

## Trillingsonderzoek brug Stadsentree Meppel

Onderzoek naar trillingen als gevolg van  
wegverkeer op Stadsentree in Meppel

Status	definitief
Versie	002
Rapport	M.2023.1582.10.R001
Datum	7 oktober 2024



## Colofon

<b>Opdrachtgever</b>	Gemeente Meppel Postbus 501 Grote Oever 26 7941 AM MEPPEL
<b>Contactpersoon opdrachtgever</b>	F. Dijkstra
<b>Project</b> Betreft	Gemeente Meppel, bedrijfsverplaatsing Hemos Trillingen ten gevolge van verkeer Stadsentree op woning Paradijsweg 4, Meppel
Uw kenmerk	-
<b>Rapport</b> Datum Versie Status	M.2023.1582.10.R001 7 oktober 2024 002 definitief
<b>Uitgevoerd door</b>	DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V. Casuariestraat 5 2511 VB Den Haag Postbus 370 2501 CJ Den Haag
<b>Contactpersoon</b>	ing. T. (Tim) Vergoed 088 346 78 58 TVR@dgmr.nl
<b>Auteur</b>	ing. T. (Tim) Vergoed 088 346 78 58 TVR@dgmr.nl
<b>Projectadviseur</b>	ing. J.D. (Jasper) Pondman 088 346 78 17 JPO@dgmr.nl
<b>2e lezer/secr.</b>	BK PZW-DMI

## Inhoud

<b>1. Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2. Beoordelingskader</b>	<b>5</b>
2.1 Beoordeling schade aan gebouwen (SBR-A)	5
2.2 Beoordeling trillingshinder (SBR-B)	7
<b>3. Werkwijze</b>	<b>9</b>
3.1 Meetmethode	9
3.2 Eigenfrequentie woning	10
3.3 Overdracht	12
<b>4. Resultaten</b>	<b>13</b>
4.1 Meting voelbare trillingen	13
4.2 Trillingen in de woning	16
4.3 Schade	17
<b>5. Maatregelen</b>	<b>18</b>
<b>6. Conclusie</b>	<b>21</b>

## 1. Inleiding

Bij de gemeente Meppel wordt het omgevingsplan gewijzigd waardoor de transformatie van het bedrijventerrein Noordpoort naar een woonwijk mogelijk wordt gemaakt. Eén van de geplande toekomstige ontwikkelingen in Meppel voor deze transformatie is het aanleggen van de Stadsentree over de Drentsche Hoofdvaart. Deze brug maakt deel uit van de nieuwe stadsontsluitingsweg. Alleen de huidige bedrijfswoning blijft gehandhaafd en wordt herbestemd naar een burgerwoning.

De Stadsentree zal gebruikt worden voor het vervoer van relatief veel vrachtverkeer van en naar Industrierrein Oevers met onder andere het mengvoederbedrijf Agrifirm Feed BV. Mogelijk kan het rijden van vrachtverkeer en ander wegverkeer over de nieuw geplande brug, vanwege de dilatatie tussen brugdek en wegdek, leiden tot waarneembare trillingen bij de (nu nog) bedrijfswoning aan de Paradijsweg 5. Deze zorg ontstaat met name doordat de geplande ligging van de beweegbare verkeersbrug in de Stadsentree op redelijk korte afstand van de gevel van de bedrijfswoning is.

In opdracht van gemeente Meppel hebben wij onderzoek gedaan naar de trillingsafstraling van de brug en de verwachte impact op de woning.



figuur 1: de Galgenkampbrug (links) en de onderzochte woning (rechts)

De vragen die in dit onderzoek beantwoord worden, luiden:

- Wat is de trillingssterkte in de bodem op afstand van de bestaande Galgenkampbrug?
- Wat is de trillingsoverdracht in de bodem rond de Paradijsweg?
- Hoe slingeren de trillingen in de woning op?
- Wat is de minimale afstand tussen Stadsentree en woning waarbij trillingshinder aanvaardbaar is, uitgaande van de trillingen zoals die optreden bij de Galgenkampsbrug?
- Welke maatregelen kunnen genomen worden om de acceptabele afstand tot de brug te verminderen?

### Leeswijzer

Het rapport beschrijft eerst het beoordelingskader voor trillingen. Hierna wordt de werkwijze toegelicht. Vervolgens worden de resultaten van de metingen beschreven en worden adviezen gegeven om omgevingshinder te beperken. Het rapport sluit af met een conclusie.

## 2. Beoordelingskader

Het aspect trillingen wordt onder de Omgevingswet beschreven in paragraaf 5.1.4.4. van het Bkl. In paragraaf 5.79 2<sup>e</sup> lid Bkl wordt het toepassingsbereik van deze paragraaf beschreven. In ditzelfde lid worden onder d trillingen als gevolg van verkeer op (doorgaande) (vaar)wegen uitgesloten van beoordeling op basis van het Bkl.

In het kader van de Omgevingswet moeten milieubelastende activiteiten wel beschouwd worden in het kader van een “evenwichtige toedeling van functies aan locaties” (ETFAL). Voor het beoordelen van trillingen op het risico van gebouwschade, hinder voor personen in gebouwen of storing aan apparatuur, geldt in Nederland geen wettelijk kader, maar wordt meestal aangesloten bij de richtlijnen die de Stichting Bouwresearch (SBR) heeft uitgegeven.

De Stichting Bouwresearch heeft drie richtlijnen opgesteld voor het beoordelen van trillingen:

- **SBR-A:** Schade aan gebouwen
- **SBR-B:** Hinder voor personen in gebouwen
- **SBR-C:** Trillingsgevoelige apparatuur

De SBR-C richtlijn beschrijft richtlijnen voor trillingsgevoelige apparatuur zoals elektronenmicroscopen, bestralingsapparatuur en andere zeer gevoelige apparaten. Deze richtlijn maakt geen deel uit van dit onderzoek.

### 2.1 Beoordeling schade aan gebouwen (SBR-A)

De SBR-A richtlijn (Stichting Bouwresearch; 2017) maakt gebruik van richtwaarden die erop gericht zijn om schade aan gebouwen te voorkomen. Overschrijding van deze richtwaarden moet dan ook worden vermeden. Als de richtwaarden worden overschreden, is dit aanleiding voor overleg tussen de betrokken partijen om deze overschrijding op te lossen.

