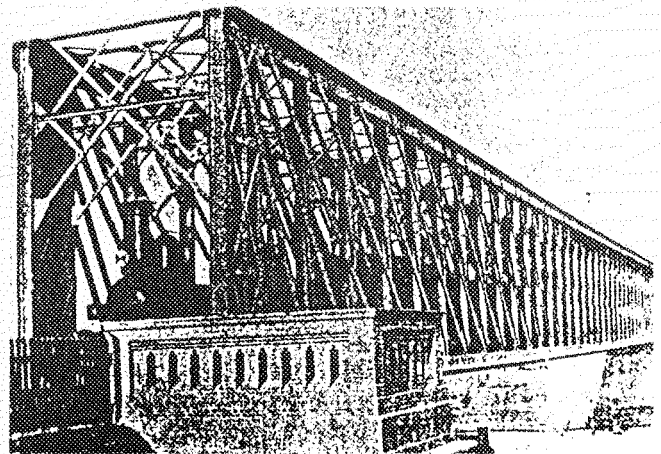
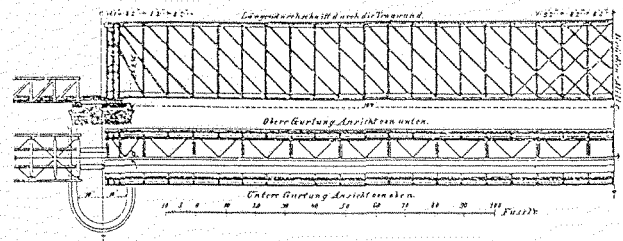
gemakkelijk worden voldaan.

J. Mohnié uit Augsburg kwam op het idee om voor grote bruggen meervoudige vakwerken toe te passen. Hierbij wordt voor het systeem van de hoofdligger een veldlengte van twee- of driemaal een maat van 2,5 à 4 m aangehouden. Door nu twee of drie vakwerken op elkaar te leggen en de randen te laten samenvallen, ontstaat een twee- respectievelijk drievoudig vakwerk. De diagonalen worden hierbij uitgevoerd als vallende, vlakke staven die alleen trekkrachten kunnen opnemen. In een aantal velden worden tegendiagonalen aangebracht, eveneens vlakke staven. De verticalen zijn zodanig geconstrueerd dat ze de drukkrachten kunnen opnemen.

De eerste brug die volgens dit systeem werd ontworpen was de in 1864 gebouwde brug over de Oude Rijn bij Griethausen in Duitsland in de spoorlijn Kleef - Zevenaar. De overspanning bedraagt circa 100 m. Het vakwerk is drievoudig en heeft verticalen met een onderlinge afstand van 2,56 m. Deze brug werd gebouwd door de Duitse firma Harkort. De thans nog bestaande brug bij Griethausen heeft model gestaan voor een groot aantal door dezelfde firma in de tweede helft van de 19de eeuw in Nederland gebouwde spoorbruggen. De eerste was de brug over IJssel bij Zutphen uit 1865. Van alle in Nederland gebouwde vakwerkbruggen van het meervoudige systeem is thans echter geen enkele meer over.



Meervoudige vakwerkligger volgens het systeem van Mohnié.

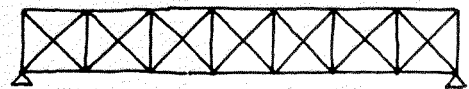


Meervoudige vakwerkliggers volgens het systeem van Mohnié van de spoorbrug over een oude arm van de Rijn bij Griethausen.

c Vakwerken met verticalen en gekruiste diagonalen

Dit type vakwerkligger is door verticale staven tussen de onder- en de bovenrand in een aantal velden van meestal gelijke lengte verdeeld. In deze velden zijn twee diagonalen geplaatst, die elkaar in het midden kruisen.

Waarschijnlijk is dit het eerste vakwerktype dat voor bruggen werd toegepast. Aanvankelijk begon men omstreeks 1860 met vakwerken, waarbij in ieder veld tussen de verticalen een 'stijgende' en een 'vallende' diagonaal werden toegepast. De diagonalen bestaan meestal uit platte staven die de trekkracht moeten opnemen. De verticalen worden op druk belast.



Vakwerk met verticalen en gekruiste diagonalen.

Een verdere ontwikkeling die we omstreeks 1865 zien, betreft de diagonalen. In veel gevallen bleek dat, afhankelijk van de grootte van het eigen gewicht en de belasting door het trein- of gewoon verkeer het mogelijk was in een aantal velden te kunnen volstaan met alleen op trek belaste vallende diagonalen. Alleen bij de meer naar het midden gelegen velden bleef het nodig de tegendiagonalen te handhaven. Het brugtype met de varianten aangaande de vorm van de diagonalen en het in enkele velden toepassen van tegendiagonalen, bleef tot omstreeks 1900 als gangbaar type in gebruik.



Vakwerk met verticalen en diagonalen; alleen in de middenvelden tegendiagonalen.

d Ruitenvakwerken

Bij dit type vakwerken worden door de diagonalen ruitvormige openingen gevormd. Er bestaan ruimtevakwerken met en zonder verticalen in de velden.

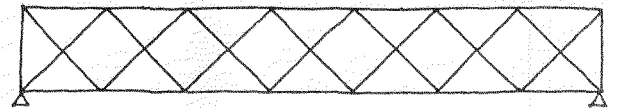
- Ruitenvakwerk zonder verticalen in de velden.

In principe behoren deze ruitenvakwerken ook tot het systeem van de meervoudige vakwerken. Men kan het vakwerk opgebouwd denken uit twee op elkaar gelegde vakwerken met stijgende en vallende diagonalen, waarbij het ene vakwerk met een stijgende en het andere vakwerk met een vallende diagonaal begint. De vallende diagonalen in de velden nabij de bruggeinden worden meestal als trekstaaf geconstrueerd, de stijgende als gedrukte staaf. In de meer naar het midden gelegen velden kunnen zowel de stijgende als de vallende diagonalen naar gelang de stand van de belasting getrokken of gedrukt worden.

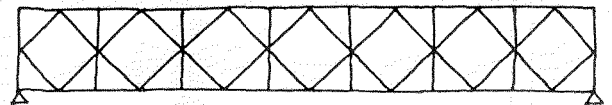
Het voordeel van dit systeem is dat door de verbinding van de diagonalen in het kruispunt, de kniklengte van de op druk belaste staven tot de helft wordt verminderd. Dit systeem werd omstreeks 1875 voor het eerst toegepast.

- Ruitenvakwerk met verticalen.

Bij dit systeem kruisen de diagonalen elkaar ter plaatse van de verticalen op de helft van de hoogte van de ligger. Hier is het voordeel dat, behalve van de diagonalen, ook van de verticalen de kniklengte wordt gereduceerd. Het bijzondere van dit systeem is dat het vakwerk zoals dat is getekend, zijn stabiliteit ontleent aan de buigingsstijfheid van de randen.



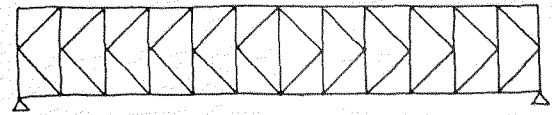
Ruitenvakwerk zonder verticalen.



Ruiten vakwerk met verticalen.

e K-vakwerken

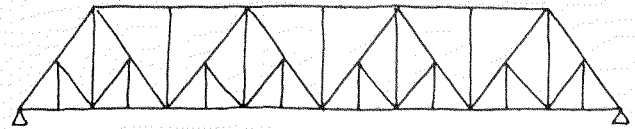
Bij K-vakwerken loopt vanuit het midden van een verticaal een diagonaal naar boven en naar beneden en vormt op deze wijze een K-patroon. Het voordeel van een K-vakwerk is de situatie dat bij lange en daardoor meestal hoge bruggen de velden klein kunnen zijn en de kniklengte van de diagonalen, evenals bij het ruitenvakwerk, gereduceerd kan worden. Een K-vakwerk als hoofdligger komt zelden voor. Wel wordt dit vakwerktype veel gebruikt als stabiliteitsverband.



K-vakwerk.

f Vakwerken van de tweede orde.

Wanneer bij grote overspanningen de aaneengeschaalde driehoeken zo groot worden dat bij het toepassen van verticalen in de velden voor de rijvloer nog te grote overspanningen oplevert, kan een onderverdeling van de driehoeken een oplossing bieden. Men noemt dit vakwerken van de tweede orde. Bij dit type vakwerken wordt bovendien bij grote bruggen met lange diagonalen de kniklengte van dit systeem gunstig beïnvloed. Dit type vakwerk is in het buitenland (o.a. in Amerika) nogal eens toegepast, maar in Nederland zeer weinig.



Vakwerk van de tweede orde.

Naar de hoofdvorm kunnen de volgende brugtypen worden onderscheiden:

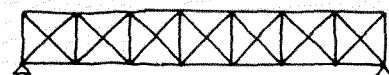
- Parallelliggers
- Parallelliggers met schuine beëindiging
- Parabooliggers
- Afgeknotte parabooliggers
- Sikkelligger
- Lensliggers
- Doorgaande vakwerken met een grotere hoogte boven de tussensteunpunten.

Vakwerkbruggen met parallelliggers

Parallelliggers zijn liggers met een evenwijdige onder- en bovenrand. Het brugtype werd vanaf circa 1865 toegepast, met name voor bruggen en aanbruggen met een relatief kleine overspanning.

- o Vakwerk met verticalen en in alle velden een stel gekruiste diagonalen.

In 1865 werd dit type toegepast voor de bruggen over de uiterwaarden bij de overbrugging van de IJssel bij Zutphen.

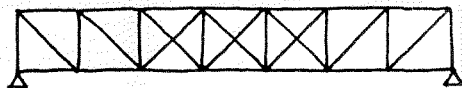


Vakwerk met evenwijdige randen, verticalen en in ieder veld gekruiste diagonalen.

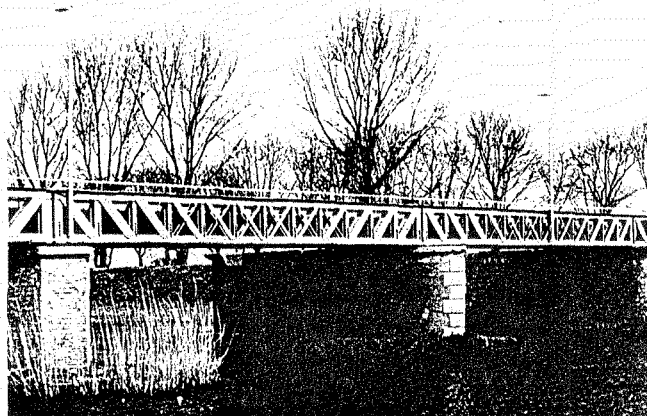
o Vakwerk met verticalen en alleen in de middenvelden gekruiste diagonalen.

Dit type is een vereenvoudigde vorm van het vorige. Bij een aantal velden zijn alleen op trek belaste 'vallende' diagonalen te zien. Bij de meer naar het midden gelegen velden bleef het nodig kruisende diagonaal-strippen te handhaven. Het krachtverloop in de diagonalen is duidelijk herkenbaar aan de bredere diagonaal-strippen aan het einde en de meer naar het midden toe smaller wordende strippen.

De omstreeks 1885 gebouwde spoorbruggen in de voormalige spoorlijn in de Langstraat tussen Den Bosch en Lage Zwaluwe, met overspanningen van circa 16 m, zijn representatieve voorbeelden van dit type.



Vakwerk met evenwijdige randen, verticalen en diagonalen; in enkele velden tegendiagonalen.

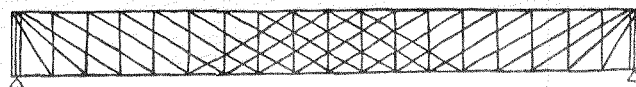


Voormalige spoorbruggen over het Afwateringskanaal bij Waalwijk uit ca. 1885; thans fietsbrug.

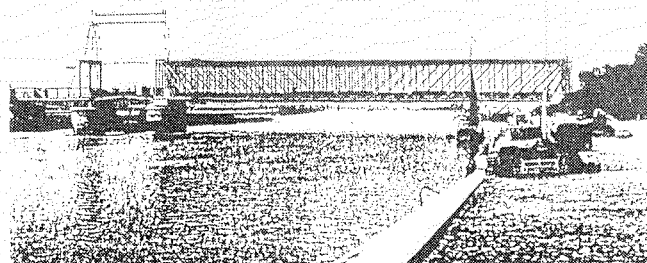
o Meervoudig vakwerk.

De eerste paralleliggerbrug in Nederland met een meervoudig vakwerk was de spoorbrug over de IJssel bij Zutphen, die in 1865 door de Duitse firma Harkort werd gebouwd. De grote overspanning van 98 m was een drievoudig vakwerk. De afstand van de verticalen bedroeg 3,40 m. De overbrugging werd in 1940 door oorlogshandelingen vernield. Bij de meervoudige vakwerken van de door de firma Harkort gebouwde bruggen werden de diagonalen zonder tussenkomst van knoopplaten aan de randen aangesloten.

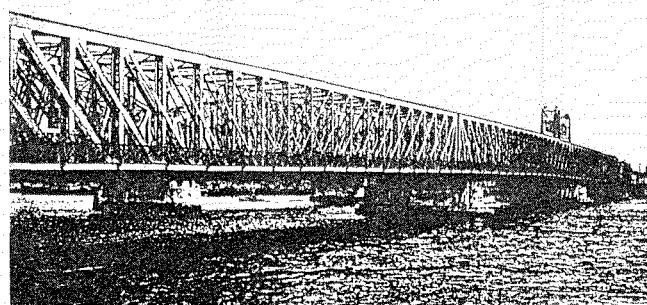
Een voorbeeld van een brug met tweevoudige vakwerkliggers is de door de Franse firma Cail in 1878 gebouwde verkeersbrug over de Nieuwe Maas in Rotterdam.



Drievoudig vakwerk met evenwijdige randen.



Brug voor enkel spoor over de IJssel bij Zutphen met drievoudige vakwerkliggers.



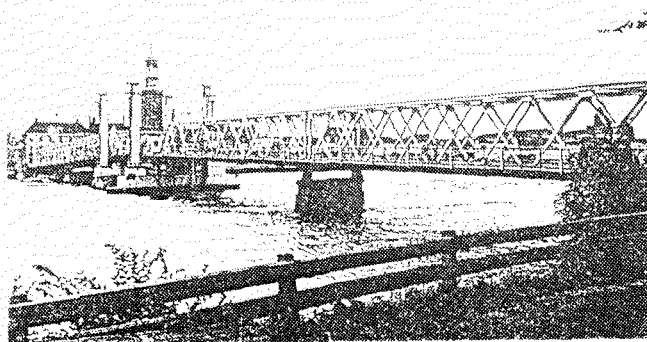
De voormalige Willemsbrug over de Nieuwe Maas te Rotterdam met tweevoudige vakwerkliggers.

o Ruitenvakwerk zonder verticalen in de velden. Een voorbeeld van een Nederlandse brug is te vinden in Kampen. De in 1872 gebouwde stadsbrug over de IJssel heeft aan weerszijden van de ophaalbrug een aanbrug bestaande uit een ruitenvakwerk met evenwijdige randen.

Ruitenvakwerken met evenwijdige randen en geen verticalen in de velden zijn in 1945 na de oorlog in Nederland toegepast als hulpbruggen. Bekend is het fabrikaat Callender Hamilton. Een verkeersbrug van dit type is thans nog in gebruik bij Heusden over de Bergsche Maas.



Ruitenvakwerk met evenwijdige randen, zonder verticalen.

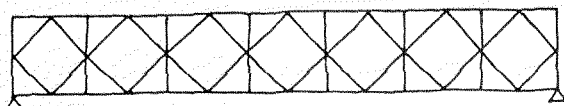


Brug voor gewoon verkeer over de IJssel bij Kampen met ruitenvakwerk.

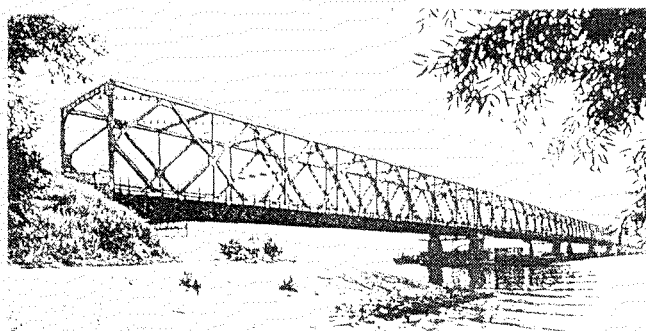
o Ruitenvakwerk met verticalen.

Een voorbeeld van de toepassing van dit vakwerksysteem is de voormalige in 1936 gebouwde verkeersbrug over het Hollandsch Diep bij Moerdijk. Er waren tien overspanningen van 100 m. Thans zijn delen van de brug sinds 1978 in gebruik bij de overbrugging van de Bergsche Maas bij Keizersveer en bij de overbrugging van de Oude Maas bij Spijkenisse.

Dit type draagconstructie is ook toegepast voor de panelen van de in de Tweede Wereldoorlog gebruikte militaire noodbruggen, de 'Bailey-bruggen'. Ook thans nog worden deze bruggen voor dit doel gebruikt.



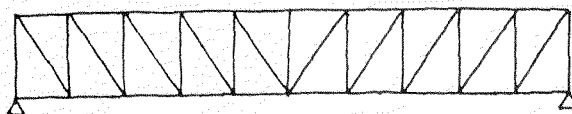
Ruitenvakwerk met evenwijdige randen en verticalen.



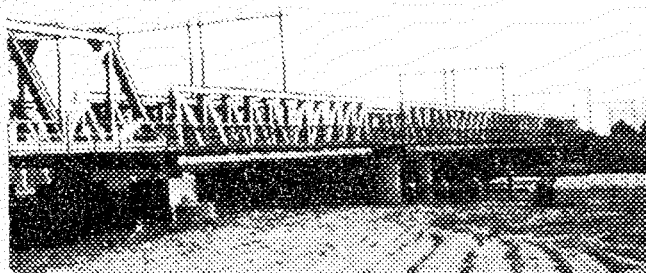
Brug voor gewoon verkeer over het Hollandsch Diep bij Moerdijk met ruitenvakwerk.

o Enkelvoudig vakwerk met verticalen en uitsluitend vallende diagonalen.

De verticalen van deze N-ligger nemen hierbij de drukkrachten op, de diagonalen de trekkrachten. Voorbeeld: één van de overspanningen van de overbrugging van de Vecht bij Berkum uit 1945.



Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen, rechte beëindiging, verticalen en uitsluitend vallende diagonalen (N-ligger).

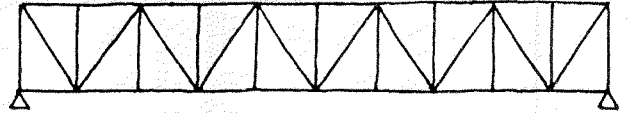


Spoorbrug over de Vecht bij Berkum met N-liggers.

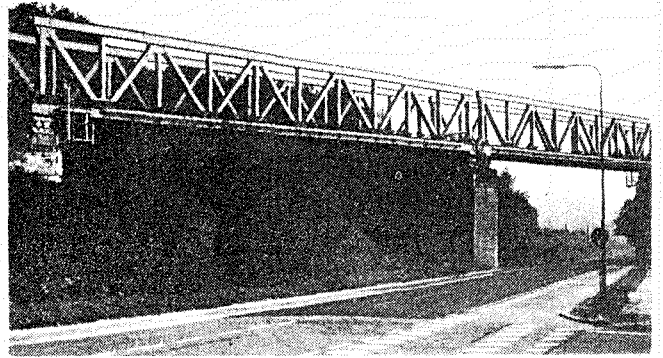
- o Enkelvoudig vakwerk met verticalen en vallende en stijgende diagonalen.

Bij een vakwerk met verticalen en afwisselend vallende en stijgende diagonalen, vormen de aaneengeschakelde driehoeken het eigenlijke draagsysteem. De verticalen dienen om de velden te verkleinen, enerzijds om een kleinere overspanning van de langsdragers te verkrijgen en anderzijds om de kniklengte van de op druk belaste randen te reduceren.

Voorbeeld: de in 1930 gebouwde bruggen over de weg en de spoorweg Schaesberg - Haanrade in de spoorweg Schaesberg - Simpelveld.

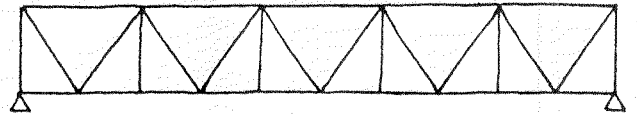


Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen, rechte beëindiging, verticalen, vallende en stijgende diagonalen.



Spoorbrug bij Schaesberg met verticalen en vallende en stijgende diagonalen.

Een variant hierop is het weglaten van de verticalen die de kniklengte van de bovenrand verkorten. Dit komt meestal voor bij bruggen met laaggelegen rijvloer.



Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen, rechte beëindiging, vallende en stijgende diagonalen en alleen verticalen naar de onderrand.

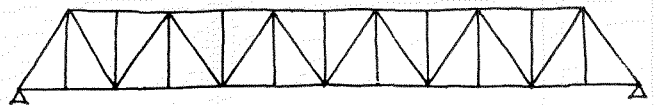
Vakwerkbruggen met parallelloggers met schuine beëindiging

Deze parallelloggers bezitten in plaats van een verticale beëindiging een einddiagonaal en zijn daarmee trapeziumvormig.

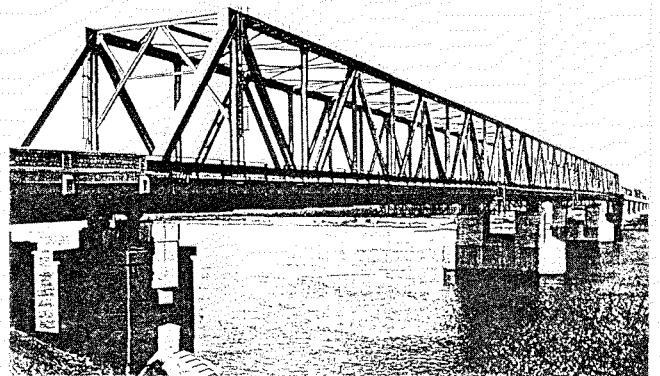
- o Enkelvoudig vakwerk met verticalen en vallende en stijgende diagonalen.

Een voorbeeld van deze trapeziumvormige ligger met verticalen in alle velden is te zien bij de in 1932 gebouwde aanbruggen in het oostelijke spoor van de overbrugging van de Waal bij Zaltbommel.

Variant: het weglaten van de verticalen naar de bovenrand.



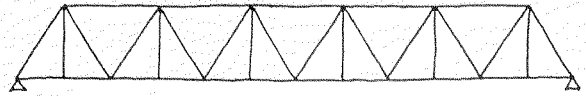
Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen, schuine beëindiging, verticalen, vallende en stijgende diagonalen.



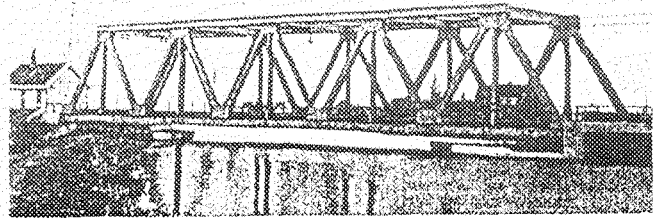
Brug voor gewoon verkeer over de Waal bij Zaltbommel.

- o Enkelvoudig vakwerk met alleen verticalen naar de onderrand en met vallende en stijgende diagonalen.

Een voorbeeld van dit type zijn de in 1947 gebouwde aanbruggen in het westelijke spoor van de overbrugging van de Waal bij Zaltbommel. Ook bij de spoorbrug te Kethel is deze vakwerkligger toegepast.



Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen, schuine beëindiging, vallende en stijgende diagonalen en alleen verticalen naar de onderrand.

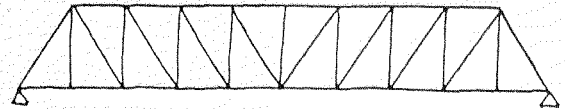


Spoorbrug te Kethel.

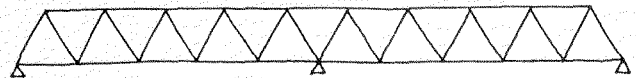
- o Enkelvoudig vakwerk met verticalen en vallende diagonalen.

- o Enkelvoudig vakwerk met alleen vallende en stijgende diagonalen.

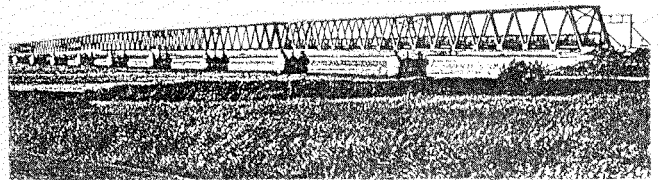
Door het ontbreken van verticalen ontstaat een rustig beeld van de hoofdligger. Grote overspanningen vereisen grote velden. Voorbeeld: de in 1955 gebouwde dubbelsporige brug over het Hollandsch Diep bij Moerdijk met vijf doorgaande vakwerken, elk bestaande uit twee overspanningen van 104 m.



Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen, schuine beëindiging, verticalen en vallende diagonalen.



Enkelvoudig vakwerk met evenwijdige randen en schuine beëindiging; aaneengeschakelde driehoeken gevormd door uitsluitend diagonalen en de randen.



Spoorbrug over het Hollandsch Diep bij Moerdijk met vakwerkliggers met aaneengeschakelde driehoeken.

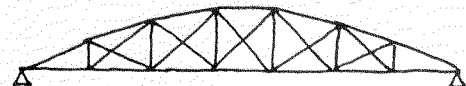
Vakwerkbruggen met paraboolliggers

Een paraboolligger heeft een rechte onderrand en een gebogen bovenrand, die elkaar snijden bij de steunpunten. Er zijn dus geen eindverticalen of -diagonalen. De bovenrand heeft meestal de vorm van een parabool, maar ook wel eens een cirkelboog. Het kiezen van een gebogen bovenrand met een paraboolvorm heeft tot gevolg dat de krachten in de bovenrand per veld meer gelijk van grootte zijn. Anderzijds kan de keuze van dit brugtype mogelijk gebaseerd zijn op esthetische overwegingen.

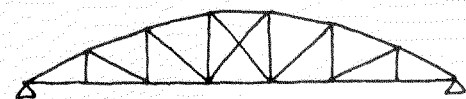
- o Vakwerk met in ieder veld een stel kruisende diagonalen.

- o Vakwerk met verticalen, vallende diagonalen en in de middenvelden gekruiste diagonalen.

Dit type geldt als een vereenvoudigde vorm van het vorige. In de buitenste velden ontbreken de tegendiagonalen, omdat die daar niet nodig zijn.



Vakwerk met gebogen bovenrand, verticalen en in ieder veld gekruiste diagonalen.



Vakwerk met gebogen bovenrand, verticalen en diagonalen; in enkele velden tegendiagonalen.

Vakwerkbruggen met afgeknotte paraboolliggers

Wanneer vakwerkliggers met een parabolische bovenrand ter plaatse van de einden aansluiten op een verticaal of einddiagonaal spreekt men van een afgeknotte paraboolligger. Dit type werd toegepast voor zowel grote als kleine overspanningen. Een voordeel van een parabolisch gebogen bovenrand is ook hier het meer gelijk van grootte zijn van de krachten in deze rand. Van dit type zijn talloze bruggen gebouwd. Vrijwel alle spoorbruggen uit de 19de eeuw werden beëindigd met een verticaal. De verkeersbruggen vanaf circa 1880 eindigen op een einddiagonaal. De oudste brug van dit type is de in 1868 gebouwde en inmiddels vervangen spoorbrug over de Lek bij Kuilenburg.

De ontwikkeling van de afgeknotte paraboolligger is vergelijkbaar is met die van de vakwerken met evenwijdige randen. Tegen het einde van de 19de eeuw zien we bij dit systeem dat behalve diagonalen die als platte op trek belaste staven zijn uitgevoerd nu ook diagonalen die uit plaat en profiel zijn opgebouwd en in bepaalde mate drukkrachten kunnen opnemen.

Beëindiging op een verticaal

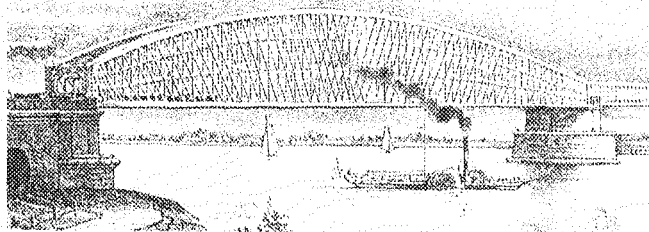
o Twee- of meervoudig vakwerk.

De meest bekende brug van dit type is de in 1868 gebouwde en in 1983 vervangen spoorbrug over de Lek bij Kuilenburg. Het vakwerk van de grote overspanning van circa 154 m, was drievoudig; het systeem van de aanbruggen tweevoudig. De afstand van de verticalen bedroeg 4 m.

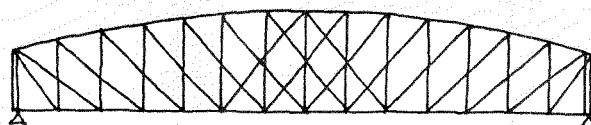
o Vakwerk met verticalen, vallende diagonalen en alleen in de middenvelden gekruiste diagonalen.

Dit type is een vereenvoudigde vorm van een vakwerk met in alle velden gekruiste diagonalen. Vaak kan, afhankelijk van de grootte van het eigen gewicht en de belasting door trein- of gewoon verkeer, worden volstaan met slechts in een beperkt aantal velden tegendiagonalen toe te passen.

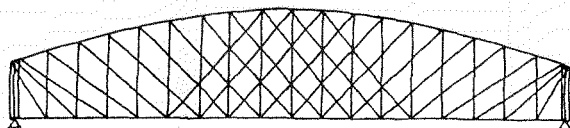
Voorbeelden van dit type met rechte beëindiging zijn de in 1873 gebouwde bruggen in de spoorlijn door Rotterdam: de brug over de Steigersgracht, de bruggen over de Nieuwe Maas en de aanbruggen van de hefbrug over de Koningshaven.



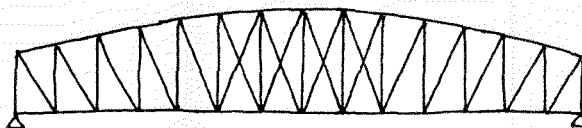
De voormalige spoorbrug over de Lek bij Kuilenburg met afgeknotte paraboolliggers als drievoudig vakwerk.



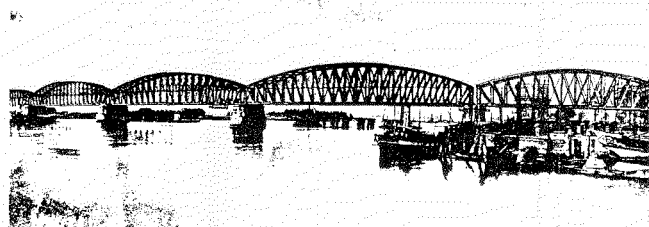
Afgeknotte paraboolligger als tweevoudig vakwerk.



Afgeknotte paraboolligger als drievoudig vakwerk.



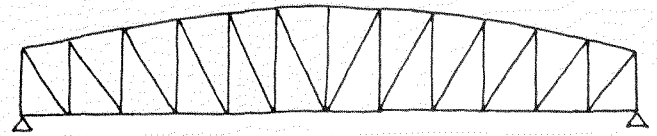
Afgeknotte paraboolligger met verticalen, vallende diagonalen en in enkele velden tegendiagonalen.



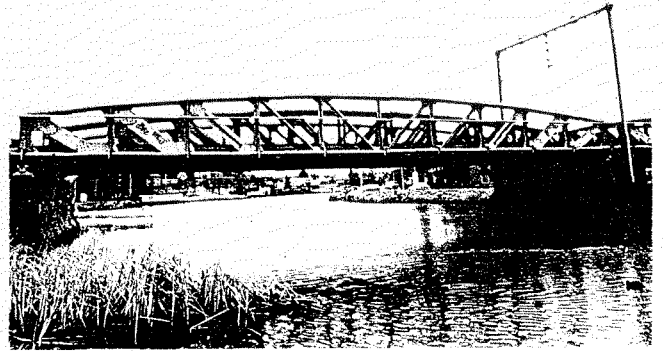
De spoorbruggen over de Nieuwe Maas te Rotterdam.

- o Enkelvoudig vakwerk met rechte beëindiging en met verticalen en uitsluitend vallende diagonalen.

Voorbeeld: de in 1899 gebouwde enkelsporige bruggen over de Rotte nabij Rotterdam in de lijn Gouda-Rotterdam. Overspanning circa 30 m. Nieuwe bruggen van dit type worden praktisch niet meer gebouwd.



Enkelvoudig vakwerk met parabolisch gebogen bovenrand, rechte beëindiging, verticalen en uitsluitend vallende diagonalen.

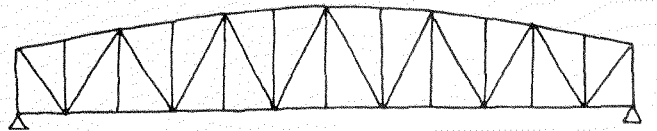


De spoorbruggen over de Rotte te Rotterdam met vakwerkliggers met vallende diagonalen.

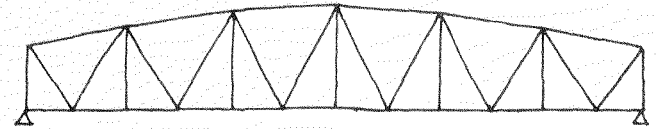
- o Enkelvoudig vakwerk met rechte beëindiging en met verticalen en zowel stijgende als vallende diagonalen.

