



**Opzoekingscentrum
voor de Wegenbouw**
Samen voor duurzame wegen

Handleiding

Handleiding geluid brugdekvoegen



Aanbevelingen

Sinds 1952 staat OCW (Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw) als onpartijdig onderzoekscentrum ten dienste van alle partners in de Belgische wegenbranche. OCW deelt zijn kennis met professionals uit de wegenbranche onder meer door middel van zijn publicaties (handleidingen, syntheses, researchverslagen, meetmethoden, informatiebladen, OCW Newsletters en Dossiers, activiteitenverslagen). Onze publicaties worden in het binnen- en buitenland op ruime schaal verspreid bij centra voor wetenschappelijk onderzoek, universiteiten, openbare instellingen en internationale instituten. Meer informatie over onze publicaties en activiteiten: www.ocw.be.

Handleiding A 107

Handleiding geluid brugdekvoegen

Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947

Brussel

2023

Handleiding geluid brugdekvoegen / Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw

Brussel: OCW, 2023, 44 blz. (Aanbevelingen ; ISSN 1376-9332; A 107).
Wettelijk depot: D/2023/0690/4

Verantwoordelijke uitgever: Luk Geeroms, Woluwedal 42, 1200 Brussel

© OCW – Alle rechten voorbehouden.

Auteurs

Anneleen Bergiers

Luc Goubert

Dankbetuiging

De auteurs danken de volgende personen voor hun gewaardeerde bijdrage aan en/of het proeflezen van dit document:

- Ann Buytaert, MOW, Vlaanderen
- Mathias De Wolf, MOW, Vlaanderen
- Lieve Glorie, OCW
- Sébastien Marcocci, SPW, Wallonië
- Pascal Massart, SPW, Wallonië
- Barbara Vanhooreweder, MOW, Vlaanderen
- Fabienne Anfosso, Université Gustav Eiffel, Nantes, Frankrijk
- Erik Bühlmann, G+P, Bern, Zwitserland
- Jan Gebhardt, UBA, Berlijn, Duitsland
- Ulf Sandberg, VTI, Linköping, Zweden
- Tina Saurer, G+P, Bern, Zwitserland
- Reinhard Wehr, AIT, Wenen, Oostenrijk

Bericht aan de lezer

Hoewel deze handleiding met de grootst mogelijke zorg is opgesteld, zijn onvolkomenheden nooit uit te sluiten. OCW en de personen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, kunnen geenszins aansprakelijk worden gesteld voor de verzamelde en verstrekte informatie, die louter als documentatie en zeker niet voor contractueel gebruik is bedoeld.



Inhoud

1. Inleiding	4
2. Meetmethodes	8
2.1 De Belgische methode	8
2.1.1 Geluidmetingen boven het kunstwerk	8
2.1.2 Geluidmetingen onder het kunstwerk	10
2.2 Andere landen	11
2.2.1 Nederland	11
2.2.2 Duitsland	12
2.2.3 Frankrijk	14
2.2.4 Denemarken	14
2.2.5 Zweden	15
2.2.6 Oostenrijk	15
2.2.7 Zwitserland	16
2.2.8 Verenigde Staten	16
2.2.9 China	17
3. Brugdekvoegtypes die worden toegepast in België	18
3.1 Enkelvoudige brugdekvoeg	19
3.2 Meervoudige (modulaire) voegen	22
3.3 Voegen met kraagbalk	24
3.3.1 Voegen met zaagtandprofiel	24
3.3.2 Sinusoidale voeg	25
3.3.3 Vingervoeg	25
3.4 Meervoudige/modulaire voegen met ruitvormige elementen	26
3.5 Flexibele voegovergang op basis van bitumen (compoundvoeg)	27
3.6 PU voeg	28
3.7 Tapijtvoeg	29
4. Akoestische prestaties van de brugdekvoegtypes toegepast in België	30
Literatuur	32

Lijst van de figuren

Figuur 1.1	De staat van de voeg kan een negatieve impact hebben op de lawaaiproductie	5
Figuur 2.1	Testopstelling bij een uitzettingsvoeg onder een hoek (< en > 57°)	9
Figuur 2.2	Testopstelling voor metingen onder het kunstwerk	10
Figuur 3.1	Voeg verankerd in een betonblok, tot op het niveau van het brugdek	19
Figuur 3.2	Voeg verankerd in een betonblok, tot aan het wegoppervlak	19
Figuur 3.3	Verankerde voeg, ingebetonneerd in de dikte van de verharding	20
Figuur 3.4	Harsvoegen (gekleefd) geplaatst in de dikte van de verharding	20
Figuur 3.5	Enkelvoudige voegen: loodrecht op de rijrichting (links) en onder een hoek van 60° ten opzichte van de rijrichting. Bij eenzelfde voegbreedte en inbouwkwaliiteit is deze laatste 2,1 dB stiller dan de eerste	21
Figuur 3.6	Pantograafvoeg	22
Figuur 3.7	Voeg met dwarsbalken	22
Figuur 3.8	Meervoudige voegen met twee stalen lamellen (links) en drie rubberen lamellen (rechts)	23
Figuur 3.9	Metalen meervoudige voeg die een fietspad dwars op een brug. De stroefheid werd verzekerd door het instrooien van bauxiet in een epoxylaag.	23
Figuur 3.10	Voeg met zaagtandprofiel	24
Figuur 3.11	Sinusoïdale voeg	25
Figuur 3.12	Vingervoeg	25
Figuur 3.13	Meervoudige voeg met ruitvormige elementen voor lawaaireductie	26
Figuur 3.14	Compoundvoeg, waarbij de randen tegen het bestaande brugwegdek worden aangewerkt	27
Figuur 3.15	PU voeg, met de PU massa aangewerkt tegen een verstevigingsbalk in polymeermortel	28
Figuur 3.16	Schematische voorstelling van een tapijtvog	29
Figuur 4.1	Geluidsniveaus van de courante brugdekvoegen in België, uitgedrukt als geluidlabelwaarde (GLW), bepaald volgens de Nederlandse methode	30



Woord vooraf

Deze handleiding is tot stand gekomen op vraag van de wegenadministraties tijdens de OCW Werkgroep Geluid, die gecoördineerd wordt door OCW en waaraan Agentschap Wegen & Verkeer, *Service Public de Wallonie*, Brussel Mobiliteit en Brussel Leefmilieu deelnemen.

OCW wil met deze handleiding een overzicht geven van de huidige praktijk. OCW heeft niet de bedoeling de volledigheid na te streven of tot in detail te gaan, maar wel een bondig document te creëren dat de lezer snel een overzicht kan geven van zaken die van belang zijn wanneer men te maken heeft met brugdekvoegen en hun akoestische prestaties.

Door de meetmethode te beschrijven die momenteel al in België wordt gebruikt, tracht de werkgroep harmonisatie te bevorderen.

In deze handleiding wordt de aandacht gevestigd op de mogelijkheden en beperkingen van geluidsarme concepten. Een goed ontwerp, een goede uitvoering en verankering en ten slotte een behoorlijk onderhoud zijn cruciaal voor het bekomen van een goed werkend resultaat. Hier dient dus de nodige aandacht aan te worden besteed.



1. Inleiding

Om een brugdek toe te laten uit te zetten en te krimpen, moet de constructie op minstens één plaats in de dwarsrichting worden onderbroken¹. Deze onderbreking – de brugdekvoeg of uitzettingsvoeg – moet de thermische uitzettingen van de constructie kunnen opvangen, ook in de meest extreme klimatologische omstandigheden. De brugdekvoeg moet tegelijk toelaten dat de gebruikers van de brug erover rijden zonder hun veiligheid te compromitteren en zonder overmatige lawaaihinder in de omgeving te veroorzaken. Ten slotte moet ook ter hoogte van de voeg de onderliggende structuur van de brug beschermd zijn tegen indringing van vocht of vuil.

Een belangrijke eigenschap van een brugdekvoeg is zijn capaciteit om uitzettingen op te vangen (uitzettingsvermogen). Voor een nieuwe brug wordt het uitzettingsvermogen berekend volgens de norm NBN EN 1991 (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2004-2015). Bij een nieuwe brug moet rekening worden gehouden met zaken als kruipeffecten, terugtrekking en de voorspanning van de constructie. Voor scheve, hellende of op steunbalken geplaatste bruggen is eveneens een specifieke studie vereist. De keuze van de voeg is gebaseerd op de nominale uitzetting, maar ook op de configuratie van het kunstwerk en in het bijzonder op de afmetingen van de opening tussen de structurele elementen van de brug. Bij een grote opening kan het nodig zijn een voeg te kiezen die een grotere uitzetting mogelijk maakt dan de berekende nominale uitzetting.

De meest eenvoudige vorm van een uitzettingsvoeg bestaat uit een enkelvoudige gleuf, loodrecht op de rijrichting en verstevigd met stalen randen om afbrokkelen te voorkomen.

Een brugdekvoeg kan op drie manieren aanleiding geven tot lawaai in de omgeving:

1. Het loopvlak van banden van voertuigen die over de voeg rijden, krijgt een tik wanneer ze de oprijrand van de voeg raken. Het loopvlak van de band raakt aan het trillen en hierdoor ook de flanken van de band. De band straalt hierdoor geluid af, net zoals het vel van een trommel waarop men een tik geeft. Het overrijden van een (lawaaijige) brugvoeg wordt door waarnemers in de omgeving als een snelle opeenvolging van een aantal impulsachtige geluiden waargenomen, waarbij het aantal pulsen gelijk is aan het aantal assen van het voertuig, althans indien de voeg loodrecht op de rijrichting staat.
2. Door de tik die de banden geven aan de oprijrand van de voeg, kan ook de structuur van de brug aan het trillen worden gebracht, waardoor de brug of delen ervan geluid gaan afstralen. Door de omvang van de bron is dat typisch laagfrequent geluid, met volgende vervelende eigenschappen:
 - het kan zich ver voortplanten omdat de luchtabsorptie van laagfrequent geluid minder efficiënt is dan van hoogfrequent geluid;
 - het kan makkelijker binnendringen in constructies – bijvoorbeeld woningen – waardoor de kans op hinder binnenshuis groter is dan bij hoogfrequent geluid.
3. Ter hoogte van de voeg is niet enkel het brugdek onderbroken, maar ook de volledige structuur van de brug, dus van het brugwegdek tot de onderzijde. Door deze spleet kan geluid dat ontstaat bij het overrijden van de brugdekvoeg zich gemakkelijk voortplanten naar de onderzijde van de brug. Dit fenomeen is vooral van belang voor waarnemers die zich onderaan de brug bevinden.

1. behalve bij zogenaamde integraalbruggen, maar dit type wordt in deze handleiding verder buiten beschouwing gelaten.

Een risico op het tweede probleem is er in specifieke gevallen, namelijk bij relatief lichte brugconstructies (waarvoor relatief weinig energie nodig is om ze aan het trillen te brengen) met buigslappe componenten die efficiënt geluid afstralen. De problemen doen zich dan nog hoofdzakelijk voor bij het overrijden van de brugvoeg(en) door zware voertuigen. Lawaaiproblemen veroorzaakt door brugdekvoegen zijn in de overgrote meerderheid van de gevallen terug te voeren tot probleem één en bestaan dus uit extra bandengeluid ter hoogte van de brugdekvoeg.

