



# Trillingshinder door elektrisch busverkeer

Dave Wessling (Fugro)

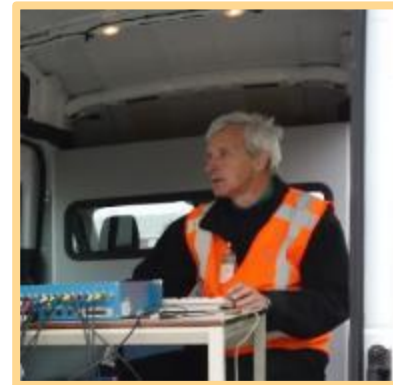
## Even voorstellen...



**Dave Wessling**

Geotechnisch adviseur

Sinds 2017 werkzaam bij Fugro



**Albert-Jan Snethlage**

Senior geotechnisch adviseur

Sinds 2001 werkzaam bij Fugro

# Inhoud

- Introductie trillingen
- Trillingsmetingen Groningen
  - Achtergrond
  - Werkwijze
  - Meetresultaten
- Maatregelen trillingshinder
- Samenvatting en tijd voor vragen



# Introductie

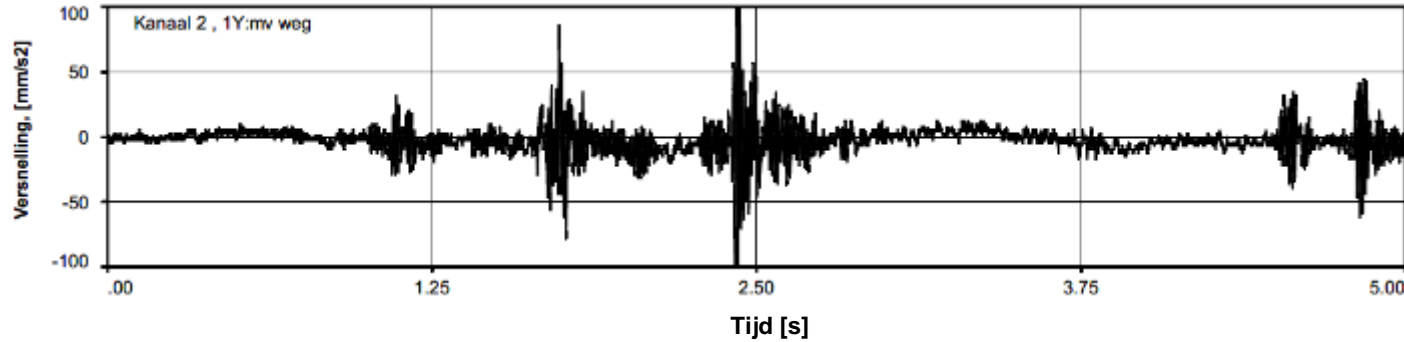
- Vervoerders stappen over op elektrische bussen, verduurzaming materieel
- Zwaarder materieel, indicatieve gewichten:

Type stadsbus	Diesel	Elektrisch
Enkel	10-12 ton	12-14 ton
Geleed	13-15 ton	15-18 ton



# Introductie

Passage bus, enkel, elektrisch (meting Groningen, 2020):



