



Stille duurzame voegovergangen

Resultaten van de prijsvraag

Water. Wegen. Werken. Rijkswaterstaat.



Colofon

Uitgave: Rijkswaterstaat
Tekst: Nico Booij (RWS DI)
Bert Elbersen (RWS DVS)
Aad Prost (Prost Profiel)
Jan Voskuilen (RWS DVS)
Foto's: EMPA, Prost Profiel, Rijkswaterstaat,
Simulia, TU-Delft

Dit is een uitgave van

Rijkswaterstaat

Kijk voor meer informatie op
www.rijkswaterstaat.nl
of bel 0800 - 8002
(ma t/m zo 06.00 - 22.30 uur, gratis)

juni 2012 | DVS0612VH2164

Corporate innovatieprogramma Rijkswaterstaat

Extreme weersomstandigheden, slijtage van infrastructuur, nieuwe ict-toepassingen en krimpende budgetten zijn belangrijke uitdagingen voor Rijkswaterstaat. Zie hier, de kiem voor het Corporate innovatieprogramma; hét platform waar alle experimenten en resultaten van innovatieve projecten samenkomen. Het programma stimuleert vernieuwende initiatieven en maakt dat innovaties een plek krijgen in het dagelijks werk van Rijkswaterstaat: de zorg voor droge voeten, voldoende en schoon water, vlot en veilig verkeer en betrouwbare informatie.

De innovatieve kracht putten we uit ons netwerk: samen met overheden, marktpartijen, kenniscentra en gebruikers van weg en water werkt het Corporate innovatieprogramma aan een veilige, duurzame, en efficiënte infrastructuur. Innoveren doen we samen!

Stille duurzame voegovergangen

Resultaten van de prijsvraag

juni 2012

Inhoudsopgave

Samenvatting	7	6. Praktijkproef	43
1. Inleiding	11	6.1. Inbouw in de A50	43
1.1. Achtergrond	11	6.2. Monitoring tijdens de inbouw	43
1.2. Doel van deze rapportage	12	6.3. Monitoring na oplevering	44
1.3. Voor wie is deze rapportage bestemd?	12	6.4. Resultaten	47
1.4. Leeswijzer	12	6.5. Conclusies	51
2. De prijsvraag	13	7. Testresultaten en eindoordeel jury	57
2.1. Opzet en organisatie	13	7.1. Inleiding	57
2.2. Eisen waaraan de inzendingen moesten voldoen	14	7.2. Voorspellend vermogen van de ingezette proeven	57
2.3. Eerste jurybeoordeling	15	7.3. Eindoordeel van de jury	59
3. De vier prijswinnende ontwerpen	17	8. Stille duurzame voegovergangen in de praktijk van Rijkswaterstaat	63
3.1. 3D EEM berekeningen	17	8.1. Inleiding	63
3.2. Tweede jurybeoordeling: vier winnaars	19	8.2. Meerkeuzematrix voegovergangen	63
4 Beproeving in de LINTRACK	23	8.3. Wanneer hebben stille duurzame voegovergangen de voorkeur?	64
4.1. Beschrijving testmethode	23	8.4. Mogelijke besparingen voor RWS	65
4.2. Proefcondities	24	8.5. Stille duurzame voegovergangen en het modelbestek	66
4.3. Resultaten	24	8.6. Licenties	67
4.4. Conclusies	32	8.7. Nieuwe producten en validatie	70
5. Beproeving bij EMPA	35	8.8. Tenslotte	73
5.1. Beschrijving testmethode	35	Bijlage 1: Lijst van afkortingen	74
5.2. Proefcondities	36		
5.3. Resultaten	37		
5.4. Conclusies	42		

Samenvatting

Geluid en levensduur

Sinds 1990 is het beleid binnen Rijkswaterstaat om op het hoofdwegenet stille deklaag toe te passen zoals (tweelaags) ZOAB. Inmiddels heeft zo'n 90% van het hoofdwegenet ZOAB, ZOAB+, Tweelaags ZOAB of een Dunne Geluidsreducerende Deklaag (DGD) als deklaag. Maar juist wanneer maatregelen genomen zijn die het verkeersgeluid reduceren, kan de geluidsoverlast van voegovergangen groot zijn. De toepassing van een stille deklaag reduceert het niveau van het omgevingsgeluid, waardoor onregelmatige geluidspulsen, veroorzaakt door voegovergangen, als zeer hinderlijk worden ervaren door omwonenden. Op locaties waar geluid een belangrijke factor is, worden dan ook stille voegovergangen toegepast, meestal in de vorm van bitumineuze voegovergangen.

De belangrijkste nadelen van bitumineuze voegovergangen zijn de grote spreiding in levensduur en een gemiddelde levensduur van slechts 3,5 jaar. Vroegtijdig onderhoud aan deze voegovergangen levert veel verkeershinder op en hoge kosten, mede door de benodigde verkeersmaatregelen. Reden voor Rijkswaterstaat om een prijsvraag te organiseren om de markt uit te dagen om voegovergangen te ontwikkelen die zowel stil als duurzaam zijn.

Prijsvraag stille duurzame voegovergangen

De uitdaging voor de markt was om met innovatieve ontwerpen te komen die zowel stil als duurzaam zijn. Onder dat laatste wordt verstaan een levensduur van minimaal tien jaar, zodat het onderhoudsinterval gelijk getrokken kan worden met onderhoud aan het omliggende wegdek. Er zijn vijftien inzendingen ingediend, die in de eerste fase door een onafhankelijke jury werden beoordeeld op basis van de volgende criteria (met weegfactor):

- Geluidsoverlast bij inbouwen (1);
- Geluidsreductie tijdens levensduur (7);
- Duurzaamheid (7);
- Kosten (3);
- Milieuvriendelijkheid (2).

Eerste en tweede jurybeoordeling

In de eerste jurybeoordeling werden de tien beste inzendingen geselecteerd op basis van de door de inzenders ingediende gegevens. Om meer inzicht te krijgen in de duurzaamheid van deze beste tien ideeën, werden de ontwerpen ten behoeve van een tweede jurybeoordeling met een 3D Eindige Elementen Methode doorgerekend met verkeers- en temperatuurbelastingen. De invoerparameters voor het ontwerp en de materiaaleigenschappen moesten worden aangeleverd door de indieners. De belangrijkste eigen-



Afbeelding 1: Landhoofd en betonnen dek klaar voor inbouw nieuwe voegovergang

schappen betroffen E-modulus, stijfheid, uitzettingscoëfficiënten en hechtsterktes tussen materialen. De invoerparameters en de 3D EEM resultaten waren voor zowel de indieners als voor Rijkswaterstaat zeer leerzaam en leverden veel inzicht in de sterke en zwakke punten van het ontwerp en het te verwachten praktijkgedrag.

In de tweede jurybeoordeling werden de vier beste inzendingen gekozen. Met de vier prijswinnaars werd een volgende fase ingegaan, waarbij de ontwerpen zowel in het lab, in een semi-praktijkproef en in de praktijk werden beproefd. De prijswinnaars waren:

- Prismo Joint van het Britse Prismo Road Markings;
- BrainJoint van Wegenbouwmaatschappij Heijmans;
- KLK Bituvoeg van Gebroeders van Kessel;
- Prefab Silent Joint van Salverda.

Uitgebreid testprogramma

De vier prijswinnende innovatieve ontwerpen werden uitgebreid onderzocht in:

- De LINTRACK belastingsproef bij hoge temperaturen bij de TU-Delft;
- Bewegingssimulatorproef bij lage temperaturen bij EMPA in Zwitserland;
- Praktijkproef op de A50 nabij Nistelrode met monitoring gedurende twee jaar.

LINTRACK

De LINTRACK (Linear Tracking Apparatus) is een installatie voor het versneld beproeven op vervormingsweerstand van full-scale verhardingsconstructies (semi-praktijkproef). Het apparaat bestaat uit een twintig meter lange stalen balk die aan weerszijden op rails is geplaatst. Daardoor kan de gehele installatie zijdelings naar andere proefvakken worden verplaatst. Onder de stalen balk rijdt een belastingswagen met vrachtwagenband over het proefvak heen en weer. Voor het beproeven van de constructies werd de LINTRACK speciaal omgebouwd met realistisch ingebouwde voegovergangen tussen landhoofd en betonnen brugdek. Per proef werden twee dezelfde innovatieve voegovergangen tegelijk beproefd, waarbij door middel van vijzels de ene op druk en de ander op trek werd gehouden (+13 mm en -13 mm dilatatie). De vrachtwagenband reed heen en weer met een snelheid van 18 km per uur, waarbij om de 20.000 wielovergangen of de temperatuur of de wiellast toenam. Indien na 100.000 wielovergangen nog weinig schade was waargenomen, werden de voegovergangen met een statische trekproef belast tot bezwijken. Naast de vier innovatieve ontwerpen werd een traditionele bitumineuze voegovergang beproefd, die diende als referentie.

Bewegingssimulator

Om het lange termijngedrag van de innovatieve voegovergangen in de winter te onderzoeken werden bij het Zwitserse EMPA bewegingssimulatorproeven uitgevoerd bij -10 °C. Hierbij werden de voegovergangen tien keer met een snelheid van 10 mm per minuut tot 13 mm uitgetrokken en weer ingedrukt. Dat komt overeen met 65% van de gevraagde 20 mm horizontale beweging aan één zijde van het kunstwerk. Op basis



Afbeelding 2: Inbouw van de Prefab Silent Joint in de A50 bij Nistelrode



Afbeelding 3: Afwerking van de BrainJoint in de A50 bij Nistelrode

van ervaring van EMPA betekent dit dat als de voegovergang na tien belastingcycli nog geen schade vertoont, deze tien winters kan doorstaan zonder schade als gevolg van de horizontale trek- en drukbelastingen. Van iedere innovatieve voegovergang werden twee proefstukken getest, evenals twee proefstukken van de referentie voegovergang.

Praktijkproef

Tenslotte werden de vier geselecteerde ontwerpen ingebouwd in twee viaducten (overspanning circa twintig meter) in de A50 bij Nistelrode. Omdat het omliggende asfalt Tweelaags ZOAB betrof, werden er hoge eisen gesteld aan de geluidsreductie van de geteste voegovergangen. De eisen voor geluidsreductie conform de NBD 00401 zijn namelijk gerelateerd aan de geluidsreductie van het omliggende asfalt. De ingebouwde voegovergangen werden twee jaar intensief gemonitord op vooral geluidsreductie en duurzaamheid. Het betrof de volgende metingen en inspecties:

- Geluidsmetingen (5x);
- Spoordieptemetingen (5x);
- 3D verplaatsingsmetingen (continu);
- Temperatuurmetingen (continu);
- Stroefheidsmetingen (3x);
- Uitgebreide visuele inspecties (5x);
- Globale visuele inspecties (5x).

Resultaten

De elkaar aanvullende proefnemingen hebben een schat aan informatie opgeleverd. De resultaten dienden ter onderbouwing van het eindoordeel van de jury. De jury doet op basis van de behaalde proefresultaten de aanbeveling om twee van de vier geselecteerde ontwerpen op te nemen in de Meerkeuzematrix voegovergangen van het Platform Voegovergangen en Opleggingen van de CUR. Van deze ontwerpen wordt verwacht dat ze in de praktijk een levensduur van ten minste tien jaar zullen halen zonder noemenswaardige schade en in die periode blijven voldoen aan de strenge geluidseisen. De twee ontwerpen die in de proefnemingen nog onvoldoende scoorden voor opname in de meerkeuzematrix zullen door hun aanbieders zodanig worden aangepast dat ze alsnog kunnen worden voorgedragen. Dat betekent dat de prijsvraag stille duurzame voegovergangen leerzaam was, en dat de innovaties vanaf 2012 in de praktijk van Rijkswaterstaat kunnen worden toegepast.

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Sinds 1990 is het beleid binnen Rijkswaterstaat om stille deklagen toe te passen zoals ZOAB. Inmiddels heeft zo'n 90% van het hoofdwegennet ZOAB, ZOAB+ of Tweelaags ZOAB als deklaag. Maar juist wanneer maatregelen genomen zijn die het wegverkeersgeluid tegengaan, kan de geluidshinder van voegovergangen groot zijn. De weg wordt pas écht stil als ook de voegovergangen tussen wegdek en kunstwerken stil zijn.



Afbeelding 4: Hoe stiller het wegdek hoe hinderlijker het impulsgeluid van voegovergangen

Er bestaat een onderscheid tussen harde (onder andere stalen) voegovergangen en bitumineuze ('stille') voegovergangen. Harde voegovergangen kenmerken zich door een lange levensduur (twintig jaar en langer), maar veroorzaken verkeerslawaaai. Bitumineuze voegovergangen reduceren juist het verkeerslawaaai, maar hebben een zeer korte levensduur van gemiddeld 3,5 jaar. Dat is aanzienlijk korter dan de levensduur van het aanliggende asfalt. Het onderhoud aan bitumineuze voegovergangen vindt dus veel frequenter plaats dan aan de aanliggende wegdekken en levert veel verkeershinder op. De verkeersmaatregelen die daarvoor genomen moeten worden zijn kostbaar, vaak zelfs duurder dan de materiaalkosten en inbouw van een nieuwe voegovergang. Tenslotte kan schade aan voegovergangen leiden tot schade aan kunstwerken, met alle gevolgen van dien.

Het hoofdwegennet in Nederland kenmerkt zich door een grote dichtheid van kunstwerken: ongelijkvloerse kruisingen van hoofd-, water- en spoorwegen onderling, viaducten over het onderliggend wegennet en kruisingen met vaarwegen. Daarom komen er in Nederland relatief veel voegovergangen voor. Een voorbeeld is de A20 tussen Terbregseplein en Kleinpolderplein: daar bevindt zich op een wegvak van zeven kilometer lengte wel twee strekkende kilometer aan voegovergangen.

Door het organiseren van de prijsvraag stille duurzame voegovergangen heeft Rijkswaterstaat marktpartijen uitgedaagd om innovatieve voegovergangen te ontwikkelen die zowel stil als duurzaam zijn. Het uiteinde-

lijke doel is dat de onderhoudscyclus van stille voegovergangen minimaal gelijk wordt aan die van het aanliggende wegdek. Dat levert niet alleen een aanmerkelijke kostenbesparing op, maar betekent ook een enorme reductie van verkeershinder. Naast het organiseren van de prijsvraag betrof de rol van Rijkswaterstaat met name het faciliteren van onderzoek, het beschikbaar stellen van proeflocaties en het bijdragen aan het snel toepasbaar maken van geslaagde innovaties in de praktijk.

1.2. Doel van deze rapportage

Het doel van deze rapportage is het weergeven van de resultaten van de prijsvraag stille duurzame voegovergangen. Onderzocht is of de vier prijswinnende innovatieve ontwerpen een toereikende levensduurverwachting hebben en gedurende die levensduur voldoen aan de geluidsnormen en de eisen voor het beschermen van het onderliggende kunstwerk. Daartoe zijn de ontwerpen onderworpen aan een uitgebreid testprogramma, met laboratoriumproeven, semi-praktijkproeven en inbouw in de A50 bij Nistelrode. Alle gehanteerde testmethoden komen in deze rapportage aan de orde. Op basis van de resultaten worden aanbevelingen gedaan over de potentiële toepasbaarheid van de verschillende ontwerpen. Ook komt aan de orde welke gevolgen dit heeft in de toekomst voor inkoop en aanbesteding.

1.3. Voor wie is deze rapportage bestemd?

Deze rapportage heeft zowel een interne functie voor Rijkswaterstaat, als een externe voor andere wegbeheerders, bedrijven in de wegenbouw, onderzoeksinstituten, adviesbureaus en universiteiten. De interne doelgroepen zijn vooral de Wegendistricten van Rijkswaterstaat, waar beslissingen worden genomen over het aanbesteden van wegonderhoud. Extern is de rapportage vooral bedoeld voor overheidsopdrachtgevers zoals provincies, de aannemerij en adviesbureaus in de wegenbouw.

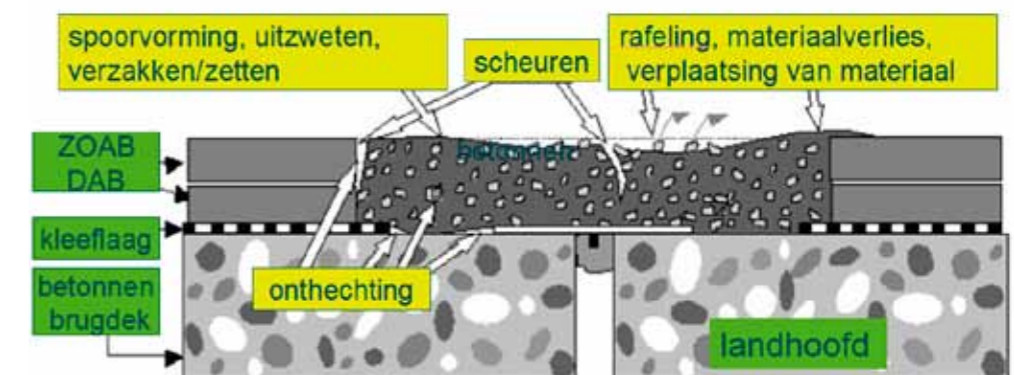
1.4. Leeswijzer

In hoofdstuk twee komt de aanleiding voor de prijsvraag stille duurzame voegovergangen aan de orde en de manier waarop deze is georganiseerd. In hoofdstuk drie worden de vier prijswinnende innovatieve voegovergangen beschreven. Vervolgens komen de verschillende beproevingen van de geselecteerde ontwerpen aan de orde. De hoofdstukken vier, vijf en zes behandelen respectievelijk: beproeving in de LINTRACK; de bewegingssimulator en de praktijkproef. In hoofdstuk zeven wordt het eindoordeel van de jury gepresenteerd. Hoofdstuk acht tenslotte gaat in op de gevolgen van de prijsvraag voor de aanbestedingspraktijk van Rijkswaterstaat.

2. De prijsvraag

2.1. Opzet en organisatie

Rijkswaterstaat heeft in de afgelopen decennia veel ervaring opgedaan met bitumineuze voegovergangen. Niet alleen blijkt de gemiddelde levensduur slechts 3,5 jaar te zijn, ook is er een enorme spreiding in levensduur (ongeveer van één tot zes jaar). Die spreiding is onder andere afhankelijk van het ontwerp, de gekozen materialen, de verkeers- en klimaatbelasting, de dilatatie en de verticale verplaatsing van het kunstwerk. De schadebeelden lopen uiteen van spoor- en scheurvorming, onthechting aan de flanken, lekkage, tot rafeling en materiaalverlies.



Afbeelding 5: Schadebeelden bij bitumineuze voegovergangen

Op basis van de ervaringen met bestaande voegovergangen heeft Rijkswaterstaat voor de prijsvraag stille en duurzame voegovergangen een uitgebreid testprogramma vastgesteld en gefinancierd. Na een eerste jurybeoordeling van alle vijftien ingediende ontwerpen werden de beste tien ideeën met een rekenkundig model doorgerekend. Dit gebeurde met behulp van een 3D Eindige Elementen Methode (3D EEM) met als doel inzicht te krijgen in de zwakke en sterke punten van het gedrag van de voegovergang onder verkeersbelasting.

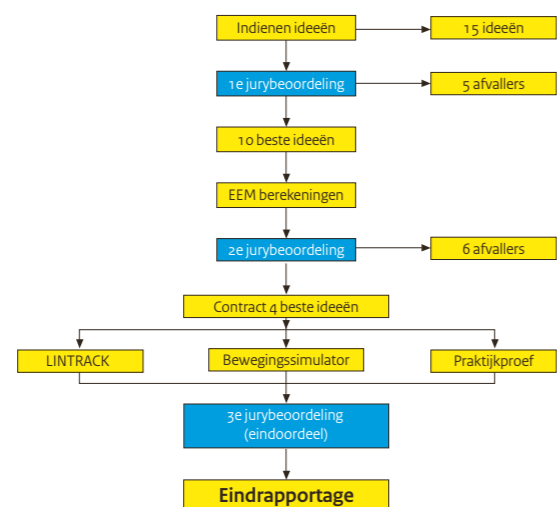
Op basis van de door de indieners aangeleverde informatie en de resultaten van de 3D EEM berekeningen heeft de jury in een tweede beoordeling de vier prijswinnende innovatieve ontwerpen gekozen, die aan de volgende proeven zijn onderworpen:

- LINTRACK. Bij deze proef werden per ontwerp telkens twee voegovergangen bij de TU-Delft getest op duurzaamheid, waarbij de nadruk lag op weerstand tegen permanente vervorming bij hoge temperaturen;
- Bewegingssimulator. In deze proef zijn per ontwerp twee proefstukken van de voegovergang tienmaal op druk en trek belast bij lage temperaturen om de weerstand tegen onthechting en scheurvorming te onderzoeken;
- Praktijk. Inbouwen van twee voegovergangen per ontwerp in de praktijk. De ontwerpen werden in een kunstwerk op het hoofdwegenet ingebouwd ten behoeve van het uitvoeren van geluidsmetingen en het monitoren van de voegovergangen op lange termijngedrag. Twee jaar na aanleg werden de vier prijswinnende voegovergangen beoordeeld op duurzaamheid en geluidsreductie en werd een inschatting gemaakt van het gedrag na tien jaar onder verkeers- en klimatologische belasting.



Afbeelding 6: Schade aan een bitumineuze voegovergang

De proeven en de resultaten ervan worden beschreven in de hoofdstukken drie tot en met zes. De fasering van de prijsvraag is schematisch weergegeven in afbeelding 7.



Afbeelding 7: Fasering van de prijsvraag stille duurzame voegovergangen

2.2. Eisen waaraan de inzendingen moesten voldoen

In december 2007 is de prijsvraag stille duurzame voegovergangen op de markt gezet in de vorm van een Europese aanbesteding conform het Besluit Aanbestedingsregels voor Overheidsopdrachten (BAO). In het aanbestedingsdocument voor de prijsvraag werden de volgende eisen gesteld aan de in te zenden ontwerpen:

- De enkelvoudige voegovergangen dienen toegepast te kunnen worden op autosnelwegen. De minimum-eisen zijn omschreven in de RWS-norm 'Eisen voor enkelvoudige voegovergangen', NBD 00400;

- Het ontwerp dient nieuw te zijn, waarbij onder 'nieuw' wordt verstaan: in Nederland nog niet op het hoofdwegennet toegepast;
- De ontwerp levensduur van de voegovergang dient ten minste tien jaar te bedragen;
- De geluidsproductie van de voegovergang onder verkeer moet voldoen aan de eisen conform de NBD 00401. De geluidseisen zijn afgestemd op de geluidsproductie van het aansluitende asfalt;
- Aanvullend worden ook eisen gesteld aan de dilatatiecapaciteit van de voegovergang. De stille voegovergang moet voldoen aan de volgende voorwaarden:
 - minimaal 20 millimeter horizontale verplaatsing in de rijrichting;
 - minimaal 2,5 millimeter verticale verplaatsing vanuit de hoekverdraaiing;
 - minimaal 10 millimeter verplaatsing evenwijdig aan de voegovergang;
- De voegovergang dient te worden gedimensioneerd op een voertuigbelasting van 500.000 voertuigen conform EN 1992-2 FCM 4 (Fatigue Load Model);
- Alle toegepaste materialen moeten herbruikbaar zijn.

2.3. Eerste jurybeoordeling

De prijsvraag bleek vijftien inzendingen te hebben opgeleverd van twaalf marktpartijen, waaronder ook buitenlandse. Deze (geanonimiseerde) ideeën zijn door een onafhankelijke deskundige jury beoordeeld op geluidsproductie tijdens inbouwen, geluidsproductie onder verkeersbelasting, levensduur, kosteneffectiviteit en milieuaspecten. In tabel 1 zijn de beoordelingscriteria en weegfactoren die de jury hanteerde, opgesomd. Op ieder criterium was een score van nul tot vijf mogelijk.



