

**Prognose trillingen twee woningen
Zutphenseweg in Eefde**

Datum 25 november 2014
Referentie 20131165-03

Referentie 20131165-03
Rapporttitel Prognose trillingen twee woningen
Zutphenseweg in Eefde

Datum 25 november 2014

Opdrachtgever Provincie Gelderland
Uitvoering Werken
Postbus 9090
6800 GX ARNHEM
Contactpersoon De heer ing M.J.L. de Vos

Behandeld door C.J. Ostendorf
DPA Cauberg-Huygen B.V.
Parkweg 22A
6212 XN MAASTRICHT
Postbus 480
6200 AL MAASTRICHT
Telefoon 043-3467878
Fax 043-3476347

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Uitgangspunten	4
2.1	Opzet van het onderzoek	4
2.2	Toetsingswaarden	4
2.2.1	Grenswaarde schade	4
2.2.2	Toetsingswaarden hinder	5
3	Prognose	7
4	Trillingsmetingen	8
4.1	Algemeen	8
4.2	Meetposities	8
4.3	Gemeten parameters	9
4.4	Bestaande situatie	9
4.4.1	Trillingssterkte $V_{\max}$	9
4.4.2	Beoordeling	9
4.5	Prognose toekomst	9
4.5.1	Uitgangspunten en werkwijze	9
4.5.2	Resultaat prognose	9
4.5.3	Beoordeling	10
5	Trillingsreducerende maatregelen	11
5.1	Algemeen	11
5.2	Uitsluiting verkeer	11
5.3	Snelheidsverlaging verkeer	11
5.4	Verbetering fundering weg	11
5.5	Toepassen grondschermb	12
5.6	Effect maatregelen	12
5.7	Effect cumulatie	13
6	Conclusie	14

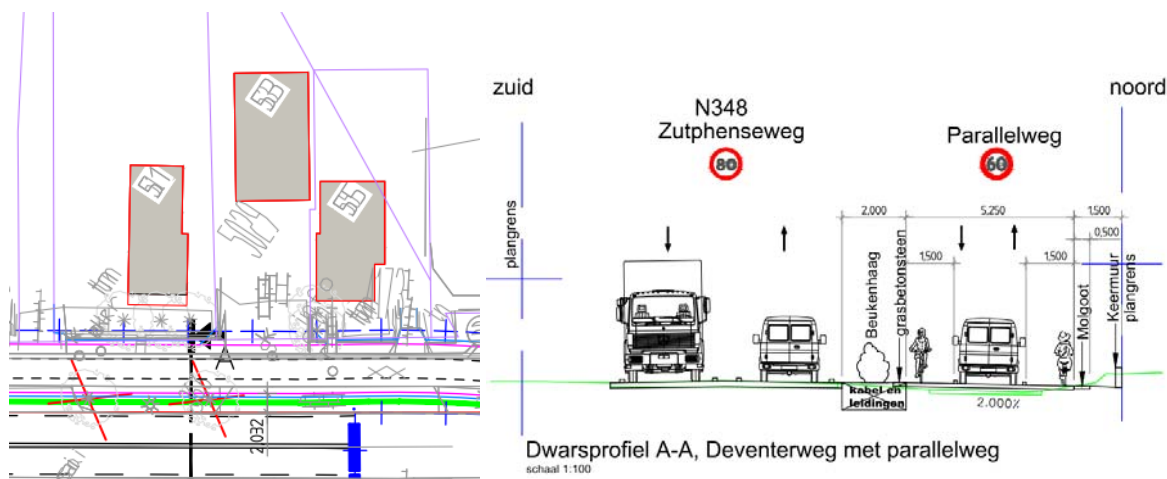
Bijlagen

Bijlage I

Bijlage I-1 Detailinformatie EEM model

1 Inleiding

De provincie Gelderland is voornemens het fietspad langs de Zutphenseweg te Eefde te verbreden tot een parallelweg zodat zij geschikt wordt voor landbouwvoertuigen en lokaal verkeer. Door de verbreding rijdt het verkeer op kortere afstand van de woningen nummer 51 en 55. Onderstaande figuur 1 geeft de situering weer.



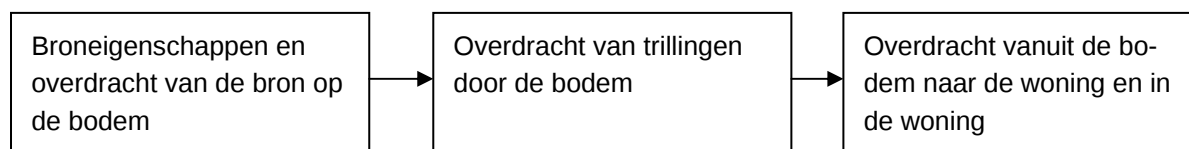
Figuur 1.1: overzicht situatie met links de plattegrond en rechts de dwarsdoorsnede

Bewoners van de woningen nummer 51 en 55 hebben aangegeven dat door het dichterbij komen van het (zware) verkeer, het mogelijk is dat trillingen ontstaan in de woning. Daarom is door Cauberg-Huygen een prognose onderzoek uitgevoerd ter bepaling van de te verwachten trillingsniveaus. De berekende trillingsniveaus zijn getoetst aan de grenswaarden uit SBR Richtlijn A met betrekking tot de kans op schade aan omliggende gebouwen en SBR Richtlijn B aangaande kans op hinder voor personen in gebouwen.

2 Uitgangspunten

2.1 Opzet van het onderzoek

De overdracht van trillingen tussen bron (verkeer) en ontvanger (de woning) laat zich karakteriseren door:



Bij de prognose van de trillingssterkte is gebruik gemaakt van het programma VP Drempel dat is ontwikkeld door TNO. Dit programma berekent op basis van een aantal uitgangspunten zoals voertuigtype, snelheid van het voertuig, opbouw van de drempel, type en opbouw van de woning en afstand tussen woning en drempel, de trillingssterkte en voert direct een toetsing uit van de berekende trillingssterkte. Voor de berekening met dit programma is het nodig dat altijd een drempel wordt ingevoerd. Daarom is gekozen voor een drempel met een hoogte van 0,01 meter en een lange op- en afrit zodat de drempel zelf geen trillingsbron meer is maar de weg wel.

