

STERK GEKROMDE TROGBRUG VOOR DE NIEUWE SLOELIJN

ir. J.G.W. Zegers en ing. J.G.M. Schoenmakers, Adviesbureau Wagemaker in Rosmalen

Inleiding

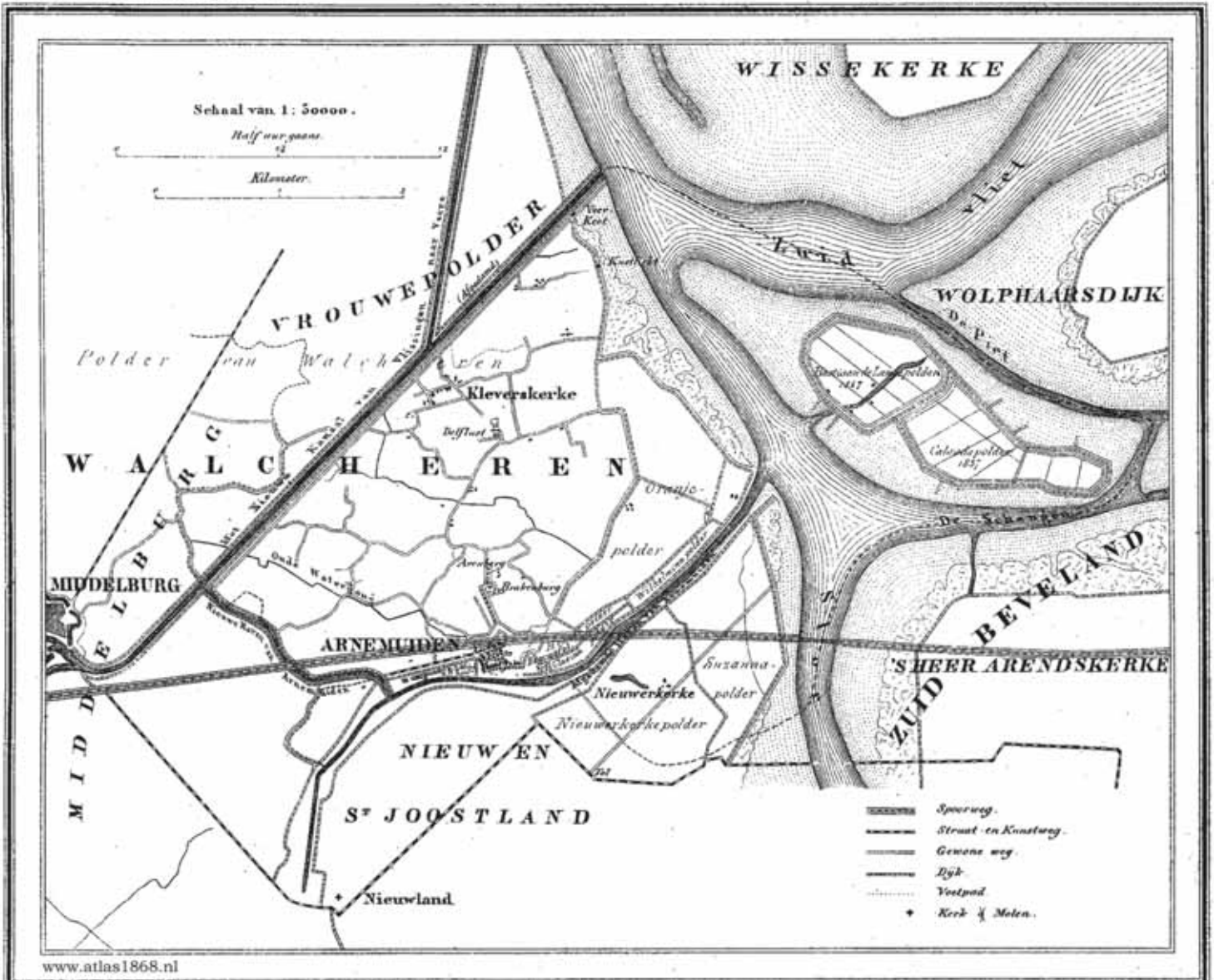
De Sloehaven in Zeeland is sedert vele jaren verbonden met het Nederlandse spoorwegnet via een enkelsporige lijn door de dorpen 's-Heerenhoek, Heinkenszand en 's-Heer Arendskerke. De lijn is niet geëlektrificeerd, zorgt voor veel geluidsoverlast en kent een groot aantal overwegen. Het aantal treinen per dag groeit de laatste jaren sterk. Daarom is besloten een nieuwe aansluiting te maken. De nieuwe Sloelijn takt af van de spoorlijn Roosendaal-Vlissingen, ook wel Zeeuwse lijn genoemd, en loopt langs de zeedijk van het voormalige eiland Walcheren naar de Sloehaven. De nieuwe Sloelijn is drie kilometer lang en telt drie spoorbruggen en een viaduct voor een lokale weg (afb. 1). De spoorbrug die gerealiseerd wordt over de A58 en de daarnaast gelegen Postweg, is een spectaculaire sterk gekromde trogbrug. Deze trogbrug is het onderwerp van dit artikel. Dit artikel beschrijft chronologisch het tot stand komen van deze trogbrug, waarbij een speciale rol was weggelegd voor Adviesbureau Wagemaker tijdens het ontwerp- en uitvoeringsproces. ProRail heeft het tracé laten ontwerpen en het Tracébesluit is vastgesteld en ondertekend in februari 2004. Nadat alle procedures van de tracéwet waren doorlopen is een "Design and Construct" aanbesteding gehouden conform de UAV-GC. Aannemerscombinatie VolkerWessels-Boskalis (VWB) was één van de vijf gegadigden. Van Hattum en Blankevoort (VHB), dochter van VolkerWessels, is in deze combinatie verantwoordelijk voor de kunstwerken en de penvoering. Adviesbureau Wagemaker heeft in opdracht van VHB de betonnen kunstwerken en damwandconstructies ontworpen en geparticipeerd in het ontwerpteam.