Factoren die het lawaai waargenomen bij een brugvoeg bepalen:

- de ontwerpbreedte van de voeg: hoe breder de voeg, hoe meer lawaai;
- de temperatuur kan een heel belangrijke factor zijn: bij een lage temperatuur krimpt de brug en verbreedt de voeg, met meer lawaai tot gevolg;
- de inbouw van de voeg: ideaal is dat de voeg ongeveer 5 mm onder het niveau van het wegdek wordt ingebouwd om de akoestische impact ervan te minimaliseren;
- het niveauverschil tussen beide randen van de voeg. Absoluut uit den boze vanuit akoestisch oogpunt is een oprijrand die hoger ligt dan de afrijrand. Op die manier rijden auto's als het ware tegen een "trede" aan. Dat kan een sterke verhoging van het lawaai veroorzaken;
- de staat van de voeg: als het wegdek aan de stalen voegversterkingen niet meer netjes aansluit, kan dat aanleiding geven tot extra lawaai. Een typisch voorbeeld is wanneer het aanliggende wegdek spoorvorming vertoont;



Figuur 1.1 – De staat van de voeg kan een negatieve impact hebben op de lawaaiproductie

- de hoek die de voeg lokaal – dit is op de plaatsen waar de banden de voeg overrijden – maakt met de rijrichting: de akoestisch minst gunstige situatie is waarbij de voeg loodrecht op de rijrichting staat. De krachtpuls kan aanzienlijk worden verminderd door de banden schuin over de voeg te laten rollen, omdat op die manier de band minder vervormt aan het loopvlak (zie verder).

Daarnaast zijn er ook nog verschillende voertuiggerelateerde factoren die bepalen hoeveel lawaai er wordt waargenomen op een gegeven afstand van een brugdekvoeg (Gutbier & Schierz, 2007):

- de banden van het voertuig (afmetingen, akoestische kwaliteit...);
- de snelheid van het voertuig: bij een hogere snelheid wordt er meer energie aan de band overgedragen, die dan deels in akoestische energie wordt omgezet (de rest van de energie in warmte);
- het gewicht van het voertuig.

Op deze voertuiggerelateerde factoren heeft de wegbeheerder geen invloed en daarom wordt hierop niet verder ingegaan.

Op Europees niveau werd een richtlijn geschreven over uitzettingsvoegen van bruggen: ETAG 032 *Guideline for European technical approval of expansion joints for road bridges*. Er is slechts een kleine nota te vinden in ETAG 032/1 waarin staat dat geluid mogelijk zal moeten worden geverifieerd. Er wordt geen meetmethode beschreven (European Organisation for Technical Approvals [EOTA], 2013).

In hoofdstuk 2 van deze handleiding wordt de tot nu toe door SPW gehanteerde meetmethode voor de akoestische kwaliteit van brugvoegen beschreven. Er wordt ook een overzicht gegeven van enkele andere methodes die in Europa en daarbuiten worden gehanteerd en die in feite allemaal variaties zijn van elkaar. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de brugvoegtypes die in België worden toegepast en hoofdstuk 4 behandelt hun respectievelijke akoestische kwaliteiten.



2. Meetmethodes

2.1 De Belgische methode

De meetmethode die door *SPW Mobilité et Infrastructures* wordt gebruikt (Marcocci, 2019), is gebaseerd op de meetmethode RTD 1007-3 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a) in Nederland die in het vervolg van het document (§ 2.2.1) wordt besproken. Net zoals in Nederland wordt een onderscheid gemaakt tussen metingen boven en metingen onder de brug.

Om variaties in de opening van de uitzettingsvoegen zo klein mogelijk te houden, moet de luchttemperatuur gedurende vijf dagen voor de meting gelegen zijn tussen 5 en 20 °C. Tijdens de metingen moet de luchttemperatuur ten minste 5 °C bedragen. Het wegdek moet droog zijn en de windsnelheid niet hoger dan 5 m/s.

Dat de vijfdaagse gemiddelde luchttemperatuur in de periode voor de meetdag tussen 5 en 20 °C moet liggen, is bedoeld om de uitzetting/krimp van het wegdek zo klein mogelijk te houden. Door uitzetting van het kunstwerk bij hoge temperatuur wordt de voeg kleiner en het geluidsniveau lager. De meting zelf mag bij 5 tot 30 °C gebeuren.

Er wordt een variant van de SPB-methode gebruikt (International Organization for Standardization [ISO], 2023).

2.1.1 Geluidmetingen boven het kunstwerk

De uitvoering van deze meting vereist de passage van minstens honderd lichte voertuigen aan een snelheid van minimaal 80 km/u.

De karakterisatie van het wegdek wordt uitgevoerd met een meting voor en na de uitzettingsvoeg op een afstand van minstens 50 m. De afstand ten opzichte van de voeg dient dezelfde te zijn voor de meting voor en na de voeg. De afstand dient zo te worden gekozen dat de voeg geen invloed uitoefent op de gemeten geluidsniveaus. Ook gebeurt er een meting ter hoogte van de voeg. De microfoon bevindt zich op een afstand van 7,5 m van het midden van de gemeten rijstrook en op een hoogte van 3 m.

In sommige gevallen kan de afstand van 7,5 m niet worden gerespecteerd. De drie metingen (voor, ter hoogte van en na de voeg) gebeuren steeds op dezelfde meetafstand. De verhouding meethoogte gedeeld door afstand dient de waarde 3 gedeeld door 7,5 steeds te benaderen. Wanneer de afstand wordt aangepast omdat dit praktisch niet realiseerbaar is, dient de meethoogte dus mee te worden aangepast.

De maximumgeluidsniveaus en snelheden van de voertuigen worden in een grafiek uitgezet en een regressielijn wordt berekend. Op basis van deze regressielijn wordt het karakteristiek geluidsniveau bij 120 km/u berekend voor de drie uitgevoerde metingen. Om te kunnen besluiten dat de voeg voldoet, dient het verschil dat wordt berekend tussen de geluidsniveaus ter hoogte van de voeg en ter hoogte van het wegdek zich te beperken tot 5 dB(A).

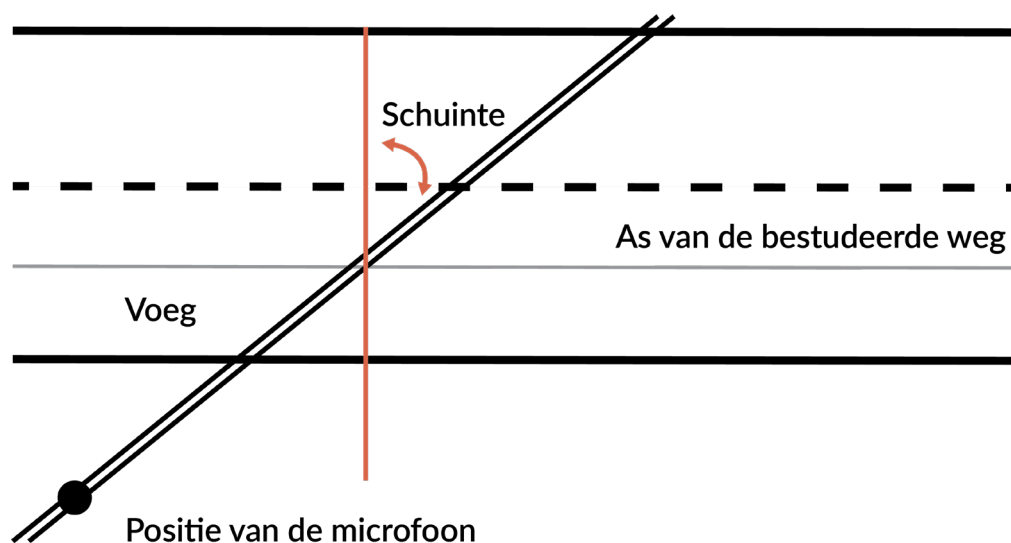
$$L_{\text{karakt,voeg}} - L_{\text{karakt,wegdek}} \leq 5 \text{ dB(A)}$$

De geluideis wordt berekend voor de representatieve voertuigsnelheid van de plaats waar de voeg werd aangelegd. In de praktijk is dat meestal de toegelaten maximumsnelheid voor personenwagens.

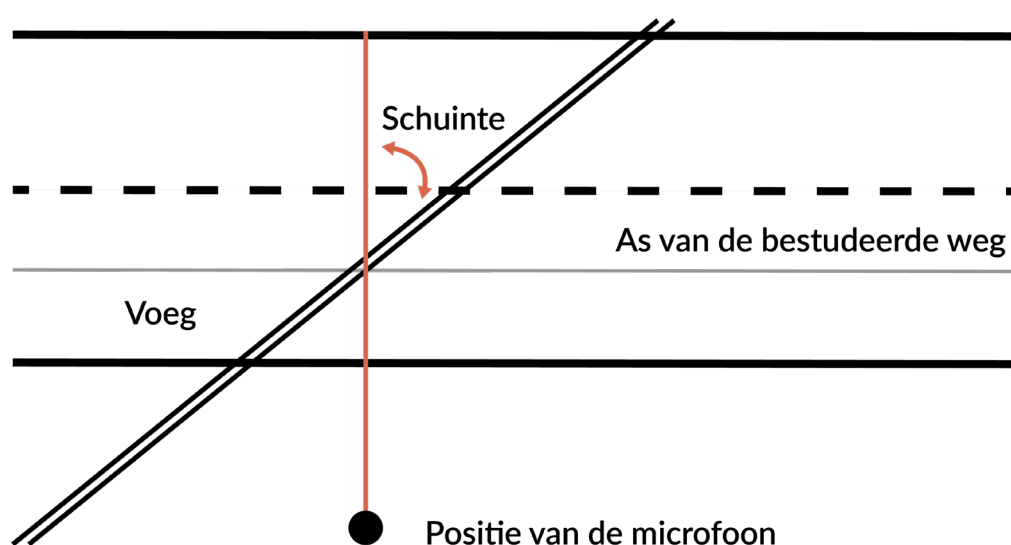
Er kunnen verschillende andere configuraties zijn. Men onderscheidt meer bepaald de volgende twee situaties:

a) De uitzettingsvoeg werd uitgevoerd onder een hoek:

$\alpha < 57^\circ$: de microfoon wordt in het verlengde van de uitzettingsvoeg geplaatst.



$\alpha > 57^\circ$: de microfoon wordt ter hoogte van de kruising van het midden van de gemeten rijstrook en de uitzettingsvoeg geplaatst.



Figuur 2.1 – Testopstelling bij een uitzettingsvoeg onder een hoek ($<$ en $>57^\circ$) (naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a, figuur 2)

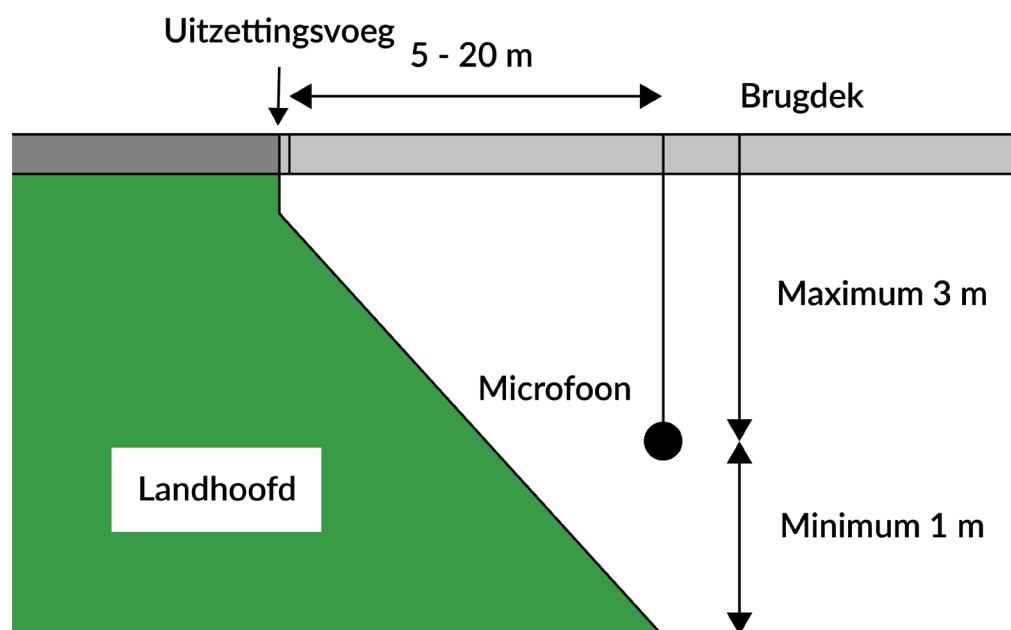
b) Aanwezigheid van een geluidsscherm:

Wanneer er een geluidsscherm aanwezig is ter hoogte van de voeg, dienen de metingen voor en na de voeg ook ter hoogte van het geluidsscherm te gebeuren onder dezelfde omstandigheden.