Afbeelding 8: Materiaalverlies in een bitumineuze voegovergang

Beoordelingscriterium	Minimale score: 0 punten	Maximale score: 5 punten	Weeg- factor	Punten maximaal
A Geluidsemissie voegovergang bij inbouwen	Veel geluidsoverlast tijdens inbouwen.	Geen geluidsoverlast bij inbouwen.	1	5
B Geluidsreductie voegovergang tijdens levensduur	Relatief grote geluidsoverlast gedurende de levensduur van de voegovergang. De voegovergang is niet geluidsreducerend. Het emissieniveau van het bandengedruide is hoger dan de referentiewaarde van dicht asfaltbeton.	Geen geluidsoverlast gedurende de levensduur van de voegovergang. De geluidsemissie van de voegovergang is gelijk aan recent aangelegd tweelaags ZOAB.	7	35
C Hinder voor het wegverkeer ten behoeve van aanleg en onderhoud van de voegovergang gedurende een periode van twintig jaar (aanleg en onderhoud)	Gedurende een periode van 20 jaren, vanaf het moment dat de aanleg van de voegover- gang wordt voorbereid, is (het gedeelte van) de weg waarin de voegovergang ingebouwd wordt relatief lang niet berijdbaar als gevolg van aanleg- en onderhoud van deze voegovergang (inclusief de tijd die nodig is voor het plaatsen en verwijderen van verkeersmaatregelen).	Gedurende een periode van twintig jaar, vanaf het moment dat de aanleg van de voegovergang wordt vorbereid, is (het gedeelte van) de weg waarin de voegovergang ingebouwd wordt slechts een korte tijd niet berijdbaar als gevolg van aanleg- en onderhoud van deze voegovergang (inclusief de tijd die nodig is voor het plaatsen en verwijderen van verkeersmaatregelen).	7	35
D Aanleg-, onderhouds- en vervangingskosten gedurende een periode van twintig jaar	De aanleg-, onderhouds- en vervangingskosten van de voegovergang over een periode van twintig jaar zijn relatief hoog.	De aanleg-, onderhouds- en vervangingskosten van de voegovergang over een periode van 20 jaar zijn relatief laag.	3	15
E Milieuvriendelijkheid van de toe te passen materialen en processen	De toe te passen materialen zijn relatief erg milieuonvrien- delijk. Door de keuze van materialen en tijdens het inbouwen van de voegover- gang wordt relatief veel energie verbruikt en wordt veel CO2 geproduceerd.	De toe te passen materialen zijn relatief weinig milieuon- vriendelijk. Door de keuze van materialen en tijdens het inbouwen van de voegover- gang wordt relatief weinig energie verbruikt en CO2 geproduceerd.	2	10
			Totaal	100

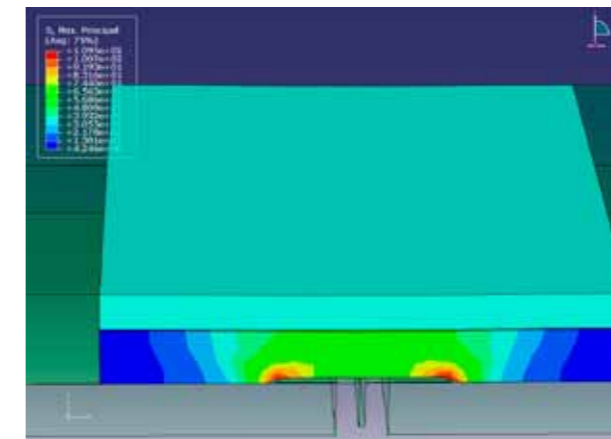
Tabel 1: Beoordelingscriteria en puntenwaardering

Tijdens de eerste jurybeoordeling zijn de tien beste inzendingen geselecteerd. Om inzicht te krijgen in de duurzaamheid zijn deze ontwerpen vervolgens in de zomer van 2008 op kosten van RWS doorgerekend met de 3D Eindige Elementen Methode (3D EEM), om inzicht te krijgen in de zwakke en sterke punten van het ontwerp.

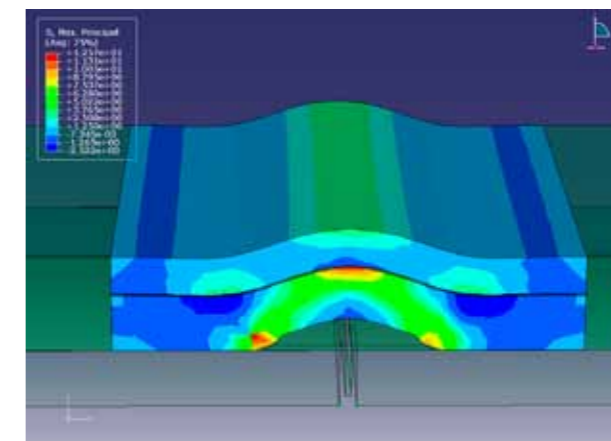
3. De vier prijswinnende ontwerpen

3.1. 3D EEM berekeningen

De tien beste ideeën zijn doorgerekend met de driedimensionaal Eindige Elementen Methode (3D EEM) om het ontwerp met verkeers- en temperatuursimulaties op duurzaamheid te testen. De invoerparameters voor het ontwerp en de materiaaleigenschappen moesten worden aangeleverd door de indieners. Omdat niet alle indieners over de gevraagde gegevens beschikten, moest hiervoor soms extra onderzoek worden uitgevoerd. De invoerparameters en de 3D EEM resultaten waren voor zowel de indieners als voor RWS zeer leerzaam en leverden veel inzicht in het te verwachten gedrag. In onderstaande afbeeldingen zijn voorbeelden gegeven van resultaten van 3D EEM berekeningen. Aan de kleuren zijn de optredende krachten af te lezen. Zo kan worden ingeschat op welke plaats de voegovergang het meest wordt belast en waar deze het eerst zal bezwijken.

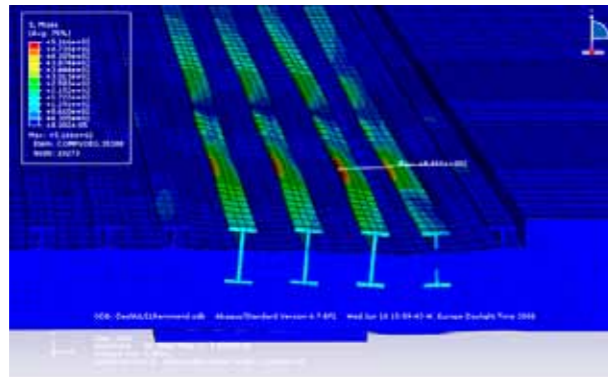


Afbeelding 9: Voorbeeld 3D EEM: Een voegovergang bij maximale dilatatie (bron: Simulia / Abaqus)



Afbeelding 10: Voorbeeld 3D EEM: Dezelfde constructie bij minimale dilatatie (bron: Simulia / Abaqus)

Alle tien ontwerpen zijn op dezelfde wijze doorgerekend. De berekeningen werden uitgevoerd door Simulia, met gebruikmaking van Abaqus software. Bij 3D EEM zijn drie aspecten van belang: materiaalgegevens, geometrie en belasting. De materiaal- en geometriegegevens die de inschrijvers moesten aanleveren betroffen naast alle afmetingen van het ontwerp voornamelijk E-modulus, stijfheid, uitzettingscoëfficiënten en hechtsterktes tussen materialen. Soms konden deze gegevens uit bouwstofspecificaties of literatuur worden gehaald, maar in sommige gevallen moesten er eerst proeven worden uitgevoerd om de invoerparameters te bepalen.



Afbeelding 11: Voorbeeld 3D EEM: Belasting door remmend verkeer (bron: Simulia / Abaqus)

Voor het invoeren van de geometrie was het noodzakelijk dat de inzenders een gedetailleerde tekening aanleverden waarop de exacte afmetingen en de toegepaste materialen stonden aangegeven.

Het gebruikte programma voor de berekeningen beschikt over volume-elementen waarmee geometrisch en fysisch niet-lineaire berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Ook is het in staat 'in de tijd' te rekenen, in verband met dynamische effecten. De berekeningen leiden daardoor tot een betrouwbaar beeld van het gedrag van de voegovergang, de kritieke locaties en spanningen. Waar dat nodig is voor de beoordeling van de spanningen en rekken (ook in de tijd) worden volume-elementen gebruikt. De spanningsgradiënten kunnen de elementfijnheid (mesh) voldoende nauwkeurig volgen. Dit geldt met name daar waar spanningspieken ontstaan die te maken hebben met vermoeiing of scheurvorming. De gehanteerde EEM-software heeft onder meer de volgende functionaliteiten:

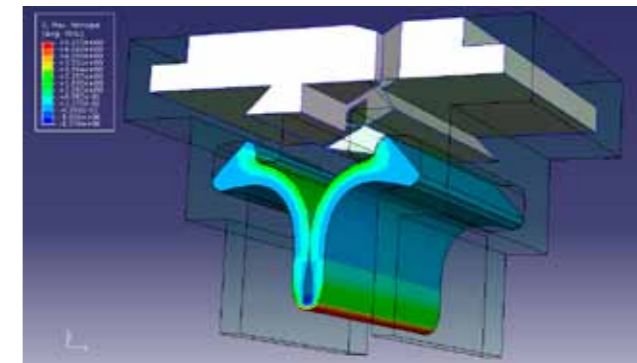
- Fysisch niet-lineair materiaalgedrag, inclusief krimp- en kruipgedrag;
- Hyperelastische materiaalmodellen en elementen (bijvoorbeeld rubber);
- Geometrisch niet-lineair constructiegedrag;
- Kwadratische schaal- en volume-elementen;
- Driedimensionale modellering.

De berekeningen werden uitgevoerd voor alle relevante grenstoestanden ('limit states'), zoals gebruiksgrenstoestand inclusief kruip en krimp ('serviceability limit state') en de uiterste grenstoestand ('ultimate limit state'). De statische en de vermoeiingsbelastingen werden ontleend aan de RWS-norm NBD 00400. Ook de belastingstijd en mogelijke effecten van belastingsherhaling spelen een rol. Bij statische belastingen werd de belasting gerelateerd aan het kruipgedrag van het materiaal. Daarbij werd een kortdurende, statische belasting van vijf uur beschouwd. Deze belasting werd minimaal twintig maal herhaald wanneer dit in verband met de materiaaleigenschappen relevant was. Waar tijdsaspecten een rol speelden bij de vermoeiingsbelasting, werd uitgegaan van verkeerssnelheden van 60 tot 90 kilometer per uur.

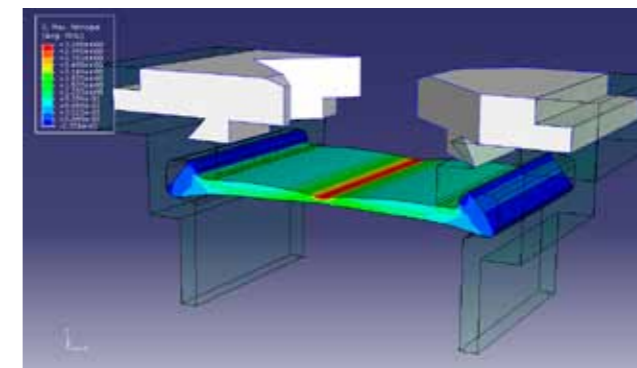
Samenvattend werden de volgende belastingen berekend:

- ULS¹⁾ remmend en rijdend met twee bereden rijstroken op 100% dilatatie (toetsing: bezwijken van materialen);
- SLS kruip met twee bereden rijstroken op 100% dilatatie (toetsing: verticale verplaatsing in de tijd);
- SLS vervormingen met twee bereden rijstroken op 100% dilatatie (toetsing: doorbuiging < 3 mm);
- Vermoeiing: 500.000 vrachtoertuigen per jaar, 60% dilatatie (toetsing: levensduur);
- Bewegingen: 3 mm verticaal, 0,005 rad rotatie en 10 mm horizontaal (toetsing: spanningen en rekken).

¹⁾ ULS = ultimate limit state, SLS = serviceability limit state



Afbeelding 12: Voorbeeld 3D EEM: spanningen in afdichtingsprofiel bij minimale dilatatie (bron: Simulia / Abaqus)



Afbeelding 13: Voorbeeld 3D EEM: zelfde ontwerp, spanningen in afdichtingsprofiel bij maximale dilatatie (bron: Simulia / Abaqus)

3.2. Tweede jurybeoordeling: vier winnaars

Na de 3D EEM berekeningen was er een tweede jurybeoordeling van de tien onderzochte ontwerpen op de in tabel 1 genoemde criteria. Deze tweede beoordeling vond plaats op basis van de in de eerste fase aangeleverde informatie in combinatie met de 3D EEM resultaten. Door de 3D EEM resultaten kon de jury een beter oordeel geven over de te verwachten duurzaamheid in de tijd.

Het bleek dat enerzijds de duurzaamheid van enkele bitumineuze voegovergangen en anderzijds de geluidsreductie van enkele harde voegovergangen nog wat naar beneden moesten worden bijgesteld. Voor de beoordeling van de geluidsreductie werd mede gebruik gemaakt van geluidsmetingen aan gelijkwaardige bestaande constructies. De vooraf vastgestelde selectiecriteria en weegfactoren waren dezelfde als bij de eerste jurybeoordeling. Uiteindelijk zijn de vier beste stille voegovergangen gekozen. Dit zijn in willekeurige volgorde:

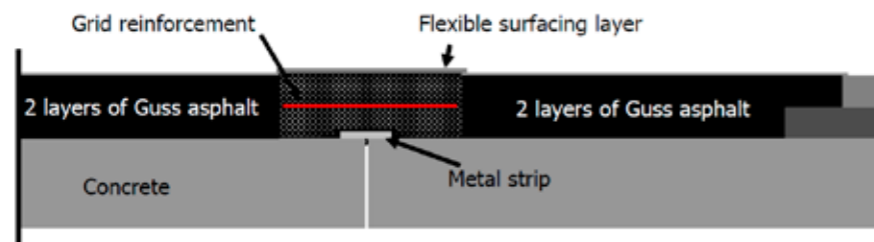
- Prismo Joint van het Britse Prismo Road Markings;
- BrainJoint van Wegenbouwmaatschappij Heijmans;
- KLK Bituvoeg van Gebroeders van Kessel;
- Prefab Silent Joint van Salverda.

De geselecteerde ideeën kunnen in het kort als volgt worden beschreven.

Prismo

De Prismo Joint bevat onder meer een innovatief bindmiddel en een geogrid. Het gekozen bindmiddel kan grote rekken opnemen, heeft goede hechtingseigenschappen en is stabiel. In tegenstelling met wat in Nederland gebruikelijk is, wordt de Prismo Joint opgebouwd uit drie aparte lagen. Tussen de bovenste en tussenlaag wordt een geogrid toegepast. De functie ervan is de rekken en spanningen ter hoogte van de

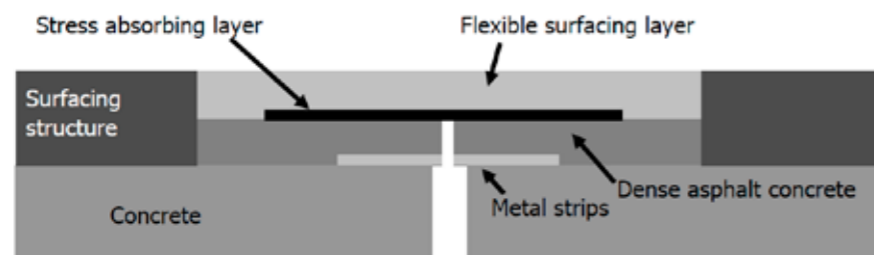
dilatatie over een groter oppervlak te verdelen, zodat er minder kans op scheurvorming is. Om de Prismo Joint te beschermen tegen indringing van water en een stabiele laag te creëren, wordt tussen het omliggende asfalt en de Prismo Joint een gietasfalt aangebracht. De totale breedte (in de rijrichting) van de voegovergang is tweeënhalve meter. De voegovergang zelf heeft een breedte van 0,5 m, met aan weerszijden gietasfalt met een breedte van 1 m.



Afbeelding 14: Flexible Plug Expansion Joint (Prismo)

Heijmans

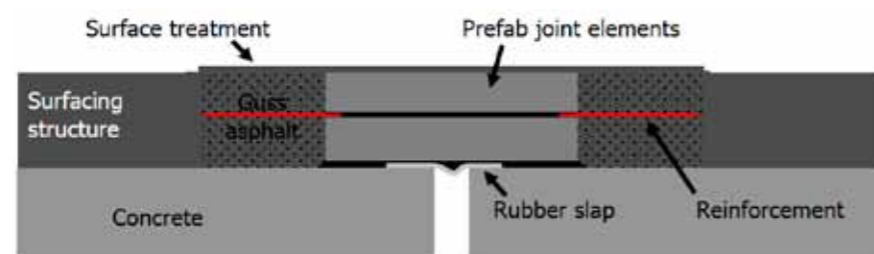
De BrainJoint betreft eigenlijk een voegloze voegovergang. Nadat de voegspleet is afgedicht, wordt brugdekasfalt (DAB) aangebracht. Na afkoeling wordt er een zaagsnede ter plaatse van de voegspleet aangebracht in de DAB en de spleetafdichting. Over het zaagvlak wordt een rekspreidende inlage aangebracht, die bestaat uit ten opzichte van elkaar versprongen metalen staafjes, die in een bedje van polymeer gemodificeerd bitumen (PMB) liggen. Over de DAB en rekspreidende inlage wordt tenslotte een speciale deklaag (Brugflex) aangebracht. Brugflex heeft een steenskelet, een hoog gehalte aan flexibel PMB, en een hoog holle ruimte gehalte. Deze eigenschappen zorgen ervoor dat brugflex in verticale richting een zeer goede weerstand heeft tegen permanente vervorming en dat het in horizontale richting zeer flexibel is en hoge rekken kan opvangen. De totale breedte (in de rijrichting) van de voegovergang is 1,5 m.



Afbeelding 15: BrainJoint (Heijmans)

Gebroeders van Kessel

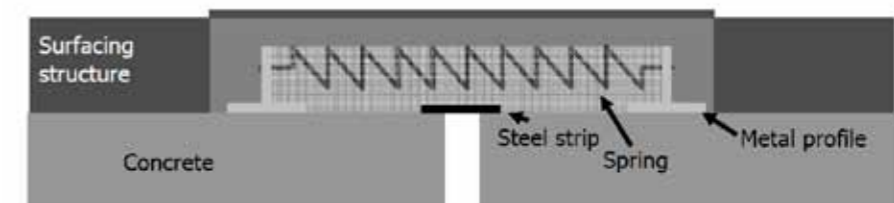
De KLK Bituvoeg betreft een bitumineuze voegovergang waarbij gebruik wordt gemaakt van met rubber gewapende prefab platen. Door deze prefab platen kan de voegovergang snel worden vervaardigd. De platen worden in twee lagen in halfsteensverband ingebouwd. Tussen het ZOAB en de KLK Bituvoeg wordt gietasfalt aangebracht. De totale breedte (in de rijrichting) van de voegovergang is 1 m, de voegovergang zelf heeft een breedte van 0,5 m. Aan weerszijden van de voegovergang bevindt zich gietasfalt met een breedte van 25 cm, waardoor een goede overgang en aanhechting ontstaat tussen wegdek en voegovergang.



Afbeelding 16: KLK Bituvoeg (Gebroeders Van Kessel)

Salverda

De Prefab Silent Joint is een doorontwikkeling van de door de Zwitserse aannemer RSAG ontwikkelde Silent Joint. Een nadeel hiervan was de relatief lange inbouwtijd. Door de inwendige veerconstructie met T- in plaats van L-profielen prefab te vervaardigen, kunnen de voegovergangen sneller worden ingebouwd. Ook heeft Salverda andere materialen dan RSAG toegepast. Het verenpakket wordt tussen de T-profielen geprefabriceerd in een bed van staalslakken gevuld met PMB. Het prefab bed wordt met behulp van chemische ankers aan het beton bevestigd. De afwerking geschiedt door tussen het aanliggende asfalt en de voegovergang en op het prefab bed staalslakken aan te brengen en deze te vullen met PMB. Door de wapening met veren worden spanningen en rekken over een groter oppervlak verdeeld om het gevaar van scheurvorming te verminderen. De T- profielen zorgen ervoor dat er in de flanken nagenoeg geen rek meer ontstaat, waardoor de kans op onthechting en scheurvorming in deze zone nihil is. Het onderhoud aan de voegovergang kan vrij eenvoudig worden uitgevoerd door alleen het voegmateriaal boven de veren te vervangen. De totale breedte van de voegovergang is 0,5 m.



Afbeelding 17: Prefab Silent Joint (Salverda)

De vier prijswinnende voegovergangen zijn onderzocht in:

- De proef in de LINTRACK bij hoge temperaturen bij de TU-Delft. Per prijswinnend concept zijn twee voegovergangen beproefd;
- De bewegingssimulatorproef bij lage temperaturen bij EMPA te Dübendorf in Zwitserland (twee proefstukken per winnend ontwerp);
- De praktijkproef op de kunstwerken Menzel en Loo in de A50 nabij Nistelrode. Ook hier werden twee winnende voegovergangen per prijswinnaar ingebouwd. Gedurende twee jaar is het presteren van de ontwerpen gevolgd door middel van een uitgebreid monitoringsprogramma.

In de volgende hoofdstukken komen de proeven en de resultaten ervan afzonderlijk aan de orde.

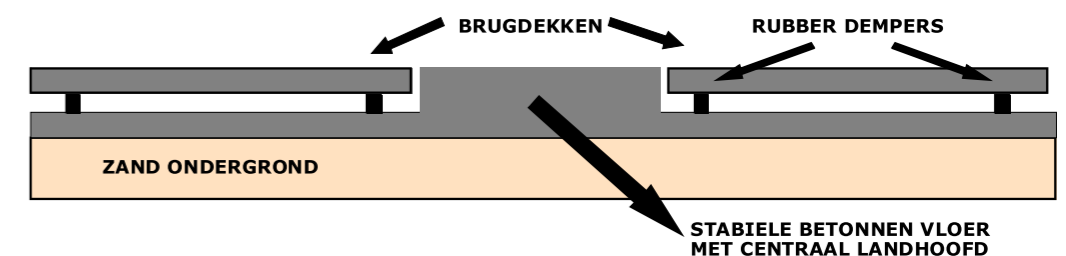
4. Beproeving in de LINTRACK

4.1. Beschrijving testmethode

De LINTRACK (Linear Tracking Apparatus) is een installatie voor het versneld beproeven van full-scale verhardingsconstructies (semi-praktijkproef). Het apparaat bestaat uit een twintig meter lange stalen balk die aan weerszijden op rails is geplaatst. Daardoor kan de gehele installatie zijdelings naar andere proefvakken worden verplaatst. Langs de stalen balk kan een belastingswagen met een vrachtwagenband over het proefvak heen en weer rijden, over een afstand van in totaal twaalf meter.

Op de belastingswagen is een supersingle vrachtwagenwiel gemonteerd. De wiellast is instelbaar van 1,5 ton tot 10 ton. De maximale snelheid van de belastingswagen bedraagt 20 km per uur. De eerste vier meter wordt de snelheid opgebouwd, de volgende vier meter blijft deze constant, om vervolgens over een vertragingstraject van vier meter te worden afgebouwd tot stilstand. Daarna herhaalt het proces zich in tegengestelde richting. Bij continu bedrijf kunnen per uur ongeveer 1000 lastherhalingen worden gerealiseerd. Er kan versporend worden gereden. De LINTRACK is in een met een infraroodinstallatie verwarmbare hal geplaatst, waardoor het asfalt tot maximaal 35° C boven omgevingstemperatuur kan worden verwarmd. De overkapping beschermt de opstelling ook tegen neerslag en zonnestraling.

