

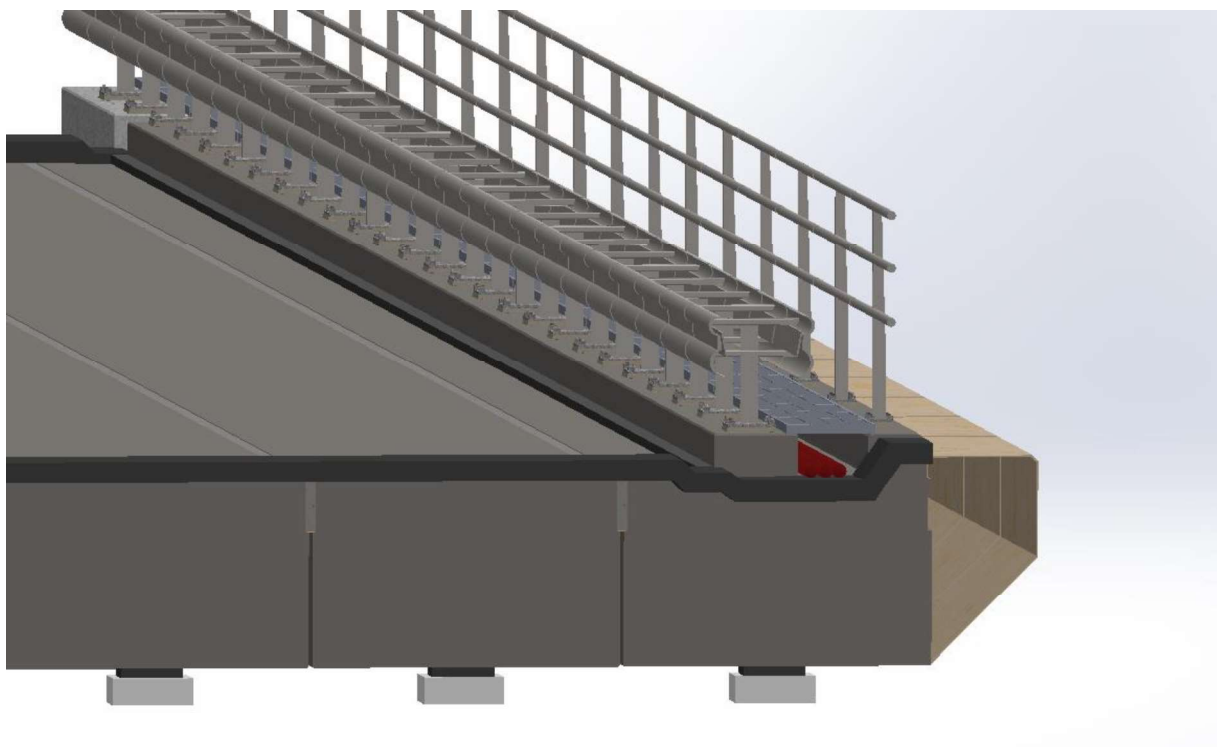


Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Windesheim 

Afstudeerrapport

Standaardisatie en remontabiliteit van
geprefabriceerde betonnen liggers in bruggen en
viaducten



Afstudeeronderzoek civiele techniek – Hogeschool Windesheim

Auteurs: Brian Bakker & Nico Spring in 't Veld
Organisatie: Rijkswaterstaat
Begeleiding door: Dhr. J. van Asten (Rijkswaterstaat)
Dhr. W. van de Bult (Hogeschool Windesheim)

Utrecht, 7 juni 2022

Colofon

Titel	Standaardisatie en remontabiliteit van geprefabriceerde betonnen liggers in bruggen en viaducten
Uitgevoerd binnen	Rijkswaterstaat GPO-DL TTM-Betonnen Bruggen en Viaducten
Auteur Auteur	Dhr. B. R. Bakker Dhr. N. Spring in 't Veld
Studiejaar Onderwijsinstituut Studierichting Adres	2021/2022 Christelijke Hogeschool Windesheim Civiele techniek Campus 2 8017 CA Zwolle Postbus 10090: 8000 GB Zwolle Telefoon: 088 - 469 99 11
opdrachtgever Adres	Rijkswaterstaat Griffioenlaan 2 3526 LA Utrecht Postbus 2232 3500 GE Utrecht Telefoon: 088 - 797 11 11
Schoolbegeleider/eerste Beoordelaar Tweede beoordelaar Bedrijfsbegeleider	Dhr. W. van de Bult Mevr. L. Lappa Dhr. J. van Asten
Datum van gereedkomen	7 juni 2022

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport 'Standaardisatie en remontabiliteit van geprefabriceerde betonnen liggers in bruggen en viaducten'. Standaardisatie en remontabiliteit bieden kansen om het monteren en het demonteren van constructies in de toekomst sneller, goedkoper en eenvoudiger te maken. Daarnaast kunnen bouwcomponenten met een noemenswaardige restlevensduur worden hergebruikt, waardoor verspilling kan worden voorkomen. Daarmee kan ook nog eens invulling worden gegeven aan milieudoelstellingen.

Dit onderzoeksrapport is geschreven om de laatste fase van onze opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Windesheim te Zwolle, het afstuderen, af te ronden. In de periode van januari tot en met juni 2022 hebben wij het onderzoek binnen Rijkswaterstaat bij de afdeling bruggen en viaducten – die tijdens het onderzoek opgesplitst is in de afdelingen *betonnen bruggen & viaducten* en *materialen, stalen bruggen en werktuigbouw* – mogen uitvoeren.

Wij willen Rijkswaterstaat bedanken voor de mogelijkheid om het onderzoek uit te voeren en graag benadrukken we de fijne, gezellige, maar ook zeer professionele werksfeer die wij tijdens het onderzoek hebben mogen ervaren binnen en soms ook buiten de afdeling. Verder willen we graag iedereen bedanken die heeft bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport. In het bijzonder onze begeleiders Jan van Asten (Rijkswaterstaat) en William van de Bult (Hogeschool Windesheim), de collega's van Rijkswaterstaat (waaronder Kees Quartel en Frank van Beek) en de betrokkenen vanuit het bedrijfsleven. De betrokkenheid en het enthousiasme van de vele personen die wij de afgelopen periode hebben mogen ontmoeten en spreken hebben een sterke bijdrage geleverd aan de totstandkoming van dit rapport.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Brian Bakker & Nico Spring in 't Veld.

Utrecht, juni 2022

Samenvatting

Rijkswaterstaat krijgt de komende decennia te maken met de grote vervangings- en renovatieopgave van haar bruggen en viaducten en heeft tegelijkertijd te maken met milieudoelstellingen. Om invulling te geven aan deze opgaven is standaardisatie van (delen van) civiele kunstwerken en remontabel ontwerpen niet alleen gewenst maar ook noodzakelijk. Zo ook bij bruggen en viaducten, waarbij al stappen in de goede richting worden gezet voor het hergebruik van de prefab liggers. Het bruggen- en viaductenareaal van Rijkswaterstaat laat echter een grote variatie zien die standaardisatie en remontabel ontwerpen bemoeilijkt.

Bij het standaardiseren van prefab betonnen liggers dient in eerste instantie gezorgd te worden voor een vast maatsysteem voor de liggerlengtes en de liggerbreedte. Daarbij dienen de systeemmaten voor de liggerlengtes zo goed mogelijk aan te sluiten op veel voorkomende overspanningslengtes. Deze vindt men in situaties waarbij een rijksweg, welke voldoet aan de basiseisen uit de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK), wordt overspannen.

Met negen systeemmaten voor de liggerlengtes, variërend van 21,6 tot 59,2 m¹ kan een noemenswaardig deel van het bruggen- en viaductenareaal doelmatig (met weinig systeemmaten en zonder sterke overdimensionering) worden gebouwd. Verwacht wordt dat de systeemmaat met een lengte van 31,9 m¹ het meest toegepast zal worden. Voor de liggerbreedte geldt dat met slechts één gestandaardiseerde maat, namelijk een liggerbreedte van 1,73 m¹, nagenoeg elk viaduct van Rijkswaterstaat kan worden gebouwd, zonder dat dit resulteert in (ernstige) overdimensionering. Daarbij kan de werkende breedte van één of meerdere liggers worden gevarieerd door het variëren van de breedte van de langsvoegen en dit af te stemmen op de benodigde viaductbreedte.

Niet elk liggertype leent zich even goed voor standaardisatie en remontabiliteit en de verschillende liggertypes vinden hun toepassing in een verschillend overspanningsbereik. Uit de toegepaste MCA blijkt de massieve brugligger het meest geschikt voor het kleine overspanningsbereik tot 25 m¹. Bij overspanningen vanaf 25 m¹ is de kokerligger het meest geschikt.

Liggers vormen in een viaduct meerdere verbindingen onderling en met andere componenten van het viaduct. De verbindingen die aanpassingen vereisen (om de liggers remontabel te maken) zijn de randligger met de schampkant, de dwarsvoerspanning inclusief de langsvoegen en de hijsvoorzieningen. De schampkant wordt daarbij (bij voorkeur) door de prefab betonproducent reeds gestort en zo licht mogelijk uitgevoerd. De dwarsvoerspanning en de langsvoegen ondervinden geen aanhechting met elkaar en met de liggers en de hijsvoorzieningen, bestaande uit kogelkopankers of ankerbussen, moeten worden uitgevoerd in roestvast staal.

Abstract

The Ministry of Infrastructure and Water Management (Rijkswaterstaat) will have to deal with the major 'vervangings- en renovatieopgave' (replacement and renovation task) of its bridges and overpasses and at the same time has to deal with environmental impact targets. In order to fulfill these tasks, standardization of (part of) civil engineering structures and possibilities for reassembling is not only desirable but also necessary. This also applies to bridges and overpasses, where steps in the right direction have already been made for the reuse of precast girders. However, Rijkswaterstaat's bridges and overpasses show a great deal of variation, which makes standardizations and remountable designs more difficult.

When standardizing precast concrete girders, a fixed measurement system for the girder lengths and width should be provided in the first instance. The fixed lengths should match as closely as possible with common found span lengths. This can be found in situations where a motorway, which meets the basic requirements of the 'Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen' (guideline for the design of Dutch motorways), is spanned.

With nine standardized girder lengths, ranging from 21,6 to 59,2 m¹, a significant part of the overpasses can be built efficiently (with few standardized lengths and without significant over-dimensioning). The standardized length of 31,9 m¹ is expected to be the size used most. With regard to the girder width, almost any overpass can be built with only one standardized width of 1,73 m¹, without this resulting in (serious) over-dimensioning. The effective width of one or more girders can be varied by varying the width of the longitudinal joints and adjusting this to the required overpass width.

Not every type of prefab girder is equally well suited for use in standardized and remountable applications. Furthermore, the different girder types find their application in a different span range. The MCA used shows that the solid bridge girder is most suitable for the small span range up to 25 m¹. The box girder is most suitable for spans from 25 m¹ upwards.

In an overpass, girders form several connections with each other and with other components of the overpass. The connections that require adjustments (to make the girders remountable) are the border girders with the integrated curb, the transverse prestressing including the longitudinal joints and the devices used for lifting. The curb is (preferably) already poured by the prefab concrete producer and made as light as possible. The transverse prestressing and the longitudinal joints are neither bonded to each other or the girders. The lifting devices, consisting of ball-head anchors or anchor bushes, will have to be made of stainless steel.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	4
SAMENVATTING.....	6
ABSTRACT	7
INHOUDSOPGAVE	9
FIGURENLIJST	11
AFKORTINGENLIJST	15
SYMBOLENLIJST	16
BEGRIPPENLIJST	17
1. INLEIDING	20
1.1 AANLEIDING	20
1.2 PROBLEEMANALYSE.....	21
1.3 DOELSTELLING.....	23
1.4 VRAAGSTELLING	24
1.5 LEESWIJZER.....	24
2. STANDAARDISATIE IN HET BOUWPROCES.....	25
2.1 INDUSTRIEEL, FLEXIBEL EN DEMONTABEL (IFD) BOUWEN	26
2.2 GESTANDAARDISEERD MAATSYSTEEM BIJ PREFAB BETONNEN LIGGERS.....	26
3. HET GESTANDAARDISEERDE MAATSYSTEEM VOOR PREFAB BETONNEN LIGGERS	28
3.1 HET BRUGGEN- EN VIADUCTENAREAAL VAN RIJKSWATERSTAAT	28
3.2 UITGANGSPUNTEN VOOR HET GESTANDAARDISEERDE MAATSYSTEEM BIJ PREFAB BETONNEN LIGGERS VOOR VIADUCTEN IN EN OVER RIJKSWEGEN	30
3.3 GESTANDAARDISEERDE LIGGERBREEDTE.....	38
3.4 GESTANDAARDISEERD MAATSYSTEEM LIGGERLENGTES	40
3.5 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN.....	45
4. GESCHIKTE LIGGERTYPES VOOR EEN REMONTABEL ONTWERP BINNEN EEN GESTANDAARDISEERD MAATSYSTEEM	48
4.1 PREFAB BETONNEN LIGGERTYPES IN BINNEN- EN BUITENLAND.....	48
4.2 AFWEGING MEEST GESCHIKTE LIGGERTYPE VOOR EEN REMONTABEL ONTWERP BINNEN EEN GESTANDAARDISEERD MAATSYSTEEM	49
4.3 MEEST GESCHIKTE LIGGERTYPES BINNEN HET VEEL VOORKOMENDE OVERSPANNINGSBEREIK	50
4.4 CONCLUSIE & AANBEVELINGEN	51
5. PROGNOSE MEEST TOEGEPASTE LIGGERLENGTE EN VIADUCTBREEDTE	52
5.1 TREND IN DE OVERSPANNINGSLENGTE VAN HET BRUGGEN- EN VIADUCTENAREAAL VAN RIJKSWATERSTAAT	52
5.2 ONTWIKKELINGEN MET INVLOED OP DE PROGNOSE VOOR DE MEEST VOORKOMENDE LIGGERLENGTE	55
5.3 PROGNOSE MEEST TOEGEPASTE LIGGERLENGTE	58
5.4 CONCLUSIE	59
6. AFWEGINGEN COMPONENTEN REMONTABELE LIGGER	60
6.1 ONTWERPSPECIFICATIE REMONTABELE LIGGERDEK.....	60
6.2 AFWEGINGEN	61
7. REFERENTIEONTWERP	68

7.1	TECHNISCHE UITWERKING: LANGSDOORSNEDE	68
7.2	TECHNISCHE UITWERKING: DWARSDOORSNEDE	71
7.3	VISUALISATIE	76
7.4	CONCLUSIE	78
8.	ONTWERPAANBEVELINGEN	79
8.1	ALTERNATIEVEN VOOR EEN POLYSTYREEN BINNENKIST	79
8.2	REMONTABELE LIGGER IN ANDERE SITUATIES	80
8.3	VOEGOVERGANGEN.....	81
8.4	TOETSING AAN RICHTLIJN ONTWERP KUNSTWERKEN	82
9.	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	83
9.1	TERUGKOPPELING DOELSTELLINGEN EN DEELVRAGEN	83
9.2	CONCLUSIE HOOFDVRAAG	84
9.3	AANBEVELINGEN.....	84
10.	VERWIJZINGEN	86
11.	BIJLAGEN	91
BIJLAGE A.	R-LADDER: STRATEGIEËN VAN CIRCULARITEIT	91
BIJLAGE B.	HET BRUGGEN- EN VIADUCTENAREAAL VAN RIJKSWATERSTAAT	92
BIJLAGE C.	INVENTARISATIE BLOKMARKERING TER PLAATSE VAN VIADUCTEN	110
BIJLAGE D.	VALIDATIE TREND IN OVERSPANNINGSLENGTE	115
BIJLAGE E.	ONTWIKKELINGEN MET INVLOED OP DE MEEST VOORKOMENDE LIGGERLENGTE.....	120
BIJLAGE F.	ACHTERGRONDINFORMATIE GRAFISCHE ONTWIKKELINGEN	129
BIJLAGE G.	GESTANDAARDISEERDE DAGMATEN EN LIGGERLENGTES	134
BIJLAGE H.	BEPALING OVERTOLLIGE VIADUCTBREEDTE BIJ GESTANDAARDISEERDE LIGGERBREEDTES	151
BIJLAGE I.	KRUISINGSHOEK	155
BIJLAGE J.	ANALYSE MEEST GESCHIKTE LIGGERTYPE REMONTABILITEIT	186
BIJLAGE K.	VOEGOVERGANGEN	200
BIJLAGE L.	AFWEGINGEN COMPONENTEN REMONTABELE LIGGER.....	206
BIJLAGE M.	RESULTATEN ONTWERPPROCES	211
BIJLAGE N.	VISIES THEORETISCHE VARIANTEN VERVANGEN POLYSTYREEN BEKISTING KOKERLIGGER.....	221

Figurenlijst

FIGUUR 1-1: DEMONTAGE LIGGERS VIADUCT A9	20
FIGUUR 1-2: R-LADDER OF CIRCULAIR INFRASTRUCTURE (JESSICA LEFFERS, 2022)	21
FIGUUR 2-1: INCREMENTAL LAUNCHING METHOD A16 ROTTERDAM	25
FIGUUR 3-1: TERMEN AANDUIDING LENGTE VIADUCT	28
FIGUUR 3-2: AANTAL GEBOUWDE OVERSPANNINGEN PER OVERSPANNINGSLENGTEKLASSE (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	29
FIGUUR 3-3: AANDEEL VASTE BRUGGEN EN VIADUCTEN PER KRUISINGSHOEK (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	29
FIGUUR 3-4: AMBITIEKAART HOOFDWEGENNENET 2040 (MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, 2012)	31
FIGUUR 3-5: SPITSTROKEN IN NEDERLAND (WEGENWIKI, 2022B)	33
FIGUUR 3-6: VIADUCT MET EEN SCHEEF KRUISENDE WEG OVER HET VIADUCT (A15 TER HOOGTE VAN AFRIT 19 – ROTTERDAM-CHARLOIS) (GOOGLE MAPS, 2022)	34
FIGUUR 3-7: VIADUCT MET EEN KRUISINGSHOEK MET EVENWIDJIGE STEUNPUNTEN AAN DE ONDERLIGGENDE WEG (A28 TER PLAATSE VAN. KOLONEL H.L. VAN ROIJENWEG) (GOOGLE MAPS, 2022)	35
FIGUUR 3-8: RELATIE GESCHIKTHEID SYSTEEM VOOR STANDAARDISATIE EN TOEPASSINGSGRAAD (%)	37
FIGUUR 3-9: LOCATIE RANDLIGGER EN TUSSENLIGGER(S) IN EEN BETONNEN DEK VAN EEN VIADUCT (GIVERBO, 2022)	38
FIGUUR 3-10: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEG OP EEN VIADUCT (MATEN IN MM ¹)	39
FIGUUR 3-11: SCHEMATISCHE WEERGAVE HOOG GEFUNDEERD LANDHOOFD (WIKIPEDIA, 2022)	42
FIGUUR 3-12: SCHEMATISCHE WEERGAVE LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD (WIKIPEDIA, 2022)	42
FIGUUR 3-13: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEG ONDER EEN VIADUCT MET 1X LANDHOOFD EN 1X MIDDENSTEUNPUNT, EXCLUSIEF GEVOLGEN DOOR VERKANTING (MATEN IN MM ¹)	43
FIGUUR 3-14: MAATVOERING TUSSENSTEUNPUNT / LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD	43
FIGUUR 3-15: SYSTEEMMATEN 9 GESTANDAARDISEERDE LIGGERLENGTES (IN M ¹)	46
FIGUUR 4-1: MULTICRITERIA-ANALYSE MEEST GESCHIKTE PREFAB LIGGERTYPE VOOR TOEPASSING IN EEN REMONTABEL DEK	49
FIGUUR 4-2: MEEST GESCHIKTE LIGGERTYPE VOOR GEBRUIK IN EEN REMONTABEL ONTWERP MET EEN GESTANDAARDISEERD MAATSYSTEEM VOOR RIJSWEGEN NAAR OVERSPANNINGSLENGTE	50
FIGUUR 5-1: MAXIMALE CONSTRUCTIEBREEDTE PER BRUG OF VIADUCT (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	53
FIGUUR 5-2: GEMIDDELDE OVERSPANNINGSLENGTE (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	54
FIGUUR 5-3: TOEKOMSTVOORSPELLING MEEST VOORKOMENDE OVERSPANNINGSLENGTE (PER OVERSPANNING) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	55
FIGUUR 5-4: EFFECT VAN CORONA OP HET WEGVERKEER (CBS, 2022)	56
FIGUUR 5-5: BEVOLKINGSONTWIKKELING 2010-2025 EN 2025-2040 (MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, 2012)	57
FIGUUR 5-6: AMBITIEKAART HOOFDWEGENNENET 2040 (MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, 2012)	57
FIGUUR 5-7: SITUATIE VIADUCT OVER RIJBAAN MET DRIE RIJSTROKEN, MET AANWEZIGHEID VAN EEN MIDDENSTEUNPUNT EN EEN HOOG GEFUNDEERD LANDHOOFD	59
FIGUUR 6-1: MEEST GESCHIKTE LIGGERTYPE VOOR GEBRUIK IN EEN REMONTABEL ONTWERP MET EEN GESTANDAARDISEERD MAATSYSTEEM VOOR RIJSWEGEN NAAR OVERSPANNINGSLENGTE	61
FIGUUR 6-2: DWARSDOORSNEDE KOKERLIGGERCONSTRUCTIE (SPANBETON, SKK KOKERLIGGER, Z.D.)	62
FIGUUR 6-3: EISEN SCHAMPKANTEN (RIJSWATERSTAAT, 2017)	63
FIGUUR 6-4: BESCHIKBARE HIJSVOORZIENINGEN	63
FIGUUR 6-5: NOSING JOINT (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2022)	65
FIGUUR 6-6: FLEXIBELE VOEGOVERGANG (RIJSWATERSTAAT, ROK BIJLAGE DEEL A, 2017)	65
FIGUUR 6-7: RUBBER OPLEGBLOKKEN	66
FIGUUR 6-8: VERWIJDEREN ASFALT MET BEHULP VAN EEN RIPPERTAND (VERACHTERT)	67
FIGUUR 7-1: LANGSDOORSNEDE VIADUCT, DETAIL 01 T&M 04	68
FIGUUR 7-2: DWARSDOORSNEDE VIADUCT, DETAIL 01 T&M 04	68
FIGUUR 7-3: DETAIL 01	68
FIGUUR 7-4: DETAIL 02	69
FIGUUR 7-5: DETAIL 02 INGEZOOMD	69
FIGUUR 7-6: DETAIL 03	70
FIGUUR 7-7: DETAIL 04	70
FIGUUR 7-8: DWARSDOORSNEDE VIADUCT, DETAIL 05 T&M 09	71

FIGUUR 7-9: LANGSDOORSNEDE VIADUCT, DETAIL 05 T&M 09	71
FIGUUR 7-10: DETAIL 05	72
FIGUUR 7-11: DETAIL 06	73
FIGUUR 7-12: DETAIL 06 INGEZOOMD	74
FIGUUR 7-13: DETAIL 07	74
FIGUUR 7-14: DETAIL 08	75
FIGUUR 7-15: DETAIL 09	75
FIGUUR 7-16: OVERZICHT VIADUCT (SCHUIN DOORGESNEDEN)	76
FIGUUR 7-17: VISUALISATIE SCHAMPKANT	76
FIGUUR 7-18: VISUALISATIE VOEGCONSTRUCTIE TER PLAATSE VAN SCHAMPKANT	77
FIGUUR 7-19: DOORSNEDE VOEGCONSTRUCTIE LANDHOOFD	77
FIGUUR 8-1: POLYSTYREEN IN KOKERLIGGER (SPANBETON, 2017)	79
FIGUUR 8-2: AFGESCHUINDE LIGGERKOP (QUARTEL K., AFGESCHUINDE LIGGERKOP, Z.D.)	80
FIGUUR 8-3: KRUISINGSHOEK CONCEPTEN	81
FIGUUR 9-1: SYSTEEMMATEN 9 GESTANDAARDISEERDE LIGGERLENGTES (IN M¹)	83
FIGUUR 9-2: SITUATIE VIADUCT OVER RIJBAAN MET DRIE RIJSTROKEN, MET AANWEZIGHEID VAN EEN MIDDENSTEUNPUNT EN EEN HOOG GEFUNDEERD LANDHOOFD	84
FIGUUR 11-1: R-LADDER OF CIRCULAR INFRASTRUCTURE (JESSICA LEFFERS, 2022)	91
FIGUUR 11-2: AANTAL BRUGGEN EN VIADUCTEN PER TIJDSPERODE (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	93
FIGUUR 11-3: AANTAL OVERSPANNINGEN IN BRUGGEN EN VIADUCTEN PER TIJDSPERODE VAN 10 JAAR (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	93
FIGUUR 11-4: AANTAL GEBOUWDE OVERSPANNINGEN PER OVERSPANNINGSGROEP (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	94
FIGUUR 11-5: AANTAL GEBOUWDE OVERSPANNINGEN PER OVERSPANNINGSLENGTE (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	94
FIGUUR 11-6: TOEKOMSTVOORSPELLING MEEST VOORKOMENDE OVERSPANNINGSLENGTE (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	95
FIGUUR 11-7: MAXIMALE CONSTRUCTIEBREEDTE PER BRUG OF VIADUCT (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	95
FIGUUR 11-8: MAXIMALE CONSTRUCTIEBREEDTE PER BRUG OF VIADUCT, PER PERIODE VAN 10 JAAR (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	96
FIGUUR 11-9: AANDEEL VASTE BRUGGEN EN VIADUCTEN PER KRUISINGSHOEK (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	96
FIGUUR 11-10: VERDELING KRUISINGSHOEK NAAR PERIODE (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	97
FIGUUR 11-11: HOOFDVAARWEGENNEN RIJSWATERSTAAT (BINNENVAARTKENNIS, Z.D.)	97
FIGUUR 11-12: GEMIDDELDE OVERSPANNINGEN GROTE BRUGGEN (PERIODE 1951-2020) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	98
FIGUUR 11-13: HALFKLAVERBLADAANSLUITING (WIKIPEDIA, HALFKLAVERBLADAANSLUITING)	110
FIGUUR 11-14: HAARLEMMERMEERAANSLUITING (WIKIPEDIA, HAARLEMMERMEERAANSLUITING)	110
FIGUUR 11-15: TOEKOMSTVOORSPELLING MEEST VOORKOMENDE OVERSPANNINGSLENGTE (PER OVERSPANNING) (RIJSWATERSTAAT, 2022A)	115
FIGUUR 11-16: ONTWIKKELING VOERTUIGKILOMETERS (DANIËLLE SNELLEN (PBL), 2015)	116
FIGUUR 11-17: ONTWIKKELING RITTEN WEGVERVOER (DANIËLLE SNELLEN (PBL), 2015)	117
FIGUUR 11-18: ONTWIKKELING VERVOERD GEWICHT (ROMIJN, 2016)	118
FIGUUR 11-19: PROGNOSES ONTWIKKELINGEN GOEDERVERVOER (DANIËLLE SNELLEN (PBL), 2015)	119
FIGUUR 11-20: BEVOLKINGSPROGNOSE 2015 (CBS, 2020)	129
FIGUUR 11-21: BEVOLKINGSPROGNOSE 2050 (CBS, 2020)	129
FIGUUR 11-22: AMBITIEKAART HOOFDWEGENNEN 2040 (MINISTERIE VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU, 2012)	131
FIGUUR 11-23: RELATIEVE VERDELING VAN DE RIJBAANINTENSITEIT (PAE/H) OVER DE RIJSTROKEN (RIJSWATERSTAAT GPO M.M.V. WITTEVEEN EN BOS, 2022)	132
FIGUUR 11-24: TERMEN AANDUIDING MAATVOERING VIADUCTEN	134
FIGUUR 11-25: MAATVOERING HOOG GEFUNDEERD LANDHOOFD	135
FIGUUR 11-26: MAATVOERING TUSSENSTEUNPUNT / LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD	136
FIGUUR 11-27: BASIS DWARSPROFIEL TWEESTROOKSAUTOSNELWEG ONDER EEN VIADUCT MET 1X LANDHOOFD EN 1X MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM¹)	136
FIGUUR 11-28: BASIS DWARSPROFIEL TWEESTROOKSAUTOSNELWEGEN ONDER EEN VIADUCT MET MIDDENSTEUNPUNT EN MIDDENSTEUNPUNT / LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD (MATEN IN MM¹)	137

FIGUUR 11-29: BASIS DWARSPROFIEL TWEESTROOKSAUTOSNELWEG OP EEN VIADUCT (MATEN IN MM ¹)	137
FIGUUR 11-30: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEG ONDER EEN VIADUCT MET 1X LANDHOOFD EN 1X MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM ¹)	137
FIGUUR 11-31: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEGEN ONDER EEN VIADUCT MET MIDDENSTEUNPUNT EN MIDDENSTEUNPUNT / LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD (MATEN IN MM ¹).....	137
FIGUUR 11-32: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEG OP EEN VIADUCT (MATEN IN MM ¹).....	138
FIGUUR 11-33: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEGEN ONDER EEN VIADUCT MET HOOG GEFUNDEERDE LANDHOOFDEN EN ZONDER MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM ¹).....	138
FIGUUR 11-34: BASIS DWARSPROFIEL DRIESTROOKSAUTOSNELWEGEN ONDER EEN VIADUCT MET LAAG GEFUNDEERDE LANDHOOFDEN EN ZONDER MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM ¹).....	138
FIGUUR 11-35: BASIS DWARSPROFIEL VIERSTROOKSAUTOSNELWEG ONDER EEN VIADUCT MET 1X LANDHOOFD EN 1X MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM ¹)	138
FIGUUR 11-36: BASIS DWARSPROFIEL VIERSTROOKSAUTOSNELWEGEN ONDER EEN VIADUCT MET MIDDENSTEUNPUNT EN MIDDENSTEUNPUNT / LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD (MATEN IN MM ¹).....	139
FIGUUR 11-37: BASIS DWARSPROFIEL VIERSTROOKSAUTOSNELWEG OP EEN VIADUCT ONDER EEN VIADUCT MET 1X LANDHOOFD EN 1X MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM ¹)	139
FIGUUR 11-38: TRANSPORT LIGGER WESTRANDWEG (COBOUW, 2010)	144
FIGUUR 11-39: SCHEMATISCHE WEERGAVE LAAG GEFUNDEERD LANDHOOFD (WIKIPEDIA, 2022).....	144
FIGUUR 11-40: SCHEMATISCHE WEERGAVE HOOG GEFUNDEERD LANDHOOFD (WIKIPEDIA, 2022).....	144
FIGUUR 11-41: BASIS DWARSPROFIEL TWEESTROOKSAUTOSNELWEG ONDER EEN VIADUCT MET 1X LANDHOOFD EN 1X MIDDENSTEUNPUNT (MATEN IN MM ¹)	148
FIGUUR 11-43: VIADUCT MET EEN KRUISINGSHOEK MET EVENWIJDIGE STEUNPUNTEN AAN DE ONDERLIGGENDE WEG (A28 T.P.V. KOLONEL H.L. VAN ROIJENWEG) (GOOGLE MAPS, 2022)	155
FIGUUR 11-42: VIADUCT MET EEN SCHEEF KRUISENDE WEG OVER HET VIADUCT (A15 T.H.V. AFRIT 19 – ROTTERDAM-CHARLOIS) (GOOGLE MAPS, 2022)	155
FIGUUR 11-44: EXTRA BENODIGDE LIGGERS, VEROOorzaakt DOOR DE KRUISINGSHOEK	156
FIGUUR 11-45: MOGELIJKE KRUISINGSHOEKEN (VOORSPANNING MET EEN VERSPRINGING)	158
FIGUUR 11-46: VERSPRINGING PER TWEE, DRIE EN VIER LIGGERS.....	158
FIGUUR 11-47: MOGELIJKE KRUISINGSHOEKEN (VOORSPANNING MET TWEE VERSPRINGINGEN).....	158
FIGUUR 11-48: MODEL EXTRA LIGGERLENGTE VEROOorzaakt DOOR VERDRAAID KUNSTWERK TEN GEVOLGE VAN EEN NIET- LOODRECHTE KRUISINGSHOEK.....	159
FIGUUR 11-49: BEPALING EXTRA LIGGERLENGTE BIJ TOEPASSING NIET-LOODRECHTE KRUISINGSHOEK.....	159
FIGUUR 11-50: VERHOUDING GEWICHT PER M ² DEK EN OVERSPANNINGSLENGTE VOOR VERSCHIEDENE LIGGERTYPES	189
FIGUUR 11-51: MKI-WAARDEN VERSCHIEDENE LIGGERTYPES BIJ VARIËRENDE OVERSPANNINGSLENGTE.....	193
FIGUUR 11-52: MEEST GESCHIKTE LIGGERTYPE VOOR GEBRUIK IN EEN REMONTABEL ONTWERP NAAR OVERSPANNINGSLENGTE.....	196
FIGUUR 11-53: DE ONDERDELEN VAN EEN NOSING JOINT (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2021)	200
FIGUUR 11-54: VOORBEELDEN VINGERVOEGEN (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2021).....	201
FIGUUR 11-55: DIVERSE TYPE MATTENVOEGEN (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2021)	201
FIGUUR 11-56: VERBORGEN VOEGOVERGANG (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2022).....	202
FIGUUR 11-57: LAMELLENVOEG (JOOSTDEVREE, Z.D.).....	202
FIGUUR 11-58: NOSING JOINT (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2022)	203
FIGUUR 11-59: CONCEPT HIJSVOORZIENING (DWARSDOORSNEDE LIGGER)	208
FIGUUR 11-60: LOCATIE LANGSVOEG	211
FIGUUR 11-61: VARIANTEN ONTWERPSESSIE LANGSVOEG, VAN LINKS NAAR RECHTS, RUBBERPROFIEL, BEKISTINGSPLAAT EN RUBBERBAND	211
FIGUUR 11-62: AANGEPASTE SCHAMPKANT	212
FIGUUR 11-63: SCHAMPKANT VOLGENS STANDAARD DETAIL RTD 1010 (RIJKS WATERSTAAT, 2017)	212
FIGUUR 11-64: LOCATIE AFBOW VOORZIENINGEN	213
FIGUUR 11-65: VERBINDINGSMETHODEN	213
FIGUUR 11-66: CONCEPTEN VOEGCONSTRUCTIES TER PLAATSE VAN HET LANDHOOFD (LINKS) EN HET MIDDENSTEUNPUNT (RECHTS) BESPROKEN TIJDENS DE ONTWERPSESSIE	214
FIGUUR 11-67: VERBETERDE ONVERANKERDE BITUMINEUZE VOEGOVERGANG (PLATFORM VOEGOVERGANGEN EN OPLEGGINGEN, 2021).....	215

FIGUUR 11-68: VERZAKKING STOOTPLAAT	215
FIGUUR 11-69: VOORBEELD AFSCHUINING LIGGER.....	215
FIGUUR 11-70: SILENT JOINT ONTWIKKELD DOOR HET ZWITSERSE RSAG (SCHAGENINFRA, 2022)	216
FIGUUR 11-71: SILENT JOINT 500 MM¹	216
FIGUUR 11-72: SILENT JOINT 700 MM¹	216
FIGUUR 11-73: KRUISINGSHOEK CONCEPTEN.....	218

Afkortingenlijst

Afkorting	Betekenis	Afkorting	Betekenis
CO ₂	Koolstofdioxide	MIRT	Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek	NEN	Nederlands Normalisatie Instituut
CB'23	Circulair bouwen 2023	NTA	Nederlandse technische afpraak
DISK	Data Informatie Systeem Kunstwerken	PBL	PlanBureau voor de Leefomgeving
GPO	Grote Projecten en Onderhoud	ROA	Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen
h.o.h.	Hart op hart	ROK	Richtlijn Ontwerp Kunstwerken
IenW	Infrastructuur en Waterstaat	RTD	Rijkswaterstaat Technisch Document
IFD	Industrieel, flexibel en Demontabel bouwen	Rvs	Roestvast staal
i.h.w. (gestort)	In het werk (gestort)	RWS	Rijkswaterstaat
LZV	Langere en Zwaardere Vrachtwagencombinatie	z.d.	Zonder datum
MCA	Multicriteria-analyse	ZOAB	Zeer Open Asfalt Beton

Symbolenlijst

Grootheid	Symbool	Eenheid	Toelichting
Ruimte, tijd en periodieke verschijnselen			
Afschot	s	%	
Hoek	$^{\circ}$	-	graden
Hoogte	h	m^1	
Indrukking	u	mm^1	
Inhoud/volume	V	m^3	
Lengte	l	m^1	
Oppervlakte	A	m^2	
Stijfheid	K	N/mm^1	
Werkende breedte	b_w	m^1	
Mechanica			
(Druk)spanning	σ	Pa	= N/m^2
Gewicht/massa	F	N	Ook regelmatig in kg of ton weergegeven
Gelijkmatig verdeelde belasting	R_{UDL}	kN	
Reactiekracht (t.g.v. tandemsysteem)	R_{TS}	kN	

Begrippenlijst

Algemene Begrippen

Nationale Bruggenbank	De Nationale Bruggenbank is een domein waarop 'tweedehands' bruggen kunnen worden aangeboden die in beheer zijn van overheidsinstanties, die al voor het einde van hun technische levensduur verwijderd worden en die op een dergelijke manier demontabel zijn, dat transport en het opnieuw monteren mogelijk is.
Circulair bouwen	"Ontwikkelen, gebruiken en hergebruiken van gebouwen, gebieden en infrastructuur, zonder natuurlijke hulpbronnen onnodig uit te putten, de leefomgeving te vervuilen en ecosystemen aan te tasten. Bouwen op een wijze die economisch verantwoord is en bijdraagt aan het welzijn van mens en dier. Hier en daar, nu en later" (Quartel J. v., 2022).
Economische Levensduur	De periode waarin een productie- of gebruiksmiddel de tijdens de ontwerp- en/of gebruiksfase toegekende functie(s) op een economisch verantwoorde wijze kan vervullen.
Functionele levensduur	De periode waarin een productie- of gebruiksmiddel alle tijdens de ontwerp- en/of gebruiksfase toegekende functie(s) kan vervullen.
Koplopersaanpak	Aanpak die zich richt op afstemmen van richtlijnen aan de koplopers – ketenpartners die met bewezen innovaties voorlopen op anderen: 'het peloton' – en daarmee aangeeft aan welke standaards het peloton over een paar jaar ook kan voldoen.
Lineair bouwen	Het bouwen waarbij het lineaire patroon wordt gevolgd, zijnde het delven van materialen, het omzetten van materialen in producten, het consumeren/gebruiken van deze producten en het maken tot afval, dat doorgaans niet meer wordt hergebruikt.
Multicriteria-analyse	Systematische aanpak waarmee verschillende (beleids)oplossingen voor een gedefinieerd probleem gerangschikt kunnen worden op basis van verscheidene criteria en wegingsfactoren.
Multimodaal (goederentransport)	Goederentransport waarbij gebruik wordt gemaakt van meerdere modaliteiten (vervoersmiddelen).
Standaardisatie	Het tot op zekere hoogte uniformeren van de inhoud van materiële en immateriële systemen.

Civieltechnische begrippen

Civieltechnische kunstwerken	Een in bouwkundige zin, onnatuurlijk bouwwerk die normaliter geen verblijfsfunctie kent. De term wordt dikwijls gebruikt om infrastructurele constructies aan te duiden. Voorbeelden zijn bruggen, tunnels en sluizen.
Dilateren	Het 'werken' (vervormen) van een materiaal onder invloed van thermische belasting, tijdsafhankelijke vervorming (krimpen en kruip) of mechanische belasting.
Dwarvoorspanning	Gerekt staal, inwendig in of uitwendig aan een betonconstructie bevestigd, bedoelt om afzonderlijke elementen binnen de constructie constructief samen te laten werken door middel van wrijvingsweerstand.
Hydrodemolition	Hydrodemolition is een techniek voor het semi-gecontroleerd verwijderen (wegspuiten) van beton waarbij gebruik wordt gemaakt van water onder ultrahoge druk en waarbij de wapening intact blijft.
Invloedslengete	De lengte van een bouwcomponent waarvan de bewegingen en vervormingen van het component in een vastgestelde richting transleren en roteren.

Kruisingshoek	De hoek waaronder een weg/viaduct een andere weg kruist. Dit kunnen autowegen, vaarwegen of spoorwegen betreffen, waarbij beide wegen van een andere orde kunnen zijn.
Kunstwerk-paspoort	Document waarin de basiskenmerken van een civieltechnisch kunstwerk worden vastgelegd.
Prefab(ricage)	Bouwkundige elementen die in een fabriek, elders als de bouwlocatie, geproduceerd worden en vervolgens naar de bouwlocatie getransporteerd worden om daar toegepast te worden in de te bouwen constructie. Deze term wordt normaliter gebruikt voor elementen van materiaalsoorten die tevens op de bouwlocatie naar het element gevormd hadden kunnen worden. In de praktijk is dit vaak beton.
Pasligger	Ligger in een brug- of viaductdek met prefab betonnen liggers, welke een afwijkende breedte ten opzichte van de andere liggers in het dek kent en waarvan de liggerbreedte slechts eenmalig in het viaduct voorkomt.
Remontabele ligger	Een prefab betonnen ligger is remontabel indien deze ontworpen is voor demontage – het niet-destructief uit elkaar kunnen halen van een samengesteld bouwproduct of element, waarbij het de voorkeur geniet dat dit eenvoudig mogelijk is – en waarbij gelijkwaardig hergebruik – het opnieuw kunnen gebruiken van het element in dezelfde functie, al dan niet na bewerking – mogelijk is.
Schampkant	Een plaatselijke verhoging die met grote regelmaat wordt toegepast als rand bij civieltechnische constructies als bruggen en viaducten. De schampkant kent als functies de geleiding van (regen)water, het voorkomen dat afval op eenvoudige wijze op de vaak aanwezige onderliggende infrastructuur terecht kan komen, het voorkomen van het afrijden van een voertuig en het ruimte bieden aan bevestigingsmiddelen voor het leuningwerk en de geleiderail.
Sponning	Sparing (vaak rechthoekig) in een betondoorsnede.
Steunpunten	Ondersteuningsconstructies die deel uitmaken van civieltechnische kunstwerken met als doel overige onderdelen van het kunstwerk te dragen.

Wetgeving, normgeving en richtlijnen

<i>Bouwbesluit</i>	Het Bouwbesluit 2012 is een verzameling van (technische) voorschriften die gelden voor bouwen en in gebruik nemen van bouwwerken, maar ook over de staat van bestaande bouwwerken. Het bouwbesluit vormt het belangrijkste wettelijke kader voor het bouwen van bouwwerken.
CUR	De CUR-aanbevelingen bestaan uit een aantal door het CROW uitgegeven publicaties, gericht op de bouwsector. Een voorbeeld is CROW-CUR Aanbevelingen 127:2021 – Beton met betongranulaat als fijn en/of grof toeslagmateriaal.
NEN/Eurocodes	De Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut geeft NEN-normen uit. Dit zijn normen, afkomstig uit in Nederland aanvaarde internationale (ISO, IEC), Europese (EN) en nationale normen (NEN).
ROK	ROK staat voor 'Richtlijn Ontwerp Kunstwerken'. Deze door Rijkswaterstaat uitgegeven richtlijn wordt van toepassing verklaard voor civieltechnische kunstwerken die in opdracht van Rijkswaterstaat worden ontworpen en gebouwd.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In het verleden is men bij het ontwerpen en bouwen van constructies altijd gewend geweest dat bouwwerken aan het einde van hun functionele, economische of technische levensduur gesloopt worden. Met het steeds groter worden van het milieubewustzijn, nieuwe inzichten en verbeterde bouwtechnieken is het echter de vraag of het slopen van constructies aan het einde van de levensduur – zeker als dit de functionele levensduur betreft – nog wel het uitgangspunt zou moeten zijn. Het is veel wenselijker dat constructies aanpasbaar zijn en dat bouwcomponenten hergebruikt kunnen worden. In plaats van slopen gaan we demonteren. In dit licht is een aantal jaar geleden de term 'IFD-bouwen', Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen, in het leven geroepen.

Brian heeft affiniteit met en interesse in IFD-bouwen verkregen vanuit zijn ervaringen met de demontage van een viaduct in de rijksweg A9, over het metrostation Gaasperplas en de Kromwijkdreef (zie Figuur 1-1). Bij dit viaduct zijn de verbindingen tussen de betonnen liggers doorgezaagd om deze met zo min mogelijk schade uit het viaduct te kunnen halen, waarna deze konden worden hergebruikt.



Figuur 1-1: demontage liggers viaduct A9

Nico heeft ervaring opgedaan met het inspecteren van civiele kunstwerken. Hierbij is veelvuldig opgevallen dat de staat van verschillende onderdelen binnen een kunstwerk – en soms zelfs bij gelijke onderdelen – erg kan verschillen. De vervangbaarheid van de verscheidene onderdelen is niet altijd even goed, waardoor sommige onderdelen al vroegtijdig gesloopt of vervangen worden. Daarnaast is opgevallen dat het regelmatig voorkomt dat kunstwerken door de tijd heen aangepast zijn. Dit zijn vaak intensieve maatregelen die veel impact op het kunstwerk hebben. Dit heeft de vraag opgeroepen of bepaalde onderdelen van kunstwerken niet makkelijker vervangbaar kunnen zijn en of in het eerste ontwerp niet al rekening kan worden gehouden met toekomstige aanpassingen.

Rijkswaterstaat zit in een lastige periode als het om het beheer van haar infrastructuur gaat. Niet alleen komen steeds strengere milieueisen op Rijkswaterstaat af, tegelijkertijd staat ze aan de voeten van de grootse vervangings- en renovatieopgave van haar bruggen- en viaducten ooit. De beschikbare budgetten zijn daarbij erg beperkt. Deze soms conflicterende aspecten maken innovaties op onder meer het gebied van IFD-bouwen misschien niet alleen wenselijk, maar zelfs noodzakelijk.

Onze interesses en ervaringen, tezamen met de opgaves van Rijkswaterstaat zijn de aanleiding geweest om het onderzoek te richten op de standaardisatie en remontabiliteit van geprefabriceerde (prefab) betonnen liggers bij viaducten.

Met standaardisatie wordt bedoeld het creëren van tot op zekere hoogte geüniformeerde systeemmaten van prefab liggers.

Een prefab betonnen ligger is remontabel indien deze ontworpen is voor demontage – het niet-destructief uit elkaar kunnen halen van een samengesteld bouwproduct of element, waarbij het de voorkeur geniet dat dit eenvoudig mogelijk is – en waarbij gelijkwaardig hergebruik – het opnieuw kunnen gebruiken van het element in dezelfde functie, al dan niet na bewerking – mogelijk is.

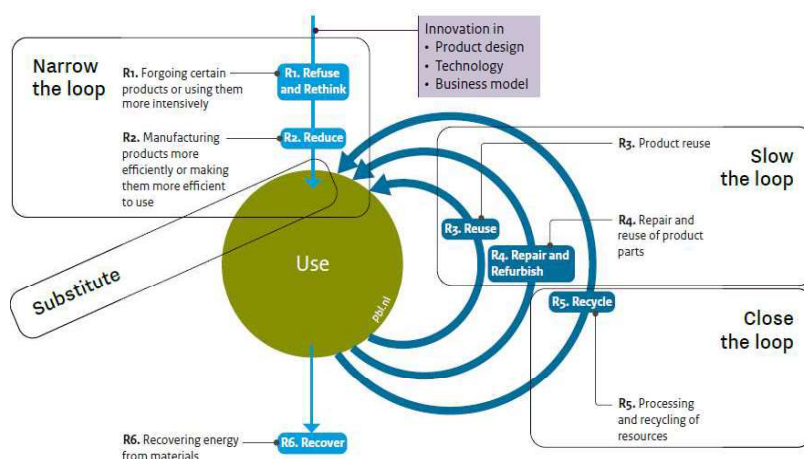
1.2 Probleemanalyse

De afgelopen decennia zijn veel nieuwe inzichten verkregen in de negatieve milieu-impact van een aantal schadelijke stoffen, waaronder broeikasgassen, op onze planeet. Naar aanleiding van dit bewustzijn heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat de ambitie uitgesproken om uiterlijk in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken. Dit betekent dat uitstoot van CO₂, al dan niet met compensatiemaatregelen, met 100% gereduceerd wordt, materialen hoogwaardig worden hergebruikt en dat minimaal een halvering van het gebruik van primaire grondstoffen gerealiseerd wordt ten opzichte van 1990 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020). Rijkswaterstaat en ProRail zijn de uitvoeringsinstanties van het Ministerie en hebben als aanlegger en beheerder van de infrastructuur in Nederland een grote rol in het waarmaken van deze ambitie.

Circulair bouwen is een breed begrip en omvat verschillende niveaus. Dit wordt onder meer beschreven door de *R-ladder of circularity strategies* (Jessica Leffers, 2022). De hoofdgedachte van de circulaire economie is dat producten volledig hoogwaardig kunnen worden hergebruikt. De R-ladder beschrijft dit op zes niveaus, waarvan er drie van toepassing zijn op dit onderzoek. Voor een uitvoerige beschrijving van alle niveaus van de R-ladder wordt verwezen naar bijlage A. De volgende drie niveaus zijn van toepassing:

- **R1. Refuse en Rethink.** De gedachte achter dit niveau is dat het huidige product niet aan de gewenste toekomstige specificaties voldoet. Dit onderzoek zal een ontwerpvoorstel behandelen voor de toekomstige vormgeving van prefab liggers, waarmee een aangepast/nieuw product ontstaat.
- **R2. Reduce.** De gedachte achter dit niveau is dat grondstoffengebruik kan worden verminderd tijdens de productie en het gebruik van producten. In dit onderzoek komt onder meer standaardisatie uitgebreid aan bod. Daarmee wordt aandacht besteed aan een ontwerp waarbij de productie zo efficiënt mogelijk afgestemd kan worden op de gestandaardiseerde producten en waarbij het product geoptimaliseerd kan worden om grondstoffengebruik te beperken.
- **R3. Re-use.** Dit niveau richt zich op het hergebruiken van een product, in gelijke functie door een andere gebruiker. In dit onderzoek wordt fel aandacht besteed aan de remontabiliteit van prefab betonnen liggers.

De bovengenoemde niveaus zijn de drie meest hoogwaardige niveaus van circulariteit (zie ook Figuur 1-2). Daarmee wordt gefocust op oplossingen die niet alleen op de korte, maar ook op de lange termijn toepasbaar zijn.



Figuur 1-2: R-ladder of circular infrastructure (Jessica Leffers, 2022)

Naast het milieuaspect zijn er meer aspecten van waaruit de wens en noodzaak voor gestandaardiseerd en remontabel bouwen geïnitieerd wordt. Deze argumenten worden hieronder toegelicht.

Externe omgevingsaspecten

De samenleving verandert voortdurend. Door technische ontwikkelingen, bijvoorbeeld op het gebied van communicatie en ICT, waarmee onder meer mogelijkheden ontstaan om het verkeer beter te sturen en te begeleiden en waardoor voor een deel van de mensen de mogelijkheid ontstaat om op verschillende locaties (waaronder thuis) te werken- verandert de samenleving zelfs steeds sneller en grondiger. Dit heeft invloed op bouwplannen voor de aanleg en vervanging van infrastructurele werken. Denk daarbij bijvoorbeeld aan veranderende verkeersintensiteiten waardoor een rijbaanverbreding nodig kan zijn. De afgelopen jaren hebben laten zien dat veranderingen abrupt en onvoorspelbaar kunnen zijn. Daarmee komt het in de toekomst mogelijk vaker voor dat bouwwerken ver binnen de technische en economische levensduur niet meer aan wijzigende functionele eisen voldoen. De huidige bouwmethoden zijn niet ingericht om aanpassingen eenvoudig te faciliteren. Hierdoor komt het nu al regelmatig voor dat civiele kunstwerken worden vervangen voordat de technische en economische levensduur is bereikt. Daarbij zijn deze viaducten niet ontworpen op remontabiliteit waardoor sloop helaas nog veelvuldig voorkomt.

Kostentechnisch aspect

Zoals reeds uit de vorige aspecten is gebleken, worden (componenten van) kunstwerken vaak al voor het einde van de technische en economische levensduur gesloopt. Indien de bouwcomponenten niet hoogwaardig kunnen worden hergebruikt ontstaat daarmee kapitaalvernietiging. Hierdoor dienen (niet-geprognosticeerde) investeringen ongewenst naar voren te worden gehaald.

Ondanks de bovengenoemde aspecten, waaruit blijkt dat de wens voor circulair bouwen groot is, wordt dit onder meer bij prefab liggers nog beperkt toegepast. Hier liggen een aantal oorzaken aan ten grondslag:

- De stap van lineair naar circulair bouwen is groot en vereist een aantal nieuwe technische ontwikkelingen. Enkele benodigde ontwikkelingen zijn:
 - Voorzieningen die de krachtsoverdracht tussen liggers in dwarsrichting ten behoeve van de structurele integriteit waarborgen, waarbij de voorzieningen verwijderbaar zijn zonder dat dit nadelige gevolgen voor de ligger kent.
 - Eenvoudig losmaakbare contactvlakken – al dan niet met behulp van voorzieningen – in dwarsrichting tussen de liggers.
- De stap van lineair naar circulair bouwen vereist een grondig andere denkwijze. Waar eerst locatiespecifieke ontwerpen gemaakt werden die zo goed mogelijk aansloten op de locatie, dient nu rekening te worden gehouden met hergebruik. Niet alleen dient de bepaling voor de 'benodigde' levensduur op een andere manier tot stand te komen omdat aanvullende factoren naast de bouwlocatie zelf een rol gaan spelen, ook dient gedimensioneerd te worden op toekomstige inpassing bij hergebruik. In het geval van een rijdek bij viaducten kan dit resulteren in een grotere overspanning dan strikt noodzakelijk.
- De sturing op projecten vond tot voor kort nog voornamelijk plaats op tijd en budget. Dit versterkt de voorkeur om bekende bouwtechnieken toe te passen waardoor innovatie wordt tegengehouden. Een andere manier van opdrachtgeverschap is nodig om innovaties (door de markt) ruimte te bieden.
- De huidige wet- en normgeving, maar ook richtlijnen zijn nog niet optimaal ingericht op remontabel bouwen. Dit bemoeilijkt het ontwikkelen en kunnen toepassen van remontabele ontwerpen. Hoewel langzamerhand steeds meer ruimte wordt geboden om bouwcomponenten te kunnen hergebruiken, zijn beperkingen en bemoeilijkende factoren zeker nog aanwezig.
- Veranderende inzichten en een veranderende maatschappij kunnen invloed hebben op wetgeving, normgeving en richtlijnen. Dit vormt een risico voor constructiedelen die beoogd zijn op hergebruik, omdat deze mogelijk niet aan deze toekomstige wetgeving, normgeving en richtlijnen voldoen. Daarmee zijn investeringen, waarvan het succes afhangt van het succesvol hergebruiken, risicovol.

- De overgang naar circulair bouwen vereist investeringen in nieuwe technieken die niet zouden hoeven te worden gemaakt indien lineair bouwen de norm blijft. De beperkte budgetten om de infrastructuur te vervangen en onderhouden, in combinatie met de kosten die gemoeid zullen gaan met de Vervangings- en Renovatieopgave (VenR), bemoeilijken en beperken de mogelijkheden om te investeren in circulair bouwen. Tegelijkertijd kunnen succesvolle circulaire toepassingen ook ruimte en lucht geven om de VenR opgave aan te pakken. Rijkswaterstaat geeft zelf aan dat innovatie zelfs nodig is om de VenR qua omvang aan te kunnen (Rijkswaterstaat, 2022c).

Uit het bovenstaande blijkt dat de wens en noodzaak voor gestandaardiseerd en remontabel bouwen groot is, terwijl dit helaas door een aantal beperkingen en bemoeilijkende factoren nog niet zoveel wordt toegepast. Nu milieuaspecten als circulariteit steeds hoger op de politieke agenda komen te staan, lijkt er echter steeds meer ruimte en aandacht te komen om deze beperkingen weg te nemen. Met dit onderzoek wordt een bijdrage geleverd aan de technische ontwikkelingen die nodig zijn om gestandaardiseerd en remontabel bouwen mogelijk te maken.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is tweeledig:

- Het inventariseren van de mogelijkheden tot het toepassen van gestandaardiseerde maatsystemen voor geprefabriceerde betonnen liggers en het adviseren over geschikte systeemmaten.
- Het weergeven van een remontabel ontwerp voor een rijdek van een viaduct met prefab betonnen liggers in een verwachte veel voorkomende situatie.

1.4 Vraagstelling

Hoofdvraag: Wat is een geschikte vormgeving voor geprefabriceerde betonnen liggers (in en over bruggen en viaducten van rijkswegen) en hun verbindingen, om deze te kunnen gebruiken in een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp?

1. Welke dimensioneringsaspecten spelen een rol bij het standaardiseren van geprefabriceerde betonnen liggers en welke systeemmaten geven voor deze aspecten de beste invulling aan één gestandaardiseerd maatsysteem?
2. Welke types geprefabriceerde betonnen liggers lenen zich het beste voor een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp?
3. Hoe kunnen geprefabriceerde betonnen liggers van het in deelvraag 2 bepaalde ontwerp, al dan niet in aangepaste vorm, remontabel, aan elkaar en aan overige onderdelen van de brug of het viaduct worden verbonden?

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 - Inleiding beschrijft de aanleiding en probleemanalyse van het onderzoek. Vervolgens wordt de doelstelling weergegeven, tezamen met de hoofdvraag en deelvragen.

Hoofdstuk 2 - Standaardisatie in het bouwproces gaat in op de betekenis van standaardisatie en de voor- en nadelen van het toepassen van standaardisatie op prefab betonnen liggerdekken.

Hoofdstuk 3 - Het gestandaardiseerde maatsysteem voor prefab betonnen liggers beschrijft eerst de uitgangspunten voor het gestandaardiseerde maatsysteem voor prefab betonnen liggers. Vervolgens worden systeemmaten weergegeven die invulling geven aan het maatsysteem.

Hoofdstuk 4 - Geschikte liggertypes voor een remontabel ontwerp binnen een gestandaardiseerd maatsysteem bevat een analyse van de bestaande liggertypes en geeft weer welke types het meest geschikt zijn voor een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp.

Hoofdstuk 5 - Prognose meest toegepaste liggerlengte en viaductbreedte geeft op basis van trends en beleid een prognose weer voor de meest toegepaste systeemmaten, waarop het ontwerp in de opvolgende hoofdstukken gebaseerd zal worden.

Hoofdstuk 6 - Afwegingsproces componenten remontabele ligger beschrijft de overwegingen voor toepassing van bepaalde technieken voor de verschillende verbindingen en raakvlakken van de remontabele liggers onderling en van de remontabele liggers met andere onderdelen van het viaduct.

Hoofdstuk 7 - Referentieontwerp geeft de ontwerpdetails weer voor de diverse verbindingen en raakvlakken van de remontabele liggers. Daarnaast is een driedimensionale visualisatie aanwezig.

Hoofdstuk 8 - Ontwerpaanbevelingen geeft aanbevelingen weer voor mogelijkheden om het ontwerp van de remontabele kokerligger te verbeteren. Daarnaast worden de gevolgen weergegeven indien het ontwerp in andere situaties wordt toegepast.

Hoofdstuk 9 - Conclusie & aanbevelingen geeft antwoord op de deelvragen en de hoofdvraag en behandelt aanbevelingen voor de vervolgstappen.

2. Standaardisatie in het bouwproces

De afgelopen jaren is kenbaar geworden dat Rijkswaterstaat aan de voeten van een grote vervangings- en renovatieopgave van haar civiele kunstwerken staat (Rijkswaterstaat, 2022b). Veel van deze kunstwerken zijn gebouwd in de jaren 60 en 70 van de 20^e eeuw. Door de jaren heen is de verkeersbelasting drastisch verhoogd door meer en zwaarder verkeer. Dit heeft een drukkend effect op de levensduur.

De vervangingsopgave vereist veel geld en capaciteit van opdrachtgevers en opdrachtnemers. Tegelijkertijd worden overheden geconfronteerd met ingrijpende klimaatdoelstellingen die deze vervangingsopgave bemoeilijkheden. Ook speelt hinder voor verkeer en de omgeving een belangrijke rol in het ontwerp en de planning van het nieuwe kunstwerk. Zo wordt in verband met verkeershinder een nieuw viaduct in de A16 ter plaatse van knooppunt Terbregseplein gebouwd met de 'Incremental Launching Method' (zie Figuur 2-1) (A16 Rotterdam, 2022). Hierbij wordt het viaduct vanaf het landhoofd 'gelanceerd' over het knooppunt heen. Deze complexe en dan ook dure methode verdient zonder rekening te houden met locatiespecifieke aspecten zeker niet de voorkeur maar blijkt uit oogpunt van het beperken van verkeershinder toch toegepast te worden.



Figuur 2-1: Incremental launching method A16 Rotterdam

In dit hoofdstuk wordt eerst de term 'IFD bouwen' besproken en de relatie hiervan tot dit onderzoek. Vervolgens wordt de toepassing van een gestandaardiseerd maatsysteem besproken en gerelateerd aan prefab betonnen liggers.

2.1 Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen

Uit de inleiding van dit hoofdstuk blijkt de complexiteit van de vervangingsopgave waar Rijkswaterstaat mee te maken heeft en krijgt. Slimme oplossingen die goedkoper (zonder af te doen aan kwaliteit), duurzaam, circulair, sneller en met zo min mogelijk verkeershinder te bouwen zijn, kunnen bemiddelen in deze opgave. Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen is hierin een uitkomst. Het Nederlands Normalisatie Instituut zegt hierover het volgende: 'In Nederland zijn de komende jaren veel bruggen en sluizen toe aan vervanging of renovatie. Door Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen bieden we een oplossing voor deze opgave en geven we tegelijkertijd invulling aan de klimaatdoelstellingen.' (Nederlands Normalisatie Instituut, 2022).

Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen is driedelig. De begrippen hebben de volgende betekenis (joostdevree, 2022) (Nederlands Normalisatie Instituut, 2022):

- *Industrieel*: bij het bouwwerk wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van industrieel vervaardigde bouwcomponenten. Dit zorgt voor een uniforme hoge kwaliteit van de bouwcomponenten doordat deze in een geconditioneerde werkomgeving kunnen worden gemaakt. Daarnaast biedt dit mogelijkheden voor snel en remontabel bouwen.
- *Flexibel*: elk bouwwerk is gebouwd om bepaalde functies te dienen. Indien de benodigde functie van het bouwwerk dient te veranderen, kan een flexibel bouwwerk hier eenvoudig op inspelen. Daarmee hoeft niet het gehele bouwwerk vervangen te worden.
- *Demontabel*: het bouwwerk bestaat uit elementen die loskoppelbaar zijn. Daarbij dient rekening te worden gehouden met de mogelijkheden tot hergebruik. Met hergebruik kan de technische levensduur van elementen optimaal benut worden, zelfs als een constructie vroegtijdig gesloopt wordt - en er ontstaan meer mogelijkheden om partiel te renoveren indien de technische levensduur van verschillende elementen of bouwdelen ver uit elkaar ligt.

In de basis wordt invulling gegeven aan IFD bouwen middels twee aspecten. In eerste instantie dienen de individueel geprefabriceerde componenten middels demontabele koppelingen te worden gekoppeld. Daarnaast dienen de componenten bij sterke voorkeur onderdeel te zijn van een gestandaardiseerd maatsysteem. Daarmee wordt flexibel bouwen vereenvoudigd. Indien tevens ingespeeld wordt op remontabiliteit is het zaak dat het component geen of alleen eenvoudig herstelbare schade ondervindt bij het demonteren. Het gestandaardiseerde maatsysteem vereenvoudigt en stimuleert tevens het hergebruik.

Om de bovengenoemde ontwerpprincipes optimaal toe te kunnen passen dienen de functie en de eigenschappen van een component in het gehele bouwwerk te worden beschouwd. Daarmee kan maximaal rekening worden gehouden met de flexibiliteit en vervangbaarheid van de component, zonder dat dit een grootschalige (tijdelijke) impact op de rest van het bouwwerk heeft.

2.2 Gestandaardiseerd maatsysteem bij prefab betonnen liggers

Een belangrijk aspect binnen IFD bouwen en het hergebruiken van bouwdelen is het toepassen van gestandaardiseerde systemen. Dit biedt een aantal standaard opties aan voor een product. Daarmee wordt vervanging en herbruikbaarheid sterk vereenvoudigd.

Gestandaardiseerde systemen bieden vele voordelen. Niet zonder reden is bij zowel civieltechnische opdrachtgevers als opdrachtnemers steeds meer aandacht voor standaardiseren gekomen. De volgende voordelen kunnen genoemd worden van gestandaardiseerde systemen voor constructies:

1. Standaardisatie vereenvoudigt en versnelt het ontwerp- en bouwproces.
2. Standaardisatie biedt mogelijkheden om het ontwerp uiterst te optimaliseren. Dit biedt kostentechnische voordelen en materiaalgebruik kan beperkt worden.
3. Producenten krijgen (meer) mogelijkheden om op voorraad te produceren. Hiermee kan efficiënter aanspraak worden gemaakt op de capaciteit en daarmee kan goedkoper geproduceerd worden.
4. Kortere doorlooptijd project door verkorte levertijd en optimaal planbare werkzaamheden.
5. Afname faalkosten door vergrootte mate van voorspelbaarheid.

6. Vereenvoudigd het vergunningsaanvraagproces omdat ontwerp- en bouwspecificaties en vergunningseisen geüniformeerd kunnen worden.
7. Standaardisatie is een zeer geschikte opmaat naar Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen.

Hoewel standaardisatie veel voordelen kent zijn ook een aantal belangrijke nadelen te onderkennen:

1. Gestandaardiseerde kunstwerk(onderdelen) zijn niet altijd optimaal afgestemd op de locatiespecifieke kenmerken en eisen. Dit kan overdimensionering tot gevolg hebben en in voorkomende gevallen is toepassing van bouwmaterialen binnen de gestandaardiseerde systemen zelfs onmogelijk ingevolge van ruimtelijke inpassing.
2. Overdimensionering (zie punt 1) brengt financiële nadelen en milieukosten met zich mee.
3. Wijzigende eisen, normen en richtlijnen brengen de toepasbaarheid van gestandaardiseerde systemen in gevaar en vereisen mogelijk zeer ongewenste systeemwijzigingen.
4. Gerenommeerde gestandaardiseerde systemen beperken mogelijk de innovatiedracht en het onderscheidend vermogen van marktpartijen.
5. Standaardisatie beperkt de mogelijkheden om tot architectonisch unieke oplossingen te komen.

Standaardisatie kent dus zowel voor- als nadelen. De genoemde voordelen maken duidelijk dat het zeker de moeite waard is om op standaardisatie in te zetten. Hoewel standaardisatie initieel gepaard zal gaan met tijd, geld en moeite, zeker voor het ontwerpproces, kan op de lange termijn veel voordeel worden ondervonden van deze investeringen. De genoemde nadelen zijn grotendeels overkoombaar indien zorgvuldig met marktpartijen overlegd wordt. Hierbij is het zaak dat uitsluiting van partijen voorkomen wordt om te voorkomen dat faillissementen geïnitieerd worden en om de concurrentie op peil te houden. Gezien het belang dat marktpartijen vormen binnen het proces naar meer standaardisatie dient Rijkswaterstaat met een proactieve houding marktpartijen te betrekken.

In het licht van dit onderzoek wordt beoogd op het standaardiseren van de dimensionering van de liggers. Onderkent moet worden dat volledige standaardisatie voor dit maatsysteem vooralsnog onrealistisch blijkt. De grootste beperkende factor daarin is het voordoan van locatiespecifieke kenmerken die unieke oplossingen vereisen. Als voorbeeld kan beperkte ruimte worden genoemd. Indien bepaalde kenmerken vaker voorkomen en tot gelijke dimensionering leiden – en de situatie het gebruik van een prefab liggers toelaat – zou een uitbreiding van het gestandaardiseerde systemen de mogelijkheid bieden om ook hier standaardisatie toe te passen. Dit vereist echter voorzichtigheid omdat een gestandaardiseerd systeem met veel systeemmaten enkele voordelen, zoals de mogelijkheden tot het op voorraad produceren, (deels) teniet kan doen. Aanpassing van het systeem zal altijd maatwerk zijn, omdat de gevolgen sterk afhankelijk zijn van de kenmerken van het systeem.

Het succesvol kunnen toepassen van gestandaardiseerde systemen berust op de aanwezigheid van een aantal randvoorwaarden aan het systeem. Deze randvoorwaarden zijn afhankelijk van de kenmerken van het systeem. Het gestandaardiseerde maatsysteem voor prefab betonnen liggers vereist de aanwezigheid van de volgende randvoorwaarden:

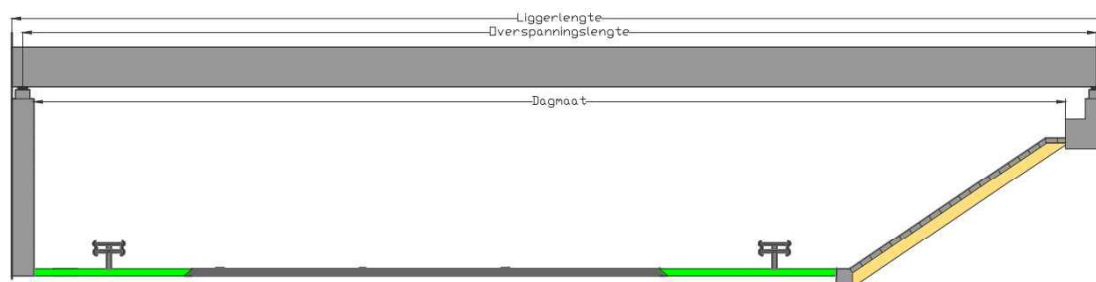
- De productspecificaties dienen nauwgezet te worden vastgelegd zodat deze bekend zijn bij hergebruik van de ligger. Aandachtspunt daarbij is dat de koppeling tussen de productspecificaties en de ligger kloppend is en dat dit kan worden geverifieerd.
- Een aanzienlijk deel van de viaducten dient gebouwd te kunnen worden met een beperkt aantal systeemmaten. De verwachting is dat het aantal systeemmaten in de orde grootte 10 tot 25 dient te liggen.
- De gekozen maatvoering uit het gestandaardiseerde maatsysteem dient direct de andere eigenschappen van de ligger vast te leggen (waardoor geen onderliggende varianten binnen de gekozen varianten ontstaan).

3. Het gestandaardiseerde maatsysteem voor prefab betonnen liggers

Nederland kent een groot bruggen- en viaductenareaal. Veel van deze bruggen en viaducten zijn in beheer van overheidsinstanties. Rijkswaterstaat beheert het rijkswegennet en vaarwegennet en daarmee de bruggen en viaducten die hier onderdeel van uitmaken. Hedendaags heeft Rijkswaterstaat meer dan 3600 vaste bruggen en viaducten in beheer (Rijkswaterstaat, 2022a). Het areaal kent een grote variëteit in constructieopbouw. Deze verschillen liggen onder meer ten grondslag aan de bouwperiode en aan ontwerpkeuzes, welke sterk afhankelijk zijn van de locatiespecifieke eisen. Hoewel de variëteit groot is kennen veel bruggen en viaducten ook weer overeenkomsten. Deze overeenkomsten bieden mogelijkheden tot het standaardiseren van viaducten. In dit hoofdstuk komt aan bod waar de kansen en mogelijkheden liggen om gestandaardiseerde maatsystemen bij betonnen rijdekken toe te passen en hoe deze maatsystemen er in de basis uit zien.

De termen 'dagmaat', 'overspanningslengte' en 'liggerlengte' komen in het vervolg van dit hoofdstuk – maar ook andere hoofdstukken – veelvuldig voor. Daartoe worden deze termen met behulp van *Figuur 3-1* toegelicht.

1. *Dagmaat*: de afstand tussen de voorkant van de oplegconstructies.
2. *Overspanningslengte*: de afstand van hart tot hart van de opleggingen.
3. *Liggerlengte*: de gehele lengte van de ligger.



Figuur 3-1: Termen aanduiding lengte viaduct

3.1 Het bruggen- en viaductenareaal van Rijkswaterstaat

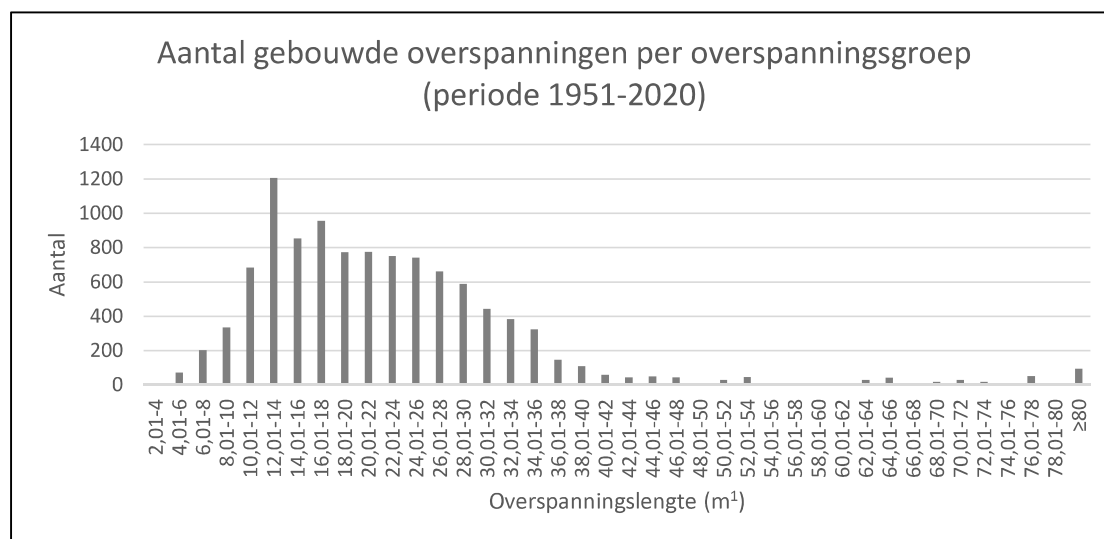
Rijkswaterstaat maakt onderscheid in bruggen en viaducten. Dit onderscheid berust op het volgende. Bruggen overspannen een watergang; viaducten overspannen geen watergang. Gezien het feit dat ruim driekwart van het areaal van Rijkswaterstaat uit viaducten bestaat (Rijkswaterstaat, 2022a) zal in het vervolg van het onderzoeksrapport hoofdzakelijk de term 'viaduct' gebruikt worden indien het formele onderscheid tussen een brug en viaduct in de gegeven situatie irrelevant is.

Rijkswaterstaat heeft meer dan 3600 vaste bruggen en viaducten in beheer. De piek van de bouw van deze kunstwerken heeft plaatsgevonden tussen 1960 en 1980. Ruim 97% van de bruggen en viaducten kent beton als hoofdmateriaal (Rijkswaterstaat, 2022a). De overspanningen die in deze constructies voorkomen zijn zeer divers, zoals te zien is in *FIGUUR 3-2*¹. Desondanks kan een sterke concentratie worden herkend in het overspanningsbereik van 6 m¹ tot ongeveer 50 m¹. De focus voor standaardisatie kan zich daarom het beste binnen dit gebied bevinden.

De constructiebreedtes die daarbij voorkomen bevinden zich voornamelijk in het bereik van 3,5 m¹

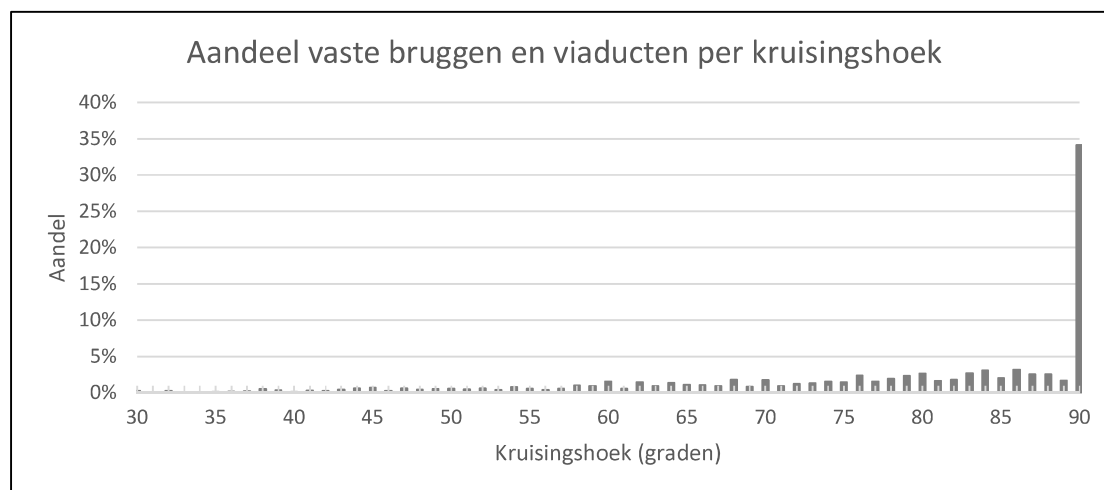
¹ In *FIGUUR 3-2* is de gemiddelde overspanningslengte per brug of viaduct bepaald en opgenomen in de brongegevens waaruit deze grafiek is geëxtrapoleerd. Tevens zijn in deze grafiek circa 200 reeds gesloopte bruggen en viaducten opgenomen.

tot 23,5 m¹, met een duidelijk zichtbare piek bij een constructiebreedte van circa 15 m¹ (*bijlage B, Figuur 11-7*). Daaruit blijkt dat veruit de meeste viaducten slechts één rijbaan accommoderen,



Figuur 3-2: Aantal gebouwde overspanningen per overspanningslengteklasse (periode 1951-2020) (*Rijkswaterstaat, 2022a*)

Naast de overspanningslengte en de constructiebreedte is, gericht op de mogelijkheden tot het breed toepassen van standaardisatie, de kruisingshoek een belangrijk aspect. In *Figuur 3-3* is het aandeel vaste bruggen en viaducten per kruisingshoek weergegeven. Zichtbaar is dat circa 1 op de 3 viaducten een loodrechte kruisingshoek met de ondergelegen weg maakt. Voor bijna 2 op de 3 viaducten geldt dat deze dus onder een andere hoek kruisen. Kruisingshoeken in het bereik van 90° tot 60° komen veelvuldig voor. Hoeken kleiner dan 60° komen beperkt voor. Daarmee zou de eerste focus voor standaardisatie in eerste instantie op loodrechte kruisingen moeten liggen. Voor een brede toepassing van standaardisatie is het echter noodzakelijk om ook aan oplossingen te werken die onder een andere kruisingshoek toegepast kunnen worden. Daarbij zou gefocust moeten worden op kruisingshoeken tot circa 60°.



Figuur 3-3: Aandeel vaste bruggen en viaducten per kruisingshoek (periode 1951-2020) (*Rijkswaterstaat, 2022a*)

In het verleden is bij het ontwerpen van viaducten (maar ook bij andere civieltechnische constructies) altijd de locatie in combinatie met de functionaliteit als uitgangspunt genomen. Daarbij wordt het ontwerp zo optimaal mogelijk afgestemd op de locatie om overdimensionering zoveel mogelijk te voorkomen. Deze gedachte leidt in de basis tot doeltreffende en efficiënte ontwerpen. Met de intrede van remontabiliteit in combinatie met gestandaardiseerde maatsystemen dient deze gedachte echter veranderd te worden. De mogelijkheden tot hergebruik in combinatie met geoptimaliseerde ontwerpen maken overdimensionering tot op zekere hoogte

acceptabel omdat dit vele voordelen kent (zie paragraaf 2.2). Zo wordt hergebruik vereenvoudigd en worden kosten bespaard in het productieproces omdat prefab betonproducenten vaker dezelfde mallen kunnen gebruiken en mogelijkheden krijgen om de beschikbare capaciteit optimaal aan te kunnen wenden indien zij produceren op voorraad.

In alle gevallen dient een keuze te worden gemaakt uit de opties binnen het maatsysteem die zo goed mogelijk aansluit op de situatie. Uiteraard is hierbij een randvoorwaarde dat de prefab ligger, afkomstig uit het maatsysteem, in de gegeven situatie ruimtelijk inpasbaar is en dat de bouwmethode past binnen de gestelde eisen (bijvoorbeeld op het vlak van verkeershinder). In voorkomende gevallen kan het toepassen van prefab liggers uit het gestandaardiseerde maatsysteem, zelfs indien de maten in het systeem zorgvuldig bepaald zijn, leiden tot onacceptabele overdimensionering. Indien gelijke situaties repeterend optreden kan gekozen worden om het maatsysteem uit te breiden.

3.2 Uitgangspunten voor het gestandaardiseerde maatsysteem bij prefab betonnen liggers voor viaducten in en over rijkswegen

Zoals uit de vorige paragraaf is gebleken komt er veel diversificatie voor bij viaducten in en over rijkswegen. Deze diversificatie vindt men in allerlei kenmerken terug; van de overspanningslengte en de constructiehoogte tot het type voegconstructie en de viaductbreedte. Hoewel al deze kenmerken verschillen, ondervinden ze wel afhankelijkheden van elkaar. Zo is de constructiehoogte sterk afhankelijk van de overspanningslengte (in combinatie met het gebruikte liggertype). De belangrijke dimensioneringsaspecten zijn allen afhankelijk van de overspanningslengte (welke op haar plaats weer sterk afhankelijk is van de dagmaat) en de viaductbreedte. Uiteindelijk wordt een liggerlengte toegepast die weer groter is als de overspanningslengte. De liggerlengte en de viaductbreedte vormen daarmee de basis voor het gestandaardiseerde maatsysteem. Het vervolg van dit hoofdstuk gaat in op deze systemen.

3.2.1 – Basissituaties voor het gestandaardiseerde maatsysteem

Het gestandaardiseerde maatsysteem dient met een beperkt aantal systeemmaten een brede toepassing te kennen in nieuw te bouwen viaducten. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van veel voorkomende basissituaties. Een leidende factor voor de benodigde viaductbreedte en liggerlengte is het wegontwerp. Daarmee is het wegontwerp het uitgangspunt voor de basissituaties. De focus ligt daarbij op het wegontwerp van rijkswegen, omdat in alle situaties minimaal op of onder het viaduct een rijksweg aanwezig is en rijkswegen laten zich het beste beschrijven in eenduidige basissituaties. Op deze wijze ontstaat een in de basis zo breed mogelijke toepasbare oplossing. De basissituaties worden beschreven in de *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA)*. In combinatie met normen en de standaarddetails uit de *Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK)* kan vervolgens een dimensionering worden gekoppeld aan de basissituaties voor de viaductbreedte en de dagmaat. Vervolgens dient rekening gehouden te worden met de detaillering van de steunpunten om de vertaalslag van dagmaat naar liggerlengte te maken.

In de basis zijn het aantal rijstroken en toepassing van een hoog of laag gefundeerd landhoofd de sterk bepalende variabelen voor de dagmaat. De maatvoering van overige variabelen wordt daarbij vaak vastgelegd door het aantal rijstroken en de vormgeving van het landhoofd. Met de volgende basissituaties is rekening gehouden:

- De situaties waarbij een rijbaan van een autosnelweg met twee, drie, vier of vijf rijstroken op een viaduct aanwezig is. Hierbij is aangehouden dat een viaduct één rijbaan draagt.
- De situaties waarbij een rijbaan van een autosnelweg met twee, drie, vier of vijf rijstroken onder een viaduct aanwezig is, waarbij zich aan één zijde een hoog gefundeerd landhoofd² bevindt en aan de andere zijde een tussensteunpunt.
- De situaties waarbij een rijbaan van een autosnelweg met twee, drie, vier of vijf rijstroken onder een viaduct aanwezig is, waarbij zich aan één zijde een laag gefundeerd landhoofd² of tussensteunpunt bevindt en aan de andere zijde een tussensteunpunt.
- De situatie waarbij twee rijbanen van een autosnelweg met twee, drie, vier of vijf rijstroken onder een enkel veld van een viaduct aanwezig is, waarbij zich aan weerszijden een laag gefundeerd landhoofd bevindt.

² Toelichting over de toepassing van een hoog of laag gefundeerd landhoofd wordt gegeven in paragraaf 3.4.1.

- De situatie waarbij twee rijbanen van een autosnelweg met twee of drie rijstroken onder een enkel veld van een viaduct aanwezig is, waarbij zich aan weerszijden een hoog gefundeerd landhoofd bevindt.

Er worden geen wijzigingen in de richtlijnen verwacht die wijzigingen in de basisdimensionering tot gevolg zullen hebben (Vos, 2022).

In alle basissituaties is rekening gehouden met de mogelijkheid tot het toepassen van het 4-0 systeem³ bij een snelheid van 70 km/h. Hoewel dit niet een standaard eis is, wordt in het belang van de robuustheid van het netwerk en de mogelijkheden tot het uitvoeren van groot onderhoud wel verwacht dat deze eis in veel gevallen wordt opgelegd. Het kunnen toepassen van het 4-0 systeem stelt als eis dat de rijbaan een minimale verhardingsbreedte van 11,80 m¹ heeft. Dit vereist in de situaties met twee rijstroken een verbreding van de vluchtstrook met 0,30 m¹.



Figuur 3-4: ambitiekaart hoofdwegenet 2040 (Ministerie van

en A9. Ook zijn er verder geen verbredingsplannen naar zes rijstroken op een enkele rijbaan in het MIRT opgenomen. Locaties waar in totaal wel zes of zeven rijstroken per rijrichting zijn gepland bestaan uit een hoofdrijbaan met parallelstroken. Hier is dus geen sprake van een rijbaan met zes rijstroken (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022).

De belangrijkste reden dat meer dan vijf rijstroken zeer beperkt toegepast wordt is dat de toename in capaciteit van een extra rijstrook bij de hoofdrijbaan, binnen het principe van rechts rijden, bij deze hoeveelheid rijstroken beperkt is. Dit is goed terug te zien in **TABEL 3-1**. Bij twee naar drie rijstroken is de toename in capaciteit van een extra rijstrook 2100 mvt/uur. De vierde rijstrook voegt 1900 mvt/uur toe en de vijfde rijstrook voegt 1800 mvt/uur toe. Bij de zesde rijstrook daalt dit snel tot 1500 mvt/uur.

Afbakening aantal rijstroken

In **FIGUUR 3-4** is weergegeven dat de ambitie van het Rijk hoofdzakelijk is opgebouwd uit het creëren van rijkswegen beschikkend over 2x2, 2x3 of 2x4 rijstroken. Daarnaast wil het Rijk op verschillende locaties rondom de grote steden parallelrijstroken toepassen om doorgaand- en bestemmingsverkeer te scheiden (bijlage F.3). In de praktijk is ook de toepassing van 2x5 rijstroken op de A2 en de A4 gebruikt en bevat het MIRT (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022) nog twee verbredingsplannen naar 2x5 rijstroken, namelijk de A4 Burgerveen-N14 en de A8 (Amsterdam, 2019)(bijlage F.5).

De enige locatie in Nederland waar een rijksweg met 2x6 rijstroken is toegepast is de A1 bij Weesp. Echter gaat het hier om een plaatselijke samenvoegen van de rijksweg A1, A6

³ Het 4-0 systeem of contraflow systeem wordt in een aantal gevallen ingezet bij tijdelijke verkeerssituaties op autorijswegen. Het verkeer wordt in deze situatie in beide richtingen op dezelfde rijbaan afgedragen op twee rijstroken per rijrichting. De rijstroken zijn hierbij normaliter gedwongen versmald en een lagere maximumsnelheid wordt ingesteld.

Autosnelwegen, in mvt/uur, bij 15% vrachtverkeer	
Autosnelweg enkelstrooks verbindingsweg met lengte > 1500 m ¹ :	1600-1900 mvt/uur
Autosnelweg enkelstrooks verbindingsweg met lengte < 1500 m ¹ :	1900-2100 mvt/uur
Autosnelweg 2-strooks rijbaan:	4200 mvt/uur (vuistregel circa 2100 per rijstrook)
Autosnelweg 3-strooks rijbaan:	6300 mvt/uur
Autosnelweg 4-strooks rijbaan:	8200 mvt/uur
Autosnelweg 5-strooks rijbaan:	10000 mvt/uur
Autosnelweg 6-strooks rijbaan:	11500 mvt/uur

Tabel 3-1: capaciteit van aanvullende rijstroken (Wegenwiki, 2021b)

Het bovengenoemde laat zien dat de capaciteitstoename door het toevoegen van een extra rijstrook steeds meer afneemt bij een toename van het aantal rijstroken op een rijbaan (vanaf drie rijstroken). Daarnaast blijkt dat er geen formele plannen zijn om rijbanen met zes of meer rijstroken toe te passen. Daarentegen zijn wel plannen bekend waar een rijksweg zal worden uitgebreid naar zes of zeven rijstroken per rijrichting, waarbij deze rijstroken verdeeld zijn over meerdere rijbanen. Hieruit volgt de verwachting dat rijkswegen met zes of meer rijstroken op één rijbaan niet zullen worden toegepast.

Voor een uitgebreid overzicht van de uitgangspunten, maatvoering en getekende dwarsprofielen die horen bij de basissituaties wordt verwezen naar bijlage G.1.

3.2.2 – Afwijkingen op basissituaties

Hoewel de basissituaties breed toepasbaar zijn komen er geregeld afwijkende situaties voor. Dit kan vele oorzaken hebben.

In eerste instantie zijn normen en richtlijnen door de tijd heen veranderd. Zeker ter plaatse van viaducten vindt men zeer geregeld situaties die afwijken van de huidige basisdimensionering van de ROA en ROK. In scherpe bochten kunnen zichtlijnen maatgevend zijn waardoor een verbreding van het viaduct of een grotere overspanning nodig is. Ook kunnen aanvullende voorzieningen aanwezig zijn of kunnen ruimte beperkende factoren resulteren in een afwijkende dimensionering. Zo wordt in voorkomende gevallen niet de (volledige) breedte van de vluchtzone (die in de basissituatie aanwezig is) toegepast. In de regel geldt dat situationele invloeden afzonderlijk slechts marginaal voorkomen, waardoor hier in de basis geen rekening mee wordt gehouden in een gestandaardiseerd maatsysteem.

Een aantal afwijkende situaties die voor kunnen komen op hoofdrijbanen in autosnelwegen worden hieronder uitgelicht.

Blokmarkering

Ter plaatse van weefvakken en op- en afritten is een extra rijstrook – en in sommige gevallen zelfs twee extra rijstroken – aanwezig. Deze rijstroken dienen even breed te zijn als de rijstroken op de hoofdrijbaan, waarmee de situatie lokaal kan worden vergeleken met een rijbaan met een extra rijstrook. Echter, de rijstroken worden gescheiden door een blokmarkering. Deze 0,45 m¹ brede markering maakt geen onderdeel uit van de rijstrook, waardoor dit tot een verbreding van de rijbaan leidt. Circa 4,8% van de overspanningen in viaducten heeft te maken met de aanwezigheid van een rijbaan met blokmarkering onder het viaduct (bijlage C.3). Daarnaast heeft circa 10,4% van de viaducten te maken met de aanwezigheid van een rijbaan met blokmarkering op het viaduct.

Spitsstrook

Een spitsstrook is een versmalde rijstrook met als doel om de capaciteit van een autosnelweg tijdens de spits te verhogen. Dit kan in de vorm van een aangepaste vluchtstrook waarbij vluchthavens de functie van de vluchtstrook overnemen of als versmalde rijstrook aan de linkerzijde van de rijbaan (in het verleden plusstrook genoemd). In beide gevallen wordt met pijlen of een rood kruis aangegeven of de spitsstrook respectievelijk open of gesloten is en wordt de

spitsstrook bij een gebruik van 1350 voertuigen per uur per rijstrook geopend. Spitsstroken zijn in het verleden aangelegd als tijdelijke voorzieningen om de capaciteit van wegen te verhogen op trajecten waarbij de procedures voor verbredingen vastliepen (in het geval van plusstroken ging dit voornamelijk om milieuwetgeving) en het tracébesluit is vernietigd. Na invoering van de speedwet *wegverbreding* zijn veel spitsstroken semi-permanent geworden omdat verbredingen op zich laten wachten. In totaal is 309 km van de 7842 km (Wegenwiki, 2021a) rijksweg in Nederland voorzien van een spitsstrook. Daarbij wordt niet verwacht dat spitsstroken veelvuldig gaan worden toegepast omdat een aantal zwaarwegende nadelen vallen te onderkennen:

- Een spitsstrook moet met camera's gecontroleerd worden op obstakels voordat deze rijstrook geopend mag worden. In het geval dat een obstakel aanwezig is of als niet gecontroleerd kan worden op de aanwezigheid van obstakels (bijv. bij mist), gaat de rijstrook niet open.
- Een spitsstrook aan de linkerkant van de weg is bijna even duur als de aanleg van een extra rijstrook.
- De veiligheid van een spitsstrook is lager dan van een volwaardige rijstrook en voornamelijk bij aansluitingen gebeuren significant meer ongelukken.
- Een spitsstrook aan de rechterkant van de weg kan geblokkeerd worden door een voertuig met pech waardoor de capaciteit van de weg flink afneemt. Tijdens spitsstijd is dit nagenoeg een garantie op files.

(Wegenwiki, 2019) (Wegenwiki, 2022b) (Rijkswaterstaat, z.d.)

Zoals in het voorgaande is weergegeven komen verschillende afwijkingen voor, welke bovendien resulteren in verscheidene afwijkingen in de maatvoering van het basisdwarsprofiel. De mate waarin een zekere afwijking bij viaducten voorkomt is echter beperkt en ligt veelal in de ordegrootte 5% of kleiner. Een specifieke afwijking komt daarmee te weinig voor om hier in den beginsel rekening mee te houden bij het gestandaardiseerde maatsysteem. Het aantal systeemmaten zal dan namelijk sterk groeien en de effectiviteit van het systeem onacceptabel drukken (zie paragraaf 2.2). Daarentegen is enige mate van flexibiliteit van het systeem – denk aan het kunnen toepassen van dezelfde ligger voor de situatie met en de situatie zonder aanwezigheid van een blokmarkering – gewenst, om het aantal systeemmaten te kunnen beperken en om in afwijkende situaties daarmee sterke overdimensionering te voorkomen.

Kruisingshoek

Naast de genoemde afwijkingen is de kruisingshoek een nadrukkelijk bijzonder aspect waar rekening mee gehouden dient te worden. In paragraaf 3.1 werd reeds zichtbaar dat circa 2 op de 3 viaducten geen loodrechte kruisingshoek met de onderliggende weg maakt. Daarmee wordt het toepassingsgebied van het gestandaardiseerde maatsysteem zeer beperkt indien deze alleen geschikt is voor loodrechte kruisingshoeken. De spreiding van de toegepaste kruisingshoeken is echter zeer divers. Naar de toekomst toe heeft men de volgende mogelijkheden:

- Het toepassen van kruisingshoeken zoveel mogelijk voorkomen en/of indelen in klassen. Hiertoe zou bijvoorbeeld getracht kunnen worden enkel kruisingshoeken van 90°, 85°, 80°, et cetera toe te passen. Het gestandaardiseerde maatsysteem voor de prefab liggers zou kunnen worden uitgebreid met systeemmaten die geschikt zijn voor toepassing onder deze gestandaardiseerde kruisingshoeken. Hierbij dient gewaakt te worden op het beperken van het aantal systeemmaten om te voorkomen dat voordelen van standaardisatie wegvallen. Een tweede mogelijkheid is het ontwerp op een dergelijke manier opstellen dat een gelijke ligger flexibel onder verscheidene kruisingshoeken kan worden toegepast.



Figuur 3-5: spitsstroken in Nederland (Wegenwiki, 2022b)

- Het toepassen van kruisingshoeken op gelijke wijze voortzetten. Hiertoe dient een gelijke ligger flexibel onder verscheidene kruisingshoeken te kunnen worden toegepast. Het uitbreiden van het gestandaardiseerde maatsysteem met systeemmaten die star onder een enkele kruisingshoek gebruikt kunnen worden is hier geen mogelijkheid. Dit resulteert in dermate veel systeemmaten dat niet meer van standaardisatie kan worden gesproken. Daarbij wordt hergebruik sterk bemoeilijkt, omdat de kans dat een gelijke situatie zich aandient waar de liggers kunnen worden hergebruikt zeer klein is. Succesvol hergebruik zal in veel gevallen dan enkel mogelijk zijn indien de ligger gemodificeerd wordt om aan te sluiten op de dimensioneringseisen in een nieuwe situatie.