Dit type komt niet zo veel meer voor. Voorbeeld: de meest zuidelijke rivieroverspanning in het westelijke spoor van de de spoorbrug over de Waal bij Zaltbommel. De uit 1932 daterende brug heeft een overspanning van circa 125 m.

Variant: weglaten van de verticalen naar de bovenrand.



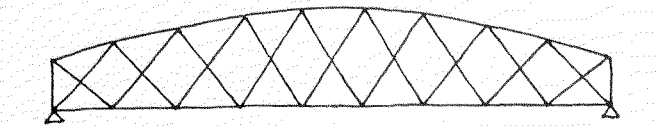
Enkelvoudig vakwerk met parabolisch gebogen bovenrand, rechte beëindiging, verticalen, vallende en stijgende diagonalen.



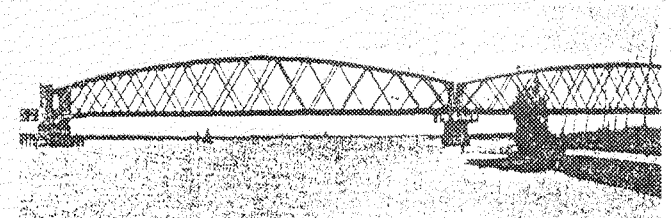
Enkelvoudig vakwerk met parabolisch gebogen bovenrand, rechte beëindiging, vallende en stijgende diagonalen en uitsluitend verticalen naar de onderrand.

- o Ruitenvakwerk.

Voorbeelden hiervan zijn de hoofdliggers van de in 1903 gebouwde bruggen over de Oude Maas bij Spijkenisse met overspanningen van 86 m.



Ruitenvakwerk met parabolisch gebogen bovenrand en rechte beëindiging, zonder verticalen.

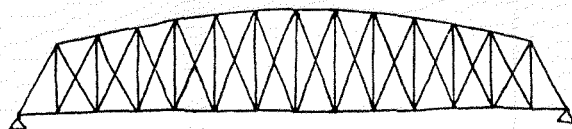


Brug voor gewoon verkeer over de Oude Maas bij Spijkenisse met ruitenvakwerk.

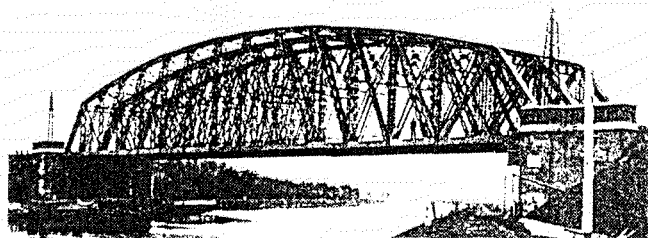
Beëindiging op een einddiagonaal

- o Vakwerk met in alle velden een stel gekruiste diagonalen.

Voorbeelden van dit type met beëindiging op een diagonaal waren de vroegere spoorbruggen over het Amsterdam-Rijnkanaal nabij Utrecht en nabij Weesp. Deze bruggen met een overspanning van circa 99 m en werden in 1900 gebouwd. Er waren trek- en drukdiagonalen. De bruggen werden tussen 1966 en 1972 vervangen in verband met een verbreding van het kanaal.



Afgeknotte paraboolligger met beëindiging op een einddiagonaal, verticalen en in ieder veld gekruiste diagonalen.

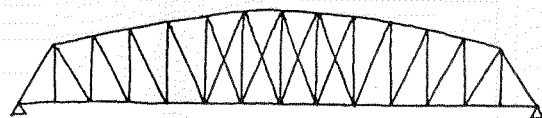


Spoorbrug over het Merwedekanaal bij Weesp met vakwerkliggers met gekruiste diagonalen en verticalen.

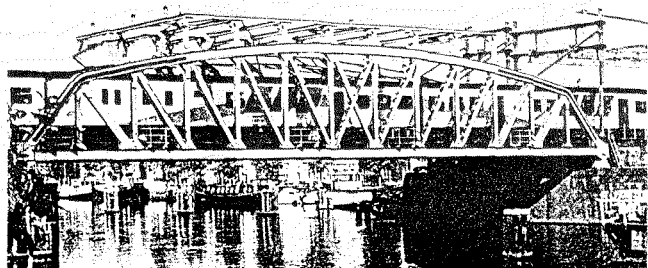
- o Vakwerk met verticalen, vallende diagonalen en alleen in de middenvelden gekruiste diagonalen.

Dit type is een vereenvoudigde vorm van het vorige. In veel gevallen kan, afhankelijk van de grootte van het eigen gewicht en de belasting door trein- of gewoon verkeer, worden volstaan met slechts in een beperkt aantal velden tegen-diagonalen toe te passen.

Een voorbeeld is de spoorbrug over de Spaarne te Haarlem. Deze vakwerkligger heeft alleen in het middenveld gekruiste diagonalen.

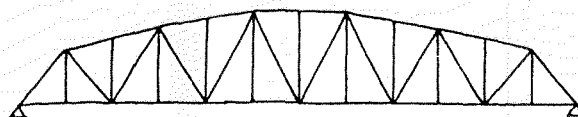


Afgeknotte paraboolligger met schuine beëindiging, verticalen, vallende diagonalen en in enkele velden tegendiagonalen.



Spoorbrug over de Spaarne te Haarlem met vallende diagonalen en in het middenveld gekruiste diagonalen.

- o Enkelvoudig vakwerk met schuine beëindiging, verticalen en vallende en stijgende diagonalen. Een voorbeeld van dit type waarbij in alle velden verticalen zijn toegepast, is de in 1913 gebouwde spoorbrug over het Eindhovens Kanaal bij Geldrop in de lijn Eindhoven - Weert met een overspanning van 51 m.



Enkelvoudig vakwerk met parabolisch gebogen bovenrand, schuine beëindiging, verticalen, vallende en stijgende diagonalen.



Spoorbrug over het Eindhovens Kanaal bij Geldrop.

Veel voorkomend is de variant waarbij de als knikverkort voor de bovenrand dienende verticaal ontbreekt.

Voorbeelden zijn o.a. de rivieroverspanning van de spoorbrug over de IJssel bij Zutphen, de spoorbrug over de Maas bij Buggenum en de brug voor gewoon verkeer over de stuw in de Maas bij Grave.

De meeste bruggen van dit type zijn gebouwd tussen 1930 en 1950. Thans wordt dit type nog wel toegepast in situaties waarbij er sprake is van een geringe beschikbare hoogte voor de rijvloer of wanneer bij grote overspanningen de velden te groot worden.

- o Enkelvoudig vakwerk met schuine beëindiging en alleen vallende en stijgende diagonalen.

Dit vakwerk bestaat uit aaneengeschaalde driehoeken, gevormd door uitsluitend diagonalen en de randen. Dit type behoort tot de meer moderne bruggen.

Een voorbeeld van deze vorm is het vakwerk van de draaibrug over het kanaal van Gent naar Terneuzen bij Sluiskil.

- o Enkelvoudig vakwerk van de tweede orde.

Voorbeeld: de voormalige, omstreeks 1950 gebouwde, middenoverspanning van 130 m van de spoorbrug over de Waal te Nijmegen. Dit type komt thans in Nederland niet meer voor.

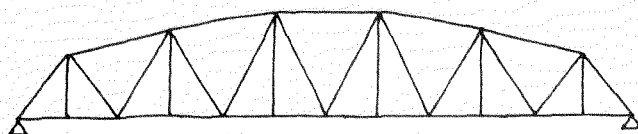
Vakwerkbruggen met sikkelliggers

Bij dit brugtype zijn zowel de boven- als de onderrand opwaarts gebogen, waardoor de brug een sikkelvormig uiterlijk krijgt.

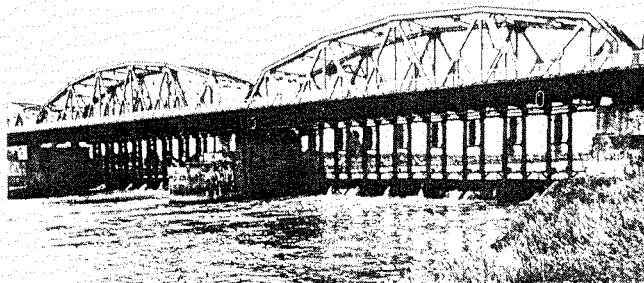
- o Vereenvoudigd vakwerk uitgevoerd als sikkelspant.

Dit brugtype wordt wel toegepast als voetbrug. Een voorbeeld daarvan is een bruggetje in de tuin van de Hortus Botanicus te Amsterdam.

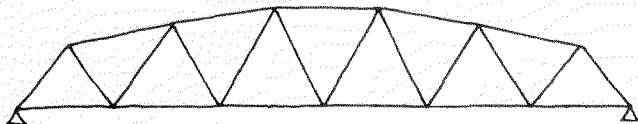
Voetbrug in de Hortus Botanicus te Amsterdam met sikkelliggers met verticalen en gekruiste diagonalen.



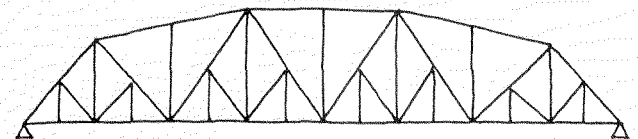
Enkelvoudig vakwerk met parabolisch gebogen bovenrand, schuine beëindiging, vallende en stijgende diagonalen en alleen verticalen naar de onderrand.



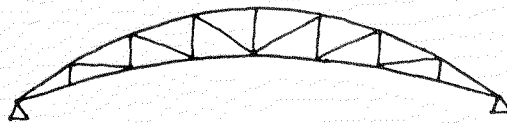
Verkeersbrug over de stuw in de Maas bij Grave met enkelevoudige vakwerk liggers met diagonalen en uitsluitend verticalen naar de onderrand.



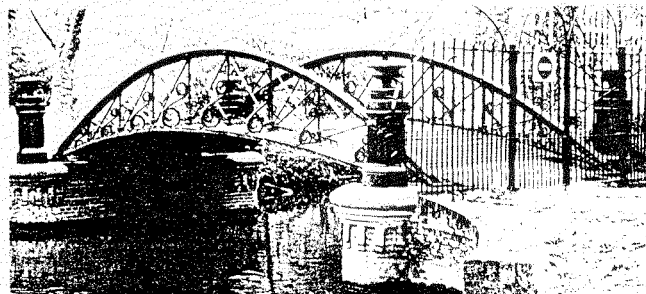
Enkelvoudig vakwerk met parabolisch gebogen bovenrand: aaneengeschaalde driehoeken gevormd door uitsluitend diagonalen en de randen.



Vakwerk van de tweede orde met parabolisch gebogen bovenrand.



Vakwerk met gebogen boven- en onderrand (sikkelligger) en met verticalen en diagonalen.



Vakwerkbruggen met lensliggers

Het kenmerk van een lensligger of 'visbuikligger' is dat de parabolisch gebogen boven- en onder-rand symmetrisch zijn ten opzichte van de horizontale langsas. Hierdoor ontstaat een zo gunstig mogelijke krachtverdeling in de randen. De lensligger werd in 1825 voor het eerst ontworpen door George Stephenson voor een brug over de Gaunless in de lijn Stockdon - Darlington. De brug had vijf overspanningen van ieder slechts circa 3,6 m. Er werden hierbij geen diagonalen toegepast.

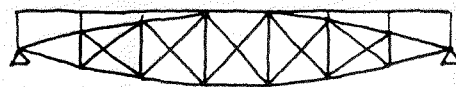
Daarna komen in Duitsland in 1834 eerst Laves en vervolgens Pauli in 1857 met overeenkomstige ontwerpen. Nu echter met gekruiste diagonalen in de velden waardoor het systeem ook voor grotere bruggen kon worden toegepast. In Duitsland is het type vooral bekend onder de naam 'Pauli-träger'. Een bekende brug van dit type is de in 1857 gebouwde spoorbrug over de Rijn bij Mainz met vier overspanningen van 105 m. In Engeland werd in 1859 van dit type de spoorbrug over de Tamar bij Saltash gebouwd met overspanningen van circa 139 m. In Nederland is dit type slechts weinig toegepast.

De rijvloer kan in principe op drie verschillende plaatsen zijn aangebracht:

- Een hooggelegen rijvloer, waarbij deze op gelijke hoogte ligt als het hoogste punt van de ligger.
- De rijvloer halverwege tussen de boven- en de onderrand.
- Een laaggelegen rijvloer die ligt op een hoogte, samenvallend met het laagste punt van de onderrand.

o Vakwerk met verticalen en daartussen in ieder veld een stel kruisende diagonalen.

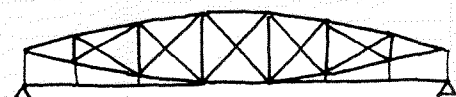
Een voorbeeld is de in 1883 gebouwde voetbrug over het emplacement te Zwolle, de 'Hoge Brug', bestaande uit drie lensliggers met ieder een overspanning van circa 36 m. Het is de enig overgebleven overbrugging met drie bruggen van dit type in Nederland. De rijvloer van deze brug ligt op gelijke hoogte met het laagste punt van de onderkant van de lensliggers.



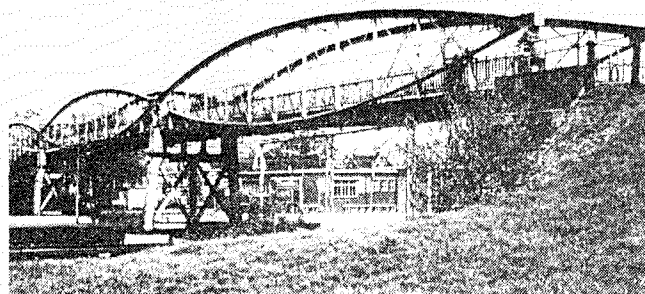
Lensligger met hooggelegen rijvloer.



Lensligger met een rijvloer halverwege de boven- en de onderrand.



Lensligger met een rijvloer op één hoogte samenvallend met het laagste punt van de onderrand.



De Hoge Brug te Zwolle: lensligger met laaggelegen rijvloer, verticalen en gekruiste diagonalen.

Doorgaande vakwerken met een grotere hoogte boven de tussensteunpunten

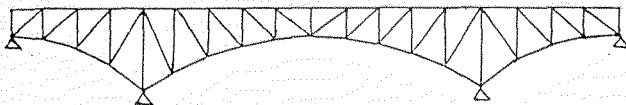
Vakwerken op meer steunpunten kunnen ook worden uitgevoerd met een verloop in hoogte. Door de hoogte van het vakwerk ter plaatse van de tussensteunpunten te verhogen, kan de hoogte in het midden van de overspanning worden verminderd. Hierdoor ontstaat ook een esthetisch meer aantrekkelijke vorm.

- o Doorgaande vakwerken met een in hoogte verlopende onderrand.

Met een opwaarts gebogen onderrand wordt een grotere doorvaarthoogte gekregen. In Nederland komt dit type niet voor.

- o Doorgaande vakwerken met een in hoogte verlopende bovenrand.

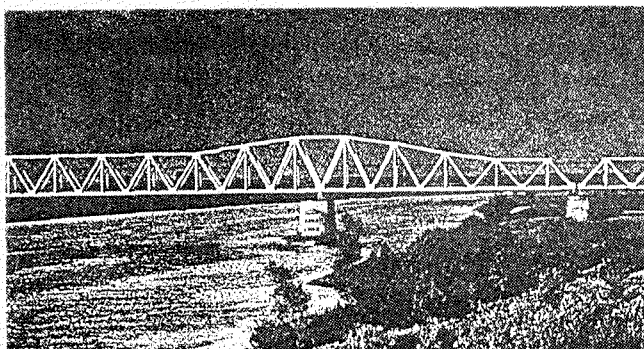
Voorbeeld: de eerste, in 1946, en de tweede, in 1978, daarnaast gebouwde spoorbruggen over de Maas bij Hedel. Overspanningen: circa 60 m - 108 m - 60 m.



Vakwerk op meer steunpunten met gebogen onderrand en grotere hoogte ter plaatse van de tussensteunpunten.



Vakwerk op meer steunpunten met gebogen bovenrand en grotere hoogte ter plaatse van de tussensteunpunten.



Spoorbrug over de Maas bij Hedel met doorgaande vakwerkligger.

6.2.5. Raamwerkbruggen

Een staaf-systeem bestaande uit driehoeken is vormvast. De krachten werken daarin volgens de staafassen. Bij een staafsysteem gevormd door uitsluitend rechthoeken is de mate van vormvastheid afhankelijk van de stijfheid van de staven en de stijfheid van de onderlinge verbinding daarvan. Behalve de krachten in de staven, werkend volgens de staafassen, worden de staven ook op buiging belast. Dit wordt raamwerking genoemd. Wanneer uit een vakwerkligger de diagonalen worden weggenomen is het draagsysteem niet meer vormvast. De vormvastheid van een vierhoek zonder diagonaal kan worden hersteld door tenminste een van de vier hoeken als een stijve verbinding uit te voeren. In de praktijk maakt men alle hoeken buigvast. Dit type ligger werd in 1899 ontworpen door de Belgische ingenieur Vierendeel en daarom ook wel Vierendeel-ligger genoemd. Tussen 1900 en 1940 zijn vooral in België verschillende van deze bruggen gebouwd.

Vierendeel-brug met evenwijdige randen

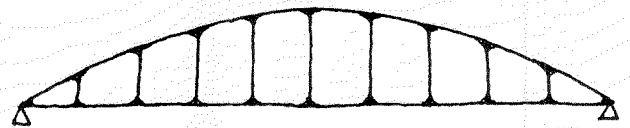
Een voorbeeld hiervan is de in 1904 gebouwde brug over de Schelde bij Avelghem.



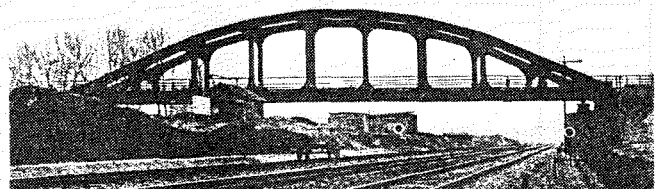
Vierendeel-brug met evenwijdige randen.

Vierendeel-brug met parabolisch gebogen bovenrand

Na de in 1910 gebouwde afgeknotte parabool-ligger bij Ousselghem, zijn de in de dertiger jaren gebouwde gelaste parabolische liggers over het Albertkanaal het meest bekend geworden. Deze bekendheid ontstond echter voor het grootste deel door het instorten van een aantal daarvan door problemen die verband hielden met het lassen en met de eigenschappen van het gebruikte materiaal. In Nederland is de omstreeks dezelfde tijd gebouwde brug van hetzelfde type over het spoorweg-emplacement bij Nuth bekend. Deze eveneens gelaste brug met een overspanning van 53 m werd omstreeks 1989 wegens scheurvorming vervangen door een betonnen brug, waarvoor wegens het inmiddels overbodig geworden emplacement met een kleinere overspanning kon worden volstaan. De Vierendeel-ligger was een van de eerste gelaste bruggen in Nederland. Na 1940 is dit brugtype hier niet meer toegepast.



Vierendeel-brug met parabolisch gebogen bovenrand.



Brug met Vierendeel-liggers met parabolisch gebogen bovenrand te Nuth.

6.2.6. Kraagbruggen

Bij een kraagbrug of 'cantilever'-brug wordt een ligger op twee steunpunten van een uitkraging voorzien, die een 'zwevend' steunpunt vormt voor een tweede ligger. Er zijn zowel kraagbruggen opgebouwd uit vollewandliggers als opgebouwd uit vakwerkliggers.

Kraagbruggen opgebouwd uit vollewandliggers

Het voordeel van de kraagliggers ten opzichte van de eerder genoemde doorgaande liggers is dat er geen extra spanningen in de ligger kunnen komen tengevolge van een eventuele zetting van de steunpunten. Bovendien is de berekening van dit systeem eenvoudiger dan dat van doorgaande liggers. Een nadeel is de dure en moeilijk te onderhouden scharnierconstructie die ter plaatse van de uitkraging als oplegging moet dienstdoen. Wanneer het eigen gewicht van de ligger met uitkraging niet voldoende is, kan het nodig zijn om aan het andere einde een verankering aan te brengen om opwippen te voorkomen.

- In zijn eenvoudigste vorm is de kraagbrug opgebouwd uit een ligger op twee steunpunten met uitkraging, waarop een tweede balk is opgelegd, die aan het andere einde weer op een vast steunpunt rust.

Een voorbeeld hiervan is de in een goederenlijn gelegen spoorbrug over de Oosterburgergracht in Amsterdam.

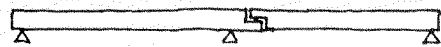
- Het is ook mogelijk dat er bijvoorbeeld twee balken met een uitkraging zijn waarop een tussenbalk rust. Dit systeem wordt dikwijls vernoemd naar de Duitse ingenieur Gerber die het omstreeks 1860 introduceerde. Het liggertype is in de literatuur, naast de Engelse benaming 'cantilever', bekend als 'Gerber-ligger'.

Kraagbruggen opgebouwd uit vakwerkliggers

Vooraf in de tweede helft van de 19de eeuw en het begin van de 20ste eeuw werden in het buitenland grote kraagbruggen, opgebouwd uit vakwerkliggers, toegepast.

Voorbeelden van grote bruggen zijn:

- De in 1890 gereedgekomen brug over de Firth of Forth bij Edinburgh
- De Quebec-brug over de Lawrence-stroom in Canada (1916).



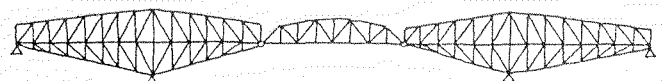
Kraag- of cantileverbrug.



Kraagbrug met 'zwevende' tussenligger.



Voorbeeld van een kraagbrug in Engeland: Firth of Forth.



Voorbeeld van een kraagbrug te Quebec in Canada.

6.2.7. *Bruggen met ingebetonnen liggers*

Bij ingebetonnen liggers bestaat de hoofddraagconstructie uit stalen balken, die geheel of gedeeltelijk met beton zijn omstort. Omstreeks 1935 werd er bij de verhoging van de spoorbaan tussen de stations Amsterdam-CS en Amsterdam-Amstel een aantal viaducten gebouwd, waarbij gewalste liggers werden ingebetonnen. Het voordeel van de ingebetonnen balken bij deze spoorbruggen was dat het ballastbed van de baan hierover kon worden doorgevoerd en men vrij was in het sporenplan. Bovendien werd op deze wijze tevens een afsluiting boven de weg verkregen.

Naar alle waarschijnlijkheid werd hierbij nog niet in alle gevallen aan een samenwerken van beton en staal als draagconstructie gedacht en had het beton alleen de functie als dek. Dikwijls werden de gewalste liggers in dwarsrichting gekoppeld door middel van stalen balkjes.

Ingebetonneerde langsliggers met zichtbare onderflens

Uitvoering waarbij de beton met uitsparingen tot aan de onderkant van de gewalste balken reikt. De onderkant van de flens blijft vrij.

Half ingebetonnen langsliggers

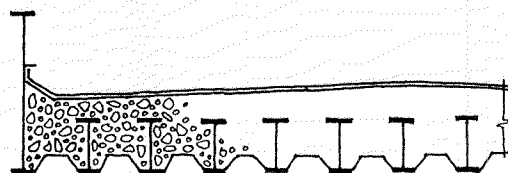
Uitvoering waarbij een groot gedeelte (onderhelft) van de gewalste balk vrij blijft.

Ingebetonneerde langsliggers met aangelaste spiraalwapening

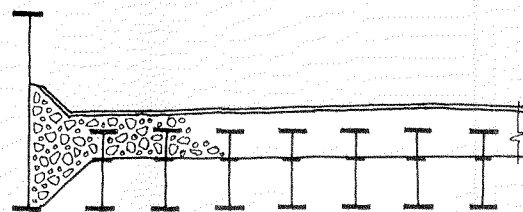
Een voorbeeld waarbij wel een samenwerking tussen beton en staal wordt beoogd, is een vloerconstructie zoals omstreeks 1935 in een aantal gevallen voor bruggen voor gewoon verkeer is toegepast. Hierbij wordt gebruik gemaakt van balken waarop eerst een spiraal-wapening is gelast die een schuifvaste verbinding met het betonnen dek bewerkstelligt. Daarna wordt op de balken het betonnen dek gestort. Na het verharden van het beton werken beton en staal samen als één draagconstructie.

Een voorbeeld hiervan is de vloerconstructie van de brug over het spoorwegemplacement te Nuth uit circa 1935.

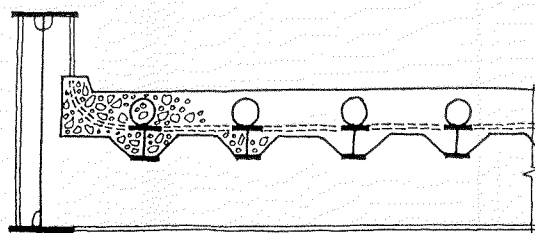
Dit type kan als een voorloper worden beschouwd van het type brug dat na 1945 'staalbeton'-brug werd genoemd.



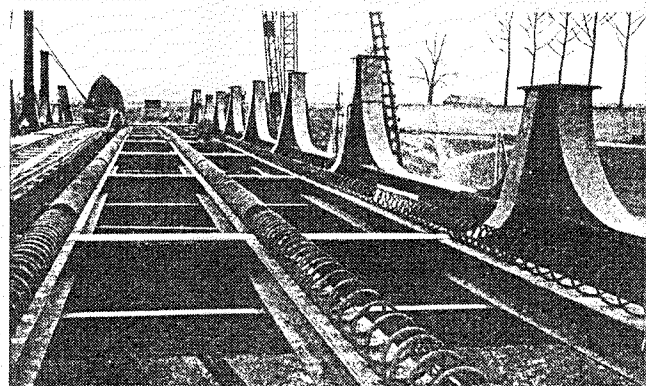
Ingebetonneerde liggers: voorbeeld met uitsparingen aan de onderzijde.



Ingebetonneerde liggers: voorbeeld waarbij een groot gedeelte van de balk vrij blijft.



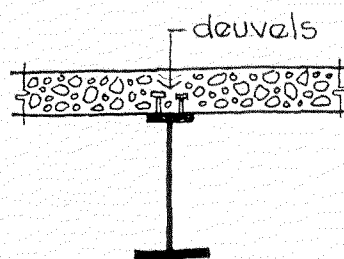
Een van de eerste toepassing van een samenwerking tussen beton en staal; gebruik van op de balk gelaste spiraalwapening.



Brug voor gewoon verkeer te Nuth tijdens de montage. Langsliggers met aangelaste spiraalwapening.

Staal-beton-brug

In tegenstelling tot het buitenland is er in Nederland tot nu toe nog slechts een gering aantal bruggen van dit type gebouwd. In de meeste gevallen bleek een voorgespannen geheel betonnen brug voor de Nederlandse omstandigheden meer economisch te zijn.



Principe van een staal-beton-brug.

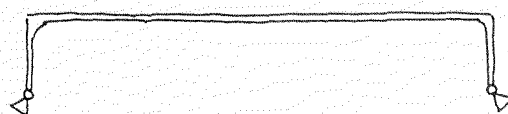
6.2.8. Portaalbruggen

De meest eenvoudige vorm van een constructie waarbij sprake is van een raamwerking is een portaal. Een portaal bestaat uit twee of meer kolommen die buigvast aan een bovenregel zijn verbonden. Deze bovenregel kan eventueel naar weerszijden uitkragen.

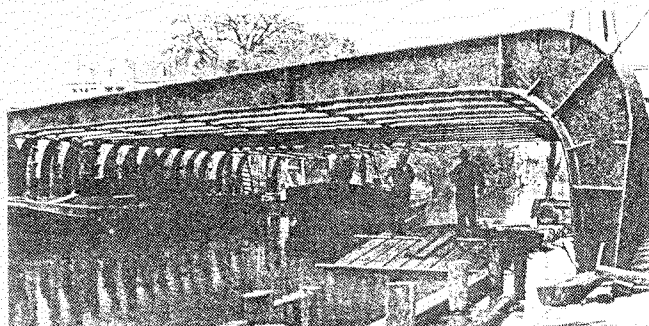
Bij een portaalbrug zijn beide einden van een ligger buigvast verbonden met een verticale stijl. Hierdoor ontstaat een zekere inklemming van de bovenregel in de stijlen en kan deze ligger slanker worden uitgevoerd. De portaalbrug is sterk verwant aan de boogbrug.

Een voorbeeld van een portaalbrug is de gelaste brug over de Laan van Meerdervoort te Den Haag.

Portalen zijn ook veel toegepast in plaats van een stenen of betonnen pijler als ondersteuning van de brug. Voorbeelden daarvan zijn te zien in de spoorlijn door Amsterdam nabij het Amstelstation en het Muiderpoortstation. Deze portalen, gebouwd omstreeks 1937, zijn zowel in geklonken als gelaste uitvoering



Portaalbrug.



Gelaste portaalbrug over de Laan van Meerdervoort te Den Haag.

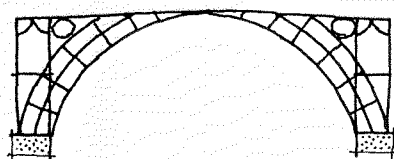
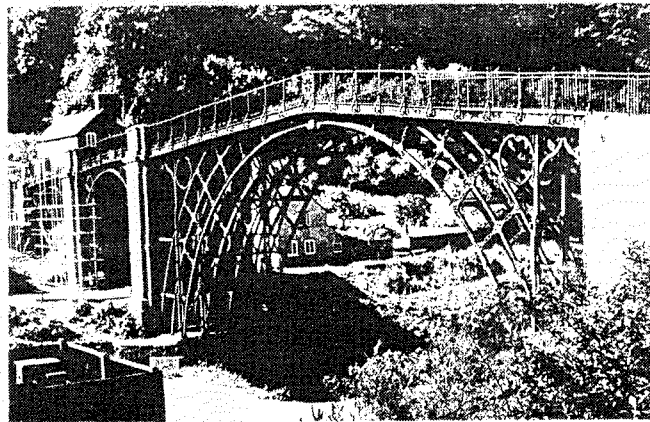
6.2.9. Boogbruggen

Bij een stenen boogbrug vindt de krachtwerking uitsluitend plaats door drukoverdracht. Bij de eerste gietijzeren boogbruggen is dit ook het geval en de vormgeving doet sterk denken aan die van de stenen boogbruggen. De eerste ijzeren brug is de in 1779 gebouwde gietijzeren boogbrug over de Severn bij Coalbrookdale in Engeland.

In Nederland verschijnen de eerste gietijzeren boogbruggen omstreeks 1850. Het zijn dan meestal kleinere stadsbruggen. Bij de stenen boogbruggen had men de ervaring opgedaan dat er bij slanke bogen scheuren konden ontstaan. Ook bij bogen van gietijzer kon dit gebeuren. De oorzaak hiervan was dat de buigwerking tengevolge van de belasting door het verkeer zo groot was dat de drukspanning in de boog niet groot genoeg was om te verhinderen dat er aan de randen van de boog trekspanningen konden ontstaan. Steen en ook gietijzer zijn slecht bestand tegen trekspanningen.

Bij bogen van welijzer en van het latere staal waren trekspanningen geen probleem en zo ontstonden er in de tweede helft van de 19e eeuw en het begin van de 20ste eeuw vooral in het buitenland grote slanke boogbruggen. De bogen van ijzeren en stalen boogbruggen, meestal parabolisch van vorm, worden zowel op druk als op buiging belast. Een verticale belasting op een boogbrug resulteert niet alleen, zoals bij een balkbrug in verticale reacties, maar veroorzaakt ook horizontale reacties bij de boogeinden. De boog wil zich als het ware strekken. Voor het opnemen van verticale en ook horizontale krachten zijn zware funderingen nodig. Om de grote horizontale krachten tengevolge van de boogwerking te vermijden, ging men er toe over de boogeinden met een trekband aan elkaar te verbinden waardoor de horizontale krachten inwendig worden opgenomen.

Het type boogbruggen waarbij horizontale krachten op de funderingen ontstaan, noemt men 'zuivere boogbruggen'. Het type boogbruggen waarbij de horizontale krachten ten gevolge van de boogwerking inwendig worden opgenomen, heten 'boogbruggen met trekband'. Deze laatste zijn zijn hiermede eigenlijk teruggebracht tot het type 'balkbrug'.



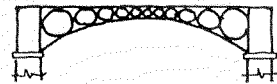
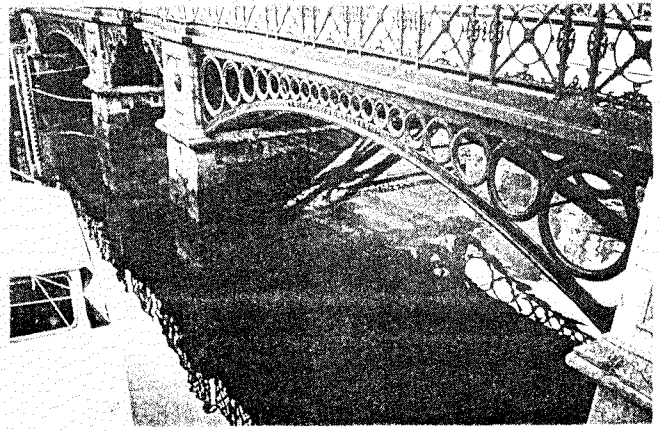
De Iron-bridge te Coalbrookdale: voorbeeld van een zuivere boogbrug in Engeland, uitgevoerd in gietijzer.

a. Zuivere boogbruggen

De boog wordt zowel op druk als op buiging belast. Bij de opleggingen terplaatse van de boogenden ontstaan verticale en horizontale reacties. Dit type wordt in de literatuur ook wel booglijgerbrug genoemd.