Om de innovatieve voegovergangen in de LINTRACK zo realistisch mogelijk te beproeven zijn in een betonnen bak op het terrein van de TU-Delft twee drie meter brede landhoofden geplaatst met per landhoofd aan weerszijden twee betonnen brugdekken (zie figuur 18). Bij iedere proef werden twee dezelfde voegovergangen tegelijk getest, waarbij door middel van vijzels de ene voegovergang op druk en de andere op trek werd gehouden. Door de betonnen brugdekken op dempers te plaatsen, werden de voegovergangen ook op verticale verplaatsing belast. De vrachtwagenband reed tot maximaal 100.000 keer heen en weer met een snelheid van 18 km per uur, waar bij om de 20.000 wielovergangen of de temperatuur werd verhoogd of de wiellast toenam. Indien na 100.000 wielovergangen nog weinig schade was te zien, werd op de voegovergangen een destructieve trekproef uitgevoerd.



Afbeelding 18: LINTRACK: een centraal landhoofd en twee brugdekken



Afbeelding 19: Constructie van landhoofd en betonnen dekken op het LINTRACK terrein bij de TU Delft

4.2. Proefcondities

De voegovergangen werden in de neutrale stand ingebouwd. Beproeving vond plaats nadat de brugdelen met vijzels op +13 mm en -13 mm dilatatie waren getrokken respectievelijk geduwd. Het heen- en weer rijdende belastingswiel had een ad random versporing van + en - 150 mm. Na iedere 20.000 lastherhalingen werden de proefcondities verzwaard (zie tabel 2).

	Aantal lastherhalingen				
	0-20000	20001-40000	40001-60000	60001-80000	80001-100000
Wielbelasting	3,5 ton	4,5 ton	4,5 ton	5,5 ton	5,5 ton
Temperatuur	30°C	30°C	35°C	35°C	40°C

Tabel 2: Samengevat testprotocol LINTRACK

Voordat de vier prijswinnende ontwerpen in de LINTRACK werden beproefd, is eerst een conventionele bitumineuze voegovergang (Multi-joint) getest als referentie. Deze veel in Nederland toegepaste voegovergang werd als representatief beschouwd voor een doorsnee bitumineuze voegovergang. Nadat de vier voegovergangen het testprotocol hadden doorlopen, zijn ze op trek beproefd tot bezwijken. Hiertoe werden de brugdelen horizontaal van het landhoofd af bewogen met behulp van hydraulisch vijzels. De voegovergang met dilatatie -13 mm werd geopend met 10 mm per uur tot aan falen. De voegovergang met dilatatie +13 mm werd geopend met 100 mm per uur tot aan falen. Deze destructieve proeven werden uitgevoerd bij 25°C.

4.3. Resultaten

Niet alle voegovergangen haalden de beoogde 100.000 wielbelastingen. Wanneer zich te grote schade ontwikkelde in de voegovergang werd het beproeven gestopt, omdat anders mogelijk schade aan de LINTRACK zou ontstaan. De referentie voegovergang faalde al na 45.000 wielbelastingen. De winnende voegovergangen haalden aanmerkelijk meer wielbelastingen.

	Dilatatie (mm)	Temperatuur van de voegovergang bij de aangegeven lastherhalingen (°C)			Gerealiseerde lastherhalingen
		0 - 40000	40001-80000	80001-100000	
Referentie voegovergang	+ 13 mm	29.7	34.3	nvt	45000
	- 13 mm	29.6	34.0	nvt	
Prefab Silent Joint	+ 13 mm	30.4	35.4	42.2	85000
	- 13 mm	30.4	36.0	41.6	
KLK Bituvoeg	+ 13 mm	29.7	35.1	39.0	100000
	- 13 mm	29.6	34.8	39.6	
BrainJoint	+ 13 mm	30.7	34.7	39.5	89000
	- 13 mm	30.6	35.0	39.7	
Prismo Joint	+ 13 mm	31.2	34.5	38.0	98000
	- 13 mm	31.4	34.8	39.3	

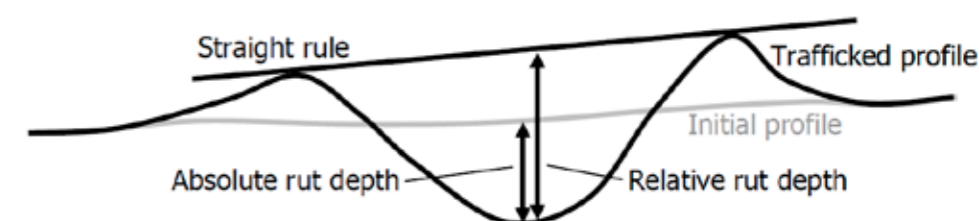
Tabel 3: Proeftemperaturen en aantal behaalde lastherhalingen

Tijdens de LINTRACK-proef werden de volgende metingen uitgevoerd en zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Meten van spoorvorming in de tijd;
- Uitvoeren van een trekproef tot falen;
- Meten van de stroefheid met Skid Resistance Tester (SRT) conform proef 72 van de RAW 2010;
- Meten van het verloop van de verticale beweging;
- Meten van oneffenheden in lengterichting;
- Visueel waarnemen van het gedrag van de voegovergang.

Spoorvorming

Tijdens de belasting van de voegovergangen werd de absolute en relatieve spoorvorming gemeten, minimaal om de 10.000 lastherhalingen. De absolute spoorvorming is de diepte ten opzichte van het initiële profiel. De relatieve spoorvorming is de diepte tussen het laagste en hoogste punt van de voegovergang.



Afbeelding 20: Absolute en relatieve spoorvorming

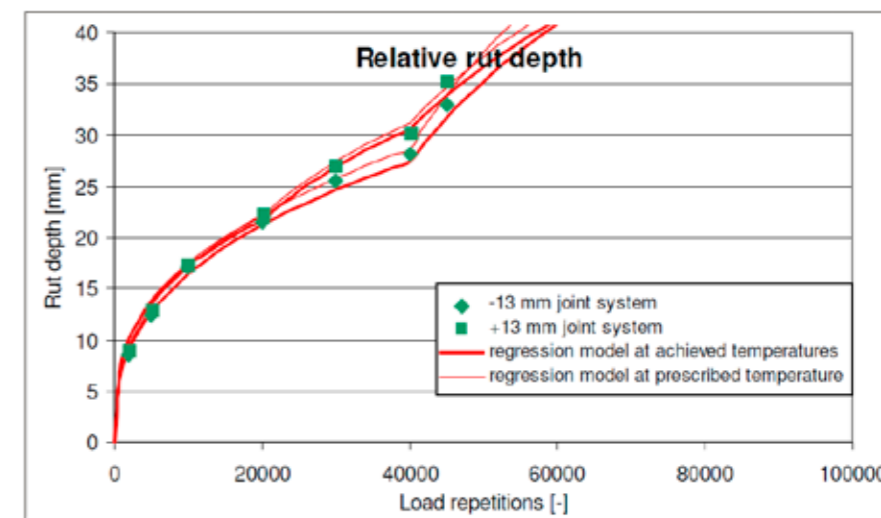
Spoorvorming levert een bijdrage aan de geluidproductie en weggebruikers ervaren vooral de relatieve spoorvorming als negatief. Het ontstaan van relatieve en absolute spoorvorming in de tijd is qua patroon grotendeels vergelijkbaar. Om die reden worden in dit verslag alleen de grafieken van de relatieve spoorvorming opgenomen (afbeeldingen 23 tot en met 27).



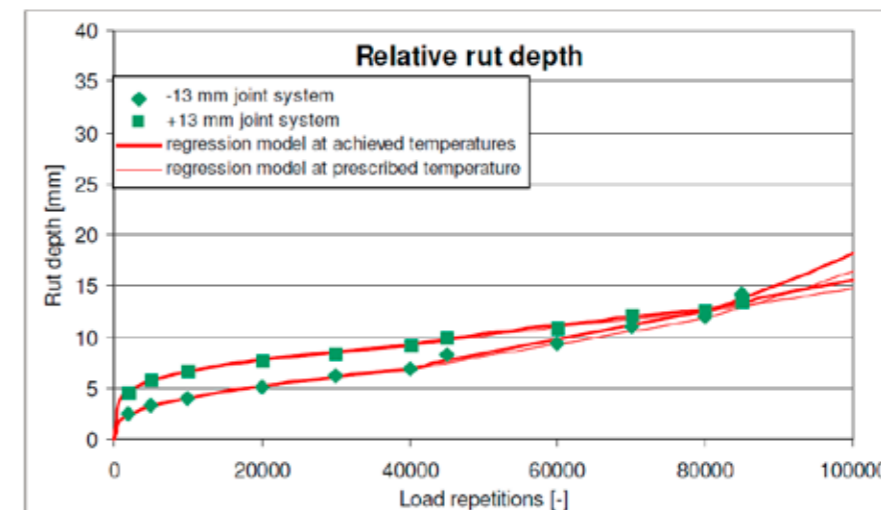
Afbeelding 21: Twee landhoofden met betonnen dekken aan weerszijden met op de achtergrond de LINTRACK



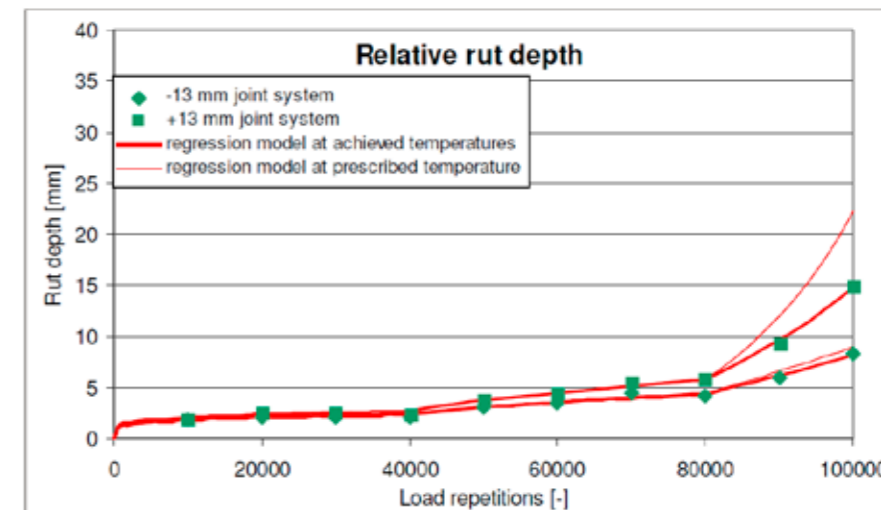
Afbeelding 22: Belastingswagen met vrachtwagenwiel en supersingle band



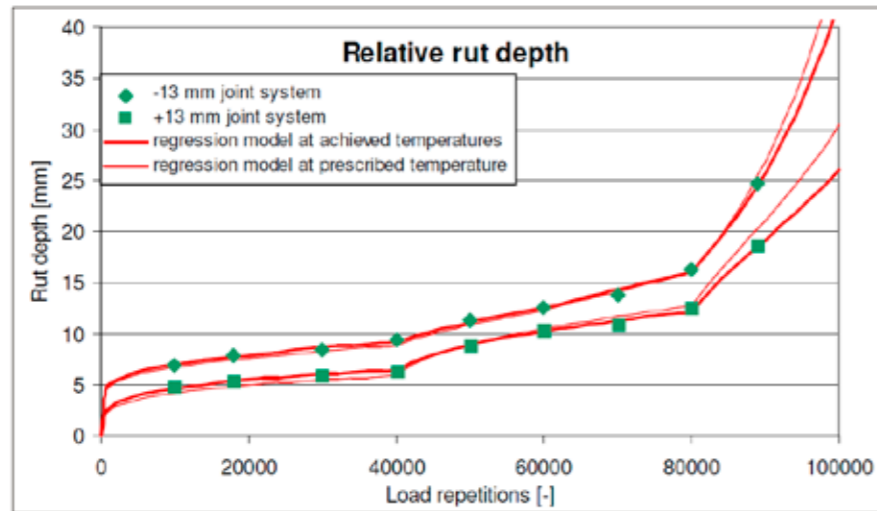
Afbeelding 23: Relatieve spoorvorming in de referentie (traditionele bitumineuze) voegovergang (Bron: TU-Delft)



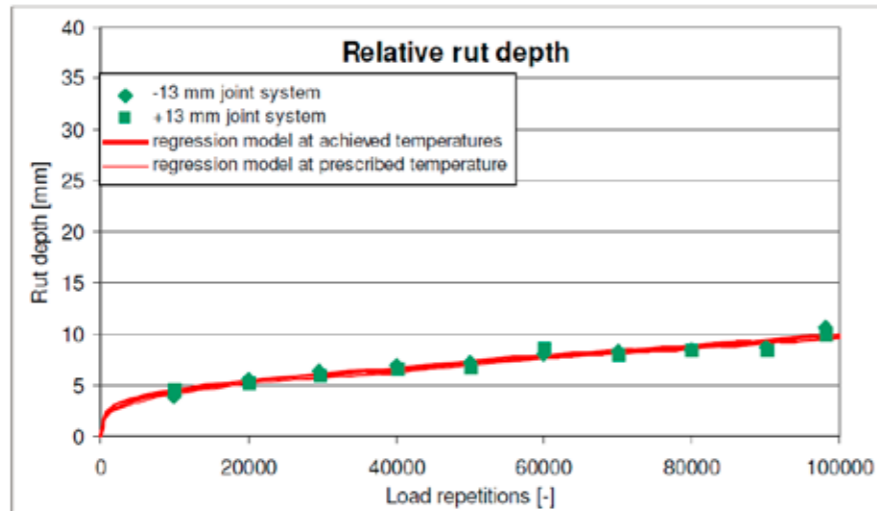
Afbeelding 24: Relatieve spoorvorming in de Prefab Silent Joint (Bron: TU-Delft)



Afbeelding 25: Relatieve spoorvorming in de KLK Bituvoeg (Bron: TU-Delft)



Afbeelding 26: Relatieve spoorvorming in de BrainJoint (Bron: TU-Delft)



Afbeelding 27: Relatieve spoorvorming in de Prismo Joint (Bron: TU-Delft)

	Spoordiepte bij 40000 lastherhalingen		Spoordiepte bij 80000 lastherhalingen		Spoordiepte bij 100000 lastherhalingen		+13 mm - 13 mm ratio	m_t
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.		
Referentie voegovergang	18,8	29.9					1.34	7.7
Prefab Silent Joint	7.6	7.9	11.1	12.1	14.1	15.6	1.06	5.0
KLK Bituvoeg	2.8	2.6	5.0	5.1	8.3	15.6	1.16	14.2
BrainJoint	6.1	7.4	12.1	14.3	34.4	38.7	0.89	12.9
Prismo Joint	5.7	6.2	7.3	8.6	8.1	9.9	1.05	4.0

Tabel 4: Meetresultaten spoorvorming (mm)

In tabel 4 zijn de resultaten van zowel de relatieve als de absolute spoorvorming weergegeven. De kolommen twee tot met zeven betreffen de gemiddelde spoordiepte in millimeters. Kolom acht bevat de ratio tussen absolute spoordiepte in de +13 mm voegovergang en de -13 mm voegovergang.



Afbeelding 28: De belastingswagen over een ingebouwde voegovergang

Ten eerste valt op dat er een enorm verschil is tussen de prestaties van de winnende voegovergangen en de referentie bitumineuze voegovergang. Tot 40.000 lastherhalingen is de spoordiepte voor alle prijswinnende voegovergangen zowel absoluut als relatief minder dan 10 mm. Bij de referentie bitumineuze voegovergang is de relatieve spoordiepte dan al bijna 30 mm, reden waarom de proef voor de referentie voegovergang al na 45.000 wielbelastingen is afgebroken. (De krachten op het bewegende vrachtwagenwiel worden bij 40 mm zodanig dat slijtage of schade aan de LINTRACK kan ontstaan.)

Wat betreft de kolommen acht en negen in tabel 4: naast het feit dat goede prestatie van een voegovergang wordt bepaald door gelimiteerde spoordiepte, zijn twee andere variabelen van belang:

- De onafhankelijkheid van minimale en maximale dilatatie (in de proef plus en min 13 mm). Kolom acht geeft daarvoor een waarde die zo dicht mogelijk bij één moet liggen;
- Zo min mogelijk temperatuursgevoeligheid: hoe lager de waarde m_t hoe minder gevoelig de constructie is voor uiteenlopende buitentemperaturen.

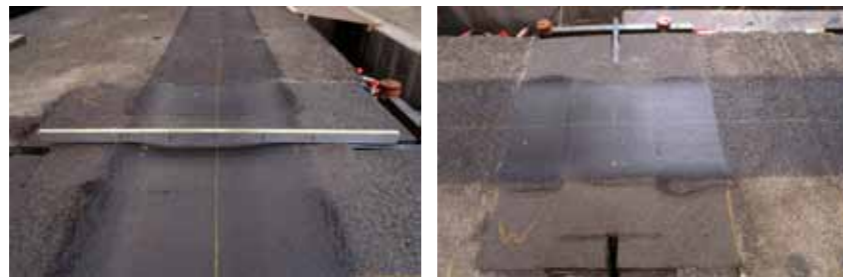
Deze beide factoren zijn voor 10% wegend meegenomen in het beoordelen van de verschillende ontwerpen, 80% van het oordeel bestaat uit de relatieve spoordiepte na 100.000 lastbewegingen, waarbij voortijdig falende constructies zijn geëxtrapoleerd. (Dat geldt met name voor de referentie die slechts tot 45.000 lastherhalingen kon worden getest.)

Trekproef

Na het doorlopen van het testprotocol voor herhaalde belasting werden alleen de prijswinnende voegovergangen onderworpen aan een semi-statische trekproef. De voegovergang met dilatatie -13 mm werd geopend met 10 mm per uur tot aan falen. De voegovergang met dilatatie +13 mm werd geopend met 100



Afbeelding 29: Links: spoorvorming in de Prefab Silent Joint na 85.000 belastingsherhalingen. Rechts: overzicht van de +13 mm voegovergang



Afbeelding 30: De KLK Bituvoeg na 100.000 lastherhalingen. Links: spoorvorming in de +13 mm voegovergang. Rechts: overzicht van de +13 mm voegovergang



Afbeelding 31: De BrainJoint na 89.000 lastherhalingen. Links: de +13 mm voegovergang. Rechts: de -13 mm voegovergang



Afbeelding 32: De Prismo Joint na 98.000 lastherhalingen. Links: spoorvorming in de +13 mm voegovergang. Rechts: overzicht van de -13 mm voegovergang

mm per uur tot aan falen. Beide proeven werden bij 25 °C uitgevoerd. Het bezwijken van de voegovergang werd vastgesteld door middel van meting van kracht tegen de tijd en visueel. In tabel 5 is weergegeven tot hoeveel millimeter de voegovergangen konden worden uitgerekt voordat bezwijking optrad. Omdat ervan wordt uitgegaan dat de minimumwaarde van meting versus visuele waarneming determinerend is, zijn in de tabel ook de minimumwaarden naast elkaar gezet.

	Elongation at failure in mm			
	Prefab Silent Joint	KLK-Joint	BrainJoint	Prismo Joint
-13 mm measured	22	8	10	7
-13 mm visual	14	16	13	13
-13 mm minimum	14	8	10	7
+13 mm measured	23	29	40	26
+13 mm visual	19	41	47	24
+13 mm minimum	19	29	40	24

Tabel 5: Samengevatte resultaten van maximale uitrekking

Stroefheid

Alle beproefde voegovergangen presteerden voldoende op het gebied van stroefheid, op één na. Bij de KLK Bituvoeg bleek dat aggregaat werd weggereden door het belastingswiel waardoor in het rijvlak een gladde bitumenrijke strook werd gevormd. Deze strook voldeed niet aan de stroefheidsnormen.

Verticale bewegingen

Tijdens het uitvoeren van de lastherhalingen werden ook de bewegingen van de brugdekken gemeten. Omdat de brugdekken op flexibele opleggingen liggen, worden door de wielbelastingen verticale bewegingen gegenereerd. Hoe stijver een voegovergang is, hoe minder de verticale beweging zal zijn. De verschillen ten opzichte van de referentie voegovergang en tussen de ontwerpen onderling waren (bij verschillende wiellasten en temperaturen) tamelijk marginaal.

Oneffenheden in lengterichting

Het profiel in langrichting in het rijspoor werd gemeten over een lengte van ongeveer 4,5 meter, oftewel 1,25 m op ieder brugdek met daartussen 2 m meter ter plaatse van het landhoofd. Het profiel na afronding van het testprotocol werd vergeleken met het gemeten initiële profiel (voordat de wielovergangen begonnen). Voor de voegovergangen die niet alle 100.000 lastherhalingen haalden werden de gegevens geëxtrapolerd. Langsonvlakheid is het resultaat van verschillend vervormingsgedrag van de voegovergang en het aanliggend asfalt. In tabel 6 is de spoorvorming in het aanliggend asfalt gerelateerd aan de spoorvorming in de verschillende voegovergangen. De laatste kolom van de tabel is het opgetelde verschil tussen absolute spoorvorming in de voegovergang en het aanliggend asfalt.

	Rut Depth@ 40000 repetitions		Rut Depth@ 80000 repetitions		Rut Depth@ 100000 repetitions		Summed difference of absolute rut depth (mm)
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.	
Multi-joint	18.8	29.9	30.3	53.8	39.9	72.2	58.2
Prefab Silent Joint	7.6	7.9	11.1	12.1	14.1	15.6	6.2
KLK-Joint	2.8	2.6	5.0	5.1	8.3	15.6	14.8
BrainJoint	6.1	7.4	12.1	14.3	34.4	38.7	21.9
Prismo Joint	5.7	6.2	7.3	8.6	8.1	9.9	11.9
Surface structure	4.6	6.8	10.0	16.6	16.2	31.3	

Tabel 6: Opgeteld verschil absolute spoorvorming voegovergang en aanliggend asfalt

Visuele waarnemingen

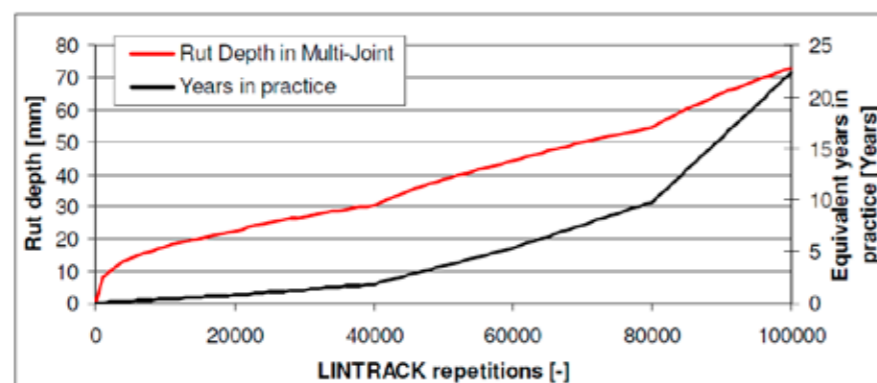
Gedurende de gehele proefperiode werden gedetailleerde visuele waarnemingen gedaan. De resultaten van de waarnemingen zijn samengevat in tabel 7.

