

Stationsweg 2
8011 CZ ZWOLLE

T +31 (0)88-5152505
E info@cauberghuygen.nl
www.cauberghuygen.nl

K.v.K 58792562
IBAN NL71 RABO 0112 075584

Notitie 05509-51345-07
Haalbaarheidsstudie Rijnstate te Elst
Effecten trillingen vanwege spoorweg

Datum	Referentie	Behandeld door
13 januari 2020	05509-51345-07	M. Blankvoort

1 Inleiding

Het Rijnstate ziekenhuis doet een haalbaarheidsonderzoek naar een vestiging in de gemeente Overbetuwe, bij voorkeur op de Spoorlaan te Elst. Volgens de gemeente Overbetuwe is een ziekenhuisfunctie een goede aanvulling op de aanwezige voorzieningen in Elst.

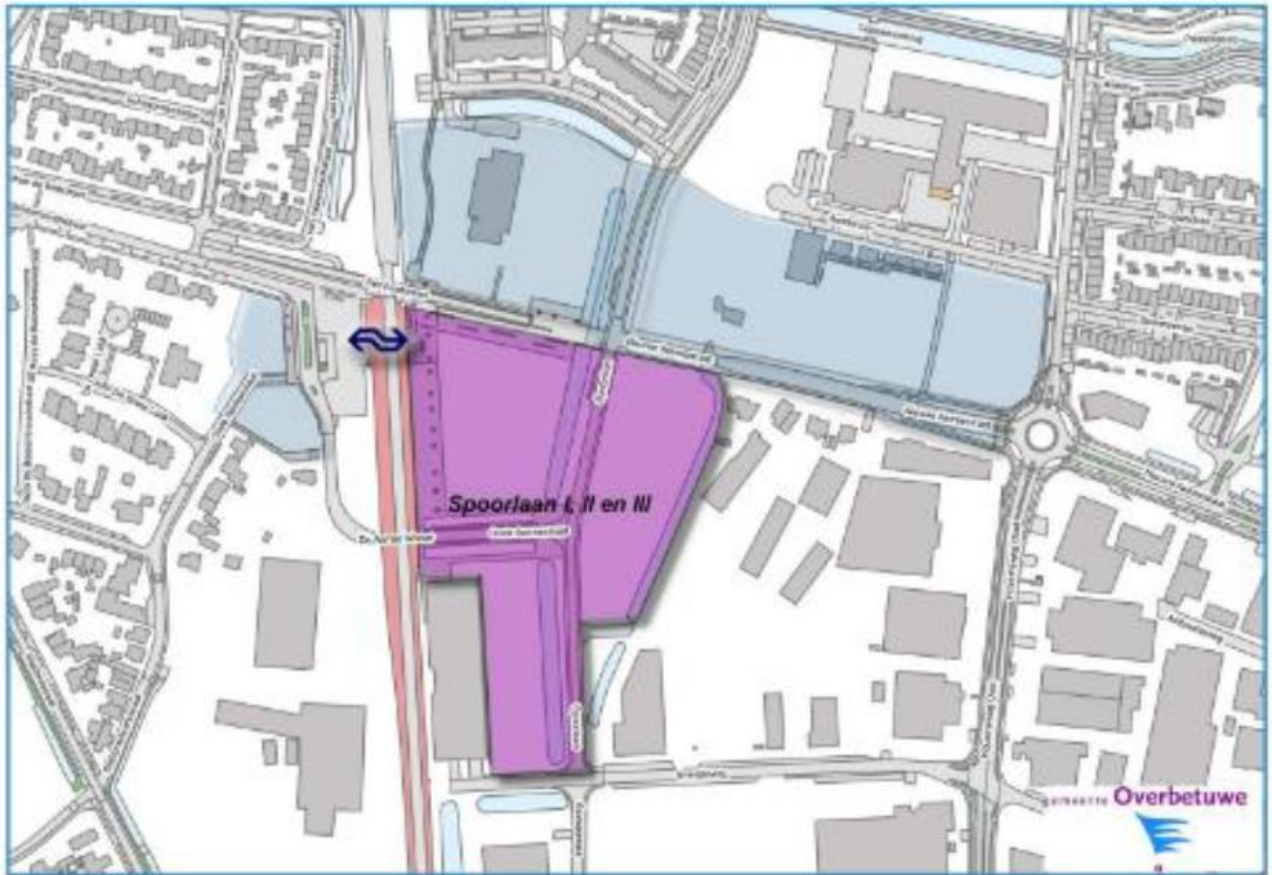
Onderdeel van de haalbaarheidsstudie is het inzichtelijk maken van de effecten vanwege trillingen door de passerende treinen op de nabijgelegen spoorlijn. Onderhavige notitie brengt hiervan verslag uit.