Voor beide mogelijkheden geldt het flexibel kunnen toepassen van een gelijke ligger onder verscheidene kruisingshoeken uitkomst kan bieden om de toepasbaarheid van het gestandaardiseerde maatsysteem te verbreden, zonder dat voordelen door toepassing van het systeem wegvallen. Kruisingshoeken kunnen in het ontwerp op 3 wijze worden gevormd:

4. De bovenliggende weg kruist scheef over het viaduct.
5. De liggers maken een hoek met de steunpunten. De steunpunten staan evenwijdig aan de onderliggende weg.
6. Het gehele viaduct inclusief steunpunten maakt een hoek met de onderliggende weg.

De kenmerken en de voor- en nadelen van de verschillende wijzen zullen hieronder worden behandeld. Deze informatie is gebaseerd op de informatie in bijlage I en de expertise van ir. Kees Quartel.

1. De bovenliggende weg kruist scheef over het viaduct

Indien de bovenliggende weg scheef over het viaduct kruist, zal normaliter gekozen worden om de overspanning loodrecht op de onderliggende weg te bouwen. Daarmee ontstaat een zo klein mogelijke overspanning. Echter, een verbreding van het viaduct is in dat geval noodzakelijk om over de gehele lengte van het viaduct ruimte te bieden aan het gewenste dwarsprofiel voor de weg. Daarmee ontstaat verloren

ruimte zoals ook te zien is in *Figuur 3-6*. Dit type viaduct komt weinig voor en blijkt voornamelijk een gunstige uitwerking te hebben in situaties waarbij een kleine kruisingshoek ($<45^\circ$) voorkomt. Op deze manier wordt voorkomen dat een zeer grote overspanning noodzakelijk is (wat gepaard gaat met een zeer zwaar gedimensioneerd dek) en daarnaast ontstaat een gunstige krachtswerking



Figuur 3-6: Viaduct met een scheef kruisende weg over het viaduct (A15 ter hoogte van afrit 19 – Rotterdam-Charlois) (Google Maps, 2022)

in het viaduct, waardoor het 'overtollige' materiaalgebruik door de verloren ruimte (deels) gecompenseerd kan worden. Benoemd moet worden dat een dergelijke oplossing normaliter niet de voorkeur verdient voor architecten. Wel zijn voorbeelden bekend waarbij functies zijn toegekend aan de verloren ruimte. Hoewel dit tot extra belasting leidt, ontstaan daarmee wel mogelijkheden om een architectonische en/of duurzame inrichting aan het viaduct te geven.

Een dergelijke oplossing voor toepassing van een gestandaardiseerd maatsysteem bij kruisingshoeken lijkt op het eerste gezicht heel gunstig. De benodigde overspanningslengte is immers onafhankelijk van de kruisingshoek. Daarmee kunnen gelijke systeemmaten van de liggers worden toegepast voor alle kruisingshoeken. Ook is het mogelijk om een weg in een bocht over het viaduct te laten lopen. Echter, de benodigde wapeningsdetaillering en dwarsvoerspanning (, indien dit wordt toegepast,) kan verschillen afhankelijk van de kruisingshoek en/of bocht. Indien volledige uitwisselbaarheid van de liggers mogelijk dient te zijn, zou daarmee op de situatie waarin deze het zwaarst belast wordt gedimensioneerd moeten worden. Een ander belangrijk aspect is dat de schampkant inclusief voorzieningen schuin over vele liggers loopt. Bij grote kruisingshoeken zou hiervan kunnen worden afgeweken door de schampkant evenwijdig aan de liggers te plaatsen, maar voor kleine kruisingshoeken is dit uit oogpunt voor verkeersveiligheid geen optie. Daarmee wordt hergebruik van de liggers sterk bemoeilijkt. Daarnaast blijft gelden dat deze oplossing op architectonisch gebied niet de voorkeur verdient. Brede toepassing van deze oplossing heeft daarmee niet de voorkeur.

2. De liggers maken een niet-loodrechte hoek met de steunpunten. De steunpunten staan evenwijdig aan de onderliggende weg

Bij deze situatie geldt dat de overspanning toeneemt naarmate de kruisingshoek toeneemt (zie ook Figuur 3-7). Hoewel de overspanning toeneemt, wordt deze toename geminimaliseerd door enkel de liggers mee te draaien en niet het steunpunt. Dit betekent wel dat de liggerkoppen afgeschuind dienen te zijn om de voegconstructie aan te kunnen brengen. Dit is sterk nadelig voor standaardisatie omdat elke kruisingshoek daarmee een andere vormgeving van de liggerkop vereist. Daarnaast vereist elke kruisingshoek een andere minimaal benodigde liggerlengte waardoor overdimensionering aan de orde van de dag is indien een beperkt aantal systeemmaten wordt toegepast.



Figuur 3-7: viaduct met een kruisingshoek met evenwijdige steunpunten aan de onderliggende weg (A28 ter plaatse van Kolonel H.L. van Roijenweg) (Google Maps, 2022)

Indien dwarsvoerspanning wordt toegepast dienen de sparringen in de liggers op elkaar aan te sluiten. Hiermee kan met een standaardligger niet zomaar elke kruisingshoek worden gebouwd. Afhankelijk van de liggerlengte en het aantal liggers dat naast elkaar ligt vóór een verspringing plaatsvindt (zie ook bijlage I), kunnen bepaalde kruisingshoeken worden toegepast. Naarmate meer liggers naast elkaar liggen alvorens een verspringing plaatsvindt, kunnen meer verschillende kruisingshoeken worden gemaakt. Echter, bij het toenemen van het aantal liggers voor een verspringing plaatsvindt, neemt ook de breedte van de steunpunten toe.

De bovengenoemde probleempunten laten zien dat het zeer lastig is om kruisingshoeken op deze manier op te lossen binnen een gestandaardiseerd maatsysteem. Al snel loopt het aantal systeemmaten hard op om tot een brede toepasbaarheid van het gestandaardiseerde maatsysteem te komen. Dan is standaardisatie echter niet meer effectief.

Toepassing van deze situaties binnen een gestandaardiseerd maatsysteem is daarmee enkel realistisch indien beperkingen worden gesteld aan de ontwerpvrijheid op het gebied van toepasbare kruisingshoeken en overspanningslengtes. Zo dient gewerkt te worden met standaardkruisingshoeken. De standaardkruisingshoeken die kunnen worden gemaakt met indien dwarsvoerspanning wordt toegepast, zijn afhankelijk van de loodrechte overspanningslengte⁴. Daarmee verschilt het gestandaardiseerde maatsysteem voor de standaardkruisingshoeken met de loodrechte overspanningslengte. Daarnaast is uitwisselbaarheid van de liggers onder een andere kruisingshoek niet goed mogelijk. Niet alleen sluit de benodigde liggerlengte slecht aan, ook de afschuining van de liggerkop sluit niet aan op een andere kruisingshoek. Hiermee is modificering van de ligger nodig. De genoemde beperkingen maken toepassing van deze methode binnen standaardisatie zeer ongewenst. De toepassing moet daarmee worden beperkt tot veel voorkomende situaties om sterke overdimensionering, ongewenste modificering en ongebruikte systeemmaten te voorkomen en om een reële kans te behouden dat een situatie zich aandient waar de liggers kunnen worden hergebruikt.

3. Het gehele viaduct inclusief steunpunten maakt een niet-loodrechte hoek met de onderliggende weg

In deze situatie wordt het viaduct op dezelfde wijze gebouwd als bij een loodrechte kruisingshoek met de onderliggende weg. Echter, de benodigde overspanning wordt groter naarmate de kruisingshoek kleiner wordt, omdat de afstand tussen de steunpunten steeds groter dient te worden om aan de eisen van het dwarsprofiel van de onderliggende situatie te blijven voldoen. Daarmee is het gevolg dat de overspanningslengte toeneemt. Deze toename is recht evenredig met de overspanningslengte en de breedte van het viaduct (zie Tabel 3-2).

⁴ Met de loodrechte overspanningslengte wordt de benodigde overspanningslengte bedoeld, indien een viaduct een loodrechte kruisingshoek met de onderliggende weg beschrijft.

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 31,8 meter)													
		Breedte viaduct / verspringingmaat in meter											
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00
Kruisingshoek in graden	89°	31,84	31,87	31,90	31,93	31,96	31,99	32,02	32,05	32,08	32,11	32,14	32,17
	88°	31,88	31,94	32,00	32,06	32,12	32,19	32,25	32,31	32,37	32,43	32,49	32,55
	87°	31,94	32,03	32,12	32,21	32,30	32,39	32,49	32,58	32,67	32,76	32,85	32,94
	86°	32,00	32,12	32,24	32,37	32,49	32,61	32,73	32,86	32,98	33,10	33,22	33,35
	85°	32,07	32,23	32,38	32,53	32,69	32,84	32,99	33,15	33,30	33,45	33,61	33,76
	84°	32,16	32,34	32,53	32,71	32,89	33,08	33,26	33,45	33,63	33,81	34,00	34,18
	83°	32,25	32,47	32,68	32,90	33,11	33,33	33,54	33,76	33,97	34,19	34,40	34,62
	82°	32,36	32,60	32,85	33,10	33,34	33,59	33,83	34,08	34,33	34,57	34,82	35,06
	81°	32,47	32,75	33,03	33,31	33,58	33,86	34,14	34,41	34,69	34,97	35,25	35,52
	80°	32,60	32,91	33,22	33,52	33,83	34,14	34,45	34,76	35,07	35,38	35,68	35,99
	75°	33,39	33,86	34,33	34,80	35,27	35,74	36,20	36,67	37,14	37,61	38,08	38,55
	70°	34,48	35,11	35,75	36,39	37,03	37,66	38,30	38,94	39,57	40,21	40,85	41,48
	65°	35,90	36,72	37,54	38,35	39,17	39,98	40,80	41,62	42,43	43,25	44,06	44,88
	60°	37,73	38,74	39,75	40,76	41,77	42,78	43,79	44,80	45,81	46,82	47,83	48,84

Tabel 3-2: liggerlengte bij een niet-loodrechte kruisingshoek (liggerlengte bij een loodrechte overspanning: 31,8 m¹)

Bij gelijkblijvende eisen aan het dwarsprofiel van de onderliggende situatie geldt dat toepassing van een niet-loodrechte kruisingshoek leidt tot toepassing van een grotere systeemmaat. Zo leidt een kruisingshoek van 80°, bij een benodigde liggerlengte van 31,8 m¹ voor een loodrechte overspanning en een viaductbreedte van 19,25 m¹ (situatie met een rijbaan met drie rijstroken op het viaduct) tot een groei van de benodigde liggerlengte van 3,88 m¹. Naarmate de kruisingshoek afneemt neemt de extra benodigde liggerlengte exponentieel toe. Bij een kruisingshoek van 70° is de extra benodigde liggerlengte al 9,05 m¹. Daarmee lijkt deze oplossing voornamelijk geschikt voor grote kruisingshoeken tot circa 80°. Binnen deze bandbreedte blijft elke kruisingshoek mogelijk zonder dat dit nadelige gevolgen heeft op het gestandaardiseerde maatsysteem. Bij kleinere loodrechte overspanningslengtes geldt dat deze oplossing ook voor kleinere hoeken geschikt is. Bij grotere loodrechte overspanningslengtes geldt dat deze oplossing enkel bij steeds grotere kruisingshoeken kunnen worden gebruikt. Hoewel het toepassen van een grotere systeemmaat tot enige overdimensionering kan leiden, weegt het toepassen van gestandaardiseerde liggerlengtes zwaar omdat relatief goedkope, efficiënte en geoptimaliseerde liggers gebruikt kunnen worden.

Een tweede aspect waar rekening mee dient te worden gehouden is het gevolg voor de breedte van de middenberm. Indien een tussensteunpunt wordt toegepast neemt de benodigde breedte van de berm toe naarmate de kruisingshoek afneemt. Deze toename is recht evenredig met de viaductbreedte en onafhankelijk van de overspanningslengte. Bij een viaductbreedte van 19,25 m¹ en een kruisingshoek van 80° is deze toename 3,34 m¹.

Hoewel deze oplossing nadelen kent vanwege de uitdijende steunpunten – dit leidt tot bredere middenbermen indien tussensteunpunten worden toegepast en architectonisch minder aantrekkelijke oplossingen – is deze oplossing zeer voordelig voor standaardisatie. Niet alleen kunnen dezelfde systeemmaten worden toegepast als in de basissituaties, ook heeft de kruisingshoek geen invloed op de constructieve eigenschappen van de ligger, waardoor de liggers onafhankelijk van de kruisingshoek uitwisselbaar zijn. Daarmee wordt aangeraden voor de grote kruisingshoeken hier op in te zetten. Tezamen met het aandeel van de viaducten met een loodrechte kruisingshoek wordt met deze oplossing invulling gegeven aan circa 2 op de 3 viaducten in het areaal van Rijkswaterstaat.

In de voorgaande alinea's zijn de verscheidene mogelijkheden weergegeven om een viaduct onder een kruisingshoek toe te passen. Zichtbaar is dat de aanwezigheid van kruisingshoeken in het areaal de toepassing van standaardisatie sterk bemoeilijkt. Om die reden wordt aangeraden het gebruik van kruisingshoeken, waar mogelijk, te beperken. Dit zal in veel situaties echter geen uitkomst bieden. In die gevallen kunnen de drie bovengenoemde methodieken uitkomst bieden. De verschillende methodieken kennen allen eigen voor- en nadelen. In het algemeen kan echter gesteld worden dat 'standaardisatie' en 'architectonisch aantrekkelijke oplossingen' gericht op

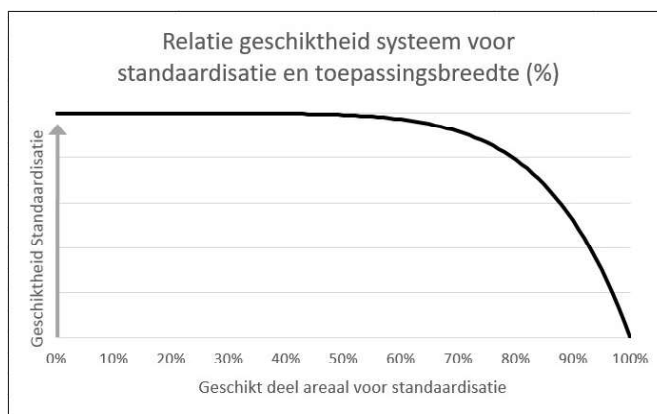
kruisingshoeken twee tegenstrijdige begrippen zijn. Voor grote kruisingshoeken tot circa 80° kan worden gekozen voor optie 3, waarbij het gehele viaduct meedraait met de kruisingshoek. Dit vereist geen constructieve aanpassingen aan het dek. De overspanningen worden echter vergroot waardoor een grotere systeemmaat benodigd is en de breedte van de middenberm neemt toe. Daarmee biedt deze situatie vooral uitkomst daar waar de beschikbare ruimte niet beperkend is.

Voor kruisingshoeken, kleiner dan circa 80°, en locaties waar de ruimte beperkt is, geldt dat de tweede genoemde methode – waarbij de steunpunten evenwijdig aan de onderliggende situatie staan en de liggers een niet-loodrechte hoek met de steunpunten maken – uitkomst biedt. Het opnemen van aanvullende systeemmaten (door een gewijzigde vormgeving van de liggerkop) is hierbij nodig. Om de voordelen van standaardisatie te behouden is het wel noodzakelijk om het aantal systeemmaten te beperken. Hiertoe dienen veel voorkomende situaties te worden bepaald en opgenomen in het gestandaardiseerde maatsysteem. Gepoogd moet worden om afwijkende situaties zoveel mogelijk terug te brengen naar deze veel voorkomende situaties.

Voor zeer kleine kruisingshoeken geldt dat de eerst genoemde optie, waarbij de weg scheef over het viaduct kruist, een aan te bevelen optie is. Deze weinig voorkomende situaties kunnen daarmee met behulp van de systeemmaten die gebruikt worden voor de basissituaties worden overspannen. Hierbij dient wel in kaart te worden gebracht of dit constructieve gevolgen heeft waardoor zwaarder gedimensioneerde liggers benodigd zijn.

Zoals uit deze paragraaf is gebleken hebben de verscheidene afwijkingen invloed op de toepasbaarheid van het gestandaardiseerde maatsysteem. Dit kan deels worden opgelost door enige mate van flexibiliteit van het gestandaardiseerde maatsysteem in te bouwen. Verder kan soms gekozen worden voor een systeemmaat die wat minder goed aansluit op de situatie. In een aantal gevallen zal het gestandaardiseerde maatsysteem echter niet voldoen. Indien hier standaardisatie op dient te worden toegepast vereist dit uitbreiding van het systeem. Daarmee vallen voordelen echter steeds meer weg

naar de achtergrond en nadelen treden steeds meer naar de voorgrond. Kenmerkend daarbij is dat dit effect in toenemende mate optreedt indien een groter deel van het areaal reeds gestandaardiseerd is. Dit is weergegeven in *Figuur 3-8*. Hiermee ontstaat een voorkeursvolgorde in de benaderingsmethoden om de toepasbaarheid te verbreden, waarbij in eerste instantie dient te worden ingezet op het uitbreiden van de toepasbaarheid van de beschikbare systeemmaten. Vervolgens dient pas te worden ingezet op het uitbreiden van het maatsysteem met nieuwe systeemmaten.



Figuur 3-8: Relatie geschiktheid systeem voor standaardisatie en toepassingsgraad (%)

3.3 Gestandaardiseerde liggerbreedte

Deze paragraaf behandelt de meest geschikte, gestandaardiseerde liggerbreedte waar gebruik van kan worden gemaakt om tot een optimaal gestandaardiseerd ontwerp te komen.

3.3.1 – Onderscheid randligger en tussenligger

Viaducten met een dek waarin prefab liggers zijn verwerkt kennen tussenliggers en randliggers (zie Figuur 3-9). De vormgeving van de randliggers wijkt daarbij regelmatig af van de tussenliggers. Hier liggen in hoofdzaak meerdere redenen aan ten grondslag:

- De werkende belastingen op de constructie kunnen afhankelijk van het liggertype aanleiding zijn om een afwijkende randliggers toe te moeten passen. Hierbij is vaak de op te nemen aanrijdbelasting maatgevend.
- In of op de randligger bevinden zich normaliter voorzieningen die over de rest van de breedte van het dek niet aanwezig zijn. Dit betreft onder meer een schamprand met mantelbuizen, trekputten, leuningwerk of een geluidsscherm en de geleiderail.
- Omwille architectonische redenen is men regelmatig geneigd het zijaanzicht van een viaduct een slanke en/of architectonische uitstraling te geven. Vaak wordt daartoe gekozen om de vormgeving van de randligger hierop te wijzigen.
- Een afwijkende randligger kan een andere vormgeving en breedte kennen als de tussenligger. Daarmee ontstaat de mogelijkheid om overdimensionering te voorkomen.

De noodzaak om een gewijzigde vormgeving van randliggers toe te passen hangt voornamelijk af van de constructieve mogelijkheden, daar de architectonische vormgeving ook buiten de vormgeving van de randligger gevonden kan worden. De benodigde aanpassingen in de vormgeving van de randligger ten opzichte van de tussenligger, ter accommodatie van de aanvullende voorzieningen, is (gelijk aan de benodigde wijzigingen in vormgeving om de optredende belastingen op te kunnen nemen) voornamelijk afhankelijk van het liggertype.

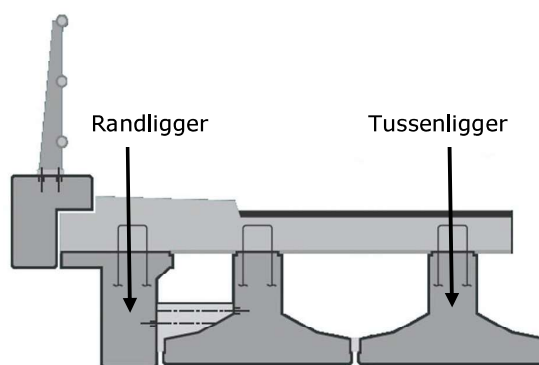
Een gelijke vormgeving van de randligger en tussenligger betekent echter wel dat deze ook een gelijke breedte kennen. Daarmee kan de breedte van de randligger niet worden gevarieerd om overdimensionering te voorkomen.

Het is goedkoper en efficiënter voor het productieproces van prefab betonleveranciers indien de uitwendige vormgeving van de randligger en de tussenligger gelijk is. Immers kan daarmee dezelfde bekisting en grotendeels dezelfde productiemiddelen worden gebruikt voor beide liggers (Hermsen, 2022). Uitzondering hierop is de vormgeving aan de bovenzijde (bijvoorbeeld uitstekende wapening). Aangezien hier geen bekisting aanwezig is mag dit afwijken. Verondersteld wordt dat voor het meest geschikte liggertype een gelijke uitwendige vormgeving (met uitzondering van de bovenzijde) kan kennen als de tussenliggers. Daarmee is het uitgangspunt ter bepaling van de meest geschikte gestandaardiseerde liggerbreedte dat de randligger en tussenligger een gelijke breedte kennen.

3.3.2 – Uitgangspunten bepaling meest geschikte standaard liggerbreedte

De prefab liggertypes die in Nederland worden gebruikt kennen reeds standaard breedtematen. Afhankelijk van het liggertype verschilt deze breedtemaat echter, waarbij 1180 mm¹ en 1480 mm¹ veelvuldig voorkomen. In sommige gevallen worden liggers toegepast met een breedte van 990 mm¹ tot circa 2000 mm¹. Zelfs binnen een liggertype kunnen verschillende breedtematen voorkomen. Hoewel standaard breedtematen dus reeds bestaan, komt hier nog tamelijk veel diversiteit in voor.

Belangrijk om te noemen is dat onderscheid wordt gemaakt in de *liggerbreedte* en de *werkende breedte*. De liggerbreedte is de daadwerkelijke breedte van de ligger. De werkende breedte is de hart op hart afstand tussen twee liggers. Vaak zijn tussen de liggers kleine (ongewapende) voegen aanwezig. Hoewel deze voegbreedte kan variëren tot meer 140 mm¹, wordt in het ontwerp meestal



Figuur 3-9: locatie randligger en tussenligger(s) in een betonnen dek van een viaduct (giverbo, 2022)

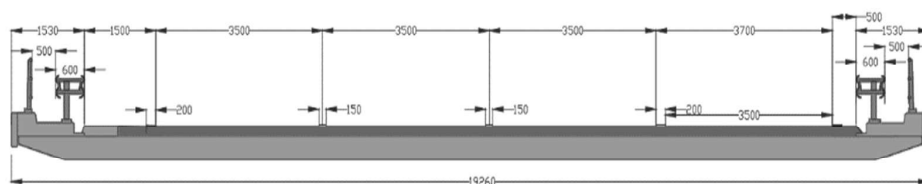
In deze fase van het onderzoek wordt als uitgangspunt voor het remontabele ontwerp rekening gehouden met de mogelijkheid tot het toepassen van variërende voegbreedtes. Dit is zeer gewenst om enige mate van flexibiliteit in het ontwerp in te bouwen. Daarmee ontstaat ruimte om uitvoeringsfouten te compenseren en deze flexibiliteit kan worden aangewend om de viaductbreedte te variëren, zonder dat direct een extra ligger nodig is. Hier wordt regelmatig aanspraak op gemaakt indien afwijkingen op de basissituaties optreden, zoals behandeld in paragraaf 3.2.2. Daarmee kan overdimensionering in belangrijke mate worden voorkomen, terwijl de standaard liggerbreedte gehandhaafd kan blijven.

Transport

In de meeste situaties geldt dat rijkswegen en de viaducten geschikt zijn voor transporten met liggers tot 180 ton, 2700 mm¹ hoog en 60 m¹ lang (Cobouw, 2010), (Schaafsma, 2022) (Boelders, 2019).

Voor een kokerligger, geschikt voor een overspanning van 50 m¹, geldt dat deze bij een breedte van 2000 mm¹ al snel richting de 160 tot 170 ton weegt. Daarmee wordt het gewicht bij een dergelijke breedte eerder maatgevend als de lengte van de ligger. Mede om die reden wordt een standaardbreedte van meer dan 2000 mm¹ afgeraden.

De meest geschikte standaard liggerbreedte is gebaseerd op de liggerbreedte die in de verschillende basissituaties, beschreven in paragraaf 3.2.1, tot de kleinste gemiddelde overtollige viaductbreedte leidt. De basissituaties in het geval van een hoofdrijbaan met twee, drie, vier en vijf rijstroken zijn hiertoe in de bepaling beschouwd. In *Figuur 3-10* is de basissituatie voor een rijbaan met drie rijstroken weergegeven.



Figuur 3-10: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelweg op een viaduct (maten in mm¹)

In Tabel 3-3 is voor de situatie met een werkende breedte van 1650 mm¹ en 1750 mm¹ weergegeven tot welk gemiddeld overschot in viaductbreedte dit leidt. Bij een werkende breedte van 1650 mm¹ blijkt het gemiddelde overschot het kleinst te zijn voor alle werkende breedtes tussen 1200 mm¹ en 2000 mm¹, met een stapgrootte van 50 mm¹. Hoewel dit daarmee de optimale werkende breedte lijkt, dient opgemerkt te worden dat het gemiddelde overschot in viaductbreedte nog steeds redelijk groot is.

Kijkend naar de situatie waarin een werkende breedte van 1750 mm¹ wordt toegepast, is zichtbaar dat dit in de situatie met drie, vier of vijf rijstroken slechts resulteert in een tekort van 10 mm¹ van de benodigde breedte voor het viaduct. Dit leidt tot een zeer groot gemiddeld overschot in

viaductbreedte indien voor het tekort van 10 mm¹ een extra ligger dient te worden toegepast. Het variëren van de voegbreedte tussen liggers biedt echter uitkomst om te compenseren voor het tekort. Daarmee ontstaat bij een werkende breedte van 1750 mm¹ het kleinste gemiddelde overschot. Dit resulteert in een meest geschikte standaard liggerbreedte van 1730 mm¹. Bijkomend voordeel is dat een verbreding van de rijbaan met een extra rijstrook (3,5 m¹) uitgevoerd kan worden met twee liggers, zonder dat dit leidt tot (extra) overdimensionering.

1650 mm ¹		Aantal liggers	9	10	11	12	13	14	15	16
Totale overschot breedte	1460 mm ¹	Twee rijstroken 16060	1210	-440	-2090	-3740	-5390	-7040	-8690	-10340
		Drie rijstroken 19260	4410	2760	1110	-540	-2190	-3840	-5490	-7140
Gemiddelde overschot breedte	365 mm ¹	vier rijstroken 22760	7910	6260	4610	2960	1310	-340	-1990	-3640
		vijf rijstroken 26260	11410	9760	8110	6460	4810	3160	1510	-140

1750 mm ¹		Aantal liggers	9	10	11	12	13	14	15	16
Totale overschot breedte	6660 mm ¹	Twee rijstroken 16060	310	-1440	-3190	-4940	-6690	-8440	-10190	-11940
	6665 mm ¹	Drie rijstroken 19260	3510	1760	10	-1740	-3490	-5240	-6990	-8740
		vier rijstroken 22760	7010	5260	3510	1760	10	-1740	-3490	-5240
Gemiddelde overschot breedte		vijf rijstroken 26260	10510	8760	7010	5260	3510	1760	10	-1740

Tabel 3-3: overtollige viaductbreedte bij liggerbreedtes van 1650mm¹ en 1750mm¹ (Bijlage H)

In andere situaties die een gewijzigde viaductbreedte vereisen ten opzichte van de basissituaties kan in veel gevallen aanspraak worden gemaakt op de mogelijkheid tot het variëren van de voegbreedte. Daarmee kan per voeg tot meer dan 120 mm¹ gewonnen worden. Het is echter zo dat het variëren van de voegbreedte tot 80 mm¹ (60 mm¹ breder dan de standaardbreedte van 20 mm¹) veelal voldoende is om ernstige overbreedte te voorkomen. Zo kan bij een viaduct van 19,26 m¹ breed (geschikt voor het faciliteren van een driestrooks rijbaan), bestaande uit 11 liggers, tot 600 mm¹ in breedte gevarieerd worden door de voegbreedte te variëren tussen de 20 mm¹ en 80 mm¹. Dit is voldoende om onder meer de extra benodigde breedte van 450 mm¹ voor een blokmarkering te faciliteren. Het verbreden van de voeg heeft wel tot gevolg dat de werkende breedte van de liggers toeneemt en daarmee hebben deze een grotere sterktecapaciteit nodig. Uit het oogpunt van standaardisatie is het gewenst dat de liggers bij verscheidene voegbreedtes toegepast kunnen worden. Het wordt daarom aanbevolen om bij de sterkteberekening van de ligger dan ook rekening te houden met een voegbreedte, breder dan 20 mm¹. 80 mm¹ lijkt daarbij zeer geschikt, al is aanvullend onderzoek waarin de kwantitatieve gevolgen voor de sterkte bepaald worden nodig.

3.4 Gestandaardiseerd maatsysteem liggerlengtes

Deze paragraaf behandelt het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes van prefab liggers. De liggerlengtes zijn in zeer sterke mate afhankelijk van de dagmaat. In dit licht wordt eerst besproken met welke voorkomende dagmaten rekening dient te worden gehouden, alvorens het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes aan bod komt.

3.4.1 – Uitgangspunten bepaling gestandaardiseerd maatsysteem liggerlengtes

De liggerlengte wordt grotendeels vastgelegd door de dagmaat. De vertaalslag van de dagmaat naar de liggerlengte brengt de detaillering van de steunpunten naar voren. Deze detaillering verschilt vaak, waardoor gestandaardiseerde liggerlengtes niet zonder eenduidige uitgangspunten voor deze detaillering kunnen worden vastgelegd. In het onderstaande worden de uitgangspunten voor de dagmaat en de detaillering van de steunpunten weergegeven.

Het gestandaardiseerde maatsysteem focust zich op liggers die uit één element bestaan. Uit het 'eerste circulaire viaduct Kampen', waarbij elementen in de lengterichting zijn gekoppeld, is gebleken dat enkele zwaarwegende bezwaren een rol spelen (Quartel K., Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022). Een belangrijk nadeel is dat veel extra materiaal is vereist ten opzichte van een ligger die uit één element bestaat. Zo is uitzonderlijk veel voorspanning in de lengterichting nodig om te voorkomen dat de liggers aan de onderzijde grote kieren gaan vertonen. Daarnaast dienen de elementen in verschillende configuraties te kunnen worden toegepast; hier berust het voordeel van korte, in lengterichting koppelbare elementen immers op. Dit betekent echter wel dat een zekere mate van overdimensionering aanwezig is,

omdat het element in alle mogelijke configuraties aan de benodigde (sterkte-)eigenschappen dient te voldoen. De zware liggers resulteren daarnaast in zwaardere transporten indien de elementen in de fabriek al gekoppeld worden of in een langere bouwtijd indien de elementen op de bouwlocatie gekoppeld worden.

De benodigde liggerlengte voor viaducten is in sterke mate – al dan niet in combinatie met locatieafhankelijke ruimtelijke beperkingen – afhankelijk van de ondergelegen situatie. De ondergelegen situaties zijn daarmee uitgangspunt ter bepaling van het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes. Deze ondergelegen situaties zijn zeer divers. Zo kan de ondergelegen situatie onder meer een weg (waarbinnen weer onderscheid in wegtypen kenbaar is), waterlichaam, voetpad, fietspad of landschap betreffen. De grootste mate van uniformiteit vindt men in de gevallen waarbij het viaduct een rijksweg overspant. Daarmee is dit het uitgangspunt voor de systeemmaten in het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes.

Op het moment van schrijven is onvoldoende zicht op de mate waarin bepaalde standaardsituaties voorkomen waarbij een rijksweg geen rijksweg overspant. Hier heeft men voornamelijk te maken met overspanningen in het bereik onder de 20 m¹. Hoewel deze kleine overspanningen veelvuldig voorkomen – voornamelijk in situaties waarbij een rijksweg een niet-rijksweg overspant – komen deze weinig voor in situaties waarbij een viaduct een rijksweg overspant. Zo zijn enkele overspanningen aanwezig ter plaatse van wisselbanen die in dit bereik vallen. Echter, voor wisselbanen wordt vanuit richtlijnen geen standaardmaatvoering weergegeven en wisselbanen komen in geringe mate voor. Daarmee is dit geen goed uitgangspunt voor de circa 40% van de overspanningen die momenteel gebouwd worden, die zich in dit kleine overspanningsbereik bevinden (Rijkswaterstaat, 2022a). Een ander uitgangspunt om standaardsituaties aan te relateren die veelvuldig voorkomen is niet aangetroffen. Om deze reden zullen geen systeemmaten worden opgenomen in het gestandaardiseerde maatsysteem die zich op het overspanningsbereik onder de 20 m¹ richten. Gezien de mate van voorkomen van deze kleine overspanningen is het echter wel belangrijk dat het gestandaardiseerde maatsysteem ook toepasbaar is op deze kleine overspanningen. Hiertoe dienen aanvullende systeemmaten bepaald te worden. Onderstaand worden enkele benaderingsmethoden beschreven voor hoe Rijkswaterstaat hiermee kan omgaan.

Data-analyse op het areaal

Indien de juiste gegevens beschikbaar zijn kunnen uit deze gegevens veel voorkomende overspanningslengtes worden herkend. Momenteel is de beschikbare data waar kennis van is genomen niet toereikend om deze veel voorkomende overspanningslengtes te herkennen. Zo houdt DISK (Data Informatie Systeem Kunstwerken) rekening met de gemiddelde overspanningslengte indien een viaduct uit meerdere overspanningen bestaat. Daarmee ontstaat een onbekende onnauwkeurigheid in de daadwerkelijk aanwezige overspanningslengtes in het areaal. Nauwkeurige data op overspanningsniveau, uitgezet naar leeftijd van de constructie, is nodig indien het gestandaardiseerde maatsysteem op een data-analyse wordt gebaseerd.

Analyse richtlijnen in combinatie met data-analyse

Vanuit richtlijnen voor niet-autosnelwegen kunnen mogelijkwerwijs standaardsituaties worden herkend. Gezien de veelzijdigheid van de voorkomende situaties die kunnen worden herkend in het areaal, is het van groot belang dat rekening wordt gehouden met de mate waarin deze situaties voorkomen. Hiertoe dient een dergelijke analyse in combinatie met een data-analyse te worden uitgevoerd. Ten opzichte van enkel een data-analyse ontstaat hiermee een grotere nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten.

Data-analyse in combinatie met acceptabele afwijking

Indien getracht wordt middels de huidige beschikbare data de beste systeemmaten te bepalen, dient vanwege de grote spreiding in toegepaste overspanningslengtes een acceptabele (gemiddelde) afwijking van de minimaal benodigde overspanningslengte en de toegepaste overspanningslengte te worden bepaald. Vanuit deze acceptabele (gemiddelde) afwijking kunnen in combinatie met de beschikbare data systeemmaten worden bepaald. Ook hier dient rekening te worden gehouden met de onnauwkeurigheden in de beschikbare data. Aanvullende data kan de nauwkeurigheid van de bepaling vergroten.

Bij het uitbreiden van het maatsysteem met nieuwe systeemmaten is altijd voorzichtigheid geboden, omdat het uitbreiden van het maatsysteem nadelige gevolgen voor de effectiviteit van standaardisatie kent. Daarmee dient in alle gevallen een afweging plaats te vinden tussen de

acceptabele gemiddelde afwijking van de minimaal benodigde overspanningslengte en de toegepaste overspanningslengte en de effectiviteit van het gestandaardiseerde maatsysteem. In een aantal gevallen zal de toegepaste overspanningslengte afwijken van de minimaal benodigde overspanningslengte. De overtollige ruimte die dit tot gevolg heeft kan een functionele toepassing worden toegekend, zoals onderhoudsruimte of een natuurpassage (Rijkwaterstaat GPO m.m.v. Witteveen en Bos, 2022). Voor incidentele situaties verdient dit altijd de voorkeur boven het uitbreiden van het maatsysteem.

Hoog of laag gefundeerd landhoofd

Landhoofden van viaducten kunnen hoog of laag gefundeerd zijn. Hoog gefundeerde landhoofden worden normaliter gekenmerkt door het aanwezige talud onder het viaduct en laag gefundeerde landhoofden kennen vaak een verticale grondkerende wand (zie ook bijlage G.3.2). Dit is weergegeven in *Figuur 3-11* en *Figuur 3-12*.



Figuur 3-11: Schematische weergave hoog gefundeerd landhoofd (Wikipedia, 2022)



Figuur 3-12: Schematische weergave laag gefundeerd landhoofd (Wikipedia, 2022)

Verscheidene argumenten kunnen ten grondslag liggen aan de keuze voor een hoog of laag gefundeerd landhoofd. Zo kan inpasbaarheid maatgevend zijn voor toepassing van een laag gefundeerd landhoofd en zijn zichtlijnen in bogen een belangrijke argument om hoog gefundeerde landhoofden toe te passen (Vos, 2022) (bijlage G.3.2.). Daarbij is belangrijk om te noemen dat het kansrijk wordt geacht om een gestandaardiseerd landhoofd te ontwerpen bij toepassing van een laag gefundeerd landhoofd (Valk, 2019).

De keuze voor een hoog of laag gefundeerd landhoofd is gezien de kenmerken altijd afhankelijk van de situatie waar het viaduct zal worden gebouwd. Daarmee wordt ter bepaling van de systeemmaten in het gestandaardiseerde systeem met beide mogelijkheden rekening gehouden.

Aanwezigheid tussensteunpunt(en)

Afhankelijk van de situatie wordt in het ontwerp wel of niet rekening gehouden met de aanwezigheid van een tussensteunpunt. Zo zijn tussensteunpunten in verband met verkeershinder bij bouwwerkzaamheden bij een bestaande weg of bij onderhoud zeker niet wenselijk. Dit heeft wel toch gevolg dat het viaduct met één overspanning beide rijbanen moet overspannen. Niet alleen kunnen deze overspanningen dermate groot worden dat andere bouwmethodes moeten worden overwogen, ook geldt in het algemeen dat de constructiehoogte van het dek toeneemt met de overspanningslengte. Dit vereist een groter te overbruggen hoogteverschil voor het verkeer op het viaduct met de ondergelegen weg. In sommige gevallen zal dit simpelweg niet inpasbaar zijn of tot zeer ongewenste situaties leiden.

Ter indicatie kan worden aangehouden dat de verhouding tussen de rijdedikte en de overspanningslengte voor een kokerliggerdek circa 1 op 30 is. Daarmee neemt de rijdedikte 0,75 m¹ tot 1,00 m¹ toe, afhankelijk van de toename van de overspanning.

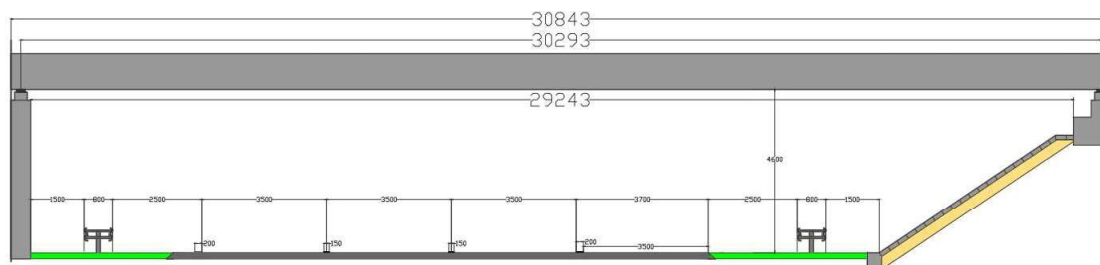
Het middensteunpunt wordt nog veelvuldig toegepast. Echter heeft RWS de wens om dit zo min mogelijk toe te gaan passen om verkeershinder bij aanleg en onderhoud van het middensteunpunt te beperken. De situatie laat dit echter niet altijd toe, waardoor in het gestandaardiseerde maatsysteem rekening gehouden wordt met het voorkomen van situaties met en zonder tussensteunpunt(en) (bijlage G.3.3).

Uitgangspunt van het gestandaardiseerde maatsysteem met prefab betonnen liggers is dat de toegepaste overspanningen kunnen worden overbrugd met prefab liggers die technisch en economisch produceerbaar zijn en over vrijwel het gehele rijkswegennet getransporteerd kunnen worden. De praktische bovengrenzen betreffen circa 60 m¹ lengte en circa 180 ton gewicht (Hermsen, 2022) (Schaafsma, 2022) (Herder, 2022). Verondersteld wordt dat daarbij de liggerlengte het maatgevende criterium is, omdat het ontwerp kan worden bijgesteld om niet boven de bovengrens van het gewicht uit te komen. Een mogelijkheid hiervoor is het toepassen van minder brede liggers.

De situaties waarbij een viaduct een autosnelweg overspant met 2x4 en 2x5 rijstroken zonder tussensteunpunt en met de aanwezigheid van hoog gefundeerde landhoofden aan weersijden worden niet in het gestandaardiseerde maatsysteem opgenomen omdat dit resulteert in

3.4.2 – Gestandaardiseerd systeemmaten liggerlengtes

De *liggerlengte* betreft de totale lengte van de prefab ligger. Vergeleken met de dagmaat is hier aan weerszijden het steunpunt met de oplegging en een oversteeklengte van de ligger aanwezig. In alle situaties is rekening gehouden met een overstek van 150 mm¹ (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).



Figuur 3-13: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelweg onder een viaduct met 1x landhoofd en 1x middensteunpunt, exclusief gevolgen door verkanting (maten in mm¹)

The diagram illustrates the experimental setup. It shows a cross-section of the components: a large grey block labeled 'Ligger' at the top, a smaller grey block labeled 'Opstort' in the middle, and a base labeled 'Steunpunt' at the bottom. A black rectangular block labeled 'Oplegblok' is placed on top of the 'Opstort' block. Dimensions are indicated with arrows: a horizontal dimension 'x' across the top of the 'Oplegblok', a vertical dimension '150' from the base to the top of the 'Oplegblok', a horizontal dimension '50' from the right edge of the 'Opstort' block to the right edge of the 'Oplegblok', and a horizontal dimension '100' from the right edge of the 'Opstort' block to the right edge of the 'Ligger' block.

Figuur 3-14: Maatvoering tussensteunpunt / laag gefundeerd landhoofd

Gestandaardiseerde dagmaten en liggerlengtes

De basissituaties waar rekening mee gehouden wordt resulteren in standaard dagmaten. Indien rekening gehouden wordt met de detaillering van de steunpunten naar de uitgangspunten uit paragraaf 3.4.1, kunnen de dagmaten worden vertaald naar gestandaardiseerde liggerlengtes. In een aantal gevallen resulteren verscheidene configuraties van de onderliggende situatie in nagenoeg een gelijke benodigde liggerlengte. In dergelijke gevallen wordt de grootst benodigde liggerlengte gehanteerd als systeemmaat voor al deze gevallen. Daarmee wordt sterk ingeperkt op het aantal systeemmaten, wat de brede toepasbaarheid van het gestandaardiseerde systeem ten goede komt. Hiertoe is de toegepaste liggerlengte voor een basissituatie maximaal 300 mm¹ groter als minimaal benodigd is, met uitzondering van de twee situaties, waarbij twee rijbanen met twee rijstroken met één ligger wordt overspannen en waarbij zich aan weerszijden een tussensteunpunt of laag gefundeerd landhoofd bevindt. Hierbij is de dagmaat en liggerlengte verhoogd met 600 mm¹. Dit resulteert in de dagmaten en liggerlengtes voor de configuraties, weergegeven in *Tabel 3-4*.

Hierin is tevens de invloed van de verkanting van het onderliggende wegdek en de berm verdisconteerd. In totaal bestaat het gestandaardiseerde maatsysteem voor het overspanningsbereik van 21,6 m¹ tot en met 59,2 m¹ daarmee uit 9 systeemmaten. Voor meer informatie wordt verwezen naar bijlage G.

Landhoofdfundatie	Aantal overspannen rijstroken	Minimale dagmaat	Liggerlengte	Voorbeeld
Laag	1x2	20,6 m ¹	21,6 m ¹	
n.v.t.	1x2	20,6 m ¹		
Hoog	1x1	23,1 m ¹		
Laag	1x3	23,8 m ¹	24,8 m ¹	
n.v.t.	1x3	23,8 m ¹		
Hoog	1x2	27,0 m ¹		
Laag	1x4	27,3 m ¹	28,6 m ¹	
n.v.t.	1x4	27,3 m ¹		
Hoog	1x3	30,3 m ¹		
Laag	1x5	30,8 m ¹	31,9 m ¹	
n.v.t.	1x5	30,8 m ¹		
Hoog	1x4	33,9 m ¹		
Hoog	1x5	37,5 m ¹	35,5 m ¹	
Laag	2x2	37,4 m ¹		

n.v.t.	2x2	37,4 m ¹		
Laag	2x3	43,8 m ¹	45,0 m ¹	
n.v.t.	2x3	43,8 m ¹		
Hoog	2x2	50,1 m ¹	52,5 m ¹	
Laag	2x4	50,8 m ¹		
n.v.t.	2x4	50,8 m ¹		
Hoog	2x3	56,7 m ¹	59,2 m ¹	
Laag	2x5	57,8 m ¹		
n.v.t.	2x5	57,8 m ¹		

Tabel 3-4: Basismaten voor het gestandaardiseerde maatsysteem

3.5 Conclusie & aanbevelingen

3.5.1 – Conclusie

Het bestaande bruggen en viaducten areaal van Rijkswaterstaat is voor veruit het grootste deel gebouwd met viaductbreedtes van 3,5 m¹ tot 23,5 m¹ en overspanningslengtes van 6 m¹ tot 50 m¹. De focus voor de gestandaardiseerde maatsystemen dient in eerste instantie op deze bereiken te liggen.

De dimensionering van viaducten wordt in de basis bepaald door het wegontwerp in combinatie met veiligheidsruimtes op en/of onder het viaduct. Daarmee is dit het uitgangspunt voor de systeemmaten binnen het gestandaardiseerde maatsysteem. De focus ligt daarbij op de basissituaties voor het wegontwerp van rijkswegen, die wordt beschreven in het ROA. Rekening gehouden wordt met basissituaties waarbij zich twee, drie, vier of vijf rijstroken op een rijbaan bevinden.

Afwijkingen op basissituaties komen met enige regelmaat voor, maar zijn verschillend van aard en grootte. De brede toepassing van een gestandaardiseerd maatsysteem is daarmee alleen mogelijk indien enige flexibiliteit in de dimensioneringsmogelijkheden aanwezig is, binnen de toepassing van de systeemmaten.

Een bijzonder aspect is de kruisingshoek. In de huidige situatie wordt bij 2 op de 3 viaducten een niet-haakse kruisingshoek toegepast. De brede toepassing van standaardisatie is daarmee niet mogelijk indien geen mogelijkheden bestaan om dit bij kruisingshoeken toe te passen. Er zijn verschillende wijzen om met kruisingshoeken om te gaan, waarbij de voorkeursoplossing onder meer gerelateerd is aan de kruisingshoek en de overspanningslengte. Echter zal altijd gelden dat het voordelig is voor standaardisatie om de differentiatie van toegepaste kruisingshoeken te beperken.

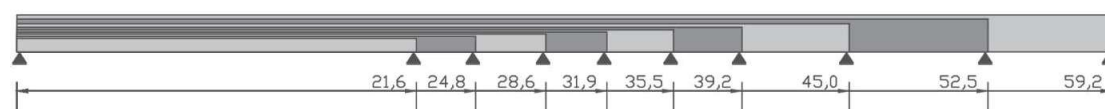
De meest optimale gestandaardiseerde liggerbreedte is 1730 mm¹. Deze breedte beperkt het aantal transporten en maakt het tegelijkertijd mogelijk om overdimensionering in de basissituaties en de meeste afwijkende situaties te voorkomen. Daartoe kan de (ongewapende) voegbreedte

tussen de liggers gevarieerd worden om tot de gewenste breedte te komen. Aandachtspunt is dat de ligger sterk genoeg wordt ontworpen om de breedst toepasbare voeg te faciliteren. Een maximale voegbreedte van 80 mm¹ resulteert in voldoende flexibiliteit. Daarmee kan tot 60 mm¹ verbreed worden per aanwezige voeg. Dit kan daarmee het uitgangspunt vormen voor het constructieve sterkteberekening.

Voor de randliggers geldt dat als uitgangspunt wordt genomen dat deze een gelijke breedte kent als de tussenliggers. Daarmee ontstaat de mogelijkheid voor prefab betonleveranciers om in de basis dezelfde bekisting te gebruiken voor de randliggers als de tussenliggers.

Het transport van betonnen liggers is op het grootste deel van het Nederlandse rijkswegennet mogelijk tot liggers van 180 ton, 60 m¹ lang, 2,0 m¹ breed en 2,7 m¹ hoog. De liggerbreedte van 1,73 m¹ maakt het dat het gewicht de maatgevende indicator voor transport is. Transport is daarmee realistisch tot liggerlengtes van circa 55 m¹. De toepassing van grotere liggerlengtes kan door een aangepast ontwerp toe te passen, waarmee het gewicht van de liggers beperkt kan worden.

De verscheidene basissituaties resulteren in standaard dagmaten. De dagmaat betreft de lengte tussen de voorkanten van de oplegconstructies. Het gestandaardiseerde maatsysteem richt zich echter op de liggerlengtes. Hiertoe wordt de dagmaat vertaald naar de liggerlengte door deze te vermeerderen met de dimensionering van de steunpunten. Dit is afgeleid uit de standaard details uit de RTD 1010 en de bepaling van het benodigde formaat van de oplegblokken die variabel is met het dragende gewicht. Hiertoe ontstaat een gestandaardiseerd maatsysteem met 9 lengtematen, zoals weergegeven in *Figuur 3-15*.



Figuur 3-15: systeemmaten 9 gestandaardiseerde liggerlengtes (in m¹)

3.5.2 – Aanbevelingen

Voor gestandaardiseerde systemen geldt dat het functioneren sterk berust op de brede toepassing van het systeem met een beperkt aantal systeemmaten. Kenmerkend voor viaducten in Nederland is dat de overspanningslengtes die worden gebruikt zeer divers zijn. Dit is funest voor standaardisatie. Om optimaal gebruik te kunnen maken van de uniforme liggerbreedte en het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes is het daarmee van belang dat zoveel als mogelijk wordt teruggegrepen op de basisdimensionering voor rijkswegen. In situaties waarbij op of onder het viaduct geen rijksweg aanwezig is dient de benodigde dimensionering en het hierop volgende ontwerp te worden bepaald aan de hand van de beschikbare systeemmaten in het gestandaardiseerde maatsysteem. Daarbij wordt uit het oogpunt van standaardisatie en remontabiliteit enige overdimensionering acceptabel geacht.

Indien veelvuldig een gelijke dimensioneringsmaat wordt aangetroffen bij nieuw te bouwen viaducten, die niet nauw aansluit op de beschikbare systeemmaten, wordt aanbevolen het maatsysteem met deze extra maat uit te breiden.

Een bijzonder aspect is de kruisingshoek van het viaduct met de onderliggende situatie. Een niet-loodrechte kruisingshoek wordt momenteel bij 2 op de 3 viaducten toegepast. Voor kruisingshoeken, kleiner dan circa 80°, geldt dat met de huidige technieken extra systeemmaten dienen te worden opgenomen door de toepassing van afgeschuinde koppen. Daarmee is directe uitwisselbaarheid bij hergebruik (zonder modificatie) enkel mogelijk bij viaducten met een gelijke kruisingshoek en overspanning. Het is echter van belang dat het aantal systeemmaten beperkt wordt om de effectiviteit van standaardisatie te behouden. Daarmee wordt aanbevolen om meer uniformiteit te creëren in de toegepaste kruisingshoeken. Zo kan bijvoorbeeld met stapgroottes van 5° gewerkt worden, waarmee bredere toepassing van het gestandaardiseerde maatsysteem mogelijk wordt, zonder dat het aantal systeemmaten dermate groot wordt dat standaardisatie niet meer zinvol is. Daarnaast is het zinvol om de mogelijkheden te onderzoeken om een gelijke ligger onder verschillende kruisingshoeken toe te kunnen passen; bijvoorbeeld door modificatie van de liggerkop.

De systeemmaten die momenteel in het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes voorkomen zijn in grote mate dekkend voor viaducten over rijkswegen. De kleinste liggerlengte waarmee in dit licht rekening is gehouden is 21,6 m¹. Viaducten die niet over een rijksweg heen gaan kennen in een aantal gevallen echter overspanningen die sterk buiten de bandbreedte vallen waarbinnen de systeemmaten van de liggerlengtes zich bevinden. Voor grotere overspanningen dan 60 m¹ geldt dat de mogelijkheid om dit uit te voeren met prefab liggers binnen de huidige transportmogelijkheden al snel drastisch beperkt tot ondoenlijk wordt. Daarnaast beschikt niet elke prefab ligger leverancier op het moment van schrijven over de faciliteiten om liggerlengtes van meer dan 60 m¹ te produceren. Daarmee wordt onder de huidige omstandigheden afgeraden om grotere liggerlengtes op te nemen in het gestandaardiseerde maatsysteem als de systeemmaat van 59,2 m¹.

Voor kleine overspanningen geldt dat ernstig wordt overgedimensioneerd als teruggegrepen wordt op de kleinste systeemmaat van 21,5 m¹. Een aanzienlijk aandeel van de viaducten – In de afgelopen 10 jaar ruim 1 op de 3 viaducten die gebouwd zijn (Rijkswaterstaat, 2022a) – bevindt zich echter in dit overspanningsbereik. Daarmee is het van groot belang dat ook voor dit overspanningsbereik systeemmaten voor de liggerlengtes worden afgesproken die zo goed mogelijk aansluiten op de minimaal benodigde overspanningslengtes.

Ten tijde van dit onderzoek is geen goed vertrekpunt gevonden waar de systeemmaten voor het overspanningsbereik tot 20 m¹ op gebaseerd kunnen worden. Deze overspanningen komen voornamelijk voor indien viaducten in rijkswegen een andere situatie als een rijksweg overspannen. Dit kan onder meer het onderliggende wegennet of een waterlichaam betreffen. De beschikbare data is niet toereikend en de aanwezigheid van veel voorkomende basissituaties ontbreekt. Daarmee kunnen de systeemmaten niet op gelijke wijze als voor het overspanningsbereik tussen de 20 m¹ en 60 m¹ worden bepaald. Aanvullende data of een ander vertrekpunt is benodigd.

4. Geschikte liggertypes voor een remontabel ontwerp binnen een gestandaardiseerd maatsysteem

In Nederland en in het buitenland is een breed scala aan geprefabriceerde betonnen liggers leverbaar. De verschillende liggertypes kennen verschillende eigenschappen en bieden situatieafhankelijk andere voordelen. Zo kennen de diverse liggertypes een ander overspanningsbereik waarbinnen deze kunnen worden toegepast en ook is de benodigde bouwtijd op de bouwlocatie sterk afhankelijk van het gekozen liggertype.

In dit hoofdstuk wordt weergegeven welke bestaande liggertypes zich het beste lenen voor gebruik in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem. Hiertoe wordt eerst het aanbod van liggertypes in binnen- en buitenland weergegeven. Vervolgens vindt een filtering van zeer ongeschikte liggertypes voor een dergelijk ontwerp en een bundeling van sterk overeenkomstige liggertypes plaats. De overgebleven liggertypes worden vervolgens afgewogen waartoe een voorkeursvolgorde ontstaat. Tot slot wordt voor het overspanningsbereik waarbinnen prefab liggertypes veelal gebruikt worden weergegeven welke liggertypes voor welke overspanning het beste kunnen worden toegepast.

4.1 Prefab betonnen liggertypes in binnen- en buitenland

Zowel in Nederland als in het buitenland treft men veel verschillende type prefab liggertypes. Deze verschillende liggertypes kennen vaak andere eigenschappen. In het kader van dit onderzoek worden een aantal eigenschappen belangrijk geacht. Dit betreft onder meer het overspanningsbereik waarbinnen het liggertype normaliter kan worden toegepast, de onderlinge verbindingsmethode(n), de constructiehoogte, het gewicht en de geschiktheid voor toepassing in zwaarbelaste situaties (in rijkswegen). De invulling die de verscheidene liggertypes aan deze eigenschappen geven zijn in sterke mate bepalend voor de geschiktheid van het liggertype voor gebruik in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem voor rijkswegen.

De liggertypes die in binnen- en buitenland verkrijgbaar zijn, zijn weergegeven in het overzicht in bijlage J.4. Aangezien het regelmatig voorkomt dat zeer sterk overeenkomstige liggertypes door verschillende prefab betonproducenten geleverd worden, waarbij de producenten een eigen naamgeving hanteren, zijn in een aantal gevallen hoofdliggertypes genoemd waarbij de naamgeving die door de producenten wordt gehanteerd als varianten worden benoemd.

In het overzicht valt op dat in Nederland enkele zeer diverse liggertypes aanwezig zijn welke gecategoriseerd kunnen worden onder de volgende 'hoofdliggertypes':

- plaatligger⁵;
- volstortligger;
- massieve brugligger;
- kokerligger;
- railbalk;
- I-ligger/H-ligger (omgekeerde T-ligger);
- T-ligger.

Buiten deze hoofdliggertypes zijn een aantal bijzondere liggertypes in Nederland toegepast. Deze zijn weinig toegepast en/of worden om verscheidene redenen nu niet meer toegepast. Naast de liggertypes die in Nederland zijn toegepast zijn ook een aantal liggertypes in het buitenland beschikbaar. Opvallend is dat deze liggertypes vaak veel overeenkomsten vertonen met de hoofdliggertypes uit Nederland. Het basisprincipe achter de ligger kan in bijna alle gevallen worden herleid naar één van de hoofdliggertypes die in Nederland toegepast wordt. Daar de liggertypes van diverse leveranciers dermate kleine verschillen vertonen dat dit irrelevant is om te benoemen, kunnen de liggertypes van diverse leveranciers onder hetzelfde liggertype worden geschaard.

⁵ Hier, alsmede in het overzicht, wordt bedoeld op een betonnen plaatligger en niet op stalen plaatliggers welke normaliter in profielvorm worden uitgevoerd.

4.2 Afweging meest geschikte liggertype voor een remontabel ontwerp binnen een gestandaardiseerd maatsysteem

De verscheidene liggertypes die beschikbaar zijn op de markt kennen ieder andere eigenschappen. Daarmee bieden de liggertypes niet allemaal dezelfde mogelijkheden om redelijkerwijs in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem voor rijkswegen te worden toegepast.

Liggertypes die bij uitstek niet geschikt zijn om in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem voor rijkswegen toe te passen worden vroegtijdig uit de afweging gehaald. Hiertoe zijn in bijlage J.1 filtercriteria beschreven waar de liggertypes wel of niet aan dienen te voldoen om in de latere afweging te worden meegenomen. Daarnaast is een verregaande bundeling uitgevoerd op de overgebleven liggertypes die sterk overeenkomen. Het resultaat betreft een selectie van 5 liggertypes die mogelijkwerwijs geschikt zijn om in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem toe te passen. Dit betreffen de volgende 5 liggertypes:

- plaatligger;
- massieve brugligger;
- kokerligger;
- railbalk;
- H-ligger/I-ligger.

De bovengenoemde overgebleven liggertypes worden afgewogen middels een multicriteria-analyse (MCA). De MCA vergelijkt de verscheidene liggertypes op een aantal aspecten met elkaar. De aspecten vallen binnen de thema's dimensionering, ontwerp en productie. Alle liggertypes krijgen per aspect een score van 1 tot 5 toegekend afhankelijk van hoe goed deze op het aspect scoren. Hierbij geldt dat een hoog getal betekent dat het liggertype zich goed verhoudt ten aanzien van het aspect. Vervolgens wordt middels wegingsfactoren het relatieve belang van het aspect aangegeven. De combinatie van de aspectscores en de wegingsfactoren resulteren in een gesommeerde score. Dit bepaalt de voorkeursvolgorde waarbij het hoogst scorende liggertype, de kokerligger, de beste keuze blijkt. De MCA is weergegeven in *Figuur 4-1*. Voor een uitgebreide toelichting op de MCA en de getalsmatige bepaling wordt verwezen naar bijlage J.

De voorkeursvolgorde, volgend uit de MCA, is als volgt:

1. kokerligger;
2. massieve brugligger;
3. railbalk;
4. H-ligger/I-ligger;
5. Plaatligger.

MCA prefab liggertypes		Wegingsfactor	Plaatligger	Massieve brugligger	Kokerligger	Railbalken	H-ligger / I-ligger
Principe dek							
Dimensionering							
Gewicht	4		1	2	5	4	3
Slankheid (overspanning/hoogte)	6		2	2	5	3	4
Ontwerp							
Intensiviteit benodigde aanpassingen	5		2	5	5	2	3
Uitwisselbaarheid randligger en tussenligger	5		2	4	5	2	3
Productie							
Productkosten	5		1	5	4	3	2
Duurzaamheid (mki)	8		4	5	3	4	2
Productiesnelheid	2		5	4	1	3	2
TOTAAL			83	138	146	107	96

Figuur 4-1: Multicriteria-analyse meest geschikte prefab liggertype voor toepassing in een remontabel dek

4.3 Meest geschikte liggertypes binnen het veel voorkomende overspanningsbereik

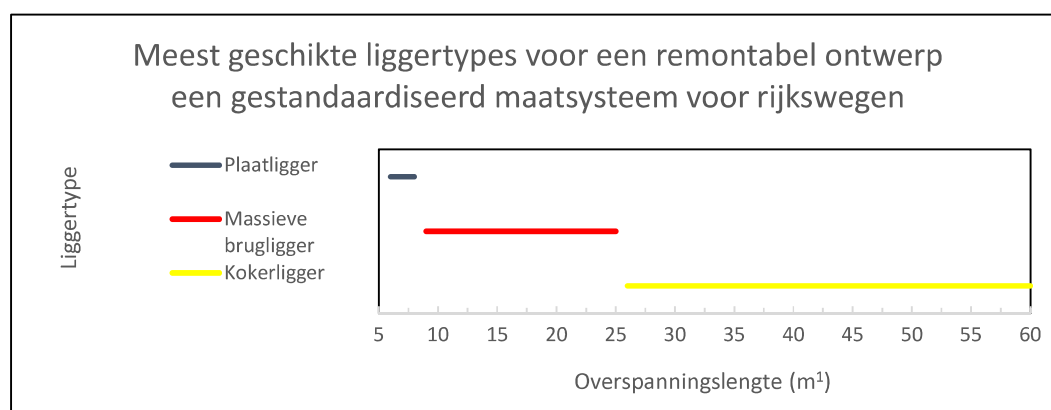
De multicriteria-analyse heeft geleid tot een voorkeursvolgorde voor gebruik van liggertypes in een remontabel en gestandaardiseerd ontwerp. Daaruit blijkt dat de kokerligger het beste toegepast kan worden. De kokerligger wordt echter niet in het volledige overspanningsbereik dat voorkomt in rijkswegen toegepast.

Het overspanningsbereik dat niet binnen het toepassingsgebied van de kokerligger valt dient met andere liggertypes overbrugd te worden. De voorkeursvolgorde die uit de MCA is gebleken is daarbij uitgangspunt ter bepaling van de liggertypes die het beste kunnen worden toegepast buiten het overspanningsbereik waarbinnen de kokerligger wordt toegepast. Voor kleinere overspanningen geldt dat de mogelijkheid is om massieve brugliggers en vervolgens plaatliggers toe te passen.

Daarmee ontstaat de volgende verdeling:

- overspanning $\geq 6 \text{ m}^1$, $< 9 \text{ m}^1$ → plaatligger;
- overspanning $\geq 9 \text{ m}^1$, $\leq 25 \text{ m}^1$ → massieve brugligger;
- overspanning $> 25 \text{ m}^1$ → kokerligger.

De bovenstaande verdeling is tevens grafisch weergegeven in *Figuur 4-2*.



Figuur 4-2: Meest geschikte liggertype voor gebruik in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem voor rijkswegen naar overspanningslengte

Over de drie liggertypes die binnen het overspanningsbereik het meest geschikt worden geacht kan het volgende gezegd worden.

Een viaduct met *plaatliggers* laat zich kenmerken door prefab platen waarop na plaatsing een druklaag gestort wordt. Deze druklaag draagt bij aan de benodigde sterkte en vormt de dwarskoppeling tussen de losse platen. Deze druklaag vormt een zeer grote barrière in het remontabel maken van een viaduct met plaatliggers. Daarnaast dient sterke aandacht uit te gaan naar de randligger, welke een afwijkende vorm kent ten opzichte van de tussenliggers en daarmee standaardisatie minder efficiënt maakt. Uit de MCA blijkt niet voor niets dat de plaatligger alles behalve de voorkeur verdient. Echter, er is geen ander liggertype dat geschikt is om voor dergelijk kleine overspanningen gebruikt te worden. Daarbij dient gezegd te worden dat uit eerdere analyses (zie hoofdstuk 3.1) is gebleken dat maar weinig viaducten zich in het overspanningsbereik bevinden waarbinnen de plaatligger wordt toegepast. Verder kunnen kleine overspanningen ook vaak met prefab tunnelelementen worden gevormd (dit is niet meegenomen in de analyse). Daarmee wordt het afgeraden om de focus te leggen op een remontabel ontwerp met gebruik van plaatliggers.

Een viaduct met *massieve brugliggers* en een viaduct met *kokerliggers* vertonen sterke overeenkomsten. De massieve brugligger bestaat daarbij volledig uit (gewapend) beton. De kokerligger daarentegen kent een 'holle ruimte' in een door (gewapend) beton omhuld profiel. In werkelijkheid betreft deze 'holle ruimte' polystyreenblokken. De kokerligger vormt bij een gelijk gewicht daarmee een grotere overspanning dan de massieve brugligger. De uitwendige profielvorm van beide liggertypes is gelijk. Daarmee kunnen dezelfde constructieve

details worden toegepast voor de verbindingen. Daarmee ontstaat een grote mate van uitwisselbaarheid van de ontwerpprincipes voor beide liggertypes. Normaliter worden de liggers in dwarsrichting aan elkaar gekoppeld middels dwarsvoorspanning door het bovenste gedeelte van de ligger (in het geval van kokerliggers de bovenflens). De ruimte tussen de liggers wordt ter plaatse van het bovenste gedeelte – waarin vaak een sponning is opgenomen – opgevuld middels een voegvulling. Aandachtspunt hierbij is de voegvulling waarbij doorgaans geen rekening is gehouden met het eenvoudig kunnen demonteren van de liggers. Verder worden de kanalen waarin de nagespannen wapening zich bevindt normaliter gedicht met een groutmengsel ter conservatie van de wapening. Dit vormt tevens een aandachtspunt bij het ontwerpen van een remontabel dek. Desondanks bieden de massieve brugligger en de kokerligger de beste uitgangssituatie voor toepassing in een remontabel ontwerp.

4.4 conclusie & aanbevelingen

4.4.1 – Conclusie

Nationaal en internationaal zijn verscheidene liggertypes beschikbaar. In de basis kunnen de liggertypes onder de volgende hoofdklassen worden geschaard (met uitzondering van enkele in het verleden toegepaste liggertypes):

- plaatligger;
- volstortligger;
- massieve brugligger;
- kokerligger;
- railbalk;
- I-ligger/H-ligger (omgekeerde T-ligger);
- T-ligger.

Omwille de verscheidene eigenschappen van de liggertypes zijn deze niet allemaal even geschikt om in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem in rijkswegen toegepast te worden. Uit een analyse op de kansrijke liggertypes blijken bij de volgende overspanningslengteklassen de volgende liggertypes het meest geschikt te zijn voor een dergelijk ontwerp:

- overspanning $\geq 6 \text{ m}^1$, $< 9 \text{ m}^1 \rightarrow$ plaatligger;
- overspanning $\geq 9 \text{ m}^1$, $\leq 25 \text{ m}^1 \rightarrow$ massieve brugligger;
- overspanning $> 25 \text{ m}^1 \rightarrow$ kokerligger.

Opgemerkt daarbij dient te worden dat de plaatligger een zeer ongunstige uitgangspositie kent om in een remontabel ontwerp toe te passen. Echter, voor dit overspanningsbereik zijn geen andere opties beschikbaar. Aangezien dergelijke kleine overspanningen slechts weinig voorkomen dient de focus voor remontabel ontwerpen niet te liggen bij de plaatligger.

De massieve brugligger en kokerligger zijn in vergelijking tot andere liggertypes beide zeer gunstig voor gebruik in een remontabel ontwerp. Het bijkomende voordeel is dat de uitwendige vormgeving en de verbindingsmethoden voor beide liggertypes overeenkomen. Daarmee ontstaat een grote mate van uitwisselbaarheid van constructieve details en complementeren beide liggers elkaar binnen het gestandaardiseerde maatsysteem.

4.4.2 – Aanbevelingen

Het wordt sterk aangeraden om de massieve brugligger of de kokerligger als uitgangspunt te nemen voor een remontabel ontwerp. Niet alleen wordt hiermee invulling gegeven aan veruit het grootste deel van het overspanningsbereik (vanaf 9 m^1 en groter) en alle maten binnen het gestandaardiseerde maatsysteem, ook komen de verbindingsmethoden tussen beide liggertypes overeen. Het remontabele ontwerp voor het eerste liggertype kan hierdoor (grotendeels) worden overgenomen voor het tweede liggertype. Hierdoor vangt Rijkswaterstaat 'twee vliegen in één klap'.

De plaatligger dekt slechts een klein overspanningsgebied en valt buiten de bandbreedte van het gestandaardiseerde maatsysteem. Daarnaast kent de plaatligger de slechtste uitgangspositie voor een remontabel ontwerp. Tevens kunnen kleine overspanningen vaak met prefab tunnelelementen worden gevormd. Daarmee wordt het afgeraden om de plaatligger naar een remontabel ontwerp aan te passen.

5. Prognose meest toegepaste liggerlengte en viaductbreedte

Afhankelijk van de overspanningslengte is een bepaald liggertype het meest geschikt om in een remontabel ontwerp toe te passen. Daarbij beïnvloedt de liggerlengte de dimensionering van verbindingen en elementen die raakvlakken hebben met de liggers. De verschillende liggerlengtes binnen het gestandaardiseerde maatsysteem zullen daarmee in een aantal gevallen leiden tot verschillen in het ontwerp. Om deze redenen kan geen algemeen geldend remontabel ontwerp worden opgesteld. De keuze dient te worden gemaakt voor de systeemmaat waarop het ontwerp, wat gemaakt zal worden als resultaat van deelvraag 3, gebaseerd wordt. In dit onderzoek zal deze keuze worden gemaakt op basis van de prognose van de meest voorkomende liggerlengte. Daarbij zal tevens rekening gehouden worden met de verwachte meest voorkomende viaductbreedte.

5.1 Trend in de overspanningslengte van het bruggen- en viaductenareaal van Rijkswaterstaat

De oudste rijkswegen zijn bijna 100 jaar geleden aangelegd. De rijksweg van vroeger was heel anders vormgegeven als de rijksweg van nu. Eisen, vaak geïnitieerd vanuit veiligheid en kwaliteit, zijn door de tijd heen sterk veranderd. Uiteraard heeft dit ook tot gevolg dat de functionele en technische eisen aan viaducten die in en over de rijkswegen gebouwd worden er anders uit zijn gaan zien. Daarnaast zijn door de tijd hele nieuwe en andere bouwmethodes ontstaan, materialen zijn verbeterd en ook rekentechnieken zijn verbeterd. Dit heeft geleid tot zichtbare trends in de dimensioneringsaspecten van rijdekken van viaducten. Deze paragraaf beschrijft de zichtbare trends uit het verleden en prognosticeert de trend voor de periode tot 2050.

In 1927 is het eerste rijkswegenplan tot stand gekomen (Autosnelwegen, sd). Sindsdien zijn steeds meer rijkswegen gebouwd. De snelle opkomst van rijkswegen begon pas echt na de Tweede wereldoorlog. Om deze reden wordt voor de trends en ontwikkelingen in het areaal gekeken naar de periode vanaf 1951. Ruim 96% van het bruggen- en viaductenareaal van Rijkswaterstaat is in de periode na 1951 gebouwd. Alle in deze paragraaf weergegeven grafieken zijn opgesteld met behulp van de beschikbare informatie in het *Data Informatie Systeem Kunstwerken (DISK)* - het beheersysteem van Rijkswaterstaat waarin gegevens van de kunstwerken die zij beheerd worden opgeslagen.

Het areaal kan vanuit verschillende invalshoeken worden benaderd. In dit hoofdstuk volstrekt dit zich middels de volgende invalshoeken:

- ontwikkelingen op viaductniveau;
- ontwikkelingen op overspanningsniveau.

Afhankelijk van het dimensioneringsaspect dat wordt behandeld, wordt dit op viaductniveau of op overspanningsniveau beschouwd. Voor extra informatie over de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij het opstellen van de grafieken wordt verwezen naar bijlage B.

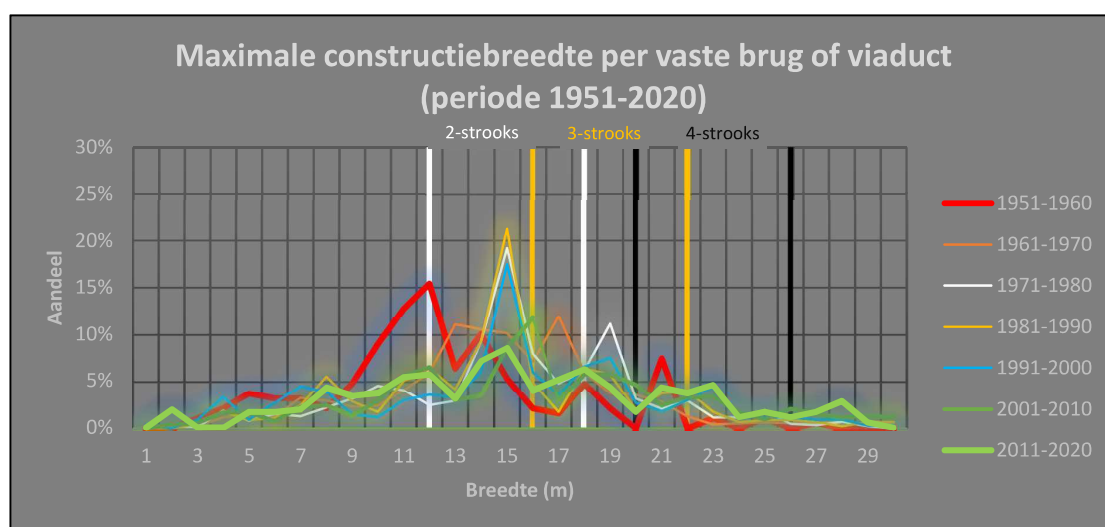
5.1.1 - Ontwikkelingen op viaductniveau

Een belangrijk aspect bij de dimensionering van viaducten is de constructiebreedte. In *Figuur 5-1* is per periode van 10 jaar weergegeven welk aandeel van de viaducten welke maximale constructiebreedte kent. Tevens is in deze grafiek weergegeven binnen welke bandbreedtes zich normaliter de viaducten over tweestrooks, driestrooks en vierstrooks rijbanen bevinden.

In deze grafiek is een trend zichtbaar waarbij door de tijd heen een steeds wat groter wordend aandeel van de viaducten grotere constructiebreedtes kent. Daarbij is tevens een scherpe piek in het aandeel viaducten met een maximale constructiebreedte van circa 15 m¹ te herkennen voor de periodes 1961-1970, 1971-1980 en 1981-1990. De toegepaste viaductbreedtes en de in het areaal voorkomende aandelen daarvan kunnen worden verklaard vanuit de gestelde eisen en richtlijnen in de van toepassing zijnde normen en richtlijnen. Hierin worden eisen gesteld aan het wegontwerp en de constructie. Op deze manier kan gesteld worden dat de pieken in de onderstaande grafiek voor de periodes 1961-1970 t/m 1981-1990 corresponderen met veelvuldig toegepaste constructiebreedtes voor viaducten die tweestrooks rijbanen overspannen, met aanwezigheid van een tussensteunpunt. De zichtbare trend waarbij steeds vaker viaducten met een grotere

constructiebreedte worden gebouwd hangt samen met veranderde normen en richtlijnen, maar ook met de introductie en uitvoering van autosnelwegen met meer dan twee rijstroken. In voorkomende gevallen kan dit tevens betekenen dat twee rijrichtingen op één viaduct worden afgedragen. Dit aandeel lijkt echter beperkt te zijn.

Naast de constructiebreedte is ook een analyse uitgevoerd op de trend bij kruisingshoeken. Hieruit blijkt dat geen trend waarneembaar is. Daarmee wordt in de toekomst een gelijke verdeling verwacht als momenteel aanwezig is, waarbij circa 1 op de 3 viaducten een loodrechte kruisingshoek kent met de ondergelegen weg. Echter, indien gestandaardiseerde maatsystemen breed ingezet gaan worden – en de toepassing van kruisingshoeken een lastig aspect blijft – kan dit mogelijk leiden tot een waarneembare trend waarbij meer uniformiteit in de toegepaste kruisingshoeken zichtbaar wordt.

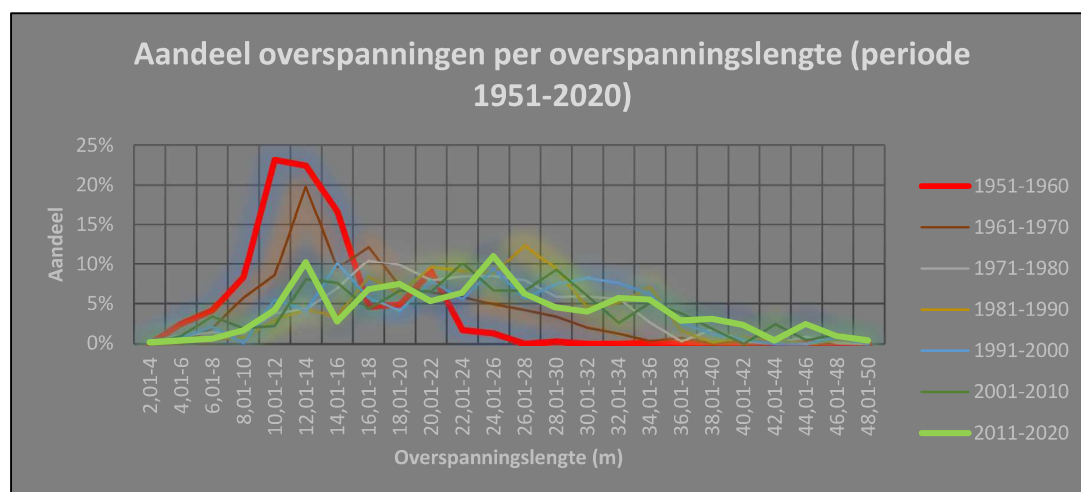


Figuur 5-1: Maximale constructiebreedte per brug of viaduct (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

5.1.2 - Ontwikkeling op overspanningsniveau

De overspanningslengte is naast de bovengenoemde aspecten ook een belangrijk aspect bij viaducten. Gezien het feit dat viaducten veelvuldig over meer dan één overspanning beschikken, dient dit aspect op overspanningsniveau te worden beschouwd.

In *Figuur 5-2* is per periode van 10 jaar weergegeven welk aandeel van de overspanningen zich bij welke overspanningslengte bevindt. Hierbij beperkt de zichtbare overspanningslengte zich in verband met leesbaarheid tot 50 m¹. In deze grafiek is een trend zichtbaar waarbij door de tijd heen steeds vaker grotere overspanningen toegepast worden. Hoewel dit door verscheidene factoren veroorzaakt of beïnvloed kan worden, kan de trend in ieder geval deels verklaard worden vanuit de toepassing van rijbanen met meer dan twee rijstroken. Daarnaast speelt ook hier de invloed van gewijzigde normen en richtlijnen een rol. Tevens is de techniek door de jaren heen verbeterd, waardoor meer mogelijkheden zijn ontstaan voor het (rendabel) toepassen van grotere overspanningen.



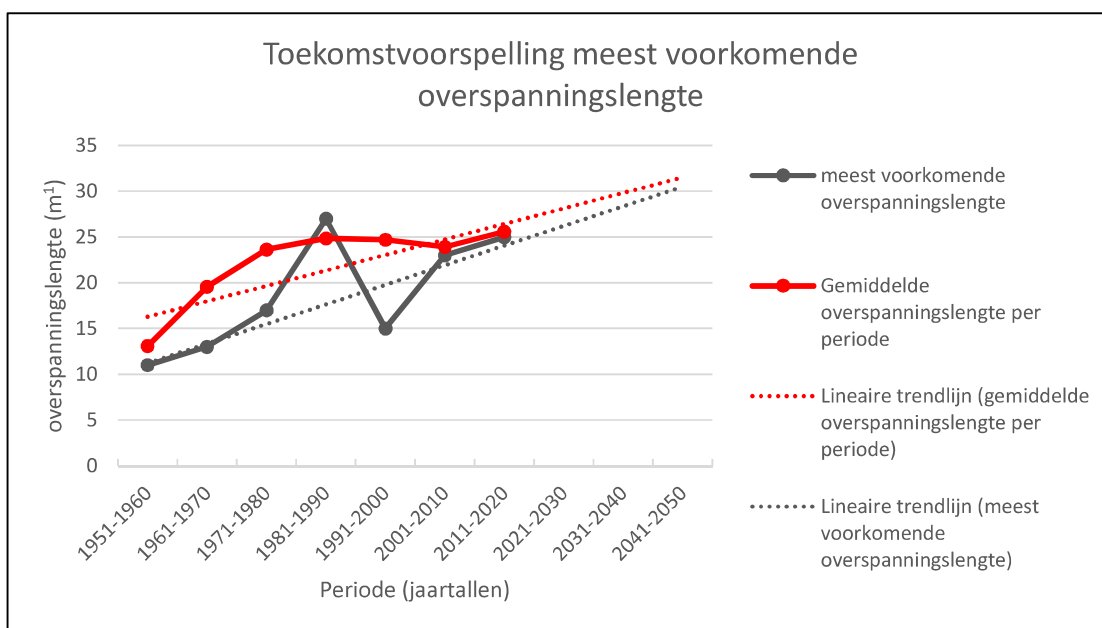
Figuur 5-2: Gemiddelde overspanningslengte (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

5.1.3 - Trend naar de toekomst

De grafieken die eerder in deze paragraaf behandeld zijn tonen kwalitatieve trends aan. De zichtbare trend in de overspanningslengte kan daarbij op grafische wijze gekwantificeerd worden. In *Figuur 5-3* is deze analyse uitgevoerd. Op beide aspecten in de grafiek is middels een lineaire trendlijn een prognose uitgezet. Deze trendlijnen zijn middels stippellijnen aangegeven in de grafiek. Daarbij is als prognosejaar 2050 aangehouden omdat dit in veel studies van Rijkswaterstaat en andere overheidsinstanties het prognosejaar is.

In *Figuur 5-3* beschrijft de grijze lijn de meest voorkomende gebouwde overspanningslengte per periode. De bijbehorende trendlijn beschrijft de toekomstvoorspelling voor de meest voorkomende overspanningslengte. Daarbij moet de kanttekening worden aangebracht dat de meest voorkomende overspanningslengte in een bepaalde periode slechts marginaal vaker toegepast kan zijn als de op één na meest voorkomende overspanningslengte in die periode. Daarmee dient met zeer grote voorzichtigheid om te worden gegaan met het baseren van conclusies op basis van deze trendlijn. Om deze reden is tevens rekening gehouden met de rode lijn, welke de ontwikkeling van de gemiddelde overspanningslengte beschrijft. Hoewel dit in den beginsel geen uitgangspunt is om de meest voorkomende overspanningslengte te prognosticeren, kan de ontwikkeling die zichtbaar is bij de gemiddelde overspanningslengte ter validatie worden gebruikt voor de meest voorkomende overspanningslengte.

In de grafiek is te zien dat de twee trendlijnen een verschillende steilte kennen en convergerend zijn. De meest voorkomende overspanningslengte groeit met 0,86% per jaar ten opzichte 2020 en de gemiddelde overspanningslengte groeit met 0,62% per jaar ten opzichte 2020 (bijlage D.1). Voor de periode 2020-2050 is de verwachting dat de meest voorkomende overspanningslengte circa 28,15 m¹ is en de gemiddelde overspanningslengte circa 29,64 m¹. De trend laat daarmee duidelijk een groei zien. Op basis van de trend uit het verleden wordt voor de periode tot 2050 een groei verwacht van enkele meters tot boven de 30 m¹ voor de meest voorkomende overspanningslengte.



Figuur 5-3: Toekomstvoorspelling meest voorkomende overspanningslengte (per overspanning) (Rijkswaterstaat, 2022a)

De groei van de meest voorkomende overspanningslengte en de gemiddelde overspanningslengte kan ruwweg gevalideerd worden aan de hand van de aanwezige groei binnen invloedsfactoren. Daarbij wordt als uitgangspunt genomen dat zich onder alle viaducten een autosnelweg bevindt. Daarmee zijn invloedsfactoren die resulteren in wijzigingen in de rijbaanbreedte van invloed op de overspanningslengte. Met de volgende factoren is rekening gehouden: groei aantal voertuigkilometers en groei aantal ritten goederenvervoer. Deze laten een jaarlijks groeipercentage van respectievelijk 0,90% en 0,36% zien (bijlage D). De groei in het aantal voertuigkilometers en het aantal ritten goederenvervoer ligt in dezelfde ordegrootte als de groei in overspanningslengte. Tezamen met het voorgaande kan daarmee geconcludeerd worden dat de gemiddelde en meest voorkomende overspanningslengte zal groeien.

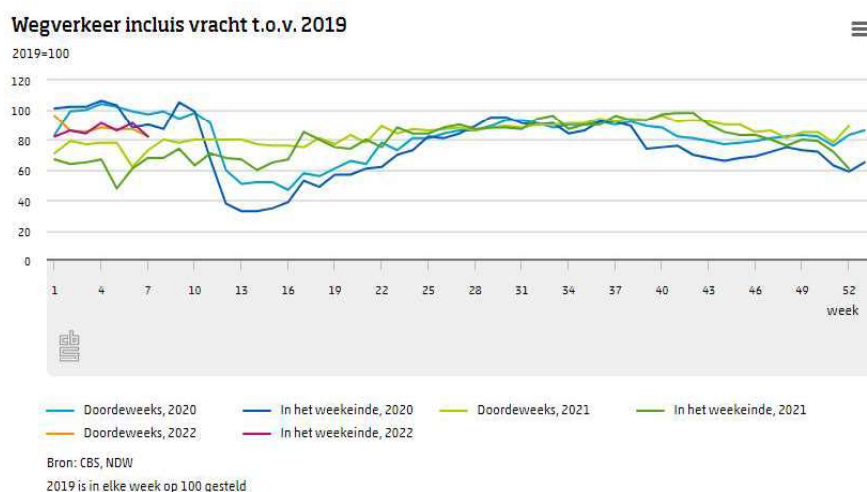
5.2 Ontwikkelingen met invloed op de prognose voor de meest voorkomende liggerlengte

Zoals in hoofdstuk 5.1 zichtbaar is geworden zijn in het verleden trends opgetreden op de dimensioneringsaspecten bij viaducten. Deze trends laten zich voornamelijk kwalitatief beschrijven. In het verleden hebben verschillende invloeden haar weerga gehad op de toegepaste constructiebreedtes en overspanningslengtes. In de toekomst zullen op gelijke wijze weer invloeden optreden die leiden tot ontwikkelingen op deze aspecten. Deze paragraaf licht enkele invloedsfactoren uit. Voor een uitgebreid overzicht naar alle verwachte mogelijke invloeden wordt verwezen naar bijlage E.

5.2.1 - Corona(maatregelen)

Corona heeft een grote invloed op ons dagelijks leven gehad. Dit is ook terug te zien in ons reisgedrag. In *FIGUUR 5-4* is te zien welk effect corona de afgelopen twee jaar heeft gehad op ons reisgedrag. Wat hierin opvalt is dat voornamelijk in de periodes waarin coronamaatregelen van kracht waren een grote terugval in de verkeersintensiteiten zichtbaar is. Naarmate het virus langer in Nederland was werd de invloed van maatregelen op de verkeersintensiteit sterk minder. Zo is de terugval in de eerste maanden van 2021 minder heftig geweest als de terugval in dezelfde periode een jaar eerder. Daarnaast is zichtbaar dat de verkeersintensiteiten in de zomerperiodes van 2020 en 2021 – de periodes waarin weinig tot geen coronamaatregelen van kracht zijn geweest – vrijwel gelijk zijn gebleven ten opzichte van 2019. Sinds de verplichte coronamaatregelen op 23 maart 2022 afgeschaft zijn neemt de verkeersdrukte zichtbaar toe. Hoewel cijfers op het moment van

schrijven nog niet bekend zijn lijkt de drukte gelijk aan voorheen. De directe invloed van corona(maatregelen) op de (middel)lange termijn lijkt daarmee niet (zichtbaar) aanwezig.



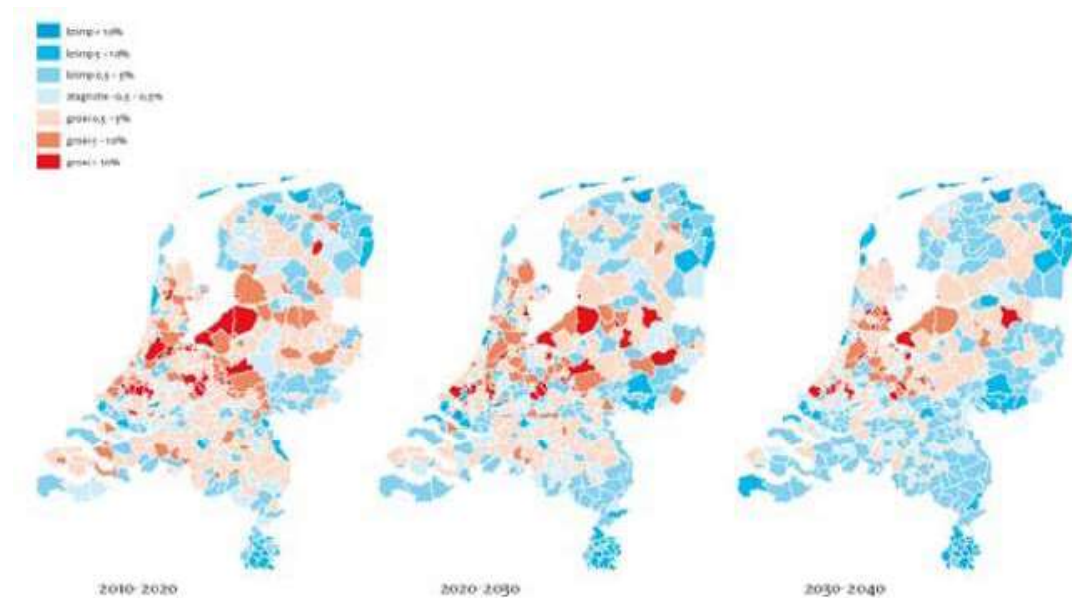
Figuur 5-4: Effect van corona op het wegverkeer (CBS, 2022)

Het coronatijdperk heeft ons echter ook laten zien welke mogelijkheden thuiswerken biedt. De afgelopen jaren is zichtbaar geworden dat het voor veel beroepen doenlijk – en in een aantal gevallen zelfs voordelig – is om (deels) thuis te werken. Hoewel dit aandeel thuiswerkers voor corona al aan het groeien was van 9% in 2014 tot 10% in 2019 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - CROW, 2020), is dit tijdens het coronatijdperk veel hoger geweest. Zoals reeds genoemd lijkt dit aandeel echter sterk terug te vallen en zijn de gevolgen niet meer zichtbaar in het wegbeeld. Tot 2040 is de verwachting dat het aantal thuiswerkers met 5% tot 8% toe zal nemen ten opzichte van 2019 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - CROW, 2020). Echter wordt de verwachte invloed hiervan op de fileproblematiek – waarop het beleid van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat gebaseerd is – klein geacht doordat Nederlanders gemiddeld verder van het werk gaan wonen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - CROW, 2020). De (indirecte) invloed van corona op de overspanningslengtes lijkt daarmee niet (noemenswaardig) aanwezig.

5.2.2 - Bevolkingsontwikkeling

De bevolkingsontwikkeling beïnvloedt de hoeveelheid verkeer en de verdeling van het verkeer over het netwerk. Deze verschillen in verkeersintensiteit kunnen bij toename uiteindelijk leiden tot wegverbredingen.

Binnen de prognose van het PBL (Daniëlle Snellen (PBL), 2015) zijn factoren als bevolkingsgroei (bijlage F.1), vergrijzing en diversiteitsveranderingen (culturen gaan verschillend om met mobiliteit) opgenomen. In **FIGUUR 5-5** is de verdeling van de prognose van de bevolkingsgroei over Nederland weergegeven, waar vanuit is op te merken dat de bevolkingsgroei zich vooral concentreert rond het midden van het land, terwijl de bevolking aan de randen van het land juist krimpt. Daarnaast valt op dat de groei rondom de grote steden in Zuid-Holland relatief beperkt is. Dit zijn locaties waar voornamelijk 2x4 rijstroken zijn gepland, wat inmiddels vaak ook al is aangelegd. In het midden van het land, waar de groei het grootst is, zijn op het moment van schrijven veel rijkswegen aanwezig met 2x2 of 2x3 rijstroken, zoals de A28, A6 en delen van de A1. Binnen **FIGUUR 5-6** is de ambitie tot verbreding van deze wegen naar 2x3 rijstroken weergegeven. Daarnaast zijn er delen van de A1 en A2 in dit 10 jaar oude overzicht als 2x4 aangemerkt, maar die reeds zijn verbreed tot 2x5 en 2x6 rijstroken (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).



Figuur 5-5: Bevolkingsontwikkeling 2010-2025 en 2025-2040 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012)



Figuur 5-6: ambitiekaart hoofdwegenet 2040 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012)

De huidige bevolkingsverdeling in combinatie met de verwachte groei is bepalend voor de ambities die het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenW) heeft voor het hoofdwegennet. In *Figuur 5-6* valt op te merken dat verbredingen naar 2x3 rijstroken de voornaamste ambitie voor Rijkswaterstaat zal gaan vormen. In combinatie met de bevolkingsgroei kan hieruit geconcludeerd worden dat in de geprognostiseerde periode (2022-2050) voornamelijk viaducten over rijkswegen met 2x3 rijstroken gebouwd zullen worden (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

5.3 Prognose meest toegepaste liggerlengte

De systeemmaten in het gestandaardiseerde maatsysteem voor de liggerlengtes zullen niet allemaal in gelijke hoeveelheden worden toegepast. Voor de verdere uitwerking van dit onderzoek wordt daarom een prognose opgesteld voor de meest voorkomende liggerlengte voor de periode 2020-2050.

De prognose is gebaseerd op de eerder besproken trends en ontwikkelingen die zichtbaar zijn en verwacht worden in het areaal. Daarbij wordt in 2050 een gemiddelde overspanningslengte verwacht van rond de 30 m¹. Deze overspanningslengte dient met circa 0,65 m¹ te worden vermeerderd om tot de bijbehorende liggerlengte te komen (bijlage G.3). Uitgegaan wordt van een gemiddelde overspanningslengte van rond de 30,65 m¹.

Deze waarde voor de verwachte meest voorkomende liggerlengte bevindt zich tussen de systeemmaten 28,6 m¹ en de 31,9 m¹. Deze twee waarden omvatten 6 verschillende configuraties zoals weergegeven in *Tabel 5-1*.

Landhoofd fundatie	Aantal overspannen rijstroken (Rijbaan*rijstroken)	Overspanningslengte (indien 0,15 m ¹ oversteeklengte)	Liggerlengte	Voorbeeld
Hoog	1x2	28,05 m ¹	28,6 m ¹	
Laag	1x4			
n.v.t.	1x4			
Hoog	1x3	31,35 m ¹	31,9 m ¹	
Laag	1x5			
n.v.t.	1x5			

Tabel 5-1: Configuraties systeemmaten 28,6 m¹ en 31,9 m¹

De structuurvisie⁶, het huidige wegennet en de bevolkingsgroei geven gezamenlijk aanleiding tot een verwachting dat rijkswegen met een configuratie van 2x3 rijstroken in de toekomst het meest zullen voorkomen. Een situatie met 2x3 rijstroken kan met verschillende viaductconfiguraties

⁶ De structuurvisie omvat op hoofdlijnen de visie op het ruimtelijke beleid binnen een gespecificeerd grondgebied. Zo wordt onder meer beschreven welke rijstrookconfiguraties verwacht worden op de rijkswegen.

overspannen worden. In de basis geldt dat gekozen kan worden voor het wel of niet toepassen van een middensteunpunt en het toepassen van hoog of laag gefundeerde landhoofden. Dit resulteert in de onderstaande vier mogelijke configuraties:

- 2x3 rijstroken met middensteunpunt en hoog gefundeerde landhoofden: 31,9 m¹.
- 2x3 rijstroken zonder middensteunpunt en met hoog gefundeerde landhoofden: 59,2 m¹.
- 2x3 rijstroken met middensteunpunt en laag gefundeerde landhoofden: 24,8 m¹.
- 2x3 rijstroken zonder middensteunpunt en met laag gefundeerde landhoofden: 45,0 m¹.