Voegovergang	Visuele waarneming	Score visueel
Prefab Silent Joint	Beide ingebouwde voegovergangen acteerden goed tijdens de proef. Een klein nauwelijks zichtbaar scheurtje ontstond bij het openen van de +13 mm voegovergang en werd zichtbaar bij 20.000 lastherhalingen.	9,5
KLK Bituvoeg	Aggregaat wordt uit het wielspoor gereden naar de zijkanten en maakt daar een bolling, waardoor spoorvorming toeneemt. Sterke afname van stroefheid in het wielspoor.	5,0
BrainJoint	Goed acterende voegovergangen. Wel ontstonden er kleine schades bij de aanhechting tussen voegovergang en aanliggend asfalt. Aan het eind van de test, waar de temperatuur 40 °C bereikte, was dat het ergst. De waargenomen schades lijken echter eerder met het aanliggend asfalt te maken te hebben dan met de voegovergang zelf.	9,0
Prismo Joint	Na een kleine initiële deformatie acteerden beide voegovergangen uitermate stabiel gedurende de gehele testperiode.	9,5

Tabel 7: Visuele waarnemingen

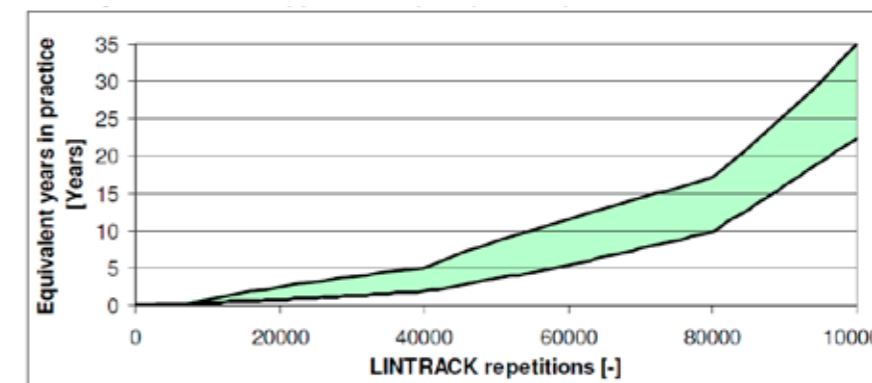
4.4. Conclusies

Aan de hand van de resultaten van de LINTRACK-proeven kan een indicatie worden gegeven van de te verwachten levensduur van de voegovergangen in de praktijk. Uit de ervaring van Rijkswaterstaat is bekend dat de gemiddelde levensduur van de referentie voegovergang in de praktijk drie jaar bedraagt. Het falen van de voegovergangen is doorgaans het gevolg van extreme spoorvorming. Hoewel de norm voor de spoorvorming in Nederland officieel 18 mm bedraagt, wordt vaak pas overgegaan tot vervanging ver boven de 18 mm. In de TU Delft-rapportage wordt daarom aangenomen dat vervanging plaats vindt op twee maal de normdiepte van de spoorvorming. Dat is ook het punt waarop de lastherhalingen bij de referentie voegovergangen werden gestaakt vanwege te grote hoogteverschillen aan de oppervlakte. Op basis hiervan is de grafiek in afbeelding 33 samengesteld. Daar wordt voor de referentie voegovergang de ontwikkeling van de gemiddelde relatieve spoordiepte vergeleken met het verwachte aantal jaren functioneren.



Afbeelding 33: Schatting van LINTRACK-gesimuleerde levensduur aan de hand van spoorvorming (Bron: TU Delft)

Een soortgelijke grafiek kan worden gemaakt voor de verwachte levensduur van het aanliggende asfalt in de LINTRACK. Een combinatie van deze gegevens leidt tot afbeelding 34. In de afbeelding is de bandbreedte weergegeven van het voorspellend vermogen van het aantal lastherhalingen voor de verwachte levensduur. Een levensduur van tien jaar komt dan ongeveer overeen met 55.000 tot 80.000 lastherhalingen.



Afbeelding 34: Bandbreedte van de relatie tussen lastherhalingen en verwachte levensduur in de praktijk (Bron: TU Delft)

In tegenstelling tot de referentie voegovergangen, presteren alle prijswinnende voegovergangen beter dan 80.000 lastherhalingen. Op grond hiervan kan geconcludeerd worden dat de levensverwachting op basis van spoorvorming voor alle voegovergangen meer dan tien jaar bedraagt.

Om te komen tot een onderlinge vergelijking van alle geteste innovatieve voegovergangen inclusief de geteste referentie voegovergang, zijn alle in deze paragraaf besproken (meet)resultaten naast elkaar gezet. Om het eindoordeel te onderbouwen zijn door de TU Delft aan de verschillende aspecten weegfactoren toegekend, waarbij het gedrag met betrekking tot spoorvorming veruit het zwaarst weegt. Het eindoordeel op basis van de beproevingen in de LINTRACK is weergegeven in tabel 8.

	weight	Multi-joint	Prefab Silent joint	KLK-Joint	BrainJoint	Prismo Joint
rutting performance	2.1	2.4	8.2	7.4	5.6	8.8
elongation to failure	0.2	10.0	5.9	6.7	9.0	5.6
skid resistance	0.7	10.0	10.0	0.0	10.0	10.0
joint movements	0	9.8	8.8	10.0	8.8	8.3
longitudinal unevenness	0.7	3.4	5.8	6.6	6.1	3.4
visual evaluated behaviour	1.3	8.0	9.5	5.0	9.0	9.5
weighed mark		5.4	8.4	5.6	7.3	8.3

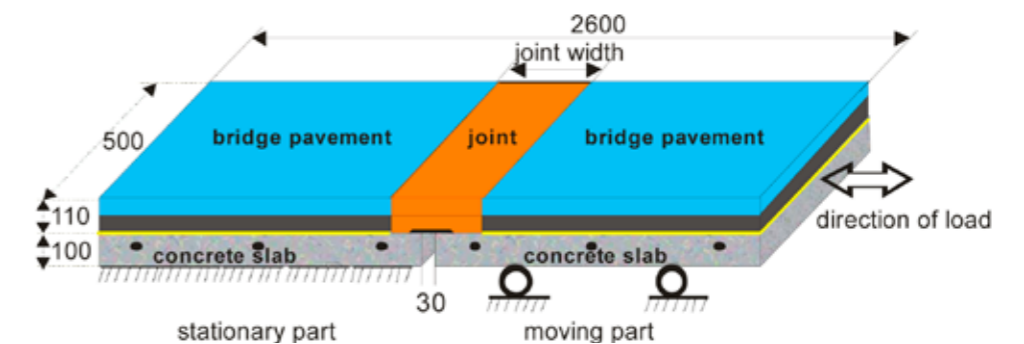
Tabel 8: Eindscores voor het gedrag van de voegovergangen in de LINTRACK (Bron: TU Delft)

5. Beproeving bij EMPA

5.1. Beschrijving testmethode

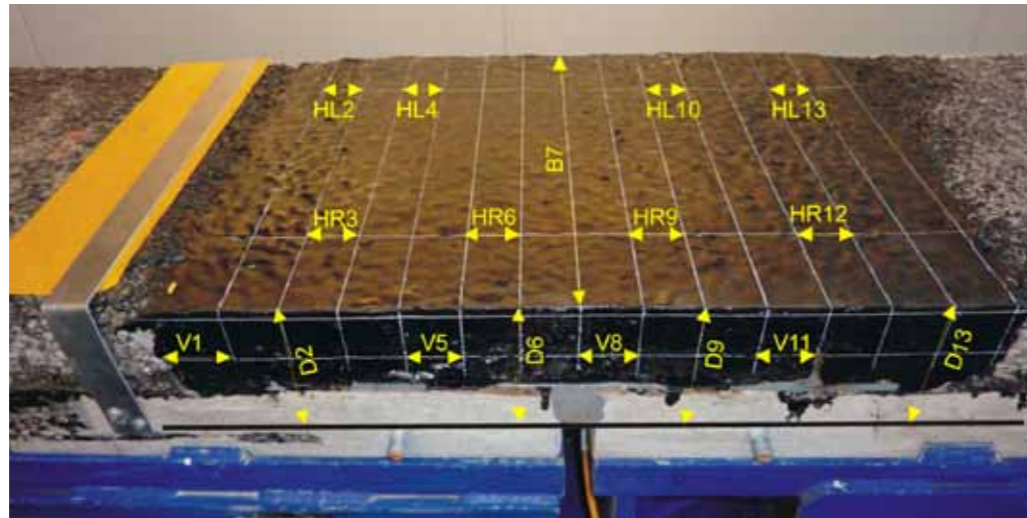
Om het lange termijngedrag van de innovatieve voegovergangen in de winter te onderzoeken werden bij het Zwitserse EMPA bewegingssimulatorproeven uitgevoerd bij -10°C . Deze temperatuur is afgestemd op de Nederlandse situatie, in Zwitserland wordt de proef standaard bij -20°C uitgevoerd. De voegovergangen worden tien keer met een reksnelheid van 10 mm per minuut uitgetrokken tot op 65% van de maximale rek (= 13 mm) en weer ingedrukt. Indien er na tien cycli nog geen schade is ontstaan, betekent dit dat de beproefde voegovergang tien Nederlandse winters aan kan zonder schade als de maximale horizontale verplaatsing van het kunstwerk niet meer is dan 20 mm.

Van iedere prijswinnende voegovergang werden in Zwijndrecht twee proefstukken (zie afbeelding 35) vervaardigd, die vervolgens naar Zwitserland zijn getransporteerd. Ook werden twee proefstukken van de referentie voegovergang (bitumineuze voegovergang) vervaardigd. De inbouw werd gemonitord door een medewerker van EMPA. Van Kessel was niet zeker van de hechting tussen gietasfalt en de KLK Bituvoeg en heeft een proefstuk zonder en een proefstuk met een geogrid vervaardigd. Het geogrid werd tussen de lagen gietasfalt en gedeeltelijk tussen de prefab platen aangebracht om de hechting te bevorderen (zie afbeelding 40). Ook werden chemische ankers toegepast om het gietasfalt en de asfaltconstructie op zijn plaats te houden gedurende de beproeving.



Afbeelding 35: Proefstuk (maten in millimeters)

De bewegingssimulator bestaat uit twee delen: een gefixeerd deel en een deel dat horizontaal kan worden bewogen door een hydraulische zuiger. Op deze wijze kan de voegopening vervormingsgestuurd worden geopend en gesloten. De hiervoor benodigde krachten worden gemeten met een krachtmeetdoos. Om de lokale bewegingen van de voegovergangen te bestuderen, wordt de beweging vanaf de eerste belastingsherhaling op tien gelijkverdeelde plaatsen in de lengterichting van de voegovergang gemeten. Daartoe worden de proefstukken optisch gemarkeerd aan de bovenzijde en aan de zijkanten (afbeelding 36).



Afbeelding 36: Markeringslijnen om de lokale deformatie in de voegovergang te meten

5.2 Proefcondities

Er is voor gekozen om de voegovergangen tot 13 mm uit elkaar te trekken. Dat komt overeen met 65% van de gemiddeld 20 mm jaarlijkse beweging aan één zijde van een doorsnee Nederlands kunstwerk. Een verschil met de Zwitserse situatie is dat de voegovergangen werden getest met aan weerszijden ZOAB als deklaag.

Test parameters	Value	Remark
number of specimen	2	per system
maximum movement load	13 mm	approx. 65% of the permissible annual joint movement for the Netherlands
test temperature	-10°C	for the Netherlands (in Switzerland -20°C)
movement	triangular	
rate of joint movement	10 mm/h	
number of cycles	10	fatigue behavior at cold temperature of the joint system for 10 years, without taking the practical long-term effects of traffic and weather into account
measurement of the local expansion joint during the 1 st load cycle		to determine: - the strain deviation in the joint material - the reduction in the layer thickness and width of the joint
measurement of the force		continuously recorded during the movement load

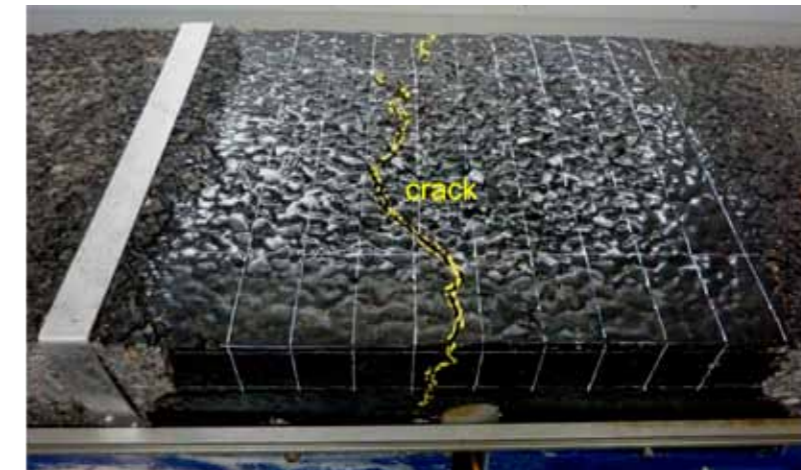
Tabel 9: Samenvatting van de proefcondities in de bewegingssimulator van EMPA.

5.3. Resultaten

Als eerste werd de referentie bitumineuze voegovergang beproefd. Deze bezweek reeds tijdens de eerste uitrekking door scheurvorming. Bij -10 °C bleek de voegovergang erg bros te worden, waardoor deze de opgelegde rek niet meer kon volgen. In tabel 10 zijn de resultaten van de twee proefstukken samengevat en in afbeelding 37 is de scheurvorming te zien.

Schade	Schade aan beide proefstukken. Scheurvorming in de voegmassa tijdens de eerste cyclus bij plm. 8 mm uitrekking.
Maximale kracht	1e cyclus 80,8 kN en 84,4 kN 10e cyclus 4,4 kN en 2,4 kN
Expansie en deformatie tijdens de eerste cyclus	Spanningsverdeling: vooral in bewegend deel. Maximale reductie in dikte: niet gemeten vanwege de scheur. Maximale dwars samentrekking: niet gemeten vanwege de scheur.

Tabel 10: Resultaten referentie voegovergang



Afbeelding 37: Scheurvorming in de referentie bitumineuze voegovergang

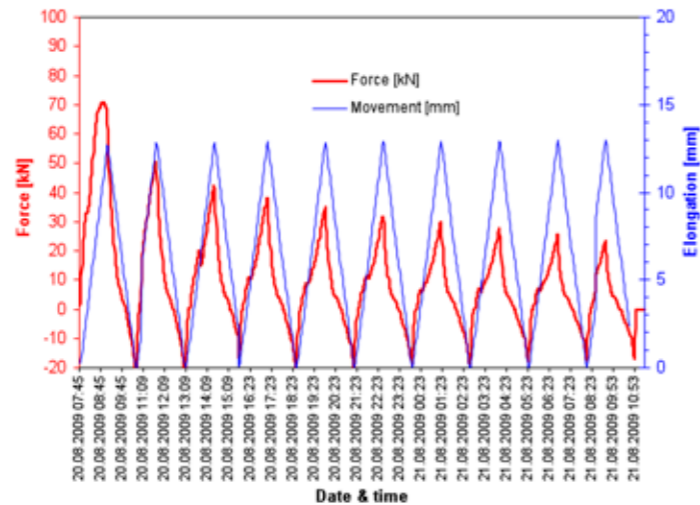
Vervolgens werden de vier prijswinnende voegovergangen beproefd. De resultaten zijn samengevat in tabellen 11 tot en met 14.

Prismo Joint

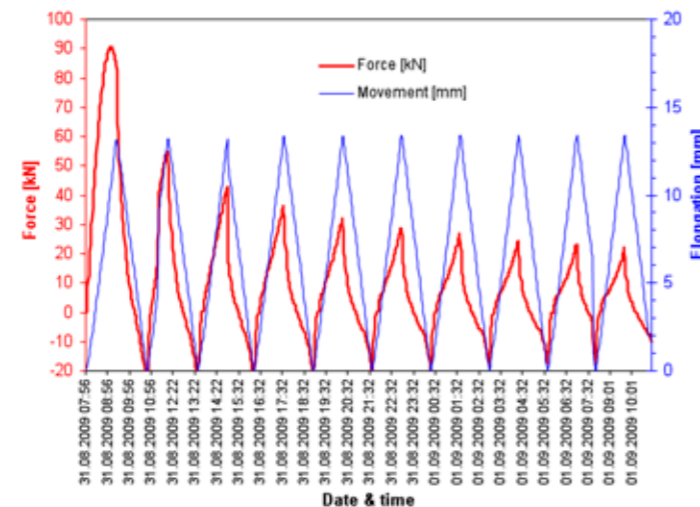
Schade	Geen scheurvorming en geen onthechting in beide proefstukken.
Maximale kracht	1e cyclus 70,8 kN en 90,4 kN 10e cyclus 50,4 kN en 54,8 kN
Expansie en deformatie tijdens de eerste cyclus	Spanningsverdeling: vooral in dichtbij het aansluitend asfalt aan een zijde. Maximale reductie in dikte: ongeveer 3 mm. Maximale dwars samentrekking: ongeveer 2 mm.

Tabel 11 Prismo Joint

De Prismo Joint acteerde goed en doorstond alle tien cycli zonder schade. De daarbij optredende krachten zijn weergegeven in afbeeldingen 38 en 39. Dit soort grafieken werd gemaakt voor alle beproevingen, in dit verslag zijn bij wijze van voorbeeld alleen die van de Prismo voegovergangen opgenomen. Opvallend is namelijk dat de krachten nogal uiteenlopen bij de twee proefstukken, wellicht door verschillende materiaaleigenschappen van het toegepaste geogrid. Hoe lager de benodigde trekkrachten, hoe beter een voegovergang functioneert in een kunstwerk.



Afbeelding 38: Krachten bij het uitrekken van de eerste Prismo Joint

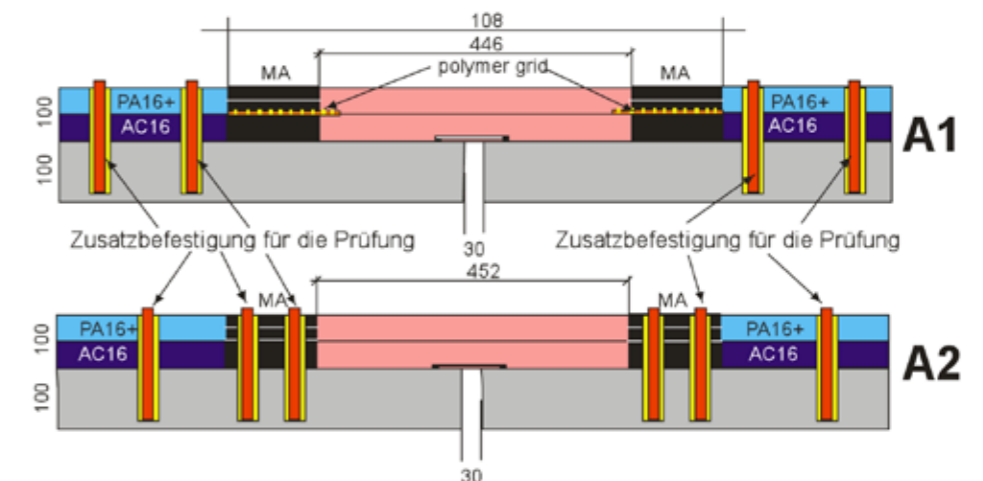


Afbeelding 39: Krachten bij het uitrekken van de tweede Prismo Joint

KLK Bituvoeg

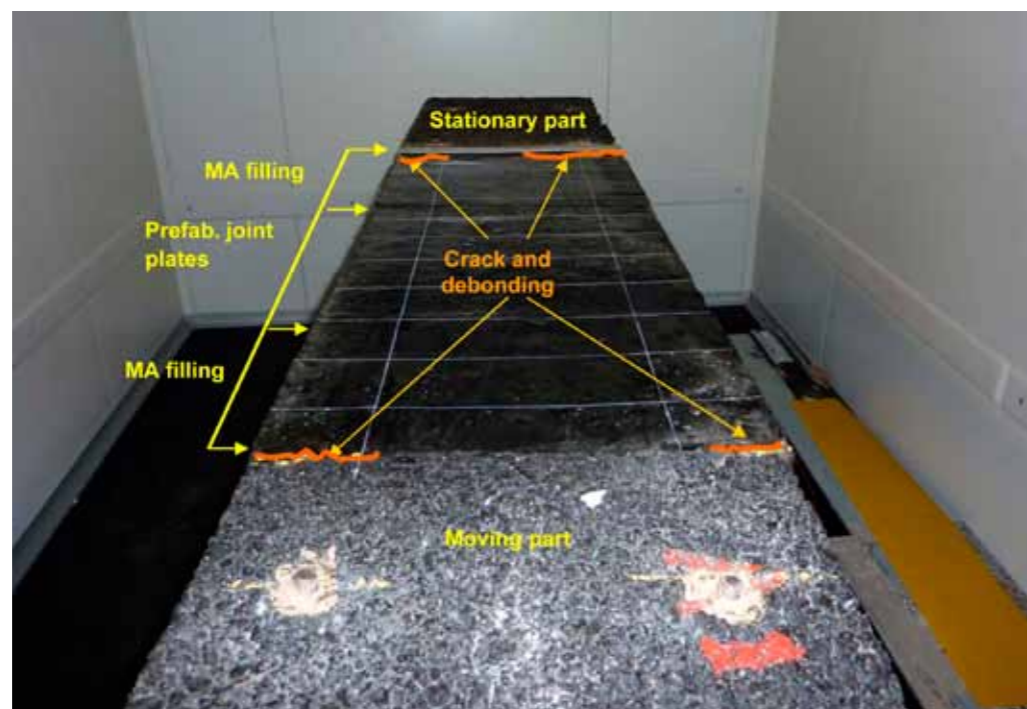
Eerste proefstuk	
Schade	Geen onthechting tussen voegmassa en gietasfalt en geen scheurvorming in de voegmassa (de prefab platen). Onthechting tussen gietasfalt en brugdekasfalt over ongeveer de helft van de lengte. Scheurvorming in het gietasfalt vlakbij het brugdekasfalt. Gedeeltelijke onthechting van gietasfalt en betonnen plaat.
Maximale kracht	1e cyclus 44,4 kN 10e cyclus 17,0 kN
Expansie en deformatie tijdens de eerste cyclus	Spanningsverdeling: vooral dichtbij het aansluitend asfalt aan één zijde Maximale reductie in dikte: ongeveer 2 mm Maximale dwars samentrekking: ongeveer 3 mm
Opmerking: vanwege de grote breedte van de voegovergang (1150 mm tussen aanliggend asfalt aan beide zijden) werd het brugdekasfalt met stalen ankers en chemische hars aan de betonnen platen bevestigd (zie afbeelding 40).	
Tweede proefstuk	
Schade	Geen onthechting tussen voegmassa (prefab platen) en het gietasfalt. Geen scheurvorming in de voegmassa. Onthechting tussen gietasfalt en brugdekasfalt over plm. 10% van de lengte. Geen scheurvorming in het gietasfalt en geen onthechting tussen het gietasfalt en het beton.
Maximale kracht	1e cyclus 46,8 kN 10e cyclus 16,0 kN
Expansie en deformatie tijdens de eerste cyclus	Spanningsverdeling: vooral dichtbij het aansluitend asfalt aan één zijde. Maximale reductie in dikte: ongeveer 2 mm. Maximale dwars samentrekking: ongeveer 3 mm.
Opmerking: vanwege het gedrag van het eerste proefstuk (onthechting gietasfalt van betonnen platen) werden nu ook de gedeelten met gietasfalt verankerd (zie afbeelding 40).	

Tabel 12: KLK Bituvoeg



Afbeelding 40: Verankering van de twee proefstukken van de KLK Bituvoeg

Als oorzaak voor de scheurvorming en onthechting bij de KLK proefstukken noemt EMPA de te hoge stijfheid van de prefab platen. Deze produceren horizontale krachten die groot genoeg zijn om het gietasfalt los te trekken van het beton. Het fixeren van het gietasfalt aan het beton verbeterde weliswaar de prestatie van de KLK Bituvoeg zelf (geen scheurvorming), maar kon onthechting niet geheel voorkomen.



