

2018 • 2019
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis
Meerkeuzematrix brugvoegen

PROMOTOR :
prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI
PROMOTOR :
ing. Jonas CLAES

Mitch Das
Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



2018 • 2019

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterthesis

Meerkeuzematrix brugvoegen

PROMOTOR :

prof. dr. ir. Ali PIRDAVANI

PROMOTOR :

ing. Jonas CLAES

Mitch Das

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde



KU LEUVEN

Woord vooraf

Deze masterproef vormt het sluitstuk van de gezamenlijk opleiding Industriële ingenieurswetenschappen bouwkunde aan de Universiteit Hasselt en de Katholieke Universiteit Leuven. Het onderzoek dat verricht werd in deze masterproef, is tot stand gekomen met de begeleiding van het bedrijf Renotec, gelegen in Geel.

Het onderwerp van de thesis is de creatie van een methode waarbij de beste brugvoeg gekozen wordt voor een objectspecifieke situatie. Het feit dat dit onderwerp een infrastructuurprobleem behandelt, heeft mijn interesse opgewekt. Daarnaast heeft de mogelijkheid om een bruikbare tool te produceren ook geleid tot de keuze voor dit ontwerp.

Dit woord vooraf geeft mij de kans om enkele personen te bedanken. Allereerst wil ik graag ing. Jonas Claes van het bedrijf Renotec en prof. dr. ir. Ali Pirdavani bedanken voor de begeleiding die zij geboden hebben tijdens de uitwerking van deze masterproef. Daarnaast wil ook graag een woord van dank uitbrengen aan ing. Kristof Maes van Agentschap Wegen en Verkeer en Frank van Beek van de Rijkswaterstaat voor het ter beschikking stellen van hun expertise gedurende het onderzoek.

Ten slotte wil ik graag mijn familie, vriendin en vrienden bedanken voor hun steun gedurende dit onderzoek en de opleiding. In het bijzonder een woord van dank aan mijn ouders die mij de opportuniteit hebben gegeven om deze opleiding tot industrieel ingenieur bouwkunde te voltooien.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	1
Inhoudsopgave	3
Lijst met tabellen	7
Lijst met figuren.....	9
Abstract	11
Abstract in English.....	13
1 Inleiding	15
1.1 Probleemstelling	15
1.2 Doelstelling	16
1.3 Methode.....	16
2 Soorten brugvoegen.....	19
2.1 Algemeen.....	19
2.1.1 Definitie	19
2.1.2 Indeling.....	19
2.2 Klauwprofiel met voegband	20
2.2.1 Concept 1A: een in de constructie verankerd klauwprofiel.....	21
2.2.1.1 Type 1A1 traditioneel	21
2.2.1.2 Type 1A2 met rijroosters	22
2.2.1.3 Type 1A3 met boutverankering.....	23
2.2.1.4 Type 1A4 met geluidsreducerend effect	23
2.2.2 Concept 1B: een gelijkde voeg	24
2.3 Vingervoeg.....	24
2.3.1 Concept 2A: uitkragende vingervoeg.....	24
2.3.2 Concept 2B: ondersteunende vingervoeg.....	25
2.4 Mattenvoeg	26
2.4.1 Concept 3A: dilatatie d.m.v. lengteverandering rubberelement.....	26
2.4.1.1 Type 3A1: geweldde mattenvoeg.....	26
2.4.1.2 Type 3A2: geperforeerde mattenvoeg	27
2.4.1.3 Type 3A3: geribbelde mattenvoeg	27
2.4.2 Concept 3B: dilatatie d.m.v. afschuiving rubberelement	28
2.4.2.1 Gewapende mattenvoeg	28
2.5 Flexibele voeg.....	29
2.5.1 Concept 4A: bitumineuze voeg	29

2.5.1.1	Type 4A1: traditionele compoundvoeg.....	29
2.5.1.2	Type 4A2: compoundvoeg met spiraalveren	30
2.5.2	Concept 4B: polymeervoeg	30
2.5.2.1	Type 4B1: standaard polymeervoeg	30
2.5.2.2	Type 4B2: polymeervoeg met stabilisatoren	31
2.6	Voegloze voegovergang	31
2.6.1	Concept 5A: verborgen voegovergang.....	31
2.6.2	Concept 5B: overgangsconstructie voor integraalkunstwerken.....	32
2.7	Meervoudige voeg	32
2.7.1	Concept 6A: lamellenvoeg	32
2.7.1.1	Type 6A1: standaard lamellenvoeg	32
2.7.1.2	Type 6A2: lamellenvoeg met geluidsreducerend effect.....	33
2.8	Samenvatting	34
3	Meerkeuzematrix voegovergangen Nederland.....	35
3.1	Factsheets.....	35
3.1.1	Functionele eisen.....	35
3.1.2	RAMS-aspecten	35
3.1.3	Overige informatie	36
3.2	Meerkeuzematrix	36
3.3	Checklist voegovergangen.....	36
4	Creatie meerkeuzematrix.....	39
4.1	Selectie numerieke criteria	39
4.1.1	Bewegingsvrijheid.....	39
4.1.2	Minimale kruisingshoek	40
4.1.3	Zwaar verkeer.....	41
4.1.4	Levensduur.....	41
4.2	Selectie niet-numerieke criteria.....	42
4.2.1	Oneffenheid	42
4.2.2	Aansluiting waterdichtheid	43
4.2.3	Geluid	45
4.2.4	Uitvoeringsongevoeligheid	47
4.2.5	Onderhoudbaarheid	48
4.2.6	Veiligheid	49
4.3	Selectie brugvoegen	49
4.4	Opstellen meerkeuzematrix	51

5	De tool	55
5.1	Input	55
5.2	Meerkeuzematrix	56
5.3	Berekening	56
5.3.1	Aftoetsing numerieke criteria	57
5.3.2	Eerste rangschikking op basis van numerieke criteria	57
5.3.3	Tweede rangschikking op basis van niet-numerieke criteria.....	58
5.3.4	Derde en vierde rangschikking op basis van niet-numerieke criteria ...	60
5.3.5	Resultaat.....	61
5.4	Voorbeeld	61
6	Besluit.....	67
	Bibliografie	69
	Bijlagen	71
	Bijlage A: Voorbeeld factsheet.....	72
	Bijlage B: Nederlandse Meerkeuzematrix	74

Lijst met tabellen

Tabel 1: Indeling brugvoegen	20
Tabel 2: Waardeoordeel van de meetschaal.....	42
Tabel 3: Beoordelingsniveaus bij oneffenheid.....	43
Tabel 4: Beoordelingsniveaus bij de aansluiting waterdichtheid	45
Tabel 5: Beoordelingsniveaus bij geluid.....	47
Tabel 6: Beoordelingsniveaus bij uitvoeringsgevoeligheid	47
Tabel 7: Beoordelingsniveaus bij onderhoudbaarheid	49
Tabel 8: Beoordelingsniveaus bij veiligheid	49
Tabel 9: Gebruikte criteria in de meerkeuzematrix	51
Tabel 10: Gebruikte brugvoegen in de meerkeuzematrix	52
Tabel 11: Meerkeuzematrix brugvoegen.....	53
Tabel 12: Tabblad 'Input'	56
Tabel 13: Kwantificering van de kwalitatieve meetschaal.....	58
Tabel 14: Algebraïsche voorstelling van de wederkerigheid van de tekens van de kwalitatieve meetschaal	58
Tabel 15: Wegingsscores per type brugvoeg	59
Tabel 16: Alternatieve kwantificering	60
Tabel 17: Vergelijking rangschikking tussen gekozen en alternatieve kwantificering	60
Tabel 18: Aantal ++ en + waarderingen per type brugvoeg.....	61
Tabel 19: Inputgegevens fictieve situatie	62
Tabel 20: Wegingsscore per type brugvoeg voor een fictieve situatie	63
Tabel 21: Tabblad 'Berekening' voor de rangschikking	64
Tabel 22: Tabblad 'Berekening' na de rangschikking	65

Lijst met figuren

Figuur 1: Doorsnede traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 1	21
Figuur 2: Doorsnede traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 2 - eenzijdige overgangsbalk	21
Figuur 3: Aanzicht traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 1	22
Figuur 4: Aanzicht traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 2 - tweezijdige overgangsbalk.....	22
Figuur 5: Doorsnede in de constructie verankerd klauwprofiel met rijroosters	22
Figuur 6: Aanzicht in de constructie verankerd klauwprofiel met rijrooster.....	23
Figuur 7: Doorsnede in de constructie verankerd klauwprofiel met boutverbinding	23
Figuur 8: Sinusvormig profiel.....	24
Figuur 9: Doorsnede gelijkde voeg	24
Figuur 10: Opbouw uitkragende vingervoeg met kamplaten.....	25
Figuur 11: Opbouw uitkragende vingervoeg met zaagtandplaten	25
Figuur 12: Doorsnede ondersteunende vingervoeg met kamplaten	26
Figuur 13: Opbouw ondersteunende vingervoeg met zaagtandplaten	26
Figuur 14: Doorsnede gewelfde mattenvoeg	27
Figuur 15: Doorsnede geperforeerde mattenvoeg	27
Figuur 16: Doorsnede geribbelde mattenvoeg	28
Figuur 17: Aanzicht geribbelde mattenvoeg	28
Figuur 18: Doorsnede gewapende mattenvoeg.....	28
Figuur 19: Aanzicht gewapende mattenvoeg.....	29
Figuur 20: Doorsnede traditionele compoundvoeg	30
Figuur 21: Doorsnede compoundvoeg met spiraalveren	30
Figuur 22: Doorsnede standaard polymeervoeg	30
Figuur 23: Doorsnede polymeervoeg met stabilisatoren	31
Figuur 24: Doorsnede verborgen voegovergang	32
Figuur 25: Doorsnede overgangsconstructie voor integraalkunstwerken	32
Figuur 26: Opbouw lamellenvoeg	33
Figuur 27: Lamellenvoeg met geluidsreducerend effect	33
Figuur 28: Assenstelsel ter hoogte van een brugvoeg	40
Figuur 29: Eisen naar niveauverschillen in onbelaste toestand	43
Figuur 30: Schadebeelden bij niet waterdichte brugvoegen	44
Figuur 31: Relatie tussen gemeten geluidniveaus en een subjectieve beoordeling van de voeg	46

Abstract

In België is er momenteel geen eenduidige manier om een brugvoeg te selecteren voor een bepaald project. In Nederland bestaat er reeds een systeem om deze selectie te maken, namelijk de 'Meerkeuzematrix (MKM) voegovergangen (met factsheets)'. Dit is een technisch document opgesteld door de Rijkswaterstaat. Deze masterproef ontwikkelt een methode om de beste brugvoeg te selecteren op basis van een objectspecifieke situatie.

De creatie van een meerkeuzematrix brengt verschillende types brugvoegen in relatie met een aantal vooropgestelde criteria. Deze criteria brengen zowel numerieke als niet-numerieke waarden voort. Een selectieprocedure integreert 16 types brugvoegen in deze meerkeuzematrix. De meerkeuzematrix neemt vervolgens de beschikbare en bruikbare informatie op aangaande de criteria en brugvoegen.

Daarna schuift een gecreëerde tool in Excel de best mogelijke oplossing naar voren. Deze tool bestaat uit drie delen namelijk: de input, de meerkeuzematrix en de berekening. Eerst vraagt de tool de objectspecifieke gegevens over het project in te geven. Als tweede toont de tool de onaangeroerde meerkeuzematrix. Ten slotte berekent de tool de beste brugvoeg op basis van een beslissings- en rangschikkingsproces. In de toekomst is het mogelijk om de tool en de meerkeuzematrix aan te passen naargelang nieuwe informatie beschikbaar is.

Abstract in English

In Belgium, there is currently no specified way to select the best expansion joint for bridges for a specific project. In the Netherlands, however, there is a system to make this selection. This is called the 'Meerkeuzematrix (MKM) voegovergangen (met factsheets)', a technical document provided by the Rijkswaterstaat. The objective of this Master's thesis is the development of a method to select the best bridge joint based on an object-specific situation.

By creation a multiple choice matrix, different types of bridge joints will be associated to a number of predetermined criteria. These criteria can be either numeric and non-numeric values. Based on a selection procedure, 16 types of bridge joints are integrated into this multiple choice matrix. Finally, the available and usable information regarding the criteria and bridge joints are inserted in the multiple choice matrix.

Thereafter, a tool is created in Excel to choose the best possible solution. This tool consists of three parts, namely the input, the multiple choice matrix and the calculation. First, the object-specific information about the project is inserted. Secondly, the unmodified multiple choice matrix is shown. Finally, the calculation of the best bridge joint is performed based on a decision making and ranking process. The tool and the multiple choice matrix can be adjusted in the future if new information becomes available.

1 Inleiding

Een standaard brug bestaat uit een plaat die traditioneel is opgelegd aan beide uiteinden. Door overspanning en temperatuurschommelingen wil deze brug uitzetten of inkrimpen. De brug heeft met andere woorden een thermische werking. Deze thermische werking wordt toegelaten door uitzetvoegen te voorzien bij het ontwerp van de brug. Deze uitzetvoegen, ook wel brugvoegen of brugdekvoegen genoemd, vervullen een aantal essentiële functies binnen het ontwerp van een brug. De belangrijkste functie van een brugvoeg is het laten dilateren van de brug. Verschillende soorten brugvoegen kunnen gebruikt worden om aan de nodige functies te voldoen.

1.1 Probleemstelling

Zoals eerder aangehaald bestaan er verschillende soorten brugvoegen. Bijgevolg is een brugvoeg geen eenduidig product. De variatie tussen de verschillende brugvoegen zorgt ervoor dat niet elke brugvoeg zijn functies precies hetzelfde uitvoert. Het is dan ook voornamelijk dat telkens een juiste keuze wordt gemaakt bij de selectie van een brugvoeg bij een bepaald project.

In Nederland bestaat er een systeem waarmee voor een welbepaalde brug op een specifieke locatie met gekende randvoorwaarden de beste brugvoeg geselecteerd kan worden. Dit systeem staat beschreven in een Rijkswaterstaat Technisch Document, ook wel een RTD genoemd. Meer bepaald gaat het hier om de RTD 1007-1 Meerkeuzematrix (MKM) voegovergangen (met factsheets) [1]. In dit document wordt stap voor stap beschreven hoe de selectie van een brugvoeg wordt uitgevoerd voor een objectspecifieke situatie, rekening houdend met de juiste normen. De RTD 1007-1 wordt aangereikt om een juiste keuze te kunnen maken, maar is niet verplicht om in gebruik te nemen.

In België bestaat een dergelijk systeem voorlopig nog niet. Door de verscheidenheid in aanbod van brugvoegen kan dit problemen opleveren bij de selectie van de juiste brugvoeg. Daarnaast komt het feit dat er in België weinig onderzoek verricht wordt omtrent brugvoegen. Dit resulteert in een beperkte hoeveelheid kennis rond brugvoegen, hetgeen nefast is voor de kwaliteit. De informatie die momenteel beschikbaar is, wordt hoofdzakelijk gehaald uit het Standaardbestek 260, de European Technical Approval Guidelines (ETAGs) en technische fiches van fabrikanten.

Het is moeilijk om in België de juiste brugvoeg te selecteren voor een bepaald project. Dit is een systematisch probleem dat zich bij elk project opnieuw stelt en waar voorlopig nog geen oplossing voor bestaat. Het topic van deze thesis omvat een methode te ontwikkelen om de juiste brugvoeg te selecteren op basis van een objectspecifieke situatie.

1.2 Doelstelling

Om de probleemstelling van deze thesis te behandelen, moeten bepaalde doelstellingen vooropgesteld worden. In eerste instantie is het belangrijk om een juist en volledig overzicht te verkrijgen van de brugvoegen die in België beschikbaar zijn. Dit overzicht moet een indeling van de brugvoegen maken op basis van uiterlijke kenmerken en functionaliteit. Daarnaast moet er bepaald worden welke factoren van toepassing zijn om op een specifieke locatie de juiste brugvoeg te selecteren. Ten slotte moet de verkregen informatie verwerkt worden in een systeem of tool waarbij er antwoord kan geboden worden op de onderzoeksvraag. Het uiteindelijke product dat gecreëerd wordt, zal op basis van de kenmerken van de brugvoegen en de objectspecifieke randvoorwaarden een selectie moeten maken tussen verschillende soorten brugvoegen. Het doel van dit systeem bestaat erin om de meest juiste brugvoeg toe te wijzen aan een objectspecifieke situatie.

1.3 Methode

Een duidelijke methode is essentieel voor het bereiken van de doelstellingen. In eerste instantie spitst dit onderzoek zich vooral toe op het verzamelen van voldoende informatie. Het is voornamelijk dat er een voldoende brede kennis wordt uitgebouwd aangaande het onderwerp, namelijk brugvoegen. Met behulp van enerzijds bedrijfsbezoeken bij fabrikanten en verdelers van brugvoegen en anderzijds werfbezoeken waarbij de plaatsing van brugvoegen wordt uitgelegd, zal deze kennis een bredere vorm aannemen. Daarnaast wordt er met behulp van de normeringen een overzichtstabel opgesteld van alle brugvoegen die in België beschikbaar zijn.

In tweede instantie worden de verschillende families, concepten en types van brugvoegen verder apart besproken aan de hand van zowel Belgische als internationale bronnen. De bespreking van elk individueel type is belangrijk om de correcte kenmerken van elk type brugvoeg te kennen. Deze informatie kan dan later terug verwerkt worden in de creatie van een tool om de juiste brugvoeg te selecteren.

In derde en laatste instantie wordt er een tool gecreëerd die de juiste brugvoeg kan selecteren voor een objectspecifieke situatie. Om deze tool te creëren, is het belangrijk om een goede kijk te verkrijgen in de werking van de RTD 1007-1, de Meerkeuzematrix die in Nederland gehanteerd wordt. Een uitgebreid bezoek aan de Rijkswaterstaat te Utrecht, waarin zowel de tool als de achterliggende methode wordt besproken, is essentieel om hierin het gewenste inzicht in te verkrijgen.

Om de effectieve tool vorm te geven moet een beslissing genomen worden over welke randfactoren en eisen meegenomen moeten worden in het beslissingsproces voor de juiste brugvoeg. Daarnaast moet er ook bepaald worden welke types brugvoegen worden opgenomen in de tool. Deze beslissingen worden genomen met

behulp van de expertise vanuit het bedrijf dat de opdracht gegeven heeft tot de uitvoering van dit onderzoek.