Trillingen bij aanstoot voertuig

- Bijv. drempel, overgang klinkers/asfalt, putdeksels, oneffenheden

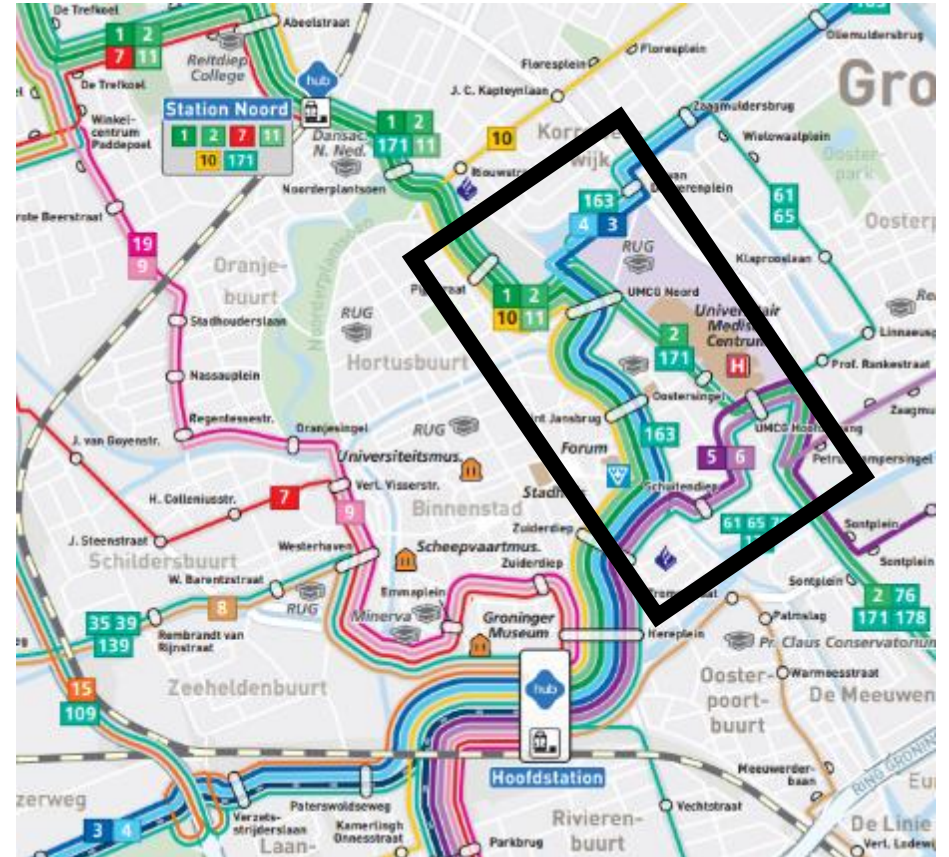
Hogere belasting op wegverharding

- Spoorvorming, loswrikken klinkers
- Kan leiden tot nieuwe aanstoot



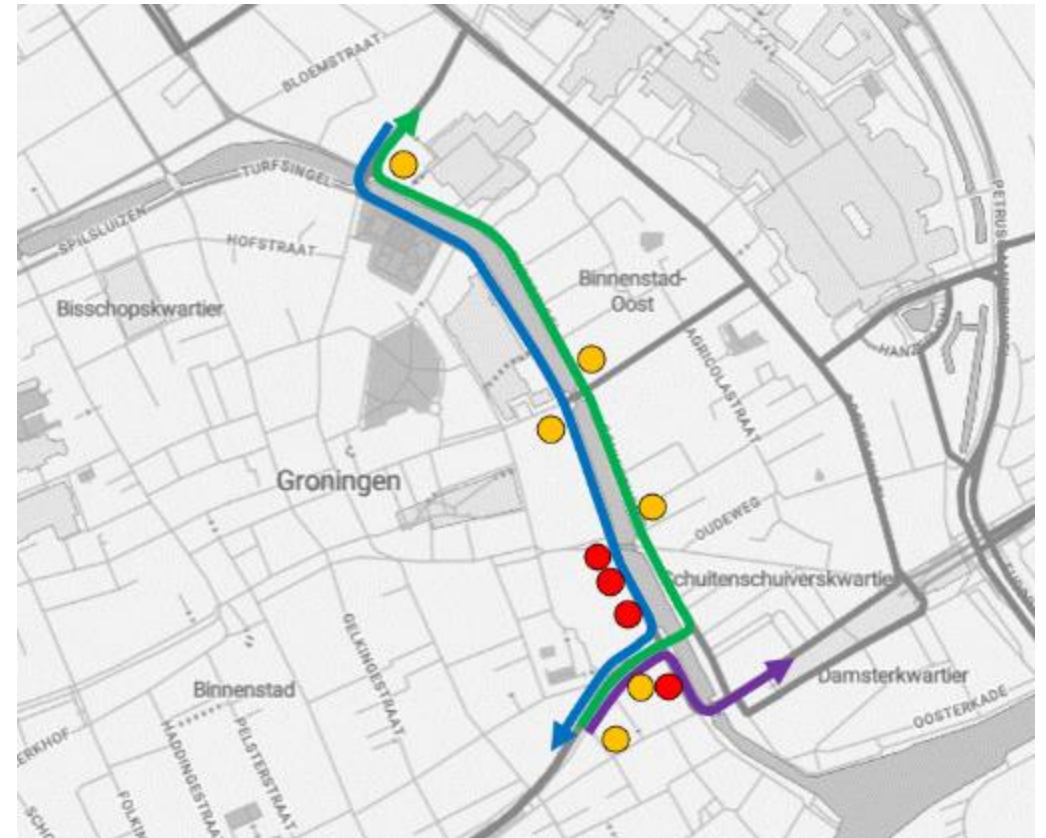
# Trillingsmeting Groningen

- In opdracht van Gemeente Groningen
  - Trillingen elektrische bussen t.o.v. diesel
  - Trillingsmetingen aan/in woningen