Onder schade aan een bouwwerk wordt een verandering van de eigenschappen of van de positie van (een onderdeel van) een bouwwerk verstaan, met één of meer van de volgende gevolgen:

- een verlies van functie, zoals het bezwijken van dragende onderdelen;
- een vermindering van de integriteit van het onderdeel of van het bouwwerk als geheel over zijn dragende functie, waarbij sprake is van een significante vermindering van de veiligheid op de korte of langere termijn (vermindering van de verwachte levensduur);
- een vermindering van de economische waarde of de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in afwerkklagen of betegeling.

Omdat SBR-A kijkt naar de schade aan gebouwen zijn er twee categorieën van bouwwerken.

#### *Categorie 1*

- In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, wanneer deze bestaan uit gewapend beton of hout.
- Onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), wanneer deze bestaan uit gewapend beton of hout.
- Draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, die bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

*Categorie 2 - geen monument*

- In goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, wanneer deze bestaan uit metselwerk.
- In goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

*Categorie 2 - monument*

Sinds de vernieuwde versie van de SBR-A richtlijn (2017) bestaat categorie 3 niet meer, maar wordt deze als onderdeel van categorie 2 gezien. De grenswaarden zijn overigens niet veranderd. Onder deze groep vallen:

- onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde;
- in slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk, of;
- in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen.

Het bouwwerk verkeert in een slechte bouwkundige staat als:

- De sterkte van de draagconstructie in belangrijke mate is verminderd door al aanwezige schade.
- De onderlinge samenhang van onderdelen of de sterkte van verbindingen tussen onderdelen zodanig is dat deze door trillingen kan bezwijken of in belangrijke mate kan verzwakken.

Naast het type gebouw wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende typen trillingsbronnen.

- Bronnen die incidenteel kortdurende trillingen veroorzaken door een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt, is zo gering dat vermoeiing van constructiematerialen niet kan optreden. Bijvoorbeeld: explosies, botsingen.
- Bronnen die herhaalde kortdurende trillingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden bronnen verstaan die zo vaak voorkomen dat vermoeiingseffecten in de bouwmaterialen kunnen optreden. Bijvoorbeeld: heiwerkzaamheden, weg- en railverkeer.
- Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden alle bronnen verstaan die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld of bronnen waarbij resonanties en/of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een bouwwerk kunnen optreden. Bijvoorbeeld: machines met roterende onderdelen.

Of er schade aan het gebouw mogelijk is, is afhankelijk van  $V_d$  (rekenkundige trillingsnelheid) en  $V_r$  (rekenkundige grenswaarde). De schade afkomstig van een trilling aan het gebouw is zeer onwaarschijnlijk als  $V_d$  kleiner is dan  $V_r$ . De toetsing is gebaseerd op de dominante frequentie in het gemeten signaal. Ook bij een overschrijding van de SBR-A richtlijn blijft de kans op schade klein.

*Karakteristieke grenswaarde en rekenwaarde van de grenswaarde*

De karakteristieke grenswaarde is afhankelijk van het punt waarop getoetst wordt. Voor de dragende constructie van gebouwen wordt getoetst op de onderste verdieping. Voor de karakteristieke grenswaarde geldt dat deze frequentie-afhankelijk is. Voor zeer laagfrequente trillingen is deze praktisch 5 mm/s voor bouwwerken uit categorie 2. De grenswaarde neemt toe met de frequentie. Voor frequenties rond 90 Hz bedraagt de karakteristieke grenswaarde voor bouwwerken uit categorie 2 19 mm/s.

Daarnaast wordt getoetst aan hoger gelegen delen van het gebouw die geen deel uitmaken van de draagconstructie. Dit kan gezien worden als muren, kasten etc. Deze grenswaarde is niet frequentie-afhankelijk en bedraagt 15 mm/s voor bouwwerken uit categorie 2.

De rekenwaarde wordt vervolgens bepaald door de karakteristieke grenswaarde te delen door de partiële veiligheidsfactor voor het type trillingen (typisch 1.5 voor trams) en een factor voor de monumentale staat van het gebouw (1.7 voor monumenten; 1 voor overig). Hiermee kunnen de volgende karakteristieke grenswaarden vastgesteld worden:

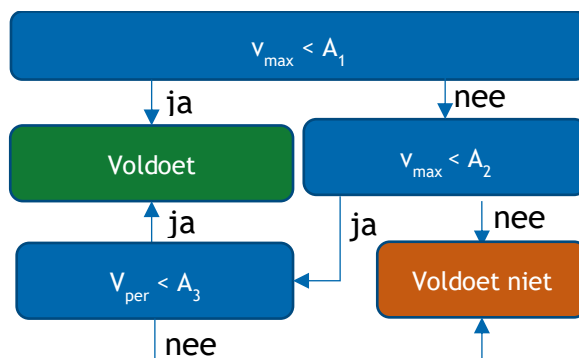
**tabel 1: rekenwaarde voor de grenswaarde bij verschillende frequenties (categorie 2)**

	15 Hz	90 Hz
Draagconstructie	4.17	12.67
Niet-dragende Onderdelen	10.00	10.00

## 2.2 Beoordeling trillingshinder (SBR-B)

Trillingshinder wordt beoordeeld aan de hand van de maximaal optredende trillingen ( $V_{max}$ ) en het gemiddelde aan trillingen ( $V_{per}$ ), vergelijkbaar met het maximale geluidniveau en het langtijdgemiddeld geluidniveau bij de beoordeling van geluid. Voor een aantal type trillingen en verschillende gebruiksfuncties (wonen, onderwijs, bijeenkomsten e.d.) staan in de richtlijn grens- en streefwaarden voor maximaal optredende trillingen en gemiddelde trillingen.

Omdat een brug aangelegd wordt waar eerst geen brug was, is sprake van een nieuwe situatie. Voor herhaald voorkomende trillingen, zoals de trillingen als gevolg van bruggen in nieuwe situaties, wordt getoetst volgens figuur 2 met de streefwaarden uit tabel 2.



figuur 2: procedure beoordeling van  $V_{max}$  en  $V_{per}$

**tabel 2: streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen voor nieuwe situaties.**

**Trillingen in mm/s en in dB referentie 1 nm/s.**

Gebouwfunctie	Dag en avond (07.00 uur - 23.00 uur)			Nacht (23.00 uur -07.00 uur)		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Wonen	0.1 / 100	0.4 / 112	0.05 / 94	0.1 / 100	0.2 / 106	0.05 / 94

Waarbij de streefwaarden zijn aangegeven door:

- A<sub>1</sub> onderste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$  [mm/s]/[dB]
- A<sub>2</sub> bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$  [mm/s]/[dB]
- A<sub>3</sub> streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{per}$  [mm/s]/[dB]

Overschrijding van de streefwaarden leidt tot een reële kans op hinder. Hoewel de waarden internationaal gezien redelijk streng zijn, zijn er nog steeds mensen die de trillingen onder de streefwaarden als hinderlijk kunnen ervaren.