De uiteindelijke tool zal bestaan uit een Excel document bestaande uit drie verschillende onderdelen. In het eerste onderdeel zullen de objectspecifieke kenmerken ingegeven kunnen worden. Het tweede onderdeel zal een meerkeuzematrix zijn waarin alle nodige kenmerken van de brugvoegen verzameld zijn. Als derde en laatste onderdeel zal de tool bestaan uit een berekeningsprocedure die afhankelijk van de ingegeven objectspecifieke kenmerken en de eigenschappen van de brugvoegen een selectie zal maken en de beste brugvoeg(en) naar voren zal schuiven.

2 Soorten brugvoegen

2.1 Algemeen

2.1.1 Definitie

Een brugvoeg is een uitzettingsvoeg die geplaatst wordt bij de constructie van een brug. Deze uitzettingsvoeg of dilatatievoeg komt voor bij de verbindingen tussen landhoofden en brugdekken, maar kan ook voorkomen tussen twee aparte brugdekdelen. De hoofdfunctie van een brugvoeg bestaat in het uitzetten en krimpen van de constructiedelen van de brug op te vangen [2], [3]. Dit dient te gebeuren op een flexibele, veilige en comfortabele manier. Een brugvoeg moet volgende functies hebben [4], [5]:

- bewegingscapaciteit bieden;
- mechanische weerstand bieden tegen belastingen uit de constructie;
- mechanische weerstand bieden tegen belastingen uit het verkeer;
- veilig zijn;
- geluidsreducerend vermogen hebben;
- waterdichtheid bieden.

2.1.2 Indeling

Een brugvoeg is geen eenduidig object. Er bestaan verschillende soorten brugvoegen die allemaal hun voor- en nadelen hebben. De brugvoegen die in Vlaanderen gebruikelijk zijn, worden samengevat in Tabel 1. Deze tabel beschrijft de opdeling van brugvoegen in zes families. Binnen deze families worden verschillende concepten onderscheiden die op hun beurt worden opgedeeld in specifieke types [6].

Tabel 1: Indeling brugvoegen [6, p. 23]

Familie	Concept	Type
1 klauwprofiel met voegband	1A in constructie verankerd	1A1 traditioneel
		1A2 met rijroosters
		1A3 met boutverankering
		1A4 met geluidsreducerend effect
	1B gelijmd	
2 vingervoegen	2A uitkragend	2A1 kamplaten
		2A zaagtandplaten
	2B ondersteunend	2B1 kamplaten
		2B2 zaagtandplaten
3 mattenvoegen	3A opname dilatatie door lengteverandering rubberelement	3A1 gewelfd
		3A2 geperforeerd
		3A3 ribbelprofiel
	3B opname dilatatie door schuifvervorming	3B1 gewapend
4 flexibele voegen	4A bitumineuze voeg	4A1 traditioneel
		4A2 met spiraalveren
	4B polymeervoeg	4B1 standaard
		4B2 met stabilisatoren
5 voegloze voegovergangen	5A verborgen voeg	
	5B overgangsconstructie voor integraalkunswerken	
6 meervoudige voegen	6A lamellenvoeg	6A1 traditioneel
		6A2 met geluidsreducerend effect

Er zijn verschillende mogelijkheden om voegen aan te passen. Vooreerst is het mogelijk om de voegen te voorzien van overgangsbalken. Dit kan toegepast worden aan één zijde van de voeg of aan beide kanten van de voeg met als doel het voorkomen van de aanrijding van de voegconstructie. Daarnaast kunnen ook verstevigingsribben aangebracht worden in het wegdek in een hoek van 45° ten opzichte van de rijrichting. Verder kunnen brugvoegen ook geluidsreducerend geproduceerd worden door bijvoorbeeld de vormgeving van de voeg aan te passen. Als laatste zijn er twee principes om een brugvoeg te vervaardigen. Principe 1 is de plaatsing van de brugvoeg voorafgaand aan de asfaltering terwijl principe 2 vooropstelt om de brugvoeg na de asfaltering te plaatsen. Deze twee principes hebben elk hun voor- en nadelen [6].

2.2 Klauwprofiel met voegband

Een klauwprofiel met voegband bestaat, zoals de naam al doet vermoeden, uit zowel een klauwprofiel als een voegband. Het klauwprofiel is gemaakt uit staal of aluminium en heeft een klauw waarin de voegband ingeklemd kan worden. Dit klauwprofiel zorgt voor een overdracht van de krachten die ontstaan door de belasting van het verkeer. De flexibele voegband daarentegen bestaat uit rubber en moet zorgen voor de afsluiting van de voeg. Deze flexibele voegband staat niet rechtstreeks in contact met de verkeersbelasting en zorgt dus ook niet voor een overdracht van krachten naar de ondergelegen constructie van de brug. De primaire functies van de voegband zijn het garanderen van de waterdichting van het voegsysteem en het opnemen van de verplaatsingen die de brug ondergaat.

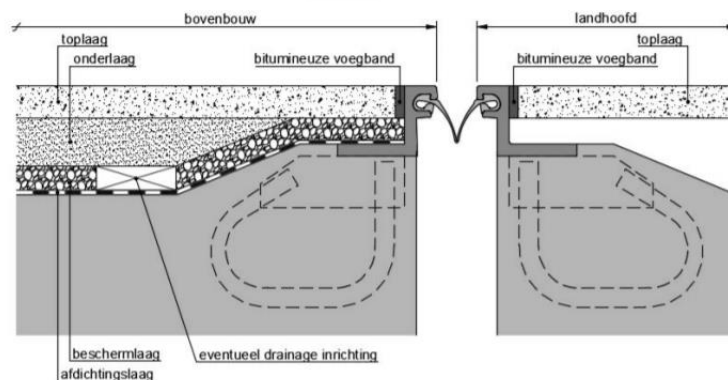
Het voegstelsel bestaat uit twee klauwprofielen, één aan elke kant van de voeg en een flexibele voegband die ingeklemd zit tussen de klauwen. Dit voegstelsel kan ook geluidsreducerend werken indien bijvoorbeeld zaagtand- of sinusvormige metaalplaten de voeg overdekken. In deze familie worden twee concepten onderscheiden. De dilatatie toegestaan door deze soort brugvoegen kunnen gaan tot 100 mm [1], [3], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11].

2.2.1 Concept 1A: een in de constructie verankerd klauwprofiel

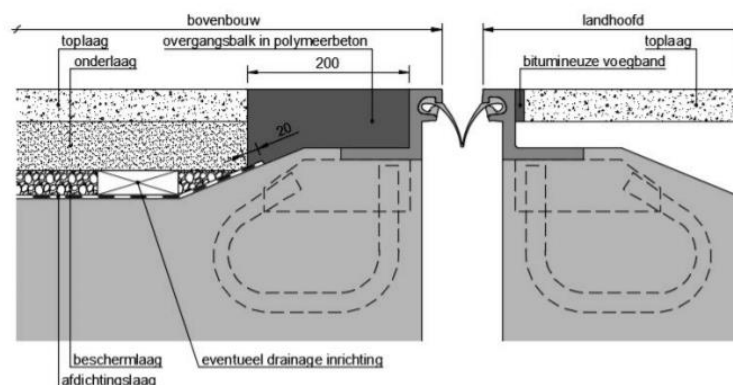
Een eerste concept is een klauwprofiel dat in de constructie verankerd zit. Deze kunnen zowel volgens principe 1 als principe 2 uitgevoerd worden. Dit concept wordt verder opgedeeld in vier verschillende types brugvoegen [6], [7].

2.2.1.1 Type 1A1 traditioneel

Bij dit type brugvoeg worden de klauwprofielen verankerd in de onderliggende brugconstructie. De klauwprofielen worden verdiept in de voegopening aangebracht indien principe 1 wordt toegepast. Als principe 2 wordt toegepast, worden er verankerde dwarschotten voorzien die verdiept zijn in het beton. Bij deze laatste uitvoering worden overgangsbalken voorzien die vervaardigd kunnen worden uit staalvezelbeton of epoxybeton, dit kan eenzijdig of tweezijdig toegepast worden [6]. Figuur 1 en 2 tonen de doorsnede van deze traditionele uitvoering volgens principe 1 en 2. In Figuur 3 en 4 wordt een aanzicht weergegeven van deze twee principes.



Figuur 1: Doorsnede traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 1 [7, p. 32.131]



Figuur 2: Doorsnede traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 2 - eenzijdige overgangsbalk [7, p. 32.131]



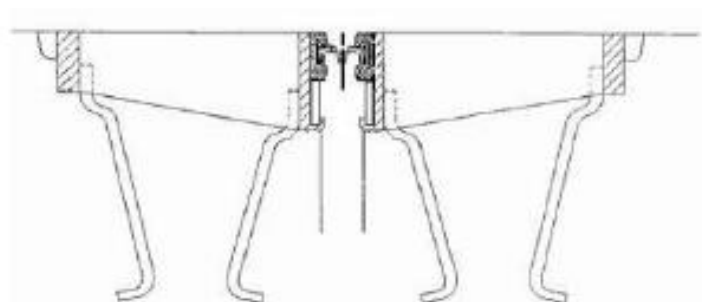
Figuur 3: Aanzicht traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 1 [5]



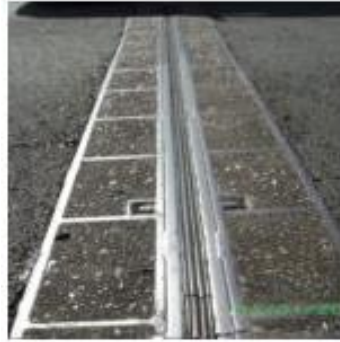
Figuur 4: Aanzicht traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel principe 2 - tweezijdige overgangsbalk [5]

2.2.1.2 Type 1A2 met rijroosters

Bij de uitvoering van dit type brugvoeg worden rijroosters aangebracht in de betonconstructie. Deze rijroosters met wafelvullingen worden mechanisch verbonden met de klauwprofielen en worden na de plaatsing volgestort met staalvezelbeton. Deze worden indien nodig afgewerkt met een slijtlaag. Door de rijroosters kan er aan een hogere drukspanning weerstaan worden [6]. Figuur 5 en 6 geven een doorsnede en aanzicht van dit type brugvoeg.



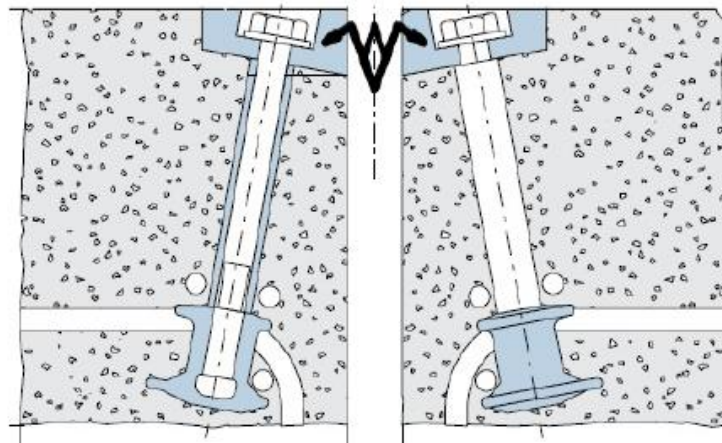
Figuur 5: Doorsnede in de constructie verankerd klauwprofiel met rijroosters [1, p. 46]



Figuur 6: Aanzicht in de constructie verankerd klauwprofiel met rijrooster [5]

2.2.1.3 Type 1A3 met boutverankering

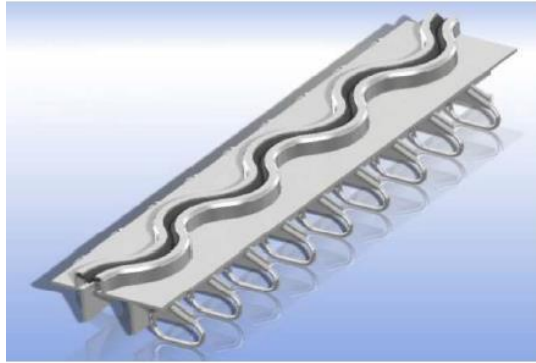
Het voorlaatste type brugvoeg van dit concept duidt op het gebruik van bouten. De klauwprofielen worden door middel van boutverbindingen verankerd in de onderliggende brugconstructie [6]. De doorsnede van dit type brugvoeg is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: Doorsnede in de constructie verankerd klauwprofiel met boutverbinding [1, p. 66]

2.1.1.4 Type 1A4 met geluidsreducerend effect

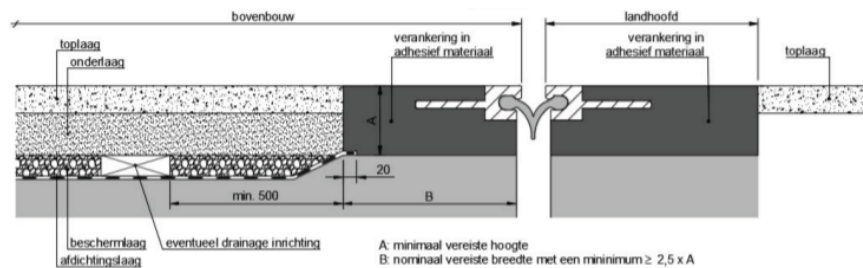
Het laatste type beschrijft het gebruik van type 1A1 uitgevoerd met een geluidsreducerend effect. Dit geluidsreducerend effect wordt bekomen door de vorm van de klauwprofielen aan te passen. Meestal wordt er hier voor een sinusvormig profiel geopteerd [1].



Figuur 8: Sinusvormig profiel [1, p. 58]

2.2.2 Concept 1B: een gelijkde voeg

Het tweede concept van deze familie van brugvoegen is een gelijkde voeg. Deze wordt standaard uitgevoerd volgens principe 2 en wordt doorgaans gebruikt als renovatiemodel. De klauwprofielen worden niet verankerd aan de onderliggende constructie, maar worden verankerd in het polymeerbeton dat de klauwprofielen omhuld [1]. Figuur 9 beschrijft de doorsnede van een gelijkde voeg.



Figuur 9: Doorsnede gelijkde voeg [7, p. 32.132]

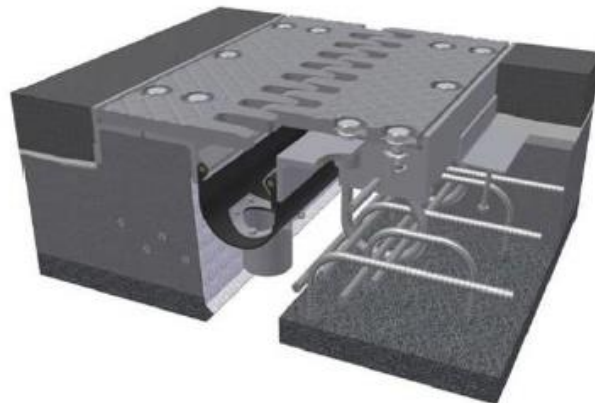
2.3 Vingervoeg

De tweede familie brugvoegen zijn vingervoegen of ook wel uitkragende voegen genoemd. Deze voegen bestaan uit metalen platen met een getande structuur ook wel "vingers" genoemd. Deze vingers of tanden kunnen in elkaar glijden door de voorziene uitsparingen. De vorm van de vingers kan sterk variëren. In tegenstelling tot de oudere versie van deze voeg wordt er tegenwoordig ook een gootslab voorzien in de voegopening om de waterdichtheid te garanderen. Deze voeg staat erom bekend om geluidsarm te zijn [1], [2], [3], [4], [5], [6], [8], [10], [11], [12], [13].

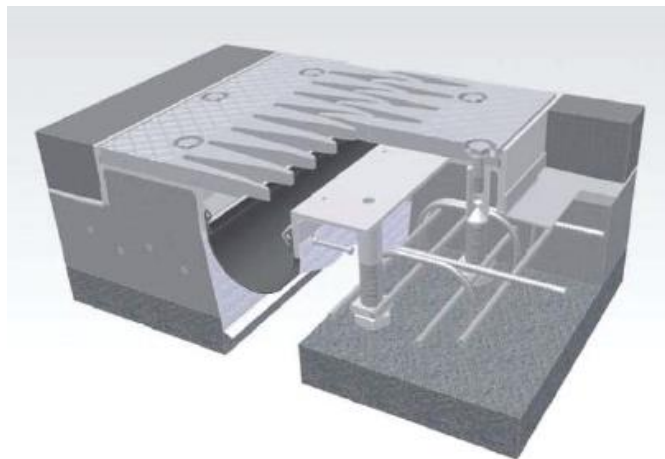
2.3.1 Concept 2A: uitkragende vingervoeg

Dit concept wordt meestal uitgevoerd met stalen, rechte en symmetrische platen. Deze zijn met behulp van voorspanbouten voorgespannen op de onderliggende constructie. De vingers zorgen voor de overdracht van de verkeersbelasting en de ruimte tussen de vingers heeft als doel het opvangen van het uitzetten en krimpen. De dilataties die opgenomen kunnen worden door deze voegen gaan van 60 tot 500 mm. Dit concept kan uitgewerkt worden volgens twee types, waarvan de opbouw wordt getoond in Figuur 10 en 11, namelijk [6]:

- type 2A1: kamplaten,
- type 2A2: zaagtandplaten.



Figuur 10: Opbouw uitkragende vingervoeg met kamplaten [1, p. 82]



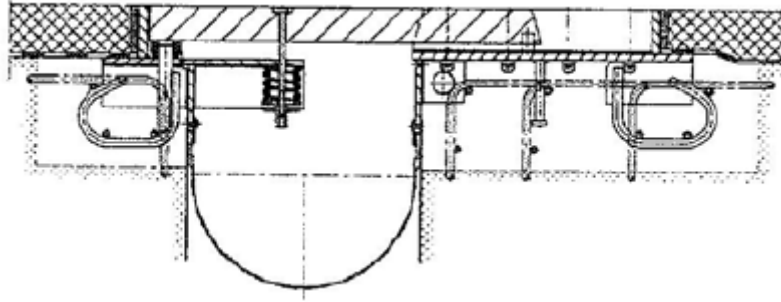
Figuur 11: Opbouw uitkragende vingervoeg met zaagtandplaten [1, p. 85]

2.3.2 Concept 2B: ondersteunende vingervoeg

Het grote verschil ten opzichte van concept 2A is dat er bij concept 2B maar één beweegbare vingerplaat gebruikt wordt. De andere plaat is vast opgelegd en kan dus niet bewegen. Dilataties worden opgenomen door de verankerde steunelementen in de onderliggende constructie waarop een beweegbaar element kan glijden. Deze dilataties kunnen gaan van 120 tot 2000 mm als er meervoudige varianten gebruikt worden. Zoals bij het vorige concept 2A wordt ook dit concept opgedeeld in verschillende types die de vorm van de vingerplaten bepaalt [6]:

- type 2B1: kamplaten,
- type 2B2: zaagtandplaten,
- type 2B3: sinusplaten.