- Uitgevoerd door Fugro:
  - Onbemande metingen (2019)
  - Bemande metingen (2020)
  - Herhalingsmetingen (2021-2022)

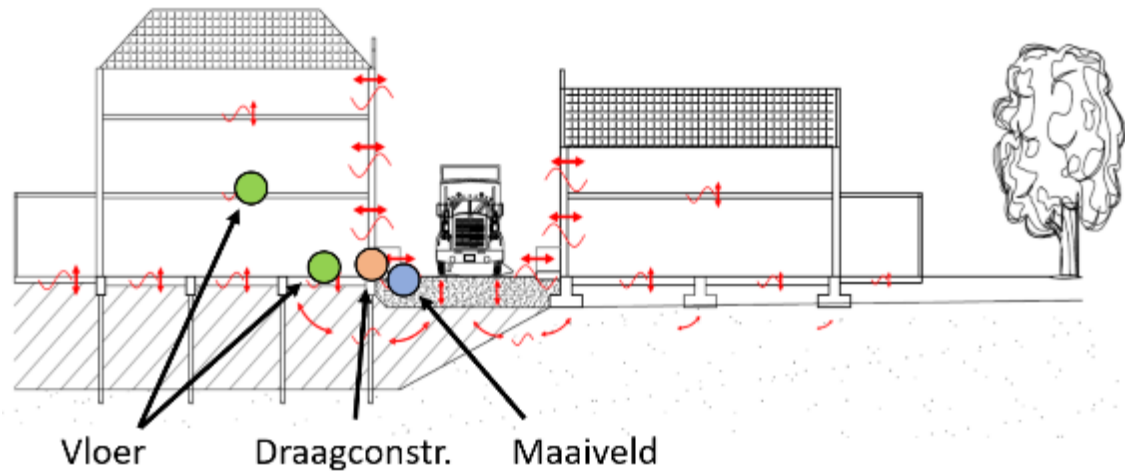


# Trillingsmeting Groningen

- In opdracht van Gemeente Groningen
  - Trillingen elektrische bussen t.o.v. diesel
  - Trillingsmetingen aan/in woningen
- Uitgevoerd door Fugro:
  - Onbemande metingen (2019)
  - Bemande metingen (2020)
  - Herhalingsmetingen (2021-2022)