2.1.2 Geluidmetingen onder het kunstwerk

In tegenstelling tot de karakterisatie van het gedeelte boven het kunstwerk, houden metingen onder het kunstwerk rekening met zwaar verkeer. De passage van minstens dertig zware voertuigen dient in rekening te worden gebracht voor een geldige karakterisatie.

Voor dit type meting is de testopstelling voor de meting ter hoogte van de brugvoeg verschillend. De microfoon wordt geplaatst op een horizontale afstand tussen 5 en 20 m van de voeg en op een verticale afstand van maximaal 3 m ten opzichte van de onderkant van de brug. Minstens 1 m afstand dient gerespecteerd te worden ten opzichte van reflecterende objecten. Deze positionering komt overeen met deze die in Nederland wordt gebruikt (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a). De microfoon bevindt zich niet onder of naast de brug, maar in het verticale vlak gevormd door de rand van de brug.



Figuur 2.2 – Testopstelling voor metingen onder het kunstwerk (naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a, figuur 3)

De verwerking van meetgegevens is gelijkaardig als die van metingen boven de brug, maar enkel de zware voertuigen worden in rekening gebracht. De referentiesnelheid is de snelheid die representatief is voor het zwaar verkeer op die plaats, in de praktijk de toegelaten maximumsnelheid voor vrachtwagens. De geluidsniveaus ter hoogte van de voeg en ter hoogte van het wegdek worden gemeten. De voeg voldoet als het verschil tussen de geluidsniveaus ter hoogte van de voeg en ter hoogte van het wegdek kleiner of gelijk is aan -10 dB(A) , conform volgende eis:

$$L_{\text{karakt,voeg}} - L_{\text{karakt,wegdek}} \leq -10 \text{ dB(A)}$$

Het geluidsniveau onder het kunstwerk dient dus minstens 10 dB(A) lager te zijn dan het karakteristieke geluidsniveau van het wegdek.

Het kan gebeuren dat bij de meting aan de onderzijde van de brug geen goede correlatie wordt gevonden tussen de voertuigsnelheid en de geluidsniveaus van de vrachtwagens.

De determinatiecoëfficiënt R^2 evalueert hoe goed de regressielijn de verspreiding van de punten beschrijft. Deze wordt uitgedrukt in percent. Hoe hoger de coëfficiënt, hoe beter de vergelijking van de regressielijn de verdeling van punten aangeeft.

Wanneer bij de regressieanalyse de correlatie kleiner is dan 30 % ($R^2 < 0,30$) dient het geluidsniveau bij de representatieve snelheid als volgt te worden bepaald, zoals ook beschreven staat in RTD 1007-3 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a):

$$L_{\text{voeg/wegdek}} = L_{\text{gem}} + 22,5 * \log(v_{\text{rep}} / v_{\text{gem}})$$

- L_{gem} is het gemiddelde van de opgemeten geluidsniveaus $L_{A, \text{max}}$ in dB(A)
- v_{rep} is de representatieve snelheid in km/u
- v_{gem} is het gemiddelde van de opgemeten snelheden in km/u

2.2 Andere landen

Een zoektocht in de literatuur toont aan dat er talrijke methodes worden gebruikt om de akoestische kwaliteit van uitzettingsvoegen te bepalen, zonder dat er echt sprake is van harmonisatie over de landen heen. Wat volgt is een resultaat van deze beknopte literatuurstudie.

2.2.1 Nederland

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen geluid dat wordt afgestraald aan de bovenkant van een brug en geluid dat aan de onder- en zijkant van een brug wordt afgestraald. In het document RTD 1007-3 (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a) wordt de meetmethode uitgelegd en worden geluideisen opgesteld waaraan een voegovergang moet voldoen. De meetmethode maakt gebruik van gegevens uit Reken- en meetvoorschrift geluid 2012 dat wordt beschreven in CROW-publicatie 316 (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek [TNO] & M+P Raadgevende Ingenieurs, 2012).

Er gelden verschillende geluideisen:

- **Geluideisen voor boven het kunstwerk (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a):**
"het geluidniveau boven het kunstwerk, als gevolg van passages van lichte motorvoertuigen over de voegovergang, dient het geluidniveau van het stilste aangrenzende wegdek met niet meer dan 5 dB(A) te overschrijden".
- **Geluideisen voor onder het kunstwerk:**
"het geluidniveau onder het kunstwerk, als gevolg van passages van zware motorvoertuigen over de voegovergang, dient ten opzichte van het stilste wegdektype naast de voegovergang minimaal 10 dB(A) lager te zijn bij afwezigheid van geluidsschermen en minimaal 15 dB(A) lager te zijn bij aanwezigheid van geluidsschermen".

Er dienen geen metingen te gebeuren op de aangrenzende wegdekken. De geluidsniveaus van deze wegdekken worden gehaald uit CROW-publicatie 316 door gebruik van C_{wegdek} (TNO & M+P Raadgevende Ingenieurs, 2012).

Rijkswaterstaat definieert in het document RTD 1007-1 “Meerkeuzematrix Voegovergangen” (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013b) de GeluidLabelWaarde per type voegovergang en per uitvoeringsvariant. Een leverancier kan de akoestische eigenschappen van een voegproduct ook zelf aantonen, bijvoorbeeld wanneer het product beter presteert dan de specificaties die zijn opgenomen in de Meerkeuzematrix.

Controlemetingen na uitvoering gebeuren enkel wanneer er twijfel is aan het voldoen aan de geluideis en wanneer er woningen of geluidgevoelige bestemmingen aanwezig zijn in de nabijheid. Metingen gebeuren volgens de SPB-methode ISO 11819-1 (ISO, 2023). Er wordt echter geen temperatuurcorrectie toegepast. De vijfdaagse gemiddelde luchttemperatuur in de periode voor de meetdag moet tussen 5 en 20 °C liggen aangezien door uitzetting bij hoge temperatuur van het kunstwerk de verplaatsing bij de voeg kleiner is en het geluidsniveau lager is. De meting zelf mag bij 5 tot 30 °C gebeuren.

Geluidmetingen boven het kunstwerk

De microfoon wordt geplaatst ter hoogte van de plaats waar het midden van de rijstrook de voegovergang kruist, 7,5 m van het midden van de te meten rijstrook en 3 m boven het wegdek. De passage van minstens 100 lichte voertuigen dient te worden gemeten. De geluideis wordt berekend voor de representatieve voertuigsnelheid van lichte voertuigen van de plaats waar de voeg werd aangelegd. In de praktijk is dat meestal de toegelaten maximumsnelheid voor personenwagens.

Bij aanwezigheid van reflecterende objecten zoals een geluidsscherm dient een gelijktijdige verschilmeting te gebeuren (ter hoogte van de voegovergang en bij de stilste aangrenzende verharding) waarbij de positionering van de microfoon mag afwijken indien de meting anders onmogelijk is. De verhouding meethoogte gedeeld door afstand moet echter de waarde 3 gedeeld door 7,5 benaderen.

Geluidmetingen onder het kunstwerk

De microfoonpositie ligt op een meethoogte van maximaal 3 m onder het rijdek aan de rand van het kunstwerk. De microfoon dient minimaal 1 m afstand te hebben van reflecterende objecten zoals de grond, de zijkant of pijlers. De afstand van de microfoon ten opzichte van de voegovergang dient minstens 5 m en maximaal 20 m te zijn. De voorkeurspositie is waar het landhoofd eindigt. Minstens dertig passages van zware voertuigen dienen te worden gemeten. De geluideis wordt berekend voor de representatieve voertuigsnelheid van vrachtverkeer van de plaats waar de voeg werd aangelegd. In de praktijk is dat meestal de toegelaten maximumsnelheid voor vrachtwagens.

2.2.2 Duitsland

In het kader van het project *Leiser Straßenverkehr 1* (Projektgruppe “Leiser Strassenverkehr”, 2004) en 2 (Projektgruppe “Leiser Strassenverkehr 2”, 2012) werden stillere voegovergangen ontwikkeld en onderzocht. Als resultaat van dit project worden deze voegovergangen toegepast in Duitsland, wat geleid heeft tot een aanzienlijke verbetering, waardoor in de praktijk momenteel in Duitsland geen metingen meer gebeuren aan voegovergangen (W. Bartolomeus & J. Gebhardt op basis van informatie van BAST en de Bavarian Environment Institute [LfU], [W. Bartolomeus, persoonlijke communicatie, juni 7, 2022; J. Gebhardt, persoonlijke communicatie, mei 18, 2022]).

Er gebeurden in Duitsland talrijke metingen (Pijpers, 2005; Thaler & Bohny, 2000) alvorens er in 2007 een document werd opgesteld waarin een meetmethode werd vastgelegd (Gutbier & Schierz, 2007). In ditzelfde document worden deze metingen samengevat.

Ze vonden plaats bij 1,2; 2,4; 3,6 en 4,8 m microfoonhoogte en werden onder andere door BAST uitgevoerd. Er werd gemeten op een afstand van 7,5 m conform de SPB-methode. Dat gebeurde ter hoogte van de voegovergang, maar ook 20 m voor en na de voegovergang en in sommige gevallen 40 m na de voegovergang. Er waren metingen die de afstanden van de Franse methode (Association Française de Normalisation [AFNOR], 2002) respecteerden, namelijk 1,3 m hoogte en 3 m afstand.

Bij wegen met twee rijstroken is er ook even sprake van metingen bij microfoonhoogten 1,2 m en 2,4 m van de rijstrook dichtst bij de middenberm en enkel op microfoonhoogte 2,4 m van de eerste rijstrook en dat steeds 7,5 m ten opzichte van het midden van de rijstrook.

De metingen gebeurden volgens de SPB-methode ISO 11819-1 (ISO, 2023). Bij sommige metingen werden honderd lichte en honderd zware voertuigen gemeten, bij andere metingen werd gebruik gemaakt van een testvoertuig dat in gecontroleerde omstandigheden passages uitvoerde, zoals bij de CPB (*controlled pass-by*) methode, een variant op de SPB-methode. Het resultaat werd berekend voor verschillende referentiesnelheden.

De meetmethode die werd gepubliceerd in 2007 (Gutbier & Schierz, 2007) wordt hier verder kort besproken. De opzet was om via metingen in gecontroleerde omstandigheden op specifieke testsites een database aan te leggen om uitzettingsvoegen te kunnen classificeren.

Er wordt gemeten in gecontroleerde omstandigheden met een testvoertuig op een testlocatie die aan bepaalde eisen dient te voldoen (homogeen wegdek, helling < 1 %, geen grote reflecterende vlakken in een straal van 30 m rond de meetplaats, achtergrondgeluid, enz.). Het testvoertuig is een auto die aan bepaalde kenmerken dient te voldoen (zomerbanden met grootte 195/60 of 195/65, lading 50 %, enz.).

Het testvoertuig voert passages uit tussen 60 en 120 km/u met 10 km/u intervallen. Het aantal passages is afhankelijk van de statistische onzekerheid die wordt bekomen. Algemeen zijn vijf passages per snelheidsinterval voldoende om een 95 % vertrouwensinterval van 0,5 dB bij de referentiesnelheid te bekomen.

Bij voorkeur dienen de metingen bij een temperatuur nabij 20 °C worden uitgevoerd. Er wordt geen temperatuurcorrectie uitgevoerd.