Figuur 12 illustreert de doorsnede van een ondersteunende vingervoeg met kamplaten terwijl Figuur 13 de opbouw van een ondersteunende vingervoeg met zaagtandplaten weergeeft.



Figuur 12: Doorsnede ondersteunende vingervoeg met kamplaten [1, p. 92]



Figuur 13: Opbouw ondersteunende vingervoeg met zaagtandplaten [1, p. 95]

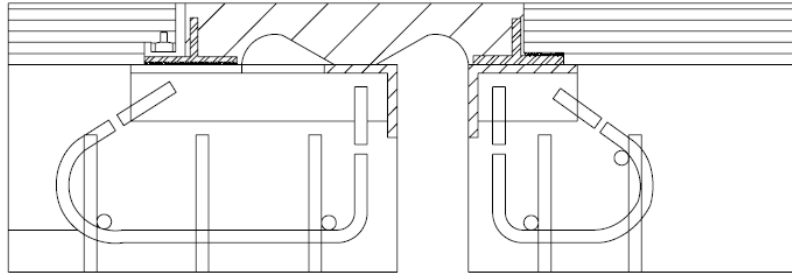
2.4 Mattenvoeg

Een mattenvoeg bestaat uit een rubberen mat met een bijhorend ankersysteem. De rubberen mat, die geprefabriceerd wordt, kan door de elastische eigenschap van het rubber dilateren. In deze mat kunnen metalen wapeningen voorzien worden ter versteviging. De mat wordt door middel van boutverbindingen aan de onderliggende constructie bevestigd en moet de verkeersbelasting kunnen dragen. Deze soort voeg kan meervoudig gebruikt worden om grotere dilataties op te vangen [1], [2], [3], [4], [5], [6], [8], [10], [11], [14].

2.4.1 Concept 3A: dilatatie d.m.v. lengteverandering rubberelement

2.4.1.1 Type 3A1: gewelfde mattenvoeg

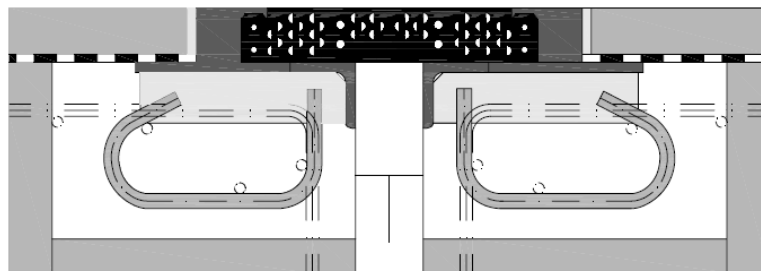
Bij dit type voeg wordt er een verschil in stijfheid gecreëerd door de welving van de onderkant van de mat. In de verticale richting zal deze voeg stijver zijn dan in de langsrichting. Door middel van ingebouwde, gevulkaniseerde T-profielen kan de mat bevestigd worden op de onderliggende stalen constructie. Dilataties kunnen bij dit type oplopen tot 130 mm [6]. In Figuur 14 wordt de doorsnede van dit type brugvoeg getoond.



Figuur 14: Doorsnede gewelfde mattenvoeg [11, p. 9]

2.4.1.2 Type 3A2: geperforeerde mattenvoeg

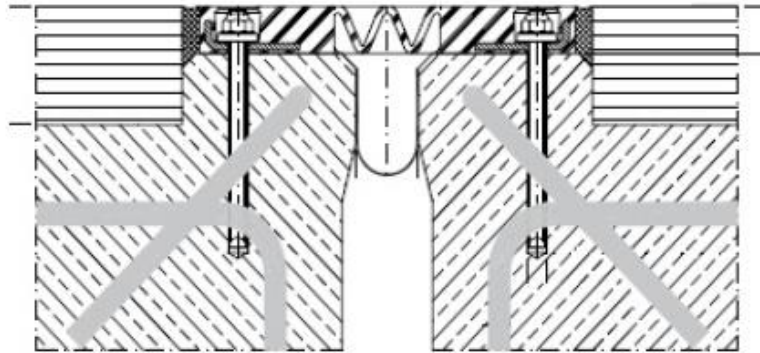
Geperforeerde mattenvoegen zijn, zoals de naam het zegt, geperforeerd. Op geometrisch bepaalde plaatsen worden perforaties gemaakt zodat er enerzijds in de horizontale richting een vermindering van de stijfheid plaatsvindt. Anderzijds wordt de stijfheid in de verticale richting geoptimaliseerd. De verbinding met de onderliggende staalconstructie wordt bekomen door klemconstructies die op zijn beurt met ankerbouten worden bevestigd. Dit type voeg kan tot 160 mm dilateren [6]. Een afbeelding van de doorsnede van een geperforeerde mattenvoeg wordt weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15: Doorsnede geperforeerde mattenvoeg [11, p. 10]

2.4.1.3 Type 3A3: geribbelde mattenvoeg

Dit type brugvoeg baseert zich op de samendrukbaarheid van een ribbelprofiel in de mat. De plaatsvastheid wordt enerzijds gegarandeerd door de voorgespannen ankers waarmee de mattenvoeg gefixeerd is en anderzijds door de schuifcapaciteit tussen de voeg en ondergrondconstructie. Deze voeg kan enkel kleine dilataties tot 80 mm opvangen [6]. Figuur 16 en 17 geven respectievelijk de doorsnede en het aanzicht van een geribbelde mattenvoeg weer.



Figuur 16: Doorsnede geribbelde mattenvoeg [1, p. 105]

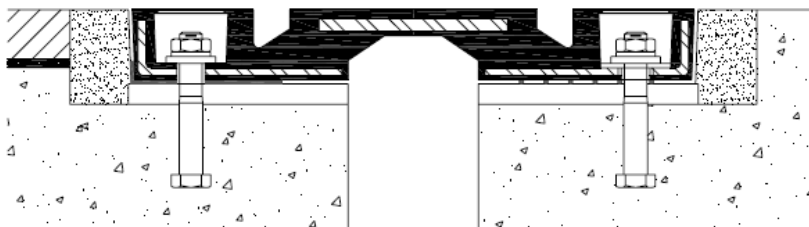


Figuur 17: Aanzicht geribbelde mattenvoeg [1, p. 105]

2.4.2 Concept 3B: dilatatie d.m.v. afschuiving rubberelement

2.4.2.1 Gewapende mattenvoeg

Bij dit concept wordt maar één type voeg weerhouden, namelijk de gewapende mattenvoeg. In deze mattenvoeg worden stripvormige ingevulkaniseerde stalen platen verwerkt in zowel de onderzijde als de bovenzijde. Het dilateren van de voeg is mogelijk door de schuifkracht en vervorming van deze platen. Dit voegtype kan dilataties tot 160 mm opnemen [6]. In onderstaande Figuur 18 wordt de doorsnede van dit type voeg afgebeeld, Figuur 19 geeft het aanzicht weer.



Figuur 18: Doorsnede gewapende mattenvoeg [11, p. 10]



Figuur 19: Aanzicht gewapende mattenvoeg [1, p. 97]

2.5 Flexibele voeg

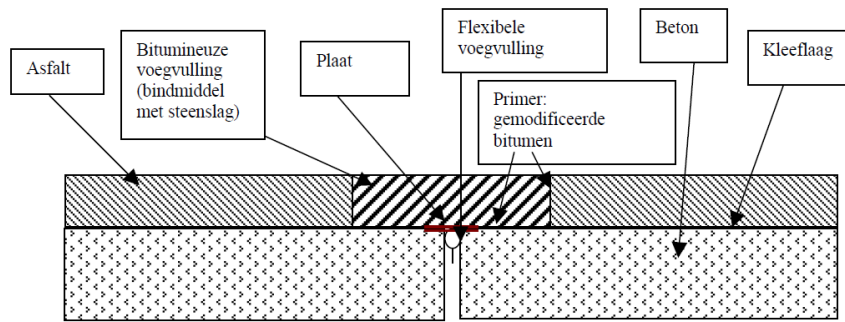
Bij flexibele voegen wordt een flexibel materiaal gegoten in de voegopening. Dit materiaal zorgt niet enkel voor het dilateren van de voeg maar doet ook dienst als volwaardige wegafdekking. Het materiaal dat gebruikt wordt om de voeg op te vullen moet van goede kwaliteit zijn. Zo moet het hard genoeg zijn om vervormingen te vermijden, maar moet het toch nog instaan voor het dilatatievermogen van de voeg. Vooral hier dit materiaal geplaatst kan worden, is het noodzakelijk de voegopening tussen de constructieonderdelen in de onderbouw af te dekken. Dit kan bijvoorbeeld met een dunne stalen plaat om op deze positie voldoende ondersteuning te bieden voor het bovenliggend materiaal [1], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [10], [11], [15].

2.5.1 Concept 4A: bitumineuze voeg

Het verschil tussen de concepten bij deze voegsoort, is het materiaal dat gebruikt wordt ter opvulling van de voeg. Bij dit concept wordt een mengsel gebruikt van gemodificeerde bitumen en mineraal aggregaat. Deze flexibele massa kan dan de nodige dilataties opvangen [6].

2.5.1.1 Type 4A1: traditionele compoundvoeg

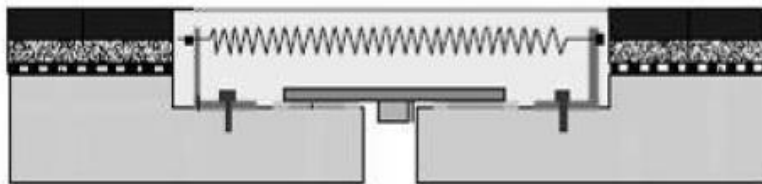
Dit type voeg baseert zich volledig op de aanhechting van het bitumenmengsel op het oppervlak waarmee het materiaal in contact staat. Het is dan ook voornamelijk dat voorafgaand aan het aanbrengen van het voegmengsel de voeg zorgvuldig gereinigd wordt. Voor de waterdichtheid van de voeg is dit ook belangrijk. De breedte van de voeg is afhankelijk van de op te nemen dilatatie, aangezien het voegmateriaal over de volledige breedte van de voeg kan werken. Deze traditionele compoundvoeg kan dilataties tot 30 mm opnemen [6]. Figuur 20 toont de opbouw van deze traditionele compoundvoeg door middel van een doorsnede.



Figuur 20: Doorsnede traditionele compoundvoeg [11, p. 5]

2.5.1.2 Type 4A2: compoundvoeg met spiraalveren

Bij dit type voeg wordt de verankering verzekerd door stalen hoekprofielen. Tussen deze hoekprofielen worden spiraalveren geplaatst, zichtbaar in Figuur 21, die de dilatatie opvangen en verspreiden over de volledige breedte van de voeg. Daarnaast bieden deze spiraalveren ook voldoende weerstand tegen vervormingen. Het gebruik van spiraalveren leidt tot een verhoogde dilatatiecapaciteit van 50 mm. Dit type is echter in Vlaanderen nog niet gebruikelijk [6].



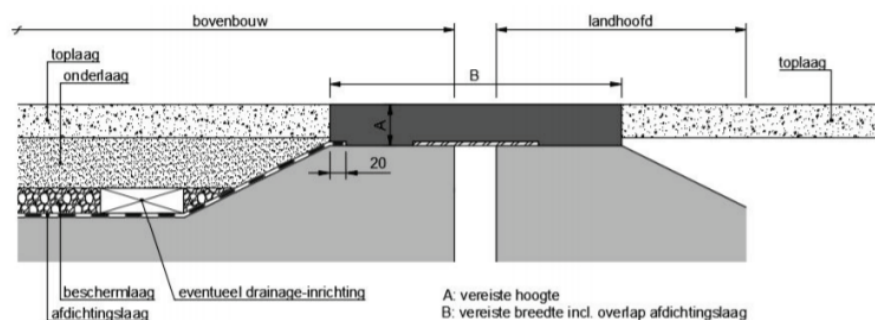
Figuur 21: Doorsnede compoundvoeg met spiraalveren [1, p. 110]

2.5.2 Concept 4B: polymeervoeg

Het voegmateriaal van dit concept bestaat uit een speciaal vervaardigd en volledig elastisch polymeerbeton. De verspreiding van de dilatatie gebeurt door stalen hoekprofielen die in de constructie zijn verankerd [6].

2.5.2.1 Type 4B1: standaard polymeervoeg

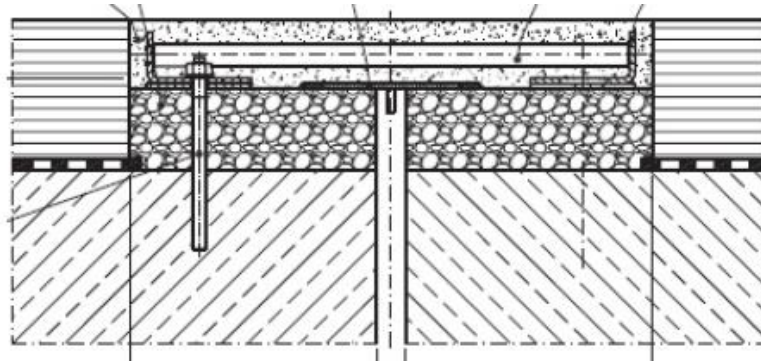
Dit type baseert zich op de algemene werking van een polymeervoeg zoals hierboven beschreven. Een standaard polymeervoeg kan tot 40 mm dilateren [6]. Dit type brugvoeg wordt geïllustreerd in Figuur 22.



Figuur 22: Doorsnede standaard polymeervoeg [7, p. 32.142]

2.5.2.2 Type 4B2: polymeervoeg met stabilisatoren

De stalen hoekprofielen, beschreven in dit concept, kunnen uitgevoerd worden met elementen die stabiliserend kunnen werken. In dit geval spreekt men over een nieuw type ten opzichte van de standaard polymeervoeg. Door stabilisatoren toe te voegen kunnen ook grotere dilataties, tot 135 mm, opgenomen worden [6]. Deze polymeervoeg met stabilisatoren wordt getoond in Figuur 23.



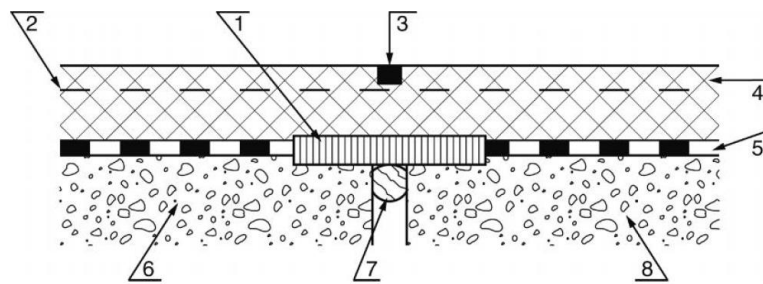
Figuur 23: Doorsnede polymeervoeg met stabilisatoren [1, p. 116]

2.6 Voegloze voegovergang

Bij deze soort is de voeg niet rechtstreeks zichtbaar, vandaar de naamgeving. Het wegdek kan dus ongestoord doorlopen. Een flexibele component wordt geplaatst tussen de verschillende verhardingslagen. Deze flexibele laag zorgt voor het opnemen en verdelen van de dilataties. Een zaagsnede boven de voeg heeft als doel dat het bovenliggende asfalt niet willekeurig gaat scheuren. Deze zaagsnede wordt opgevuld met een flexibele bitumineuze vulling. Aangezien de voegovergang niet zichtbaar is en zich dus in de onderliggende structuur bevindt, is het geproduceerde geluid minimaal [1], [2], [3], [4], [5], [6], [8], [10], [11], [16].

2.6.1 Concept 5A: verborgen voegovergang

In situaties waar starre oplegsystemen of zelfs geen opleggingen gebruikt worden, kan geopteerd worden voor dit concept. Meestal gaat het hier dan over overspanningen tot 30 m. De waterdichtheid wordt gegarandeerd door waterbestendige membranen of een elastomeer vel op een stalen afdekl plaat met rugvulling. Door de flexibele eigenschappen van de voegvulling kunnen de dilataties over de volledige lengterichting opgenomen en verdeeld worden. Verdoken voegen kunnen ook voegen van andere families zijn waarover een nieuwe afwerkingslaag geplaatst is. Het werkingsprincipe bij deze verdoken voegen is natuurlijk anders dan bij de voeg die in deze alinea besproken wordt. De dilatatiecapaciteit van verborgen voegovergangen zijn afhankelijk van de dikte van de verharding maar is meestal beperkt tot 10 mm. Dit komt omdat de dilatatiecapaciteit volledig gebaseerd is op effecten die optreden bij temperatuursveranderingen [6]. De verschillende delen van dit type voeg kan teruggevonden worden in Figuur 24.

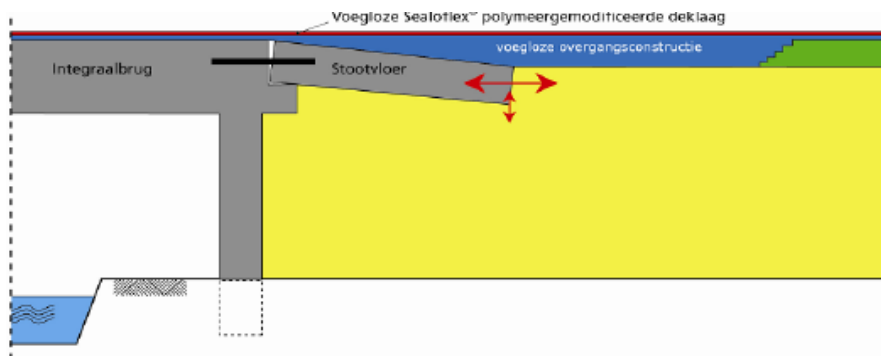


- Key
- 1 Buried expansion joint including waterproofing element (sealant or membrane) (see Annex 2M for more specific designs).
 - 2 Reinforcement of the surfacing* (optional**),
 - 3 Crack inducer sealant* (optional**),
 - 4 Surfacing*,
 - 5 Bridge waterproofing*,
 - 6 Bridge deck*,
 - 7 Caulking,
 - 8 Abutment*.
- * Not part of the kit.
 ** Optional item 2 and 3 shall not be used together.