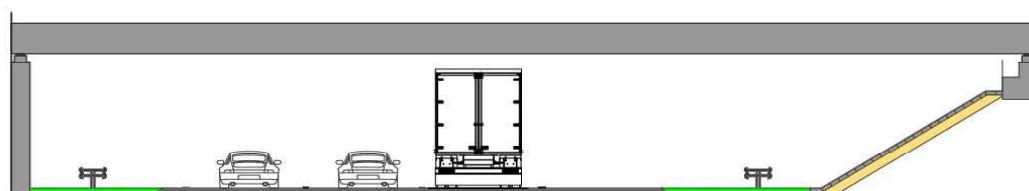
Keuze toepassing middensteunpunt

Rijkswaterstaat heeft sinds de jaren 2000 de wens om het gebruik van middensteunpunten te beperken. Dit resulteert in grotere liggerlengtes (bijlage G.3). Indien een autosnelweg met een 2x3 configuratie zonder middensteunpunt wordt gebouwd resulteert dit in een overspanningslengte van 44,9 m¹ bij laaggefundeerde landhoofden en in een liggerlengte van 59,2 m¹ bij hoog gefundeerde landhoofden. Deze liggerlengtes zijn aanzienlijk groter als wanneer wel een middensteunpunt wordt toegepast, wat tot een aanzienlijk hogere constructiehoogte leidt, en liggen daarnaast niet in lijn met de verwachting voor de gemiddelde liggerlengte. Daarmee wordt niet verwacht dat de situatie zonder middensteunpunt voornamelijk vaker toegepast zal worden als de situatie met middensteunpunt. Uitgangspunt voor de prognose van de meest voorkomende liggerlengte in de periode 2022-2050 is daarmee dat een middensteunpunt aanwezig zal zijn.

Keuze toepassing hoog of laag gefundeerde landhoofden

Verscheidene argumenten kunnen ten grondslag liggen aan de keuze voor toepassing voor een hoog of laag gefundeerd landhoofd (bijlage G.3.2). Belangrijk in die keuze wordt geacht dat hoog gefundeerde landhoofden voor grotere zichtlijnen zorgen. Dit betekent dat dit ontwerpsuitgangspunt in meer situaties kan worden toegepast zonder dat aanpassingen aan het wegontwerp noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld in bepaalde bochten. Daarnaast geeft dit bij automobilisten minder het gevoel dat men op een fuik af rijdt, wat vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid wenselijk is. Daarbij is dit in lijn met het wegbeeld dat men aantreft, waarbij voornamelijk viaducten worden aangetroffen waarbij hoog gefundeerde landhoofden zijn toegepast. Daarmee wordt geprognosticeerd dat hoog gefundeerde landhoofden in de periode 2022-2050 nog steeds in de meeste gevallen zullen worden toegepast.

De verwachting voor de meest toegepaste configuratie in de periode 2022-2050 is daarmee de situatie met 2x3 rijstroken, met middensteunpunt en hoog gefundeerde landhoofden. Dit resulteert in een liggerlengte van 31,9 m¹ (zie Figuur 5-7). Dit is tevens in overeenstemming met de resultaten uit de trendanalyse uit het bestaande areaal.



Figuur 5-7: Situatie viaduct over rijbaan met drie rijstroken, met aanwezigheid van een middensteunpunt en een hoog gefundeerd landhoofd

5.4 Conclusie

De toegepaste liggerlengte bij prefab betonnen viaducten wordt in zeer sterke mate bepaald door de benodigde overspanningslengte om de onderliggende situatie te overbruggen. Daarmee is de onderliggende situatie bepalend voor de benodigde liggerlengte. De grootste mate van uniformiteit vindt men in situaties waarbij de onderliggende situatie een autosnelweg betreft.

Uit de trendanalyse op de in het verleden toegepaste overspanningslengtes kan worden geconcludeerd dat de gemiddelde en meest voorkomende liggerlengte in de periode 2022-2050 een groei laat zien naar ruim 30 m¹ in 2050. Daarnaast blijkt uit een analyse naar ambities van het rijk en verschillende invloedsfactoren dat een situatie waarbij een 2x3 autosnelweg, met hoog gefundeerde landhoofden en met aanwezigheid van een middensteunpunt het meest toegepast zal worden. Dit past bij de systeemmaat met een liggerlengte van 31,9 m¹ (overspanningslengte 31,35 m¹), waarmee het ontwerp op deze liggerlengte gebaseerd zal worden.

6. Afwegingen componenten remontabele ligger

Rijkswaterstaat is in samenwerking met verschillende marktpartijen in 2020 begonnen met de SBIR Circulaire Viaducten⁷ opgave. Eén van de hieruit voortgevloeide ontwikkelingen is het programma *Hergebruik Prefab Liggers (HPL)*, uitgevoerd door RHDHV (RoyalHaskoningDHV, 2020), waarbij betonnen liggers uit oude viaducten worden geoogst voor hergebruik in nieuwe viaducten. Deze ontwikkeling voorkomt materiaalverspilling of laagwaardig hergebruik en helpt ons een stap verder op de weg naar de ideale circulaire economie. Echter, het oogsten van liggers kent nog technische uitdagingen. Deze ontstaan uit het feit dat de reeds gebouwde viaducten – waaruit deze liggers worden geoogst – niet ontworpen zijn voor hergebruik. Dit hoofdstuk beschrijft de definitie van remontabiliteit en geeft de uitgangspunten weer voor het remontabele ontwerp dat in hoofdstuk 7 is opgenomen.

6.1 Ontwerpspecificatie remontabele liggerdek

Deze paragraaf beschrijft de ontwerputgangspunten voor het referentieontwerp van een remontabel dek voor viaducten met prefab betonnen liggers. Deze kaderstelling is gebaseerd op de bevindingen die in de voorgaande hoofdstukken zijn opgedaan.

6.1.1 - Wat is een remontabele prefab ligger?

Een prefab betonnen ligger is remontabel indien deze ontworpen is voor demontage – het niet-destructief uit elkaar kunnen halen van een samengesteld bouwproduct, waarbij het de voorkeur geniet dat dit eenvoudig mogelijk is – en gelijkwaardig hergebruik – het opnieuw kunnen gebruiken van het element in dezelfde functie, al dan niet met bewerking (Quartel J. v., 2022).

6.1.2 - Ontwerputgangspunten

In de vorige hoofdstukken is duidelijk geworden dat er altijd situationele aspecten spelen, waardoor ontwerputgangspunten met grote regelmaat per situatie kunnen verschillen. Dit heeft in een aantal gevallen invloed op het remontabele ontwerp. Daartoe wordt het ontwerp opgesteld middels een aantal uitgangspunten.

Uitgangssituatie relatie tot weg

Situationele aspecten spelen altijd een rol. Voor het referentieontwerp wordt rekening gehouden met veel voorkomende gevallen voor situationele aspecten. Daartoe ontstaan de volgende uitgangspunten:

- Toepasbaar in bruggen en viaducten in en over rijkswegen.
- Loodrechte kruisingshoek met de onderliggende weg (90°).
- Een horizontaal gepositioneerd viaduct, verkant onder een dakprofiel.
- De bovenliggende weg ligt niet in een bocht en de rijrichting is evenwijdig aan de langsrichting van het dek.
- De uitwendige vormgeving van de ligger is niet adaptief.
- De ligger heeft een lengte van 31,9 m¹ en een breedte van 1730 mm¹.

Verbindingen

Het onderzoek is gericht op prefab liggers. Daartoe wordt rekening gehouden met de liggers en alle verbinding tussen liggers en andere componenten van het viaduct. De afbakening bevindt zich op de raakvlakken van de liggers met andere componenten van een viaduct. Zo wordt wel rekening gehouden met de voegconstructie en de oplegconstructie ter plaatse van steunpunten, maar valt het steunpunt buiten de scope. Rekening gehouden wordt met de volgende verbindingen:

- Verbinding tussen ligger en schamkant inclusief voorzieningen als geleiderails, leuningwerk, geluidsschermen, en lichtmasten.
- De koppeling tussen liggers in dwarsverbindingen.
- Oplegging en aansluiting van de ligger op het landhoofd (oplegging en voegconstructie).
- Oplegging op het eventuele tussensteunpunt.

⁷ Middels de SBIR (Strategic Business Innovation Research) Circulaire Viaducten poogt Rijkswaterstaat samen met de markt tot circulaire viaducten te komen middels een negenstappenplan. Voor meer informatie wordt verwezen naar <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/duurzame-leefomgeving/circulaire-economie/strategic-business-innovation-research-circulaire-viaducten>

- Verbinding/aansluiting van achtereenvolgende liggers (bij meerdere overspanningen).
- Raakvlak betonnen dek en asfalt.

Randvoorwaarden

- Fabrieksmatig te produceren als element.
- Transporteerbaar over een aanzienlijk aandeel van het rijkswegennet.
 - Maximaal 2,7 m³ hoog.
 - Maximaal ligergewicht van 180 ton.
- Geproduceerd met beton als hoofdbestandsdeel.
- Het viaduct moet in staat zijn om de inwendige en uitwendige krachten op te nemen, die volgen uit de constructieve eisen die gesteld worden aan een rijkswegviaduct in Nederland.

Succesvoorwaarden

- Financieel haalbaar.
- Duurzaam (milieu).
- Snel en met beperkte verkeershinder te (de/her)monteren. Bij voorkeur is de hinderperiode voor het verkeer niet langer als bij sloop.
- Het viaduct moet enigszins in breedte aanpasbaar zijn met behulp van het toevoegen of wegnemen van liggers.
- Esthetische randafwerking mogelijk.

6.2 afwegingen

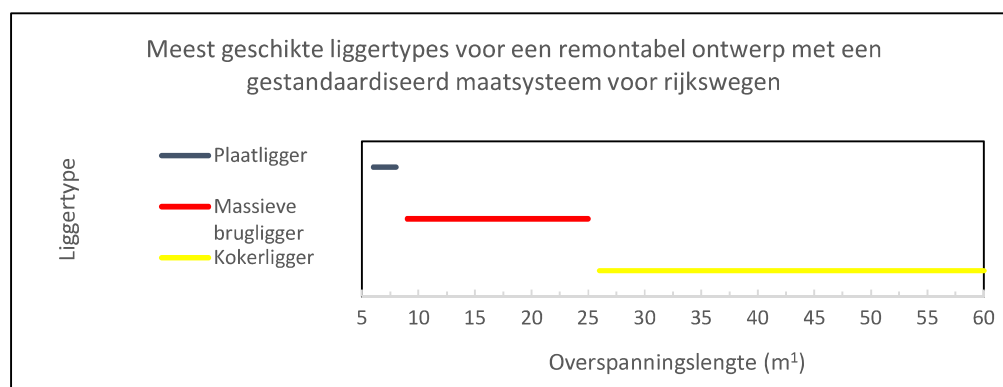
In veel gevallen lenen bestaande technieken, al dan niet in aangepaste vorm, zich al goed voor remontabiliteit. In deze paragraaf wordt per onderdeel van de ligger een afweging gemaakt uit de verschillende mogelijkheden.

6.2.1 - Kruisingshoek

Conform de uitgangspunten uit hoofdstuk 3 zal het ontwerp zich focussen op een viaduct met daarop een weg, welke een loodrechte kruisingshoek met de onderliggende weg maakt.

6.2.2 - Type ligger

Het meest geschikte liggertype voor een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp is afhankelijk van de overspanningslengte (zie hoofdstuk 4). Bij een liggerlengte van 31,9 m³, met een bijbehorende overspanningslengte van 31,35 m³, geldt dat de kokerligger het meest geschikt is (zie Figuur 6-1). Het ontwerp zal daarom gevormd worden met kokerliggers.



Figuur 6-1: Meest geschikte liggertype voor gebruik in een remontabel ontwerp met een gestandaardiseerd maatsysteem voor rijkswegen naar overspanningslengte

6.2.3 - Randligger

Er zijn drie mogelijke ontwerpuitgangspunten voor het ontwerp van een randligger ten opzichte van een tussenligger binnen een gestandaardiseerd systeem (zie ook hoofdstuk 3.2.2):

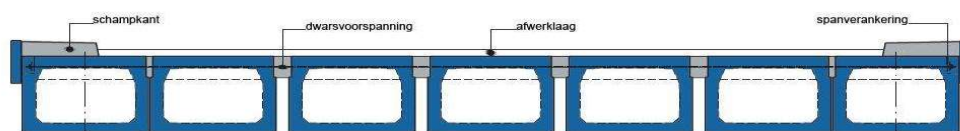
- Een unieke interne en externe vormgeving.
- Een unieke interne, maar gelijke externe vormgeving.
- Een gelijke interne en externe vormgeving.

Daarbij geldt voor de externe vormgeving dat deze aan de bovenzijde af mag wijken omdat dit in de basis niet tot een andere bekisting leidt. De voorkeur gaat uit naar een randligger met een eventueel unieke interne, maar gelijke externe vormgeving als van een tussenligger. Dit biedt namelijk voordelen voor het productieproces omdat dit in dezelfde bekistingsmal kan plaatsvinden.

6.2.4 - Constructieve dwarsverbinding

De constructieve dwarsverbinding tussen de liggers maakt het dek één geheel en werkt mee in de spreiding van de belastingen over meerdere liggers.

Voor kokerliggers geldt dat deze dwarsverbinding normaliter gevormd wordt door toepassing van dwarsvoorspanning door uitsparingen in de bovenflens van de kokers. De (variabele) ruimte tussen de kokers wordt met een voegvulling opgevuld (zie Figuur 6-2). De voegvulling kan onnauwkeurigheden in de uitvoering compenseren en kan bij een ongewapende voeg tot een breedte van meer dan 140 mm¹ worden uitgevoerd (exclusief 2x30 mm¹ sponning in de ligger), indien de sterktecapaciteit van de ligger voldoende is om deze brede voegen, welke gepaard gaan met hogere permanente en variabele belastingen, te faciliteren. Zoals uit hoofdstuk 3.4 echter is gebleken geeft het kunnen variëren van de voegbreedte tot 80 mm¹ voldoende flexibiliteit. Het behoud van de functionele eigenschappen van de voegvulling is in een remontabel dek gewenst. Daarmee kan in de basis hetzelfde bouwprincipe worden gebruikt. De losmaakbaarheid is echter een aandachtspunt.



Figuur 6-2: Dwarsdoorsnede kokerliggerconstructie (Spanbeton, SKK kokerligger, z.d.)

De voegvulling wordt normaliter aangehecht aan het opgeruwde beton van de kokerligger. Daarmee is dit niet zomaar losmaakbaar. Het 'eerste circulaire viaduct' te Kampen heeft echter innovatie laten zien waarbij dwarsvoorspanning en voegvullingen zonder aanhechting zijn gebruikt. Deze innovatie is met ingang van de ROK 2.0 bij rijksprojecten toepasbaar. De techniek bestaat uit voorspankabels in een gladde buis met vet als beschermings- en opvulmateriaal. De kabels worden door uitsparingen in de bovenflenzen van de liggers gevoerd. Vervolgens wordt tussen de ligger een rubberprofiel geplaatst op oplegnokjes, veroorzaakt door uitsparingen in de liggers. De voeg wordt vervolgens gevuld met een krimparme mortel, waarbij hechting aan het beton van de ligger kan worden voorkomen door gebruik te maken van onthechtingsmiddel. Het verbindingsvlak van het voegmateriaal met de ligger wordt tevens niet opgeruwd. Nadat de mortel is uitgehard worden de voorspankabels op spanning gebracht en verankerd (Quartel K., Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022). Daarmee ontstaat een remontabele oplossing voor de dwarsverbindingen tussen de liggers, waarbij minimale wijzigingen in het ontwerp nodig zijn. Enkel de voegvullingen kunnen niet gelijkwaardig worden hergebruikt.

6.2.5 - Schamkant

Doorgaans worden schamkanten in het werk gewapend, gestort en van aanvullende voorzieningen voorzien. Incidenteel wordt de schamkant al in de fabriek meegestort. De afweging om de schamkant in het werk of fabrieksmatig aan te brengen is onderhevig aan veel argumenten voor beide varianten. Kortweg is in het werk storten nadelig omdat dit meer tijd, materieel en materiaal kost, onveiliger is en niet onder geconditioneerde omstandigheden kan plaatsvinden. Het prefab storten is nadelig omdat mogelijkheden tot het aanpassen en stellen van de schamkant op de in het werk aangetroffen afwijkingen niet meer mogelijk is. Daarnaast vereist de aanwezigheid van een schamkant op de randligger, voordat deze gekoppeld is aan de andere liggers, een versterking van de ligger. Zie voor een uitgebreid overzicht van de argumenten bijlage L.3.

Genoemd dient te worden dat de schamkant bij hergebruik nog steeds op de ligger aanwezig zal zijn. Hier dient bij het ontwerp van de ligger al rekening mee te worden gehouden. Zo dient de sterkte van de ligger voldoende te zijn om ook de schamkant te dragen. Ook is de adaptiviteit van de schamkant/randligger bij hergebruik beperkt (óf vereist dit intensieve maatregelen). Daarmee loopt men bij hergebruik onoverkomelijk tegen een aantal van de problemen aan die men bij het prefab produceren van de schamkant ook al tegenkomt. De voordelen blijven uiteraard in onverminderde mate aanwezig. Het is daarom aan te bevelen om bij het ontwerp van de randligger

en het viaduct uit te gaan van de aanwezigheid van een prefab schampkant. Dit zal dan ook het ontwerpuitsgangspunt zijn.

Een sterk aandachtspunt in het ontwerp van de randligger is het extra eigengewicht dat de schampkant tot stand brengt. Voor een betonnen ligger van 31,9 m³ komt dit ruwweg neer op 25 ton wanneer de maatvoering van het standaard detail in de RTD 1010 wordt aangehouden. Dit heeft constructieve gevolgen voor de ligger. In het ontwerp zal daarom aandacht worden besteed aan het beperken van het gewicht van de schampkant. Aandachtspunt daarbij zijn de eisen die de ROK stelt aan schampkanten (zie Figuur 6-3).

6.2.6 - Hijsvoorzieningen

Tijdens de productie van betonnen liggers worden hijsvoorzieningen ingestort om de liggers te kunnen verplaatsen. Afhankelijk van onder meer het liggertype en het gewicht wordt voor een andere hijsvoorziening gekozen. De volgende hijsvoorzieningen zijn toepasbaar bij betonnen liggers:

- a. ingestorte stalen hijslus;
- b. sparing in de ligger;
- c. ankerbus;
- d. kogelkopanker;
- e. hijsband.

In *Figuur 6-4* zijn deze hijsvoorzieningen weergegeven.



a. Ingestorte hijslus (Haitsma, z.d.)



b. Sparing in de ligger (Rijkswaterstaat, hijswerk hijsen, z.d.)



c. Ankerbus (Halfen, z.d.)



d. Kogelkopanker (Halfen, z.d.)



e. Hijsband (Infrasite, z.d.)

Figuur 6-4: Beschikbare hijsvoorzieningen

Naast de bestaande voorzieningen is nog een concept hijsvoorziening opgenomen in bijlage L.4. Het inzetten van deze voorziening vereist nog veel technische ontwikkeling en lijkt een dure oplossing te worden. Daarom wordt deze verder niet behandeld.

Niet alle type voorzieningen zijn geschikt voor een remontabele toepassing van kokerliggers. In eerste instantie geldt in algemene zin dat de ingestorte hijslus ongeschikt is. Deze wordt namelijk afgeslepen na plaatsing van de ligger, waardoor deze hijsvoorziening niet meer gebruikt kan worden. Voor kokerliggers specifiek geldt daarnaast dat het opnemen van één of meerdere sparingen in de ligger zeer onwenselijk is, omdat de hijsmiddelen tijdens het hijsen zullen uitsteken aan de zijkant van de ligger. Dit bemoeilijkt het plaatsen van de liggers of maakt dit zelfs

6 SCHAMPKANTEN (RWS-SCHAMP)

Eisen

- A. Zijkanten van rijdekken dienen voorzien te zijn van schampkanten.
- B. Schampkanten dienen vuil op het rijdek te keren. De totale kerende hoogte dient minimaal 200mm te zijn voor verkeersviaducten en 150mm voor fietsviaducten.
- C. Schampkanten dienen hemelwater op het rijdek te keren.
- D. Schampkanten dienen de bevestiging van een leuning en eventuele voertuigkering langs de rand van een rijdek mogelijk te maken.
- E. Schampkanten dienen de ontwerpbelastingen van daarop bevestigde leuningen of voertuigkeringen over te dragen naar het rijdek.
- F. Schampkanten dienen gehydrofobeerd te zijn.
- G. Schampkanten dienen voorzien te zijn van kabeldoorvoeren. <T>
- H. Kabeldoorvoerbuizen dienen aan het uiteinde van het kunstwerk omlaag geleid te zijn zodat de kabels een minimale gronddekking hebben van 500mm. <T/B>
- I. Kabeldoorvoerbuizen dienen glad te zijn aan de binnenzijde en dienen geen bochten groter dan 45 graden te hebben.
- J. Trekputten dienen toegepast te zijn in schampkanten met kabeldoorvoer buizen met een h.o.h. afstand van 30m. Bij kruising van de buizen met voegovergangen dienen trekputten toegepast te zijn binnen 6m van de voegovergang.
- K. De deksels van trekputten dienen waterdicht te zijn.
- L. Trekputten dienen voorzien te zijn van een waterafvoer.

Figuur 6-3: eisen schampkanten (*Rijkswaterstaat, 2017*)

ondoenlijk. Daarnaast is de kokervorm constructief gezien niet geschikt voor een hijsvoorziening in deze vorm.

De hijsband betreft een band die om de ligger heen wordt aangebracht. Om de ligger goed te kunnen plaatsen en om de hijsband in een later stadium bij demontage weer te kunnen aanbrengen is een uitsparing in de ligger vereist (de hijsband moet binnen de breedte van de ligger worden aangebracht). Daarmee veranderd de uitwendige vormgeving. Dit wordt niet aanbevolen omdat dit onder meer gevolgen heeft voor het afwerken van het dek.

Daarmee blijft de ankerbus en het kogelkopanker over. De ankerbus betreft een bus met schroefdraad (vergelijkbaar met een demu), waarin hijsmiddelen kunnen worden vastgedraaid. Na het hijsen kunnen de hijsmiddelen weer worden verwijderd, waarbij de ankerbus intact blijft. Daarmee is de ankerbus geschikt voor een remontabele toepassing. Zover bekend zijn er echter geen ankerbussen voor zware hijslasten op de markt verkrijgbaar (> circa 100 ton).

Het kogelkopanker betreft een ingestorte staalcilinder met een dikke kop die in een kleine uitsparing aan de bovenzijde van de ligger aanwezig is. Hieraan kunnen hijsmiddelen worden bevestigd. Kogelkopankers kunnen in verschillende sterktes worden geleverd voor lichte tot zware lasten. De kleine uitsparingen in de ligger kunnen worden dichtgesmeerd of worden afgedekt met een plastic kap (Gerrijn, 2022) zodat hier overheen geasfalteerd kan worden. De uitsparingen kunnen weer worden vrijgemaakt indien het viaduct gedemonteerd wordt. Aandachtspunt is de betrouwbaarheid van de hijsvoorziening door de tijd heen. Kogelkopankers die met een plastic kap worden afgedicht worden enkel door een waterdichte DAB laag beschermd tegen invloeden van buitenaf. Indien de kogelkopankers weer gebruikt dienen te worden na een gebruiksfase van de ligger van meerdere decennia, dient deze goed te worden beschermd. Gedacht kan worden aan roestvast staal.

Daarmee wordt het kogelkopanker aanbevolen als hijsvoorziening in het ontwerp van de remontabele ligger.

6.2.7 - Voegconstructies

Om bewegingen van het dek, ten gevolge van onder meer thermische krimp, temperatuurinvloeden, kruip en verkeersbelasting op te kunnen vangen zonder dat dit leidt tot zeer grote krachten in de constructie en ongewenste verplaatsingen van steunpunten, worden voegconstructies toegepast.

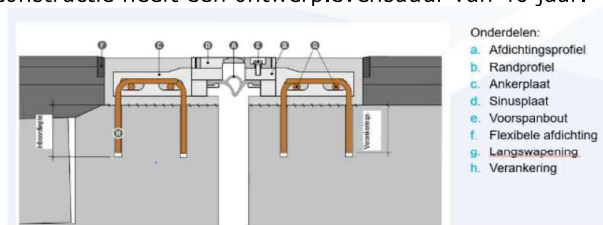
Er bestaan verschillende voegconstructies. De verschillende typen worden onderverdeeld in 7 *voegfamilies*, zoals dit beschreven wordt in het *handboek voegovergangen* van het Platform Voegovergangen en Opleggingen:

- nosing Joints;
- vingervoegen;
- mattenvoegen;
- flexibele voegen;
- verborgen voegen;
- integraalvoegen;
- lamellenvoegen.

Voor meer informatie over de verschillende voegconstructies wordt verwezen naar bijlage K.1.

De voegbewegingen waar rekening mee dient te worden gehouden (zowel de grootte als de richtingen) is een belangrijk aspect in de afweging om een bepaald type voegconstructie toe te passen. De invloeds lengte, de lengte van het viaduct waarvan de vervormingen door de voegconstructie dient te worden opgenomen, is een belangrijke factor bij het bepalen van deze voegbewegingen. Rekening gehouden wordt met een invloeds lengte die maximaal gelijk is aan de liggerlengte van 31,9 m¹ (zie bijlage K.2 voor nadere toelichting). De voegconstructies die over het algemeen toegepast worden om de voegbewegingen op te nemen die horen bij een invloeds lengte van 31,9 m¹ zijn de nosing joint en de flexibele voeg. De overige voegconstructies zijn niet geschikt of onnodig complex en duur.

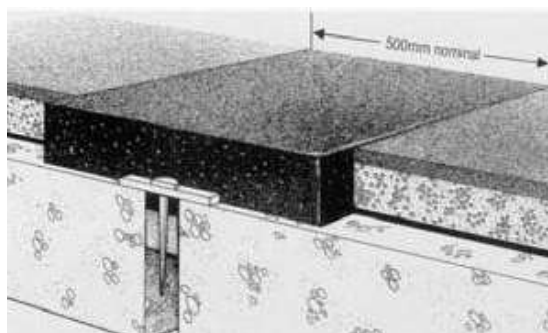
De *nosing joint* bestaat in hoofdzaak uit verankerde randprofielen, waartussen zich een afdichtingsprofiel bevindt, welke de waterdichtheid van de voeg waarborgt (zie Figuur 6-5). In de lengterichting van het dek is een dilatatiecapaciteit tot 80 mm¹ aanwezig. Dit is ruim voldoende voor een invloedslengte van 31,9 m¹. Indien nosing joints met sinusplaten worden toegepast kan de dilatatiecapaciteit nog iets groter zijn, tot circa 100 mm¹. Dit type wordt toegepast in verband met de geluiddempende werking, iets wat in combinatie met de veel voorkomende stille (open) deklagen vrijwel altijd benodigd is. De voegconstructie heeft een ontwerp levensduur van 40 jaar. Onderhoud kan worden gecombineerd met onderhoud aan de asfaltconstructie waardoor geen extra verkeersoverlast ontstaat. Het vervangen van de voeg kost echter wel veel moeite en kost vaak twee dagen. De nosing joints met sinusplaten halen in praktijk de levensduur van 40 jaar waarschijnlijk niet omdat deze in loop der tijd steeds onbetrouwbarder zullen gaan functioneren en steeds meer ongepland onderhoud zullen vereisen door de kwetsbaarheid van de voorgespannen boutverbinding. De nosing joint kost circa € 2500 per strekkende meter om aan te leggen. Ook bij enige te verwachting zetting van het landhoofd en rotatie van stootplaten is de voeg toepasbaar zonder grote gevolgen voor de levensduur.



Figuur 6-5: Nosing joint (*Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022*)

De *flexibele voeg* bestaat uit een flexibele voegmassa, bestaande uit bindmiddel (bitumen) en een steenskelet van mineraalaggregaten (meestal steenslag) (zie Figuur 6-6). De standaardbreedte, in de rijrichting gemeten, van de voegmassa is 500 mm¹. Voor haakse kruisingshoeken kan dit verbreed worden tot maximaal 700 mm¹.

De dilatatiecapaciteit van de standaard voegovergang van 500mm heeft een capaciteit van +25 mm¹ (rek)/-12,5 mm¹ (stuik). Naast de standaard flexibele voegovergang bestaat er ook een verbeterde variant met rekspreidende spiraalveren; de zogenaamde Silent joint™⁸. Deze heeft een grotere dilatatiecapaciteit tot +46/-24 mm¹ bij een 700 mm¹ brede voeg. Deze capaciteit is onder normale omstandigheden ruim voldoende voor een invloedslengte van 31,9 m¹.



Figuur 6-6: Flexibele voegovergang (*Rijkswaterstaat, ROK bijlage deel A, 2017*)

De flexibele voeg kost circa € 1500 per strekkende meter en gaat circa 10 jaar mee. Dit is ongeveer gelijk aan de levensduur van de deklaag van het omliggende asfalt, waardoor het vervangen van de voeg kan worden gecombineerd met het vervangen van de deklaag. Hierdoor ontstaat geen extra verkeers hinder. Daarnaast is geen uitsparing in de ligger vereist om ruimte te bieden aan de voeg en is de voeg duurzaam geluidsarm. De gevoeligheid voor scheuren ten gevolge van zetting van de steunpunten en stootplaten en de algemene afnemende bitumenkwaliteit vormen risico's voor dit voegtype. Voor meer informatie wordt verwezen naar bijlage K.2.

Indien de nosing joint en de flexibele voeg worden vergeleken blijkt dat de flexibele voeg voordeliger is voor een remontabel viaduct. Niet alleen is de kans dat het vervangen van de voeg resulteert in schade en/of verminderde duurzaamheid van de ligger veel kleiner bij de flexibele voeg, ook is onderhoud goed te combineren met werkzaamheden aan de asfaltconstructie en leent deze voeg zich goed voor toepassing in stille wegdekken (zie ook bijlage K.2).

Voegconstructie boven tussensteunpunt

Boven tussensteunpunten wordt regelmatig een *buigslappe voeg* gebruikt. Deze licht gewapende voeg, gevuld met een mortel, is in staat om enigszins rotaties te ondergaan maar geeft bewegingen en vervormingen van het dek in horizontale richting door. De constructie kan 50 jaar

⁸ De Silent joint™ is onderhevig geweest aan een patent van RSAG Reparatur- und Sanierungstechnik AG met patentnummer EP1009881. Dit patent is verlopen op 28 augustus, 2017. Naast RSAG zijn momenteel echter nog geen andere leveranciers bekend.

of langer mee gaan en is onderhoudsarm. Vervanging duurt echter relatief lang en kan schade toebrengen aan de ligger, ter plaatse van andere voegconstructies wordt de invloedslengte vergroot en een uitsparing in de ligger is benodigd.

Boven steunpunten wordt toepassing van de flexibele voeg aangeraden boven toepassing van de nosing joint en de buigslappe voeg. Niet alleen kan hiermee voorkomen worden dat een uitsparing in de ligger benodigd is, iets wat in het kader van uitwisselbaarheid bij hergebruik aan te bevelen is, tevens worden vergrote invloedslengtes voorkomen. Daarnaast kan het vervangen van de voeg plaatsvinden zonder dat dit schade toebrengt aan de ligger. Voor meer informatie wordt verwezen naar bijlage K.2.

6.2.8 - Opleggingen

Opleggingen vormen de verbinding tussen het rijdek en de steunpunten bij viaducten. De opleggingen dragen belastingen over en staan in de meeste gevallen enige mate van transleren en roteren toe in voorgeschreven richtingen. Daarmee veroorzaken bewegingen en vervormingen van het rijdek geen ongewenste grote belastingen op de steunpunten (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022).

Er zijn verschillende type opleggingen beschikbaar. Afhankelijk van het type oplegging worden bepaalde bewegingen (translaties en/of rotaties) in bepaalde richtingen en tot een bepaald maximum toegelaten. Daarbij kunnen verschillende mechanismen (zoals glijden, vervormen, rollen, kantelen) worden gebruikt om de bewegingen te faciliteren.

De keuze voor het type oplegging berust op technische overwegingen, inspectie, onderhoud en vervangbaarheid en esthetische overwegingen.

De volgende type opleggingen kunnen worden onderscheiden (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022):

- glijdelementen;
- rubberopleggingen;
- rolopleggingen;
- potopleggingen;
- taatsopleggingen;
- bolsegment- en cylindersegmentopleggingen;
- vasthoudopleggingen;
- geleideopleggingen;
- scharnieropleggingen;
- trek- en drukopleggingen.

Bij een overspanning van $31,9 \text{ m}^1$ – maar ook binnen het gehele overspanningsbereik waar het gestandaardiseerde maatsysteem zich op richt – geldt dat de rubberoplegging (Figuur 6-7) het meest geschikt is (bijlage G.2). Deze relatief eenvoudige en goedkope oplossing heeft de benodigde vervormingscapaciteiten, heeft een levensduur van 30 tot 50 jaar (mits niet blootgesteld aan water en dooizouten) en is bij gebruikelijke ontwerpprincipes eenvoudig te inspecteren en te vervangen. De rubberen oplegblokken komen in rechthoekige en ronde vorm voor. De benodigde grootte van het oplegblok is sterk afhankelijk van het gewicht, voegbewegingen (translaties en rotaties) en daarmee de liggerlengte. Voor een kokerliggerconstructie waarbij de hart op hart afstand tussen de oplegblokken $1,75 \text{ m}^1$ is en een liggerlengte van $31,9 \text{ m}^1$ geldt, wordt verwacht dat een rechthoekig oplegblok van $250 \times 400 \text{ mm}^1$ voldoet (bijlage G.2). Daarbij wordt de 'korte' zijde – in dit geval 250 mm^1 – normaliter evenwijdig aan de lengterichting van het viaduct geplaatst, zodat het oplegblok minder weerstand biedt tegen rotatievervorming, voornamelijk geïnitieerd door het doorbuigen van het dek.



Figuur 6-7: Rubber oplegblokken

Voor meer informatie over opleggingen en de bepaling van het benodigde formaat voor de oplegblokken wordt verwezen naar bijlage G.2.

6.2.9 - Wegdek

Op viaducten wordt evenals op de doorgaande rijbaan een asfaltconstructie aangebracht. Het vervangen van de asfaltconstructie is normaliter goed mogelijk zonder schade toe te brengen aan de liggers. Aanvullende maatregelen, zoals de toepassing van rode verf op de liggers die als waarschuwing voor de freesmachinist en kraanmachinist dient kunnen worden ingezet om de kans van het optreden van schade te verkleinen. Bij vervanging worden de volgende stappen doorlopen:

- Boren van kernen om de asfaltdikte en opbouw te bepalen.
- Wegvreezen van de asfaltlaag tot 20 á 30 mm¹ boven het beton.
- Verwijderen van de onderste 20 á 30 mm¹ aan asfalt met behulp van een kraan met ripper (zie Figuur 6-8).

Deze standaard toegepaste techniek geeft het risico op het ontstaan van krassen op het betonoppervlak, waardoor de duurzaamheid van de ligger mogelijk verminderd. Echter brokkelt het asfalt relatief snel af en biedt het geprefabriceerde beton veel weerstand omdat onder de geconditioneerde omstandigheden bij het productieproces van de liggers beton van hoge kwaliteit is ontstaan. Eventuele schade kan eenvoudig worden hersteld middels het aanbrengen van een laag Sami (Asfaltwerken, 2022) of het herstellen van het betonwerk met een cementmengsel. Daarnaast wordt de betondekking aan de bovenkant van een ligger in de basis met 60 mm¹ betondekking

uitgevoerd in plaats van de vereiste 50 mm¹ om de bovenwapening beter te beschermen tegen beschadigingen en de invloed van schadelijke stoffen. Daarmee is de huidige techniek ook geschikt voor toepassing op een remontabel dek; dit zal dan ook zo worden gebruikt in het ontwerp (Wapstra, 2022).

Onderkent dient te worden dat als gevolg van het meermaals hergebruik van de ligger, de kans op beschadigingen en aantasting van de wapening wel groter wordt. Aan de hand hiervan wordt geadviseerd om te onderzoeken of 60 mm¹ dekking voor een langere periode dan 100 jaar voldoende bescherming biedt tegen aantastingsmechanisme of dat een dikkere bovendekking de voorkeur biedt.

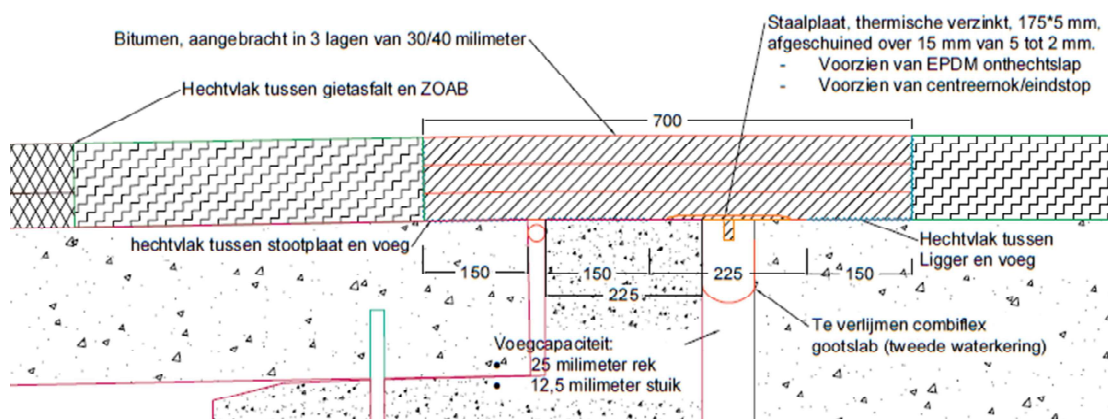


Figuur 6-8: Verwijderen asfalt met behulp van een rippertand (Verachtert)



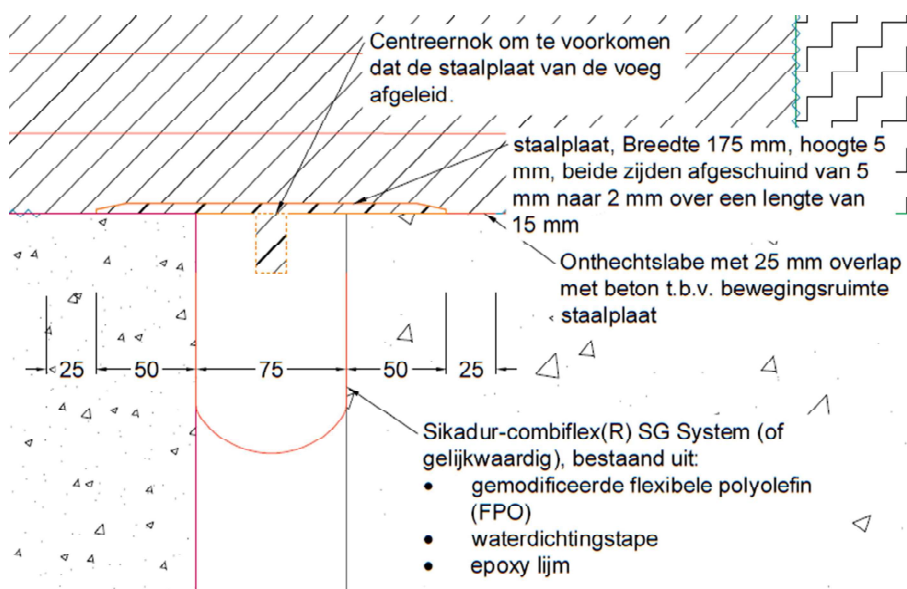
Detail 02

In *Figuur 7-4* en *Figuur 7-5* is de voegovergang tussen ligger en landhoofd weergegeven. In dit detail wordt een flexibele voeg van polymeer gemodificeerde bitumen met een korrelskelet toegepast. De voeg is gehecht aan de ligger en het landhoofd en loopt door over het begin van de stootplaat; daarmee wordt scheurvorming op de naad tussen voeg en asfalt, als gevolg van verzakking van de stootplaat, voorkomen. Deze voeg is 700 mm¹ breed, maar functioneert gelijk aan een 500 mm¹ brede voeg als gevolg van de aanhechting met de stootplaat. Hiermee ontstaat een dilatatiecapaciteit van 37,5 mm¹, waarmee de voeg voldoet aangezien er boven het tussensteunpunt ook een flexibele voeg wordt toegepast (Detail 03). In bijlage M.3 is omschreven hoe tot deze oplossing is gekomen.



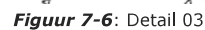
Figuur 7-4: Detail 02

De flexibele voeg is opgesloten tussen twee 500 mm¹ brede stroken gietasfalt. Daarnaast wordt een combiflex gootslab als tweede waterkering verlijmd aan de ligger en het landhoofd. De 175 mm¹ lange staalplaat overlapt 50 mm¹ met het beton en is voorzien van een centreernok of eindstop en een 225 mm¹ lange onthechtsslab met 25 mm¹ overlap met het beton.

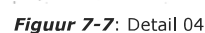


Figuur 7-5: Detail 02 ingezoomd

In *Figuur 7-6* is de voegovergang tussen liggers onderling weergegeven. In dit detail wordt een flexibele voegovergang toegepast om voldoende dilatatiecapaciteit te creëren. Daarmee kan toepassing van dure silent joints bij de landhoofden worden voorkomen.



In *Figuur 7-7* is de voegovergang tussen ligger en ligger ter plaatste van de schampkant weergegeven. In dit detail is te zien dat de schampkant ter plaatse van de voegovergang niet aanwezig is op de ligger en de ligger deels wordt uitgespaard zodat water afgevoerd kan worden naar de tweede schampkant. Daarnaast zijn hier de kogelkopankers weergegeven⁹.

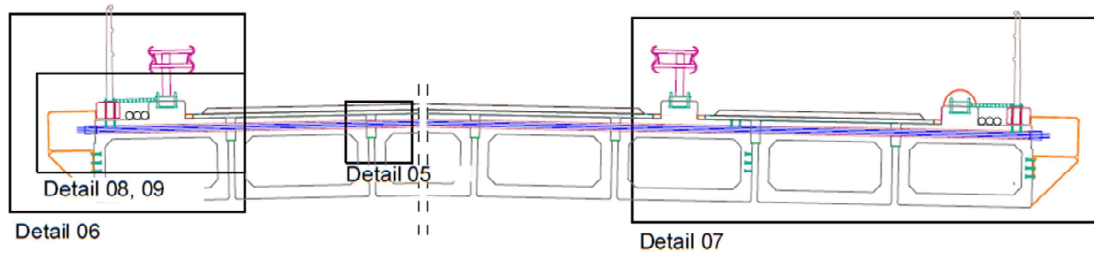


⁹ De kogelkopankers zijn indicatief weergegeven. De schamphant bevindt zich enigszins excentrisch op de ligger, waardoor de kogelkopankers buiten het hart van de schamphant geplaatst dient te worden om 'recht' te kunnen hijsen.

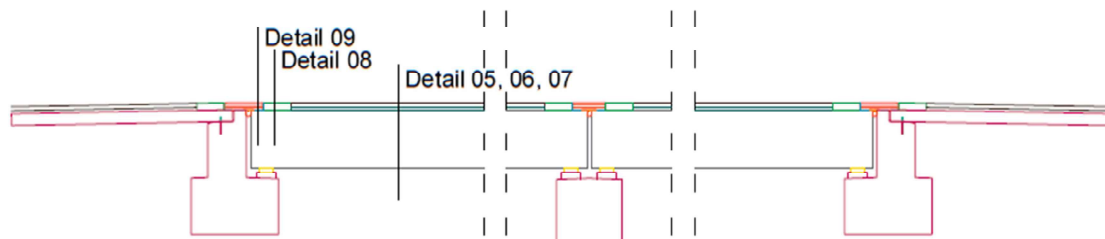
7.2 Technische uitwerking: dwarsdoorsnede

In *Figuur 7-8* is een dwarsdoorsnede van een remontabele ligger binnen een viaduct weergegeven. Hierin worden de locaties waarvoor details zijn opgesteld weergegeven. Dit gaat om de volgende details:

- Detail 05: Langsvoeg tussen ligger en ligger.
- Detail 06: basisdetail randligger.
- Detail 07: indicatief detail ontwerpmogelijkheden randligger.
- Detail 08: voegovergang tussen ligger en ligger ter plaatste van de schampkant.
- Detail 09: kogelkopanker in het einde van de ligger.



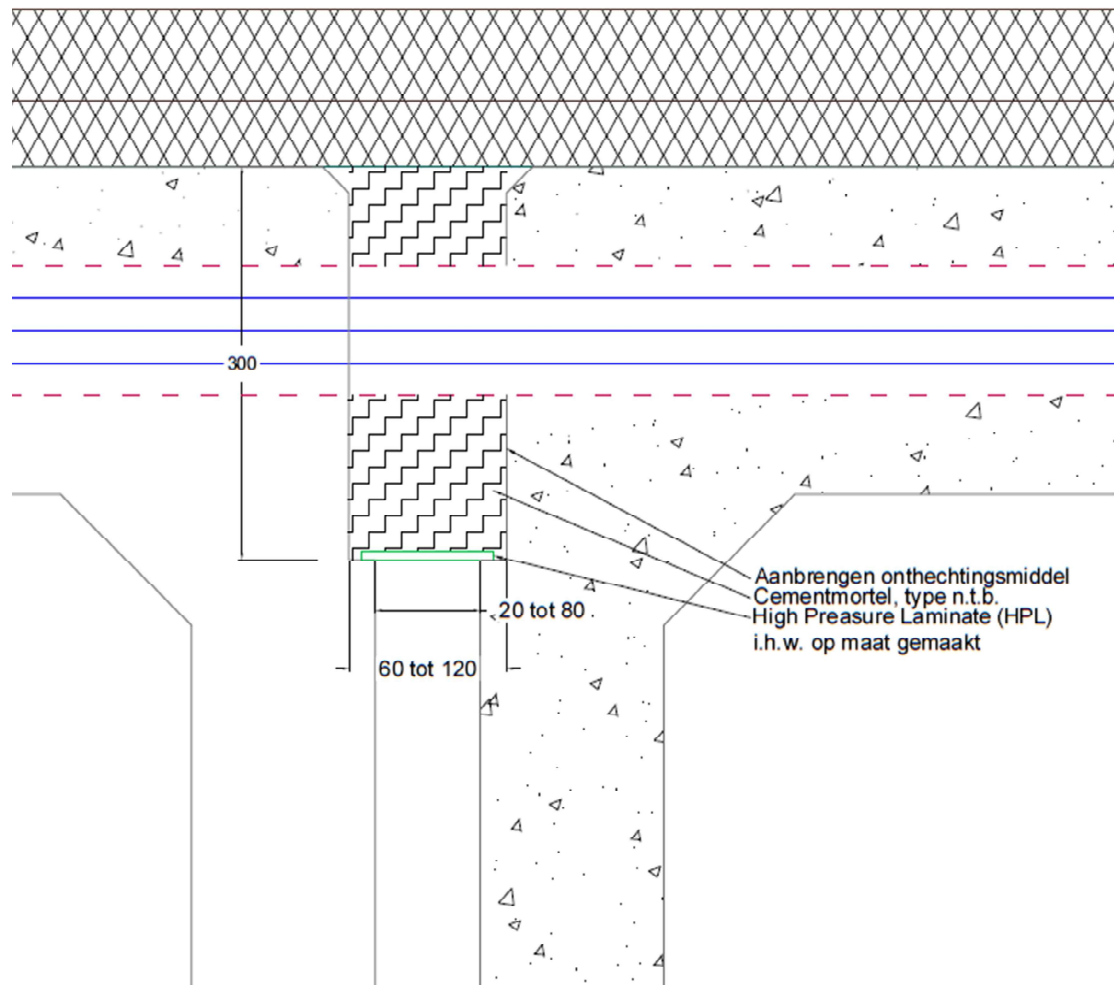
Figuur 7-8: Dwarsdoorsnede viaduct, detail 05 t&m 09



Figuur 7-9: Langsdoorsnede viaduct, detail 05 t&m 09

Detail 05

In *Figuur 7-10* is de langsvoeg tussen ligger en ligger weergegeven. Het ontwerp is gebaseerd op een voeg die in breedte kan variëren van 20 tot 80 mm¹. De voeg bestaat uit een op maat gemaakte HPL-plaat, opgelegd op de 20 mm¹ brede sponning van de liggers. Vervolgens wordt de mantelbuis met de voorspankabels doorgevoerd. Hierna wordt onthechtingsmiddel aangebracht op de ligger, waarna de voeg gevuld wordt met een cementmortel. Nadat de voegen zijn uitgehard worden de voorspankabels op spanning gebracht. In bijlage L.1 is weergegeven hoe tot deze oplossing is gekomen.



Figuur 7-10: Detail 05

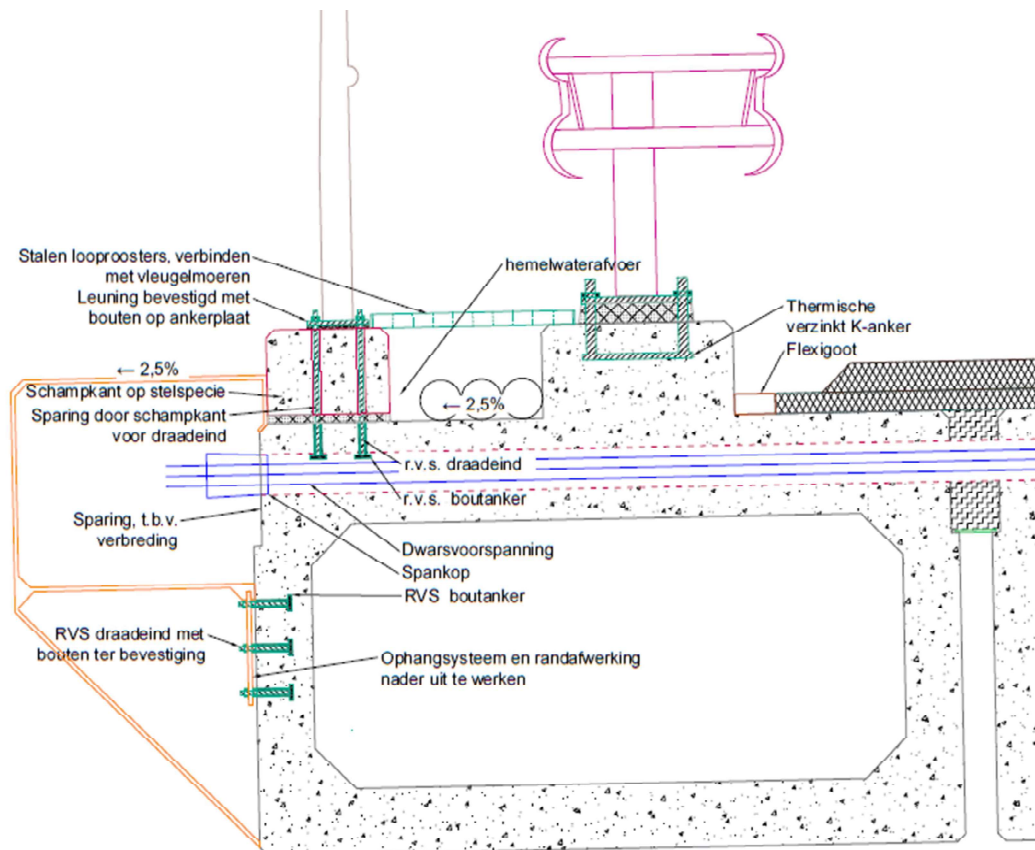
Detail 06

In *Figuur 7-11* is het basisdetail voor de randligger weergegeven met daarop de schampkant en aanvullende voorzieningen. Hierin is de schampkant afgeslankt ten opzichte van het basisdetail van Rijkswaterstaat tot enkel de opstaande rand, die waterkerend is en de geleiderail draagt. Het gewicht van de schampkant wordt hiermee drastisch gereduceerd omdat per strekkende meter ligger circa $0,23 \text{ m}^3$ beton uitgespaard wordt (= 5,75 kN) (zie bijlage M.2). Daarnaast zijn de volgende verbindingpunten opgenomen:

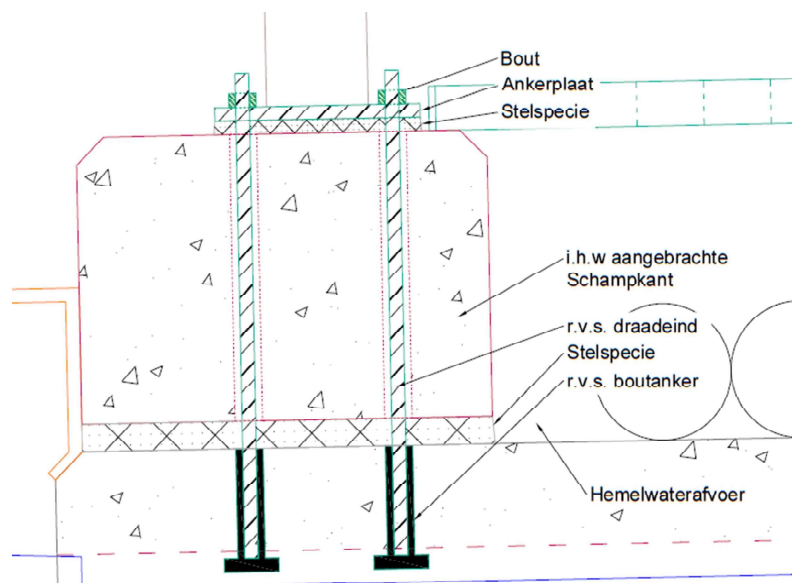
- Ingestorte K-ankers ten behoeve van de geleiderails.
- Ingestorte rvs boutankers ten behoeve van het leuningwerk of geluidscherm en een tweede waterkerende schampkant.
- Ingestorte rvs boutankers, ten behoeve van een randafwerking.
- Mantelbuizen worden los opgelegd en afgedekt met een looprooster.

In bijlage M.2 is aangegeven hoe tot deze oplossingen is gekomen.

Verder is in *Figuur 7-11* weergegeven dat het leuningwerk, de tweede schampkant en de geleiderails ondersabelt dienen te worden. Bij hergebruik zal deze ondersabeling weer verwijderd moeten worden. Daarnaast is weergegeven dat de schampkant het water van het wegdek keert en dat een tweede schampkant het water op de randligger keert. Ter plaatste van de voegovergang wordt al het water naar de tweede schampkant gevoerd.



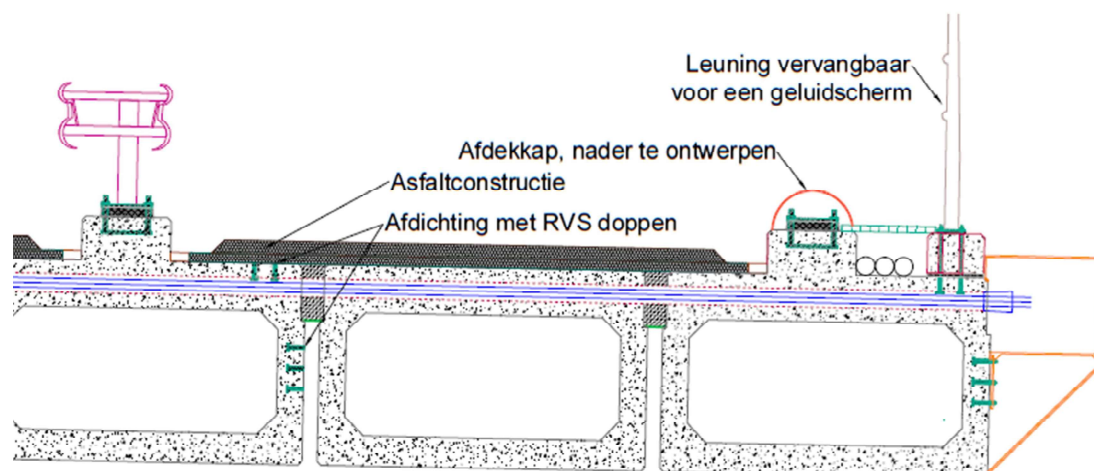
Figuur 7-11: Detail 06



Figuur 7-12: detail 06 ingezoomd

Detail 07

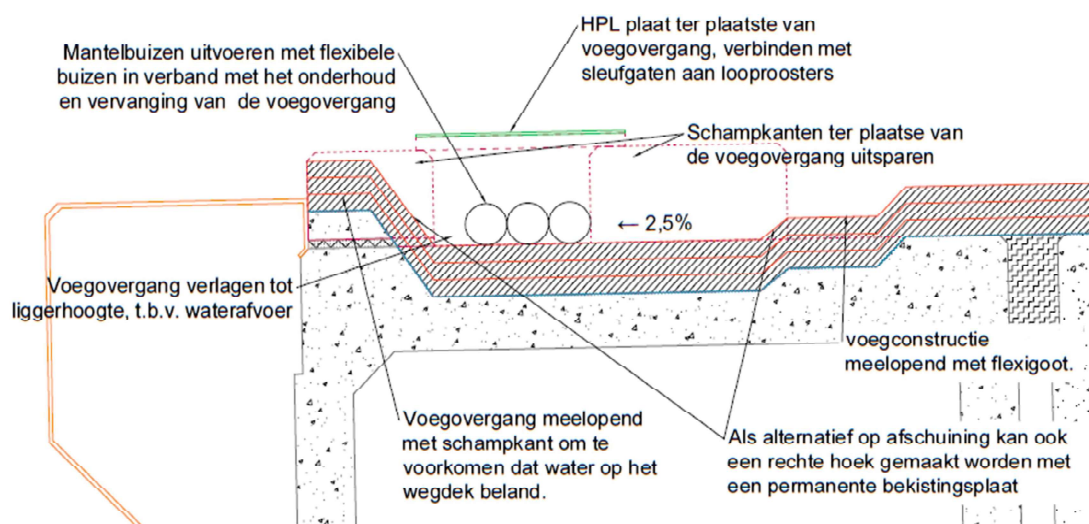
In *Figuur 7-13* is een indicatief detail weergegeven voor de ontwerpmogelijkheden van de randligger bij toepassing in een andere situatie als in de rijksweg. In dit detail is te zien dat een fietspad kan worden aangebracht door de ankers van de 'binnenste' randligger te dicht en vervolgens één (of meerdere) normale ligger(s) toe te voegen, gevolgd door een tweede randligger. Hierbij worden de K-ankers (gelokaliseerd op de schampkant) afgedekt om het vallen op deze ankers te voorkomen. Daarnaast is het mogelijk om het ontwerp dusdanig aan te passen dat de K-ankers als verbindingspunt voor een dek van een voetpad worden gebruikt. Dit is verder niet uitgewerkt. Een tweede mogelijkheid zou zijn om het leuningwerk te bevestigen aan de K-ankers.. Dit is echter onwenselijk omdat inspectie- en onderhoudswerkzaamheden aan de randligger dan met meer veiligheidsrisico's (werken op hoogte) gepaard gaan.



Figuur 7-13: Detail 07

Detail 08

In *Figuur 7-14* is de aansluiting tussen ligger en ligger ter plaatste van voegovergang in de schampkant weergegeven. In dit detail is te zien dat de schampkant ter plaatste van de voeg hemelwater afvoert richting de tweede schampkant.

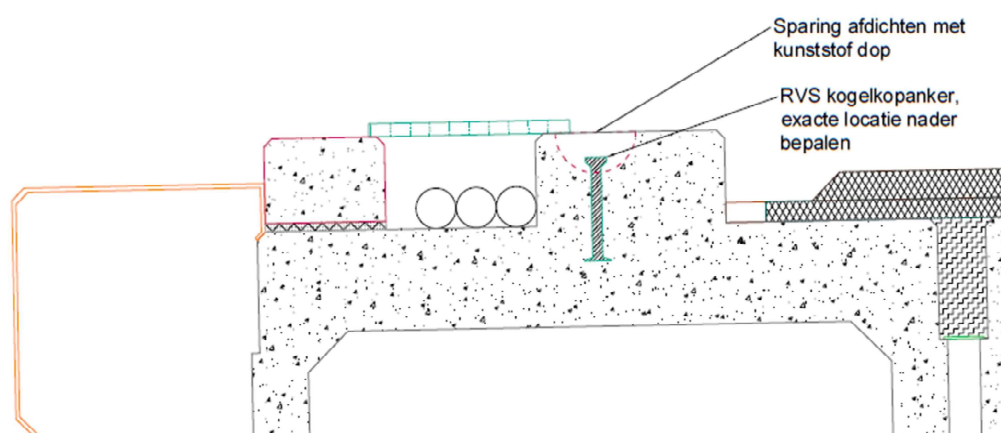


Figuur 7-14: Detail 08

Als gevolg van een te lage viscositeit van polymeer gemodificeerde bitumen tijdens het (onder hoge temperaturen) aanbrengen van de voegconstructie, is het toepassen van een (tijdelijke) bekisting noodzakelijk voor hoeken van meer dan 4° . Echter wordt een aanzienlijk aandeel van voegen geplaatst tijdens renovatiewerkzaamheden waarvoor het verkeer wordt afgesloten. Na aanbrengen/vervangen van de voegconstructie wordt het verkeer zo snel mogelijk hervat, wat het verwijderen van een tijdelijke bekisting bemoeilijkt. Als gevolg hiervan is, tijdens een vervolg op het ontwerpproces, onderzoek noodzakelijk om te bepalen of de toepassing van permanente verticale bekistingen voor het overbruggen van hoogteverschillen de voorkeur verdient ten opzichte een afgeschuinde voeg (gemaakt met behulp van een tijdelijke bekisting) (Beek, Interview voegovergangen, 2022).

Detail 09

In *Figuur 7-15* is het kogelkopanker in het einde van de ligger weergegeven. In dit detail is te zien dat het kogelkopanker ter plaatste van de schampkant wordt aangebracht. De exacte locatie, waarmee het zwaartepunt zich recht onder het kogelkopanker bevindt, dient in het vervolgtraject nader bepaald te worden.

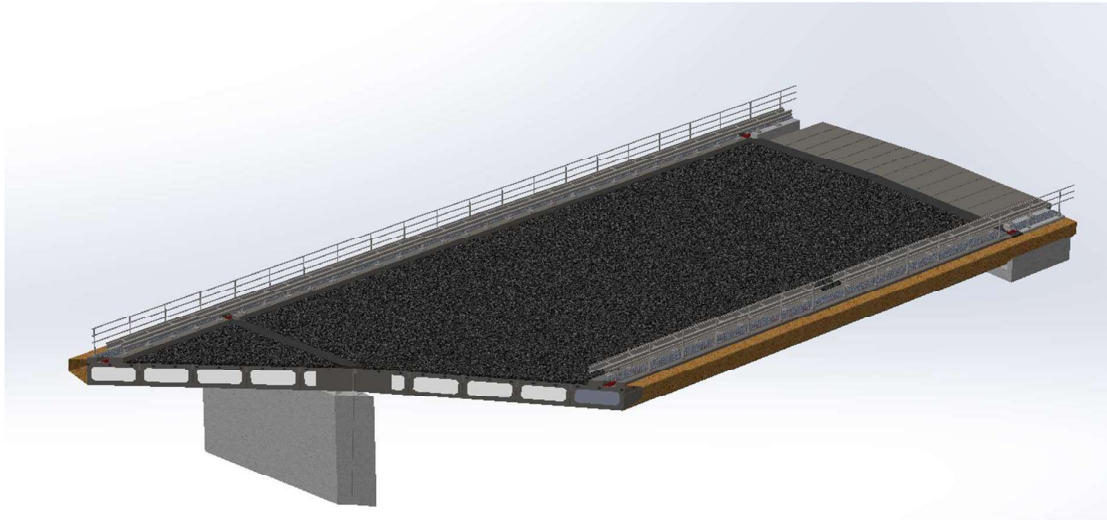


Figuur 7-15: Detail 09

7.3 Visualisatie

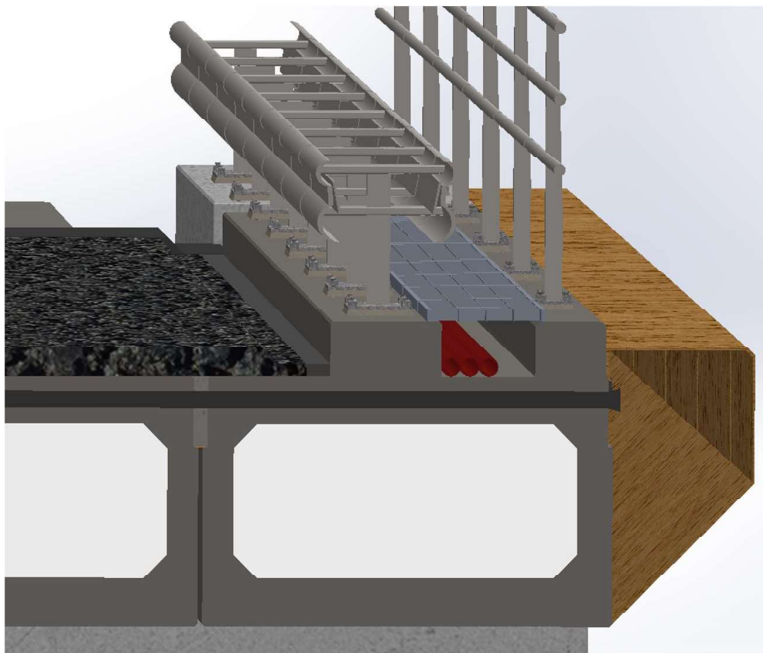
In deze paragraaf zijn visualisaties opgenomen van het referentieontwerp. Deze visualisaties zijn enkel bedoeld om het ontwerp te verduidelijken.

In *Figuur 7-16* is een globaal overzicht van het viaduct gevisualiseerd.



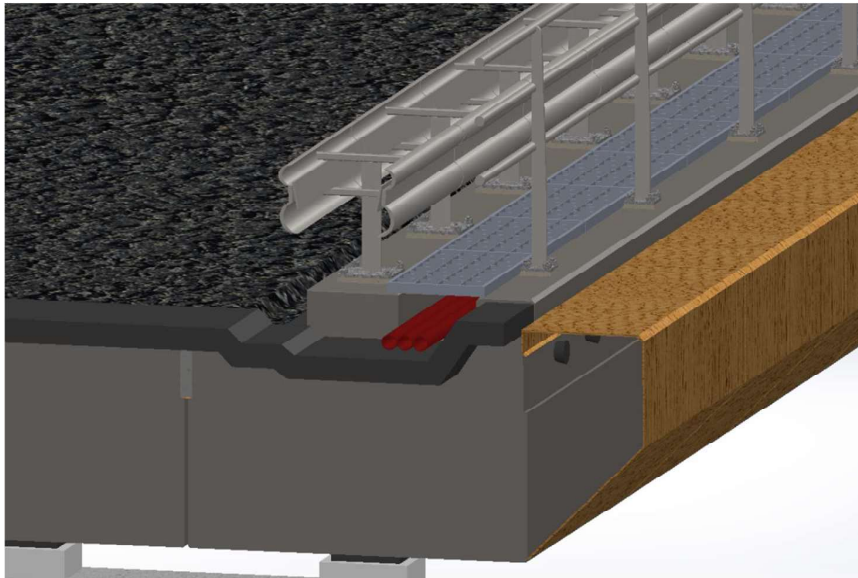
Figuur 7-16: Overzicht viaduct (schuin doorgesneden)

In *Figuur 7-17* is een doorsnede van de schampkant gevisualiseerd. Hierin is tevens de dwarvoorspanning en een langsvoeg zichtbaar.



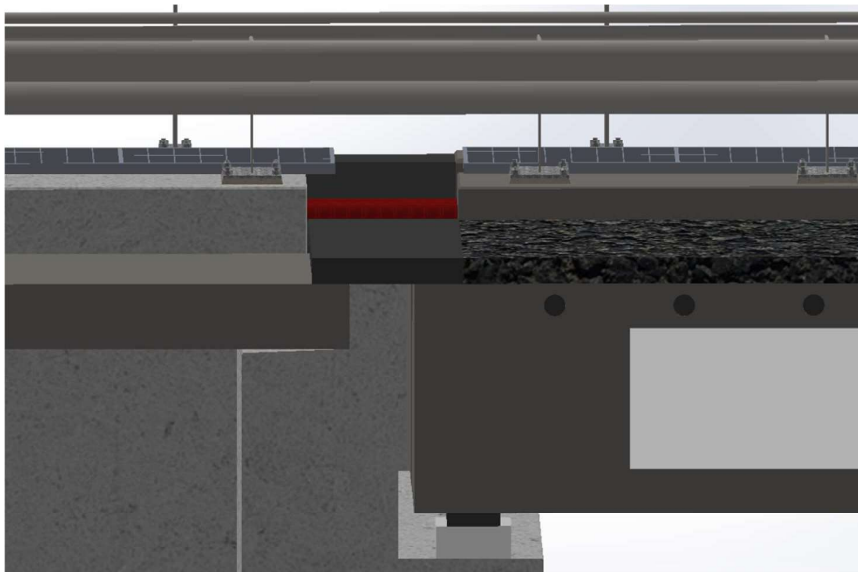
Figuur 7-17: Visualisatie schampkant

In *Figuur 7-18* is de voeg ter plaatste van de schampkant gevisualiseerd.



Figuur 7-18: Visualisatie voegconstructie ter plaatse van schampkant

In *Figuur 7-19* is een doorsnede van de voeg ter plaatse van het landhoofd gevisualiseerd. Hierin is te zien dat de flexibele voeg doorloopt tot over het begin van de stootplaat (links). Tevens is de oplegging zichtbaar.



Figuur 7-19: Doorsnede voegconstructie landhoofd

7.4 Conclusie

Het onderzoek heeft geresulteerd in een vormgeving van een remontabele ligger volgens paragraaf 7.1 en paragraaf 7.2. Dit zijn voorlopige details voor een kunstwerk met twee overspanningen die in een vervolgtraject nader zullen moeten worden uitgewerkt. De volgende ontwerppuntgangspunten zijn per detail van belang:

- Detail 01: Dit detail wijkt niet af van de huidige toegepaste technieken.
- Detail 02: Er wordt gebruik gemaakt van een onverankerde flexibele voeg die verankerd is aan de stootplaat, landhoofd en de ligger van 700 mm¹ breed. Als gevolg van de verankering functioneert dit detail als een 500 mm¹ brede onverankerde flexibele voeg. Daarnaast is een tweede waterkering noodzakelijk om de waterdichtheid te garanderen.
- Detail 03: Boven het middensteunpunt wordt een flexibele voeg van 600 mm¹ breed toegepast, waarmee voldoende capaciteit ontstaat voor de werking van de liggers.
- Detail 04: Er worden af te dichten (en weer vrij te maken) kogelkopankers mee gestort, waarbij het staalwerk in rvs is uitgevoerd. Daarnaast is de voegconstructie verdiept in de ligger aangebracht
- Detail 05: De langsvoeg tussen de liggers wordt gedicht met een HPL plaat die in het werk op maat wordt gemaakt. De voeg wordt ingespoten met onthechtingsmiddel en gevuld met een cementmortel.
- Detail 06: De schampkant vormgeving wordt aanzienlijk verlaagd om gewicht te besparen. Waterafvoer gaat middels de schampkant en daarnaast via een tweede schampkant op ondersabeling. Het leuningwerk en het randelement worden gemonteerd met boutankers en de mantelbuizen liggen buiten het beton onder een looprooster.
- Detail 07: door de boutankers af te dichten kan het viaduct verbreed worden met een of meerdere normale liggers en een randligger, om hiermee ruimte te creëren voor een fietspad. Daarbij moeten de K-ankers afgedekt worden met een afdekkap.
- Detail 08: De voeg volgt het asfalt en vervolgens de schampkant.
- Detail 09: het kogelkopanker voor de randligger wordt gepositioneerd in de schampkant.

Ook is tijdens de tweede iteratieve cyclus gebleken dat bovenstaande conclusies op het gebied van voegovergangen slecht tot niet haalbaar zijn door de onderschatte grootte van de voegbewegingen ten gevolge van de rem- en aanzetbelasting van verkeer.

8. Ontwerpaanbevelingen

Het in hoofdstuk 7 opgestelde ontwerp betreft een referentieontwerp. Daarmee is ruimte voor verbeteringen en aanvullingen, zoals de materialisatie, alternatieven voor de dwarsvoorspanning en de exacte maatvoering, aan de hand van een constructieve berekening. In dit hoofdstuk zijn aanbevelingen opgenomen voor deze verdere uitwerking.

8.1 Alternatieven voor een polystyreen binnenkist

Een kokerligger kent een betonprofiel met een inwendige holte. Om de benodigde holte voor het vormen van een koker te realiseren wordt gebruik gemaakt van polystyreenblokken. Hiervoor wordt gekozen vanwege de bewerkbaarheid, het lage gewicht ($0,15 - 0,40 \text{ kN/m}^3$) en omdat het in staat is om de drukkracht van het beton tijdens het stortproces op te nemen. Dit 'verloren' materiaal heeft wel een aanzienlijke negatieve milieu impact, waardoor een alternatieve bouwwijze een aanzienlijk voordeel kan hebben op de MKI-waarde van de koker (Kees Quartel, 2022).

In het verleden werden holle kokerliggers geproduceerd met behulp van de twee-fase stort. Hierbij werd eerst de onderzijde met de zijkanten gestort, waarna de bovenzijde werd gestort met behulp van een verloren houten bekisting, opgelegd op sponningen. Deze oplossing kent nadelen; zo ging er nog steeds bekistingsmateriaal verloren, was extra verbindingswapening benodigd en zorgde dit voor een lange stortdag (Kees Quartel, 2022).



Figuur 8-1: Polystyreen in kokerligger (Spanbeton, 2017)

Ook de markt is al tientallen jaren bezig met het zoeken naar alternatieven voor polystyreenblokken waar tot op heden nog geen oplossing voor is gevonden. Dit onderzoek heeft zeven varianten opgesteld die mogelijk interessant zijn voor nader onderzoek. Dit zijn 3D geprinte bekisting, biologisch afbreekbaar plastic smeltbekisting, 3D geprinte ligger, uitgeholde polystyreenblokken, 3D geprinte betonnen bekisting en gestorte betonnen bekisting. Deze varianten zijn nader omschreven in Bijlage N.

Het vervangen van polystyreen is alleen mogelijk met flinke investeringen in techniek en/of materieel doordat alle opgestelde varianten een aanzienlijke impact hebben op de benodigde faciliteiten die aanwezig moeten zijn in een fabriek voor de productie van kokerliggers. Op de korte termijn is een gestorte betonnen bekisting het meest kansrijk. Echter is nog aanvullend onderzoek naar aspecten als de benodigde dikte, uithardingstijd en voegen (tussen de elementen) noodzakelijk. Daarnaast is ook zeer de vraag of deze variant economisch rendabel kan worden als gevolg van de benodigde aanvullende arbeid. Op de langere termijn is een techniek met 3D printen kansrijk als gevolg van de arbeidsextensieve productie, waardoor deze techniek op termijn goedkoop kan worden. Echter zijn technologische ontwikkelingen in de productie van printers die met voldoende snelheid bekistingselementen kunnen maken noodzakelijk. Daarnaast zijn grote investeringen vanuit de prefab industrie noodzakelijk om deze printers aan te schaffen en moet voldoende (duurzame) energie beschikbaar zijn om deze printers van energie te voorzien.

8.2 Remontabele ligger in andere situaties

Het in hoofdstuk 7 opgestelde remontabele liggerontwerp is geschikt voor toepassingen op basis van specifieke ontwerpuitgangspunten. In deze paragraaf staat omschreven welke aanpassingen noodzakelijk zijn om dit ontwerp toe te kunnen passen op een andere liggerlengte en bij andere kruisingshoeken. In andere situaties – zoals bij de wens voor gebogen liggers – is aanvullend onderzoek naar de mogelijkheden voor standaardisatie benodigd.

8.2.1 kortere overspanning

Het gemaakte ontwerp is bedoeld voor een liggerlengte van 31,9 m¹. In het geval van een kortere overspanning zal het voornaamste verschil zijn dat vanaf 25 m¹ (en kleiner) massieve brugliggers in plaats van kokerliggers worden toegepast. Dit heeft invloed op het constructieve ontwerp, maar niet op de externe vormgeving (met inachtneming van de situatieafhankelijke liggerlengte en profielhoogte). De flexibele voegovergang en gebruik van rubberen oplegblokken heeft ook hier de voorkeur. De kleine overspanning maakt de toepassing van kleinere rubberen oplegblokken noodzakelijk. Tevens dient rekening te worden gehouden met zaken als een gewijzigde vormgeving van het randelement door de gewijzigde constructiehoogte. Tot slot kunnen voor lichte liggers mogelijk ankerbussen in plaats van kogelkopankers worden gebruikt. Zoals in hoofdstuk 6 al aan de orde is gekomen lenen beide alternatieven zich (al dan niet in aangepaste vorm) voor hergebruik.

8.2.2 langere overspanning

Een langere overspanning vergt logischerwijs een zwaarder gedimensioneerde ligger. De kokerligger leent zich ook het beste voor deze overspanningen. De ontwerpprincipes blijven grotendeels hetzelfde. Verschillen zijn dat bijvoorbeeld grotere rubberen oplegblokken benodigd zijn en dat een randelement met een grotere hoogte benodigd is door de toegenomen constructiehoogte. Ter plaatse van de voegovergang treedt een groter verschil op. In het algemeen geldt dat de benodigde dilatatiecapaciteit toeneemt met de invloedslengte (en daarmee de overspanningslengte/lengte van de ligger), wat invloed heeft op het type voegovergang. In eerste instantie zal een verbreding van de middelste ongewapende flexibele voeg van 600 mm¹ naar 700 mm¹ noodzakelijk zijn. Indien de overspanning te veel toeneemt zal toepassing van een ongewapende flexibele voeg niet meer mogelijk zijn. In dergelijke gevallen zal de silent joint of – indien de capaciteit hiervan ook te beperkt is – de nosing joint de voorkeur verdienen met de bijbehorende gevolgen voor het ontwerp van de ligger.

8.2.3 kruisingshoek ontwerp

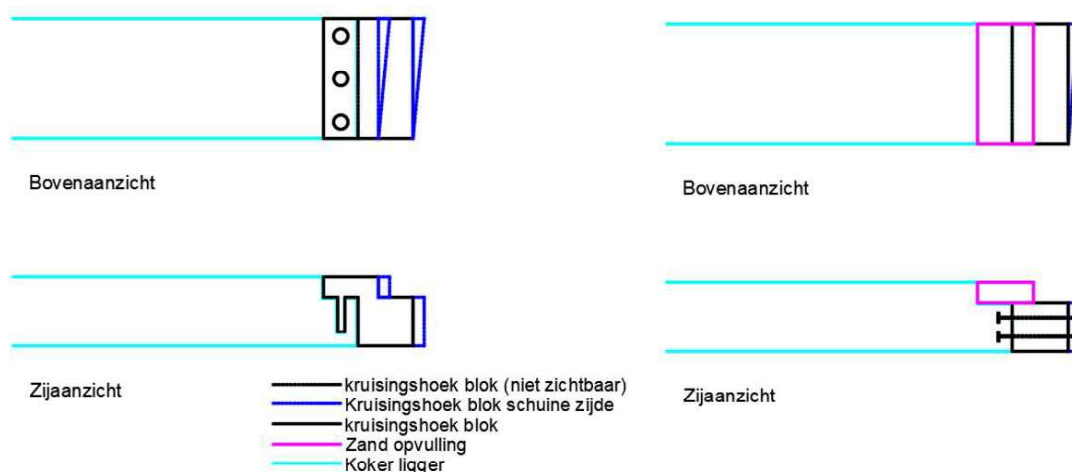
De toepassing van een niet-haakse kruisingshoek vraagt wijzigingen aan het ontwerp. Hier zijn drie methoden voor zoals beschreven in hoofdstuk 3.2. Voor grote kruisingshoeken (tot circa 80°) kan het hele viaduct inclusief steunpunten schuin over de onderliggende weg worden ontworpen. Dit heeft geen gevolgen voor het ontwerp behalve dat de overspanningslengte toeneemt. Indien kleinere kruisingshoeken worden toegepast neemt de overspanningslengte drastisch toe. Dan zal gekozen moeten worden voor het toepassen van een dek dat kruist onder een hoek met de steunpunten, waarbij de steunpunten loodrecht op de onderliggende weg staan. Gezien de voegovergang in één lijn dient te worden aangebracht betekent dit dat de liggers veelal van afgeschuinde koppen dienen te worden voorzien (zie Figuur 8-2).

De technische uitwerking van liggers in een viaduct met afgeschuinde kop wijkt af van het opgestelde ontwerp. Dit zou resulteren in veel extra systeemmaten voor de liggerlengtes. Tijdens de ontwerp sessies zijn de concepten uit Figuur 8-3 besproken, waarmee gepoogd is de afgeschuinde liggerkop op een alternatieve wijze te vormen (waarbij gebruik kan worden gemaakt van de systeemmaten voor haakse kruisingshoeken. Hieruit is geconcludeerd dat het aankoppelen van een opzetblok om een schuine hoek te creëren, dusdanig veel nadelen kent, dat toepassing van deze techniek onverstandig lijkt (zie bijlage M.4). Met de huidige technieken is het daarmee



Figuur 8-2: Afgeschuinde liggerkop (Quartel K., Afgeschuinde liggerkop, z.d.)

onvermijdelijk om toch aanvullende systeemmaten op te nemen (met afgeschuinde liggerkoppen). Gepoogd dient te worden het aantal systeemmaten te beperken door de variëteit in kruisingshoeken te beperken (bijvoorbeeld gestandaardiseerde kruisingshoeken met een verspringing van 5°). Daarnaast wordt het kansrijk geacht om hydrodemolition te gebruiken om de afschuining van een liggerkop te kunnen wijzigen (en daarmee de kruisingshoek waaronder deze toegepast kan worden). Dit vraagt uiteraard wel dat de ligger voldoende sterktecapaciteit bezit om onder deze verschillende situaties toegepast te kunnen worden.



Figuur 8-3: Kruisingshoek concepten

Voor zeer kleine kruisingshoeken (kleiner dan 45°) kan het viaduct loodrecht over de onderliggende weg gebouwd worden, waarbij de weg op het viaduct scheef over het viaduct loopt. Dit resulteert in een zeer breed viaduct met kleine overspanningen. Hierbij wordt aanbevolen de constructieve gevolgen in kaart te brengen bij het wisselen van de kruisingshoek en bij het toepassen van de liggers onder een haakse kruisingshoek van de weg. Indien deze gevolgen beperkt zijn kan gedimensioneerd worden op de situatie waaronder deze het zwaarst worden belast om de uitwisselbaarheid van de liggers met andere viaducten (met een andere kruisingshoek) zo groot mogelijk te maken.

8.3 Voegovergangen

Uit een berekening van de voegbewegingen, naar de uitgangspunten in hoofdstuk 6 (zie bijlage M.5), is gebleken dat de door verkeer geïnitieerde rem- en aanzetbelastingen een aanzienlijk aandeel in de totale voegbewegingen vormen. Dit kan grotendeels verklaard worden door het ontbreken van een buigslappe voeg. In voorkomende gevallen kan de voegcapaciteit van de flexibele voegovergang onvoldoende blijken. Dan zal het wenselijk zijn om een buigslappe voeg toe te passen. Het toepassen van een buigslappe voeg heeft echter tot gevolg dat het ontwerp van de ligger aangepast dient te worden met aanvullende wapening en een sparing in de liggerkop. In verband met uitwisselbaarheid van de ligger is het daarnaast wenselijk om deze sparing in de liggerkop aan weerszijden op te nemen. Mogelijkerwijs is de nosing joint dan geschikter voor toepassing als de flexibele voegovergang (Beek, Interview voegovergangen, 2022).

8.4 Toetsing aan Richtlijn Ontwerp Kunstwerken

Voordat een remontabele ligger in de praktijk kan worden toegepast moet het ontwerp voldoen aan wet-, regelgeving en richtlijnen. Hierbij wordt het wettelijk kader in Nederland gevormd door het bouwbesluit¹⁰. In het bouwbesluit staat dat een bouwwerk optredende belastingen moeten kunnen dragen volgens de toetsingsmethodes uit de eurocodes. Hierbij is altijd de mogelijkheid om een afwijkende, gelijkwaardige toetsingsmethode toe te passen. In de praktijk wordt dit zeer beperkt toegepast omdat het aantonen van de gelijkwaardigheid van een oplossing een zeer intensief proces is, waarmee het bevoegd gezag (doorgaans de gemeente) akkoord moet gaan. Dit gebeurt voornamelijk bij het ontwikkelen van nieuwe technieken op projectbasis of bij bouwconstructies die dusdanig uniek zijn dat bepaalde richtlijnen en/of regelgeving hier niet voor bedoeld zijn. Na een succesvolle implementatie van een nieuwe techniek, waarvan de gelijkwaardigheid specifiek voor deze implementatie is aangetoond, wordt deze techniek vaak vastgelegd in de NEN-normen, CROW-normen of in het geval van Rijkswaterstaat in de ROK (Fennis, 2022).

Een verdere belemmering voor nieuwe ontwikkelingen is dat Rijkswaterstaat in haar contracten het ROK van toepassing verklaard. Dit betekent dat (indien een opdrachtnemer een nieuwe techniek wil toepassen) een opdrachtnemer naast het aantonen van gelijkwaardigheid aan de eurocode, ook de gelijkwaardigheid moet aantonen ten opzichte van het ROK. Hier biedt het ROK echter wel ruimte voor.

Doordat materialisatie en constructieve berekeningen buiten de scope van dit onderzoek vallen is een volledige toetsing aan het ROK voor dit onderzoek niet mogelijk. Een gedeeltelijke toetsing is wel mogelijk. Belangrijk om te noemen is dat jongstleden, met de komst van de ROK 2.0, al een belangrijke eis voor het toepassen van dwarsvoorspanning met aanhechting in het ROK vervangen is, waardoor dwarsvoorspanning zonder aanhechting nu ook is toegestaan (Fennis, 2022).

Andere opgemerkte beïnvloedende richtlijnen vanuit de ROK zijn onderstaand omschreven en vereisen aandacht (Fennis, 2022) (Rijkswaterstaat, ROK bijlage deel A, 2017):

- Er is een gebrek aan richtlijnen voor remontabele verbindingen waardoor toepassing van verbindingen als deuvel-nok niet getoetst kunnen worden.
- Eisen omtrent de schampkant en de afwijkende vormgeving die is opgesteld moeten nader onderzocht worden.
- ROK-0122: Spinningbreedte van minimaal 30 mm tussen de liggers en een opgeruwd aansluitvlak tussen ligger en voegmateriaal.
- ROK-0169: Beperking in de maximale verschillen in de zeeg tussen liggers onderling. Zo speelt de tijdsafhankelijke vervorming een rol in de mogelijkheden om bijvoorbeeld nieuwe liggers naast tweedehands liggers te plaatsen. Er bestaat een techniek met stalen frames om liggers met een verschillende zeeg naar elkaar toe te trekken en te fixeren met de dwarsvoorspanning. Echter is het nadeel hiervan dat een ligger dit naar beneden wordt getrokken wordt belast met een negatieve voorspanningskracht.
- ROK-0613: Bij voegconstructies, gevoelig voor lekkages, moet een tweede waterkering worden opgenomen.
- In de RTD 1001 (Rijkswaterstaat, 2017) worden in hoofdstuk 6 meerdere eisen over de schampkant genoemd. Door het aangepaste schampkant ontwerp zijn kabeldoorvoeren en trekputten komen te vervallen waardoor niet meer aan deze eisen wordt voldaan.

Over het algemeen geldt dat een vernieuwend ontwerp vaak weinig wordt beperkt in de vormgeving vanuit de ROK, maar dat juist het gebrek aan toetsingsrichtlijnen de implementatie sterk bemoeilijkt (Fennis, 2022).

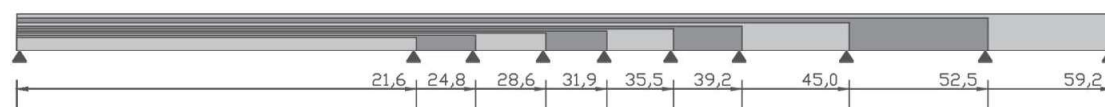
¹⁰ in het geval van een brug of viaduct gaat dit om het onderdeel: bouwwerk geen gebouw zijnde

9. Conclusies & aanbevelingen

9.1 Terugkoppeling doelstellingen en deelvragen

1. Welke dimensioneringsaspecten spelen een rol bij het standaardiseren van geprefabriceerde betonnen liggers en welke systeemmaten geven voor deze aspecten de beste invulling aan één gestandaardiseerd maatsysteem?

De belangrijkste dimensioneringsaspecten bij het standaardiseren van prefab betonnen liggers zijn de lengte en breedte maat. De minimaal benodigde maatvoering is daarbij afhankelijk van allerlei situationele aspecten zoals het wegprofiel en de kruisingshoek. De systeemmaten binnen het gestandaardiseerde maatsysteem kunnen het beste worden gekozen aan de hand van veel voorkomende verwachte overspanningslengtes en viaductbreedtes. Deze zijn gebaseerd op basisdwarsprofielen voor rijkswegen uit de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen en de standaarddetails uit de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken. Het maatsysteem voor de liggerlengtes bestaat in de basis daarmee uit de 9 systeemmaten, weergegeven in *Figuur 9-1*.



Figuur 9-1: Systeemmaten 9 gestandaardiseerde liggerlengtes (in m)

De beste gestandaardiseerde liggerbreedte kent een breedte van 1,73 m. De werkende breedte van een ligger kan door middel van aanpassing van de voegbreedte gevarieerd worden van 1,75 m tot 1,81 m.

2. Welke types prefab betonnen liggers lenen zich het beste voor een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp?

Kenmerkend aan de verscheidene types bestaande prefab betonnen liggers is dat deze allen een eigen overspanningsbereik kennen waarbinnen deze kunnen worden toegepast. De meest geschikte liggertype voor een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp is daarmee afhankelijk van de overspanningslengte. De volgende liggertypes zijn het meest geschikt:

- overspanning ≥ 9 m, ≤ 25 m $\rightarrow$ massieve brugligger;
- overspanning > 25 m $\rightarrow$ kokerligger.

Voor kleinere overspanningen is geen geschikt liggertype beschikbaar. De ongeschikte plaatligger is de enige keuze. Echter, voor deze kleine overspanningen die overigens beperkt voorkomen, kan vaak gebruik worden gemaakt van prefab tunelelementen. De focus zal echter niet op deze kleine overspanningen gericht zijn.

3. Hoe kunnen geprefabriceerde betonnen liggers van het in deelvraag 2 bepaalde ontwerp, al dan niet in aangepaste vorm, remontabel, aan elkaar en aan overige onderdelen van de brug of het viaduct worden verbonden?

Prefab betonnen liggers kennen in een viaduct meerdere verbindingen en raakvlakken met andere componenten. Daarnaast moeten aanvullende voorzieningen in een ligger worden opgenomen zoals hijsvoorzieningen. Voor een aantal van deze componenten geldt dat de huidige technieken al geschikt zijn om in een remontabel dek toegepast te worden. Voor andere componenten geldt dat aanpassingen benodigd zijn om het dek remontabel te maken en/of om de functionele betrouwbaarheid gedurende de levensduur te garanderen. De componenten die aanpassingen vereisen zijn de randligger met de schampkant, de dwarsvoorspanning met de langsvoegen en de hijsvoorzieningen.

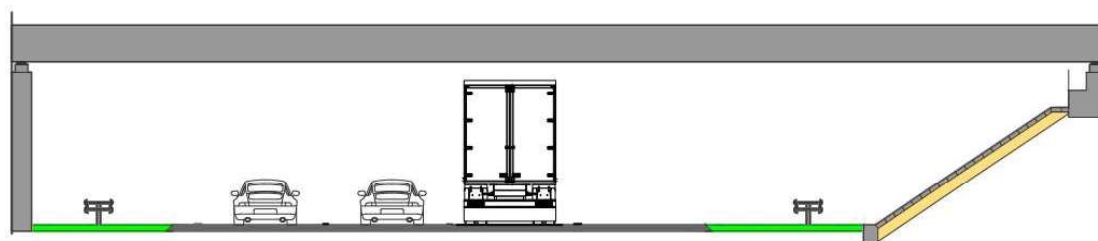
De schampkant kent een aangepaste doorsnede waarmee deze lichter wordt uitgevoerd. Voor de dwarsvoorspanning geldt dat deze in een met vet gevulde gladde buis door de sporingen in het viaduct wordt doorgevoerd. De langsvoegen worden ook zonder aanhechting aangebracht. Zo kunnen de dwarsvoorspanning en langsvoegen eenvoudig losgemaakt worden van de liggers bij het demonteren van het viaduct. De hijsvoorzieningen bestaan uit kogelkopankers. Om de betrouwbaarheid van deze voorzieningen gedurende de levensduur te garanderen dient deze te worden uitgevoerd in roestvast staal.

9.2 Conclusie hoofdvraag

De hoofdvraag betreft: *'Wat is een geschikte vormgeving voor geprefabriceerde betonnen liggers (in en over bruggen en viaducten van rijkswegen) en hun verbindingen, om deze te kunnen gebruiken in een gestandaardiseerd en remontabel ontwerp?'*

De liggertypes die het meest geschikt zijn voor toepassing in gestandaardiseerde en remontabele dekken zijn de massieve ligger en de kokerligger. Daarbij kan de externe vormgeving van de randligger (uitgezonderd de bovenzijde) gelijk zijn als die van tussenliggers. De gewenste architectonische vormgeving kan worden bereikt door toepassing van een randelement, die verbonden wordt met de randligger.

De optimale liggerbreedte betreft $1,73 \text{ m}^1$. Voor de liggerlengtes geldt dat meerdere systeemmaten benodigd zijn. Met negen systeemmaten wordt invulling gegeven aan het liggerlengtebereik van $21,6 \text{ m}^1$ tot $59,2 \text{ m}^1$. Hiermee kunnen autosnelwegen met rijbanen van twee tot vijf rijstroken doelmatig overspannen worden. Verwacht wordt dat de situatie waarbij een rijbaan met 3 rijstroken moeten worden overspannen (zie Figuur 9-2) het meeste voor gaat komen. Hier past een liggerlengte bij van $31,9 \text{ m}^1$.



Figuur 9-2: Situatie viaduct over rijbaan met drie rijstroken, met aanwezigheid van een middensteunpunt en een hoog gefundeerd landhoofd

De randligger kent een schampkant die is uitgevoerd als opstaande rand om water en vuil te keren en om de geleiderail te accommoderen. De schampkant wordt bij voorkeur mee gefabriceerd in het productieproces van de prefab betonproducent. Zo kunnen ook de hijsvoorzieningen, kogelkopankers die in roestvast staal uitgevoerd zijn, (deels) in de schampkant worden opgenomen. Daarnaast kent de randligger aanvullende instortvoorzieningen om het randelement te dragen en een tweede schampkant, voorzien van verbindingpunten voor het leuningwerk.

De liggers worden onderling gekoppeld middels dwarsvoorspanning. De dwarsvoorspanning wordt alsmede de langsvoegen aangebracht zonder aanhechting aan de ligger. Dit wordt voor de dwarsvoorspanning bewerkstelligt door toepassing van een gladde buis, waarbinnen de voorspankabels zich bevinden én welke met vet gevuld is ter bescherming van de kabels. De langsvoegen worden in het werk gestort waarbij het raakvlak met de ligger wordt behandeld met een onthechtingsmiddel.

Voor de opleggingen en de voegconstructies geldt dat bestaande oplossingen worden gebruikt. Voor de oplegging worden de veelvuldig gebruikte rubberen oplegblokken gebruikt. Vanuit het oogpunt van remontabiliteit wordt geadviseerd, daar waar mogelijk, de flexibele voegovergang te gebruiken. In verband met de voegbewegingen biedt de flexibele voegovergang in voorkomende situaties onvoldoende capaciteit. Het is dan wenselijk om boven het tussensteunpunt een buigslappe voeg toe te passen, welke de door rem- en aanzetkrachten geïnitieerde voegbewegingen aanzienlijk verminderd. Hiermee kan vaak alsnog de flexibele voegovergang ter plaatse van de landhoofden gebruikt worden. Echter, in verband met de benodigde sparing in de liggerkop (om ruimte te bieden aan de buigslappe voeg) kan het wenselijk zijn een nosing joint ter plaatse van het landhoofd toe te passen.