Afbeelding 41: Schade aan de KLK Bituvoeg na tien cycli

Prefab Silent Joint

Schade	Geen scheurvorming en geen onthechting.
Maximale kracht	1e cyclus 24,4 en 21,2 kN 10e cyclus 12,2 en 10,0 kN
Expansie en deformatie tijdens de eerste cyclus	Spanningsverdeling: vooral in het bewegende gedeelte Maximale reductie in dikte: ongeveer 2 mm Maximale dwars samentrekking: ongeveer 6 mm

Tabel 13: Prefab Silent Joint

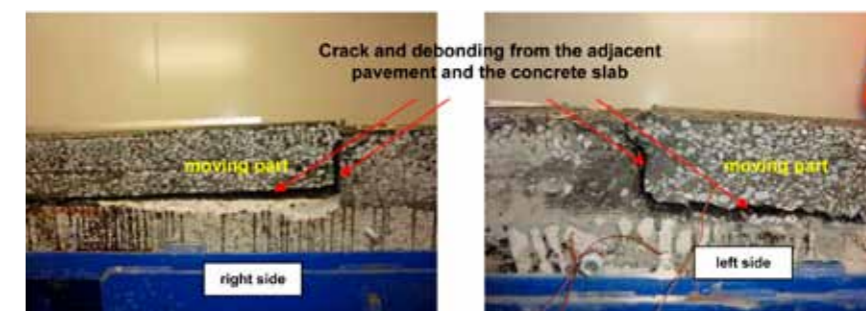
De Prefab Silent Joint acteerde goed en doorstond alle tien cycli zonder schade. Tijdens de proef werden in vergelijking met de andere prijswinnende voegovergangen slechts relatief geringe krachten gemeten. Dat komt hoogstwaarschijnlijk door de karakteristieken van het toegepast polymeergemodificeerde bindmiddel, dat relatief zacht is bij lage temperaturen. In combinatie met de toegepaste stalen veren gaf deze voegovergang ook de grootste samentrekking in dwarsrichting.

BrainJoint

Eerste proefstuk	
Schade	Schade ontstond bij de eerste uitrekking: scheurvorming begon bij ongeveer 7 mm en was duidelijk zichtbaar bij 10 mm. Bij 12 mm uitrekking onthechte het voegmateriaal van zowel het aanliggend asfalt als van het beton.
Maximale kracht	1e cyclus 114,4 kN 10e cyclus Niet van toepassing, proef beëindigd na 1e cyclus
Expansie en deformatie tijdens de eerste cyclus	Spanningsverdeling: te klein Maximale reductie in dikte: kon niet worden gemeten doordat de voegconstructie doorboog Maximale dwars samentrekking: geen
Opmerking: vanwege de grote breedte van de voegovergang (1225 mm tussen aanliggend asfalt aan beide zijden) werd het brugdekasfalt met stalen ankers en chemische hars aan de betonnen platen bevestigd.	
Tweede proefstuk	
Vanwege de resultaten van de eerste beproeving werd in overleg besloten om het tweede proefstuk niet aan dezelfde test te onderwerpen. In overleg met opdrachtgever mocht de leverancier het tweede proefstuk testen onder dezelfde condities maar dan met een kleinere uitrekking in plaats van 13 mm. Het tweede proefstuk doorstond tien cycli bij een maximale rek van eerst 4 en toen 6 mm zonder schade. Conform de vertaalslag naar de praktijk die EMPA hanteert, betekent dit dat de BrainJoint tien winters zonder schade kan ondergaan op een kunstwerk met een maximale horizontale verplaatsing van 10 mm in plaats van de gevraagde 20 mm in de prijsvraag. Zie ook het eindoordeel van jury in paragraaf 7.3.	

Tabel 14: BrainJoint

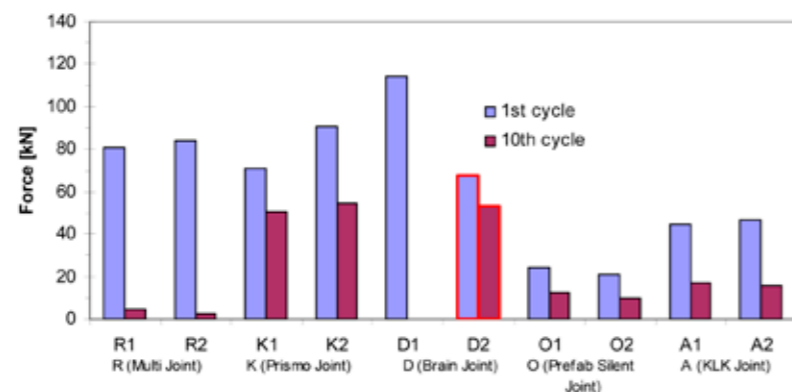
De onthechting van het beton en van het aanliggende asfalt komt doordat de BrainJoint voegovergang te stijf was bij de proeftemperatuur van -10 °C. Hierdoor kon de voegovergang niet het opgelegde rekregiem volgen en trad scheurvorming en onthechting op. De voegovergang is niet alleen los komen te liggen, maar ging bovendien doorbuigen. De randen kwamen daardoor ongeveer 15 mm hoger te liggen dan het aanliggende brugdekasfalt.



Afbeelding 42: Onthechting tijdens de eerste uitrekking van de BrainJoint

Krachten

Hoe stijver een voegovergang is bij -10 °C, hoe groter de krachten die nodig zijn om de proefstukken uiteen te trekken. Voor het vrij bewegen van een kunstwerk moeten die krachten het liefst laag zijn. Zoals in afbeeldingen 38 en 39 te zien was voor de Prismo voegovergangen, zijn de krachten in alle constructies met name tijdens de 1e uitrekking hoog. De maximale krachten tijdens die eerste cyclus liepen uiteen van 21,2 tot 114,4 kN. De krachten in de Prefab Silent Joint waren het laagst, die in de BrainJoint het hoogst. In afbeelding 43 zijn de maximale krachten weergegeven tijdens de eerste en de tiende cyclus.



Afbeelding 43: Maximale krachten tijdens de 1e en de 10e cyclus. (D2 bij maximaal 6 mm rek.)

5.4. Conclusies

Op basis van de beproevingen trekt EMPA een aantal conclusies per voegovergang die we hier beknopt weergeven.

Prismo Joint

Het ontwerp doorstaat de beproeving zonder scheurvorming of onthechting. Hieruit mag worden geconcludeerd dat de constructie in de praktijk een beweging van het kunstwerk tot 20 mm zonder schade aan kan. De krachten worden het meest opgevangen in het gedeelte grenzend aan het brugdekasfalt, hetgeen te maken kan hebben met het toegepaste geogrid.

KLK Bituvoeg

De constructie als geheel doorstaat de beproeving niet en vergt verbetering. De prefab platen in het ontwerp zijn zo stijf dat krachten op het omliggende gietasfalt ontstaan die leiden tot scheurvorming en onthechting. Minder stijve prefab platen zouden kunnen bijdragen aan betere horizontale krachtsverdeling. En het breder maken van de strook gietasfalt zou onthechting van het aanliggend asfalt beter kunnen voorkomen.

BrainJoint

De constructie is ongeschikt om bewegingen tot 20 mm op te vangen. Het maximum dient naar beneden te worden bijgesteld. De schade is al na een eerste uitrekking zodanig dat de beproeving geen vervolg kan krijgen. De voegovergang is erg stijf bij -10 °C, waardoor al in een vroeg stadium sterke onthechting van het beton en het aanliggend asfalt optreedt. De spanningen kunnen door de hoge treksnelheid onvoldoende relaxeren. De voegovergang is doorgebogen en heeft een hoogteverschil van 15 mm ten opzichte van aanliggende asfalt. De proeven op het tweede proefstuk met kleinere dilatatie vallen buiten het bestek van rapport.

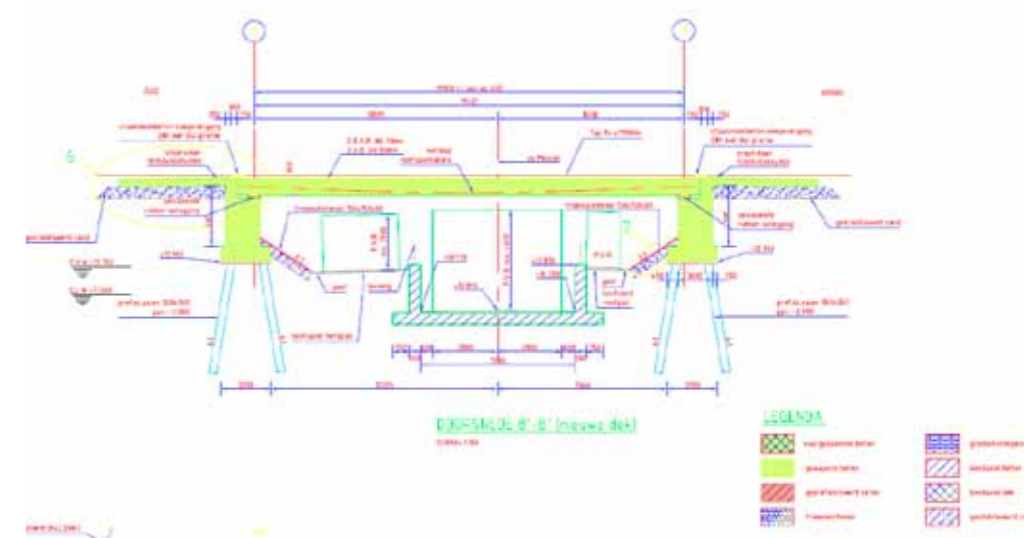
Prefab Silent Joint

Het ontwerp doorstaat de beproeving geheel zonder scheurvorming of onthechting. Hieruit mag worden geconcludeerd dat de constructie in de praktijk een beweging van het kunstwerk tot 20 mm zonder schade aan kan. Deze constructie genereerde de laagste krachten van alle ontwerpen, hetgeen gunstig is voor de hechting aan het aanliggend asfalt. Door de lage viscositeit van het bindmiddel treedt relatief grote krimp in dwarsrichting op, waardoor er aandacht moet zijn voor de aansluiting op de schampkanten.

6. Praktijkproef

6.1. Inbouw in de A50

In het weekend van 25 april 2009 werden de prijswinnende voegovergangen ingebouwd bij twee viaducten in de A50 bij Nistelrode. De locatie werd gekozen omdat het viaducten betreft (Loo en Menzel) die relatief veel voorkomen in het Nederlandse hoofdwegennet. De betonnen dekken hebben een overspanning van ongeveer 20 meter. Ook speelde een rol dat hier Tweelaags ZOAB was toegepast, het stilste standaard toegepaste asfalt op autosnelwegen. Ieder prijswinnende voegovergang werd aan weerszijden van een viaduct ingebouwd, dus twee voegovergangen per aannemer. Het wegendistrict Den Bosch speelde een actieve faciliterende rol bij de aanleg.



Afbeelding 44: Dwarsdoorsnede van viaduct Menzel

6.2. Monitoring tijdens de inbouw

Voordat de prijswinnende voegovergangen konden worden ingebouwd, zijn de bestaande harde voegovergangen gesloopt. Waar nodig vond reparatie plaats van het beton van de landhoofden en het betonnen dek. Waar brede prijswinnende voegovergangen werden ingebouwd, werd eveneens een strook aanliggend Tweelaags ZOAB verwijderd. Naast de standaard bedrijfscontroles door de aannemers zelf is de aanleg gemonitord door IV-Infra. Aan de hand van de uitvoeringsschema's werden alle handelingen qua volgorde en tijdstip gevolgd en vastgelegd inclusief de bijbehorende omgevingstemperatuur. Alle werkstappen tijdens de inbouw werden fotografisch en in een omschrijving vastgelegd. Daarnaast zijn ook de toegepaste bouwstoffen en materialen en de gebruikte werkvoorschriften vastgelegd.

De aanlegomstandigheden waren gunstig: geen neerslag en temperaturen van 9 °C 's nachts tot 22 °C overdag. Bij deze temperaturen staan de betonnen dekken in hun neutrale stand.



Afbeelding 45: De viaducten Loo en Menzel bij Nistelrode en de inbouwlocaties van de voegovergangen.

6.3. Monitoring na oplevering

De monitoring is na inbouwen gedurende twee jaar (van mei 2009 tot en met mei 2011) uitgevoerd. Na de inbouw van de voegovergangen zijn de volgende metingen en inspecties verricht:

- Geluidsmetingen (5x);
- Spoordieptemetingen (5x);
- 3D verplaatsingsmetingen (continu);
- Temperatuurmetingen (continu);
- Stroefheidsmetingen (3x);
- Uitgebreide visuele inspecties (5x);
- Globale visuele inspecties (5x).

De resultaten van de metingen en de visuele inspecties zijn getoetst aan eisen gesteld in de NBD00400¹ (Eisen voor enkelvoudige voegovergangen), de NBD00401² (Geluidseisen voegovergangen) en het Modelbestek Variabel Onderhoud van asfaltverhardingen. Tevens is aan de hand van de resultaten en analyses een inschatting gemaakt of de beoogde levensduur van tien jaar kan worden gehaald en of de geluidsniveaus van de voegovergangen tien jaar na inbouw zullen voldoen aan de eisen.

Geluidsmetingen

Tijdens de monitoringsperiode zijn bij alle acht voegovergangen vijf geluidsmetingen uitgevoerd. De nulmeting vond plaats kort na inbouw. De vier herhalingsmetingen werden vervolgens ieder half jaar uitgevoerd. Uitgangspunt voor de geluidsmetingen was de genoemde NBD00401. In dit document zijn

¹ RWS Dienst Infrastructuur: **NBD00400 Eisen voor enkelvoudige voegovergangen** Uitgave 2 februari 2006

² RWS Dienst Infrastructuur: **NBD00401 Geluidseisen voegovergangen** Uitgave 30 juli 2010

eisen geformuleerd voor de geluidsproductie van voegovergangen en is een beschrijving opgenomen van de wijze waarop het geluid gemeten en berekend wordt. De eisen zijn afhankelijk van de geluidsproductie van het omliggende asfalt.

Omdat het in dit geval om Tweelaags ZOAB gaat, worden aan de geluidsreducties van de prijswinnende voegovergangen zeer hoge eisen gesteld. De in de leidraad beschreven methode is gebaseerd op de zogenaamde Statistical Pass-By Method (SPB) volgens ISO 11819-1/1. Per meting wordt van individuele passages de voertuigsnelheid en het maximale A-gewogen geluidsniveau bepaald op twee voorgeschreven microfoonposities. Eén microfoonpositie bevindt zich boven het kunstwerk ten behoeve van passages van lichte motorvoertuigen (personenauto's) en één microfoonpositie bevindt zich onder het kunstwerk ten behoeve van passages van zware motorvoertuigen (vrachtwagens).



Afbeelding 46: Meetopstelling microfoons bij de SPB methode

Spoordieptemetingen

Er zijn bij alle voegovergangen vijf spoordieptemetingen verricht. De nulmeting vond plaats kort na inbouw. De vier herhalingsmetingen werden vervolgens ieder half jaar uitgevoerd. Voor het uitvoeren van de spoordieptemetingen is gebruik gemaakt van zogenaamde terrestrische 3D-laserscanning. Het resultaat is een 3D puntenwolk van de gescande omgeving. Uit de puntenwolk is het nulvlak (best passende vlak) bepaald door de rijstrook rondom de voegovergang. Dit nulvlak is gebruikt om de spoorvorming per meting te visualiseren. Daarnaast zijn op enkele locaties op en rondom de voegovergangen dwarsprofielen loodrecht op de rijrichting bepaald. Vervolgens zijn de minima en maxima van de trendlijnen van de dwarsdoorsneden op de voegovergangen bepaald. De gehanteerde definitie voor spoorvorming is het verschil tussen deze minima en maxima. Naast de spoordieptemetingen met 3D-laserscanning zijn er traditionele spoordieptemetingen uitgevoerd met behulp van een stalen rei en wig.

3D verplaatsingsmetingen

Gedurende de monitoringsperiode zijn permanent 3D verplaatsingsmetingen en temperatuurmetingen uitgevoerd met een tijdsinterval van een kwartier. Om de 3D verplaatsingen te kunnen bepalen, is op het kunstwerk bij beide voegovergangen een 3-D verplaatsingsopnemer geïnstalleerd. De opnemers zijn aangebracht aan de buitenkant bovenop het kunstwerk (afbeelding 47).



Afbeelding 47: 3D verplaatsingsopnemer tussen betonnen dek en landhoofd

Temperatuurmetingen

Om de luchttemperatuur te meten werd bij alle voegovergangen een temperatuursensor aangebracht aan de binnenzijde van de vleugelwand, net onder het dek. Om de temperatuur in de voegovergangen te bepalen zijn er op drie locaties per voegovergang draadloze temperatuursensoren geïnstalleerd. Deze opnemers zijn aangebracht in het hart van rijstrook 1, rijstrook 2 en de vluchtstrook, waarbij de bovenkant van de sensor drie centimeter onder bovenkant voegovergang zit.

Stroefheidsmetingen

Tijdens de monitoringsperiode zijn bij alle voegovergangen drie stroefheidsmetingen uitgevoerd. De nulmeting vond plaats kort na inbouw. De twee herhalingsmetingen vonden plaats één en twee jaar na de inbouw. De stroefheidsmeting is uitgevoerd volgens de slingermethode zoals voorgeschreven in proef 76 van de RAW Standaard Bepalingen 2005. Deze methode is ook wel bekend als Skid Resistance Test.

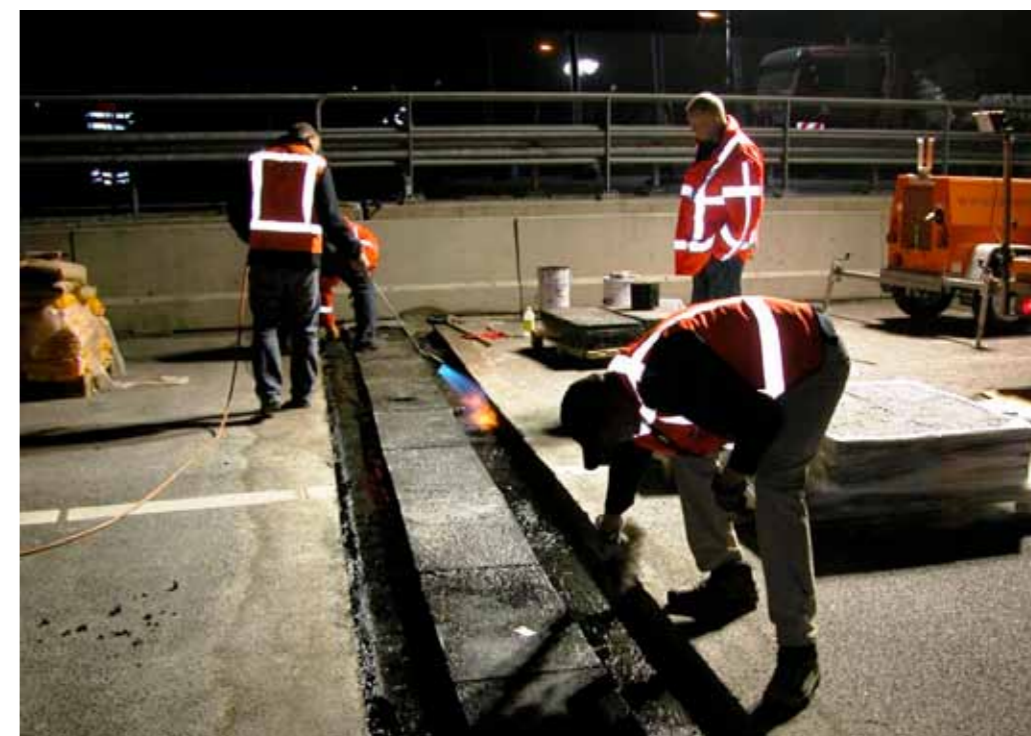
Visuele inspecties

Tijdens de monitoringsperiode is bij alle voegovergangen een tiental visuele inspecties uitgevoerd, te weten:

- Gecombineerde uitgebreide inspectie en globale inspectie één week na inbouw van de voegovergangen;
- Vier maal een globale inspectie (twee, vier, acht en zestien weken na inbouw). Deze inspecties waren bedoeld om enige zekerheid te krijgen over het functioneren van de voegovergangen, want hiermee was nog geen ervaring opgedaan op autosnelwegen. In geval van falend gedrag, zouden de voegovergangen snel vervangen moeten worden;
- Vier maal een uitgebreide inspectie om het halfjaar na inbouw.

De globale inspecties werden uitgevoerd vanuit de berm. Hierbij werd alleen de bovenzijde van de voegovergang op afstand visueel geïnspecteerd. Verder zijn aan de onderzijde de fundatiesloven en frontwanden onder de voegovergangen op afstand visueel geïnspecteerd.

Bij de uitgebreide inspecties werden rijstrook 2 en de vluchtstrook afgezet. Vervolgens is de toestand van de voegovergangen ter plaatse van rijstrook 2 onder handbereik visueel geïnspecteerd en fotografisch



Afbeelding 48: Inbouw van de KLK Bituvoeg

vastgelegd. De naastgelegen delen (vluchtstrook, rijstrook 1 en de schampkanten) zijn ter referentie globaal geschouwd en gefotografeerd. Bij rijstrook 2 is om de 50 cm (in lengte- en breedterichting van de weg) de (on)vlakheid van de voegovergangen gemeten met behulp van een stalen rei en wig. De dwarsvlakheid werd gemeten ter ondersteuning/vergelijking van de genoemde spoordieptemetingen.

Aan de onderzijde zijn de fundatiesloven en frontwanden onder de voegovergangen visueel geïnspecteerd, waarvan de toestand ook fotografisch is vastgelegd. Daarbij is de onderzijde van de voegovergangen met een endoscoop geïnspecteerd. De inspecties van de bovenzijde van de voegovergangen zijn deels overdag en deels in de avond/nacht uitgevoerd.

6.4. Resultaten

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de belangrijkste resultaten van de monitoring.

Geluidsmetingen

De resultaten van alle geluidsmetingen zijn samengevat in tabel 15.

A. Prefab Silent Joint				
	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Licht 110 km/u	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Zwaar 80 km/u
Datum van de meeting	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)
8 mei 2009	77	77	60	60
30 oktober 2009	78	78	61	61
18 mei 2010	77	77	61	60
2 november 2010	80	80	62	62
7 juni 2011	77	77	61	61

B. BrainJoint				
	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Licht 110 km/u	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Zwaar 80 km/u
Datum van de meeting	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)
7 mei 2009	75	76	60	60
29 oktober 2009	76	76	62	62
17 mei 2010	78	78	62	62
1 november 2010	77	78	61	62
20 mei 2011	77	76	62	63

C. KLK Bituvoeg				
	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Licht 110 km/u	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Zwaar 80 km/u
Datum van de meeting	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)
13 mei 2009	79	78	58	59
12 juni 2009	77	78	60	60
11 november 2009	78	78	61	61
19 mei 2010	78	78	61	61
17 november 2010	79	79	62	62
27 juni 2011	78	79	63	61

D. Prismo Joint				
	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Licht 110 km/u	Voertuigcategorie: Toetsingsnelheid:	Zwaar 80 km/u
Datum van de meeting	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Noord dB/(A)	SPB-niveau voegovergang Zuid dB/(A)
12 mei 2009	80	80	60	60
17 november 2009	81	80	61	61
20 mei 2010	81	81	61	60
15 november 2010	81	80	62	62
9 juni 2011	80	80	61	61

Tabel 15: Resultaten van de geluidsmetingen

Spoordieptemetingen

De resultaten van de spoordieptemetingen zijn samengevat in tabel 16. Daarbij dient te worden opgemerkt dat bij de Prismo Joint en bij de KLK Bituvoeg enkele dwarsprofielen op de voegovergangen zodanige hoogteverschillen hebben dat het lastig is om een representatieve trendlijn te bepalen. Het is bij deze twee voegovergangen moeilijk om vast te stellen of de resultaten het gevolg zijn van spoorvorming of van het ruwe oppervlak op de voegovergangen.