**tabel 3: beschrijving van de hinderkwalificatie bij verschillende trillingsniveaus**

$V_{max}$ [mm/s]	$L_{Vmax}$ [dB]	Algemene hinderkwalificatie
< 0.1	< 100	Geen hinder
0.1 - 0.2	100 - 106	Weinig hinder (bestaande situaties)
0.2 - 0.8	106 - 118	Matige hinder
0.8 - 3.2	118 - 130	Hinder
> 3.2	> 130	Ernstige hinder



### 3. Werkwijze

Omdat het ontwerp van de brug nog niet vaststaat, is een beweegbare brug gezocht met een gelijkaardig verkeersaanbod en een gelijkaardige ondergrond. De keuze is gevallen op de Galgenkampbrug in Meppel die ongeveer 130 meter ten zuiden van de toekomstige brug ligt. Het vrachtverkeer dat in de toekomst over de Stadsentree komt te rijden, gaat momenteel ook via deze brug.

De Galgenkampsbrug is een klapbrug die begin 20<sup>e</sup> eeuw geplaatst is als vervanging voor een draaibrug. Aangezien de nieuwe Stadsentree ten tijde van het onderzoek nog in de ontwerpfase zat, is ervoor gekozen om bij deze brug te meten. Het is mogelijk dat de brug qua detaillering afwijkt, zeker als de nieuwe brug gebouwd wordt met vooraf al trillingreducerende maatregelen in gedachte. Wel brengt een meting bij deze brug het trillingskarakteristiek door de bodem in kaart en is het voertuigaanbod rijdend over deze brug hetzelfde als dat over de Stadsentree komt te rijden.

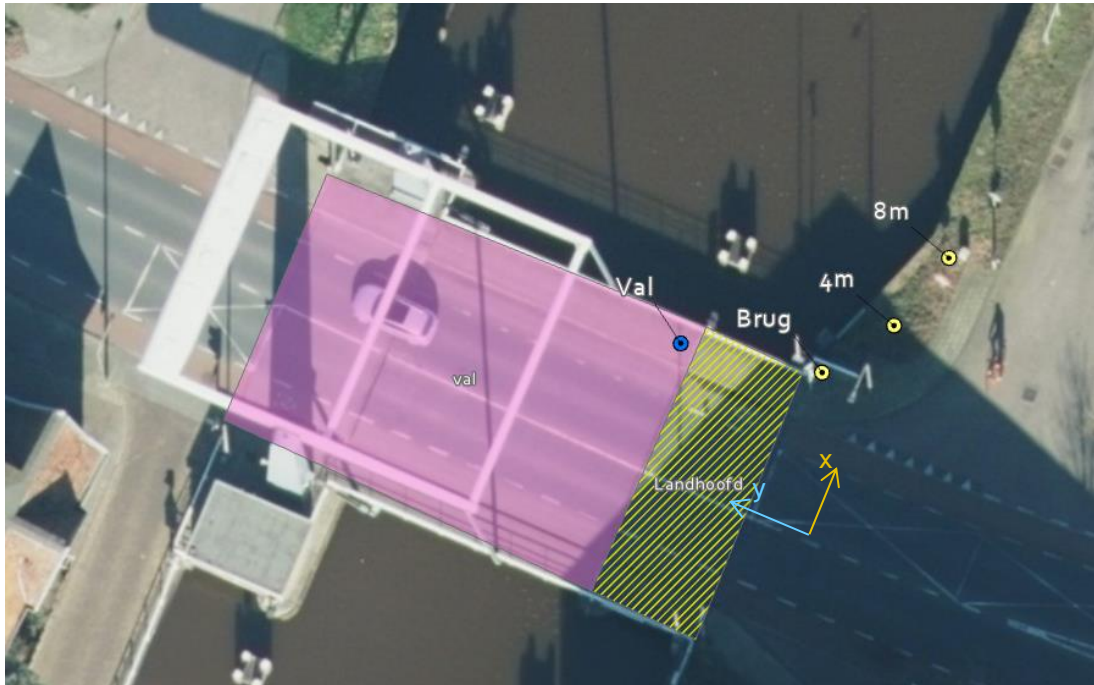
De trillingen van de brug zijn gemeten waarna de overdracht in de grond afgeleid is met de methode van Barkan. Vervolgens is de trillingsoverdracht van de grond naar de fundatie bepaald en is bepaald wat de eigenfrequentie van de verdiepingvloer is voor de bestaande bedrijfswooning.

Hiermee kunnen we voor verschillende afstanden van de nieuwe brug tot de woning voorspellen wat de trillingssterkte binnen de woningen zal zijn. Hiervoor is ervan uitgegaan dat bij de nieuwe brug dezelfde trilling karakteristiek komt te ontstaan als bij de gemeten brug en geen maatregelen getroffen worden. Omdat het ontwerp van de Stadsentree nog niet af is, kan met (eenvoudige) maatregelen in het ontwerp de gegenereerde trillingen sterk gereduceerd worden, zie hoofdstuk Maatregelen. Als bij de nieuwe brug lagere trillingssterkten gaan ontstaan, is het vanzelfsprekend dat de afstand van de brug tot de woning waarbij geen trillingshinder voorspeld wordt zal afnemen.

#### 3.1 Meetmethode

De metingen zijn uitgevoerd op 25 juni 2024 tussen 9.00 uur en 13.30 uur bij een temperatuur tussen 20 en 26 graden. Tijdens de meting zijn duizenden personenauto's gemeten en zijn ruim 150 (middel)zware vrachtwagens gemeten. Van elke passage is het tijdstip, het type (zwaar) voertuig en de rijrichting opgeschreven. Voor de personenauto's is geen logboek bijgehouden. In het onderstaande figuur is de meetopstelling weergegeven.

De metingen zijn uitgevoerd met drie trillingsopnemers van het type Semex-EngCon Menhir. Één opnemer is op de betonfundatie van de brug geplaatst. De andere twee opnemers zijn in de grond geplaatst op een afstand van 4 en 8 meter van de meter op de fundatie. Deze meters loggen met een frequentie van 1000 Hz de trillingen in drie richtingen. In dit onderzoek is de x-richting loodrecht op de rijrichting, de y-richting evenwijdig aan de rijrichting en de z-richting de zwaartekrachtrichting.



figuur 3: meetposities rond de Galgenkampbrug

Daarnaast is met een nTI-XL geluidmeter en een HS-1005 trillingsopnemer de verticale verplaatsing van de val gemeten. Deze meter meet uitsluitend trillingen in de verticale richting.