Gietijzeren boogbrug

Dit type bestaat uit een opengewerkte boog van gietijzer. Een voorbeeld van een nog bestaande Nederlandse gietijzeren boogbrug is de in 1850 gebouwde Nieuwbrug over de Wijnhaven in Dordrecht.

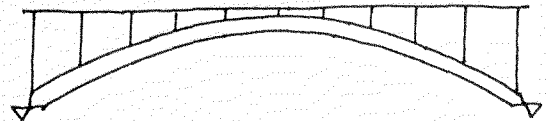


De Nieuwbrug over de Wijnhaven te Dordrecht: voorbeeld van een zuivere gietijzeren boogbrug in Nederland.

Vollewandboog of uitgevoerd als koker

Bij dit type bestaat de boog uit een gebogen vollewandligger of gebogen kokerligger. Het type komt voor met hooggelegen rijvloer en met halfhoog gelegen rijvloer.

- Bij een boogbrug met hooggelegen rijvoer rust de rijvloer door middel van staanders op de boog. Een voorbeeld hiervan zijn de aanbruggen van de overbrugging voor gewoon verkeer over de Waal bij Nijmegen. De brug werd gebouwd in 1936.

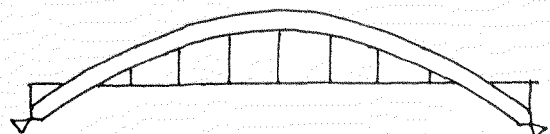


Zuivere boogbrug met een volwandige boog en hooggelegen rijvloer.



De aanbrug van de brug over de Waal te Nijmegen: zuivere boogbrug met een volwandige boog en hooggelegen rijvloer.

- Bij een boogbrug met een meer naar onderen gelegen rijvloer wordt de rijvloer door middel van 'hangers' aan de boog opgehangen.



Zuivere boogbrug met een volwandige boog en een meer naar onderen gelegen rijvloer.

Vakwerkboog

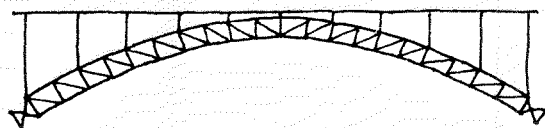
Boogbruggen waarbij de boog bestaat uit een vakwerk. Het type komt voor met hooggelegen rijvloer en met halfhoog gelegen rijvloer.

- Bij een brug met hooggelegen rijvloer kunnen staanders ter plaatse van de knooppunten van het vakwerk worden geplaatst waarop de rijvloer rust.

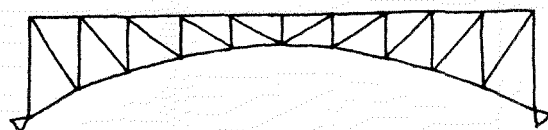
- Het kan ook zijn dat het vakwerk van de boog zodanig is uitgevoerd, dat een hooggelegen rijvloer op gelijke hoogte ligt met de bovenrand van de boogconstructie.

- Bij een boogbrug met een laaggelegen rijvloer hangt de rijvloer aan hangers die aan de knooppunten van het vakwerk van de boog zijn bevestigd. Bij een half-hooggelegen of verzonken rijvloer hangt de rijvloer in het midden van de bog aan hangers, maar rust deze bij de steunpunten op staanders.

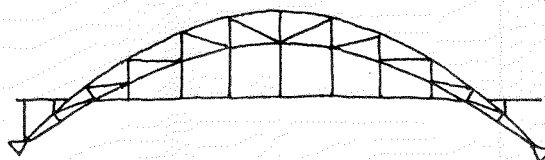
Een voorbeeld van dit type is de hoofdoverspanning van de brug over de Waal bij Nijmegen uit 1936, met een lengte van 244 m. Hier ligt de rijvloer hoger dan de steunpunten van de boog.



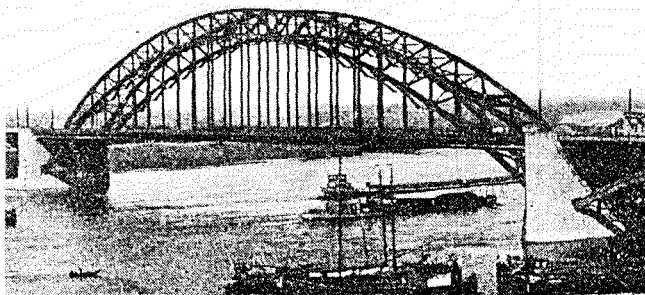
Zuivere boogbrug met een vakwerkboog; de hooggelegen rijvloer rust op staanders.



Zuivere boogbrug met een vakwerk waarvan de bovenrand samenvalt met de hooggelegen rijvloer.



Zuivere boogbrug met een boog bestaande uit een vakwerk. Verzonken rijvloer aan hangers die aan de knooppunten van het vakwerk zijn bevestigd.



De hoofdoverspanning van de Waalbrug voor gewoon verkeer te Nijmegen met half-hooggelegen rijdek.

b. Boogbruggen met trekband

De boog wordt op druk en op buiging belast. De boogeinden worden verbonden door een trekband waardoor de horizontale reacties inwendig worden opgenomen en bij de opleggingen alleen verticale reacties ontstaan. Het merendeel van de in Nederland aanwezige boogbruggen is van dit type. Veel daarvan zijn gebouwd in het kader van het Rijkswegenplan van 1928. Het type wordt ook thans nog toegepast, met name voor spoorbruggen.

De situatie dat de horizontale kracht inwendig door een trekband wordt opgenomen waardoor geen zware landhoofden worden vereist, is vooral in een gebied met een slappe ondergrond een groot voordeel. Boogbruggen met trekband worden alleen toegepast voor het type met laaggelegen rijvloer. De rijvloer ligt dan op dezelfde hoogte als de trekband.

Vollewandboog of uitgevoerd als koker

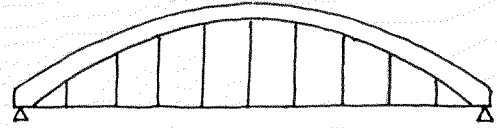
Boogbruggen met trekband waarbij de boog bestaat uit een vollewandligger of een koker. Voorbeelden van dit type zijn:

- De in 1936 gebouwde brug voor gewoon verkeer over de Lek bij Vianen met een overspanning van 160 m.
- De in 1983 gebouwde spoorbrug over de Lek bij Culemborg met een overspanning van 140 m, ter vervanging van het vroegere welijzeren drieduidige vakwerk.

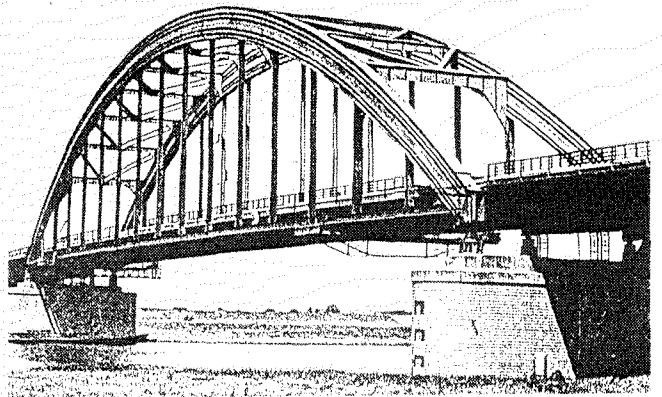
Vakwerkboog

Boogbruggen met trekband waarbij de boog bestaat uit een vakwerk. Bij dit type treft men dikwijls nog enige variatie aan betreffende de beëindiging van het boog-vakwerk.

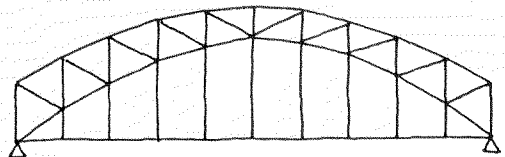
- De meest gangbare beëindiging is de vorm waarbij de onderrand van de boog en de trekband beide eindigen ter plaatse van de onderkant van de eindstijl. Een voorbeeld van dit type is de omstreeks 1912 gebouwde trambrug met een overspanning van 60 m over de Vlaardingervaart bij Schipluiden. De brug is thans in gebruik als fietsbrug.



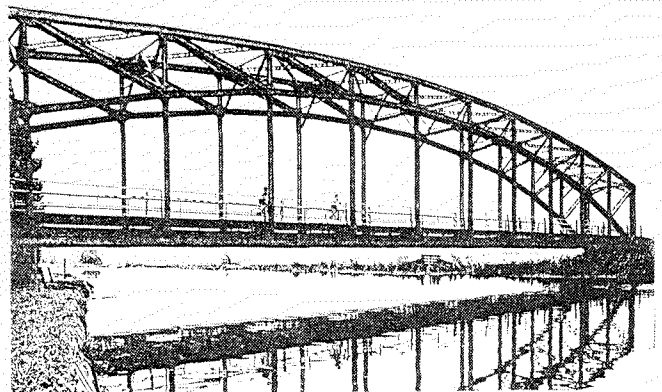
Boogbrug met trekband en een kokervormige boog.



Spoorbrug over de Lek bij Vianen, uitgevoerd als boogbrug met trekband.



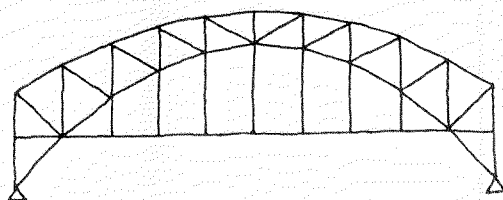
Boogbrug met trekband waarbij de boog bestaat uit een vakwerk; de onderrand van de boog en de trekband eindigen ter plaatse van de onderkant van de eindstijl.



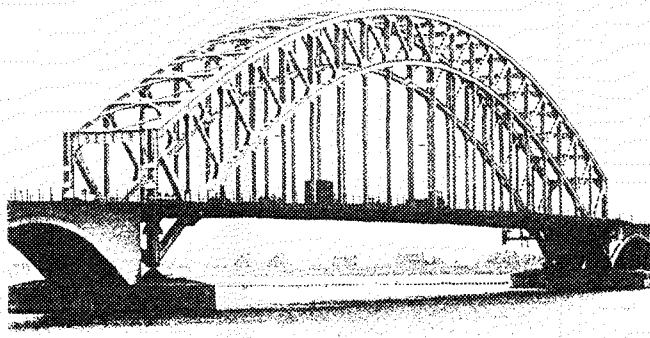
De v.m. trambrug over de Vlaardingervaart bij Schipluiden (thans fietsbrug): vakwerk boogbrug met trekband.

- Een beëindiging die esthetisch een goede aansluiting geeft op aanbruggen met een hooggelegen rijvloer is het samenvallen van de trekband met het eerste knooppunt van de onderrand van de boog na de oplegging.

Een voorbeeld daarvan is de in 1930 gebouwde de brug voor gewoon verkeer over de IJssel bij Zwolle (Katerveer), met een overspanning van circa 130 m.



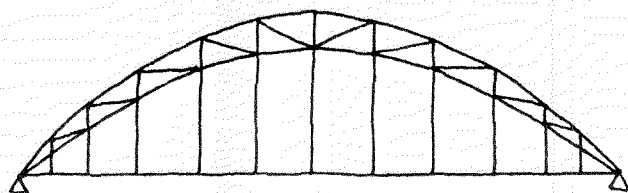
Boogbrug met trekband waarbij de boog bestaat uit een vakwerk. De trekband valt samen met het eerste knooppunt van de onderrand van de boog na de oplegging.



Katerveerbrug voor gewoon verkeer over de IJssel bij Zwolle.

- Een andere mogelijkheid is het naar elkaar toe laten lopen van de boogranden en bij de oplegging laten samenvallen met de trekband.

Een voorbeeld daarvan is de in 1938 gebouwde brug voor gewoon verkeer over de Noord te Hendrik Ido Ambacht met een overspanning van 185 m.



Boogbrug met trekband waarbij de boog bestaat uit een vakwerk. De boogranden lopen naar elkaar toe. Het snijpunt ter plaatse van de oplegging valt samen met het aangrijppingspunt van de trekband.



Brug voor gewoon verkeer over de Noord te Hendrik-Ido-Ambacht: boogbrug met trekband en bij de oplegging samenkomende boogranden.

c. Verstijfde staafboogbruggen

Bij een verstijfde staafboogbrug wordt een balk versterkt door een boog. De balk, verstijvingsligger genaamd, is vergeleken met de slanke boog, zwaar uitgevoerd. In tegenstelling tot de stalen boogbruggen neemt de balk van een zich over de brug verplaatsende belasting een deel op als buiging. Het overige deel wordt via de hangers opgenomen door de boog, die daardoor op druk wordt belast. Doordat de balk tevens als trekband voor het opnemen van de boogkracht werkt, ontstaat hierin behalve de eerder genoemde buiging ook een trekkracht. Het eigengewicht van de brug wordt nagenoeg uitsluitend als druk in de boog en trek in de balk opgenomen.

Oorspronkelijk stamt dit brugtype uit de vorige eeuw en werd in 1882 door de Oostenrijkse ingenieur Langer voor het eerst toegepast voor een brug te Graz. In het begin van de 20ste eeuw werd het systeem dikwijls toegepast om eerder gebouwde en inmiddels te zwak geworden bruggen te versterken.

Verstijfde staafboogbruggen lenen zich uitstekend voor doorgaande liggers in situaties waarbij er sprake is van een grote hoofdoverspanning met kleinere zijoverspanningen. Door de grote overspanning te verstijven met een boog is het mogelijk een doorgaande ligger toe te passen met voor alle overspanningen dezelfde liggerhoogte. Het type verstijfde staafboogbrug met een verstijvingsligger van het vollewandtype kan worden toegepast voor overspanningen van 50 tot 140 m. Voor overspanningen groter dan 140 m is het nodig de verstijvingsligger uit te voeren als vakwerkligger.

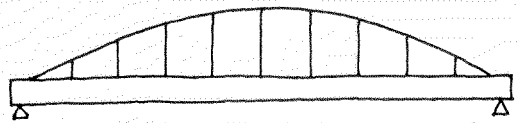
Het voordeel van een verstijfde staafboogbrug is het gemakkelijker kunnen monteren dan een boogbrug. De verstijvingsligger kan dienst doen als montagesteiger.

Verstijvingsligger uitgevoerd als vollewand- of kokerligger

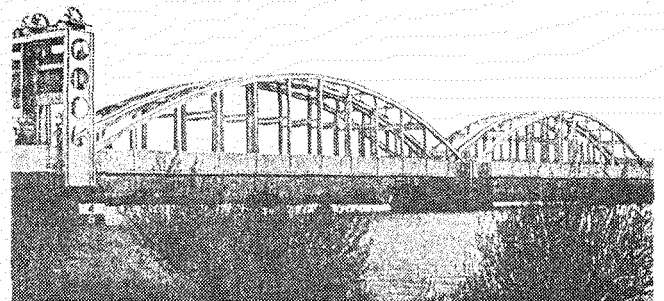
Dit type is in de jaren 1930 en ook omstreeks 1950 zowel voor spoorbruggen als voor bruggen voor gewoon verkeer veel toegepast. Er bestaan twee uitvoeringen:

- Staafboogbrug op twee steunpunten.

Een voorbeeld hiervan is de spoorbrug over de IJssel bij Zwolle met een overspanning van circa 73 m. Deze brug werd in 1935 gebouwd.



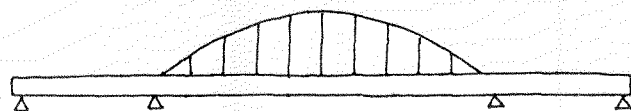
Verstijfde staafboogbrug op twee steunpunten; de verstijvingsligger is uitgevoerd als vollewand- of als kokerligger.



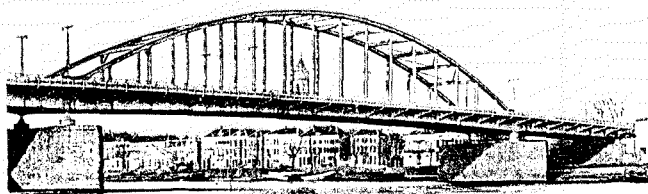
Spoorbrug over de IJssel bij Zwolle met verstijvingsligger op twee steunpunten.

- Staafboogbrug met doorgaande verstijvingsligger.

Voorbeeld voor gewoon verkeer: de brug over de Rijn te Arnhem. Hoofdoverspanning 120 m.



Verstijfde staafboogbrug met verstijvingsligger uitgevoerd als doorgaande ligger; de verstijvingsligger bestaat uit een vollewand- of een kokerligger.



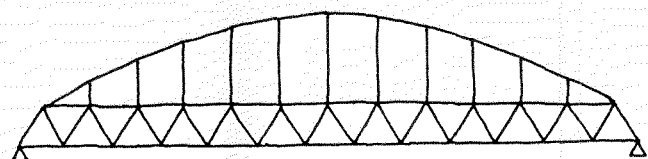
Verkeersbrug over de Rijn te Arnhem met doorgaande verstijvingsligger.

Verstijvingsligger uitgevoerd als vakwerkligger

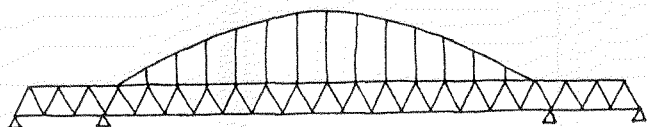
Ook van dit brugtype bestaan twee uitvoeringen:

- Staafboogbrug op twee steunpunten.
- Staafboogbrug met doorgaande verstijvingsligger.

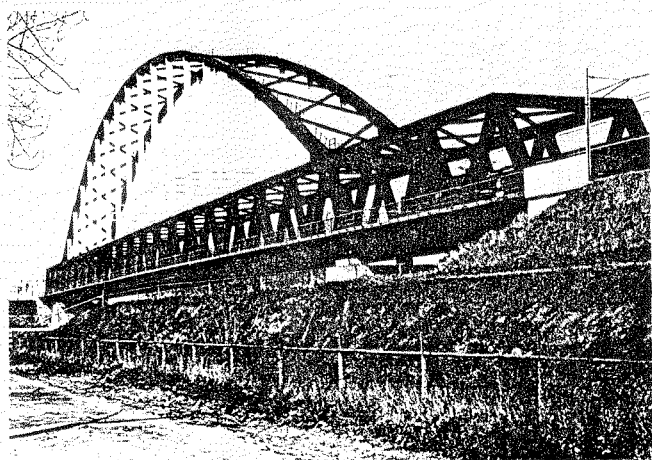
Voorbeelden hiervan zijn de in de jaren 1970 gebouwde spoorbruggen over het Amsterdam - Rijnkanaal met hoofdoverspanningen van circa 170 tot 180 m.



Verstijfde staafboog op twee steunpunten; de verstijvingsligger is uitgevoerd als vakwerkligger.



Verstijfde staafboogbrug met verstijvingsligger uitgevoerd als doorgaande ligger; de verstijvingsligger bestaat uit een vakwerk.



De spoorbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Schalkwijk met doorgaande verstijvingsligger, uitgevoerd als vakwerk.

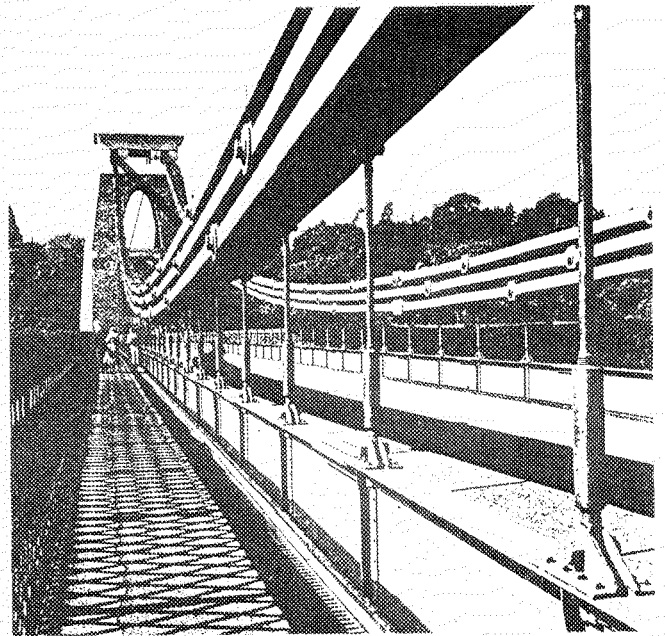
6.2.10. Hangbruggen

Het principe van een hangbrug is het omgekeerde van een hoogbrug en berust op een samenspel van trekkrachten in kabels. Bij een hangbrug brengen hangkabels de belasting over naar een draagkabel die tussen twee torens, pylonen genaamd, is opgehangen. Daarbij ontstaat een trekkracht in de draagkabel. De draagkabel loopt via de pylonen naar verankeringen in de bodem aan weerszijden van de overbrugging.

Om de vervormingen tengevolge van de belasting binnen een aanvaardbare grootte te houden, is het nodig dat het aan de hangkabels hangende brugdek voldoende stijfheid heeft. Vooral grote lasten die slechts plaatselijk werken, hebben grote invloed op de vervorming. Het brugdek wordt daarom uitgevoerd als een koker, of als een vakwerk met een rijvloer.

Ook kunnen hangbruggen gevoelig zijn voor windtrillingen. Vooral door kokers toe te passen en deze een gunstige aerodynamische vorm te geven kan het gevaarlijke opslingeren van de brug bij een bepaalde windsnelheid worden voorkomen. Voor de verankering van de draagkabel is een rotsachtige grond nodig, of moet men gebruik maken van zware verankeringsblokken die tevens de landhoofden vormen. Hiervoor is echter een goede grondslag vereist. Een oplossing ingeval van een minder goede grondslag is het in de brugligger zelf verankeren van de draagkabels. Hierbij ontstaan grote drukkrachten in de brugligger die daarvoor geschikt moet zijn. Er blijft echter een verticaal gerichte trekkracht over die door zware verankeringsblokken en trekpalen moet worden opgenomen.

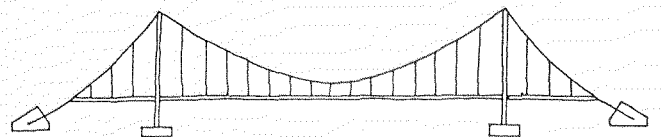
Wegens de relatief grote doorbuigingen zijn hangbruggen niet geschikt voor spoorwegverkeer. Met hangbruggen kunnen grote overspanningen worden gerealiseerd (thans tot circa 1600 m: de brug over de Grote Belt in Denemarken). Tot op heden zijn er in Nederland geen hangbruggen gebouwd.



De Clifton Suspension Bridge over de Avon bij Bristol in Engeland.

a. Hangbruggen met een verankering buiten de brug

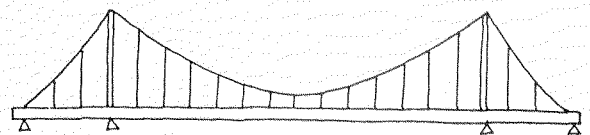
Bij dit type hangbruggen kan de verstijvingsligger uit een vollewand of kokerligger of uit een vakwerkligger bestaan.



Hangbrug met verankering buiten de brug.

b. Hangbruggen met een inwendige verankering van de draagkabel

Ook bij dit type hangbruggen kan de verstijvingsligger uit een vollewand of kokerligger of uit een vakwerkligger bestaan.



Hangbrug met inwendige verankering van de draagkabel.

6.2.11. Tuibruggen

Een tuibrug lijkt op een hangbrug, maar in plaats van de tussen twee pylonen opgehangen draagkabel zijn er nu spankabels. Deze spankabels, tuien genoemd, lopen vanaf een of meer punten van de brugligger naar een pyloon. De ophangpunten van de tuien aan de brugligger functioneren als tussensteunpunten. De tuien vervangen op deze wijze pijlers.

De tuikrachten die schuin op het brugdek werken, kunnen ontbonden worden in een verticale ophangkracht en een horizontale drukkracht in de ligger. In de meeste gevallen bestaat de ligger uit een koker omdat deze zich goed lenen om behalve buiging ook drukkrachten op te nemen.

a. Tuibrug in zijn meest eenvoudige vorm

De ter plaatse van ongeveer het midden van de grote overspanning aangrijpende tuikracht wordt via de pyloon naar de eindoplegging geleid alwaar een verankering moet worden gemaakt om de verticale trekkracht op te kunnen nemen.

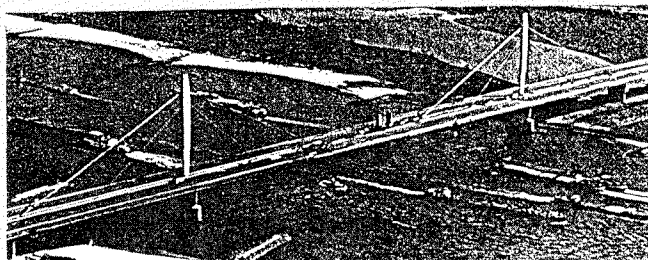
b. Tuibrug waar twee 'steunpunten' van de ligger worden gevormd ter plaatse van de bevestiging van de tuien

Een voorbeeld van deze vorm is de eerste in 1968 in Nederland gereedgekomen tuibrug voor gewoon verkeer n.l. de Harmsenbrug in Europoort.

c. Tuibrug waarbij niet alle tuien vanaf het ophangpunt aan de brugligger via de pyloon naar de eindoplegging lopen

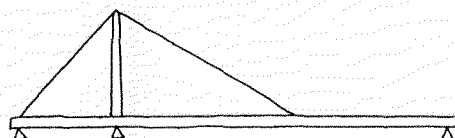
Bij de verankering van de tui in het veld van de eindoverspanning speelt de buigingsstijfheid van dit liggedeelte een rol.

Een voorbeeld van deze vorm is de omstreeks 1974 gebouwde tuibrug voor gewoon verkeer over de Waal bij Ewijk.

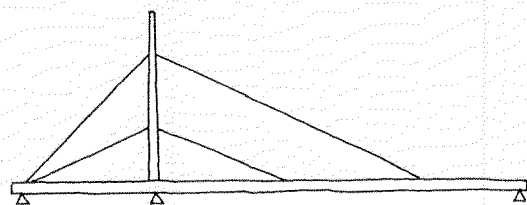


Ofschoon het principe van de tuibrug reeds omstreeks 1800 bekend was, kwam dit type eerst na 1945 in opkomst. Er zijn er vele van gebouwd, nagenoeg alle voor gewoon verkeer. In verband met de relatief grote doorbuigingen ten gevolge van de verlenging van de kabels bij belasting wordt dit type in het algemeen niet toegepast voor spoorbruggen. De late toepassing van dit brugtype had mede te maken met de complexe berekeningen die hiervoor nodig zijn. Eerst toen de computer kwam, werd het mogelijk deze berekeningen uit te voeren.

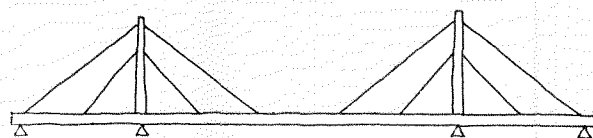
In Nederland komen alleen tuibruggen voor, waarbij de brugligger uit een vollewand of koker bestaat.



Tuibrug waarbij de brugligger uit een vollewand of een koker bestaat; meest eenvoudige vorm met één ophangpunt in het veld.



Tuibrug waarbij de brugligger uit een vollewand of een koker bestaat met twee ophangpunten in het veld.



Tuibrug waarbij de brugligger uit een vollewand of een koker bestaat met vier ophangpunten in het middenveld; niet alle tuien lopen naar de eindopleggingen.

Tuibrug voor gewoon verkeer over de Waal bij Ewijk.

Bruggen van beton

7.1

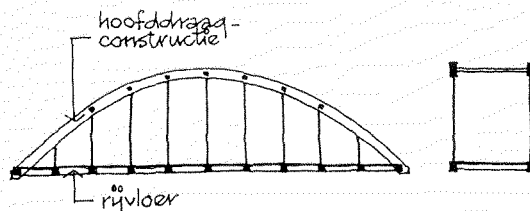
De constructie van betonnen bruggen

Rijvloer en hoofddraagconstructie

In principe zijn bij betonbruggen te onderscheiden:

- de rijvloer
- de hoofddraagconstructie

De rijvloer (ook wel rijdek genoemd) is het bruggedeelte waarover het verkeer plaats vindt. Hij ligt horizontaal of is licht opwaarts gebogen. Deze rijvloer wordt ondersteund door een hoofddraagconstructie. Zo kan zij opgehangen zijn aan boogribben. Bij de balkbruggen en de plaatbruggen zijn de rijvloer en de hoofddraagconstructie gecombineerd. Zo liggen bij balkbruggen de hoofdbalken gewoonlijk onder de rijvloer en vormen een monoliet geheel met de erop rustende betonplaat. Samen vormen zij de rijvloerconstructie.



De constructie van een brug.

De constructie van rijvloeren

a. Balkenvloeren

Het meest voorkomend is het type waarbij op de hoofdbalken een betonplaat steunt die monoliet met de balken verbonden is. Vrijwel alle rijvloeren van dit type hadden voor 1940 alleen maar balken in de lengterichting van de brug. Alleen bij enkele boogbruggen over de Twenthekanalen uit de dertiger jaren kwamen dwarsbalken voor. Zie ook 7.2.1. Balkbruggen.



Doorsnede over een balkenvloer.

b. Plaatvloeren

Normaal is de massieve plaat. Soms worden in het inwendige uitsparingen gemaakt (holle plaatbruggen). Zij vormen de overgang naar de meercellige kokerliggerbruggen.



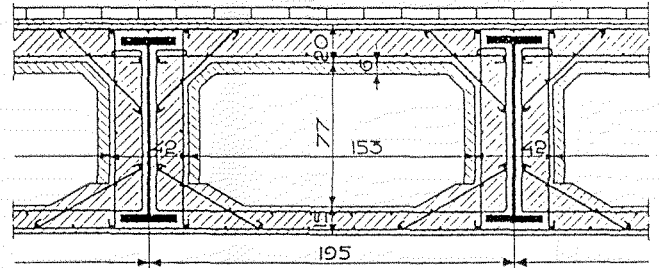
Een holle plaat.

c. Kokerliggers

Bij kokerliggerbruggen wordt de hoofdconstructie gevormd door een ligger met een kokervormige doorsnede. Deze doorsnede kan uit één koker bestaan maar er kunnen ook meer kokers naast elkaar liggen (meercellige kokerliggerbruggen). De meeste toepassing vond dit type

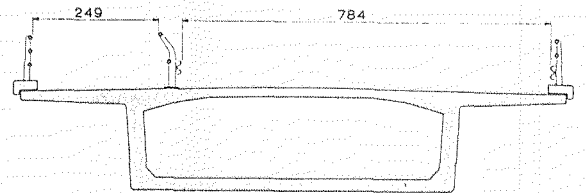
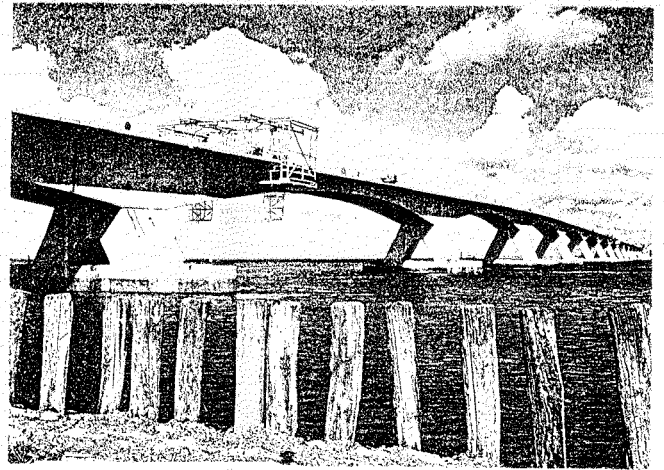
na 1945 voor grote overspanningen.

Voorbeeld 1. Het viaduct bij de Schenkkade te 's-Gravenhage, circa 1940. Waar dit viaduct over een spoorweg gaat is een opening van circa 23 m. Deze is overspannen met stalen balken, hart op hart 2 m, die ingestort zijn in beton en waartussen holle ruimten liggen. Deze kokerliggerbrug is dus meercellig.



Het viaduct bij de Schenkkade te 's-Gravenhage, ca. 1940. Doorsnede over de rijvloer.

Voorbeeld 2. De brug over de Oosterschelde bij Zierikzee (Zeelandbrug), 1965. Een kraagliggerbrug met een kokervormige doorsnede.

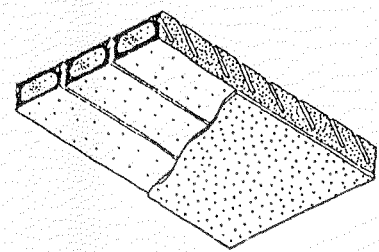


De Zeelandbrug over de Oosterschelde bij Zierikzee, 1965.

d. Siegartbalken

Siegartbalken zijn geprefabriceerde betonbalken met een kokervormige doorsnede. Zij werden naast elkaar gelegd en vormden zo een vloer. Normaal vonden zij, voornamelijk voor 1940, toepassing in gebouwen doch een enkele maal werden zij ook gebruikt voor de bouw van bruggen.

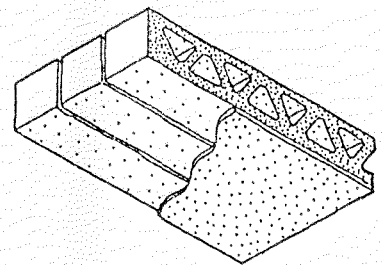
Van bruggen met Siegartbalken* is in Nederland slechts één voorbeeld bekend, namelijk een brug bij Termunterzijl.