9.3 Aanbevelingen

Het standaardiseren en remontabel ontwerpen van prefab liggers is een complexe taak. Veel onderzoek binnen allerlei disciplines is benodigd om tot geschikte oplossingen te komen. De volgende adviezen worden gegeven:

- De kenmerkende grote mate van variëteit in het bruggen- en viaductenareaal van Rijkswaterstaat heeft tot gevolg dat het ondoenlijk is om voor elk viaduct (binnen een gestandaardiseerd maatsysteem) een doelmatige systeemmaat beschikbaar te hebben.

Daarmee moet onderkent worden dat niet alle te bouwen viaducten gestandaardiseerd kunnen worden. Getracht moet worden om meer uniformiteit aan te brengen in de te bouwen viaducten, zodat met een beperkt aantal systeemmaten een groter deel van het areaal gebouwd kan worden. Zo kan Rijkswaterstaat inzetten op het vermeerderen van het gebruik van ontwerpen met een haakse kruisingshoek.

- Rijkswaterstaat zal meer data in een database moeten verzamelen van haar bruggen- en viaductenareaal, om geschikte systeemmaten te kunnen bepalen voor het overspanningsbereik, kleiner dan 20 m¹. Belangrijk hierin is om op overspanningsniveau de overspanningslengte te kennen (in tegenstelling tot de huidige situatie in DISK, waarbij per viaduct enkel de gemiddelde overspanningslengte zichtbaar is).
- Hoewel dit onderzoek een eerste aanzet doet voor geschikte systeemmaten binnen een gestandaardiseerd maatsysteem voor prefab liggers, is meer nodig om succesvolle toepassing mogelijk te maken. Het integreren van gestandaardiseerde systemen kan alleen op een juiste manier verlopen indien de samenwerking in multidisciplinaire teams met (experts op het gebied van wegontwerp, verkeersontwikkeling, duurzaamheid, materiaalkunde, wetgeving, vormgeving, et cetera) ingenieursbureaus, aannemers en prefab betonproducenten wordt aangegaan. Rijkswaterstaat dient hier een leidende hand in te nemen om uitsluiting te voorkomen, wensen naar de markt duidelijk te maken en het integratieproces te versnellen.
- De liggers die binnen het gestandaardiseerde maatsysteem vallen dienen onder verschillende belastingsituaties toegepast te kunnen worden. Daarmee dient Rijkswaterstaat uitgangspunten kenbaar te maken voor de maatgevende (zwaarst belaste) situatie(s) waar rekening mee dient te worden gehouden voor de verschillende toetsingen. Hiertoe wordt aanbevolen dat Rijkswaterstaat in eerste instantie de kwantitatieve constructieve gevolgen in kaart brengt bij het variëren van relevante ontwerpuitgangspunten, zoals een andere kruisingshoek of bij een variërende langvoegbreedte. Daarmee kan Rijkswaterstaat de grenzen bepalen van de maatgevende belaste situatie(s) waaronder een gestandaardiseerde ligger moet kunnen worden toegepast, wat vervolgens als invoer voor het constructieve ontwerp dient.
- Het merendeel van de viaducten (circa 2 op de 3 is gebouwd met een niet-haakse kruisingshoek met de onderliggende weg. Het breed toepassen van standaardisatie is daarmee alleen mogelijk als ook oplossingen worden gevonden die werkbaar zijn onder niet-haakse kruisingshoeken. In dit onderzoek zijn niet de benodigde oplossingen gevonden. In elk geval wordt aanbevolen om meer uniformiteit te creëren in de toepassing van kruisingshoeken (bijvoorbeeld door enkel kruisingshoeken te bouwen van 90°, 85°, 80°, et cetera). Daarnaast wordt aanbevolen om vervolgonderzoek te verrichten naar de mogelijkheden om standaardisatie toe te passen bij deze niet-haakse kruisingshoeken, waarbij voorkomen dient te worden dat dermate veel systeemmaten ontstaan, waardoor de voordelen van standaardisatie wegvallen.
- Rijkswaterstaat dient aanvullend onderzoek te doen naar de standaardisatie van voegconstructies bij remontabele liggers. Het overspanningsbereik waar rekening mee wordt gehouden geeft aanleiding tot het gebruik van flexibele voegen of nosing joints. Afhankelijk van de situatie wordt voor één van deze voegen gekozen. Het type voeg dat gebruikt wordt heeft echter invloed op het ontwerp van de ligger. Het is voor standaardisatie van belang dat eentonige uitgangspunten in het ontwerp kunnen worden gebruikt. In verband met uitwisselbaarheid is het daarnaast wenselijk dat beide koppen van een ligger een gelijke vormgeving kennen.
- De ROK bevat een aantal eisen die de mogelijkheden beperken om ontwerpen van remontabele dekken en het daadwerkelijke hergebruik van liggers toe te passen. Het onderzoek beschrijft een aantal van deze eisen. Rijkswaterstaat zal de beperkende eisen volledig moeten inventariseren en daar waar nodig moeten wijzigen om de belemmerende werking weg te nemen.

10. Verwijzingen

- A16 Rotterdam. (2022, mei 2). *Terbregseplein*. Opgehaald van A16 Rotterdam:
<https://www.a16rotterdam.nl/over+het+project/terbregseplein/default.aspx>
- Allekabels. (2022, 05 16). *PLA-Filament-geel-3-mm*. Opgehaald van allekabels:
<https://www.allekabels.nl/3d-printer/11464/1210402/pla-filament-geel-3-mm.html>
- Amsterdam, P. M.-V. (2019). *Structuurvisie Corridor Amsterdam – Hoorn*. Den Haag: Ministerie van infrastructuur en waterstaat.
- Asfaltwerken. (2022, 05 13). *sami*. Opgehaald van Asfaltwerken.nl:
<https://www.asfaltwerken.nl/diensten/sami/>
- Autosnelwegen. (sd). 4. *De eerste autosnelwegen (1927-1940)*. (autosnelwegen) Opgeroepen op maart 3, 2022, van <https://www.autosnelwegen.nl/index.php/geschiedenis/4-1927-1940-de-eerste-autosnelwegen>
- Autosnelwegen.net. (2022, april 5). *Autosnelwegen*. Opgehaald van Autosnelwegen:
<https://autosnelwegen.net>
- Beek, F. v. (2022, mei 16). Interview voegovergangen. (B. Bakker, & N. Spring in 't Veld, Interviewers)
- Beek, F. v. (2022, 05 16). Ontwerpsessie. (B. B. Veld, Interviewer)
- Binnenvaartkennis. (z.d., 02 22). *vaarwegenoverzicht-nederland*. *Vaarwegenoverzicht Nederland*. binnenvaartkennis. Opgeroepen op 02 22, 2022, van binnenvaartkennis:
<https://www.binnenvaartkennis.nl/2021/02/vaarwegenoverzicht-nederland/>
- Boelders, T. (2019). *Lange overspanningen in geprefabriceerd beton*. Delft: TU Delft en Consolis Spanbeton.
- Boer, i. S. (2002). *BRUGSYSTEMEN EN VIADUCTEN*. Utrecht: Ballast Nedam Engineering .
- Bouwmeester, J. (2020, 01 16). *Hoe groot kan je 3D printen*. Opgehaald van Fiberneering:
https://www.fiberneering.com/nl/hoe-groot-kan-je-3d-printen/?gclid=EAIaIQobChMI3omHjMDj9wIVH4xoCR0xiARVEAAYASAAEgKmYfD_BwE
- Breure, R. (2017, 07 20). *Breurre FPEJ*. Opgehaald van youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=38CEfhpjSs>
- cate, S. t. (2022, 05 16). *alles wat je wilt eten over hpl*. Opgehaald van decolegno:
<https://decolegno.nl/blog/alles-wat-je-wilt-weten-over-hpl/>
- CBS. (2020, 12 16). *Prognose: Bevolking blijft komende 50 jaar groeien*. Opgehaald van cbs.nl:
<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/51/prognose-bevolking-blijft-komende-50-jaar-groeien>
- CBS. (2022, 03 31). *Mobiliteit in corona tijd*. Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/welvaart-in-coronatijd/mobiliteit>
- Cobouw. (2010, 03 06). *Recordliggers voor westrandweg*. Opgehaald van Cobouw:
<https://www.cobouw.nl/101119/recordliggers-voor-westrandweg>
- Consolis Spanbeton ; Van Hattum en Blankevoort ; Rijkswaterstaat (RWS). (2019, 11 13). *Achtergronddocumenten Integraal Advies [Ontwerpnota Circulair Viaduct]*. Opgehaald van puc: https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_166465_31/
- Daniëlle Snellen (PBL), G. R. (2015). *Cahier Mobiliteit: TOEKOMSTVERKENNING • WELVAART EN LEEFOMGEVING*. Centraal Planbureau: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Dick Schaafsma, V. L. (2016). *Kennisactieplan Bruggen 2017-2020*. Rijkswaterstaat.

- dijk, L. v. (2017, 06 18). *TU/e maakt brug van 3D geprint gewapend beton*. Opgehaald van innovationorigins: <https://innovationorigins.com/nl/tue-maakt-brug-3d-geprint-gewapend-beton/>
- Duic. (2022, 03 30). *Ministerie houdt toch vast aan verbreding van A27 bij Amelisweerd*. Opgehaald van Duic: <https://www.duic.nl/algemeen/ministerie-houdt-toch-vast-aan-verbreding-van-a27-bij-amelisweerd/>
- Fennis, S. (2022, maart 29). Interview ROK. (B. Bakker, Interviewer)
- freysinet. (2022, - -). *Externe voorspanning*. Opgehaald van freysinet.nl: http://www.freysinet.nl/freyssinet/wfreyssinet_nl.nsf/sb/producten-en-technieken.voorspanning..externe-voorspanning#:~:text=In%20situaties%20waarbij%20in%20de,bijvoorbeeld%20bestaande%20constructies%20of%20uitbouwbruggen.
- Gerrijn. (2022, 05 02). *Hijsvoorzieningen*. Opgehaald van Gerrijn: <https://www.gerrijn.nl/index.php/assortiment/09/Hijsvoorzieningen>
- giverbo. (2022, mei 3). Rogir-Z brug. Nederland.
- Google Maps. (2022, mei). *Maps*. Opgehaald van Google: <https://www.google.nl/maps>
- Haitsma beton. (2022, april 19). *bruggen & viaducten (liggertypes)*. Opgehaald van Haitsma : <https://www.haitsma.nl/>
- Haitsma. (z.d.). *ingestorte hijslus*. Opgeroepen op mei 28, 2022, van <https://adoc.pub/speciale-aandacht-voor-productie-transport-en-montage-68-m-l.html>
- Halfen. (z.d.). *Demu hijssanker en Kogelkopanker*. Halfen. Opgeroepen op mei 28, 2022, van https://downloads.halfen.com/catalogues/nl/media/catalogues/transportankersystems/DEMU-LIFT_18-NL.pdf
- Hans Hilbers (PBL), G. R. (2016). *Binnenlandse personenmobiliteit*. Den Haag: PBL.
- Herder, H. (2022, 05 13). Vraag over de mail over fabrieksmatig aangebrachte schampkanten. (B. Bakker, Interviewer)
- Hermesen, J. (2022, april 11). Interview standaardisatie Romein Beton. (N. Spring in 't Veld, Interviewer)
- Imming, D. W. (2019). *STRATEGISCHE OPLOSSINGEN IN HET KADER VAN DE VERVANGING EN RENOVATIE OPGAVE VAN BRUGGEN EN VIADUCTEN*. Utrecht: Windesheim en Rijkswaterstaat.
- Infrasite. (z.d.). *zonde om betonnen ligger na één generatie af te schrijven*. Opgeroepen op mei 28, 2022, van <https://www.infrasite.nl/duurzaamheid/2021/05/11/zonde-om-betonnen-ligger-na-een-generatie-af-te-schrijven/?gdp=deny>
- J.S.Leendertz. (2014). *Brugopleggingen*. -: Rijkswaterstaat.
- Jan Bart Jutte, B. M. (2020). *Circulaire objecten*. Amersfoort: RoyalHaskoningDHV.
- Jessica Leffers, A. M. (2022). *Circular infrastructure: the road towards a sustainable future*. niet bekend: Holland circular hotspot, Rijkswaterstaat, TNO en De circulaire bouweconomie.
- joostdevree. (2022, mei 2). *IFD, modulair bouwen*. Opgehaald van joostdevree: <https://www.nen.nl/industrieel-flexibel-demontabel-ifd>
- Joostdevree. (z.d.). *Lamellenvoeg*. Opgeroepen op mei 28, 2022, van <https://www.joostdevree.nl/shtmls/voegovergang.shtml>
- Kees Quartel, J. v. (2022, 05 9/11). Ontwerpsessies remontabele ligger. (B. B. Veld, Interviewer)
- Lenntech. (2022, 05 16). *smeltpunt*. Opgehaald van lenntech: <https://www.lenntech.nl/elementen-periodiek-systeem/smeltpunt.htm>

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2012). *Structuurvisie infrastructuur en ruimte*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - CROW. (2020). *Langetermijneffecten coronacrisis op mobiliteit*. Amersfoort: ministerie van infrastructuur en waterstaat - CROW.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Naar klimaatneutrale en circulaire rijksinfrastructuurprojecten*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2022). *MIRT Overzicht 2022*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, mede namens Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- Nederlands Normalisatie Instituut. (2022, mei 2). *Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen*. Opgehaald van nen: <https://www.nen.nl/industrieel-flexibel-demontabel-ifd>
- NEN-EN 1337-3. (2005). *NEN-EN 1337-3 (Structural bearings - Part 3: Elastomeric bearings)*. NEN.
- Platform Voegovergangen en Opleggingen. (2021). *Handboek Voegovergangen*. Ede: CROW.
- Platform Voegovergangen en Opleggingen. (2022). *Handboek opleggingen*. Ede: PVO.
- populairproduct. (2022, 5 16). *PLA filament; biologisch afbreekbare kunststof uit zetmeel en sojabonen*. Opgehaald van populairproduct: <https://www.populairproduct.nl/3dprinter/content/22/pla-filament-biologisch-afbreekbare-kunststof-uit-zetmeel-en-sojabonen.html>
- Quartel, J. v. (2022, 05 9/11). Ontwerpsessies remontabele ligger. (B. B. Veld, Interviewer)
- Quartel, K. (2022, 05 02). Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers. (B. Bakker, Interviewer)
- Quartel, K. (z.d.). Afgeschuinde liggerkop. *Afgeschuinde liggerkop*.
- RDW. (-, - -). *Wet- en regelgeving*. Opgehaald van RDW: <https://www.rdw.nl/zakelijk/branches/wegbeheerder/ontheffingen-exceptioneel-transport/wet-en-regelgeving>
- Rijksdienst van Ondernemend Nederland. (2021, 04 28). *r-ladder*. Opgehaald van rvo: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/circulaire-economie/r-ladder>
- Rijkswaterstaat. (2006). *Richtlijnen voor het ontwerpen van betonnen kunstwerken (ROBK versie 6)*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2017). ROK bijlage deel A. *flexibele voegovergang*. Opgeroepen op mei 28, 2022, van <https://docplayer.nl/56705128-Richtlijnen-ontwerp-kunstwerken-bijlagendocument-deel-a.html>
- Rijkswaterstaat. (2017). *RTD 1001*. -: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2017). *RTD 1010 Versie 1.0*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2020). *Trendboek RWS Expeditie 2050*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2021). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen - Veilige Inrichting van Bermen*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2022a, februari 24). *DISK*. Utrecht, Nederland.
- Rijkswaterstaat. (2022b, mei 2). *Vernieuwen van bruggen, tunnels, sluizen en viaducten*. Opgehaald van rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/onzes-organisatie/vervanging-en-renovatie>
- Rijkswaterstaat. (2022c, mei 17). *Vervanging en Renovatie*. Opgehaald van rwsinnoveert: <https://rwsinnoveert.nl/focuspunten/vervanging-renovatie/>

- Rijkswaterstaat GPO m.m.v. Witteveen + Bos. (2022). *ROA2019 v1.1*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (z.d.). hijswerk hijsen. *hijswerk hijsen*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (z.d., - -). *Rijkswaterstaat*. Opgehaald van spitsstroken:
<https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/spitsstroken>
- Rijkswaterstaat, B. (2004). *Vuistregels voor het ontwerpen van betonnen bruggen en viaducten*. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Rijkswaterstaat GPO m.m.v. Witteveen en Bos. (2022). *Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019*. Utrecht: Rijkswaterstaat. Opgeroepen op 2022
- Romijn, G. P. (2016). *Goederenvervoer en zeehavens*. Centraal Planbureau voor de leefomgeving.
- RoyalHaskoningDHV. (2020). *Eindrapport fase 1-Haalbaarheidsonderzoek*. -: RHDHV.
- Schaafsma, D. (2022, 03 02). Toekomst autosnelwegen. (B. B. Veld, Interviewer)
- Schageninfra. (2022, 05 24). *voegovergangen*. Opgehaald van schageninfra:
<https://schageninfra.nl/expertises/speciale-producten/voegovergangen/>
- smitsneuchatel. (2022, 05 19). *flexibele-kunststofvoeg-polyflex-advanced-pu*. Opgehaald van smitsneuchatel:
<https://www.smitsneuchatel.nl/nl/productensystemen/voegovergangen/flexibele-kunststofvoeg-polyflex-advanced-pu>
- Spanbeton. (2017). Opgeroepen op 05 30, 2022, van
<https://www.youtube.com/watch?v=of7AKE7JTdM>
- Spanbeton. (z.d.). SKK kokerligger. *SKK kokerligger*. Spanbeton.
- Stichting Koninklijke Nederlandse Normalisatie instituut. (2021). *NTA 8085*. Stichting Koninklijke Nederlandse Normalisatie instituut: NEN.
- unfccc. (2021, december). *timeline*. Opgehaald van unfccc: <https://unfccc.int/timeline/>
- Valk, L. C. (2019). *Wat leert het eerste circulaire viaduct ons*. onbekend: Rijkswaterstaat.
- Verachttert. (sd). Rippertand TR. *Rippertand TR*. Verachttert.
- Vissering, C. (2018, 12 -). *3D-PRINTEN VAN BETON: TUSSEN REALITEIT EN DROOM IN*. Opgehaald van tektoniek: <https://www.tektoniek.nl/innovatief/kennis-en-expertise/3d-printen-van-beton-tussen-realiteit-en-droom-in>
- Vos, J. (2022, 03 09). ROA ontwikkelingen. (N. S. Veld, Interviewer)
- Wapstra, F. (2022, 05 12). Telefoongesprek asfalt verwijderen. (B. Bakker, Interviewer)
- Weber. (2020, 10 -). *3d-betonprinten-steeds-vaker-succesvol-toegepast*. Opgehaald van Weber:
<https://www.nl.weber/3d-betonprinten/3d-betonprinten-steeds-vaker-succesvol-toegepast>
- Weessies, R. (2021, 07 16). *3D-geprinte stalen brug Oudezijds Achterburgwal officieel in gebruik genomen*. Opgehaald van architectenweb:
<https://architectenweb.nl/nieuws/artikel.aspx?ID=50600>
- Wegenwiki. (2019, 04 20). *plusstrook*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Plusstrook>
- Wegenwiki. (2021a, 02 28). *Hoofdwegennet*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Hoofdwegennet>
- Wegenwiki. (2021b, 02 14). *capaciteit*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Capaciteit>
- Wegenwiki. (2022a, april 5). *Knooppunten in Nederland*. Opgehaald van Wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Knooppunten_in_Nederland

Wegenwiki. (2022b, 03 31). *spitsstrook*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Spitsstrook>

Wikipedia. (2022, 01 19). *Hydrodemolition*. Opgehaald van wikipedia:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrodemolition>

Wikipedia. (2022, 01 09). *Landhoofd*. Opgehaald van Wikipedia:
<https://nl.wikipedia.org/wiki/Landhoofd#:~:text=de%20brug%20groter.-,Laaggefundeerd%20landhoofd,er%20grotere%20zijdelingse%20belastingen%20ontstaan.>

Wikipedia. (sd). *Haarlemmermeeraansluiting*. *Haarlemmermeeraansluiting*. Wikipedia.

Wikipedia. (sd). *Halfklaverbladaansluiting*. *Halfklaverbladaansluiting*. Wikipedia.

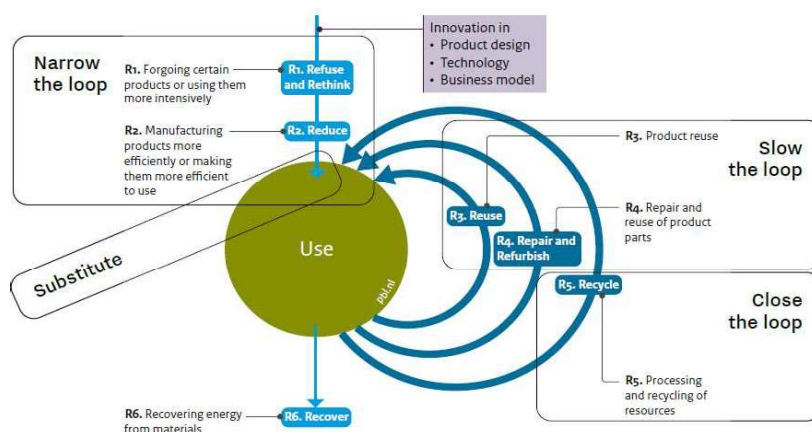
Wolfs, R. (2019, 11 27). *Constructief gedrag 3D-geprint beton*. Opgehaald van Cementonline:
<https://www.cementonline.nl/constructief-gedrag-3d-geprint-beton>

11. Bijlagen

Bijlage A. R-ladder: strategieën van circulariteit

In *FIGUUR 11-1* is het model van de circulaire economie weergegeven, gebaseerd op de R-ladder of circularity strategies, niet te verwarren met het 10-r model van Prof. DR. J. Cramer (Valk, 2019). Dit model bestaat uit drie onderdelen:

1. *Narrowing the loop*: minder producten gebruiken en/of efficiënter produceren zodat minder materialen benodigd zijn.
2. *Slowing the loop*: langer gebruik maken van materialen door hergebruik en reparatie.
3. *Closing the loop*: het recyclen of energie terugwinnen uit producten daar waar de vorige opties niet meer mogelijk zijn (Jessica Leffers, 2022).



Figuur 11-1: R-ladder of circular infrastructure (Jessica Leffers, 2022)

De R-ladder of circularity strategies is gebaseerd op de 6-r ladder. Hoe hoger op de r-ladder, hoe lager het grondstofgebruik, als gevolg van langer gebruik van grondstoffen en hoogwaardig hergebruik. De r-ladder bestaat uit de volgende onderdelen.

R1. Refuse en Rethink (afwijzen en heroverwegen):

Het product overbodig maken door van zijn functie af te zien, of die met een radicaal ander product te leveren. Daarmee is het product niet meer nodig.

Daarnaast kan het gebruik van andere producten worden geïntensiveerd door producten te delen of multifunctionele producten te ontwerpen.

R2. Reduce (verminderen):

Grondstoffen efficiënter gebruiken door minder grondstoffen te verbruiken tijdens de productie en het gebruik van tweedehands producten.

R3. Re-use (hergebruiken):

Hergebruik van een afgedankt nog goed product, in gelijke functie door een andere gebruiker.

R4. Repair, Refurbish, Remanufacture en Repurpose (repareren, opknappen, reviseren en hergebruiken):

Reparatie en onderhoud van een kapot product voor gebruik in zijn oude functie, opknappen en/of het moderniseren van oude producten óf onderdelen van een afgedankt product gebruiken in een nieuw product met dezelfde of andere functie.

R5. Recycling:

Materialen verwerken tot grondstoffen met dezelfde (hoogwaardige) of mindere (laagwaardige) kwaliteit dan de oorspronkelijke grondstof.

R6. Recover (terugwinnen):

Verbranden van materialen met energietrugwinning.

Bijlage B. Het bruggen- en viaductenareaal van Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat heeft momenteel circa 3700 vaste bruggen en viaducten in beheer. Circa 2 op de 3 viaducten bevindt zich in de rijksweg en circa 1 op de 3 viaducten bevindt zich over de rijksweg. In deze bijlage wordt het areaal van Rijkswaterstaat in verschillende grafieken geanalyseerd. De volgende aspecten komen daarbij aan bod:

- aantal gebouwde bruggen en viaducten in historisch perspectief;
- viaductoverspanningen;
- maximale constructiebreedtes;
- kruisingshoeken.

Hoewel de oudste bruggen en viaducten al voor de Tweede Wereldoorlog gebouwd zijn is veruit het grootste deel, ruim 96%, gebouwd na 1950. Enkele honderden viaducten zijn reeds gesloopt. Andere bruggen en viaducten behoorden vroeger tot het rijkswegennetwerk en tegenwoordig niet meer. Omwille de doelgerichtheid van de data-analyse is gekozen voor een afbakening. Enkel bruggen en viaducten die zich binnen deze afbakening bevinden zijn opgenomen in de grafieken. Met de volgende afbakening is rekening gehouden:

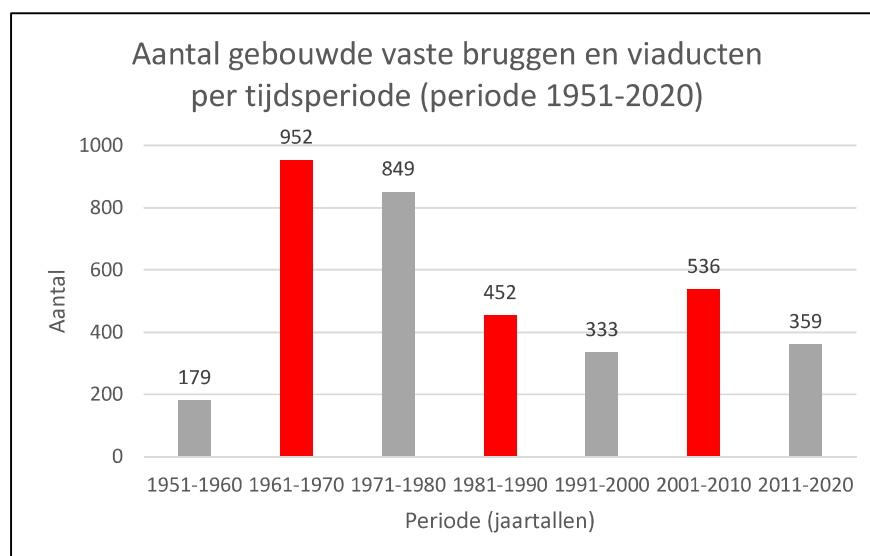
- Vaste bruggen en viaducten.
- Bruggen en viaducten die hedendaags tot het rijkswegennet toebehoren of deze overspannt.
- Bruggen en viaducten gebouwd tussen 1951 en 2020.

Alle grafieken die in deze bijlage zijn opgenomen zijn tot stand gekomen met behulp van het databestand '210106 Datafile DISK tbv SBIR', wat een substractie is van het Data Informatie Systeem Kunstwerken van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2022a). Opgemerkt dient te worden dat het databestand enkel rekening houdt met de gemiddelde overspanningslengte per viaduct. Indien een viaduct uit meerdere overspanningen bestaat met verschillende overspanningslengtes, ontstaat een onoverkoombare onvolkomenheid in de grafieken. Hoewel de grafieken een goed beeld geven van de gebruikte overspanningslengtes en de ontwikkeling door de tijd daarin, is om deze reden voorzichtigheid geboden met het trekken van conclusies op basis van de weergegeven data.

De extractie van de data uit DISK heeft er ongelukkigerwijze toe geleid dat een aantal van de grote bruggen ontbreken in de dataset. In paragraaf B.6 – *Brondata ontbrekende overspanningen* is geïnventariseerd welke bruggen dit betreft en wat de gevolgen zijn van het niet meenemen van deze bruggen. Verderop in deze bijlage is dit nader uitgewerkt. Het effect van het ontbreken van deze bruggen blijkt een minimale invloed te hebben op de uitkomsten en de conclusies die daaruit getrokken worden. Om deze reden is besloten om geen handmatige bewerkingen in het databestand uit te voeren. De figuren in deze bijlage zijn daarmee substracties van het onveranderde databestand uit DISK.

B.1 – aantal gebouwde bruggen en viaducten in historisch perspectief

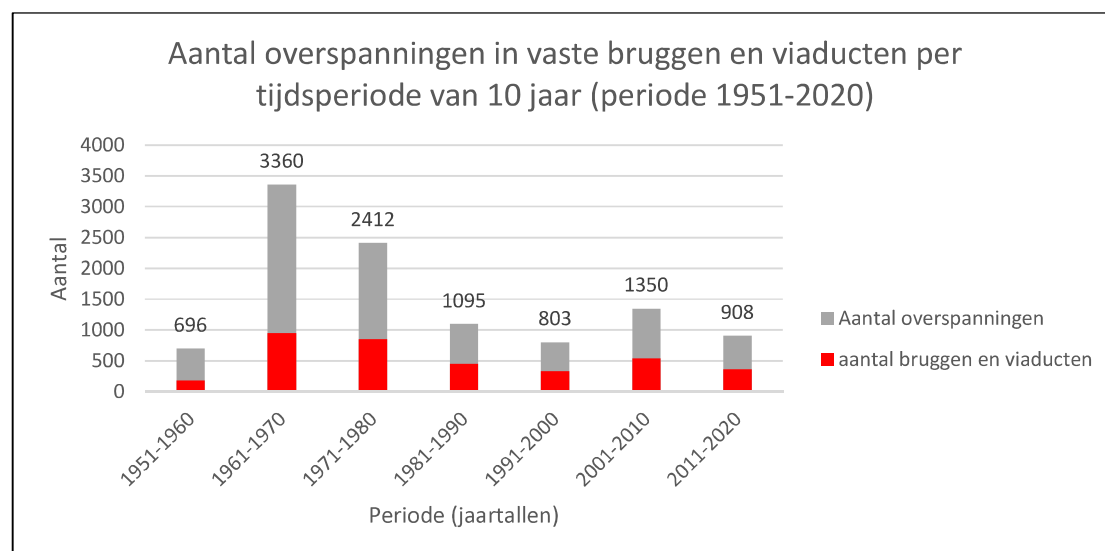
Het eerste rijkswegenplan in Nederland stamt uit 1927. Sindsdien is de bouw van de rijkswegen op gang gekomen. Hoewel voor het begin van de Tweede Wereldoorlog al een aantal stukken rijksweg gereed waren gekomen, is het gros van de rijkswegen en daarmee ook het gros van de viaducten, na de Tweede Wereldoorlog gebouwd. Zoals in *FIGUUR 11-2* te zien is, heeft de piek van de bouw plaatsgevonden in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw. Deze viaducten naderen langzamerhand het einde van hun levensduur en onderstrepen daarmee de grote vervangingsopgave waar Rijkswaterstaat mee te maken gaat krijgen.



Figuur 11-2: Aantal bruggen en viaducten per tijdsperiode (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

B.2 – overspanningen

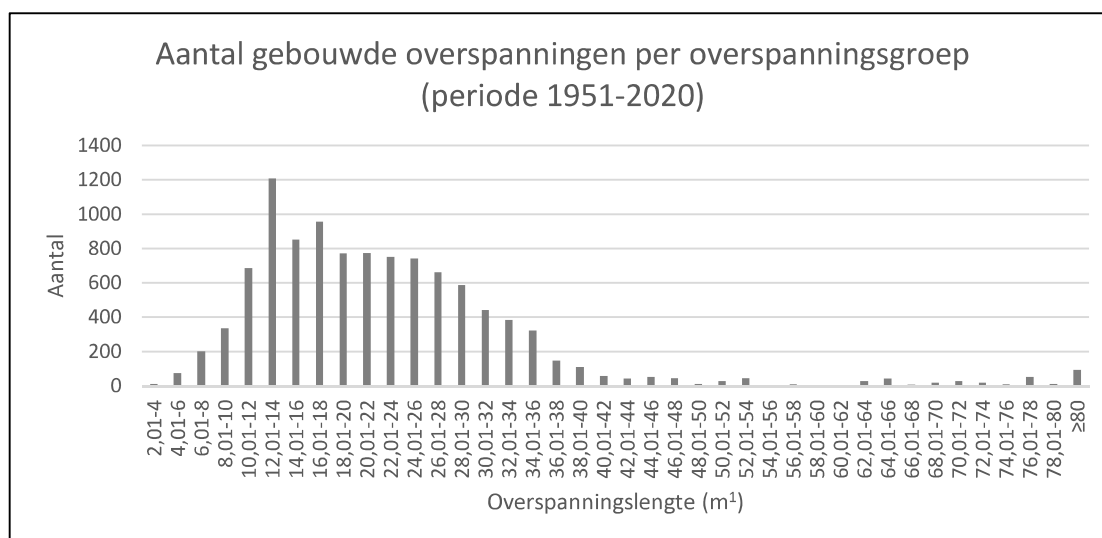
Viaducten kennen in veel gevallen meerdere overspanningen. Het gemiddelde aantal overspanningen per viaduct ligt zelfs boven de twee. Een nauwgezette analyse kan om deze reden alleen plaatsvinden door deze op overspanningsniveau – en niet op viaductniveau – uit te voeren. In **FIGUUR 11-3** is het aantal gebouwde overspanningen in viaducten per tijdsperiode van 10 jaar weergegeven voor de bouwperiode 1951-2020. Tevens is hierin zichtbaar hoe het aantal gebouwde overspanningen zich verhoudt tot het aantal gebouwde viaducten.



Figuur 11-3: Aantal overspanningen in bruggen en viaducten per tijdsperiode van 10 jaar (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

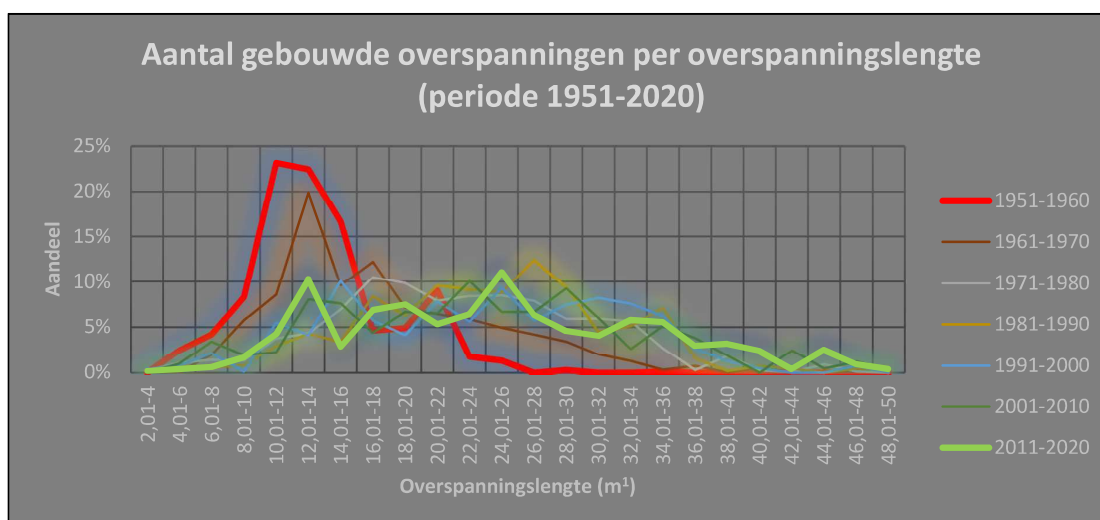
In de volgende twee grafieken wordt gekeken naar de gewogen gemiddelde overspanningslengte. Dit houdt in dat alle aanwezige overspanningen in viaducten zijn opgenomen, waarbij per brug of viaduct de gemiddelde overspanningslengte is bepaald en vervolgens naar het aantal overspanningen in het viaduct een aantal keer is meegeteld.

In **FIGUUR 11-4** is het aantal gebouwde overspanningen in de periode 1951-2020, uitgezet tegen de gemiddelde overspanningslengte per viaduct.



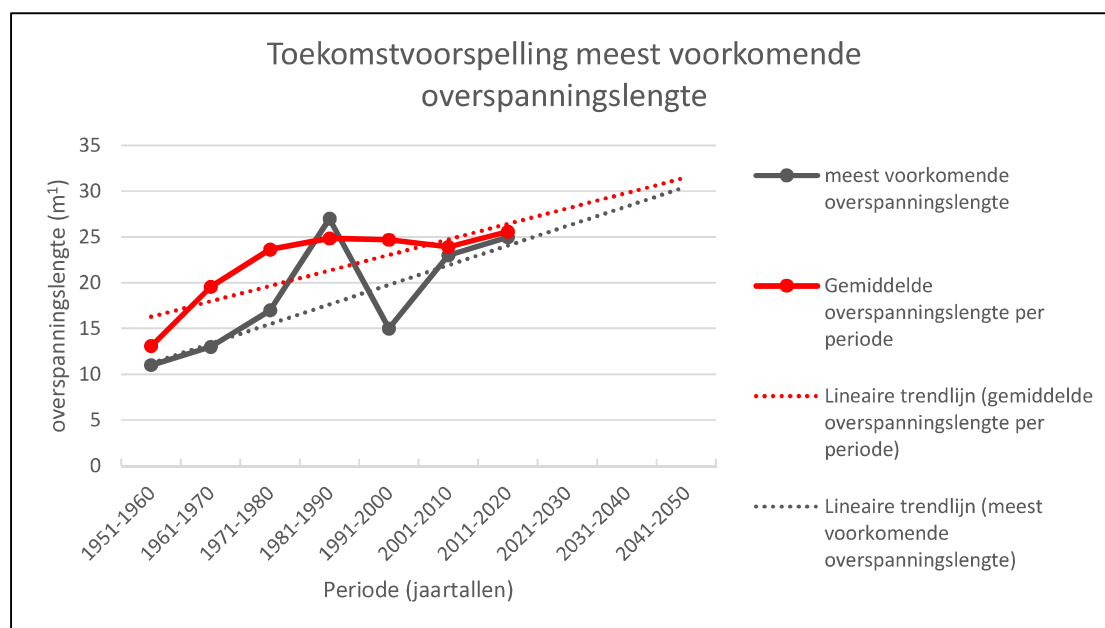
Figuur 11-4: Aantal gebouwde overspanningen per overspanningsgroep (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

In **FIGUUR 11-5** is het aandeel gebouwde overspanningen per gemiddelde overspanningslengteklasse per tijdperiode van 10 jaar weergegeven voor de bouwperiode 1951-2020. Omwille de leesbaarheid en wijtend aan het feit dat ruim 96% van de overspanningen zich binnen het bereik van 2 m tot 50 m bevinden, zijn enkel de overspanningen binnen dit bereik in de onderstaande grafiek opgenomen.



Figuur 11-5: Aantal gebouwde overspanningen per overspanningslengte (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

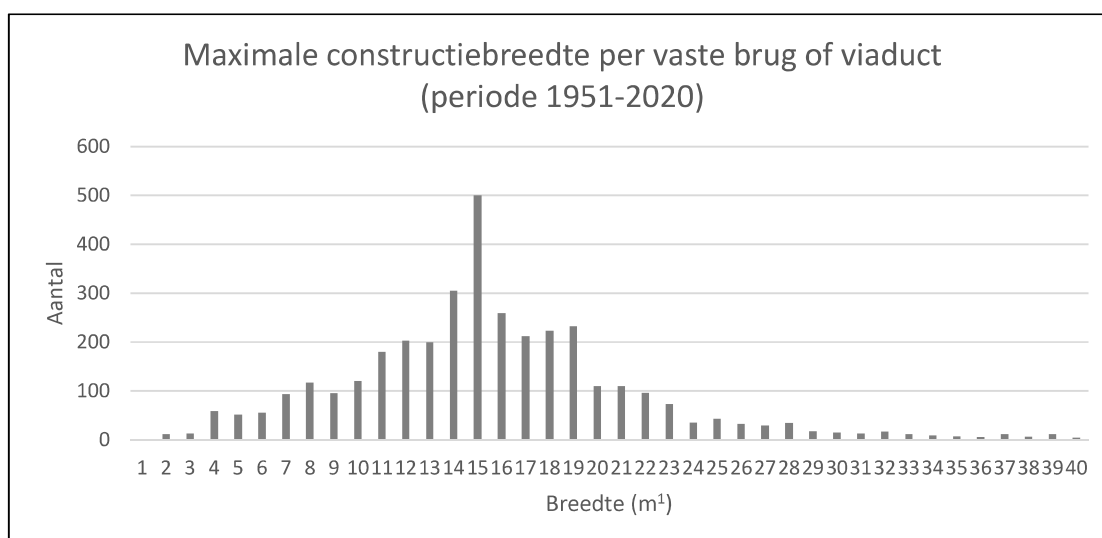
In **FIGUUR 11-6** zijn twee trends weergegeven. Met een grijze kleur is de trend weergegeven van de overspanningslengte (per overspanning) die in een periode het meeste voorkomt. Middels een lineaire prognose is deze trend naar de toekomst doorgezet tot en met de periode 2041-2050. Met een rode kleur is de trend weergegeven van het aandeel overspanningen dat bij de overspanningslengte met het grootste aandeel overspanningen hoort. Middels een exponentiele prognose is deze trend naar de toekomst doorgezet tot en met de periode 2041-2050



Figuur 11-6: Toekomstvoorspelling meest voorkomende overspanningslengte (Rijkswaterstaat, 2022a)

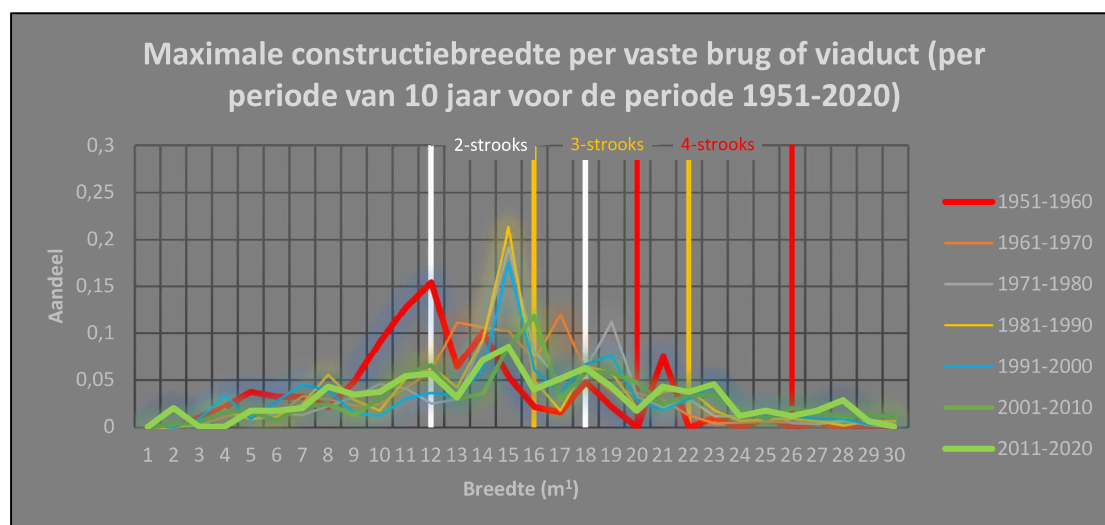
B.3 – constructiebreedte

In *Figuur 11-7* is het aantal gebouwde bruggen en viaducten, gebouwd na 1950, weergegeven en uitgezet tegen de maximale constructiebreedte. Omwille de leesbaarheid en wijtend aan het feit dat ruim 97% van de viaducten een constructiebreedte kennen van maximaal 40 m¹, zijn enkel de viaducten met een constructiebreedte die binnen dit bereik vallen in de onderstaande grafiek opgenomen.



Figuur 11-7: Maximale constructiebreedte per brug of viaduct (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

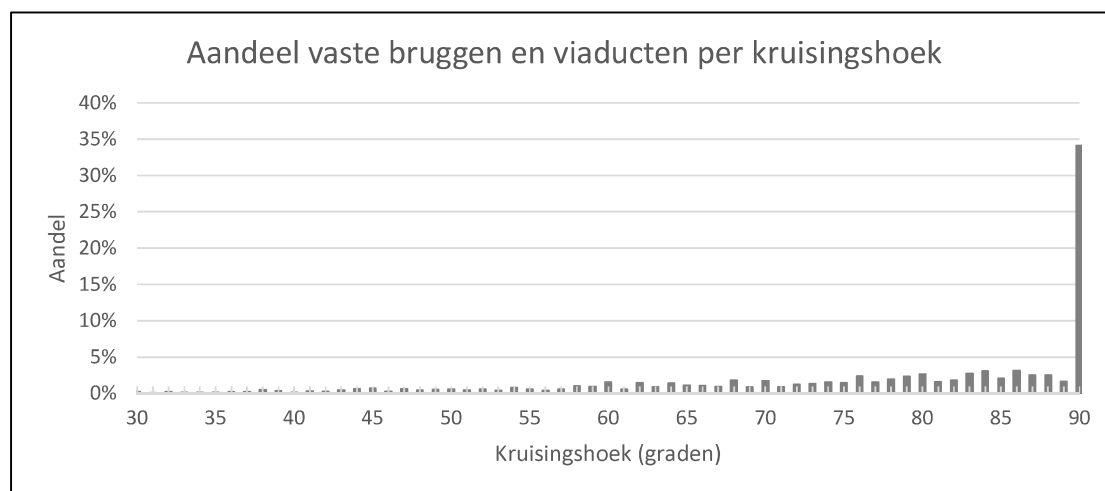
In *Figuur 11-8* is het aandeel viaducten met een bepaalde maximale constructiebreedte weergegeven per tijdperiode van 10 jaar voor de bouwperiode 1951-2020. Alle maximale constructiebreedtes tot 30 m¹ zijn weergegeven. Omwille de leesbaarheid en wijtend aan het feit dat ruim 91% van de viaducten een constructiebreedte kennen van maximaal 30 m¹, zijn enkel de viaducten met een constructiebreedte die binnen dit bereik vallen in de onderstaande grafiek opgenomen. In deze grafiek zijn verder de onder- en bovengrenzen weergegeven waarbinnen zich normaliter de breedtes van een brug of viaduct in een tweestrooks-, driestrooks- en vierstrooksautosnelweg bevinden. Voorkomende gevallen kunnen zich buiten deze grenzen bevinden.



Figuur 11-8: Maximale constructiebreedte per brug of viaduct, per periode van 10 jaar (periode 1951-2020) (*Rijkswaterstaat, 2022a*)

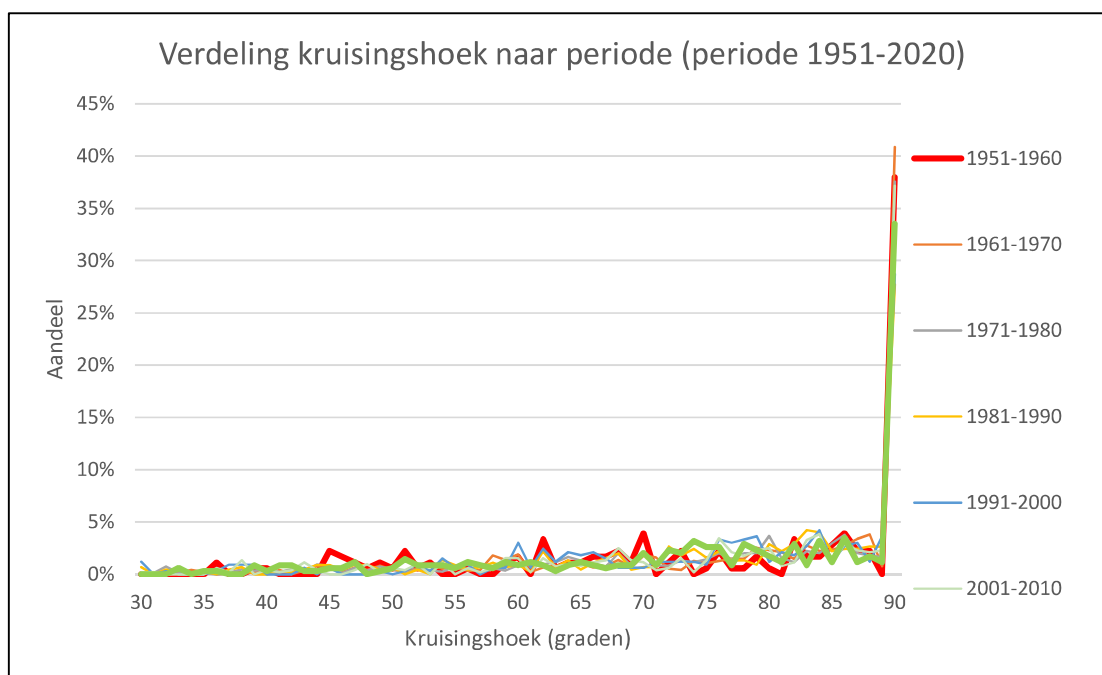
B.4 – Kruisingshoek

In *Figuur 11-9* is het aandeel vaste bruggen en viaducten per kruisingshoek weergegeven. Omwille de leesbaarheid en wijtend aan het feit dat ruim 98% van de viaducten een kruisingshoek kent van groter dan 30°, zijn enkel de viaducten met een kruisingshoek groter dan 30° in de onderstaande grafiek opgenomen.



Figuur 11-9: Aandeel vaste bruggen en viaducten per kruisingshoek (periode 1951-2020) (*Rijkswaterstaat, 2022a*)

In *Figuur 11-10* is voor de periode van 1951-2020 voor elke periode van 10 jaar weergegeven welk aandeel van de viaducten een bepaalde kruisingshoek kent. In deze grafiek is geen trend te herkennen.



Figuur 11-10: Verdeling kruisingshoek naar periode (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

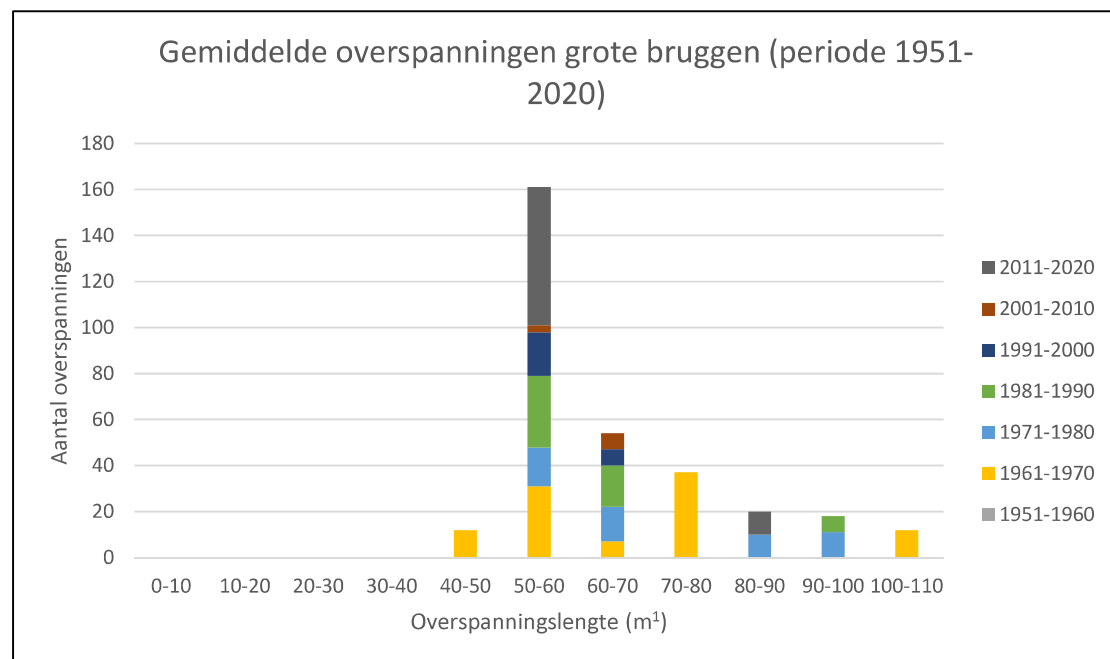
B.5 - Invloed grote bruggen

De extractie van de data uit DISK heeft er toe geleid dat een aantal van de grote bruggen in het areaal van Rijkswaterstaat ontbreken in de dataset. Gezien dit veelal bruggen betreffen met meerdere overspanningen, waarbij een duidelijke hoofdoverspanning gekenmerkt kan worden door de aanzienlijke grootte van deze overspanning in verhouding tot de overige overspanningen, zijn deze hoofdoverspanningen niet meegeteld bij het bepalen van de gemiddelde overspanningslengte. Daarnaast zijn andere grote bruggen over hoofdtransportassen en hoofdvaarwegen in beheer van Rijkswaterstaat (Figuur 11-11) hier ook in opgenomen om te bepalen welke invloed deze overspanningen hebben. Geïnterviewd is, dat het hierbij zeker over 37 bruggen gaat.

In *Figuur 11-12* zijn de aangepaste overspanningen weergegeven. Te zien is dat dit voornamelijk grote overspanningen betreft die in kleine getallen voorkomen. Het aandeel van de ontbrekende overspanningen in het databestand van DISK overtreft niet meer dan slechts enkele procenten en focust zich voornamelijk op overspanningslengtes die in zeer marginale hoeveelheden voorkomen. Daarmee is de invloed op de conclusies en de uitgangspunten die uit de grafieken getrokken worden zeer klein. Om deze reden is gekozen om de gegevens van deze bruggen niet handmatig in het databestand – en daarmee de overige in deze bijlage weergegeven grafieken – te verwerken. De brondata die tot de onderstaande grafiek heeft geleid is weergegeven in paragraaf B.6.



Figuur 11-11: Hoofdvaarwegennet Rijkswaterstaat (*Binnenvaartkennis, z.d.*)



Figuur 11-12: Gemiddelde overspanningen grote bruggen (periode 1951-2020) (Rijkswaterstaat, 2022a)

B.6 - Brondata grote overspanningen

Onderstaand is data weergegeven van 37 bruggen. Deze bruggen ontbreken of kennen een significant grotere hoofdoverspanning, waardoor dit een vertekend beeld geeft ten opzichte van het geëxtraheerde databestand uit DISK.

Rijksweg	A5 Westrandweg
Coördinaten	52.391936174481465, 4.825253386067799
Kruist	n.v.t.
Relevant?	Ja
Totale Lengte	3300
Grootte overspanning	n.v.t.
Aantal overspanningen	60
Breedte	28
Bouwjaar	2012
Bron	https://www.vhbinfra.nl/nl/projecten/detail/westrandweg-a5

Rijksweg	A10 Zeeburgerbrug
Coördinaten	52.359796664570084, 4.96764649815609
Kruist	Amsterdam-Rijnkanaal
Relevant?	ja
Totale Lengte	1184
Grootte overspanning	155
Aantal overspanningen	18
Breedte	40
Bouwjaar	1990
Bron	https://www.ensie.nl/xyz-van-amsterdam/zeeburgerbrug#:~:text=De%20Zeeburgerbrug%20heeft%20een%20lengte,rijstroken%20en%20een%20vluchtstrook%20kregen.

Rijksweg	A6 Hollandse brug
Coördinaten	52.32541850552364, 5.138948847092682
Kruist	Gooimeer
Relevant?	Geen wijziging vereist
Totale Lengte	354
Grootte overspanning	n.v.t.
Aantal overspanningen	7
Breedte	71
Bouwjaar	
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Hollandse_Brug

Rijksweg	A1 Muiderbrug
Coördinaten	52.33251939079375, 5.01499056249201
Kruist	Amsterdam-Rijnkanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	310
Grootte overspanning	162
Aantal overspanningen	3
Breedte	46
Bouwjaar	1970
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Muiderbrug

Rijksweg	A9 Betlembrug
Coördinaten	52.33062462166982, 5.0159454288651295
Kruist	Amsterdam-Rijnkanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	354
Grootte overspanning	140
Aantal overspanningen	3
Breedte	56
Bouwjaar	2016
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Betlembrug

Rijksweg	A12 Galecopperbrug
Coördinaten	52.06081274042015, 5.097551178824817
Kruist	Amsterdam-Rijnkanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	240
Grootte overspanning	180
Aantal overspanningen	3
Breedte	78
Bouwjaar	1971
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Galecopperbrug

Rijksweg	A27 Houtensebrug
Coördinaten	52.02518080494871, 5.130725989319421
Kruist	Amsterdam-Rijnkanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	265
Grootte overspanning	145
Aantal overspanningen	3
Breedte	31
Bouwjaar	1980
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Houtensebrug

Rijksweg	A15
Coördinaten	51.90315581399996, 5.453373282963897
Kruist	Amsterdam-Rijnkanaal
Relevant?	Geen wijziging vereist
Totale Lengte	188
Grootte overspanning	n.v.t.
Aantal overspanningen	7
Breedte	26
Bouwjaar	1946
Bron	https://www.wegenwiki.nl/A15_(Nederland)

Rijksweg	A6 Ketelbrug
Coördinaten	52.612946160545825, 5.6461990651896246
Kruist	ketelmeer
Relevant?	Ja
Totale Lengte	800
Grootte overspanning	80
Aantal overspanningen	11
Breedte	32
Bouwjaar	1970
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Ketelbrug

Rijksweg	A28 Brug Katerveer
Coördinaten	52.49960153254798, 6.0540666215432255
Kruist	IJssel
Relevant?	ja
Totale Lengte	675
Grootte overspanning	150,5
Aantal overspanningen	8
Breedte	34
Bouwjaar	1970
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Brug_Katerveer

Rijksweg	A1 IJsselbrug Deventer
Coördinaten	52.231245494781305, 6.166239035400925
Kruist	IJssel
Relevant?	Ja
Totale Lengte	1100
Grootte overspanning	130
Aantal overspanningen	15
Breedte	34
Bouwjaar	1972
Bron	https://www.wegenwiki.nl/IJsselbrug_Deventer

Rijksweg	A12: IJsselbrug Westervoort
Coördinaten	51.97422627094651, 5.990202102645782
Kruist	IJssel
Relevant?	Ja
Totale Lengte	570
Grootte overspanning	105
Aantal overspanningen	10
Breedte	50
Bouwjaar	1961
Bron	https://www.wegenwiki.nl/IJsselbrug_Westervoort

Rijksweg	A35 Loofrietbrug (geen liggers)
Coördinaten	52.251106275250805, 6.75400657284803
Kruist	Twentekanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	135
Grootte overspanning	50
Aantal overspanningen	3
Breedte	2*15
Bouwjaar	1977
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Loofrietbrug

Rijksweg	A1: Linschotbrug
Coördinaten	52.292770228930436, 6.639481611748984
Kruist	Zijtak twentekanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	136
Grootte overspanning	65
Aantal overspanningen	3
Breedte	39
Bouwjaar	1978
Bron	https://www.wegenwiki.nl/A1_(Nederland)

Rijksweg	A35 Brug A35
Coördinaten	52.32607033635895, 6.628198907449391
Kruist	Zijtak twentekanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	90
Grootte overspanning	51
Aantal overspanningen	3
Breedte	30
Bouwjaar	2007
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Brug_A35

Rijksweg	A50: Tacitusbrug bij Ewijk
Coördinaten	51.885422774269294, 5.737862111069677
Kruist	Waal
Relevant?	Ja
Totale Lengte	1055
Grootte overspanning	270
Aantal overspanningen	10
Breedte	32 (eerste) en 36 (tweede)
Bouwjaar	1976 (eerste) en 2013 (tweede)
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Tacitusbrug

Rijksweg	A2 Martinus Nijhoffbrug
Coördinaten	51.819062206323565, 5.2598280889438955
Kruist	Waal
Relevant?	Ja
Totale Lengte	990
Grootte overspanning	256
Aantal overspanningen	14
Breedte	38
Bouwjaar	1996
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Martinus_Nijhoffbrug

Rijksweg	A27 Merwedebrug
Coördinaten	51.82737133200303, 4.942340371426726
Kruist	Merwede
Relevant?	ja
Totale Lengte	810
Grootte overspanning	2*170 (boog)
Aantal overspanningen	12
Breedte	26
Bouwjaar	1961
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Merwedebrug_(Gorinchem)

Rijksweg	A16 van Brienenoordbrug
Coördinaten	51.903871816296224, 4.542630546538882
Kruist	Nieuwe maas
Relevant?	Ja
Totale Lengte	1320 (boog)
Grootte overspanning	307
Aantal overspanningen	21
Breedte	2*31
Bouwjaar	1965 en 1990
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Van_Brienenoordbrug

Rijksweg	A2 Jan Blankenbrug
Coördinaten	51.997883789494765, 5.077441825783706
Kruist	Iek
Relevant?	Ja
Totale Lengte	532
Grootte overspanning	165
Aantal overspanningen	7
Breedte	2*26
Bouwjaar	1999 (eerste) en 2004 (tweede)
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Jan_Blankenbrug

Rijksweg	A27 Hagesteinsebrug
Coördinaten	52.00101475496308, 5.114091529082635
Kruist	Lek
Relevant?	Ja
Totale Lengte	740
Grootte overspanning	160
Aantal overspanningen	7
Breedte	30
Bouwjaar	1981
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Lekbrug_Hagestein

Rijksweg	A50: Rijnbrug bij Heteren
Coördinaten	51.96233816788017, 5.7670771556007425
Kruist	Nederrijn
Relevant?	Ja
Totale Lengte	974
Grootte overspanning	120,75
Aantal overspanningen	17
Breedte	34
Bouwjaar	1972
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Rijnbrug_Heteren

Rijksweg	A15: Suurhoffbrug
Coördinaten	51.93731154593916, 4.106879195092315
Kruist	Hartelkanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	233
Grootte overspanning	90
Aantal overspanningen	3
Breedte	24
Bouwjaar	1972
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Suurhoffbrug

Rijksweg	A15 Dintelhavenbrug
Coördinaten	51.93608451883988, 4.142308201032002
Kruist	Dintelhaven
Relevant?	Nee
Totale Lengte	370
Grootte overspanning	192
Aantal overspanningen	3
Breedte	onbekend
Bouwjaar	2001
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Dintelhavenbrug

Rijksweg	A16 Moerdijkbrug
Coördinaten	51.71627817334688, 4.63767850624381
Kruist	Hollands diep
Relevant?	Ja
Totale Lengte	1018
Grootte overspanning	100
Aantal overspanningen	11
Breedte	2*21
Bouwjaar	1936 en 1978
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Moerdijkbrug

Rijksweg	A29 Volkerakbrug
Coördinaten	51.692681407867845, 4.401987433586127
Kruist	Volkerak en Hollands diep
Relevant?	Nee
Totale Lengte	
Grootte overspanning	
Aantal overspanningen	6
Breedte	
Bouwjaar	1969
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Volkerakbrug

Rijksweg	A58 Kreekrakbrug
Coördinaten	51.42768192753076, 4.234188433344076
Kruist	Schelde rijnkanaal
Relevant?	Nee (150) Nee (240)
Totale Lengte	150+240
Grootte overspanning	131
Aantal overspanningen	3
Breedte	2*18
Bouwjaar	1974
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Kreekrakbrug

Rijksweg	A27 keizerveerbrug
Coördinaten	51.71941051293771, 4.890442767840197
Kruist	Bergsche maas
Relevant?	nee
Totale Lengte	310
Grootte overspanning	90
Aantal overspanningen	
Breedte	38
Bouwjaar	1968
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Keizersveerbrug

Rijksweg	A27 Oosterhoutsebrug
Coördinaten	51.62972677082069, 4.874413314040361
Kruist	Wilhelminakanaal
Relevant?	Nee
Totale Lengte	
Grootte overspanning	
Aantal overspanningen	
Breedte	
Bouwjaar	
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Oosterhoutsebrug

Rijksweg	A2 Maasbrug Empel
Coördinaten	51.738808027369416, 5.304253424055454
Kruist	Maas
Relevant?	Ja
Totale Lengte	630
Grootte overspanning	120
Aantal overspanningen	8
Breedte	29
Bouwjaar	1970
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Empel

Rijksweg	A50 Maasbrug Niftrik-Ravenstijn
Coördinaten	51.79436107999443, 5.6629797323824995
Kruist	Maas
Relevant?	Ja
Totale Lengte	435
Grootte overspanning	139.4
Aantal overspanningen	5
Breedte	34
Bouwjaar	1975
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Ravenstein

Rijksweg	A73: Maasbrug bij Heumen
Coördinaten	51.758409663642716, 5.838327791623501
Kruist	Maas
Relevant?	Ja
Totale Lengte	685
Grootte overspanning	157.5
Aantal overspanningen	10
Breedte	37
Bouwjaar	1986
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Heumen

Rijksweg	A67 Noorderbrug
Coördinaten	51.39530227275944, 6.153498773602426
Kruist	Maas
Relevant?	Ja
Totale Lengte	405
Grootte overspanning	120
Aantal overspanningen	5
Breedte	28
Bouwjaar	1970
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Noorderbrug_(Venlo)

Rijksweg	A73 Zuiderburg
Coördinaten	51.35591100233941, 6.145910989688686
Kruist	Maas
Relevant?	ja
Totale Lengte	330
Grootte overspanning	110
Aantal overspanningen	5
Breedte	44
Bouwjaar	1995
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Zuiderbrug

Rijksweg	A2 maasbrug bij Wessem
Coördinaten	51.16137828100315, 5.888803073724443
Kruist	Maas
Relevant?	Nee
Totale Lengte	510
Grootte overspanning	100
Aantal overspanningen	7
Breedte	28
Bouwjaar	1966
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Wessem

Rijksweg	A59 varkenshoek
Coördinaten	51.69994819252364, 5.357945731210535
Kruist	Maximakanaal
Relevant?	Geen wijzigingen
Totale Lengte	175
Grootte overspanning	n.v.t.
Aantal overspanningen	5
Breedte	25
Bouwjaar	2009
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Varkenshoek

Rijksweg	A29 haringvlietbrug
Coördinaten	51.716015983517, 4.400232793987207
Kruist	Haringvliet
Relevant?	Ja
Totale Lengte	1220
Grootte overspanning	8*106
Aantal overspanningen	12
Breedte	25
Bouwjaar	1964
Bron	https://www.wegenwiki.nl/Haringvlietbrug

B.7 – Verwijzingen gebruikte bronnen paragraaf B.6

[binnenvaartkennis]. (z.d., 02 22). *vaarwegenoverzicht-nederland*. *Vaarwegenoverzicht Nederland*. binnenvaartkennis. Opgeroepen op 02 22, 2022, van binnenvaartkennis:
<https://www.binnenvaartkennis.nl/2021/02/vaarwegenoverzicht-nederland/>

bruggenstichting. (2022, 02 21). *grootste-bruggen-in-nederland*. Opgehaald van bruggenstichting:
<https://bruggenstichting.nl/informatief/grootste-bruggen-in-nederland>

google. (2022, 02 21). *maps*. Opgehaald van google: <https://www.google.com/maps>

Van hattem en blankevoort. (2022, 02 23). *westrandweg-a5*. Opgehaald van vhbinfra:
<https://www.vhbinfra.nl/nl/projecten/detail/westrandweg-a5>

Vermeer, J. k. (2018, 06 22). *Zeeburgerbrug*. Opgehaald van ensie: <https://www.ensie.nl/xyz-van-amsterdam/zeeburgerbrug#:~:text=De%20Zeeburgerbrug%20heeft%20een%20lengte,rijstroken%20en%20een%20vluchtstrook%20kregen.>

Wegenwiki. (2017, 07 27). *Varkenshoek*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Varkenshoek>

Wegenwiki. (2020, 11 15). *Brug katterveer*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Brug_Katterveer

Wegenwiki. (2020, 04 13). *Brug_A35*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Brug_A35

Wegenwiki. (2020, 04 13). *Dintelhavenbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Dintelhavenbrug>

Wegenwiki. (2020, 04 12). *Hollandse_Brug*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Hollandse_Brug

Wegenwiki. (2020, 04 13). *Houtensebrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Houtensebrug>

Wegenwiki. (2020, 09 26). *IJsselbrug_Deventer*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/IJsselbrug_Deventer

Wegenwiki. (2020, 09 01). *Keizersveerbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Keizersveerbrug>

Wegenwiki. (2020, 04 12). *Ketelbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Ketelbrug>

Wegenwiki. (2020, 04 15). *Kreekrakbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Kreekrakbrug>

Wegenwiki. (2020, 04 13). *Loofrietbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Loofrietbrug>

Wegenwiki. (2020, 04 15). *Maasbrug_Heumen*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Heumen

Wegenwiki. (2020, 11 03). *Maasbrug_Wessem*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Wessem

Wegenwiki. (2020, 11 07). *Martinus_Nijhoffbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Martinus_Nijhoffbrug

Wegenwiki. (2020, 04 29). *Muiderbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Muiderbrug>

Wegenwiki. (2020, 04 15). *Noorderbrug_(Venlo)*. Opgehaald van wegenwiki:
[https://www.wegenwiki.nl/Noorderbrug_\(Venlo\)](https://www.wegenwiki.nl/Noorderbrug_(Venlo))

- Wegenwiki. (2020, 04 15). *Tacitusbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Tacitusbrug>
- Wegenwiki. (2020, 04 13). *Volkerakbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Volkerakbrug>
- Wegenwiki. (2020, 11 18). *Zuiderbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Zuiderbrug>
- Wegenwiki. (2021, 06 07). *A1_(Nederland)*. Opgehaald van wegenwiki:
[https://www.wegenwiki.nl/A1_\(Nederland\)](https://www.wegenwiki.nl/A1_(Nederland))
- Wegenwiki. (2021, 12 18). *A15_(Nederland)*. Opgehaald van wegenwiki:
[https://www.wegenwiki.nl/A15_\(Nederland\)](https://www.wegenwiki.nl/A15_(Nederland))
- Wegenwiki. (2021, 07 07). *Betlembrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Betlembrug>
- Wegenwiki. (2021, 10 17). *Haringvlietbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Haringvlietbrug>
- Wegenwiki. (2021, 12 23). *IJsselbrug_Westervoort*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/IJsselbrug_Westervoort
- Wegenwiki. (2021, 11 22). *Jan_Blankenbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Jan_Blankenbrug
- Wegenwiki. (2021, 10 17). *Lekbrug_Hagestein*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Lekbrug_Hagestein
- Wegenwiki. (2021, 04 15). *Maasbrug_Empel*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Empel
- Wegenwiki. (2021, 04 24). *Maasbrug_Ravenstein*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Maasbrug_Ravenstein
- Wegenwiki. (2021, 01 20). *Merwedebrug_(Gorinchem)*. Opgehaald van wegenwiki:
[https://www.wegenwiki.nl/Merwedebrug_\(Gorinchem\)](https://www.wegenwiki.nl/Merwedebrug_(Gorinchem))
- Wegenwiki. (2021, 10 17). *Moerdijkbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Moerdijkbrug>
- Wegenwiki. (2021, 12 19). *Oosterhoutsebrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Oosterhoutsebrug>
- Wegenwiki. (2021, 10 17). *Rijnbrug_Heteren*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Rijnbrug_Heteren
- Wegenwiki. (2021, 12 28). *Suurhoffbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Suurhoffbrug>
- Wegenwiki. (2021, 06 21). *Van_Brienoordbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
https://www.wegenwiki.nl/Van_Brienoordbrug
- Wegenwiki. (2022, 02 10). *Galecopperbrug*. Opgehaald van wegenwiki:
<https://www.wegenwiki.nl/Galecopperbrug>

Bijlage C. Inventarisatie blokmarkering ter plaatse van viaducten

Rijbanen van autosnelwegen met aanwezigheid van een blokmarkering kennen een verbreding van 0,45 m¹, veroorzaakt door de blokmarkering, omdat deze geen onderdeel uitmaakt van de rijstrookbreedte. Dit heeft gevolgen voor de breedte van een viaduct of de benodigde overspanning van een viaduct. In dit onderdeel wordt een indicatie gegeven van het aandeel viaducten/overspanningen in en/of over rijkswegen, waarbij dit voorkomt.

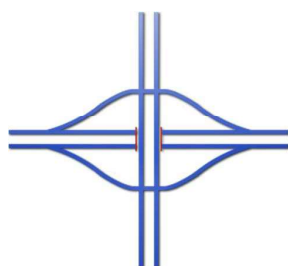
Bij de inventarisatie is aangehouden dat één rijrichting op een viaduct, gelegen in de autosnelweg, wordt afgedragen.

De volgende uitgangspunten zijn bij de inventarisatie en kwantificering aangehouden:

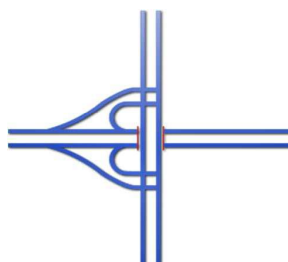
- Viaducten in rijkswegen dragen het verkeer in één rijrichting af.
- Viaducten over rijkswegen dragen het verkeer in alle rijrichtingen af.
- Rekening gehouden is met viaducten, toebehorend aan knooppunten of gelokaliseerd ter plaatse van op- en afritten. Per op- en afrit is aangehouden dat het verkeer op 1 locatie de rijksweg ongelijkvloers kan oversteken.
- Viaducten die nabij knooppunten of op- en afritten zijn gelegen en daarmee mogelijk een autosnelweg met blokmarkering dragen of deze overspannen, maar die niet aan het knooppunt of op- en afrit toebehoren, zijn niet meegenomen in de inventarisatie en kwantificering.

C.1 – Blokmarkeringen bij op- en afritten

De autosnelwegen in Nederland kennen bij benadering 627 op- en afritten (Autosnelwegen.net, 2022). Hoewel de vormgeving van de op- en afritten sterk kan verschillen, kunnen in de basis twee typen worden onderscheiden: de *haarlemmermeeraansluiting* en de *halfklaverbladaansluiting*.



Figuur 11-14: Haarlemmermeeraansluiting
(Wikipedia, Haarlemmermeeraansluiting)



Figuur 11-13: Halfklaverbladaansluiting
(Wikipedia, Halfklaverbladaansluiting)

Voor beide type aansluitingen geldt dat lokaal een kunstwerk aanwezig is, zodat het verkeer ongelijkvloers kan kruisen. In nagenoeg alle gevallen betreft dit een viaduct. Afwisselend is de rijksweg de boven of onder gelegen weg. In een aantal gevallen wordt afgeweken van de bovengenoemde basisvormen. Zo komen onder meer mengvormen voor. In Nederland vindt men de aantallen op- en afritten, zoals weergegeven in *Tabel 11-1*.

Autosnelweg	Aantal op-/afritten
A1	34
A2	61
A4	32
A5	2
A6	19
A7	55
A8	4
A9	12
A10	18
A12	33
A13	7
A15	33
A16	14
A17	9
A18	4
A20	13
A22	4
A27	24
A28	40
A29	4
A30	5
A31	4
A32	16
A35	8
A37	7
A38	0
A44	8
A50	25
A58	33
A59	30
A65	3
A67	14
A73	23
A74	0
A76	7
A77	2
A79	7
A200	2
A205	0
A208	2
A256	1
A270	1
A325	2
A326	2
A348	3

Tabel 11-1: aantal op- en afritcombinaties
per autosnelweg in Nederland (Autosnelwegen.net, 2022)

Steekproefsgewijs is de verdeling van het aantal haarlemmermeeraansluitingen en het aantal halfklaverbladaansluitingen bepaald. Tevens is onderscheid gemaakt in situaties waarin de rijksweg de bovengelegen of ondergelegen weg is. Aansluitingen, anders dan de bovengenoemde basisvormen, zijn niet meegenomen omdat de invloed op het theoretische aantal blokmarkeringen op of onder viaducten marginaal wordt geacht.

Bij de steekproef is de situatie van 84 op- en afritten bepaald die voldoen aan één van de twee basisvormen. Hiermee ontstaat een betrouwbaarheid van 95% bij een acceptabel geachte foutmarge van 10%. De volgende situaties kunnen voorkomen:

- haarlemmermeeraansluiting, autosnelweg bovenliggend → 0 blokmarkeringen;
- haarlemmermeeraansluiting, autosnelweg onderliggend → 0 blokmarkeringen;

- halfklaverbladaansluiting, autosnelweg bovenliggend → 2 blokmarkeringen op 2 viaducten (één viaduct per rijrichting);
- halfklaverbladaansluiting, autosnelweg onderliggend → 2 blokmarkeringen onder het viaduct (uitgegaan wordt van de situatie met aanwezigheid van een tussensteunpunt).

In *Tabel 11-2* zijn de resultaten van de steekproef weergegeven en daarnaast de doorvertaling hiervan naar het aantal situaties waarin een blokmarkering aanwezig is ter plaatse van een viaduct.

	Aantal bij steekproef	Benaderd aantal in wegnnet	Aantal blokmarkeringen op viaduct	Aantal blokmarkeringen onder viaduct
Haarlemmermeeraansluiting				
Autosnelweg bovenliggend	19	142	0	0
Autosnelweg onderliggend	18	134	0	0
Halfklaverbladaansluiting				
Autosnelweg bovenliggend	20	149	298	0
Autosnelweg onderliggend	27	202	0	404

Tabel 11-2: aantal blokmarkeringen bij op- en afritcombinaties

C.2 – Blokmarkeringen bij knooppunten

Bij knooppunten komen geregeld blokmarkeringen voor ter plaatse van viaducten. Het aantal situaties waarin zich dit voordoet verschilt sterk per knooppuntvorm. Daarnaast zijn binnen een knooppuntvorm – bepaald door de naamgeving – ondanks de gelijke benaming, verschillende uitvoeringsvormen mogelijk. Dit kan invloed hebben op het aantal gevallen waarbij zich op of onder een viaduct een blokmarkering bevindt. In *Tabel 11-3* is voor alle knooppunten in Nederland weergegeven op hoeveel plekken rekening dient te worden gehouden met de aanwezigheid van blokmarkering ter plaatse van een viaduct. Voor de verscheidene knooppuntvormen heeft een bepaling plaatsgevonden van het aantal gevallen waarbij zich op of onder een viaduct een blokmarkering bevindt in een gewoonlijk toegepaste uitvoeringsvorm. Voorkomende gevallen kunnen hier van afwijken.

De geïnventariseerde knooppunten voldoen aan de volgende criteria:

- In ieder geval één van de takken die onderdeel van het knooppunt uitmaakt is in beheer van Rijkswaterstaat.
- Het alignement van de aansluitingen voldoen aan de eisen van het ROA.

Knooppunt	Type	Aantal viaducten met blokmarkering op het viaduct	Aantal overspanningen in viaducten over een weg met blokmarkering
Almere	half-turbine	0	0
Amstel	klaverturbine	2	2
Assen	dubbele splitsing	0	1
Azelo	trompet	1	0
Badhoevedorp	aangepast knooppunt	2	0
Bankhoef	trompet	1	0
Batadorp	half-ster	1	1
Beekbergen	klaverblad	2	4
Benelux	half-ster	1	1
Beverwijk	Splitsing	0	0
Bodegraven	Splitsing	0	0
Buren	Trompet	1	0
Burgerveen	Splitsing	0	0
Coenplein	half-ster + splitsing	1	2
De Baars	half-ster	1	1
De Hoek	splitsing	0	0
De Hogt	half-ster	1	1
De Nieuwe Meer	half-ster	1	1

De Poel	trompet	1	0
De punt	Splitsing	0	0
De Stok	trompet	1	0
Deil	klaverturbine	2	2
Diemen	drie splitsingen	2	4
Eemnes	klaverturbine	2	2
Ekkersweijer	half-ster	1	1
Emmeloord	trompet	1	0
Empel	half-turbine	0	0
Euvelgunne	trompet	1	0
Everdingen	onvolledige turbine	0	0
Ewijk	klaverturbine	2	2
Galder	trompet	1	0
Gooimeer	half-turbine	0	0
Gorinchem	klaverblad	2	4
Gouwe	splitsing	0	0
Grijsoord	trompet	1	0
Hattermerbroek	klaverturbine	2	2
Heerenveen	klaverblad	2	4
Hellegatsplein	half-ster	1	1
Het Vonderen	splitsing	0	0
Hintham	half-ster	1	1
Hoevelaken	klaverblad	2	4
Holendrecht	trompet + half-turbine	0	0
Holsloot	klaverblad	2	4
Hoogeveen	klaverblad	2	4
Hoopolder	haarlemmermeer	0	0
Joure	half-ster	1	1
Julianaplein	kruispunt	0	0
Kerensheide	klaverturbine	2	2
Kethelplein	klaverturbine	2	2
Klaverpolder	trompet	1	0
Kleinpolderplein	ster-turbine	0	0
Kooimeer	splitsing	0	0
Kruisdonk	splitsing	0	0
Kunderberg	onvolledig klaverblad	1	3
Lankhorst	trompet	1	0
Leenderheide	splitsing + verkeersplein	0	0
Lunetten	klaverturbine	2	2
Maanderbroek	trompet	1	0
Markiezaat	trompet	1	0
Muiderberg	trompet	1	0
Neerbosch	trompet	1	0
Noordhoek	trompet	1	0
Oud-Dijk	onvolledig trompet	0	0
Oudenrijn	klaverturbine	2	2
Paalgraven	splitsing	0	0
Princeville	half-ster	1	1
Prins Clausplein	ster	2	8
Raasdorp	klaverturbine	2	2
Ressen	klaverblad	2	4
Ridderkerk	ster + trompet	2	16
Rijkevoort	trompet	1	0
Rijnsweerd	klaverturbine	2	2
Rottepolderplein	verkeersplein + fly/over + half-ster	0	0
Sabina	trompet	1	0
Sint Annabosch	trompet	1	0

Stelleplas	trompet	1	0
Ten Esschen	splitsing	0	0
Terbregseplein	half-turbine	0	0
Tiglia	splitsing	0	0
Vaanplein	hybride ster + windmolen + klaverblad	0	3
Valburg	klaverturbine	2	2
Velperbroek	verkeersplein + flyover	0	0
Velsen	splitsing	0	0
Vught	splitsing	0	0
Waterberg	aangepast trompet	0	0
Watergraafsmeer	half-turbine	0	0
Werpsterhoek	half-ster	1	1
Westerlee	turboplein	0	0
Ypenburg	splitsing	0	0
Zaandam	klaverturbine	2	2
Zaarderheiken	klaverblad	2	4
Zonzeel	trompet	1	0
Zoomland	trompet	1	0
Zuidbroek	klaverturbine	2	2
Zurich	half-ster	1	1
TOTAAL	-	88	109

Tabel 11-3: aantal blokmarkeringen bij knooppunten (Wegenwiki, 2022a)

C.3 – Aandeel viaducten met aanwezigheid van een autosnelweg met blokmarkeringen op en/of onder het viaduct

Het aantal viaducten in en/of over rijkswegen, dat te maken heeft met de aanwezigheid van blokmarkeringen is als volgt:

- Aantal viaducten met aanwezigheid van een rijbaan met blokmarkering op het viaduct → 386 stuks.
- Aantal overspanningen in viaducten die een rijbaan met aanwezigheid van een blokmarkering overspannen → 513 stuks.

In totaal heeft Rijkswaterstaat circa 3700 bruggen en viaducten in beheer, waarin zich ruim 10600 overspanningen bevinden (Rijkswaterstaat, 2022a). Daarmee is bij circa 10,4% van de viaducten een rijbaan met blokmarkering aanwezig op het viaduct en bij circa 4,8% van de overspanningen in viaducten is een rijbaan met blokmarkering aanwezig onder het viaduct.

Bijlage D. Validatie trend in overspanningslengte

D.1 – Ontwikkelingen in overspanningslengte per overspanning

in *FIGUUR 11-15* is te zien welke trend de historische gegevens van overspanningen weergegeven. De grijze lijn is gebaseerd op de hoogste piek in overspanningen per periode. De rode lijn is gebaseerd op de gemiddelde overspanning in deze periode. Voor deze gegevens geldt:

- Startpunt grijze prognose in 1951: 10,143 m¹
- Groei per periode van de prognose: 2,1429 m¹
- Startpunt rode prognose in 1951: 15,434 m¹
- Groei per periode van de prognose: 1,6912 m¹

D1.1 Prognose hoogste piek

In het jaar 2020 was de waarde van de hoogste piek (grijze lijn) 10,143 [m¹] + 2,1429 [m¹] · $\left(\frac{2020-1951}{10}\right) = 24,93$ [m¹]. Omgerekend naar een percentage stijgt de lijn met 0,21429 [m¹]/24,93[m¹] · 100 = 0,86 [% per jaar] ten opzichte van het jaar 2020. De groei van de overspanning en de piek is als volgt:

- 2020: 0 [jaar] · 0,86 [%] = 0,00 [%] > piek: 24,93 [m¹] · 1,00 = 24,93 [m¹].
- 2030: 10 [jaar] · 0,86 [%] = 8,60 [%] > piek: 24,93 [m¹] · 1,0860 = 27,07 [m¹].
- 2040: 20 [jaar] · 0,86 [%] = 17,19 [%] > piek: 24,93 [m¹] · 1,1719 = 29,22 [m¹].
- 2050: 30 [jaar] · 0,86 [%] = 25,79 [%] > piek: 24,93 [m¹] · 1,2579 = 31,36 [m¹].

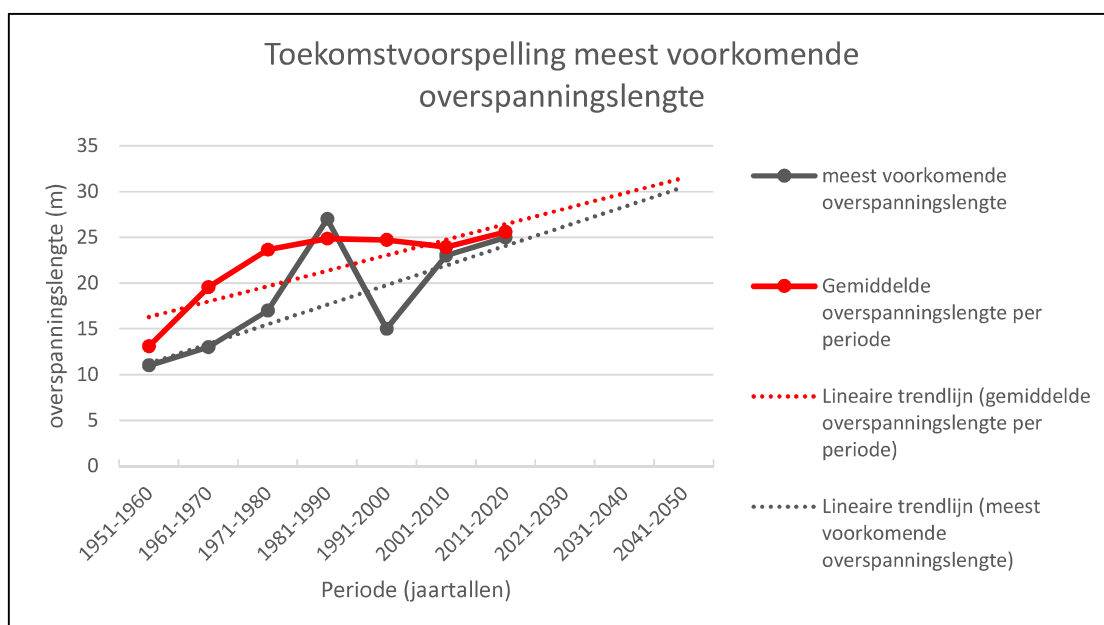
De gemiddelde piek in de periode 2020-2050 is $24,93 + \left(\frac{31,36-24,93}{2}\right) = 28,15$ [m¹].

D1.2 Prognose gemiddelde overspanning

In het jaar 2020 was de waarde van de gemiddelde overspanning (rode lijn) 15,434 [m¹] + 1,6912 [m¹] · $\left(\frac{2020-1951}{10}\right) = 27,10$ [m¹]. Omgerekend naar een percentage stijgt de lijn met 0,16912 [m¹]/27,10[m¹] · 100 = 0,624 [% per jaar] ten opzichte van het jaar 2020. De groei van de overspanning en de piek is als volgt:

- 2020: 0 [jaar] · 0,624 [%] = 0,00 [%] > piek: 27,10 [m¹] · 1,00 = 27,10 [m¹].
- 2030: 10 [jaar] · 0,624 [%] = 6,24 [%] > piek: 27,10 [m¹] · 1,0624 = 28,79 [m¹].
- 2040: 20 [jaar] · 0,624 [%] = 12,48 [%] > piek: 27,10 [m¹] · 1,1248 = 30,48 [m¹].
- 2050: 30 [jaar] · 0,624 [%] = 18,72 [%] > piek: 27,10 [m¹] · 1,1872 = 32,17 [m¹].

De gemiddelde piek in de periode 2020-2050 is $27,10 + \left(\frac{32,17-27,10}{2}\right) = 29,64$ [m¹].



Figuur 11-15: Toekomstvoorspelling meest voorkomende overspanningslengte (per overspanning) (*Rijkswaterstaat, 2022a*)

D.2 – Ontwikkeling personenvervoer

Vanuit *FIGUUR 11-16* kunnen de volgende gegevens worden afgelezen:

- Voertuigkilometers 2010: 100%
- Voertuigkilometers 2020: 122% tot 150%
- Verschil in jaren: 2050 – 2010 = 40 [jaar]

In de periode 2010-2050 neemt de hoeveelheid voertuigkilometers op het hoofdwegennet met 22% tot 50% toe. Dit is een groei van $22\% / 40\text{ [jaar]} = 0,55\% \text{ per jaar}$ tot $50\% / 40\text{ jaar} = 1,25\% \text{ per jaar}$ ¹¹ met een gemiddelde van $1,25\% - 0,55\% = 0,7\% \rightarrow 0,7\% / 2 = 0,35\% \rightarrow 0,55\% + 0,35\% = 0,90\%$ (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).

index: 2010 = 100	Hoog		Laag	
	2030	2050	2030	2050
Voertuigkilometers hoofdwegennet	128	150	112	122

Figuur 11-16: Ontwikkeling voertuigkilometers (Daniëlle Snellen (PBL), 2015)

D.2.1 Groei wagenpark

In de prognose van de ontwikkeling van het autopark is ook een trend terug te vinden, wat onder andere afhankelijk is van ontwikkelingen als de bevolkingsgroei, welvaartsgroei, aanpassingen aan infrastructuur, ov aanbod, gebruik deelauto's en de gebruikskosten van voertuigen. In 2010 waren 7,7 miljoen voertuigen in Nederland geregistreerd. In 2050 is een voertuigaantal van 8,5 tot 10,4 miljoen voertuigen verwacht. Dit is een groei van $8,5 - 7,7 = 0,8$ miljoen tot $10,4 - 7,7 = 2,7$ miljoen voertuigen met een gemiddelde van $(0,8 + 2,7) / 2 = 1,75$ miljoen voertuigen. Dit is een groei van $1,75 / 40 = 0,04375$ miljoen per jaar. Procentueel is dit $0,04375 / 7,7 * 100 = 0,567\% \text{ per jaar}$. Deze groei ligt iets hoger dan de geprognostiseerde groei van de meest voorkomende overspanningslengte van 0,624% per jaar. De hoeveelheid voertuigen in het wagenpark is meegenomen in de prognoses van de ontwikkelingen in het personenvervoer (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).

D.3 – Ontwikkeling goederenvervoer

Vanuit *FIGUUR 11-17* kunnen de volgende gegevens worden afgelezen:

- Ontwikkeling ritten wegvervoer 2011: 100%
- Ontwikkeling ritten wegvervoer 2050: 101% tot 127%
- Verschil in jaren: 2050 – 2011 = 39 [jaar]

In de periode 2011-2050 neemt de hoeveelheid ritten wegvervoer op het hoofdwegennet met 1% tot 27% toe. Dit is een groei van $1\% / 39\text{ [jaar]} = 0,026\% \text{ per jaar}$ tot $27\% / 39\text{ jaar} = 0,692\% \text{ per jaar}$ met een gemiddelde van $0,692\% - 0,026\% = 0,666\% \rightarrow 0,666\% / 2 = 0,333\% \rightarrow 0,026\% + 0,333\% = 0,359\%$ (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).

¹¹ Scenario hoog een laag

- Het scenario *Hoog* combineert een hoge demografische en economische groei (onder andere als gevolg van een sterke groei wereldeconomie en internationale handel) met een meer geconcentreerd ruimtelijk patroon, een ambitieus klimaatbeleid en een snelle technologische vooruitgang (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).
- Het scenario *Laag* combineert een lage demografische groei met een beperkte economische groei, een wat minder geconcentreerd ruimtelijk patroon, een beperkt klimaatbeleid en een trage technologische vooruitgang (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).

Aantal ritten (in mln per jaar)				Index (2011=100)		Groei per jaar	
	2011	2030	2050	2030	2050	'11-'30	'30-'50
Hoog							
Binnenlands	445	497	555	112	125	0,6%	0,6%
Internationaal	13	17	26	138	210	1,7%	2,1%
Totaal	457	514	582	112	127	0,6%	0,6%
Laag							
Binnenlands	445	446	444	100	100	0,02%	-0,03%
Internationaal	13	15	19	117	155	0,8%	1,4%
Totaal	457	461	463	101	101	0,04%	0,03%

Figuur 11-17: Ontwikkeling ritten wegvervoer (Daniëlle Snellen (PBL), 2015)

D.3.1 Tonnen wegvervoer

Vanuit **FIGUUR 11-18** kunnen de volgende gegevens worden afgelezen:

- Ontwikkeling tonnen wegvervoer 2011: 100%
- Ontwikkeling tonnen wegvervoer 2050: 114% tot 158%
- Verschil in jaren: 2050 – 2011 = 39 [jaar]

In de periode 2010-2050 neemt het aantal tonnen wegvervoer op het hoofdwegennet met 14% tot 58% toe. Dit is een groei van $14 [\%] / 39 [\text{jaar}] = 0,359 [\% \text{ per jaar}]$ tot $58 [\%] / 39 [\text{jaar}] = 1,487 [\% \text{ per jaar}]$ met een gemiddelde van $1,487 [\%] - 0,359 [\%] = 1,128 [\%] \rightarrow 1,128 [\%] / 2 = 0,564 [\%] \rightarrow 0,359 [\%] + 0,564 [\%] = 0,923 [\%]$ (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).

Vervoerd gewicht (in mln ton per jaar)				Index (2011=100)		Groei per jaar	
	2011	2030	2050	2030	2050	'11-'30	'30-'50
Hoog							
Wegvervoer	697	855	1.099	123	158	1,1%	1,3%
Spoor	37	53	82	143	222	1,9%	2,2%
Binnenvaart	341	397	456	116	134	0,8%	0,7%
Totaal	1.075	1.305	1.638	121	152	1,0%	1,1%
Laag							
Wegvervoer	697	728	792	104	114	0,2%	0,4%
Spoor	37	47	59	128	161	1,3%	1,1%
Binnenvaart	341	359	375	105	110	0,3%	0,2%
Totaal	1.075	1.134	1.227	105	114	0,3%	0,4%
Marktaandeel (%)				Verschuiving			
	2011	2030	2050	2030	2050		
Hoog							
Wegvervoer	65%	66%	67%	0,7%	2,3%		
Spoor	3%	4%	5%	0,6%	1,6%		
Binnenvaart	32%	30%	28%	-1,3%	-3,8%		
Laag							
Wegvervoer	65%	64%	65%	-0,6%	-0,3%		
Spoor	3%	4%	5%	0,7%	1,4%		
Binnenvaart	32%	32%	31%	-0,1%	-1,1%		

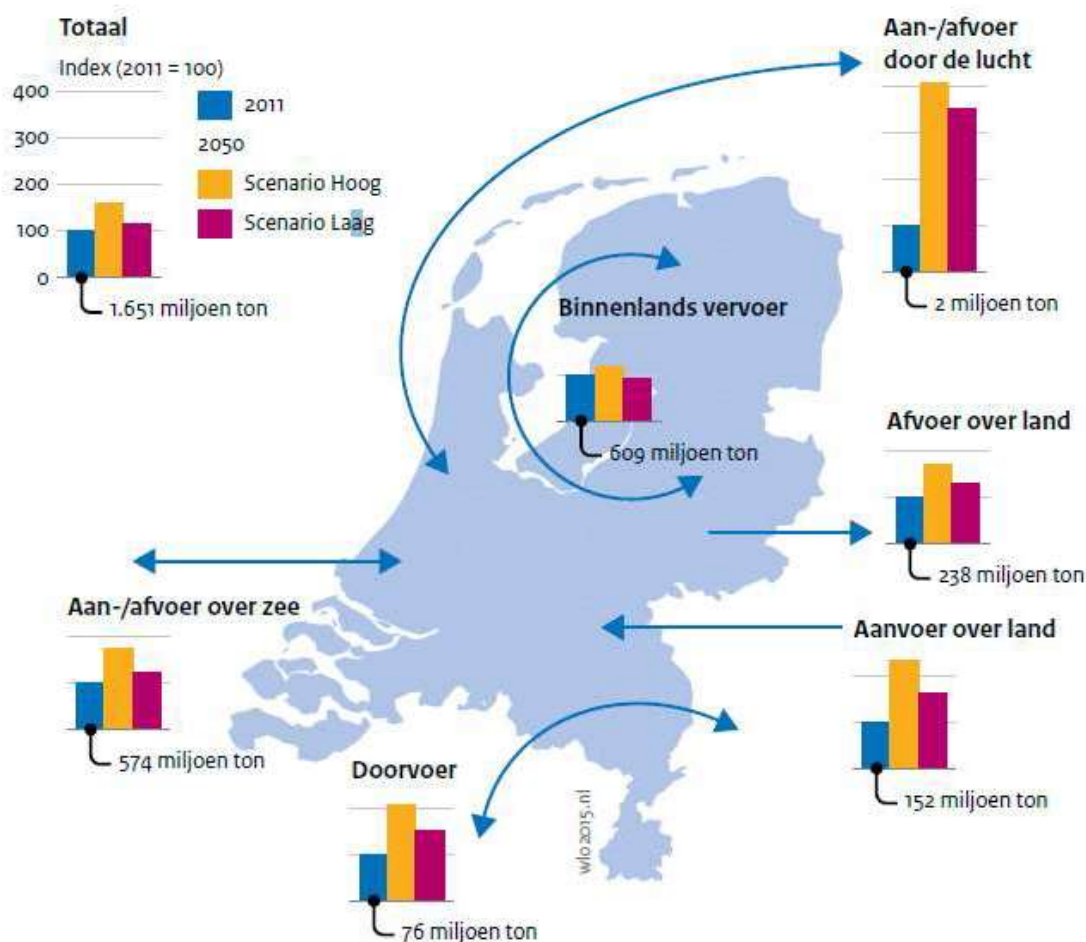
Figuur 11-18: ontwikkeling vervoerd gewicht (Romijn, 2016)

De ontwikkeling in tonnen goederenvervoer wijkt met een gemiddelde van 0,93%, flink af van de toename aan ritten goederenvervoer. Dit verschil wordt verklaard door een stijgende trend van het gemiddeld gewicht van vrachtverkeer, wat versterkt wordt door toepassing van LZV's. Dit heeft een minimaal effect op de verkeersintensiteit op de rijksweg, maar hieruit volgt wel de vraag van de transportsector aan Rijkswaterstaat om langere en zwaardere transporten mogelijk te maken (Schaafsma, 2022) (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).