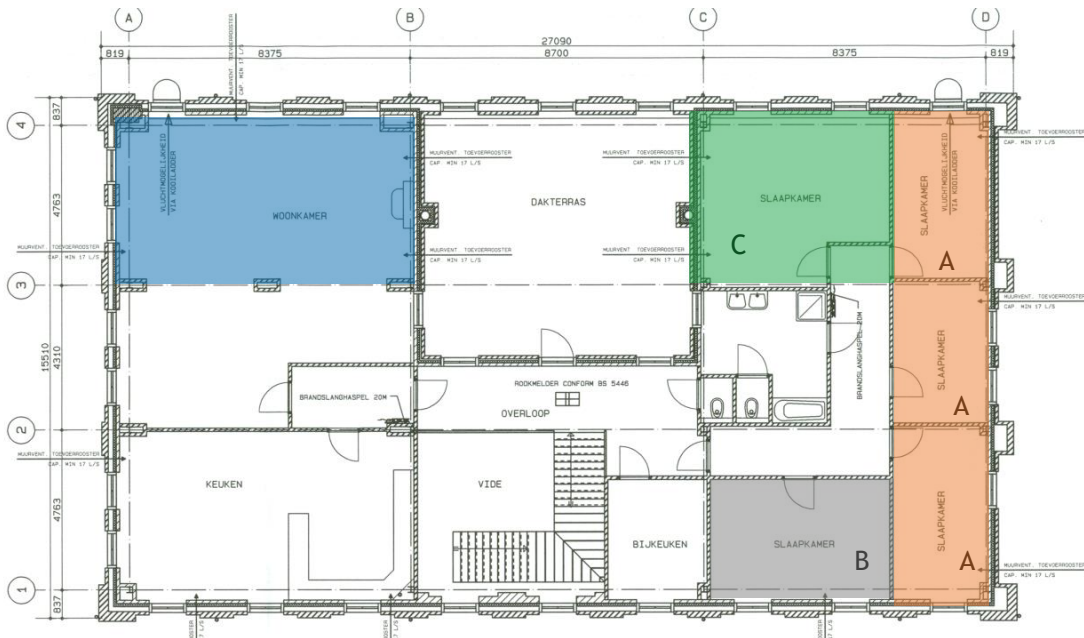
De trillingen zijn gemeten in mm/s. In sommige gevallen is de presentatie eenvoudiger te begrijpen in decibellen. Hiervoor wordt de volgende berekening toegepast:  $L_v = 20 \cdot \lg \frac{v[\text{mm}]}{1 \cdot 10^{-6} [\text{mm}]}$ . Hierin wordt  $L_v$  het snelheidsniveau genoemd, deze heeft de eenheid dB re 1 nm/s.

### 3.2 Eigenfrequentie woning

Op basis van de constructietekeningen en de constructieberekeningen is de eigenfrequentie van de verdiepingsvloer benaderd. Uit de constructietekeningen is te zien dat de eerste verdieping van de woning verschillende vloeroverspanningen kent. De materialisering van de vloer is niet opgegeven, maar kan afgeleid worden uit de constructieberekeningen. Deze heeft in de constructieberekening een gewicht van  $F_w = 24 \text{ kN/m}^2$ . Dit komt overeen met een dichtheid van  $2400 \text{ kg/m}^2$ , waardoor aangenomen kan worden dat de verdiepingsvloer uit beton bestaat.

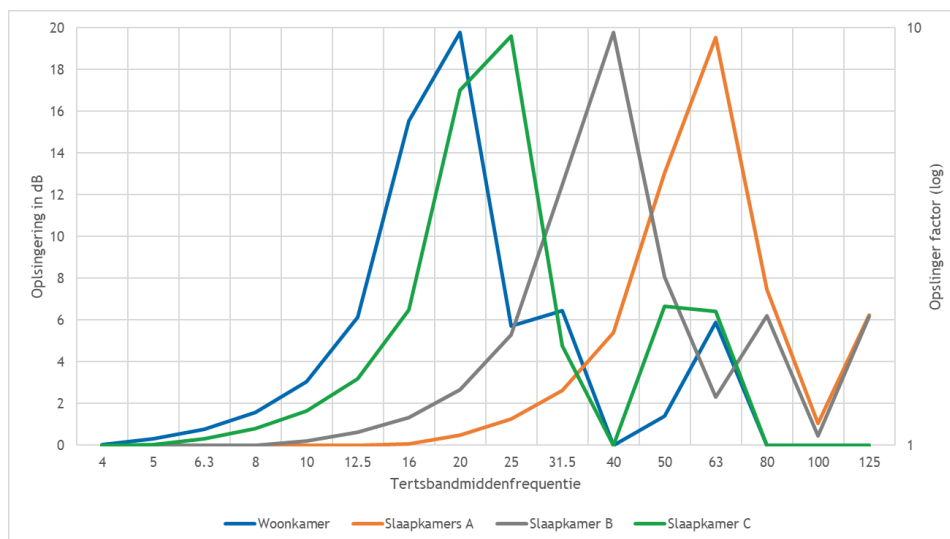
Omdat de vloeroverspanningen verschillen kunnen verschillende vloeren op een andere eigenfrequentie reageren. Voor de belangrijkste verblijfsruimten (woonkamer en slaapkamers) zijn de vloeroverspanningen bepaald waarmee de eigenfrequentie en opslingering van de vloer berekend kan worden.

Trillingsonderzoek brug Stadsentree Meppel



figuur 4: verdiepingvloeren met gearceerd de verblijfsruimten die nader beschouwd zijn

Met behulp van empirische formules is de opslinging in dB berekend. Hieruit volgt dat slaapkamer B een opslinging van 12 dB bij 31.5 Hz kent. Dit komt overeen met een opslingerfactor van 4. Worstcase is de opslinging 20 dB of een factor 10.



figuur 5: berekende opslinging van de trillingen in de vloeren van verschillende verblijfsruimten

### 3.3 Overdracht

De trillingsoverdracht in de bodem kan berekend worden met de formule van Barkan:

$$V_R = V_0 \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^n \cdot e^{-\alpha(R-R_0)}; H_{bodem} = \frac{V_R}{V_0}$$

Hierin is  $V_R$  de trillingssterkte op afstand  $R$  en  $V_0$  de trillingssterkte op afstand  $R_0$  (referentieafstand). De waarde van  $n$  is voor puntbronnen met een hoge frequentie 0.5 en  $\alpha$  is de demping in de bodem. Voor zandbodems is deze meestal 0.03-0.04 m<sup>-1</sup>.