A. Prefab Silent Joint				
	voegovergang 1		voegovergang 2	
Datum van de meeting	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)
12 mei 2009	4	3	5	5
6 november 2009	6	5	7	5
25 mei 2010	6	5	7	5
28 oktober 2010	5	5	8	5
12 mei 2011	6	5	7	5

B. BrainJoint				
	voegovergang 1		voegovergang 2	
Datum van de meeting	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)
12 mei 2009	5	3	4	5
6 november 2009	7	6	6	8
25 mei 2010	7	6	6	8
28 oktober 2010	8	6	6	9
12 mei 2011	8	6	6	9

C. KLK Bituvoeg				
	voegovergang 1		voegovergang 2	
Datum van de meeting	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)
12 mei 2009	2	4	1	5
6 november 2009	1	4	2	8
25 mei 2010	0	5	2	7
28 oktober 2010	1	5	2	8
12 mei 2011	2	5	2	8

D. Prismo Joint				
	voegovergang 1		voegovergang 2	
Datum van de meeting	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de vluchtstrook (mm)	Maximale spoordiepte aan de kant van de rijstrook (mm)
12 mei 2009	3	3	3	4
6 november 2009	3	4	3	4
25 mei 2010	3	4	3	5
28 oktober 2010	3	4	3	4
12 mei 2011	3	4	3	4

Tabel 16: Resultaten van de spoordieptemetingen

3D verplaatsingsmetingen en temperatuurmetingen

Uit de continue 3D metingen aan de betonnen dekken en voegovergangen kwamen de volgende gegevens naar voren:

- Er is geen sprake van verschuiving of rotatie van de betonnen dekken;
- De maximale beweging (dilataatie) in de rijrichting per voegovergang is 8 tot 10 millimeter;
- Tijdens warme periodes: hoe minder een rijstrook bereden wordt, hoe hoger de temperatuur oploopt;
- Tijdens koude periodes: hoe minder een rijstrook bereden wordt, hoe meer de temperatuur daalt;
- Het grootste verschil tussen maximum en minimum temperatuur van de lucht in de monitoringsperiode varieert bij de vier voegovergangen van 41 tot 44 °C;
- Het grootste verschil tussen maximum en minimum temperatuur van de voegovergangen zelf in de monitoringsperiode varieert van 56 tot 63 °C;
- De totale uitzetting van de betonnen dekken ten opzichte van de minimum temperatuur in de rijrichting van de kunstwerken is 15,5 tot 16,5 millimeter;
- De totale voegbeweging dwars op de rijrichting van de kunstwerken varieert van 3 tot 5 millimeter;
- De verticale bewegingen zijn voor alle voegovergangen maximaal 1 tot 1,5 millimeter over de gehele meetperiode;
- De verticale bewegingen van de voegovergangen bedragen maximaal 0,2 tot 0,4 millimeter over een meetperiode van een dag.

De voegovergangen voldoen alle aan de dilatatiecapaciteit van de praktijkproef. Bij één van de twee Prismo Joints bleek echter dat er niet verwijderd betonpuin (van het slopen van de oorspronkelijke voegovergang) zit tussen het betonnen dek en het landhoofd waardoor de beweging van het betonnen dek aan die zijde zou kunnen worden beperkt.

Stroefheidsmetingen

De resultaten van de drie stroefheidsmetingen zijn samengevat in tabel 17. Alle voegovergangen voldoen aan de norm van minimaal 0,44, behalve één van de twee Prismo Joints, die bij de laatste meting net onder de norm zat. Dit is extra relevant omdat de Prismo Joint 2,5 meter breed is in de rijrichting. Mogelijk is hier sprake van een incident, een meetfout of zijn er externe oorzaken voor de gevonden lagere stroefheid (vloeistof lekkage of anders). Indien de voegovergang niet aan de stroefheidsnorm blijkt voldoen, is dit eenvoudig met een correctieve maatregel te verhelpen. Op 30 mei 2009 moest de complete slijtlaag van de KLK Bituvoeg worden vervangen, omdat deze op diverse plaatsen was losgekrompen van de aangrenzende asfaltconstructie. Bij dit onderhoud is de slijtlaag op een verbeterde wijze aangebracht en zijn hierna de initiële metingen opnieuw uitgevoerd.



Afbeelding 49: Inbouw van de Prismo Joint

A. Prefab Silent Joint

Datum van de meeting	In rechterspoor rijstrook 2		Tussen sporen rijstrook 2	
	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid
3 mei 2009	85	85	79	86
25 mei 2010	45	45	58	59
12 mei 2011	45	50	58	58

B. BrainJoint

Datum van de meeting	In rechterspoor rijstrook 2		Tussen sporen rijstrook 2	
	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid
3 mei 2009	91	93	96	95
25 mei 2010	62	59	66	64
12 mei 2011	63	54	66	64

C. KLK Bituvoeg

Datum van de meeting	In rechterspoor rijstrook 2		Tussen sporen rijstrook 2	
	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid	Stroefheidsgetal voeg-overgang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid
3 mei 2009	91	85	88	87
25 mei 2010	62	61	69	64
12 mei 2011	61	64	69	69

D. Prismo Joint

Datum van de meeting	In rechterspoor rijstrook 2		Tussen sporen rijstrook 2	
	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid	Stroefheidsgetal voegovergang Noord	Stroefheidsgetal voegovergang Zuid
3 mei 2009	92	95	90	88
25 mei 2010	56	54	61	57
12 mei 2011	53	52	52	43



Afbeelding 50: Het prefab vervaardigen van de Silent Joint met verenpakket

Tabel 17: Uitskomsten van de stroefheidsmetingen

6.5. Conclusies

Op basis van de continue verplaatsings- en temperatuurmetingen kan worden geconcludeerd dat alle vier betonnen dekken binnen kleine marges dezelfde eigenschappen hebben. De maximale horizontale beweging (dilatacie) in de rijrichting per voegovergang bedraagt 8 tot 10 millimeter. Dit bevestigt de theorie en geeft aan dat de prijswinnende voegovergangen onder gelijke omstandigheden in de praktijkproef zijn onderzocht.

Wat betreft de spoorvorming voldoen alle prijswinnende voegovergangen aan de gestelde eisen. Bovendien voldoen alle voegovergangen in de praktijk aan de geluidsnormen. De geluidsniveaus nemen zeer licht toe in de loop van de tijd, waarbij het meest opvalt de toename van 5 dB(A) aan de onderzijde (zware voertuigen) van de KLK Bituvoeg, waarvan de waarde bij aanvang van de metingen juist het laagst was van de vier ontwerpen. Omdat het verloop van de geluidsreductie in de eerste twee jaar vrij constant is, is de verwachting dat de geluidsniveaus ook over tien jaar aan de normen voldoen. Overigens blijken ook de omwonenden zeer tevreden over de verbetering ten opzichte van de oude situatie met harde stalen voegovergangen: de geluidsreductie is dus niet alleen objectief maar ook subjectief significant.

Uit de stroefheidsmetingen kwam naar voren dat alle prijswinnende voegovergangen voldoen aan de norm van 0,44, behalve één van de twee Prismo Joints. Bij de laatste meting was de stroefheid tussen de sporen van de zuidelijke voegovergang 0,43.

Op basis van de visuele inspecties en de in paragraaf 6.3 weergegeven meetresultaten wordt voor ieder



Afbeelding 51: Afwerking van de BrainJoint

ontwerp een aantal conclusies getrokken en wordt een prognose gegeven van het presteren van de prijswinnende voegovergangen in een tijdsperiode van tien jaar. In het onderstaande (A tot en met D) zijn de conclusies per aannemer samengevat.

A. De conclusies voor de Prefab Silent Joint zijn:

- Op basis van het verloop van het SPB-niveau en de ontwikkeling van de langs- en dwarsvlakheid gedurende de monitoringsperiode van twee jaar wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog steeds zal voldoen aan de geluidseisen;
- Op basis van de ontwikkeling van de spoorvorming gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog steeds zal voldoen aan de eisen voor spoordiepte;
- Aangezien er gedurende twee strenge winters geen voor dit aspect relevante schade zijn ontstaan wordt verwacht dat de voegovergang over tien jaar nog zal voldoen aan eisen voor de dilatatiecapaciteit;
- Op basis van het verloop van de stroefheid in de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog voldoet aan de stroefheidseis;
- Op basis van het verloop van de langs- en dwarsvlakheid in twee jaar wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eisen voor langs- en dwarsvlakheid.

Samengevat wordt verwacht dat de levensduur voor de Prefab Silent Joint minstens tien jaar is en dat de geluidsniveaus binnen deze tien jaar blijven voldoen aan de eisen.

B. De conclusies voor de BrainJoint zijn:

- Op basis van het verloop van het SPB-niveau en de ontwikkeling van de langs- en dwarsvlakheid gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de geluidseisen. Deze verwachting geldt alleen als er geen rafeling zal optreden door de onthechting in de flanken. Indien er naar aanleiding van de onthechting in de flanken wel rafeling gaat optreden, dit met correctief onderhoud moeten worden beperkt;
- Op basis van de ontwikkeling van de spoorvorming gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eis voor spoordiepte;
- Er is flankschade opgetreden (openstaande naad tussen Brugflex en Tweelaags ZOAB);
- Op basis van de ontwikkeling van de stroefheid gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de stroefheidseis;



Afbeelding 52: De Prismo Joint voor afstrooien

- Op basis van het verloop van de langs- en dwarsvlakheid in de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eisen hiervoor.

Samengevat wordt verwacht dat de levensduurverwachting van tien jaar voor de Brainjoint voegovergangen niet wordt gehaald vanwege de dilatatiecapaciteit. Verder wordt ingeschat dat de geluidsniveaus tien jaar na inbouwen nog voldoen aan de geluidseisen. Het voorbehoud dat hieraan wordt gesteld is dat door onthechting van de flanken geen rafeling zal optreden. In het geval dat zich wel rafeling voordoet, is de toename van het SPB-niveau niet te voorspellen.

C. De conclusies voor de KLK Bituvoeg zijn:

- Op basis van het verloop van het SPB-niveau en de ontwikkeling van de langs- en dwarsvlakheid gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat het onzeker is of de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de geluidseisen. Dit komt door een geconstateerde verzakking en scheurvorming tussen de prefab inlegplaten en een verzakking ten opzichte van het aangrenzend asfalt en delaminatie;
- Op basis van de ontwikkeling van de spoorvorming gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eis voor spoordiepte;
- Op basis van de ontwikkeling van de stroefheid gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de stroefheidseis;
- Op basis van het verloop van de bewegingen van de voegovergangen in het kunstwerk gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog voldoende dilatatiecapaciteit heeft. Het is echter anders met de lokale verzakkingen, scheurvorming en delaminatie van het bitumen. Gezien het progressieve karakter van deze inspectiebevindingen wordt verwacht dat deze gedurende de komende acht jaar zullen verergeren en dat in de loop van de tijd eventueel niet meer wordt voldaan aan de eisen die er zijn voor rijcomfort, afwateringscapaciteit en/of duurzaamheid. Op termijn kan de waterdichtheid afnemen en gevolgschade ontstaan ten gevolge van stootbelastingen. De lokale verzakkingen, scheurvorming en delaminatie van het bitumen wijzen erop dat er niet wordt voldaan aan de eisen van de dilatatiecapaciteit;

- Er vindt onthechting van de kop en zijvlak plaats en er zijn onafgedichte zaagsnedes. Het gaat hierbij om lokale schades, die van invloed zouden kunnen zijn op de waterdichtheid. Bij de middenberm zijn frontwand en fundatiesloof bij beide voegovergangen nat door lekkage. Er is mogelijk sprake van loskrimpen van de bitumineuze gietasfaldorpel en onafgedichte zaagsnedes bij de aansluiting op het restant van de oude voegovergang. Bij beide voegovergangen zijn één tot anderhalf jaar na aanleg in het middengebied sporen van waterlekkage aangetroffen, mogelijk als gevolg van lekkage door de verzakking / scheurvorming bij het bitumen tussen de inlegplaten.

Samengevat wordt verwacht dat de KLK Bituvoeg de gevraagde levensduur van tien jaar niet haalt vanwege onvoldoende dilatatiecapaciteit.

D. De conclusies voor de Prismo Joint zijn:

- Op basis van het verloop van het SPB-niveau en de ontwikkeling van de langs- en dwarsvlakheid gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de geluidseisen.
- Op basis van de ontwikkeling van de spoorvorming gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eis voor spoordiepte;
- Aangezien er gedurende twee strenge winters voor dit aspect geen relevante schades gedurende de monitoringsperiode zijn ontstaan, wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eisen voor de dilatatiecapaciteit;
- Op basis van het verloop van de stroefheid gedurende de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de stroefheidseis. Aangenomen wordt dat de waarneming van een lagere stroefheid bij één van de twee ingebouwde voegovergangen tussen de sporen tijdens de meting twee jaar na inbouw een incident is dat met simpel correctief onderhoud kan worden verholpen;
- Op basis van het verloop van de langs- en dwarsvlakheid in de monitoringsperiode wordt verwacht dat de voegovergang tien jaar na aanleg nog zal voldoen aan de eisen hiervoor;
- Bij één van de twee voegovergangen zit plaatselijk betonpuin klem in de verticale voegspleet onder de voegovergang. Dit kan een vrije uitzetting van het rijdek bij verhoging van de temperatuur belemmeren, waardoor onbeoogde spanningen in de constructie kunnen optreden en in die zin voldoet de voegovergang niet aan de eisen.

Samengevat wordt verwacht dat de Prismo Joint een levensduur van tien jaar haalt, mits de geconstateerde gebreken ten aanzien van stroefheid en functioneren (weghalen betonresten uit voegspleet) met eenvoudige correctieve maatregelen worden verholpen. De geluidsniveaus blijven binnen deze tien jaar voldoen aan de eisen.

7. Testresultaten en eindoordeel jury

7.1. Inleiding

In het voorgaande werden de verschillende toegepaste methoden om het presteren van de voegovergangen te beproeven uitgebreid beschreven. Het is interessant om de resultaten van de proeven zowel onderling te vergelijken als met de praktijkproef op de A50.

Vanzelfsprekend biedt een praktijkproef over het algemeen goede mogelijkheden om een bepaalde innovatie te beoordelen. Er kleeft echter één belangrijk nadeel aan: er is nu twee jaar ervaring met de prijswinnende voegovergangen in het verkeer, maar Rijkswaterstaat, en de producenten zelf, willen weten of de innovatieve voegovergangen een levensduur van tien jaar kunnen halen. Er moet dus op basis van de resultaten van de LINTRACK-beproeving, het onderzoek in de bewegingssimulator en twee jaar praktijkervaring een uitspraak worden gedaan over het gedrag van de prijswinnende voegovergangen over tien jaar.

De ingezette proeven hebben een bepaald voorspellend vermogen voor het praktijkgedrag. Met de LINTRACK wordt een zodanige zware verkeersbelasting gesimuleerd bij hoge temperaturen, dat dit overeen komt met meer dan tien jaar praktijkbelasting. Van EMPA is bekend, dat indien een beproefde voegovergang tien cycli in de bewegingssimulator zonder schade overleeft, dit overeen komt met tien Nederlandse winters. De combinatie van beide proeven geeft dus inzicht in tien jaar verkeers- en klimatologische belasting van de voegovergang. Bovendien kan naar aanleiding van het verloop van de gemeten eigenschappen in de A50 worden geëxtrapoleerd naar de te verwachten eigenschappen na tien jaar na inbouwen. Op basis van de uitgevoerde proeven en twee jaar praktijkonderzoek, kan dus een goed beeld worden verkregen van het gedrag van de prijswinnende voegovergangen na tien jaar.

7.2. Voorspellend vermogen van de ingezette proeven

De 3D Eindige Elementen Methode berekeningen hadden als doel om een eerste inzicht te krijgen in de sterke en zwakke punten van het ontwerp van de voegovergang onder verkeersbelasting bij verschillende temperaturen. Omdat het een modelmatige simulatie is, is de methode relatief goedkoop en snel toepasbaar. Een ander voordeel is dat de zwakste onderdelen van de constructie zichtbaar worden, zodat bij het ontwerpen van een innovatieve voegovergang snel duidelijk is naar welk onderdeel de meeste aandacht moet uitgaan. Wanneer men eenmaal een innovatieve voegovergang in een EEM heeft ingevoerd en er blijken zwakke punten in te zitten, is het eenvoudig om bijvoorbeeld bepaalde materialen verbeterde eigenschappen te geven en de berekeningen opnieuw uit te voeren. Ook kunnen bepaalde zwakke constructies eenvoudig worden gewijzigd. Op deze wijze kan dus snel inzicht worden verkregen in hoe de materialen of het ontwerp moet worden verbeterd, zonder dure en tijdrovende proeven uit te voeren.

Voor het met een redelijke mate van exactheid voorspellen van de levensduur in de praktijk onder verkeersbelasting heeft de 3D EEM berekening echter beperkingen. De uitkomsten van een 3D EEM berekening worden vanzelfsprekend in de eerste plaats bepaald door de ingevoerde geometrie en de materiaaleigenschappen. Het blijkt dat aannemers weliswaar over het algemeen een duidelijke geometrie kunnen aanleveren, maar dat het overzicht van materiaaleigenschappen lastiger is. Daarom worden er in de modellering soms aannames gedaan over bijvoorbeeld visco-elastische eigenschappen of over de hechtsterkte tussen verschillende materialen. Onzekerheden over deze eigenschappen zullen tot onbetrouwbare EEM resultaten leiden.



Afbeelding 53: Inbouw KLK Bituvoeg in de A50 bij Nistelrode

In de prijsvraag stille duurzame voegovergangen is de 3D EEM berekening vooral gebruikt om de sterke en zwakke punten van het ontwerp te onderzoeken. Met behulp van de door de inzenders verstrekte gegevens en de EEM resultaten kon de jury in de tweede beoordeling, mede op basis van engineering judgement een keuze maken en de beste vier ontwerpen kiezen. Om in te schatten welke ontwerpen de geringste faalkans hebben in de praktijk is de 3D EEM berekening zeer geschikt en levert veel inzicht in het te verwachten gedrag. De 3D EEM berekening is echter minder geschikt om richtinggevende uitspraken te doen over de exact te verwachten levensduur.

De andere twee toegepaste beproevingen (zie hoofdstuk vier en vijf) zijn:

- LINTRACK: Test bij de TU-Delft op duurzaamheid, waarbij de nadruk lag op weerstand tegen permanente vervorming bij hoge temperaturen;
- Bewegingssimulator: Test op vervorming (herhaald op druk/trek belasten bij lage temperaturen), om de weerstand tegen onthechting en scheurvorming te onderzoeken.

Uit de LINTRACK proef bleek dat het met de temperatuursafhankelijkheid van de referentie bitumineuze voegovergang slecht gesteld was. Bij verhoging van de temperatuur, werd de vervormingsweerstand slechter in vergelijking met de prijswinnende voegovergangen. Uit de proef met de bewegingssimulator bij EMPA bleek de referentie bitumineuze voegovergang ook slecht te scoren, want bij de eerste belastingcyclus bezweek de voegovergang op breuk. De resultaten van de twee proeven bevestigen hiermee de slechte temperatuursafhankelijkheid van de referentie bitumineuze voegovergang, want bij hogere temperaturen was de vervormingsweerstand te laag en bij lagere temperaturen was de breukweerstand te laag. In beide beproevingen scoort de referentie voegovergang als slechtste van alle geteste ontwerpen. Deze resultaten hebben er toe geleid dat de leverancier het ontwerp gaat verbeteren door het toepassen van een verbeterd bindmiddel, met betere eigenschappen voor temperatuursafhankelijkheid.

Bij de vier prijswinnende voegovergangen leiden beide beproevingen tot de volgende conclusie: twee ontwerpen hebben een te verwachten levensduur van minimaal tien jaar. Deze resultaten zijn analoog aan de resultaten van de metingen en de waarnemingen in de praktijkproef op de A50. Beide testmethoden

vullen elkaar aan en hebben beiden een hoge voorspellende waarde voor de te verwachten levensduur in de praktijk. Zowel de BrainJoint als de KLK Bituvoeg kwamen niet zonder schade door de proef met de bewegingssimulator en hadden ook onthechting en scheurvorming in de praktijk. Beide voegovergangen haalden goede resultaten in de LINTRACK, wat overeen kwam met de goede spoorvormingsweerstand in de praktijk. Het feit dat er zich geen grote tegenstrijdigheden voordeden in de resultaten van de twee beproevingen (met ieder een volstrekt andere testopzet), en dat deze resultaten worden onderschreven door de praktijkproef, betekent dat de jury tot een eensluidend helder eindoordeel kon komen.

7.3. Eindoordeel van de jury

Voor een goed onderbouwd oordeel kwam de jury eind 2011 meerdere keren bijeen en werden alle ontwerpen grondig doorgesproken aan de hand van de resultaten van de 3D EEM berekeningen, de LINTRACK-proef, de proef in de bewegingssimulator en de monitoring van de praktijkproef. Op 19 december 2011 kwam de jury tot een eindoordeel, dat is vastgelegd in een juryrapport voor de vier betrokken bedrijven. Ook voor deze derde beoordeling heeft de jury dezelfde beoordelingscriteria en weegfactoren gehanteerd als bij de beoordeling in fase één en twee van de prijsvraag. De Prismo Joint en de Prefab Silent Joint voldoen aan alle gestelde criteria en voldoen aan de eisen van de prijsvraag. De BrainJoint en de KLK Bituvoeg voldoen niet aan alle eisen van de prijsvraag. Per prijswinnende voegovergang volgt hier een beknopte weergave van het juryoordeel.

KLK Bituvoeg

De inschrijving betreft een bitumineuze voegovergang waarbij gebruik wordt gemaakt van platen met een rubberwapening. De rubberversterkte platen worden prefab vervaardigd, zodat de voegovergang snel kan worden ingebouwd en de geluidsemisatie bij inbouw beperkt is. Het versterken van de KLK Bituvoeg tussen het Tweelaags ZOAB met gietasfalt moet bijdragen aan een goede overgang en aanhechting tussen wegdek en voegovergang en de bescherming tegen indringing van water.

Na twee jaar praktijk voldoet de voegovergang aan de eisen voor geluidsreductie. De jury schat in dat op basis van geconstateerde beginnende schade de geluidsproductie van de voegovergang in de tijd mogelijk zal toenemen. In de LINTRACK scoorde KLK voegovergang in vergelijking met de referentie voegovergang beduidend beter en goed in vergelijking met de andere geselecteerde voegovergangen. De KLK is de enige voegovergang waarbij 100.000 wielbelastingen plaatsgevonden hebben.

In de bewegingssimulator blijkt dat het lage temperatuurgedrag van de voegovergang zelf goed is, maar dat het zwakke punt zit in de interface tussen gietasfalt en ZOAB. Er is onthechting ontstaan tussen gietasfalt en ZOAB. Tevens is gedeeltelijke onthechting geconstateerd van het gietasfalt aan het betonnen dek en is er scheurvorming ontstaan in het gietasfalt zelf. Ook in de praktijk op de A50 vertoont de voegovergang schade.

In de praktijk is na twee jaar een goede weerstand tegen permanente vervorming geconstateerd en is de verwachting dat de voegovergang na tien jaar nog aan de eisen voor spoorvorming zal voldoen. Ook voor de dilatatiecapaciteit en stroefheid worden geen problemen verwacht. Echter door geconstateerde onthechting, verzakking en waterlekage is de inschatting van de jury dat de voegovergang in tien jaar tijd twee keer groot onderhoud behoeft. Daardoor scoort de voegovergang qua kosten van aanleg, onderhoud en vervanging slecht.