Het rijk poogt een modelshift in goederentransport van het wegtransport naar de binnenvaart en het spoorvervoer te creëren, zodat een betere benutting van het totale infrastructuurnetwerk ontstaat. Echter blijft het wegvervoer in de bestudeerde prognoses de meest dominante vorm van goederenvervoer. Het spoorvervoer maakt procentueel gezien wel de grootste groei (Figuur 11-19) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

D.3.2 Overige ontwikkelingen goederenvervoer

Ondanks dat de Nederlandse economie steeds meer gebaseerd is op diensten en er zich een dematerialisatie trend aan het ontwikkelen is, blijft de omvang van het goederenvervoer nog steeds toenemen. Dit komt voornamelijk door de afhankelijkheid van onze transportsector van de internationale economische ontwikkelingen (Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012). Daarnaast is ook de ontwikkeling van de verdeling van goederenvervoer over de verschillende modaliteiten erg afhankelijk van de ontwikkeling van de Nederlandse en internationale economie. De prognose van deze ontwikkeling is verwerkt in de prognose voor de ontwikkeling van het aantal ritten goederenvervoer van het planbureau voor de leefomgeving (bijlage D.3) (Daniëlle Snellen (PBL), 2015).



Figuur 11-19: Prognoses ontwikkelingen goedervervoer (Daniëlle Snellen (PBL), 2015)

Bijlage E. Ontwikkelingen met invloed op de meest voorkomende liggerlengte

In de periode van 2019 tot en met 2020 heeft Rijkswaterstaat in opdracht van directeur-generaal Michèle Blom een trendboek opgesteld genaamd 'expeditie RWS 2050' (Rijkswaterstaat, 2020). Hierin zijn alle ontwikkelingen geïdentificeerd die invloed hebben op Rijkswaterstaat als organisatie. Aangezien Rijkswaterstaat de autosnelwegen beheerd is het grootste deel van deze ontwikkelingen ook van invloed op het autosnelwegennet. Daarom is *TABEL 11-4* op basis van deze informatie opgesteld en aangevuld met aanvullende ontwikkelingen uit andere bronnen, die invloed hebben op rijkswegen.

Vervolgens is per ontwikkeling een omschrijving gemaakt van wat de invloed van die ontwikkeling is met betrekking op liggerlengtes. Echter zijn niet alle ontwikkelingen hier direct aan gerelateerd en is van de meeste ontwikkelingen juist omschreven wat voor invloed dit kan hebben op overspanningen, viaducten of het verkeersaanbod, wat vervolgens weer invloed heeft op liggerlengtes.

Daarnaast is per ontwikkeling aangegeven hoe de ontwikkelingen zijn meegenomen in de prognose voor de meest voorkomende liggerlengte. Bij de meeste ontwikkelingen is de ontwikkeling reeds meegenomen in de prognose van het PBL wat is gebruikt om de prognose voor de meest voorkomende liggerlengte te valideren. Daarnaast is er een breed scala aan ontwikkelingen die niet zijn meegenomen in de prognose voor de meest voorkomende liggerlengte omdat deze ontwikkelingen bijvoorbeeld te onzeker zijn of te weinig invloed hebben. Vervolgens blijven enkele ontwikkelingen over, waarvan de invloed op de prognose voor de meest voorkomende liggerlengte in verschillende hoofdstukken van dit rapport is omschreven.

Ontwikkeling	Categorie	Omschrijving	Involed	Meegenomen in	Bron
Bevolkingsgroei	Demografische ontwikkelingen	Een verandering in de omvang van de Nederlandse bevolking.	Bevolkingsgroei heeft invloed op het aantal voertuigen op de weg.	Hoofdstuk 5.15.2	(Rijkswaterstaat, 2020)
Vergrijzing	Demografische ontwikkelingen	Toename van het aandeel ouderen in de bevolking.	Vergrijzing heeft invloed op het aantal voertuigen op de weg omdat ouderen minder rijden dan jongeren.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015)
Verstedelijking	Demografische ontwikkelingen	De mate van bebouwingdichtheid heeft veel invloed op de modal split tussen auto, fiets en OV.	Bij een hoge stedelijke dichtheid wordt de auto procentueel minder gebruikt en de andere modaliteiten meer. Bij een lage stedelijke dichtheid is dit juist andersom.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)
Nieuwe generaties	Demografische ontwikkelingen	Tussen generaties in zijn veel grote maatschappelijke ontwikkelingen.	Als gevolg van een hoger arbeidsperscentage onder vrouwen, rijden er meer voertuigen zonder passagiers op de weg.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015)
Automatisch rijdende voertuigen	Smart mobility	Voertuigen die onderling en met de weg communiceren, waardoor een chauffeur niet meer nodig is. Experts verwachten dat deze ontwikkeling nog lang op zich zal laten wachten.	Als gevolg van autonoom rijden zal het autogebruik toenemen, omdat niemand meer een rijbewijs nodig heeft. Daarnaast zal de noodzaak voor parkeerplaatsen afnemen en is er veel minder ruimte nodig voor het zelfde aantal voertuigen. Dit heeft ook als effect dat belijning, vangrails, bewegwijzering, etc. overbodig worden. Dit kan tot significant kortere overspanningen leiden.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020) (Schaafsma, 2022)
Intelligent acces	Smart mobility	Indien vrachtwagens met de weg kunnen communiceren, wordt het mogelijk om te werken met toegangslots bij bruggen, om de maximale belasting op bruggen te beheersen (Dit is alleen mogelijk indien transporteurs het gewicht van de beladen vrachtwagen delen) wat reeds gebeurt bij ProRail en Schophol.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)

Road to car communication	Smart mobility	Voertuigen communiceren met de weg, waardoor onderdelen als intelligent acces mogelijk worden. Apps als Flitsmeister zijn al heel ver in deze ontwikkeling.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)
Truck platooning	Smart mobility	Meerdere vrachtwagen rijden vlak achter elkaar met behulp van car-to-car communicatie waardoor het brandstofverbruik significant lager ligt. Deze ontwikkeling is al vergevorderd. Dit heeft grote voordelen voor transporteurs omdat alleen de chauffeur in het voorste voertuig aan het werk is. Door de voertuigen te roteren, kan het rijtjedenbesluit omzeilt worden.	Geen tot weinig invloed.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Schaafsma, 2022)
Deelauto	Smart mobility	Er is een snelle ontwikkeling van bedrijfsmodellen voor autodeelconcepten. Als dit doorzet in een snelle ontwikkeling van autodelen, wat vooral populair is onder jonge, goed opgeleide stadsbewoners, dan neemt het aantal benodigde auto's snel af.	Geen tot weinig invloed, omdat dit vooral invloed heeft op het aantal stilstaande auto's.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015)
Hoge energieprijzen	Energie drager voertuigen	Hoge energieprijzen kunnen het gebruik van voornamelijk auto's, maar ook mobiliteit in het algemeen destimuleren,	Verlaging van het aantal reisbewegingen van auto's.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)
Elektrisch rijden.	Energie drager voertuigen	Verdere overgang naar elektrische voertuigen met veel impact op de uitstoot van stikstof en CO2 vanaf de rijksweg.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)
Efficiëntere voertuigen	Energie drager voertuigen	Het zuiniger worden van voertuigen is geprognostiseerd op 5% tot 14% tussen 2010 en 2050, als gevolg van nieuwe technologieën en bijmenging met biobrandstof.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)
Nieuwe vormen van goederen transport	Goederen transport	Vrachtwagens die op de lange afstand over het spoor rijden en op de korte afstand naar een bestemming op accu.	Geen tot weinig invloed als gevolg van de hoge onzekerheid.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)

Synchromodaal transport	Goederen transport	De vervoerder mag op elk gewenst moment beslissen over de te gebruiken modaliteit. De verlader boekt A-modaal.	Middelmatige invloed op de hoeveelheid goederen op de weg.	Prognose van het PBL	(Romijn, 2016)
3D printen en drones	Goederen transport	Drones vervangen pakket bezorgers en 3D-printen zorgt voor een shift van transport in eindproducten naar transport in halffabricaten	Geen tot weinig invloed.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)
Ontwikkelingen van het aantal ritten goederentransporten	Goederen transport	Het aantal voertuigen op de rijksweg, die goederen transporteren. Deze groei is niet lineair met de stijging in tonnen goederentransport over de weg, omdat de gemiddelde belading ook toeneemt.	Veel invloed op de hoeveelheid goederen op de weg.	Hoofdstuk 5.1	(Rijkswaterstaat, 2020)
Effectiever goederentransport	Goederen transport	Effectiever en op grotere schaal transporteren door vrachtwagens efficiënter in te zetten en nieuwe ontwikkelingen als Lange Zware Vrachtwagens (LZV's) (Heineken deed een pilot met een biertransport met twee containers van 45 ton), geavanceerde pendel-assen en road-trains. Dit kan tot 40% in kosten reduceren.	Middelmatige invloed op de hoeveelheid goederen op de rijksweg.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Dick Schaafsma, 2016) (Romijn, 2016) (Schaafsma, 2022)
Bestellen en bezorgen	Goederen transport	Veel bestellen zorgt voor minder winkelende mensen op de weg, maar ook meer pakketbezorgers. Bezorgen wordt tevens gestimuleerd doordat elektrische voertuigen een kleine actieradius hebben, duur in aanschaf zijn, maar goedkoop in gebruik.	Geen tot weinig invloed.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015)
Internationaal transport	Goederen transport	+ Ontwikkelingen in de wereldhandel + Ontwikkelingen in de positie van Nederland als doorvoerland in Europa. + Positie van (noordwest) Europa in de wereld economie. + Het Europees transportbeleid + Sector groei (landbouw exporteert veel meer ten opzichte van de omzet dan de financiële dienstverlening)	Geen tot weinig invloed. Het merendeel van deze handel gaat per trein of binnenvaartschip.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Romijn, 2016)

Hub-and- spoke en Point-to-Point	Goederen transport	Als gevolg van verduurzaming en daaruit de voorkeur voor spoor en watervervoer blijven we bij een hub-and-spoke systeem. Echter zorgt bestellen en bezorgen voor een tegengestelde trend naar een point-to-point systeem.	Veel invloed, maar ook afhankelijk van de economische ontwikkelingen.	Prognose van het PBL	(Romijn, 2016)
Exoskelet	Algemene technologische ontwikkelingen	Uitwendig machine skelet, die de menselijke functies versterkt.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Nieuwe ICT ontwikkelingen	Algemene technologische ontwikkelingen	Ontwikkelingen als Fotonica (data met lichtdeeltjes versturen), Artificial intelligence, Learning analytics, brain-machine-interaction thuiswerken en internet of energy. Maakt ons afhankelijk van tech-bedrijven en kwetsbaar voor hacken. Daarnaast zorgt dit voor een verandering in de redenen waarom wij ons verplaatsen, maar het heeft weinig invloed op de hoeveelheid verplaatsingen.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)
Quantumcomputing	Algemene technologische ontwikkelingen	Extreem snelle computers, die het mogelijk maken om zeer complexe berekeningen uit te voeren, waardoor allerlei nieuwe zeer geavanceerde materialen ontwikkeld kunnen worden.	Quantumcomputing kan de ontwikkeling van super sterke materialen mogelijk maken, waardoor het toepassen van een grotere overspanning veel sneller gekozen zal worden. Dit is echter te onzeker om mee te nemen.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Internet of things	Algemene technologische ontwikkelingen	Objecten zijn via het internet met elkaar verbonden. Hieronder valt bijvoorbeeld road-to-car communication en automatisch rijdende voertuigen.	Veel invloed. De invloed is omschreven binnen de onderdelen road-to-car communication en automatisch rijdende voertuigen.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Nieuwe waarden	Samenleving	Veranderende waarde op het gebied van milieu (zoals een afkeer van jongeren naar de auto), Toenemende scheiding tussen generaties, nieuwe bevolkingsgroepen (migranten) en een toenemende waarde die gehecht wordt aan de natuurlijke leefomgeving.	Dit heeft geen tot weinig invloed, omdat het daadwerkelijke autogebruik onder jongeren nog niet afneemt en dit eerder invloed heeft op omgevingsaspecten, waardoor bijvoorbeeld landtunnels meer gebouwd zullen gaan worden.	n.v.t.	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)

Rijkswaterstaat	Samenleving	Ontwikkelingen in het beleid van Rijkswaterstaat, als gevolg van ontwikkelingen in het aantal ongevallen tijdens bouw en gebruik van Rijkswaterstaat objecten, agressie tegen Rijkswaterstaat medewerkers, Gebeurtenissen (overstromingen Limburg) en de focus van Rijkswaterstaat op de internationale positie van Nederland, hoofdnetwerken, energie, natuur, ondergrond, ruimte, waterveiligheid, milieukwaliteit en bescherming van het werelderfgoed.	Veel invloed, maar dit is niet meegenomen omdat het te onzeker is. Dit is namelijk afhankelijk van de politieke besluitvorming.	n.v.t.	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012)
Verkeersdoden	Samenleving	Politiek streven om het aantal verkeersdoden tot 0 te reduceren. Hierdoor kunnen andere veiligheidseisen aan het ontwerp worden gesteld, zoals een grotere afstand tot objecten.	Geen invloed, er worden geen grote wijzigingen aan de eisen in de ROA verwacht.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020) (Vos, 2022)
Politiek, maatschappelijke ontwikkelingen	Samenleving	Ontwikkelingen als de menselijke maat (burgers willen door de overheid niet als nummer behandeld worden), druk op de politiek, Stagnerende besluitvorming, verdeeldheid in de samenleving, burgerparticipatie en internationale invloeden.	Deze ontwikkelingen kunnen veel invloed hebben, maar zijn te onzeker om mee te nemen.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Energie en Klimaatbeleid	Klimaat en energie	De kosten voor aanschaf en gebruik van voertuigen is afhankelijk van de ontwikkeling van duurzamere voertuigen. In 2018 reed 7.4% op duurzame energie en in 2030 is de verwachting dat dit 25% is.	Veel invloed, op de drukte van rijkswegen.	Prognose van het PBL	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)
Zeespiegelstijging	Klimaat en energie	De meest negatieve scenario's gaan uit van 2 meter zeespiegelstijging in 2100 en als de doelstelling van het klimaatakkoord van Parijs niet gehaald worden kan de zeespiegel stijgen tot 8 meter in 2200. Dit	Door remontabele liggers te ontwerpen om geschikt te zijn voor oost en west Nederland, kunnen ze beter benut worden. De ontwikkelingen zijn echter te onzeker om mee te nemen.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020)

			zou tot een verplaatsing van west, naar oost Nederland kunnen zorgen.			
Extreem weer	Klimaat en energie		Extreme weerfenomenen die het verkeer kunnen ontregelen.		Geen tot weinig invloed.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Milieudruk	Klimaat en energie		Menselijk handelen zoals teveel grondwater voor de landbouw gebruiken waardoor milieuschade ontstaat.		Geen tot weinig invloed.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Biodiversiteit	Klimaat en energie		Er zijn ongeveer 8.7 miljoen soorten planten, dieren, algen, schimmels en micro-organismen. Hiervan zijn er ongeveer 1 miljoen met uitsterven bedreigd. Dit kan zorgen voor een verandering in landgebruik van bijvoorbeeld Landbouw naar natuur, maar ook natuurvriendelijke bermen.		Ondanks de focus op meer biodiversiteit groeit de export in agrarische producten nog steeds. Waardoor de groei in transport van agrarische producten doorzet.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Circulaire economie	Economie		Het grondstoffengebruik is de afgelopen eeuw verachtvoudigd. Dit kan leiden tot tekorten aan grondstoffen waardoor we over moeten stappen op een circulaire economie. Dit kan tot gevolg hebben dat meer productie naar Nederland wordt gehaald.		Circulaire liggers zijn niet effectief als er veel variatie in maten is, waardoor gestreefd wordt naar gestandaardiseerde maatvoering.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Nederlandse economie	Economie		Ontwikkelingen in het succes van de Nederlandse economie en effecten als reshoring hebben veel invloed op het interne goederentransport en de arbeidsdeelname wat veel invloed heeft op de personenmobiliteit.		Veel invloed op de hoeveelheid verkeer.	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015) (Rijkswaterstaat, 2020)
Verstedelijking	Ruimtelijke ontwikkeling		Een toename van stedelijke dichtheid, maakt het gebruik van de fiets en het OV populairder. Het gebruik van de auto zal hierdoor afnemen.		Veel invloed op de hoeveelheid verkeer.	(Daniëlle Snellen (PBL), 2015)

Areaal beheer	Infrastructuur	Presentatiegericht beheer van kunstwerken met behulp van actief monitoren van kunstwerken	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Dick Schaafsma, 2016)
Buisleidingen	Infrastructuur	Wanneer meer grondstoffen door buisleidingen worden getransporteerd neemt het vervoer van goederen over de weg af.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Rijkswaterstaat, 2020)
Diversificatie van het wegennet	Infrastructuur	Niet elke weg staat elk voertuig meer toe. Grote voertuigen op bijvoorbeeld waterstof rijden over een hoofdnet (rijkswegen) van hub naar hub. En kleine elektrische voertuigen rijden naar de eindbestemming.	Dit is een verandering die zeer kansrijk is en heeft veel invloed op de overspanningslengte van liggers.	Prognose meest toegepaste liggerlengte en viaductbreedte	(Schaafsma, 2022)
Verkeersbelastingen	Infrastructuur	Het gemiddelde gewicht van vrachtwagens is reeds 30 ton en kruipt naar verwachting nog 25% omhoog richting de 50 ton. Dit zorgt voor een verhoging van 23% tot 46% van de ontwerprekenbelasting per 100 jaar. Vroeger waren trucker-opleggercombinaties bijvoorbeeld zeldzaam en tegenwoordig is dit normaal.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)
Snelheidsverhoging vrachtovervoer	Infrastructuur	De huidige maximumsnelheid van vrachtwagens is gebaseerd op hun remweg. Indien automatisch rijden, volledig door werkt in de samenleving, zal dit maximum niet meer nodig zijn.	Geen tot weinig invloed.	n.v.t.	(Schaafsma, 2022)
Adaptief gebruik van infrastructuur	Infrastructuur	Om het netwerk in Nederland robuuster te maken worden aspecten als een tweede draagweg en het 4-0 onderhoudssysteem toegepast.	Dit kan invloed hebben op de breedte van een rijksweg. Een 4-0 systeem past namelijk niet een op een in de standaard afmetingen van een rijksweg.	Prognose meest toegepaste liggerlengte en viaductbreedte	(Schaafsma, 2022)
Voertuigbreedtes	Infrastructuur	Toepassen van bredere vrachtwagens om meer goederen te vervoeren.	Naar verwachting gaat de wetgeving omtrent breedtes van voertuigen niet wijzigen.	n.v.t.	(Vos, 2022)

Voertuigverliesuren	Personenvervoer	Extra reistijd, door vertragingen op de weg. De laatste jaren is dit toegenomen door de hoeveelheid reizigers die alleen rijden.	Dit heeft invloed op de hoeveelheid mensen dat de auto pakt, maar ook op de politieke besluitvorming omtrent infrastructuur.	Prognose van het PBL	(Rijkswaterstaat, 2020)
reizigerskilometers	Personenvervoer	Als gevolg van verstedelijking en vergrijzing neemt het aantal kilometers per reiziger niet meer toe. Echter groeit de bevolking nog wel.	Dit heeft veel invloed op de drukte op de weg	Hoofdstuk 5.1	(Rijkswaterstaat, 2020)

Tabel 11-4: Ontwikkelingen met invloed op de meest voorkomende liggerlengte

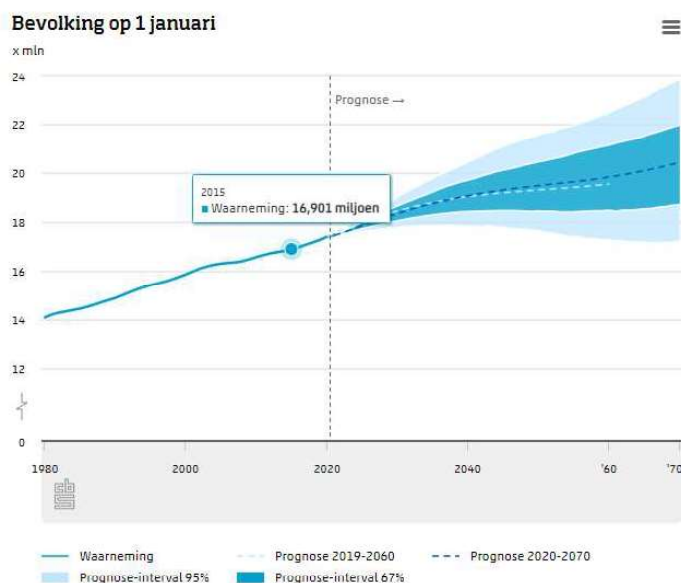
Bijlage F. Achtergrondinformatie grafische ontwikkelingen

F.1 – Bevolkingsontwikkeling

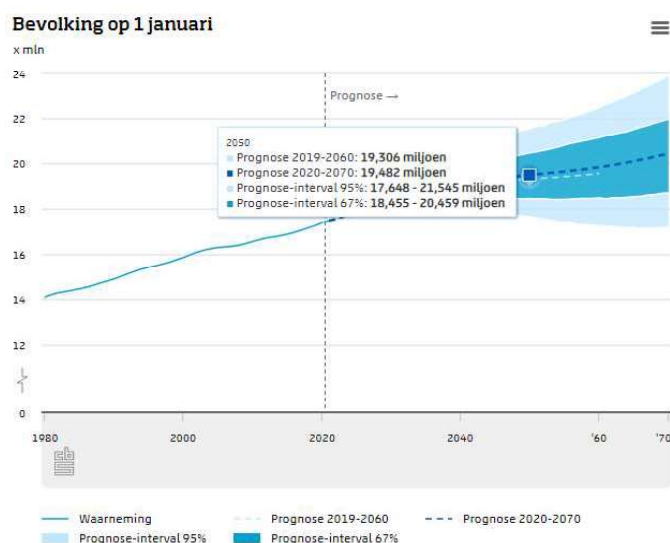
Vanuit **FIGUUR 11-20** en **FIGUUR 11-21** kunnen de volgende gegevens worden afgelezen:

- Bevolkingsgrootte 2015: 16.901.000 Nederlanders.
- Bevolkingsgrootte 2050: 19.482.000 Nederlanders.
- Verschil in jaren: 2050 – 2015 = 35 [jaa] .

In de periode 2015-2050 neemt de bevolking toe met $19.482.000 - 16.901.000 = 2.581.000$ Nederlanders. Dat is $2.581.000/35 = 73.743$ Nederlanders per jaar. Procentueel is dat $73.743/16.901.000 * 100 = 0,436$ [% per jaar] ten opzichte van 2015 (CBS, 2020). Vanuit de historische ontwikkelingen en het verschil tussen dit percentage en het percentage van de groei van liggerlengtes is aan te merken dat de bevolkingsgroei niet volledig vergelijkbaar is met de verwachte groei van de gemiddelde liggerlengte.



Figuur 11-20: bevolkingsprognose 2015 (CBS, 2020)



Figuur 11-21: bevolkingsprognose 2050 (CBS, 2020)

F.2 – Diversificatie van wegen

Het hoofdwegennet van Nederland bestaat uit rijkswegen die het grote, zware en vuile transport van Nederland faciliteren en blijven faciliteren. Hier mogen alle type voertuigen - die nu al op de weg rijden - blijven rijden (Schaafsma, 2022). Binnen dit hoofdwegennet vallen ook vier hoofdcorridors waar extra lange, zware voertuigen mogen rijden. Dit gaat om de corridors:

- A7-A28-A27 > Duitsland, Groningen, Zwolle, Utrecht Breda.
- A9-A2 > Alkmaar, Schiphol, Utrecht, Maastricht, België.
- A12-A27-A28-A1 > Den Haag, Utrecht, Amersfoort, Apeldoorn, Deventer, Hengelo, Duitsland.
- A15-A12 > Maasvlakte, Rotterdam, Arnhem, Duitsland.

Dit hoofdwegennet zal meer gekoppeld worden aan, over het land verspreide, hubs, waarvandaan men met lichte, kleine en stille voertuigen doorrijdt naar de eindbestemming van een product. (Schaafsma, 2022)

F.3 – Ambitie van de rijksoverheid voor het wegennet

Vanuit het rijk is aangegeven dat investeringen uit het infrastructuurfonds voor de periode 2021-2028 met prioriteit naar de bereikbaarheidskwaliteit van stedelijke regio's en hun achterlandverbindingen rond de mainports, brainport en greenports gaat. Deze verkeerstromen moeten wel multimodaal worden afgewikkeld. Daarnaast is ontvlechting van doorgaand en regionaal verkeer een belangrijk doel van de investeringen in het hoofdwegennet.

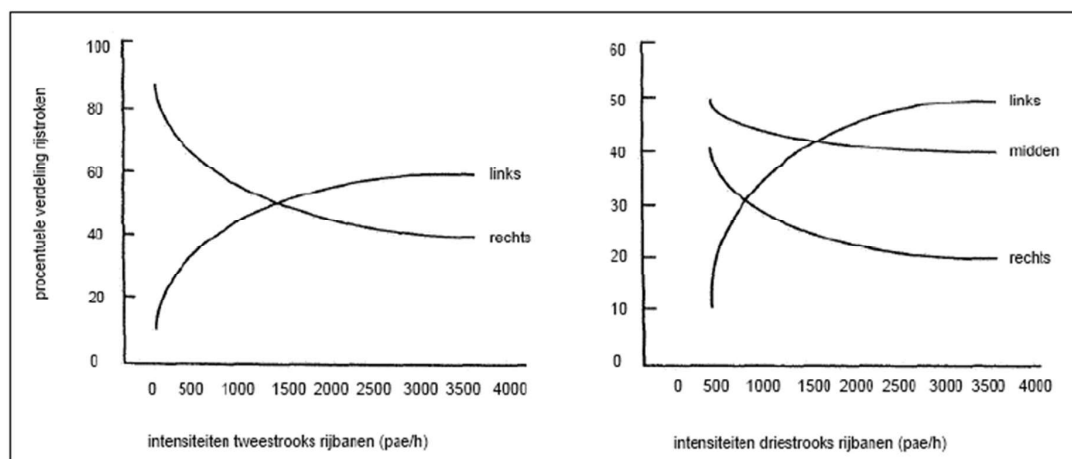
Binnen de Randstad is een capaciteitsuitbreiding naar 2x4 rijstroken gepland en voor de (internationale) hoofdverbindingen buiten de Randstad zijn 2x3 rijstroken als standaard gepland. Dit is weergegeven in *FIGUUR 11-22*. Voordat een verbreding daadwerkelijk wordt aangepast moet nog wel worden aangetoond dat deze verbreding van toegevoegde waarde zijn voor de mobiliteit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).



Figuur 11-22: ambitiekaart hoofdwegenet 2040 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012)

F.4 – Verdeling van verkeer over rijstroken van de rijksweg

De verdeling van verkeer over de verschillende rijbanen van rijkswegen is afhankelijk van de drukte van het Vrachtverkeer. Naarmate er procentueel meer vrachtwagens op een rijstrook rijden, wordt de rechter rijstrook procentueel meer gemeden door personenauto's totdat personenauto's hier überhaupt bijna niet meer rijden en juist de overige rijbanen steeds drukker worden. Tevens is bij rijkswegen met veel goederenvervoer te zien, dat de rechterrijstrook dusdanig verzadigd is met vrachtwagens dat vrachtwagenchauffeurs ook langdurig op de tweede rijstrook gaan rijden. Op de A15 bij de Maasvlakte is de intensiteit van vrachtwagens op de tweede rijstrook inmiddels zelfs al bijna gelijk met de intensiteit aan vrachtwagens op de eerste rijstrook (Rijkswaterstaat GPO m.m.v. Witteveen en Bos, 2022) (Schaafsma, 2022).



Figuur 11-23: Relatieve verdeling van de rijbaanintensiteit (pae/h) over de rijstroken (Rijkswaterstaat GPO m.m.v. Witteveen en Bos, 2022)

F.5 – Huidige verbredingsplannen

TABEL 11-5 geeft een overzicht van de huidige ontwikkelingen in het Nederlandse wegennet gebaseerd op het MIRT (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022). Hierbinnen is een grote diversificatie aan verbredingen weergegeven. Zo worden onder andere rijkswegen met 2x2 rijstroken aangelegd, maar ook rijkswegen met 7 rijstroken per rijrichting, verdeeld over een hoofdrijbaan en twee parallelrijbanen. Daarnaast is bij de A15 ter hoogte van de blankenburgverbinding een versmalling van 2x3 naar 2x2 rijstroken geplant (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022).

Project	Rijksweg	Huidige configuratie		Toekomstige configuratie	
		Hoofddrijbaan	Paralleldrijbaan	Hoofddrijbaan	paralleldrijbaan
Programma goederenvervoercorridors oost en zuidoost	n.v.t.	Nog een nader te bepalen verbreding			
A6 Almere Oostvaarders-Lelystad	A6	2x2	-	2x3	-
A9 Badhoevedorp-Holendrecht	A9	2x3	-	2x4	Wisselbaan
A27/A12 Ring Utrecht	A27	1x4 + 1x6	-	2x2	2x2 + 2x3
A27/A12 Ring Utrecht	A12	2x3	2x3	2x3	2x4
A27/A12 Ring Utrecht	A28	2x3	2x1	2x4	1x1 + 1x2
A28/A1 knooppunt Hoevelaken	A28	2x2/2x3	-	2x3/2x4	-
A28/A1 knooppunt Hoevelaken	A1	1x2 + 1x3	-	2x3	-
Zuidasdok	A10	2x4	-	2x4	2x2
A4 Burgerveen-N14	A4	2x3	-	2x4/2x5	-
A4 Haaglanden-N14	A4	2x3	-	2x4	-
A20 Nieuwerkerk a/d IJssel-Knooppunt Gouwe	A20	2x2	-	2x3	-
A16 Rotterdam	A16	-	-	2x2	-
A24 blankenbrug verbinding	A24	-	-	2x3	-
A24 blankenbrug verbinding	A20	2x2	-	2x3/2x4	-
A24 blankenbrug verbinding	A15	2x3	-	2x2	-
Rijlandroute	A44	2x2	-	2x4	-
Rijlandroute	N434	-	-	2x2	-
InnovA58	A58	Smart mobility in plaats van vervanging.			
A67 Leenderheide-Geldrop	A67	2x2	-	2x3	-
A67/A73 knooppunt Zaarderheiken	A73	2x2	-	2x3	-
A2 Het Vonderen-Kerensheide	A2	2x2	Spitsstrook	2x3	-
A27 Houten-Hoipolder	A27	2x2/2x3	-	2x3/2x4	-
A50 Ewijk-Bankhoef-Paalgraven & corridor Nijmegen-Eindhoven	A50	Verbreding of flankerende maatregelen			
A28 Amersfoort-Hoogeveen	A28	2x2	-	2x3	-
N35 Nijverdalen-Wierden	N35	2x1	-	2x2	-
N50 Kampen-Kampen-Zuid	N50	2x1	-	2x2	-
A1 Apeldoorn-Azelo	A1	2x2/2x3	-	2x3/2x4	-
A12/A15 Ressen-Oudbroeken (ViA15)	A15	-	-	2x2	-
A12/A15 Ressen-Oudbroeken (ViA15)	A12	2x2	-	2x3	-
N33 Zuidbroek-Appingedam	N33	2x1	-	2x2	-
A7 Zuidelijke Ringweg Groningen	A7	2x2/2x3	-	2x3/2x4	-
A7/A8: verbeteren bereikbaarheid Amsterdam-Hoorn	A8	2x4	-	2x5	-
A7/A8: verbeteren bereikbaarheid Amsterdam-Hoorn	A7	2x2	-	2x2	Spitsstrook
A7/A8: verbeteren bereikbaarheid Amsterdam-Hoorn	A7	2x2	Spitsstrook	2x3	-

Tabel 11-5: ruw overzicht, geplande verbredingen in Nederland (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022)

Bijlage G. Gestandaardiseerde dagmaten en liggerlengtes

Bij het bepalen van de lengte van een viaduct kunnen verschillende lengtes worden aangegeven. Deze worden dan ook met verschillende termen aangeduid. De volgende drie termen worden in deze bijlage gebruikt:

1. *Dagmaat*: de afstand tussen de voorkant van de oplegconstructies.
2. *Overspanningslengte*: de afstand van hart tot hart van de opleggingen.
3. *Liggerlengte*: de gehele lengte van de ligger.

Zie ook *Figuur 11-24*.



Figuur 11-24: Termen aanduiding maatvoering viaducten

Vanuit het wegontwerp in combinatie met richtlijnen kunnen standaard waarden voor de dagmaat worden gegeven. De maatvoering die volgt uit de dimensionering van de oplegconstructie kan pas nauwkeurig worden bepaald bij het detailleren van het ontwerp. In deze bijlage worden gestandaardiseerde maten weergegeven voor zowel de dagmaat als de liggerlengte. Daarbij wordt nadrukkelijk vermeld dat alternatieve uitgangspunten voor de ontwerpdetailering kunnen leiden tot andere gewenste liggerlengtes.

G.1 – Maatvoering standaarddwarsprofielen autosnelwegen

Hoewel de toegepaste maatvoering die wordt gehanteerd bij autosnelwegen per situatie sterk verschilt door onder meer nieuwe inzichten en omgevingsaspecten, schrijft de ROA standaard maatvoering voor.

In de onderstaande figuren is de basisdimensionering van een tweestrooks-, driestrooks- en vierstrooksautosnelweg weergegeven in drie situaties: de situatie waarbij het viaduct de autosnelweg draagt, de situatie waarbij de autosnelweg onder een viaduct door gaat met aanwezigheid van verticale steunpunten aan beide zijden van de rijbaan en de situatie waarbij de autosnelweg onder een viaduct door gaat met aanwezigheid van een verticaal steunpunt en een hoog gefundeerd landhoofd (aanwezigheid talud). Tevens is in de situatie met drie rijstroken weergegeven hoe het standaarddwarsprofiel eruit ziet indien twee rijbanen worden overspannen zonder toepassing van een tussensteunpunt. De volgende uitgangspunten zijn hierbij van toepassing:

- De dimensionering is gebaseerd op eisen/aanbevelingen uit de ROA en de ROK. Hierbij is nadrukkelijk geen rekening gehouden met uitzonderingssituaties (denk hierbij aan zaken als noodzakelijke bochtverbreding bij boogstralen kleiner dan 90 m¹, zichtafstanden in bochten, aanwezigheid rijstrook met afwijkende breedte, etc.).
- De dimensionering is geldend voor hoofdrijbanen van autosnelwegen.
- Er is geen rekening gehouden met verkanting (benodigd voor afwatering). Deze invloed is in een afzonderlijke bepaling meegenomen (Bijlage G.4).
- Geacht wordt dat de rijbaan geschikt dient te zijn voor toepassing van het 4-0 onderhoudssysteem. Hiertoe is een vluchtstrookverbreding van 0,30 m¹ toegepast bij de tweestrooksrijbaan t.o.v. de basismaatvoering om tot de benodigde verhardingsbreedte van 11,80 m¹ te komen.
- Indien de autosnelweg zich op het viaduct bevindt is rekening gehouden met de aanwezigheid van een leuningwerk met daarvoor een stijve geleiderailconstructie met een keringsniveau H2. Dit betreft een eenzijdig uitgebouwde geleiderail van 0,60 m¹ breed. Rekening gehouden is met de aanwezigheid van een inspectiepad van 0,50 m¹ breed. Indien een geluidsscherm wordt toegepast dient een tweezijdig uitgebouwde geleiderail van

0,80 m¹ toegepast te worden. Afhankelijk van het ontwerp kan dit leiden tot een andere maatvoering van de schampkant. Deze situatie is verder niet beschouwd.

- De maatvoering voor de onderdelen op het kunstwerk (schampkant, geleiderailconstructie, leuningwerk) volgt uit de standaarddetails van de ROK, waarbij rekening is gehouden met de minimaal benodigde maatvoering).

In de basis is daarmee de volgende maatvoering van toepassing:

- rijstrookbreedte: 3,50 m¹ (incl. halve deelstreep);
- breedte deelstreep: 0,15 m¹;
- breedte kantstreep: 0,20 m¹;
- breedte redresseerstrook: 0,60 m¹ (excl. kantstreep);
- breedte vluchtstrook: 3,50 m¹ (3,80 m¹ bij tweestrooks i.v.m. 4-0 systeem);
- breedte bergingszone:
 - situatie onder viaduct: 2,50 m¹ (incl. kantstreep);
 - situatie op viaduct: 1,50 m¹ (incl. kantstreep).
- breedte vluchtzone:
 - situatie onder viaduct: 2,50 m¹;
 - situatie op viaduct: 0,50 m¹.
- breedte geleiderail:
 - situatie onder viaduct: 0,80 m¹;
 - situatie op viaduct: 0,60 m¹ (bij aanwezigheid geluidsscherm 0,80 m¹).
- breedte berm (onder viaduct): 1,50 m¹;
- breedte inspectiepad: 0,50 m¹;
- doorrijdhoogte: 4,60 m¹.

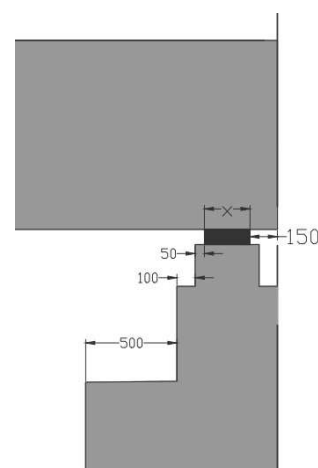
De bovenstaande gegevens zijn afgeleid uit de volgende richtlijnen:

- Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (Rijkswaterstaat GPO m.m.v. Witteveen en Bos, 2022);
- Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen – Veilige inrichting van bermen (Rijkswaterstaat, 2021);
- Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (Rijkswaterstaat, 2017).

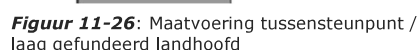
De bovengenoemde maatvoering is voldoende om dagmaat te bepalen. Vanaf hier wordt een vertaalslag gemaakt naar de overspanningslengte en de liggerlengte. Om de overspanningslengte te bepalen wordt gebruik gemaakt van de standaarddetails in de *RTD 1010*. Daarbij is de benodigde grootte van het oplegblok onder meer afhankelijk van het gewicht (en daarmee de overspanningslengte) dat deze dient te dragen. De indicatieve benodigde grootte van het oplegblok voor de verscheidene overspanningslengtes is bepaald in bijlage G.2.

Vervolgens heeft de vertaalslag plaatsgevonden van de overspanningslengte naar de liggerlengte. Hiertoe dient aan weerszijden rekening te worden gehouden met de helft van de breedte van het oplegblok en een oversteeklengte. Deze oversteeklengte heeft onder meer als functie dat kleine uitvoeringsfouten gecompenseerd kunnen worden en dat de ligger bij het dilateren nog steeds op het gehele oplegblok draagt. In alle situaties is rekening gehouden met een oversteeklengte van 150 mm¹ (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).

In *Figuur 11-25* en *Figuur 11-26* is schematisch weergegeven met welke extra lengtes rekening dient te worden gehouden bij de vertaalslag van de dagmaat naar de overspanningslengte en naar de liggerlengte. De maatvoering van het oplegblok is variabel en is daarom weergegeven met 'X'.



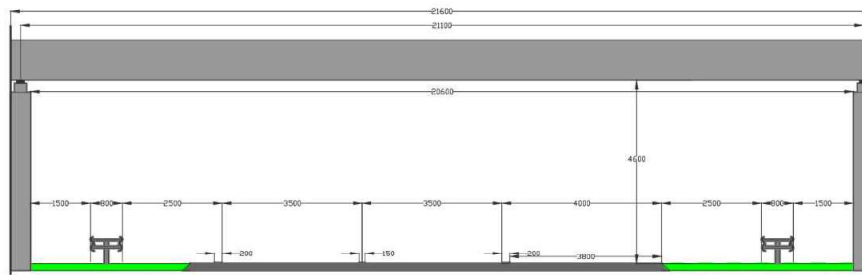
Figuur 11-25: Maatvoering hoog gefundeerd landhoofd



G.1.1 - Tweestrooksautosnelweg

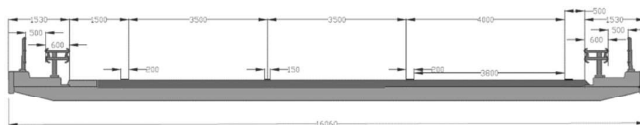
[illegible]

In *Figuur 11-28* is het basis dwarsprofiel weergegeven van een tweestrooksautosnelweg onder een viaduct, geschikt voor toepassing van het 4-0 onderhoudssysteem, in de situatie met een verticaal steunpunt aan weerszijden. De dagmaat is 20,60 m¹ en de liggerlengte is 21,6 m¹.



Figuur 11-28: Basis dwarsprofiel tweestrooksautosnelwegen onder een viaduct met middensteunpunt en middensteunpunt / laag gefundeerd landhoofd (maten in mm¹)

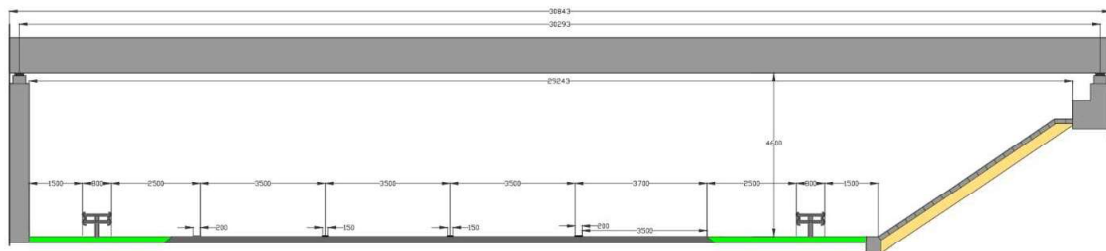
In *Figuur 11-29* is het basis dwarsprofiel weergegeven van een tweestrooksautosnelweg op een viaduct, geschikt voor toepassing van het 4-0 onderhoudssysteem. De totale constructiebreedte is bijna 16,1 m¹.



Figuur 11-29: Basis dwarsprofiel tweestrooksautosnelweg op een viaduct (maten in mm¹)

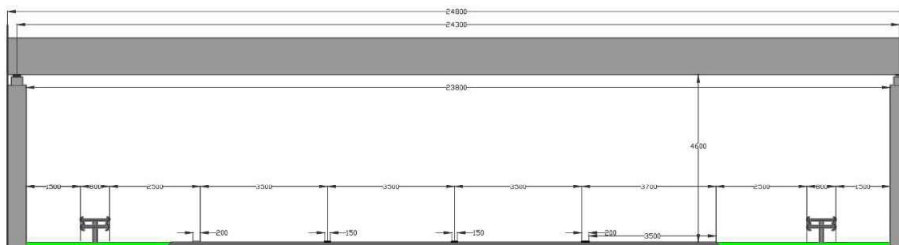
G.1.2 - Driestrooksautosnelweg

In *Figuur 11-30* is het dwarsprofiel weergegeven van een driestrooksautosnelweg onder een viaduct, in de situatie met een landhoofd aan de 'rechterzijde' en een middensteunpunt aan de 'linkerzijde'. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de gevolgen van het toepassen van verkanting.



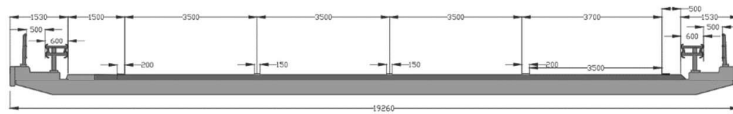
Figuur 11-30: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelweg onder een viaduct met 1x landhoofd en 1x middensteunpunt (maten in mm¹)

In *Figuur 11-31* is het basis dwarsprofiel weergegeven van een driestrooksautosnelweg onder een viaduct, in de situatie met een middensteunpunt aan beide zijden. De dagmaat is 23,80 m¹ en de liggerlengte is 24,8 m¹.



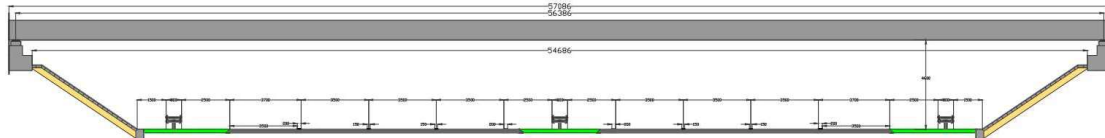
Figuur 11-31: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelwegen onder een viaduct met middensteunpunt en middensteunpunt / laag gefundeerd landhoofd (maten in mm¹)

In *Figuur 11-32* is het dwarsprofiel weergegeven van een driestrooksautosnelweg op een viaduct. De totale constructiebreedte is bijna 19,3 m¹.



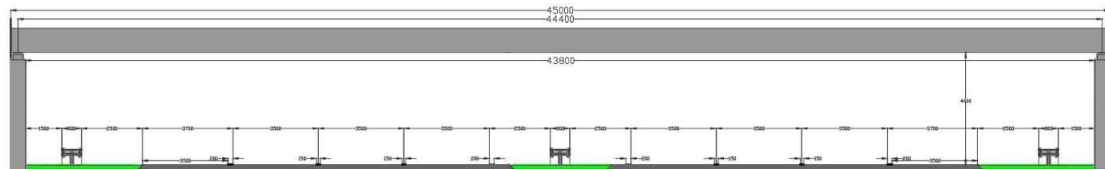
Figuur 11-32: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelweg op een viaduct (maten in mm¹)

In *Figuur 11-33* is het dwarsprofiel weergegeven van een viaduct over een rijksweg met twee driestrooksrijbanen, met aanwezigheid van twee hoog gefundeerde landhoofden en zonder aanwezigheid van een middensteunpunt. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de gevolgen van het toepassen van verkanting.



Figuur 11-33: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelwegen onder een viaduct met hoog gefundeerde landhoofden en zonder middensteunpunt (maten in mm¹)

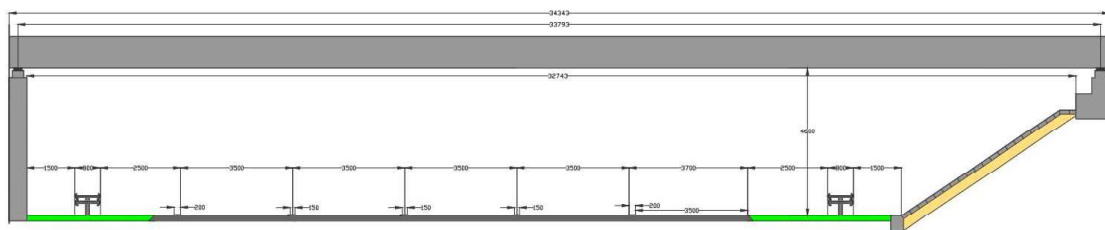
In *Figuur 11-34* is het dwarsprofiel weergegeven van een viaduct over een rijksweg met twee driestrooksrijbanen, met aanwezigheid van twee laag gefundeerde landhoofden en zonder aanwezigheid van een middensteunpunt. De dagmaat is 43,80 m¹ en de liggerlengte is 45,0 m¹.



Figuur 11-34: Basis dwarsprofiel driestrooksautosnelwegen onder een viaduct met laag gefundeerde landhoofden en zonder middensteunpunt (maten in mm¹)

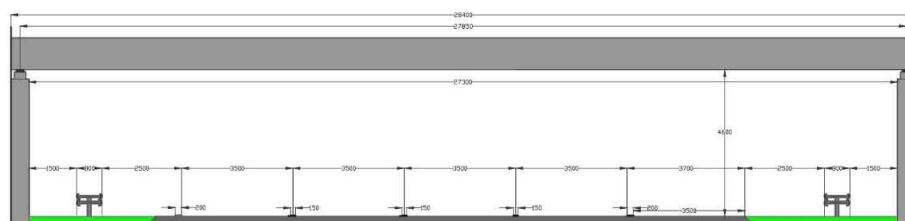
G.1.3 - Vierstrooksautosnelweg

In *Figuur 11-35* is het dwarsprofiel weergegeven van een vierstrooksautosnelweg onder een viaduct, in de situatie met een landhoofd aan de 'rechterzijde' en een middensteunpunt aan de 'linkerzijde'. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de gevolgen van het toepassen van verkanting.



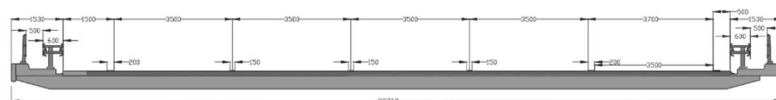
Figuur 11-35: Basis dwarsprofiel vierstrooksautosnelweg onder een viaduct met 1x landhoofd en 1x middensteunpunt (maten in mm¹)

In *Figuur 11-36* is het basis dwarsprofiel weergegeven van een vierstrooksautosnelweg onder een viaduct, in de situatie met een middensteunpunt aan beide zijden. De dagmaat is 27,30 m¹ en de liggerlengte is 28,4 m¹.



Figuur 11-36: Basis dwarsprofiel vierstrooksautosnelwegen onder een viaduct met middensteunpunt en middensteunpunt / laag gefundeerd landhoofd (maten in mm)

In *Figuur 11-37* is het dwarsprofiel weergegeven van een vierstrooksautosnelweg op een viaduct. De totale constructiebreedte is bijna 22,8 m¹.



Figuur 11-37: Basis dwarsprofiel vierstrooksautosnelweg op een viaduct onder een viaduct met 1x landhoofd en 1x middensteunpunt (maten in mm)

G.2 – Bepaling keuze en formaat opleggingen

G.2.1 Keuze type oplegging

De keuze voor het type oplegging berust op technische overwegingen, inspectie, onderhoud en vervangbaarheid en esthetische overwegingen.

Er zijn verschillende type opleggingen beschikbaar. Afhankelijk van het type oplegging worden bepaalde bewegingen (translaties en/of rotaties) in bepaalde richtingen en tot een bepaald maximum toegelaten. Daarbij kunnen verschillende mechanismen (zoals glijden, vervormen, rollen, kantelen) worden gebruikt om de bewegingen te faciliteren (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022).

Onderscheid kan worden gemaakt in de volgende type opleggingen:

- glijelementen;
- rubberopleggingen;
- rolopleggingen;
- potopleggingen;
- taatopleggingen;
- bolsegment- en cylindersegmentopleggingen;
- vasthoudopleggingen;
- geleideopleggingen;
- scharnieropleggingen;
- trek- en drukopleggingen.

Niet alle opleggingen zijn even geschikt voor toepassing bij nieuwbouw viaducten in het overspanningsbereik van 60 m¹ en kleiner. Sommige opleggingen zijn verouderd, anderen zijn complex en duur en zijn bedoeld voor grote overspanningen. Het volgende kan over de verscheiden liggertypes worden verteld (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022).

- Glijdelementen kunnen als aanvulling op opleggingen gebruikt worden. Daarmee wordt de horizontale weerstand geminimaliseerd. Toepassing kan wenselijk zijn indien grote horizontale bewegingen kunnen optreden of indien het steunpunt gevoelig is voor vervormingen. Gebruik van glijdelementen is tamelijk beperkt.
- Rubberopleggingen worden veelvuldig gebruikt bij viaducten. Deze eenvoudige oplegconstructie is relatief goedkoop en eenvoudig vervangbaar. Daarnaast is deze oplegging zeer geschikt voor het overspanningsbereik van 60 m¹ en kleiner.
- Rolopleggingen zijn gevoelig voor corrosie, slijtage en vervuiling. Toepassing in nieuwbouw viaducten komt daarmee niet voor.

- Potopleggingen zijn een alternatief voor rolopleggingen. Dit type oplegging is geschikt voor zware viaducten met grote overspanningen. Deze dure opleggingen zijn minder geschikt voor kleine overspanningen.
- Taatsopleggingen werden vroeger regelmatig gebruikt. In nieuwbouw viaducten is toepassing zeldzaam. Dit is zeker niet de goedkoopste oplossing.
- Bolsegment- en cylindersegmentopleggingen zijn bedoeld voor gebruik in bruggen met grote en zware overspanningen. De oplegging is complex en duur. Ze zijn niet geschikt voor toepassing bij kleine overspanningen.
- Vasthoud- en geleideopleggingen zijn bedoeld om een constructie in een vooraf gespecificeerde horizontale richting vast te houden. In de basissituaties waar rekening mee wordt gehouden is dit onnodig en ongewenst.
- Scharnieropleggingen zijn verouderd en worden niet meer toegepast in nieuwbouw viaducten.
- Trek- en drukopleggingen worden weinig gebruikt. Het toepassingsgebied betreft voornamelijk bruggen en viaducten met korte eindvelden, zeer scheve kruisingen en tuibruggen. Deze complexe opleggingen worden niet toegepast bij viaducten naar de beschreven situaties in paragraaf G.1.

Uit het bovenstaande blijkt dat de rubberen opleggingen het meest geschikt zijn voor toepassing voor viaducten binnen het overspanningsbereik tot 60 m¹. Rubberen opleggingen dragen krachten over naar het steunpunt en zijn in staat om translaties en rotaties met geringe weerstand te ondergaan.

Deze al dan niet met staalplaat gewapende rubberen blokken kunnen zowel in rechthoekige als ronde vorm voorkomen. Het benodigde formaat van de blokken is in het horizontale vlak afhankelijk van het gewicht dat deze dient te dragen en de benodigde hoogte is afhankelijk van de benodigde vervormingscapaciteit.

Het formaat van de blokken in het horizontale vlak heeft enige invloed op de overspanningslengte. Om deze reden is voor verschillende overspanningslengtes bepaald welk formaat oplegblok minimaal benodigd is. Hierbij zijn de uitgangspunten dat wordt uitgegaan van een statisch bepaalde kokerliggerconstructie, waarbij rechthoekige oplegblokken worden gebruikt.

G.2.2 Bepaling optredende oplegreactie

In de maatgevende situatie zijn meerdere belastingen tegelijkertijd aanwezig op het oplegblok. Bij deze benaderende bepaling is rekening gehouden met het eigen gewicht van het dek, inclusief asfalt en met de verkeersbelasting. De toets wordt uitgevoerd op de karakteristieke belastingcombinatie (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022).

Eigen gewicht en permanente belasting

Het eigen gewicht van het dek is gerelateerd aan de lengte van de ligger. In het onderstaande overzicht is het eigengewicht weergegeven voor het constructieve dek, waarbij gebruik is gemaakt van kokerliggers met verschillende liggerlengtes. Deze waarden zijn opgehaald van documentatie van Haitsma beton.

Overspanningslengte L (m ¹)	Profiel	Eigen gewicht dek Q _{dek} (kN/m ¹) bij werkende breedte 1,5m ¹	Eigen gewicht dek Q _{dek} (kN/m ²)
25	800	17,75	11,83
30	1000	19,35	12,90
35	1100	20,15	13,43
40	1300	21,75	14,50
45	1500	23,35	15,57
50	1700	24,95	16,63

Tabel 11-6: Eigen gewicht kokerligger en asfaltbelasting (Haitsma beton, 2022)

Naast het eigengewicht van het constructieve dek dient rekening te worden gehouden met de asfaltconstructie. Uit de ROK blijkt dat in het meest ongunstige geval rekening dient te worden gehouden met een asfaltpakket van 170 mm¹ (incl. zeeg). De massa van asfalt is afhankelijk van de samenstelling maar overstijgt normaliter niet de 25 kN/m³. Omdat een conservatieve benadering niet ongewenst is, zal met dit gewicht worden gerekend¹².

Het gewicht van het asfalt is daarmee:

$$\begin{aligned} \text{Eigen gewic asfalt} &= 0,17 \cdot 25 \\ &= 4,25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

liggertype	i [-]	afmetingen		reactie		stijfheid	indrukking
		L [m]	b _w [m]	R _{TS} [kN]	R _{UDL} [kN]	K [kN/mm]	u [mm]
koker	1	21	1,5	188	109	400	0,74
	2	27	1,5		140	450	0,73
	3	33	1,5		171	525	0,68
	4	39	1,5		203	600	0,65
	5	45	1,5		234	700	0,60
	6	51	1,5		265	850	0,53
rail	1	15,6	1,2	150	65	350	0,61
	2	20,4	1,2		85	400	0,59
	3	25,2	1,2		105	475	0,54
	4	30	1,2		125	550	0,50
	5	39,6	1,2		165	625	0,50
	6	44,4	1,2		184	700	0,48

Tabel 11-7: Reactiekracht op rubberen oplegblokken bij een koker- of railligger (*Platform Voegovergangen en Opleggingen*, 2022)

Veranderlijke belasting

De verkeersbelasting kent een sterk dynamisch karakter. Het *handboek opleggingen* van het *Platform Voegovergangen en Opleggingen* geeft indicatieve waarden aan voor reactiekrachten ten gevolge van verkeersbelasting (Tabel 11-7). De reactiekracht bestaat uit twee componenten, waarvan het eerste component, de reactiekracht ten gevolge van een tandemsysteem (R_{TS}), lineair toeneemt met de viaductbreedte, maar een vaste waarde kent ongeacht de overspanningslengte en waarvan het tweede component, de gelijkmatig verdeelde belasting (R_{UDL}), lineair toeneemt met zowel de viaductbreedte als de overspanningslengte. In *Tabel 11-8* is de totale verkeersbelasting weergegeven.

Gezien de reactiekrachten zijn weergegeven bij afwijkende overspanningslengtes t.o.v. de indicatieve waarden uit het handboek opleggingen, is de gelijkmatig verdeelde belasting middels lineaire interpolatie bepaald.

Overspanningslengte L (m ¹)	R _{TS} (kN) bij breedte 1,5m ¹	R _{UDL} (kN) bij breedte 1,5m ¹	Totale verkeersbelasting Q _{verkeer} (kN) per 1,0m ¹ viaductbreedte.
25	188	131	212
30	188	157	230
35	188	184	248
40	188	211	266
45	188	238	284
50	188	265	302

Tabel 11-8: Totale verkeersbelasting op een viaduct met kokerliggers in de maatgevende situatie

Maatgevende oplegreactie

De oplegreactie waar rekening mee dient te worden gehouden volgt uit de maatgevende situatie, waarin zowel het eigengewicht van het dek en het asfalt en de verkeersbelasting aanwezig is. Toetsing vindt plaats op de karakteristieke belastingcombinatie (*Platform Voegovergangen en Opleggingen*, 2022). Middels de volgende formule wordt de oplegreactie bepaald (bij een theoretische h.o.h. afstand van 1,0 m¹ tussen de oplegblokken):

$$\text{oplegreactie} = \frac{1}{2} \cdot (Q_{\text{dek}} + Q_{\text{asfalt}}) \cdot L + Q_{\text{verkeer}}$$

¹² Ter bepaling van de minimale oplegdruk zorgt de hoog aangehouden massa van het asfalt juist niet voor een conservatieve benadering. Echter, de invloed is dermate klein dat de minimale oplegdruk door de eventuele aanwezigheid van lage massa asfalt niet onderschreden kan worden.

In *Tabel 11-9* is de maatgevende oplegreactie weergegeven voor de overspanningslengtes tussen de 25 en 50 m¹, met stapgroottes van 5 m¹. De oplegreactie op een oplegblok neemt lineair toe met de hart op hart afstand tussen de oplegblokken.

Overspanningslengte L (m ¹)	Eigengewicht dek Q _{dek} (kN/m ²)	Permanente belasting asfalt Q _{asfalt} (kN/m ²)	Veranderlijke belasting verkeer Q _{verkeer} (kN)	Oplegreactie per oplegblok bij theoretische h.o.h. 1,0m ¹ (kN)
25	11,83	4,25	212	413
30	29,03	4,25	230	729
35	30,23	4,25	248	852
40	32,63	4,25	266	1004
45	35,03	4,25	284	1168
50	37,43	4,25	302	1344

Tabel 11-9: Oplegreactie per oplegblok

G.2.3 Keuze formaat oplegblok

Het uitgangspunt ter bepaling van het benodigde formaat van de oplegblokken is de verticale gemiddelde oplegdruk van 15 MPa (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022), die niet mag worden overschreden bij aanwezigheid van de karakteristieke belastingcombinatie. Daarbij wordt uitgegaan van een rechthoekige oplegblokken met een hart op hart afstand tussen de oplegblokken van 1,75 m¹, omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat dit de meest geschikte breedte is voor standaardliggers. In *Tabel 11-10* is per overspanningslengte hiertoe het benodigde oppervlak van een oplegblok weergegeven en tot welk formaat oplegblok dit leidt. Uitgangspunt hierbij is dat het een zo klein mogelijk oplegblok wordt gekozen dat wel aan de sterkte-eis voldoet. Verder betreffen dit standaard leverbare formaten (NEN-EN 1337-3, 2005). Voor grotere overspanningslengtes als 50 m¹ geldt dat hier in het voorgaande geen berekening aan te pas is gekomen. De oplegreactie is slechts zeer indicatief bepaald door het verschil in de grootte van de oplegreactie bij een overspanningslengte van 45 m¹ en 50 m¹ lineair door te zetten naar de grotere overspanningen.

Overspanningslengte (m ¹)	Oplegreactie per oplegblok bij theoretische h.o.h. 1,75m ¹ (kN)	Benodigd dragend oppervlak oplegblok (mm ²)	Keuze formaat oplegblok ^a (mm ¹)	Oppervlak oplegblok (mm ²)
25	723	48228	200x250	50000
30	1276	85097	250X400	100000
35	1490	99344	250X400	100000
40	1756	117091	300X400	120000
45	2044	136238	300X500	150000
50	2352	156785	350X450	157500
55	2660 ^b	177333	400x500	200000
60	2968 ^b	197867	400x500	200000
^a Het eerste getal geeft de maat weer in langsrichting van het dek.				
^b Betreft ruwe indicatie o.b.v. lineaire berekening.				

Tabel 11-10: Keuze formaat oplegblok

Het dek dient zonder aanwezigheid van verkeer tevens een minimale oplegdruk uit te oefenen op de oplegblokken van 3 MPa (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022). Hiertoe wordt geen rekening gehouden met de aanwezigheid van verkeersbelasting in deze situatie. In *Tabel 11-11* is deze controle uitgevoerd. In alle gevallen is de minimaal benodigde oplegdruk ruim aanwezig.

Overspanningslengte (m ¹)	Permanente belasting (kN)	Oppervlakte oplegblok (mm ²)	Minimale oplegdruk (MPa)
25	201	50000	4,0
30	499	90000	5,5
35	603	100000	6,0
40	738	120000	6,1
45	884	150000	5,9
50	1042	157500	6,6
55	1200 ^a	200000	6,0
66	1358 ^a	200000	6,8
^a Betreft ruwe indicatie o.b.v. lineaire berekening.			

Tabel 11-11: Controle minimale oplegdruk

G.3 – Afwegingen gestandaardiseerde maatsysteem

Op basis van de uitgangspunten uit bijlage G.1 en bijlage G.2 kan een tabel worden opgesteld voor viaducten over rijkswegen met rijbanen van twee tot en met vijf rijstroken en over wisselbanen met één en twee rijstroken. Om te bepalen welke configuraties wel en niet worden meegenomen, zijn enkele afwegingen gemaakt, die onderstaand zijn opgenomen.

G.3.1 Transport

Om liggers te kunnen toepassen is het belangrijk dat een ligger zijn bestemming kan bereiken. Bij voorkeur zonder de noodzaak om een ontheffing aan te vragen. Dit is niet nodig in het geval dat een geheel transport (vrachtwagen en ligger) voldoet aan de volgende eisen (RDW, -):

- langer dan 22 m¹;
- breder dan 3 m¹;
- hoger dan 4 m¹;
- zwaarder dan 50 ton;
- aslasten van meer dan 10 ton.

Veel overspanningen zullen echter een grotere of langere ligger vereisen waardoor de ligger als exceptioneel transport vervoerd moet worden. Hiervoor zijn geen wettelijke maximum eisen, maar geldt wel een vergunningsplicht. Een vergunning zal alleen worden toegezegd indien het transport ook mogelijk is waardoor er wel een praktisch maximum is. In de praktijk gelden de volgende praktische limieten:

- Maximale gewicht: het maximale gewicht wordt voornamelijk gelimiteerd door de zwakke bruggen in vervoersroutes en is daarnaast afhankelijk van het aantal assen van het transporterende voertuig (lastspreiding), wat beperkter is bij kortere liggers. Een aanzienlijk aandeel van de Nederlandse autosnelwegen is instaat om transporten tussen de 200 á 240 ton te kunnen dragen. Bij dit gewicht moet een trailer en een apart onderstel van elk 10 assen toegepast worden wat opzichzelfstaand al 60 ton weegt, wat het maximum gewicht tot 140 á 180 ton beperkt. (Schaafsma, 2022) (Boelders, 2019).
- Maximale breedte: om het transport zo praktisch mogelijk te maken is besloten om een gestandaardiseerde breedte tussen de 1200 mm¹ en 2000 mm¹ te zoeken.

- **Maximale lengte:** De maximale lengte wordt beperkt doordat een te lange combinatie lastig onder controle te houden is en doordat bochten op het onderliggende wegennet eerst van obstakels moeten worden ontzien. Het voordeel van de gestandaardiseerde klasseindeling is dat liggers enkel vanaf de producent tot de autosnelweg over het onderliggende wegennet verplaatst hoeven te worden. Ook zijn transporten van windmolen wieken tot 70 m¹ mogelijk. In combinatie met het zware gewicht en de grote lengte gaat dit onderzoek uit van een praktische grens van 61,75 m¹ voor een ligger. Dit is namelijk de lengte van de grootste betonnen ligger die over land getransporteerd is voor de Westrandweg (Cobouw, 2010), (Boelders, 2019).
- **Maximale hoogte:** de hoogte van transporten wordt voornamelijk beperkt door viaducten over de autosnelweg, waardoor een maximale hoogte van 4,30 m¹ mogelijk is. De trailer heeft een hoogte van 1.60 m¹, waardoor de maximale liggerhoogte 2,7 m¹ is.



Figuur 11-38: Transport ligger westrandweg (Cobouw, 2010)

G.3.2 Landhoofd vormgeving

De volgende argumenten zijn kenbaar voor het toepassen van een laag gefundeerd landhoofd:

- Wanneer een laag gefundeerd landhoofd wordt toegepast is de overspanning van de ligger gelijk met een hoofdrijbaan (waar een parallelbaan is toegepast) tussen twee steunpunten, waardoor het aantal types binnen de liggerlengtes beperkt wordt.
- De liggers kunnen korter, slanker, lichter en makkelijker transporteerbaar geproduceerd worden.
- Buispalen (geschikt voor een verticaal landhoofd) zijn kansrijk voor toepassing voor remontabele steunpunten (Valk, 2019).



Figuur 11-39: Schematische weergave laag gefundeerd landhoofd (Wikipedia, 2022)

Het hoog gefundeerd landhoofd wordt in Nederland veelvuldig toegepast. Hier zijn de volgende argumenten voor:

- In een bochtstraal kan een verticaal landhoofd de zichtlijnen beperken.
- Een hoog gefundeerd landhoofd kan tijdelijk met een damwand worden verkort om meer ruimte te creëren voor onderhoud
- De Nederlandse bodem moet bijna altijd voorbelast worden. Voor het toepassen van een laaggefundeerd landhoofd moet de voorbelasting van de bovenliggende weg, deels weggraven worden om het landhoofd aan te brengen en vervolgens hersteld worden voor de aardebaan.
- Prefab liggers zijn zeer goed in staat om grotere afstanden te overbruggen. Dit is een belangrijke reden dat hoog gefundeerde landhoofden in Nederland veel worden toegepast. In Duitsland - waar veel met in het werk gestorte betonnen viaducten wordt gewerkt - worden verticale landhoofden bijvoorbeeld wel veelvuldig toegepast.



Figuur 11-40: Schematische weergave hoog gefundeerd landhoofd (Wikipedia, 2022)

De afweging tussen het toepassen van een hoog of laag gefundeerd landhoofd is in het verleden vaker gemaakt. Beide situaties komen regelmatig voor. Dit onderzoek neemt daarom ook als uitgangspunt dat zowel laag als hoog gefundeerde landhoofden toegepast gaan worden. 2x4 en 2x5 rijstroken zonder middensteunpunt zijn hierop een uitzondering omdat een hoog gefundeerd landhoofd tot overspanningen van respectievelijk circa 64 m¹ en 71 m¹ leidt, wat binnen de huidige technieken en de huidige transportmogelijkheden over de weg dusdanig belemmerend is, dat de toepassing van deze lengtes naar verwachting niet in voldoende mate zal voorkomen om in een gestandaardiseerd maatsysteem rekening mee te houden.

G.3.3 Toepassen van een middensteunpunt

Rijkswaterstaat heeft sinds twintig jaar geleden de wens om het tussensteunpunt niet meer toe te passen om onderhoud aan het tussensteunpunt - midden op de rijksweg - te voorkomen. Het bouwen van tussensteunpunten bij bestaande autosnelwegen en het onderhoud aan

tussensteunpunten leidt namelijk tot verkeershinder (Schaafsma, 2022). Het niet toepassen van een tussensteunpunt leidt tot grotere overspanningen en daarmee hoger gedimensioneerde rijdekken. Dit vereist meer ruimte om het verkeer 'op hoogte' te krijgen. Indien aangenomen wordt dat de rijdedikte van een viaduct een dertigste is van een overspanning, dan ontstaan de rijdediktes, weergegeven in *TABEL 11-12*.

Type landhoofd	Aantal rijstroken	Indicatieve rijdedikte met tussensteunpunt	Overspanningslengte met tussensteunpunt	Indicatieve rijdedikte zonder tussensteunpunt	Overspanningslengte zonder tussensteunpunt
Hoog gefundeerd	2	1,68 m ¹	50,5 m ¹	0,91 m ¹	27,5 m ¹
Hoog gefundeerd	3	1,9 m ¹	57 m ¹	1,03 m ¹	31 m ¹
Hoog gefundeerd	4	2,13 m ¹	64 m ¹	1,13 m ¹	34 m ¹
Hoog gefundeerd	5	2,37 m ¹	71 m ¹	1,27 m ¹	38 m ¹
Laag gefundeerd	2	1,3 m ¹	39 m ¹	0,71 m ¹	21,5 m ¹
Laag gefundeerd	3	1,5 m ¹	45 m ¹	0,81 m ¹	24,5 m ¹
Laag gefundeerd	4	1,73 m ¹	52 m ¹	0,97 m ¹	29 m ¹
Laag gefundeerd	5	1,97 m ¹	59 m ¹	1,05 m ¹	31,5 m ¹

TABEL 11-12: Ruwe liggerafmetingen met en zonder middensteunpunt

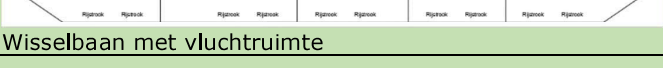
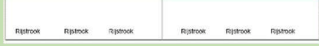
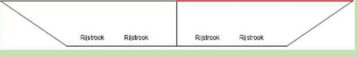
Dit onderzoek neemt configuraties zonder middensteunpunt mee, zolang liggers onder de 60 m¹ blijven in verband met de praktische kant van het transport, productie en de rijdedikte.

G.3.4 Tussensteunpunten

Een weg met parallelstroken is te breed om met betonnen liggers zonder steunpunten te overspannen. Wel bestaat de mogelijkheid om de twee tussensteunpunten tussen de parallelrijbaan en hoofrijbaan weg te nemen óf het middensteunpunt weg te nemen. Hierbij gaat de voorkeur uit naar het wegnemen van het middensteunpunt, omdat Rijkswaterstaat poogt het doorgaande verkeer op hoofdrijbanen zo min mogelijk te belemmeren.

G.4 – Dagmaten en liggerlengtes

In *Tabel 11-13* zijn viaductconfiguraties met de minimaal benodigde dagmaat en de indicatieve liggerlengte bepaald op basis van de in deze bijlage genoemde informatie. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de gevolgen voor de liggerlengte door het benodigde afschot van de onderliggende weg. De rode lijnen van de figuren in deze tabel geven aan welk veld met de ligger overspannen kan worden. De waardes in deze tabel zijn gebaseerd op de informatie uit bijlage G.1 en bijlage G.2.

Landhoofdfundatie	Aantal overspannen rijstroken (rijbaan*rijstroken)	Dagmaat	Liggerlengte	Voorbeeld
Laag	1x1	11,1 m ¹	-	 Wisselbaan zonder vluchtruimte
Laag	1x1	12,1 m ¹	-	 Wisselbaan met vluchtruimte
Laag	1x2	14,6 m ¹	-	 Wisselbaan zonder vluchtruimte
Laag	1x2	15,6 m ¹	-	 Wisselbaan met vluchtruimte
Laag	1x2	20,600 m ¹	21,600 m ¹	
n.v.t.	1x2	20,600 m ¹	21,600 m ¹	
Hoog	1x1	22,343 m ¹	23,843 m ¹	
Laag	1x3	23,800 m ¹	24,800 m ¹	
n.v.t.	1x3	23,800 m ¹	24,800 m ¹	
Hoog	1x2	26,043 m ¹	27,643 m ¹	
Laag	1x4	27,300 m ¹	28,400 m ¹	
n.v.t.	1x4	27,300 m ¹	28,400 m ¹	
Hoog	1x3	29,243 m ¹	30,843 m ¹	
Laag	1x5	30,800 m ¹	31,900 m ¹	
n.v.t.	1x5	30,800 m ¹	31,900 m ¹	
Hoog	1x4	32,743 m ¹	34,343 m ¹	

Hoog	1x5	36,243 m ³	37,943 m ³	
Laag	2x2	37,400 m ³	38,600 m ³	
n.v.t.	2x2	37,400 m ³	38,600 m ³	
Laag	2x3	43,800 m ³	45,000 m ³	
n.v.t.	2x3	43,800 m ³	45,000 m ³	
Hoog	2x2	48,286 m ³	50,686 m ³	
Laag	2x4	50,800 m ³	52,200 m ³	
n.v.t.	2x4	50,800 m ³	52,200 m ³	
Hoog	2x3	54,686 m ³	57,086 m ³	
Laag	2x5	57,800 m ³	59,200 m ³	
n.v.t.	2x5	57,800 m ³	59,200 m ³	

Tabel 11-13: Minimaal benodigde liggerlengtes (zonder rekening te houden met de gevolgen door toepassing van afschot)

De maten, weergegeven in *Tabel 11-15* zijn input voor het gestandaardiseerde maatsysteem. Hierbij moet nadrukkelijk worden verteld dat voor wisselbanen geen standaard maatvoering wordt beschreven in de ROA. De bepaling, gebaseerd op aangetroffen reeds aangelegde situaties, geeft daarmee geen zekerheid of deze maatvoering bij nieuw aan te leggen wisselbanen zal worden overgenomen. Daarnaast is er geen aanleiding om aan te nemen dat wisselbanen veel toegepast zullen worden. Daarmee is de toegepaste maatvoering bij wisselbanen geen goed uitgangspunt voor de gestandaardiseerde liggerlengtes binnen dit lage overspanningsbereik. Hoewel in het hierboven weergegeven overzicht de situaties met wisselbanen wel zijn weergegeven, wordt dit daarom niet toegepast in het gestandaardiseerde maatsysteem.

In *Tabel 11-13* moet voor een aantal situaties een correctie voor verkanting worden toegevoegd. Dit heeft namelijk invloed op de beginhoogte van het talud van een hoog gefundeerd landhoofd, wat weer gevolgen heeft voor de lengte van dit talud. Dit heeft vervolgens weer invloed op dagmaat en de lengte van de ligger omdat het landhoofd zich hierdoor verder van de onderliggende weg bevindt. Bij een tussensteunpunt of laag gefundeerd landhoofd heeft de verkanting geen invloed op de liggerlengte omdat het tussensteunpunt enkel hoger uitgevoerd dient te worden.

Technical drawing of a bridge cross-section. The drawing shows a concrete structure with a top width of 27643 and 27093. The total width of the bridge deck is 26043. The height of the structure is 4600. The drawing includes reinforcement details with dimensions: 1500, 800, 2500, 2500, 2500, 4000, 2500, 800, 1500. A red arrow points to a specific reinforcement detail. The drawing also shows a sloped section on the right side.

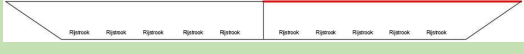
- Verlaging in het verharde oppervlak:
 $\Delta H = \text{rijbaanbreedte} \cdot \text{afschot} = b \cdot S \rightarrow \Delta H = (2500 \text{ [mm]} + 3500 \text{ [mm]} + 3500 \text{ [mm]} + 4000 \text{ [mm]}) \cdot 0,025 = 337,5 \text{ [mm]}$
- Verlaging in de berm:
 $\Delta H = \text{bermbre} \cdot \text{afschot} = b \cdot S \rightarrow \Delta H = (2500 \text{ [mm]} + 800 \text{ [mm]} + 1500 \text{ [mm]} - 300 \text{ [mm]}) \cdot 0,05 = 225 \text{ [mm]}$
- Gevolg toename dagmaat/overspanning/liggerlengte, veroorzaakt door een verlenging van het talud met een helling van 2 op 3: $(337,5 \text{ [mm]} + 225 \text{ [mm]}) \cdot \frac{3}{2} = 843,75 \text{ [mm]}$.

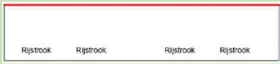
Landhoofdfundatie	Aantal overspannen rijstroken (rijbaan*rijstroken)	Rijbaanbreedte (mm ¹)	Verlaging verhard oppervlak (mm ¹)	bermbreedte (mm ¹)	Verlaging berm (mm ¹)	Gevolg toename dagmaat/liggerlengte (mm ¹)	Dagmaat (m ¹)	Liggerlengte (m ¹)
Hoog	1x1	9700	242,5	4800	240	723,8	23,06	24,57
Hoog	1x2	13500	337,5	4800	240	866,3	26,91	28,51
Hoog	1x3	16700	417,5	4800	240	986,3	30,23	31,83
Hoog	1x4	20200	505	4800	240	1117,5	33,86	35,46
Hoog	1x5	23700	592,5	4800	240	1248,8	37,49	39,19
Hoog	2x2	2x13500	2x337,5	4800	2x240	1732,5	50,02	52,42
Hoog	2x3	2x16700	2x417,5	4800	2x240	1972,5	56,66	59,06

De ontstane (gecorrigeerde) dagmaten en liggerlengtes uit *Tabel 11-13* zijn zeer specifiek en betreffen geen afgeronde maten. Daarmee wordt de praktische toepassing van deze maten in het ontwerp en de uitvoering bemoeilijkt. Om deze reden is besloten alle maten voor de minimaal benodigde dagmaten en liggerlengtes in het vervolg af te ronden op decimeters.

Een aantal dagmaten en liggerlengtes van verschillende configuraties hebben een zeer vergelijkbare liggerlengte. Om de effectiviteit van het gestandaardiseerde maatsysteem te verhogen, worden daarom de configuraties uit *Tabel 11-13*, met inachtneming van de gewijzigde maten in *Tabel 11-14*, die dicht op elkaar liggen samengevoegd. Hiertoe wordt de grootste maat

overgenomen voor alle vergelijkbare dagmaten en liggerlengtes. Daarmee wordt in alle gevallen voldaan aan de minimaal benodigde liggerlengtes om geen afbreuk te doen aan de verkeersveiligheid van de onderliggende situatie. Dit is verwerkt in *Tabel 11-15*. De dagmaten en liggerlengtes zijn maximaal met 300 mm¹ verlengd, met uitzondering van de twee situaties, waarbij twee rijbanen met twee rijstroken met één ligger wordt overspannen en waarbij zich aan weerszijden een tussensteunpunt of laag gefundeerd landhoofd bevindt. Hierbij is de dagmaat en liggerlengte verhoogd met 600 mm¹. Hiermee ontstaat een gestandaardiseerd maatsysteem met negen systeemmaten voor de liggerlengtes.

Landhoofd/fundatie	Aantal overspannen rijstroken	Minimale dagmaat	Liggerlengte	Voorbeeld
Laag	1x2	20,6 m ¹	21,6 m ¹	
n.v.t.	1x2	20,6 m ¹		
Hoog	1x1	23,1 m ¹	24,8 m ¹	
Laag	1x3	23,8 m ¹		
n.v.t.	1x3	23,8 m ¹		
Hoog	1x2	27,0 m ¹	28,6 m ¹	
Laag	1x4	27,3 m ¹		
n.v.t.	1x4	27,3 m ¹		
Hoog	1x3	30,3 m ¹	31,9 m ¹	
Laag	1x5	30,8 m ¹		
n.v.t.	1x5	30,8 m ¹		
Hoog	1x4	33,9 m ¹	35,5 m ¹	
Hoog	1x5	37,5 m ¹	39,2 m ¹	

Laag	2x2	37,4 m ¹		
n.v.t.	2x2	37,4 m ¹		
Laag	2x3	43,8 m ¹	45,0 m ¹	
n.v.t.	2x3	43,8 m ¹		
Hoog	2x2	50,1 m ¹	52,5 m ¹	
Laag	2x4	50,8 m ¹		
n.v.t.	2x4	50,8 m ¹		
Hoog	2x3	56,7 m ¹	59,2 m ¹	
Laag	2x5	57,8 m ¹		
n.v.t.	2x5	57,8 m ¹		

Tabel 11-15: Basismaten voor het gestandaardiseerde maatsysteem

Bijlage H. Bepaling overtollige viaductbreedte bij gestandaardiseerde liggerbreedtes

In *TABEL 11-16* is te zien hoe de breedtes van liggers zich relateren ten opzichte van de totale breedte van het viaduct met twee tot vijf rijstroken volgens de basisdimensionering van de ROA (bijlage G.1). Vanaf de totale viaduct breedte wordt telkens de werkende breedte van een ligger afgetrokken, tot een negatief getal ontstaat. Dit negatieve getal betreft de *overbreedte* die ontstaat door toepassing van een uniforme liggerbreedte voor alle liggers. Hier is vervolgens het gemiddelde van bepaald. Hoe kleiner dit getal, hoe kleiner de gemiddelde overbreedte. Hierbij is aangehouden dat voor het verschillende aantal rijstroken evenveel viaducten worden gebouwd. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat geacht wordt dat het mogelijk is om bij een gelijke liggerbreedte de werkende breedte van de ligger enigszins te vergroten door te variëren met de voegbreedte tussen de liggers. Normaliter kennen deze voegen in het geval van een kokerliggerconstructie een breedte van circa 20mm¹. Deze voegbreedte mag (ongewapend) echter vergroot worden tot circa 140 mm¹ (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022). Indien de overbreedte zeer groot is, kan door het kiezen van een grotere voegbreedte bij één of meerdere liggers, voldoende viaductbreedte worden gecreëerd waardoor een ligger minder benodigd is. Daarbij kan de overbreedte tot 0 worden gereduceerd.

1200		Aantal liggers																							
Totale overschot breedte	-2060	14860	13660	12460	11260	10060	8860	7660	6460	5260	4060	2860	1660	460	-740	-1940	-3140	-4340	-5540	-6740	-7940	-9140	-10340	-11540	
	Gemiddelde overschot breedte	-515	18060	16860	15660	14460	13260	12060	10860	9660	8460	7260	6060	4860	3660	2460	1260	60	-1140	-2340	-3540	-4740	-5940	-7140	-8340
		21560	20360	19160	17960	16760	15560	14360	13160	11960	10760	9560	8360	7160	5960	4760	3560	2360	1160	-40	-1240	-2440	-3640	-4840	
		25060	23860	22660	21460	20260	19060	17860	16660	15460	14260	13060	11860	10660	9460	8260	7060	5860	4660	3460	2260	1060	-140	-1340	
1250		Aantal liggers																							
Totale overschot breedte	-3160	14810	13560	12310	11060	9810	8560	7310	6060	4810	3560	2310	1060	-190	-1440	-2690	-3940	-5190	-6440	-7690	-8940	-10190	-11440	-12690	
	Gemiddelde overschot breedte	-790	18010	16760	15510	14260	13010	11760	10510	9260	8010	6760	5510	4260	3010	1760	510	-740	-1990	-3240	-4490	-5740	-6990	-8240	-9490
		21510	20260	19010	17760	16510	15260	14010	12760	11510	10260	9010	7760	6510	5260	4010	2760	1510	260	-990	-2240	-3490	-4740	-5990	
		25010	23760	22510	21260	20010	18760	17510	16260	15010	13760	12510	11260	10010	8760	7510	6260	5010	3760	2510	1260	10	-1240	-2490	
1300		Aantal liggers																							
Totale overschot breedte	-2760	14760	13460	12160	10860	9560	8260	6960	5660	4360	3060	1760	460	-840	-2140	-3440	-4740	-6040	-7340	-8640	-9940	-11240	-12540	-13840	
	Gemiddelde overschot breedte	-690	17960	16660	15360	14060	12760	11460	10160	8860	7560	6260	4960	3660	2360	1060	-240	-1540	-2840	-4140	-5440	-6740	-8040	-9340	-10640
		21460	20160	18860	17560	16260	14960	13660	12360	11060	9760	8460	7160	5860	4560	3260	1960	660	-440	-1940	-3240	-4540	-5840	-7140	
		24960	23660	22360	21060	19760	18460	17160	15860	14560	13260	11960	10660	9360	8060	6760	5460	4160	2860	1560	260	-1040	-2340	-3640	
1350		Aantal liggers																							
Totale overschot breedte	-2060	14710	13360	12010	10660	9310	7960	6610	5260	3910	2560	1210	-140	-2840	-4190	-5540	-6890	-8240	-9590	-10940	-12290	-13640	-14990		
	Gemiddelde overschot breedte	-515	17910	16560	15210	13860	12510	11160	9810	8460	7110	5760	4410	3060	1710	360	-990	-2340	-3690	-5040	-6390	-7740	-9090	-10440	-11790
		21410	20060	18710	17360	16010	14660	13310	11960	10610	9260	7910	6560	5210	3860	2510	1160	-190	-1540	-2890	-4240	-5590	-6940	-8290	
		24910	23560	22210	20860	19510	18160	16810	15460	14110	12760	11410	10060	8710	7360	6010	4660	3310	1960	610	-740	-2090	-3440	-4790	

1400		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-2460	Twee rijstroken 16060																						
		14660	13260	11860	10460	9060	7660	6260	4860	3460	2060	660	-2740	-2140	-3540	-4940	-6340	-7740	-9140	-10540	-11940	-13340	-14740	-16140
Gemiddelde overschot breedte	-615	Drie rijstroken 19260																						
		17860	16460	15060	13660	12260	10860	9460	8060	6660	5260	3860	2460	1060	-240	-1740	-3140	-4540	-5940	-7340	-8740	-10140	-11540	-12940
Gemiddelde overschot breedte	-615	vier rijstroken 22760																						
		21360	19960	18560	17160	15760	14360	12960	11560	10160	8760	7360	5960	4560	3160	1760	360	-1040	-2440	-3840	-5240	-6640	-8040	-9440
Gemiddelde overschot breedte	-615	vijf rijstroken 26260																						
		24860	23460	22060	20660	19260	17860	16460	15060	13660	12260	10860	9460	8060	6660	5260	3860	2460	1060	-240	-1740	-3140	-4540	-5940

1450		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-4110	Twee rijstroken 16060																						
		14610	13160	11710	10260	8810	7360	5910	4460	3010	1560	110	-1340	-2790	-4240	-5690	-7140	-8590	-10040	-11490	-12940	-14390	-15840	-17290
Gemiddelde overschot breedte	-1027,5	Drie rijstroken 19260																						
		17810	16360	14910	13460	12010	10560	9110	7660	6210	4760	3310	1860	410	-1040	-2490	-3940	-5390	-6840	-8290	-9740	-11190	-12640	-14090
Gemiddelde overschot breedte	-1027,5	vier rijstroken 22760																						
		21310	19860	18410	16960	15510	14060	12610	11160	9710	8260	6810	5360	3910	2460	1010	-440	-1890	-3340	-4790	-6240	-7690	-9140	-10590
Gemiddelde overschot breedte	-1027,5	vijf rijstroken 26260																						
		24810	23360	21910	20460	19010	17560	16110	14660	13210	11760	10310	8860	7410	5960	4510	3060	1610	160	-1290	-2740	-4190	-5640	-7090

1500		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-2660	Twee rijstroken 16060																						
		14560	13060	11560	10060	8560	7060	5560	4060	2560	1060	-440	-1940	-3440	-4940	-6440	-7940	-9440	-10940	-12440	-13940	-15440	-16940	-18440
Gemiddelde overschot breedte	-665	Drie rijstroken 19260																						
		17760	16260	14760	13260	11760	10260	8760	7260	5760	4260	2760	1260	-240	-1740	-3240	-4740	-6240	-7740	-9240	-10740	-12240	-13740	-15240
Gemiddelde overschot breedte	-665	vier rijstroken 22760																						
		21260	19760	18260	16760	15260	13760	12260	10760	9260	7760	6260	4760	3260	1760	260	-1240	-2740	-4240	-5740	-7240	-8740	-10240	-11740
Gemiddelde overschot breedte	-665	vijf rijstroken 26260																						
		24760	23260	21760	20260	18760	17260	15760	14260	12760	11260	9760	8260	6760	5260	3760	2260	760	-740	-2240	-3740	-5240	-6740	-8240

1550		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-2460	Twee rijstroken 16060																						
		14510	12960	11410	9860	8310	6760	5210	3660	2110	560	-990	-2540	-4090	-5640	-7190	-8740	-10290	-11840	-13390	-14940	-16490	-18040	-19590
Gemiddelde overschot breedte	-615	Drie rijstroken 19260																						
		17710	16160	14610	13060	11510	9960	8410	6860	5310	3760	2210	660	-890	-2440	-3990	-5540	-7090	-8640	-10190	-11740	-13290	-14840	-16390
Gemiddelde overschot breedte	-615	vier rijstroken 22760																						
		21210	19660	18110	16560	15010	13460	11910	10360	8810	7260	5710	4160	2610	1060	-490	-2040	-3590	-5140	-6690	-8240	-9790	-11340	-12890
Gemiddelde overschot breedte	-615	vijf rijstroken 26260																						
		24710	23160	21610	20060	18510	16960	15410	13860	12310	10760	9210	7660	6110	4560	3010	1460	-90	-1640	-3190	-4740	-6290	-7840	-9390

1600		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-5260	Twee rijstroken 16060																						
		14460	12860	11260	9660	8060	6460	4860	3260	1660	60	-1540	-3140	-4740	-6340	-7940	-9540	-11140	-12740	-14340	-15940	-17540	-20740	
Gemiddelde overschot breedte	-1315	Drie rijstroken 19260																						
		17660	16060	14460	12860	11260	9660	8060	6460	4860	3260	1660	60	-1540	-3140	-4740	-6340	-7940	-9540	-11140	-12740	-14340	-15940	-17540
Gemiddelde overschot breedte	-1315	vier rijstroken 22760																						
		21160	19560	17960	16360	14760	13160	11560	9960	8360	6760	5160	3560	1960	360	-1240	-2840	-4440	-6040	-7640	-9240	-10840	-12440	-14040
Gemiddelde overschot breedte	-1315	vijf rijstroken 26260																						
		24660	23060	21460	19860	18260	16660	15060	13460	11860	10260	8660	7060	5460	3860	2260	660	-940	-2540	-4140	-5740	-7340	-8940	-10540

1650		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-1460	Twee rijstroken 16060																						
		14410	12760	11110	9460	7810	6160	4510	2860	1210	-440	-2090	-3740	-5390	-7040	-8690	-10340	-11990	-13640	-15290	-16940	-18590	-20240	-21890
Gemiddelde overschot breedte	-365	Drie rijstroken 19260																						
		17610	15960	14310	12660	11010	9360	7710	6060	4410	2760	1110	-540	-2190	-3840	-5490	-7140	-8790	-10440	-12090	-13740	-15390	-17040	-18690
		vier rijstroken 22760																						
		21110	19460	17810	16160	14510	12860	11210	9560	7910	6260	4610	2960	1310	-340	-1990	-3640	-5290	-6940	-8590	-10240	-11890	-13540	-15190
		vijf rijstroken 26260																						
		24610	22960	21310	19660	18010	16360	14710	13060	11410	9760	8110	6460	4810	3160	1510	-140	-1790	-3440	-5090	-6740	-8390	-10040	-11690

1700		Aantal liggers																								
Totale overschot breedte	-4060	Twee rijstroken																								
		14360	12660	10960	9260	7560	5860	4160	2460	760	-940	-2640	-4340	-6040	-7740	-9440	-11140	-12840	-14540	-16240	-17940	-19640	-21340	-23040		
		17560	15860	14160	12460	10760	9060	7360	5660	3960	2260	560	-1140	-2840	-4540	-6240	-7940	-9640	-11340	-13040	-14740	-16440	-18140	-19840		
		21060	19360	17660	15960	14260	12560	10860	9160	7460	5760	4060	2360	660	-1040	-2740	-4440	-6140	-7840	-9540	-11240	-12940	-14640	-16340		
Gemiddelde overschot breedte		-1015	24560	22860	21160	19460	17760	16060	14360	12660	10960	9260	7560	5860	4160	2460	760	-940	-2640	-4340	-6040	-7740	-9440	-11140	-12840	

1750		Aantal liggers																								
Totale overschot breedte	-6660	Twee rijstroken																								
		14310	12560	10810	9060	7310	5560	3810	2060	310	-1440	-3190	-4940	-6690	-8440	-10190	-11940	-13690	-15440	-17190	-18940	-20690	-22440	-24190		
		17510	15760	14010	12260	10510	8760	7010	5260	3510	1760	10	-1740	-3490	-5240	-6990	-8740	-10490	-12240	-13990	-15740	-17490	-19240	-20990		
		21010	19260	17510	15760	14010	12260	10510	8760	7010	5260	3510	1760	10	-1740	-3490	-5240	-6990	-8740	-10490	-12240	-13990	-15740	-17490		
Gemiddelde overschot breedte		-1665	24510	22760	21010	19260	17510	15760	14010	12260	10510	8760	7010	5260	3510	1760	10	-1740	-3490	-5240	-6990	-8740	-10490	-12240	-13990	
			26260																							

1800		Aantal liggers																							
Totale overschot breedte	-2060	Twee rijstroken																							
		14260	12460	10660	8860	7060	5260	3460	1660	160	-140	-1940	-3740	-5540	-7340	-9140	-10940	-12740	-14540	-16340	-18140	-19940	-21740	-23540	
		17460	15660	13860	12060	10260	8460	6660	4860	3060	1260	540	-2340	-4140	-5940	-7740	-9540	-11340	-13140	-14940	-16740	-18540	-20340	-22140	
		20960	19160	17360	15560	13760	11960	10160	8360	6560	4760	2960	1160	-840	-2440	-4240	-6040	-7840	-9640	-11440	-13240	-15040	-16840	-18640	
Gemiddelde overschot breedte		-515	24460	22660	20860	19060	17260	15460	13660	11860	10060	8260	6460	4660	2860	1060	-740	-2540	-4340	-6140	-7940	-9740	-11540	-13340	-15140
			26260																						

1850		Drie rijstroken																								
Totale overschot breedte	-4460	Twee rijstroken																								
		14210	12360	10510	8660	6810	4960	3110	1260	590	-590	-2440	-4290	-6140	-7990	-9840	-11690	-13540	-15390	-17240	-19090	-20940	-22790	-24640		
		17410	15560	13710	11860	10010	8160	6310	4460	2610	760	-1090	-2940	-4790	-6640	-8490	-10340	-12190	-14040	-15890	-17740	-19590	-21440	-23290		
		20910	19060	17210	15360	13510	11660	9810	7960	6110	4260	2410	560	-1290	-3140	-4990	-6840	-8690	-10540	-12390	-14240	-16090	-17940	-19790		
Gemiddelde overschot breedte		-1115	24410	22560	20710	18860	17010	15160	13310	11460	9610	7760	5910	4060	2210	360	-1490	-3340	-5190	-7040	-8890	-10740	-12590	-14440	-16290	
			26260																							

1900		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-3060	Twee rijstroken																						
		14160	12260	10360	8460	6560	4660	2760	860	-1040	-2940	-4840	-6740	-8640	-10540	-12440	-14340	-16240	-18140	-20040	-21940	-23840	-25740	
		17360	15460	13560	11660	9760	7860	5960	4060	2160	260	-1640	-3540	-5440	-7340	-9240	-11140	-13040	-14940	-16840	-18740	-20640	-22540	
		20860	18960	17060	15160	13260	11360	9460	7560	5660	3760	1860	-40	-1940	-3840	-5740	-7640	-9540	-11440	-13340	-15240	-17140	-19040	
Gemiddelde overschot breedte	-765	vier rijstroken																						
		20860	18960	17060	15160	13260	11360	9460	7560	5660	3760	1860	-40	-1940	-3840	-5740	-7640	-9540	-11440	-13340	-15240	-17140	-19040	
		vijf rijstroken																						
		24360	22460	20560	18660	16760	14860	12960	11060	9160	7260	5360	3460	1560	-340	-2240	-4140	-6040	-7940	-9840	-11740	-13640	-15540	-17440

1950		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-3410	Twee rijstroken																						
		14110	12160	10210	8260	6310	4360	2410	460	-1490	-3440	-5390	-7340	-9290	-11240	-13190	-15140	-17090	-19040	-20990	-22940	-24890	-26840	-28790
		17310	15360	13410	11460	9510	7560	5610	3660	1710	-240	-2190	-4140	-6090	-8040	-9990	-11940	-13890	-15840	-17790	-19740	-21690	-23640	-25590
		20810	18860	16910	14960	13010	11060	9110	7160	5210	3260	1310	-640	-2590	-4540	-6490	-8440	-10390	-12340	-14290	-16240	-18190	-20140	-22090
Gemiddelde overschot breedte	-852,5	vijf rijstroken																						
		24310	22360	20410	18460	16510	14560	12610	10660	8710	6760	4810	2860	910	-1040	-2990	-4940	-6890	-8840	-10790	-12740	-14690	-16640	-18590

2000		Aantal liggers																						
Totale overschot breedte	-5660	14060	12060	10060	8060	6060	4060	2060	60	-1940	-3940	-5940	-7940	-9940	-11940	-13940	-15940	-17940	-19940	-21940	-23940	-25940	-27940	-29940
		17260	15260	13260	11260	9260	7260	5260	3260	1260	-740	-2740	-4740	-6740	-8740	-10740	-12740	-14740	-16740	-18740	-20740	-22740	-24740	-26740
		20760	18760	16760	14760	12760	10760	8760	6760	4760	2760	760	-1240	-3240	-5240	-7240	-9240	-11240	-13240	-15240	-17240	-19240	-21240	-23240
		24260	22260	20260	18260	16260	14260	12260	10260	8260	6260	4260	2260	260	-1740	-3740	-5740	-7740	-9740	-11740	-13740	-15740	-17740	-19740
Gemiddelde overschot breedte	-1415																							

Tabel 11-16: Overtollige viaductbreedte bij toepassing van prefab liggers met een standaard werkende breedtemaat

Bijlage I. Kruisingshoek

Wegen kruisen elkaar onder een zekere hoek. Hoewel een aanzienlijk deel van de wegen elkaar loodrecht kruisen (dit resulteert in relatief eenvoudige en goedkope viaducten), komt het in veel gevallen voor dat dit niet zo is. In deze bijlage worden de mogelijkheden besproken voor toepassing van een niet-loodrechte kruisingshoek bij viaducten en de kwantitatieve gevolgen van deze oplossingen.