Figuur 24: Doorsnede verborgen voegovergang [16, p. 6]

2.6.2 Concept 5B: overgangsconstructie voor integraalkunstwerken

Bij dit concept wordt de rijweg ononderbroken aangelegd. Bijgevolg zal de voegovergang in zijn geheel uitmaken van de wegconstructie en het kunstwerk. De dilataties worden opgevangen ter hoogte van het raakvlak van de vlotplaat (stootvloer) en het brugdek. De verbinding tussen deze vlotplaat en het brugdek is belast op trek. Dit type voeg kan tot 30 mm dilateren [6]. In Figuur 25 wordt dit concept weergegeven.



Figuur 25: Doorsnede overgangsconstructie voor integraalkunstwerken [1, p. 121]

2.7 Meervoudige voeg

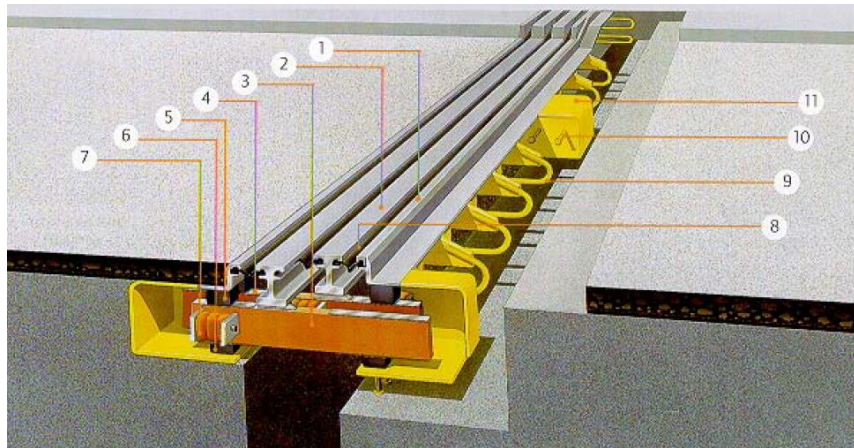
2.7.1 Concept 6A: lamellenvoeg

Deze soort voegovergang is een meervoudige voeg. Ze bestaat uit meerdere kleine voegen die samen de volledige dilatatie moeten opvangen. Dit concept is een opeenvolging van verschillende klauwprofielvoegen.

2.7.1.1 Type 6A1: standaard lamellenvoeg

Dwarsdragers worden in de onderliggende structuur geplaatst om de totale lengte van de voeg te overbruggen. Vervolgens worden balkprofielen op deze

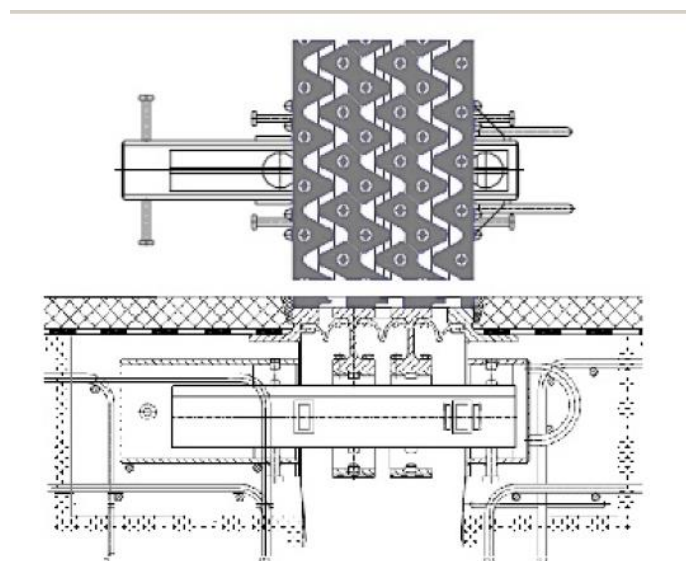
dwarsdragers geplaatst, deze worden lamellen genoemd. Tussen de balkprofielen worden dan rubberen profielen geplaatst voor de waterdichtheid. Dit systeem bestaat dus uit een opvolging van meerdere klauwprofielvoegen. Door stuurveren in de onderliggende constructie kan de totale dilatatie evenredig verdeeld worden over de afzonderlijke klauwprofielvoegen. Door de opeenvolging van kleinere voegen kunnen grote dilataties tot 2400 m opgevangen worden [1], [2], [3], [4], [5], [6], [8], [10], [11], [17]. De opbouw van een lamellenvoeg wordt in onderstaande Figuur 26 geïllustreerd.



Figuur 26: Opbouw lamellenvoeg [11, p. 18]

2.7.1.2 Type 6A2: lamellenvoeg met geluidsreducerend effect

Dit type lamellenvoeg heeft de zelfde werking als type 6A1. De rechte profielen waaruit de lamellenvoeg bestaat worden echter vervangen door profielen met een andere vorm. De aanpassing van de vorm zorgt voor een geluidsreducerend effect [1].



Figuur 27: Lamellenvoeg met geluidsreducerend effect [1, p. 133]

2.8 Samenvatting

Een zeer gevarieerd aanbod aan brugvoegen is beschikbaar op de markt. Elke type heeft zijn eigen karakteristieken en uitvoeringsmethodes. Het grootste verschil tussen de verschillende types is de dillatatiecapaciteit. Een verborgen brugvoeg gaat eerder een kleine translatie kunnen opvangen terwijl een vingervoeg een grotere translatie kan ondergaan. Een meervoudige voegstelsel kan logischerwijs de grootste verplaatsingen opnemen door de opvolging van meerdere kleinere voegen. Daarnaast is er ook een verschil in complexiteit tussen de verschillende voegtypes. Een standaard bitumineuze brugvoeg en een verborgen brugvoeg zijn minder complex en eenvoudig uitvoerbaar terwijl een lamellenvoeg een complexe structuur heeft die moeilijker te realiseren is. Een aantal types kunnen ook uitgevoerd worden met geluidsreducerende maatregelen. Dit kunnen externe platen zijn die op een brugvoeg gemonteerd worden. Een andere manier om het geluid te reduceren is het aanpassen van de vorm van brugvoeg. In plaats van een rechte brugvoeg kan hierbij bijvoorbeeld geopteerd worden om te werken met een sinusvormige brugvoeg. Voor grotere kunstwerken zijn bijgevolg meervoudige brugvoegen een interessante oplossing. Indien brugvoegen aangebracht moeten worden op bruggen met een kleine overspanning kan het type brugvoeg aangepast worden aan de noden van het project.

3 Meerkeuzematrix voegovergangen Nederland

In Vlaanderen is er nog geen ingenieus systeem ontworpen voor de selectie van de juiste brugvoeg in een objectspecifieke situatie. In Nederland is er wel reeds een dergelijk systeem ontworpen. De Rijkswaterstaat Technisch Document (RTD) 1007-1 'Meerkeuzematrix Voegovergangen' is speciaal ontworpen om een geschikte keuze te maken in objectspecifieke situaties. Belangrijk is het feit dat dit document geen norm is maar wel een handreiking. De RTD 1007-1 moet altijd in combinatie gebruikt worden met volgende documenten:

- RTD 1007-2 'Eisen voor Voegovergangen';
- RTD 1007-3 'Geluidseisen voor voegovergangen';
- RTD 1007-4 'Richtlijnen voor flexibele voegovergangsconstructies'.

De RTD 1007-1 bestaat uit drie belangrijke delen: de factsheets, de meerkeuzematrix en de checklist [1], [5].

3.1 Factsheets

In de RTD 1007-1 zijn factsheets opgenomen van alle verschillende types brugvoegen die in Nederland gebruikt worden. Deze factsheets geven een zeer gedetailleerde beschrijving van een bepaald type brugvoeg. Deze beschrijving omvat alle relevante informatie aangaande de productfamilie, functionele eisen, RAMS-aspecten en overige informatie [1], [5]. Een voorbeeld van een factsheet wordt weergegeven in bijlage A.

3.1.1 Functionele eisen

Brugvoegen moeten voldoen aan een aantal eisen die ook onder hoofdstuk 2 vermeld worden. Deze functionele eisen worden besproken en gedefinieerd als de volgende [1], [4], [5]:

- "Bieden van ruimte om rijdekken te laten verlengen, verkorten, verplaatsen in verticale richting en roteren ten opzichte van de steunpunten en/of rijdekken van kunstwerken.";
- "Het opnemen van belastingen ontstaan door verplaatsing van de rijdekken van kunstwerken.";
- "Het opnemen van door het verkeer opgewekte belastingen (statisch en dynamisch).";
- "Waarborgen van een veilige en comfortabele passage van het verkeer.";
- "Minimaliseren van contact- en/of pulsgeluid als gevolg van het passeren van de voeg.";
- "Water keren en afvoeren.".

3.1.2 RAMS-aspecten

De afkorting RAMS staat voor *Realibility, Availability, Maintainability* en *Safety*. In een vertaling naar het Nederlands komt dit neer op betrouwbaarheid, beschikbaarheid, onderhoudbaarheid en veiligheid. Betrouwbaarheid wordt gedefinieerd als de waarschijnlijkheid dat de vereiste functie wordt uitgevoerd onder gegeven omstandigheden gedurende een bepaald tijdsinterval. Dit aspect

kan nog verder ontleed worden in deelaspecten zijnde: levensduur, uitvoeringsongevoeligheid, slijtvastheid en aantastingsongevoeligheid. Vervolgens wordt beschikbaarheid beschreven als de fractie van de tijd dat de vereiste functie kan worden uitgevoerd onder gegeven omstandigheden. Dit aspect wordt weergegeven in een niet-beschikbaarheidsindex. Verder wordt de onderhoudbaarheid omschreven als de waarschijnlijkheid dat de activiteiten voor onderhoud mogelijk zijn binnen de hiervoor vastgestelde tijden, onder gegeven omstandigheden om de vereiste functie te kunnen (blijven) uitvoeren. Er wordt in dit aspect een onderscheid gemaakt in vast onderhoud en variabel onderhoud. Ten slotte wordt het aspect veiligheid gedefinieerd als het vrij zijn van onaanvaardbare risico's in termen van letselschade aan mensen [1], [5].

3.1.3 Overige informatie

Om de factsheets te vervolledigen wordt eveneens extra informatie gegeven aangaande het ontwerp, de uitvoering, het beheer en de leveranciers. Deze bijkomende informatie zijn belangrijke aandachtspunten die ervoor zorgen dat de vooropgestelde prestaties behaald kunnen worden [1], [5].

3.2 Meerkeuzematrix

De eigenlijke Meerkeuzematrix kan worden geïnterpreteerd als een consumententabel waarin alle prestaties van alle verschillende types brugvoegen worden samengevat. Voor de eerder besproken functionele eisen en RAMS-aspecten wordt de prestatie weergegeven in de vorm van een getalwaarde of in de vorm van tekens (--, -, +, ++). In combinatie met de object- en contractspecifieke informatie kan deze Meerkeuzematrix overgaan tot de aanduiding van de meest geschikte voegovergang. In het geval dat meerdere brugvoegtypes in aanmerking komen, wordt de keuze gebaseerd op niet-technische aspecten zoals financiën en planning. Het waardeoordeel dat weergegeven wordt in de Meerkeuzematrix is van toepassing op brugvoegen in autosnelwegen door rekening te houden met een hoge verkeersintensiviteit, een maximale levensduur en een beperkt onderhoud. Indien deze Meerkeuzematrix gebruikt wordt voor de selectie van een brugvoeg bij andere wegen dan een autosnelweg dan kan dit leiden tot een afwijkende (gunstigere) waardering [1], [5]. In bijlage B wordt de Nederlandse Meerkeuzematrix getoond.

3.3 Checklist voegovergangen

In het derde belangrijke onderdeel, namelijk de checklist voegovergangen, wordt verder ingegaan op het objectspecifieke gedeelte. Deze checklist is een lijst waarin alle relevante informatie aangaande de brugvoegovergang wordt weergegeven. Deze informatie kan verkregen worden door de contracteisen en aanvullende voorwaarden te analyseren. De ontbrekende informatie kan op basis van aanvullend onderzoek en vergelijking met soortgelijke kunstwerken bekomen worden door een zo goed mogelijke inschatting te maken. Op basis van deze checklist kan er een eerste onderscheid gemaakt worden tussen geschikte en

minder geschikte types brugvoegen. Een meer uitgebreide risicoanalyse is dan nodig om het meest geschikte concept en type naar voren te schuiven [1], [5].

4 Creatie meerkeuzematrix

Om een meerkeuzematrix op te stellen moet eerst bepaald worden welke gegevens opgenomen worden in de meerkeuzematrix. Deze gegevens zijn enerzijds de criteria waarop de selectie van de juiste brugvoeg gebaseerd wordt en anderzijds moet bepaald worden welke type brugvoegen worden opgenomen in de selectieprocedure.

De selectie van de juiste brugvoeg voor een bepaalde, specifieke situatie hangt af van de criteria die vooropgesteld worden in het beslissingsmodel. Elk criterium heeft een bepaalde invloed op de uiteindelijke rangorde van brugvoegen die naar voren geschoven worden. In het beslissingsmodel, de meerkeuzematrix, dat gekozen wordt om het probleem op te lossen is het van belang om voldoende criteria voorop te stellen. Dit is belangrijk om een zo correct mogelijke selectie te verkrijgen. Verder moet er ook gekeken worden naar de informatie die beschikbaar is. Eerder werd al vermeld dat het onderzoek naar brugvoegen in België eerder beperkt is. De keuze van de criteria wordt bijgevolg ook genomen op basis van gegevens die voorhanden zijn. In deze meerkeuzematrix is er voor geopteerd om de gegevens te verkrijgen bij een betrouwbare bron, namelijk de Rijkswaterstaat in Nederland. Dit is een organisatie die vanuit het ministerie handelt. Door te verkiezen om de gegevens bij deze instantie te verkrijgen, kan de correctheid van de gegevens gegarandeerd worden. De Rijkswaterstaat controleert deze gegevens uitvoerig alvorens zij deze openbaar maken.

In de meerkeuzematrix is er een keuze gemaakt om de criteria op te splitsen in twee soorten. Enerzijds zijn er numerieke criteria en anderzijds zijn er niet-numerieke criteria. De numerieke criteria zijn gebaseerd op cijfermatige gegevens en kunnen bijgevolg makkelijk worden afgetoetst tegenover andere cijfergegevens. De niet-numerieke worden beschreven door een aanduidingen met plus- en mintekens.

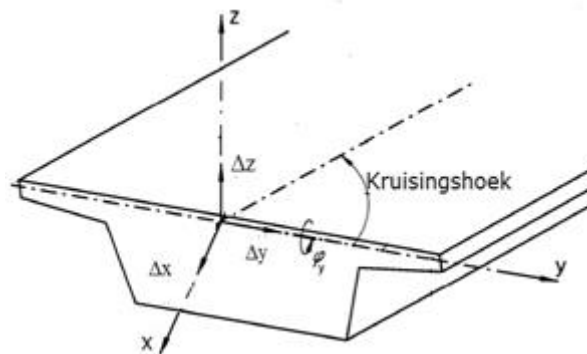
4.1 Selectie numerieke criteria

De numerieke criteria, gebruikt in de meerkeuzematrix, worden aangeduid met cijfergegevens. Dit zorgt voor het kwantitatief invullen van de gegevens die makkelijk met elkaar vergeleken kunnen worden. Afhankelijk van de vooropgestelde criteria kan er op een eenvoudige manier beslist worden of er al dan niet voldaan wordt aan het criteria. Voor de creatie van de meerkeuzematrix is er geopteerd om vier belangrijke criteria voorop te stellen waarvan twee criteria nog verder opgedeeld worden.

4.1.1 Bewegingsvrijheid

De hoofdfunctie van een brugvoeg is dilatatiecapaciteit bieden aan de brug. De brugvoeg moet ervoor zorgen dat de brugdekken horizontaal en verticaal kunnen verplaatsen en roteren ten opzichte van de steunpunten. De rotaties kunnen hierbij

omgezet worden in translaties. Bijgevolg kan de bewegingsvrijheid van een brugvoeg beschreven worden door de verplaatsingen in een driedimensionaal assenstelsel. Op deze manier krijgen we een verplaatsing die loodrecht op de brugvoeg staat, namelijk Δx , een verplaatsing die evenwijdig met de brugvoeg loopt, namelijk Δy , en ten slotte een verplaatsing volgens de verticale as, namelijk Δz [5]. Dit assenstelsel wordt weergegeven in Figuur 28.



Figuur 28: Assenstelsel ter hoogte van een brugvoeg [5]

Brugvoegen moeten gedurende hun ontwerplevensduur bestand zijn tegen de vervormingen die kunnen ontstaan zonder enige vorm van schade aan te richten. De vervormingen of verplaatsingen die optreden, kunnen het gevolg zijn van bewegingen die tot stand gekomen zijn door verschillende factoren. De totale beweging van de brugvoeg wordt bepaald door de combinatie tussen deze mogelijke bewegingen. Volgende factoren hebben een maatgevende invloed op de berekening van de beweging van de brugvoeg [6], [18]:

- temperatuurverschillen,
- krimp en kruip van beton,
- deformaties van de onderbouw en de fundering,
- verkeersbelastingen,
- windbelastingen.

4.1.2 Minimale kruisingshoek

De kruisingshoek waaronder een brugvoeg geplaatst wordt, is van belang bij de berekening van de bewegingsvrijheid van de brugvoeg. De kruisingshoek wordt gedefinieerd als de scherpe hoek waarbij de brugvoeg de as van de weg kruist. Aangezien de hoek wordt gedefinieerd als een scherpe hoek zal het bereik van de kruisingshoek tussen 0° en 90° . Indien de kruisingshoek 0° bedraagt dan ligt de brugvoeg evenwijdig met de lengteas van de hoofdconstructie. Indien de kruisingshoek 90° bedraagt geeft dit aan dat de brugvoeg loodrecht op deze lengteas geplaatst is. Een brugvoeg mag onder een bepaalde kruisingshoek geplaatst worden enkel en alleen als de functionele eigenschappen van de brugvoeg hierdoor niet worden teniet gedaan [5]. Een grafische voorstelling van de kruisingshoek wordt weergegeven in Figuur 28.