Bij een prognoseberekening is echter altijd sprake van onzekerheid. Deze onzekerheid is afhankelijk van de invoergegevens en de rekenmethodiek. In het programma kan de onzekerheid met betrekking tot de rekenmethodiek worden aangegeven. Uitgegaan is van een kans van 1%. Dit betekent dat in 1 van de honderd gevallen de trillingssterkte hoger zal zijn dan berekend.

De prognoseberekening met VP Drempel is uitgevoerd om te bepalen of sprake is van een kritische situatie. Hiertoe zijn een aantal uitgangspunten zo gekozen, dat sprake is van een reële worst case situatie. Indien in die situatie voldaan wordt aan de toetsingswaarden, dan is verdere detaillering van het onderzoek door middel van metingen niet noodzakelijk. Indien sprake is van een overschrijding, dan is het zinvol om trillingsmetingen uit te voeren.

Om de onzekerheid van de prognose verder te beperken, zijn trillingsmetingen in de bestaande situatie uitgevoerd. Met behulp van deze metingen is de overdracht van trillingen vanaf de bron tot in de woningen bepaald. Tevens zijn metingen op maaiveldniveau uitgevoerd. Hiermee is de overdracht van de trillingen door de bodem berekend waarmee de invloed van de verschuiving van de weg in rekening kan worden gebracht.

2.2 Toetsingswaarden

2.2.1 Grenswaarde schade

Met betrekking tot de kans op schade, wordt voor de beoordeling gebruik gemaakt van de SBR Richtlijn A uit 2002. Bij de beoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen drie onderdelen:

1. fundering: kans op schade door zettingen;
2. fundering: kans op schade aan de hoofddraagconstructie;
3. verdieping en niet dragende delen: kans op schade.

De toetsingswaarden zijn afhankelijk van de classificatie van het gebouw, de dominante frequentie op de meetpositie, de funderingswijze en de aard van de trillingsbron.

De onderzochte woningen zijn gefundeerd op staal (niet op palen). De vloeren zijn van hout en worden vermoedelijk gedragen door houten balken. Dit was niet zichtbaar in de woning maar is op basis van leeftijd en bouwwijze van de woning een waarschijnlijke aanname. Vanwege de worst case benadering zijn de woningen geclassificeerd in categorie 3 (monumentaal) met een trillingsgevoelige fundering.

Bij de beoordeling van de aard van de trillingen, speelt de kans op het ontstaan van resonanties een rol. Omdat steeds sprake is van een korte aanstoting, is de trillingsbron (verkeer) gekwalificeerd als herhaald voorkomend. Hiervoor dient een veiligheidsfactor van 1,5 op de toetsingswaarde in rekening te worden gebracht.

De dominante frequentie dient bepaald te worden op basis van de trillingsmetingen. Bij lagere frequenties is de toetsingswaarde het strengst. Voor 1 tot 10 Hz wordt dezelfde toetsingswaarde aangehouden. Door uit te gaan van een dominante frequentie van 10 Hz, ontstaat inzicht in de strengste toetsingswaarden:

1. fundering (kans op zettingen): 17,7 mm/s;
2. fundering: 2,0 mm/s (3,0 mm/s (categorie 3) gedeeld door de veiligheidsfactor 1,5);
3. verdieping en niet dragende delen: 5.33 mm/s (8 mm/s (categorie 3) gedeeld door de veiligheidsfactor 1,5 en ongeacht de frequentie).

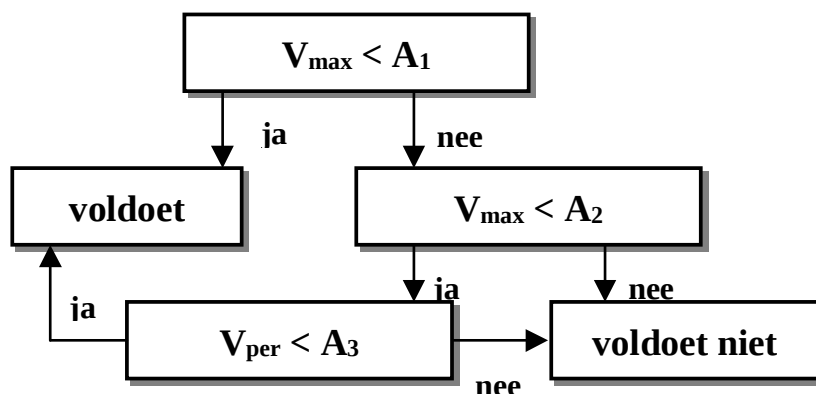
Op basis van de trillingsmetingen is de dominante frequentie bepaald en de toetsingswaarde eventueel aangepast.

Overschrijding van de toetsingswaarden wil niet zeggen dat met zekerheid schade zal ontstaan. Dit hangt af van de mate van overschrijding. Omgekeerd geldt dat onderschrijding van de toetsingswaarden, schade door trillingen niet in alle gevallen geheel uitsluit. In de richtlijn is opgenomen dat als de te beoordelen trillingssterkte kleiner is dan de toetsingswaarde, de kans op schade aanvaardbaar klein is en minder dan 1% bedraagt. Wel geldt dat hoe verder de trillingssterkte onder de toetsingswaarde ligt, hoe kleiner de kans op schade wordt. Als de trillingssterkte gelijk is aan de toetsingswaarde, is de kans op schade circa 1%. Pas bij een zekere mate van overschrijding neemt de kans op schade toe.

2.2.2 Toetsingswaarden hinder

Voor de beoordeling is gebruik gemaakt van de SBR Richtlijn B uit 2002. Deze richtlijn is algemeen geaccepteerd om de kans op hinder te beoordelen.