1. Het spoorwegnet in de provincie Zeeland met daarin aangegeven de werken voor de verbetering van de spoorontsluiting van de Sloehaven. Langs de 'Zeeuwse lijn' worden geluidschermen geplaatst, de 'Sloelijn' is een drie kilometer lang nieuw tracé en de havenspoorlijn wordt uitgebreid en geëlektrificeerd. (kaartje uit het tracébesluit).

2. Artist impressie van de trogbrug. Deze 3D-visualisatie is gemaakt ten behoeve van het overleg met de Welstandscommissie.





Getekend door J. Kuyper

Uitgave van Hugo Suringar te Loeuwarden.

1233 Buiders, 1500 Inwoners.

3. Historisch kaartje met de Zeeuwse lijn, de voormalige zearm Sloe en het plaatsje Arnhemuiden.

Aanbestedingsfase

ProRail heeft de eisen vastgelegd in een vraagspecificatie. Samen met het Tracébesluit en een aantal tekeningen en sonderingen is dit het startpunt van het ontwerpproces. Verder heeft ProRail het gunningscriterium bepaald op de economisch meest voordelige aanbieding (de aanbiedingsom gecombineerd met de gekapitaliseerde onderhoudskosten). In dit project zijn de eventueel benodigde compensatie-inrichtingen (onderhoudsgevoelige dilataties in de spoorstaven) de onderscheidende onderhoudskosten. Daarnaast was er geen referentieontwerp en dus ook geen bouwvergunning.