In dit criterium wordt de minimale kruisingshoek behandeld. Dit wil zeggen dat het bereik van de kruisingshoek waaronder de brugvoeg geplaatst mag worden, met behoud van de functionaliteiten van de brugvoeg, verkleind wordt. Het bereik wordt nu weergegeven door de overspanningen tussen de minimale kruisingshoek en 90°. De brugvoeg kan bijgevolg geplaatst worden onder eender welke hoek die zich in het vernauwde bereik bevindt.

4.1.3 Zwaar verkeer

Het criteria 'zwaar verkeer' wordt beschreven als het aantal zware voertuigen dat jaarlijks per rijstrook verwacht wordt. Deze vrachtwagens hebben volgens [19] een massa groter dan 12 000 kg. Dit gegeven heeft invloed op de mechanische weerstand die de brugvoeg moet bieden tegen de belastingen voorkomend uit het verkeer. Bij de berekening van deze totale belasting wordt rekening gehouden met zowel de statische belastingen als de dynamische belastingen uit het verkeer. Niet elke brugvoeg is bestand tegen de krachten die ontstaan door het verkeer dat over de brugvoeg rijdt. Indien een zwaar voertuig over de brugvoeg rijdt, zijn de krachten groter dan bij normale personenvoertuigen, hetgeen maatgevend is voor de bepaling van de mechanische weerstand uit het verkeer. Deze mechanische weerstand kan gedefinieerd worden als de mate van de bestandheid tegen krachten uitgeoefend op de brugvoeg in zowel de horizontale als verticale richting. Hierbij mag er geen schade toegebracht worden aan de brugvoeg zelf, noch aan zijn bevestiging of verankering in de constructie [5].

4.1.4 Levensduur

De levensduur of ontwerplevensduur wordt gedefinieerd als de periode waarin het object naar verwachting zal functioneren indien er nominale ontwerpbelastingen beschouwd worden [18]. Verschillende aspecten hebben invloed op de bepaling van de uiteindelijke ontwerplevensduur. Ten eerste speelt de mechanische weerstand van de brugvoeg tegen optredende belastingen een rol in de bepaling van de ontwerplevensduur. Ten tweede wordt de weerstand tegen zowel inwendige als uitwendige slijtage meegenomen in de berekening. Ten slotte gaat de weerstand tegen enige vorm van aantasting van de brugvoeg ook bepalend zijn. Naast deze factoren is de ontwerplevensduur ook afhankelijk van de gebruikte materialen bij de uitvoering van de brugvoeg. Indien de ontwerplevensduur vastgesteld wordt op x jaar, wil dit niet zeggen dat de brugvoeg ook effectief x jaar zal functioneren. De werkelijke levensduur kan in de praktijk afwijken van de ontwerplevensduur door onder meer de mate waarin de correcte materialen gebruikt zijn bij de plaatsing van de brugvoeg. Daarnaast spelen de kwaliteit van de uitvoering en de kwaliteit van het reguliere onderhoud een belangrijke rol in dit verhaal, alsook het werkelijke gebruik van de brugvoeg [5].

In de meerkeuzematrix wordt een opsplitsing gemaakt tussen enerzijds de ontwerplevensduur van de constructie en anderzijds de ontwerplevensduur van de onderdelen. Het verschil tussen beide ontwerplevensduren berust op het al dan niet

nodig zijn van enig sloopwerk. Indien er sloopwerken noodzakelijk zijn bij het vervangen van een gedeelte van de brugvoeg wordt er gesproken over de ontwerplevensduur van de constructie. Onder de ontwerplevensduur van de onderdelen wordt verstaan dat de onderdelen vervangen kunnen worden zonder sloopwerken. De vervanging van deze onderdelen dient te gebeuren op een manier waarbij er een geringe verkeershinder plaatsvindt binnen een beperkte periode. Hoofdzakelijk gaat het hierbij over rubberen of kunststof elementen die zorgen voor de waterdichting. Stalen onderdelen wordt altijd onder ontwerplevensduur van de constructie gerekend [5].

4.2 Selectie niet-numerieke criteria

De tweede soort criteria die gebruikt worden in de meerkeuzematrix zijn criteria die gebaseerd zijn op een niet-numerieke waardering. In het kader van de op te stellen meerkeuzematrix is er geopteerd een ordinale meetschaal te hanteren. Deze meetschaal drukt zich uit in + en - tekens. Op deze manier worden de gegevens niet omgezet naar een kwantitatieve waardering, maar naar een kwalitatieve waardering. Het waardeoordeel wordt uitgedrukt volgens de gegevens in Tabel 2 [1].

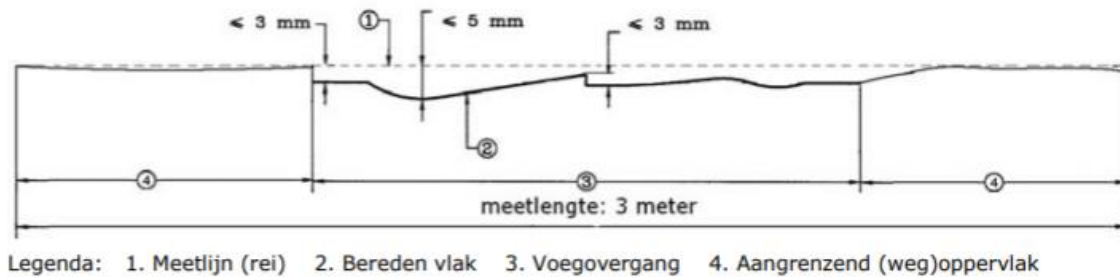
Tabel 2: Waardeoordeel van de meetschaal

Teken	Waardeoordeel
++	Goed
+	Redelijk
-	Matig
--	Slecht

4.2.1 Oneffenheid

De oneffenheid die een brugvoeg veroorzaakt in een wegdek is van belang bij het waarborgen van het comfort en de veiligheid bij het passeren van de brugvoeg. De aansluiting die gemaakt wordt tussen de brugvoeg aan de ene zijde en de verharding aan de andere zijde moet zo vlak mogelijk gemaakt worden voor een zo optimaal mogelijk comfort en veiligheid [5].

De oneffenheid op zich wordt bekomen door de niveauverschillen in het bereden vlak. Deze niveauverschillen kunnen we waarnemen in zowel een onbelaste als een belaste toestand. In de onbelaste toestand, een toestand zonder verkeersbelasting, maar na de plaatsing, mag de totale afwijking in vlakheid niet hoger zijn dan 5 mm. Dit wordt bepaald door het meten van de afwijking onder een rei van 3 m. Deze eis geldt voor de onderdelen die de voegovergang in de rijweg vormen. Op verbindingsvlak tussen de voegovergang en de wegverharding geldt er een andere eis. Deze eis stelt voorop dat de wegverharding minimaal een gelijk niveau moet behalen met de voegovergang en dit niveau maximaal met 3 mm met overstijgen. Dit wordt weergegeven in Figuur 29 [6], [18].



Figuur 29: Eisen naar niveauverschillen in onbelaste toestand [18]

In een toestand waarbij verkeersbelasting wordt meegerekend, mag de toename van het niveauverschil niet de maximale waarde van de vervorming in GGT overschrijden. Dit wordt gemeten in de rijrichting ten opzichte van de ideale lijn. De effectieve waarde van deze vervorming wordt bepaald door twee formules. Voor tweezijdig ondersteunde brugvoegen geldt dat deze waarde maximaal $0,0025 \times$ de lengte van de haakse overspanning op brugvoeg mag bedragen. Voor uitkragende brugvoegconstructies geldt er een maximale waarde van $0,005 \times$ de lengte van de vrije uitkraging. Beide formuleringen worden begrensd door een maximale waarde van 5 mm [6], [18].

Bij de toepassing van flexibele brugvoegen moet de spoorvorming beperkt blijven tot een waarde gelijk aan 18 mm (+/- 9 mm) berekend op basis van de ontwerplevensduur. Bij het gebruik van mattenvoegen mag er maximaal een niveauverschil van 12 mm optreden. Dit geldt voor een situatie van maximale contractie ten opzichte van een maximale verlenging [6], [18].

In Tabel 3 wordt het waardeoordeel dat het criteria oneffenheid met zich meekrijgt gekoppeld aan een beoordelingsniveau. Het beoordelingsniveau geeft een toelichting bij de abstracte tekens uit de ordinale meetschaal [1].

Tabel 3: Beoordelingsniveaus bij oneffenheid

Teken	Waardeoordeel	Beoordelingsniveau
++	Goed	Volledig vlak, nauwelijks waarneembaar
+	Redelijk	Vlakke overgang, waarneembaarheid is beperkt
-	Matig	Onvlakke overgang die waarneembaar is
--	Slecht	Oncomfortabele waarneembare overgang die meteen opvalt

4.2.2 Aansluiting waterdichtheid

Een brugvoeg dient te allen tijde te zorgen voor een waterdichting ter bescherming van de onderliggende brugelementen. Onder dit criteria wordt verondersteld dat de brugvoeg in staat moet zijn om water te keren en water af te voeren. Indien de

waterdichting niet verzekerd is, kan er gevolgschade optreden zoals zichtbaar in Figuur 30. De waterdichting kan bereikt worden door een in rubber of kunststof vervaardigd afdichtingsprofiel, maar kan bekomen worden door een drainage. Aangezien elke brugvoeg waterdichtheid moet garanderen, is dit criterium meer toegespitst op de duurzaamheid van de aansluiting van de waterdichtheid. Afdichtingselementen mogen niet bezwijken onder de translaties die de brugvoeg moet toestaan. Daarnaast mogen ze ook niet lossen door onvoldoende reiniging van de brugvoeg waardoor accumulatie van vuil optreedt. De hardheid van de gekozen oplossing speelt ook een rol in de duurzaamheid omtrent de waterdichting. Hoe harder een gekozen materiaal, hoe gevoeliger dit zal zijn voor beschadigingen wat resulteert in een minder duurzame oplossing [5].



Figuur 30: Schadebeelden bij niet waterdichte brugvoegen [5]

Onderstaande Tabel 4 geeft de beoordelingsniveaus weer die aansluiten bij de waardeoordelen die meegegeven worden aan dit criteria. Het beoordelingsniveau geeft een verduidelijking bij het teken dat een bepaald type brugvoeg krijgt toegewezen [1].

Tabel 4: Beoordelingsniveaus bij de aansluiting waterdichtheid

Teken	Waardeoordeel	Beoordelingsniveau
++	Goed	De aansluiting van de waterdichtheid is duurzaam en bijgevolg ongevoelig voor lekkage met uitzondering van mechanische schadebeelden.
+	Redelijk	Ongevoelig voor lekkages op korte termijn. Op lange termijn kunnen lekkages mogelijk zijn die met een variabel onderhoud eenvoudig te corrigeren zijn.
-	Matig	Gevoelig voor lekkages op relatief korte termijn die gecorrigeerd kunnen worden door reparaties of vervangingen van onderdelen.
--	Slecht	Gevoelig voor lekkages op korte termijn met onomkeerbare gevolgen die enkel gecorrigeerd kunnen worden door de vervanging van de totale brugvoeg.

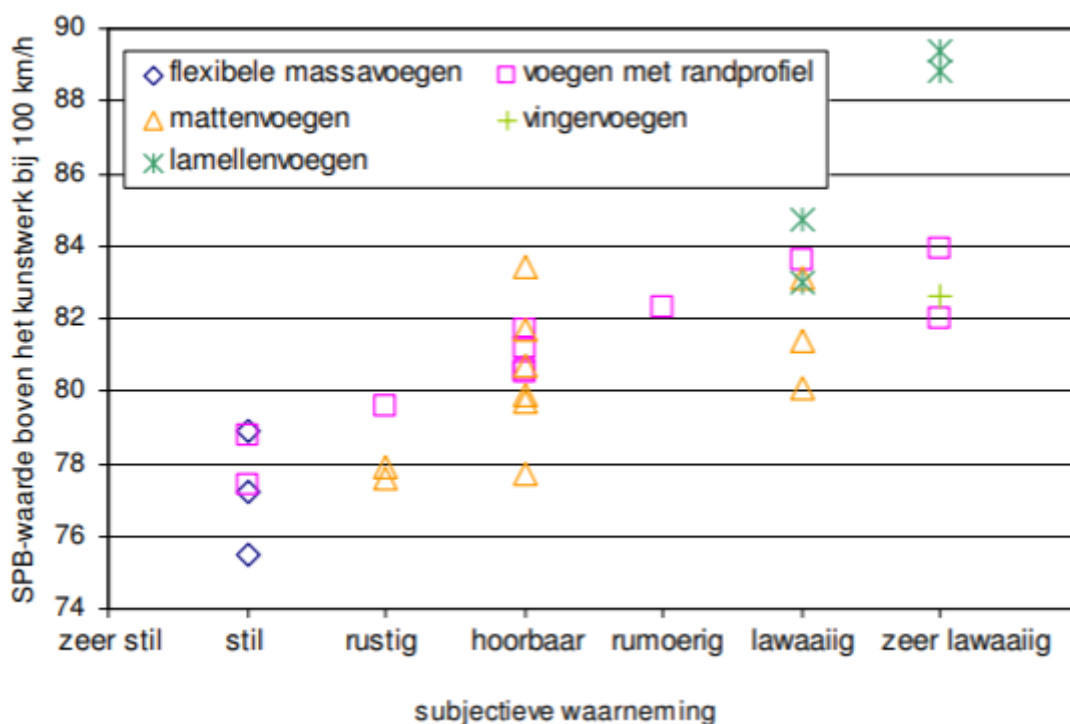
4.2.3 Geluid

Onder het criteria 'geluid' wordt het contact- en/of pulsgeluid verstaan dat ontstaat bij het voorbij komen van een brugvoeg. Het is vanzelfsprekend dat dit geluid zo minimaal mogelijk moet zijn om geluidshinder te voorkomen. Drie belangrijke aspecten vallen op bij het analyseren van het geluid bij voegovergangen:

- De hinder is afhankelijk van het type geluid dat gecreëerd wordt. Voorbij komende voertuigen brengen korte impulsachtige geluiden met zich mee. Deze geluiden kunnen pieken veroorzaken en zijn duidelijk herkenbaar boven het ruisachtige achtergrondgeluid van een verkeersweg;
- Het geluid dat veroorzaakt wordt door voorbij komende voertuigen heeft een laagfrequent karakter. Dit karakter zorgt voor een pulsgeluid dat extra ver hoorbaar is in de omgeving;
- Brugvoegen worden meestal geplaatst in kunstwerken die hoger in de omgeving liggen dan het gebruikelijke maaiveld. Door dit niveauverschil kan het geluid zich gemakkelijker verspreiden en is de uitstraling naar de omgeving, zowel langs de onderkant als de bovenkant van het kunstwerk, erg effectief.

Het geluid ontstaat doordat de vlakheid ten opzichte van de verharding niet goed is. De vlakheid van de brugvoeg verbeteren heeft bijgevolg een positieve impact op de geluidshinder die kan ontstaan [5].

De maximale optredende piekniveaus van het geluid hebben een goede relatie met de hinder die ondervonden wordt door deze piekniveaus. Aan de hand van deze bevinding is een meetprotocol bepaald voor de beoordeling van de voegovergangen. Dit meetprotocol is gebaseerd op de *Statistical Pass-By* (SPB) methode die op een vaste afstand van de rijbaan het maximale geluidsniveau van voorbij komende voertuigen opmeet. Figuur 31 geeft de relatie weer tussen de gemeten geluidsniveaus bij een snelheid van 100 km/u en de hinder die ontstaat. De hinder is in dit geval weergegeven door subjectieve waarnemingen [20]. De metingen gebeuren op een hoogte van 5 m boven het wegdek en worden omgezet naar equivalente meting op een hoogte van 3 m boven het wegdek. De gebruikte Statistical Pass-By methode is vastgelegd in de norm ISO 11819-1 [21].



Figuur 31: Relatie tussen gemeten geluidsniveaus en een subjectieve beoordeling van de voeg [20]

Het geluidsniveau wordt weergegeven aan de hand van de GeluidLabelWaarde (GLW). De GLW komt overeen met een geluidsniveau dat op basis van statistiek slechts in 10% wordt overschreden. Deze GLW waarde wordt uitgedrukt in dB(A), een afgeleide eenheid van de reguliere decibel [5]. In vergelijking met de decibel houdt de dB(A) rekening met een correctie van de geluidsterktes ten gevolge van de gevoeligheid van het menselijk oor. Om de geluidsniveaus van voorbij komende voertuigen te verlagen, kunnen geluidsreducerende maatregelen genomen worden. Deze maatregelen kunnen resulteren in het aanpassen van de vorm van de brugvoeg of het plaatsen van geluidsreducerende platen boven op de brugvoeg. In beide gevallen zal het geluidsniveau dalen en zal er minder geluidshinder ontstaan. In de meerkeuzematrix is er gekozen om te werken met GLW waarden die berekend zijn op basis van een referentie snelheid van 120 km/u [1]. In Tabel 5

wordt de GLW in verband gebracht met het waardeoordeel dat toegekend wordt aan de verschillende soorten brugvoegen.

Tabel 5: Beoordelingsniveaus bij geluid

Teken	Waardeoordeel	Beoordelingsniveau
++	Goed	$GLW \leq 82,5 \text{ dB}(A)$
+	Redelijk	$82,5 \text{ dB}(A) \leq GLW \leq 85 \text{ dB}(A)$
-	Matig	$85 \text{ dB}(A) \leq GLW \leq 87,5 \text{ dB}(A)$
--	Slecht	$87,5 \text{ dB}(A) \leq GLW$

4.2.4 Uitvoeringsongevoeligheid

Dit criterium duidt op de manier waarop de brugvoeg uitgevoerd wordt en is onrechtstreeks een maatstaf voor de kwaliteit van de brugvoeg. De uitvoeringsongevoeligheid geeft weer in welke mate de betrouwbaarheid van het functioneren van een brugvoeg ongevoelig is voor de uitvoeringsfouten die gemaakt kunnen worden. Een bepaalde soort brugvoeg dat zeer gevoelig is voor uitvoeringsfouten en bijgevolg dus een slechte score haalt op gebied van uitvoeringsongevoeligheid, zal kunnen leiden tot vaker onderhoud dat eerder en/of onverwachter noodzakelijk kan zijn [5]. Tabel 6 geeft weer op welke manier het waardeoordeel in relatie staat tot het beoordelingsniveau van een bepaalde soort brugvoeg.