De beoordeling vindt plaats op basis van 2 parameters $V_{\max}$ en V_{per} . De parameter $V_{\max}$ staat voor de maximale gewogen trillingssnelheid binnen een beoordelingsperiode (dag, avond, nacht). V_{per} staat voor de gemiddelde trillingssnelheid over een beoordelingsperiode. $V_{\max}$ (en eventueel V_{per}) worden op basis van metingen vastgesteld en vervolgens getoetst. De toetsing vindt plaats op basis van onderstaand schema.



Uit het schema volgt dat $V_{\max}$ eerst getoetst wordt aan de onderste streefwaarde A_1 en de bovenste streefwaarde A_2 alvorens V_{per} wordt bepaald en getoetst aan de streefwaarde A_3 voor de gemiddelde trillingssterkte.

De toetsingswaarden voor A_1 , A_2 en A_3 zijn afhankelijk van de functie van een bouwwerk, het type trilling, de situatie en het tijdstip waarop de trillingen voorkomen.

De functie van het bouwwerk is wonen. De trillingen zijn afkomstig van wegverkeer en worden daarom geclassificeerd als "herhaald voorkomend". De trillingen komen zowel in de dagperiode (07.00 tot 19.00 uur), avond (19.00 tot 23.00 uur) als in de nachtperiode (23.00 tot 07.00 uur) voor.

Er is sprake van bestaande woningen en een nieuwe bron (wegverkeer over een nieuwe weg). Als toetsingswaarde voor deze situatie wordt gebruik gemaakt van de streefwaarden voor een nieuwe situatie. Omdat ook in de bestaande situatie al trillingen voorkomen, zijn ter vergelijking, ook de streefwaarden voor de bestaande situatie weergegeven. Tabel 2.1 geeft alle streefwaarden.

Tabel 2.1: streefwaarden hinder $V_{\max}$ en V_{per}

Gebouwfunctie	Dag- en avondperiode			Nachtperiode		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
Wonen (nieuwe situatie)	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Wonen (bestaande situatie)	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1

3 Prognose

Met behulp van het programma VP-drempel versie 2.01 is een reële worst case situatie ingevoerd en zijn de trillingsniveaus berekend. De reële worst case heeft betrekking op het gekozen voertuig, de snelheid van het voertuig en de vlakheid van de weg. Verder is met betrekking tot de woning uitgegaan van gegevens van bouwkundige tekeningen en de voor trillingen meest gevoelige categorie (categorie 3). Er is uitgegaan van de volgende invoergegevens:

Programma : VP-Drempel Versie:2.01 1
Licentiehouders : Cauberg Huygen dd: 12/11/2013

Invoergegevens

Drempel	hoogte	0.010 m	
	-----	-----	-----
	lengte		vorm
	oprit	5.000 m	recht
	plateau	10.000 m	
	afrit	5.000 m	recht

Verkeersaanbod		v	aantal passages		
	voertuig	km/h	dag	avond	nacht
	-----	-----	-----	-----	-----
	2-assig vrachtwagen 20t	60	1	1	1

Bodemprofiel	Tiel	
Wegvlakheid	zeer goed	
Wegfundering	dikte	0.25 m
	Afstand hart rijspoor tot gebouw	6 m

Gebouw	diepte	13 m
	fundatie	geen palen
	zettingsgevoelige fundatie	
	stijfheid gebouw horizontaal	laag
	verticaal	laag
	vloeren	hout
	vloer overspanning	8 m

Normering volgens de SBR Richtlijn A "schade aan gebouwen"	
gebouwcategorie	3 (monument)

Beoordeling volgens SBR Richtlijn B hinder	
gebouwfunctie	wonen
	Nieuwe situatie.

Overschrijdingskansen van de berekende topwaarden en voortschrijdende effectieve waarden van de trillingssnelheid is 1 %

Met bovenstaande gegevens bedraagt V_{top} op de fundering 0,4 mm/s en is de dominante frequentie 9 Hz. De uitvoer van de berekening is opgenomen in bijlage I. De berekende waarde voor V_{top} blijft inclusief overschrijdingskansen, ruim onder de grenswaarde van 2 mm/s. De kans op schade is daardoor kleiner dan 1%.

Met betrekking tot hinder, bedraagt de trillingssterkte V_{max} 0,37. Daarmee wordt de streefwaarde A_2 in de nachtperiode van 0,2 overschreden. Er bestaat een kans op hinder.

Op basis van bovenstaande resultaten is besloten trillingsmetingen uit te voeren om de nauwkeurigheid van de prognose te verhogen. De metingen hebben alleen betrekking op de kans op hinder.

4 Trillingsmetingen

4.1 Algemeen

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd op 7 maart 2014 tussen 10.00 en 16.00 uur.

Bij de uitvoering van de trillingsmetingen is gebruik gemaakt van trillingsmeters van het merk Syscom, type MR2002 met een 3D opnemer voor de trillingsnelheid. Deze meetapparatuur wordt op basis van het ISO 9001 systeem van Cauberg-Huygen onderhouden en gekalibreerd.