Een rijvloer van Siegartbalken.

e. Visintinliggers

Visintinliggers zijn geprefabriceerde betonnen vakwerkliggers met een kleine hoogte. Ook deze elementen werden normaal gebruikt in gebouwen maar soms vonden zij ook toepassing in de bruggenbouw, bijvoorbeeld bij een kleine verkeersbrug (opening 5 m) die in 1905 te Berg-haren bij Nijmegen werd gebouwd.

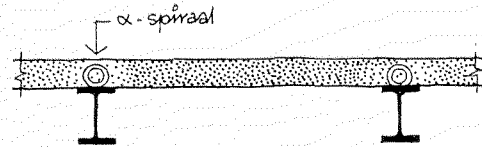


Een brug met Visintinliggers.

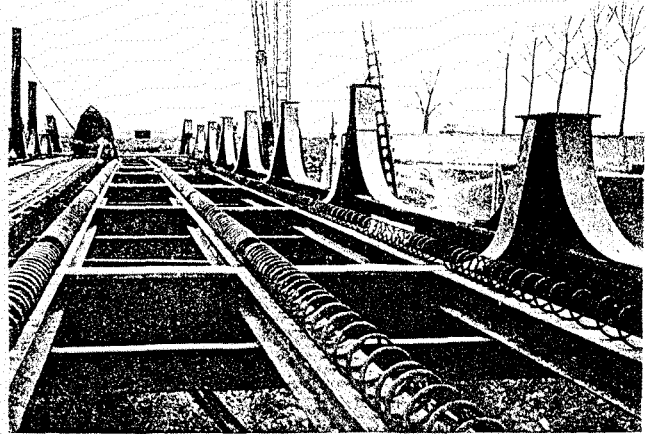
f. Staal-beton-constructies

Deze bestaan uit I-vormige stalen balken waarover een betonplaat wordt gestort. Door deze betonplaat vast aan de bovenflenzen van de I-balken te bevestigen ontstaat een constructie waarbij de stalen balken samenwerken met de betonplaat. Samen vormen zij een sterkere en vooral stijvere constructie dan de I-balken alleen. In de bruggenbouw werd voor 1940 de zogenaamde alfa-methode toegepast waarbij op de bovenflenzen van de stalen balken spiraalvormig gebogen stalen staven werden gelast. Tegenwoordig worden voor de verbinding van staal en beton opgelaste bouten (stiften) gebruikt.

Voorbeeld. De brug over het spoorwegemplacement te Nuth uit circa 1935.



Staal-beton-constructie.



De rijvloer van de brug over het spoorwegemplacement te Nuth, ca.1935.

De onderbouw

Bij ijzeren bruggen is er een duidelijke scheiding tussen bovenbouw en onderbouw. De onderbouw bestaat daar in de regel uit landhoofden en pijlers en hun funderingen. De landhoofden en de pijlers worden uitgevoerd in steen (baksteen, natuursteen) of in beton. In de 19de eeuw was er vaak een combinatie van baksteen en ongewapend beton, met natuursteen als plaatselijke bekleding. Bij uitzondering kwamen ijzeren jukken voor. In de 20ste eeuw kwam meer en meer het beton hiervoor in gebruik. De ijzeren bruggen werden, met ijzeren oplegstoelen, op de onderbouw geplaatst. Bij betonnen bruggen is er echter vaak een combinatie van onder- en bovenbouw. Hoofdbalken, maar ook boogplaten zijn dan stijf verbonden met landhoofden of pijlers en vormen daarmee een geheel.

7.2

Typenordening

Indeling:

- 7.2.1. Balkbruggen.
- 7.2.2. Plaatbruggen.
- 7.2.3. Ingeklemden balk- en plaatbruggen.
- 7.2.4. Kraagbruggen.
- 7.2.5. Schoorbruggen.

- 7.2.6. Boogbruggen.
- 7.2.7. Raamwerkbruggen.
- 7.2.8. Portaalbruggen.
- 7.2.9. Hangbruggen.
- 7.2.10. Tuibruggen.

7.2.1

Balkbruggen

Bij balkbruggen (ook wel liggerbruggen genoemd) bestaat de hoofddraagconstructie uit twee of meer balken (bij uitzondering uit één balk) in de lengterichting van de brug, die op de onderbouw steunen. Meestal liggen deze balken onder de rijvloer. In de vroege periode werden kleinere bruggen ook uitgevoerd met twee hoofdbalken boven en aan weerszijden van de rijvloer die tevens als leuningen fungeerden (trogbruggen).

Voorbeeld van een trogbrug: de brug te Puiflijk bij Druten, voor 1916.

a. Balkbruggen op twee steunpunten

Wat betreft de ondersteuning van balkbruggen is onderscheid te maken tussen bruggen, die op twee ondersteuning aan de beide uiteinden rusten (bruggen op twee steunpunten) en bruggen waarbij meer ondersteuning aanwezig zijn en waarbij de hoofdbalken continu over deze steunpunten doorgaan (balkbruggen doorgaand over meer dan twee steunpunten).

Bij bruggen op twee steunpunten is er meestal een aantal balken naast elkaar in de lengterichting van de brug. In de periode voor 1940 lagen deze balken vrij dicht bij elkaar (afstanden van 1,5 à 2 m hart op hart). Een vast met de balken verbonden betonplaat completeerde de brugconstructie.

Vanwege het monoliete karakter van in het gewerkt gestorte betonconstructies was de rijvloerconstructie vrijwel altijd stijf verbonden met de ondersteunende landhoofden (zie ook bij 3. Ingeklemden balk- en plaatbruggen).

b. Balkbruggen doorgaand over meer dan twee steunpunten

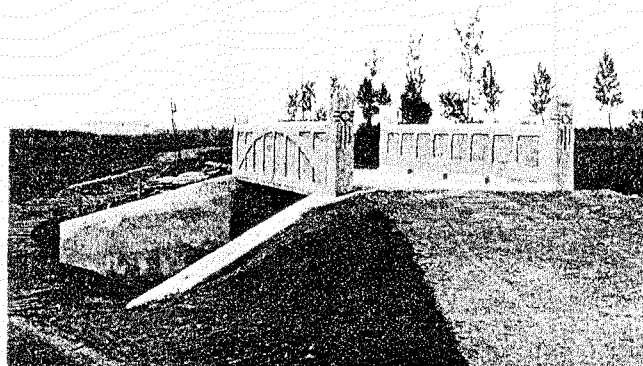
De hoofdbalken van deze bruggen worden 'doorgaande liggers' genoemd. De vorm van de hoofdbalken is verschillend: soms lopen onderen bovenrand evenwijdig maar ook kunnen de balken bij de ondersteuning door middel van een afschuining van de onderrand hoger worden gemaakt. Een hieruit voortkomende vorm is die waarbij de onderrand opwaarts is gebogen.



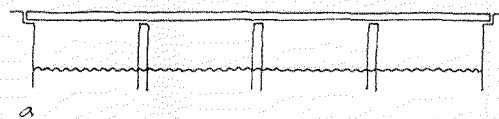
Doorsnede over een balkbrug.



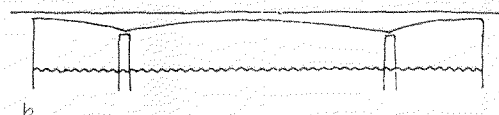
Doorsnede over een trogbrug.



Een trogbrug te Puiflijk bij Druten, voor 1916.



a



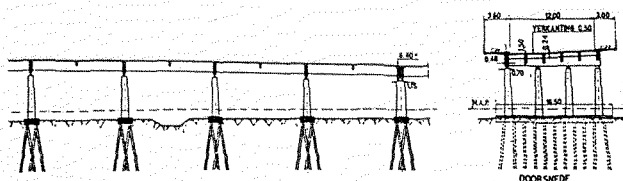
b

Balkbruggen, doorgaande over meer dan twee steunpunten

a. Met rechte onderrand

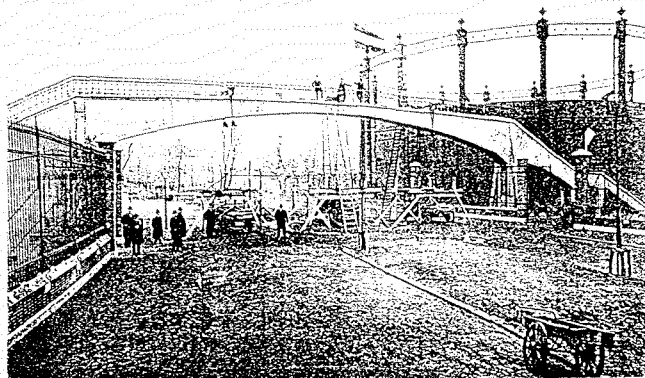
b. Met gebogen onderrand

Voorbeeld 1. Het viaduct voor gewoon verkeer aan de oostzijde van de brug over de Noord bij Hendrik-Ido-Ambacht. 1939. Het viaduct heeft een lengte van 615 m en is 18,6 m breed. De normale overspanningen zijn 13,1 m. Er zijn zes hoofdbalken die over meerdere steunpunten doorgaan en in het midden van de overspanning gekoppeld zijn door een lichte dwarsbalk.



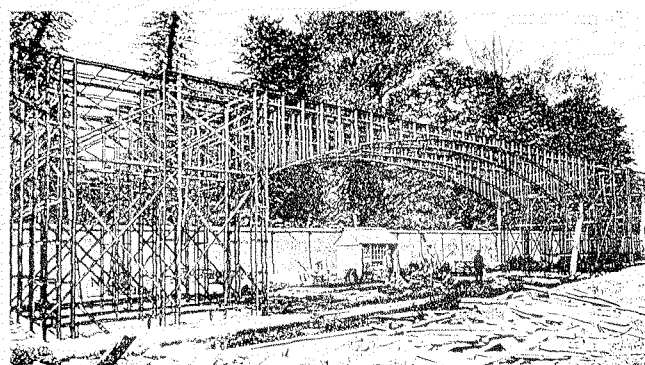
Het viaduct bij de brug over de Noord bij Hendrik-Ido-Ambacht, 1939.

Voorbeeld 2. De voetbrug over de Lusthofstraat te Rotterdam uit circa 1900. De brug heeft een middenopening van 29 m en zijopeningen van 6,5 m. De hoofdbalken gaan door over drie velden en hebben gebogen onderranden.



De voetbrug over de Lusthofstraat te Rotterdam.

Voorbeeld 3. Het spoorwegviaduct van de ZHESM in de Hofpleinlijn te Rotterdam. 1908. De lengte van het viaduct is ongeveer 2 km. De normale openingen zijn 13,5 m. Iedere brug heeft vier hoofdbalken die onder de spoorrails van de dubbelsporige spoorweg zijn gelegen. De balken hebben een sterk gebogen onderrand en zijn aan de onder- en de bovenzijde verbonden door een betonplaat. De balken gaan door over de ondersteunende pijlers en zijn daarmee stijf verbonden. Dit viaduct is een overgangstype naar de boogbrug. Het is hier gerangschikt bij de balkbruggen omdat er geen boogwerking is (het ontstaan van zijdelings krachten die de constructie mede ondersteunen).



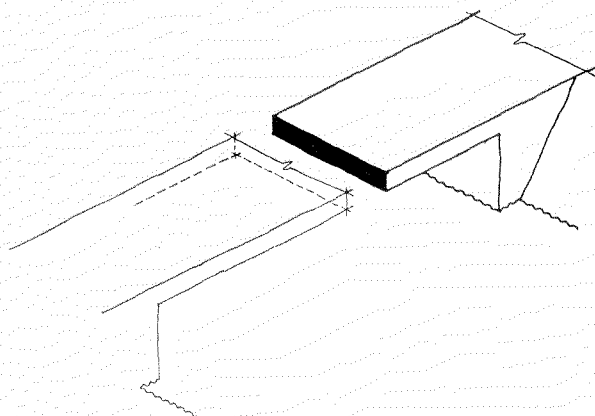
Het spoorwegviaduct in de Hofpleinlijn te Rotterdam, 1908.

7.2.2

Plaatbruggen

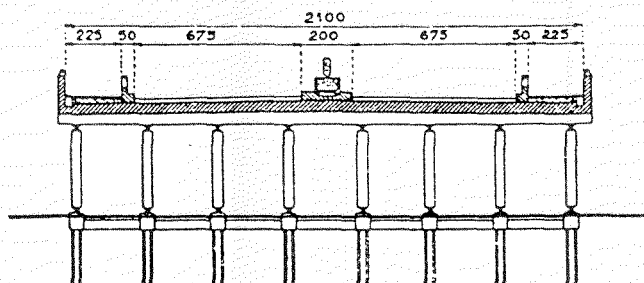
Bij plaatbruggen is de brugconstructie een betonplaat waarvan de bovenzijde vlak is en de onderzijde vlak dan wel licht opwaarts gebogen.

Bij plaatbruggen bestaat, evenals bij balkbruggen, het onderscheid tussen bruggen, die slechts twee ondersteuning aan de uiteinden hebben, en bruggen die over meer steunpunten doorgaan.



De constructie van een plaatbrug.

Voorbeeld. Het viaduct voor gewoon verkeer in de Rijksweg 's-Gravenhage-Rotterdam over de Rotterdamsche Schie en een aantal dwarswegen te Overschie. 1935. Het viaduct heeft een lengte van 313 m en is 21 m breed. De overspanningen zijn kleiner dan 10 m. Het viaduct bestaat uit plaatbruggen die over 6 tot 10 velden doorgaan.

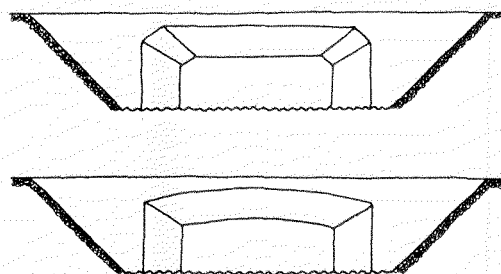


Het viaduct over de Rotterdamsche Schie te Overschie, ca.1934.

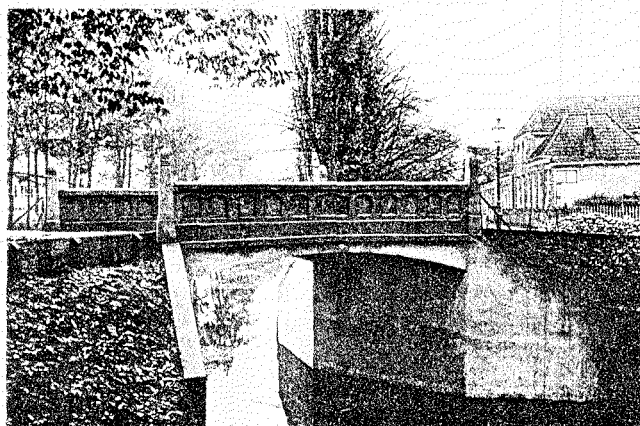
7.2.3

Ingekleemde balk- en plaatbruggen

Bij ingeklemde balk- en plaatbruggen zijn de beide uiteinden ingeklemd in forse betonconstructies die in de landhoofden zijn ondergebracht. Vanwege het monoliete karakter van in het werk gestort beton waren voor 1940 de balken en platen vrijwel altijd stijf verbonden met de ondersteunende landhoofden en eventuele pijlers. Eerst toen na 1945 het bouwen met geprefabriceerde elementen meer en meer gebruikelijk werd, werd de rijvloerconstructie vrij op haar ondersteuningen opgelegd.



Ingekleemde plaatbruggen.



Een ingeklemde plaatbrug te Steenwijk, ca.1910.

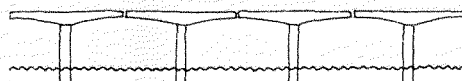
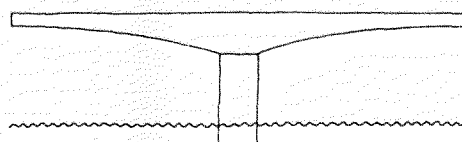
7.2.4

Kraagbruggen

Bij kraagbruggen kragen de hoofdbalken of platen vanuit de ondersteuningen uit. Er kunnen twee typen worden onderscheiden.

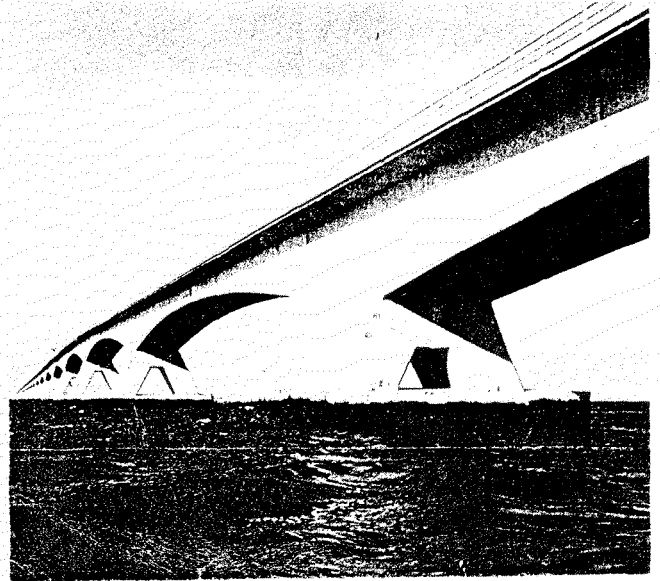
a. Enkelvoudige kraagbruggen

De enkelvoudige kraagbrug kraagt uit vanuit één ondersteuning (een pijler) waarin zij ingeklemd is. Bij dit type wordt een aantal enkelvoudige kraagbruggen achter elkaar geplaatst om een overbrugging tot stand te brengen.



Enkelvoudige kraagbruggen

Voorbeeld. De verkeersbrug over de Oosterschelde bij Zierikzee (Zeelandbrug), 1965. De brug, met een totale lengte van circa 5 km, heeft openingen van ongeveer 100 m. Vanuit de pijlers kragen aan weerszijden over 50 m kokerliggerbruggen uit. De overbrugging is dus een samenstel van enkelvoudige kraagbruggen.

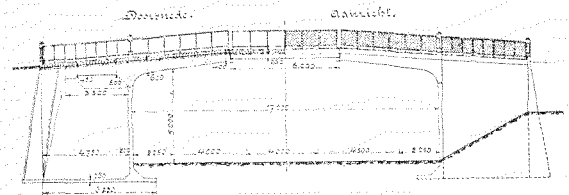


De Zeelandbrug over de Oosterschelde bij Zierikzee, 1965.

b. Kraagbruggen met inhangbruggen

Bij dit type wordt tussen de uiteinden van twee uitkragingen een inhangbrug gelegd.

Voorbeeld. Het viaduct over de spoorlijn bij IJmuiden (Julianabrug). 1909. De opening van het viaduct is 17 m. Vanuit de holle landhoofden kragen aan weerszijden van de opening betonplaten uit, op de uiteinden waarvan een betonplaat met een lengte van 6 m is opgelegd.

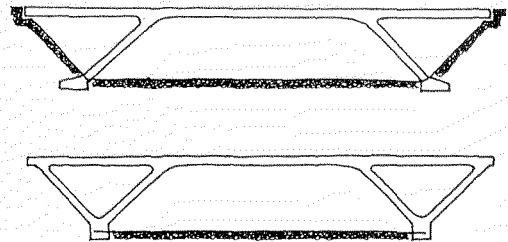


Het viaduct over de spoorweg bij IJmuiden, 1909.

7.2.5

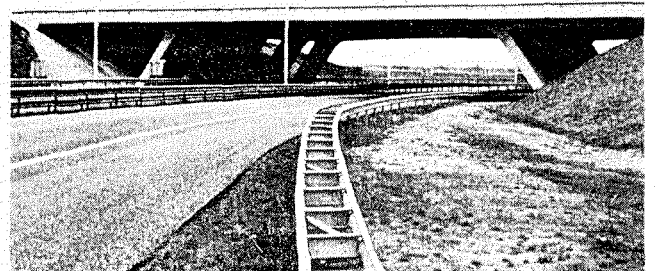
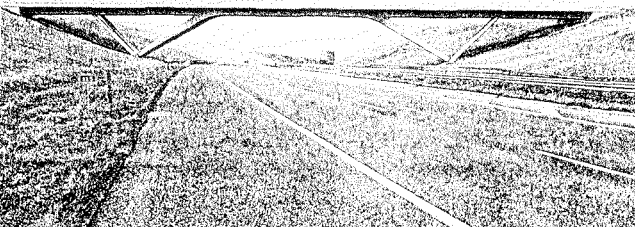
Schoorbruggen

Soms worden aan balkbruggen extra ondersteuning gegeven door het aanbrengen van schoorelementen, schuin geplaatste kolommen of wanden.



Schoorbruggen.

Een viaduct met dubbele schoren.



Het viaduct in de aansluiting met de Rijksweg 's-Hertogenbosch-Eindhoven bij Best.

7.2.6

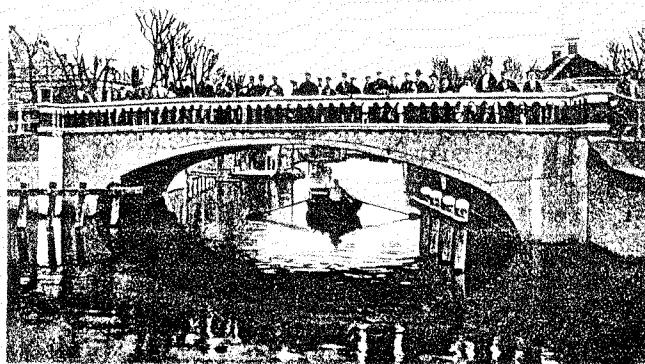
Boogbruggen

Bij boogbruggen bestaat de hoofdconstructie uit een boog waaraan de rijvloer is opgehangen of waarop de rijvloer via kolommen of dwarswanden steunt.

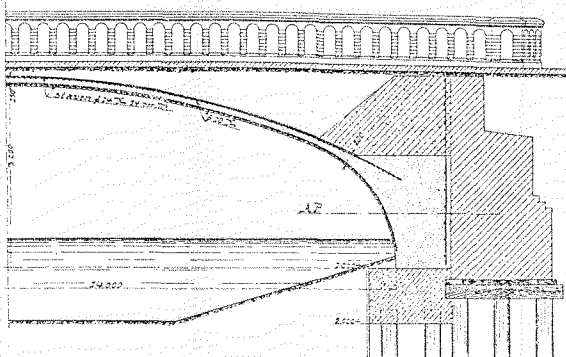
a. Gewelfbruggen

De boog is bij dit type een gebogen plaat (gewelf). De rijvloer is boven de top van het gewelf gelegen en steunt hierop via een aanvulling van zand, lichtbeton of dergelijke. De aanvulling is aan de zijkanten van de brug opgesloten tussen betonnen langswanden. Hierdoor heeft dit type een massief uiterlijk. Het gewelf oefent op de landhoofden horizontale krachten uit waaraan deze weerstand moeten kunnen bieden.

Voorbeeld. De Schollenbrug in de Rijksweg Amsterdam-Weesp. 1900. De brug heeft een opening van 14 m die is overspannen met een boogplaat. De boog is ingeklemd in massieve betonblokken in de landhoofden. Het rijdek ligt op een grondaanvulling.



Details van de Schollenbrug te Amsterdam.

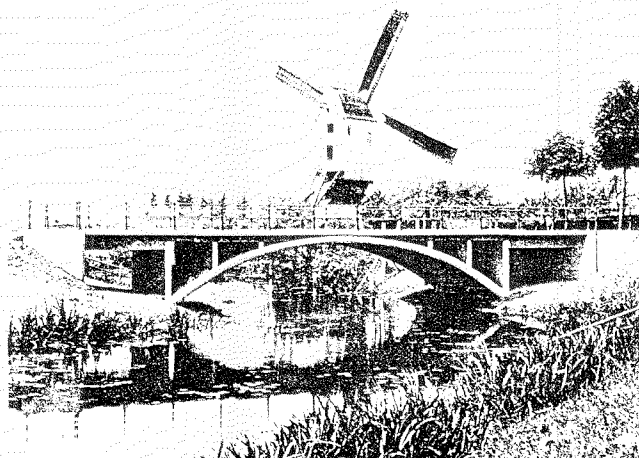


De Schollenbrug in de Rijksweg Amsterdam-Weesp, 1900.

b. Boogplaatbruggen

Ook bij dit type is de boog een gebogen plaat waarboven de rijvloer is gelegen. Deze steunt in de regel op de boogplaat via dwarswanden. Evenals een gewelf oefent een boogplaat horizontale krachten uit op de landhoofden.

Voorbeeld. De Pegelbrug bij Grave, circa 1910. De brug heeft een opening van 21,5 m die is overspannen met een boogplaat. Hierop rust via dwarswanden de rijvloer.



De Pegelbrug bij Grave, ca.1910.

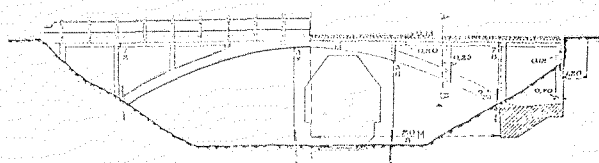
c. Boogribbenbruggen

Bij deze bruggen wordt het gewicht van en de belasting op de rijvloer overgebracht op gebogen balkvormige elementen waarvoor de vroeger gebezigde benaming 'boogribben' zal worden gebruikt. Te onderscheiden zijn:

c1. Boogribbenbruggen met hooggelegen rijvloer.

De rijvloer steunt hierbij via kolommen op de boogribben. Deze oefenen op de landhoofden horizontale krachten uit.

Voorbeeld. Vier viaducten over de spoorweg Maastricht-Aken, onder andere bij Wijlre. 1906. Bij deze bruggen zijn de openingen 20 m. De hooggelegen rijvloer steunt via kolommen op twee boogribben.



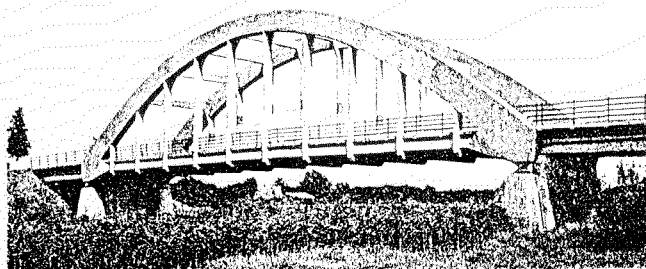
Boogribbenbruggen over de spoorweg Maastricht-Aken, 1906.



De boogribbenbrug bij Wijlre over de spoorweg Maastricht-Aken, 1906.

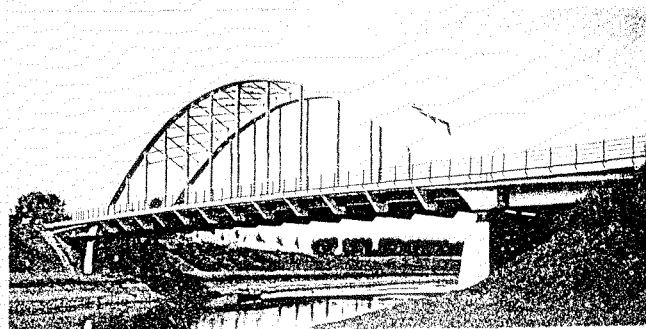
c2. Boogribbenbrug met laaggelegen rijvloer.

De rijvloer wordt met hangers opgehangen aan de boogribben. Deze hangers zijn meestal van ijzer, al dan niet ingebetonneerd, maar ook gewapende betonnen hangers komen voor. In Nederland werden de uiteinden van de boogribben bij bruggen met laaggelegen rijvloer altijd bijeengehouden met trekbanden om horizontale krachten op de landhoofden te vermijden. Voor de combinatie van een boogrib met een trekband wordt de benaming boogligger gebruikt omdat, zoals bij liggers en balken het geval is, op de ondersteuning bij een verticale belasting van de brug alleen maar verticale krachten worden uitgeoefend. Om het zijdelings uitwijken van de boogribben in de top te voorkomen dienen zij te worden gekoppeld. Hiervoor kunnen diagonaalverbanden (ruitenverbanden) worden gebruikt maar ook is volstaan met dwarsbalken die stijf met de boogribben zijn verbonden.



De brug over het Twenthekanaal bij Almen, 1930.

Voorbeeld. De verkeersbruggen over de Twenthekanalen. 1930-1932. Bij de bruggen over de Twenthekanalen is de rijvloer laaggelegen en met hangers bevestigd aan de boogribben. De brug bij Eefde heeft een ruitenverband, bij de brug te Almen zijn alleen dwarsbalken aangebracht.



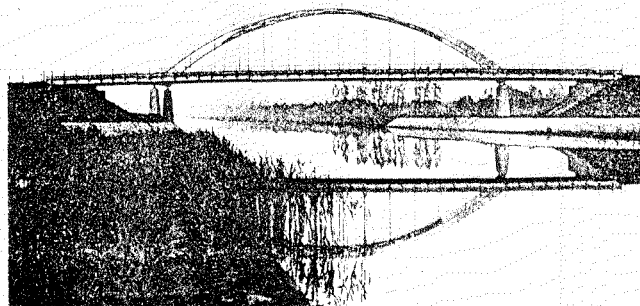
De brug over het Twenthekanaal bij Eefde, 1931.

d. Balkbruggen met verstijvingsboog

De boogribbenbrug komt ook voor in combinatie met een balkbrug. Men spreekt dan van een balkbrug met een verstijvingsboog. Ook wordt de benaming 'brug met verstijfde staafboog' gebruikt. Meestal komt dit type voor bij bruggen

met drie openingen, een grote middenopening en twee kleinere zijopeningen. Primair moeten de balken zorgen voor het overspannen van de brugopeningen, bij de grote middenopening worden zij echter versterkt met boogribben. Dit type wordt ook wel aangeduid als Langerse brug.

Voorbeeld. Een brug over het Twenthekanaal naar Almelo. De boog is aanzienlijk kleiner van afmetingen dan de boogribben van de hiervoor genoemde bruggen.

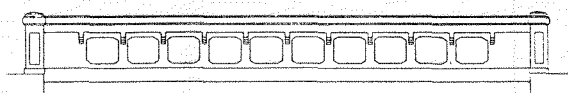


Brug over het Twenthekanaal naar Almelo. Een balkbrug met verstijvingsboog.

7.2.7

Raamwerkbruggen

De hoofdconstructie van dit brugtype bestaat uit liggers met een onder- en een bovenrand, onderling verbonden door verticale kolommen die daaraan stijf verbonden zijn. Meestal is de rijvloer laag gelegen. De bovenrand is recht of gebogen. Meestal wordt dit type aangeduid als 'Vierendeelbrug', naar de Belgische ingenieur Vierendeel, die het type ontwikkelde voor stalen bruggen waarbij uit vakwerkliggers de diagonalen werden weggelaten.



Een raamwerkligger.

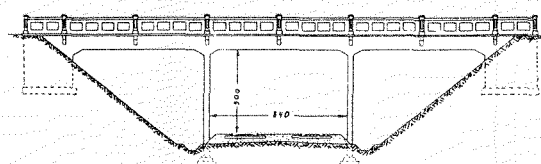
7.2.8

Portaalbruggen

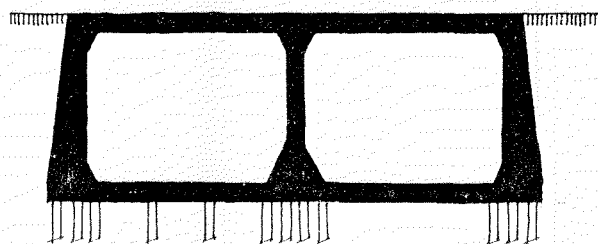
Portaalbruggen zijn balk- of plaatbruggen waarbij de rijvloerconstructie één geheel vormt met de verticale ondersteuning (meestal dikke betonwanden, maar ook kolommen). Vaak hebben portaalbruggen slechts één opening. Zij vinden veel toepassing bij onderdoorgangen in bijvoorbeeld hoge aarden baanlichamen van spoorwegen.

Een bijzondere vorm van de portaalbrug is de duiker. Deze dient voor het doorlaten van water onder een weg. De voeten van de betonnen zijwanden zijn hier altijd gekoppeld door een betonnen vloer (kokervorm).

Voorbeeld. Onderdoorgang van de spoorbaan in de Kruislaan te Amsterdam. 1905. In de onderdoorgang zijn twee openingen van 6,8 m. Zij worden overspannen door dikke platen die stijf verbonden zijn aan een middenwand en de twee eindwanden. Omdat de wanden ook aan de onderzijde door betonplaten zijn verbonden, zijn er twee kokers ontstaan.



Een portaalbrug (balkbrug) over een spoorweg in ingraving.

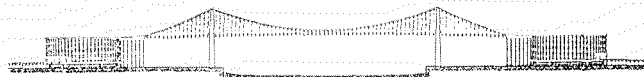
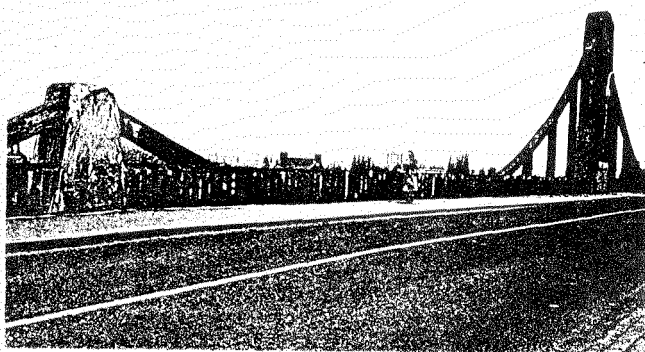


De onderdoorgang van de spoorbaan in de Kruislaan te Amsterdam 1905

7.2.9

Hangbruggen

Bij hangbruggen is de rijvloer via hangers opgehangen aan neerwaarts gebogen staven die daardoor op trek worden belast. Zij worden over pylonen geleid. Toepassing vindt dit type vrijwel alleen bij ijzeren bruggen waarbij de trek-elementen kabels zijn. In het buitenland is in enkele gevallen de hangbrug uitgevoerd met betonnen trekelementen en hangers. In Nederland komt dit brugtype niet voor, noch in staal noch in beton. Wel werd in 1935 een ontwerp gemaakt voor een hangbrug over de Nieuwe Maas te Rotterdam met een middenoverspanning van 420 m. Deze brug had betonnen pylonen en een balkenvloer eveneens van beton.