Tabel 6: Beoordelingsniveaus bij uitvoeringsgevoeligheid

Teken	Waardeoordeel	Beoordelingsniveau
++	Goed	Een lage kans of fouten tijdens de uitvoering waarbij er nauwelijks gevolgen optreden. Het is een robuust ontwerp.
+	Redelijk	Er bestaat een kans op fouten tijdens de uitvoering waarbij er gevolgen optreden op lange termijn. Het is een robuust ontwerp.
-	Matig	Er is een hoge kans op fouten tijdens de uitvoering waarbij er gevolgen op middellange termijn optreden. Het is een kwetsbaar ontwerp.
--	Slecht	Er is een hoge kans op fouten tijdens de uitvoering waarbij er gevolgen op korte termijn optreden. Het is een kwetsbaar ontwerp.

4.2.5 Onderhoudbaarheid

De onderhoudbaarheid van een brugvoeg wordt gedefinieerd als de waarschijnlijkheid dat de activiteiten voor onderhoud mogelijk zijn binnen de hiervoor vastgestelde tijden, onder aangegeven omstandigheden om de vereiste functie te kunnen (blijven) uitvoeren. De vastgestelde tijden worden hierin beschreven als werkbare uren (WBU). Dit zijn de uren van de dag waarin de capaciteit van het verkeerssysteem niet ten volle wordt benut door de verkeersintensiteit. Het verkeerssysteem kan in deze situatie gedeeltelijk verhinderd worden om onderhoudswerkzaamheden uit te voeren. De hinder die hierdoor ontstaat, wordt beperkt tot enige vertraging [5]. In de ontwerpfase dient er al rekening gehouden te worden met de onderhoudbaarheid van de voegconstructies. Enerzijds moet er voldoende aandacht besteed worden aan de toegankelijkheid van de brugvoegen zodat inspecties uitvoerbaar zijn. Anderzijds moet het ontwerp voorzien dat er een zo minimaal mogelijke accumulatie van vuil kan ontstaan. Daarnaast moet er ook de mogelijkheid zijn om het vuil te kunnen verwijderen [18]. De onderhoudbaarheid van een brugvoeg kan opgesplitst worden in drie verschillende aspecten:

- vast onderhoud,
- vervangen van onderdelen,
- vervangen van constructie.

Het vast onderhoud houdt in dat de brugvoeg van regulier onderhoud voorzien wordt zodat hij optimaal kan functioneren. Het doel van dit vast onderhoud is het voorkomen van schade. Het vervangen van onderdelen heeft meestal betrekking op het vervangen van afwaterdichtingsmaterialen die uit rubber uit kunststof vervaardigd zijn. Deze elementen hebben een beperkte levensduur maar zijn gemakkelijk vervangbaar zonder enige vorm van sloopwerk [5].

Aangezien de ontwerplevensduur van het kunstwerk de onderwerplevensduur van de brugvoeg overstijgt, kunnen er momenten zijn waarbij de volledige voegconstructie vervangen zal moeten worden. De vervangbaarheid van deze constructie is het derde aspect waarmee rekening gehouden dient te worden bij de keuze van de juiste brugvoeg. Op twee verschillende manieren kan er aandacht besteed worden aan dit aspect tijdens het ontwerp. De eerste manier duidt op de modificeerbaarheid van de brugvoegconstructie. Hierbij kan de onderbouw inclusief verankering behouden blijven voor de fixatie van de nieuwe brugvoeg. De tweede manier wijst op het feit dat de schade bij een volledige sloopoperaties zo minimaal mogelijk moet zijn. De sloopwerken dienen hiervoor op een zorgvuldige manier te gebeuren [18]. Tabel 7 geeft weer in welke mate de duur van de onderhoudbaarheid verbonden is met het waardeoordeel dat toegekend wordt aan de brugvoegen [1].

Tabel 7: Beoordelingsniveaus bij onderhoudbaarheid

Teken	Waardeoordeel	Beoordelingsniveau
++	Goed	Onderhoud kan gebeuren binnen een interval van 1 of 2 WBU.
+	Redelijk	Onderhoud kan gebeuren binnen een interval dat groter is dan 2 WBU.
-	Matig	Onderhoud kan niet gebeuren binnen WBU intervallen. Een kortdurende stremming, kleiner als 1 dag is nodig.
--	Slecht	Onderhoud kan niet gebeuren binnen WBU intervallen. Een langdurende stremming, groter als 1 dag is nodig.

4.2.6 Veiligheid

Het criterium 'veiligheid' verwijst naar het vrij zijn van onaanvaardbare risico's in termen van letselschade aan mensen. Het is evident dat de veiligheid altijd vooropgesteld moet worden bij de implementatie van een bepaalde brugvoeg. Desondanks bestaat er altijd een kleine kans op een onverhoopt falen van de brugvoeg of een gedeelte hiervan. Het falen staat rechtstreeks in verband met fouten in ontwerp, uitvoering en/of beheer. De gevolgen die optreden door het falen kan onderling met elkaar vergeleken worden en kan een bepaalde waardering met zich meebrengen [5]. De waardering van brugvoegen inzake veiligheid worden in Tabel 8 in verband gebracht met de kans op enige vorm van letselschade bij het falen van de brugvoeg [1].

Tabel 8: Beoordelingsniveaus bij veiligheid

Teken	Waardeoordeel	Beoordelingsniveau
++	Goed	Bij falen van de brugvoeg is er geen mogelijk letselschade bij de mens.
+	Redelijk	Bij falen van de brugvoeg is er een kleine kans op letselschade bij de mens.
-	Matig	Bij falen van de brugvoeg is er een grote kans op letselschade bij de mens .
--	Slecht	Bij falen van de brugvoeg is er direct letselschade bij de mens.

4.3 Selectie brugvoegen

De meerkeuzematrix bevat naast de criteria ook een aantal brugvoegen die met elkaar vergeleken kunnen worden. Alle verschillende brugvoegen staan beschreven in hoofdstuk 2 en zijn overzichtelijk weergegeven in Tabel 1. Het is echter niet

mogelijk om al deze brugvoegen op te nemen in het beslissingsmodel dat vooropgesteld wordt. De selectie van de brugvoegen berust op twee aspecten. Enerzijds wordt de selectie bepaald door de expertise die voorhanden is bij de opdrachtgever van dit onderzoek. Op basis van de jarenlange ervaring werd vastgesteld dat enkele brugvoegen niet relevant genoeg zijn om opgenomen te worden in de creatie van de meerkeuzematrix. Anderzijds wordt de selectie van de brugvoegen beïnvloed door de aanwezige informatie die beschikbaar is rond de bepaalde brugvoegtypen. Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende mogelijkheden is dit van groot belang. De criteria die besproken worden in de meerkeuzematrix vragen allemaal een aantal specificaties die eigen zijn aan de brugvoegen. Indien deze informatie niet beschikbaar is, kan er ook geen waarheidsgetrouwe vergelijking gemaakt worden tussen de verschillende opties. Enkel de brugvoegen waarover voldoende informatie beschikbaar is om de vooropgestelde criteria te beschrijven en te vergelijken worden meegenomen in de creatie van de meerkeuzematrix. Deze twee aspecten resulteren in de selectie van 16 types brugvoegen verdeelt over de zes families van brugvoegen.

Voor de klauwprofielen met voegband zijn dit:

- 1A1: traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel met voegband;
- 1A2: in de constructie veranderd klauwprofiel met voegband voorzien van rijroosters;
- 1A4: in de constructie verankerd klauwprofiel met voegband voorzien van geluidsreducerend effect;
- 1B: gelijmd klauwprofiel met voegband.

Voor de vingervoegen zijn dit:

- 2A1: uitkragende vingervoeg met kamplaten,
- 2A2: uitkragende vingervoeg met zaagtandplaten,
- 2B1: ondersteunende vingervoeg met kamplaten.

Voor de mattenvoegen zijn dit:

- 3A1: gewelfde mattenvoeg,
- 3A2: geperforeerde mattenvoeg,
- 3B1: gewapende mattenvoeg.

Voor de flexibele voegen zijn dit:

- 4A1: standaard bitumineuze flexibele voeg,
- 4A2: bitumineuze flexibele voeg met spiraalveren,
- 4B1: standaard polymeer flexibele voeg.

Voor de voegloze voegovergangen is dit:

- 5A: verborgen voeg.

En voor de meervoudige voegen zijn dit:

- 6A1: traditionele lamellenvoeg,
- 6A2: lamellenvoeg met geluidsredurecend effect.

4.4 Opstellen meerkeuzematrix

De meerkeuzematrix op zich wordt opgesteld door de verschillende criteria en geselecteerde brugvoegen te verenigen in een overzichtelijk geheel. De meerkeuzematrix wordt opgesteld in een tabelvorm die per brugvoeg een oplisting weergeeft van de criteria. De informatie aangaande de criteria worden bij gebrek aan beschikbare informatie in België onttrokken uit de 'Meerkeuzematrix voegovergangen' van de Rijkswaterstaat in Nederland. In de rijen van de meerkeuzematrix worden de criteria weergegeven zoals zichtbaar in Tabel 9. Eerst worden de numerieke criteria opgesomd, daarna worden de niet-numerieke criteria weergegeven. Beide criteria worden gescheiden door een dikke zwarte lijn om het onderscheid duidelijk zichtbaar te maken.

Tabel 9: Gebruikte criteria in de meerkeuzematrix

bewegingsvrijheid	Δx (mm)
	Δy (mm)
	Δz (mm)
minimale kruisingshoek (°)	
zwaar verkeer (aantal)	
levensduur	onderdelen (jaar)
	constructie (jaar)
oneffenheid	
aansluiting waterdichtheid	
geluid	
uitvoeringsongevoeligheid	
onderhoudbaarheid	vast onderhoud
	vervangen onderdelen
	vervangen constructie
veiligheid	

In de kolommen worden de geselecteerde brugvoegen weergegeven zoals voorgesteld in Tabel 10. De 16 brugvoegen worden geordend per familie wat gemakkelijk herkenbaar is door de verschillende kleuren voor de verschillende families. Een verdere opdeling wordt gemaakt aan de hand van de concepten en types die bestaan binnen de families. Aan elke brugvoeg gaat ook een

identificatiecode vooraf die overeenstemt met de beschreven brugvoegen in hoofdstuk 2.

Tabel 10: Gebruikte brugvoegen in de meerkeuzematrix

1 klauwprofiel met voegband			2 vingervoegen		3 mattervoegen			4 flexibele voegen		5 voegloze voegover- gangen	6 meervoudige voegen			
1A in de constructie verankerd			2A uitkragend		3A dilatatie door lengteverandering			4A bitumineuze voeg		5A verborgen voeg	6A lamellenvoeg			
1A1 traditioneel	1A2 met rijroosters	1A4 met geluidreducerend effect	2A1 kamplaten	2A2 zaagrandplaten	2B1 kamplaten	3A1 gewelfd	3A2 geperforeerd	3B1 gewapend	4A1 standaard		4A2 met spiraalveren	4B1 standaard	4B polymeer voeg	6A1 traditioneel

De volledige meerkeuzematrix wordt weergegeven in Tabel 11. Hierin zien we de bepaalde criteria en de geselecteerde brugvoegen in terug komen. Voor elke brugvoeg is ook de beschikbare informatie aangaande de criteria ingevuld. Deze informatie is eigen aan het type brugvoeg. De numerieke gegevens worden weergegeven in de rijen boven de zwarte streep, de niet-numerieke gegevens worden onder deze zwarte streep ingevuld.

Tabel 11: Meerkeuzematrix brugvoegen

		1 klauwprofiel met voegband		2 vingervoegen		3 matiervoegen		4 flexibele voegen		5 voegloze voegovergangen		6 meervoudige voegen	
		1A in de constructie verankerd		2A uitkragend		3A dilatatie door lengteverandering		4A bitumineuze voeg		5A verborgen voeg		6A lamellenvoeg	
		1A1 traditioneel		2A1 kamplaten		3A1 gewelfd		4A1 standaard		4B1 standaard		6A1 traditioneel	
		1A2 met rijroosters		2A2 zaagtandplaten		3A2 geperforeerd		4A2 met spiraalveren		4B2 met spiraalveren		6A2 met geluidreducerend effect	
		1A4 met geluidreducerend effect		2B1 kamplaten		3B1 gewapend		4A3 standaard		4B2 standaard		6A3 met geluidreducerend effect	
		1B gelijk											
bewegingsvrijheid	Δx (mm)	40	30	250	350	475	60	70	10	25	60	5	1200
	Δy (mm)	40	4	7	5	5	50	40	5	5	30	2,5	20
	Δz (mm)	10	3	8	3	3	10	10	1,5	3	5	1,5	20
minimale kruisingshoek (°)		18	18	59	59	59	72	72	18	59	59	0	41
	zwaar verkeer (aantal)	2000000	2000000	2000000	2000000	5000000	1250000	500000	500000	5000000	5000000	20000000	20000000
levensduur	onderdelen (jaar)	10	10	25	25	25	15	10	nvt	10	nvt	10	10
	constructie (jaar)	40	40	40	40	40	40	40	5	25	15	20	40
oneffenheid		-	-	+	+	+	+	+	++	++	++	++	+
aansluiting	waterdichtheid	++	+	+	+	+	++	+	-	++	++	++	++
uitvoeringsvoegvoeligheid	geluid	--	--	-	-	-	-	-	++	++	++	++	-
	vast onderhoud	++	++	++	++	++	++	++	+	-	-	++	+
onderhoudbaarheid	vervangen onderdelen	++	++	+	++	++	+	+	++	++	++	++	+
	vervangen constructie	--	--	--	--	--	--	--	-	+	++	++	--
vrijheid		++	++	-	-	+	+	-	-	+	+	++	+

5 De tool

Om de meerkeuzematrix op een effectieve manier te gebruiken is er een tool nodig om de informatie om te zetten naar een bruikbaar resultaat. Er is gekozen om deze tool te programmeren in een Excel bestand zodat het een toegankelijk document is dat gebruiksvriendelijk is. Het Excel bestand is opgebouwd uit drie verschillende tabbladen, namelijk:

- input,
- meerkeuzematrix,
- berekening.

De verschillende tabbladen worden in het vervolg van dit hoofdstuk besproken.

5.1 Input

In het tabblad 'Input' wordt er gevraagd naar de objectspecifieke gegevens van het project. Zoals de naam van het tabblad doet vermoeden, wordt er hier informatie ingewonnen die later nodig is bij de berekening. De gevraagde input komt overeen met de numerieke criteria die vooropgesteld worden bij de meerkeuzematrix. Deze zeven criteria zijn omschreven door een getalwaarde zoals zichtbaar in Tabel 11. Om deze getalwaarde te vergelijken met de objectspecifieke gegevens worden er aan de gebruiker van de tool ook zeven vragen gesteld. Deze vragen hebben betrekking tot:

- de bewegingsvrijheid,
- de kruisingshoek,
- het zwaar verkeer,
- ontwerplevensduur.

Bij elke vraagstelling wordt er een inputzone voorzien die geel gearceerd is. De gebruiker van de tool kan in deze ruimte zijn antwoord op de vraagstelling typen. Achter de geel gearceerde inputzone staat ook de eenheid vermeld waarin het antwoord gegeven moet worden. In dit tabblad is er enkel de mogelijkheid om de geel gearceerde inputzones te voorzien van input, de overige cellen van het tabblad zijn geblokkeerd zodat er geen fouten gemaakt kunnen worden. De volledige opmaak van dit tabblad is weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Tabblad 'Input'

Gegevens project		
Welke verplaatsing dient er in de x-richting opgenomen te worden?		mm
Welke verplaatsing dient er in de y-richting opgenomen te worden?		mm
Welke verplaatsing dient er in de z-richting opgenomen te worden?		mm
Wat is de kruisingshoek waaronder de brugvoeg geplaatst wordt?		°
Hoeveel zware voertuigen worden jaarlijks per rijvak verwacht?		voertuigen
Wat is de ontwerplevensduur van de onderdelen?		jaar
Wat is de ontwerplevensduur van de constructie?		jaar

5.2 Meerkeuzematrix

Het tweede tabblad laat de meerkeuzematrix zien die opgesteld is aan de hand van de vooropgestelde criteria en geselecteerde brugvoegen. De meerkeuzematrix zal altijd weergegeven worden in zijn onaangeroerde vorm. Dit is een tabblad dat volledig beveiligd is en er kunnen dus bijgevolg geen wijzigingen gebeuren door de gebruiker bij de bepaling van de beste brugvoeg voor een objectspecifieke situatie. Dit tabblad zal bijgevolg ten allen tijde hetzelfde uitzicht behouden zoals eveneens weergegeven is in Tabel 11. De integratie van een onaangeroerde meerkeuzematrix in de tool is van belang om de gebruiker een overzichtelijk geheel te geven van de geïmplementeerde criteria en brugvoegen. De volledige opmaak van de meerkeuzematrix wordt besproken in hoofdstuk 4.

5.3 Berekening

In het derde en laatste tabblad van de Excel tool wordt de berekening en rangschikking van de brugvoegen bepaald. Dit tabblad geeft de uiteindelijke oplossing weer van de meerkeuzematrix die toegepast wordt op een objectspecifieke situatie. Het resultaat van deze tool moet uiteindelijk de onderzoeksvraagstelling beantwoorden. Dit tabblad is wederom volledig beveiligd en de zichtbare informatie kan niet manueel aangepast worden. Er is echter wel één uitzondering op deze beveiliging, namelijk de berekeningsknop. Deze knop zal het berekenings- en rangschikkingsproces in gang zetten en zal de best mogelijke oplossing naar voren schuiven. In de beginsituatie geeft dit tabblad de meerkeuzematrix weer met een klein verschil dat zich vestigt in de benaming van de brugvoegen. Enkel de verst gevorderde benaming van de type brugvoeg is weergegeven in de kolommen vergezeld van zijn identificatiecode die overeenstemt met de indeling uit hoofdstuk 2. De programmatie die zich schuil houdt achter deze knop wordt hieronder in detail besproken.

5.3.1 Aftoetsing numerieke criteria

Elke brugvoeg die geplaatst kan worden, moet in de eerste plaats voldoen aan de numerieke criteria die vooropgesteld worden. Een brugvoeg die een dilatatiecapaciteit van 40 mm heeft in de x-richting kan bijvoorbeeld onmogelijk geïmplementeerd worden in een specifieke situatie waarin er een dilatatiecapaciteit van 100 mm vereist is. De informatie eigen aan de types brugvoegen moet in eerste instantie afgetoetst worden aan de input. De uitkomst van deze verificatie wordt visueel weergegeven met een kleurcode. Indien een bepaald criteria van een brugvoeg voldoet aan de objectspecifieke gegevens, dan kleurt de cel groen. Indien een bepaald criteria van een brugvoeg niet voldoet aan de objectspecifieke gegevens, dan verkleurt de cel niet.