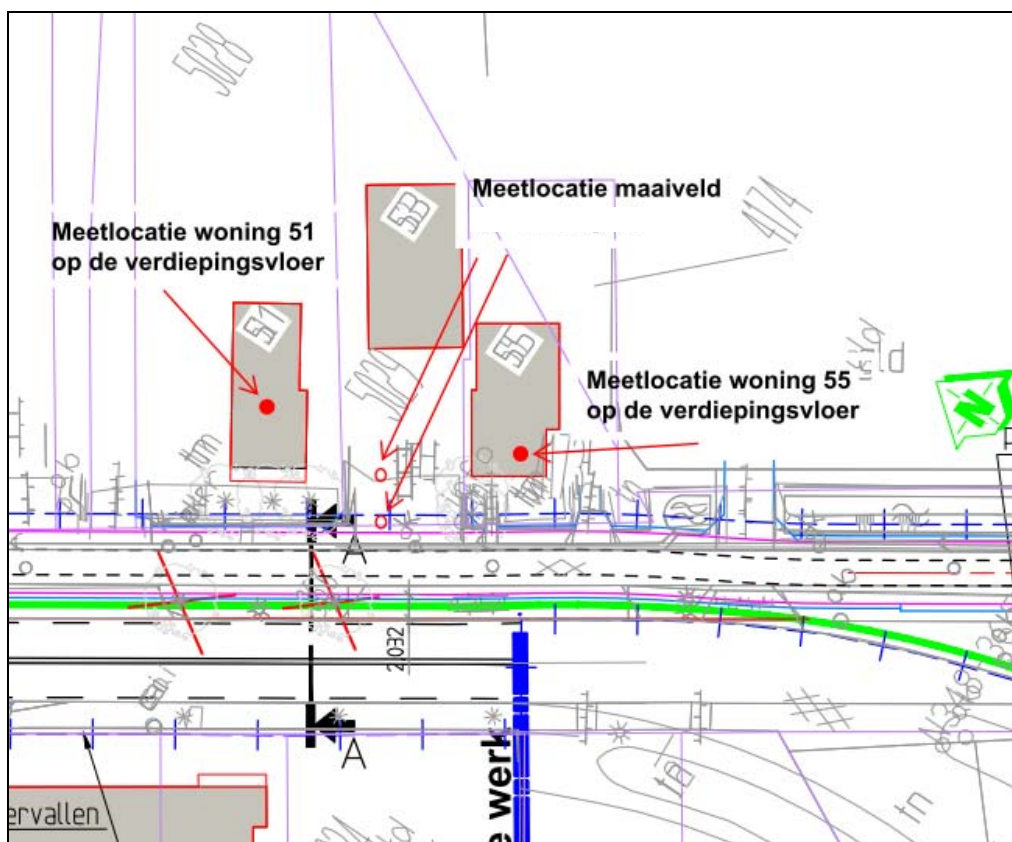
Voor het bepalen van de overdracht van trillingen is gebruik gemaakt van het reguliere verkeer dat over de Provinciale weg reed.

4.2 Meetposities

De metingen zijn uitgevoerd op drie locaties:

- In de woning Zutphenseweg 51 (begane grond en verdieping)
- In de woning Zutphenseweg 55 (begane grond en verdieping)
- Voor bedrijfspand Zutphenseweg 53 (maaiveld).

Navolgende figuur 4.1 geeft de meetpositie op de fundering weer.



Figuur 4.1: overzicht meetposities

Op alle locaties is de trillingsopnemer waterpas gezet.

4.3 Gemeten parameters

Voor de meetlocaties in de woning is per periode van 30 seconde de hoogste gewogen trillingssnelheid vastgelegd. Deze waarde heet $v_{\text{effmax},30,i}$ en is een dimensieloze grootheid. Daarnaast is per passage ook het verloop van de trillingssnelheid in de tijd vastgelegd. Op basis van deze gegevens zijn frequentie analyses uitgevoerd om specifieke frequenties te kunnen bepalen.

4.4 Bestaande situatie

4.4.1 Trillingssterkte V_{max}

De meetresultaten op de verdiepingsvloer bleken steeds maatgevend ten opzichte van de meetresultaten op de begane grond. Tabel 4.1 geeft de meetresultaten voor de trillingssterkte V_{max} in beide woningen. De trillingen zijn veroorzaakt door het (zware) vrachtverkeer over de N348. In het totaal zijn circa 180 passages van zwaar verkeer gemeten.

Tabel 4.1: meetresultaten bestaande situatie (voor aanleg parallelweg)

Woning	V_{max} [-] gemeten bestaande situatie
Zutphenseweg 51	0,29
Zutphenseweg 55	0,31

4.4.2 Beoordeling

In de huidige, bestaande situatie geldt een streefwaarde van 0,4 voor V_{max} in de nachtperiode. Hieraan wordt in de huidige situatie voldaan. Wel zijn de gemeten trillingssterkten hoger dan de laagste streefwaarde A_1 (0,2) en kunnen de trillingen voelbaar zijn omdat ze de voelbaarheidsgrens (V_{max} 0,1) overschrijden.

4.5 Prognose toekomst

4.5.1 Uitgangspunten en werkwijze

Voor de toekomstige situatie zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Een zelfde fundering onder de nieuwe weg als onder de provinciale weg;
- Een snelheid van circa 50 km/uur op de nieuwe weg;
- Een wegdek met dezelfde kwaliteit als de provinciale weg;
- De weg komt 7 meter dichterbij te liggen ten opzichte van de hoofdrijbaan.

Op basis van de metingen op maaiveld is per trillingsfrequentie (tertsbanden tussen 1 en 125 Hz) de invloed van de verschuiving van 7 meter bepaald. Hieruit is per trillingsfrequentie de vergrotingsfactor berekend want de trillingssterkte zal toenemen als de bron dichterbij komt. De gemeten trillingssterkte in de bestaande situatie is vervolgens vermenigvuldigd met de vergrotingsfactor om tot een prognose voor de toekomstige situatie te komen.

4.5.2 Resultaat prognose

Tabel 4.2 geeft de meetresultaten voor de trillingssterkte V_{max} in beide woningen voor de toekomstige situatie.

Tabel 4.2: meetresultaten toekomstige situatie (na aanleg parallelweg)

Woning	$V_{\max}$ [-] toekomst
Zutphenseweg 51	0,40
Zutphenseweg 55	0,42

Ten opzichte van de bestaande situatie is sprake van een toename van de trillingssterkte van 38% voor de Zutphenseweg 51 en 35% voor de Zutphenseweg 55.

4.5.3 Beoordeling

In een nieuwe situatie geldt een hoogste streefwaarde A_2 van 0,2 voor $V_{\max}$ in de nachtperiode. Deze streefwaarde wordt ruim overschreden. Ook de streefwaarde voor de dagperiode (A_2 is 0,4) wordt juist overschreden. Er bestaat derhalve een duidelijke kans op hinder, zeker gezien de mate van overschrijding in de nachtperiode.