2 Situatie en massastudie

2.1 Situatie

Rijnstate wil zich vestigen op de locatie Spoorlaan. Deze locatie kent een gunstige ligging ten opzichte van de dorpskern Elst, het spoor en de uitvalswegen (A15, A325). Tevens zijn er parkeervoorzieningen aanwezig (P&R garage). Gezien de centrale ligging ten opzichte van dorpskern Elst heeft deze locatie de voorkeur voor het voorzien van in een ziekenhuisvoorziening.

In afbeelding 1 is de situatie van de locatie Spoorlaan grafisch weergegeven.



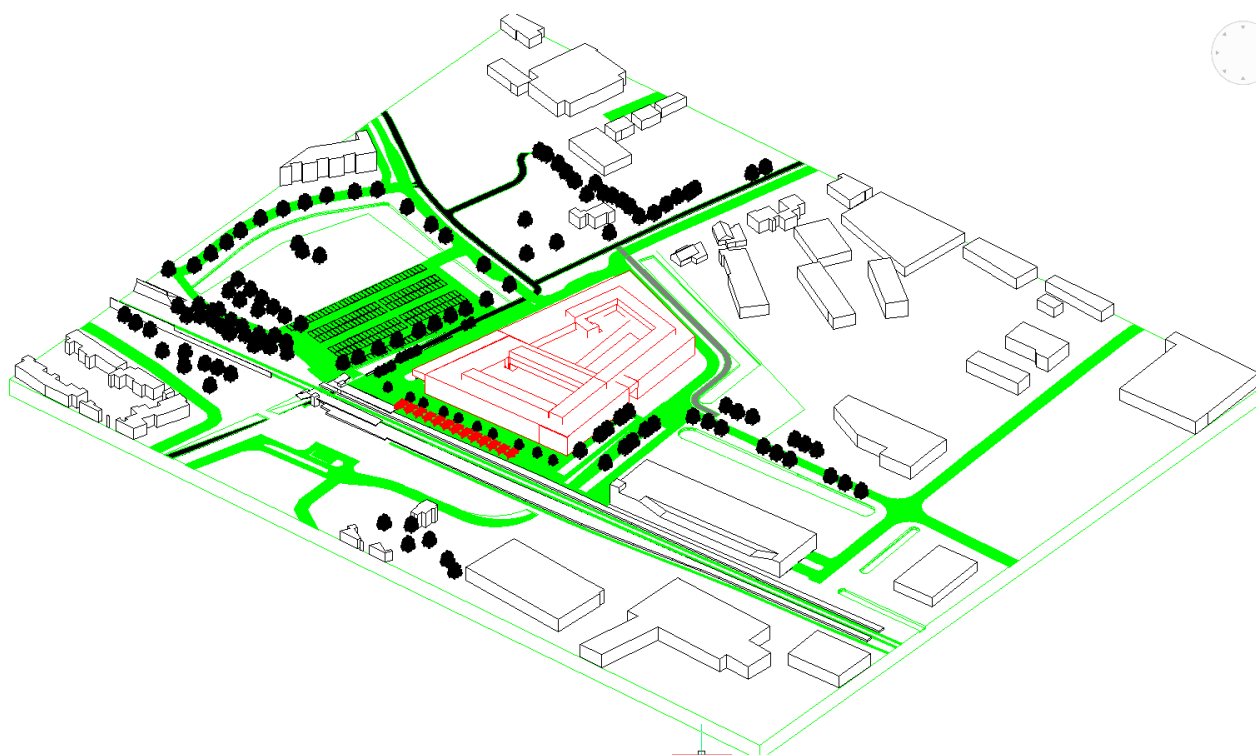
Afbeelding 1: Situatie locatie Spoorlaan