De trillingen in de bodem worden doorgegeven aan de paalfundatie van de woning. Als de horizontale richting dominant is, kan de volgende benaderingsformule (voor  $f$  tussen 10 en 50 Hz) gebruikt worden:

$$H_{xf,x} = 1.15 - 0.015f$$

De trillingsoverdracht  $H$  kan beschreven worden met:

$$H_{totaal} = H_{bodem} \cdot H_{xf,x} \cdot H_{vloer}$$

Anders gesteld kan de trillingssterkte op de vloer geschat worden met:

$$V_{eff,max} = V_0 \cdot H_{bodem} \cdot H_{xf,x} \cdot H_{vloer}$$

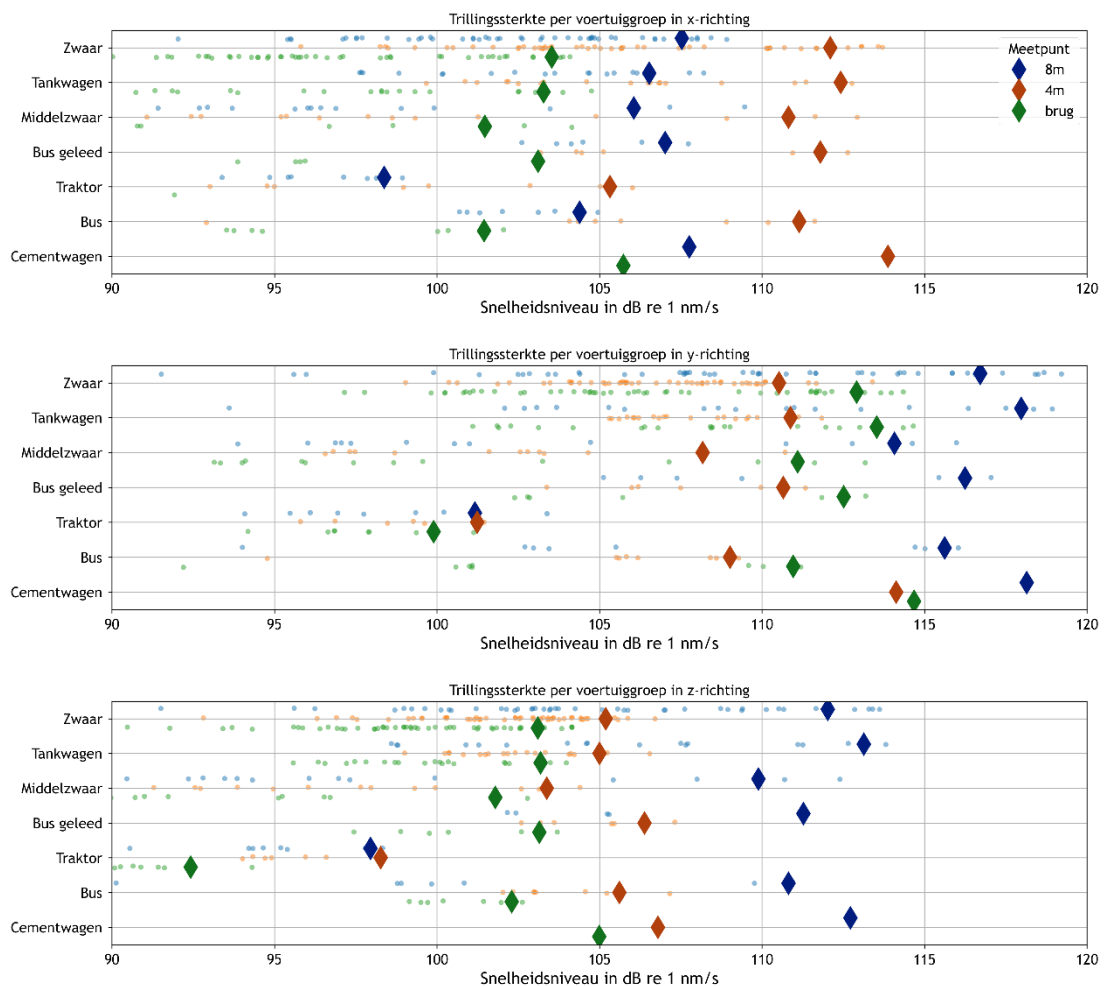
$$V_{eff,max} = V_0 \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^n \cdot e^{-\alpha(R-R_0)} \cdot H_{xf,x} \cdot H_{vloer}$$

## 4. Resultaten

### 4.1 Meting voelbare trillingen

In de onderstaande drie grafieken staan de gemeten trillingsnelheden per meetpositie voor verschillende voertuigcategorieën aangegeven. De kleine puntjes geven de individuele metingen weer en de ruiten de 95%-percentielwaarde van deze voertuigtypen.

Te zien is dat de trillingen in x-richting (loodrecht op de brug) hoger zijn op 4 meter afstand van de pijlers van de brug dan op 8 meter afstand van de pijlers van de brug. In de y-richting (rijrichting) zijn de trillingen op 8 meter afstand veruit dominant ten opzichte van op 4 meter afstand. De trillingen in verticale richting (z-richting) zijn gemiddeld 5 dB lager dan in de y-richting en dominant op 8 meter afstand.



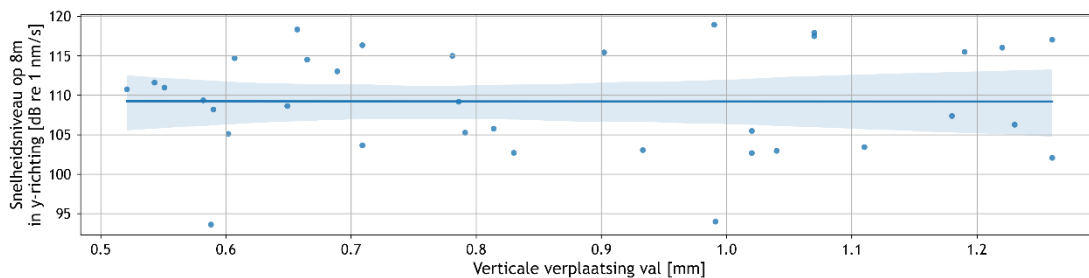
figuur 6: trillingsnelheden van voertuigpassages op de brug op verschillende meetposities in verschillende richtingen

De trillingen in de x-richting nemen van 4 tot 8 meter af met 4 dB. Dit komt overeen met een bolvormige uitstraling ( $n = 0.5$ ) en een bodemverzwakking ( $\alpha$ ) van  $0.03 \text{ m}^{-1}$ . De trillingen op 8 meter afstand zijn in de y- en z-richting hoger dan op 4 meter afstand. In de eerste plaats lijkt dit verrassend. Het vermoeden is dat het meetpunt op 4 meter afstand onder de aanbrug gelegen is. In de rijrichting is de constructie van de brug veel stijver dan in de haakse richting. Het punt op 8 meter ligt volledig vrij van de brug, maar wordt mogelijk ook beïnvloed door de kademuur. Te zien is dat met name tankwagens, cementwagens en gelede bussen voor veel trillingen zorgen.