5 Trillingsreducerende maatregelen

5.1 Algemeen

De resultaten uit de prognose waren aanleiding voor de provincie om onderzoek uit te laten voeren naar het effect van trillingsreducerende maatregelen. Hierbij zijn de volgende maatregelen onderzocht:

1. uitsluiting van verkeer in een bepaalde periode;
2. snelheidsverlaging;
3. verbetering fundering van de weg;
4. toepassing van een grondscherm.

In de navolgende paragrafen zijn de maatregelen en de onderzoekswijze kort omschreven. Paragraaf 5.6 geeft de resultaten van alle maatregelen.

5.2 Uitsluiting verkeer

Uit paragraaf 4.5.2 blijkt de overschrijding van de streefwaarde in de nachtperiode het grootst. Door in de nachtperiode het zware verkeer uit te sluiten van het gebruik van de parallelweg, wordt deze overschrijding weggelaten. Er blijven dan alleen trillingen over van licht verkeer over de parallelweg en dat trillingsniveau zal nauwelijks voelbaar zijn.

In de praktijk betekent dit dat in de nachtperiode door uitsluiting van het zware verkeer het trillingsniveau in de woningen niet toe zal nemen ten opzichte van het al bestaande trillingsniveau als gevolg van al het verkeer over de Zutphenseweg.

Voor de dagperiode blijft de kleine overschrijding dan bestaan.

5.3 Snelheidsverlaging verkeer

Een mogelijke maatregel is het verlagen van de snelheid van het verkeer. Uitgangspunt is daarbij dat de weg een 30 km zone gaat worden. Het effect van de verlaging van de snelheid van het vrachtverkeer is berekend met VPdrempel (zie hoofdstuk 3). De hiermee berekende reductie is verrekend met de geprognosticeerde waarde uit hoofdstuk 4 op basis van de trillingsmetingen.

Voor de situatie inclusief aangepaste snelheid is alleen gekeken naar de bijdrage van de parallelweg zelf en niet naar de cumulatieve met de bestaande Zutphenseweg.

5.4 Verbetering fundering weg

Voor de wegfundering is in de prognose uitgegaan van een dikte van 25 centimeter. Om het effect van een verbetering van de fundering (dikker, stijver) inzichtelijk te maken, is gekozen voor een dikte van 1 meter asfaltgranulaat. Om het effect te berekenen is een rekenmodel volgens de Eindige Elementen Methode (EEM) opgezet met Ansys. Met het rekenmodel is een frequentieafhankelijke overdrachtsfactor bepaald. De gemeten trillingsniveaus zijn met deze factor vermenigvuldigd en dit levert het trillingsniveau inclusief de maatregel op.

Ook nu geldt dat in de situatie inclusief verzwaaarde fundering alleen het trillingsniveau als gevolg van het verkeer over de parallelweg is berekend. De bijdrage van de Zutphenseweg is er niet in meegenomen.

Toelichting EEM

De basis van de Eindige Elementen Methode (EEM) bestaat uit het opdelen van een constructie in een groot aantal elementen, die zijn verbonden door middel van knooppunten. Het gedrag van de individuele elementen wordt beschreven door middel van differentiaalvergelijkingen die de verplaatsingen van de knooppunten koppelen aan de krachten die op het element werken. Doordat de verplaatsingen en rotaties van de knooppunten van twee aangrenzende elementen aan elkaar gekoppeld worden, beschrijft het samenspel van elementen en knooppunten het gedrag van de constructie als geheel. De koppelingen tussen alle elementen worden samengesteld in een grote matrix-vergelijking. Door het oplossen van de matrixvergelijking kunnen de verplaatsingen van alle elementen berekend worden, wanneer de constructie wordt belast.

5.5 Toepassen grondschermb

Door een grondschermb toe te passen in de bodem, verandert de wijze waarop de bodem reageert op de overdracht van trillingsenergie door de bodem. Het grondschermb heeft andere eigenschappen dan de bodem en zorgt daardoor voor een impedantiesprong in de bodem waardoor reflecties ontstaan van de trillingsgolven in de bodem.

Er is gerekend met een kleischermb van 6 meter diep en 1 meter breed, tussen de woning en de weg, net naast het fietspad in combinatie met de verzwaarde fundering. Er is gekozen voor een combinatie van maatregelen omdat het toepassen van alleen het kleischermb weinig effect heeft in het relevante frequentiebereik. De maatgevende frequentieband ligt bij 16 Hz en het kleischermb is effectiever bij hogere frequenties. De verzwaarde fundering is al wel actief bij deze lage frequentie. Met het rekenmodel is een frequentieafhankelijke overdrachtsfactor bepaald. De gemeten trillingsniveaus zijn met deze factor vermenigvuldigd en dit levert het trillingsniveau inclusief de maatregel op.

In bijlage I is detailinformatie over het EEM model opgenomen.

5.6 Effect maatregelen

In onderstaande tabel is het effect van de maatregelen weergegeven. Voor de vergelijking van het effect van de verschillende maatregelen, is geen rekening gehouden met de sommatie van het verkeer over de bestaande Zutphenseweg en het verkeer over de nieuwe parallelweg. De tabel geeft alleen de trillingssterkte ten gevolge van het verkeer over de nieuwe parallelweg tenzij anders vermeld.

Het reducerend effect van de dikkere wegfundatie en het grondschermb is niet voor iedere vrachtwagenpassage gelijk. Het effect is afhankelijk van het spectrum van de trillingssterkte. In de berekening is het effect voor 10 maatgevende passages bepaald. De tabel geeft hieruit de hoogste trillingssterkte.