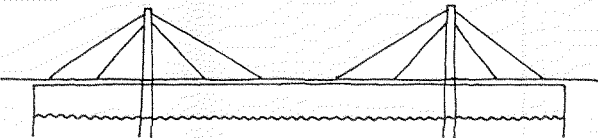
*Hangbrug.**Ontwerp voor een hangbrug over de Nieuwe Maas te Rotterdam, 1935.**Een hangbrug, geheel van beton, bij Laon (Frankrijk).*

7.2.10

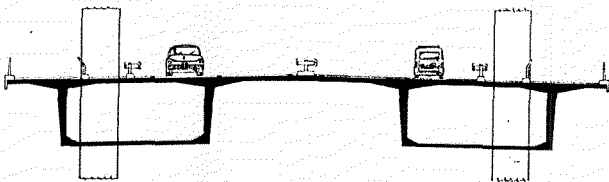
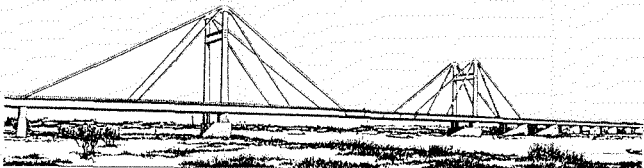
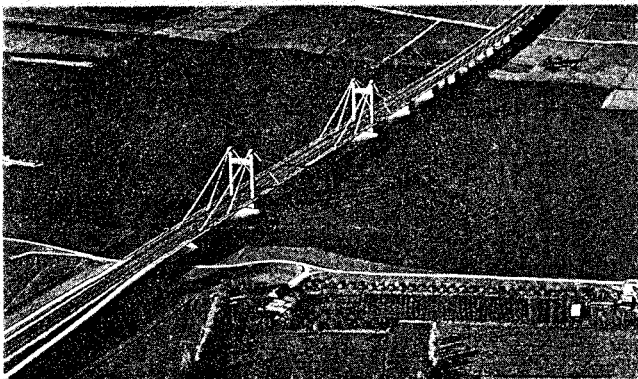
Tuibruggen

Een tuibrug heeft één of twee pylonen waarvan uit de top stalen trekelementen (tuien, gevormd door kabels of staven) naar de rijvloer uitwaai-eren. Tuibruggen werden in Nederland eerst na 1945 toegepast.

Voorbeeld. De tuibrug over de Waal bij Tiel uit 1973 met betonnen pylonen en tuien en een rij-
vloer met twee kokerliggers van beton.



Tuibrug.



De tuibrug over de Waal bij Tiel, 1973.

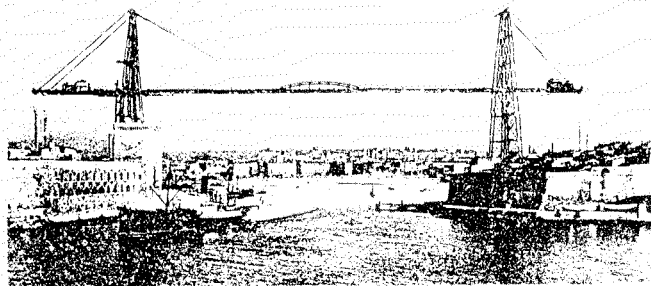
Beweegbare bruggen

De typenordening van beweegbare bruggen bevat slechts die typen van beweegbare bruggen die in Nederland zijn gebouwd. Zo zult u bijvoorbeeld in dit overzicht niet aantreffen de zweefbrug, die meestal wordt aangeduid met haar Franse naam 'pont-transbordeur'. Zij bestaat uit een hooggelegen overbrugging waaraan een platform horizontaal beweegbaar is opgehangen. In Nederland werd zij niet gebouwd, wel werden enkele ontwerpen ervoor gemaakt zoals voor de overbrugging van het IJ te Amsterdam en de Waal bij Nijmegen. Van de zweefbrug afgeleid was het platform dat in 1938 verrijdbaar onder de boogbrug bij Maarssen over het Amsterdam-Rijnkanaal werd aangebracht. Het is trouwens de vraag of deze transportmiddelen tot de bruggen moeten worden gerekend. Eerder horen zij thuis bij de veerponten.

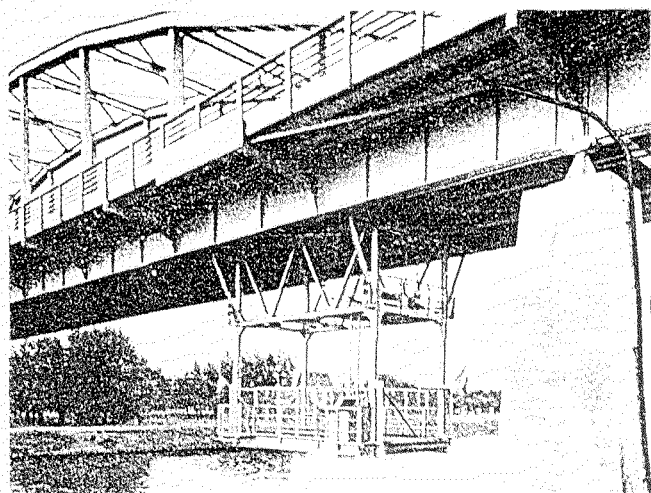
Als brugtypen en voorbeelden daarvan zijn voornamelijk bruggen opgenomen die voor 1940 werden gebouwd. Een uitzondering hierop zijn de klapbruggen, een type dat uitsluitend na 1940 werd gebruikt maar dat is opgenomen in verband met de benaming ervan.

Om de overzichtelijkheid te bevorderen is de typenordening niet tot in details doorgevoerd. Zo zouden bij de ijzeren ophaalbruggen bijvoorbeeld ook de verschillende typen van balanspriemen (uitvoeringen als vollewandliggers, vakwerkliggers en raamwerkliggers) en die van de hameistijlen kunnen worden genoemd. Dergelijke uitwerkingen zullen wel worden opgenomen in een nog te verschijnen uitvoeriger werk over de geschiedenis van de Nederlandse bruggenbouw.

Hoewel deze typenordening voortgekomen is uit een onderzoek naar bruggen uit een oogpunt van industrieel erfgoed, waarin wat de beweegbare bruggen betreft voornamelijk aandacht is geschonken aan ijzeren bruggen, zullen, waar dit zinvol is, ook de constructies van houten bruggen worden genoemd.



De zweefbrug over de haven te Marseille.



Het verrijdbare platform onder de brug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Maarssen, 1938.

De typen zijn ingedeeld naar de aard van de beweging van de brug. Vanwege het bijzondere karakter van deze groep is daarnaast nog een categorie 'Drijvende bruggen' ingevoerd.

Een afzonderlijke paragraaf wordt gewijd aan de bewegingswerken van de bruggen.

8.1

Typenordening

Indeling:

Bruggen die om een horizontale as draaien.

8.1.1. Ophaalbruggen

8.1.2. Strauszbruggen.

8.1.3. Basculebruggen.

8.1.4. Klapbruggen.

Bruggen die om een verticale as draaien.

8.1.5. Draaibruggen

8.1.6. Kraanbruggen.

Bruggen die horizontaal worden verplaatst.

8.1.7. Rolbruggen.

Bruggen die verticaal worden verplaatst.

8.1.8. Hefbruggen.

Bruggen die om een horizontale as draaien in combinatie met een horizontale verplaatsing.

8.1.9. Rolbasculebruggen.

Bruggen die om twee horizontale assen draaien.

8.1.10. Aanlegbruggen.

Drijvende bruggen.

8.1.11. Schipbruggen.

8.1.12. Vlotbruggen.

8.1.1

Ophaalbruggen

De ophaalbrug komt voort uit de valbrug bij kastelen die diende voor verdedigingsdoeleinden.

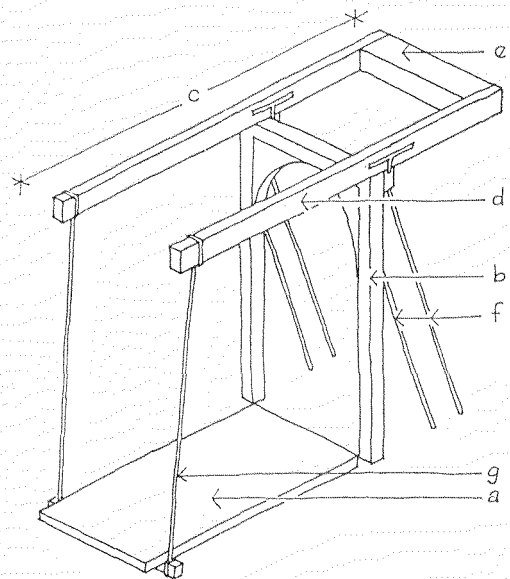
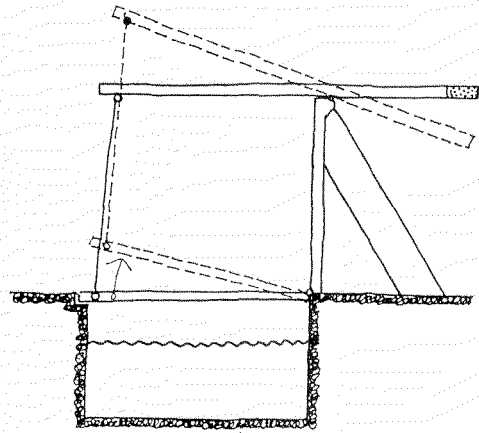
Oude benamingen, die voor de ophaalbrug werden gebruikt, zijn wipbrug, klapbrug en soms ook basculebrug.

Tot 1845 werden ophaalbruggen in Nederland uitsluitend in hout uitgevoerd. In dat jaar werd hier de eerste ijzeren ophaalbrug gebouwd, bij Goor over het kanaal dat de Schipbeek met de Regge verbindt. Daarna werd hout als bouw materiaal voor ophaalbruggen geleidelijk aan verdrongen door ijzer. Houten ophaalbruggen, een karakteristiek Nederlands brugtype, zijn er nog slechts weinig in Nederland.

Ophaalbruggen bestonden, in enkelvoudige uitvoering, tot 1900 uit een rijvloer (het val), een hameipoort met langsschoren, een balans en de hangstangen (bij oudere bruggen kettingen) waarmee het val aan de balans hangt.

De hameipoort, vroeger ook hameigebint genoemd, is bij dit oude type samengesteld uit twee hameistijlen en een hameiregel. Bij de oudste ijzeren bruggen zijn er in de hoeken van de hameipoort boogvormige vullingen. Het geheel was zodanig samengesteld dat het weerstand kon bieden aan krachten in dwarsrichting van de brug, voornamelijk windkrachten. Voor het opnemen van krachten in de langsrichting van de brug dienden de langsschoren.

De balans was samengesteld uit twee hoofdliggers (de balanspriemen) die draaibaar op de hameipoort rustten, boven de hameistijlen. Opdat de balans vrij van de hameiregel kon bewegen waren de hameistijlen aan de bovenzijde omgebogen, vaak door middel van consoles. Bruggen met deze constructie worden Hollandse ophaalbruggen genoemd. Bij ijzeren bruggen waren de balanspriemen, voor hun zijdelingse stabiliteit, gekoppeld door dwarsbalken en diagonaalstaven. Aan de achterzijde van de balans werd, in een ballastkist, de ballast aangebracht, nodig voor het evenwicht van de bewegende delen van de brug.



Het principe van de ophaalbrug.

a. val. b. hameipoort. c. balans. d. balanspriem. e. ballastkist. f. langsschoren. g. hangstangen.



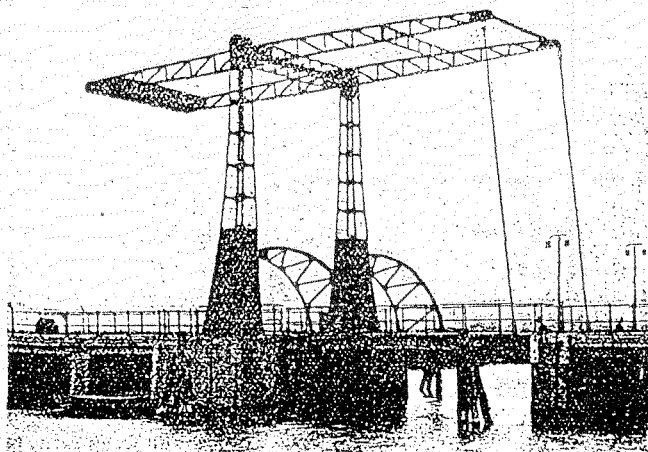
Ophaalbrug van het Hollandse type, met hameipoort. De brug over de Hollandsche IJssel te Haastrecht, 1883.

Ophaalbruggen werden voor 1940 hoofdzakelijk gebouwd voor gewoon verkeer. Voor spoorwegverkeer vonden zij toen weinig toepassing.

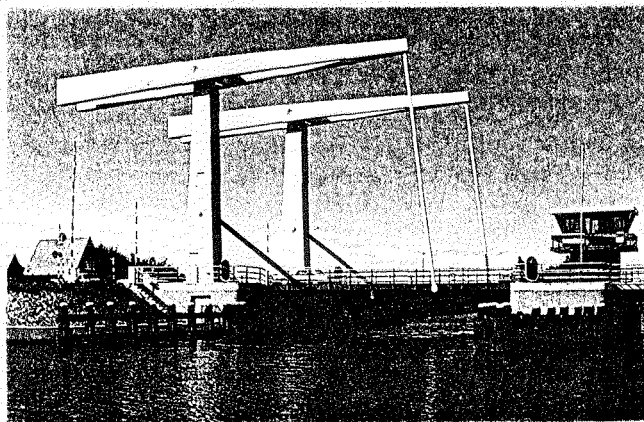
Toen omstreeks 1900 het autoverkeer ontstond en het verkeersaanbod sterk toenam, moesten de bruggen breder worden. De koppeling van de hameistijlen door de hameiregel werd voor de dwarsstabiliteit minder effectief. Toen ontstond de ophaalbrug met vrijstaande hameistijlen zonder langsschoren, het Amsterdamse type genoemd omdat het in Amsterdam door de dienst van gemeentewerken werd ontwikkeld en in 1902 in die stad voor het eerst toegepast. De balans draaide aanvankelijk om een lange as tussen de koppen van de hameistijlen. Later werden voor de ophanging van de balans korte draaiassen gebruikt.

Na 1960 werden de bruggen nog breder. Toen verdween in vele gevallen de balans en werd zij vervangen door twee zelfstandige balansen. Doordat er lichtere rijvloerconstructies werden ontwikkeld was het mogelijk om de ballast alleen in de uiteinden van deze balansen te onder te brengen.

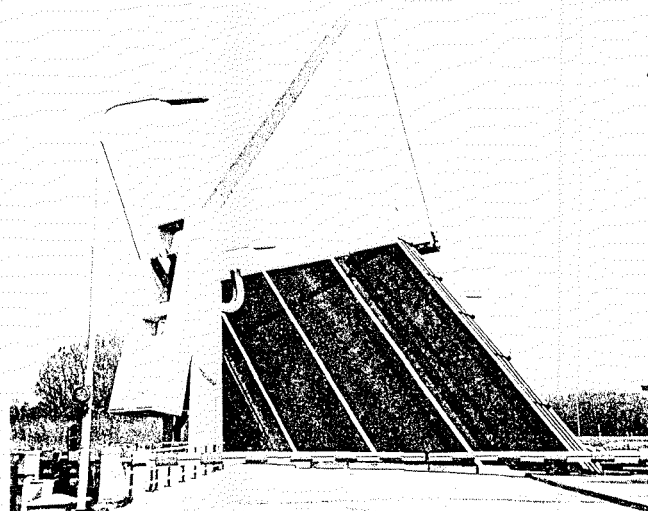
In een aantal gevallen kruist de weg het vaarwater onder een scheve hoek. Bij voorkeur moet dan ook de overbrugging scheef worden opdat de weg zonder scherpe bochten voortgaat. In plaats van een rechthoek krijgt het val dan de vorm van een parallellogram. Moet zo'n brug beweegbaar zijn dan behoort tot de mogelijkheden een ophaalbrug met slechts één hameistijl. Een voorbeeld daarvan is brug 15 over het Noord-Willemskanaal in Rijksweg 31. Ook bij kleine ophaalbruggen wordt soms volstaan met één balanspriem.



Ophaalbrug van het Amsterdamse type, met vrijstaande hameistijlen en vakwerkkwadranten voor de beweging van de brug.

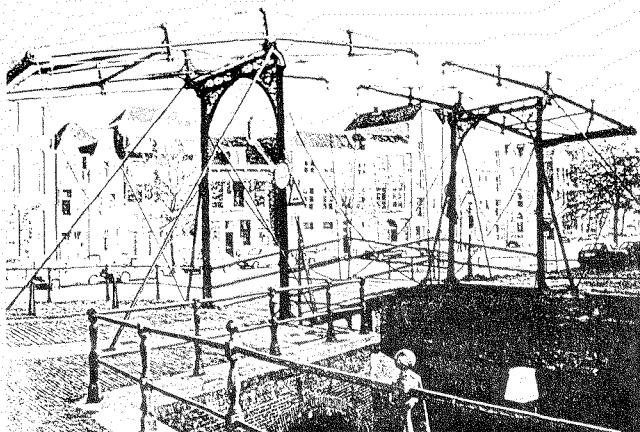


Ophaalbrug met vrijstaande hameistijlen en zelfstandige balansen. De brug over het Noord-Hollandsch Kanaal te Schoorl, 1977. De brug heeft rechte heugelstangen.



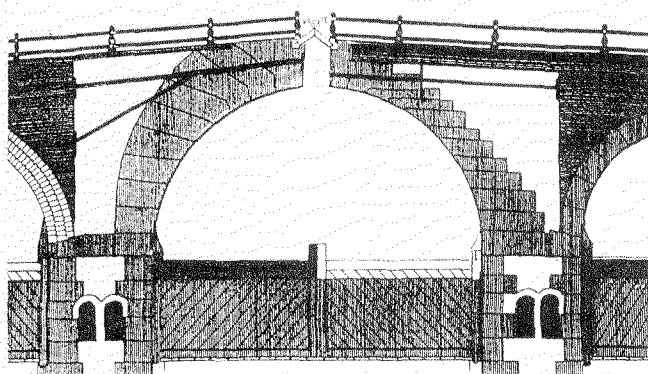
Een scheve brug met één hameistijl in moderne uitvoering: brug 15 over het Noord-Willemskanaal in Rijksweg 31.

Voor 1900 werden ook dubbele ophaalbruggen gebouwd. Deze hebben twee vallen die onder een helling liggen en in het midden van de doorvaartopening tegen elkaar steunen. Door een vergrendeling zijn zij daar aan elkaar bevestigd. Er waren voor 1800 vele uitvoeringen in hout waarvan er nog slechts weinige zijn overgebleven. Een van de eerste dubbele ophaalbruggen in ijzer was de thans nog bestaande Korte Havenbrug te Schiedam uit 1849, met gietijzeren hameipoorten en balansen. Tot de laatste dubbele ophaalbruggen in Nederland behoort een drietal over het Merwedekanaal, te Utrecht, Vreeswijk en Vianen, omstreeks 1890 gebouwd.



Dubbele ophaalbrug. De Korte Havenbrug te Schiedam, 1849.

Een bijzonder type ophaalbrug uit het verleden is de brug met een *oorgat*, ook wel *mastgat* genoemd. Deze bruggen vonden omstreeks 1600 hun oorsprong in Amsterdam. Voor het laten passeren van zeilschepen met staande mast werd in het midden van de doorvaartopening van een overigens vaste brug een ruimte uitgespaard waarin twee houten, onder een helling tegen elkaar staande kleppen werden aangebracht. Door deze omhoog te halen kwam een opening vrij voor het doorlaten van een niet gestaagde mast. Een bijzondere wijze van het vrijmaken van de opening bestond hierin dat aan de uiteinden van de kleppen een naar buiten gerichte opvanginrichting werd aangebracht, bestaande uit twee gebogen ijzeren staven, aan iedere klep één. Voer een schip met zijn mast tegen deze ijzers dan werden de kleppen opzij gedrukt. Was het schip gepasseerd dan vielen zij weer terug. De bruggen met een oorgat zijn in Nederland vrijwel verdwenen. De opstaande kleppen waren hinderlijk voor het verkeer, de bruggen waren dan ook alleen toegankelijk voor voetgangers. Zodra de bruggen ook voor rijverkeer werden gebruikt verdween het oorgat. Er zijn in Nederland nog slechts enkele bruggen met een oorgat, onder andere te Hindeloopen.



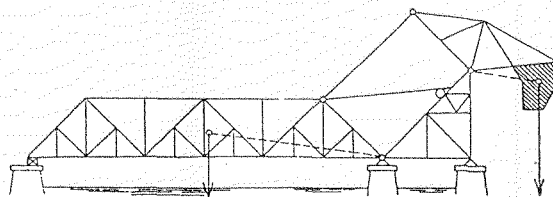
Een oorgat in een stenen brug.

8.1.2

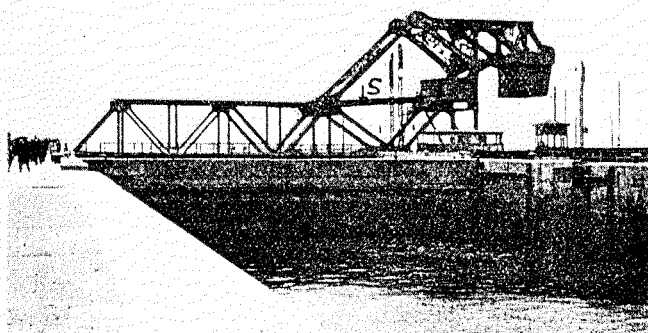
Strauszbruggen

De Strauszbrug is vergelijkbaar met de ophaalbrug. Ook hier draait de rijvloer (het val) om een horizontale as en is de ballast boven de weg aangebracht. De ballastkist is met een stangensysteem aan het val bevestigd.

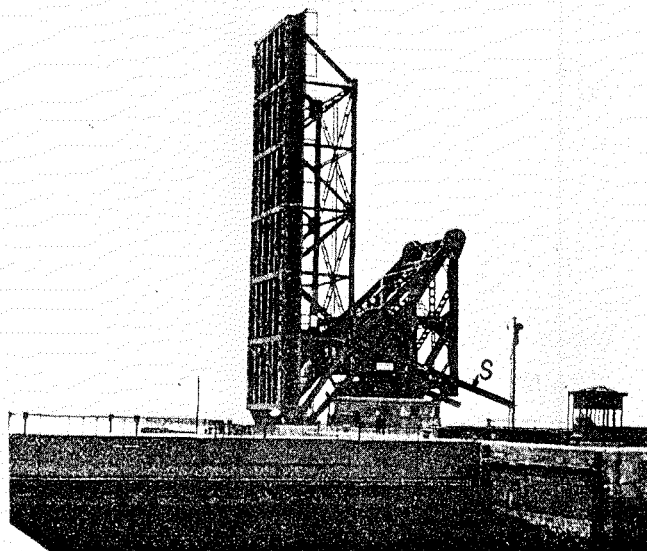
Het brugtype is genoemd naar de Amerikaanse ingenieur J.B. Strausz. In Nederland is het type zeer weinig gebruikt. In de haven van Antwerpen bevindt zich nog een aantal Strauszbruggen.



Het principe van de Strauszbrug.



Strauszbrug te Antwerpen, in gesloten . . .



. . . en in geopende stand.

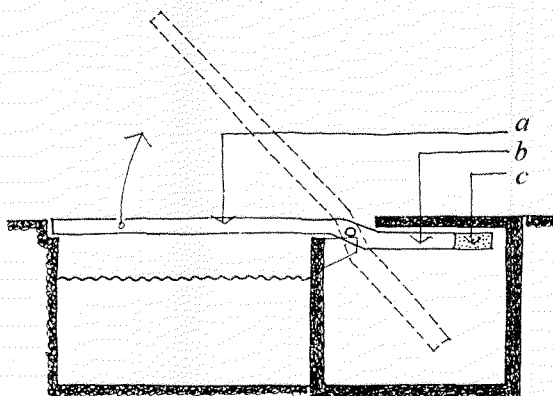
8.1.3

Basculebruggen

Bij een basculebrug, in enkelvoudige uitvoering, is de rijvloer (het val) verlengd met een staartgedeelte waaraan aan de achterzijde, in een ballastkist, ballast is aangebracht die zorgt voor het evenwicht van de bewegende delen.

De staart is ondergebracht in een kelder onder het aangrenzende weggedeelte. Deze kelder is zo ruim dat de staart er bij het openen van de brug in kan draaien. De draaipunten bevinden zich op consoles die tegen de binnenzijde van de voorwand van de kelder zijn aangebracht.

Oude benamingen: wipbrug, basculerende brug



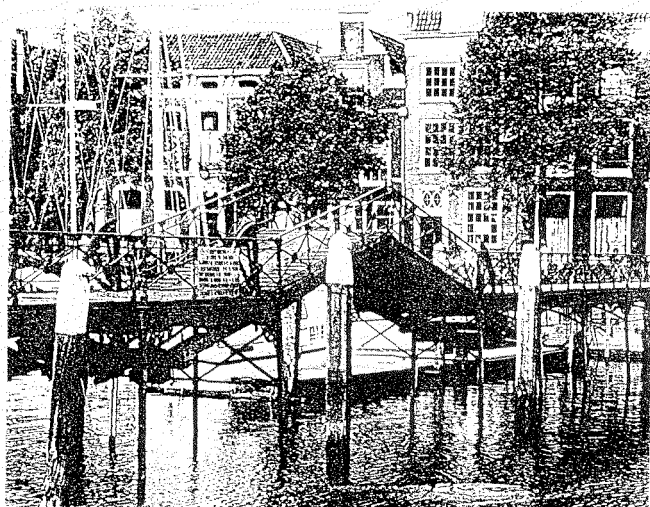
Het principe van de basculebrug. a. val. b. staart. c. ballast.

Bij een dubbele basculebrug zijn er twee vallen, ieder met een staart, en twee kelders.

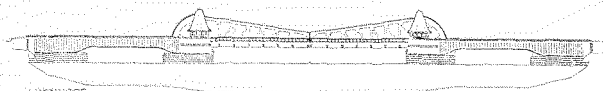
De vroege ijzeren basculebruggen waren stedelijke bruggen, uitsluitend in dubbele uitvoering en met hellende vallen die in het midden van de doorvaartopening tegen elkaar steunden. De eerste brug van dit type was de Stokkenbrug over de Salmhaven te Rotterdam uit 1837. Met name in Rotterdam bestond er in de begintijd van de bouw van ijzeren bruggen een voorkeur voor dit type. Zij werden bewogen door boven de rijvloer gelegen kwadranten. In een enkel geval, bij breed vaarwater en zijopeningen, werden bij deze bruggen de kelders weggelaten en draaiden de staarten in de open lucht boven het water, zoals bij de Lange IJzeren Brug te Dordrecht uit 1856.

Kort na 1880 werden de Rotterdamse basculebruggen grotendeels vervangen door nieuwe basculebruggen, eveneens in dubbele uitvoering maar nu met horizontale vallen. Ook hierbij vond de beweging van de brug plaats met kwadranten. Een voorbeeld van een jongere dubbele basculebrug is de Koninginnebrug over de Koningshaven te Rotterdam uit 1927, met een doorvaartwijdte van 50 m.

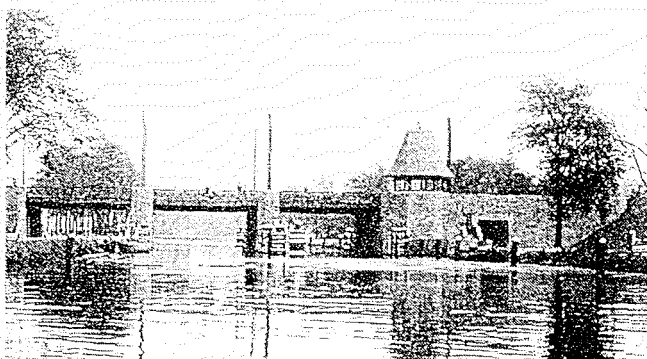
Eerst na 1920 werd de enkele basculebrug een veel toegepast type. Een voorbeeld daarvan is de Reineveldbrug over het Rijn-Schiekanaal te Delft uit 1931, met een doorvaartwijdte van 10 m.



Een dubbele basculebrug met hellende vallen. De Lange IJzeren Brug te Dordrecht, 1856.



Een dubbele basculebrug met horizontale vallen. De Koninginnebrug over de Koningshaven te Rotterdam, 1927.

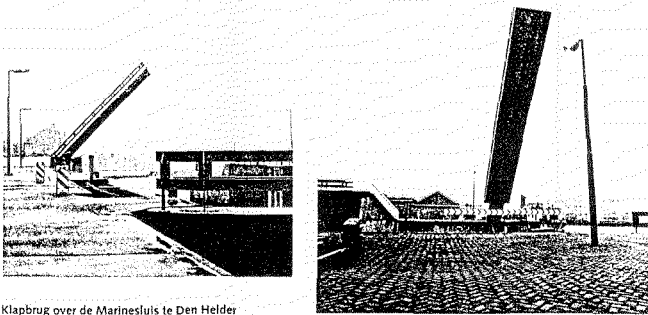


De Reineveldbrug over het Rijn-Schiekanaal te Delft, 1931.

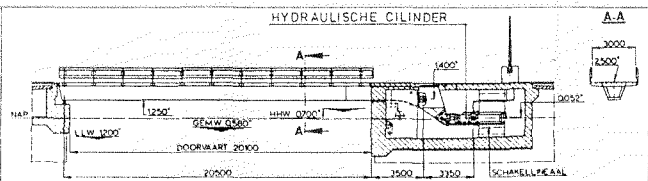
8.1.4

Klapbruggen

Een klapbrug is een basculebrug met een korte staart en zonder ballast voor het evenwicht der bewegende delen. De brug wordt bewogen door het draaien van de draaias met behulp van hydraulische kracht. De hydraulische cilinder, die hiervoor wordt gebruikt, is ondergebracht in een ondiepe kelder. Het is een jong brugtype (eerste toepassing in 1968) dat slechts in aanmerking komt voor kleine en smalle bruggen voor fiets- en voetgangersverkeer.



Klapbrug over de Marineluis te Den Helder



De klapbrug over de Marineluis te Den Helder.

8.1.5

Draaibruggen

De draaibrug is ontstaan uit de draaivlonder, een primitieve brug bestaande uit dikke planken die aan het korte uiteinde voor het evenwicht was belast met een kist waarin ballast werd geborgen.

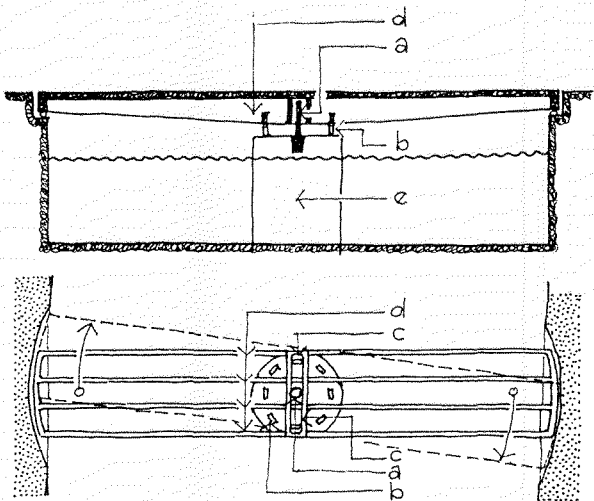
Een draaibrug draait om een verticale as (de spil of koning). Bij grotere bruggen is rond de spil een rolring aanwezig die de brug mede ondersteunt. De beide delen aan weerszijden van het draaipunt worden armen genoemd.

In gesloten stand wordt de brug in het midden en aan de uiteinden ondersteund, in geopende stand kragen de armen uit aan weerszijden van het draaipunt.

De rijvloer bestaat gewoonlijk uit een dwarsdrager (de draaibalk), die op de spil (en indien aanwezig op de rolring) rust en waaraan twee of meer langsliggers zijn bevestigd, aan de einden gekoppeld door een broekbalk. Bij grote bruggen zijn er vaak twee hoofdliggers aan weerszijden van de rijvloer waartussen secundaire dwarsdragers en langsliggers. Bij enkele grote bruggen steken deze hoofdliggers, bijvoorbeeld als vakwerkliggers, boven de rijvloer uit.



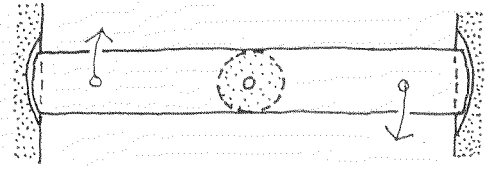
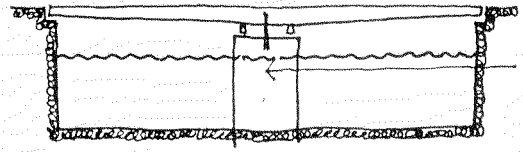
Een draaivlonder.