2.2 Massastudie

In het ontwerpproces bestaat de opgave uit op het ontwikkelen van een ziekenhuisvoorziening op Spoorlaan 1 & 3 waarbij de mogelijkheid wordt onderzocht om de weg (Spoorlaan) om te leggen. Voor het ontwerp liggen voorts de volgende uitgangspunten ten grondslag:

- Focus op poliklinische zorg met bijbehorende zorg en centra ondersteuning
- Ondersteunende functies (laboratoria en mogelijk kantoor) worden bij voorkeur in hetzelfde gebouw gehuisvest.
- Er wordt uitgegaan van het volgende programma:
 - Basis (fase 1): 15.000 m² bvo.
 - Uitbreiding (fase 2): 10.000 m² bvo.
 - Mogelijkheid tot tweede uitbreiding (fase 3): ca. 5.000 m² bvo.

Voormelde uitgangspunten hebben eind november 2019 geleid tot het volgende resultaat van de massastudie, zie afbeelding 2.



Afbeelding 2: Voorlopige massastudie

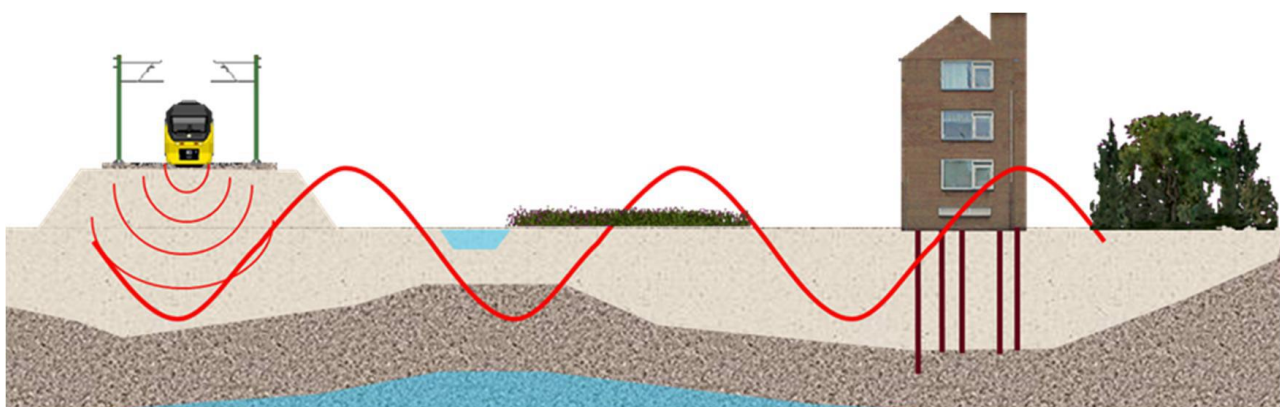
Het voorlopig ontwerp van het nieuwe ziekenhuis bestaat uit een drielaags bouwwerk, met op de vierde bouwlaag de technische installaties. In het gebouw zijn diverse functies opgenomen, zoals behandelruimten, laboratoria, verkeersruimten, kantoren en vergaderruimten.

Het ontwerp uit afbeelding 2 is als uitgangspunt gehanteerd in onderhavig rapport.

3 Trillingen

3.1 Algemeen

Railverkeer leidt tot een dynamische belasting van de bodem en daardoor tot trillingen in de omgeving. Navolgende afbeelding 3 geeft een schematische weergave van de trillingsbelasting op gebouwen nabij het spoor.



Afbeelding 3: Schematische weergave van de trillingsbelasting op gebouwen nabij het spoor

Bij de geplande ontwikkeling is sprake van een gebouw met zorgfunctie op circa 35 meter afstand tot het spoor (mede ingegeven vanuit het aspect externe veiligheid vanwege de aanwezigheid van een plasbrandaandachtsgebied).