Voor de criteria 'bewegingsvrijheid', 'zwaar verkeer' en 'levensduur', wordt de verificatie bepaald aan de hand van volgend stramien. Indien de getalwaarde van een bepaald criteria groter of gelijk is aan de getalwaarde van de inputzone van de overeenkomstige vraagstelling, dan zal de verificatie goedgekeurd worden. In dit geval zal de cel ook groen verkleuren. Indien deze verificatie niet goedgekeurd wordt, dan blijft de celkleur ongewijzigd. Bij twee types brugvoegen is de verificatie van de levensduur van de onderdelen niet van toepassing aangezien deze types geen onderdelen bezit die vervangen kunnen worden. Deze uitzondering heeft betrekking op type 4A1, de standaard bitumineuze voeg, en type 4B1, de standaard polymeer voeg. Voor het criterium minimale kruisingshoek geldt een ander stramien. De verificatie wordt hier goedgekeurd als de getalwaarde van het criteria kleiner is of gelijk is aan de getalwaarde van de inputzone van de overeenkomstige vraagstelling. Indien de verificatie ook hier niet wordt goedgekeurd, wijzigt de celkleur niet. De minimale kruisingshoek van type 5A verborgen voeg gaat bijgevolg altijd groen kleuren aangezien bij dit type brugvoeg elke kruisingshoek kan toegepast worden.

5.3.2 Eerste rangschikking op basis van numerieke criteria

De volgende stap in het proces is de eerste rangschikking van de types brugvoegen die gebeurd is op basis van de numerieke criteria. De criteria die voldoen hebben inmiddels een groene celkleur gekregen en zijn duidelijk zichtbaar. In deze stap worden het aantal verificaties opgeteld. Er wordt met andere woorden een opsomming gemaakt van alle groen gekleurde cellen per type brugvoeg. Deze opsomming zal een waarde hebben die tussen 0 en 7 ligt aangezien er zeven criteria worden afgetoetst. Op basis van deze getalwaarde worden de brugvoegen vervolgens gerangschikt waarbij de grootste getalwaarde uiterst links gepositioneerd wordt en de kleinste getalwaarde uiterst rechts gepositioneerd wordt. De overige waarden worden gerangschikt volgens aflopende aard van links naar rechts. Dit is de eerste rangschikking die gebeurt in het proces. De conclusie uit deze rangschikking luidt dat enkel de types brugvoegen die een score van 7 behalen nog in aanmerking komen voor de implementatie in het project. De overige types brugvoegen voldoen niet aan de

criteria die gesteld zijn. Indien geen enkele brugvoeg voldoet aan alle 7 vooropgestelde numerieke criteria wordt er geen toepasbare brugvoeg gevonden. De brugvoegen zullen in deze situatie wel nog altijd gerangschikt worden volgens het beslissings- en rangschikkingsproces.

5.3.3 Tweede rangschikking op basis van niet-numerieke criteria

Om een juist resultaat te bekomen volstaat één rangschikking niet. De tweede rangschikking die wordt toegepast, is gebaseerd op de niet-numerieke criteria die vooropgesteld worden. In deze rangschikking wordt direct naar alle criteria samen gekeken. Om deze niet-numerieke waarden met elkaar te vergelijken en tot een rangschikking te komen wordt er een oplossing gevonden om de niet-numerieke waarde een getalwaarde te geven. Dit kan bewerkstelligd worden door de kwalitatieve meetschaal te kwantificeren naar cijfermatige scores. De getalwaarden die overeenkomen met de kwalitatieve meetschaal worden weergegeven in Tabel 13. Het is hierbij logisch dat een goed waardeoordeel een hogere kwantificering krijgt dan een slecht waardeoordeel.

Tabel 13: Kwantificering van de kwalitatieve meetschaal

Teken	Waardeoordeel	Kwantificering
++	Goed	4
+	Redelijk	3
-	Matig	2
--	Slecht	1

Vervolgens wordt er een optelling gemaakt van het aantal keer dat het teken van de kwalitatieve meetschaal toegekend wordt aan de criteria van een bepaalde brugvoeg. Deze aantallen worden in onderstaande Tabel 14 algebraïsch voorgesteld met een letter in de laatste kolom.

Tabel 14: Algebraïsche voorstelling van de wederkerigheid van de tekens van de kwalitatieve meetschaal

Teken	Kwantificering	Telling
++	4	a
+	3	b
-	2	c
--	1	d

Na de telling van de wederkerigheid van de tekens van de kwalitatieve meetschaal wordt er met behulp van een formule een wegingsscore x toegekend aan alle types brugvoegen. De formule die hiervoor gebruikt wordt luidt als volgt:

$$4 * a + 3 * b + 2 * c + 1 * d = x$$

Deze berekening geeft een wegingsscore die varieert tussen de 7 en de 28 waarbij een hogere score betekent dat de brugvoeg over het algemeen goed presteert. Een lage score vertaalt zich globaal genomen in slechtere eigenschappen. Aangezien de tekens van de niet-numerieke waarden niet afhankelijk zijn van de input, veranderen zij ook niet. Bijgevolg kan er voor elk van de 16 geselecteerde brugvoegen afzonderlijk een score vastgelegd worden. In Tabel 15 worden deze wegingsscores weergegeven per identificatiecode van de brugvoeg. De brugvoegen zijn aflopend gesorteerd op basis van hun wegingsscore. Brugvoeg type 5A heeft zichtbaar de hoogste wegingsscore.

Tabel 15: Wegingsscores per type brugvoeg

Type brugvoeg	Wegingsscore
5A	32
4A2	29
4B1	29
1A4	25
1A1	24
1A2	23
2A2	23
3A1	23
4A1	23
6A2	23
2A1	22
2B1	22
1B	21
3A2	20
6A1	20
3B1	16

De tweede rangschikking gebeurt bijgevolg op basis van deze wegingsscores volgens hetzelfde principe als de eerste rangschikking. Indien een gelijke waarde naar boven komt tussen brugvoegen bij de eerste rangschikking wordt er een tweede rangschikking gemaakt tussen deze brugvoegen. Hierbij worden de brugvoegen gerangschikt volgens aflopende aard waarbij de brugvoeg met de grootste wegingsscore uiterst links geplaatst wordt. De kleinste wegingsscore wordt bijgevolg uiterst rechts gerangschikt.

De rangschikking die met deze methode gemaakt wordt, is afhankelijk van de kwantificering die gebruikt wordt. Indien een andere kwantificering dan in Tabel 13 gebruikt wordt, zullen de wegingsscores veranderen. Dit kan resulteren in een andere rangschikking. In Tabel 16 wordt een alternatieve kwantificering voorgesteld. In Tabel 17 wordt de rangschikking op basis van de gekozen en de alternatieve kwantificering weergegeven.

Tabel 16: Alternatieve kwantificering

Teken	Waardeoordeel	Kwantificering
++	Goed	2
+	Redelijk	1
-	Matig	-1
--	Slecht	2

Tabel 17: Vergelijking rangschikking tussen gekozen en alternatieve kwantificering

Gekozen kwantificering		Alternatieve kwantificering	
Type brugvoeg	Wegingscore	Type brugvoeg	Wegingscore
5A	32	5A	16
4A2	29	4A2	13
4B1	29	4B1	12
1A4	25	1A4	7
1A1	24	1A1	5
1A2	23	3A1	5
2A2	23	6A2	5
3A1	23	1A2	4
4A1	23	2A2	4
6A2	23	2A1	3
2A1	22	2B1	3
2B1	22	4A1	3
1B	21	1B	2
3A2	20	3A2	1
6A1	20	6A1	1
3B1	16	3B1	-5

In Tabel 17 wordt vastgesteld dat de volgorde waarmee de types brugvoegen elkaar opvolgen grotendeels gelijk is. Er zijn echter wel kleine verschuivingen. In de buik van de tabel, tussen de 6^{de} en 12^{de} brugvoeg, is er in verschil in de rangschikking. Dit verschil is enkel en alleen te wijten aan de gekozen kwantificering. De kwantificering heeft dus een belangrijke rol in het rangschikkingsproces.

5.3.4 Derde en vierde rangschikking op basis van niet-numerieke criteria

Indien de eerste en tweede rangschikking niet volstaat om een correcte en volledige rangschikking te maken tussen de verschillende type brugvoegen, kunnen er verdere rangschikkingen volgen. De derde en vierde rangschikking baseren zich respectievelijk op de repetitiviteit van de goede (++) en redelijke (+) waardeoordelen die de verschillende brugvoegen zijn toegewezen. Ook deze aantallen zijn vooraf gekend en worden beschreven in Tabel 18.

Tabel 18: Aantal ++ en + waarderingen per type brugvoeg

Type brugvoeg	Aantal ++	Aantal +
1A1	5	0
1A2	4	1
1A4	4	2
1B	2	3
2A1	2	3
2A2	3	2
2B1	2	3
3A1	2	4
3A2	1	4
3B1	1	2
4A1	4	0
4A2	5	3
4B1	6	1
5A	8	0
6A1	2	3
6A2	2	4

Indien deze verdere rangschikkingen van toepassing zijn op het beslissingsproces worden zij op dezelfde manier uitgevoerd als de eerste en tweede rangschikking. Dit is een rangschikking van de waarden in aflopende aard waarbij de grootste waarde uiterst rechts gepositioneerd wordt en de kleinste waarde uiterst links gepositioneerd wordt.

5.3.5 Resultaat

Om het resultaat van het beslissings- en rangschikkingsproces te bekomen moeten de beschreven stappen in werking gezet worden. Dit gebeurt door de berekeningsknop in de linkerbovenhoek aan te klikken. Door deze knop te bedienen wordt een macro uitgevoerd die alle rangschikkingsstappen chronologisch na elkaar afwerkt. Het resultaat geeft een geordende tabel weer waarbij de meest toepasbare oplossing voor de objectspecifieke situatie zich uiterst links zal bevinden. De minst toepasbare brugvoeg voor de opgegeven situatie bevindt zich uiterst rechts in de tabel. Indien de inputgegevens veranderen kan de berekeningsknop opnieuw aangeklikt worden om op die manier een nieuwe rangschikking te bekomen, aangepast aan de meest recente input.

5.4 Voorbeeld

Om de werking van de tool te verduidelijken wordt een voorbeeldsituatie besproken. De eerste stap in het gebruiken van de tool is het ingeven van de objectspecifieke informatie van het project. Dit gebeurt onder het eerste tabblad 'Input'. Onderstaande Tabel 19 geeft de inputgegevens weer van een fictief gekozen situatie waarvoor een brugvoeg geselecteerd moet worden.

Tabel 19: Inputgegevens fictieve situatie

Gegevens project		
Welke verplaatsing dient er in de x-richting opgenomen te worden?	35	mm
Welke verplaatsing dient er in de y-richting opgenomen te worden?	10	mm
Welke verplaatsing dient er in de z-richting opgenomen te worden?	5	mm
Wat is de kruisingshoek waaronder de brugvoeg geplaatst wordt?	60	°
Hoeveel zware voertuigen worden jaarlijks per rijvak verwacht?	500000	voertuigen
Wat is de ontwerplevensduur van de onderdelen?	10	jaar
Wat is de ontwerplevensduur van de constructie?	20	jaar

Aan de hand van de inputgegevens krijgen de geverifieerde numerieke criteria onmiddellijk een groene celkleur toegewezen in het tabblad 'Berekening'. Dit wordt geïllustreerd in Tabel 21. Deze tabel geeft de situatie weer alvorens de berekeningsknop in werking wordt gezet. De rangschikking is hier nog niet uitgevoerd.

Doormiddel op de berekeningsknop te drukken wordt het beslissings- en rangschikkingsproces in werk gesteld. De brugvoegen worden op deze manier gerangschikt volgens de procedures die eerder in dit hoofdstuk besproken zijn. Het resultaat hiervan is zichtbaar in Tabel 22. In deze fictieve situatie zijn er vier types brugvoegen die voldoen aan alle 7 numerieke criteria. Deze types brugvoegen zijn:

- 1A4: in de constructie verankerd klauwprofiel met voegband voorzien van geluidsreducerend effect;
- 1A1: traditioneel in de constructie verankerd klauwprofiel met voegband;
- 6A2: lamellenvoeg met geluidsredurecend effect;
- 6A1: traditionele lamellenvoeg.

De overige types brugvoegen voldoen niet aan alle zeven numerieke criteria waardoor deze niet in aanmerking komen om geïmplementeerd te worden in de fictieve situatie. De reden waarom de type 1A4 als eerste vermeld wordt in de tabel heeft te maken met de tweede rangschikking op basis van niet-numerieke criteria. In Tabel 20 worden de wegingsscores weergegeven van de 4 overgebleven types brugvoegen. Er is duidelijk te zien dat type 1A4, met een score van 25, de hoogste wegingsscore heeft, hetgeen verklaart waarom dit type brugvoeg uiterst links wordt weergegeven in Tabel 22. De overige brugvoegen worden gerangschikt volgens aflopende aard van links naar rechts, hetgeen ook hun positie in de tabel rechtvaardigt. In deze situatie zijn er geen types brugvoegen die zowel een 7 scoren bij de verificaties van de numerieke criteria als een gelijke wegingsscore behalen bij de niet-numerieke criteria. Bijgevolg is een derde of vierde rangschikking geen verdere invloed hebben op de uiteindelijke beslissing. Op basis van de inputgegevens van deze fictieve situatie

kan er besloten worden dat type 1A4, in de constructie verankerd klauwprofiel met voegband voorzien van geluidsreducerend effect, de beste brugvoeg is om te implementeren.

Tabel 20: Wegingscore per type brugvoeg voor een fictieve situatie

Type brugvoeg	Wegingscore
1A4	25
1A1	24
6A2	23
6A1	20

Tabel 21: Tabblad 'Berekening' voor de rangschikking

Bereken		1A1 traditioneel		1A2 met rijroosters		1A4 met geluidreducerend effect		1B gelijkmd		2A1 kamplaten		2A2 zaagtandplaten		2B1 kamplaten		3A1 gewelfd		3A2 geperforeerd		3B1 gewapend		4A1 standaard		4A2 met spiraalveren		4B1 standaard		5A verborgen voeg		6A1 traditioneel		6A2 met geluidreducerend effect							
		Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	levensduur constructie (jaar)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	levensduur constructie (jaar)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	levensduur constructie (jaar)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	levensduur constructie (jaar)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	levensduur constructie (jaar)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	levensduur constructie (jaar)		
bewegingsvrijheid	Δx (mm)	40	40	40	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
	Δy (mm)	40	40	40	4	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
minimale kruisingshoek (°)	Δz (mm)	10	10	10	3	10	10	10	3	8	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
	minimale kruisingshoek (°)	18	18	18	18	59	59	59	18	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59		
levensduur	zwaar verkeer (aantal onderdelen (jaar)	2000000	2000000	2000000	2000000	500000	500000	500000	500000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	500000	500000	1250000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000		
	levensduur constructie (jaar)	40	40	40	40	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
oneffenheid	oneffenheid	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
aansluiting waterdichtheid	aansluiting waterdichtheid	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
geluid	geluid	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
uitvoeringsgevoeligheid	uitvoeringsgevoeligheid	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
onderhoud	vast onderhoud	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	vervangen onderdelen	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
veiligheid	vervangen constructie	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	veiligheid	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

Tabel 22: Tabblad 'Berekening' na de rangschikking

Bereken		1A4 met geluidreducerend effect		1A1 traditioneel		6A2 met geluidreducerend effect		6A1 traditioneel		4B1 standaard		2A1 kamplaten		2A2 zaagtandplaten		3A1 gewelfd		2B1 kamplaten		3A2 geperforeerd		5A verborgen voeg		4A2 met spiraalveren		1A2 met rijroosters		1B gelijmd		3B1 gewapend		4A1 standaard	
		Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	minimale kruisingshoek (°)	zwaar verkeer (aantal)	onderdelen (jaar)	constructie (jaar)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	
bewegingsvrijheid		40	40	10	59	18	2000000	40	40	20	60	250	350	50	50	50	60	5	25	30	15	70	10	25	30	3	4	4	5	5	10		
		40	40	10	59	18	2000000	40	40	20	60	7	5	50	50	50	60	25	25	30	15	70	10	25	30	3	4	4	5	5	10		
levensduur		40	40	10	59	18	2000000	40	40	20	60	8	59	72	72	72	50000	0	59	18	18	10	72	18	59	18	3	3	3	3	1,5		
		500000	10	10	40	40	2000000	125000	500000	2000000	500000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	
oneffenheid		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
aansluiting waterdichtheid		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
uitvoeringsgevoeligheid		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
onderhoudbaarheid		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
veiligheid		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

6 Besluit

Bij de selectie van een brugvoeg wordt er vaak willekeurig een keuze gemaakt. Het oordeel of de gekozen brugvoeg de best mogelijke keuze is, in een bepaalde situatie is niet verifieerbaar. Aangezien er in België geen eenduidige methode bestaat om de beste brugvoeg te selecteren op basis van een objectspecifieke situatie, werd er in deze thesis een oplossing gezocht voor deze problematiek.

Door de creatie van een meerkeuzematrix worden verschillende types brugvoegen in verband gebracht met vooropgestelde criteria die de keuze van de juiste brugvoeg voor een objectspecifieke situatie bepalen. De meerkeuzematrix bevat 16 verschillende types brugvoegen die beschreven worden aan de hand van 15 verschillende criteria. Van deze criteria worden er 7 uitgedrukt in numerieke waarden en 8 in niet-numerieke waarde met behulp van een kwalitatieve meetschaal.

De meerkeuzematrix wordt vervolgens verwerkt in een Excel-tool die op basis van inputgegevens de beste brugvoeg naar voren zal schuiven. Het beslissings- en rangschikkingsmodel wordt gekenmerkt door verschillende niveaus. In eerste instantie wordt er een rangschikking gemaakt op basis van de verificatie van de numerieke criteria. In tweede instantie gebeurt de rangschikking volgens een wegingsscore die wordt toegekend aan alle verschillende brugvoegen op basis van alle niet-numerieke criteria. Een derde en vierde rangschikking steunt op respectievelijk het aantal goede (++) en matige (+) waardeoordelen van niet-numerieke criteria. De tool zal de beste brugvoeg selecteren voor de implementatie.