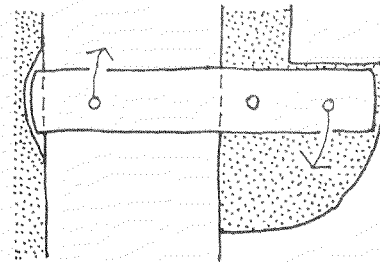
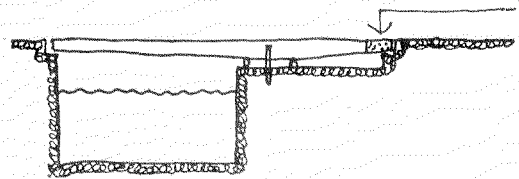
*Het principe van de draaibrug.
a. spil of koning. b. rolring. c. draaibalk. d. langsliggers. e. draaipijler*

Gelijkarmige en ongelijkarmige draaibruggen

Bij gelijkarmige draaibruggen zijn er meestal twee doorvaartopeningen en steunt de brug in het midden op een draaipijler. De ongelijkarmige draaibrug heeft gewoonlijk slechts één doorvaartopening. Het draaipunt ligt dan op of bij de wal. Zij draait in een kwart- of halfcirkelvormige inkassing in de wal. Bij gelijkarmige draaibruggen zijn de beide armen in evenwicht ten opzichte van het draaipunt. Bij de ongelijkarmige draaibrug wordt in de korte arm ballast aangebracht voor het evenwicht.



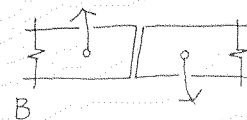
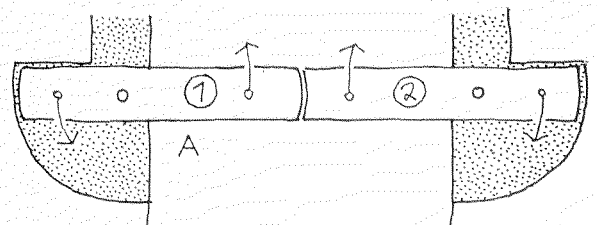
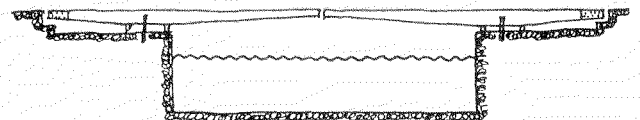
*De gelijkarmige draaibrug.
a. draaipijler.*



*De ongelijkarmige draaibrug.
a. ballast.*

Dubbele draaibruggen

Deze bestaan uit twee meestal ongelijkarmige draaibruggen die elkaar in het midden van de doorvaartopening ontmoeten en daar met elkaar vergrendeld zijn.



De dubbele draaibrug.

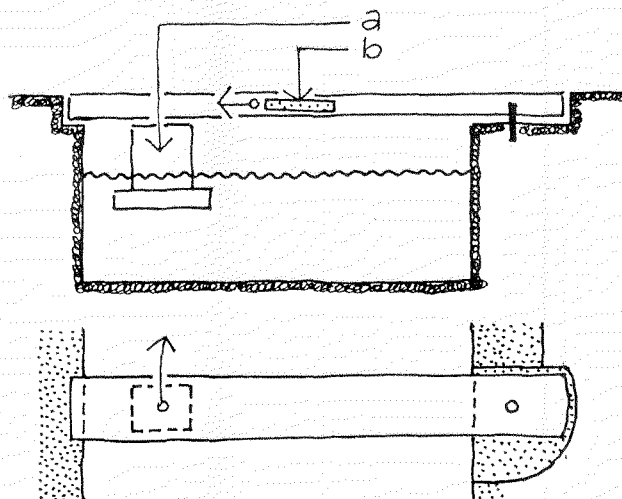
A. De bruggdelen draaien in dezelfde richting (eerst brug 1, daarna brug 2).

B. De bruggdelen draaien in tegengestelde richting.

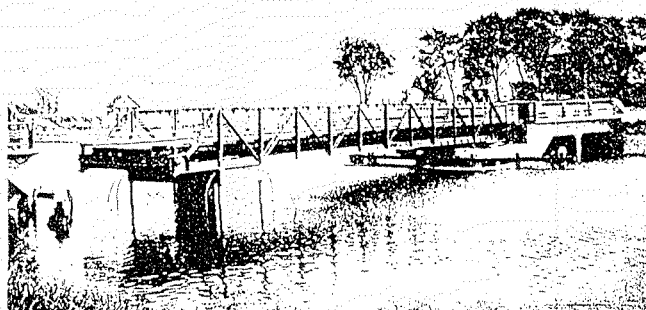
Pontondraaibruggen

Bij een pontondraaibrug rust de brug aan de ene zijde op een landhoofd en in geopende stand aan de andere zijde op een ponton. Bij het openen draait de brug om de vaste oplegging. Na het sluiten door middel van het invaren van de ponton wordt deze door een verrijdbare ballastkist (ballastwagen) belast waardoor de brug ook op het andere landhoofd gaat rusten. In gesloten stand steunt de brug dus op de beide landhoofden.

De pontondraaibrug is in Nederland weinig uitgevoerd. Een toepassing ervan was omstreeks 1933 de brug over het Van Starckenborghkanaal bij Paddepoel ten noorden van de stad Groningen.



Het principe van de pontondraaibrug.
a. ponton. b. ballastwagen.

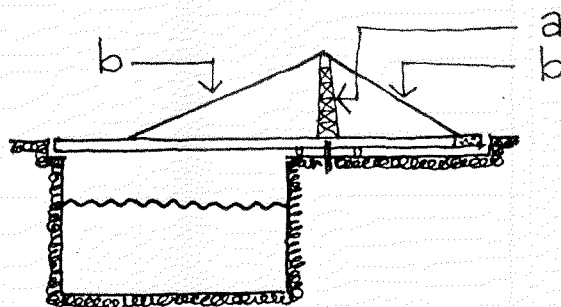


De pontondraaibrug over het Van Starckenborghkanaal bij Paddepoel, ca.1933.

Subtypen

Bij kleine draaibruggen zijn er twee subtypen:

- Draaibruggen waarbij de langsliggers onder het brugdek zijn gelegen.
- Draaibruggen met aan weerszijden van de rijvloer een tuiwerk, bestaande uit tuistaven die bevestigd zijn aan twee koningstijlen ter plaatse van het draaipunt.



Draaibrug met tuiwerk.
a. koningstijl. b. tuistaven.

Draaibruggen vonden vooral toepassing in de 19de eeuw en in het begin van de 20ste eeuw. Omdat het openen en sluiten ervan ten opzichte van andere brugtypen betrekkelijk veel tijd vergde en de brug veel ruimte vroeg, terwijl er veel aanvaringen plaats vonden, werd het type minder aantrekkelijk. Toch werd ook na 1945 nog een aantal draaibruggen gebouwd.



Een eenvoudige houten draaibrug met tuiwerk.

8.1.6

Kraanbruggen

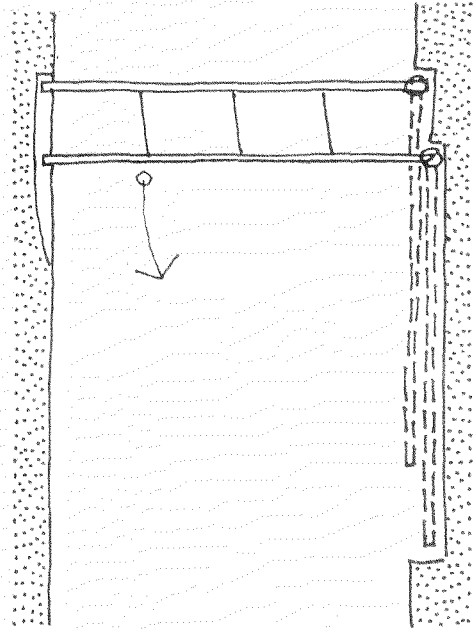
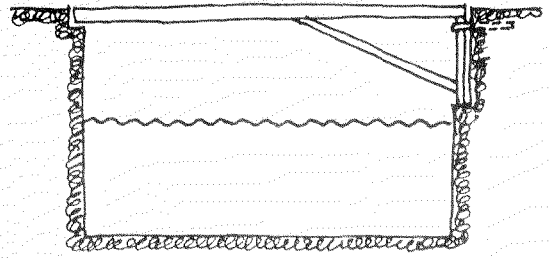
Een kraanbrug bestaat in haar eenvoudigste vorm uit twee uitkragende armen (de kranen) die beide draaien om een verticale as. Aan de ene zijde rusten de kranen op deze assen, die aan een landhoofd of een pijler zijn bevestigd, aan de andere zijde zijn zij opgelegd op het tegenoverliggende landhoofd dan wel op een pijler. Om de brug te openen zwenken de kranen om de beide assen en worden in een inkassing in het landhoofd geborgen.

Zijn naam ontleent het type aan de gelijkenis met zwenk- of consolekranen, zoals die in fabrieken langs de wanden voorkomen. In het begin van de toepassing werden ook benamingen gebruikt als draaispoor en draaiende spoorbrug.

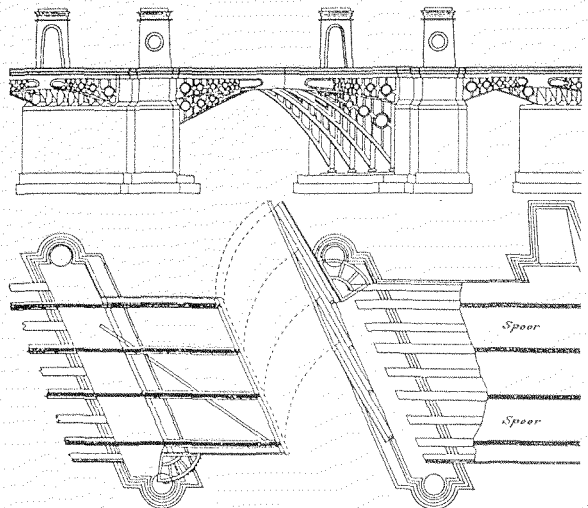
Bij de kraanbrug is een vast brugdek niet mogelijk omdat dit de beweging van de brug zou verhinderen. De brug werd dan ook aanvankelijk (omstreeks 1845 door F.W. Conrad ten behoeve van de Hollandsche IJzeren Spoorweg) ontworpen voor spoorwegverkeer. De rails rustten direct op de kranen die onderling verbonden waren door scharnierende koppelstangen zodat zijdelings uitzwaaien mogelijk was. Er waren ook uitvoeringen voor dubbel spoor, met vier kranen.

Enkele malen werd de kraanbrug ook toegepast bij vestingen omdat zij voldeed aan de eis dat er boven de rijvloer geen brugdelen waren die weggeschoten konden worden. Het rijdek bestond in die gevallen uit houten delen die snel verwijderd konden worden.

Het type is ook, in drie gevallen, als dubbele kraanbrug uitgevoerd. De brug bestond dan uit twee tegenover elkaar gelegen kraanbruggen die elkaar in het midden van de doorvaartopening ontmoetten en daar aan elkaar vergrendeld waren.

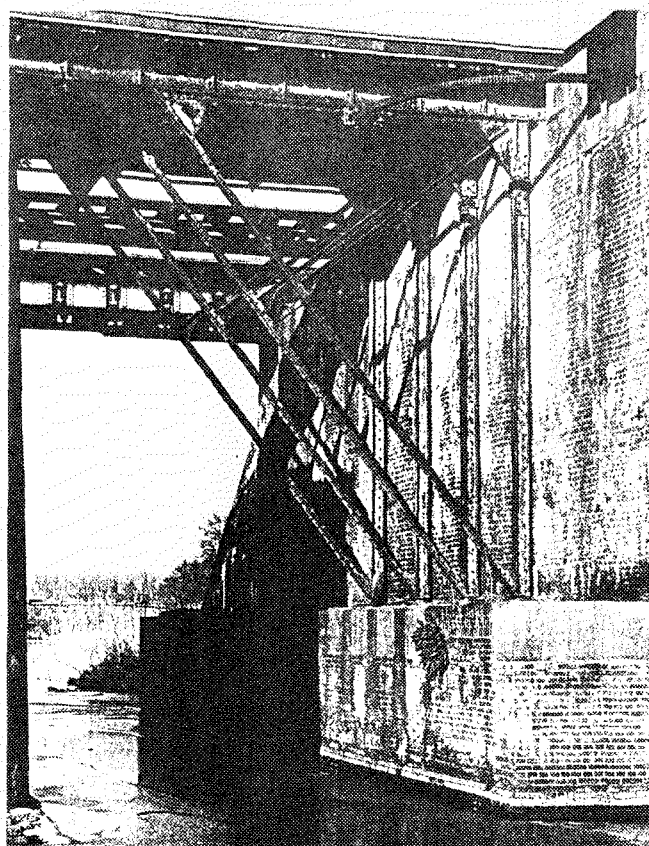


Het principe van de kraanbrug.



De dubbele kraanbrug over de Delfshavensche Schie bij Rotterdam, 1846.

De kraanbrug vond in de 19de eeuw veelvuldig toepassing, voornamelijk in Nederland. Toch voldeed zij, bij de toenemende rijsnelheden, op de duur niet. Met name de onvoldoende zijdelingse stijfheid was een groot bezwaar. De spoorbruggen van dit type werden dan ook alle in de loop van de tijd verwijderd. Er resten thans vermoedelijk alleen nog kraanbruggen bij het fort aan de Diefdijk bij Leerdam en bij het fort Ronduit ten noorden van Naarden.

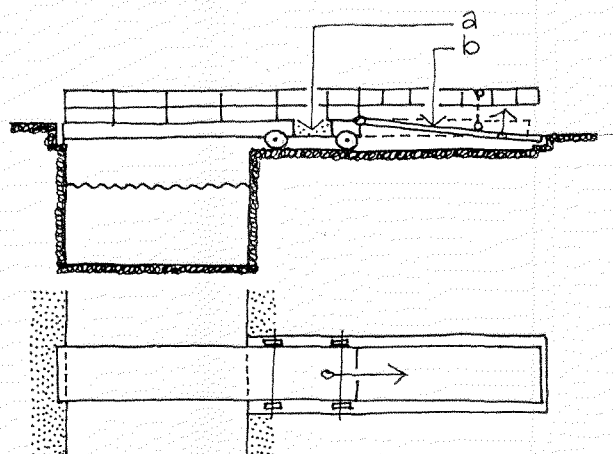


Kraanbrug bij het fort aan de Diefdijk bij Leerdam.

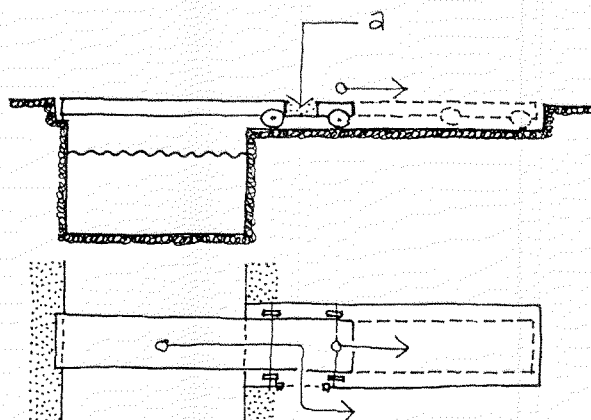
8.1.7

Rolbruggen

Bij een rolbrug rust de rijvloer op twee assen met wielen, die zich bewegen over een railbaan in de lengterichting van de brug. Aan de zijde van de railbaan bevindt zich meestal een aanbrug (koebrug of klep) die aan één zijde scharnierend aan de rijvloer van de brug is bevestigd en in gesloten stand de railbaan afdekt. Bij het openen wordt deze aanbrug geheven en met de brug mee verplaatst. Soms rijdt zij eveneens op wielen achterwaarts mee. Ook zijn er rolbruggen waarbij het verkeer aan de railbaanzijde de brug zijdelings verlaat. Deze zijn alleen geschikt voor fietsers en voetgangers.

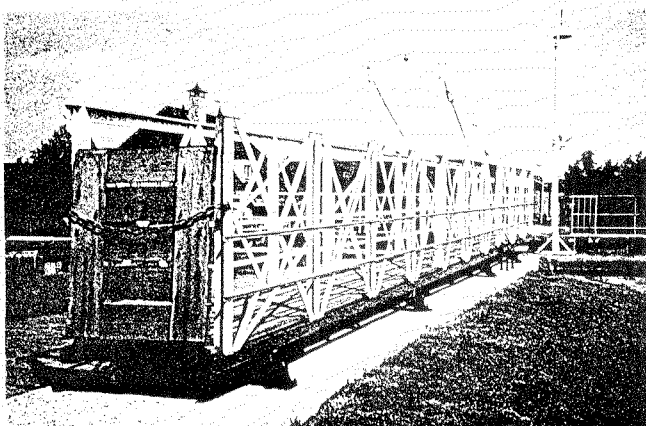


Een rolbrug met een beweegbare aanbrug. a. ballast. b. koebrug.



Een rolbrug waarbij het verkeer zijdelings van de brug wordt geleid. a. ballast.

Vroeger zijn er rolbruggen met een aanzienlijke overspanning gemaakt (bv. de brug over de Donge te Geertruidenberg uit 1886, voor gewoon en tramverkeer, met een doorvaartwijdte van 12 m). De thans nog bestaande rolbruggen zijn kleiner en vaak gelegen bij sluizen. Meestal zijn het fiets/voetbruggen.

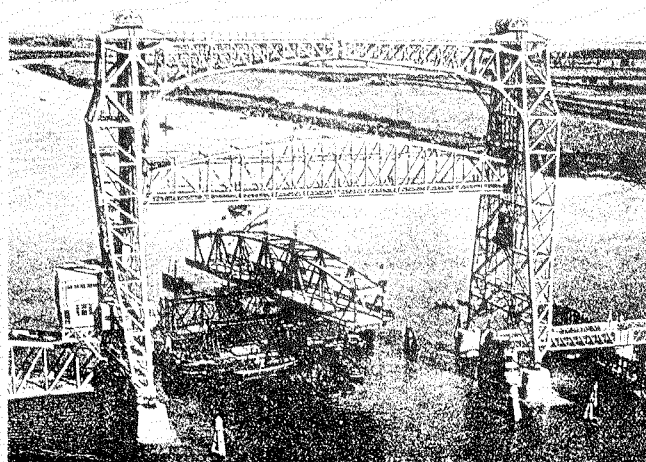


De rolbrug over de sluis te Genemuiden.

8.1.8

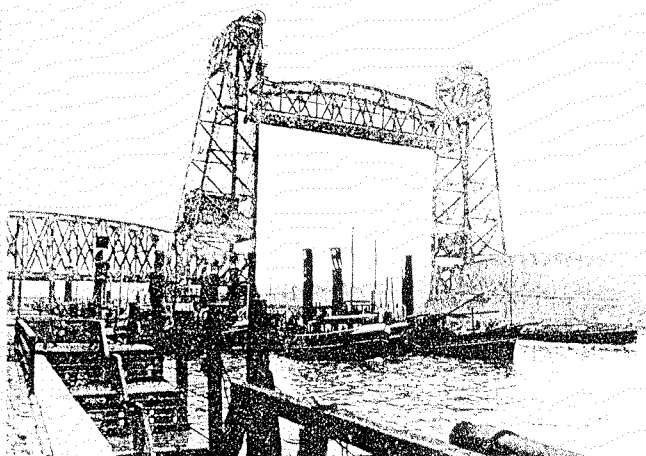
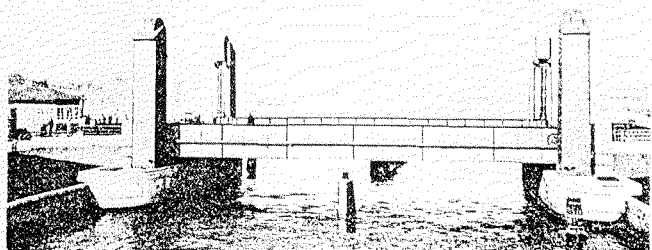
Hefbruggen

Bij een hefbrug wordt de rijvloer (het val) meestal opwaarts bewogen door vier in de hoekpunten aangebrachte kabels. De kabels, waaraan contragewichten zijn bevestigd, lopen over kabelwielen die boven in twee of vier heftorens zijn aangebracht. Soms zijn deze heftorens aan de bovenzijde in de lengterichting van de brug gekoppeld. De doorvaarthoogte van deze bruggen wordt begrensd door de onderzijde van het val in de hoogste stand. In tegenstelling tot de andere typen hebben hefbruggen dus een beperkte doorvaarthoogte. Zij zijn slechts toepasbaar in scheepvaartroutes waar de schepen een gelimiteerde hoogte hebben.



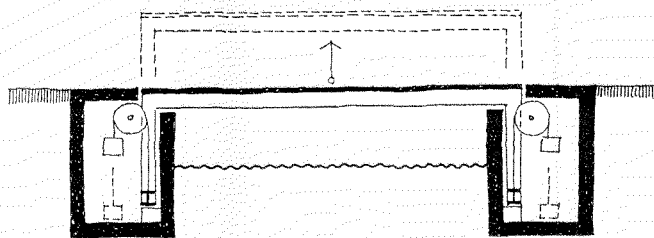
De hefbrug over de Oude Maas te Barendrecht, 1932.

De hefbrug over de De Ruyterkade te Amsterdam, 1931.

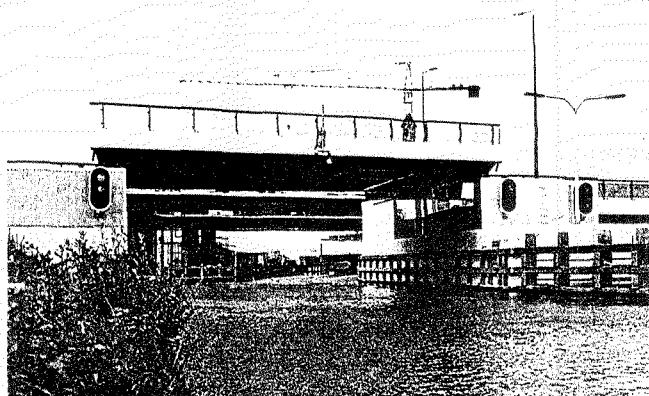


De spoorweghefbrug over de Koningshaven te Rotterdam, 1927.

Soms zijn hefbruggen uitgevoerd zonder torens. Het val wordt daarbij omhooggedrukt vanuit kelders aan weerszijden van de brug. Deze uitvoering is onder meer omstreeks 1933 toegepast bij enkele hefbruggen over het Van Starkenborghkanaal in de provincie Groningen. Zij is alleen mogelijk als de vereiste hefhoogte betrekkelijk klein is. Dit type wordt meestal aangeduid als *tafelbrug*.



De hefbrug met contragewichten in kelders (tafelbrug).

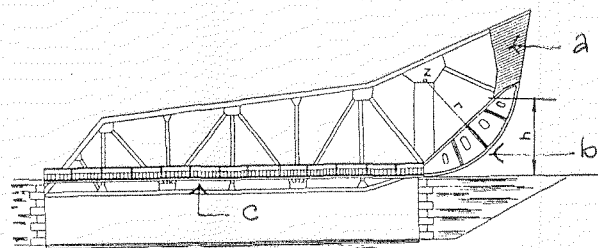


Een tafelbrug in moderne uitvoering, over de Weespertrekvaart bij Duivendrecht.

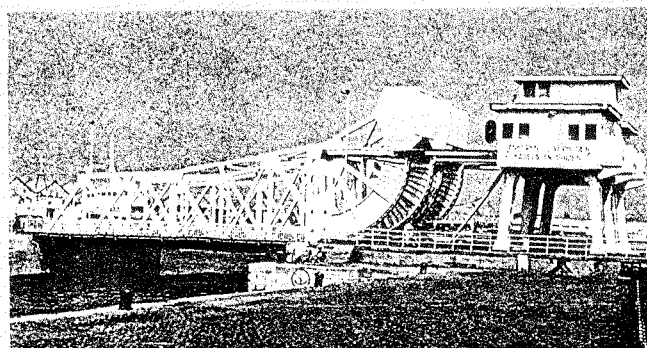
8.1.9

Rolbasculebruggen

Bij een rolbasculebrug wordt de rijvloer (de klap) bewogen door het naar achteren verrollen van de brug over horizontale rolbanen door middel van aan één van de uiteinden bevestigde cirkelsegmenten (de kwadranten). De brug draait daarbij om een as, die door het middelpunt van de kwadranten gaat en die zich naar achteren verplaatst. De brug wordt in evenwicht gehouden door een contragewicht aan de zijde van de kwadranten. Het verplaatsen geschiedt met horizontale trekstangen die aan de draaisas zijn bevestigd. Met het andere uiteinde zijn de trekstangen verbonden aan een loopwagen (locomotief) die langs een vaste, horizontale tandheugel voortbeweegt. Door deze beweging komt de gehele doorvaartwijdte vrij voor passerende schepen.



Het principe van de rolbasculebrug met hooggelegen kwadranten. a. ballast. b. kwadrant. c. klap.



Rolbasculebrug met hooggelegen kwadranten te Antwerpen.

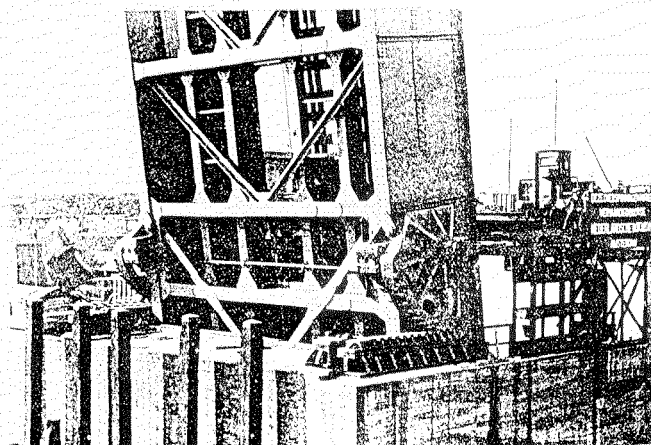
Er zijn twee typen rolbasculebruggen:

- De kwadranten liggen boven de rijvloer en vormen de voortzetting van de eveneens boven de rijvloer gelegen hoofdliggers. Het contragewicht is hooggelegen tussen de uiteinden van de kwadranten. Bij dit type is geen kelder nodig.

De kwadranten liggen onder de rijvloer (Scherzerbruggen). Zij zijn aan de eveneens onder de rijvloer gelegen hoofdliggers bevestigd en zijn veel kleiner dan bij het eerste type. Het contragewicht bevindt zich in een staartgedeelte dat in een kelder draait.

De eerste rolbasculebruggen verschenen in Nederland omstreeks 1900. Na 1940 is het type nog slechts incidenteel toegepast, onder andere bij de brug over de Middensluis te Terneuzen omstreeks 1960.

Andere benaming: wiegbrug.



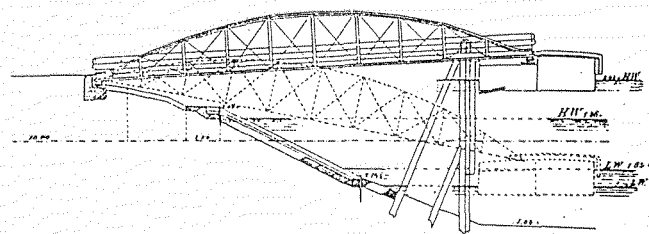
Rolbasculebrug met laaggelegen kwadranten (Scherzerbrug). De spoorbrug over de voormalige Oostersluis te Amsterdam, 1936.

8.1.10

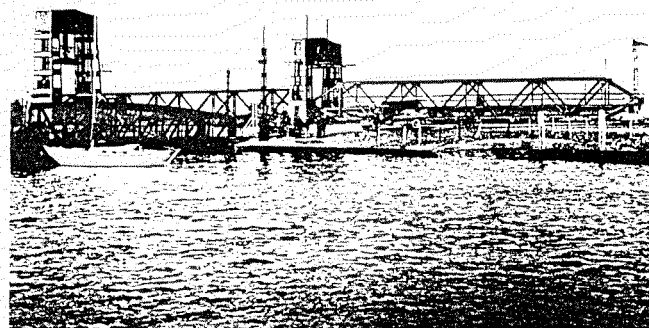
Aanlegbruggen

Aanlegbruggen dienen om bij vaarwegen met een wisselende waterstand, zoals havens in open gemeenschap met de zee en bij riviermonden, de verbinding tussen de schepen en de wal tot stand te brengen.

De oude aanlegbruggen rustten vaak aan de ene zijde op één of meer pontons en aan de andere zijde op de vaste wal. Op de pontons steunden zijn op wielstellen die horizontale verplaatsing van de opleggingen mogelijk maakten bij het rijzen en dalen van de pontons. Ook worden aanlegbruggen bewogen tussen heftorens, zoals bij het veer Vlissingen-Breskens uit 1927.



Aanlegbrug bij de Willempolder, ca.1900.



Aanlegbrug bij het veer Vlissingen-Breskens, 1927.

8.1.11

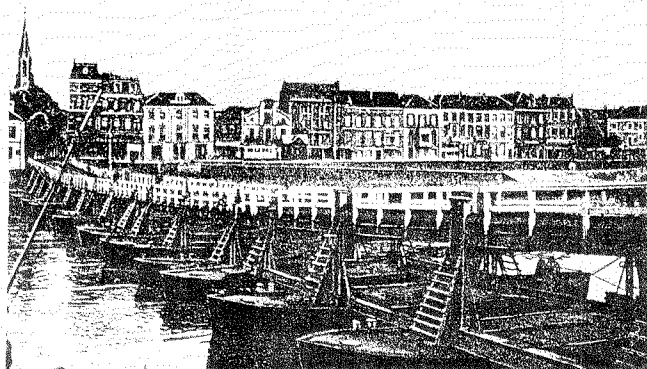
Schipbruggen

Een schipbrug bestaat uit schepen die op een afstand van 5 tot 8 m hart op hart uit elkaar zijn gelegen en waarover een rijvloer is aangebracht. Grote schipbruggen werden in vakken verdeeld, meestal van drie onderling vast verbonden schepen.

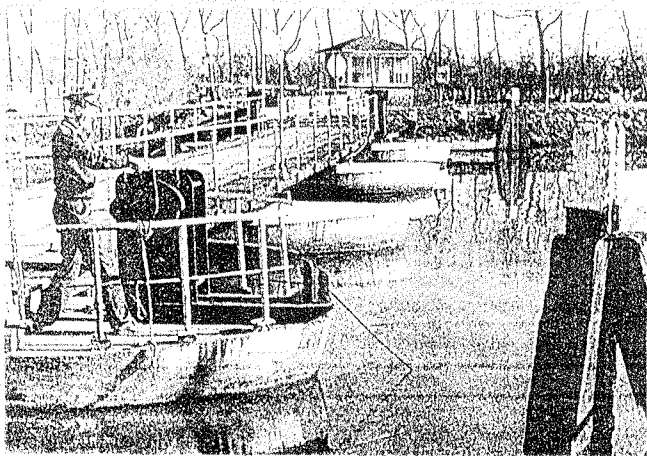
Schipbruggen kwamen zowel voor in kanalen als rivieren. Wat de laatste betreft vonden zij in Nederland alleen maar toepassing op de bovenrivieren omdat bij grote verschillen tussen eb en vloed op de benedenrivieren schipbruggen moeilijk berijdbaar waren. Vrijwel altijd waren zij ingericht voor gewoon verkeer, alleen de schipbrug over de IJssel bij Doesburg was ook geschikt voor tramverkeer.

Om de brug op haar plaats te houden waren er naar twee zijden verankeringen. Ook op de bovenrivieren, waar de stroom slechts in één richting gaat, waren deze nodig voor het geval van sterke wind in stroomopwaartse richting. Bij sommige bruggen waren alle schepen verankerd, soms waren er ankers per twee of drie schepen. De verankering geschiedde met kettingen aan ankers op de rivierbodem. Om de scheepvaart door te laten werd soms een beweegbare brug in de rijweg opgenomen zoals de ophaalbrug in de schipbrug over de IJssel bij Deventer. Meestal waren er één of meer uitdrijfvakken met een breedte van 12 tot 26 m. Bij stromend water werden de bovenstroomse kettingen gevierd tot het vak vrij kwam van de brug waarna het met de roeren opzij werd gebracht achter de vaste schepen. Bij zeer hoog water en bij ijsgang werden de schipbruggen verwijderd en ondergebracht in een hiertoe ingerichte haven in de omgeving.

Over de grote rivieren lagen schipbruggen bij Vianen, Arnhem, Doesburg, Zutphen en Deventer. Zij zijn alle in de loop van de tijd vervangen door vaste bruggen. Wat de kanalen betreft is er nog slechts één schipbrug overgebleven, de Kraneschipbrug over het Merwedekanaal bij Meerkerk.



De schipbrug over de Rijn bij Arnhem.



De Kraneschipbrug over het Merwedekanaal bij Meerkerk.

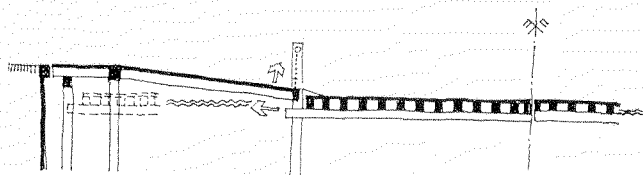
8.1.12

Vlotbruggen

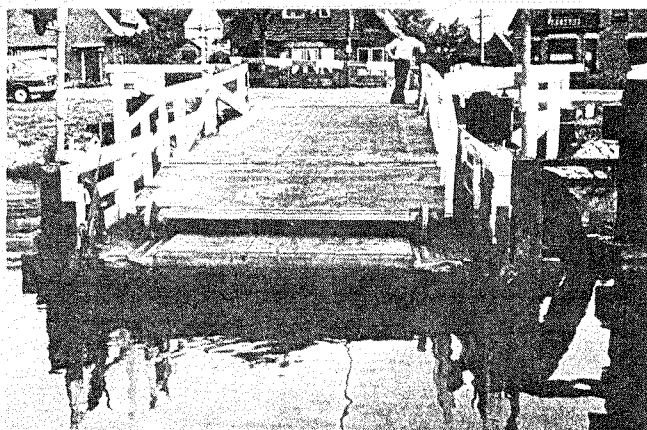
Een vlotbrug bestaat meestal uit twee aanbruggen (de koebruggen) met een klep en twee vlotten die in het water drijven. De klep is op het vlot opgelegd door middel van wielen die rusten op rolbanen aan weerszijden van het vlot. Bij het openen van de brug worden de vlotten naar twee zijden weggetrokken onder de koebruggen. In gesloten toestand zijn de beide vlotten in het midden van het vaarwater aan elkaar bevestigd. Er waren ook vlotbruggen met slechts één vlot dat wegdraaibaar was naar een oever.