De microfoonpositie is ter hoogte van de voegovergang op 7,5 m van het midden van de te meten rijstrook en op 1,2 m hoogte ten opzichte van de te meten rijstrook. Optionele microfoonposities ter vergelijking met historische of internationale metingen zijn: 1,3 m hoogte en 3 m afstand; 2,4 en 3,6 m hoogte en 7,5 m afstand.

Net zoals bij de SPB-methode worden de snelheid en het maximaal geluidrukniveau (L_{AFmax}) bij elke passage opgemeten. De resultaten worden uitgezet in een grafiek ($\log v - L_{AFmax}$) en een regressielijn wordt berekend. $L_{F\dot{u}max}$ is de waarde die bereikt wordt bij referentiesnelheid 80 of 120 km/u.

2.2.3 Frankrijk

In Frankrijk werd in 2002 een experimentele meetnorm gepubliceerd (AFNOR, 2002). Metingen gebeuren grotendeels volgens de SPB-methode (ISO, 2023).

De microfoonpositie is verschillend, namelijk 3 m afstand ten opzichte van het midden van de rijstrook en 1,3 m hoogte ten opzichte van het niveau van het midden van de rijstrook.

Er dient gelijktijdig een meting te gebeuren ter hoogte van de voeg en ter hoogte van het aangrenzende wegdek, zodat dezelfde voertuigen en meteorologische omstandigheden in rekening worden gebracht. Voor de metingen zonder invloed van de voeg wordt een minimale afstand van 100 m tot het kunstwerk aanbevolen.

Er wordt aanbevolen metingen uit te voeren bij een luchttemperatuur die zo dicht mogelijk bij 20 °C ligt, aangezien er geen temperatuurcorrectie wordt uitgevoerd.

Personenwagens (categorie 1) en zware voertuigen met meer dan twee assen (categorie 2b) die een snelheid groter dan 65 km/u hebben, worden geregistreerd. Van categorie 1 worden er minstens honderd voertuigen gemeten en van categorie 2b minstens tachtig. De referentiesnelheden voor categorie 1 zijn 90, 100, 110 en 120 km/u. 80 en 90 km/u zijn de referentiesnelheden voor categorie 2b.

Net zoals bij de SPB-methode worden de snelheid en het maximaal geluiddrukkniveau bij elke passage opgemeten. Er wordt aanbevolen ook de maximale geluiddrukkniveaus per derde octaafband te meten voor frequenties 200 tot en met 5000 Hz. De resultaten worden uitgezet in een grafiek (logaritme van de snelheid als functie van het maximaal geluiddrukkniveau) en een regressielijn wordt berekend. Lref is de waarde die wordt bereikt bij de referentiesnelheid. Op dezelfde manier worden de resultaten van de verschillende derde octaafbanden geanalyseerd.

De vlakheid van de zone 2,5 m voor en na de voeg dient in de wielsporen te worden geverifieerd met een meting (bv. door APL).

In de praktijk werd de meetmethode daarna echter zelden gebruikt (F. Anfosso-Ledée, persoonlijke communicatie, juni 2, 2022). Er gebeurt geen systematische meting bij elke voeginstallatie, maar enkel bij klachten. In dat geval worden momenteel eerder metingen uitgevoerd onder de brug en bij de gevel van het huis waar klachten zijn en niet zoals beschreven staat in de experimentele meetnorm.

2.2.4 Denemarken

In Denemarken werd via metingen getracht het impulsgeluid in rekening te brengen (Finne & Fryd, 2017). L_{den} houdt geen rekening met impulsen. Er werd inspiratie gehaald uit het meten van geluid bij bedrijven waar wel wordt onderzocht of er duidelijke impulsen aanwezig zijn en er in sommige gevallen 5 dB bij het L_{den} resultaat wordt opgeteld. Er gebeurden metingen bij de Gudenåbroen door studie bureau DELTA in opdracht van DRD (*Danish Road Directorate*) naar aanleiding van herhaaldelijke klachten omwille van lawaaihinder. Helderheid van impulsen werd bepaald met de NT ACOU 112 (Nordtest, 2005) Nordtest-methode op een schaal van 0 tot 15. Bruggen met helderheid P hoger dan 6 à 7 werden als hinderlijk beoordeeld voor de burelen, wat overeenkomt met een afstand van de uitzettingsvoeg tot 500 à 600 m. De L_{Aeq} metingen vonden plaats op een aantal aangrenzende posities ten westen van de brug bij woningen (ca. 450 m tot ca. 1500 m afstand) en er werd een meetpositie ingevoerd bij de verkeersbrug net boven de vangrail op 1,5 m hoogte als controlepunt.

Er werden verschillende perioden van maximaal 1 uur opgemeten. Hoe groter de afstand tot de brug, hoe minder helder de impulsen terug te vinden zijn in het resultaat. Er gebeurde ook een subjectieve beoordeling door één testpersoon, waaruit bleek dat de objectieve beoordeling op basis van de metingen goed overeenstemde met de subjectieve beoordeling betreffende de hoorbaarheid van de impulsen van zwak tot heel helder. Als gevolg van deze metingen werd besloten de uitzettingsvoeg op deze brug aan te pakken en het belang van het in rekening brengen van dit impulsgeluid werd met dit onderzoek aangetoond.

2.2.5 Zweden

In Zweden is er geen geharmoniseerde standaardpraktijk voor dergelijke metingen. Het geluid van brugvoegen wordt er zelden gemeten (U. Sandberg, persoonlijke communicatie, mei 17, 2022). De auteurs vonden enkel verwijzingen naar metingen op de Uddevalla en Skapesund brug (Kropp e.a., 2001).

2.2.6 Oostenrijk

In Oostenrijk werden in 2004 in opdracht van de ÖSAG (*Österreichische Autobahnen- und Schnellstraßen-Aktiengesellschaft*) metingen uitgevoerd aan 2 overgangen (Kalivoda e.a., 2004; Kalivoda & Frauwaliner, 2005; Pijpers, 2005) volgens de Franse experimentele norm XP P98-095 (AFNOR, 2002) en op basis hiervan werd een methode voor de akoestische evaluatie van rijbaanovergangen uitgewerkt. De methode voorziet 3 meetpunten, namelijk een meetpunt vlakbij de overgang, een referentiepunt op de rijbaan op een afstand van minimaal 25 m van de overgang en een meetpunt onder de brug. Bij de metingen werd niet alleen L_{Amax} , maar ook SEL bepaald.

In 2010 werd een RVS richtlijn/voorschrift gepubliceerd (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse Schiene Verkehr [FSV], 2011) voor de akoestische evaluatie van uitzettingsvoegen.

Er wordt een CPB- of SPB-meting uitgevoerd.

Het voertuig waarmee gecontroleerde passages worden uitgevoerd (CPB-meting) heeft een totaalgewicht van $1\ 800\text{ kg} \pm 10\%$. Het voertuig wordt 50 % beladen. Het dient uitgerust te zijn met zomerbanden met afmetingen 195/60 of 195/65. Ze moeten van hetzelfde type zijn en minstens 4 mm profieldiepte hebben. Het voertuig passeert minstens bij drie snelheden: 60, 100 en 130 km/u en er worden minstens 9 passages uitgevoerd per snelheid.

Bij een SPB-meting wordt enkel categorie 1 opgemeten: minstens honderd auto's en bestelwagens zonder dubbele banden.

Er zijn drie meetpunten: ter hoogte van de voegovergang boven de brug (MP1), 30 m voor of na de voegovergang (MP2) en onder de brug ter hoogte van de voegovergang (MP3) voor de detectie van akoestische afstraling. De eerste twee meetlocaties worden gebruikt ter bepaling van het verschil tussen de referentielocatie op 30 m afstand en de voegovergang. Het resultaat van de referentielocatie mag maximaal 2 dB verschillen ten opzichte van de verwachte waarde van het wegdektype die terug te vinden is in RVS 04.02.11 (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, FSV, 2019).

De microfoonpositie van MP1 en MP2 ligt op 3,75 m van de as van de eerste rijstrook op een hoogte van 1,20 m. MP3 wordt zo gekozen dat het informatie kan geven over hoe sterk het geluid wordt afgestraald naar de onderkant.

SEL wordt geregistreerd en gebruikt om de vergelijking te maken. In het kader van een onderzoeksproject werd een classificatie opgesteld, namelijk een indeling in standaard overgang en geluidarme overgang. Een voeg wordt als geluidreducerend beoordeeld wanneer de SEL bij de voegovergang (MP1) maximaal 2 dB groter is dan de SEL op de referentielocatie (MP2).

2.2.7 Zwitserland

In Zwitserland wordt extra aandacht besteed aan de bescherming tegen lawaai bij bruggen, zo blijkt uit het document uit 2018 over dit onderwerp (Fürst e.a., 2018) waarin ook voegovergangen worden aangehaald. De meetmethode ter bepaling van de akoestische eigenschappen wordt echter niet besproken. Pijpers, 2005 haalt aan dat er in 1998 en 2000 metingen uitgevoerd werden volgens de SPB-methode, waarbij L_{Amax} , L_1 en L_{Aeq} werden bepaald. In 2003 werden eveneens SPB-metingen uitgevoerd op 1,5 m hoogte en op 4 m afstand tot het midden van de rijbaan ter hoogte van de voeg en op een referentiepunt op 30 m van de voeg. In 2017, 2019 en 2020 werden geluidmetingen uitgevoerd door G+P Engineers (E. Bühlmann & T. Saurer, persoonlijke communicatie, april 5 & 13, 2022) op vraag van de *Federal Roads Office* (FEDRO) van Zwitserland bij uitzettingsvoegen op twee bruggen. Het waren tests in twee specifieke situaties die deel uitmaakten van pilootprojecten, aangezien er nog geen langetermijnervaring was op dat moment. Er gebeurden emissie-, immissie- en propagatiemetingen. Bij de immissiemetingen werd het verschil tussen L_{eq} en de *Taktmaximalpegel* berekend, "LAFTeq", die beschreven wordt in Duitse norm DIN 45645 (Deutsches institut für Normung [DIN], 1996-2012) en dient om impulsgeluid te kunnen beoordelen. Er werden microfoons geplaatst op verschillende locaties onder de brug, zo dicht mogelijk bij de voegen in de richting van de woningen. Emissies werden gemeten met behulp van een CPX-aanhangwagen waarbij het maximale geluidsniveau bij de voegovergang werd vergeleken met het geluidsniveau van de zone rondom de overgang. De geluidpropagatie werd bestudeerd aan de hand van een akoestische camera, die toeliet probleempunten te lokaliseren en op die manier een mogelijke maatregel te zoeken.

2.2.8 Verenigde Staten

In de Verenigde Staten werd in 2011 een studie gedaan op de Tacoma Narrows Bridge in de staat Washington (Sexton, 2011). Naar aanleiding van klachten over geluid werden muren geïnstalleerd, die vervolgens met geluidsabsorberend materiaal werden behandeld. Het doel van het project was om het geluid van lage frequenties te verminderen. Er werden metingen uitgevoerd voor en na de plaatsing van de muren en voor en na het toepassen van het absorberend materiaal op 26 locaties rondom de brug. L_{eq} werd gemeten gedurende 10 à 15 min. met derde-octaaftanden. Vanwege storend omgevingslawaai en het niet beschikken over de nodige verkeersinformatie (aantal en type voertuig) was het echter moeilijk om kwantitatieve conclusies te trekken uit de resultaten.

In 2019 werd een studie gedaan door de universiteit van de staat Washington (Reinhall & Soloway, 2019) over het geluid van uitzettingsvoegen op bruggen van *Washington State Department of Transportation* (WDOT). Er werden op 5 verschillende tijdstippen metingen uitgevoerd bij twee woongebieden en bij de SR520 brug. De microfoon werd op de eerste locatie geplaatst op 3 m afstand van het huis op een hoogte van 1,5 m. Bij de tweede locatie werd de microfoon 15 m achter het huis geplaatst op een hoogte van 1,7 m omwille van de aanwezigheid van een afschermend vlak. Metingen bij de brug gebeurden op het voetpad met microfoonhoogte 1,5 m naast de voeg, op 10 m, 20 m en 24 m afstand van de brugvoeg met microfoonhoogtes 1,5 m en 0,6 m, alsook metingen in de ruimte onder de voeg en onder de brug. Hoewel de *Federal Highway Administration* normaalgezien 15 min of $1u L_{eq}$ geluidsniveaus gebruikt, werd hier de *energy spectral density* (ESD) berekend om events met verschillende duur te kunnen vergelijken en zo de mechanismen te kunnen bestuderen.