Tabel 5.1: effect trillingsreducerende maatregelen op trillingsniveau ten gevolge van parallelweg

Situatie (verkeer over parallelweg)	V _{max} [-]	Opmerking
Huidig (gemeten) als gevolg van verkeer Zutphenseweg	0,31	Zutphenseweg 55 maatgevend
Toekomst prognose zonder maatregelen	0,42	
Uitsluiten vrachtverkeer	0,15	
Verlaging snelheid van 50 naar 30 km/uur	0,32	
Verdikking wegfundatie (1 m dik)	0,27	
Grondschermb in combinatie met verdikking wegfundatie	0,22	Grondschermb (klei) 6 m diep

Bij toetsing aan een “nieuwe situatie” (parallelweg is een nieuwe weg), levert alleen het uitsluiten van het vrachtverkeer in de nachtperiode voldoende reductie op om onder de toetsingswaarde van 0,2 te blijven (A_2 in de nachtperiode).

De combinatie van verzwaarde fundering en grondscherp benadert de toetsingswaarde.

5.7 Effect cumulatie

Het verkeer over de provinciale weg zorgt in de huidige situatie voor een $V_{\max}$ van 0,31. Als precies op dat zelfde moment ook zwaar verkeer over de parallelweg rijdt, bestaat de kans op cumulatie van de trillingssterkte. Het effect van cumulatie is op voorhand moeilijk voorspelbaar omdat de overdracht van de trillingen door de bodem op complexe wijze plaatsvindt waarbij het exacte moment waarop de trilling op beide wegen wordt veroorzaakt, van belang is voor de mate waarin cumulatie optreedt.

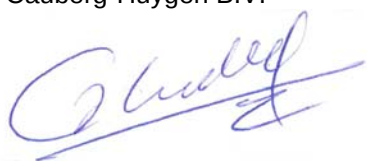
De kans op cumulatie is relatief klein gezien het beperkte aantal vrachtauto's dat van de parallelweg gebruik zal maken. Bovendien zal niet iedere vrachtwagenpassage zorgen voor de berekende $V_{\max}$ waarde. Veel passages zullen ook een lagere trillingssterkte opleveren. In de praktijk zal cumulatie in deze situatie naar verwachting dan ook weinig effect hebben.

6 Conclusie

Het prognose onderzoek naar trillingen ten gevolge van het gebruik van de nieuw aan te leggen parallelweg langs de Zutphenseweg N348 leidt tot de volgende conclusies:

- De berekende trillingssnelheid op de fundering van de woningen Zutphenseweg 51 en 55 voldoet ruimschoots aan de grenswaarden met betrekking tot de kans op schade door trillingen aan gebouwen. De kans op schade is dan ook kleiner dan 1%;
- De berekende trillingssterkte in de woningen Zutphenseweg 51 en 55 overschrijdt de streefwaarden voor hinder. De berekende trillingsniveaus voor de toekomst nemen toe ten opzichte van de bestaande situatie en de kans op klachten over trillingshinder is relatief groot;
- Door het treffen van verschillende maatregelen kan de berekende trillingssterkte gereduceerd worden. De maatregelen leiden echter niet tot het voldoen aan de streefwaarden in de nachtperiode uitgezonderd de maatregel waarmee het vrachtverkeer in de nachtperiode wordt uitgesloten van het gebruik van de parallelweg;
- De verwachting is dat de kans op cumulatie van trillingen van beide wegen klein is.

DPA Cauberg-Huygen B.V.



C.J. Ostendorf
Adviseur

M e m o

Aan: Carel Ostendorf, DPACH
Van: Arnold Koopman en Sven Lentzen
Kopie:

Datum: 20 november 2014

Project: Verkeerstillingen Eefde
Kenmerk: LA.140702.M01.0

Ten behoeve van het onderzoek van DPACH naar verkeerstillingen in bebouwing na een wegaanpassing in Eefde heeft Level Acoustics & Vibration twee trillingsreducerende maatregelen gedimensioneerd en gemodelleerd. Dit memo bevat daarvan de resultaten, welke verder worden toegelicht in het hoofdrapport van DPACH waar deze memo een bijlage van vormt.

Onderzochte maatregelen

1. verbetering fundering van de weg
2. toepassing van een grondschermb

Ad 1.

De weg ligt op een relatieve slappe bodem en is daarom voorzien van een stevige onderbouw: 25 cm van steengranulaat (AGRAC) op verdicht zand. De maatregel bestaat eruit dat het verdichte zand wordt vervangen door AGRAC (dus bij elkaar 1 meter AGRAC). Deze bronmaatregel reduceert de afgifte van trillingen naar de omgeving.

Ad 2.

Het meest voorkomende alternatief voor een bronmaatregel is het grondschermb, een overdrachtsmaatregel. Daar zijn tal van uitvoeringswijzen van, omdat de effectiviteit sterk afhangt van de bodemomstandigheden. In dit geval is gekozen voor een voor deze situatie best haalbare optie: een kleischermb van 6 meter diepte.

Aanpak van de prognose

Met behulp van de eindige elementen methode ("FEM") zijn drie modellen gemaakt:

- uitgangssituatie, zonder maatregelen
- situatie met verbeterde fundering
- situatie met kleischermb

In de modellen wordt de trillingsvoorplanting naar de omgeving berekend, vanwege een "stoot" op de weg. Door het verschil in voortplanting tussen de drie modellen met elkaar te vergelijken worden de effecten van de twee maatregelen bepaald. Dit verschil is een reductiefactor (in trillingsniveau). Deze factor verschilt per frequentie. Dit "invoegverliesspectrum" wordt gecombineerd met de eerder door DPACH gemeten trillingsniveaus in de omgeving welke ook per