3.2 Toetsingscriterium ter voorkoming van trillingshinder

In Nederland is voor de situaties als deze geen direct, wettelijk kader waaraan voldaan moet worden maar er moet uiteraard wel sprake zijn van een 'goede ruimtelijke ordening'. Om te bepalen of daarvan sprake is, wordt normaal gesproken de mate en aanvaardbaarheid van trillingshinder beoordeeld aan de hand van SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel B "Trillingen; hinder voor personen in gebouwen" (SBR-B). In de betreffende richtlijn zijn streefwaarden opgenomen ter voorkoming van trillingshinder waarbij ten aanzien van de toetsing het volgende is opgenomen:

"De streefwaarden ... zijn erop gericht om de hinder door trillingen te voorkomen of zoveel mogelijk te beperken. Overschrijding van deze streefwaarde dient dan ook zoveel mogelijk te worden vermeden. Indien de streefwaarden worden overschreden, dient dit de aanleiding te zijn voor overleg tussen de betrokken partijen. Afhankelijk van de omstandigheden ... kan vervolgens een afweging worden gemaakt of de te beoordelen trillingssterkte al dan niet acceptabel is."

Er is daarmee geen sprake van harde grenswaarden maar van streefwaarden die bij bepaalde omstandigheden overschreden mogen worden.

Uitgaande van de gebouwfunctie gezondheidzorg en herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd in een 'nieuwe' situatie, gelden de streefwaarden A_1 , A_2 , A_3 volgens tabel 2 van de richtlijn. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar drie periode binnen een etmaal: dagperiode 07:00-19:00 uur, avondperiode

19:00-23:00 uur, nachtperiode 23:00-07:00 uur. De streefwaarden zijn samengevat in onderstaande tabel 1 waarbij de streefwaarden A_1 en A_2 gelden voor de hoogst optredende trillingsterkte $V_{\max}$ en de streefwaarde A_3 geldt voor de over de beoordelingsperiode gemiddelde trillingssterkte V_{per} .

In principe moet voor een nieuw te realiseren gebouwen langs het spoor worden voldaan aan de streefwaarden voor 'nieuwe' situaties. In de praktijk resulteert dit veelal in aanzienlijke en kosten inefficiënte trilling reducerende maatregelen die in het ontwerp moeten worden getroffen. In sommige situaties wordt dan een verruiming van de streefwaarden geaccepteerd, 'richting' de streefwaarden voor 'bestaande' situaties. De streefwaarden voor 'bestaande' situaties zijn een factor 2x ruimer dan die voor 'nieuwe' situaties. Er zal dan wel enige mate van hinder optreden, maar die is voor 'bestaande' situaties waarvoor een zekere mate van gewenning wordt verondersteld, geaccepteerd. Of dit laatste voor een ziekenhuis wel van toepassing of wenselijk is, moet nader worden beoordeeld. Voor beide situaties zijn de streefwaarden samengevat in onderstaande tabel 1.

Tabel 1: SBR-B streefwaarden voor gebouwfunctie gezondheidszorg ten gevolge van railverkeer voor 'nieuwe' situaties en voor 'staande' situaties

Situatie	Dag- en avondperiode			Nachtperiode		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
Nieuwe situatie	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
Bestaande situatie	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1

Er is geen hinder door trillingen te verwachten als aan de streefwaarden wordt voldaan:

- $V_{\max} < A_1$ of als,
- $V_{\max} < A_2$ en $V_{\text{per}} < A_3$

3.3 Toetsingscriterium ter voorkoming van schade als gevolg van trillingen

Analoog aan het aspect hinder vanwege trillingen, is er evenmin een direct wettelijk kader waaraan voldaan moet worden ten aanzien van de kans van schade aan gebouwen vanwege trillingen, maar er moet uiteraard wel sprake zijn van een 'goede ruimtelijke ordening'. Om te bepalen of daarvan sprake is, wordt ter beoordeling van de kans van schade aan gebouwen vanwege trillingen normaal gesproken beoordeeld aan de hand van SBR meet- en beoordelingsrichtlijn deel A "Schade aan bouwwerken" (SBR-A). Anders dan SBR-B hanteert SBR-A wel grenswaarden, hetgeen betekent dat bij een overschrijding van die grenswaarde er een kans bestaat op schade.