In de figuur op de volgende pagina zijn voor verschillende voertuigtypen de trillingspectra (in mm/s) geplot. Voor elke combinatie van voertuigtype en trillingsrichting is het spectrum getekend. Hierin is telkens het spectrum op verschillende afstanden beschreven.

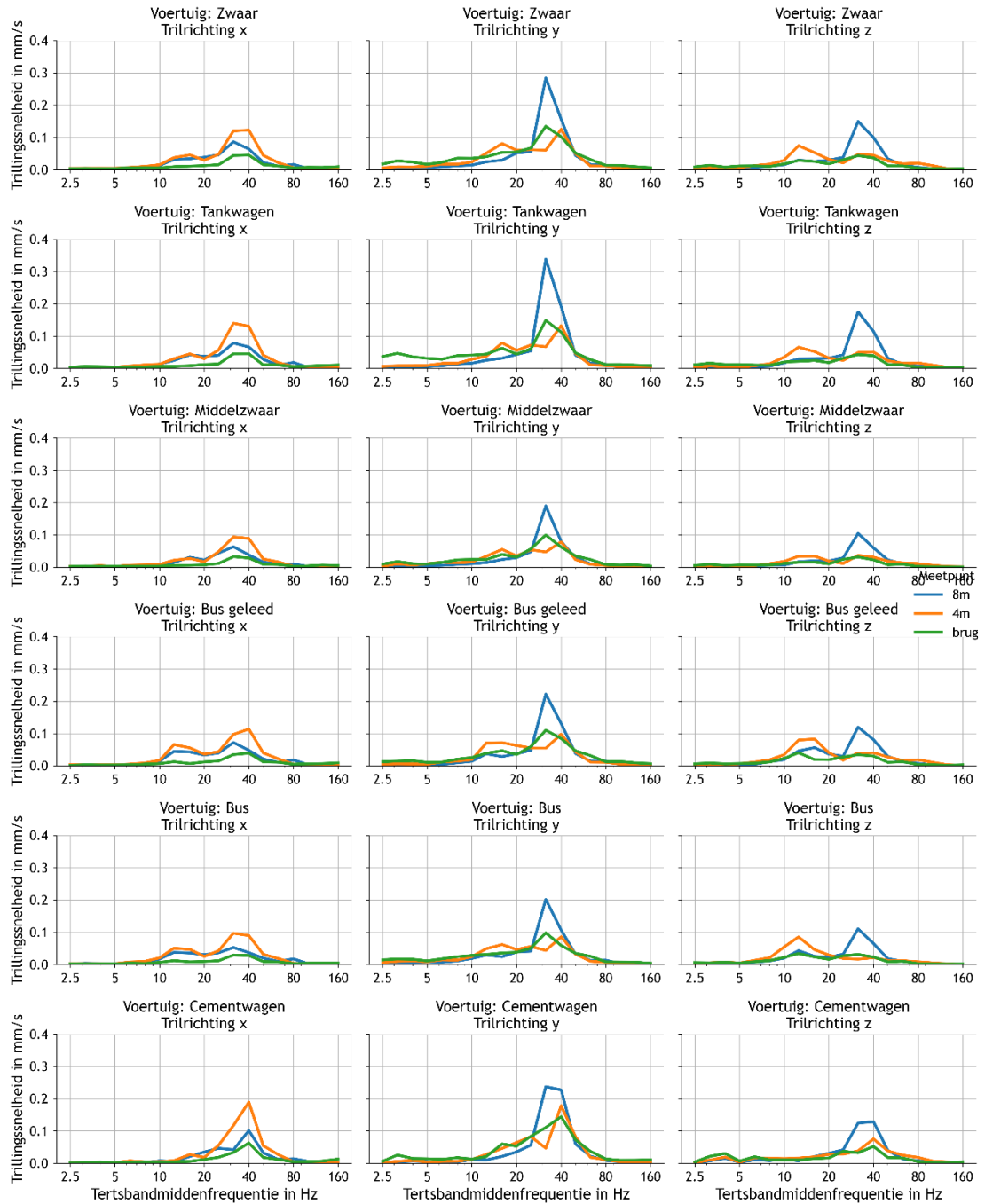
Voor alle voertuigtypen is te zien dat op 8 meter afstand de 31.5 Hz tertsband dominant is. Daarbij laten de tankwagens de hoogste trillingsbijdrage zien. Bij alle voertuigen is een lagere piek rond 16 Hz te zien. Deze trillingsfrequentie wordt veroorzaakt door de vering van de voertuigen. Bij de tankwagens en gelede bussen is te zien dat het spectrum tussen 10 en 20 Hz een breed lokaal maximum van ongeveer 0.1 mm/s kent.

De snelheidsniveaus zijn ook uitgezet tegen de verticale verplaatsing van de val, maar hier wordt geen verband tussen de verplaatsing en het snelheidsniveau gevonden.



figuur 7: verband tussen de verplaatsing van de val en de trillingen in de bodem

Trillingsonderzoek brug Stadsentree Meppel



figuur 8: trillingspectra in de grond als gevolg van verschillende voertuigen

#### 4.2 Trillingen in de woning

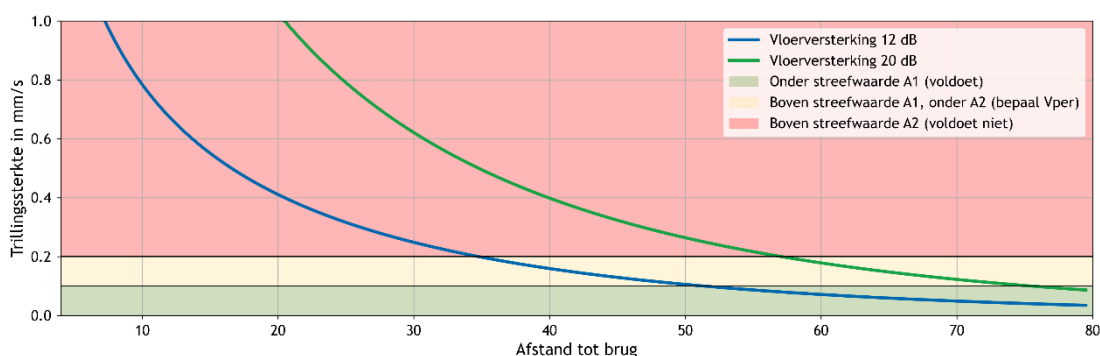
De trillingen op 8 meter afstand van de brug bedragen ongeveer 0.35 mm/s bij een frequentie van 33 Hz. Deze frequentie komt zeer in de buurt van de opslingerfrequentie van de vloer.