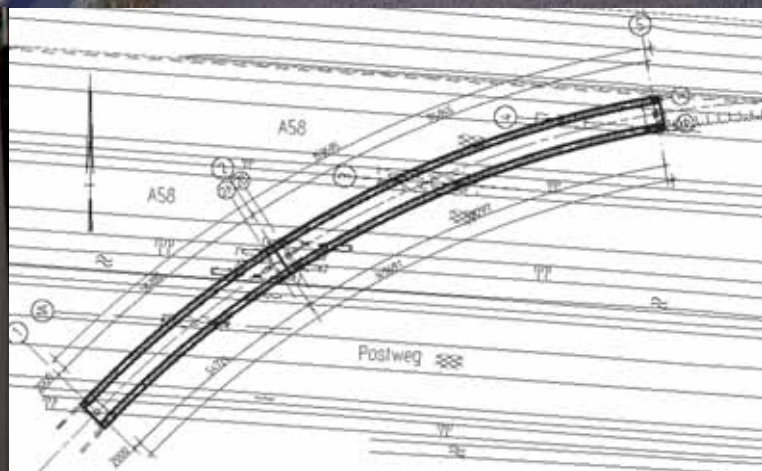
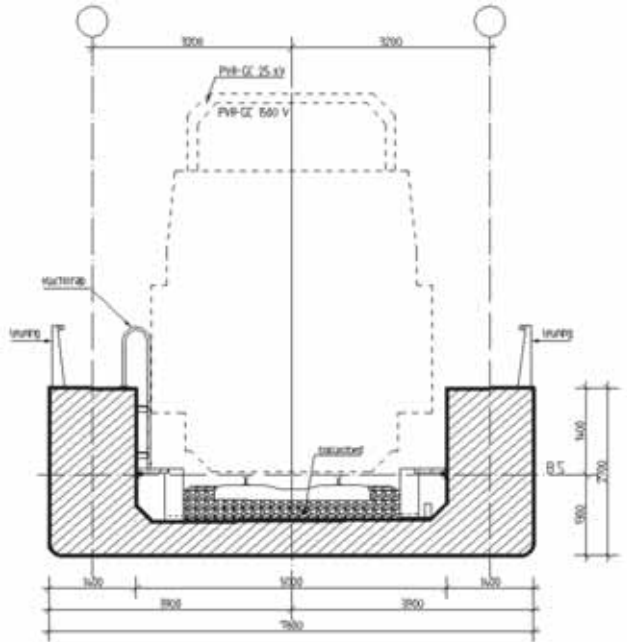
Conform het Tracébesluit kruist de Sloelijn met een scherpe horizontale bochtstraal van 235 m de A58, waarbij de kruisingshoek verloopt van 19 tot 35 graden. De Sloelijn takt af van de Zeeuwse lijn die hier ter plaatse op een dijk ligt op ongeveer 6 m boven NAP. De A58 lag oorspronkelijk circa één meter lager dan de Zeeuwse Lijn. Om een ongelijkvloerse kruising mogelijk te maken moest de A58 verlaagd worden. De scherpe kruisingshoek leidt tot overspanningen van circa 50 meter.

Onderhandelingsfase

Na de aanbesteding is in de onderhandelingsfase door ProRail met twee gegadigden gesproken over het ingediende ontwerp, onduidelijkheden, extra wensen en dergelijke. Deze fase eindigde met de gunning aan de combinatie VolkerWessels-Boskalis.

Alliantiefase

In de alliantiefase is het ontwerp nog iets aangepast omdat in deze fase de bouwvergunning bij de vier betrokken gemeentes is aangevraagd en verkregen. Met name het architectonische ontwerp van de pijlers is gewijzigd. De pijlers zijn voorzien van esthetische ribben die enige gelijkenis vertonen met lamellen van traditionele verwarmingsradiatoren. De Welstandscommissie heeft verder geoordeeld dat de stoere gekromde trog (2,70 m hoog) het niet nodig heeft om opgedirkt te worden met tierelantijnen (afb. 2). In deze fase is tevens aanvullend grondonderzoek verricht. Tijdens de alliantiefase zijn de definitieve berekeningen gestart, opdat berekeningen en tekeningen tijdig beschikbaar zouden zijn voor de uitvoering.



linksboven: 8. Dwarsdoorsnede van de trogbrug met vluchttrap op de randbalk aan de binnenzijde van de boog.

rechtsboven: 5. De verlaagde A58 ligt weer op zijn oorspronkelijke plaats nadat de noordelijke brug is voltooid. De postweg is omgelegd achter het zuidelijke landhoofd, de zuidelijke brug wordt gestort.

linksonder: 6. Trein op de Zeeuwse lijn. In de middenberm van de A58 zijn de twee 'radiatorribben' te zien van de pijler op deze berm. Op de voorgrond de pijler op de berm tussen de A58 en de Postweg.

rechtsonder: 4. Bovenaanzicht van de 140 m lange trogbrug met daarin de stralingsmaten en de ondergrond.