Uitgaande van een metselwerk gebouw gefundeerd op palen, wordt het gebouw volgens de richtlijn ingedeeld in categorie 2. De fundering op palen wordt daarbij beoordeeld als 'niet trilling gevoelig'.

De karakteristieke grenswaarden V_{kar} voor categorie 2 zijn in de richtlijn weergegeven in figuur 2 met bijbehorende tabel. De rekenwaarde voor de trillingssterkte V_r wordt bepaald op basis van V_{kar} en de partiële veiligheidsfactor γ_t van 1,5 welke geldt voor herhaald voorkomende kortdurende trillingen, zoals ten gevolge van weg- en railverkeer:

$$V_r = \frac{V_{\text{kar}}}{\gamma_t}$$

Hierbij wordt de waarde van V_{kar} bepaald op de dominante trillingsfrequentie f_d .

Getoetst wordt de op het fundament hoogst optredende trillingssnelheid V_{top} in combinatie met de dominante trillingsfrequentie f_d . In de beoordeling is uitgegaan van een zogenaamde 'indicatieve' toetsing. Hierbij wordt alleen de trillingssterkte op de fundering beoordeeld en moet er rekening worden gehouden met een partiële veiligheidsfactor γ_v van 1,6. De te toetsen rekenwaarde van de trillingssnelheid V_d wordt dan:

$$V_d = V_{top} \times \gamma_v$$

De kans op schade door trillingen is niet waarschijnlijk (kleiner dan 1%) als $V_d < V_r$.

3.4 Gehanteerde werkwijze

Gedurende een aaneengesloten periode van één week, van 1 juli 2019 tot en met 8 juli 2019, zijn de trillingen gemeten op de geprojecteerde locatie van het nieuw te bouwen Rijnstate ziekenhuis te Elst. De bouwkaavel ligt ten oosten van het station Elst, tussen het spoor en de Nieuwe Aamsestraat, Oude Aamsestraat en Spoorlaan.

De trillingssterkte ten gevolge passerende treinen is gemeten op een afstand van circa 31 meter vanaf het meest nabijgelegen spoor. Deze afstand komt overeen met de kortste afstand tussen het spoor en toekomstige gebouw. De trillingen zijn gemeten in de drie hoofdrichtingen:

1. X horizontaal loodrecht op het spoor,
2. Y horizontaal evenwijdig aan het spoor,
3. Z verticaal.

De gemeten trillingssterkte is gebruikt om een eerste prognose te maken van de in de nieuwbouw te verwachten trillingen ten gevolge van het treinverkeer.