De verwachte opslingering van de vloer bedraagt een factor 4, maar worstcase kan ook een opslingering met een factor 10 aangehouden worden. Omdat het gebouw op palen gefundeerd staat en de trillingen in horizontale richting dominant zijn, worden de trillingen gedempt met een factor  $H_{xf,x} = 1.15 - 0.015f \approx 0.66$ . De totale versterkingsfactor wordt daarmee  $H_{gebouw} = H_{xf,x} \cdot H_{vloer} \approx 0.66 \cdot [4 \dots 10] \approx [2.6 \dots 6.6]$ .

Met de formule van Barkan kunnen de trillingen ingeschat worden op een afstand R.

Door de afstand R te variëren, kan een inschatting gemaakt worden van de trillingen  $V_r$  op het vloerveld. Als deze lager zijn dan de onderste streefwaarde  $A_1$  wordt voldaan, als deze boven streefwaarde  $A_2$  liggen, wordt niet voldaan. Als de trillingen tussen streefwaarden  $A_1$  en  $A_2$  liggen, moet de gemiddelde trillingsnelheid  $V_{per}$  berekend worden.

In de volgende figuur is de verwachte trillingssterkte op het vloerveld als functie van afstand tot de woning berekend. Bij de verwachte opslingering bedraagt de minimale afstand woning-brug 50 meter. Uitgaande van een worst-case aanname kan het beste een afstand van 75 meter aangehouden worden.



figuur 9: bepaling van de verwachte trillingssterkte op de vloer bij verschillende afstanden tot de brug, uitgegaan van de meting bij de Galgenkampsbrug

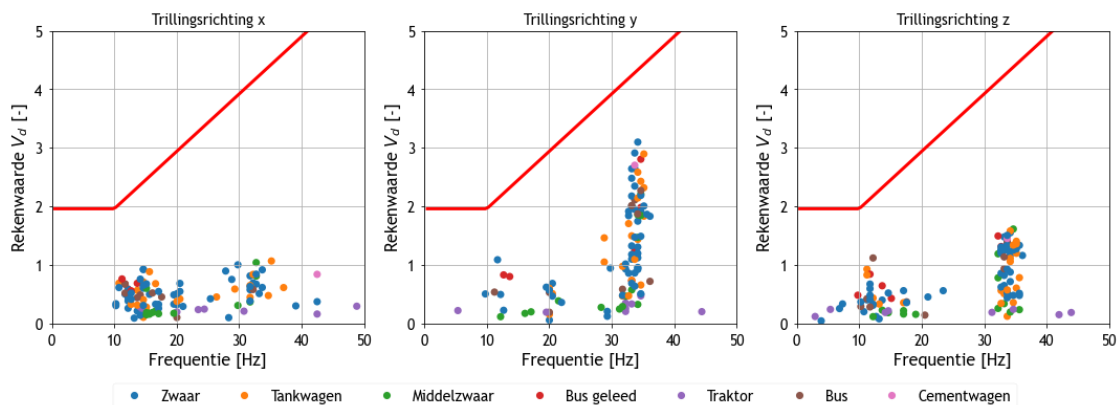
Dit zijn de resultaten voor de metingen bij de bestaande Galgenkampsbrug. Bij deze figuur is met name het verloop van de daling van de trillingssterkten bij verschillende afstand van belang. Te zien is dat, voor een vloerversterking van 20 dB, op een afstand van 20 meter een trillingssterkte van boven de 1 mm/s berekend is. Op ongeveer 75 meter afstand is dit nog gelijk aan 0.1 mm/s, waarmee voldaan wordt aan de streefwaarden uit de SBR-B. Bij een lagere bronsterkte zal de hele curve naar links verplaatsen, waardoor op een kortere afstand al voldaan kan worden aan de streefwaarden uit de SBR-B richtlijn.



### 4.3 Schade

Voor het aspect schade is de gemeten waarde van  $V_{top}$  voor het meetpunt op 8 meter vermenigvuldigd met een partiële veiligheidsfactor (1.5) voor een indicatieve meting. Dit resulteert in een rekenwaarde  $V_d$ . Deze waarde is uitgezet tegen de volgens de SBR-A dominante frequentie ( $f_{dom}$ ). Deze dominante frequentie is verkregen door het spectrum te schalen op basis van karakteristieke grenswaarde en vervolgens het globale maximum te nemen. Hierdoor is te zien dat ondanks dat de trillingen fysisch in 33 Hz dominant zijn, deze in de x-richting dominant zijn bij 10-20 Hz. Tot slot is de karakteristieke grenswaarde  $V_{kar}$  gedeeld door de partiële veiligheidsfactor voor een monument (1.7) en voor herhaald kortdurende trillingen (1.5). Hieruit volgt de rekenwaarde van de grenswaarde  $V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_s \cdot \gamma_t}$ .

In de onderstaande figuur is de beoordeling van de trillingen op basis van de SBR-A richtlijn weergegeven. Geen enkele passage komt boven de rekenwaarde van de grenswaarde (rode lijn) uit. Wel is te zien dat de rekenwaarde van de trillingen in de y-richting bij 33 Hz 3 is waar 4.2 toegestaan is. In praktijk zijn de trillingen op de fundatie 33% lager (2 op de fundatie). Hiermee wordt ruim voldaan aan de grenswaarden uit de SBR-A richtlijn.



figuur 10: beoordeling trillingen aan de SBR-A richtlijn schade aan gebouwen, de rode lijn is de grenswaarde inclusief veiligheidsfactor

## 5. Maatregelen

### *Afstand tot de woning(en)*

Zoals te zien in figuur 9 loopt de grafiek in het rood gearceerde gedeelte zeer steil. Op korte afstand kan forse hinder ontstaan. Hierdoor zijn op korte afstanden eventuele bronmaatregelen meer nodig en kostbaarder. Echter is vernomen dat de afstand van de brug tot de woning vaststaat en een grotere afstand creëren geen optie is. Daarom moet gekeken worden naar bronmaatregelen.



figuur 11: geadviseerde afstand van de woning tot de nieuwe brug

### *Dilataties en vlakke ligging*

De primaire bron van de trillingen is het hoogteverschil tussen de aanbrug, het landhoofd en de val van de brug. Bij de Galgenkampsbrug is het precieze hoogteverschil tussen de aanbrug van en de val niet bekend en was het niet mogelijk om deze goed te meten, maar is het wel van belang dat bij de nieuwe brug rekening gehouden wordt met dit hoogteverschil. Dit hoogteverschil kleiner maken dan bij de oude brug zal een grote invloed hebben op het reduceren van de ontstane trillingen.