# Trillingsmeting en verwerking



# Trillingsmeting en verwerking

## SBR Trillingsrichtlijn A – schade aan gebouwen (2017)

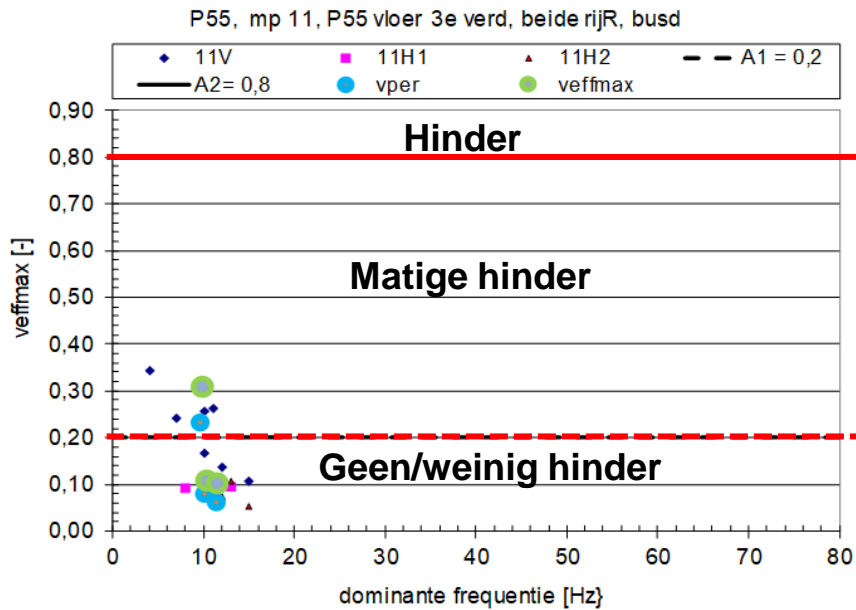
## SBR Trillingsrichtlijn B - hinder voor personen in gebouwen (2006)

- Functie: *wonen*
- Situatie: *gewijzigd*
- Type trilling: *herhaald kortdurend*

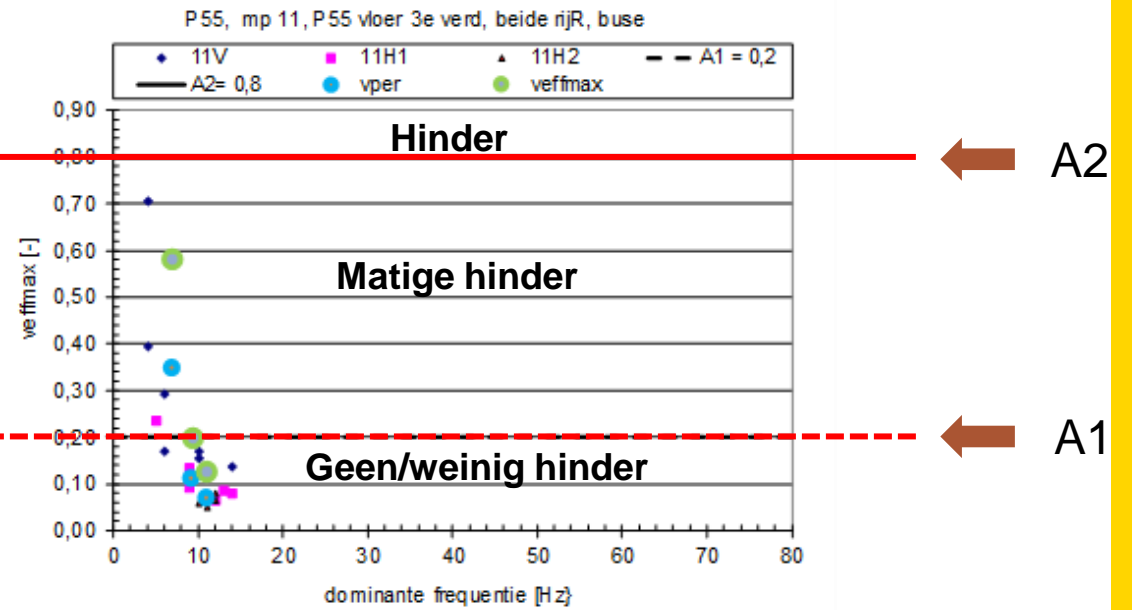
Streef- waarde	A1		A2		A3	
	$v_{\text{eff,max}} [-]$		$v_{\text{eff,max}} [-]$		$v_{\text{per}} [-]$	
	Ondergrens		Bovengrens		Periodiek gewogen grens	
Periode	Dag/ avond	Nacht	Dag/ avond	Nacht	Dag/ avond	Nacht
$v [-]$	0,2	0,2	0,8	0,4	0,1	0,1