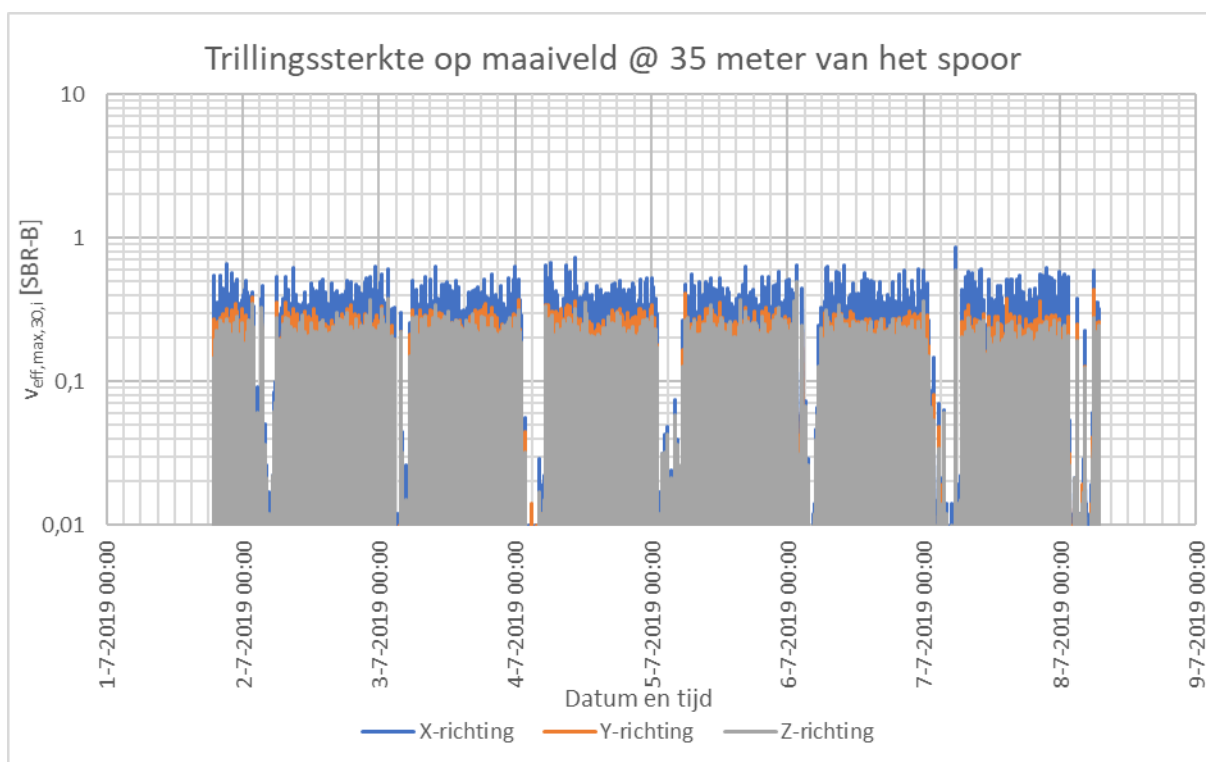
In de trilling prognose is uitgegaan van een gebouw met meerdere verdiepingen opgetrokken uit metselwerk en gefundeerd op palen. Als stramienmaat is uitgegaan van circa 7,2 x 7,2 m. De vloeren zijn uitgevoerd als bollenvloeren met een dikte van circa 320 mm op de begane grond en 280 mm op 1^e en hoger gelegen verdiepingen. De vloervelden zijn langs de randen op de stramienmaat als opgelegd beschouwd.

De sterkte van de geprognosticeerde trillingen is getoetst aan de grens-/streefwaarden uit de SBR-A en SBR-B.

4 Trillingsmetingen

4.1 Hinder vanwege trillingen (SBR-B)

De trillingsmetingen zijn uitgevoerd conform SBR-A en SBR-B. Gedurende een periode van een week, 1-8 juli 2019 zijn de trillingen op het maaiveld gemeten. De gemeten SBR-B trillingssterkte is samengevat in afbeelding 4.