Tijdens de creatie van de meerkeuzematrix en de tool zijn er beslissingen gemaakt op verschillende kritieke punten. Eén van deze kritieke punten is de selectie van de te hanteren criteria. Deze zijn gekozen op basis van enerzijds de belangrijkheid en anderzijds op basis van de informatie die voor handen was. Indien het onderzoek door iemand anders uitgevoerd wordt, is de kans reëel dat andere keuzes gemaakt worden die bijgevolg ook het resultaat beïnvloeden. Dit geldt eveneens voor de geïmplementeerde types brugvoegen. Daarnaast is het beslissings- en rangschikkingsmodel ook afhankelijk van bepaalde keuzes. De belangrijkste keuze is de bepaling van de kwantificering van de niet-numerieke criteria. Zoals het voorbeeld in hoofdstuk 5 aanhaalt, heeft de gekozen kwantificering een invloed op de uiteindelijke rangschikking.

De gecreëerde tool en meerkeuzematrix bieden ruimte om in de toekomst aangepast of uitgebreid te worden. Indien verder onderzoek naar de eigenschappen van verschillende brugvoegen gebeurt, kunnen zij opgenomen worden in de tool en meerkeuzematrix. Dit kan enkel als de beschikbare informatie compatibel is met de vooropgestelde criteria. Ook nieuw ontwikkelde types brugvoegen kunnen geïntegreerd worden indien zij over de nodige

informatie beschikken. Daarnaast kunnen ook criteria bijgevoegd of aangepast worden naargelang de normeringen en eisen veranderen in de toekomst.

De bepaling of het resultaat van de tool ook effectief de beste oplossing blijkt te zijn, kan enkel bepaald worden aan de hand van verder onderzoek. De toegepaste brugvoegen gekozen met behulp van de meerkeuzematrix en tool kunnen opgevolgd worden. Een monitoring, eventueel met testen, van de brugvoegen kan mogelijke schadebeelden of pijnpunten vastleggen. Deze kunnen op hun beurt teruggekoppeld worden naar de opbouw van de meerkeuzematrix en tool.

De tool, zijnde een Excelbestand, kan op een gemakkelijke manier gebruikt worden. De opbouw is logisch en simpel. Na het ingeven van de gegevens kan er met één klik berekend worden welke de best mogelijke brugvoeg is. De tool wordt bij de oplevering van dit onderzoek overhandigd aan het bedrijf Renotec. Zij hebben vanaf dat moment de mogelijkheid om de tool te gebruiken tijdens hun activiteiten. Zij kunnen er ook voor opteren om verder onderzoek te verrichten om zo de meerkeuzematrix en de tool te optimaliseren.

Bibliografie

- [1] Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Meerukeuzematrix (MKM) voegovergangen (met factsheets), Nederland: Rijkswaterstaat, 2013.
- [2] Bridge and Structures Office, Engineering and Regional Operations, „Bearings and Expansion Joints,” in *Bridge Design Manuel (LRFD)*, Olympia, Washington State Department of Transportation, 2018, pp. 9.1-9.22.
- [3] S. Broekx en T. Ferket, „Vooronderzoek,” in *De Invloed van verstevigingsribben en steunbalken op de duurzaamheid van brugdekvoegen*, Faculteit Industriële ingenieruswetenschappen, 2018, pp. 15-21.
- [4] Platform Voegovergangen en Opleggingen, Handboek Inspectie Voegovergangen, Delft: Scanlaser B.V., 2017.
- [5] F. Van Beek en B. Doorn, „Handboek voegovergangen,” Platform voegovergangen en opleggingen, 8 maart 2017. [Online]. Available: <https://www.pveno.nl/handboek-voegovergangen/>. [Geopend 20 Februari 2019].
- [6] R. Droogmans en A. Vandersmissen, Analyse en preventie van schade bij brugdekvoegen toegepast in Vlaanderen, Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen, 2018, pp. 23-45.
- [7] Departement Mobiliteit & Openbare Werken, „Brugdekvoegen,” in *Standaardbestek 260 voor kunstwerken en waterbouw*, Brussel, Afdeling Expertise Beton en Staal (EBS), pp. 32-127-32-152.
- [8] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guideline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 1: general, Brussel, 2013.
- [9] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guideline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 4: nosing expansion joints, Brussel, 2013.
- [10] Bridge Joint Association, „Joint Types,” Bridge Joint Association, 2019. [Online]. Available: <http://www.bridgejoints.org.uk/index.php/content/joint-types.html>. [Geopend 21 februari 2019].
- [11] J. H. Van der Ven en J. S. Leendertz, Voegovergangen, 2006.

- [12] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guidline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 6: cantiliver expansian joints, Brussel, 2013.
- [13] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guidline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 7: supported expansion joints, Brussel, 2013.
- [14] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guidline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 5: mat expansion joints, Brussel, 2013.
- [15] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guidline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 3: flexible plug expansion joints, Brussel, 2013.
- [16] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guidline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 2: buried expansion joints, Brussel, 2013.
- [17] European Organisation for Technical Approvals, ETAG n°032 Guidline for European Technical Approval of Expansion joints for road bridges, part 8: modular expansion joints, Brussel, 2013.
- [18] Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Eisen voor voegovergangen, Rijkswaterstaat, 2013.
- [19] Wetenschappelijk onderzoek verkeersveiligheid, „SWOV-Factsheet Voertuigregelgeving,“ Den Haag, 2014.
- [20] R. C. L. van Loon, W. J. A. van Vliet en J. N. Booij, „Geluid van voegovergangen,“ Nederland, 2010.
- [21] Rijkwaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, „Geluideisen voegovergangen,“ Rijkswaterstaat, 2013.
- [22] Wetenschappelijk onderzoek verkeersveiligheid, „SWOV-Factsheet vourtuigregelgeving,“ Den Haag, 2014.

Bijlagen

Bijlage A: Voorbeeld factsheet.....	72
Bijlage B: Nederlandse Meerkeuzematrix.....	74

Bijlage A: Voorbeeld factsheet

Familie 1. Nosing joints	
Familiedefinitie	<i>Factsheet concept 1.1a</i>
Voegovergang met stalen randprofielen met of zonder overgangsbalken van beton, kunsthars of elastomeer. De voegspleet tussen de randprofielen wordt gevuld met een flexibele niet verkeerdragende voegafdichting.	
Beschrijving concept	
In constructie verankerde rijroosters met ingeklemde voegprofielen, type Enkele Grote Voeg (EGV ontwerp Directie Bruggen) en modificatie met klauwprofiel.	Gemodificeerd:

Functionele eisen																
	Functionele eis 1															
Bewegingsvrijheid	<table border="0"> <tr> <td>Oorspronkelijke EGV</td> <td>Gemodificeerde EGV</td> </tr> <tr> <td>$\Delta x = \pm 12,5$ mm</td> <td>$\Delta x = \pm 15$ mm</td> </tr> <tr> <td>$\Delta y = \pm 4$ mm</td> <td>$\Delta y = \pm 15$ mm</td> </tr> <tr> <td>$\Delta z = \pm 3$ mm</td> <td>$\Delta z = \pm 10$ mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Δx is afhankelijk van beschikbare ruimte na verwijderen bestaand pakket.</td> </tr> </table>	Oorspronkelijke EGV	Gemodificeerde EGV	$\Delta x = \pm 12,5$ mm	$\Delta x = \pm 15$ mm	$\Delta y = \pm 4$ mm	$\Delta y = \pm 15$ mm	$\Delta z = \pm 3$ mm	$\Delta z = \pm 10$ mm		Δx is afhankelijk van beschikbare ruimte na verwijderen bestaand pakket.					
Oorspronkelijke EGV	Gemodificeerde EGV															
$\Delta x = \pm 12,5$ mm	$\Delta x = \pm 15$ mm															
$\Delta y = \pm 4$ mm	$\Delta y = \pm 15$ mm															
$\Delta z = \pm 3$ mm	$\Delta z = \pm 10$ mm															
	Δx is afhankelijk van beschikbare ruimte na verwijderen bestaand pakket.															
Kruisingshoek	20-100 gon															
	Functionele eis 2															
Mechanische weerstand belasting uit constructie	Goed.															
	Functionele eis 3															
Mechanische weerstand belasting uit verkeer	Goed.															
	Functionele eis 4															
Oneffenheid	Matig in verband met aanwezige voegspleet en op termijn slijtage van de voegbalken															
Stroefheid	Goed, rijroosters zijn voldoende stroef.															
	Functionele eis 5															
Geluid	Bovenzijde kunstwerk	De <u>GeluidsLabelWaarden</u> voor een kruisingshoek van 100 gon: <table border="1"> <tr> <td>snellheid</td> <td>80</td> <td>90</td> <td>100</td> <td>110</td> <td>120</td> <td>130</td> </tr> <tr> <td>GLW</td> <td>82,6</td> <td>84,1</td> <td>85,4</td> <td>86,6</td> <td>87,6</td> <td>88,6</td> </tr> </table> Bij kruisinghoek (α) kleiner dan 100 gon mag de GLW gecorrigeerd worden met $(\alpha-100)*0,0642$.	snellheid	80	90	100	110	120	130	GLW	82,6	84,1	85,4	86,6	87,6	88,6
	snellheid	80	90	100	110	120	130									
GLW	82,6	84,1	85,4	86,6	87,6	88,6										
Onderzijde kunstwerk	Mogelijk zijn er geluidbeperkende maatregelen nodig. De vlakheid is bepalend voor de geluidproductie.															
	Functionele eis 6															
Waterdichtheid	- Oorspronkelijk profiel: matig. De pakketten zijn niet altijd afgelast waardoor achterloopsheid ontstaat. De waterafdichting tussen voegprofiel en staal is afhankelijk van de verlijming en de voorspanning in relatie tot relaxatie van het voegprofiel. - Modificatie tot klauwprofiel: goed.															

Kwaliteit (RAMS)	
	Betrouwbaarheid
Levensduur	Vervangbare delen (afdichtingsprofiel): 10 jaar. Niet vervangbare delen: Oorspronkelijk profiel: 40 jaar. Modificatie: 25 jaar. De levensduur wordt in belangrijke mate beïnvloed door de kwaliteit van het ontwerp en de uitvoering.
Uitvoerings- onveiligheid	Goed. Robuust ontwerp, lage kans op fouten, beperkte gevolgen. Belangrijkste risico's bij vervanging rubberpakket of modificatie tot klauwprofiel: - schade aan rooster bij verwijderen stalen strips van de rubber pakketten; - slechte passing van de in te lassen klauwprofielsectie waardoor geen goede afsteuning op de onderliggende staalconstructie en/of het klauwprofiel te hoog of te laag in de sponning komt; - beschadiging van de conservering op de klauwprofielen door laswarmte.
Slijtvastheid	Goed. Op termijn kan enige slijtage van de roostervulling plaatsvinden in combinatie met fysische aantasting (zie hieronder).
Aantastings- onveiligheid	Redelijk. - Aantasting conservering waardoor corrosie van de stalen randprofielen kan optreden. De stalen strips van de rubberpakketten zijn vaak oorspronkelijk intermitterend gelast, waardoor spleetcorrosie heeft geleid tot roest met lekkage als gevolg. De ogenschijnlijk excessieve roestvorming heeft toch maar weinig afname van het staalprofiel tot gevolg (circa 4mm roest = 1 mm materiaalverlies). - Verwerking (en vorst/dooischade) van de bovenzijde van de roostervulling; - Tijdens het verhardingsproces van het beton in de roostervakken krimpt het beton. In de hierdoor ontstane krimpnaad kan water indringen. Hierdoor kan corrosie ontstaan (volumetoename ijzeroxide) of volumetoename door vorst. Het beton wordt verbrijzeld, waardoor het passerende wegverkeer het beton door middel van een vacuümeffect uit de roosters kan verwijderen.
	Beschikbaarheid
Beschikbaarheid	Matig in verhouding tot de overige concepten, zie niet-beschikbaarheidsindex.
	Onderhoudbaarheid (binnen WBU)
Vast onderhoud	Goed. De voegafdichtingen buiten het bereiden gebied dienen jaarlijks gereinigd te worden. Vast onderhoud is mogelijk in WBU-uren en omvat enkele uren.
Variabel onderhoud vervangen onderdelen	Goed. Dit betreft het vervangen van de voegprofielen na 10 jaar. Zo nodig dient een slijtlaag aangebracht te worden indien de betonnen roostervulling meer dan 3 mm onder de staalconstructie ligt. Deze werkzaamheden zijn mogelijk binnen de WBU.
Variabel onderhoud vervangen voegovergang	Slecht. Het vervangen van de gehele voegovergang na 40 jaar is in de meeste gevallen niet aan de orde. De roosterconstructie is in de meeste gevallen nog zeer geschikt om te te modificeren. Daarbij kan het bestaande rubberpakket (inclusief stalen strips) worden verwijderd en kunnen klauwprofielen worden ingelast. Na het inlassen dient de conservering te worden hersteld. Een dergelijke modificatie is niet mogelijk binnen de WBU. Indicatie benodigde uitvoeringstijd: 32-40 uur
	Veiligheid
Risico op letselschade	Goed (geen risico).

Bijlage B: Nederlandse Meerkeuzematrix

De matrix geeft een beoordeling van prestaties op basis van functies en kwaliteit. De beoordeling is als volgt geklassificeerd: -- Slecht - Matig + Redelijk ++ Goed Ontbrekende volgnummers betreffen de niet in deze matrix opgenomen factsheets, door onvoldoende significante ervaringsgegevens.	Functies voegovergangen										Kwaliteit (RAMS)							Opmerkingen						
	1			2		3		4		5		6		betrouwbaarheid			beschikbaarheid		onderhoudbaarheid		veiligheid			
	Δx [mm]	Δy [mm]	Δz [mm]	kruisingshoek (gon)	uit de constructie	uit het verkeer	oneffenheid	stroefheid	GLW bij 120 km/u	waterdichtheid	levensduur onderdelen	levensduur constructie	uitvoerings ongevoelghed	slijtvastheid	aantastings ongevoelghed	beschikbaarheid	vast onderhoud		vervangen onderdelen	vervangen constructie	riscio op letselschade	GLW bij 100 gon	GLW bij 100 gon	
Familie																								
1. Nosing Joints																								
1.1 a	+/-12,5	+/- 4	+/- 3	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.1 a mod	+/-15	+/-15	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.1 b	+/-30	+/- 4	+/- 3	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.1 b mod	+/-20	+/-20	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.1 c	+/-10 tot +/- 30	+/- 4	+/- 3	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.1 c mod	+/-30	+/-30	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.2 a1	+/-40	+/-40	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.2 a2	+/-40	+/-4 tot +/-40	+/-10	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.2 b1	+/-40	+/-40	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.2 b2	+/-40	+/-40	+/-10	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.4 a1	+/-40	+/-40	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon.
1.4 a2	+/-40	+/-8 tot +/-40	+/-3	79-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon. Nog geen ervaringen in autosnelwegen.
1.4 b	+/-40	+/-40	+/-10	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
1.5 a	+/-15 (VA) +/-17,5(ACME)	+/- 4	+/- 3	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon. Levensduur is sterk afhankelijk van de kwaliteit van de uitvoering en regelmatig onderhoud
1.5 b	+/-17,5(ACME)	+/- 4	+/- 3	20-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	-	++	++	++	++	++	++	++	GLW bij 100 gon
2. Vingervoegen (cantliever joints / supported joints)																								
2.1 a1	+/- 250	+/- 7	+/- 8	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	++	++	++	++	++	++	++	
2.1 a2	+/- 350	+/- 5	+/- 3	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	++	++	++	++	++	++	++	
2.1 b1	+/- 300	+/- 7	+/- 3	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	++	++	++	++	++	++	++	
2.2 a	+/-475	+/-5	+/-3	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	++	++	++	++	++	++	++	
2.2 b	+/- 375	+/- 5	+/- 3	65-100	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	-	-	++	++	++	++	++	++	++	
3. Mattenvoegen (mat joints)																								
3.1	+/- 70	+/- 5	+/- 10	80-100	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	++	++	++	++	++	++	++	Minder geschikt in snelwegen, rijnrichtingen en bochten
3.2	+/- 60	+/- 40	+/- 10	80-100	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	++	++	++	++	++	++	++	
3.3	+/- 50	+/- 50	+/- 10	80-100	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	++	++	++	++	++	++	++	Slechte ervaringen met grote voegbewegingen.

familie / concept	omschrijving familie / concept	vast onderhoud		vervangen constructie		vervangen onderdelen		overzicht variabel onderhoud (jaar na inbouw)												indexscore											
		interval (jaar)	duur (cat)	interval (jaar)	duur (cat)	interval (jaar)	duur (cat)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	Uitgangspunten/opmerking	vast onderhoud	variabel onderhoud	totale score	
6	Overgangsconstructies voor integrale kunstwerken																														
6.1	Overgangsconstructie voor integrale kunstwerken.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	Geen onderhoud nodig. Volgt in principe de levenscyclus van de asfaltconstructie op de aardebaan (reconstructie na 30 jaar)	0	3	3	++
7	Lamellenvoegen (modular joints)																														
7.1 a1	Lamellenvoegen met aan dwarsdragers vastgelaste lamellen zonder geluidreducerende voorziening	1	1	40	7	10	3	3	3	3	3	3	3	7	3	7	3	7	3	7	3	3	3	3	3		100	32	132	-	
7.1 a2	Lamellenvoegen met aan dwarsdragers vastgelaste lamellen met geluidreducerende voorziening	1	1	40	7	10	6	6	6	6	6	6	6	7	6	7	6	7	6	7	6	6	6	6	6		100	50	150	-	
7.2 a1	Lamellenvoegen met centrale dwarsdrager zonder geluidreducerende voorziening	1	1	40	7	10	3	3	3	3	3	3	3	7	3	7	3	7	3	7	3	3	3	3	3	Conservering: thermisch verzinkt Na 40 jaar renovatie last-in kast, levensduur 25 jaar	100	39	139	-	
7.2 a2	Lamellenvoegen met centrale dwarsdrager geluidreducerende voorziening	1	1	40	7	10	5	5	5	5	5	5	5	7	5	7	5	7	5	7	5	5	5	5	5	Na 65 jaar volledige vervanging, levensduur 40 jaar	100	44	144	-	
7.3 a1	Lamellenvoegen met zwenktraversen zonder geluidreducerende voorziening	1	1	40	7	10	3	3	3	3	3	3	3	7	3	7	3	7	3	7	3	3	3	3	3		100	32	132	-	
7.3 a2	Lamellenvoegen met zwenktraversen met geluidreducerende voorziening	1	1	40	7	10	6	6	6	6	6	6	6	7	6	7	6	7	6	7	6	6	6	6	6		100	50	150	-	