2.2.9 China

In China publiceerde de Universiteit van Hong Kong een studie in 2013 (Wong e.a., 2013). Er werd een aanhangwagen zonder dempingsysteem uitgerust met meetapparatuur. Gedurende 16 maanden werden er herhaaldelijk metingen gedaan op dezelfde testlocaties (zes voegen op vier verschillende bruggen). De metingen werden met twee methoden uitgevoerd, namelijk op twee voegen met een testvoertuig en op 4 andere voegen met de aanhangwagen (max. 15 km/u).

Voegen van twintig bruggen in Ningbo City werden bestudeerd in 2016. Resultaten werden uitgedrukt in Z-gewogen geluiddrukkniveau om het effect van laagfrequent geluid te behouden. Drie meetpunten werden gemeten per brug (ter hoogte van begin, midden en einde van de brug) op 1,2 m hoogte en 0,2 m van de rand van het wegdek gedurende een voertuigpassage van 20 seconden (Mao & Ding, 2021).

3. Brugdekvoegtypes die worden toegepast in België

In dit document komen enkel voegen van niet-beweegbare brugdelen aan bod.

Ingedeeld naar hun interne structuur (onder het wegdek) worden er in Vlaanderen maar drie types brugdekvoegen voorzien in het Standaardbestek 260 (Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit & Openbare Werken, 2021): “waterdichte brugdekvoegen van het type klauwprofiel met voegband” is het eerste type en kan worden gedefinieerd als *voegovergang met stalen randprofielen met of zonder overgangsbalken van beton, kunsthar of elastomeer. De voegspleet tussen de randprofielen wordt gevuld met een flexibele niet verkeersdragende voegafdichting (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013b)*. Een tweede type brugdekvoeg dat wordt voorzien in Vlaanderen is de “flexibele voegovergang op basis van bitumen (compoundvoeg)”. Dat is een flexibel, *waterdicht voegsysteem dat opgebouwd is uit 75 % steenslag en 25 % bindmiddel. Het bindmiddel is elastomeercompound (Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit & Openbare Werken, 2021)*. Het derde type is de zogenaamde PU-voeg.

De “waterdichte brugdekvoegen van het type klauwprofiel met voegband” zijn een familie van brugdekvoegen met heel uiteenlopende bovenaanzichten, die de akoestische eigenschappen nagenoeg volledig bepalen.

In Wallonië worden bovenvermelde voegen ook allemaal gebruikt en daarnaast ook nog een vierde type, namelijk de “tapijtvoeg”.

Geluid is uiteraard slechts één criterium; daarnaast zijn er nog een reeks andere criteria waarmee rekening moet worden gehouden en die soms onderling tegenstrijdig zijn, zodat er compromissen moeten worden gezocht:

1. Bewegingsvrijheid of dilatatiecapaciteit (vermogen van de voeg om thermische uitzettingen van de brug op te vangen).
2. Mechanische weerstand tegen belasting uit de constructie.
3. Mechanische weerstand tegen belasting uit verkeer.
4. Gebruiksvriendelijkheid en veiligheid, en dan in het bijzonder voor gemotoriseerde tweewielers die extra kwetsbaar zijn voor uitglijden of om uit balans te worden gebracht door de dikwijls onverwachte singulariteit in het wegdek.
5. Waterdichtheid: beide in Vlaanderen voorziene types brugdekvoegen worden geacht waterdicht te zijn.
6. Levensduur.
7. Kostprijs.
8. Installatiesnelheid (hinder op het ondergelegen wegennet).
9. Inbouw randvoorwaarde (eisen naar afmetingen die de brugconstructie moet hebben om een bepaalde voeg in te kunnen bouwen: minimale rijwegdikte, dimensies brugdek, ...).

Om de kwaliteit en duurzaamheid van brugdekvoegen zoveel mogelijk te garanderen, past SPW een goedkeuringsprocedure toe die wordt beschreven in hun standaardbestek *CCT Qualiroutes* (Service Public de Wallonie [SPW], Mobilité & Infrastructures, 2021) K 8.3.1 en 8.3.3. AWV voert controles uit die beschreven staan in Standaardbestek 260 hoofdstuk 31 Brugdekvoegen in verschillende paragrafen (Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit & Openbare Werken, 2021).

Brugdecovergangen in België kunnen worden onderverdeeld volgens hun bovenaanzicht in zeven categorieën, waarvan een aantal ook nog subcategorieën hebben. De types 3.1 tot 3.4 zijn subtypes van de vermelde “waterdichte brugdekvoegen van het type klauwprofiel met voegband”.

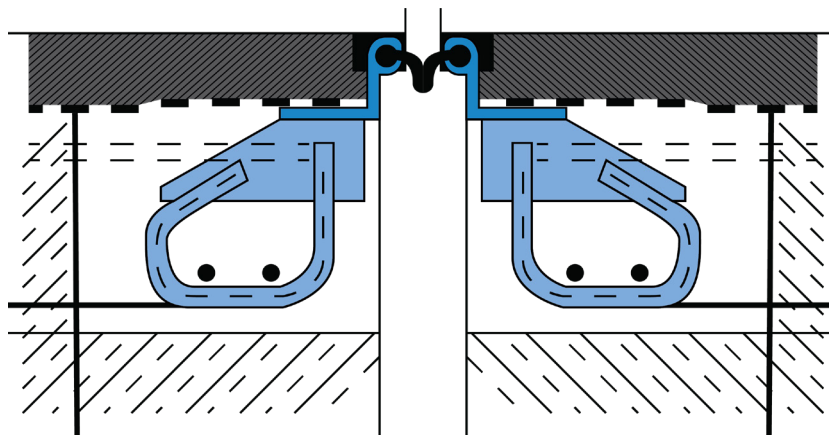
3.1 Enkelvoudige brugdekvoeg

Dit is de meest eenvoudige vorm bestaande uit een voeg tussen twee metalen randen om lokale afbrokkeling van het wegdek te voorkomen.

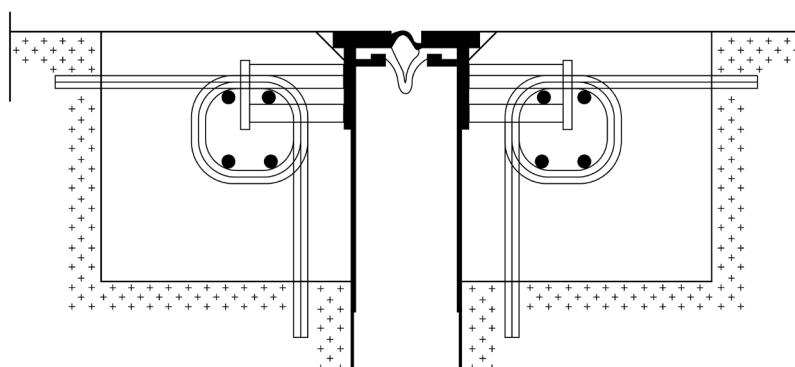
Dit type voeg bestaat uit twee parallelle metalen profielen, verankerd aan elke zijde van de opening, waartussen een elastomeren afdichtingsprofiel wordt geplaatst (nominale uitzetting beperkt tot 80 mm voor het comfort van de gebruikers en om het geluid te verminderen).

Deze voegen kunnen:

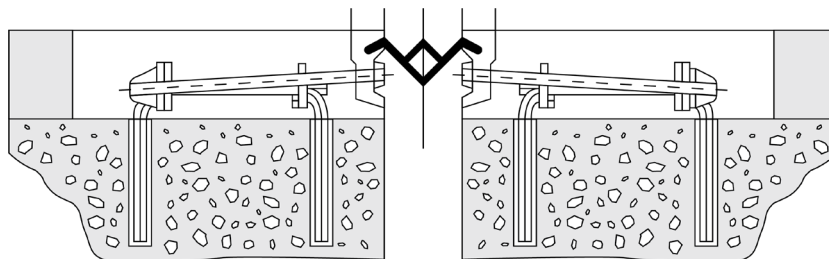
- hetzij verankerd zijn in een betonblok (uitsparing in de structuur van de brug);
- hetzij in de dikte van de verharding geplaatst zijn (langsbalken in beton of hars).



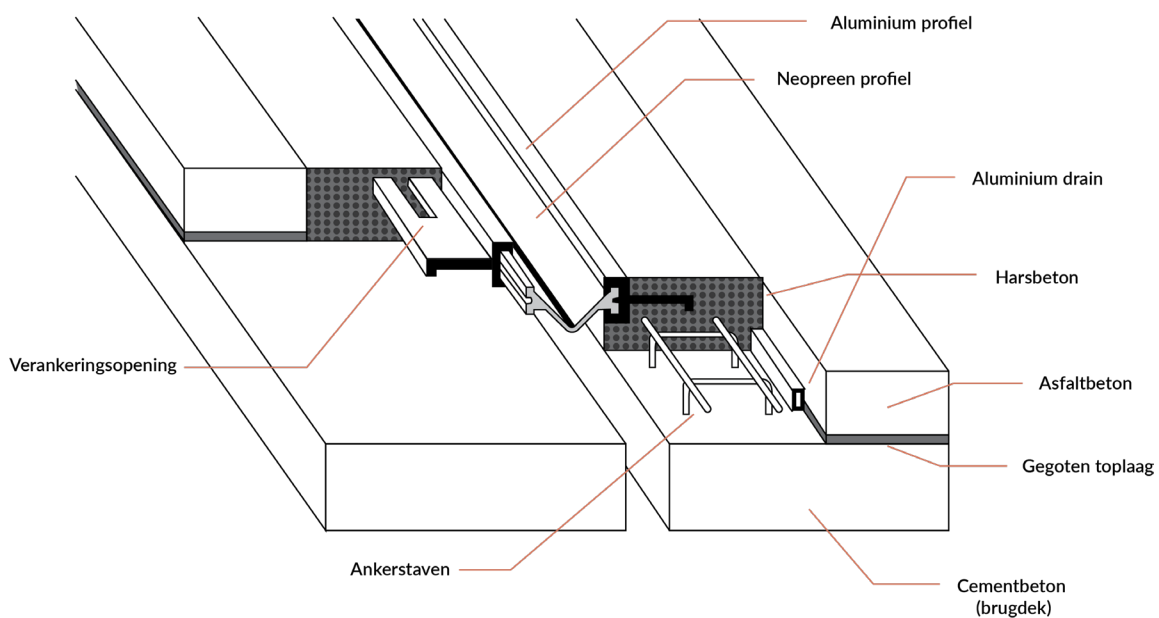
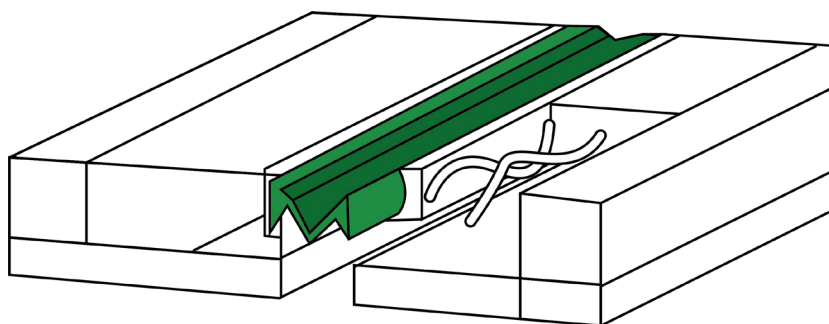
Figuur 3.1 – Voeg verankerd in een betonblok, tot op het niveau van het brugdek



Figuur 3.2 – Voeg verankerd in een betonblok, tot aan het wegoppervlak



Figuur 3.3 – Verankerde voeg, ingebetonneerd in de dikte van de verharding



Figuur 3.4 – Harsvoegen (gekleefd) geplaatst in de dikte van de verharding

Vanuit akoestisch oogpunt wordt de voeg best zo smal mogelijk gehouden. Deze voeg is eenvoudig en kan dienen als er geen al te grote dilatatie vereist is (kort kunstwerk) en wanneer de snelheid van de voertuigen die erover rijden beperkt is. De voeg kan loodrecht op de rijrichting van de auto's staan (akoestisch minst gunstige situatie). Als die hoek scherper is, bijvoorbeeld 60° of zelfs 45°, heeft dat een gunstige invloed op de geluidsproductie, zoals hierboven al vermeld. De correctiefactor van een voeg onder een hoek α kan als volgt worden berekend (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013b):

$$\Delta_{\alpha} = (\alpha - 100) * 0.0642$$

waarbij α uitgedrukt is in "gon", dat wil zeggen bij een rechte hoek is $\alpha = 100$; bij een hoek van 45° is $\alpha = 50$, enz.