Afbeelding 4: Gemeten SBR-B trillingssterkte op het maaiveld

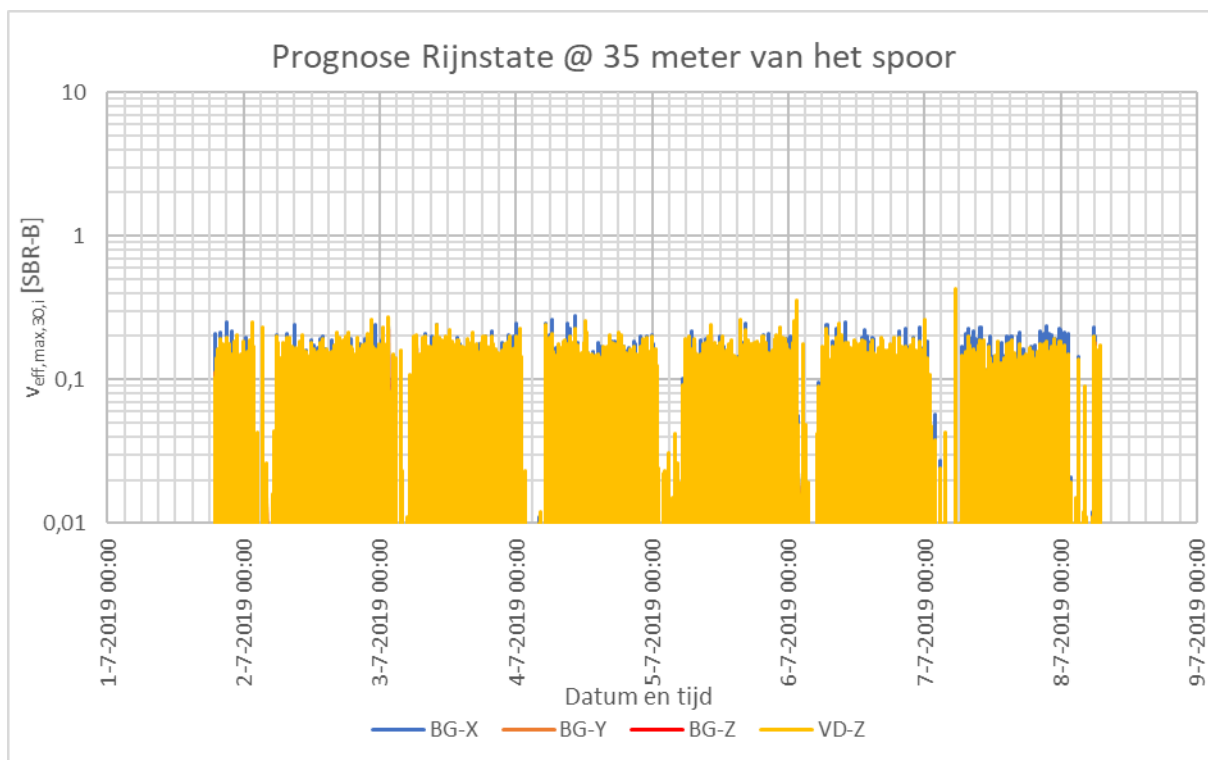
Afbeelding 4 laat zien dat de SBR-B trillingssterkte op het maaiveld rond 02:00 uur sterk afneemt tot onder 0,1 en tegen 06:00 uur weer toeneemt tot waarden van 0,2-0,9 gedurende het overige deel van het etmaal.

4.2 Trilling prognose

In de trilling prognose voor het Rijnstate ziekenhuis in Elst is uitgegaan van een frequentie afhankelijke trilling reductie voor de trilling overdracht van maaiveld op fundering: 0-12 dB. Voor de BG-vloer is een laagste eigenfrequentie berekend in de 25 Hz tertsband. Voor de vloeren van de 1^e en hoger gelegen verdiepingen ligt de laagste eigenfrequentie in de 20 Hz tertsband. Voor beide type vloeren is uitgegaan van maximaal 10 dB trilling versterking bij resonantie op de laagste eigenfrequentie. Als input voor de prognose is de op het maaiveld gemeten trillingssterkte gebruikt.

4.3 Hinder SBR-B

De trilling prognose voor het Rijnstate ziekenhuis, gelegen op een afstand van circa 35 meter van het meest nabij gelegen spoor, is samengevat in afbeelding 5.



Afbeelding 5: Prognose SBR-B trillingssterkte Rijnstate

Afbeelding 5 laat zien dat de (SBR-B) trillingssterkte in het Rijnstate op de BG in X-richting en op de verdiepingen in Z-richting het hoogst zijn, een niveau rond 0,2 met maxima tot circa 0,45 voor de 1^e en hoger gelegen verdiepingvloeren. De maxima treden veelal op aan het begin en einde van de nachtperiode, rond 23:00 uur en 06:00 uur. De prognoseresultaten zijn in onderstaande tabel 2 samengevat en getoetst aan de streefwaarden voor 'nieuwe' situaties en in tabel 3 getoetst aan de streefwaarden voor 'bestaande' situaties.