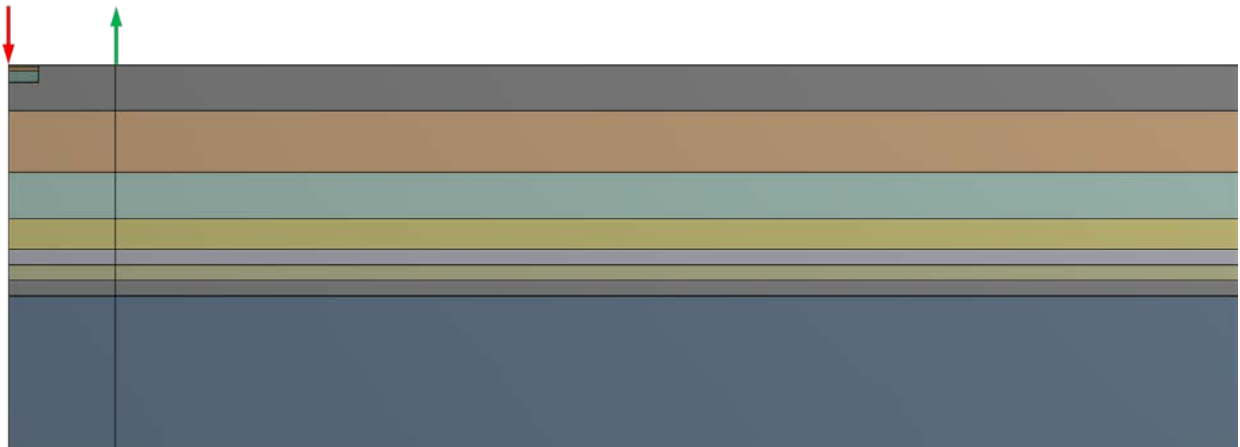
frequentie zijn uitgewerkt. Tezamen leveren meting en modellering een voorspelling van de trillingsniveaus uitgedrukt in V_{max} en V_{per} conform de SBR richtlijn voor trillingshinder (B).

Opbouw van het model

Er zijn drie sommen uitgevoerd. Elk van de drie sommen is gebaseerd op een referentiemodel, waarin voor elke som specifieke aanpassingen zijn toegepast. Het referentiemodel is een 2D "plane-strain" model van 80 x 25m, bestaande uit 8 lagen grond die in Tabel 1 beschreven worden. Het referentiemodel wordt in Figuur 1 weergegeven.

Tabel 1. De mechanische eigenschappen van de bodemopbouw.

Laag no.	van [m]	tot [m]	E-modulus [MPa]	Poisson [-]	Dichtheid [kg / m ³]
1	0	-3	112	0,30	1800
2	-3	-7	224	0,47	1800
3	-7	-10	288	0,47	1800
4	-10	-12	256	0,47	1800
5	-12	-13	160	0,47	1800
6	-13	-14	256	0,47	1800
7	-14	-15	160	0,47	1800
8	-15	-25	208	0,47	1800



Figuur 1: schematische weergave van het referentiemodel

Aan de linkerkant van het model worden symmetrierandvoorwaarden opgelegd, zodat slechts de helft van het geometrische domein gemodelleerd hoeft te worden. In de linker bovenhoek wordt

het model geëxciteerd (aangegeven met de rode pijl), en op 7 m afstand wordt de responsie bepaald (aangegeven met de groene pijl).

De simulatie wordt uitgevoerd in het tijddomein. Om de responsie niet te verstoren door golven die aan de rechterkant van het model gereflecteerd worden, wordt de totale breedte van het model gelijk aan 80 m gekozen. De tijd die gereflecteerde golven nodig hebben om het responsiepunt te bereiken, is daardoor langer dan de totale simulatietijd.

Aan de linkerkant van het model bevindt zich de weg. Er worden twee verschillende soorten wegopbouw onderzocht die in Tabel 2 beschreven worden.

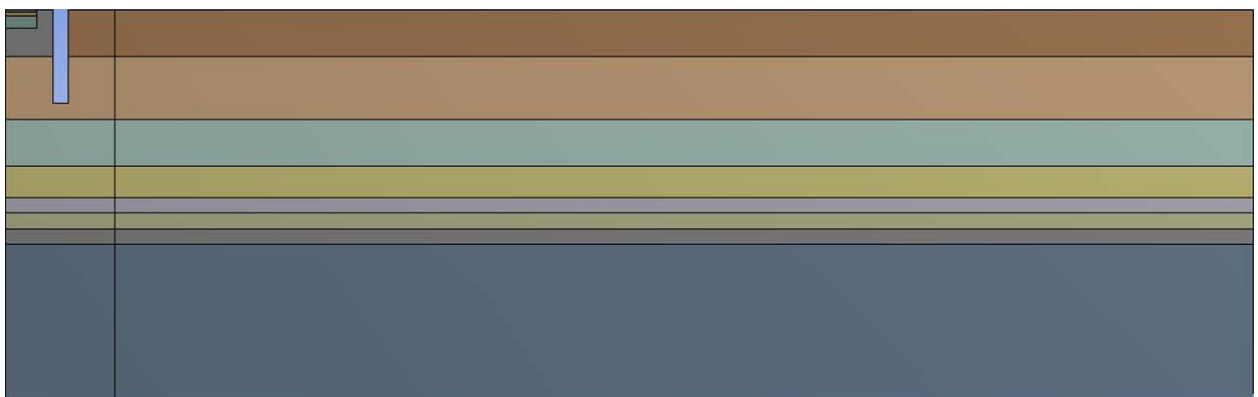
Tabel 2. De twee verschillende soorten wegopbouw.

Wegdek A				Wegdek B			
Laag no.	van [cm]	tot [cm]	Materiaal	Laag no.	van [cm]	tot [cm]	Materiaal
1	0	-15	DAB	1	0	-15	DAB
2	-15	-40	AGRAC	2	-15	-115	AGRAC
3	40	-115	Zand				

De mechanische eigenschappen van de in Tabel 2 voorkomende materialen zijn in Tabel 3 beschreven.

Tabel 3. De mechanische eigenschappen van de wegopbouw.