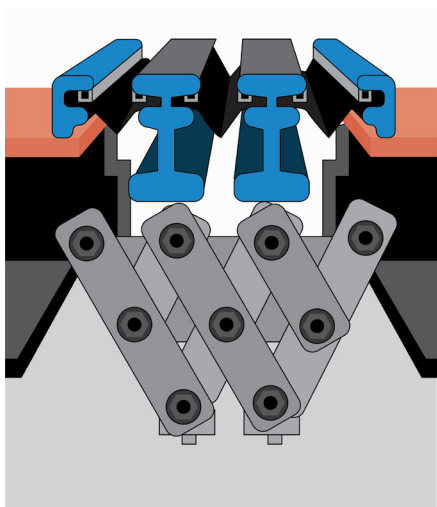
De voeg kan worden opgevuld met een elastisch materiaal en in de ideale situatie, waarbij de bovenzijde van het elastisch materiaal vlak is en perfect aansluit op de voegranden, is dit een akoestisch gunstige situatie en "voelen" de banden nog nauwelijks dat er een voeg wordt overreden. Bij warm weer, dus wanneer het kunstwerk thermisch gaat uitzetten en de voegbreedte vermindert, kan het elastisch materiaal omhoog worden geperst en een ribbel vormen. De aldus gevormde positieve textuur is dan weer een akoestisch ongunstige situatie en dient te worden vermeden.



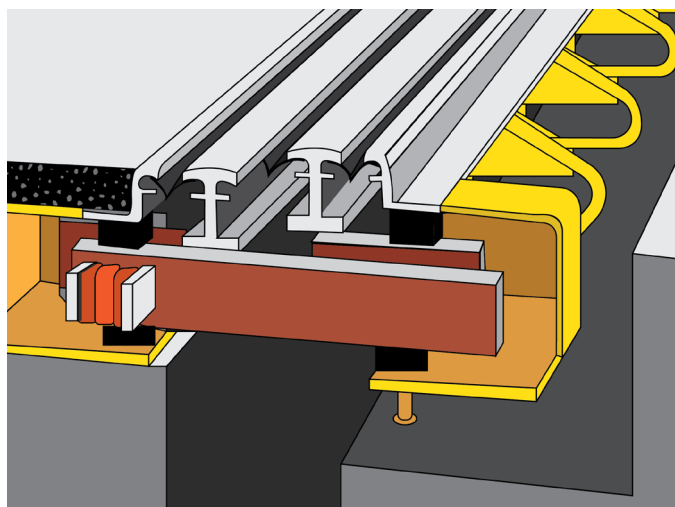
Figuur 3.5 – Enkelvoudige voegen: loodrecht op de rijrichting (links) en onder een hoek van 60° ten opzichte van de rijrichting (rechts). Bij eenzelfde voegbreedte en inbouwkwiteit is deze laatste 2,1 dB stiller dan de eerste

3.2 Meervoudige (modulaire) voegen

In sommige gevallen – bijvoorbeeld bij lange kunstwerken, waarbij een grote dilatatie van de voeg vereist is – zou een enkelvoudige voeg zo breed moeten zijn dat dit niet alleen vanuit akoestisch oogpunt, maar ook vanuit het oogpunt van de verkeersveiligheid niet verantwoord zou zijn. In dit geval kan er worden geopteerd voor meervoudige of modulaire voegen: voegen gemaakt vanaf de uitzettingsvoeg waaraan centrale profielen worden toegevoegd, om grotere uitzetting mogelijk te maken. Er zijn verschillende technische oplossingen mogelijk om een modulaire voeg te realiseren (figuur 3.6 en figuur 3.7).



Figuur 3.6 – Pantograafvoeg



Figuur 3.7 – Voeg met dwarsbalken

Hoe meer lamellen een voeg bevat, des te lawaaiëriger ze is. De correctiefactor ten opzichte van een voeg met vier lamellen kan als volgt worden berekend (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013b):

$$\Delta_n = (n-4) * 0.627$$

De lamellen zijn meestal uitgevoerd in metaal, maar kunnen ook van rubber zijn. Alternatief kunnen metalen voegen ook op een elastische basis worden geplaatst en dus onderaan “afgeveerd”, waardoor de banden bij het overrijden een minder harde “tik” krijgen en dus minder efficiënt aan het trillen wordt gebracht. Het afveren van de lamellen kan een geluidsreductie van circa 2 dB opleveren (Projektgruppe “Leiser Strassenverkehr 2”, 2012). Net als een enkelvoudige voeg kan een meervoudige voeg zowel loodrecht als onder een kleinere hoek met de rijrichting staan.



Figuur 3.8 – Meervoudige voegen met twee stalen lamellen (links) en drie rubberen lamellen (rechts)

Metalen lamellen hebben doorgaans een platte, vlakke bovenzijde die glad kan zijn bij regenweer. Als er naast een wegdek ook een fietspad door de voeg wordt onderbroken, kan dat valgevaar opleveren voor fietsers. Het kan daarom aangewezen zijn om de stroefheid van de lamellen ter hoogte van het fietspad te verbeteren, bijvoorbeeld door middel van epoxy, dat wordt ingestrooid met een natuurlijk of kunstmatig aggregaat (figuur 3.9).



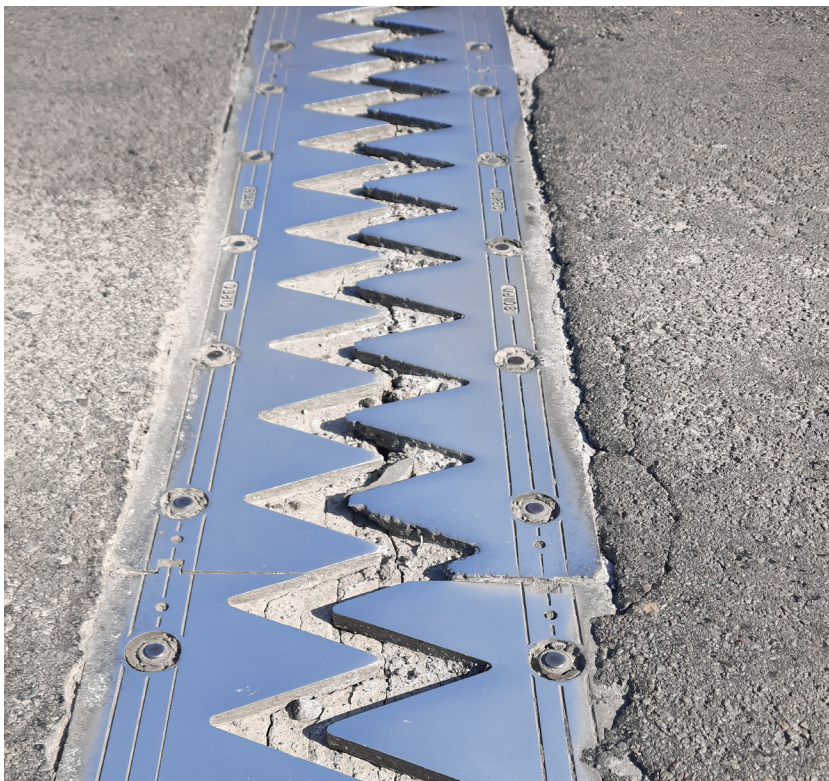
Figuur 3.9 – Metalen meervoudige voeg die een fietspad dwars op een brug. De stroefheid werd verzekerd door het instrooien van bauxiet in een epoxylaag

3.3 Voegen met kraagbalk

Voegen kunnen om akoestische redenen aan de randen worden voorzien van een overkraging/kraagbalk die kan worden uitgevoerd in verschillende profielen.

3.3.1 Voegen met zaagtandprofiel

Beide randen van de voeg zijn voorzien van een kraagbalk met in elkaar grijpende zaagtandprofielen, waardoor de lokale hoek van de banden met de voegrand wordt verlaagd. Als de zaagtanden gelijkzijdige driehoeken zijn, bedraagt de lokale hoek 45° . Er worden soms ook zaagtanden met afgeronde toppen gebruikt.



Figuur 3.10 – Voeg met zaagtandprofiel

3.3.2 Sinusoïdale voeg

Bij de sinusoïdale voeg worden beide voegranden voorzien van twee sinusvormige, in elkaar grijpende randen.



Figuur 3.11 – Sinusoïdale voeg

3.3.3 Vingervoeg

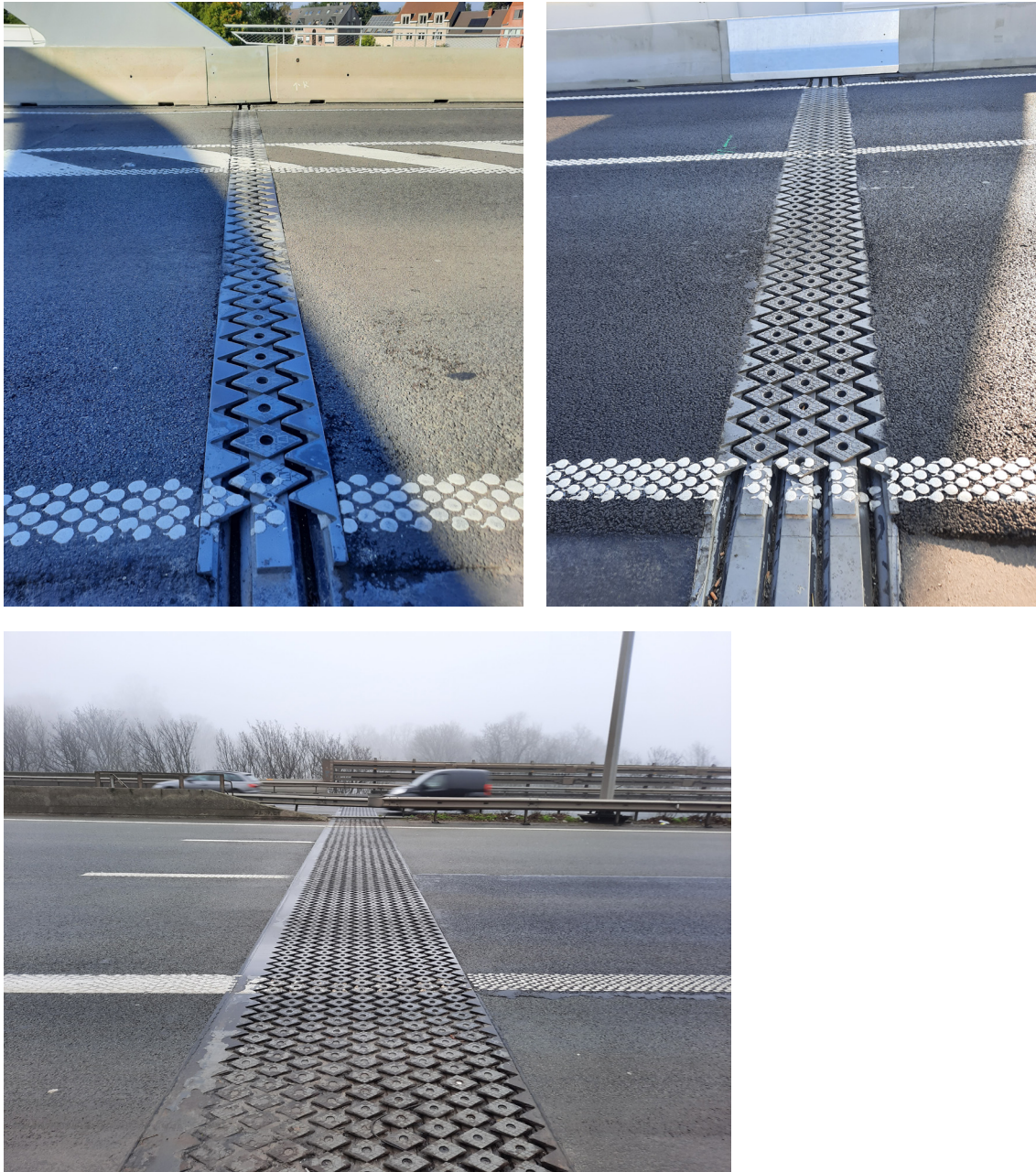
Bij de vingervoeg wordt één van de voegranden voorzien van rechthoekige metalen uitsteeksels, die permanent deels in passende, rechthoekige uitsparingen in de andere voegrand zitten.