# Trillingsmeting en verwerking

## Resultaten dieselbussen



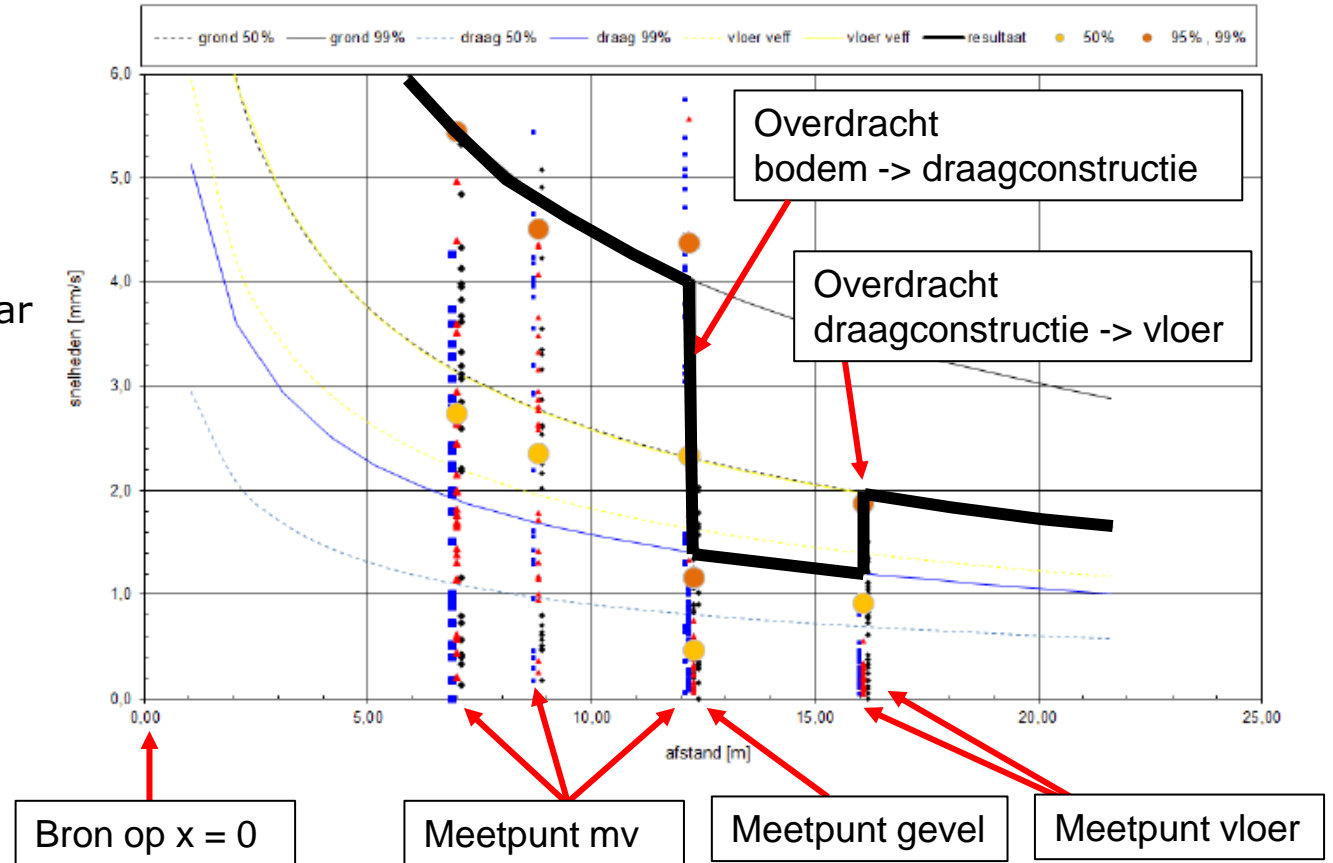
## Resultaten elektrische bussen



A3: afh van dag/nacht/avond-periode, en aantal keer trilling zich per periode voordoet