I.1 – Mogelijkheden toepassing viaduct onder niet-loodrechte kruisingshoek

Indien viaducten een niet-loodrechte kruisingshoek kennen heeft dit gevolgen voor de vormgeving en constructieve eigenschappen van het viaduct. Er vallen drie methoden te onderscheiden waarmee een niet-loodrechte kruisingshoek mogelijk wordt:

1. De bovenliggende weg kruist scheef over het viaduct.
2. De liggers maken een hoek met de steunpunten. De steunpunten staan evenwijdig aan de onderliggende weg.
3. Het gehele viaduct inclusief steunpunten maakt een hoek met de onderliggende weg.

De kenmerken van de verschillende methoden zullen hieronder worden behandeld.

1. De bovenliggende weg kruist scheef over het viaduct

Bij deze methode wordt de overspanning loodrecht op de onderliggende weg gebouwd. Daarmee ontstaan zo kort mogelijke overspanningen waarbij het dek licht gedimensioneerd kan worden (zie Figuur 11-43). Gezien de weg scheef over het viaduct kruist betekent dit echter wel dat 'verloren ruimte' ontstaat. Daarmee is deze oplossing voornamelijk rendabel bij kleine kruisingshoeken. Hoewel dan veel verloren ruimte ontstaat, kan veel materiaal bespaard worden door het drastisch beperken van de overspanningslengte. Daarnaast ontstaat een gunstige krachtswerking.



Figuur 11-43: Viaduct met een scheef kruisende weg over het viaduct (A15 t.h.v. afrit 19 – Rotterdam-Charlois) (Google Maps, 2022)

2. De liggers maken een hoek met de steunpunten. De steunpunten staan evenwijdig aan de onderliggende weg

Bij deze situatie geldt dat enkel het dek – en niet de steunpunten – roteren met het wisselen van de kruisingshoek. De steunpunten transleren in de lengterichting van de weg om het dek – dat de weg scheef overspant – op de juiste plek op te vangen. De overspanning neemt toe naarmate de kruisingshoek toeneemt (zie ook Figuur 3-7). Hoewel de overspanning toeneemt, wordt deze toename geminimaliseerd door enkel de liggers mee te draaien en niet het steunpunt. Dit betekent wel dat de liggerkoppen afgeschuind dienen te zijn om de voegconstructie aan te kunnen brengen.

Indien dwarsvoerspanning wordt toegepast dient rekening te worden gehouden dat sparringen in de liggers op elkaar aansluiten.



Figuur 11-42: Viaduct met een kruisingshoek met evenwijdige steunpunten aan de onderliggende weg (A28 t.p.v. Kolonel H.L. van Roijenweg) (Google Maps, 2022)

3. Het gehele viaduct inclusief steunpunten maakt een hoek met de onderliggende weg

In deze situatie roteert het hele viaduct (inclusief steunpunten) met het wisselen van de kruisingshoek. Daarmee is het constructieve ontwerp exact gelijk aan een viaduct met een loodrechte kruisingshoek. Echter, de benodigde overspanning wordt groter naarmate de kruisingshoek kleiner wordt, omdat de afstand tussen de steunpunten steeds groter wordt om aan de eisen van het dwarsprofiel van de onderliggende situatie te voldoen. Daarmee is het gevolg dat de overspanningslengte toeneemt. Deze toename is recht evenredig met de overspanningslengte en de breedte van het viaduct.

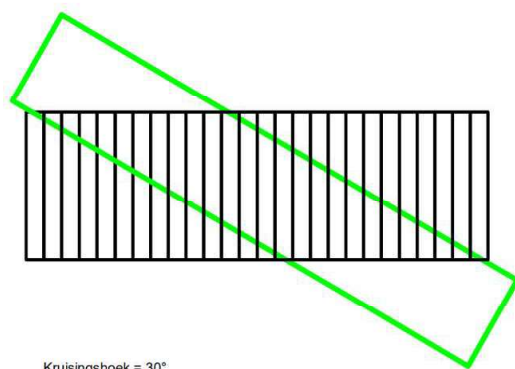
Een tweede aspect waar rekening mee gehouden dient te worden, is het gevolg voor de breedte van de middenberm. Indien een tussensteunpunt wordt toegepast neemt de benodigde breedte van de berm toe naarmate de kruisingshoek afneemt. Deze toename is recht evenredig met de viaductbreedte en onafhankelijk van de overspanningslengte.

I.2 – Effect van een niet-loodrechte kruisingshoek op de overspanning

Het effect van het toepassen van een niet-loodrechte kruisingshoek op de overspanning is afhankelijk van het ontwerp van het viaduct. Per methode, beschreven in bijlage I.1, worden de effecten beschreven.

1. De bovenliggende weg kruist scheef over het viaduct

Bij deze situatie geldt dat de overspanningslengte gelijk blijft, ongeacht de kruisingshoek. De breedte van het viaduct neemt echter toe met het afnemen van de kruisingshoek; dit leidt tot extra liggers zoals te zien is in *Figuur 11-44*. In de onderstaande tabellen is deze extra benodigde breedte weergegeven.



Figuur 11-44: Extra benodigde liggers, veroorzaakt door de kruisingshoek

Extra benodigde breedte van een viaduct waarbij de bovenliggende weg schuin over het viaduct kruist (in meters)																					
		Lengte overspanning in meters																			
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
Kruisingshoek in graden	89°	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,17	0,19	0,21	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30	0,31	0,33	0,35
	88°	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,21	0,24	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,45	0,49	0,52	0,56	0,59	0,63	0,66	0,70
	87°	0,05	0,10	0,16	0,21	0,26	0,31	0,37	0,42	0,47	0,52	0,58	0,63	0,68	0,73	0,79	0,84	0,89	0,94	1,00	1,05
	86°	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63	0,70	0,77	0,84	0,91	0,98	1,05	1,12	1,19	1,26	1,33	1,40
	85°	0,09	0,17	0,26	0,35	0,44	0,52	0,61	0,70	0,79	0,87	0,96	1,05	1,14	1,22	1,31	1,40	1,49	1,57	1,66	1,75
	84°	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53	0,63	0,74	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,37	1,47	1,58	1,68	1,79	1,89	2,00	2,10
	83°	0,12	0,25	0,37	0,49	0,61	0,74	0,86	0,98	1,11	1,23	1,35	1,47	1,60	1,72	1,84	1,96	2,09	2,21	2,33	2,46
	82°	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12	1,26	1,41	1,55	1,69	1,83	1,97	2,11	2,25	2,39	2,53	2,67	2,81
	81°	0,16	0,32	0,48	0,63	0,79	0,95	1,11	1,27	1,43	1,58	1,74	1,90	2,06	2,22	2,38	2,53	2,69	2,85	3,01	3,17
	80°	0,18	0,35	0,53	0,71	0,88	1,06	1,23	1,41	1,59	1,76	1,94	2,12	2,29	2,47	2,64	2,82	3,00	3,17	3,35	3,53
	75°	0,27	0,54	0,80	1,07	1,34	1,61	1,88	2,14	2,41	2,68	2,95	3,22	3,48	3,75	4,02	4,29	4,56	4,82	5,09	5,36
	70°	0,36	0,73	1,09	1,46	1,82	2,18	2,55	2,91	3,28	3,64	4,00	4,37	4,73	5,10	5,46	5,82	6,19	6,55	6,92	7,28
65°	0,47	0,93	1,40	1,87	2,33	2,80	3,26	3,73	4,20	4,66	5,13	5,60	6,06	6,53	6,99	7,46	7,93	8,39	8,86	9,33	

	60°	0,58	1,15	1,73	2,31	2,89	3,46	4,04	4,62	5,20	5,77	6,35	6,93	7,51	8,08	8,66	9,24	9,81	10,39	10,97	11,55
	55°	0,70	1,40	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	7,70	8,40	9,10	9,80	10,50	11,20	11,90	12,60	13,30	14,00
	50°	0,84	1,68	2,52	3,36	4,20	5,03	5,87	6,71	7,55	8,39	9,23	10,07	10,91	11,75	12,59	13,43	14,26	15,10	15,94	16,78
	45°	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
	40°	1,19	2,38	3,58	4,77	5,96	7,15	8,34	9,53	10,73	11,92	13,11	14,30	15,49	16,68	17,88	19,07	20,26	21,45	22,64	23,84
	35°	1,43	2,86	4,28	5,71	7,14	8,57	10,00	11,43	12,85	14,28	15,71	17,14	18,57	19,99	21,42	22,85	24,28	25,71	27,13	28,56
	30°	1,73	3,46	5,20	6,93	8,66	10,39	12,12	13,86	15,59	17,32	19,05	20,78	22,52	24,25	25,98	27,71	29,44	31,18	32,91	34,64

Extra benodigde breedte van een viaduct waarbij de bovenliggende weg schuin over het viaduct kruist (in meters)																					
		Lengte overspanning in meters																			
		21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	32,00	33,00	34,00	35,00	36,00	37,00	38,00	39,00	40,00
Kruisingshoek in graden	89°	0,37	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70
	88°	0,73	0,77	0,80	0,84	0,87	0,91	0,94	0,98	1,01	1,05	1,08	1,12	1,15	1,19	1,22	1,26	1,29	1,33	1,36	1,40
	87°	1,10	1,15	1,21	1,26	1,31	1,36	1,42	1,47	1,52	1,57	1,62	1,68	1,73	1,78	1,83	1,89	1,94	1,99	2,04	2,10
	86°	1,47	1,54	1,61	1,68	1,75	1,82	1,89	1,96	2,03	2,10	2,17	2,24	2,31	2,38	2,45	2,52	2,59	2,66	2,73	2,80
	85°	1,84	1,92	2,01	2,10	2,19	2,27	2,36	2,45	2,54	2,62	2,71	2,80	2,89	2,97	3,06	3,15	3,24	3,32	3,41	3,50
	84°	2,21	2,31	2,42	2,52	2,63	2,73	2,84	2,94	3,05	3,15	3,26	3,36	3,47	3,57	3,68	3,78	3,89	3,99	4,10	4,20
	83°	2,58	2,70	2,82	2,95	3,07	3,19	3,32	3,44	3,56	3,68	3,81	3,93	4,05	4,17	4,30	4,42	4,54	4,67	4,79	4,91
	82°	2,95	3,09	3,23	3,37	3,51	3,65	3,79	3,94	4,08	4,22	4,36	4,50	4,64	4,78	4,92	5,06	5,20	5,34	5,48	5,62
	81°	3,33	3,48	3,64	3,80	3,96	4,12	4,28	4,43	4,59	4,75	4,91	5,07	5,23	5,39	5,54	5,70	5,86	6,02	6,18	6,34
	80°	3,70	3,88	4,06	4,23	4,41	4,58	4,76	4,94	5,11	5,29	5,47	5,64	5,82	6,00	6,17	6,35	6,52	6,70	6,88	7,05
	75°	5,63	5,89	6,16	6,43	6,70	6,97	7,23	7,50	7,77	8,04	8,31	8,57	8,84	9,11	9,38	9,65	9,91	10,18	10,45	10,72
	70°	7,64	8,01	8,37	8,74	9,10	9,46	9,83	10,19	10,56	10,92	11,28	11,65	12,01	12,37	12,74	13,10	13,47	13,83	14,19	14,56
	65°	9,79	10,26	10,73	11,19	11,66	12,12	12,59	13,06	13,52	13,99	14,46	14,92	15,39	15,85	16,32	16,79	17,25	17,72	18,19	18,65
	60°	12,12	12,70	13,28	13,86	14,43	15,01	15,59	16,17	16,74	17,32	17,90	18,48	19,05	19,63	20,21	20,78	21,36	21,94	22,52	23,09
	55°	14,70	15,40	16,10	16,80	17,51	18,21	18,91	19,61	20,31	21,01	21,71	22,41	23,11	23,81	24,51	25,21	25,91	26,61	27,31	28,01
	50°	17,62	18,46	19,30	20,14	20,98	21,82	22,66	23,49	24,33	25,17	26,01	26,85	27,69	28,53	29,37	30,21	31,05	31,89	32,72	33,56
	45°	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	32,00	33,00	34,00	35,00	36,00	37,00	38,00	39,00	40,00
	40°	25,03	26,22	27,41	28,60	29,79	30,99	32,18	33,37	34,56	35,75	36,94	38,14	39,33	40,52	41,71	42,90	44,09	45,29	46,48	47,67
	35°	29,99	31,42	32,85	34,28	35,70	37,13	38,56	39,99	41,42	42,84	44,27	45,70	47,13	48,56	49,99	51,41	52,84	54,27	55,70	57,13
	30°	36,37	38,11	39,84	41,57	43,30	45,03	46,77	48,50	50,23	51,96	53,69	55,43	57,16	58,89	60,62	62,35	64,09	65,82	67,55	69,28

Tabel 11-17: Effect extra benodigde viaductbreedte bij een weg die niet loodrecht kruist over het viaduct

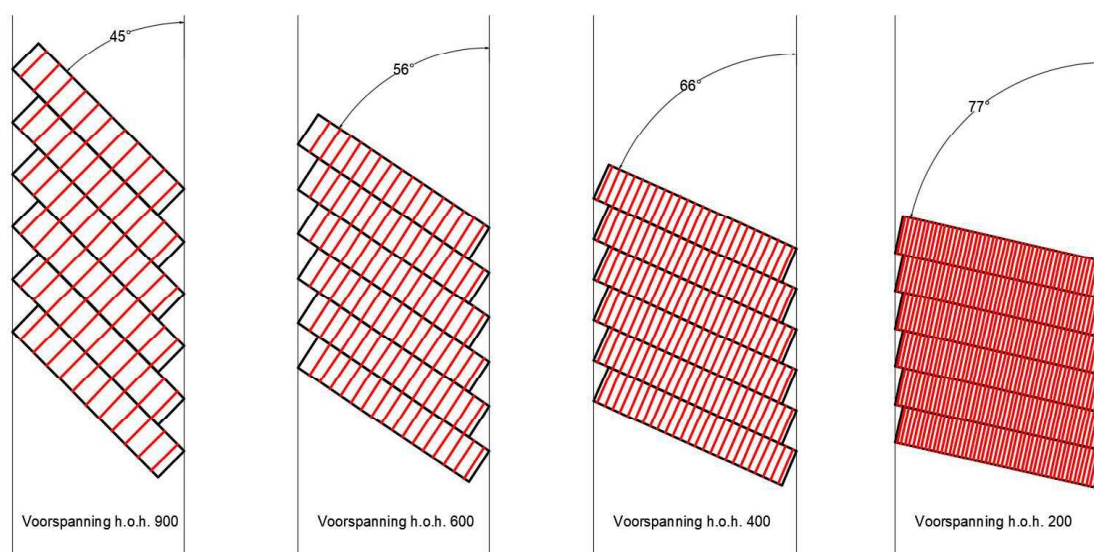
2. De liggers maken een hoek met de steunpunten. De steunpunten staan evenwijdig aan de onderliggende weg

Bij deze methode geldt dat de liggers een hoek met de steunpunten maken. Aangezien de voegconstructie in één lijn over de breedte van het viaduct dient te worden aangebracht betekent dit dat de liggerkoppen een afschuining kennen. De liggerlengte neemt toe bij een afnemende kruisingshoek.

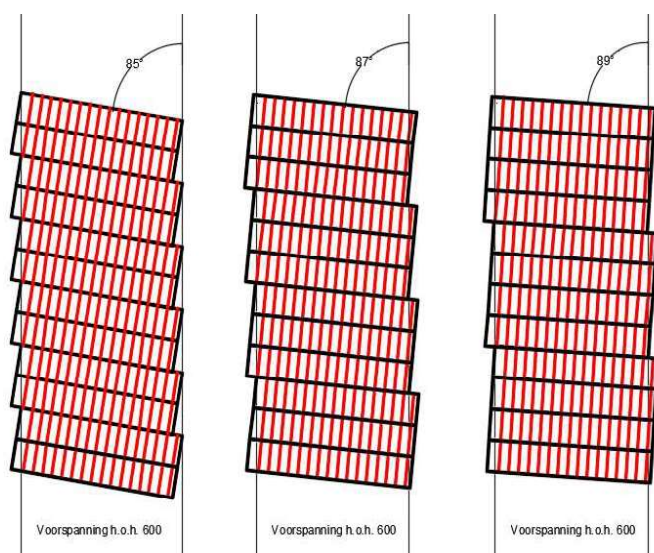
Indien voorkomen kan worden dat de liggerkoppen afgeschuind hoeven te worden kunnen liggers worden toegepast met een gelijke uitwendige vormgeving als bij loodrechte kruisingshoeken. Hiertoe dienen de liggers ten opzichte van elkaar te verspringen om op de juiste locatie op het steunpunt uit te komen over de gehele breedte van het viaduct. Deze verspringing betekent dat

slechts een beperkt aantal kruisingshoeken toegepast kan worden. Dit wordt veroorzaakt door de benodigde dwarsvoorspanning. Deze wordt aangebracht in sparingen in de ligger. Het aanbrengen van de dwarsvoorspanning is enkel mogelijk indien de sparingen in één lijn liggen. Daardoor ontstaat een vaste verspringingsmaat die bepaald wordt door de hart op hart afstand tussen de sparingen. Tegenwoordig bevinden deze sparingen zich vaak 600 mm¹ hart op hart. Kleinere hart op hart maten lijken niet goed toepasbaar omwille constructieve- en uitvoeringsredenen. Het aantal toepasbare kruisingshoeken kan worden vergroot door niet elke ligger te laten verspringen, maar door meerdere liggers naast elkaar te leggen voordat een verspringing plaatsvindt. Dit heeft echter wel tot gevolg dat het steunpunt breder dient te worden.

De verscheidene mogelijkheden om niet-loodrechte kruisingshoeken toe te passen zijn weergegeven in *Figuur 11-45* tot en met *Figuur 11-46*. Ter indicatie is hierin ook opgenomen wat de gevolgen zijn van het toepassen van andere hart op hart maten van de sparingen. De constructieve mogelijkheden worden daarbij buiten beschouwing gelaten.



Figuur 11-47: Mogelijke kruisingshoeken (voorspanning met twee verspringingen)

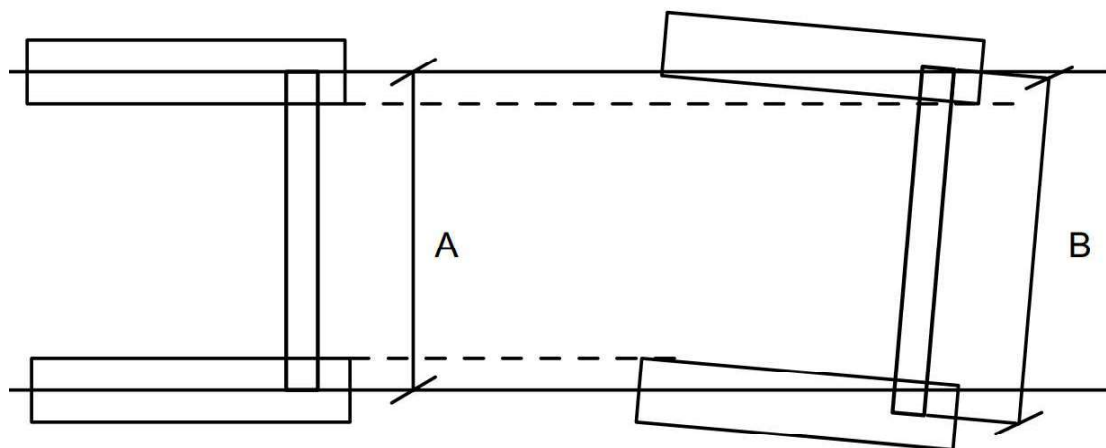


Figuur 11-46: Verspringing per twee, drie en vier liggers

De extra benodigde liggerlengte is afhankelijk van de loodrechte overspanningslengte, de kruisingshoek en de verspringingsmaat. De verspringingsmaat is de breedte van een deel van het dek, voordat een verspringing plaatsvindt. De extra benodigde liggerlengte kan afgelezen worden in *Tabel 11-18* tot en met *TABEL 11-43*.

3. Het gehele viaduct inclusief steunpunten maakt een hoek met de onderliggende weg

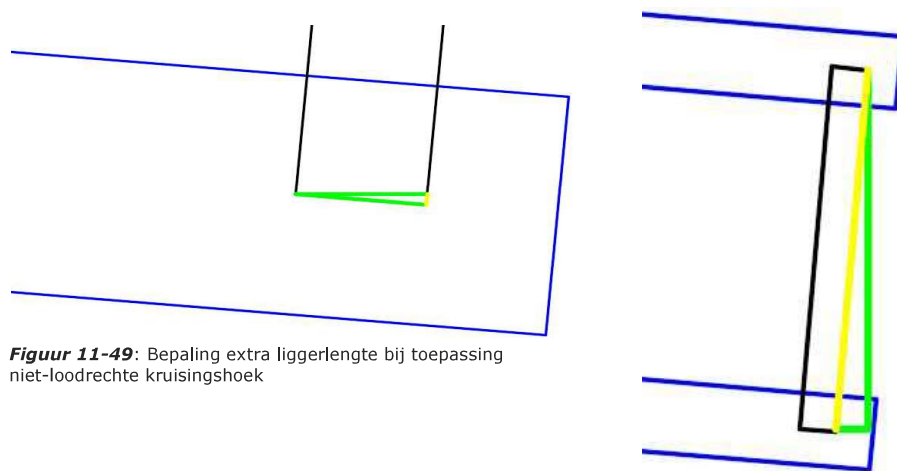
In *FIGUUR-11-48* is schematisch weergegeven wat de gevolgen zijn van het toepassen van een niet-loodrechte kruisingshoek. In de situatie met een loodrechte kruisingshoek is de benodigde liggerlengte A. Indien de constructie verdraaid is het van belang dat het dwarsprofiel van de onderliggende weg en berm even breed blijft. Hierdoor neemt de afstand tussen de steunpunten toe. Dit resulteert in de langere liggerlengte B.



Figuur-11-48: Model extra liggerlengte veroorzaakt door verdraaid kunstwerk ten gevolge van een niet-loodrechte kruisingshoek

Indien de kruisingshoek niet loodrecht is, kan de nieuwe liggerlengte bepaald worden middels de geometrie, weergegeven in *Figuur 11-49*. Dit resulteert in de onderstaande formule.

Lengte ligger = loodrechte overspanningslengte / $\cos(90 - \text{kruisingshoek})$ + $\tan(90 - \text{kruisingshoek}) * \text{liggerbreedte}$



Figuur 11-49: Bepaling extra liggerlengte bij toepassing niet-loodrechte kruisingshoek

De extra benodigde liggerlengte is afhankelijk van de kruisingshoek en de loodrechte overspanningslengte. De extra benodigde liggerlengte kan afgelezen worden in *Tabel 11-18* tot en met *TABEL 11-43*.

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 11,5 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	11,53	11,56	11,59	11,62	11,65	11,69	11,72	11,75	11,78	11,81	11,84	11,87	11,90	11,93	11,96	11,99	12,02	12,05	12,08	12,11	12,14	12,17	12,20
	88°	11,57	11,63	11,69	11,75	11,81	11,87	11,93	12,00	12,06	12,12	12,18	12,24	12,30	12,36	12,42	12,48	12,55	12,61	12,67	12,73	12,79	12,85	12,91
	87°	11,61	11,70	11,79	11,88	11,97	12,07	12,16	12,25	12,34	12,43	12,52	12,62	12,71	12,80	12,89	12,98	13,07	13,17	13,26	13,35	13,44	13,53	13,63
	86°	11,65	11,77	11,90	12,02	12,14	12,26	12,38	12,51	12,63	12,75	12,87	13,00	13,12	13,24	13,36	13,49	13,61	13,73	13,85	13,98	14,10	14,22	14,34
	85°	11,70	11,85	12,00	12,16	12,31	12,46	12,62	12,77	12,92	13,07	13,23	13,38	13,53	13,69	13,84	13,99	14,15	14,30	14,45	14,61	14,76	14,91	15,07
	84°	11,75	11,93	12,12	12,30	12,48	12,67	12,85	13,03	13,22	13,40	13,59	13,77	13,95	14,14	14,32	14,51	14,69	14,87	15,06	15,24	15,43	15,61	15,79
	83°	11,80	12,02	12,23	12,45	12,66	12,88	13,09	13,31	13,52	13,74	13,95	14,16	14,38	14,59	14,81	15,02	15,24	15,45	15,67	15,88	16,10	16,31	16,53
	82°	11,86	12,10	12,35	12,60	12,84	13,09	13,33	13,58	13,83	14,07	14,32	14,56	14,81	15,06	15,30	15,55	15,79	16,04	16,29	16,53	16,78	17,02	17,27
	81°	11,92	12,20	12,47	12,75	13,03	13,31	13,58	13,86	14,14	14,42	14,69	14,97	15,25	15,52	15,80	16,08	16,36	16,63	16,91	17,19	17,46	17,74	18,02
	80°	11,99	12,29	12,60	12,91	13,22	13,53	13,84	14,15	14,45	14,76	15,07	15,38	15,69	16,00	16,31	16,61	16,92	17,23	17,54	17,85	18,16	18,47	18,77
	75°	12,37	12,84	13,31	13,78	14,25	14,72	15,19	15,66	16,13	16,59	17,06	17,53	18,00	18,47	18,94	19,41	19,88	20,35	20,81	21,28	21,75	22,22	22,69
	70°	12,87	13,51	14,15	14,79	15,42	16,06	16,70	17,33	17,97	18,61	19,24	19,88	20,52	21,16	21,79	22,43	23,07	23,70	24,34	24,98	25,61	26,25	26,89
	65°	13,50	14,32	15,14	15,95	16,77	17,59	18,40	19,22	20,03	20,85	21,67	22,48	23,30	24,11	24,93	25,75	26,56	27,38	28,19	29,01	29,83	30,64	31,46
	60°	14,29	15,30	16,31	17,32	18,33	19,34	20,35	21,36	22,37	23,38	24,39	25,40	26,41	27,42	28,43	29,44	30,46	31,47	32,48	33,49	34,50	35,51	36,52
	55°	15,26	16,49	17,71	18,94	20,17	21,39	22,62	23,84	25,07	26,29	27,52	28,74	29,97	31,19	32,42	33,64	34,87	36,10	37,32	38,55	39,77	41,00	42,22
	50°	16,48	17,95	19,42	20,89	22,35	23,82	25,29	26,76	28,23	29,70	31,16	32,63	34,10	35,57	37,04	38,51	39,98	41,44	42,91	44,38	45,85	47,32	48,79
45°	18,01	19,76	21,51	23,26	25,01	26,76	28,51	30,26	32,01	33,76	35,51	37,26	39,01	40,76	42,51	44,26	46,01	47,76	49,51	51,26	53,01	54,76	56,51	
40°	19,98	22,06	24,15	26,23	28,32	30,40	32,49	34,58	36,66	38,75	40,83	42,92	45,00	47,09	49,17	51,26	53,35	55,43	57,52	59,60	61,69	63,77	65,86	
35°	22,55	25,05	27,55	30,05	32,55	35,05	37,54	40,04	42,54	45,04	47,54	50,04	52,54	55,04	57,54	60,04	62,54	65,04	67,54	70,03	72,53	75,03	77,53	
30°	26,03	29,06	32,09	35,12	38,16	41,19	44,22	47,25	50,28	53,31	56,34	59,37	62,40	65,44	68,47	71,50	74,53	77,56	80,59	83,62	86,65	89,68	92,72	

Tabel 11-18: EFFECT LIGGERLENGTE LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 11,5 m¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 11,5 meter)																									
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																									
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70	
	88°	0,07	0,13	0,19	0,25	0,31	0,37	0,43	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80	0,86	0,92	0,98	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,41	
	87°	0,11	0,20	0,29	0,38	0,47	0,57	0,66	0,75	0,84	0,93	1,02	1,12	1,21	1,30	1,39	1,48	1,57	1,67	1,76	1,85	1,94	2,03	2,13	
	86°	0,15	0,27	0,40	0,52	0,64	0,76	0,88	1,01	1,13	1,25	1,37	1,50	1,62	1,74	1,86	1,99	2,11	2,23	2,35	2,48	2,60	2,72	2,84	
	85°	0,20	0,35	0,50	0,66	0,81	0,96	1,12	1,27	1,42	1,57	1,73	1,88	2,03	2,19	2,34	2,49	2,65	2,80	2,95	3,11	3,26	3,41	3,57	
	84°	0,25	0,43	0,62	0,80	0,98	1,17	1,35	1,53	1,72	1,90	2,09	2,27	2,45	2,64	2,82	3,01	3,19	3,37	3,56	3,74	3,93	4,11	4,29	
	83°	0,30	0,52	0,73	0,95	1,16	1,38	1,59	1,81	2,02	2,24	2,45	2,66	2,88	3,09	3,31	3,52	3,74	3,95	4,17	4,38	4,60	4,81	5,03	
	82°	0,36	0,60	0,85	1,10	1,34	1,59	1,83	2,08	2,33	2,57	2,82	3,06	3,31	3,56	3,80	4,05	4,29	4,54	4,79	5,03	5,28	5,52	5,77	
	81°	0,42	0,70	0,97	1,25	1,53	1,81	2,08	2,36	2,64	2,92	3,19	3,47	3,75	4,02	4,30	4,58	4,86	5,13	5,41	5,69	5,96	6,24	6,52	
	80°	0,49	0,79	1,10	1,41	1,72	2,03	2,34	2,65	2,95	3,26	3,57	3,88	4,19	4,50	4,81	5,11	5,42	5,73	6,04	6,35	6,66	6,97	7,27	
	75°	0,87	1,34	1,81	2,28	2,75	3,22	3,69	4,16	4,63	5,09	5,56	6,03	6,50	6,97	7,44	7,91	8,38	8,85	9,31	9,78	10,25	10,72	11,19	
	70°	1,37	2,01	2,65	3,29	3,92	4,56	5,20	5,83	6,47	7,11	7,74	8,38	9,02	9,66	10,29	10,93	11,57	12,20	12,84	13,48	14,11	14,75	15,39	
	65°	2,00	2,82	3,64	4,45	5,27	6,09	6,90	7,72	8,53	9,35	10,17	10,98	11,80	12,61	13,43	14,25	15,06	15,88	16,69	17,51	18,33	19,14	19,96	
	60°	2,79	3,80	4,81	5,82	6,83	7,84	8,85	9,86	10,87	11,88	12,89	13,90	14,91	15,92	16,93	17,94	18,96	19,97	20,98	21,99	23,00	24,01	25,02	
	55°	3,76	4,99	6,21	7,44	8,67	9,89	11,12	12,34	13,57	14,79	16,02	17,24	18,47	19,69	20,92	22,14	23,37	24,60	25,82	27,05	28,27	29,50	30,72	
	50°	4,98	6,45	7,92	9,39	10,85	12,32	13,79	15,26	16,73	18,20	19,66	21,13	22,60	24,07	25,54	27,01	28,48	29,94	31,41	32,88	34,35	35,82	37,29	
45°	6,51	8,26	10,01	11,76	13,51	15,26	17,01	18,76	20,51	22,26	24,01	25,76	27,51	29,26	31,01	32,76	34,51	36,26	38,01	39,76	41,51	43,26	45,01		
40°	8,48	10,56	12,65	14,73	16,82	18,90	20,99	23,08	25,16	27,25	29,33	31,42	33,50	35,59	37,67	39,76	41,85	43,93	46,02	48,10	50,19	52,27	54,36		
35°	11,05	13,55	16,05	18,55	21,05	23,55	26,04	28,54	31,04	33,54	36,04	38,54	41,04	43,54	46,04	48,54	51,04	53,54	56,04	58,53	61,03	63,53	66,03		
30°	14,53	17,56	20,59	23,62	26,66	29,69	32,72	35,75	38,78	41,81	44,84	47,87	50,90	53,94	56,97	60,00	63,03	66,06	69,09	72,12	75,15	78,18	81,22		

TABEL 11-19: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 11,5 M¹

		Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 13,2 meter)																			
		Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																			
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00
Kruisingshoek in graden	89°	13,23	13,26	13,29	13,32	13,35	13,39	13,42	13,45	13,48	13,51	13,54	13,57	13,60	13,63	13,66	13,69	13,72	13,75	13,78	13,81
	88°	13,27	13,33	13,39	13,45	13,51	13,57	13,64	13,70	13,76	13,82	13,88	13,94	14,00	14,06	14,12	14,19	14,25	14,31	14,37	14,43
	87°	13,31	13,40	13,49	13,58	13,68	13,77	13,86	13,95	14,04	14,14	14,23	14,32	14,41	14,50	14,59	14,69	14,78	14,87	14,96	15,05
	86°	13,35	13,48	13,60	13,72	13,84	13,97	14,09	14,21	14,33	14,46	14,58	14,70	14,82	14,95	15,07	15,19	15,31	15,43	15,56	15,68
	85°	13,40	13,56	13,71	13,86	14,02	14,17	14,32	14,48	14,63	14,78	14,93	15,09	15,24	15,39	15,55	15,70	15,85	16,01	16,16	16,31
	84°	13,46	13,64	13,82	14,01	14,19	14,38	14,56	14,74	14,93	15,11	15,30	15,48	15,66	15,85	16,03	16,22	16,40	16,58	16,77	16,95
	83°	13,51	13,73	13,94	14,16	14,37	14,59	14,80	15,02	15,23	15,45	15,66	15,88	16,09	16,31	16,52	16,74	16,95	17,17	17,38	17,60
	82°	13,58	13,82	14,07	14,31	14,56	14,81	15,05	15,30	15,54	15,79	16,04	16,28	16,53	16,77	17,02	17,26	17,51	17,76	18,00	18,25
	81°	13,64	13,92	14,20	14,47	14,75	15,03	15,30	15,58	15,86	16,14	16,41	16,69	16,97	17,24	17,52	17,80	18,08	18,35	18,63	18,91
	80°	13,71	14,02	14,33	14,64	14,95	15,26	15,56	15,87	16,18	16,49	16,80	17,11	17,42	17,72	18,03	18,34	18,65	18,96	19,27	19,58
	75°	14,13	14,60	15,07	15,54	16,01	16,48	16,95	17,42	17,89	18,35	18,82	19,29	19,76	20,23	20,70	21,17	21,64	22,11	22,57	23,04
	70°	14,68	15,32	15,96	16,59	17,23	17,87	18,51	19,14	19,78	20,42	21,05	21,69	22,33	22,96	23,60	24,24	24,88	25,51	26,15	26,79
	65°	15,38	16,20	17,01	17,83	18,64	19,46	20,28	21,09	21,91	22,72	23,54	24,36	25,17	25,99	26,81	27,62	28,44	29,25	30,07	30,89
Kruisingshoek in graden	60°	16,25	17,26	18,27	19,28	20,29	21,30	22,31	23,32	24,34	25,35	26,36	27,37	28,38	29,39	30,40	31,41	32,42	33,43	34,44	35,45
	55°	17,34	18,56	19,79	21,02	22,24	23,47	24,69	25,92	27,14	28,37	29,59	30,82	32,04	33,27	34,49	35,72	36,95	38,17	39,40	40,62
	50°	18,70	20,17	21,64	23,11	24,57	26,04	27,51	28,98	30,45	31,92	33,38	34,85	36,32	37,79	39,26	40,73	42,19	43,66	45,13	46,60
	45°	20,42	22,17	23,92	25,67	27,42	29,17	30,92	32,67	34,42	36,17	37,92	39,67	41,42	43,17	44,92	46,67	48,42	50,17	51,92	53,67
	40°	22,62	24,71	26,79	28,88	30,96	33,05	35,13	37,22	39,31	41,39	43,48	45,56	47,65	49,73	51,82	53,90	55,99	58,08	60,16	62,25
	35°	25,51	28,01	30,51	33,01	35,51	38,01	40,51	43,01	45,51	48,01	50,51	53,00	55,50	58,00	60,50	63,00	65,50	68,00	70,50	73,00
	30°	29,43	32,46	35,49	38,52	41,56	44,59	47,62	50,65	53,68	56,71	59,74	62,77	65,80	68,84	71,87	74,90	77,93	80,96	83,99	87,02

Tabel 11-20: : EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDEERDE LIGGERS VAN 13,2 m¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 13,2 meter)																									
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																									
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70	
	88°	0,07	0,13	0,19	0,25	0,31	0,37	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80	0,86	0,92	0,99	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,41	
	87°	0,11	0,20	0,29	0,38	0,48	0,57	0,66	0,75	0,84	0,94	1,03	1,12	1,21	1,30	1,39	1,49	1,58	1,67	1,76	1,85	1,94	2,04	2,13	
	86°	0,15	0,28	0,40	0,52	0,64	0,77	0,89	1,01	1,13	1,26	1,38	1,50	1,62	1,75	1,87	1,99	2,11	2,23	2,36	2,48	2,60	2,72	2,85	
	85°	0,20	0,36	0,51	0,66	0,82	0,97	1,12	1,28	1,43	1,58	1,73	1,89	2,04	2,19	2,35	2,50	2,65	2,81	2,96	3,11	3,27	3,42	3,57	
	84°	0,26	0,44	0,62	0,81	0,99	1,18	1,36	1,54	1,73	1,91	2,10	2,28	2,46	2,65	2,83	3,02	3,20	3,38	3,57	3,75	3,94	4,12	4,30	
	83°	0,31	0,53	0,74	0,96	1,17	1,39	1,60	1,82	2,03	2,25	2,46	2,68	2,89	3,11	3,32	3,54	3,75	3,97	4,18	4,40	4,61	4,83	5,04	
	82°	0,38	0,62	0,87	1,11	1,36	1,61	1,85	2,10	2,34	2,59	2,84	3,08	3,33	3,57	3,82	4,06	4,31	4,56	4,80	5,05	5,29	5,54	5,79	
	81°	0,44	0,72	1,00	1,27	1,55	1,83	2,10	2,38	2,66	2,94	3,21	3,49	3,77	4,04	4,32	4,60	4,88	5,15	5,43	5,71	5,99	6,26	6,54	
	80°	0,51	0,82	1,13	1,44	1,75	2,06	2,36	2,67	2,98	3,29	3,60	3,91	4,22	4,52	4,83	5,14	5,45	5,76	6,07	6,38	6,68	6,99	7,30	
	75°	0,93	1,40	1,87	2,34	2,81	3,28	3,75	4,22	4,69	5,15	5,62	6,09	6,56	7,03	7,50	7,97	8,44	8,91	9,37	9,84	10,31	10,78	11,25	
	70°	1,48	2,12	2,76	3,39	4,03	4,67	5,31	5,94	6,58	7,22	7,85	8,49	9,13	9,76	10,40	11,04	11,68	12,31	12,95	13,59	14,22	14,86	15,50	
	65°	2,18	3,00	3,81	4,63	5,44	6,26	7,08	7,89	8,71	9,52	10,34	11,16	11,97	12,79	13,61	14,42	15,24	16,05	16,87	17,69	18,50	19,32	20,13	
	60°	3,05	4,06	5,07	6,08	7,09	8,10	9,11	10,12	11,14	12,15	13,16	14,17	15,18	16,19	17,20	18,21	19,22	20,23	21,24	22,25	23,26	24,27	25,28	
	55°	4,14	5,36	6,59	7,82	9,04	10,27	11,49	12,72	13,94	15,17	16,39	17,62	18,84	20,07	21,29	22,52	23,75	24,97	26,20	27,42	28,65	29,87	31,10	
	50°	5,50	6,97	8,44	9,91	11,37	12,84	14,31	15,78	17,25	18,72	20,18	21,65	23,12	24,59	26,06	27,53	28,99	30,46	31,93	33,40	34,87	36,34	37,81	
45°	7,22	8,97	10,72	12,47	14,22	15,97	17,72	19,47	21,22	22,97	24,72	26,47	28,22	29,97	31,72	33,47	35,22	36,97	38,72	40,47	42,22	43,97	45,72		
40°	9,42	11,51	13,59	15,68	17,76	19,85	21,93	24,02	26,11	28,19	30,28	32,36	34,45	36,53	38,62	40,70	42,79	44,88	46,96	49,05	51,13	53,22	55,30		
35°	12,31	14,81	17,31	19,81	22,31	24,81	27,31	29,81	32,31	34,81	37,31	39,80	42,30	44,80	47,30	49,80	52,30	54,80	57,30	59,80	62,30	64,80	67,30		
30°	16,23	19,26	22,29	25,32	28,36	31,39	34,42	37,45	40,48	43,51	46,54	49,57	52,60	55,64	58,67	61,70	64,73	67,76	70,79	73,82	76,85	79,88	82,92		

TABEL 11-21: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 13,2 M¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 15 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	15,03	15,06	15,09	15,12	15,16	15,19	15,22	15,25	15,28	15,31	15,34	15,37	15,40	15,43	15,46	15,49	15,52	15,55	15,58	15,61	15,64	15,67	15,70
	88°	15,07	15,13	15,19	15,25	15,31	15,38	15,44	15,50	15,56	15,62	15,68	15,74	15,80	15,86	15,93	15,99	16,05	16,11	16,17	16,23	16,29	16,35	16,41
	87°	15,11	15,20	15,30	15,39	15,48	15,57	15,66	15,75	15,85	15,94	16,03	16,12	16,21	16,30	16,40	16,49	16,58	16,67	16,76	16,85	16,95	17,04	17,13
	86°	15,16	15,28	15,40	15,53	15,65	15,77	15,89	16,02	16,14	16,26	16,38	16,51	16,63	16,75	16,87	16,99	17,12	17,24	17,36	17,48	17,61	17,73	17,85
	85°	15,21	15,36	15,52	15,67	15,82	15,98	16,13	16,28	16,44	16,59	16,74	16,89	17,05	17,20	17,35	17,51	17,66	17,81	17,97	18,12	18,27	18,43	18,58
	84°	15,27	15,45	15,63	15,82	16,00	16,19	16,37	16,55	16,74	16,92	17,11	17,29	17,47	17,66	17,84	18,03	18,21	18,39	18,58	18,76	18,95	19,13	19,31
	83°	15,33	15,54	15,76	15,97	16,19	16,40	16,62	16,83	17,05	17,26	17,48	17,69	17,91	18,12	18,34	18,55	18,77	18,98	19,20	19,41	19,62	19,84	20,05
	82°	15,39	15,64	15,89	16,13	16,38	16,62	16,87	17,11	17,36	17,61	17,85	18,10	18,34	18,59	18,84	19,08	19,33	19,57	19,82	20,07	20,31	20,56	20,80
	81°	15,46	15,74	16,02	16,30	16,57	16,85	17,13	17,40	17,68	17,96	18,24	18,51	18,79	19,07	19,34	19,62	19,90	20,18	20,45	20,73	21,01	21,28	21,56
	80°	15,54	15,85	16,16	16,47	16,77	17,08	17,39	17,70	18,01	18,32	18,63	18,93	19,24	19,55	19,86	20,17	20,48	20,79	21,09	21,40	21,71	22,02	22,33
	75°	16,00	16,47	16,94	17,40	17,87	18,34	18,81	19,28	19,75	20,22	20,69	21,16	21,62	22,09	22,56	23,03	23,50	23,97	24,44	24,91	25,38	25,85	26,31
	70°	16,60	17,24	17,87	18,51	19,15	19,78	20,42	21,06	21,70	22,33	22,97	23,61	24,24	24,88	25,52	26,15	26,79	27,43	28,06	28,70	29,34	29,98	30,61
	65°	17,37	18,18	19,00	19,81	20,63	21,45	22,26	23,08	23,90	24,71	25,53	26,34	27,16	27,98	28,79	29,61	30,42	31,24	32,06	32,87	33,69	34,50	35,32
	60°	18,33	19,34	20,35	21,36	22,37	23,38	24,39	25,40	26,41	27,42	28,43	29,44	30,46	31,47	32,48	33,49	34,50	35,51	36,52	37,53	38,54	39,55	40,56
	55°	19,54	20,76	21,99	23,21	24,44	25,66	26,89	28,11	29,34	30,57	31,79	33,02	34,24	35,47	36,69	37,92	39,14	40,37	41,59	42,82	44,04	45,27	46,49
	50°	21,05	22,52	23,99	25,45	26,92	28,39	29,86	31,33	32,80	34,27	35,73	37,20	38,67	40,14	41,61	43,08	44,54	46,01	47,48	48,95	50,42	51,89	53,35
45°	22,96	24,71	26,46	28,21	29,96	31,71	33,46	35,21	36,96	38,71	40,46	42,21	43,96	45,71	47,46	49,21	50,96	52,71	54,46	56,21	57,96	59,71	61,46	
40°	25,42	27,51	29,59	31,68	33,76	35,85	37,93	40,02	42,11	44,19	46,28	48,36	50,45	52,53	54,62	56,70	58,79	60,88	62,96	65,05	67,13	69,22	71,30	
35°	28,65	31,15	33,65	36,15	38,65	41,15	43,65	46,15	48,65	51,14	53,64	56,14	58,64	61,14	63,64	66,14	68,64	71,14	73,64	76,14	78,64	81,14	83,63	
30°	33,03	36,06	39,09	42,12	45,16	48,19	51,22	54,25	57,28	60,31	63,34	66,37	69,40	72,44	75,47	78,50	81,53	84,56	87,59	90,62	93,65	96,68	99,72	

Tabel 11-22: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 15 m¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 15 meter)																																	
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																																	
Kruisingshoek in graden	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25										
	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,70										
	0,07	0,13	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80	0,86	0,93	0,99	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,41										
	0,11	0,20	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,75	0,85	0,94	1,03	1,12	1,21	1,30	1,40	1,49	1,58	1,67	1,76	1,85	1,95	2,04	2,13										
	0,16	0,28	0,40	0,53	0,65	0,77	0,89	1,02	1,14	1,26	1,38	1,51	1,63	1,75	1,87	1,99	2,12	2,24	2,36	2,48	2,61	2,73	2,85										
	0,21	0,36	0,52	0,67	0,82	0,98	1,13	1,28	1,44	1,59	1,74	1,89	2,05	2,20	2,35	2,51	2,66	2,81	2,97	3,12	3,27	3,43	3,58										
	0,27	0,45	0,63	0,82	1,00	1,19	1,37	1,55	1,74	1,92	2,11	2,29	2,47	2,66	2,84	3,03	3,21	3,39	3,58	3,76	3,95	4,13	4,31										
	0,33	0,54	0,76	0,97	1,19	1,40	1,62	1,83	2,05	2,26	2,48	2,69	2,91	3,12	3,34	3,55	3,77	3,98	4,20	4,41	4,62	4,84	5,05										
	0,39	0,64	0,89	1,13	1,38	1,62	1,87	2,11	2,36	2,61	2,85	3,10	3,34	3,59	3,84	4,08	4,33	4,57	4,82	5,07	5,31	5,56	5,80										
	0,46	0,74	1,02	1,30	1,57	1,85	2,13	2,40	2,68	2,96	3,24	3,51	3,79	4,07	4,34	4,62	4,90	5,18	5,45	5,73	6,01	6,28	6,56										
	0,54	0,85	1,16	1,47	1,77	2,08	2,39	2,70	3,01	3,32	3,63	3,93	4,24	4,55	4,86	5,17	5,48	5,79	6,09	6,40	6,71	7,02	7,33										
	1,00	1,47	1,94	2,40	2,87	3,34	3,81	4,28	4,75	5,22	5,69	6,16	6,62	7,09	7,56	8,03	8,50	8,97	9,44	9,91	10,38	10,85	11,31										
	1,60	2,24	2,87	3,51	4,15	4,78	5,42	6,06	6,70	7,33	7,97	8,61	9,24	9,88	10,52	11,15	11,79	12,43	13,06	13,70	14,34	14,98	15,61										
	2,37	3,18	4,00	4,81	5,63	6,45	7,26	8,08	8,90	9,71	10,53	11,34	12,16	12,98	13,79	14,61	15,42	16,24	17,06	17,87	18,69	19,50	20,32										
	3,33	4,34	5,35	6,36	7,37	8,38	9,39	10,40	11,41	12,42	13,43	14,44	15,46	16,47	17,48	18,49	19,50	20,51	21,52	22,53	23,54	24,55	25,56										
	4,54	5,76	6,99	8,21	9,44	10,66	11,89	13,11	14,34	15,57	16,79	18,02	19,24	20,47	21,69	22,92	24,14	25,37	26,59	27,82	29,04	30,27	31,49										
	6,05	7,52	8,99	10,45	11,92	13,39	14,86	16,33	17,80	19,27	20,73	22,20	23,67	25,14	26,61	28,08	29,54	31,01	32,48	33,95	35,42	36,89	38,35										
	7,96	9,71	11,46	13,21	14,96	16,71	18,46	20,21	21,96	23,71	25,46	27,21	28,96	30,71	32,46	34,21	35,96	37,71	39,46	41,21	42,96	44,71	46,46										
	10,42	12,51	14,59	16,68	18,76	20,85	22,93	25,02	27,11	29,19	31,28	33,36	35,45	37,53	39,62	41,70	43,79	45,88	47,96	50,05	52,13	54,22	56,30										
	13,65	16,15	18,65	21,15	23,65	26,15	28,65	31,15	33,65	36,14	38,64	41,14	43,64	46,14	48,64	51,14	53,64	56,14	58,64	61,14	63,64	66,14	68,63										
	18,03	21,06	24,09	27,12	30,16	33,19	36,22	39,25	42,28	45,31	48,34	51,37	54,40	57,44	60,47	63,50	66,53	69,56	72,59	75,62	78,65	81,68	84,72										

Tabel 11-23. EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 15 m¹

gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 16,7 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	16,73	16,76	16,79	16,82	16,86	16,89	16,92	16,95	16,98	17,01	17,04	17,07	17,10	17,13	17,16	17,19	17,22	17,25	17,28	17,31	17,34	17,37	17,41
	88°	16,77	16,83	16,89	16,95	17,02	17,08	17,14	17,20	17,26	17,32	17,38	17,44	17,50	17,57	17,63	17,69	17,75	17,81	17,87	17,93	17,99	18,05	18,12
	87°	16,81	16,91	17,00	17,09	17,18	17,27	17,36	17,46	17,55	17,64	17,73	17,82	17,92	18,01	18,10	18,19	18,28	18,37	18,47	18,56	18,65	18,74	18,83
	86°	16,86	16,99	17,11	17,23	17,35	17,48	17,60	17,72	17,84	17,96	18,09	18,21	18,33	18,45	18,58	18,70	18,82	18,94	19,07	19,19	19,31	19,43	19,56
	85°	16,92	17,07	17,22	17,38	17,53	17,68	17,84	17,99	18,14	18,29	18,45	18,60	18,75	18,91	19,06	19,21	19,37	19,52	19,67	19,83	19,98	20,13	20,29
	84°	16,98	17,16	17,34	17,53	17,71	17,90	18,08	18,26	18,45	18,63	18,82	19,00	19,18	19,37	19,55	19,73	19,92	20,10	20,29	20,47	20,65	20,84	21,02
	83°	17,04	17,26	17,47	17,68	17,90	18,11	18,33	18,54	18,76	18,97	19,19	19,40	19,62	19,83	20,05	20,26	20,48	20,69	20,91	21,12	21,34	21,55	21,77
	82°	17,11	17,36	17,60	17,85	18,09	18,34	18,59	18,83	19,08	19,32	19,57	19,82	20,06	20,31	20,55	20,80	21,05	21,29	21,54	21,78	22,03	22,27	22,52
	81°	17,19	17,46	17,74	18,02	18,29	18,57	18,85	19,13	19,40	19,68	19,96	20,23	20,51	20,79	21,07	21,34	21,62	21,90	22,17	22,45	22,73	23,01	23,28
	80°	17,27	17,57	17,88	18,19	18,50	18,81	19,12	19,43	19,73	20,04	20,35	20,66	20,97	21,28	21,59	21,89	22,20	22,51	22,82	23,13	23,44	23,75	24,05
	75°	17,76	18,23	18,70	19,16	19,63	20,10	20,57	21,04	21,51	21,98	22,45	22,92	23,38	23,85	24,32	24,79	25,26	25,73	26,20	26,67	27,14	27,61	28,07
	70°	18,41	19,05	19,68	20,32	20,96	21,59	22,23	22,87	23,50	24,14	24,78	25,42	26,05	26,69	27,33	27,96	28,60	29,24	29,87	30,51	31,15	31,78	32,42
	65°	19,24	20,06	20,87	21,69	22,51	23,32	24,14	24,95	25,77	26,59	27,40	28,22	29,03	29,85	30,67	31,48	32,30	33,12	33,93	34,75	35,56	36,38	37,20
	60°	20,29	21,30	22,31	23,32	24,34	25,35	26,36	27,37	28,38	29,39	30,40	31,41	32,42	33,43	34,44	35,45	36,46	37,47	38,48	39,49	40,50	41,51	42,52
	55°	21,61	22,84	24,06	25,29	26,51	27,74	28,96	30,19	31,42	32,64	33,87	35,09	36,32	37,54	38,77	39,99	41,22	42,44	43,67	44,89	46,12	47,34	48,57
	50°	23,27	24,74	26,21	27,67	29,14	30,61	32,08	33,55	35,02	36,48	37,95	39,42	40,89	42,36	43,83	45,30	46,76	48,23	49,70	51,17	52,64	54,11	55,57
45°	25,37	27,12	28,87	30,62	32,37	34,12	35,87	37,62	39,37	41,12	42,87	44,62	46,37	48,12	49,87	51,62	53,37	55,12	56,87	58,62	60,37	62,12	63,87	
40°	28,07	30,15	32,24	34,32	36,41	38,49	40,58	42,67	44,75	46,84	48,92	51,01	53,09	55,18	57,26	59,35	61,44	63,52	65,61	67,69	69,78	71,86	73,95	
35°	31,61	34,11	36,61	39,11	41,61	44,11	46,61	49,11	51,61	54,11	56,61	59,11	61,61	64,11	66,60	69,10	71,60	74,10	76,60	79,10	81,60	84,10	86,60	
30°	36,43	39,46	42,49	45,52	48,56	51,59	54,62	57,65	60,68	63,71	66,74	69,77	72,80	75,84	78,87	81,90	84,93	87,96	90,99	94,02	97,05	100,08	103,12	

Tabel 11-24: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 16,7 m¹

		Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 16,7 meter)																							
		Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																							
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,03	0,06	0,09	0,12	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,67	0,71	
	88°	0,07	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,80	0,87	0,93	0,99	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,42	
	87°	0,11	0,21	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66	0,76	0,85	0,94	1,03	1,12	1,22	1,31	1,40	1,49	1,58	1,67	1,77	1,86	1,95	2,04	2,13	
	86°	0,16	0,29	0,41	0,53	0,65	0,78	0,90	1,02	1,14	1,26	1,39	1,51	1,63	1,75	1,88	2,00	2,12	2,24	2,37	2,49	2,61	2,73	2,86	
	85°	0,22	0,37	0,52	0,68	0,83	0,98	1,14	1,29	1,44	1,59	1,75	1,90	2,05	2,21	2,36	2,51	2,67	2,82	2,97	3,13	3,28	3,43	3,59	
	84°	0,28	0,46	0,64	0,83	1,01	1,20	1,38	1,56	1,75	1,93	2,12	2,30	2,48	2,67	2,85	3,03	3,22	3,40	3,59	3,77	3,95	4,14	4,32	
	83°	0,34	0,56	0,77	0,98	1,20	1,41	1,63	1,84	2,06	2,27	2,49	2,70	2,92	3,13	3,35	3,56	3,78	3,99	4,21	4,42	4,64	4,85	5,07	
	82°	0,41	0,66	0,90	1,15	1,39	1,64	1,89	2,13	2,38	2,62	2,87	3,12	3,36	3,61	3,85	4,10	4,35	4,59	4,84	5,08	5,33	5,57	5,82	
	81°	0,49	0,76	1,04	1,32	1,59	1,87	2,15	2,43	2,70	2,98	3,26	3,53	3,81	4,09	4,37	4,64	4,92	5,20	5,47	5,75	6,03	6,31	6,58	
	80°	0,57	0,87	1,18	1,49	1,80	2,11	2,42	2,73	3,03	3,34	3,65	3,96	4,27	4,58	4,89	5,19	5,50	5,81	6,12	6,43	6,74	7,05	7,35	
	75°	1,06	1,53	2,00	2,46	2,93	3,40	3,87	4,34	4,81	5,28	5,75	6,22	6,68	7,15	7,62	8,09	8,56	9,03	9,50	9,97	10,44	10,91	11,37	
	70°	1,71	2,35	2,98	3,62	4,26	4,89	5,53	6,17	6,80	7,44	8,08	8,72	9,35	9,99	10,63	11,26	11,90	12,54	13,17	13,81	14,45	15,08	15,72	
	65°	2,54	3,36	4,17	4,99	5,81	6,62	7,44	8,25	9,07	9,89	10,70	11,52	12,33	13,15	13,97	14,78	15,60	16,42	17,23	18,05	18,86	19,68	20,50	
	60°	3,59	4,60	5,61	6,62	7,64	8,65	9,66	10,67	11,68	12,69	13,70	14,71	15,72	16,73	17,74	18,75	19,76	20,77	21,78	22,79	23,80	24,81	25,82	
	55°	4,91	6,14	7,36	8,59	9,81	11,04	12,26	13,49	14,72	15,94	17,17	18,39	19,62	20,84	22,07	23,29	24,52	25,74	26,97	28,19	29,42	30,64	31,87	
	50°	6,57	8,04	9,51	10,97	12,44	13,91	15,38	16,85	18,32	19,78	21,25	22,72	24,19	25,66	27,13	28,60	30,06	31,53	33,00	34,47	35,94	37,41	38,87	
	45°	8,67	10,42	12,17	13,92	15,67	17,42	19,17	20,92	22,67	24,42	26,17	27,92	29,67	31,42	33,17	34,92	36,67	38,42	40,17	41,92	43,67	45,42	47,17	
40°	11,37	13,45	15,54	17,62	19,71	21,79	23,88	25,97	28,05	30,14	32,22	34,31	36,39	38,48	40,56	42,65	44,74	46,82	48,91	50,99	53,08	55,16	57,25		
35°	14,91	17,41	19,91	22,41	24,91	27,41	29,91	32,41	34,91	37,41	39,91	42,41	44,91	47,41	49,90	52,40	54,90	57,40	59,90	62,40	64,90	67,40	69,90		
30°	19,73	22,76	25,79	28,82	31,86	34,89	37,92	40,95	43,98	47,01	50,04	53,07	56,10	59,14	62,17	65,20	68,23	71,26	74,29	77,32	80,35	83,38	86,42		

TABEL 11-25: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 16,7 M¹

		Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 21,5 meter)																			
		Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																			
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00
Kruisingshoek in graden	89°	21,53	21,56	21,59	21,63	21,66	21,69	21,72	21,75	21,78	21,81	21,84	21,87	21,90	21,93	21,96	21,99	22,02	22,05	22,08	22,11
	88°	21,57	21,64	21,70	21,76	21,82	21,88	21,94	22,00	22,06	22,12	22,19	22,25	22,31	22,37	22,43	22,49	22,55	22,61	22,67	22,74
	87°	21,62	21,71	21,80	21,90	21,99	22,08	22,17	22,26	22,35	22,45	22,54	22,63	22,72	22,81	22,91	23,00	23,09	23,18	23,27	23,36
	86°	21,67	21,80	21,92	22,04	22,16	22,29	22,41	22,53	22,65	22,78	22,90	23,02	23,14	23,27	23,39	23,51	23,63	23,76	23,88	24,00
	85°	21,74	21,89	22,04	22,19	22,35	22,50	22,65	22,81	22,96	23,11	23,27	23,42	23,57	23,73	23,88	24,03	24,18	24,34	24,49	24,64
	84°	21,80	21,99	22,17	22,35	22,54	22,72	22,91	23,09	23,27	23,46	23,64	23,83	24,01	24,19	24,38	24,56	24,75	24,93	25,11	25,30
	83°	21,88	22,09	22,31	22,52	22,74	22,95	23,17	23,38	23,60	23,81	24,03	24,24	24,45	24,67	24,88	25,10	25,31	25,53	25,74	25,96
	82°	21,96	22,20	22,45	22,70	22,94	23,19	23,43	23,68	23,92	24,17	24,42	24,66	24,91	25,15	25,40	25,65	25,89	26,14	26,38	26,63
	81°	22,05	22,32	22,60	22,88	23,15	23,43	23,71	23,99	24,26	24,54	24,82	25,09	25,37	25,65	25,93	26,20	26,48	26,76	27,03	27,31
	80°	22,14	22,45	22,76	23,07	23,37	23,68	23,99	24,30	24,61	24,92	25,23	25,53	25,84	26,15	26,46	26,77	27,08	27,39	27,69	28,00
	75°	22,73	23,20	23,67	24,13	24,60	25,07	25,54	26,01	26,48	26,95	27,42	27,89	28,35	28,82	29,29	29,76	30,23	30,70	31,17	31,64
	70°	23,52	24,15	24,79	25,43	26,06	26,70	27,34	27,98	28,61	29,25	29,89	30,52	31,16	31,80	32,43	33,07	33,71	34,34	34,98	35,62
	65°	24,54	25,35	26,17	26,99	27,80	28,62	29,43	30,25	31,07	31,88	32,70	33,52	34,33	35,15	35,96	36,78	37,60	38,41	39,23	40,04
	60°	25,84	26,85	27,86	28,87	29,88	30,89	31,90	32,91	33,92	34,93	35,94	36,95	37,96	38,97	39,98	40,99	42,00	43,01	44,02	45,03
	55°	27,47	28,70	29,92	31,15	32,37	33,60	34,82	36,05	37,27	38,50	39,73	40,95	42,18	43,40	44,63	45,85	47,08	48,30	49,53	50,75
	50°	29,53	31,00	32,47	33,94	35,41	36,88	38,35	39,81	41,28	42,75	44,22	45,69	47,16	48,62	50,09	51,56	53,03	54,50	55,97	57,43
	45°	32,16	33,91	35,66	37,41	39,16	40,91	42,66	44,41	46,16	47,91	49,66	51,41	53,16	54,91	56,66	58,41	60,16	61,91	63,66	65,41
	40°	35,53	37,62	39,70	41,79	43,88	45,96	48,05	50,13	52,22	54,30	56,39	58,47	60,56	62,65	64,73	66,82	68,90	70,99	73,07	75,16
	35°	39,98	42,48	44,98	47,48	49,98	52,48	54,98	57,48	59,98	62,48	64,98	67,48	69,97	72,47	74,97	77,47	79,97	82,47	84,97	87,47
	30°	46,03	49,06	52,09	55,12	58,16	61,19	64,22	67,25	70,28	73,31	76,34	79,37	82,40	85,44	88,47	91,50	94,53	97,56	100,59	103,62

Tabel 11-26: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 21,5 m¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 21,5 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	0,03	0,06	0,09	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68	0,71
	88°	0,07	0,14	0,20	0,26	0,32	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62	0,69	0,75	0,81	0,87	0,93	0,99	1,05	1,11	1,17	1,24	1,30	1,36	1,42
	87°	0,12	0,21	0,30	0,40	0,49	0,58	0,67	0,76	0,85	0,95	1,04	1,13	1,22	1,31	1,41	1,50	1,59	1,68	1,77	1,86	1,96	2,05	2,14
	86°	0,17	0,30	0,42	0,54	0,66	0,79	0,91	1,03	1,15	1,28	1,40	1,52	1,64	1,77	1,89	2,01	2,13	2,26	2,38	2,50	2,62	2,74	2,87
	85°	0,24	0,39	0,54	0,69	0,85	1,00	1,15	1,31	1,46	1,61	1,77	1,92	2,07	2,23	2,38	2,53	2,68	2,84	2,99	3,14	3,30	3,45	3,60
	84°	0,30	0,49	0,67	0,85	1,04	1,22	1,41	1,59	1,77	1,96	2,14	2,33	2,51	2,69	2,88	3,06	3,25	3,43	3,61	3,80	3,98	4,16	4,35
	83°	0,38	0,59	0,81	1,02	1,24	1,45	1,67	1,88	2,10	2,31	2,53	2,74	2,95	3,17	3,38	3,60	3,81	4,03	4,24	4,46	4,67	4,89	5,10
	82°	0,46	0,70	0,95	1,20	1,44	1,69	1,93	2,18	2,42	2,67	2,92	3,16	3,41	3,65	3,90	4,15	4,39	4,64	4,88	5,13	5,38	5,62	5,87
	81°	0,55	0,82	1,10	1,38	1,65	1,93	2,21	2,49	2,76	3,04	3,32	3,59	3,87	4,15	4,43	4,70	4,98	5,26	5,53	5,81	6,09	6,37	6,64
	80°	0,64	0,95	1,26	1,57	1,87	2,18	2,49	2,80	3,11	3,42	3,73	4,03	4,34	4,65	4,96	5,27	5,58	5,89	6,19	6,50	6,81	7,12	7,43
	75°	1,23	1,70	2,17	2,63	3,10	3,57	4,04	4,51	4,98	5,45	5,92	6,39	6,85	7,32	7,79	8,26	8,73	9,20	9,67	10,14	10,61	11,07	11,54
	70°	2,02	2,65	3,29	3,93	4,56	5,20	5,84	6,48	7,11	7,75	8,39	9,02	9,66	10,30	10,93	11,57	12,21	12,84	13,48	14,12	14,76	15,39	16,03
	65°	3,04	3,85	4,67	5,49	6,30	7,12	7,93	8,75	9,57	10,38	11,20	12,02	12,83	13,65	14,46	15,28	16,10	16,91	17,73	18,54	19,36	20,18	20,99
	60°	4,34	5,35	6,36	7,37	8,38	9,39	10,40	11,41	12,42	13,43	14,44	15,45	16,46	17,47	18,48	19,49	20,50	21,51	22,52	23,53	24,54	25,55	26,56
	55°	5,97	7,20	8,42	9,65	10,87	12,10	13,32	14,55	15,77	17,00	18,23	19,45	20,68	21,90	23,13	24,35	25,58	26,80	28,03	29,25	30,48	31,70	32,93
	50°	8,03	9,50	10,97	12,44	13,91	15,38	16,85	18,31	19,78	21,25	22,72	24,19	25,66	27,12	28,59	30,06	31,53	33,00	34,47	35,93	37,40	38,87	40,34
45°	10,66	12,41	14,16	15,91	17,66	19,41	21,16	22,91	24,66	26,41	28,16	29,91	31,66	33,41	35,16	36,91	38,66	40,41	42,16	43,91	45,66	47,41	49,16	
40°	14,03	16,12	18,20	20,29	22,38	24,46	26,55	28,63	30,72	32,80	34,89	36,97	39,06	41,15	43,23	45,32	47,40	49,49	51,57	53,66	55,75	57,83	59,92	
35°	18,48	20,98	23,48	25,98	28,48	30,98	33,48	35,98	38,48	40,98	43,48	45,98	48,47	50,97	53,47	55,97	58,47	60,97	63,47	65,97	68,47	70,97	73,47	
30°	24,53	27,56	30,59	33,62	36,66	39,69	42,72	45,75	48,78	51,81	54,84	57,87	60,90	63,94	66,97	70,00	73,03	76,06	79,09	82,12	85,15	88,18	91,22	

TABEL 11-27: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 21,5 m¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 24,7 meter)																								
Breedte viaduct / verspringsingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	24,73	24,76	24,80	24,83	24,86	24,89	24,92	24,95	24,98	25,01	25,04	25,07	25,10	25,13	25,16	25,19	25,22	25,25	25,28	25,31	25,35	25,38	25,41
	88°	24,78	24,84	24,90	24,96	25,02	25,08	25,14	25,20	25,27	25,33	25,39	25,45	25,51	25,57	25,63	25,69	25,75	25,82	25,88	25,94	26,00	26,06	26,12
	87°	24,83	24,92	25,01	25,10	25,19	25,28	25,38	25,47	25,56	25,65	25,74	25,83	25,93	26,02	26,11	26,20	26,29	26,38	26,48	26,57	26,66	26,75	26,84
	86°	24,88	25,01	25,13	25,25	25,37	25,49	25,62	25,74	25,86	25,98	26,11	26,23	26,35	26,47	26,60	26,72	26,84	26,96	27,09	27,21	27,33	27,45	27,57
	85°	24,95	25,10	25,25	25,41	25,56	25,71	25,87	26,02	26,17	26,33	26,48	26,63	26,78	26,94	27,09	27,24	27,40	27,55	27,70	27,86	28,01	28,16	28,32
	84°	25,02	25,20	25,39	25,57	25,76	25,94	26,12	26,31	26,49	26,68	26,86	27,04	27,23	27,41	27,60	27,78	27,96	28,15	28,33	28,51	28,70	28,88	29,07
	83°	25,10	25,32	25,53	25,74	25,96	26,17	26,39	26,60	26,82	27,03	27,25	27,46	27,68	27,89	28,11	28,32	28,54	28,75	28,97	29,18	29,40	29,61	29,83
	82°	25,19	25,43	25,68	25,93	26,17	26,42	26,66	26,91	27,16	27,40	27,65	27,89	28,14	28,39	28,63	28,88	29,12	29,37	29,62	29,86	30,11	30,35	30,60
	81°	25,29	25,56	25,84	26,12	26,39	26,67	26,95	27,23	27,50	27,78	28,06	28,33	28,61	28,89	29,17	29,44	29,72	30,00	30,27	30,55	30,83	31,11	31,38
	80°	25,39	25,70	26,01	26,32	26,62	26,93	27,24	27,55	27,86	28,17	28,48	28,78	29,09	29,40	29,71	30,02	30,33	30,64	30,94	31,25	31,56	31,87	32,18
	75°	26,04	26,51	26,98	27,45	27,92	28,38	28,85	29,32	29,79	30,26	30,73	31,20	31,67	32,14	32,60	33,07	33,54	34,01	34,48	34,95	35,42	35,89	36,36
	70°	26,92	27,56	28,20	28,83	29,47	30,11	30,74	31,38	32,02	32,65	33,29	33,93	34,57	35,20	35,84	36,48	37,11	37,75	38,39	39,02	39,66	40,30	40,93
	65°	28,07	28,89	29,70	30,52	31,33	32,15	32,97	33,78	34,60	35,41	36,23	37,05	37,86	38,68	39,49	40,31	41,13	41,94	42,76	43,57	44,39	45,21	46,02
	60°	29,53	30,54	31,55	32,56	33,57	34,58	35,59	36,60	37,61	38,62	39,64	40,65	41,66	42,67	43,68	44,69	45,70	46,71	47,72	48,73	49,74	50,75	51,76
	55°	31,38	32,60	33,83	35,05	36,28	37,51	38,73	39,96	41,18	42,41	43,63	44,86	46,08	47,31	48,53	49,76	50,98	52,21	53,44	54,66	55,89	57,11	58,34
	50°	33,71	35,18	36,65	38,12	39,59	41,05	42,52	43,99	45,46	46,93	48,40	49,86	51,33	52,80	54,27	55,74	57,21	58,68	60,14	61,61	63,08	64,55	66,02
45°	36,68	38,43	40,18	41,93	43,68	45,43	47,18	48,93	50,68	52,43	54,18	55,93	57,68	59,43	61,18	62,93	64,68	66,43	68,18	69,93	71,68	73,43	75,18	
40°	40,51	42,60	44,68	46,77	48,85	50,94	53,03	55,11	57,20	59,28	61,37	63,45	65,54	67,62	69,71	71,80	73,88	75,97	78,05	80,14	82,22	84,31	86,39	
35°	45,56	48,06	50,56	53,06	55,56	58,06	60,56	63,06	65,56	68,06	70,55	73,05	75,55	78,05	80,55	83,05	85,55	88,05	90,55	93,05	95,55	98,05	100,55	
30°	52,43	55,46	58,49	61,52	64,56	67,59	70,62	73,65	76,68	79,71	82,74	85,77	88,80	91,84	94,87	97,90	100,93	103,96	106,99	110,02	113,05	116,08	119,12	

TABEL 11-28: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 24,7 M¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 24,7 meter)																								
Breedte Viaduct / verspringsmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,03	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71
	88°	0,08	0,14	0,20	0,26	0,32	0,38	0,44	0,50	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,93	0,99	1,05	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42
	87°	0,13	0,22	0,31	0,40	0,49	0,58	0,68	0,77	0,86	0,95	1,04	1,13	1,23	1,32	1,41	1,50	1,59	1,68	1,78	1,87	1,96	2,05	2,14
	86°	0,18	0,31	0,43	0,55	0,67	0,79	0,92	1,04	1,16	1,28	1,41	1,53	1,65	1,77	1,90	2,02	2,14	2,26	2,39	2,51	2,63	2,75	2,87
	85°	0,25	0,40	0,55	0,71	0,86	1,01	1,17	1,32	1,47	1,63	1,78	1,93	2,08	2,24	2,39	2,54	2,70	2,85	3,00	3,16	3,31	3,46	3,62
	84°	0,32	0,50	0,69	0,87	1,06	1,24	1,42	1,61	1,79	1,98	2,16	2,34	2,53	2,71	2,90	3,08	3,26	3,45	3,63	3,81	4,00	4,18	4,37
	83°	0,40	0,62	0,83	1,04	1,26	1,47	1,69	1,90	2,12	2,33	2,55	2,76	2,98	3,19	3,41	3,62	3,84	4,05	4,27	4,48	4,70	4,91	5,13
	82°	0,49	0,73	0,98	1,23	1,47	1,72	1,96	2,21	2,46	2,70	2,95	3,19	3,44	3,69	3,93	4,18	4,42	4,67	4,92	5,16	5,41	5,65	5,90
	81°	0,59	0,86	1,14	1,42	1,69	1,97	2,25	2,53	2,80	3,08	3,36	3,63	3,91	4,19	4,47	4,74	5,02	5,30	5,57	5,85	6,13	6,41	6,68
	80°	0,69	1,00	1,31	1,62	1,92	2,23	2,54	2,85	3,16	3,47	3,78	4,08	4,39	4,70	5,01	5,32	5,63	5,94	6,24	6,55	6,86	7,17	7,48
	75°	1,34	1,81	2,28	2,75	3,22	3,68	4,15	4,62	5,09	5,56	6,03	6,50	6,97	7,44	7,90	8,37	8,84	9,31	9,78	10,25	10,72	11,19	11,66
	70°	2,22	2,86	3,50	4,13	4,77	5,41	6,04	6,68	7,32	7,95	8,59	9,23	9,87	10,50	11,14	11,78	12,41	13,05	13,69	14,32	14,96	15,60	16,23
	65°	3,37	4,19	5,00	5,82	6,63	7,45	8,27	9,08	9,90	10,71	11,53	12,35	13,16	13,98	14,79	15,61	16,43	17,24	18,06	18,87	19,69	20,51	21,32
	60°	4,83	5,84	6,85	7,86	8,87	9,88	10,89	11,90	12,91	13,92	14,94	15,95	16,96	17,97	18,98	19,99	21,00	22,01	23,02	24,03	25,04	26,05	27,06
	55°	6,68	7,90	9,13	10,35	11,58	12,81	14,03	15,26	16,48	17,71	18,93	20,16	21,38	22,61	23,83	25,06	26,28	27,51	28,74	29,96	31,19	32,41	33,64
	50°	9,01	10,48	11,95	13,42	14,89	16,35	17,82	19,29	20,76	22,23	23,70	25,16	26,63	28,10	29,57	31,04	32,51	33,98	35,44	36,91	38,38	39,85	41,32
45°	11,98	13,73	15,48	17,23	18,98	20,73	22,48	24,23	25,98	27,73	29,48	31,23	32,98	34,73	36,48	38,23	39,98	41,73	43,48	45,23	46,98	48,73	50,48	
40°	15,81	17,90	19,98	22,07	24,15	26,24	28,33	30,41	32,50	34,58	36,67	38,75	40,84	42,92	45,01	47,10	49,18	51,27	53,35	55,44	57,52	59,61	61,69	
35°	20,86	23,36	25,86	28,36	30,86	33,36	35,86	38,36	40,86	43,36	45,85	48,35	50,85	53,35	55,85	58,35	60,85	63,35	65,85	68,35	70,85	73,35	75,85	
30°	27,73	30,76	33,79	36,82	39,86	42,89	45,92	48,95	51,98	55,01	58,04	61,07	64,10	67,14	70,17	73,20	76,23	79,26	82,29	85,32	88,35	91,38	94,42	

TABEL 11-29: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 24,7 m¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 28,4 meter)																								
		Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																						
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	28,43	28,47	28,50	28,53	28,56	28,59	28,62	28,65	28,68	28,71	28,74	28,77	28,80	28,83	28,86	28,89	28,92	28,95	28,98	29,02	29,05	29,08	29,11
	88°	28,48	28,54	28,60	28,66	28,72	28,78	28,85	28,91	28,97	29,03	29,09	29,15	29,21	29,27	29,33	29,40	29,46	29,52	29,58	29,64	29,70	29,76	29,82
	87°	28,53	28,62	28,71	28,81	28,90	28,99	29,08	29,17	29,26	29,36	29,45	29,54	29,63	29,72	29,81	29,91	30,00	30,09	30,18	30,27	30,36	30,46	30,55
	86°	28,59	28,71	28,84	28,96	29,08	29,20	29,33	29,45	29,57	29,69	29,82	29,94	30,06	30,18	30,30	30,43	30,55	30,67	30,79	30,92	31,04	31,16	31,28
	85°	28,66	28,81	28,97	29,12	29,27	29,43	29,58	29,73	29,89	30,04	30,19	30,35	30,50	30,65	30,81	30,96	31,11	31,26	31,42	31,57	31,72	31,88	32,03
	84°	28,74	28,92	29,11	29,29	29,48	29,66	29,84	30,03	30,21	30,40	30,58	30,76	30,95	31,13	31,32	31,50	31,68	31,87	32,05	32,24	32,42	32,60	32,79
	83°	28,83	29,04	29,26	29,47	29,69	29,90	30,12	30,33	30,55	30,76	30,98	31,19	31,41	31,62	31,84	32,05	32,27	32,48	32,70	32,91	33,13	33,34	33,56
	82°	28,93	29,17	29,42	29,66	29,91	30,15	30,40	30,65	30,89	31,14	31,38	31,63	31,88	32,12	32,37	32,61	32,86	33,11	33,35	33,60	33,84	34,09	34,34
	81°	29,03	29,31	29,59	29,86	30,14	30,42	30,69	30,97	31,25	31,53	31,80	32,08	32,36	32,63	32,91	33,19	33,47	33,74	34,02	34,30	34,57	34,85	35,13
	80°	29,15	29,46	29,76	30,07	30,38	30,69	31,00	31,31	31,62	31,92	32,23	32,54	32,85	33,16	33,47	33,78	34,08	34,39	34,70	35,01	35,32	35,63	35,94
	75°	29,87	30,34	30,81	31,28	31,75	32,22	32,68	33,15	33,62	34,09	34,56	35,03	35,50	35,97	36,44	36,90	37,37	37,84	38,31	38,78	39,25	39,72	40,19
	70°	30,86	31,50	32,13	32,77	33,41	34,04	34,68	35,32	35,96	36,59	37,23	37,87	38,50	39,14	39,78	40,41	41,05	41,69	42,32	42,96	43,60	44,24	44,87
	65°	32,15	32,97	33,78	34,60	35,42	36,23	37,05	37,86	38,68	39,50	40,31	41,13	41,94	42,76	43,58	44,39	45,21	46,02	46,84	47,66	48,47	49,29	50,10
	60°	33,80	34,81	35,82	36,83	37,85	38,86	39,87	40,88	41,89	42,90	43,91	44,92	45,93	46,94	47,95	48,96	49,97	50,98	51,99	53,00	54,01	55,02	56,03
	55°	35,90	37,12	38,35	39,57	40,80	42,02	43,25	44,47	45,70	46,92	48,15	49,37	50,60	51,83	53,05	54,28	55,50	56,73	57,95	59,18	60,40	61,63	62,85
	50°	38,54	40,01	41,48	42,95	44,42	45,88	47,35	48,82	50,29	51,76	53,23	54,69	56,16	57,63	59,10	60,57	62,04	63,51	64,97	66,44	67,91	69,38	70,85
45°	41,91	43,66	45,41	47,16	48,91	50,66	52,41	54,16	55,91	57,66	59,41	61,16	62,91	64,66	66,41	68,16	69,91	71,66	73,41	75,16	76,91	78,66	80,41	
40°	46,27	48,35	50,44	52,52	54,61	56,70	58,78	60,87	62,95	65,04	67,12	69,21	71,29	73,38	75,47	77,55	79,64	81,72	83,81	85,89	87,98	90,07	92,15	
35°	52,01	54,51	57,01	59,51	62,01	64,51	67,01	69,51	72,01	74,51	77,01	79,50	82,00	84,50	87,00	89,50	92,00	94,50	97,00	99,50	102,00	104,50	107,00	
30°	59,83	62,86	65,89	68,92	71,96	74,99	78,02	81,05	84,08	87,11	90,14	93,17	96,20	99,24	102,27	105,30	108,33	111,36	114,39	117,42	120,45	123,48	126,52	

TABEL 11-30: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 28,4 m¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 28,4 meter)																								
Breedte Viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	0,03	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,58	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,08	0,14	0,20	0,26	0,32	0,38	0,45	0,51	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,93	1,00	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42
	87°	0,13	0,22	0,31	0,41	0,50	0,59	0,68	0,77	0,86	0,96	1,05	1,14	1,23	1,32	1,41	1,51	1,60	1,69	1,78	1,87	1,96	2,06	2,15
	86°	0,19	0,31	0,44	0,56	0,68	0,80	0,93	1,05	1,17	1,29	1,42	1,54	1,66	1,78	1,90	2,03	2,15	2,27	2,39	2,52	2,64	2,76	2,88
	85°	0,26	0,41	0,57	0,72	0,87	1,03	1,18	1,33	1,49	1,64	1,79	1,95	2,10	2,25	2,41	2,56	2,71	2,86	3,02	3,17	3,32	3,48	3,63
	84°	0,34	0,52	0,71	0,89	1,08	1,26	1,44	1,63	1,81	2,00	2,18	2,36	2,55	2,73	2,92	3,10	3,28	3,47	3,65	3,84	4,02	4,20	4,39
	83°	0,43	0,64	0,86	1,07	1,29	1,50	1,72	1,93	2,15	2,36	2,58	2,79	3,01	3,22	3,44	3,65	3,87	4,08	4,30	4,51	4,73	4,94	5,16
	82°	0,53	0,77	1,02	1,26	1,51	1,75	2,00	2,25	2,49	2,74	2,98	3,23	3,48	3,72	3,97	4,21	4,46	4,71	4,95	5,20	5,44	5,69	5,94
	81°	0,63	0,91	1,19	1,46	1,74	2,02	2,29	2,57	2,85	3,13	3,40	3,68	3,96	4,23	4,51	4,79	5,07	5,34	5,62	5,90	6,17	6,45	6,73
	80°	0,75	1,06	1,36	1,67	1,98	2,29	2,60	2,91	3,22	3,52	3,83	4,14	4,45	4,76	5,07	5,38	5,68	5,99	6,30	6,61	6,92	7,23	7,54
	75°	1,47	1,94	2,41	2,88	3,35	3,82	4,28	4,75	5,22	5,69	6,16	6,63	7,10	7,57	8,04	8,50	8,97	9,44	9,91	10,38	10,85	11,32	11,79
	70°	2,46	3,10	3,73	4,37	5,01	5,64	6,28	6,92	7,56	8,19	8,83	9,47	10,10	10,74	11,38	12,01	12,65	13,29	13,92	14,56	15,20	15,84	16,47
	65°	3,75	4,57	5,38	6,20	7,02	7,83	8,65	9,46	10,28	11,10	11,91	12,73	13,54	14,36	15,18	15,99	16,81	17,62	18,44	19,26	20,07	20,89	21,70
	60°	5,40	6,41	7,42	8,43	9,45	10,46	11,47	12,48	13,49	14,50	15,51	16,52	17,53	18,54	19,55	20,56	21,57	22,58	23,59	24,60	25,61	26,62	27,63
	55°	7,50	8,72	9,95	11,17	12,40	13,62	14,85	16,07	17,30	18,52	19,75	20,97	22,20	23,43	24,65	25,88	27,10	28,33	29,55	30,78	32,00	33,23	34,45
	50°	10,14	11,61	13,08	14,55	16,02	17,48	18,95	20,42	21,89	23,36	24,83	26,29	27,76	29,23	30,70	32,17	33,64	35,11	36,57	38,04	39,51	40,98	42,45
45°	13,51	15,26	17,01	18,76	20,51	22,26	24,01	25,76	27,51	29,26	31,01	32,76	34,51	36,26	38,01	39,76	41,51	43,26	45,01	46,76	48,51	50,26	52,01	
40°	17,87	19,95	22,04	24,12	26,21	28,30	30,38	32,47	34,55	36,64	38,72	40,81	42,89	44,98	47,07	49,15	51,24	53,32	55,41	57,49	59,58	61,67	63,75	
35°	23,61	26,11	28,61	31,11	33,61	36,11	38,61	41,11	43,61	46,11	48,61	51,10	53,60	56,10	58,60	61,10	63,60	66,10	68,60	71,10	73,60	76,10	78,60	
30°	31,43	34,46	37,49	40,52	43,56	46,59	49,62	52,65	55,68	58,71	61,74	64,77	67,80	70,84	73,87	76,90	79,93	82,96	85,99	89,02	92,05	95,08	98,12	

TABEL 11-31: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 28,4 M¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 31,8 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	31,84	31,87	31,90	31,93	31,96	31,99	32,02	32,05	32,08	32,11	32,14	32,17	32,20	32,23	32,26	32,29	32,32	32,35	32,39	32,42	32,45	32,48	32,51
	88°	31,88	31,94	32,00	32,06	32,12	32,19	32,25	32,31	32,37	32,43	32,49	32,55	32,61	32,67	32,74	32,80	32,86	32,92	32,98	33,04	33,10	33,16	33,22
	87°	31,94	32,03	32,12	32,21	32,30	32,39	32,49	32,58	32,67	32,76	32,85	32,94	33,04	33,13	33,22	33,31	33,40	33,49	33,59	33,68	33,77	33,86	33,95
	86°	32,00	32,12	32,24	32,37	32,49	32,61	32,73	32,86	32,98	33,10	33,22	33,35	33,47	33,59	33,71	33,84	33,96	34,08	34,20	34,33	34,45	34,57	34,69
	85°	32,07	32,23	32,38	32,53	32,69	32,84	32,99	33,15	33,30	33,45	33,61	33,76	33,91	34,06	34,22	34,37	34,52	34,68	34,83	34,98	35,14	35,29	35,44
	84°	32,16	32,34	32,53	32,71	32,89	33,08	33,26	33,45	33,63	33,81	34,00	34,18	34,37	34,55	34,73	34,92	35,10	35,29	35,47	35,65	35,84	36,02	36,21
	83°	32,25	32,47	32,68	32,90	33,11	33,33	33,54	33,76	33,97	34,19	34,40	34,62	34,83	35,05	35,26	35,48	35,69	35,91	36,12	36,34	36,55	36,77	36,98
	82°	32,36	32,60	32,85	33,10	33,34	33,59	33,83	34,08	34,33	34,57	34,82	35,06	35,31	35,56	35,80	36,05	36,29	36,54	36,79	37,03	37,28	37,52	37,77
	81°	32,47	32,75	33,03	33,31	33,58	33,86	34,14	34,41	34,69	34,97	35,25	35,52	35,80	36,08	36,35	36,63	36,91	37,19	37,46	37,74	38,02	38,29	38,57
	80°	32,60	32,91	33,22	33,52	33,83	34,14	34,45	34,76	35,07	35,38	35,68	35,99	36,30	36,61	36,92	37,23	37,54	37,84	38,15	38,46	38,77	39,08	39,39
	75°	33,39	33,86	34,33	34,80	35,27	35,74	36,20	36,67	37,14	37,61	38,08	38,55	39,02	39,49	39,96	40,42	40,89	41,36	41,83	42,30	42,77	43,24	43,71
	70°	34,48	35,11	35,75	36,39	37,03	37,66	38,30	38,94	39,57	40,21	40,85	41,48	42,12	42,76	43,40	44,03	44,67	45,31	45,94	46,58	47,22	47,85	48,49
	65°	35,90	36,72	37,54	38,35	39,17	39,98	40,80	41,62	42,43	43,25	44,06	44,88	45,70	46,51	47,33	48,14	48,96	49,78	50,59	51,41	52,22	53,04	53,86
	60°	37,73	38,74	39,75	40,76	41,77	42,78	43,79	44,80	45,81	46,82	47,83	48,84	49,85	50,86	51,87	52,89	53,90	54,91	55,92	56,93	57,94	58,95	59,96
	55°	40,05	41,27	42,50	43,72	44,95	46,17	47,40	48,62	49,85	51,07	52,30	53,52	54,75	55,98	57,20	58,43	59,65	60,88	62,10	63,33	64,55	65,78	67,00
	50°	42,98	44,45	45,92	47,39	48,85	50,32	51,79	53,26	54,73	56,20	57,66	59,13	60,60	62,07	63,54	65,01	66,48	67,94	69,41	70,88	72,35	73,82	75,29
	45°	46,72	48,47	50,22	51,97	53,72	55,47	57,22	58,97	60,72	62,47	64,22	65,97	67,72	69,47	71,22	72,97	74,72	76,47	78,22	79,97	81,72	83,47	85,22
	40°	51,56	53,64	55,73	57,81	59,90	61,99	64,07	66,16	68,24	70,33	72,41	74,50	76,58	78,67	80,76	82,84	84,93	87,01	89,10	91,18	93,27	95,35	97,44
	35°	57,94	60,44	62,94	65,44	67,94	70,44	72,94	75,44	77,93	80,43	82,93	85,43	87,93	90,43	92,93	95,43	97,93	100,43	102,93	105,43	107,93	110,43	112,92
	30°	66,63	69,66	72,69	75,72	78,76	81,79	84,82	87,85	90,88	93,91	96,94	99,97	103,00	106,04	109,07	112,10	115,13	118,16	121,19	124,22	127,25	130,28	133,32

Tabel 11-32: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 31,8 m¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 31,8 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,08	0,14	0,20	0,26	0,32	0,39	0,45	0,51	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,87	0,94	1,00	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42
	87°	0,14	0,23	0,32	0,41	0,50	0,59	0,69	0,78	0,87	0,96	1,05	1,14	1,24	1,33	1,42	1,51	1,60	1,69	1,79	1,88	1,97	2,06	2,15
	86°	0,20	0,32	0,44	0,57	0,69	0,81	0,93	1,06	1,18	1,30	1,42	1,55	1,67	1,79	1,91	2,04	2,16	2,28	2,40	2,53	2,65	2,77	2,89
	85°	0,27	0,43	0,58	0,73	0,89	1,04	1,19	1,35	1,50	1,65	1,81	1,96	2,11	2,26	2,42	2,57	2,72	2,88	3,03	3,18	3,34	3,49	3,64
	84°	0,36	0,54	0,73	0,91	1,09	1,28	1,46	1,65	1,83	2,01	2,20	2,38	2,57	2,75	2,93	3,12	3,30	3,49	3,67	3,85	4,04	4,22	4,41
	83°	0,45	0,67	0,88	1,10	1,31	1,53	1,74	1,96	2,17	2,39	2,60	2,82	3,03	3,25	3,46	3,68	3,89	4,11	4,32	4,54	4,75	4,97	5,18
	82°	0,56	0,80	1,05	1,30	1,54	1,79	2,03	2,28	2,53	2,77	3,02	3,26	3,51	3,76	4,00	4,25	4,49	4,74	4,99	5,23	5,48	5,72	5,97
	81°	0,67	0,95	1,23	1,51	1,78	2,06	2,34	2,61	2,89	3,17	3,45	3,72	4,00	4,28	4,55	4,83	5,11	5,39	5,66	5,94	6,22	6,49	6,77
	80°	0,80	1,11	1,42	1,72	2,03	2,34	2,65	2,96	3,27	3,58	3,88	4,19	4,50	4,81	5,12	5,43	5,74	6,04	6,35	6,66	6,97	7,28	7,59
	75°	1,59	2,06	2,53	3,00	3,47	3,94	4,40	4,87	5,34	5,81	6,28	6,75	7,22	7,69	8,16	8,62	9,09	9,56	10,03	10,50	10,97	11,44	11,91
	70°	2,68	3,31	3,95	4,59	5,23	5,86	6,50	7,14	7,77	8,41	9,05	9,68	10,32	10,96	11,60	12,23	12,87	13,51	14,14	14,78	15,42	16,05	16,69
	65°	4,10	4,92	5,74	6,55	7,37	8,18	9,00	9,82	10,63	11,45	12,26	13,08	13,90	14,71	15,53	16,34	17,16	17,98	18,79	19,61	20,42	21,24	22,06
	60°	5,93	6,94	7,95	8,96	9,97	10,98	11,99	13,00	14,01	15,02	16,03	17,04	18,05	19,06	20,07	21,09	22,10	23,11	24,12	25,13	26,14	27,15	28,16
	55°	8,25	9,47	10,70	11,92	13,15	14,37	15,60	16,82	18,05	19,27	20,50	21,72	22,95	24,18	25,40	26,63	27,85	29,08	30,30	31,53	32,75	33,98	35,20
	50°	11,18	12,65	14,12	15,59	17,05	18,52	19,99	21,46	22,93	24,40	25,86	27,33	28,80	30,27	31,74	33,21	34,68	36,14	37,61	39,08	40,55	42,02	43,49
45°	14,92	16,67	18,42	20,17	21,92	23,67	25,42	27,17	28,92	30,67	32,42	34,17	35,92	37,67	39,42	41,17	42,92	44,67	46,42	48,17	49,92	51,67	53,42	
40°	19,76	21,84	23,93	26,01	28,10	30,19	32,27	34,36	36,44	38,53	40,61	42,70	44,78	46,87	48,96	51,04	53,13	55,21	57,30	59,38	61,47	63,55	65,64	
35°	26,14	28,64	31,14	33,64	36,14	38,64	41,14	43,64	46,13	48,63	51,13	53,63	56,13	58,63	61,13	63,63	66,13	68,63	71,13	73,63	76,13	78,63	81,12	
30°	34,83	37,86	40,89	43,92	46,96	49,99	53,02	56,05	59,08	62,11	65,14	68,17	71,20	74,24	77,27	80,30	83,33	86,36	89,39	92,42	95,45	98,48	101,52	