BrainJoint

De inschrijving betreft de toepassing van een strippenvoeg met een innovatieve overbrugging van de voegspleet. Een hoge spoorvormingsweerstand in verticale richting en goede flexibiliteit van het Brugflex mengsel in horizontale richting maken het ontwerp interessant. De rekspreidende inlage, die over de waterdichte asfaltlaag met voegspleet is aangebracht, moet ervoor zorgen dat de spanningen en rekken ter plaatse van de dilatatie over een groter oppervlak worden verspreid. Het geïntegreerd aanbrengen van de voegovergang met de asfaltconstructie kan relatief snel worden uitgevoerd, waardoor weinig overlast wordt veroorzaakt tijdens inbouw.



Afbeelding 54: Inbouw van de BrainJoint in de A50 bij Nistelrode

Na twee jaar praktijk voldoet de voegovergang aan de eisen voor geluidsreductie. De jury schat in dat, als er zich geen verdere schade ontwikkelt, de voegovergang ook na tien jaar nog aan de eisen voor geluidsreductie zal voldoen. In de LINTRACK heeft de BrainJoint in vergelijking met de referentie voegovergang een betere spoorvormingsweerstand, maar presteert minder ten opzichte van de andere geteste ontwerpen. Met name is er een progressief vervormingsverloop geconstateerd tussen de 80.000 en 89.000 belastingsherhalingen. Aangezien 80.000 lastherhalingen in de LINTRACK gelijk gesteld worden met een te verwachten levensduur van tien jaar in de praktijk, is dit voldoende. Dit wordt ook bevestigd door extrapoleren van de spoordieptemetingen van de eerste twee jaar in de A50.

In de bewegingssimulator van EMPA is meteen al tijdens de eerste belastingscyclus schade ontstaan in de vorm van scheurvorming en onthechting. Op basis van de resultaten van de proef in de bewegingssimulator voldoet de voegovergang niet aan de eis van 20 mm horizontale verplaatsing in de rijrichting.

Omdat het geen zin had om een tweede proefstuk met dezelfde proefcondities te beproeven, heeft de aannemer de gelegenheid gekregen voor aanvullend onderzoek bij EMPA. Proeven op het tweede proefstuk lieten zien dat de voegovergang tien cycli met een maximale horizontale beweging in de rijrichting van 4 en 6 mm kan ondergaan zonder dat er schade optreedt. Dit betekent dat de voegovergang in de praktijk een maximale horizontale verplaatsing van 10 mm in de rijrichting aan zou kunnen zonder schade. Het toepassingsgebied van deze voegovergang is daardoor beperkter.

Wat betreft stroefheid worden geen problemen verwacht. Echter door geconstateerde scheurvorming en onthechting tussen voegovergang en Tweelaags ZOAB is de inschatting van de jury dat de voegovergang in tien jaar tijd één keer groot onderhoud behoeft. Daardoor is de BrainJoint in tien jaar niet onderhoudsvrij en scoort het ontwerp wat betreft kosten van aanleg, onderhoud en vervanging slecht.

Prefab Silent Joint

De belangrijkste innovatie zit in het prefabriceren van de bestaande Silent Joint. Hierdoor is er minder geluidsproductie bij het inbouwen van de voegovergang. Wel moet er nog geboord worden voor de chemische ankers. Ook versnelt door prefab de inbouw waardoor er minder hinder is voor het wegverkeer.

Het onderhoud aan de voegovergang kan na tien jaar vrij eenvoudig worden uitgevoerd door alleen het voegmateriaal boven de veerpakketten te frezen en te vernieuwen.

Na twee jaar praktijk voldoet de voegovergang aan de eisen voor geluidsreductie. De jury schat in dat de voegovergang na tien jaar nog aan de eisen voor geluidsreductie zal voldoen. In de LINTRACK heeft de voegovergang een goede spoorvormingsweerstand. In de bewegingssimulator van EMPA is er na tien cycli geen schade geconstateerd en kan de voegovergang dus probleemloos horizontale bewegingen van 20 mm in de rijrichting in winterse omstandigheden opnemen.

Zowel in de LINTRACK- als in de praktijkproef bleek de Prefab Silent Joint een goede weerstand tegen permanente vervorming te hebben. De verwachting is dan ook dat de voegovergang na tien jaar nog aan de eisen voor spoordiepte zal voldoen. De stroefheid is over het algemeen goed en de verwachting is dat de eis hiervoor ook na tien jaar wordt gehaald.

Op basis van het goede gedrag van de voegovergang schat de jury in dat er in tien jaar geen onderhoud nodig is. Hoewel wordt ingeschat dat de voegovergang in tien jaar geen onderhoud behoeft en na tien jaar beperkt onderhoud nodig heeft (vervangen van alleen de bovenste 30 mm) worden de kosten van aanleg en vervanging als matig beoordeeld vanwege de hogere aanlegkosten.³

Prismo Joint

De Prismo Joint, die in drie lagen wordt opgebouwd, bevat een verbeterd bindmiddel en een geogrid tussen de eerste en tweede laag. De geluidsoverlast tijdens het inbouwen is beperkt, omdat er bijvoorbeeld niet geboord hoeft te worden. Ook zijn de kosten ten opzichte van de huidige voegovergangen relatief laag.

Na twee jaar praktijk voldoet de voegovergang aan de eisen voor geluidsreductie. De eis voor de geluidsreductie voor lichte motorvoertuigen boven het kunstwerk wordt weliswaar maar net gehaald, maar omdat het verloop van de geluidsreductie in de tijd vrij constant is, schat de jury in dat ook na tien jaar deze geluidseis wordt gehaald. De jury heeft hier mede vertrouwen in omdat de ontwikkeling van de spoordiepte in de tijd alleen in de beginfase plaatsvond en dat er daarna nagenoeg geen spoorgroei meer heeft plaats gevonden. De verwachting is dat de voegovergang na tien jaar nog aan de eisen voor spoorvorming zal voldoen.

In de LINTRACK heeft de voegovergang een zeer goede spoorvormingsweerstand. In de bewegingssimulator van EMPA is er na tien cycli geen schade geconstateerd en kan de voegovergang horizontale bewegingen van 20 mm in de rijrichting in winterse omstandigheden probleemloos opnemen.

De stroefheid is over het algemeen goed. Een van de twee voegovergangen voldoet echter na twee jaar tussen de rijsporen net niet aan de eis hiervoor. De jury is van mening dat hier iets vreemds aan de hand is, want de mate van achteruitgang in stroefheid in de tijd is in de rijsporen normaal gesproken sterker dan tussen de rijsporen. Mogelijk is hier sprake van een meefout of is lagere stroefheid veroorzaakt door externe factoren (bijvoorbeeld lekvloeistoffen). Mocht de oorzaak van de lagere stroefheid wel aan de voegovergang liggen, dat is dit snel met een relatief goedkope correctieve onderhoudsmaatregel te verbeteren.

Op basis van het goede gedrag van de voegovergang schat de jury in dat er verder in tien jaar geen groot onderhoud nodig is. Door de lage inbouwkosten en het feit dat er binnen tien jaar geen groot onderhoud nodig is, scoort de voegovergang wat betreft kosten van aanleg, onderhoud en vervanging zeer goed.

De jury beveelt aan om de Prismo Joint en de Prefab Silent Joint te laten opnemen in de Meerkeuzematrix voegovergangen van het Platform voegovergangen en Opleggingen van CUR Bouw & Infra (zie paragraaf 8.2). De twee aannemers met de ontwerpen die voorsnog niet in de Meerkeuzematrix worden opgenomen hebben inmiddels aangekondigd hun producten zodanig aan te passen dat deze alsnog kunnen worden voorgedragen.

³ Na de laatste jurybeoordeling heeft Salverda aangegeven de aanlegkosten van de Prefab Silent Joint te kunnen verlagen.

De KLK Bituvoeg wordt momenteel getest met een verbeterd bindmiddel. Ook wordt gekeken hoe de problemen met aanhechting van gietasfalt aan ZOAB zijn op te lossen. Mochten er goede oplossingen komen voor de geconstateerde problemen en kunnen deze verbeteringen in voldoende mate worden aangetoond, dan kan de KLK Bituvoeg in de Meerkeuzematrix worden opgenomen.

Met de BrainJoint wordt met twee kunstwerken in de A12 in een proeffase verder ervaring opgedaan door verbeteringen door te voeren. Om onthechting in de flanken tussen Tweelaags ZOAB en het brugflexmengsel te voorkomen, wordt de Brugflex deklaag van de BrainJoint over het gehele kunstwerk aangebracht. Hierbij gaat tijdens verwerken ter plaatse van de overgang weg/kunstwerk het deklaagmengsel geleidelijk over van topklaag Tweelaags ZOAB naar brugflexasfalt. De verwachting is dat hiermee de problemen met de flanken zijn verholpen. Om de scheurvorming ter hoogte van de voegspleet aan het oppervlak van het brugflexmengsel te voorkomen, wordt het brugflexmengsel daar plaatselijk licht ingezaagd en wordt de zaagspleet gevuld met een flexibele voegvulmassa. Zo wordt voorkomen dat er daar een scheur gaat ontstaan. Mocht uit de proeffase blijken dat met de genoemde verbeteringen de problemen met scheurvorming boven de voegspleet en onthechting in de flanken zijn opgelost, dan kan ook de BrainJoint in de Meerkeuzematrix worden opgenomen. Het feit blijft dat de BrainJoint niet geschikt is voor langere kunstwerken, want uit de bewegingssimulatorproeven is gebleken dat de BrainJoint maar een maximale horizontale verplaatsing van 10 mm kan opnemen zonder schade.

8. Stille duurzame voegovergangen in de praktijk van Rijkswaterstaat

8.1. Inleiding

Het feit dat de jury aanbeveelt om twee ontwerpen op te nemen in de Meerkeuzematrix voegovergangen betekent dat in de toekomst deze stille duurzame voegovergangen kunnen worden toegepast in de reguliere aanbestedingspraktijk van Rijkswaterstaat. In dit hoofdstuk belichten we een aantal aspecten die in de toekomst relevant zijn, zoals:

- Wanneer hebben stille duurzame voegovergangen de voorkeur;
- Wat zijn mogelijke besparingen;
- Hoe komen ze in contracten;
- Hoe gaat Rijkswaterstaat om met toekomstige nieuwe aanbieders en/of producten?

8.2. Meerkeuzematrix voegovergangen

Om het optimale type voegovergang voor een bepaalde situatie in een kunstwerk te kunnen kiezen is de Meerkeuzematrix voegovergangen opgesteld⁴. De Meerkeuzematrix is ingedeeld naar productfamilies. De prestaties van ieder type voegovergang zijn weergegeven per functie (volgens de NBD00400) en kwaliteit: betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid (reinigingsmogelijkheid en vervanging) en veiligheid. Daaraan gekoppeld zijn factsheets met nadere informatie over de voegconstructies uit de matrix. De matrix is een hulpmiddel voor de aannemer om de keuze voor een bepaalde voegovergang per specifieke situatie of specifiek object te kunnen maken. De Meerkeuzematrix werkt met vier stappen om te komen tot de meest geschikte en gewenste toepassing:

1. Invullen checklist;
2. Vaststellen gewenste functies en levensduur;
3. In de matrix opzoeken van de meest geschikte en gewenste types voegovergang;
4. Op basis van de vraagspecificatie en bedrijfseigen interne procedures kiezen van de meeste geschikte toepassing.

Door de uitspraak van de jury worden twee ontwerpen van stille duurzame voegovergangen vrijgegeven voor brede toepassing en door het Platform Voegovergangen en Opleggingen (PVO) opgenomen in de Meerkeuzematrix. Het PVO is een initiatief van CUR Bouw & Infra, CROW en Rijkswaterstaat, en vormt het landelijk kenniscentrum op het gebied van voegovergangen, opleggingen en tijdelijke bruggen. Het PVO doet onderzoek, geeft voorlichting, zorgt voor praktische richtlijnen en adviseert.

⁴RWS Dienst Infrastructuur: 'Meerkeuzematrix Voegovergangen met factsheets' Dit document is, naast andere hier genoemde documenten, te downloaden op www.pvo-nl.eu



Afbeelding 55: Inbouw van de Prismo Joint in de A50 bij Nistelrode

8.3. Wanneer hebben stille duurzame voegovergangen de voorkeur?

Stille duurzame voegovergangen zijn een belangrijke verbetering wat betreft levensduur ten opzichte van traditionele bitumineuze voegovergangen. Ze zijn echter geen goed alternatief voor geluidsreducerende harde voegovergangen met een levensduur van 20 jaar of langer en die een grotere horizontale beweging aan kunnen. Niet in alle situaties zijn stille duurzame voegovergangen dus een zinvol alternatief.

Toepassing van stille duurzame voegovergangen is meestal niet zinvol als:

- Het aspect geluidsoverlast geen belangrijke rol speelt, zodat ook een harde geluidsreducerende voegovergang kan worden toegepast;
- De horizontale verplaatsingen te groot zijn: voor de stille duurzame voegovergangen kunnen op basis van de prijsvraag geen uitspraken worden gedaan over horizontale verplaatsingen groter dan 20 mm. Hoewel sommige aannemers meer dan 20 mm claimen kan dit (met uitzondering van de Silent Joint die aanvullend is beproefd) niet worden gestaafd door het uitgevoerde onderzoek;
- De restlevensduur van het aanliggende asfalt zodanig kort is (bijvoorbeeld twee jaar) dat het inbouwen van een traditionele bitumineuze voegovergang kosteneffectief is. Als dan na twee jaar het aanliggende asfalt wordt vervangen, is het aan te bevelen om een stille duurzame voegovergang toe te passen.

Wat betreft het laatste: het doel is dat de onderhoudscyclus van stille duurzame voegovergangen gelijk wordt aan die van het omliggende wegdek. De meeste kostenbesparing en de meeste reductie van verkeershinder worden immers bereikt als het vervangen van de voegovergang samenvalt met onderhoud aan de weg. Als een bepaald wegvak bijvoorbeeld volgens de Meerjaren Planning Verhardingsonderhoud (MJPV) over twee of drie jaar op de rol staat voor onderhoud (deklaag uit/in) is het kosteneffectiever om een traditionele bitumineuze voegovergang toe te passen.

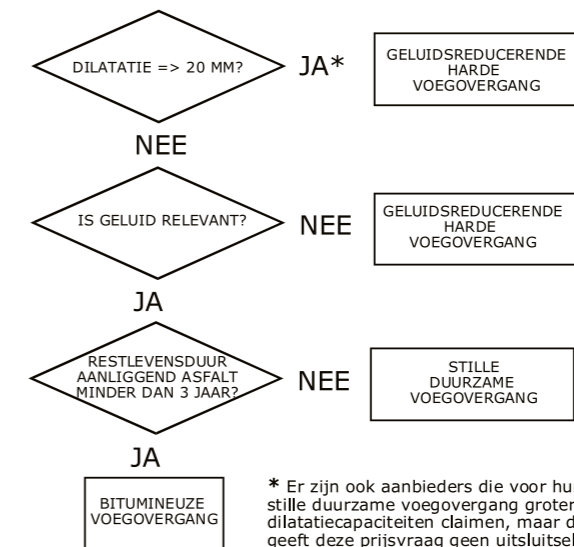
Ter illustratie geldt afbeelding 56. De grootste kostenbesparing wordt bereikt als de groene blokjes (inbouwen stille duurzame voegovergang) samenvallen met het onderhoud in de paarse blokjes. Als een bestaande bitumineuze voegovergang vervangen moet worden in een wegvak met een beperkte restlevensduur, voegt een stille duurzame voegovergang niets toe aan de beperking van verkeershinder en is duurder dan de traditionele oplossing.



Afbeelding 56: Gelijk maken van de onderhoudscyclus voegovergangen en wegdek

In afbeelding 57 is op hoofdlijnen weergegeven wat het toepassingsgebied is van stille duurzame voegovergangen. De beslisboom is slechts een grove weergave van de overwegingen die een rol spelen bij de keuze voor een bepaalde oplossing. Voor de details in een specifieke situatie biedt de Meerkeuzematrix voegovergangen onderbouwing voor de optimale oplossing.

BESLISBOOM TYPE VOEGOVERGANG OP HOOFDLIJNEN



Afbeelding 57: Wanneer welke voegovergang: beslisboom op hoofdlijnen

8.4. Mogelijke besparingen voor RWS

De besparingen die stille duurzame voegovergangen kunnen opleveren zijn geïllustreerd door de intervallen waarmee de rode en blauwe blokjes samenvallen in afbeelding 56. De besparingen ten opzichte van traditionele bitumineuze voegovergangen bestaan dus grosso modo uit tweederde minder vervangingen gedurende de levensduur van het aanliggend ZOAB. De kosten voor de vervanging van een voegovergang bestaan uit drie componenten: materiaal en productiekosten; verkeersmaatregelen en de maatschappelijke kosten in termen van voertuigverliesuren. Vaak zijn de kosten voor de verkeersmaatregelen vergelijkbaar of zelfs hoger dan de aanlegkosten zelf.

In Nederland bevinden zich in het hoofdwegennet in totaal zo'n 4000 kunstwerken. In totaal betreft het circa 145 km aan voegovergangen (streckende meters). Circa 55 km daarvan betreft voegovergangen met een dilatatie van maximaal 20 mm (het criterium in de prijsvraag).

Categorie	Dilatatie per voegovergang	Globale maximale lengte van het brugdek bij twee voegovergangen	Aantal km voegovergang
1	< 10 mm	33 meter	20
2	10 – 20 mm	66 meter	35
3	20 – 30 mm	100 meter	40
4	30 - 100 mm	330 meter	35
5	100 – 200 mm		11
6	> 200 mm		4
		Totaal	Circa 145 km

Tabel 18: De verschillende dilatatiecategorien van voegovergangen in het hoofdwegennet

Binnen de categorieën 1, 2 en 3 (zie tabel 18) bestaat ruim 21% uit (traditionele) bitumineuze voegovergangen en bijna 58% uit harde voegovergangen (constructies met staal of staal en rubber). De resterende 20% betreft onder meer kunsthars, beton en staalvezelbeton.

Om een idee te geven van de kosten die zijn gemoeid met alleen al de vervanging van bitumineuze voegovergangen: in 2012 staat in totaal in het hoofdwegennet zeven kilometer voegovergang in de planning voor vervanging, waarvoor een bedrag staat gereserveerd van ruim 6,7 miljoen euro. (Inclusief sloop oude voegovergangen en benodigde verkeersmaatregelen.) Voor het totaal te vervangen areaal aan voegovergangen is in 2012 circa 20 miljoen euro gereserveerd.

Er is een eerste aanzet gedaan om door middel van een LCC berekening de besparing van stille duurzame voegovergangen ten opzichte van traditionele bitumineuze voegovergangen voor de levensduur van een kunstwerk inzichtelijk te maken. Om hiervan een idee te krijgen wordt als voorbeeld een standaard kunstwerk genomen met een deklengte globaal 66 meter (dilatatie in de voegovergangen tot 20 mm). Doorgaans betreft dat twee afzonderlijke dekken (één per rijbaan) met vier maal 15 meter (rijbaan breedte) voegovergang, dus in totaal 60 meter voegovergang. De kosten van aanleg van een stille duurzame voegovergang zijn ruwweg anderhalf keer zo hoog als die van een traditionele bitumineuze voegovergang. Maar door het sterk verminderde onderhoud zijn de langjarig gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten ruim 40% lager.

Tegenover de hogere initiële aanlegkosten van een stille duurzame voegovergang staan dus de besparingen gedurende de levensduur waardoor de oplossing aanmerkelijk kosteneffectiever is dan de traditionele bitumineuze voegovergang. Daarbij kan nog worden opgemerkt dat deze besparingen puur de begroting van Rijkswaterstaat betreffen. Besparingen door andere overheden en het maatschappelijk rendement als gevolg van minder verkeershinder (minder voertuigverliesuren) is buiten beschouwing gelaten.

Kortom: voor een aanzienlijk deel van het areaal aan voegovergangen (dilatatiecategorie 1 en 2) betekent het beschikbaar komen van stille duurzame voegovergangen een significante besparing voor Rijkswaterstaat: ruim 40% in een langjarig gemiddelde. Om die besparing te realiseren moet er echter initieel wel eerst een hogere investering worden gedaan omdat de aanleg van een stille duurzame voegovergang ruwweg anderhalf keer duurder is dan de traditionele bitumineuze oplossing. Budgettechnisch (zeker in een tijd van versobering) is het daarom van groot belang om LCC als uitgangspunt te nemen: om de initiële kosten te dekken zullen budgetten naar voren moeten worden gehaald.

8.5. Stille duurzame voegovergangen en het modelbestek

Door de beschikbaarheid van stille duurzame voegovergangen hoeven bestaande teksten in RWS prestatiebestekken niet te worden aangepast. In de bestekken zijn voor (traditionele) stille voegovergangen twee zaken van belang: de geluidseisen en de duurzaamheid c.q. de van de aannemer te verlangen garantietermijn.

Geluid

Wat betreft de geluidseisen: in het bestaande modelbestek wordt voor voegovergangen verwezen naar de NBD00401. Daarin zijn de eisen voor de geluidsreductie nader gespecificeerd. Aangezien de geluidseisen onafhankelijk zijn van de keuze van de soort voegovergang, maar afhankelijk van de geluidsreductie van het aanliggende asfalt, blijven de bepalingen in het bestek gelijk.

Duurzaamheid

Ten aanzien van de duurzaamheid: in de gehanteerde RWS bestekken wordt gesteld dat de duurzaamheid van bitumineuze voegovergangen een aan te tonen levensduur van ten minste zeven jaar moet bedragen. Dergelijke garanties worden door aannemers gegeven, ondanks het feit dat traditionele bitumineuze voegovergangen de zeven jaar levensduur gemiddeld geenszins halen. De oorspong van de zeven jaar garantietermijn ligt in de eis die gesteld wordt aan de garantie voor ZOAB en ZOAB+ deklagen: deze bedraagt in het modelbestek ook zeven jaar, bij een technische ontwerp levensduur van respectievelijk 12 jaar en 14 jaar voor de rechter rijstrook.

Nu innovatieve stille duurzame voegovergangen op de markt beschikbaar komen, ligt het voor de hand om de garantietermijn op zeven jaar te houden en ook te handhaven. Immers, het doel van de prijsvraag stille duurzame voegovergangen was dat de onderhoudscyclus van stille duurzame voegovergangen gelijk wordt aan die van het wegdek. Overigens staat het een aannemer vanzelfsprekend vrij om in een aanbidding een garantietermijn van meer dan zeven jaar te verlenen. Dit zou bijvoorbeeld in een EMVI extra kunnen worden gewaardeerd.

Tenslotte zijn er in het bestek nog aanvullende functionele eisen (paragraaf 33.2.3) geformuleerd voor bitumineuze voegconstructies, die eveneens van toepassing blijven voor stille duurzame voegovergangen:

- | | |
|---|--|
| 1 | De stroefheid van voegconstructies met een breedte in rijrichting van meer dan 200 mm, bepaald volgens proef 76 van de Standaard RAW Bepalingen 2005: ≥ 45 . |
| 2 | Maximaal toegestane afwijking in dwarsvlakheid van voegconstructies, gemeten met een mal, een rei of rolrei van 3 m lengte: <ul style="list-style-type: none"> bij de oplevering: ≤ 5 mm; gedurende de garantieperiode: ≤ 18 mm. |
| 3 | Scheurvorming: <ul style="list-style-type: none"> bij de oplevering: mag niet voorkomen; gedurende de garantieperiode: $\leq 0,2$ mm. |
| 4 | Materiaalverlies en/of tekenen van onthechting bij oplevering of gedurende de garantieperiode mogen niet voorkomen |

Tabel 19: Aanvullende eisen bitumineuze voegconstructies (Modelbestek 33.2.3.)