De bruggen werden uitgevoerd in hout. Omdat het drijvend vermogen van een houten vlot klein is, is op een vlotbrug slechts een geringe belasting toelaatbaar. Om deze te verhogen werden later drijflichamen aan de vlotten aangebracht.

Vlotbruggen werden in Nederland voor het eerst toegepast door Jan Blanken bij de aanleg van het Noord-Hollandsch Kanaal vanaf 1817, met een doorvaartwijdte van 17 m. Alleen over dit kanaal zijn nu nog vier vlotbruggen aanwezig waarvan alleen die bij Koedijk nog een echte vlotbrug is. De andere drie zijn inmiddels voorzien van pontons.



Het principe van de vlotbrug.



De vlotbrug bij Koedijk.



De voormalige vlotbrug bij De Kooy (Den Helder).

8.2

Bewegingswerken

De bewegingswerken dienen voor het openen en sluiten van beweegbare bruggen.

Omdat bij alle brugtypen, met uitzondering van de klapbruggen, de bewegende delen, meestal door het aanbrengen van ballast, met elkaar in evenwicht worden gebracht, zijn de benodigde krachten voor het bewegen niet groot. De belangrijkste krachten, die het evenwicht bij het openen en sluiten kunnen verstoren, zijn windkrachten die vooral bij grotere bruggen van de typen 'ophaalbrug' en 'basculebrug' een rol van betekenis spelen. Verder dienen de bewegingswerken ook voor het vertragen van de beweging zodra het val zijn eindstand nadert. Bovendien moet het val in gesloten stand met een zekere kracht op zijn opleggingen worden gedrukt om te voorkomen dat de brug door de verkeersbelasting opwipt of in trilling komt (het klappen).

De bewegingswerken van de voor 1940 gebouwde bruggen hadden meestal ten aanzien van de hiervoor genoemde eisen gescheiden functies. Behalve het bewegingswerk voor het openen en sluiten waren er afzonderlijke opzetinrichtingen om de brug op haar opleggingen te drukken. De latere bewegingsmechanismen verenigden de functies openen, sluiten, vertragen, opzetten en vergrendelen in één bewegingswerk.

Soorten bewegingswerken

De bewegingswerken zijn te verdelen in:

- Mechanische bewegingswerken met bv. tandheugels, rolbanen of trek-duwstangmechanismen.
- Hydraulische bewegingswerken met cilinders en regelbare pompen of stroomregelventielen.

Wat de aandrijving betreft zijn te onderscheiden:

- *Handbeweging.*
- *Elektrische aandrijving* met elektromotoren op gelijk- of draaistroom; er zijn zowel elektro-mechanische als elektro-hydraulische aandrijvingen.

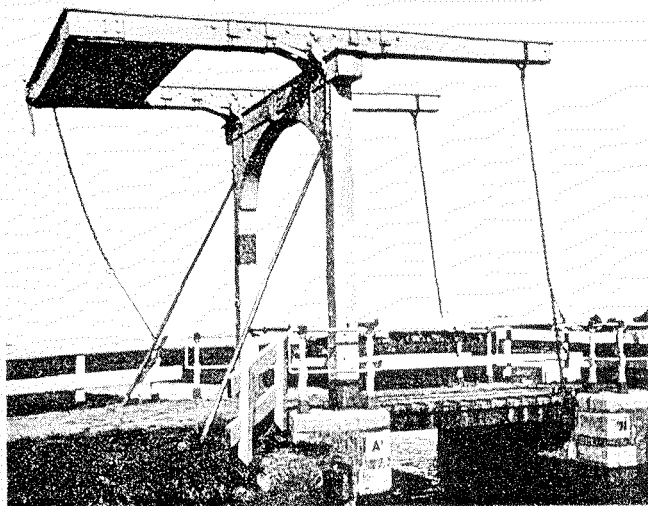
Voorts werd aan het einde van de 19de eeuw een aantal dubbele basculebruggen gebouwd met hydraulische bewegingswerken die werd aangedreven door druk uit het drinkwaterleidingnet. Later werden alle hydraulische bewegingswerken elektrisch aangedreven.

Vele beweegbare bruggen hebben in de loop van de tijd andere bewegingswerken gekregen, voornamelijk om de openings- en sluitingstijden te verminderen en de vertragingen efficiënter te doen verlopen.

Hoewel er vele parallellen zijn, heeft men voor de verschillende typen van beweegbare bruggen uiteenlopende soorten bewegingswerken ontwikkeld. Voor de belangrijkste brugtypen (ophaalbruggen, basculebruggen, draaibruggen en hefbruggen) zullen deze hierna worden behandeld.

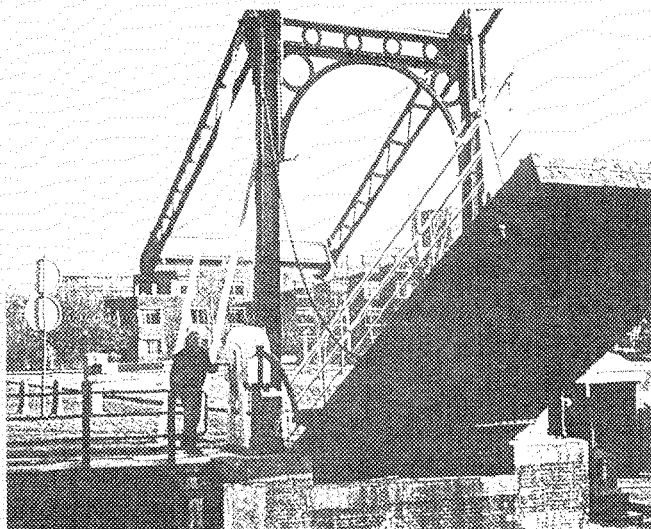
Ophaalbruggen

Aanvankelijk werden ophaalbruggen met de hand geopend door aan een *ketting* te trekken die aan het einde van de balans was bevestigd (de achterketting). Het sluiten geschiedde door eerst tegen het uiteinde van de balans te drukken en daarna tegen het val op te lopen.



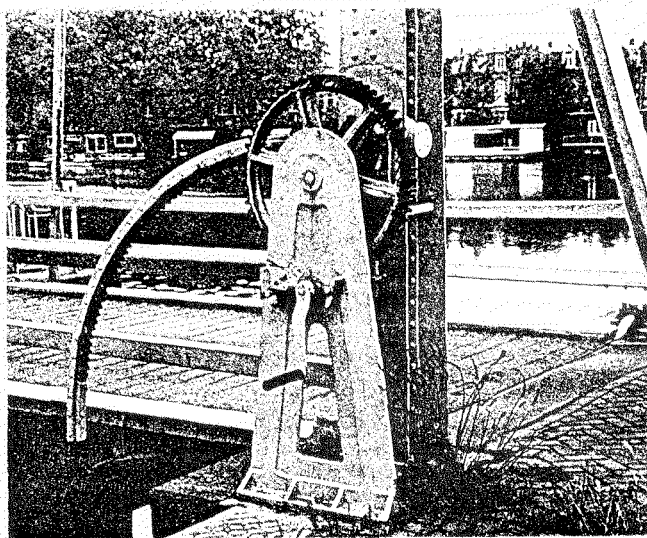
Een ophaalbrug met een achterketting.

Toen de bruggen groter werden werd de benodigde kracht geleverd door bijvoorbeeld een *handlier* die meestal naast de hameipoort was geplaatst. Van de lier liep een kabel of een ketting via een voetblok naar het uiteinde van de balans. Het sluiten geschiedde door het vieren van de kabel of ketting waarbij het val door een klein overgewicht in beweging kwam.



Een ophaalbrug met een handlier.

Het bezwaar van deze wijze van bewegen was dat de brug niet in alle standen onder controle was. De volgende ontwikkeling was dan ook het gebruik van *windwerken* (ook wel beweegtoestellen genoemd). De eerste windwerken bestonden uit een aan het val bevestigde cirkelvormige tandheugel (*kwadrant*). Op deze heugel greep een tandrondsel in dat deel uitmaakt van een stel raderen (tandwielen) die door een handslinger in beweging werden gebracht. Door het raderwerk van een pal met een palwiel of van een rem te voorzien kon de beweging van begin tot eind worden gecontroleerd. De kwadranten werden aanvankelijk uitgevoerd als gekromde staven.



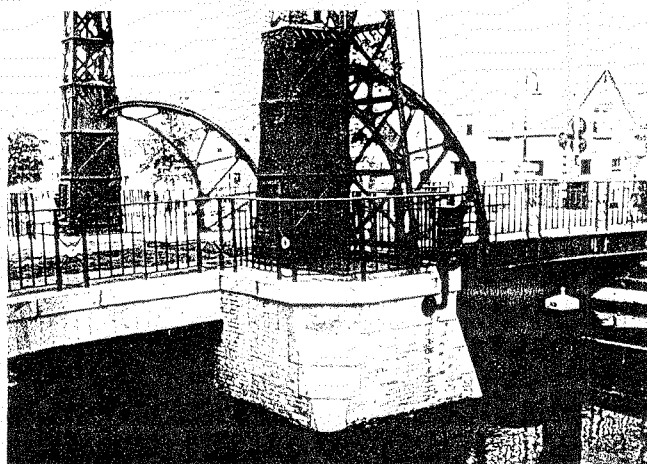
Een ophaalbrug met een staafvormige kwadrant.

Toen de bruggen groter werden, kwamen, omstreeks 1900, de vakwerkkwadranten in zwang. Ook werden soms raamwerkkwadranten toegepast.

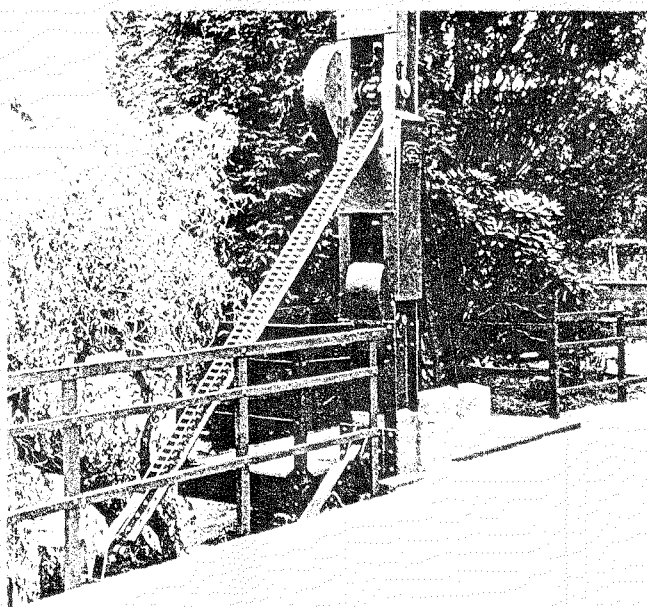
Omdat de kwadranten dure elementen waren maakten zij in de loop van de tijd plaats voor *rechte heugels*. Deze werden eerst uitgevoerd als pennenheugels, later als tandheugels. Een veel voorkomende uitvoering was die waarbij op slingerhoogte (ongeveer 0,9 m boven straatniveau) een raderwerk in of aan een hameistijl was aangebracht. Van dit raderwerk voerde een ketting (Gallse ketting of rollenketting) naar een kettingwiel halverwege de hameistijl. Op de as hiervan bevond zich een tandrondsel dat ingreep op de rechte heugel. Twee geleidingsrollen zorgden ervoor dat de heugel in alle standen tegen het rondsel werd gedrukt. Het geheel werd gecompleteerd door een pal met een palwiel terwijl voor het vertragen een bandrem was aangebracht.

Een volgende ontwikkeling was die waarbij de rechte heugel werd voorzien van een gekromd uiteinde. Na het doorlopen van het rechte gedeelte kwam het rondsel in deze kromming, waardoor de beweging van de brug werd vertraagd, zodat het val met nagenoeg geen snelheid op zijn opleggingen kwam. De kromming van de heugel eindigde tenslotte zodanig dat, na het neer komen van het val, een bufferveer in de heugel werd opgeladen, waardoor het val op de vooropleggingen werd gedrukt.

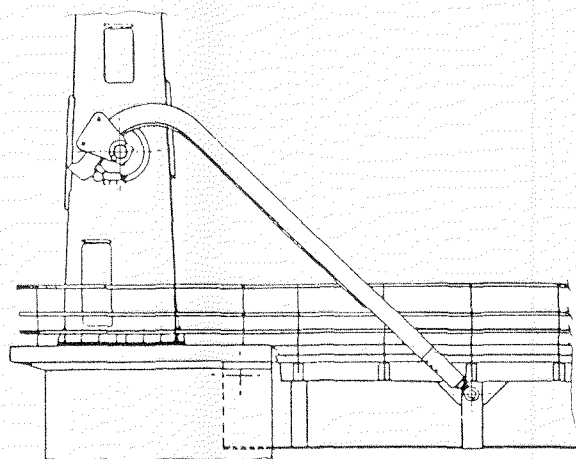
In de afgelopen decennia zijn de ontwikkelingen gegaan in de richting van eenvoudiger mechanische aandrijvingen in combinatie met elektrische regelingen, ten koste van gecompliceerde aandrijvingen met mechanische vertraging, zoals de aan het eind gekromde heugel en het Panamawiel. Dit geldt ook voor de basculebruggen. Bij beide typen is de rechte heugel weer terug gekomen.



Een ophaalbrug met vakwerkkwadranten.



Een ophaalbrug met een rechte heugel.



Een ophaalbrug met een aan het eind gekromde heugel (kromme heugel).

Basculebruggen

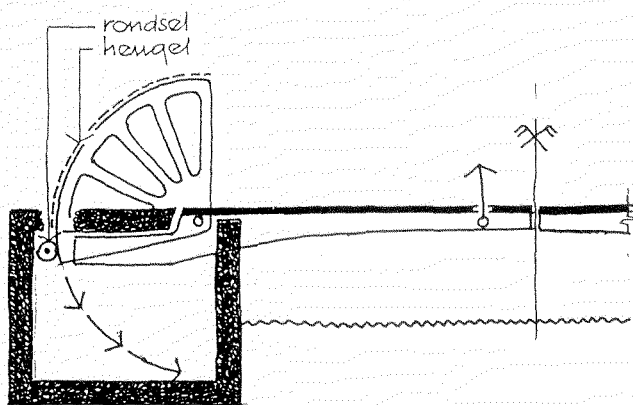
Aanvankelijk kwam de basculebrug in Nederland vrijwel uitsluitend in dubbele uitvoering voor, eerst met hellende vallen (vanaf 1837), later, vanaf 1880, met horizontale vallen. Deze bruggen werden alle bewogen door middel van boven de rijvloer gelegen kwadranten. In iedere kelder waren twee vaste rondsels aangebracht die in aan de kwadranten bevestigde tand- of pennenheugels grepen.

Opmerkelijk was de situatie in Rotterdam waar vanaf 1881 vele dubbele basculebruggen met hellende vallen werden vervangen door bruggen met horizontale vallen. Bij de meeste hiervan werden de rondsels hydraulisch aangedreven waarbij de benodigde druk werd geleverd door het openbare waterleidingnet.

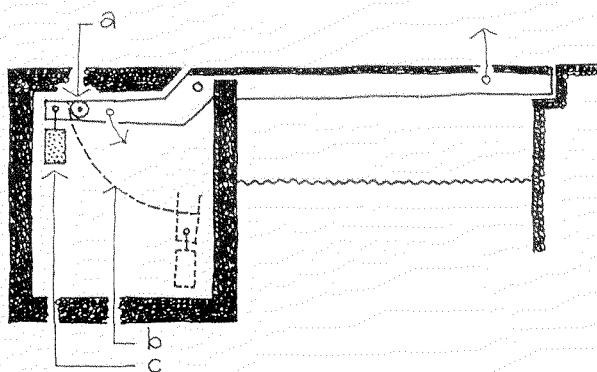
Ook bij de Koninginnebrug over de Koningshaven te Rotterdam uit 1927 hadden de beide bascules nog boven de rijvloer gelegen kwadranten en werd de brug bewogen met vaste rondsels in de kelders.

Toen de enkelvoudige basculebrug, vanaf 1920, meer in gebruik kwam verdwenen de kwadranten en werd de brug bewogen met aan de staart bevestigde rondsels die langs vaste tandbanen in de kelders liepen. Bij de moderne basculebruggen zijn de kostbare tandbanen vervangen door een rechte heugelaandrijving. De ballastkist is scharnierend aan de staart bevestigd en blijft tijdens het bewegen van de brug in verticale stand.

Bij verkeersbruggen is het normaal dat de verkeerslast wordt gedragen door de draaiingsas. Bij spoorbruggen is dit, vanwege de grote en stotende belasting, niet toelaatbaar en worden voorzieningen getroffen om de brug in gesloten stand op afzonderlijke opleggingen op de voorwand van de kelder te laten rusten.



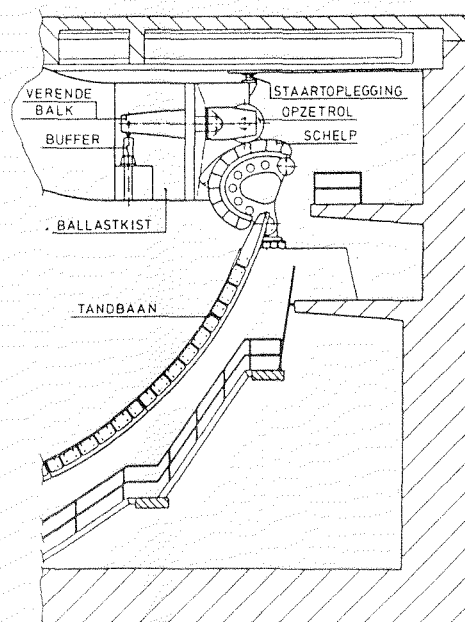
De beweging van een dubbele basculebrug met kwadranten boven de rijvloer.



*De beweging van een enkele basculebrug.
a. rondsel. b. tandbaan. c. ballastkist.*

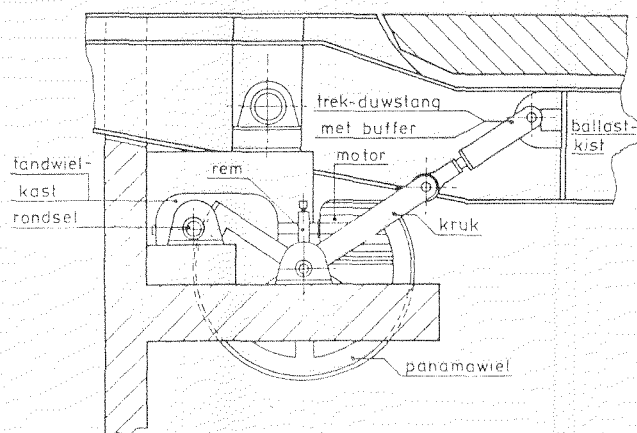
Evenals bij de ophaalbruggen dient ervoor te worden gezorgd dat bij het sluiten het val met zo weinig mogelijk snelheid op de vooropleggingen terecht komt. Voor 1940 gebeurde dit door reminrichtingen die door elektromotoren werden bediend. Bij de latere grote basculebruggen werd vaak de *schelpconstructie* gebruikt. Hierbij bevinden zich op de ballastkist twee rondsels die met een constant toerental worden bewogen. Bij het sluiten van de brug bewegen deze rondsels zich eerst langs twee tandbanen die aan de betonconstructie van de kelder bevestigd zijn. Aan de bovenzijde van deze tandbanen bevinden zich de schelpen.

Zodra een rondsel een schelp bereikt, wordt de draaiende beweging van de brug geleidelijk omgezet in een draaiende beweging van de schelp en wel zodanig dat de brug met een zeer geringe snelheid op de vooropleggingen neerkomt. Bij het verder doorlopen van de schelp wordt een opzetrol omhooggedrukt, waardoor de ballastkist wordt opgetild tegen aan het kelderdek bevestigde staartopleggingen. Daardoor treedt de ballast gedeeltelijk buiten werking en wordt de brug op haar vooropleggingen aangedrukt. Op deze wijze wordt het klapperen van het val op deze opleggingen voorkomen.



Een basculebrug met een schelpconstructie.

Ook wordt bij basculebruggen het *Panamawiel* gebruikt. De naam ervan is afkomstig uit Midden-Amerika waar het voor het eerst werd toegepast bij de sluizen van het Panamakanaal. Bij dit systeem drijft een elektromotor via een tandwielkast een rondsel aan dat met een constant toerental ingrijpt op het Panamawiel. Dit wiel, dat bestaat uit een tandsegment met hefboom, is voorzien van een trek-duwstang die scharnierend is bevestigd op een stoel aan de ballastkist. Door de stand van het Panamawiel en van de trek-drukstang wordt de snelheid van de brug bij het sluiten vertraagd. In gesloten stand van de brug loopt het Panamawiel iets door waardoor de brug op de vooropleggingen wordt gedrukt. Soms vond het Panamawiel ook toepassing bij ophaalbruggen.



Een basculebrug met een Panamawiel.

Reeds eerder werd gezegd dat aan het eind van de 19de eeuw bij dubbele basculebruggen in Rotterdam gebruik werd gemaakt van druk uit het drinkwaterleidingnet. Hiermee werden hy-

draulische cilinders bediend die de rondsels in beweging zetten. Ook bij de moderne hydraulische bewegingswerken worden de pompen door elektromotoren bediend. Bij deze bewegingsinrichting bevindt zich onder iedere hoofdlijger een cilinder die de brug kan openen en sluiten. De oplegdruk van de brug op de vooropleggingen wordt verkregen door het val slechts gedeeltelijk uit te balanceren.

Draaibruggen

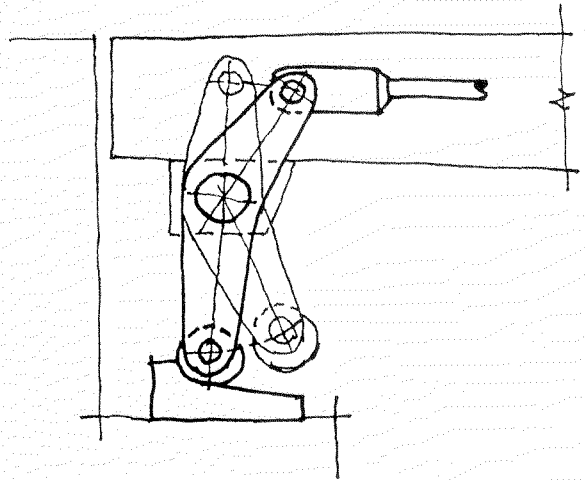
Een veel voorkomende aandrijving voor een draaibrug is een op de brug geplaatst bewegingswerk dat een rondsel aandrijft. Dit rondsel grijpt in op een op de draaijler bevestigde tandbaan.

Een draaibrug wordt in gesloten stand ondersteund bij het draaipunt en bij de uiteinden van de armen. Bij oudere draaibruggen van beperkte afmetingen was de ondersteuning bij het draaipunt alleen de spil (koning). Meestal werd hier echter ook nog een rolring aangebracht, met wielen die over een rolbaan liepen. Deze rolring diende tevens om bij het bewegen van de brug het slingeren ervan tegen te gaan.

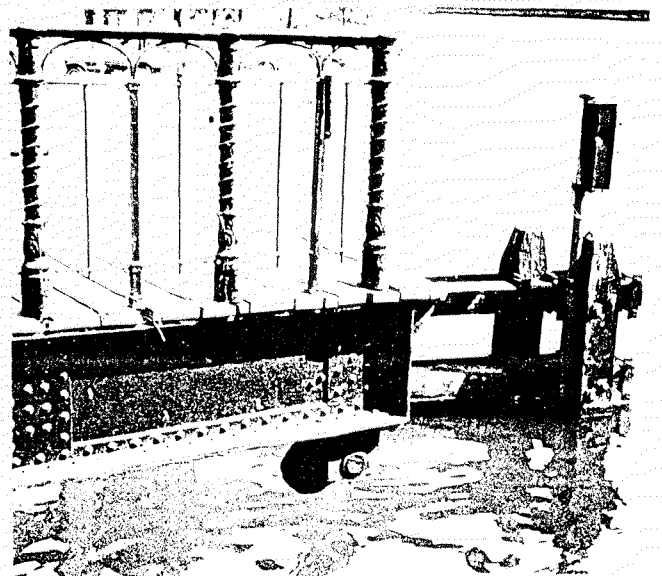
Bij de ondersteuning aan de uiteinden van de armen doet zich het probleem voor dat de brug enerzijds in gesloten stand met een flinke kracht op de opleggingen moet steunen opdat zij bij het berijden ervan niet gaat klapperen, anderzijds dat bij het openen van de brug de armen vrij moeten komen van de opleggingen. Hiervoor dienen opzetinrichtingen die bij handbeweging in het midden van de brug worden bediend en waarmee in de eenvoudigste vorm na het sluiten van de brug, via een stelsel van tandwielen en stangen, rollen omlaag worden gedrukt op de eindopleggingen. De brugeinden komen daarbij omhoog en gaan met voldoende kracht op de steunpunten rusten.

Overigens verschenen er in de periode 1918-1940 ook constructies waarmee niet de uiteinden van de brug omhoog werden gedrukt, maar waarmee men de brug bij het draaipunt liet zakken.

Zoals ook reeds bij 'Ophaalbruggen' werd gezegd is er bij basculebruggen in de laatste tijd een verschuiving in de richting van eenvoudiger mechanische aandrijvingen met elektrische regelingen waardoor gecompliceerde constructies zoals die met de schelp en het Pananawiel worden vermeden.

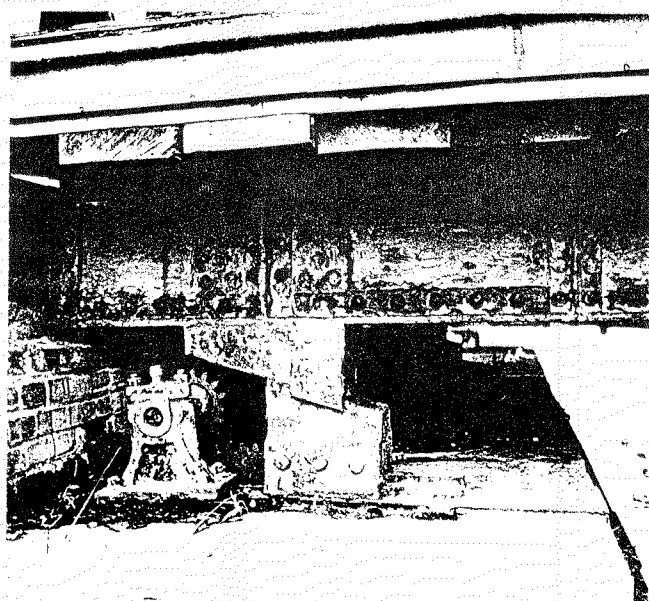


Het opzetten van een draaibrug aan de uiteinden.



Een opzetrol aan het einde van een draaibrug.

Bij het toenemen van de verkeersbelastingen bleek bij grotere draaibruggen al spoedig dat de ondersteuning door rollen, zowel bij het draaipunt als aan de uiteinden, aan snelle slijtage onderhevig was. Men ging er daarom toe over om na het sluiten en opzetten aan de brug vaste steunpunten te geven, bijvoorbeeld door het inschuiven van slossen. Bij spoorbruggen waren zulke maatregelen al van oudsher nodig. Een dergelijk opzetwerk werd ook toegepast bij *kraanbruggen*. Vaak was dit opzetwerk gecombineerd met een vergrendeling.

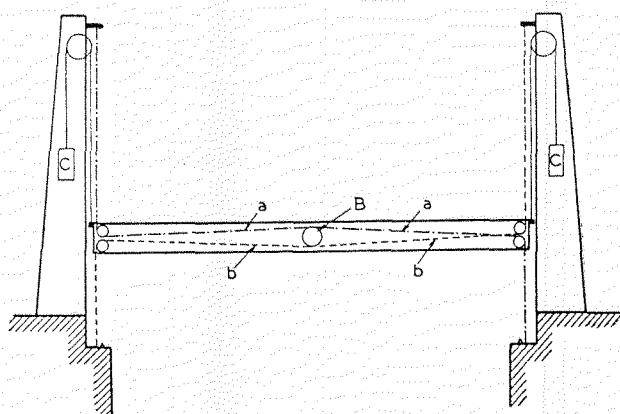


Opzetwerk en vergrendeling van een kraanbrug.

Hefbruggen

Bij hefbruggen wordt het val uitgebalanceerd met contragewichten. In gesloten stand dient het val echter met een zekere kracht op de opleggingen te rusten. Meestal wordt dit bereikt door het totaal van de contragewichten lager te maken dan het gewicht van het val. Soms ook wordt volstaan met het overgewicht dat in gesloten stand door de kabels wordt geleverd.

In enkele gevallen, bij oudere bruggen, wordt het val bewogen met behulp van schroefstangen. Meestal is er echter een kabelsysteem. Voorwaarde is dat de beide einden van het val even snel stijgen en dalen zodat het val altijd in horizontale stand blijft. Hiertoe worden rechtgeleidingskabels gebruikt die in verschillende systemen voorkomen.



Een systeem met evenwichtskabels voor een hefbrug.

De onderbouw van bruggen

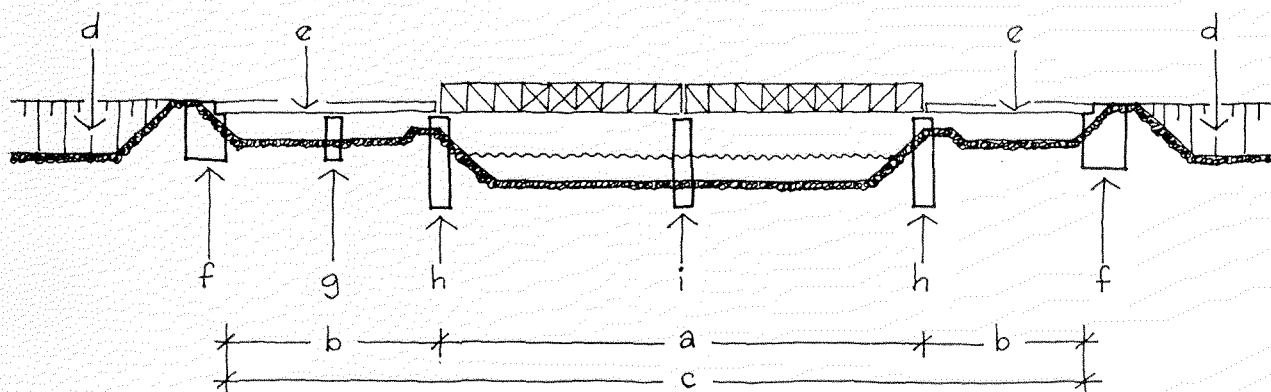
Bij de bruggenbouw wordt er onderscheid gemaakt tussen de *bovenbouw* en de *onderbouw*. Het duidelijkst is dit onderscheid bij ijzeren overbruggingen. Daar zorgen ijzerconstructies (de bovenbouw) voor het overspannen van de brugopeningen terwijl de onderbouw uit de ondersteunende constructies bestaat die de krachten uit de bovenbouw naar de draagkrachtige grond overbrengen, al dan niet door tussenkomst van palen of dergelijke.

Ook bij houten bruggen is er sprake van een bovenbouw en een onderbouw. Minder duidelijk is dat bij stenen bruggen en bij vele bruggen van beton. Stenen bruggen hebben als overspannende constructie het stenen gewelf dat in hetzelfde materiaal overgaat in de onderbouw. Bij betonnen bruggen, vooral die welke van in het werk gestort beton werden gemaakt hetgeen voor 1940 meestal het geval was, is de overspannende constructie vaak monolithisch verbonden met de onderbouw.

In het algemeen bestaat de onderbouw uit *landhoofden* met bij lange bruggen daartussen *pijlers*. Pijlers zijn van steenachtig materiaal (baksteen of beton, een enkele maal van natuursteen). Soms worden de tussenondersteuning gevormd door *jukken*, die zowel van hout en ijzer als van gewapend beton worden gemaakt.

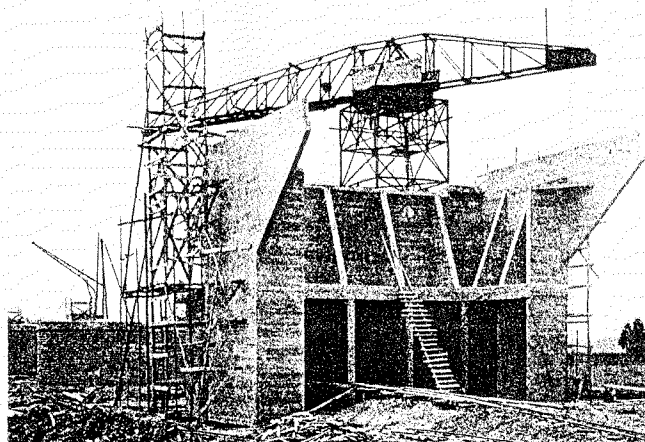
Voorbeelden van bruggen met een uitgebreide onderbouw zijn de die over de grote rivieren in ons land. Bij deze overbruggingen wordt het *zomerbed* in de regel met één grote brug overspannen die aan weerszijden op de *oeverpijlers* rust. In de winter staan ook de uiterwaarden onder water (*winterbed*). Hier liggen de *aanbruggen*, met kleinere overspanningen, die steunen op de *uiterwaardpijlers*. Aan weerszijden wordt de overbrugging afgesloten met landhoofden. Bij een aantal 19de eeuwse rivierbruggen werden ook pijlers in het zomerbed geplaatst om de overspanningen hier te beperken (*riverpijlers*).