TABEL 11-33: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 31,8 m¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 35,4 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	35,44	35,47	35,50	35,53	35,56	35,59	35,62	35,65	35,68	35,71	35,74	35,77	35,80	35,83	35,86	35,89	35,92	35,96	35,99	36,02	36,05	36,08	36,11
	88°	35,48	35,54	35,60	35,67	35,73	35,79	35,85	35,91	35,97	36,03	36,09	36,15	36,22	36,28	36,34	36,40	36,46	36,52	36,58	36,64	36,70	36,77	36,83
	87°	35,54	35,63	35,72	35,82	35,91	36,00	36,09	36,18	36,27	36,37	36,46	36,55	36,64	36,73	36,82	36,92	37,01	37,10	37,19	37,28	37,37	37,47	37,56
	86°	35,61	35,73	35,85	35,98	36,10	36,22	36,34	36,47	36,59	36,71	36,83	36,95	37,08	37,20	37,32	37,44	37,57	37,69	37,81	37,93	38,06	38,18	38,30
	85°	35,69	35,84	35,99	36,15	36,30	36,45	36,61	36,76	36,91	37,07	37,22	37,37	37,53	37,68	37,83	37,98	38,14	38,29	38,44	38,60	38,75	38,90	39,06
	84°	35,78	35,96	36,15	36,33	36,51	36,70	36,88	37,07	37,25	37,43	37,62	37,80	37,99	38,17	38,35	38,54	38,72	38,91	39,09	39,27	39,46	39,64	39,83
	83°	35,88	36,10	36,31	36,53	36,74	36,96	37,17	37,38	37,60	37,81	38,03	38,24	38,46	38,67	38,89	39,10	39,32	39,53	39,75	39,96	40,18	40,39	40,61
	82°	35,99	36,24	36,49	36,73	36,98	37,22	37,47	37,72	37,96	38,21	38,45	38,70	38,95	39,19	39,44	39,68	39,93	40,17	40,42	40,67	40,91	41,16	41,40
	81°	36,12	36,40	36,67	36,95	37,23	37,50	37,78	38,06	38,34	38,61	38,89	39,17	39,44	39,72	40,00	40,28	40,55	40,83	41,11	41,38	41,66	41,94	42,22
	80°	36,25	36,56	36,87	37,18	37,49	37,80	38,11	38,41	38,72	39,03	39,34	39,65	39,96	40,27	40,57	40,88	41,19	41,50	41,81	42,12	42,43	42,73	43,04
	75°	37,12	37,59	38,06	38,52	38,99	39,46	39,93	40,40	40,87	41,34	41,81	42,28	42,74	43,21	43,68	44,15	44,62	45,09	45,56	46,03	46,50	46,96	47,43
	70°	38,31	38,95	39,58	40,22	40,86	41,49	42,13	42,77	43,40	44,04	44,68	45,32	45,95	46,59	47,23	47,86	48,50	49,14	49,77	50,41	51,05	51,68	52,32
	65°	39,88	40,69	41,51	42,32	43,14	43,96	44,77	45,59	46,40	47,22	48,04	48,85	49,67	50,48	51,30	52,12	52,93	53,75	54,56	55,38	56,20	57,01	57,83
	60°	41,89	42,90	43,91	44,92	45,93	46,94	47,95	48,96	49,97	50,98	51,99	53,00	54,01	55,02	56,03	57,04	58,05	59,06	60,07	61,08	62,09	63,10	64,11
	55°	44,44	45,67	46,89	48,12	49,34	50,57	51,79	53,02	54,24	55,47	56,69	57,92	59,15	60,37	61,60	62,82	64,05	65,27	66,50	67,72	68,95	70,17	71,40
	50°	47,68	49,15	50,62	52,09	53,55	55,02	56,49	57,96	59,43	60,90	62,36	63,83	65,30	66,77	68,24	69,71	71,17	72,64	74,11	75,58	77,05	78,52	79,99
45°	51,81	53,56	55,31	57,06	58,81	60,56	62,31	64,06	65,81	67,56	69,31	71,06	72,81	74,56	76,31	78,06	79,81	81,56	83,31	85,06	86,81	88,56	90,31	
40°	57,16	59,24	61,33	63,41	65,50	67,59	69,67	71,76	73,84	75,93	78,01	80,10	82,19	84,27	86,36	88,44	90,53	92,61	94,70	96,78	98,87	100,96	103,04	
35°	64,22	66,72	69,22	71,72	74,21	76,71	79,21	81,71	84,21	86,71	89,21	91,71	94,21	96,71	99,21	101,71	104,21	106,70	109,20	111,70	114,20	116,70	119,20	
30°	73,83	76,86	79,89	82,92	85,96	88,99	92,02	95,05	98,08	101,11	104,14	107,17	110,20	113,24	116,27	119,30	122,33	125,36	128,39	131,42	134,45	137,48	140,52	

TABEL 11-34: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 35,4 M¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 35,4 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,52	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,08	0,14	0,20	0,27	0,33	0,39	0,45	0,51	0,57	0,63	0,69	0,75	0,82	0,88	0,94	1,00	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,37	1,43
	87°	0,14	0,23	0,32	0,42	0,51	0,60	0,69	0,78	0,87	0,97	1,06	1,15	1,24	1,33	1,42	1,52	1,61	1,70	1,79	1,88	1,97	2,07	2,16
	86°	0,21	0,33	0,45	0,58	0,70	0,82	0,94	1,07	1,19	1,31	1,43	1,55	1,68	1,80	1,92	2,04	2,17	2,29	2,41	2,53	2,66	2,78	2,90
	85°	0,29	0,44	0,59	0,75	0,90	1,05	1,21	1,36	1,51	1,67	1,82	1,97	2,13	2,28	2,43	2,58	2,74	2,89	3,04	3,20	3,35	3,50	3,66
	84°	0,38	0,56	0,75	0,93	1,11	1,30	1,48	1,67	1,85	2,03	2,22	2,40	2,59	2,77	2,95	3,14	3,32	3,51	3,69	3,87	4,06	4,24	4,43
	83°	0,48	0,70	0,91	1,13	1,34	1,56	1,77	1,98	2,20	2,41	2,63	2,84	3,06	3,27	3,49	3,70	3,92	4,13	4,35	4,56	4,78	4,99	5,21
	82°	0,59	0,84	1,09	1,33	1,58	1,82	2,07	2,32	2,56	2,81	3,05	3,30	3,55	3,79	4,04	4,28	4,53	4,77	5,02	5,27	5,51	5,76	6,00
	81°	0,72	1,00	1,27	1,55	1,83	2,10	2,38	2,66	2,94	3,21	3,49	3,77	4,04	4,32	4,60	4,88	5,15	5,43	5,71	5,98	6,26	6,54	6,82
	80°	0,85	1,16	1,47	1,78	2,09	2,40	2,71	3,01	3,32	3,63	3,94	4,25	4,56	4,87	5,17	5,48	5,79	6,10	6,41	6,72	7,03	7,33	7,64
	75°	1,72	2,19	2,66	3,12	3,59	4,06	4,53	5,00	5,47	5,94	6,41	6,88	7,34	7,81	8,28	8,75	9,22	9,69	10,16	10,63	11,10	11,56	12,03
	70°	2,91	3,55	4,18	4,82	5,46	6,09	6,73	7,37	8,00	8,64	9,28	9,92	10,55	11,19	11,83	12,46	13,10	13,74	14,37	15,01	15,65	16,28	16,92
	65°	4,48	5,29	6,11	6,92	7,74	8,56	9,37	10,19	11,00	11,82	12,64	13,45	14,27	15,08	15,90	16,72	17,53	18,35	19,16	19,98	20,80	21,61	22,43
	60°	6,49	7,50	8,51	9,52	10,53	11,54	12,55	13,56	14,57	15,58	16,59	17,60	18,61	19,62	20,63	21,64	22,65	23,66	24,67	25,68	26,69	27,70	28,71
	55°	9,04	10,27	11,49	12,72	13,94	15,17	16,39	17,62	18,84	20,07	21,29	22,52	23,75	24,97	26,20	27,42	28,65	29,87	31,10	32,32	33,55	34,77	36,00
	50°	12,28	13,75	15,22	16,69	18,15	19,62	21,09	22,56	24,03	25,50	26,96	28,43	29,90	31,37	32,84	34,31	35,77	37,24	38,71	40,18	41,65	43,12	44,59
45°	16,41	18,16	19,91	21,66	23,41	25,16	26,91	28,66	30,41	32,16	33,91	35,66	37,41	39,16	40,91	42,66	44,41	46,16	47,91	49,66	51,41	53,16	54,91	
40°	21,76	23,84	25,93	28,01	30,10	32,19	34,27	36,36	38,44	40,53	42,61	44,70	46,79	48,87	50,96	53,04	55,13	57,21	59,30	61,38	63,47	65,56	67,64	
35°	28,82	31,32	33,82	36,32	38,81	41,31	43,81	46,31	48,81	51,31	53,81	56,31	58,81	61,31	63,81	66,31	68,81	71,30	73,80	76,30	78,80	81,30	83,80	
30°	38,43	41,46	44,49	47,52	50,56	53,59	56,62	59,65	62,68	65,71	68,74	71,77	74,80	77,84	80,87	83,90	86,93	89,96	92,99	96,02	99,05	102,08	105,12	

TABEL 11-35: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 35,4 m¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 39,1 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	39,14	39,17	39,20	39,23	39,26	39,29	39,32	39,35	39,38	39,41	39,44	39,47	39,50	39,53	39,56	39,59	39,63	39,66	39,69	39,72	39,75	39,78	39,81
	88°	39,18	39,25	39,31	39,37	39,43	39,49	39,55	39,61	39,67	39,73	39,80	39,86	39,92	39,98	40,04	40,10	40,16	40,22	40,28	40,35	40,41	40,47	40,53
	87°	39,25	39,34	39,43	39,52	39,61	39,70	39,80	39,89	39,98	40,07	40,16	40,25	40,35	40,44	40,53	40,62	40,71	40,80	40,90	40,99	41,08	41,17	41,26
	86°	39,32	39,44	39,56	39,68	39,81	39,93	40,05	40,17	40,30	40,42	40,54	40,66	40,79	40,91	41,03	41,15	41,28	41,40	41,52	41,64	41,77	41,89	42,01
	85°	39,40	39,56	39,71	39,86	40,01	40,17	40,32	40,47	40,63	40,78	40,93	41,09	41,24	41,39	41,55	41,70	41,85	42,01	42,16	42,31	42,46	42,62	42,77
	84°	39,50	39,68	39,87	40,05	40,24	40,42	40,60	40,79	40,97	41,15	41,34	41,52	41,71	41,89	42,07	42,26	42,44	42,63	42,81	42,99	43,18	43,36	43,55
	83°	39,61	39,82	40,04	40,25	40,47	40,68	40,90	41,11	41,33	41,54	41,76	41,97	42,19	42,40	42,62	42,83	43,05	43,26	43,48	43,69	43,91	44,12	44,34
	82°	39,73	39,98	40,22	40,47	40,71	40,96	41,21	41,45	41,70	41,94	42,19	42,44	42,68	42,93	43,17	43,42	43,67	43,91	44,16	44,40	44,65	44,90	45,14
	81°	39,86	40,14	40,42	40,70	40,97	41,25	41,53	41,80	42,08	42,36	42,64	42,91	43,19	43,47	43,74	44,02	44,30	44,58	44,85	45,13	45,41	45,69	45,96
	80°	40,01	40,32	40,63	40,94	41,25	41,55	41,86	42,17	42,48	42,79	43,10	43,41	43,71	44,02	44,33	44,64	44,95	45,26	45,57	45,87	46,18	46,49	46,80
	75°	40,95	41,42	41,89	42,35	42,82	43,29	43,76	44,23	44,70	45,17	45,64	46,11	46,58	47,04	47,51	47,98	48,45	48,92	49,39	49,86	50,33	50,80	51,26
	70°	42,25	42,88	43,52	44,16	44,79	45,43	46,07	46,70	47,34	47,98	48,62	49,25	49,89	50,53	51,16	51,80	52,44	53,07	53,71	54,35	54,99	55,62	56,26
	65°	43,96	44,77	45,59	46,41	47,22	48,04	48,85	49,67	50,49	51,30	52,12	52,93	53,75	54,57	55,38	56,20	57,01	57,83	58,65	59,46	60,28	61,09	61,91
	60°	46,16	47,17	48,18	49,19	50,20	51,21	52,22	53,23	54,24	55,25	56,26	57,27	58,28	59,29	60,30	61,31	62,32	63,34	64,35	65,36	66,37	67,38	68,39
	55°	48,96	50,18	51,41	52,63	53,86	55,08	56,31	57,54	58,76	59,99	61,21	62,44	63,66	64,89	66,11	67,34	68,56	69,79	71,01	72,24	73,46	74,69	75,92
	50°	52,51	53,98	55,45	56,92	58,38	59,85	61,32	62,79	64,26	65,73	67,19	68,66	70,13	71,60	73,07	74,54	76,00	77,47	78,94	80,41	81,88	83,35	84,82
	45°	57,05	58,80	60,55	62,30	64,05	65,80	67,55	69,30	71,05	72,80	74,55	76,30	78,05	79,80	81,55	83,30	85,05	86,80	88,55	90,30	92,05	93,80	95,55
	40°	62,91	65,00	67,09	69,17	71,26	73,34	75,43	77,51	79,60	81,68	83,77	85,86	87,94	90,03	92,11	94,20	96,28	98,37	100,45	102,54	104,63	106,71	108,80
	35°	70,67	73,17	75,67	78,17	80,67	83,16	85,66	88,16	90,66	93,16	95,66	98,16	100,66	103,16	105,66	108,16	110,66	113,16	115,65	118,15	120,65	123,15	125,65
	30°	81,23	84,26	87,29	90,32	93,36	96,39	99,42	102,45	105,48	108,51	111,54	114,57	117,60	120,64	123,67	126,70	129,73	132,76	135,79	138,82	141,85	144,88	147,92

TABEL 11-36: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 39,1 M¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 39,1 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
Kruisingshoek in graden	89°	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,08	0,15	0,21	0,27	0,33	0,39	0,45	0,51	0,57	0,63	0,70	0,76	0,82	0,88	0,94	1,00	1,06	1,12	1,18	1,25	1,31	1,37	1,43
	87°	0,15	0,24	0,33	0,42	0,51	0,60	0,70	0,79	0,88	0,97	1,06	1,15	1,25	1,34	1,43	1,52	1,61	1,70	1,80	1,89	1,98	2,07	2,16
	86°	0,22	0,34	0,46	0,58	0,71	0,83	0,95	1,07	1,20	1,32	1,44	1,56	1,69	1,81	1,93	2,05	2,18	2,30	2,42	2,54	2,67	2,79	2,91
	85°	0,30	0,46	0,61	0,76	0,91	1,07	1,22	1,37	1,53	1,68	1,83	1,99	2,14	2,29	2,45	2,60	2,75	2,91	3,06	3,21	3,36	3,52	3,67
	84°	0,40	0,58	0,77	0,95	1,14	1,32	1,50	1,69	1,87	2,05	2,24	2,42	2,61	2,79	2,97	3,16	3,34	3,53	3,71	3,89	4,08	4,26	4,45
	83°	0,51	0,72	0,94	1,15	1,37	1,58	1,80	2,01	2,23	2,44	2,66	2,87	3,09	3,30	3,52	3,73	3,95	4,16	4,38	4,59	4,81	5,02	5,24
	82°	0,63	0,88	1,12	1,37	1,61	1,86	2,11	2,35	2,60	2,84	3,09	3,34	3,58	3,83	4,07	4,32	4,57	4,81	5,06	5,30	5,55	5,80	6,04
	81°	0,76	1,04	1,32	1,60	1,87	2,15	2,43	2,70	2,98	3,26	3,54	3,81	4,09	4,37	4,64	4,92	5,20	5,48	5,75	6,03	6,31	6,59	6,86
	80°	0,91	1,22	1,53	1,84	2,15	2,45	2,76	3,07	3,38	3,69	4,00	4,31	4,61	4,92	5,23	5,54	5,85	6,16	6,47	6,77	7,08	7,39	7,70
	75°	1,85	2,32	2,79	3,25	3,72	4,19	4,66	5,13	5,60	6,07	6,54	7,01	7,48	7,94	8,41	8,88	9,35	9,82	10,29	10,76	11,23	11,70	12,16
	70°	3,15	3,78	4,42	5,06	5,69	6,33	6,97	7,60	8,24	8,88	9,52	10,15	10,79	11,43	12,06	12,70	13,34	13,97	14,61	15,25	15,89	16,52	17,16
	65°	4,86	5,67	6,49	7,31	8,12	8,94	9,75	10,57	11,39	12,20	13,02	13,83	14,65	15,47	16,28	17,10	17,91	18,73	19,55	20,36	21,18	21,99	22,81
	60°	7,06	8,07	9,08	10,09	11,10	12,11	13,12	14,13	15,14	16,15	17,16	18,17	19,18	20,19	21,20	22,21	23,22	24,24	25,25	26,26	27,27	28,28	29,29
	55°	9,86	11,08	12,31	13,53	14,76	15,98	17,21	18,44	19,66	20,89	22,11	23,34	24,56	25,79	27,01	28,24	29,46	30,69	31,91	33,14	34,36	35,59	36,82
	50°	13,41	14,88	16,35	17,82	19,28	20,75	22,22	23,69	25,16	26,63	28,09	29,56	31,03	32,50	33,97	35,44	36,90	38,37	39,84	41,31	42,78	44,25	45,72
45°	17,95	19,70	21,45	23,20	24,95	26,70	28,45	30,20	31,95	33,70	35,45	37,20	38,95	40,70	42,45	44,20	45,95	47,70	49,45	51,20	52,95	54,70	56,45	
40°	23,81	25,90	27,99	30,07	32,16	34,24	36,33	38,41	40,50	42,58	44,67	46,76	48,84	50,93	53,01	55,10	57,18	59,27	61,35	63,44	65,53	67,61	69,70	
35°	31,57	34,07	36,57	39,07	41,57	44,06	46,56	49,06	51,56	54,06	56,56	59,06	61,56	64,06	66,56	69,06	71,56	74,06	76,55	79,05	81,55	84,05	86,55	
30°	42,13	45,16	48,19	51,22	54,26	57,29	60,32	63,35	66,38	69,41	72,44	75,47	78,50	81,54	84,57	87,60	90,63	93,66	96,69	99,72	102,75	105,78	108,82	

TABEL 11-37: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 39,1 M¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 44,9 meter)																								
Breedte viaduct / verspringsmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	44,94	44,97	45,00	45,03	45,06	45,09	45,12	45,15	45,18	45,21	45,24	45,27	45,30	45,33	45,37	45,40	45,43	45,46	45,49	45,52	45,55	45,58	45,61
	88°	44,99	45,05	45,11	45,17	45,23	45,29	45,36	45,42	45,48	45,54	45,60	45,66	45,72	45,78	45,84	45,91	45,97	46,03	46,09	46,15	46,21	46,27	46,33
	87°	45,05	45,15	45,24	45,33	45,42	45,51	45,60	45,70	45,79	45,88	45,97	46,06	46,15	46,25	46,34	46,43	46,52	46,61	46,70	46,80	46,89	46,98	47,07
	86°	45,13	45,25	45,38	45,50	45,62	45,74	45,87	45,99	46,11	46,23	46,36	46,48	46,60	46,72	46,85	46,97	47,09	47,21	47,33	47,46	47,58	47,70	47,82
	85°	45,22	45,38	45,53	45,68	45,84	45,99	46,14	46,30	46,45	46,60	46,76	46,91	47,06	47,21	47,37	47,52	47,67	47,83	47,98	48,13	48,29	48,44	48,59
	84°	45,33	45,52	45,70	45,88	46,07	46,25	46,43	46,62	46,80	46,99	47,17	47,35	47,54	47,72	47,91	48,09	48,27	48,46	48,64	48,83	49,01	49,19	49,38
	83°	45,45	45,67	45,88	46,10	46,31	46,53	46,74	46,96	47,17	47,39	47,60	47,82	48,03	48,25	48,46	48,68	48,89	49,10	49,32	49,53	49,75	49,96	50,18
	82°	45,59	45,83	46,08	46,33	46,57	46,82	47,06	47,31	47,55	47,80	48,05	48,29	48,54	48,78	49,03	49,28	49,52	49,77	50,01	50,26	50,51	50,75	51,00
	81°	45,74	46,01	46,29	46,57	46,85	47,12	47,40	47,68	47,95	48,23	48,51	48,79	49,06	49,34	49,62	49,89	50,17	50,45	50,73	51,00	51,28	51,56	51,83
	80°	45,90	46,21	46,52	46,83	47,14	47,44	47,75	48,06	48,37	48,68	48,99	49,30	49,60	49,91	50,22	50,53	50,84	51,15	51,46	51,76	52,07	52,38	52,69
	75°	46,95	47,42	47,89	48,36	48,83	49,30	49,77	50,24	50,70	51,17	51,64	52,11	52,58	53,05	53,52	53,99	54,46	54,92	55,39	55,86	56,33	56,80	57,27
	70°	48,42	49,06	49,69	50,33	50,97	51,60	52,24	52,88	53,51	54,15	54,79	55,42	56,06	56,70	57,34	57,97	58,61	59,25	59,88	60,52	61,16	61,79	62,43
	65°	50,36	51,17	51,99	52,81	53,62	54,44	55,25	56,07	56,89	57,70	58,52	59,33	60,15	60,97	61,78	62,60	63,41	64,23	65,05	65,86	66,68	67,49	68,31
	60°	52,86	53,87	54,88	55,89	56,90	57,91	58,92	59,93	60,94	61,95	62,96	63,97	64,98	65,99	67,00	68,01	69,02	70,03	71,04	72,05	73,06	74,07	75,08
	55°	56,04	57,26	58,49	59,71	60,94	62,16	63,39	64,62	65,84	67,07	68,29	69,52	70,74	71,97	73,19	74,42	75,64	76,87	78,09	79,32	80,55	81,77	83,00
	50°	60,08	61,55	63,02	64,49	65,95	67,42	68,89	70,36	71,83	73,30	74,77	76,23	77,70	79,17	80,64	82,11	83,58	85,04	86,51	87,98	89,45	90,92	92,39
	45°	65,25	67,00	68,75	70,50	72,25	74,00	75,75	77,50	79,25	81,00	82,75	84,50	86,25	88,00	89,75	91,50	93,25	95,00	96,75	98,50	100,25	102,00	103,75
	40°	71,94	74,02	76,11	78,19	80,28	82,37	84,45	86,54	88,62	90,71	92,79	94,88	96,96	99,05	101,14	103,22	105,31	107,39	109,48	111,56	113,65	115,73	117,82
	35°	80,78	83,28	85,78	88,28	90,78	93,28	95,78	98,27	100,77	103,27	105,77	108,27	110,77	113,27	115,77	118,27	120,77	123,27	125,77	128,27	130,77	133,26	135,76
	30°	92,83	95,86	98,89	101,92	104,96	107,99	111,02	114,05	117,08	120,11	123,14	126,17	129,20	132,24	135,27	138,30	141,33	144,36	147,39	150,42	153,45	156,48	159,52

Tabel 11-38: EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 44,9 M¹

		Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 44,9 meter)																						
		Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																						
Kruisingshoek in graden		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
	89°	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,09	0,15	0,21	0,27	0,33	0,39	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,88	0,94	1,01	1,07	1,13	1,19	1,25	1,31	1,37	1,43
	87°	0,15	0,25	0,34	0,43	0,52	0,61	0,70	0,80	0,89	0,98	1,07	1,16	1,25	1,35	1,44	1,53	1,62	1,71	1,80	1,90	1,99	2,08	2,17
	86°	0,23	0,35	0,48	0,60	0,72	0,84	0,97	1,09	1,21	1,33	1,46	1,58	1,70	1,82	1,95	2,07	2,19	2,31	2,43	2,56	2,68	2,80	2,92
	85°	0,32	0,48	0,63	0,78	0,94	1,09	1,24	1,40	1,55	1,70	1,86	2,01	2,16	2,31	2,47	2,62	2,77	2,93	3,08	3,23	3,39	3,54	3,69
	84°	0,43	0,62	0,80	0,98	1,17	1,35	1,53	1,72	1,90	2,09	2,27	2,45	2,64	2,82	3,01	3,19	3,37	3,56	3,74	3,93	4,11	4,29	4,48
	83°	0,55	0,77	0,98	1,20	1,41	1,63	1,84	2,06	2,27	2,49	2,70	2,92	3,13	3,35	3,56	3,78	3,99	4,20	4,42	4,63	4,85	5,06	5,28
	82°	0,69	0,93	1,18	1,43	1,67	1,92	2,16	2,41	2,65	2,90	3,15	3,39	3,64	3,88	4,13	4,38	4,62	4,87	5,11	5,36	5,61	5,85	6,10
	81°	0,84	1,11	1,39	1,67	1,95	2,22	2,50	2,78	3,05	3,33	3,61	3,89	4,16	4,44	4,72	4,99	5,27	5,55	5,83	6,10	6,38	6,66	6,93
	80°	1,00	1,31	1,62	1,93	2,24	2,54	2,85	3,16	3,47	3,78	4,09	4,40	4,70	5,01	5,32	5,63	5,94	6,25	6,56	6,86	7,17	7,48	7,79
	75°	2,05	2,52	2,99	3,46	3,93	4,40	4,87	5,34	5,80	6,27	6,74	7,21	7,68	8,15	8,62	9,09	9,56	10,02	10,49	10,96	11,43	11,90	12,37
	70°	3,52	4,16	4,79	5,43	6,07	6,70	7,34	7,98	8,61	9,25	9,89	10,52	11,16	11,80	12,44	13,07	13,71	14,35	14,98	15,62	16,26	16,89	17,53
	65°	5,46	6,27	7,09	7,91	8,72	9,54	10,35	11,17	11,99	12,80	13,62	14,43	15,25	16,07	16,88	17,70	18,51	19,33	20,15	20,96	21,78	22,59	23,41
	60°	7,96	8,97	9,98	10,99	12,00	13,01	14,02	15,03	16,04	17,05	18,06	19,07	20,08	21,09	22,10	23,11	24,12	25,13	26,14	27,15	28,16	29,17	30,18
	55°	11,14	12,36	13,59	14,81	16,04	17,26	18,49	19,72	20,94	22,17	23,39	24,62	25,84	27,07	28,29	29,52	30,74	31,97	33,19	34,42	35,65	36,87	38,10
	50°	15,18	16,65	18,12	19,59	21,05	22,52	23,99	25,46	26,93	28,40	29,87	31,33	32,80	34,27	35,74	37,21	38,68	40,14	41,61	43,08	44,55	46,02	47,49
45°	20,35	22,10	23,85	25,60	27,35	29,10	30,85	32,60	34,35	36,10	37,85	39,60	41,35	43,10	44,85	46,60	48,35	50,10	51,85	53,60	55,35	57,10	58,85	
40°	27,04	29,12	31,21	33,29	35,38	37,47	39,55	41,64	43,72	45,81	47,89	49,98	52,06	54,15	56,24	58,32	60,41	62,49	64,58	66,66	68,75	70,83	72,92	
35°	35,88	38,38	40,88	43,38	45,88	48,38	50,88	53,37	55,87	58,37	60,87	63,37	65,87	68,37	70,87	73,37	75,87	78,37	80,87	83,37	85,87	88,36	90,86	
30°	47,93	50,96	53,99	57,02	60,06	63,09	66,12	69,15	72,18	75,21	78,24	81,27	84,30	87,34	90,37	93,40	96,43	99,46	102,49	105,52	108,55	111,58	114,62	

TABEL 11-39: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 44,9 m¹

Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 52,3 meter)																										
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																										
Kruisingshoek in graden	Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																									
	1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25			
89°	52,34	52,37	52,40	52,43	52,46	52,49	52,52	52,55	52,58	52,61	52,64	52,67	52,71	52,74	52,77	52,80	52,83	52,86	52,89	52,92	52,95	52,98	53,01			
88°	52,39	52,45	52,52	52,58	52,64	52,70	52,76	52,82	52,88	52,94	53,00	53,07	53,13	53,19	53,25	53,31	53,37	53,43	53,49	53,55	53,62	53,68	53,74			
87°	52,46	52,56	52,65	52,74	52,83	52,92	53,01	53,11	53,20	53,29	53,38	53,47	53,56	53,66	53,75	53,84	53,93	54,02	54,11	54,21	54,30	54,39	54,48			
86°	52,55	52,67	52,79	52,92	53,04	53,16	53,28	53,41	53,53	53,65	53,77	53,90	54,02	54,14	54,26	54,39	54,51	54,63	54,75	54,88	55,00	55,12	55,24			
85°	52,65	52,81	52,96	53,11	53,27	53,42	53,57	53,72	53,88	54,03	54,18	54,34	54,49	54,64	54,80	54,95	55,10	55,26	55,41	55,56	55,71	55,87	56,02			
84°	52,77	52,96	53,14	53,32	53,51	53,69	53,88	54,06	54,24	54,43	54,61	54,80	54,98	55,16	55,35	55,53	55,71	55,90	56,08	56,27	56,45	56,63	56,82			
83°	52,91	53,12	53,34	53,55	53,77	53,98	54,20	54,41	54,63	54,84	55,06	55,27	55,49	55,70	55,92	56,13	56,35	56,56	56,78	56,99	57,21	57,42	57,63			
82°	53,06	53,31	53,55	53,80	54,04	54,29	54,54	54,78	55,03	55,27	55,52	55,77	56,01	56,26	56,50	56,75	57,00	57,24	57,49	57,73	57,98	58,22	58,47			
81°	53,23	53,51	53,78	54,06	54,34	54,61	54,89	55,17	55,45	55,72	56,00	56,28	56,56	56,83	57,11	57,39	57,66	57,94	58,22	58,50	58,77	59,05	59,33			
80°	53,42	53,72	54,03	54,34	54,65	54,96	55,27	55,58	55,88	56,19	56,50	56,81	57,12	57,43	57,74	58,04	58,35	58,66	58,97	59,28	59,59	59,90	60,20			
75°	54,61	55,08	55,55	56,02	56,49	56,96	57,43	57,90	58,37	58,83	59,30	59,77	60,24	60,71	61,18	61,65	62,12	62,59	63,05	63,52	63,99	64,46	64,93			
70°	56,29	56,93	57,57	58,20	58,84	59,48	60,12	60,75	61,39	62,03	62,66	63,30	63,94	64,57	65,21	65,85	66,48	67,12	67,76	68,40	69,03	69,67	70,31			
65°	58,52	59,34	60,15	60,97	61,79	62,60	63,42	64,23	65,05	65,87	66,68	67,50	68,32	69,13	69,95	70,76	71,58	72,40	73,21	74,03	74,84	75,66	76,48			
60°	61,40	62,41	63,42	64,43	65,44	66,45	67,46	68,47	69,48	70,49	71,50	72,52	73,53	74,54	75,55	76,56	77,57	78,58	79,59	80,60	81,61	82,62	83,63			
55°	65,07	66,30	67,52	68,75	69,97	71,20	72,42	73,65	74,87	76,10	77,33	78,55	79,78	81,00	82,23	83,45	84,68	85,90	87,13	88,35	89,58	90,80	92,03			
50°	69,74	71,21	72,68	74,15	75,61	77,08	78,55	80,02	81,49	82,96	84,43	85,89	87,36	88,83	90,30	91,77	93,24	94,70	96,17	97,64	99,11	100,58	102,05			
45°	75,71	77,46	79,21	80,96	82,71	84,46	86,21	87,96	89,71	91,46	93,21	94,96	96,71	98,46	100,21	101,96	103,71	105,46	107,21	108,96	110,71	112,46	114,21			
40°	83,45	85,54	87,62	89,71	91,79	93,88	95,96	98,05	100,13	102,22	104,31	106,39	108,48	110,56	112,65	114,73	116,82	118,90	120,99	123,08	125,16	127,25	129,33			
35°	93,68	96,18	98,68	101,18	103,68	106,18	108,68	111,18	113,68	116,17	118,67	121,17	123,67	126,17	128,67	131,17	133,67	136,17	138,67	141,17	143,67	146,17	148,67			
30°	107,63	110,66	113,69	116,72	119,76	122,79	125,82	128,85	131,88	134,91	137,94	140,97	144,00	147,04	150,07	153,10	156,13	159,16	162,19	165,22	168,25	171,28	174,32			

Tabel 11-40. EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 52,3 M¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 52,3 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,09	0,15	0,22	0,28	0,34	0,40	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,07	1,13	1,19	1,25	1,32	1,38	1,44
	87°	0,16	0,26	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71	0,81	0,90	0,99	1,08	1,17	1,26	1,36	1,45	1,54	1,63	1,72	1,81	1,91	2,00	2,09	2,18
	86°	0,25	0,37	0,49	0,62	0,74	0,86	0,98	1,11	1,23	1,35	1,47	1,60	1,72	1,84	1,96	2,09	2,21	2,33	2,45	2,58	2,70	2,82	2,94
	85°	0,35	0,51	0,66	0,81	0,97	1,12	1,27	1,42	1,58	1,73	1,88	2,04	2,19	2,34	2,50	2,65	2,80	2,96	3,11	3,26	3,41	3,57	3,72
	84°	0,47	0,66	0,84	1,02	1,21	1,39	1,58	1,76	1,94	2,13	2,31	2,50	2,68	2,86	3,05	3,23	3,41	3,60	3,78	3,97	4,15	4,33	4,52
	83°	0,61	0,82	1,04	1,25	1,47	1,68	1,90	2,11	2,33	2,54	2,76	2,97	3,19	3,40	3,62	3,83	4,05	4,26	4,48	4,69	4,91	5,12	5,33
	82°	0,76	1,01	1,25	1,50	1,74	1,99	2,24	2,48	2,73	2,97	3,22	3,47	3,71	3,96	4,20	4,45	4,70	4,94	5,19	5,43	5,68	5,92	6,17
	81°	0,93	1,21	1,48	1,76	2,04	2,31	2,59	2,87	3,15	3,42	3,70	3,98	4,26	4,53	4,81	5,09	5,36	5,64	5,92	6,20	6,47	6,75	7,03
	80°	1,12	1,42	1,73	2,04	2,35	2,66	2,97	3,28	3,58	3,89	4,20	4,51	4,82	5,13	5,44	5,74	6,05	6,36	6,67	6,98	7,29	7,60	7,90
	75°	2,31	2,78	3,25	3,72	4,19	4,66	5,13	5,60	6,07	6,53	7,00	7,47	7,94	8,41	8,88	9,35	9,82	10,29	10,75	11,22	11,69	12,16	12,63
	70°	3,99	4,63	5,27	5,90	6,54	7,18	7,82	8,45	9,09	9,73	10,36	11,00	11,64	12,27	12,91	13,55	14,18	14,82	15,46	16,10	16,73	17,37	18,01
	65°	6,22	7,04	7,85	8,67	9,49	10,30	11,12	11,93	12,75	13,57	14,38	15,20	16,02	16,83	17,65	18,46	19,28	20,10	20,91	21,73	22,54	23,36	24,18
	60°	9,10	10,11	11,12	12,13	13,14	14,15	15,16	16,17	17,18	18,19	19,20	20,22	21,23	22,24	23,25	24,26	25,27	26,28	27,29	28,30	29,31	30,32	31,33
	55°	12,77	14,00	15,22	16,45	17,67	18,90	20,12	21,35	22,57	23,80	25,03	26,25	27,48	28,70	29,93	31,15	32,38	33,60	34,83	36,05	37,28	38,50	39,73
	50°	17,44	18,91	20,38	21,85	23,31	24,78	26,25	27,72	29,19	30,66	32,13	33,59	35,06	36,53	38,00	39,47	40,94	42,40	43,87	45,34	46,81	48,28	49,75
45°	23,41	25,16	26,91	28,66	30,41	32,16	33,91	35,66	37,41	39,16	40,91	42,66	44,41	46,16	47,91	49,66	51,41	53,16	54,91	56,66	58,41	60,16	61,91	
40°	31,15	33,24	35,32	37,41	39,49	41,58	43,66	45,75	47,83	49,92	52,01	54,09	56,18	58,26	60,35	62,43	64,52	66,60	68,69	70,78	72,86	74,95	77,03	
35°	41,38	43,88	46,38	48,88	51,38	53,88	56,38	58,88	61,38	63,87	66,37	68,87	71,37	73,87	76,37	78,87	81,37	83,87	86,37	88,87	91,37	93,87	96,37	
30°	55,33	58,36	61,39	64,42	67,46	70,49	73,52	76,55	79,58	82,61	85,64	88,67	91,70	94,74	97,77	100,80	103,83	106,86	109,89	112,92	115,95	118,98	122,02	

TABEL 11-41: EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 52,3 m¹

Kruisingshoek in graden		Gecorrigeerde liggerlengte per kruisingshoek (basis lengte 59 meter)																							
		Breedte viaduct / verspringsingmaat in meter																							
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25	
89°	59,04	59,07	59,10	59,13	59,16	59,19	59,22	59,25	59,28	59,31	59,34	59,38	59,41	59,44	59,47	59,50	59,53	59,56	59,59	59,62	59,65	59,68	59,71		
88°	59,10	59,16	59,22	59,28	59,34	59,40	59,46	59,52	59,59	59,65	59,71	59,77	59,83	59,89	59,95	60,01	60,07	60,14	60,20	60,26	60,32	60,38	60,44		
87°	59,17	59,26	59,36	59,45	59,54	59,63	59,72	59,81	59,91	60,00	60,09	60,18	60,27	60,36	60,46	60,55	60,64	60,73	60,82	60,92	61,01	61,10	61,19		
86°	59,27	59,39	59,51	59,63	59,76	59,88	60,00	60,12	60,25	60,37	60,49	60,61	60,73	60,86	60,98	61,10	61,22	61,35	61,47	61,59	61,71	61,84	61,96		
85°	59,38	59,53	59,68	59,84	59,99	60,14	60,30	60,45	60,60	60,76	60,91	61,06	61,22	61,37	61,52	61,68	61,83	61,98	62,13	62,29	62,44	62,59	62,75		
84°	59,51	59,69	59,88	60,06	60,24	60,43	60,61	60,80	60,98	61,16	61,35	61,53	61,72	61,90	62,08	62,27	62,45	62,64	62,82	63,00	63,19	63,37	63,56		
83°	59,66	59,87	60,09	60,30	60,52	60,73	60,95	61,16	61,38	61,59	61,81	62,02	62,24	62,45	62,67	62,88	63,10	63,31	63,53	63,74	63,96	64,17	64,39		
82°	59,83	60,07	60,32	60,56	60,81	61,06	61,30	61,55	61,79	62,04	62,29	62,53	62,78	63,02	63,27	63,51	63,76	64,01	64,25	64,50	64,74	64,99	65,24		
81°	60,01	60,29	60,57	60,84	61,12	61,40	61,68	61,95	62,23	62,51	62,78	63,06	63,34	63,62	63,89	64,17	64,45	64,72	65,00	65,28	65,56	65,83	66,11		
80°	60,22	60,53	60,84	61,14	61,45	61,76	62,07	62,38	62,69	63,00	63,30	63,61	63,92	64,23	64,54	64,85	65,16	65,46	65,77	66,08	66,39	66,70	67,01		
75°	61,55	62,02	62,49	62,96	63,43	63,89	64,36	64,83	65,30	65,77	66,24	66,71	67,18	67,65	68,11	68,58	69,05	69,52	69,99	70,46	70,93	71,40	71,87		
70°	63,42	64,06	64,70	65,33	65,97	66,61	67,25	67,88	68,52	69,16	69,79	70,43	71,07	71,70	72,34	72,98	73,61	74,25	74,89	75,53	76,16	76,80	77,44		
65°	65,92	66,73	67,55	68,36	69,18	70,00	70,81	71,63	72,44	73,26	74,08	74,89	75,71	76,52	77,34	78,16	78,97	79,79	80,60	81,42	82,24	83,05	83,87		
60°	69,14	70,15	71,16	72,17	73,18	74,19	75,20	76,21	77,22	78,23	79,24	80,25	81,26	82,27	83,28	84,29	85,30	86,31	87,32	88,33	89,34	90,36	91,37		
55°	73,25	74,48	75,70	76,93	78,15	79,38	80,60	81,83	83,05	84,28	85,50	86,73	87,96	89,18	90,41	91,63	92,86	94,08	95,31	96,53	97,76	98,98	100,21		
50°	78,49	79,96	81,42	82,89	84,36	85,83	87,30	88,77	90,23	91,70	93,17	94,64	96,11	97,58	99,05	100,51	101,98	103,45	104,92	106,39	107,86	109,32	110,79		
45°	85,19	86,94	88,69	90,44	92,19	93,94	95,69	97,44	99,19	100,94	102,69	104,44	106,19	107,94	109,69	111,44	113,19	114,94	116,69	118,44	120,19	121,94	123,69		
40°	93,87	95,96	98,04	100,13	102,22	104,30	106,39	108,47	110,56	112,64	114,73	116,81	118,90	120,99	123,07	125,16	127,24	129,33	131,41	133,50	135,58	137,67	139,76		
35°	105,36	107,86	110,36	112,86	115,36	117,86	120,36	122,86	125,36	127,86	130,36	132,85	135,35	137,85	140,35	142,85	145,35	147,85	150,35	152,85	155,35	157,85	160,35		
30°	121,03	124,06	127,09	130,12	133,16	136,19	139,22	142,25	145,28	148,31	151,34	154,37	157,40	160,44	163,47	166,50	169,53	172,56	175,59	178,62	181,65	184,68	187,72		

TABEL 11-42 : EFFECT LIGGERLENGTE DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 59 M¹

Lengteverschil per kruisingshoek (basis lengte 59 meter)																								
Breedte viaduct / verspringingmaat in meter																								
		1,75	3,50	5,25	7,00	8,75	10,50	12,25	14,00	15,75	17,50	19,25	21,00	22,75	24,50	26,25	28,00	29,75	31,50	33,25	35,00	36,75	38,50	40,25
Kruisingshoek in graden	89°	0,04	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59	0,62	0,65	0,68	0,71
	88°	0,10	0,16	0,22	0,28	0,34	0,40	0,46	0,52	0,59	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,07	1,14	1,20	1,26	1,32	1,38	1,44
	87°	0,17	0,26	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,91	1,00	1,09	1,18	1,27	1,36	1,46	1,55	1,64	1,73	1,82	1,92	2,01	2,10	2,19
	86°	0,27	0,39	0,51	0,63	0,76	0,88	1,00	1,12	1,25	1,37	1,49	1,61	1,73	1,86	1,98	2,10	2,22	2,35	2,47	2,59	2,71	2,84	2,96
	85°	0,38	0,53	0,68	0,84	0,99	1,14	1,30	1,45	1,60	1,76	1,91	2,06	2,22	2,37	2,52	2,68	2,83	2,98	3,13	3,29	3,44	3,59	3,75
	84°	0,51	0,69	0,88	1,06	1,24	1,43	1,61	1,80	1,98	2,16	2,35	2,53	2,72	2,90	3,08	3,27	3,45	3,64	3,82	4,00	4,19	4,37	4,56
	83°	0,66	0,87	1,09	1,30	1,52	1,73	1,95	2,16	2,38	2,59	2,81	3,02	3,24	3,45	3,67	3,88	4,10	4,31	4,53	4,74	4,96	5,17	5,39
	82°	0,83	1,07	1,32	1,56	1,81	2,06	2,30	2,55	2,79	3,04	3,29	3,53	3,78	4,02	4,27	4,51	4,76	5,01	5,25	5,50	5,74	5,99	6,24
	81°	1,01	1,29	1,57	1,84	2,12	2,40	2,68	2,95	3,23	3,51	3,78	4,06	4,34	4,62	4,89	5,17	5,45	5,72	6,00	6,28	6,56	6,83	7,11
	80°	1,22	1,53	1,84	2,14	2,45	2,76	3,07	3,38	3,69	4,00	4,30	4,61	4,92	5,23	5,54	5,85	6,16	6,46	6,77	7,08	7,39	7,70	8,01
	75°	2,55	3,02	3,49	3,96	4,43	4,89	5,36	5,83	6,30	6,77	7,24	7,71	8,18	8,65	9,11	9,58	10,05	10,52	10,99	11,46	11,93	12,40	12,87
	70°	4,42	5,06	5,70	6,33	6,97	7,61	8,25	8,88	9,52	10,16	10,79	11,43	12,07	12,70	13,34	13,98	14,61	15,25	15,89	16,53	17,16	17,80	18,44
	65°	6,92	7,73	8,55	9,36	10,18	11,00	11,81	12,63	13,44	14,26	15,08	15,89	16,71	17,52	18,34	19,16	19,97	20,79	21,60	22,42	23,24	24,05	24,87
	60°	10,14	11,15	12,16	13,17	14,18	15,19	16,20	17,21	18,22	19,23	20,24	21,25	22,26	23,27	24,28	25,29	26,30	27,31	28,32	29,33	30,34	31,36	32,37
	55°	14,25	15,48	16,70	17,93	19,15	20,38	21,60	22,83	24,05	25,28	26,50	27,73	28,96	30,18	31,41	32,63	33,86	35,08	36,31	37,53	38,76	39,98	41,21
	50°	19,49	20,96	22,42	23,89	25,36	26,83	28,30	29,77	31,23	32,70	34,17	35,64	37,11	38,58	40,05	41,51	42,98	44,45	45,92	47,39	48,86	50,32	51,79
45°	26,19	27,94	29,69	31,44	33,19	34,94	36,69	38,44	40,19	41,94	43,69	45,44	47,19	48,94	50,69	52,44	54,19	55,94	57,69	59,44	61,19	62,94	64,69	
40°	34,87	36,96	39,04	41,13	43,22	45,30	47,39	49,47	51,56	53,64	55,73	57,81	59,90	61,99	64,07	66,16	68,24	70,33	72,41	74,50	76,58	78,67	80,76	
35°	46,36	48,86	51,36	53,86	56,36	58,86	61,36	63,86	66,36	68,86	71,36	73,85	76,35	78,85	81,35	83,85	86,35	88,85	91,35	93,85	96,35	98,85	101,35	
30°	62,03	65,06	68,09	71,12	74,16	77,19	80,22	83,25	86,28	89,31	92,34	95,37	98,40	101,44	104,47	107,50	110,53	113,56	116,59	119,62	122,65	125,68	128,72	

TABEL 11-43 : EFFECT LENGTEVERSCHIL LIGGER DOOR EEN KRUISINGSHOEK OP GESTANDAARDISEERDE LIGGERS VAN 59 M¹

Bijlage J. Analyse meest geschikte liggertype remontabiliteit

In het overzicht in bijlage J.4 zijn de beschikbare prefab betonnen liggertypes voor bruggen en viaducten weergegeven. Dit overzicht geeft een integraal beeld van de liggertypes die bij Nederlandse prefab betonproducenten leverbaar zijn. Tevens geeft het overzicht weer welke liggertypes zoal internationaal verkrijgbaar zijn. Hierbij moet worden opgemerkt dat een aantal liggertypes in meerdere landen gebruikt wordt. Om te voorkomen dat het overzicht uitputtend wordt, is het opnemen van dubbele liggertypes in het overzicht grotendeels voorkomen.

Verder zijn bij de inventarisatie de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Rekening gehouden is met liggertypes die binnen de volgende afbakening vallen:
 - prefab betonnen ligger (in enkele gevallen zijn hybride liggers – waarbij een stalen profiel wordt omhuld met beton – tevens opgenomen);
 - geschikt draagvermogen voor zwaar verkeer (met enkele uitzonderingen);
 - liggertypes uit binnen- en buitenland;
 - liggertypes die nu en/of in het verleden zijn toegepast.
- In Nederland zijn veel verschillende liggertypes te onderscheiden. Veel van de liggertypes zijn varianten van hetzelfde basisconcept (bijv. de kokerligger). In de tabel is rekening gehouden met basisconcepten naar de indeling volgens *Vuistregels voor het ontwerpen van betonnen bruggen en viaducten* (Rijkswaterstaat B. , 2004), waarbij varianten genoemd zijn achter het basisconcept.
- Enkele in Nederland gebruikte liggertypes behoren niet tot de basisconcepten. Deze zijn apart vernoemd.
- Liggertypes die in het buitenland worden gebruikt zijn in een apart onderdeel van het overzicht geïnventariseerd.

J.1 – Filtering liggertypes

De geïnventariseerde liggertypes zijn allen in de huidige vorm niet volledig geschikt om in een remontabel ontwerp te worden gebruikt. Sommige liggertypes kunnen om een of meer redenen dermate ongeschikt worden geacht, dat eenvoudig kan worden gesteld dat deze, zelfs na zorgvuldige afweging, nadrukkelijk niet het meest geschikte liggertype zullen zijn om middels ontwerpaanpassingen remontabel te maken en/of geschikt zijn voor gebruik bij bruggen en viaducten in en over rijkswegen. Indien een liggertype aan een van de onderstaande filtercriteria voldoet zal deze verder niet meer in overweging worden genomen.

Met de volgende filteraspecten is rekening gehouden:

- Ongeschikt voor toepassing in en/of over rijkswegen (plaatbrug bestaande uit één prefab plaat, Romaans brug, T-liggers en double T-girder).
- Ongeschikt voor het opnemen van een aanrijdbelasting conform *NEN-EN 1991-1-7+C1/NB* (zie ook de liggersystemen bij het vorige filteraspect).
- Liggers die volledig ingestort worden (volstortligger, MY & MYE Edge Beam en T-beam & TB-beam).
- Liggertypes waarvan onvoldoende informatie beschikbaar is en/of die verouderd zijn (SDK-liggersysteem, Preflexbalkensysteem, Prestressed composite girder, VIP-liggersysteem, Inverted double T beams en Lightweight hollow core slabs).

Naast ongeschikte liggertypes komen een aantal afzonderlijk opgenomen liggertypes voor die sterke overeenkomsten met elkaar vertonen. Daar waar de verschillen tussen liggertypes dermate klein zijn dat de ontwerputgangspunten nagenoeg gelijk zijn, is de keuze gemaakt deze liggertypes als varianten te benoemen van het gelijke hoofdliggertype. Dit is opgetreden in de volgende situaties:

- De U-panels, W-beams, UMB Edge Beam en (S)U-beams vertonen sterke overeenkomsten met de kokerligger, met als voornaamste verschil tussen de kokerligger en de andere genoemde liggertypes dat de bovenflens pas wordt gestort indien de onderflens en wanden al uitgehard zijn. De bovenflens van de kokerligger wordt direct met de onderflens en wanden gestort als prefab onderdeel. De kokerligger wordt als uitgangspunt genomen omdat vanuit de uitgangspunten van het onderzoek wordt geacht dat deze uitvoeringsvorm daar beter bij aansluit.
- De Solid Box Beam is een buitenlandse variant van de massieve brugligger.

- De M Edge Beam, TY & TYE Edge Beam, Y & YE Edge Beam, I-beams en Inverted I-beams kennen dezelfde vormgeving en werking als H-liggers/I-liggers. Afhankelijk van het type en/of de uitvoeringsvorm kan gekozen worden voor een natte knoop verbinding of een i.h.w. gestorte druklaag.
- De SY & SYE Edge Beam komen overeen met het railbalksysteem. Echter is bij deze variant kenmerkend dat de onderflenzen geen contact maken. In combinatie met een in het werk gestorte druklaag kan de werkende breedte variëren.
- De PIQ-liggers komen overeen met de omgekeerde T-liggers/railbalken.

Met behulp van de filteraspecten is het aantal nader te onderzoeken liggertypes teruggebracht tot vijf. Dit betreffen de volgende vijf liggertypes:

- plaatligger;
- massieve brugligger;
- kokerligger;
- railbalk;
- H-ligger/I-ligger.

J.2 – Multicriteria analyse (MCA) kansrijke liggertypes

De vijf overgebleven liggertypes worden afgewogen middels een multicriteria analyse (MCA). In de MCA worden de liggers op verschillende aspecten beoordeeld met een score van 1 tot 5. Hierbij geldt dat een hoog getal betekent dat het liggertype zich goed verhoudt ten aanzien van het aspect ten opzichte van andere liggertypes. Met de volgende aspecten wordt rekening gehouden: gewicht, slankheid, intensiviteit benodigde aanpassingen, uitwisselbaarheid randligger en tussenligger, productkosten, duurzaamheid (MKI) en productiesnelheid. De aspecten zijn niet allemaal even belangrijk. Dit komt tot uitdrukking in de weegfactor, waarbij geldt dat belangrijke aspecten worden gekenmerkt door een hogere weegfactor. Deze weegfactor is gerelateerd aan de mate waarin dit een belangrijke rol speelt bij remontabiliteit en standaardisatie.

De scoretoekenning van een liggertype op een aspect gebeurt aspectafhankelijk op verschillende schalen:

- Aan aspecten waarbij voor elk liggertype exacte rekenkundige waarden kenbaar zijn, waarbij rekening wordt gehouden met alle invloedsferen op deze rekenkundige waarden, vindt de scoretoekenning plaats op *interval schaal* (klasseindeling).
- Aan aspecten waarbij niet voor elk liggertype exacte rekenkundige waarden kenbaar zijn, maar waarbij wel een rangorde beredeneerd kan worden, vindt de scoretoekenning plaats op *ordinale schaal* (rangorde).
- Aspecten waarbij de beoordeling plaatsvindt op meerdere subaspecten binnen een aspect, vindt een scoretoekenning plaats op *binair schaal*. Hiertoe wordt per subaspect bepaald of dit van toepassing is op het liggertype. Het aantal subaspecten dat van toepassing is op een liggertype bepaald vervolgens de rangorde van de liggertypes op het overkoepelende aspect.

Eerst wordt de ingevulde MCA weergegeven in bijlage J.2.1. Vervolgens wordt de onderbouwing van de scoretoekenning per aspect weergegeven in bijlage J.2.2. Ten slotte volgt toelichting op de wegingsfactoren waar rekening mee is gehouden in bijlage J.2.3.

J.2.1 Multicriteria analyse

Onderstaand is de MCA weergegeven waarin de plaatligger, massieve brugligger, kokerligger, railbalken en H-ligger/I-ligger zijn afgewogen. Uit de MCA blijkt dat de kokerligger de beste uitgangspositie kent om in de toekomst in een remontabel brugdek te worden toegepast.

MCA prefab liggertypes	Wegingsfactor	Plaatligger	Massieve brugligger	Kokerligger	Railbalken	H-ligger/ I-ligger
Principe dek						
Dimensionering						
Gewicht	4	1	2	5	4	3
Slankheid (overspanning/hoogte)	6	2	2	5	3	4
Ontwerp						
Intensiviteit benodigde aanpassingen	5	2	5	5	2	3
Uitwisselbaarheid randligger en tussenligger	5	2	4	5	2	3
Productie						
Productkosten	5	1	5	4	3	2
Duurzaamheid (mki)	8	4	5	3	4	2
Productiesnelheid	2	5	4	1	3	2
TOTAAL		83	138	146	107	96

Tabel 11-44: Multicriteria analyse de 5 meest kansrijke liggertypes voor een remontabel ontwerp

1.2.2 Onderbouwing MCA

Gewicht

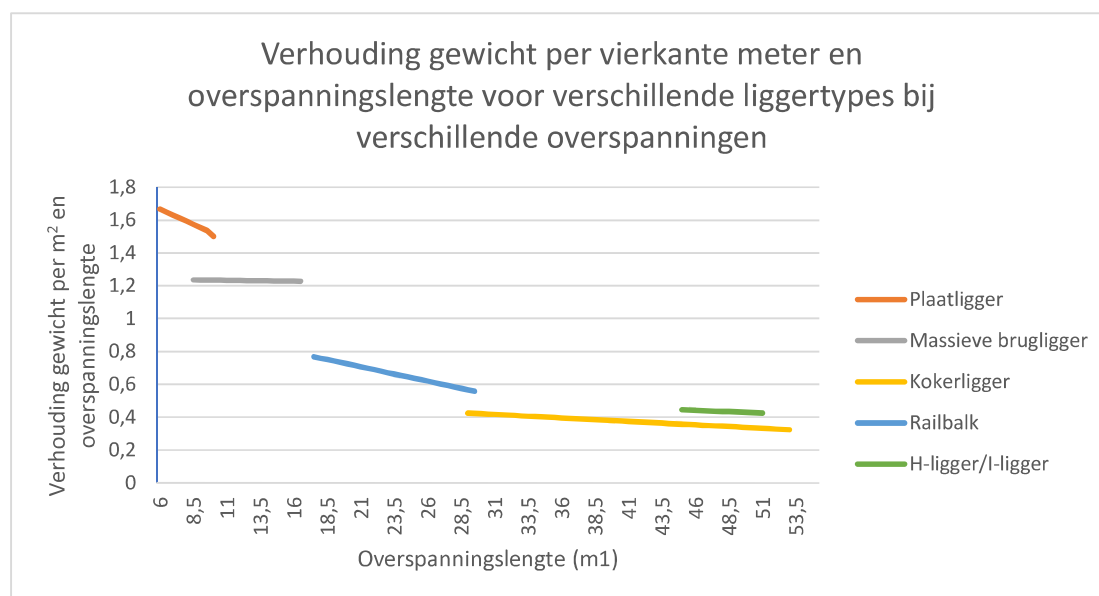
De gewichten van de verschillende liggertypes kunnen niet zomaar worden vergeleken. Niet alleen verschilt het overspanningsbereik waarbinnen de verschillende liggertypes kunnen worden toegepast, ook verschilt per liggertype de toename in gewicht bij een gelijke toename van de overspanning. Een vergelijking kan om deze redenen slechts bij benadering op een objectieve wijze worden uitgevoerd, echter is voorzichtigheid altijd geboden.

Bij het vergelijken van de liggertypes zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Rekening dient te worden gehouden met het eigengewicht van het betonnen dek. Hiertoef worden eventuele in het dek gestorte delen ook meegerekend in de bepaling van het gewicht.
- Het gewicht wordt bepaald per oppervlakte-eenheid (vierkante meter).
- Hoewel het dek bij grotere overspanningen een hoger gewicht per oppervlakte-eenheid kent, gaan deze grotere overspanningen over het algemeen efficiënter met het materiaal om. Om dit tot uitdrukking te brengen is het verhoudingsgetal bepaald tussen het gewicht per oppervlakte-eenheid en de overspanningslengte. Hiermee komt tot uitdrukking hoe efficiënt een liggertype met het materiaal om gaat. Deze verhouding verschilt weer binnen het overspanningsbereik van een liggertype, afhankelijk van de overspanning. Om deze reden is voor de verschillende liggertypes de verhoudingsfactor bepaald bij zowel een korte als lange overspanning. Uit nader onderzoek is gebleken dat de verhouding voor verschillende overspanningen binnen het overspanningsbereik kan worden benaderd door lineair te interpoleren tussen de verhoudingsfactor bij de laagste en hoogste waarde van de overspanning binnen het overspanningsbereik.

Met behulp van de bovenstaande uitgangspunten is de onderstaande grafiek opgesteld. Hierin geldt dat een lager verhoudingsgetal tussen het gewicht per m² en de overspanningslengte bij een gelijke overspanning, een efficiëntere omgang met het materiaal betekent.

De scoretoekenning op dit aspect vindt plaats op ordinale schaal, middels een rangordenormering. Hierbij scoort de best scorende ligger een 5 en de slechtst scorende ligger een 1.



Figuur 11-50: Verhouding gewicht per m² dek en overspanningslengte voor verscheidene liggertypes

Slankheid

De slankheid beschrijft de verhouding van de constructiehoogte en de overspanningslengte die hiermee gecreëerd kan worden. Een objectieve scoretoekenning kan plaatsvinden op dit aspect, indien de bepaling van de constructiehoogte plaatsvindt op de eindsituatie van het dek.

De slankheid van brugdekken met prefab betonnen liggers varieert bij verschillende liggertypes (en enigszins binnen het liggertype zelf bij verschillende overspanningen). Gesteld kan worden dat de slankheid grofweg varieert tussen 1/20 en 1/30. De scoretoekenning heeft daartoe plaatsgevonden op basis van de volgende klasseindeling:

Score	Slankheid
1	$\geq 1/20$
2	$< 1/20, \geq 1/23$
3	$< 1/23, \geq 1/26$
4	$< 1/26, \geq 1/29$
5	$< 1/29$

Tabel 11-45: Klasseindeling slankheid brugdekken met prefab betonnen liggers

De volgende vuistregels zijn geldend voor de verschillende liggertypes (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022):

- Plaatligger en massieve brugligger: 1/20;
- Kokerliggers: 1/30 – 1/32;
- Railbalken (of omgekeerde T-liggers): 1/25;
- I-balken zonder in-situ druklaag (bijv. met dwarsvoorspanning): 1/28.

Intensiviteit benodigde aanpassingen

Alle verschillende brugdekken die gebruik maken van prefab liggers vereisen vanuit de huidige uitgangspositie ontwerpaanpassingen om een rendabele remontabele toepassing van deze liggers te accommoderen. Echter de mate waarin aanpassingen nodig zijn verschilt per liggertype. Binnen een liggertype zijn tevens soms verschillende uitvoeringsvormen mogelijk, bijvoorbeeld de keuze bij I-liggers om voor een in het werk gestorte druklaag of voor in het werk gestorte natte knopen kan worden gekozen. Ter bepaling van de intensiviteit van de benodigde aanpassingen wordt voor elk liggertype rekening gehouden met de meest gunstige uitgangspositie.

De intensiviteit van de benodigde aanpassingen wordt op binaire schaal bepaald. Daarmee wordt de intensiviteit uitgedrukt in het aantal aspecten waar aanpassingen nodig zijn.

In de onderstaande tabel is aangegeven met welke aanpassingen rekening wordt gehouden en welke liggertypes deze aanpassingen benodigen.

Volg-nummer	Aspect	Plaat-ligger	Massieve brugligger	Koker-ligger	Railbalken	H-ligger/I-ligger
1	Aanwezigheid i.h.w. gestorte druklaag	x			x	
2	Benodigde aanpassing koppeling liggers in dwarsrichting	x	x	x	x	x
3	Benodigde aanpassing koppeling liggers in lengterichting	x	x	x	x	x
4	Benodigde aangepaste vormgeving randligger indien gebruik gelijke bekisting als bij tussenligger	x			x	
5	Afwijking vormgeving randligger voor aanbrengen dwarsvoorspanning (indien aspect 4 niet van toepassing is)					x
Totaal		4	2	2	4	3
Score in MCA		2	5	5	2	3

Tabel 11-46: Aanpassingsaspecten

Uitwisselbaarheid randligger en tussenligger

Uit eerder onderzoek is gebleken dat er sterke argumenten ten grondslag liggen aan de wens het te willen standaardiseren van zowel de randbalk als de tussenligger. Daarbij biedt het tevens grote voordelen indien de randligger zo sterk mogelijk overeenkomt met de tussenligger. Het wordt voor de liggleverancier dan mogelijk om dezelfde bekisting te gebruiken voor de tussenliggers en randliggers. Dit leidt via meerdere wegen tot efficiëntere productie wat een kostenbesparing en een verlaagde milieu-impact tot gevolg heeft.

De mate van uitwisselbaarheid wordt aan de hand van de huidige toepassingsmogelijkheden bepaald. Architectonische vormgeving speelt hierbij geen rol omdat geacht wordt dat hier invulling aan kan worden gegeven buiten de vorm van de randligger om.

De scoretoekenning op dit aspect vindt plaats op ordinale schaal, middels een rangordenormering. Hierbij scoort de best scorende ligger een 5 en de slechtst scorende ligger een 1. De rangordenormering is bepaald op basis van kennis en ervaring. De argumenten die hieraan ten grondslag liggen zijn onderstaand weergegeven.

Plaatligger

Plaatliggers vereisen speciale oplossingen voor de randelementen. Uitwisselbaarheid is daarmee ondoenlijk.

Massieve brugligger

Massieve brugliggers lenen zich uitermate goed om uitwisselbare randliggers en tussenliggers te ontwerpen. De massieve brugligger kent daarbij een goede weerstand tegen aanrijdbelastingen.

Eventuele aanpassingen aan de bovenzijde van de ligger zijn mogelijk, zonder dat dit invloed heeft op de toe te passen bekisting.

Kokerligger

De kokerligger wordt gekenmerkt door nagenoeg dezelfde voordelen als die de massieve brugligger biedt. De kokerligger kan echter nog net iets voordeliger worden geacht omdat deze gekenmerkt wordt door een uitsparing in de binnenzijde. Dit biedt eventueel mogelijkheden voor voorzieningen, zonder dat dit invloed heeft op de bekisting.

Railbalk

Bij het toepassen van een constructie met railbalken wordt een randligger toegepast die anders van vorm is als de railbalken. Daarmee is de uitwisselbaarheid in de huidige situatie ondoenlijk. Daarnaast betekent dit dat aparte bekisting nodig is voor de randliggers en de tussenliggers.

H-ligger/I-ligger

Bij dit type ligger is het mogelijk een randligger toe te passen met een gelijke vormgeving als de tussenliggers. De vormgeving is wel ingewikkelder als bij massieve brugliggers of kokerliggers, wat enigszins nadelige gevolgen of een bemoeilijkende werking kan uitoefenen op het productieproces indien de randligger aangepaste functionele eigenschappen dient te krijgen, zonder dat dit leidt tot een andere/aangepaste bekisting. Aandachtspunt daarbij is het kunnen aanbrengen van de dwarsnaspansing, welke een gewijzigde vormgeving van de randliggers t.o.v. de tussenliggers vereist.

De bovengenoemde bepaling leidt tot de volgende rangorde (van best scorend naar slechtst scorend):

- kokerligger;
- massieve brugligger;
- H-ligger/I-ligger;
- Plaatligger & railbalk.

Productkosten

De kosten voor een betonnen brugdek met prefab betonnen liggers kent veel afhankelijkheden. In eerste instantie speelt de dimensionering een grote rol. In de regel wordt het dek steeds duurder naarmate de overspanning en breedte groter wordt. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat voor kleine afmetingen geldt dat deze relatief duur zijn omdat de arbeid per m² brugdek hier betrekkelijk hoog is. Verder speelt het type ligger een aanzienlijke rol in de kosten van het brugdek. In de onderstaande tabel is voor een aantal liggertypes de hoogte van de kosten weergegeven voor een brugdek met gegeven afmetingen. Verder is in deze tabel af te lezen hoe de kosten zich verhouden per m² brugdek en hoe de kosten zich verhouden indien deze gecorrigeerd worden voor de overspanningslengte.

Nr.	Type brug	Afmetingen (lxb)	Oppervlakte dek	Kosten-verhouding totale dek t.o.v. een vlakke brug	Kosten-verhouding per m ² dek	Kosten-verhouding per m ² dek, gecorrigeerd voor de overspannings-lengte
1	Vlakke brug (contactliggers)	8.00x4.50 m ¹	36	100%	100%	100%
2	Rogir-S (volstortliggers)	15.80x10.00 m ¹	158	190%	43,29%	21,92%
3	Rogir-Z (railbalken)	32.00x5.50 m ¹	176	570%	116,59%	29,15%
4	Rogir-HE (I-liggers)	40.00x20.00 m ¹	800	3950%	177,75%	35,55%
5	Rogir-K (kokerliggers)	45.00x30.00 m ¹	1350	5375%	143,33%	25,48%

Tabel 11-47: Kostenverhouding verscheidene liggertypes, geproduceerd door Romein Beton

Ter vergelijking van de kosten van verschillende brugdekken met verscheidene liggers wordt de kostenverhouding per m² dek, gecorrigeerd voor de overspanningslengte aangehouden. Dit omdat grotere overspanningen in de regel leiden tot zwaarder gedimensioneerde liggers om de optredende belastingen veilig af te kunnen dragen. Verder dient te worden opgemerkt dat de massieve brugligger in dit overzicht niet aanwezig is. Geacht wordt dat de kosten van een brugdek met dergelijke liggers zich het beste laat vergelijken met een brugdek met volstortliggers. Om deze reden wordt de kostenverhouding voor de volstortliggers overgenomen voor de massieve brugligger.

De scoretoekenning op dit aspect vindt plaats op ordinale schaal, middels een rangordenormering. Hierbij scoort de best scorende ligger een 5 en de slechtst scorende ligger een 1.

Het bovengenoemde leidt tot de volgende rangorde (van best scorend naar slechtst scorend):

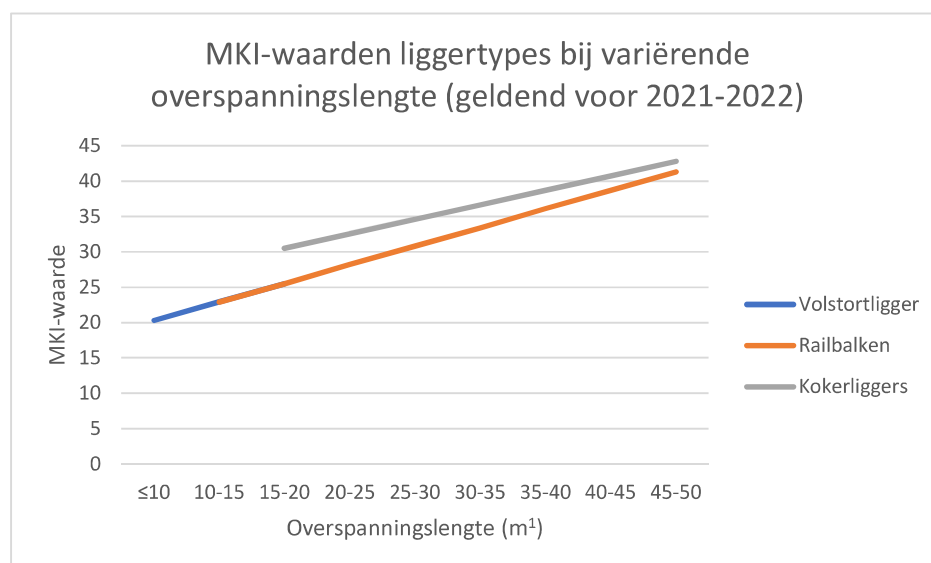
- massieve brugligger;
- kokerligger;
- railbalk;
- H-ligger/I-ligger;
- plaatligger.

Duurzaamheid (MKI)

De MKI-waarde – Milieu Kosten Indicator waarde – brengt alle milieueffecten uit verschillende categorieën samen en drukt dit uit in één cijferindicator. Hiertoe is het mogelijk de milieuduurzaamheid van producten onderling objectief te vergelijken.

De *RTD-1033 Verduurzaming beton* beschrijft voor railbalken, volstortliggers en kokerliggers de MKI-waarde. De MKI-waarde is bepaald per m² brugdek en neemt daarmee binnen een liggertype toe bij toenemende overspanning. Daarmee is het niet volledig mogelijk de MKI-waarden van verschillende liggertypes onderling op een objectieve wijze te vergelijken omdat de procentuele toenames verschilt per liggertype. Daarnaast is niet van alle liggertypes die in de MCA worden afgewogen een MKI-waarde bekend. De scoretoekenning vindt om deze reden plaats op ordinale schaal, middels een rangordenormering. Aangezien de MKI-waarde van enkele liggertypes gelijkwaardig wordt geacht, wordt aan deze liggertypes een gelijke score toegekend. Van de liggertypes waarvan geen MKI-waarde bekend is, zijnde de plaatligger, massieve brugligger en de H-ligger/I-ligger, is op basis van kennis en ervaring indicatief bespiegeld hoe deze zich verhouden ten opzichte van de liggertypes waarvan wel een MKI-waarde bekend is. Dit heeft geleid tot de onderstaande bepaling.

In *Figuur 11-51* is voor volstortliggers, railbalken en kokerliggers aangegeven welke MKI-waarde kenmerkend is bij verscheidene overspanningslengtes. Deze waarden gelden voor de jaren 2021 en 2022.



Figuur 11-51: MKI-waarden verscheidene liggertypes bij variërende overspanningslengte

Bepaling rangorde:

- De plaatligger wordt gelijkwaardig geacht aan de volstortligger. Binnen haar eigen overspanningsbereik is de MKI-waarde daarmee gelijkwaardig aan die van de railbalken. Om deze reden wordt aan beide liggertypes een gelijke score toegekend.
- De massieve brugligger kent bij gelijke overspanning een lager gewicht per m² brugdek als de volstortligger (Haitsma beton, 2022). Daarmee wordt geacht dat deze een lagere MKI-waarde kent als de volstortligger en daarmee de plaatligger.
- De H-ligger/I-ligger kent bij gelijke overspanning als railbalken een hoger gewicht per m² dek. Daarmee wordt geacht dat dit liggertype een hogere MKI-waarde kent als railbalken.
- De H-ligger/I-ligger is circa 15-30% zwaarder als de railbalk bij gelijke overspanning (Haitsma beton, 2022) wordt dat de MKI-waarde daarom in dezelfde ordegrrootte hoger ligt. De kokerligger kent bij gelijke overspanning (kijkend naar overspanningslengtes vanaf de klasse 35-40m²) een MKI-waarde die circa 3-7% hoger ligt als de railbalk. Vanwege dit hogere percentage bij het onderlinge vergelijk van de H-ligger/I-ligger met de railbalk als de kokerligger met de railbalk, wordt geacht dat bij een gelijke overspanning de H-ligger/I-ligger een hogere MKI-score kent als de kokerligger.

De bovengenoemde bepaling leidt tot de volgende rangorde (van best scorend naar slechtst scorend):

- massieve brugligger;
- plaatligger & railbalk;
- kokerligger;
- H-ligger/I-ligger.

Productiesnelheid

De productiesnelheid is een zeer belangrijk aspect voor prefab liggerleveranciers. Beïnvloedende aspecten zijn onder meer de vormgeving, de wapeningconfiguratie en benodigde instortvoorzieningen. Ter bepaling van de productiesnelheid wordt uitgegaan van de huidige vormgeving en situaties waarin de liggertypes worden toegepast. Daarbij is geen rekening gehouden met de gevolgen voor de bouwtijd in het werk. Tevens is de productiesnelheid gerelateerd aan de overspanningslengte. In dit opzicht is rekening gehouden met de lastigheid die

gepaard gaat met de vormgeving van het dwarsprofiel van een liggertype. Voor liggertypes die in meerdere uitvoeringsvormen kunnen voorkomen wordt uitgegaan van de uitvoeringsvorm die de minst intensieve aanpassingen vereist voor gebruik in een remontabel ontwerp.

De scoretoekenning op dit aspect vindt plaats op ordinale schaal, middels een rangordenormering. Hierbij scoort de best scorende ligger een 5 en de slechtst scorende ligger een 1. De onderlinge vergelijking tussen de verschillende liggertypes is deels opgehaald van de website van Haitsma Beton en deels o.b.v. opgedane kennis en ervaring. De volgende argumenten liggen ten grondslag aan de rangorde:

- De plaatligger wordt gekenmerkt door een zeer eenvoudige vorm. Daarnaast zorgt de beperkte hoogte van de prefab-plaat voor een korte productietijd. Geacht wordt dat de productiesnelheid voor dit liggertype het hoogste ligt.
- De massieve brugligger heeft een eenvoudige vorm en anders als bij de kokerligger is geen extra aandacht vereist voor het creëren van de 'holle' ruimte. Verondersteld wordt dat de massieve brugligger door de zeer eenvoudige vormgeving tevens sneller kan worden geproduceerd als de H-ligger/I-ligger en railbalk.
- De kokerligger vereist in verhouding tot andere liggertypes meer voorbereidingstijd. Dit wordt grotendeels veroorzaakt door de 'holle' ruimte in de ligger. Extra aandacht gaat uit naar het voorkomen van het opdrijven van de polystyreenblokken die ingestort worden om de 'holle' ruimte te creëren.
- De railbalk kent geen prefab bovenflens en is daarmee eenvoudiger en sneller te produceren als de H-ligger/I-ligger.
- De H-ligger/I-ligger is eenvoudiger en sneller te produceren als de kokerligger.

Het voorgaande resulteert in de volgende rangorde (van best scorend naar slechtst scorend):

- Plaatligger;
- massieve brugligger;
- railbalk;
- H-ligger/I-ligger;
- kokerligger.

J.2.3 Toelichting wegingsfactoren

De wegingsfactoren in de multicriteria-analyse zijn toegekend middels de extreme-gewichtenmethode. Hiertoe worden alle aspecten binnen een thema onderling gerelativeerd, waarbij het aantal te verdelen punten 5 punten per aspect is. Binnen een thema met twee aspecten kunnen daarmee 10 punten verdeeld worden. Onderstaand is per thema toegelicht hoe de puntenverdeling tot stand is gekomen.

Dimensionering

Het thema 'dimensionering' kent de aspecten *gewicht* en *slankheid*. Het gewicht speelt voornamelijk een rol in de (on)mogelijkheden bij transport van de prefab liggers. Afhankelijk van de liggerbreedte kan het gewicht bij grotere liggerlengtes het maatgevende criterium zijn waardoor wegtransport niet mogelijk is. Deze liggerlengtes zijn echter niet vaak benodigd en mogelijkheden om het (transport)gewicht te beperken zijn aanwezig.

De slankheid van de constructie is bepalend voor de hoogte van het viaduct en daarmee is dit een sterk bepalende factor voor de benodigde ruimte van de hellingbaan om het verkeer op hoogte te brengen. De slankheid speelt daarmee voornamelijk een zeer belangrijke rol op locaties waarbij de ruimte voor het toepassen van een hellingbaan beperkt is. Er bestaan echter meer mogelijkheden om het viaduct op dergelijke locaties ruimtelijk in te passen. Zo kan de onderliggende weg verdiept worden aangebracht of kan getracht worden de benodigde overspanningslengte te beperken (in de regel neemt de liggerhoogte af met de overspanningslengte).

Voor beide aspecten geldt dat deze in voorkomende gevallen maatgevend kunnen zijn bij het ontwerp. Daarbij geldt wel dat de liggerbreedte, onafhankelijk van locatiespecifieke kenmerken, aangepast kan worden aan de transportmogelijkheden. Een gestandaardiseerd maatsysteem leent zich uitstekend om hier rekening mee te houden. De slankheid kan afhankelijk van de locatie een belangrijke rol spelen. Hoewel meer mogelijkheden bestaan om een viaduct op dergelijke locaties

ruimtelijk in te passen is het gunstig indien hier zo min mogelijk rekening mee dient te worden gehouden. Gezien locatiespecifieke kenmerken hier een rol spelen, welke een negatieve invloed hebben op de brede toepasbaarheid van een gestandaardiseerd maatsysteem, wordt de slankheid belangrijker geacht als het gewicht. De slankheid krijgt daarmee 6 punten toegekend tegenover 4 punten voor het gewicht.

Ontwerp

Het thema 'ontwerp' kent de aspecten *Intensiviteit benodigde aanpassingen* en *Uitwisselbaarheid randligger en tussenligger*. De intensiviteit van de benodigde aanpassingen is daarbij een maatstaaf voor de haalbaarheid om het liggertype in een remontabel viaduct toe te kunnen passen. Hoewel de haalbaarheid in relatie staat tot de moeite die nodig is om tot een remontabel viaduct te komen wordt van alle liggertypes geacht dat dit haalbaar is.

De uitwisselbaarheid van de randligger en tussenligger richt zich op het gestandaardiseerde systeem. Indien deze nagenoeg vrij uitwisselbaar zijn betekent dit dat de productie met behulp van dezelfde bekisting kan plaatsvinden.

Er zijn geen argumenten die het relatieve belang van het ene aspect boven het andere stelt. Daarmee krijgen beide aspecten 5 punten toegekend.

Productie

Het thema 'productie' kent de aspecten *productkosten*, *duurzaamheid* en *Productiesnelheid*. Hiertoe wordt het aspect duurzaamheid het belangrijkste geacht. De verwachting is dat duurzaamheid een steeds belangrijkere rol gaat spelen bij aanbestedingen en dat dit ingeprijsd gaat worden in de aanneemsom middels fictieve kortingen. Overheden geven daarmee het signaal af dat duurzaamheid tot op zekere hoogte geld mag kosten.

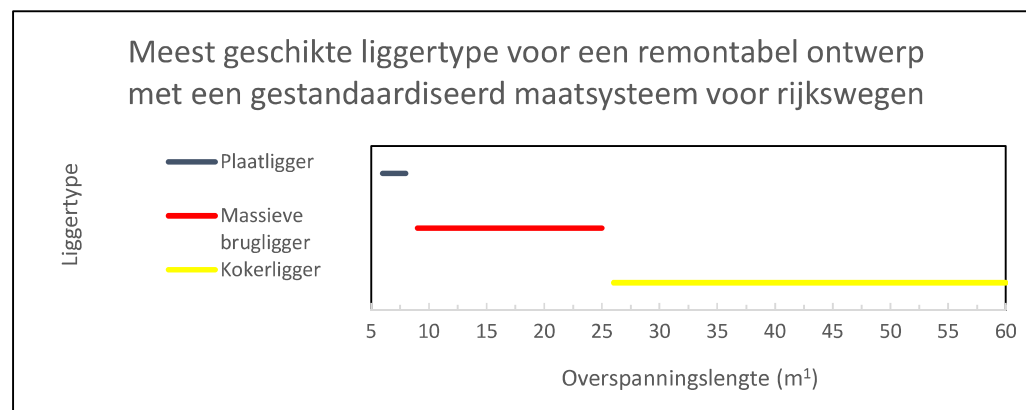
De productkosten wordt na duurzaamheid het belangrijkste aspect geacht. Rijkswaterstaat is een overheidsinstantie waarmee haar budget afkomstig is uit belastinggeld. Rijkswaterstaat draagt daarmee de maatschappelijke verantwoording om dit geld op een ordentelijke manier uit te geven.

De productiesnelheid vertaalt zich naar de productiecapaciteit. Snelle productie is voor de prefab betonleverancier gunstig. Dit aspect wordt echter van klein belang geacht omdat standaardisatie betekent dat de mogelijkheid ontstaat om op voorraad te produceren met kleine risico's. Daarmee kan de productiecapaciteit optimaal worden benut. Met de huidige capaciteit bij de prefab betonleveranciers in Nederland lijkt de productiecapaciteit niet maatgevend indien zij nadrukkelijk de mogelijkheid krijgen om op voorraad te produceren tegen kleine risico's.

Het bovenstaande leidt tot de verdeling waarbij duurzaamheid 8 punten krijgt toegekend, productkosten 5 punten krijgt toegekend en productiesnelheid 2 punten krijgt toegekend.

J.3 – Geschikte liggertypes voor een remontabel ontwerp

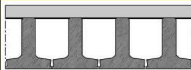
De in de vorige paragraaf besproken multicriteria-analyse heeft geresulteerd in de voorkeursvolgorde voor gebruik van prefab betonnen liggers in een remontabel ontwerp. De verscheidene liggertypes zijn daarbij niet allemaal geschikt voor hetzelfde overspanningsbereik. Het overspanningsbereik waarbinnen de meeste viaducten zich bevinden en waarbinnen het gestandaardiseerde maatsysteem zich richt loopt van 6 m¹ tot 60 m¹. Voor alle overspanningen binnen dit bereik wordt in *Figuur 11-52* weergegeven welk liggertype hier het meest geschikt voor is.

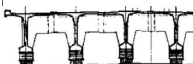


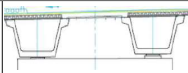
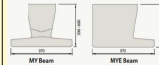
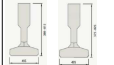
Figuur 11-52: Meest geschikte liggertype voor gebruik in een remontabel ontwerp naar overspanningslengte

J.4 – Overzicht nationaal en internationaal beschikbare liggertypes

In het onderstaande overzicht zijn de nationaal en internationaal beschikbare liggertypes weergegeven.

Naam liggertype	Overspanningsbereik	Land van herkomst	Basisinformatie liggertype	Toepassing in het werk gestorte druklaag?	Principe dek	Onderlinge verbindingsmethoden	Koppelmethode lengterichting	Oplegging	Randligger	Varianten	Aanvullende informatie	Bron
Binnenlandse liggervarianten												
Plaatligger	≤12m	Nederland	• Standaard breedte 1180mm; • Werkende breedte 1200mm; • Hoogte 300mm tot 600mm (incl. druklaag).	Ja		Verbinden middels l.h.w. gestorte druklaag;	Zowel statisch bepaald als statisch onbepaald is mogelijk.	Divers	Divers	Divers	-	(Betonhuis, 2022)
Volstortligger	van 6m tot 20m	Nederland	• Standaardbreedte respectievelijk 990mm of 1180mm; • Werkende breedte respectievelijk 1000mm of 1200mm; • Statisch bepaald & statisch onbepaald; • Hoogte ca. 350mm (6m overspanning) tot ca. 850mm (20m overspanning) incl. druklaag; • Tot kruisingshoek 50° (getoogde ligger enkel haaks).	Ja		Verbinden middels l.h.w. gestorte druklaag. In de liggers zijn sparingen opgenomen t.b.v. wapeningsvasten.	• Buigslappe voeg (statisch bepaald); • Voegverbinding; • In het werk gestorte verbinding (statisch onbepaald).	• Speciebed (statisch onbepaald); • Neopreen oplegstrook (statisch onbepaald); • Rubber oplegblok op schegstuk (statisch bepaald).	l.h.w. gestort of prefab randligger koppelen en aanstorten.	• HKO=volstortligger; • HKO=VL volstortligger; • HGKO=getoogde volstortligger; (tot ca. 16,5m en enkel haakse kruisingshoek); • Rogir=S brug; • Rogiro brug (getoogd, Tot 15m).	-	• (Haitsma, 2022) • (Romein beton, 2022) • (werkgroep "Vuistregels", 2004)
Massieve brugligger	Van 9m tot 18,5m (HBM); Van 9 tot meer dan 25m (HMP).	Nederland	• Standaardbreedte 1180mm (HBM), 1480mm of 1980mm (HMP); • Werkende breedte 1200-1350mm (HBM), 1500mm of 2000mm (HMP); • Hoogte 400mm tot 1400mm (incl. druklaag); • Statisch bepaald & statisch onbepaald.	Afhankelijk van gekozen variant		• Druklaag l.h.w. gestort (getekende variant); • Natteknop verbinding incl. dwarsvoorspanning.	• Buigslappe voeg (statisch bepaald); • Voegverbinding (statisch bepaald).	• Speciebed (statisch onbepaald); • Neopreen oplegstrook (statisch onbepaald); • Rubber oplegblok op schegstuk (statisch bepaald).	l.h.w. gestort of prefab randligger koppelen en aanstorten.	• HBM-Massieve getoogde brugligger; • Haitsma Massief Profiel (HMP).	De HBM-Massieve getoogde brugligger is niet geschikt voor toepassing op rijkswegen.	• (Haitsma, 2022) • (Romein beton, 2022) • (werkgroep "Vuistregels", 2004)
Railbalkligger / Omgekeerde T-liggers	Van 15m tot ca. 45m	Nederland	• Standaardbreedte 1180mm; • Werkende breedte 1200mm; • Statisch bepaald & statisch onbepaald; • Tot kruisingshoek 50°; • Hoogte 700mm (15m overspanning) tot 2000mm (45m overspanning).	Ja		• Druklaag bovenop T-liggers l.h.w. gestort.	• Buigslappe voeg (statisch bepaald); • In het werk gestorte verbinding (statisch onbepaald).	• Speciebed (statisch onbepaald); • Neopreen oplegstrook (statisch onbepaald); • Rubber oplegblok op schegstuk (statisch bepaald).	Verschillende mogelijkheden. Een prefab randligger is een optie maar ook een l.h.w. gestorte rand is mogelijk met eventueel een esthetisch randprofiel.	• HRP-ligger; • Rogir=Z brug.	Tussen de liggers is verloren bekisting aanwezig. Er zijn varianten bekend waarbij de onderlenzen geen contact maken, Hierdoor kan tevens de werkende breedte variëren, In dergelijke gevallen is altijd een druklaag benodigd.	• (Haitsma, 2022) • (Quartel, 2011) • (Romein beton, 2022) • (werkgroep "Vuistregels", 2004)
Kokerligger	Van 20m tot meer dan 45m	Nederland	• Groter dan 45m is l.v.m. maakbaarheid en transport niet zomaar mogelijk; • Standaardbreedte 1480mm of 1980mm; • Werkende breedte 1500mm of 2000mm; • Hoogte 700mm (20m overspanning) tot 1800mm (45m overspanning) • Statisch bepaald & statisch onbepaald; • Tot kruisingshoek 30°.	Nee		• Voegvulling l.c.m. dwarsvoorspanning.	• Buigslappe voeg (statisch bepaald); • Voegverbinding (statisch bepaald).	• Rubber oplegblok op schegstuk.	Randelement koppelen aan kokerprofiel. Vervolgens wordt de schamprant l.h.w. gestort.	• Haitsma Koker Profiel (HKP); • HaitsmaKokerprofiel Vleugelbrug (HKV); (enkel 1480mm); • Haitsma Gebogen Koker Profiel (HGKP); (tot kruisingshoek 60° en tot ca. 40m); • SSK kokerbalken; • Rogir=K brug.	Grotere lengtes zijn dermate zwaar dat wegtransport lastig tot niet mogelijk is.	• (Haitsma, 2022) • (Quartel, 2011) • (Romein beton, 2022) • (werkgroep "Vuistregels", 2004)
H-ligger/I-ligger	Van 40m tot 65m	Nederland	• Standaardbreedte 1480mm of 1980mm; • Werkende breedte 1500mm of 2000mm; • Hoogte 700mm tot 1800mm; • Statisch bepaald & statisch onbepaald; • Tot kruisingshoek 30°.	Afhankelijk van gekozen variant		• Druklaag bovenop I-liggers l.h.w. gestort; • Natteknop verbinding incl. dwarsvoorspanning (getekende variant).	• Buigslappe voeg (statisch bepaald); • In het werk gestorte verbinding (statisch onbepaald).	• Speciebed (statisch onbepaald); • Neopreen oplegstrook (statisch onbepaald); • Rubber oplegblok op schegstuk (statisch bepaald).	Verschillende mogelijkheden. Een prefab randligger is een optie maar ook een l.h.w. gestorte rand is mogelijk met eventueel een esthetisch randprofiel.	• HIP ligger; • RHE brug.	-	• (Haitsma, 2022) • (Romein beton, 2022)
T-ligger	Van 20m tot meer dan 35m	Nederland	Dit type ligger is niet op dezelfde wijze in staat een aanrijdbelasting op te nemen, gezien dit door slechts 1 liggerligger naar de druklaag dient te	-	-	-	-	-	-	-	-	(Boer, 2002)
Bijzondere liggervarianten												
Plaatbrug	≤8m (Omegabrug) ≤10m (Haro brug) ≤12m (Haro-VL brug) ≤12m (Haro-VLZ brug) ≤12m (Giro brug) ≤12m (Plaatbrug)	Nederland	Niet geschikt voor toepassing in rijkswegen	Nee		-	-	Op staal gefundeerd of op palen.	prefab betonelement. Soms geïntegreerd in enkele plaat.	• Omegabrug; • Haro brug; • Haro=VL brug; • Haro=VLZ brug; • Giro brug (contactliggersysteem); • Plaatbrug.	-	(Romein beton, 2022)
Romaans brug	Kleine overspanningen	Nederland	Betreft een kleine boogbrug met prefab elementen. Niet geschikt voor toepassing in rijkswegen	Nee	-	-	-	-	-	• Romaans brug.	-	(Romein beton, 2022)

Prefix-balkensysteem	tot ca. 37,5m	Nederland	Combinatie van een voorbelast staalprofiel met een betonomstorting om de onderlens.	Nee		-	-	-	-	Prefix balkensysteem	-	(Quartel, 2011)
SDK-liggersysteem	tot ca. 30m	Nederland	De voorloper van de kokerligger. Wordt niet meer gebruikt.	Nee	-	-	-	-	-	-	-	(Quartel, 2011)
VIP-liggersysteem	Grotere overspanningen (50m)	Nederland	Betreft een liggersysteem met dwarsdragers waardoor een roosterconstructie ontstaat. De constructie is tamelijk gedrongen.	-	-	-	-	-	-	-	-	(Quartel, 2011)
PIQ-liggers	Van 25m tot 45m (grotere overspanningen mogelijk)	Nederland	Liggersysteem komt sterk overeen met omgekeerde T-liggers. Echter, de ligger is breder als T-liggers. Dit gekte ook voor het liff. Dit liggertype wordt toegepast om de bouwttjd te verkorten.	-	Zie principe omgekeerde T-liggers	Zie omgekeerde T-liggers	Zie omgekeerde T-liggers	Zie omgekeerde T-liggers	Zie omgekeerde T-liggers	-	-	- (Betonhuis, 2022) - (Quartel, 2011)
Buitenlandse liggervarianten												
U-panels / N-series	Groot (vergelijkbaar met kokerligger)	Italië	- Werkende breedte 1200mm; - Hoogte 500mm tot ca. 1000mm (incl. druklaag).	Ja		Verbinden middels l.h.w. gestorte druklaag.	-	-	-	-	Het liggertype wordt gestort m.b.v. slipvorm technologie.	(Concrete Plant International, 2016)
U-panels / S-series	Vergelijkbaar met kokerligger	Italië	Dit liggertype komt nagenoeg volledig overeen met de N-series, met als enige verschil dat de topklaag bij de S-series direct bij de productie van het element wordt gestort (kokerligger), waar dit bij de N-series in het werk gebeurt (U-ligger).	Nee		-	-	-	-	-	Het liggertype wordt gestort m.b.v. slipvorm technologie.	(Concrete Plant International, 2016)
Inverted double T beams	-	Italië	- Werkende breedte 800mm of 1200mm.	Ja		-	-	-	-	-	-	(Concrete Plant International, 2016)
Lightweight hollow core slabs	-	Italië	- Werkende breedte 1200mm of 2x600mm.	-		-	-	-	-	-	-	(Concrete Plant International, 2016)
Naam onbekend	40m en groter haalbaar	Italië	-	Nee		De werkende breedte is 500mm groter gekozen als de standaardbreedte van de ligger. Dit deel (tussen de stippellijnen in de tekening) wordt l.h.w. gestort.	-	-	-	-	Toegepast bij gerberliggerconstructie.	(PCI Journal, 1974)
double tee girder	-	Amerika	De werking is gelijkwaardig aan de kokerligger.	-		-	-	-	-	-	-	(Wehbe, 2017)
I-beams	Tot ca. 50m	Spanje	- Hoogte varieert van 600mm tot 2550mm; - De slankheid is ca. 1/20 tot 1/24.	Normaliter wel.		-	-	-	-	- IL-series; - IP-series.	-	(Tierra Armada, 2012)
Inverted I-beams	Tot ca. 40m	Spanje	- Werkende breedte 1200mm of 1800mm; - Hoogte varieert van 750mm tot 1850mm; - Anders als bij de I-beams staan de onderlensen bij dit liggertype met elkaar in contact om zo een vlakke onderzijde te creëren.	Afhankelijk van gekozen variant		-	-	-	-	- TPP Series, Flat dec; - IPP Series, Flat dec.	-	(Tierra Armada, 2012)

U-beams	Tot ca. 40m	Spanje	~ Werkende breedte zeer variabel. Varianten met meerdere U-beams op enige afstand van elkaar en varianten met enkele, overigens zeer brede U-beam; ~ Hoogte varieert van 900mm tot 2600mm; ~ De liggers zijn erg zwaar,	Ja		-	-	-	-	-	- Narrow series; - Medium series; - Wide series.	-	(Tierra Armada, 2012)
Prestressed Composite Girders	Overspanningen tot groter dan 40m	Luxemburg	~ De slankheid kan oplopen tot soms wel 1/45; ~ Zeer stijf, Doorbuigingen zijn klein.	-		-	-	-	-	-	-	-	(ArcelorMittal, 2022)
M / UMB Edge Beam	Van 16m tot 35m	Ierland	Betreft principe H-ligger / I-ligger en U-panels.	Ja		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
MY & MYE Edge	Van 9m tot 19m	Ierland	Betreft principe volstortligger	Ja		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
Solid Box Beam	Van 10m tot 35m	Ierland	Betreft principe massieve brugligger	-		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
SY & SYE Edge	Van 16m tot 45m	Ierland	Betreft principe railligger	-		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
T-beam & TB-beam	Van 11m tot ca. 23m	Ierland	Betreft principe volstortligger	Ja		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
TY & TYE Edge	Van 12m tot ca. 26m	Ierland	Betreft principe H-ligger / I-ligger	-		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
U & SU Beam	Van 13m tot ca. 42m	Ierland	Betreft principe U-panels	Ja		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
W Beam	Van 17m tot ca. 50m	Ierland	Betreft principe U-panels	Ja		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)
Y & YE Edge Be	Van 16m tot ca. 40m	Ierland	Betreft principe H-ligger / I-ligger (grotere hoogte als bij TY&TYE Edge Beams)	Ja		-	-	-	-	-	-	-	(Banagher precast concrete, 2022)

Bijlage K. Voegovergangen

Voegovergangen geven constructies de gelegenheid om onverhinderd te dilateren. Voegovergangen worden bijna bij elk viaduct toegepast. Enkele viaducten met een kleine overspanning kennen echter een monolietverbinding tussen het landhoofd en het dek: de *integraalbrug*. Voor de meeste viaducten geldt echter dat voegconstructies toegepast worden. Aangezien de grootte van de dilatatie lineair toeneemt met de lengte van het viaduct ziet men bij grotere afstanden tussen voegconstructies dat deze steeds een grotere dilatatie kunnen faciliteren. Vaak gaat dit gepaard met steeds complexer wordende voegen. Deze bijlage beschrijft de beschikbare voegtypes en beschrijft de afweging voor het meest geschikte voegtype voor een remontabele ligger.