Conclusie: voor het toepassen van stille duurzame voegovergangen in de praktijk van Rijkswaterstaat hoeft het modelbestek variabel onderhoud asfaltverhardingen niet te worden aangepast. De geluidseisen zijn analoog aan die van bitumineuze voegovergangen. Voor de levensduur geldt eenzelfde minimum garantietermijn (zeven jaar) als bij ZOAB en ZOAB+ deklagen.

8.6. Licenties

Nu er twee ontwerpen voor stille duurzame voegovergangen in de Meerkeuzematrix voegovergangen opgenomen gaan worden, rijst de vraag of er daardoor niet bijkans een monopoliepositie ontstaat voor de twee aanbieders. Rijkswaterstaat moet hier niet alleen zorgvuldig en juridisch adequaat mee omgaan, maar heeft er, net als de hele markt, baat bij als er zoveel mogelijk aanbieders komen. In dit licht is van belang dat de twee andere aanbieders werken aan verbetering van hun ontwerp zodat ook die stille duurzame voegovergangen voor de Meerkeuzematrix kunnen worden voorgedragen. En als spin off van de prijsvraag werken ook niet-prijswinnaars hun concepten verder uit en doen andere marktpartijen onderzoek om ook



Afbeelding 58: Inbouw van de Prefab Silent Joint in de A50 bij Nistelrode

aan de eisen voor stille duurzame voegovergangen te kunnen voldoen. Binnenkort komen dus meer aanbieders van stille duurzame voegovergangen op de markt.

Voor de ondernemer is het van belang om een innovatie te kunnen afschermen tegen concurrentie van anderen. Op deze wijze kan de investering voor de ontwikkeling van de stille duurzame voegovergang worden terugverdiend. Oplossingen die nieuw zijn naar de stand der techniek zijn te beschermen door een octrooi⁵. Het gaat dan met name om de toe te passen technieken en materialen. Het is voor Rijkswaterstaat vanzelfsprekend verboden om in een aanbesteding technische specificaties op te nemen die verwijzen naar bepaalde octrooien. (Aanbestedingsrichtlijn art 23 lid 85.) Daarnaast is het ook een zaak van de markt zelf om in de toekomst vrije en zuivere concurrentie veilig te stellen.

In het document 'Rijkswaterstaat en innovaties: de spelregels'⁶ wordt gesteld: 'Omdat naast de innovatie vrijwel altijd een conventionele oplossing voorhanden is, zal door een octrooi nooit een monopoliepositie ontstaan.' In het geval van de voegovergangen is het echter te voorzien dat de conventionele oplossing vooral nog zal worden ingezet om de levenscyclus van de voegovergang aan te laten sluiten bij het interval van het groot onderhoud van het omliggend asfalt. (Zie paragraaf 8.3.) Gezien de kostenbesparingen en de reductie van verkeershinder zal 'stil duurzaam' grote voorkeur krijgen boven 'traditioneel stil'. Een contracteis van bijvoorbeeld zeven jaar garantie is dan wel in letterlijke zin geen (of verwijzing naar een) technische specificatie, maar komt vooralsnog de facto neer op één van de twee ontwerpen uit de keuzematrix. Een aantal factoren kan bijdragen aan het tegengaan van ongewenste monopolisering in de markt voor voegovergangen, we behandelen hier beknopt:

- Moderne contractvormen;
- Subcontracting;
- Open licenties.

⁵ De houder van een octrooi heeft het uitsluitend recht: A. het geoctrooieerde voortbrengsel in of voor zijn bedrijf te vervaardigen, te gebruiken, in het verkeer te brengen of verder te verkopen, te verhuren, af te leveren of anderszins te verhandelen, dan wel voor een of ander aan te bieden, in te voeren of in voorraad te hebben; en B. de geoctrooieerde werkwijze in of voor zijn bedrijf toe te passen of het voortbrengsel, dat rechtstreeks verkregen is door toepassing van die werkwijze, in of voor zijn bedrijf te gebruiken, in het verkeer te brengen of verder te verkopen, te verhuren, af te leveren of anderszins te verhandelen, dan wel voor een of ander aan te bieden, in te voeren of in voorraad te hebben. (Rijsoctrooiwet 1994)

⁶ Meest recente versie: 'Rijkswaterstaat innovations: The Guidelines. Description of the current procedures', December 2010. Zowel de Nederlandse als Engelstalige versie zijn te downloaden op de website van RWS.

Moderne contractvormen

Er bestaat een heel scala aan wetgeving op het gebied van aanbestedingsrecht waarbij het Aanbestedingsreglement Werken (ARW) de belangrijkste is. De aanbesteding van werkzaamheden gebeurt inmiddels op een relatief hoog abstractieniveau, door functioneel te specificeren. Uitgangspunt is het wegen van de Life Cycle Costing (LCC). Daaronder verstaan we de kosten die optreden gedurende de hele levenscyclus van een project. Voor Rijkswaterstaat zijn dit de kosten van aanleg, beheer en onderhoud en vervanging van de verschillende soorten infrastructuur. Bij voegovergangen zijn met name de innovatieve contractvormen DBM en DBFM relevant. Immers: het doel van stille duurzame voegovergangen is dat de onderhoudscyclus gelijk wordt aan die van het wegdek. Dat betekent concreet dat stille duurzame voegovergangen in de toekomst niet afzonderlijk worden aanbesteed, maar onderdeel zijn van de aanbesteding van het groot onderhoud. Het staat aannemers in dat geval vrij om zelf licenties te verwerven of subcontracting toe te passen.

Subcontracting

Subcontracting komt veel voor in de bouw en ook bij de aanleg of vervanging van verhardingen. Bijvoorbeeld door het freeswerk door een onderaannemer uit te laten voeren, of de montage van geleiderails en portalen. Ook in de huidige situatie worden voegovergangen vaak door een (gespecialiseerde) onderaannemer ingebouwd. Wanneer groot onderhoud als geheel wordt aanbesteed is het bestaan van een beperkt aantal aanbieders voor een onderdeel van het werk (in dit geval voegovergangen) veeleer een probleem voor de markt zelf dan voor Rijkswaterstaat.

Licenties

Ook de markt zelf erkent dat monopolisering door octrooien op innovaties uiteindelijk niet is gewenst voor de sector als geheel. Op 1 november 2007 is het Convenant Intellectueel Eigendom (Bloemblad Bouw⁷), getekend, onder meer door de voorzitter van Bouwend Nederland. Een relevante passage in dat convenant gaat over het beschermen en delen van kennis:

'Als samenwerkingspartners scheppen we de mogelijkheid om octrooirechten op een respectvolle manier aan elkaar beschikbaar te stellen. Dit kan door een systeem van open licenties dat de belangen dient van zowel de overheid als de samenwerkende bedrijven. Concreet betekent dit dat bedrijven hun octrooien, modelrechten of auteursrechten op het werk, in licentie aan elkaar of aan de Nederlandse overheid beschikbaar kunnen stellen, tegen een redelijke vergoeding.

Werken met open licenties vraagt om een overheid die uitdagingen formuleert met ruimte voor innovatief ondernemerschap, en hiervoor ook beloont. Tegelijkertijd leert het bedrijfsleven inzien, dat het op de lange termijn loont om octrooieerbare ideeën te ontwikkelen. En dat open licenties mogelijkheden bieden om goede ideeën breed toe te passen. Dit kan zijn bij prijsvragen, maar ook bij nieuwe kennis of innovaties gedurende lopende projecten: de uitvinder presenteert zijn intellectueel eigendom en de uitvoerder, wellicht dezelfde, maar in elk geval de beste partij, gaat ermee aan de slag. Zo profiteert de samenleving optimaal van de inbreng van alle partijen. Hier staan we voor en gaan we voor:

- In de GWW-sector streven we naar evenwicht tussen kennis beschermen en kennis delen;
- We handelen met respect voor elkaars intellectueel eigendom (vertrouwelijke ideeën, kennis en octrooien);
- We bevorderen het ter beschikking stellen van octrooien, modelrechten en auteursrechten via open licenties, tegen een billijke vergoeding aan de rechthebbende. Op die manier kunnen we innovaties vaker toepassen, met respect voor de belangen van de overheid en de rechthebbende.'

Een systeem van open licenties dient de belangen van de samenwerkende bedrijven in de GWW-sector. Concreet betekent het dat bedrijven hun octrooien, modelrechten of auteursrechten op het werk, in licentie aan elkaar beschikbaar kunnen stellen, tegen een redelijke vergoeding.

⁷ Bloemblad Bouw 'Convenant Intellectueel Eigendom', uitgave 8 augustus 2007 (Te downloaden op www.gww-ie.nl)



Afbeelding 59: Inbouw van de KLK Bituvoeg in de A50 bij Nistelrode

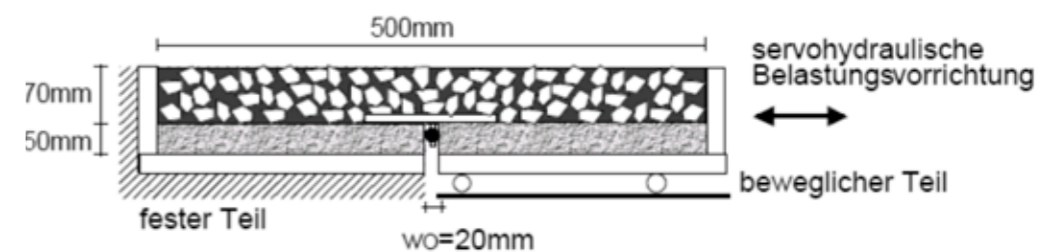
8.7. Nieuwe producten en validatie

Sinds de prijsvraag stille duurzame voegovergangen is de markt in beweging geraakt. Wanneer de toepassing van stille duurzame voegovergangen gebruikelijk wordt binnen de praktijk van Rijkswaterstaat, zullen zich ongetwijfeld aanbieders met nieuwe ontwerpen aandienen. Het simpelweg afgeven van een levensduurgarantie door de aannemer is dan echter niet genoeg. Bij vroegtijdig falen van een voegovergang zijn de consequenties (kosten, verkeershinder, verkeersonveiligheid, imagoschade) immers vooral voor Rijkswaterstaat. Daarom zal een nieuw ontwerp gevalideerd moeten worden voordat het kan worden toegepast in de praktijk.

In sommige gevallen kan het gaan om een voegovergang die zich in het buitenland onder met Nederland vergelijkbare condities (klimatologisch, verkeersintensiteiten) reeds heeft bewezen. Feitelijk heeft beproeving dan al plaats gevonden in een ander land waardoor validatie voor de Nederlandse situatie eenvoudiger kan worden.

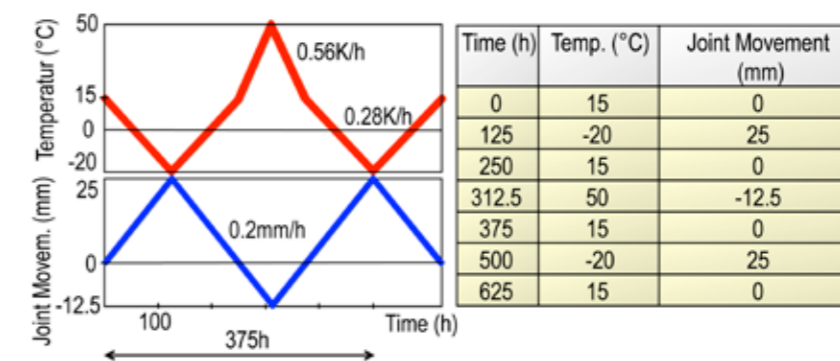
Voor de technische validatie van volledig nieuwe innovatieve stille duurzame voegovergangen zijn twee aspecten van centraal belang: geluid en duurzaamheid. Een nieuw product zal waarschijnlijk niet alle testen kunnen doorlopen die de geselecteerde ontwerpen ondergingen. De LINTRACK en in mindere mate de bewegingssimulatorproef zijn voor één ontwerp relatief erg duur. De te kiezen werkwijze voor validatie van nieuwe stille duurzame voegovergangen is mede afhankelijk van de aard van het ontwerp en dus maatwerk. Daartoe staan drie sporen ter beschikking: laboratoriumonderzoek, modelberekening en praktijkproeven.

Voor het uit te voeren laboratorium onderzoek moet een alternatief worden gevonden voor de LINTRACK en bewegingssimulator. Momenteel wordt door Rijkswaterstaat DVS en een marktpartij ervaring opgedaan met de zogenaamde rek/stuik vermoeiingsproef van de Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) te Berlijn. De proefopstelling is weergegeven in afbeelding 60.

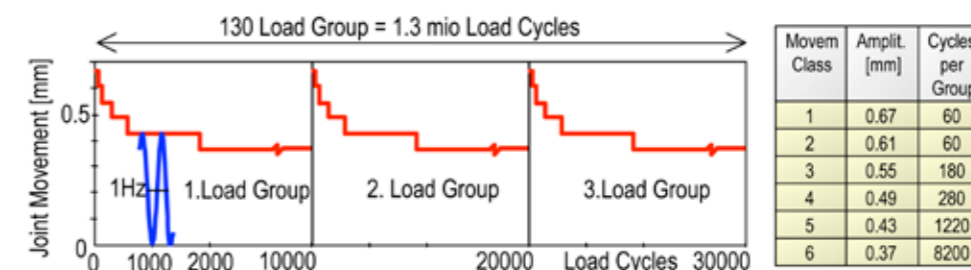


Afbeelding 60: Schematische weergave van de rek/stuik vermoeiingsproef. (Bron: BAM)

Met deze proef wordt een bitumineuze voegovergang onder herhaalde belasting (bijvoorbeeld rek en stuik ten gevolge van temperatuurveranderingen en verkeer) met behulp van een vermoeiingsproef onderzocht, conform de "Technische Prüfvorschriften für Fahrbahnübergänge aus Asphalt TP-BEL-FÜ. De proef bestaat uit twee delen: een rekgestuurde thermische vermoeiingsproef, waarbij de temperatuur periodiek verandert, en een rekgestuurde mechanische vermoeiingsproef bij constante temperatuur. Met deze proef wordt in tegenstelling tot de bewegingssimulator van EMPA veel meer de praktijk gesimuleerd. Zoals te zien in afbeelding 61 wordt bij lage temperaturen aan de voegovergang getrokken en bij hoge temperaturen wordt deze weer in zijn oorspronkelijke afmeting teruggebracht. Ook het vermoeien van de voegovergang gaat zeer realistisch, de belastingscyclus is weergegeven in afbeelding 62.

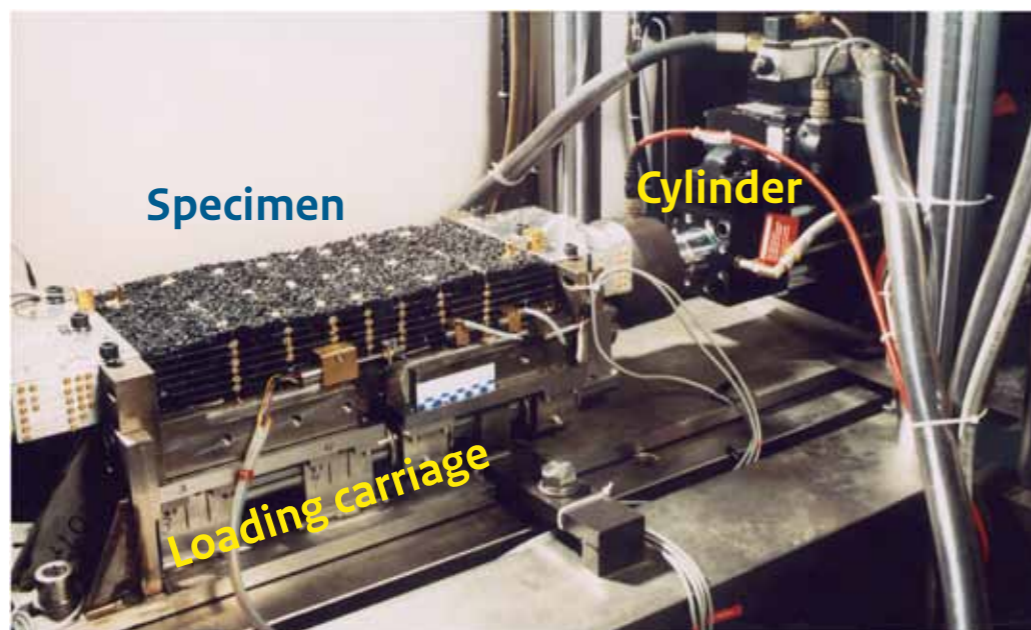


Afbeelding 61: Belastingscyclus van de thermisch-mechanische vermoeiingsproef.



Afbeelding 62: Belastingscyclus van de vermoeiingsproef.

De proef speelt een belangrijke rol in Duitsland voor het behalen van een zogenaamde 'Zulassung' voor bitumineuze voegovergangen. Voor het verplicht stellen van deze proef waren er in Duitsland vele mislukkingen met bitumineuze voegovergangen. Na het verplicht stellen van de Zulassung met behulp van de BAM proef is het aantal mislukkingen enorm afgenomen. Een nadeel van de proef is de beperkte omvang van de proefstukafmetingen (afmetingen L x B x H = 500 x 235 x 70 mm), zodat niet alle innovatieve voegovergangen kunnen worden beproefd. Om deze reden is in de prijsvraag gekozen voor de bewegingssimulator van



Afbeelding 63: De proefopstelling bij BAM

EMPA in combinatie met de LINTRACK van de TU Delft. Door Rijkswaterstaat DVS en de marktpartij zijn met deze proef positieve ervaringen opgedaan. Indien de afmetingen van een innovatieve voegovergang het toelaten, zou de BAM proef een goede proef kunnen zijn om de geschiktheid van nieuwe ontwerpen voor stille duurzame voegovergangen qua duurzaamheid aan te tonen.

Geluid

Er bestaat nog geen laboratoriumproef, waarmee de geluidsreductie van een voegovergang op labschaal kan worden beproefd. Het ziet er ook naar uit dat een dergelijke proef niet snel beschikbaar komt. Een van de belangrijkste redenen om de vier prijswinnende voegovergangen te monitoren in de praktijkproef op de A50 bij Nistelrode was het meten van de geluidsreductie. Met de huidige meetmethoden (microfoons onder en boven het kunstwerk) is een voegovergang uitsluitend in de praktijk goed te toetsen op de geluidseisen.

Zolang de stille duurzame voegovergangen bitumineus zijn afgewerkt aan de bovenzijde (en bijvoorbeeld geen stalen lamellen aan de oppervlakte hebben) en duurzaam zijn, is de kans zeer groot dat ze voldoen aan de geluidseisen. Ook kan op basis van meetgegevens van andere typen voegovergangen op basis van engineering judgement worden ingeschat wat de geluidsreductie van een innovatieve voegovergang is. Validatie vóór inbouw van een nieuw product op het aspect geluid is dan ook doorgaans minder relevant voor bitumineuze ontwerpen. Anders wordt dat als het ontwerp bijvoorbeeld stalen randprofielen of lamellen zou bevatten. In zo'n geval moet een nieuwe aanbieder aan kunnen tonen dat de voegovergang voldoet aan de geluidseisen.

Duurzaamheid

Het belangrijkste aspect voor validatie van nieuwe ontwerpen is vanzelfsprekend duurzaamheid. Hoe kan een nieuwe aanbieder aantonen dat zijn ontwerp de beoogde tien jaar levensduur zal waarmaken en minimaal zeven jaar garantie kan geven? En bijvoorbeeld tot welke maximum dilatatie? In dergelijke gevallen zal het PVO een adviserende en begeleidende rol hebben. De mate van afwijking van bestaande ontwerpen en ervaringen in het buitenland kunnen daar bijvoorbeeld een rol bij spelen.

De validatie voor de te verwachten levensduur zal zich bij een nieuw ontwerp richten op de functionele eisen en de onderliggende technische eisen zoals water keren en afvoeren, opnemen van horizontale en verticale verplaatsingen en rotaties van rijdekken, waarborgen van veilige en comfortabele passage van verkeer, opnemen van belastingen uit verkeer en verplaatsing van de rijdekken. Om de validatie van nieuwe producten te begeleiden en faciliteren beschikt Rijkswaterstaat over het Innovatie Test Centrum (ITC).



Afbeelding 64: Inbouw van de BrainJoint in de A50 bij Nistelrode

8.8. Tenslotte

De prijsvraag stille duurzame voegovergangen is leerzaam geweest voor zowel Rijkswaterstaat als voor de deelnemende bedrijven. De 3D EEM berekeningen, de LINTRACK-proef, de proef in de bewegingssimulator en de praktijkproef hebben een schat aan informatie en kennis gegenereerd, die ook nuttig is voor toekomstige ontwikkelingen.

Concreet resultaat is dat twee innovatieve ontwerpen worden opgenomen in de Meerkeuzematrix voegovergangen en dus vanaf nu beschikbaar zijn voor toepassing in de praktijk van Rijkswaterstaat en andere opdrachtgevers. Maar ook de twee andere prijswinnende voegovergangen, die op basis van de beproevingen aanvankelijk nog niet in de Meerkeuzematrix worden opgenomen zullen door de aanbieders verder worden doorontwikkeld en verbeterd. De twee aanbieders hebben reeds aangekondigd dat ze hun ontwerp op basis van de onderzoeksresultaten zodanig gaan aanpassen dat ze binnen afzienbare tijd ook voldoen aan de eisen voor opname in de Meerkeuzematrix.

In het Corporate Innovatie Programma (CIP) van Rijkswaterstaat wordt als vuistregel voor een succesvolle innovatie gehanteerd dat deze 30% minder life cycle cost moet opleveren, 30% meer functionaliteit en 30% meer duurzaamheid. Die doelen worden door de nieuwe stille duurzame voegovergangen gerealiseerd. De prijsvraag is een goed voorbeeld voor hoe markt en overheid samen innovatie kunnen stimuleren. Voor Rijkswaterstaat levert dit in de toekomst flinke besparingen op, en voor de weggebruiker aanmerkelijk minder verkeershinder. Aangezien er zich in Nederland meer dan duizend kunstwerken bevinden op het hoofdwegennet waarbij meerdere stille voegovergangen worden toegepast, is het een substantiële afzetmarkt voor het bedrijfsleven.

Bijlage 1 Lijst van afkortingen

ARW	Aanbestedingsreglement Werken
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung
BAO	Besluit Aanbestedingsregels voor Overheidsopdrachten
CIP	Corporate Innovatie Programma
CUR	Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
DBM	Design Build Maintain (ontwerp, bouw en onderhoud)
DBFM	Design Build Finance Maintain (ontwerp, bouw, financiering en onderhoud)
DGD	Dunne geluidsreducerende deklaag
EEM	Eindige Elementen Methode
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EMVI	Economisch Meest Voordelige Inschrijving
GWW	Grond-, Weg- en Waterbouw
ITC	Innovatie Test Centrum
LCC	Life Cycle Costing
LINTRACK	Linear Tracking Apparaat
MJPV	Meerjaren Plannen Verhardingsadvies
PMB	Polymeer gemodificeerd bitumen
PVO	Platform Voegovergangen en Opleggingen
RAW	Rationalisatie en Automatisering in de Grond- Weg- en Waterbouw (Systematiek voor bestekken)
RWS	Rijkswaterstaat
SLS	Serviceability Limit State
SPB	Statistical Pass-By
SRT	Skid Resistance Tester
TU	Technische Universiteit
ULS	Ultimate Limit State
ZOAB	Zeer Open Asphalt Beton
ZOAB+	Duurzaam ZOAB