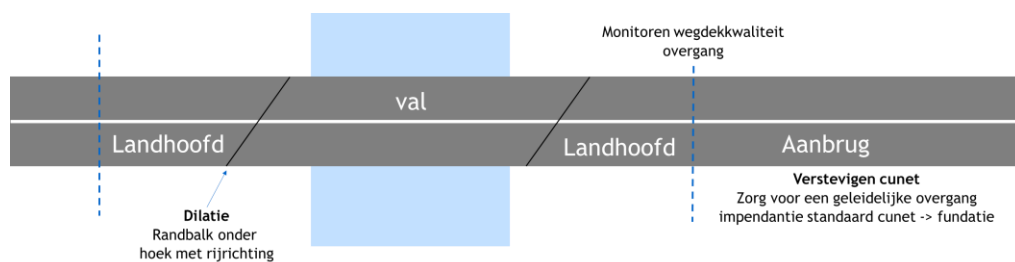
Daarnaast is ook het asfalt op de aanbrug niet vlak. Over het algemeen zal een stalen randbalk met sleuven die ten opzichte van een hoek in de rijrichting aangebracht<sup>1</sup> wordt, voldoende zijn.

<sup>1</sup> <https://www.pveno.nl/handboek-voegovergangen/handboek/3-het-keuzeproces/5-5-andere-objecttypen/5-6-beweegbare-bruggen/>



figuur 12: asfalt en de dilatatie op de huidige brug

Het aanbrengen van een vlakke overgang met een randbalk onder een hoek met de rijrichting is ook gunstig voor het aspect geluid. Ook moeten verzakkingen van het wegdek voorkomen worden. Hiervoor moet het cunet bij het aanleggen goed verdicht worden. Als toch verzakkingen optreden moeten deze opgevuld worden om een vlak wegdekprofiel te houden en geleidelijke overgangen te creëren. In het onderstaande figuur staat schematisch weergegeven welke ontwerpmaatregelen kunnen helpen.



figuur 13: schematisch overzicht (beheers)maatregelen om trillingshinder te verminderen

### Vering en sluiting brug

Hoewel de meetdata geen aanleiding geven om aan te nemen dat de afvering en sluiting van de brug tot trillingshinder leiden, is het wel te adviseren om voldoende aandacht te schenken aan een juiste afvering van de val van de brug. Ook is het van belang dat de oplegrubbers na 10-15 jaar de vervangen worden. Degradatie van het rubber door veroudering heeft invloed op het dempingskarakteristiek van het rubber en daardoor de trillingreductie van het rubber.

Daarnaast adviseren wij het brugdek te vergrendelen wanneer deze gesloten is. Hiermee wordt voorkomen dat het brugdek tot trillings- en geluidoverlast leidt. Ook moeten ontwerpeisen gesteld worden aan de voegovergangen om de transitie van brug naar regulier wegdek voor verkeer zo geleidelijk mogelijk te maken.

## 6. Conclusie

In opdracht van gemeente Meppel hebben wij onderzoek gedaan naar de mogelijke trillingshinder die de bewoners van Paradijsweg 5 kunnen ondervinden als gevolg van de nieuwe brug bij de Stadsentree Meppel.

Om een indruk te krijgen van de trillingsoverdracht in de ondergrond en de woning zijn trillingsmetingen verricht bij de bestaande Galgenkampsbrug. Deze meting is ook van belang om maatregelen te kunnen adviseren voor de nieuwe Stadsentree om bij voorhand al de trilling generatie te kunnen beperken. Uit de metingen bij deze bestaande brug volgt dat tankwagens, zware vrachtwagens en (gelede) bussen trillingen tot 0.35 mm/s op 8 meter afstand kunnen veroorzaken. De trillingen die ontstaan, zijn dominant bij 33 Hz. Deze frequentie komt overeen met de verwachte eigenfrequentie van de verdiepingsvloeren van de bedrijfswoning. Bij het ontwerpen van de nieuwe weg en brug moet daarom het aspect trillingshinder in acht genomen worden.

Op basis van de metingen bij de Galgenkampsbrug en een eenvoudig overdrachtsmodel wordt geadviseerd om minimaal 50 meter afstand te houden tussen de (fundering van) de brug en de woning om trillingshinder te vermijden. Hierbij is ervan uitgegaan dat bij de nieuwe brug dezelfde trillingskarakteristiek en trillingssterkten als bij de gemeten Galgenkampsbrug komen te ontstaan. De nieuwe brug kan op een afstand van minder dan 50 meter tot de woning komen te staan als bij voorhand de brug ontworpen wordt om minder trillingen op te wekken bij het passeren van wegverkeer dan bij de al bestaande Galgenkampsbrug.

### Aanbevelingen

Wij adviseren om te zorgen voor een gelijke overgang tussen de val en de aanbrug. Over het algemeen zal een stalen randbalk met sleuven die onder een hoek met de rijrichting staat, voldoende zorgen voor een gelijke overgang. Daarnaast adviseren wij om in het ontwerp van de brug rekening te houden met de oplegging/vering van het brugdek en de val op slot te zetten wanneer de brug gesloten is.

Hoewel geluid geen onderdeel uitmaakt van dit onderzoek, moet bij het ontwerp van de brug ook rekening gehouden worden met het afstralende geluid van de (stalen) brug. De door ons voorgestelde voorzieningen aan de brug zullen al een groot deel van de mogelijke hinder weg kunnen nemen. Aanvullend is aan te raden om bij het ontwerp van de brug onderzoek te doen naar de afstraling van geluid.

Als de huidige Galgenkampsbrug één op één geplaatst zou worden de locatie van de nieuwe brug, is de kans groot dat bewoners van Paradijsweg 5 hinder zouden ondervinden van de trillingen ontstaan bij het overheen rijden van verkeer over de brug. Echter met nemen van de juiste maatregelen bij het ontwerp van de nieuwe brug kan bij de woning een woon- en leefklimaat gerealiseerd worden.

ing. J.D. (Jasper) Pondman  
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.