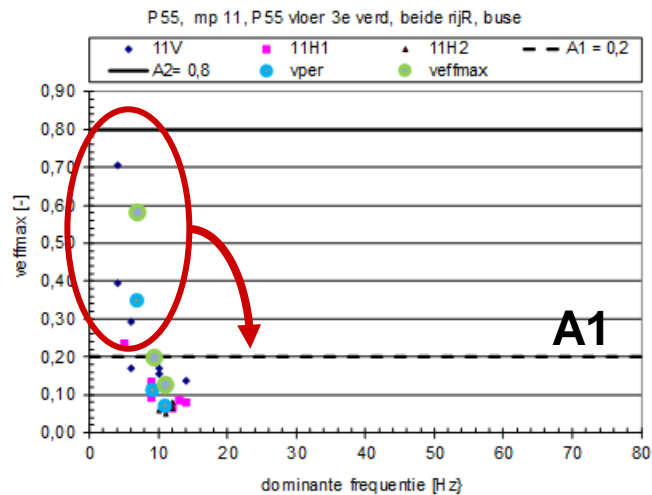
# Trillingsmeting en verwerking

- Fit prognosemodel CUR166
- Elektrische bussen:
  - Overdracht bodem > draagc vergelijkbaar
  - Overdracht draagc > vloer ca. 5-10% hoger dan diesel



# Trillingsmeting en verwerking

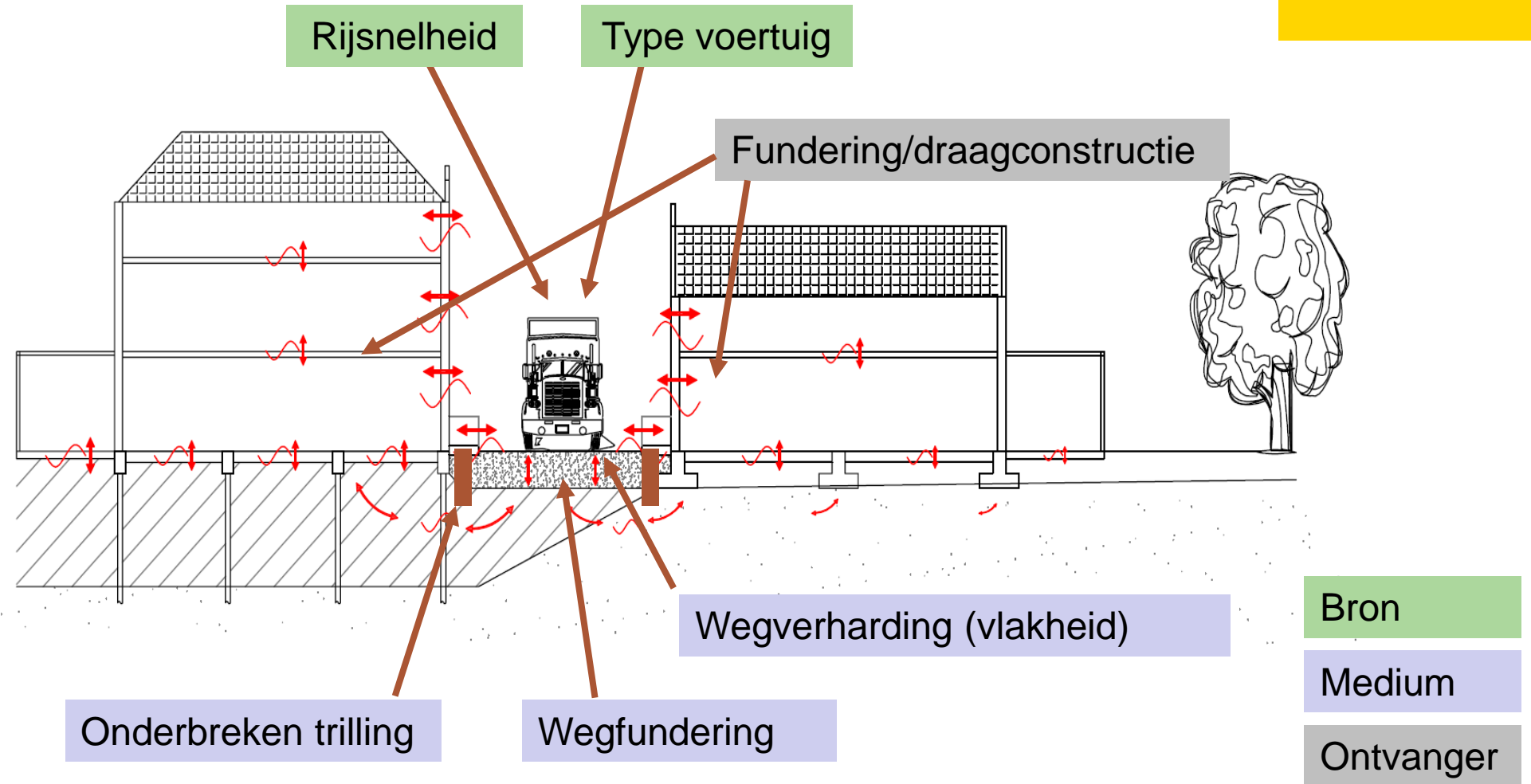
- Elektrische bussen:  
ca. 20-65% reductie benodigd
- Diesalbussen:  
ca. 0-25% reductie benodigd
- Meetlocatie C verschil nihil