K.1 – Voegfamilies

Het *Platform Voegovergangen en Opleggingen* stelt het *Handboek Voegovergangen* beschikbaar. Hierin worden 7 families voegovergangen onderscheiden (*Platform Voegovergangen en Opleggingen*, 2021):

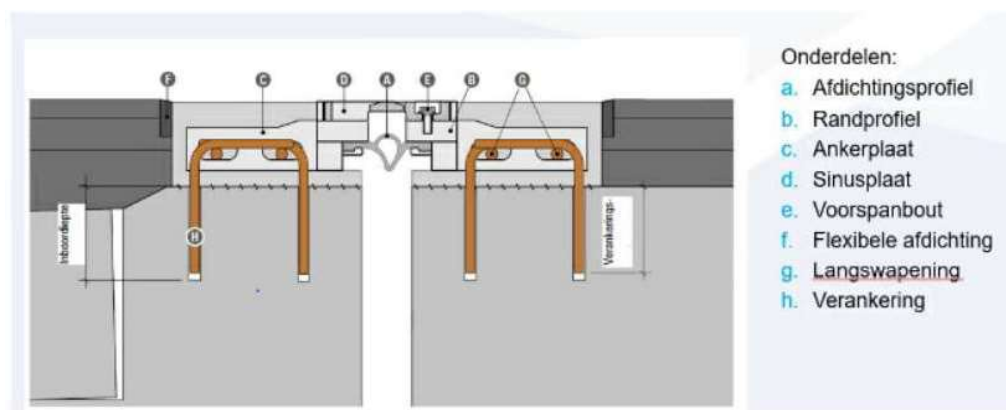
- nosing Joints;
- vingervoegen;
- mattenvoegen;
- flexibele voegen;
- verborgen voegen;
- integraalvoegen;
- lamellenvoegen.

Binnen de families komen verschillende concepten voor. Deze concepten kunnen in een aantal gevallen weer verder onderverdeeld worden in varianten.

Onderstaand worden de 7 families voegovergangen beschreven. Voor alle informatie in dit onderdeel geldt dat het *Handboek Voegovergangen* (*Platform Voegovergangen en Opleggingen*, 2021) is geraadpleegd. Indien aanvullende bronnen zijn geraadpleegd zal dit apart worden vermeld.

Nosing Joints

Nosing Joints bestaan uit een enkele doorgaande voegspleet waarin een rubberen afdichtingsprofiel wordt toegepast (Figuur 11-53). De voeg is enkel met zwaar sloopwerk te vervangen en kent een relatief lange ontwerplevensduur van 25-40 jaar. De voeg vindt haar toepassingsgebied bij viaducten met een middelgrote invloedslengte tot circa 80 – 120 m¹.



Figuur 11-53: De onderdelen van een Nosing Joint (*Platform Voegovergangen en Opleggingen*, 2021)

Aandachtspunt bij dit type voeg is de geluidsproductie. Met name bij haakse kruisingshoeken geldt dat geluidsoverlast ervaren kan worden. Hiertoe kan deze voeg uitgevoerd worden met een sinusplaat die de geluidsproductie vermindert. Indien sinusplaten worden toegepast neemt de kosten en moeite voor onderhoud echter sterk toe. Zonder sinusplaat mag uit veiligheids- en comfortoverwegingen een voeg van maximaal 80 mm¹ worden toegepast. Indien gebruik wordt gemaakt van sinusplaten kan dit iets groter zijn.

Vingervoegen

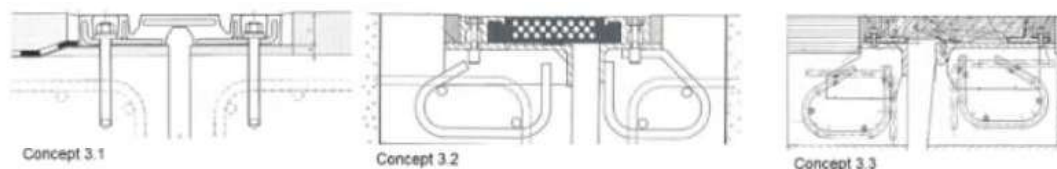
Vingervoegen bestaan uit een enkele doorgaande voegspleet die overbrugd wordt middels verkeersdragende 'vingers' (Figuur 11-54). De ruimte tussen de vingers wordt gebruikt om dilatatie op te vangen. Onder de vingers is een rubberen afdichtingsprofiel aanwezig. De voeg is enkel met zwaar sloopwerk te vervangen en kent een relatief lange ontwerplevensduur van 25-40 jaar. Uitkragende vingervoegen kunnen de capaciteit hebben om dilatatie tot circa 500 mm¹ te faciliteren. Voor ondersteunden vingervoegen kan dit oplopen tot circa 1000 mm¹. De vingervoeg is daarmee voornamelijk geschikt voor grote bruggen en viaducten. Aandachtspunt bij dit type voeg is de beperkte dilatatiecapaciteit in dwarsrichting. Hele brede bruggen en bruggen die veel verplaatsing in dwarsrichting toelaten lenen zich dan ook niet voor de vingervoeg.



Figuur 11-54: Voorbeelden vingervoegen (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2021)

Mattenvoegen

Mattenvoegen bestaan uit rubberen matten die (deels) flexibel zijn en daarmee voegbewegingen kunnen faciliteren. De matten zijn daarbij in staat het verkeer te dragen. De matten zijn vervangbaar zonder ernstige sloopmaatregelen en kennen een theoretische levensduur van 15-25 jaar. De dilatatiecapaciteit is doorgaans tot circa 150 mm¹, maar er bestaan types tot een dilatatiecapaciteit van circa 350 mm¹. Door vermoeiing en slijtage blijken de matten deze levensduur op zwaarbelaste wegen niet te behalen. Om deze reden is toepassing op autosnelwegen uitgesloten.



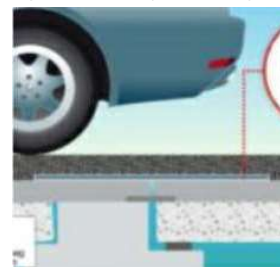
Figuur 11-55: Diverse type mattenvoegen (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2021)

Flexibele voegen

Een flexibele voegovergang kent de volgende definitie: "Een veelal in situ vervaardigde voegovergang bestaande uit een flexibele voegmassa met een specifieke samenstelling (bindmiddel met aggregaten) die aansluit op, en op dezelfde hoogte ligt als de aangrenzende verharding. De voegovergang wordt ter plaatse van de voegspleet ondersteund door dunne metalen platen of andere geschikte componenten" (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2021). Doorgaans wordt polymeer gemodificeerde bitumen als bindmiddel gebruikt. De levensduur van dit type voeg is kort en wordt tegenwoordig beoogd op meer dan 10 jaar. In het buitenland zijn flexibele voegovergangen gemaakt met kunststof bindmiddelen (polyurethaan) waarmee een langere levensduur beoogd wordt. In Nederland zijn deze voegovergangen nog niet gevalideerd. Een belangrijk argument voor deze voegovergangen is dat deze onmerkbaar voor de automobilist zijn en daarnaast 'stil' zijn. De dilatatiecapaciteit is afhankelijk van de gekozen voeg en is gevalideerd "in de x-richting tot +46/-24 mm¹, in de y-richting tot +/- 35 mm¹ en in de z-richting tot +/- 3,0 mm¹" (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2021). Dit type voeg is niet geschikt bij boogstralen kleiner dan 350 m¹. Een aanwezig risico is de al jaren afnemende bitumenkwaliteit. Flexibele voegovergangen vereisen bitumen van hoge kwaliteit. Indien de kwaliteit blijft dalen komt de kwaliteit van bitumen gebonden flexibele voegovergangen in het geding.

Verborgen voegovergang

Dit type voeg kan worden toegepast bij brugdekken met kleinere overspanningen en biedt als voornaamste voordeel dat deze uitermate geluidsarm is. Tevens kan de voeg eenvoudig vervangen worden in dezelfde werkgang als het vervangen van de deklaag van het asfalt. Een groot nadeel is daarbij wel de korte levensduur van de voeg. De opbouw van de voeg begint met staalplaatmatjes om de onderlaag te ondersteunen. Vervolgens wordt een vloeistofdichte onderlaag aangebracht (welke wordt ingezaagd ter plaatse van de dagmaat). Dan volgt een rekspreidende inlage om vervolgens te eindigen met een speciaal gemodificeerde deklaag. De constructie kan, productafhankelijk, aanvullende onderdelen bevatten. De dilatatiecapaciteit is afhankelijk van het frequentiegebied. In het laagfrequente gebied betreft dit circa $+20/-13 \text{ mm}^1$ in de x-richting, $+/- 3 \text{ mm}^1$ in de y-richting en $+/- 2 \text{ mm}^1$ in de z-richting. In het hoogfrequente gebied is dit in alle richtingen $+/- 1 \text{ mm}^1$.



Figuur 11-56: Verborgen voegovergang (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022)

Integraalvoegen

Dit type voeg wordt toegepast bij integraalviaducten: viaducten waarbij het landhoofd en het dek constructief aan elkaar verbonden zijn. Bij dit type viaduct dienen verplaatsingen te worden opgevangen door het asfalt en de aardebaan achter het kunstwerk. De 'voegconstructie' wordt vervaardigd door een complexe laagopbouw van asfaltlagen en GlasGrid lagen. Factoren als de zettingsgevoeligheid van de ondergrond spelen een sterke rol in de succesvolle toepasbaarheid van deze constructie. Het toepassingsgebied bevindt zich bij integraalviaducten, die tot circa 80 m^1 lengte kunnen worden vervaardigd.

Lamellenvoegen

Lamellenvoegen worden ook wel 'meervoudige voegovergangen' genoemd. Kenmerkend aan dit type voeg is dat deze uit een aantal opeenvolgende draagbalken (lamellen) bestaat, waartussen zich voegspleten met een rubberen afdichtingsprofiel bevinden (Figuur 11-57). De lamellen worden middels verschillende ingenieuze constructies op (ongeveer) gelijke afstand van elkaar gehouden. De voeg vindt haar toepassingsgebied bij grote stalen en betonnen viaducten. De lamellenvoeg kent meer bewegingscapaciteit in verticale richting en dwarsrichting t.o.v. de vingervoeg, maar is wel duurder. De ontwerplevensduur is met 30 tot 40 jaar vrij lang voor voegovergangen, echter is het vervangen een dure en ingrijpende klus.



Figuur 11-57: Lamellenvoeg (Joostdevree, z.d.)

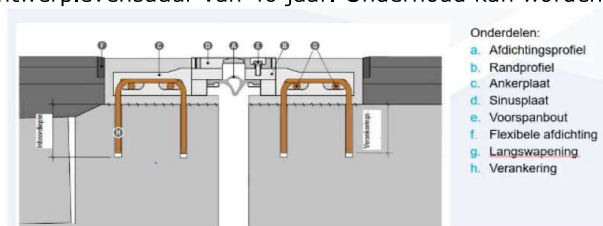
K.2 – Afweging geschikte voegconstructie voor een remontabel liggerviaduct

Een belangrijk aspect in de afweging om een bepaald type voegconstructie toe te passen is de voegbeweging. Hoewel veel invloeden spelen die de optredende voegbewegingen bepalen (onder meer verkeer, temperatuur en wind), is een in belangrijke mate bepalende factor de *invloedslengte*. Dit is de lengte van het rijdek waarvan de verplaatsingen en vervormingen door de voeg opgevangen dient te worden.

De invloedslengte is per situatie verschillend. Zo kan de invloedslengte beperkt worden tot de halve viaductlengte indien aan weerszijden van het veld een voegconstructie wordt toegepast. Indien een viaduct uit veel velden bestaat, waarbij de liggers in lengterichting over meerdere tussensteunpunten middels buigslappe voegen gekoppeld zijn om trek- en drukkrachten over te brengen, kan de invloedslengte de liggerlengte ver overschrijden. In veel gevallen zal de invloedslengte echter beperkt blijven tot de liggerlengte of is het mogelijk deze tot de liggerlengte te beperken. Daarmee wordt het meest geschikte voegtype bepaald aan de hand van een invloedslengte van 31,9 m¹.

Niet alle voegtypes zijn geschikt om op efficiënte en economische wijze in een remontabel ontwerp toe te passen. De voegtypes die geschikt worden geacht zijn de *nosing joint* en de *flexibele voeg*. Deze zullen onderstaand verder worden afgewogen. Alle onderstaande informatie is opgesteld met behulp van het Handboek Voegovergangen van het Platform Voegovergangen en Opleggingen en de kennis van Frank van Beek (specialist voegovergangen en opleggingen).

De *nosing joint* bestaat in hoofdzaak uit verankerde randprofielen, waartussen zich een afdichtingsprofiel bevindt, welke de waterdichtheid van de voeg waarborgt (zie *Figuur 11-58*). In de lengterichting van het dek is een dilatatiecapaciteit tot 80 mm¹. Dit is ruim voldoende voor een invloedslengte van 31,9 m¹. Indien nosing joints met sinusplaten worden toegepast kan de dilatatiecapaciteit nog iets groter zijn, tot circa 100 mm¹. Dit type wordt toegepast in verband met de geluiddempende werking, iets wat in combinatie met stille (open) deklagen vrijwel altijd benodigd is. De voegconstructie heeft een ontwerp levensduur van 40 jaar. Onderhoud kan worden gecombineerd met onderhoud aan de asfaltconstructie waardoor geen extra verkeersoverlast ontstaat. Het vervangen van de voeg kost veel moeite en kost vaak twee dagen. De nosing joints met sinusplaten halen in praktijk de levensduur van 40 jaar waarschijnlijk niet omdat deze in loop der tijd steeds onbetrouwbaarder zullen gaan functioneren en steeds meer ongepland onderhoud zullen vereisen door de kwetsbaarheid van de voorgespannen boutverbinding.



Figuur 11-58: Nosing joint (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2022)

De nosing joint kost circa €2500 per strekkende meter om aan te leggen. Ook bij enige te verwachting zetting van het landhoofd en rotatie van stootplaten is de voeg toepasbaar zonder grote gevolgen voor de levensduur.

De *flexibele voeg* bestaat uit een flexibele voegmassa, bestaande uit bindmiddel en een steenskelet van mineraalaggregaten (meestal steenslag). Het steenskelet zorgt voor de verticale weerstand (voorkomen spoorvorming) terwijl het bindmiddel, normaliter polymeer gemodificeerde bitumen, de flexibiliteit verzorgt in horizontale richting. De standaard breedte, in de rijrichting gemeten, van de voegmassa is 500 mm¹. Voor haakse kruisingshoeken kan dit verbreed worden tot maximaal 700 mm¹.

De dilatatiecapaciteit van de standaard voegovergang van 500mm heeft een capaciteit van +25 mm¹ (rek)/-12,5 mm¹ (stuik).

Naast de standaard flexibele voegovergang bestaat er ook een verbeterde variant met rekspreidende spiraalveren, de zogenaamde Silent joint ^{TM13}. De standaard versie van 500 mm¹ breed heeft een capaciteit van +33 mm¹ (rek)/-17 mm¹ (stuik). De vervormingscapaciteit is voor de variant van 700 mm¹ breed, met aanwezigheid van een kracht spreidende veer, gevalideerd in de x-richting tot +46/-24 mm¹ (richting overspanning), in de y-richting tot +/- 35 mm¹ (loodrecht

¹³ De Silent joint TM is onderhevig geweest aan een patent van RSAG Reparatuur- und Sanierungstechnik AG met patentnummer EP1009881. Dit patent is verlopen op 28 augustus, 2017. Naast RSAG zijn momenteel echter nog geen andere leveranciers bekend.

op overspanning) en in de z-richting tot $\pm 3,0 \text{ mm}^1$ (verticaal)". Deze capaciteit is normaliter ruim voldoende voor een invloedslengte van $31,9 \text{ m}^1$.

De ongewapende flexibele voeg kost circa €1500 per strekkende meter en gaat circa 10 jaar mee. Dit is ongeveer gelijk aan de levensduur van de deklaag van het omliggende asfalt waardoor het vervangen van voeg kan worden gecombineerd met het vervangen van de deklaag. Hierdoor ontstaat geen extra verkeershinder. Daarnaast is geen uitsparing in de ligger vereist om ruimte te bieden aan de voeg en is de voeg duurzaam geluidsarm. Onderkend moet worden dat flexibele voegovergangen met een polymeer gemodificeerde bitumen als bindmiddel gevoelig zijn voor hoogfrequente voegbewegingen uit verkeersbelasting. Deze voegbewegingen worden veroorzaakt door rotaties om de steunpuntsas als gevolg van doorbuiging van de liggers. Bij lage temperaturen gedragen deze flexibele voegovergangen zich onder een dergelijke hoogfrequente belasting zeer stijf waardoor deze kunnen scheuren of onthechten. Naast een toetsing van de totale combinatie van voegbewegingen moet er daarom ook een toetsing plaats vinden van de hoogfrequente voegbewegingen afzonderlijk. De liggers dienen in het geval van flexibele voegovergangen dus voldoende buigstijfheid te hebben.

Daarnaast speelt bij nieuwe viaducten de vaak nog relatief grote restzetting van steunpunten en zakking van de stootplaten een risico voor scheuren van de voeg. Hierdoor kan het voorkomen dat de flexibele voeg de eerste cyclus niet de levensduur van 10 jaar haalt. Indien de voeg echter goed gedetailleerd en aangelegd is, haalt de eerste voeg vaak al de gewenste levensduur.

Een ander risico is dat al jaren de bitumenkwaliteit achteruit gaat. Voor flexibele voegen is bitumen van hoogwaardige kwaliteit benodigd. Indien de achteruitgang voort blijft zetten, kan dit problemen opleveren. Flexibele voegen waarbij geen bitumen maar een kunststof wordt gebruikt kunnen uitkomst bieden. Deze zijn aanzienlijk duurder in aanlegkosten en kunnen alleen op basis van LCC aantrekkelijk zijn indien een levensduurverwachting van minimaal twee keer de verhardingsdeklaag aangetoond is; dit is echter nog niet gevalideerd. Daarnaast zijn er onzekerheden en beperkingen met betrekking tot de herbruikbaarheid van het kunststof. Hier wordt de komende jaren eerst meer onderzoek naar gedaan. Het is dus onbekend in hoeverre de huidige technieken voor flexibele voegen met een kunststof bindmiddel economisch en duurzaam toepasbaar zijn voor voegen bij kunstwerken in rijkswegen in Nederland.

Zowel de nosing joint als de flexibele voeg kennen voordelen ten opzichte van elkaar. Indien beide voegen worden vergeleken kan het volgende gezegd worden.

- Beide voegen hebben de mogelijkheid om de gewenste vervormingscapaciteit te leveren bij een overspanningslengte van $31,9 \text{ m}^1$.
- De nosing joint is goedkoper als de flexibele voeg als de levensduur in overweging wordt genomen. Indien de nosing joint wordt uitgevoerd met sinusplaten, iets wat vanuit oogpunt voor geluidsoverlast vaak toegepast dient te worden (de verwachting is bij circa 70-80% van de viaducten), dan vallen de kostenvoordelen ten opzichte van de flexibele voeg al snel in het niet.
- Het onderhoud van de nosing joint kan gecombineerd worden met werkzaamheden aan de asfaltconstructie, waardoor geen extra verkeershinder ontstaat. Het vervangen van de nosing joint kost echter meer moeite en vereist vaak twee dagen. De levensduur van de flexibele voeg is circa 10 jaar, waardoor vervanging van de voeg kan worden gecombineerd met werkzaamheden aan de asfaltconstructie. De voeg is relatief eenvoudig te vervangen, waardoor geen extra verkeershinder ontstaat.
- De nosing joint is lastig vervangbaar waarbij soms nieuwe stekken ingeboord dienen te worden indien de aanwezige stekken te veel roestvorming kennen. Deze ingrijpende maatregel kan nadelige gevolgen kennen voor de duurzaamheid van de liggers.

Uit het bovenstaande blijkt dat de flexibele voeg enkele belangrijke voordelen biedt ten opzichte van de nosing joint. Daarmee verdient deze voeg de voorkeur. Bij de flexibele voeg dient wel rekening te worden gehouden met enkele aandachtspunten. De afnemende bitumenkwaliteit vormt een risico en bij nieuwe viaducten, waarbij de restzettingen nog relatief groot zijn, kan scheuren van de voeg optreden, waardoor deze de gewenste levensduur van 10 jaar niet haalt. Daarnaast dient bij het ontwerp van de liggers rekening gehouden te worden met de hoogfrequente voegbewegingen uit verkeersbelasting.

Voegconstructie boven tussensteunpunt

Boven het tussensteunpunt wordt regelmatig een *buigslappe voeg* toegepast. Dit is een licht gewapende voeg, gevuld met een mortel. De voeg laat enigszins rotaties toe waardoor de constructie statisch bepaald blijft. De voeg is echter wel in staat om bewegingen van het dek in horizontale richting door te geven. Daarmee ontstaat een onderhoudsarme constructie boven het moeilijk te bereiken tussensteunpunt. Indien deze goed is aangebracht gaat deze 50 jaar of langer mee. Daarnaast is aanleg relatief goedkoop. De vervanging duurt wel langer als bij een flexibele voeg of nosing joint. Daarnaast ontstaat een grotere invloedslenge ter plaatse van de voegconstructies. Ook is voor de buigslappe voeg een uitsparing ter plaatse van het einde van de ligger vereist om voldoende ruimte te bieden aan de voegconstructie. Bij een flexibele voeg is dit niet nodig en bij een nosing joint hoeft dit ook niet altijd het geval te zijn.

Boven tussensteunpunten wordt toepassing van de flexibele voeg aangeraden boven de nosing joint en de buigslappe voeg. De hogere waardering van de flexibele voeg, boven de nosing joint is gebaseerd op gelijke afwegingen als eerder genoemd. De hogere waardering van de flexibele voeg boven het tussensteunpunt is gebaseerd op het volgende.

De ligger dient uit het uiteinde een uitsparing te hebben om voldoende ruimte te bieden voor de buigslappe voeg. Deze is niet benodigd voor de flexibele voeg. In veel situaties zal gelden dat aan minimaal één zijde een flexibele voeg benodigd is. Hier voorkomt men het liefst toepassing van een uitsparing in de ligger die geen functie kent. Dit heeft echter invloed op de mogelijkheden tot efficiënt hergebruik omdat rekening dient te worden gehouden met de oriëntatie van de ligger in het nieuwe viaduct of de ligger dient te worden gemodificeerd. Ook heeft het toepassen van een buigslappe voeg tot gevolg dat grotere invloedslengtes ter plaatse van andere voegconstructies ontstaan. Dit kan tot gevolg hebben dat complexere en duurdere voegconstructies en opleggingen benodigd zijn. Daarnaast vereist de buigslappe voeg (niet goed vervangbare) stekken die uit de ligger steken. De levensduur van deze stekken is beperkt door vermoeiing. Tevens blijkt uit de praktijk dat de stekken ernstig aangetast kunnen worden door chloriden, doordat bij aanleg of onderhoud aan de wegverharding geen of onvoldoende bescherming aanwezig is door afwezigheid van een waterdicht membraan. Er moet dus vanuit worden gegaan dat deze stekken ook moeten worden vervangen. Het duurt dan ongeveer een week om de voeg te vervangen. Dit levert veel verkeershinder op, zeker in vergelijking tot de flexibele voeg die tezamen met het asfaltonderhoud in gelijke tijd kan worden vervangen. Daarnaast kan het vervangen van de buigslappe voeg – en zeker de stekken indien dit nodig blijkt – een negatieve invloed op de staat en/of duurzaamheid van de ligger uitoefenen. Ondanks dat de buigslappe voeg een goedkope en onderhoudsarme constructie is, wordt vanwege de bovengenoemde argumenten het gebruik van de flexibele voeg aangeraden.

Bijlage L. Afwegingen componenten remontabele ligger

L.1 – Methoden dwarsverbinding liggers

Bij de toepassing van de eerste kokerliggers is gebruik gemaakt van dwarsvoorspanning. Deze techniek bestond uit voorgespannen stalen staven die met moeren werden vastgezet en met grout aan de liggers werd verbonden. De hiervoor benodigde sparing in het beton werd gecreëerd met een taps toelopende stalen staaf, die tijdens het verhardingsproces uit het beton werd getrokken. Deze methode van dwarsvoorspanning aanbrengen wordt tegenwoordig niet meer toegepast (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).

Ondanks dat de bouw van een dek met dwarsvoorspanning zeer snel uitgevoerd kan worden, heeft de prefab industrie toch een gewapende voeg ontwikkeld. Dit is het gevolg van de hoge kostprijs en grote gevoeligheid voor corrosie van voorspanstrengen, wat toepassing van gewapende voegen goedkoper maakte. De gewapende voeg bestaat uit uitstekende wapening (in de bovenflens van een ligger), in combinatie met in het werk uitgevoerd vlechtwerk en i.h.w. gestort beton. Een belangrijk voordeel van deze techniek is dat deze voegen een variabele breedte hebben, waarmee de breedte van het dek afstemmend kan worden op de benodigde breedte (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022) (Boer, 2002).

De afgelopen jaren is een terugkeer naar dwarsvoorspanning met aanhechting ontstaan. Dit is het gevolg van ontwikkelingen in de techniek van dwarsvoorspanning waardoor de kosten zijn afgenomen en de kwetsbaarheid voor corrosie beheerst is. Daarnaast is een korte bouwtijd in steeds meer situaties gewenst, waar deze techniek zich uitstekend voor leent. De moderne techniek voor het aanbrengen van dwarsvoorspanning bestaat uit het instorten van een geribbelde stalen buis. Vervolgens worden hier voorspanstrengen doorheen getrokken en wordt het voorspankanaal geïnjecteerd met grout, waarna de voorspanning onder spanning wordt gebracht. De geribbelde stalen buis zorgt voor een goede krachtsoverdracht van het grout naar het beton en de voorspankabel kent een goede krachtsoverdracht naar het grout. (Boer, 2002) (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).

De moderne technieken van corrosiebescherming bij dwarsvoorspanning maken de toepassing van externe voorspanning mogelijk, omdat de corrosievoorkomende eigenschappen van beton niet meer noodzakelijk zijn. Deze techniek bestaat uit voorspankabel in een buis gevuld met een materiaal dat de kabel beschermt tegen corrosie. In Nederland wordt deze techniek inmiddels al toegepast bij reparaties van bestaande technieken (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022) (freyssinet, 2022).

Bij het in 2018 gebouwde circulaire viaduct in kampen is nog een nieuwe innovatie, dwarsvoorspanning zonder aanhechting, ontwikkeld. Deze innovatie is met de ingang van de ROK 2.0, in 2022, bij rijksprojecten toepasbaar. De techniek bestaat uit voorspankabels in een gladde buis met vet als opvulmateriaal. De kabels worden gefixeerd met voorspanankers. Vervolgens wordt een rubberprofiel tussen de liggers geplaatst (300 mm¹ onder de bovenkant van de liggers), waarna de voeg wordt gevuld met krimparme mortel. Vervolgens worden de liggers tegen elkaar aan gedrukt door de voorspankabels onder spanning te brengen, waarna de voorspanning op de voorspankoppes wordt gefixeerd (Fennis, 2022) (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).

Hieruit volgen vier varianten voor dwarsverbindingen in het brugdek:

- gewapende voeg;
- dwarsvoorspanning met aanhechting;
- externe voorspanning;
- dwarsvoorspanning zonder aanhechting.

Van de genoemde varianten gaat de voorkeur naar dwarsvoorspanning zonder aanhechting, wat reeds een remontabele techniek is. De gewapende voeg bevat een niet-remontabele natte knoop verbinding en dwarsvoorspanning met aanhechting is niet remontabel, waardoor deze technieken afvallen. Externe voorspanning is vergelijkbaar met dwarsvoorspanning zonder aanhechting, maar deze kabels zijn alleen toepasbaar op een minder gunstige plek, waardoor dwarsvoorspanning zonder aanhechting de voorkeur verdient. Daarnaast is nog niet gevalideerd of de conservering bij externe voorspanning voldoende is om tijdens de levensduur een veilig en functioneel viaduct te garanderen, waardoor deze voegovergang door Rijkswaterstaat nog niet wordt toegestaan.

L.2 – Werkzaamheden bouw schampkant.

De bouw van een schampkant is afhankelijk van het ontwerp en de locatie specifieke omstandigheden. Onderstaand is een uitvoering van de bouw van een schampkant weergegeven om een beeld te schetsen van de werkzaamheden die hierbij komen kijken.

1. Een geprefabriceerde ligger met uitstekende stekeinden wordt op oplegblokken geplaatst, de langsvoegen worden gestort en de dwarsvoorspanning wordt aangebracht.
2. Een tijdelijk leuningwerk wordt aangebracht en de stekeinden (die uit de ligger steken om later de verbinding tussen de ligger en de schampkant te vormen) worden afgedopt om te voorkomen dat iemand op de stekken valt.
3. De vlechter maakt een wapeningsconstructie met behulp van stekwapening, losse staven en haarspelden.
4. Met behulp van bekistingsmateriaal wordt een bekisting aan gebracht.
 - o Mantelbuizen worden in de constructie aangebracht.
 - o Veilingkanten worden geplaatst en geven een indicatie voor de storthoogte.
 - o Een bekisting ter plaatse van de voegen wordt aangebracht.
5. Er worden ankers aan de bekisting bevestigd voor het leuningwerk.
6. Er worden K-ankers op ingeboorde en gelijmde staven gelast.
7. Indien van toepassing worden ankers voor geluidschermen of lichtmasten op ingeboorde en gelijmde staven gelast.
8. Er wordt een (of meerdere) gat(en) in de wapening geslepen voor de bevestiging van een of meerdere trekput(en) met afwateringsbuisje(s).
9. Er wordt een (of meerdere) bekisting(en) voor de onderkant van de trekput(en) gemaakt.
10. De bekisting wordt geolied en schoongemaakt als voorbereiding op de stort.
11. Het beton wordt gestort, ingespoten met curing compound om scheuren te voorkomen en indien nodig afgedekt of met isolatiedekens bekleed.
12. De schampkant wordt ontkist.
13. De schampkant wordt gehydrofobeerd.
14. De schampkant wordt afgebouwd met de montage van geleiderails op K-ankers, het leuningwerk of een geluidsscherm op ankers en soms nog aanvullende voorzieningen zoals lichtmasten.
15. Een geleidingsconstructie voor zettingsverschillen voor de mantelbuizen wordt gecreëerd.
16. Er wordt een asfaltlaag en een flexigoot tegen de schampkant aangebracht.

L.3 – Argumenten voor in het werk gestorte óf fabrieksmatig geproduceerde schampkant

De volgende argumenten liggen ten grondslag aan het fabrieksmatig produceren van de schampkant op de ligger door de prefab fabrikant (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022):

- In een fabriek wordt een schampkant onder geconditioneerde omstandigheden geproduceerd waardoor:
 - o De kans op vervuiling in de kist tijdens de stort aanzienlijk wordt beperkt.
 - o Weeromstandigheden geen rol spelen in de mogelijkheden om de schampkant te vlechten en te storten.
- In een fabriek kan een herbruikbare bekisting toegepast worden waardoor:
 - o Minder materiaal verspild wordt.
 - o De bekisting sneller geplaatst kan worden.
 - o In te storten voorzieningen gemakkelijker geplaatst kunnen worden omdat de bereikbaarheid van de in te storten voorzieningen in het bekistingsontwerp wordt meegenomen.
- In een fabriek is de locatie georganiseerd op de productie van een ligger wat zorgt voor:
 - o Gemakkelijke transport van bekisting, wapening en in te storten voorzieningen naar de productielocatie.
 - o Eenvoudige aanvoer/transport van beton en stortmiddelen zoals een betonpomp/kubel met kraan en trilnaalden.
 - o Het productieproces kan geoptimaliseerd worden en productierisico's kunnen beperkt worden.
- In een fabriek kan veiliger gewerkt worden doordat:
 - o De hele locatie is ingericht op de productie van liggers in plaats van andere werkzaamheden.

- De kans op aanrijding door grote voertuigen kan beter beheerst worden.
 - De kans op vallen over losliggende materialen wordt beperkt.
 - Werken op hoogte kan worden voorkomen.
- In de fabriek is minder verlies als gevolg van de stort split omdat:
 - De wapening in een stroom met de hoofdwapening kan worden gevlochten.
 - Er minder wapening nodig is voor de overlappingslengte.
 - Er geen stortnaad is die opgeruwd zou moeten worden.
 - Er kan in een keer gestort worden waardoor minder restbeton overblijft en minder transporten nodig zijn. Daarnaast kan restbeton beter hergebruikt worden.
- Door het wegnemen van handelingen op de bouw, wordt het bouwproces versimpeld wat bevorderlijk is voor de veiligheid en efficiëntie van overige werkzaamheden.
- De bouwtijd van een viaduct wordt verkort.

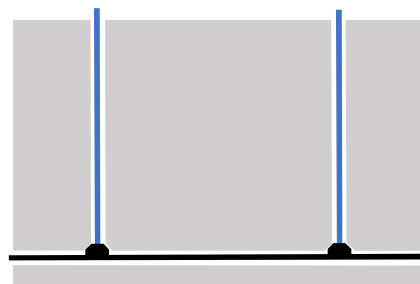
De volgende argumenten liggen ten grondslag aan het in het werk storten van de schampkant:

- Aannemers zijn, als gevolg van historische ontwikkelingen, gewend om de schampkant zelf in het werk te storten (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).
- Het wegontwerp wijzigt in de praktijk relatief vaak. Zo kan het voor komen dat een object aanwezig is op de plek waar de weg gebouwd dient te worden. Dit kan resulteren in benodigde aanpassingen aan de schampkant, zoals het afslijpen en opnieuw inboren van stekken. Deze flexibiliteit wordt drastisch beperkt door een fabrieksmatig aangebracht schampkant (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022).
- Vanwege het extra aanwezige gewicht bij het transport van de randligger (waarop de schampkant zich bevindt) moet deze constructief sterker worden ontworpen. Dit is bij het in het werk storten van een schampkant niet noodzakelijk omdat de belasting in dat geval (door de dwarskoppeling tussen liggers) gespreid wordt over meerdere liggers (Herder, 2022).
- Bij het prefab opnemen van de schampkant ontbreken stelmogelijkheden, die soms noodzakelijk zijn om het wegalignment te volgen bij bijvoorbeeld een top- of dalboog (Herder, 2022).
- De verhoging van een randligger met schampkant verhoogd de kans op scheuren aan de bovenzijde (Herder, 2022).
- Het kost de prefab fabrikant meer tijd om een ligger met schampkant te produceren dan zonder, omdat rekening gehouden dient te worden met een grotere cyclustijd.

L.4 – Concept hijsvoorziening

In *Figuur 11-59* is een concept voor een hijsvoorziening weergegeven: het balktilsysteem. In dit concept wordt in de massieve liggerkop van een massieve ligger of kokerligger drie sparingen opgenomen: twee verticale sparingen die uitkomen op een derde horizontale sparing. Door de horizontale sparing kan hijsmateriaal worden doorgestoken. Dit vereist daarmee wel dat de horizontale sparing bereikbaar is. Veelal betekent dit dat aan één zijde van de ligger geen andere ligger aanwezig mag zijn. Vervolgens worden kabels of iets dergelijks door de verticale sparingen gestoken en gekoppeld aan het hijsmateriaal. Dit vereist daarmee wel een systeem dat van buiten de ligger kan worden gekoppeld en ontkoppeld omdat de bereikbaarheid van de koppelpunten zeer slecht is. Zodra de ligger opgehesen wordt zullen de koppelpunten omhoog bewegen tot deze het beton raken waardoor de horizontale hijsbalk op zijn plek vastgezet wordt.

Nadat de ligger in het werk geplaatst is worden de sparingen tijdelijk met een materiaal, bijvoorbeeld vet, gevuld om zo de waterdichtheid van de gaten te borgen. Indien de ligger verplaatst dient te worden kunnen de sparingen dan weer eenvoudig vrijgemaakt worden. Het grote voordeel van deze oplossing is dat geen (stalen) hijsonderdelen in de ligger dienen te worden opgenomen. Hierdoor kan bij een decennia-oude ligger veel beter gewaarborgd worden het hijsmateriaal in goede staat verkeerd.



Figuur 11-59: Concept hijsvoorziening
(dwarsdoorsnede ligger)

L.5 – Wegdek mogelijkheden en beperkingen

De volgende (on)mogelijkheden bestaan om over een prefab dek met kokerliggers te rijden:

- Direct op het beton van de liggers rijden.
- Een asfaltconstructie aanbrengen op de liggers.

Vanuit het perspectief van efficiëntie is de beste oplossing om direct op de liggers te rijden. Daarnaast is beton vanuit constructief oogpunt geschikter als wegdek dan asfalt. Echter is deze variant niet haalbaar omdat de liggers (voornamelijk bij hergebruik) verschillen in toog zullen kennen. Dit wordt deels opgeheven door dwarsvoorspanning – maar niet altijd volledig. Ook is het beton met daarin de wapening minder goed beschermd. Daarnaast kan de overgang van asfalt naar een betonnen brugdek niet perfect worden aangelegd en/of onderhouden, wat invloed heeft op het rijgedrag van een voertuig. Ook kan niet aan de eisen vanuit geluid (waarvoor ZOAB wordt toegepast) worden voldaan, vindt minder spreiding van de verkeersbelasting plaats waardoor de ligger mogelijk zwaarder gedimensioneerd moeten worden en geeft de ROK een verplichting op de toepassing van asfalt.

Een asfaltconstructie op viaducten kent normaliter een waterdichte onderlaag, gevolgd door één of meerdere asfaltlagen die normaliter niet waterdicht zijn (vaak ZOAB). De waterdichte onderlaag is belangrijk voor de afwatering, waarbij voorkomen wordt dat schadelijke stoffen de ligger binnendringen. Het vervangen van de asfaltconstructie is onder normale omstandigheden goed mogelijk zonder schade aan te brengen aan de liggers. Daarbij kunnen ook nog aanvullende maatregelen worden genomen, zoals het toepassen van rode verf op de ligger die als waarschuwing voor de freesmachinist en de kraanmachinist dient wanneer zij de ligger hebben bereikt. Bij vervanging van de asfaltconstructie worden de volgende stappen doorlopen:

- Boren van kernen om de asfaltdikte en opbouw te bepalen.
- Wegvreezen van de asfaltlaag tot 20 á 30 mm¹ boven het beton.
- Verwijderen van de onderste 20 á 30 mm¹ aan asfalt met behulp van een kraan met ripper.

Deze standaard toegepaste techniek geeft het risico op het ontstaan van krassen op het betonoppervlakte, waardoor de duurzaamheid van de ligger mogelijk verminderd. Echter brokkelt het asfalt relatief snel af en biedt het geprefabriceerde beton veel weerstand omdat onder de geconditioneerde omstandigheden bij het productieproces van de liggers beton van hoge kwaliteit is ontstaan. Indien toch schade mocht ontstaan kan dit vrij eenvoudig worden hersteld door bijvoorbeeld een laag Sami aan te brengen (Asfaltwerken, 2022). In het geval van grotere schades is het mogelijk om het betonwerk te herstellen met een cementmengsel, maar dit is bijna nooit nodig. Daarnaast wordt de betondekking aan de bovenkant van een ligger in de basis met 60 mm¹ betondekking uitgevoerd in plaats van de vereiste 50 mm¹ om de bovenwapening beter te beschermen tegen beschadigingen en de invloed van schadelijke stoffen. Daarmee is de huidige techniek ook geschikt voor toepassing op een remontabel dek.

Onderkend dient te worden dat als gevolg van het meermaals hergebruik van de ligger, de kans op beschadigingen en aantasting van de wapening wel groter wordt. Aan de hand hiervan wordt geadviseerd om te onderzoeken of 60 mm¹ dekking voor een langere periode dan 100 jaar voldoende bescherming biedt tegen aantastingsmechanisme of dat een dikkere bovendekking de voorkeur biedt (Wapstra, 2022).

Bij een remontabel dek ontstaat echter de vraag of er mogelijkheden zijn om de asfaltconstructie (deels) op de ligger te laten zitten bij het transporteren van de liggers naar een nieuwe locatie. Hoewel hiermee mogelijkheden ontstaan om het asfalt in meer situaties de gelegenheid te geven de technische levensduur te bereiken vóór dit vervangen wordt, zijn een paar ernstige bezwaren aanwezig.

In eerste instantie is het nadelig dat het asfalt in het 'nieuwe' viaduct niet nieuw is, waardoor afhankelijk van de restlevensduur de onderhoudscyclus met andere componenten, zoals de voeg, ongelijk kan gaan lopen. Dit is zeer onwenselijk omdat tijdelijke wegafsluitingen bij voorkeur zo minimaal mogelijk plaatsvinden. In de praktijk zal daarom vaak onderhoud gebundeld worden, wat betekend dat dit voor bepaalde componenten naar voren wordt gehaald omdat de technische levensduur nog niet verstreken is. Daarnaast wordt het demonteren en transporteren van de liggers bemoeilijkt. Zo moet het asfalt worden ingezaagd ter plaatse van de randen van de ligger en zorgt het asfalt voor extra gewicht. Ook zijn de hijspunten, die zich vaak aan de bovenzijde bevinden, verstopt onder het asfalt. Daarmee dient aanvullend asfalt te worden verwijderd om

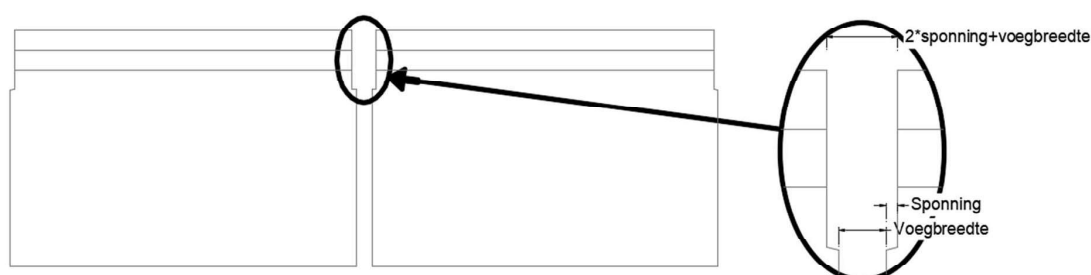
deze hijspunten zichtbaar te maken. Vervolgens loopt men in het 'nieuwe' viaduct tegen de problemen aan dat de afzonderlijke asfaltstroken van de onderlaag weer één waterdicht geheel moeten vormen en dat alle aanwezige asfaltslagen niet aan overmatige scheurvorming onderhevig mogen zijn. Het lijkt daarmee niet praktisch en realistisch om (een deel van) de asfaltconstructie op de liggers aanwezig te laten bij het demonteren en remonteren van het dek.

Bijlage M. Resultaten ontwerpproces

Binnen de afwegingen uit hoofdstuk 6 zijn voor enkele aspecten nog geen complete oplossingen weergegeven. Deze bijlage beschrijft voor deze aspecten het ontwerpproces wat is uitgevoerd, samen met Kees Quartel, Jan van Asten en Frank van Beek.

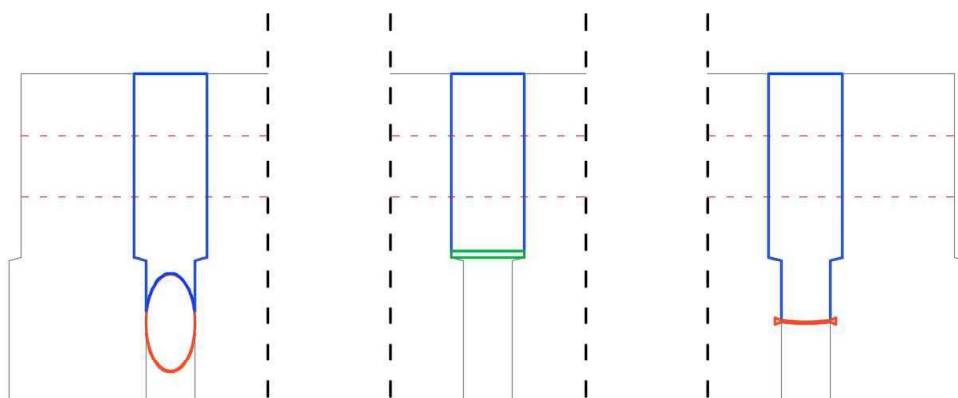
M.1 – In breedte variabele langsvoeg

Geprefabriceerde betonnen liggers werken onderling samen en functioneren als een geheel. Deze verdeling wordt gecreëerd met behulp van dwarsvoorspanning en creëert een horizontale kracht tussen de liggers die wordt opgenomen door de voegen. Bij het circulaire viaduct bestaat deze voeg uit een 300 mm¹ hoge voeg tussen twee liggers (zie Figuur 11-60), waarbij een rubberprofiel voor de afsluiting aan de onderzijde van de voeg zorgde en de voeg gevuld werd met een cementgietmortel (Cugla K70). Dit hecht niet aan de liggers door het aanbrengen van een onthechtingsmiddel. Wanneer de drukkracht van de voorspanning wordt verwijderd onthecht de cementgietmortel en kan dit gemakkelijk worden verwijderd (Consolis Spanbeton ; Van Hattum en Blankevoort ; Rijkswaterstaat (RWS), 2019), (Valk, 2019), (Quartel J. v., 2022).



Figuur 11-60: Locatie langsvoeg

Deze techniek is bedoeld voor een voeg van 10 mm¹ waardoor dit moet worden aangepast om de gewenste voeg van 80 mm¹ te creëren. Voor de aanpassing zijn drie varianten bedacht die tijdens de ontwerpessie zijn behandeld. Deze varianten bestaan uit een cementmortel ondersteund met een rubberprofiel, Bekistingsplaat of een ingeklemde rubberen band (Kees Quartel, 2022).



Figuur 11-61: Varianten ontwerpessie langsvoeg, van links naar rechts, rubberprofiel, bekistingsplaat en rubberband

Vanuit deze varianten is gekozen voor de bekistingsplaat omdat dit een simpele oplossing is ten opzichte de rubberen band. Daarnaast is het rubberprofiel technisch niet haalbaar bij deze breedte. Deze oplossing zal er als volgt uitzien (cate, 2022) (Quartel K. , Vergadering over ontwerpaspecten van kokerliggers, 2022):

- Plaatsing liggers.
- I.h.w. op maat zagen van een bekistingsplaat bestaand uit High Pressure Laminate (HPL), wat waterdicht is en niet degradeert. Dit materiaal is minimaal 6 mm¹ dik, maar kan ook dikker uitgevoerd worden (afhankelijk van de overspanning), om voldoende stijfheid te creëren.
- Aanbrengen en aanspannen van de dwarsvoorspanning.
- Aanbrengen van onthechtingsmiddel op het voegoppervlak.

- Vullen van de (ongewapende) voeg met een cementmortel waarbij de grofheid van het toeslagmateriaal bepaald moet worden aan de hand van de breedte van de voeg. Door de beperkte ordegrate van de kracht ($10 \text{ á } 20 \text{ N/mm}^2$) die hier op komt te staan is een mengsel met een sterkte van C30/37 in principe voldoende.

Een aandachtspunt bij het liggerontwerp is een voldoende brede oplegnok in de ligger, om de uitvoering te voorzien van voldoende toleranties voor maatafwijkingen bij het op maat zagen van de HPL platen.

Ook is het relatief eenvoudig om een bredere voeg toe te passen dan 80 mm^1 met een grover toeslagmateriaal. Echter vergroot dit de werkende breedte, en daarmee de belasting per ligger. Dit kan een zwaarder gedimensioneerde ligger tot gevolg hebben.

M.2 – Verbindingspunten afbouw voorzieningen

De schampkant wordt fabrieksmatig aangebracht, maar zorgt hierdoor wel voor een aanzienlijk verhoogd gewicht. Het gestandaardiseerde detail van Rijkswaterstaat uit de RTD 1010 (Figuur 11-63) kent een doorsnede van $0,33 \text{ m}^2$. Indien de ingestorte voorzieningen worden verwaarloosd heeft dit een gewicht van $0,33 [\text{m}^2] \cdot 2500 [\text{kg/m}^3] = 825 [\text{kg/m}^1]$. Bij een liggerlengte van $31,9 \text{ m}^1$ gaat dit over ruim 26 ton extra gewicht veroorzaakt door de schampkant.

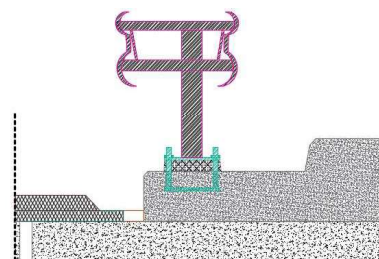
Eén van de eisen die het ROK aan de schampkant stelt is dat deze minimaal 50 mm^1 boven de bovenkant van het asfalt moet uitkomen. Daarmee ontstaat voldoende waterkerend vermogen. Daarnaast moet het leuningwerk meewerken met de geleiderail om een botsing op te vangen en moeten de kabels over het viaduct geleid kunnen worden. Door de kabels niet door de schampkant te leiden maar direct op de ligger te leggen en door het leuningwerk direct op de ligger te monteren (waarbij grotere ankers noodzakelijk zijn voor het opvangen van een grotere momentkracht) kan de schampkant aanzienlijk verkleind worden tot de vormgeving van *Figuur 11-62*. Hiermee ontstaat een schampkant met een doorsnede van $0,10 \text{ m}^2$ wat resulteert in een gewicht van $0,10 [\text{m}^2] \cdot 2500 [\text{kg/m}^3] \cdot 31,9 [\text{m}^1] = 7.975 [\text{kg}]$. Een aanvullend voordeel van deze vormgeving is dat de ankers voor het leuningwerk kunnen worden gedicht met doppen, waardoor het mogelijk wordt om de randliggers flexibel toe te passen (Kees Quartel, 2022).

Tijdens dit onderzoek is beperkt informatie ingewonnen naar de aspecten die de vormgeving van een schampkant kunnen beïnvloeden. Dit geldt op technisch vlak maar ook op het gebied van regelgeving wat bij viaducten over de autosnelweg kan afwijken ten opzichte van viaducten in de autosnelweg. Bij een verdere uitwerking van het remontabele ontwerp dient dit aspect verder onderzocht te worden.

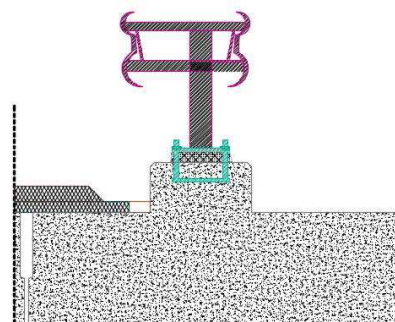
verbindingspunten

Doordat de schampkant geprefabriceerd wordt meegeleverd moeten alle verbindingen voor afbouwvoorzieningen reeds aanwezig zijn. Dit kan door bestaande technieken (boutankers, ankerplaten en K-ankers) op een andere manier toe te passen. Tijdens de ontwerpssessies zijn de mogelijkheden besproken aan de hand van *Figuur 11-64* en *Figuur 11-65*. In deze figuren is het volgende weergegeven (Kees Quartel, 2022):

- Geleiderails wordt met behulp van K-ankers gemonteerd.
- Het leuningwerk wordt met behulp van ankerplaten gemonteerd.

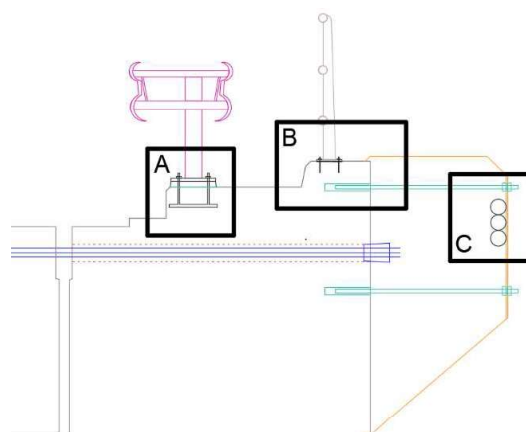


Figuur 11-63: Schampkant volgens standaard detail RTD 1010 (Rijkswaterstaat, 2017)

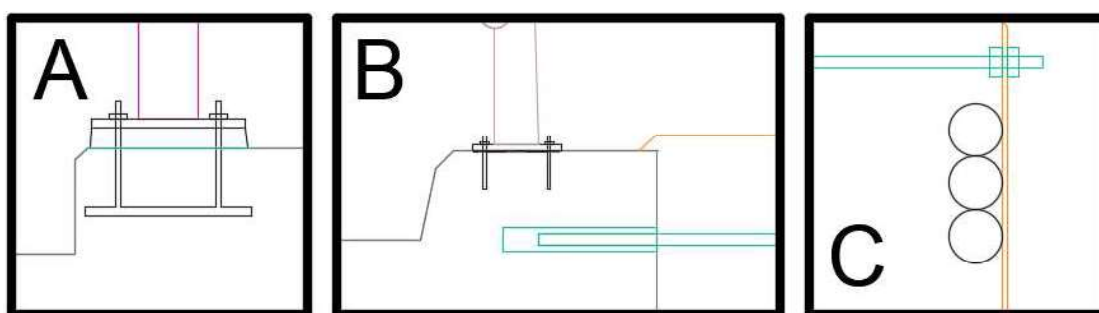


Figuur 11-62: Aangepaste schampkant

- De randafwerking wordt met behulp van boutankers bevestigd (Gerrijn, 2022) en creëert verscheidende afwerkingsmogelijkheden.
- De mantelbuizen zijn in het randelement verwerkt en de toepassing van een trekput vervalt hiermee.
- Een geluidsscherm kan ter vervanging van het leuningwerk worden bevestigd.



Figuur 11-64: Locatie afbouw voorzieningen



Figuur 11-65: Verbindingsmethoden

Tijdens de ontwerpessies zijn de volgende inzichten ontstaan (Beek, Ontwerpsessie, 2022) (Kees Quartel, 2022):

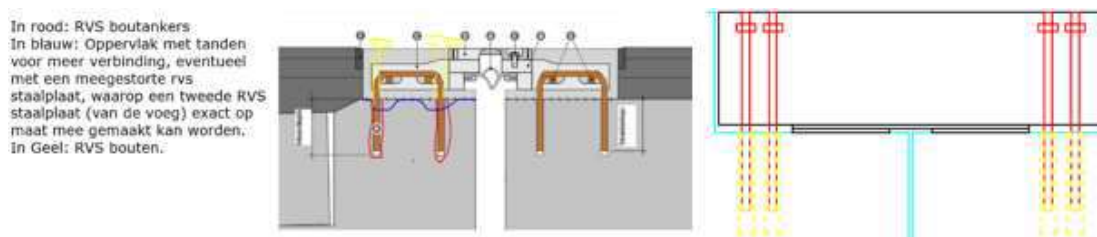
- Als gevolg van het verkleinen van de schampkant moet een leuningwerk met een sterke verankering worden toegepast om de verhoogde krachten door de grotere hefboom te kunnen opvangen.
- Leuningwerk moet worden verbonden met boutankers om een uitbereiding met een fietspad mogelijk te maken.
- Bij toepassing van een schuine weg over een recht viaduct zal de schampkant niet meer aan zijn functie voldoen. Een mogelijke oplossing hiervoor is *hydrodemolition* en een in het werk gestorte schampkant. Echter is dit niet remontabel. Verdere uitwerking van een schuine weg over een recht viaduct valt buiten de scope van dit onderzoek (Wikipedia, 2022).
- Mantelbuizen kunnen ook aan de bovenzijde worden aangebracht en beschermd met een rooster zodat er geen gevaar ontstaat voor breken bij aanrijding.

Vanuit de genoemde aanpassingen uit de ontwerpessie ontstaan de volgende verbindingen:

- De geleiderails wordt verbonden met Thermisch verzinkte K-ankers.
- Het leuningwerk (of geluidsscherm ter vervanging van het leuningwerk) wordt verbonden met ingestorte rvs bout-ankers. Deze ankers kunnen indien nodig gedicht worden met stoppen. Bij een ontwerp kan slechts een van de twee voorzieningen worden toegepast.
- De mantelbuizen worden achter de geleiderail gelegd en opgesloten door een thermisch verzinkt looprooster op een stalen constructie.
- De randafwerking wordt verbonden met rvs boutankers en kan worden opgebouwd uit zetwerk, kunststof, hout, bamboe, etc. Deze keuze is aan de ontwerper van een project.
- Lichtmasten worden verbonden aan de randafwerking. Deze verbinding valt buiten de scope van dit onderzoek.

M.3 – Voegconstructie

Als voorbereiding op de derde ontwerpsessie is een eerste idee voor een remontabel voegontwerp op basis van de nosing joint opgesteld. Dit ontwerp bestaat uit een ingestort anker waarbij een bout een verbinding vormt met de staalconstructie van de voeg. Vervolgens kan de rest van de voeg gestort worden. Bij voegvervanging of verplaatsing van de ligger kan de voeg worden verwijderd met behulp van hydromolition, waarna de overgebleven wapeningsconstructie ontmanteld kan worden en de bouten weer verwijderd kunnen worden. Een vergelijkbare techniek was bedacht om een remontabele buigslappe voeg te ontwikkelen (Figuur 11-66). Hiervan bleek al relatief snel dat deze concepten nog ver van volledig zijn. Zo mist de horizontale trekband bij de buigslappe voeg, waardoor alle krachten d.m.v. wrijving moeten worden opgenomen. Uiteindelijk zijn deze onderdelen niet verder uitgewerkt, omdat tijdens de ontwerpsessie bleek dat deze twee type voegen geen onderdeel worden van het remontabele liggerontwerp. Dit komt doordat de flexibele voeg zowel voor het landhoofd als bij het tussensteunpunt het meest kansrijk is om als basis te dienen voor een remontabele voeg (Beek, Ontwerpsessie, 2022), (Kees Quartel, 2022).



Figuur 11-66: Concepten voegconstructies ter plaatse van het landhoofd (links) en het middensteunpunt (rechts) besproken tijdens de ontwerpsessie

Innovatie voegconstructie

De flexibele voeg wordt normaliter toegepast bij voegrenovaties in breedtes van 500 mm¹. Deze constructie heeft een levensduur van minimaal 10 jaar, waardoor de voegconstructie tegelijk met het asfaltonderhoud kan worden vervangen. Het aanbrengen van deze voeg begint met het aanbrengen van een asfaltlaag (ter plaatse van de voeg op een tijdelijke bekistingplaat). Vervolgens wordt het asfalt aan beide zijden van de voeg verwijderd voor het aanbrengen van 500 mm¹ gietasfalt¹⁴ (Breure, 2017). Daarna wordt het asfalt ter plaatse van de te maken voegmassa tussen deze gietasfaltbalken verwijderd. Ter plaatse van de dilatatievoeg wordt een staalplaat met onthechtsslabbe over de voeg gelegd, waarna de voeg (bestaand uit bitumen) wordt aangebracht in drie lagen van 30-40 mm¹ per laag, hechtend op de flanken. De voegconstructie heeft totaal circa 150 mm¹ aanhechting nodig op het landhoofd en op de ligger en bij voorkeur 250 mm¹ aanhechtlength op het landhoofd. De stalen afdekplaat met afgeschuinde randen is minimaal 150 mm¹ breed en de EPDM onthechtsslabbe die hechting tussen asfalt en de staalplaat voorkomt loopt minimaal 25 mm¹ voorbij de staalplaat. Dit resulteert in een dilatatiecapaciteit van 37,5 mm¹ (25 mm¹ rek en 12,5 mm¹ stuik) (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

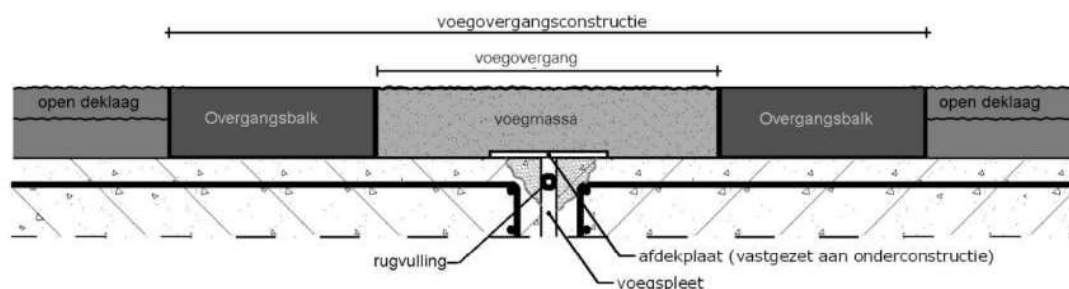
Bij een viaduct met twee uitzetvoegen, een buigslappe voeg en een ligger met een invloedslengte van 31,9 m¹, is een dilatatiecapaciteit van 37,5 mm¹ zeer krap aangezien deze ligger alleen al door gelijkmatige temperatuurverandering van circa 25 graden Celsius (bij een aanlegtemperatuur van 10°) circa 10 mm¹ kan uitzetten (Beek, Ontwerpsessie, 2022). Daarnaast moet ook nog rekening worden gehouden met andere vervormingen zoals rembelastingen, windbelasting en zettingen. Vervolgens kan een gelijkmatige temperatuurkrimp van circa 40° Celsius (aanlegtemperatuur +25° Celsius; circa -15° in de winter) een maximale krimpverkorting van circa 15 mm¹ geven. Daarbovenop komen nog de krimp/kruipvervorming van het brugdek en verplaatsingen door rembelasting, wind, zettingen etc. (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

Bij de bouw van een nieuw viaduct (of herplaatsing van remontabele elementen) zal het viaduct nog sterk bewegen. Dit geldt zowel voor de ondergrond die nog moet inklinken als voor de liggers die als gevolg van werking van de voorspanning tot 6 maanden na productie nog verkorten. De verkorting van voorspanning is problematisch voor een voeg met een dilatatiecapaciteit van de 500

¹⁴ Gietasfalt wordt toegepast om onthechting (en daarmee scheuren) van de flexibele voeg met de laag ZOAB te voorkomen. Deze kans wordt voornamelijk verkleind doordat zich bij gietasfalt, anders dan ZOAB, geen tot weinig water bevindt op het hechtvlak tijdens het aanbrengen van het asfalt.

mm¹ voeg, omdat de 15 mm¹ stuik door thermische krimp eigenlijk al niet kan worden opgevangen en hier nog eens uitdrogingskrimpt en kruip bij komt (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

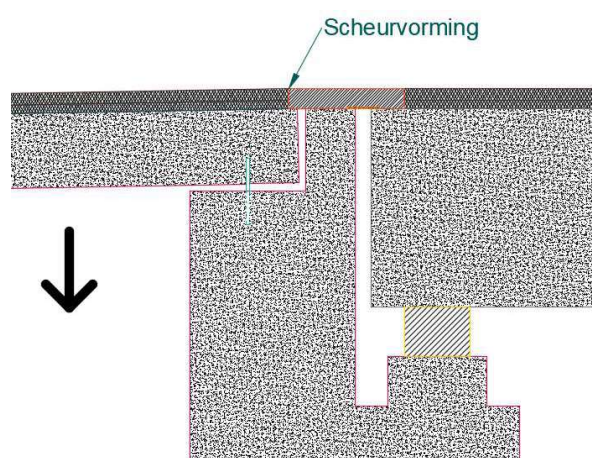
Dit specifieke capaciteitsprobleem kan opgelost worden door een bredere voeg van 700 mm¹ toe te passen (Figuur 11-67) met een dilatatiecapaciteit van 50 mm¹ (30 mm¹ rek en 20 mm¹ stuik). Dit is direct ook de maximale grootte van dit type voeg, doordat een langere flexibele voeg te gevoelig is voor spoorvorming. Met deze voeg is voldoende dilatatiecapaciteit gecreëerd voor de ligger tijdens de nieuwbouw fase (Beek, Ontwerpsessie, 2022).



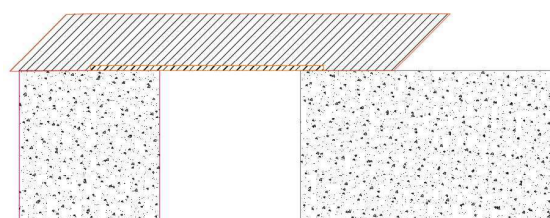
Figuur 11-67: Verbeterde onverankerde bitumineuze voegovergang (Platform Voegovergangen en Opleggingen, 2021)

Deze voeg lijkt een geschikte oplossing te bieden voor een remontabele voeg. Echter is de ligger niet het enige onderdeel wat beweegt. Stootplaten zijn na plaatsing namelijk nog onderhevig aan zetting, dit terwijl het landhoofd amper beweegt. Hierdoor maakt de stootplaat een roterende beweging (Figuur 11-68) waardoor een trekkracht ontstaat tussen de voeg en het asfalt. Ver voordat het asfalt vervangen moet worden, zal dit een scheur veroorzaken waardoor de voeg vroegtijdig vervangen zal moeten worden en de weg een extra keer moet worden afgesloten. Om dit op te lossen zijn enkele varianten verkend die niet geschikt bleken (Beek, Ontwerpsessie, 2022):

- het inzagen van de asfaltlaag ter hoogte van de stootplaat en het aanbrengen van een bitumen vulling, met kleine korrelgrootte. Dit behaalt in praktijk een levensduur van ongeveer 6 jaar, waarna het ZOAB scheurt en afbrokkelt en de voegconstructie alsnog vroegtijdig vervangen moet worden.
- De 700 mm¹ lange flexibele voeg verschuiven zodat dit ook aanhechting kent met de stootplaat en de scheur niet ontstaat. Dit voorkomt een vroegtijdige onthechting. Echter verkleint dit de dilatatiecapaciteit naar de capaciteit van een 500 mm¹ voeg.
- Vergroten van het aanhechtingsvlak door de bitumen schuin aan te sluiten op het asfalt zoals weergegeven in *Figuur 11-69*. Dit biedt ook geen oplossing omdat een situatie met de bitumen onderaan ingesneden (links) zorgt voor een zeer zwakke plek in het asfalt die zal scheuren. Andersom (rechts) ontstaat een te grote voeglengte waardoor de kans op spoorvorming aanzienlijk toeneemt (Beek, Ontwerpsessie, 2022).



Figuur 11-68: Verzakking stootplaat



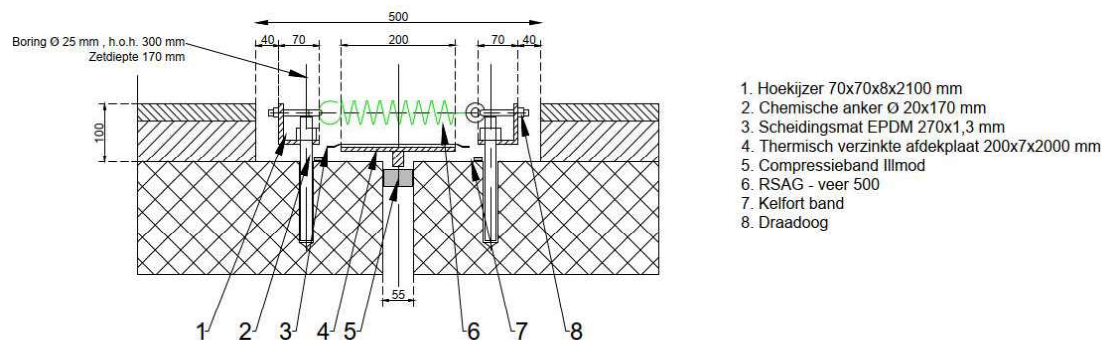
Figuur 11-69: Voorbeeld afschuining ligger



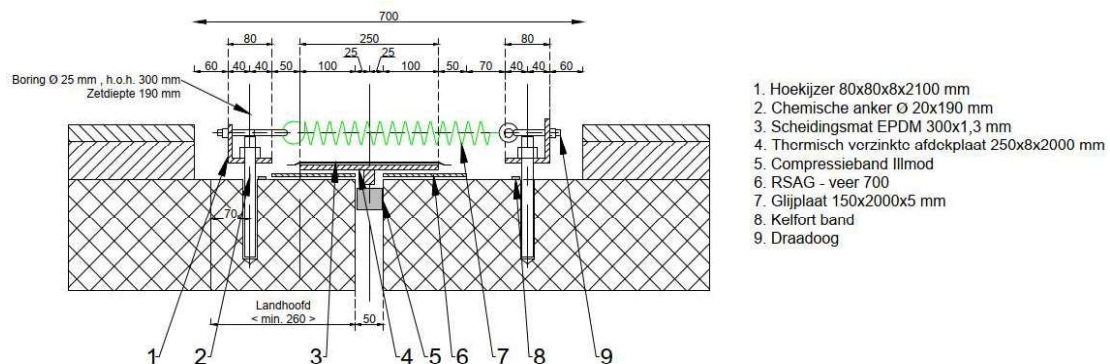
Figuur 11-70: Silent Joint ontwikkeld door het Zwitserse RSAG (Schageninfra, 2022)

Een voegtype die dit probleem wel kan oplossen is de Silent Joint (Figuur 11-70). Deze voeg verkrijgt zijn aanhechting d.m.v. hoekankers, verankerd aan het beton, waardoor een kleiner aanhechtingsvlak nodig is om deze voegen aan te brengen. Vervolgens wordt een spiraalveer gebruikt om de spanning homogeen over de breedte van de voegovergang te verdelen. Hiermee ontstaan de volgende dilatatiecapaciteiten (Beek, Ontwerpsessie, 2022):

- 500 mm¹ verankerde voeg: +33 mm¹, -17 mm¹, 50 mm¹ dilatatiecapaciteit (Figuur 11-71).
- 700 mm¹ verankerde voeg: +46 mm¹, -24 mm¹, 70 mm¹ dilatatiecapaciteit (Figuur 11-72).



Figuur 11-71: Silent Joint 500 mm¹



Figuur 11-72: Silent Joint 700 mm¹

Naast een verbeterde dilatatiecapaciteit heeft dit type verankerde voegovergang ook een goede weerstand tegen hoogfrequente voegbewegingen van het verkeer. Verankerde flexibele voegen kennen echter ook nadelen zoals de noodzaak om ankerpunten in de liggers op te nemen. Dit terwijl deze voeg na zijn levensduur direct vervangen kan worden door een normale flexibele voeg omdat het viaduct dan nagenoeg geen onomkeerbare vervormingen (zetting, krimp, kruip) meer ondergaat. Ook moeten de hoekankers ter plaatste worden geboord, omdat de boutankers in de liggers goed moeten uitkomen met de boutgaten in de hoekijzers. Dit is vooraf niet mogelijk omdat de voegen variëren in breedte. De gaten moeten dan in situ worden geboord, waardoor de uitvoeringstijd enigszins wordt verlengd, hetgeen voor een nieuwbouwsituatie in mindere mate een probleem hoeft te zijn (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

Na het bepalen van een geschikte remontabele voegconstructie ontstaat nog de vraag hoe de verbinding tussen liggers onderling ontworpen moet worden, aangezien het opnemen van een sparing (in verband met uitwisselbaarheid) in de ligger, wat noodzakelijk is voor een buigslappe voeg, niet wenselijk is (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

Om dit op te lossen is het idee ontstaan om ook bij het middensteunpunt een flexibele voegovergang toe te passen. Dit is aanzienlijk duurder en de voeg moet vaker vervangen worden, maar doordat de minimale levensduur van deze voeg 10 jaar is, kan deze vervanging gelijktijdig met de onderhoudswerkzaamheden van de asfaltverharding worden uitgevoerd, waardoor geen extra afsluitingen noodzakelijk zijn. Naast dat de flexibele voegovergang volledig remontabel is wordt de invloed van de thermische uitzetting van een ligger (invloedslengte) bij het landhoofd gehalveerd, door de gecreëerde capaciteit bij het middensteunpunt, wat de noodzaak voor een verankerde flexibele voeg van 700 mm^1 wegneemt. Ook wordt de destructieve vervanging van een buigslappe voeg, wat in de praktijk ruwweg elke 50 jaar wordt uitgevoerd, voorkomen. Daarnaast kan dit een grote positieve invloed op het milieu hebben, door het voorkomen van een lange wegafsluiting (omrijden en files), omdat een beschadigde buigslappe voeg ongeveer een week kost om te vervangen in tegenstelling tot de normale twee dagen die nodig zijn voor de vervanging van een onbeschadigde buigslappe voeg. (Beek, Ontwerpsessie, 2022) (Kees Quartel, 2022).

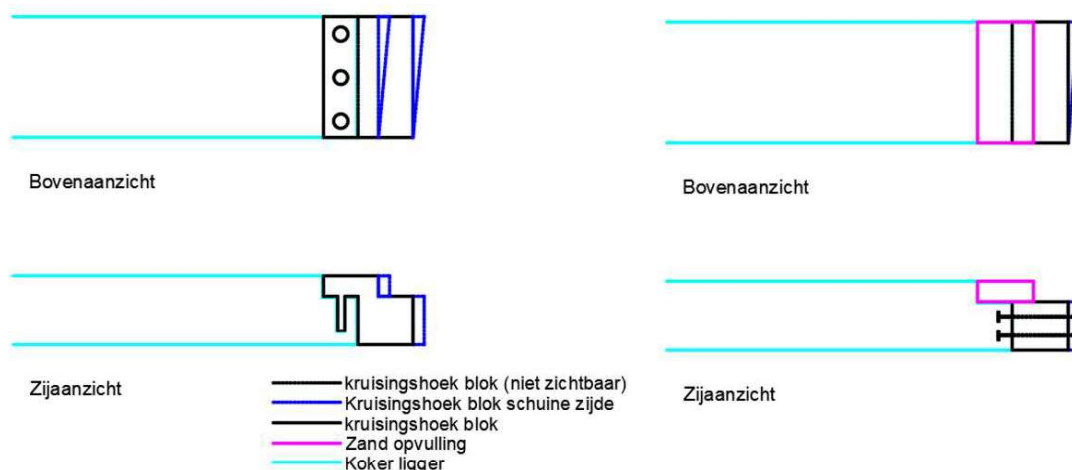
De gegeven oplossing ziet er bij een viaduct met twee velden als volgt uit. Bij beide landhoofden wordt een onverankerde flexibele voeg toegepast van 700 mm^1 , die tot op de stootplaat wordt aangebracht om restzetting van de stootplaat te kunnen volgen. Deze flexibele voegovergang heeft derhalve een capaciteit van een 500 mm^1 brede voegovergang met een dilatatiecapaciteit van $37,5 \text{ mm}^1$, bestaand uit 25 mm^1 rekapaciteit (ten behoeve van krimp van het kunstwerk) en $12,5 \text{ mm}^1$ stuikcapaciteit (t.b.v. uitzetting kunstwerk). In de eindsituatie zorgt de beperkte invloedslengte van thermische uitzetting op deze locatie voor maximaal $7,5 \text{ mm}^1$ krimp wat aangevuld wordt door verdere liggerverkorting door kruip en uitdrogingskrimp in geval van nieuwbouw.

Bij het tussensteunpunt wordt vervolgens een flexibele voeg gecreëerd van 700 mm^1 met een dilatatiecapaciteit van 30 mm^1 rek en 20 mm^1 stuik. De invloedslengte is hierbij twee maal de halve overspanning van beide liggers wat neerkomt op $2 \cdot 7,5[\text{mm}^1] = 15[\text{mm}^1]$ thermische krimp waardoor een capaciteit van 15 mm^1 resteert voor het onomkeerbare krimp/kruipverkorting van de beide liggers (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

Deze techniek kan nog verder onderzocht en geoptimaliseerd worden. Zo zal de met spiraalveren gewapende en verankerde flexibele voeg noodzakelijk zijn indien langere liggers worden geproduceerd (Beek, Ontwerpsessie, 2022).

M.4 – Concepten opzetblok variabele kruisingshoek

Indien men gelijke liggers onder een variabele kruisingshoek wilt kunnen toepassen zijn, afhankelijk van de methode, liggers met een afgeschuinde kop benodigd. Een mogelijke methode om hier invulling aan te geven bij een gestandaardiseerd maatsysteem (waarmee gepoogd wordt het aantal systeemmaten voor de liggers te beperken) is door de een opzetblok aan de liggers te koppelen die deze afschuining verzorgd. Daarmee worden in de basis, onafhankelijk van de kruisingshoek, gelijke liggers gebruikt. Concepten voor hoe dit opzetblok eruit zou kunnen zien zijn weergegeven in *Figuur 11-73*.



Figuur 11-73: Kruisingshoek concepten

Deze opzetblokken lijken in eerste instantie kansrijk te zijn voor toepassing onder kruisingshoeken. De aanwezigheid van een aantal belangrijke nadelen geven echter de verwachting dat de mogelijkheden om een van deze oplossingen toe te passen klein zijn. De volgende nadelen zijn aanwezig:

- De verbinding tussen het opzetblok en de ligger wordt op een tamelijk grote afschuifkracht belast. Daarmee dienen zwaar gedimensioneerde verbindingpunten te worden opgenomen in de ligger en het opzetblok. Mogelijkerwijs is hier geen of slecht ruimte voor. Daarnaast heeft dit constructieve gevolgen voor de ligger.
- De voordelige toepassing van deze oplossingen zijn gericht op de mogelijkheden om gelijke liggers onder een variabele hoek toe te passen. Dit vereist echter wel dat elke ligger gedimensioneerd wordt op de zwaarst belaste situatie. In eerste instantie betekent dit dat in elke ligger verbindingpunten moeten worden opgenomen, maar daarnaast dienen deze verbindingpunten sterk genoeg te zijn voor de zwaarst belaste situatie.
- Een extra, mogelijk lekkagegevoelige, naad wordt geïntroduceerd in het dek.
- Om grote krachten op het opzetblok te voorkomen dient deze voorbij de oplegging ontworpen te worden. Vanwege de benodigde grootte van het opzetblok om de gewenste afschuining te creëren en om ruimte te bieden aan de voegconstructie, heeft dit tot gevolg dat de steunpunten breder gedimensioneerd dienen te worden (in de lengterichting van het dek).

M.5 – aanzet vervolgonderzoek voegconstructies

Als eerste aanzet voor een vervolgonderzoek zijn de voegbewegingen, op hoofdlijnen, van het remontabele ontwerp bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van de 'rekenmodule voor bepaling voegbewegingen van bestaande betonnen kunstwerken' van het platform voegovergangen en opleggingen. Dit heeft geresulteerd in de waarden in *Tabel 11-48*. Vanuit deze berekening blijkt dat voornamelijk de rem- en aanzetbelasting en de hoogfrequente voegbeweging voor een zeer grote voegbeweging zorgen. Dit is niet meegenomen bij het opstellen van het remontabele liggerontwerp, maar heeft wel tot gevolg dat de onverankerde flexibele voeg niet geschikt is voor het huidige remontabele liggerontwerp. Uit vervolgonderzoek kan mogelijk een ontwerpwijziging volgen die dit probleem oplost, waarmee alsnog een onverankerde flexibele voegovergang kan worden toegepast. Indien dit niet mogelijk blijkt kan als alternatief worden overgestapt op een verankerde flexibele voegovergang (silent joint). Dit heeft beperkte invloed op het remontabel ontwerp (enkel opnemen van verankeringspunten). Een tweede mogelijkheid is om een nosing joint toe te passen. De benodigde sparing in het beton zorgt echter voor een grote ontwerpwijziging. Een vervolgonderzoek is noodzakelijk omdat de onverankerde flexibele voeg in het huidige ontwerp op de volgende punten in capaciteit te kort schiet (Beek, Interview voegovergangen, 2022):

- Voegbeweging bij het landhoofd (invloedslengte is gelijk aan een halve ligger):
 - Combinatiewaarde van $15,1 \text{ mm}^1$ stuk is hoger dan de capaciteit van $12,5 \text{ mm}^1$
 - Hoogfrequente voegbeweging van $1,34 \text{ mm}^1$ is hoger dan de $0,8 \text{ mm}^1$ capaciteit die een flexibele voeg bij koude temperaturen kan weerstaan.
- Voegbeweging bij het tussensteunpunt (invloedslengte is gelijk aan twee halve liggerlengtes):
 - Hoogfrequente voegbeweging van $1,34 \text{ mm}^1$ vanuit een overspanning is hoger dan de capaciteit van de flexibele voeg van $0,8 \text{ mm}^1$.
 - Daarnaast komt de combinatiewaarde van $15,1 \text{ mm}^1$ vanuit een overspanning al zeer in de buurt van de capaciteit van $17,5 \text{ mm}^1$.

De hoge waarde voor de voegbewegingen, geïnitieerd door verkeersbelastingen, kan grotendeels verklaard worden door het ontbreken van een buigslappe voeg in het remontabele ontwerp. Dit zorgt voor een drastische beperking van de samenwerking van meerdere overspanningen, welke weerstand bieden tegen rem- en aanzetbelastingen van verkeer. Hierdoor kan overwogen worden om beide overspanningen alsnog middels een buigslappe voeg te koppelen. Dit heeft echter tot gevolg dat het ontwerp van de ligger aangepast dient te worden met aanvullende wapening en een sparing in de liggerkop. In verband met uitwisselbaarheid van de ligger is het daarnaast wenselijk om deze sparing in de liggerkop aan weerszijden op te nemen. Mogelijkerwijs is de nosing joint dan geschikter voor toepassing als de flexibele voegovergang (Beek, Interview voegovergangen, 2022).

Voegovergang steunpunt 1							Maatgevend hoekpunt: A						
Translaties [mm]	$\Delta X+ //$ ◄	$\Delta X- //$ ►	$\Delta Y+ //$ ▼	$\Delta Y- //$ ▲	$\Delta Z+ \uparrow \Gamma \blacktriangle$	$\Delta Z- \downarrow \Gamma \blacktriangledown$							
Temperatuurbelasting gelijkmatig	4,6	-5,6	0,6	-0,6	0,1	-0,1							
Temperatuurverschil component	0,7	-0,4	0,5	-0,5	0,1	-0,2							
Windbelasting zonder verkeer	0,9	-0,9	1,7	-1,7	0,0	0,0							
Windbelasting met verkeer	0,8	-0,8	1,5	-1,5	0,0	0,0							
Centrifugaalbelasting	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Rem/aanzetbelasting	10,4	-10,4	3,1	-3,1	0,1	0,0							
Verticale verkeersbelasting (LM1)	0,0	-2,7	0,0	0,0	0,9	-0,2							
Combinatiewaarde	15,1	-17,9	5,1	-5,1	1,1	-0,5							
Totale dilatatiecapaciteit X-richting	33,0												

Omgerekende translaties voeg [mm]							Loodrecht op voeg						
							Evenwijdig aan voeg		Verticaal				
							$\Delta X_v+ \uparrow \blacktriangleleft$	$\Delta X_v- \uparrow \blacktriangleright$	$\Delta Y_v+ \uparrow \blacktriangledown$	$\Delta Y_v- \uparrow \blacktriangle$	$\Delta Z+ \uparrow \Gamma \blacktriangle$	$\Delta Z- \downarrow \Gamma \blacktriangledown$	
Combinatiewaarde							15,1	-17,9	5,1	-5,1	1,1	-0,5	
Dilatatiecapaciteit totaal							33,1						

Hoogfrequente voegbewegingen [mm]							Loodrecht op voeg						
							Evenwijdig aan voeg		Verticaal				
							$\Delta X_v+ \uparrow \blacktriangleleft$	$\Delta X_v- \uparrow \blacktriangleright$	$\Delta Y_v+ \uparrow \blacktriangledown$	$\Delta Y_v- \uparrow \blacktriangle$	$\Delta Z+ \uparrow \Gamma \blacktriangle$	$\Delta Z- \downarrow \Gamma \blacktriangledown$	
Verkeersbelasting (FLM1)							0,00	-1,34	0,00	0,00	0,47	-0,16	

Voegovergang steunpunt 2							Maatgevend hoekpunt: A'						
Translaties [mm]	$\Delta X+ \blacktriangleright //$	$\Delta X- \blacktriangleleft //$	$\Delta Y+ \blacktriangle //$	$\Delta Y- \blacktriangledown //$	$\Delta Z+ \blacktriangle \uparrow \Gamma$	$\Delta Z- (\blacktriangledown \uparrow \Gamma)$							
Temperatuurbelasting gelijkmatig	4,6	-5,6	0,6	-0,6	0,1	-0,1							
Temperatuurverschil component	0,7	-0,4	0,5	-0,5	0,1	-0,2							
Windbelasting zonder verkeer	0,9	-0,9	1,7	-1,7	0,0	0,0							
Windbelasting met verkeer	0,8	-0,8	1,5	-1,5	0,0	0,0							
Centrifugaalbelasting	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Rem/aanzetbelasting	10,4	-10,4	3,1	-3,1	0,1	0,0							
Verticale verkeersbelasting (LM1)	0,0	-2,7	0,0	0,0	1,1	-0,2							
Combinatiewaarde	15,1	-17,9	5,1	-5,1	1,3	-0,5							
Totale dilatatiecapaciteit X-richting	33,1												

Omgerekende translaties voeg [mm]							Loodrecht op voeg						
							Evenwijdig aan voeg		Verticaal				
							$\Delta X_v+ \blacktriangleright \uparrow \uparrow$	$\Delta X_v- \blacktriangleleft \uparrow \uparrow$	$\Delta Y_v+ \blacktriangle \uparrow \uparrow$	$\Delta Y_v- \blacktriangledown \uparrow \uparrow$	$\Delta Z+ \blacktriangle \uparrow \Gamma$	$\Delta Z- (\blacktriangledown \uparrow \Gamma)$	
Combinatiewaarde							15,1	-17,9	5,1	-5,1	1,3	-0,5	
Dilatatiecapaciteit totaal							33,1						

Hoogfrequente voegbewegingen [mm]							Loodrecht op voeg						
							Evenwijdig aan voeg		Verticaal				
							$\Delta X_v+ \blacktriangleright \uparrow \uparrow$	$\Delta X_v- \blacktriangleleft \uparrow \uparrow$	$\Delta Y_v+ \blacktriangle \uparrow \uparrow$	$\Delta Y_v- \blacktriangledown \uparrow \uparrow$	$\Delta Z+ \blacktriangle \uparrow \Gamma$	$\Delta Z- (\blacktriangledown \uparrow \Gamma)$	
Verkeersbelasting (FLM1)							0,00	-1,34	0,00	0,00	0,51	-0,14	

Tabel 11-48: Voegbewegingen voorbeeldsituatie

Bijlage N. visies theoretische varianten vervangen polystyreen bekisting kokerligger

Onderstaand zijn zeven theoretische varianten om polystyreen te vervangen omschreven.

3D geprinte bekisting

Een andere methode om met zo min mogelijk materiaal een binnenkist te produceren is met behulp van een extrusie 3D printer waarmee een wand voor de bekisting en een interne versteviging met optimaal materiaalgebruik kan worden geproduceerd. Dit is een arbeidsextensief proces waarbij de printer enkel gevoed dient te worden met filament en energie. Deze techniek kent veel vormgevingsvrijheid waardoor de betondikte van de ligger optimaal kan worden toegepast zodat ook hier materiaal bespaard wordt (Weber, 2020)

Echter moeten nog aanzienlijke uitdagingen worden overkomen om deze uitvoeringmethode in de praktijk te kunnen toepassen, zoals (Bouwmeester, 2020):

- De grootste extrusie printer zijn inmiddels geschikt voor lengtes tot 6 m¹, wat nog niet in de buurt komt van de benodigde lengte voor betonnen kokerliggers van 31,9 m¹. Wel is het mogelijk om kleinere onderdelen te produceren en te assembleren tot een grote kist. Opschaling zal voornamelijk voor uitdagingen op het gebied van productiesnelheid zorgen.
- De prefab industrie moet aanzienlijke investeringen uitvoeren voor een productiehuis waarbinnen prefab elementen kunnen worden geprint. Dit kan op termijn wel worden terugverdient omdat dit een arbeidsextensief proces is, waardoor op arbeid bespaard kan worden.
- Een extrusie printer moet een materiaal smelten om dit te kunnen printen wat, afhankelijk van het materiaal, al snel rond de 200° Celsius zal zijn. Om deze techniek duurzaam te maken, moet deze energie duurzaam worden opgewekt met bijvoorbeeld zonnepanelen op het dak van de hal. Een belangrijk voordeel van deze techniek is het arbeidsextensieve proces waardoor het printproces niet perse overdag hoeft te worden uitgevoerd maar ook uitgevoerd kan worden op de moment waarop duurzame energie meer produceert dan het net nodig heeft.

Biologische afbreekbaar plastic

Een binnenkist gemaakt van biologisch afbreekbaar kunststof zoals bijvoorbeeld PLA (geproduceerd uit maïszetmeel en sojabonen), met een dichtheid van 1250 kg/m³, kan worden toegepast om een sparing in de ligger te creëren. Dit materiaal kan degraderen waardoor het na verloop van tijd kan worden verwijderd door een uitsparing in de koker, waarmee gewicht bespaard wordt (Allekabels, 2022) (populairproduct, 2022).

- Er is aanvullend onderzoek nodig om te bepalen welk materiaal het meest geschikt is op het gebied van milieuvriendelijkheid, sterkte, gewicht, etc.

Smeltbekisting

Door gebruik te maken van een vast materiaal als bekisting en dit materiaal na de stort te smelten en af te voeren door een kleine uitsparing kan de bekisting (mits niet verontreinigd) volledig hergebruikt worden. Dit vraagt om een materiaal dat een vriespunt heeft dat past bij het temperatuurtraject dat door het beton wordt doorlopen. Op deze manier hoeft niet ernstig gekoeld te worden om tot een vast materiaal te komen of ernstig verwarmd te worden om het materiaal na (enige) verharding van het beton terug te winnen. Mogelijkerwijs zijn er zelfs mogelijkheden om gebruik te maken van het temperatuurtraject van het verhardende beton, waardoor de vrijkomende hitte van deze exotherme reactie kan worden gebruikt om het inwendige bekistingsmateriaal terug te winnen. Aandachtspunt is dat het materiaal voldoende stijfheid en hardheid kent totdat het beton voldoende verhard is.

Enkele materialen (atomen) die een mogelijk geschikt smeltpunt/vriespunt (circa 20° tot 70° Celsius) kennen zijn francium, cesium, gallium, rubidium, fosfor en kalium (Lenntech, 2022). Daarnaast bestaan er nog vele mogelijkheden met legeringen om mogelijk geschikte materialen te produceren. Of hier een geschikt materiaal tussen zit wat in staat is om onder meer de drukkrachten van het beton op te vangen, in voldoende mate voorkomt, goedkoop is en niet reageert met beton valt buiten de scope van dit onderzoek.

Uitgeholde polystyreenblokken

Met het uithollen van de polystyreenblokken (bij een grote kokerligger) kan de kern worden hergebruikt bij de productie van een kleinere kokerligger. Echter verzwakt deze holte het polystyreen waardoor het niet meer instaat is om de drukkracht van het beton op te vangen tenzij wordt gekozen voor een dichter geperste versie van het polystyreen wat de positieve effecten van deze techniek mitigeert. Daarnaast is het technisch lastig om het polystyreen dusdanig te snijden dat het materiaal voor beide kokerliggers toepasbaar is. Als gevolg van deze nadelen is deze uitvoeringsmethode niet geschikt om de bestaande techniek te vervangen.

3D geprinte ligger

Een andere mogelijkheid om het gebruik van polystyreen te voorkomen is het volledig printen van betonnen liggers. Dit is een nog ontwikkelende technologie, waarbij de eerste 3D geprinte bruggen al worden geproduceerd. Uitdagingen voor betonnen liggers 3D printen zijn de schaalgrootte, de mogelijkheid van het toepassen van voorspanning. Ook de toepassing van wapening is nog ingewikkeld maar kan opgelost worden met een combinatie van betonprinters en een staallasprinter (Weessies, 2021) (dijk, 2017).

3D geprinte betonnen bekisting

Een zeer kansrijke mogelijkheid om polystyreen te vervangen is het printen van een betonnen bekisting. Dit is met de huidige technieken mogelijk door de bekisting in elementen te printen en aan elkaar te verbinden. Het grootste voordeel is dat wapening conserverende eigenschappen van beton ook in de bekisting zijn terug te vinden. Echter is de sterkte van een 3D geprinte betonnen bekisting nog niet gelijkwaardig aan geprefabriceerde betonnen liggers. (Wolfs, 2019) (Vissering, 2018).

Gestorte betonnen bekisting

Een techniek waarvan verwacht wordt dat deze kleine investeringen in techniek en materieel vereisen en daarmee op de korte termijn toepasbaar is, is het toepassen van een gestorte betonnen bekisting. Dit bestaat uit betonnen elementen met een opgeruwde buitenkant, waardoor dit onderdeel van de ligger wordt. Om dit op een duurzame manier toe te kunnen passen is het aandachtspunt dat de betonnen bekisting constructief meewerkt en dat dit beton mee telt in de wapeningsdekking. Daarnaast zullen de mogelijkheden en beperkingen vanuit wet- en regelgeving en richtlijnen moeten worden onderzocht, gezien de mogelijk constructieve gevolgen.

Deze techniek kent voordelen ten opzichte van 3D printen. Zo zijn geen grote investeringen in materieel benodigd. Daarnaast kan hetzelfde betonmengsel (eventueel een fijner mengsel) met een vergelijkbare sterkte als de geprefabriceerde ligger zelf worden gebruikt.

Voor de implementatie van deze techniek zal in eerste instantie geïnvesteerd moeten worden in een set mallen per liggertype of een set flexibele mallen, waarmee voldoende productiecapaciteit ontstaat om de productiesnelheid van de liggers bij te houden. Vervolgens kan de mal voorbereid worden en volgestort worden met een zelfverdichtend betonmengsel. Hierna kan de betonnen binnenkist ontkist worden en kan het betonoppervlak opgeruwd worden. Mogelijkerwijs kan het ruwe beton ook verkregen worden door gebruik te maken van een ruwe buitenmal. Het resulterende betonelement dient zo dun mogelijk te zijn (zonder te zwak te zijn voor het verplaatsen van het element en het storten van de ligger). Vervolgens worden de bekistingselementen in de liggerkist op afstandhouder gelegd.

Het grote nadeel van deze techniek is dat dit relatief arbeidsintensief is, waardoor het de vraag is of dit economisch afweegt ten opzichte van polystyreen.