De overbrugging van een grote rivier.
a. zomerbed. b. uiterwaard. c. winterbed. d. aarden baanlichaam. e. aanbruggen. f. landhoofd. g. uiterwaardpijler. h. oeverpijler. i. rivierpijler.

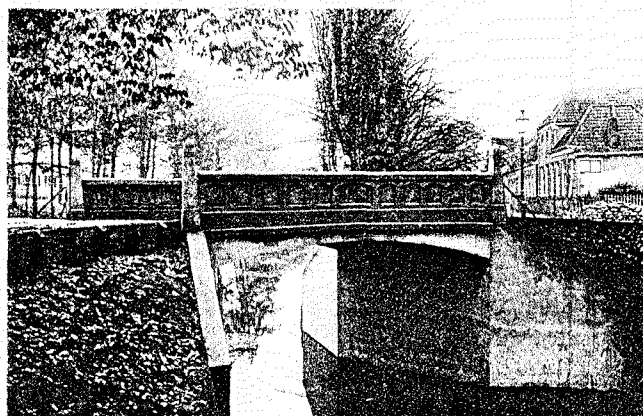


Landhoofden

Een landhoofd vormt de overgang van de overbrugging naar het aansluitende baanlichaam. Het sluit dit lichaam aan de brugzijde verticaal af. Het bestaat uit een *frontwand* en twee *vleugelwanden*. In de 19de eeuw werden de landhoofden gemaakt van dikke baksteenmuren. Vanaf 1900 kwam voor de bouw van landhoofden het gewapend beton in gebruik. Een voorbeeld van een landhoofd zoals dat in de jaren 1930 voorkwam bij de grote rivieroverbruggingen is het betonnen landhoofd van de brug over de Lek bij Vianen uit 1936. De vleugelwanden liggen hier in de lengterichting van de brug. Dergelijke landhoofden hadden een bekleding van baksteen of betonsteen met op de hoeken blokken natuursteen.



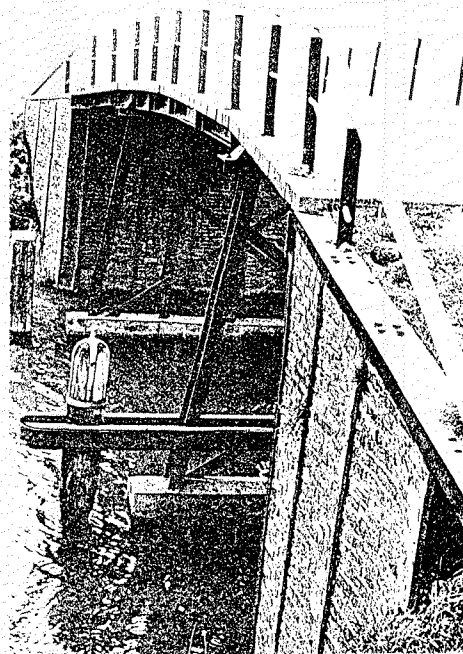
Landhoofd van de brug over de Lek bij Vianen, in aanbouw.



Een brug te Steenwijk. Het landhoofd heeft schuine vleugelwanden.

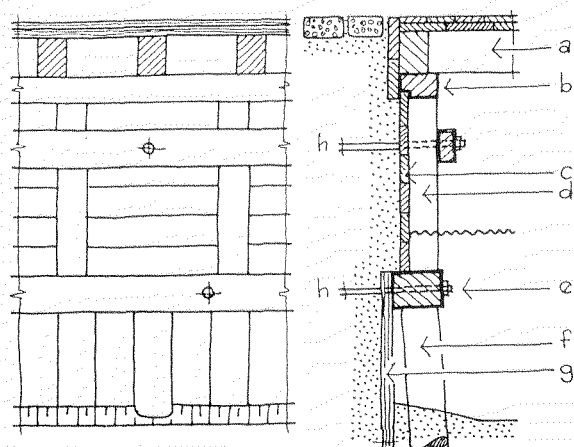
Bij bruggen over kleiner water, waarbij de brugopening aanzienlijk kleiner is dan de breedte van het vaarwater, worden de vleugelwanden vaak schuin geplaatst.

In Groningen komen landhoofden voor waar waarvan de wanden zijn gemaakt van ijzeren stijlen waartussen verticale troggewelven van baksteen.



Een landhoofd met ijzeren stijlen en bakstenen troggewelven.

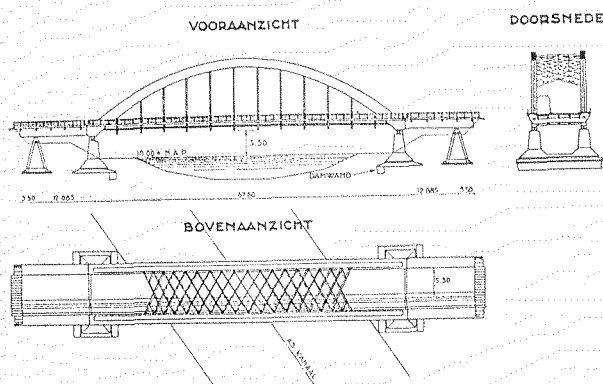
Soms worden, bij houten bruggen, ook de landhoofden uitgevoerd in hout. Front- en vleugelwanden zijn dan beschoeiingen, bestaande uit stijlen, sloven, gordingen, horizontale beschoeiingsplanken en verticale damplanken



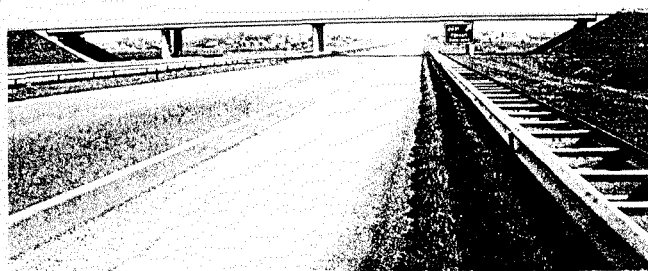
Een houten landhoofd.

a. brug. b. deksloof. c. beschoeiingsplanken of -delen. d. kubbestijlen. e. watersloof. f. heipalen. g. damplanken. h. anker.

Lang niet altijd wordt een brug afgesloten met landhoofden. Vaak is er een beëindiging met een pijler waarachter het *talud* van de aarden baan begint. Het deel van de overbrugging boven het talud wordt overspannen met een korte brug die rust op een hooggefundeerde balk aan de bovenzijde van het talud. Deze oplossing vindt men veel bij grote kanaalbruggen en bij viaducten.



De overbrugging van het Twenthekanaal bij Exel. Een brug zonder landhoofd.

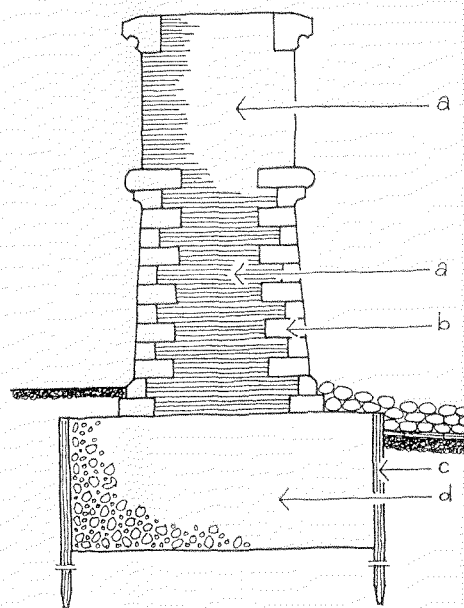


Viaduct in de landbouwweg Heiningen-Nieuwemolen. Een viaduct met een taludbeëindiging.

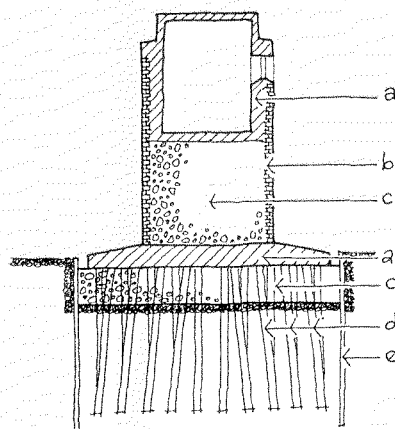
Pijlers

Pijlers worden gemaakt van steenachtig materiaal. In de 19de eeuw hadden pijlers een voet van stampbeton, dat wil zeggen ongewapend beton (*koffer*), meestal geplaatst op een fundering van houten palen. De bovenkant van deze koffers reikte ongeveer tot de laagste waterstand. Daarop kwam het meestal massieve pijlerlichaam van baksteen, geheel of gedeeltelijk bekleed met natuursteen. Met name de pijlerkoppen behoefden een bescherming van sterke steen tegen ijsgang en aanvaringen.

Voorbeelden van pijlers, zoals die in de periode 1930-1940 werden gebruikt voor de overbruggingen van de grote rivieren, zijn die van de brug over de Lek bij Vianen uit 1936. De oeverpijlers beginnen beneden met een afsluitende laag van ongewapend beton waarop een plaat van gewapend beton. Deze plaat is breder dan het opgaande pijlerlichaam om plaats te bieden aan de betonnen funderingspalen. Het pijlerlichaam bestaat uit een kern van ongewapend beton dat is gestort binnen een omkleiding van betonstenen. Deze kern reikt tot ongeveer de hoogste waterstand in de rivier. Daarboven zijn wanden van gewapend beton gemaakt die grote holle ruimten omsluiten, om het gewicht van de pijler kleiner te maken. De pijler is afgedekt met een plaat van gewapend beton. Deze oeverpijlers hebben grote afmetingen, het lichaam heeft een breedte van 7 m en een lengte van 28 m. De uiterwaardpijlers zijn kleiner (3,5x 17,5 m). Ook hier is er een funderingsplaat van gewapend beton op een afsluitende laag van ongewapend beton en een pijlerlichaam met een kern van ongewapend beton en een bekleding van betonstenen. Deze pijlers zijn massief, holle ruimten bovenin zoals bij de oeverpijlers komen niet voor.



*Een pijler van een rivierbrug uit de 19de eeuw.
a. baksteenmetselwerk. b. natuursteenbekleding. c. houten damwand. d. koffer van ongewapend beton.*



*Doorsnede over een oeverpijler van de brug over de Lek bij Vianen, 1936.
a. gewapend beton. b. bekleding van betonsteen. c. ongewapend beton. d. heipalen van gewapend beton. e. stalen damwand.*

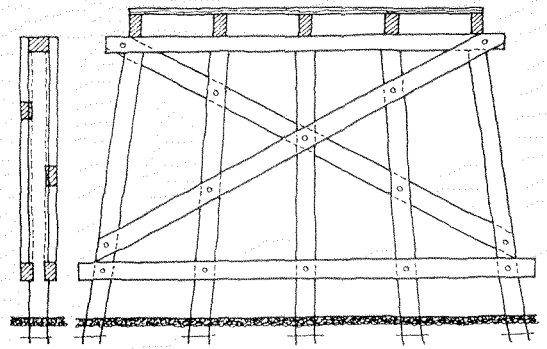
Jukken

Evenals pijlers dienen jukken als steunpunten voor bruggen tussen de landhoofden. Zij worden uitgevoerd in hout en ijzer en ondersteunen bruggen die in dezelfde materialen zijn uitgevoerd. In de regel worden zij gebruikt voor overbruggingen met kleine openingen. Ook komen jukachtige ondersteuning van beton voor waarvoor echter niet de benaming 'juk' wordt gebruikt.

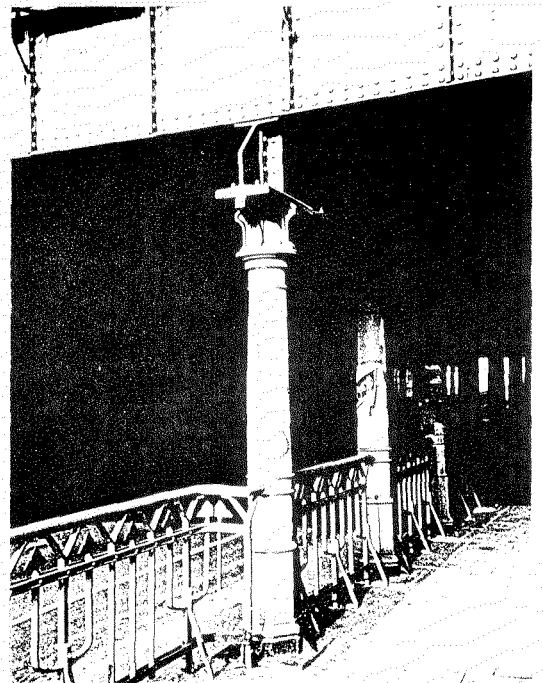
In het algemeen bestaan jukken uit palen (bij hout) en kolommen of stijlen (bij ijzer) die in een rij in de dwarsrichting van de brug zijn geplaatst.

Houten jukken zijn vrijwel altijd in het water geplaatst. Zij bestaan uit in de grond geheide palen, met een ronde of vierkante doorsnede, die worden afgedekt met een sloof waarop de brug rust. Meestal zijn de palen boven de waterlijn gekoppeld door gordingen aan beide zijden van het juk en zijn gekruiste diagonalen (schoren) aangebracht. Soms worden de jukken bekleed met planken ter voorkoming van beschadiging door aanvaring.

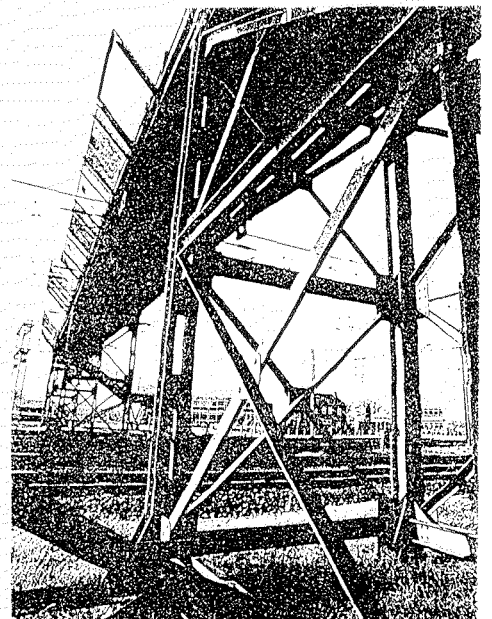
Ijzeren jukken werden meestal gebruikt bij viaducten zoals onderdoorgangen van spoorwegen, dus in den droge op wegniveau. De verticale elementen van jukken worden kolommen of stijlen genoemd. In de 19de eeuw werd veel gebruik gemaakt van gietijzeren kolommen, zoals bij de onderdoorgang bij het spoorwegstation te Haarlem. Over de kolommen ligt hier een samengestelde volwandige geklonken ligter die de brug steunt. Later werden stijlen gebruikt van smeedijzer, hetzij gewalste I-profielen met brede flenzen, hetzij door middel van klinken samengesteld uit platen en hoekijzers. Meestal werden zij gekoppeld door regels en voorzien van gekruiste diagonalen. In de periode 1918-1940 veranderden de jukken in portaalconstructies, met stijlen en een regel, zowel geklonken als gelast.



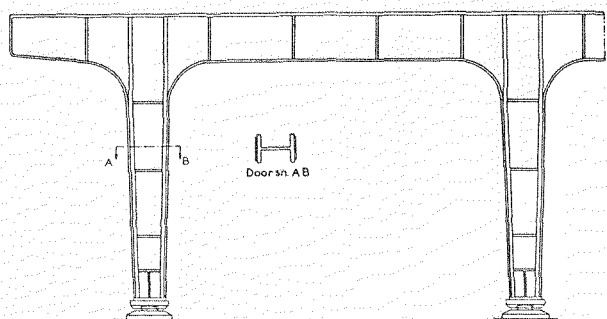
Een houten juk.



Ijzeren jukken met gietijzeren kolommen in een onderdoorgang bij het spoorwegstation te Haarlem.

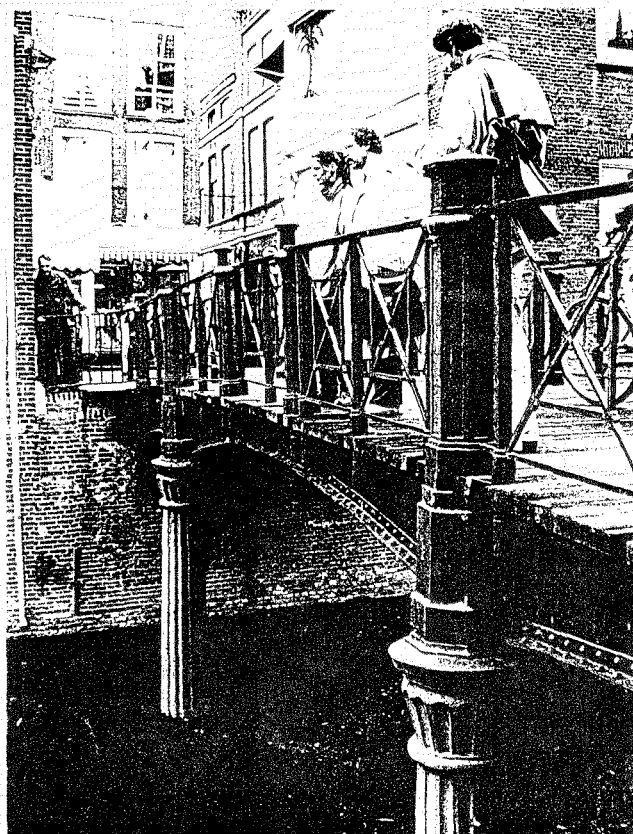


Voetbrug over de spoorweg te Boksmeer. Ijzeren jukken met stijlen, regels en gekruiste diagonalen.



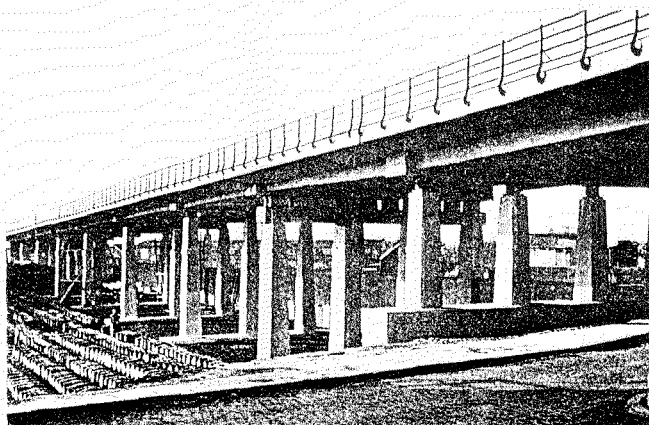
IJzeren portaalconstructie in gelaste uitvoering.

In de 19de eeuw kwamen ook ijzeren jukken in het water voor, zoals bij de Pelserbrug te Dordrecht uit 1873 waar gietijzeren kolommen werden gebruikt.



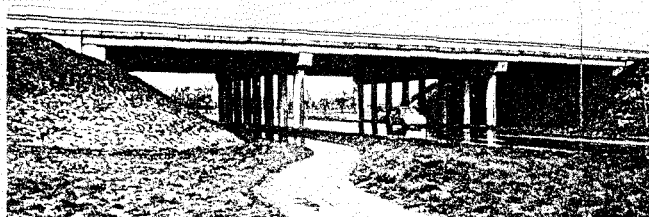
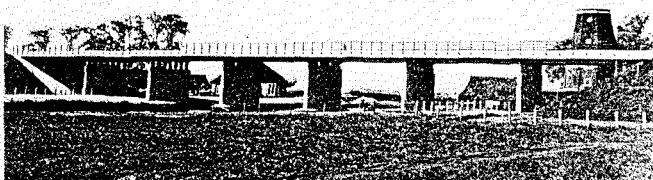
De Pelserbrug te Dordrecht, 1873. Ondersteuning door gietijzeren kolommen in het water.

Betonnen ondersteuning kwamen vooral in gebruik toen omstreeks 1930 werd begonnen met het bouwen van betonviaducten in het kader van het Rijkswegenplan 1928. Meestal bestonden deze ondersteuning uit rijen kolommen in de dwarsrichting van het viaduct op de koppen waarvan de brugopleggingen werden geplaatst. Vaak ook werden de kolommen aan de bovenzijde verbonden door een balk waardoor een portaalconstructie ontstond. Ook kwamen uitvoeringen met betonnen wanden voor.



Het viaduct in de overbrugging van de Oude Maas te Dordrecht. Ondersteuning door rijen betonkolommen.

Brug over het Aduarderdiep in Groningen. Ondersteuning door betonnen wanden.



Viaduct over de weg Zetten-Andelst. Ondersteuning door betonnen portalen.

Beweegbare bruggen

Beweegbare bruggen zijn, wat de bewegende delen betreft, altijd van ijzer. De onderbouw ervan dient mede voor de ondersteuning van draaipunten en dergelijke en bij een aantal typen voor het onderbrengen van de mechanische en elektrische installaties.

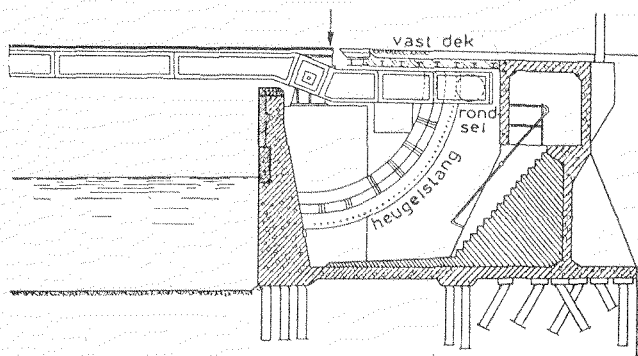
Bij een aantal typen beweegbare bruggen zijn kelders nodig. Vooral bij *basculebruggen* kunnen deze van grote omvang zijn. Slechts bij uitzondering hebben basculebruggen geen kelder. Dit is het geval bij sommige 19de eeuwse bruggen waarbij het staartgedeelte in de open lucht beweegt zoals bij de Lange IJzeren Brug te Dordrecht uit 1856.

De kelders van basculebruggen zijn bestemd voor het erin laten bewegen van de staarten. Aanvankelijk werden de basculebruggen gebouwd met een bereden staart. De kelders waren dan 'open', het kelderdek werd gevormd door het brugdek van de staart. Het bezwaar hiervan was dat bij het openen van de brug het zich op het val bevindende regenwater en slik op de kelder-vloer stortte. Voor het verwijderen daarvan was een slikpomp nodig. Dit systeem werd dan ook verlaten. De bereden staart werd vervangen door een staart die onder een betonnen kelderdek draait in een 'gesloten' kelder. Bij moderne bruggen worden zelfs de noodzakelijke doorvoeren van de hoofdliggers afgedicht.

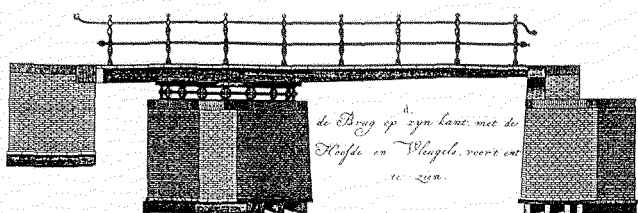
Bij *draaibruggen* komen vaak draai pijlers voor. Bij houten draaibruggen zijn dit meestal houten palen met de nodige schoren en sloven waarop een ijzeren spilhouder wordt geplaatst. IJzeren draaibruggen hebben draai pijlers van metselwerk of beton. De breedte van de draai pijler wordt bepaald door de diameter van de rolring. De doorvaartwijdte wordt bepaald door de breedte van de draaibrug. De draai pijler mag nooit daarbuiten steken. Om aanvaring te voorkomen zijn er geleidewerken die aansluiten op de draai pijler.

Hefbruggen hebben in de meeste gevallen een eenvoudige onderbouw. Bij kleinere hefbruggen worden de lierwerken voor het heffen van de brug op de pijlers of landhoofden geplaatst. Bij grote hefbruggen komen kleine kelders voor ten

behoefte van de mechanische en elektrische installatie. Alleen bij tafelhefbruggen zijn grotere kelders nodig.



Kelder van een basculebrug.



Draai pijler en landhoofden van de houten draaibrug over de Schravelsche Vaart bij het fort Uytendrecht, ca. 1735.

Funderingen

Funderingen zijn de constructies die dienen voor het overbrengen van het gewicht van de onderbouw en de daarop drukkende lasten naar draagkrachtige lagen in de ondergrond.

In Nederland zijn voor het funderen van bouwwerken van belang de *grondsoorten* veen, klei en zand. Veen is zeer samendrukbaar en daarom ongeschikt voor het dragen van bouwwerken.

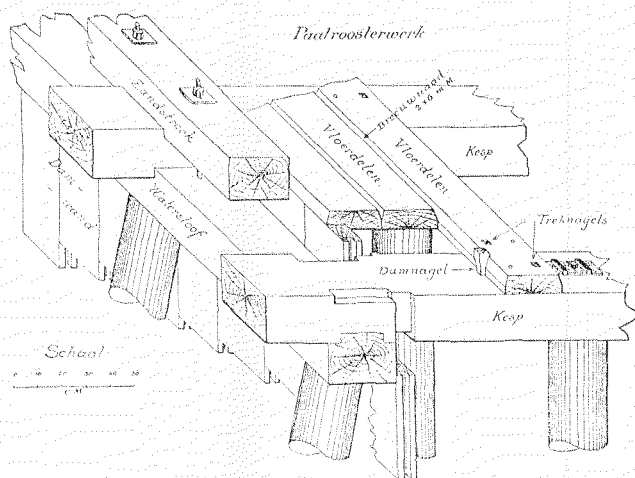
Ook klei vertoont, als het wordt belast, indrukking, zij het minder dan veen. Zand is in Nederland in het algemeen de grondsoort die voldoende draagkrachtig is voor het funderen van bruggen. Na belasting is er een geringe samendrukking, daarna is er in normale gevallen geen zinking van betekenis meer. In een deel van Nederland, in het oosten en het zuiden, komen de zandgronden aan de oppervlakte voor. In het westen en het noorden liggen de zandlagen dieper, afgedekt door klei of veen, soms wel tot meer dan 20 m diepte.

De meest voorkomende funderingsmethoden in Nederland zijn de volgende.

Indien de onderbouw rechtstreeks op een hooggelegen zandlaag kan worden geplaatst spreekt men van een *fundering op staal*.

Als de draagkrachtige zandlaag op grotere diepte is gelegen wordt gefundeerd op *palen* die in de grond worden geheid. Voor 1930 werden houten palen gebruikt, daarna kwamen ook palen van gewapend beton in zwang waaraan na 1950 nog de palen van voorgespannen beton werden toegevoegd. De betonnen palen hadden een aanzienlijk groter draagvermogen dan de houten palen.

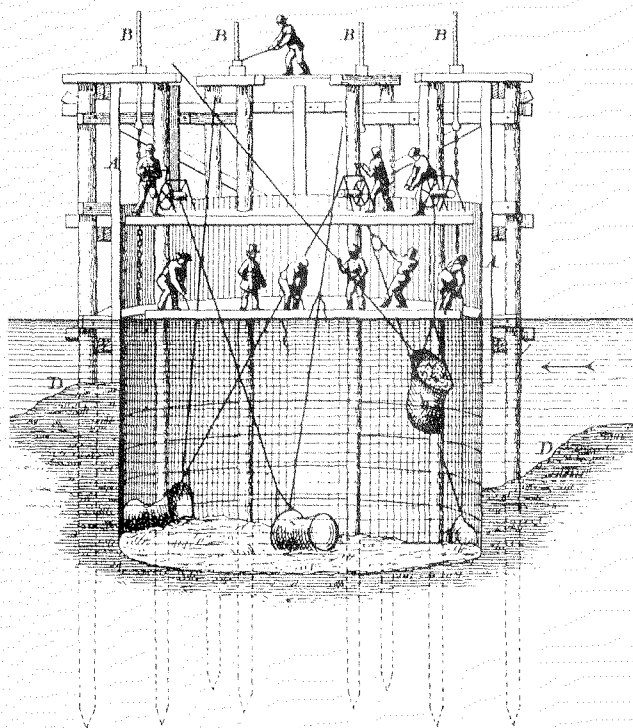
Voor 1940 werden ook reeds funderingen gemaakt van *in de grond vervaardigde palen*. Meestal berust deze funderingsmethode op het inheien of naar beneden trillen van een stalen buis die, zodra zij op de juiste diepte is gebracht, geleidelijk gevuld wordt met beton onder gelijktijdig optrekken van de buis. Vaak worden deze palen voorzien van een korf van wapeningsijzer.



Fundering van houten palen met roosterwerk.

Omdat landhoofden en pijlers van bruggen behalve aan verticale krachten ook onderhevig zijn aan horizontale krachten, bijvoorbeeld door windkrachten op de bovenbouw en de remkrachten van het verkeer, door gronddruk en door de krachten van stromend water, wordt een aantal palen van een paalfundering onder een helling (schoor) geheid teneinde aan deze krachten weerstand te kunnen bieden (*schoorpalen*).

Naast de fundering op staal en de paalfundering is er ook de *caissonfundering*. In de 19de eeuw werden hiervoor gebruikt grote ommantelingen (koffers of caissons genoemd), samengesteld uit ijzeren platen, die men door ontgraving van binnen uit tot op de draagkrachtige laag liet zakken. Daarna werd er eerst, onder water, een afsluitende laag van ongewapend beton in gestort waarop de pijleropbouw werd opgetrokken. In een aantal gevallen is een uitvoering toegepast die men de *pneumatische fundering* noemt, waarbij de ommanteling aan de bovenzijde luchtdicht werd afgesloten met een ijzeren beplating. Tijdens het zakken van de caisson werd daarin lucht geperst waardoor het water uit de caisson werd gedrukt en men daarin in den droge kon werken (ontgraven en betonstorten). Toen in de 20ste eeuw het gewapend beton tot ontwikkeling kwam, werden caissons vooral van beton gemaakt. Behalve het type, dat van onderen open is, waren er ook caissons met een bodem die varend op hun plaats werden gebracht en daar door het inlaten van water werden afgezonken (zinkbakken).



Een caisson voor de onderbouw van de spoorbrug over de IJssel bij Westervoort, 1855.

Literatuur

Geraadpleegde literatuur en literatuur waaraan afbeeldingen zijn ontleend.

- G.J. Arends, C.H. van Eldik, H. Janse, *Compendium constructies. Gebouwen 1800-1849*, serie Bouwtechniek in Nederland, deel 3, Delft 1989.
- K.E. Baars, *Varend vervoeren. Van Amsterdam tot de Rijn. 100 jaar Merwedekanaal*, Utrecht 1991.
- H.Th. Baldinger, H.R.C. Wieberdink, *Bruggen*, serie Weg- en Waterbouwkunde, deel F, Amsterdam 1962.
- J. Balk, *Shell-journaal van Nederlandse bruggen*, Rotterdam 1980.
- J.F. Bertram, *Ijzeren ophaalbruggen*, dissertatie, Delft 1923.
- *Bruggen. Nederlandse bruggen in woord en beeld*, 's-Gravenhage 1979.
- B.H. Coelman, *Beweegbare verkeersbruggen*, Voorburg 1992.
- *Delft wordt modern. Architectuur en Stedebouw 1850-1940*, Delft z.j. (ca.1990).
- M. Förster, *Taschenbuch für Bauingenieure*, II. Band, Berlin 1928.
- N.H. Henket e.a. (red.), *Bruggen*, serie Waterbouwkunde, derde deel, afd.XIV, 4 delen, met atlassen, 's-Gravenhage 1885-1896.
- *Het Nieuwsblad*, 5 november 1993 (foto Felix Jansen).
- E. van der Kleij, *Archiectuur en stedenbouw in Noord-Holland 1850-1940*, Zwolle/Zeist 1993.
- J.H. Kruizinga, *Amsterdam, stad der duizend bruggen*, Naarden 1973.
- M.J. Muller, *Bruggen*, serie Gewapend Beton Bibliotheek, deel 4, Leiden 1916.
- *Nieuwe Rotterdamse Courant/Handelsblad*, 22 februari 1989 (foto ANP).
- J.C. le Nobel, *Bruggen*, serie Waterbouwkunde, deel 4, Amsterdam 1949.
- J. Oosterhoff, *De Hoge Spoorbrug te Zwolle*, Rapport TU Delft, Delft 1985.
- J. Oosterhoff (red.), *Constructies van ijzer en beton. Gebouwen 1800-1940. Overzicht en typologie*, serie Bouwtechniek in Nederland, deel 1, Delft 1988.
- J. Oosterhoff, *Kracht en vorm. De draagconstructie van bouwwerken eenvoudig verklaard*, serie Bouwtechniek in Nederland, deel 4, Delft 1990.
- P. van der Ploeg, *Inventarisatie van bruggen voorkomend in het raamplan waterwegen van de provincie Groningen*, Groningen 1988.
- L.A. Sanders, *Het Cement-ijzer in theorie en praktijk*, Amsterdam z.j. (ca.1907).
- G. Schaper, *Grundlagen des Stahlbaues*, Berlin 1942(7).
- F. Schleicher, *Taschenbuch für Bauingenieure*, Berlin z.j.
- H.J. Struyk, K.H.C.W. van der Veen, *Bruggen*, serie Weg- en Waterbouwkunde, deel IV, Amsterdam 1938(1), 1942(2).
- *Vormgeving van viaducten in verband met functie en omgeving*, Rijkswaterstaat Directie Wegen, 1977.

Tijdschriften.

- *Bouwen met staal.*
- *Cement.*
- *De Ingenieur.*
- *Gewapend beton.*
- *Verhandelingen KIVI.*
- *Wegen.*