Figuur 3.12 – Vingervoeg

3.4 Meervoudige/modulaire voegen met ruitvormige elementen

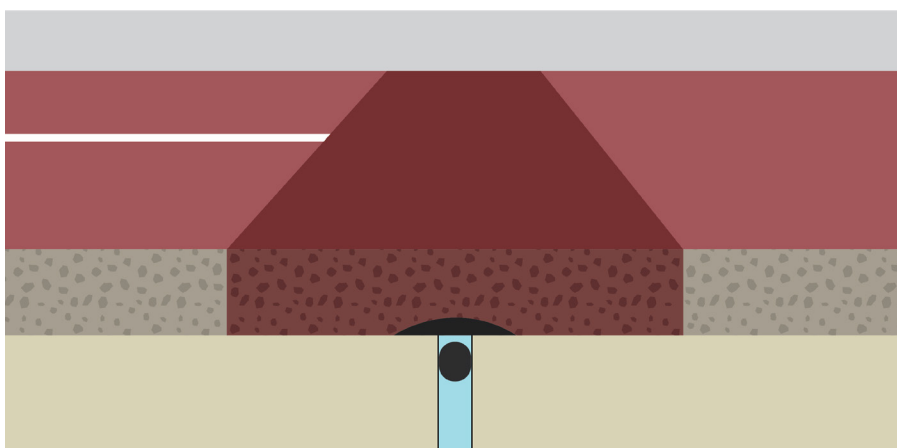
Wanneer één zaagtandvoeg te weinig is voor de vereiste dilatatie, kunnen er net zoals bij de enkelvoudige brugdekvoeg met rechte randen meerdere worden gecombineerd. Hiertoe worden er ook lamellen toegevoegd, die bovenaan worden voorzien van ruitvormige elementen. Belangrijk is om de ruitvormige elementen voldoende stroefheid te geven, zeker wanneer er een groot aantal voegen voorzien zijn.



Figuur 3.13 – Meervoudige voeg met ruitvormige elementen voor lawaaireductie

3.5 Flexibele voegovergang op basis van bitumen (compoundvoeg)

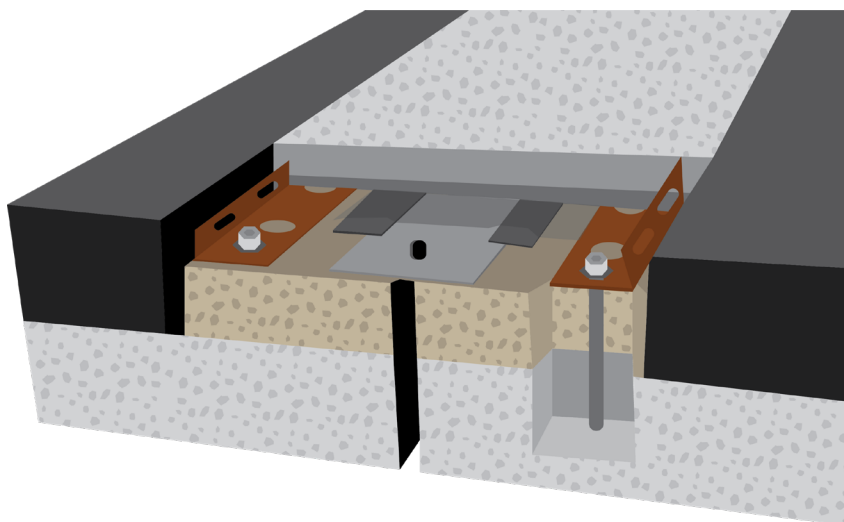
Dit is een flexibel, waterdicht voegstelsel dat opgebouwd is uit 75 % steenslag en 25 % bindmiddel. Het bindmiddel is elastomeercompound (Vlaamse Overheid, Departement, Mobiliteit & Openbare Werken, 2021). Het materiaal wordt rechtstreeks aangewerkt tegen de randen van het omliggende wegdek. Dit type voeg is in staat om beperkte uitzettingen op te vangen (nominale uitzettingscapaciteit tot 20 mm max).



Figuur 3.14 – Compoundvoeg, waarbij de randen tegen het bestaande brugwegdek worden aangewerkt

3.6 PU voeg

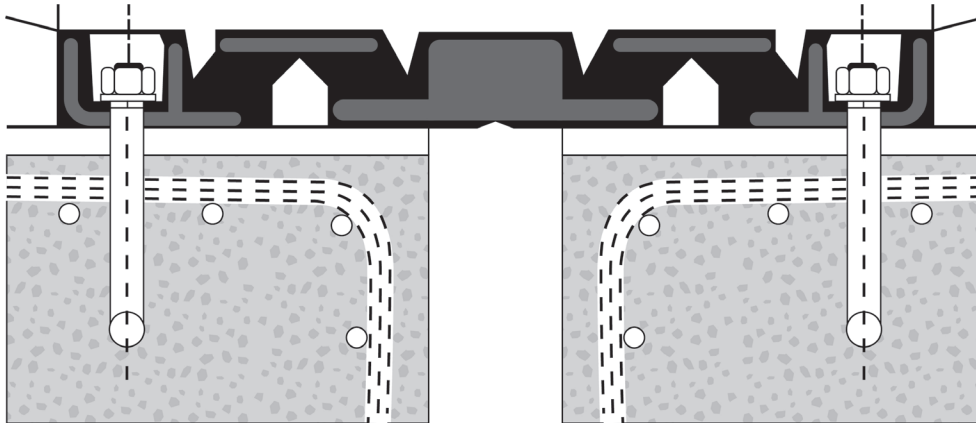
De PU massa wordt hierbij aangewerkt tegen een verstevigingsbalk in polymoermortel. De voeg kan voorzien worden van stabilisatoren om de nominale uitzettingscapaciteit te verhogen. Deze kan 15 tot 135 mm bedragen.



Figuur 3.15 – PU voeg, met de PU massa aangewerkt tegen een verstevigingsbalk in polymoermortel

3.7 Tapijtvoeg

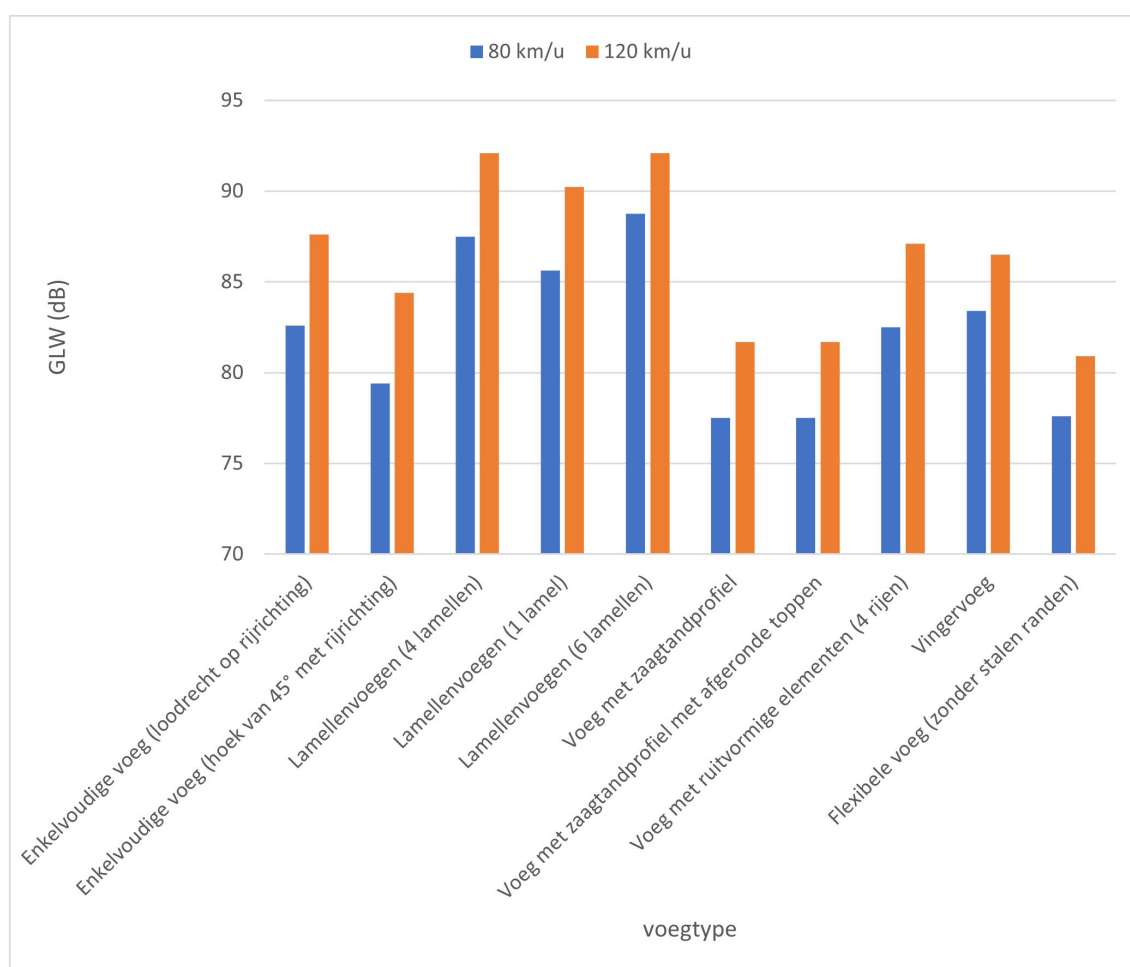
Een tapijtvoeg is ook een flexibele voeg, maar de spleet wordt afgedekt door een geprefabriceerd "tapijt" in een gewapend neopreen. De uitzettingscapaciteit gaat van 85 tot 350 mm.



Figuur 3.16 – Schematische voorstelling van een tapijtvoeg

4. Akoestische prestaties van de brugdekvoegtypes toegepast in België

In de Nederlandse publicatie (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013b) staat voor de meeste in België gebruikte voegtypes een GeluidLabelWaarde (GLW) (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2013a), uitgedrukt in dB. Deze GLW wordt gemeten op een microfoonhoogte van 3 m boven de brug en is het geluidsniveau dat in 10 % van de gevallen wordt overschreden (§ 2.2.1).