Meetlocatie	Type bus	$V_{\text{eff,max}}$ [-]	Benodigde reductie [%]
A (S29)	Diesel	0,20	-
	<b>Elek.</b>	<b>0,26</b>	<b>25%</b>
B (S43)	Diesel	0,10	-
	<b>Elek.</b>	<b>0,24</b>	<b>20%</b>
C (S47)	Diesel	0,28	30%
	<b>Elek.</b>	<b>0,29</b>	<b>30%</b>
D (P55)	Diesel	0,34	35%
	<b>Elek.</b>	<b>0,71</b>	<b>65%</b>

Hoe deze reductie trillingen behalen?

# Maatregelen trillingshinder



# Maatregelen trillingshinder

Wegvlakheid verbeteren

Verkeersdrempels (?)

Wegversmallingen

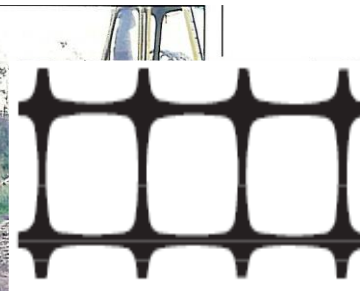


Onderbreken trilling

EPS  
Schuimbeton  
Nieuwe mat.?

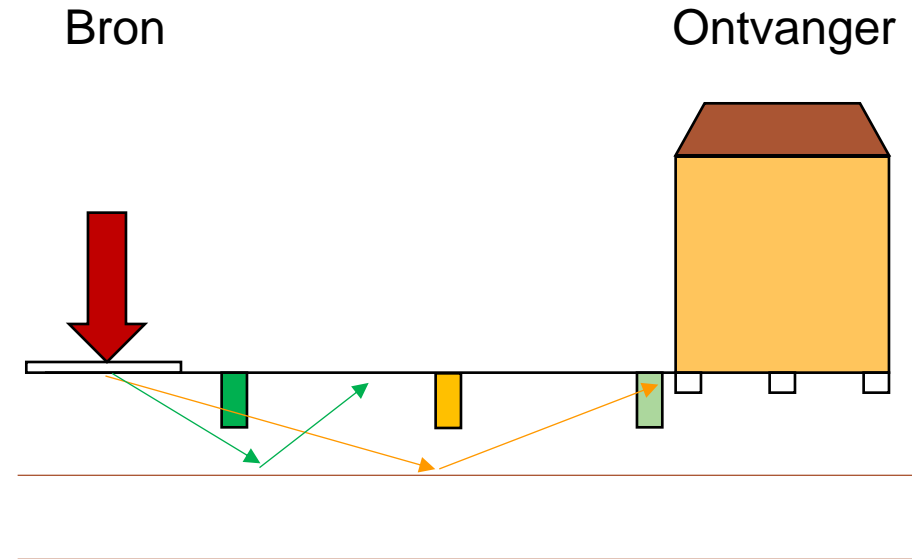


Wegfundering verstijven



# Maatregelen trillingshinder

- Trillingsscherm:
  - Voldoende hoogte/dikte
  - Voldoende stijfheidsverschil bodem
  - Bij bron/ontvanger
  - Bij elektrische bussen scherm ca. 25% hoger/dikker
  