Materiaal	E-modulus [MPa]	Poisson [-]	Dichtheid [kg / m ³]
DAB	7000	0,3	2300
AGRAC	3000	0,3	2000
Zand	100	0,3	1600

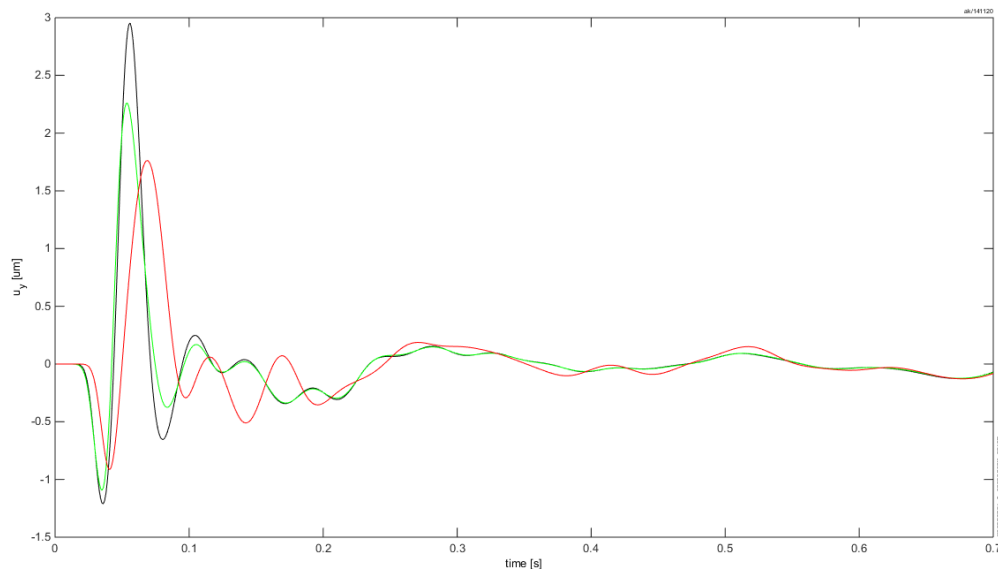


Figuur 2: schematische weergave van het referentiemodel met sleuf

In **som 1** bestaat het model uit de voorheen beschreven bodemopbouw met een 2 m brede weg bestaande uit wegdek A. In **som 2** is wegdek A vervangen door wegdek B. **Som 3** is gebaseerd op som 2, met het verschil dat precies tussen het excitatie- en het responsiepunt een 1 m brede en 6 m diepe sleuf is gemaakt en gevuld is met klei (E-modulus = 10 MPa, Poisson = 0,3 en Dichtheid = 2200 kg/m^3), zie Figuur 2.

Simulatie

De simulatie is uitgevoerd in het tijdsdomein. Daartoe is een tijdsafhankelijk excitatie aangebracht in de vorm van een halve sinus-puls met een breedte van 10 ms en een amplitude van 1 kN. Hierdoor worden de frequenties tot 100 Hz voldoende aangestoten. De simulatietijd bedraagt 700 ms en is opgedeeld in tijdstapjes van 1 ms. De eindige elementgrootte is zo gekozen dat compressiegolven van 60 Hz nog voldoende nauwkeurig gesimuleerd kunnen worden.

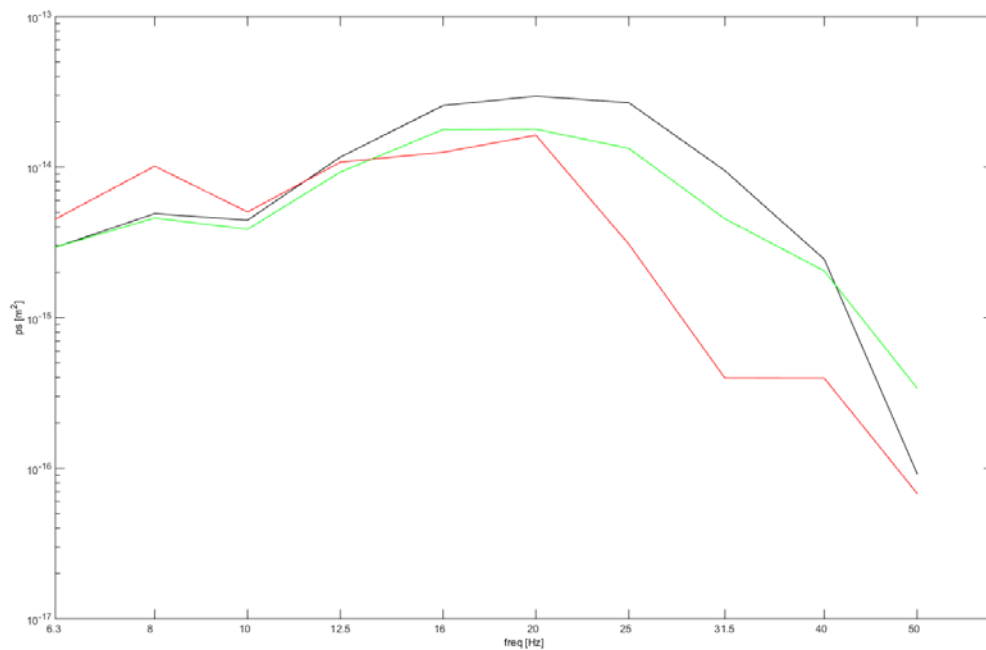


Figuur 3: berekend trillingsniveau in de omgeving vanwege een stoot op het wegdek; zwart: zonder maatregelen, groen: verbeterde wegfundering, rood: grondscherp van klei

Nadat de simulatie van de 3 sommen is uitgevoerd, worden in Matlab m.b.v. de tijdsignalen eerst de smalbandige responsiespectra bepaald. Daarna worden de smalbandige spectra omgerekend tot tertsspectra met middenfrequenties van 5 Hz t/m 50 Hz.

Resultaten

Onderstaande figuur presenteert de berekende trillingsniveaus als functie van de frequentie (per tertsband).



Figuur 4: trillingsspectra; zwart: zonder maatregelen, groen: verbeterde wegfundering, rood: grondscherm van klei

Bijlage I

Bijlage I-1 Detailinformatie EEM model