Literatuur

- Association Française de Normalisation (AFNOR). (2002). *Essais relatifs aux joints de chaussées des ponts routes: Méthodologie de caractérisation in situ de l'émergence acoustique* (XP P98-095). <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/xp-p98095/essais-relatifs-aux-joints-de-chaussees-des-ponts-routes-methodologie-de-ca/fa122867/19664>
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse Schiene Verkehr (FSV). (2011). *Brücken: Brückenausrüstung: Übergangskonstruktionen: Schalltechnische Beurteilung von Fahrbahnübergängen* (Richtlinien und Vorschriften für das Strassenwesen [RVS] No. 15.05.52). <http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=4866ef93-a6e8-4500-918f-0190c13f25ee>
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreichische Forschungsgesellschaft Strasse Schiene Verkehr (FSV). (2019). *Umweltschutz: Lärm und Luftschadstoffe: Berechnung von Schallemissionen und Lärmschutz* (Richtlinien und Vorschriften für das Strassenwesen [RVS] No. 04.02.11). <http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=9c833b6d-9c84-477f-951a-9518ccb8576f>
- Bureau voor Normalisatie (NBN). (2004-2015). *Eurocode 1: Belastingen op constructies* (NBN EN 1991[-1-1][-4]). <https://www.nbn.be/data/r/platform/frontend/all-standards?lang=nl>
- Deutsches Institut für Normung (DIN). (1996-2012). *Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen* (DIN 45645[-1][-2]). Beuth Verlag. <https://www.beuth.de/de/erweiterte-suche/272754!search?alx.searchType=complex&alx.search.autoSuggest=false&searchAreald=1&qery=%22din+45645%22&facets%5B276612%5D=&hitsPerPage=10>
- European Organisation for Technical Approvals (EOTA). (2013, mei). *Guideline for European technical approval of expansion joints for road bridges. Part 8: Modular expansion joints* (European Technical Approval Guideline [ETAG] No. 032). <https://www.eota.eu/sites/default/files/uploads/ETAGs/etag-032-part-8-may-2013.pdf>
- Finne, P. & Fryd, J. (2017). *Støjer dilatationsfuger? Trafik & Veje*, (8), 62-65. <https://forcetechnology.com/-/media/force-technology-media/pdf-files/unnumbered/auralisation/stojer-dilatationsfuger-trafik--veje-aug-2017.pdf?la=en>
- Fürst, A., Laffranchi, M. & Nissen, T.O. (2018). *Lärmschutz bei Brücken*. Schweizerische Eidgenössenschaft, Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen (ASTRA). https://www.mobilityplatform.ch/fileadmin/mobilityplatform/normenpool/21714_690_Inhalt.pdf
- Gutbier, M. & Schierz, H. (2007). *Aufstellung von Vorgaben zum Mass der Lärminderung von Fahrbahnübergängen* (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik [FSS] No. 980). Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur, Abteilung Strassenbau.
- International Organization for Standardization (ISO). (2023). *Acoustics: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 1: Statistical pass-by method* (ISO 11819-1). <https://www.iso.org/standard/77371.html>

- Kalivoda, M., Jaksh, M. & Huber, F. (2004). *Schallemission zweier Fahrbahnübergangskonstruktionen auf der A9/Murbrücke*. psiA-Consult & Österreichische Autobahnen- und Schnellstrassen-Aktiengesellschaft (ÖSAG).
- Kalivoda, M. & Frauwallner, J. (2005, maart 14-17). Messung und Beurteilung der Geräuschemission von Fahrbahnübergängen auf Autobahnbrücken. In 31. *Deutsche Jahrestagung für Akustik (DAGA '05), München, Deutschland* (pp. 169-170). Deutsche Gesellschaft für Akustik.
https://pub.dega-akustik.de/DAGA_1999-2008/data/articles/002285.pdf
- Kropp, W., Jagenäs, A., Larsson, K. & Genell, A. (2001). *Possibilities to reduce noise from bridge expansion joints* (Report No. S 01-01).
- Mao, D. & Ding, Y. (2021, juni 25-27). Measurement and analysis of bridge expansion joint noise. In *E3S web conference: Vol. 293. 3rd global conference on ecological environment and civil engineering* (GCEECE 2021), Guangzhou, China (Artikel 02053).
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129302053>
- Marcocci, S. (2019, maart 12). *Caractérisation acoustique des joints de dilatation d'ouvrages d'art* [presentatie]. Journée d'information sur la gestion des ouvrages d'art, Wépion. Service Public de Wallonie (SPW), Direction de l'Expertise des Ouvrages
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat. (2013a). *Geluideisen voegovergangen* (Rijkswaterstaat Technisch Document [RTD] No. 1007-3, versie 1.0). https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgv/voegovergang_94_geluideisen_voegovergangen_rtd_1007-3.pdf
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat. (2013b). *Meerkeuzematrix (MKM) voegovergangen (met factsheets)* (Rijkswaterstaat Technisch Document [RTD] No. 1007-1, versie 1.0). https://www.pveno.nl/handboek-voegovergangen/wp-content/uploads/sites/3/2016/06/RTD_1007-1_MKM_Definitieve_versie_1.0.pdf
- Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) & M+P Raadgevende Ingenieurs. (2012). *De wegdekcorrectie voor geluid van wegverkeer 2012* (CROW Publicatie No. 316). Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek (CROW).
- Nordtest. (2005). *Acoustics: Prominence of impulsive sounds and for adjustment of Laeq* (Nordtest Method No. NT ACOU 112). <http://www.nordtest.info/wp/2002/05/01/acoustics-prominence-of-impulsive-sounds-and-for-adjustment-of-laeq-nt-acou-112/>
- Pijpers, R.J.M. (2005). *Meetbare geluidseisen en geluidsarme oplossingen voor enkelvoudige voegovergangen* (Stevin Laboratory No. 6-05-8). Technische Universiteit Delft (TUDelft), Faculteit Techniek en Geowetenschappen, Gebouwen en Civieltechnische Constructies.
<http://resolver.tudelft.nl/uuid:7c546759-d0d9-4d25-a54c-f5cc41874738>
- Projektgruppe "Leiser Strassenverkehr". (2004). *Verbundprojekt "Leiser Strassenverkehr: Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche"* (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Strassenbau No. S 37). Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt).
<https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/88/file/S37.pdf>

- Projektgruppe "Leiser Strassenverkehr 2". (2012). *Verbundprojekt "Leiser Strassenverkehr 2": Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche* (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Strassenbau No. S 74). Bundesanstalt für Strassenwesen (BASt). <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/547/file/S74.pdf>
- Reinhall, G. & Soloway, A.G. (2019). *Modular expansion joint noise mitigation study*. Washington State Department of Transportation (WSDOT). <https://wsdot.wa.gov/publications/fulltext/LegReports//17-19/ExpansionJointNoiseMitigationStudy.pdf>
- Service Public de Wallonie (SPW), Mobilité & Infrastructures. (2021). *CCT qualiroutes: Cahier des charges-type* (Geconsolideerde versie 2021 [en de daaropvolgende aanpassingen]). http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/index_cctquali.html
- Sexton, T. (2011). *Expansion joint noise reduction on the new Tacoma Narrows Bridge* (WSDOT Research Report No. WA-RD 785.1). Washington State Department of Transportation (WSDOT). <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/785.1.pdf>
- Thaler, P. & Bohny, H.M. (2000). *Schallemissionen und -immissionen von Brückenübergangskonstruktionen*. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.
- Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit & Openbare Werken. (2021). *Standaardbestek 260 voor kunstwerken en waterbouw* (Geconsolideerde versie 2.0a van SB260 2.0 en de errata en aanvullingen bij SB 260 versie 2.0). https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1653908657/SB260_2.0a_SB_volledig_srmrwr.pdf
- Wong, C.K., Lee, Y.Y., Wong, J.C.K., Lo, T.Y., Leung, A.Y.T. & Wong, K.W. (2013). The ageing effect of mechanical joints on the tyre/joint noises monitored by a control vehicle method without traffic disturbance. *Advances in mechanical engineering*, Artikel 454351. Eerste online publicatie. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/454351>

Ressorterende en steunende leden kunnen de OCW-publicaties kosteloos bestellen. Deze publicatie is enkel elektronisch beschikbaar.

Meer informatie:

<https://brrc.be/nl/expertise/publicaties>

Deze publicatie bestellen:

publication@brrc.be




Kenmerk: A 107 – Prijs: € 11 (excl. 6 % btw)

Andere publicaties in de reeks “Aanbevelingen”

Handleidingen (kenmerk A) zijn gericht op de praktijk van het ontwerpen, uitvoeren en onderhouden van wegen. Zij bundelen de bevindingen van werkgroepen die OCW met betrekking tot welbepaalde onderwerpen heeft opgericht.

Kenmerk	Titel	Prijs
A 105	Handleiding voor het ontwerp van bitumineuze mengsels	16,00 €
A 104	Handleiding voor de uniaxiale cyclische drukproef voor gietasfalt	10,00 €
A 102	Handleiding voor de keuze van de asfaltverharding bij het ontwerp of onderhoud van wegconstructies	20,00 €
A 98 Rev. 1	Handleiding voor slemlagen	16,00 €
A 97	Handleiding voor verhardingen met tegels, grootformaattegels en geprefabriceerde betonplaten	16,00 €
A 88/14	Handleiding voor de bescherming van wegconstructies tegen de inwerking van water	18,00 €
A 84/12	Handleiding voor niet-chemisch(e) onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen + Bijlage (Beslisboom voor onkruidbeheer(sing) op verhardingen met kleinschalige elementen)	20,00 €
A 83/12	Handleiding voor het ontwerp, de aanbrenging en het onderhoud van bedekkingen op betonnen brugdekken	32,00 €

Andere OCW-reeksen

-  Researchverslag
-  Meetmethode
-  Synthese



Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw
Samen voor duurzame wegen

Instelling erkend bij toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947
Woluwedal 42
1200 Brussel
Tel.: 02 775 82 20
www.ocw.be

Bij de constructie van vaste bruggen en viaducten moet er minstens één dwarse onderbreking worden voorzien om de thermische zettingen van de constructie op te vangen. Een onderbreking van het wegdek – loodrecht of schuin op de rijrichting – is doorgaans een ongunstige factor wat betreft verkeerslawaaï: de banden van voertuigen die ze overrijden produceren vaak een pulsachtig geluid, wat niet zelden leidt tot extra geluidshinder voor de omwonenden.

Er zijn echter diverse types brugdekvoegen, met uiteenlopende akoestische kwaliteiten. In eerste instantie is het belangrijk om het geluid van de brugdekvoeg objectief te kunnen meten om de geluidshinder voor de omgeving te kunnen evalueren. In België deed SPW de voorbije jaren onderzoek naar dit probleem en stelde het een eigen meetmethode voor.

In de OCW Werkgroep Geluid, die de activiteiten van de cel geluid van OCW afstemt op de behoeften van de gewesten, werd de wens geuit om te beschikken over een Belgisch document met een beschrijving van een Belgische methode voor het meten van het geluid van brugdekvoegen: een aanzet tot nationale normalisatie.

Naast die Belgische meetmethode omvat dit document ook een overzicht van de veelal gelijkaardige methodes die bestaan in het buitenland. Deze handleiding lijst ten slotte ook nog de types brugdekvoegen op die in België worden toegepast, samen met een beoordeling van hun akoestische kwaliteiten.

ITRD-trefwoorden

2492 – LAWAAI ; 2998 – VOEG ; 3482 – BRUGDEK ; 6136 – METING ; 8007 – OOSTENRIJK ; 8008 – BELGIË ;
8023 – CHINA ; 8028 – DENEMARKEN ; 8036 – FRANKRIJK ; 8078 – NEDERLAND ; 8109 – ZWEDEN ; 8110 –
ZWITSERLAND ; 8122 – USA ; 8125 – DUITSLAND ; 9102 – METHODE