Ontwerp van de brug

In het Tracébesluit is vastgelegd dat de Sloelijn zich ondergeschikt moet voegen in het Zeeuwse landschap. In de vraagspecificatie is dan ook vastgelegd dat pergolaconstructies en grote hooggelegen draagconstructies niet geaccepteerd worden. Kortom: het neigt naar een trogbrug.

Eén van de grote voordelen van trogbruggen is de geringe constructiehoogte. De constructiehoogte is het hoogteverschil van bovenkant spoor tot onderkant constructie; bij een spoor in ballast op een enkelsporige trog is die hoogte circa 1,25 m. Met de kleinst mogelijke constructiehoogte wordt de A58 zo weinig mogelijk verlaagd en daarmee wordt de lengte van de ontgraving het kleinst. Op deze wijze is het gelukt om de A58 net voldoende boven het hoogste grondwaterpeil te houden waardoor een 40 m brede tunnelbak niet nodig was. De verlaging van de A58 doorkruist ook de ringdijk om Walcheren, die ook hier nog altijd een primaire waterkering is! Middels een kanteldijk is de waterkering gesloten en zijn de eisen van het Waterschap Zeeuwse Eilanden vervuld. Op het historische kaartje wordt de aftakking van de Zeeuwse lijn rechts van het dorp Arnemuiden gesitueerd langs de zeedijk van het

eiland Walcheren (afb. 3).

Een ander groot voordeel van trogbruggen is de mogelijkheid om binnen zekere grenzen de locatie van de steunpunten vrij te kiezen. De steunpunten van deze trogbrug zijn ten opzichte van de gekromde lengte van de brug asymmetrisch.

Het uiteindelijke resultaat van de voorgaande fasen is oogstrelend. Het definitieve ontwerp is een horizontaal sterk gekromde statisch onbepaalde trogbrug met een totale lengte van 140 m. De horizontale boogstraal is slechts 235 m en daarmee is de brug uniek in Nederland. De brug is ontworpen voor goederentreinen met een ontwerpsnelheid van 40 km per uur (afb. 4).

Een aantal projectspecifieke zaken wordt hierna beschreven.



7. De trogbrug gezien vanaf het noordelijke landhoofd, waarbij de sterke kromming goed zichtbaar is.

Ontwerpkeuze voor de dilatatie en de plaats van de rempijlers

Nadat de keuze voor een trogbrug definitief was gemaakt, zijn verschillende alternatieven onderzocht voor dilataties en rempijlers. Dit in nauwe samenwerking met de wegenbouwers die het ontwerp van de verlaging van de A58 en de tijdelijke omlegging verzorgden en de ontwerpers van de aardebaan. De laatsten wilden graag werk met werk maken. De grond van de in de jaren zestig van de 20e eeuw aangelegde aardebaan van de A58 is uitstekend geschikt voor de aanleg van de nieuwe aardebaan voor het tracé van de Sloelijn (afb. 5).

Het verkeer op de A58 en de Postweg moet vrijwel altijd door kunnen gaan en om economische redenen is het onmogelijk om onder de in aanbouw zijnde trogbrug door te rijden. Verder is het vanwege de uitvoeringstechniek, de lengte van de voorspankabels en de aanwezigheid van langgelaste spoorstaven zeer wenselijk om een dilatatie in de brug aan te brengen. De plaats van de dilatatie is gekozen in de berm tussen de Postweg en de A58. De brug is in twee fasen gebouwd; eerst de noordelijke trog over de A58 en vervolgens de zuidelijke trog over de Postweg.

Bij het ontwerpen en beoordelen van de alternatieven zijn de belangrijkste 'wetten van het spoor' steeds nauwgezet gevolgd. Deze 'wetten' zijn:

1. gij zult de beëindiging van een kunstwerk haaks op het spoor maken;

2. gij zult ernaar streven om onderhoudsgevoelige compensatie-inrichtingen (dilataties in de spoorstaven) indien mogelijk te vermijden;
3. gij zult de kunstwerken in de richting van het spoor zeer stijf fixeren.