- Kwaliteit werk aannemer (fundering, grid, scherm)



# Maatregelen trillingshinder

Type	Maatregel	Haalbare reductie (indicatief)
Bron	Rijsnelheid <sup>1)</sup>	15 – 25%
Medium	Wegverharding (vlakheid)	10 – 15%
Medium	Wegfundering	10 – 20%
Medium	Toepassen geogrid	5 – 10%
Medium	Onderbreken trilling (scherm)	40 – 70%
Ontvanger <sup>2)</sup>	-	-
Combinatie van maatregelen		30 – 80%

<sup>1)</sup> Maximumsnelheid, drempels, obstakels

<sup>2)</sup> Maatregelen niet beschouwd

# Maatregelen trillingshinder

Locatie	Toegepaste maatregelen			Reductie trillingen ( $v_{eff,max}$ ) op vloer (A1)	
	Wegverh.	Fundering	Scherf	Berekend	Gemeten
Gron. SD	x			15-25%	25-30%
Leeuwarden	x	x	x	40-50%	65-75%
Vlaardingen	x		x	60-70%	40-50%
Makkum	x	x		35-45%	40-45%
Winsum	x	x		15-70%	15-70%
Voorhout	x		x	60%	60-75%
Uithoorn	x	x	x	70%	70-80%
Breda	x		x	50%	50-60%



# Maatregelen trillingshinder

- Maatregelen in relatie tot geluid:
  - Snelheidsreductie
  - Voertuigen weren
  - Wegvlakheid
    - Klinkers vs asfalt
    - Klinkerverband =>
    - Perceptie
  - Wegfundering



# Maatregelen trillingshinder

- Doel: snelheidsverlaging, trillingsreductie of geluidsreductie?

Maatregel	Rijsnelheid	Trillingen	Geluid	Veiligheid	Ruimte
Max. snelheid red.	+	+	+	+	0
Drempels	+	-	0	+	0
Versmallingen *	+/-	+	0	+/-	-
Wegvl. > klinkers *	+/-	-	-	0	0
Wegvl. > asfalt <small>(streetprint)</small>	- (+)	+ (+)	+ (-)	0	0
Wegvl. verw. obstakels	0	+	+	0	0
Trillingsscherm	0	+	0	0	-

- Niet meegenomen: doorstroming, uitstraling, kosten, ...

# Maatregelen trillingshinder

## Kapotte stenen Diepenring zijn gevaar voor fietsers: gemeente kiest voor asfalt

28 oktober, 16:00 • 2 minuten leestijd



Werkzaamheden aan de Diepenring

© Elwin Baas/RTV Noord

Deze week wordt de grijze sierbestrating aan de Diepenring in Stad aangepakt en vervangen door asfalt. De elektrische bussen die er rijden zijn te zwaar en de stenen gaan daardoor kapot.

Krantenbericht – 28 oktober 2024

The logo for RTV NOORD, with "RTV" in orange and "NOORD" in blue, with a blue circle around the "O" in "NOORD".

# Samenvatting

- Gem. benodigde reductie (A1):  
20-65% (elektrisch) vs 0-25% (diesel)
- Beperkte dataset! (25-35 signalen per locatie per type)
- Toename van trillingen beheersbaar met trillingsreducerende maatregelen



# Samenvatting

## Trillingen

- **Maatregelen zijn maatwerk!**
- **Metten = weten**
- Snelheidsverlaging zonder overige maatregelen voldoende..?
- Tijdseffect verhoogde wegbelasting
- Binnenstad vs doorstroomwegen

## Geluid

- Oneffen wegverharding ongunstig voor geluid én trillingen
- Meeste maatregelen voor trillingen gunstig/neutral voor geluid

# Dank voor uw aandacht!

Zijn er nog vragen?

## Dave Wessling

 +31 6 21425157

 [d.wessling@fugro.com](mailto:d.wessling@fugro.com)

 [www.fugro.com](http://www.fugro.com)

## Albert-Jan Snethlage

 +31 6 23574740

 [a.snethlage@fugro.com](mailto:a.snethlage@fugro.com)