De eerste wet leidt ertoe dat bij zeer scherpe kruisingshoeken de overspanningen van de kunstwerken groter worden. De tweede wet leidt bij een spoor in ballast tot een maximale dilaterende lengte van ca. 65 m. De dilaterende lengte is de afstand van het fixatiepunt van het brugdek (rempijler) tot het vrije einde. De derde wet leidt tot zeer robuuste rempijlers. De rempijler van de noordelijke trog in de middenberm van de A58 is een drie meter dikke massieve schijf. Deze pijler is echter vanwege zijn grote kruisingshoek met de trogbrug niet geschikt om een dilatatie van de trogbrug te herbergen. Uiteindelijk is ervoor gekozen om de dilatatie te situeren ter plaatse van het steunpunt op de rempijler van de zuidelijke trog, in de tussenberm van de A58 en de Postweg. Deze pijler heeft in verband met deze dilatatie van de trog zeer forse afmetingen. Deze pijler is hol (doosconstructie) en is zo groot dat er bijna een eengezinswoning in zou passen. De aansluitende ribben, die een esthetische functie hebben, geven het geheel een robuust uiterlijk (afb. 6).



9. Situatie eind 2007, het betonwerk van de noordelijke brug is gereed, het ballastbed kan aangebracht worden, de opstorten op de buitenste randbalk zijn voor de later te plaatsen bovenleidingmasten.

Langskrachtenberekening

Voor het bepalen van de afdracht van de krachten in langsricting van het kunstwerk is door Wagemaker een langskrachtenrekenmodel opgesteld. Deze krachten bestaan in hoofdzaak uit de rem- en aanzetkrachten van de treinen en de temperatuurbelasting. De standaardrekenmethode volgens de Ontwerpvoorschriften van de Spoorwegen is niet toereikend voor deze sterk gekromde brug (afb. 7). Door de kromming ontstaan er radiale belastingen op de onderbouw. Om de invloed van de horizontale kromming van de trog in rekening te brengen is een ruimtelijk langskrachtenmodel (3D-raamwerkmodel) opgesteld. Op basis van dit mechanisch model zijn de krachten en de verplaatsingen bepaald en daarmee kon worden aangetoond dat alle eisen van ProRail vervuld zijn.

Trogdoorsnede

De in het werk voorgespannen trogbrug is uitgevoerd in beton van klasse C35/45. De vloerdikte bedraagt tenminste 0,55 m, de randbalken zijn 1,40 m breed en 2,70 m hoog (afb. 8). Dit betekent dat de trog circa 10 m³ beton per strekkende meter bevat. Tezamen met het ballastbed is de betonnen trog ongeveer drie keer zo zwaar als de mobiele treinbelasting. Het schouwpad is gelegen op de randbalk aan de binnenbocht.

De bovenleidingmasten staan op de randbalk aan de buitenbocht (afb. 9).

De brug is afgewerkt met een esthetische fraaie leuning van roestvaststaal waarbij de panelen tussen de balusters bestaan uit strekmetaal (afb. 10).

De trog is ontworpen voor zowel 1500 V gelijkspanning als 25 kV wisselspanning zodat in de toekomst zonder hak en breekwerk de tractiespanning gewijzigd kan worden. Hiermee is bij het ontwerp van de benodigde zwerfstroomvoorzieningen rekening gehouden.

Krachtenverdeling in de constructie

De trogbrug is gemodelleerd in een 3D-volumemodel in het eindige elementenprogramma Ansys. Hiermee zijn de wring- en dwarskrachten in de brugconstructie berekend. De resulterende spanningen uit dit model zijn uitgewerkt naar de benodigde hoeveelheid voorspanning en aanvullende wapening. Gezien de asymmetrische plaatsing van de pijlers heeft dit geleid tot een asymmetrisch voorspanverloop voor de binnen- en buitenbalk (afb. 11). Een aantal specificaties van de voorspanning in langsricting:

Noordelijke trog: 12 + 9 kabels à 3350 kN/kabel. Dit levert 70.000 kN/trog op t=0

Zuidelijke trog: 2 x 8 kabels à 3350 kN/kabel. Dit levert 53.500 kN/trog op t=0



10. Een fraaie roestvaststalen leuning langs het schouwpad.

Ter plaatse van de eindsteunpunten (de landhoofden) en de dilatatie ter plaatse van het steunpunt in de berm tussen de A58 en de Postweg is de brug ook in dwarsrichting voorgespannen (afb. 12).

Fundering

Eind 19e eeuw is de spoorlijn Roosendaal-Vlissingen aangelegd. De stroomgeul tussen Zuid-Beveland en Walcheren is afgedamd door de spoordijk. De afgedamde Sloe slibde dicht met zeer fijn slib nabij de spoordijk. En net op deze plaats is de trogbrug voor de Sloelijn aangelegd. Vooral het slappe lagenpakket heeft een aanzienlijke invloed op het ontwerp van de aardebaan en de funderingspalen. Zetting zorgt namelijk voor een aanzienlijke additionele belasting op de paalfundering, dit resulteert in relatief grote veldmomenten (methode de Leeuw) en negatieve kleeft.

Tijdens de uitvoering van de trog, wanneer de bekisting met 10 kubieke meter beton per strekkende meter brug belast wordt, bleek er een aardig fenomeen. De bekisting van de noordelijke trog die gebouwd is op de locatie waar gedurende 40 jaar het zandlichaam van de A58 de ondergrond heeft voorbelast, kon op staal gefundeerd worden. De bekisting van de zuidelijke trog die gebouwd is op de plaats waar nog nooit significante zandophogingen hebben plaatsgevonden,

moest gefundeerd worden op 23,5 meter lange hulp-palen (stalen buispalen).

Niet Gesprongen Explosieven (NGE)

Tijdens de voorbereiding voor de bouw van de noordelijke trog is een aantal zware explosieven gevonden in het bouwterrein (afb.13). De werkzaamheden aan de brug werden stilgelegd. In opdracht van ProRail is een groot onderzoek naar explosieven gedaan om er zeker van te zijn dat er geen explosieven meer aanwezig zouden zijn. Tijdens het onderzoek zijn de reizigers op de Zeeuwse lijn en de omgelegde A58 beschermd met een muur van zeecontainers. Er werd een groot aantal explosieven gevonden en geruimd; landmijnen, munitie en zelfs een vliegtuigbom (een 500-ponder). Deze vliegtuigbom is in de nabijheid van de bouwlocatie in een zandlichaam tot ontploffing gebracht (afb. 14). De explosieven zijn overblijfselen van de Slag om de Sloedam uit 1944. Een complicatie bij het onderzoek naar explosieven was dat de meeste explosieven bij de aanleg van de A58 in de jaren zestig onder een drie à vier meter dik zandpakket zijn verdwenen, ze lagen door zettingen soms meer dan zes meter diep.

De ontwerplevensduur van bruggen wordt in het algemeen gesteld op 100 jaar. Echter veel bruggen worden voordat die tijd verstreken is geamoveerd vanwege



maatschappelijke ontwikkelingen, zoals weg- en kanaalverbredingen, belastingverhogingen en dergelijke. Militaire explosieven moeten onmiddellijk hun werk doen maar mijnen en blindgangers houden ons zeker een eeuw bezig.

Epiloog

ProRail heeft een naam hoog te houden op het gebied van opdrachtgeverschap van robuuste en fraaie kunstwerken. In dit project is in een sterk concurrerende omgeving een team van projectleiders, werkvoorbereiders, wegebouwers en ontwerpend constructeurs erin geslaagd om een winnend ontwerp te maken (afb.15).

In de uitvoeringsfase is in nauwe samenwerking van medewerkers van Van Hattum en Blankevoort en Adviesbureau Wagemaker een fraai kunstwerk gerealiseerd dat ProRail met ere mag toevoegen aan zijn palmares.

onder: 11. Voorspankoppes ter plaatse van de pijler in de berm tussen de A58 en de Postweg.

boven: 12. De wapening en de voorspanning zijn aangebracht, de binnenbekisting wordt geplaatst. De trog bevindt zich direct naast de Zeeuwse lijn.

Rechterpagina:

linksonder: 13. Binnen de contouren van de zeecontainers worden explosieven gezocht.

boven: 14. Een vliegtuigbom, een zogenoemde 500-ponder, na 63 jaar nog altijd explosief!

rechtsonder: 15. Op de voorgrond de noordelijke trogbrug over de A58, in de verte de zuidelijke trogbrug in de bekisting. De 'radiatorribben' voor de pijlers zijn goed herkenbaar.