Tabel 2: Trillingssterkte Rijnlandziekenhuis getoetst aan streefwaarden voor 'nieuwe' situaties

PROGNOSE HINDER, SBR-B (juli 2006)	STREEFWAARDE SBR-B								
Beoordelingsperiode	Dag			Avond			Nacht		
Streefwaarde voor	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃	A ₁	A ₂	A ₃
Gezondheidszorg, Situatie: Nieuw	0,1	0,4	0,05	0,1	0,4	0,05	0,1	0,2	0,05
BG, V _{max} & V _{per}	0,37		0,055	0,33		0,059	0,46		0,035
Maatgevende richting	X			X			Z		
Toets BG:	HINDER			HINDER			HINDER		
VD, V _{max} & V _{per}	0,34		0,063	0,34		0,062	0,55		0,042
Maatgevende richting	Z			Z			Z		
Toets VD:	HINDER			HINDER			HINDER		

Uit tabel 2 volgt dat de gedurende de dag- en avondperiode, de trillingssterkte $V_{\max}$ hoger is dan de streefwaarde A_1 van 0,1 maar lager is dan de streefwaarde A_2 van 0,4. In dat geval moet V_{per} worden getoetst aan de streefwaarde A_3 . De berekende waarden voor V_{per} liggen tussen 0,055 en 0,063 en zijn daarmee hoger dan de streefwaarde A_3 van 0,05. Verder is gedurende de nachtperiode $V_{\max}$ groter dan de streefwaarde A_2 van 0,2.

Op basis van de streefwaarden voor 'nieuwe' situaties is er in het Rijnstate ziekenhuis gedurende de zowel de dag- en avondperiode als in de nachtperiode, hinder door trillingen van passerende treinen te verwachten.

Tabel 3: Trillingssterkte Rijnlandziekenhuis getoetst aan streefwaarden voor 'bestaande' situaties

PROGNOSE HINDER, SBR-B (juli 2006)	STREEFWAARDE SBR-B								
Beoordelingsperiode	Dag			Avond			Nacht		
Streefwaarde voor	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
Gezondheidszorg, Situatie: Bestaand	0,2	0,8	0,1	0,2	0,8	0,1	0,2	0,4	0,1
BG, $V_{\max}$ & V_{per}	0,37		0,055	0,33		0,059	0,46		0,035
Maatgevende richting	X			X			Z		
Toets BG:	GEEN HINDER			GEEN HINDER			HINDER		
VD, $V_{\max}$ & V_{per}	0,34		0,063	0,34		0,062	0,55		0,042
Maatgevende richting	Z			Z			Z		
Toets VD:	GEEN HINDER			GEEN HINDER			HINDER		

Uit tabel 3 volgt dat de gedurende de dag- en avondperiode, de trillingssterkte $V_{\max}$ hoger is dan de streefwaarde A_1 van 0,2 maar lager is dan de streefwaarde A_2 van 0,8. In dat geval moet V_{per} worden getoetst aan de streefwaarde A_3 . De berekende waarden voor V_{per} liggen tussen 0,055 en 0,063 en zijn daarmee lager dan de streefwaarde A_3 van 0,1 voor 'bestaande' situaties.

Gedurende de nachtperiode is $V_{\max}$ groter dan de streefwaarde A_2 van 0,4 terwijl V_{per} met een berekende waarde van 0,035-0,042 lager is dan de streefwaarde A_3 van 0,1.

Nadere analyse van de prognoseresultaten voor de nachtperiode laat zien dat er over een periode van één week slechts in één nachtperiode een trillingssterkte $V_{\text{eff,max,30,i}}$ kortstondig groter is dan A_2 .

Op basis van de streefwaarden voor 'bestaande' situaties is er in het Rijnstate ziekenhuis gedurende de dag- en avondperiode geen hinder door trillingen van treinen te verwachten en is er in de nachtperiode slechts zeer beperkt –één nacht per week kortstondig en eenmalig– hinder door trillingen van een passerende treinen te verwachten.

Overwogen kan worden om de te hanteren streefwaarden te verruimen van die voor 'nieuwe' situaties naar c.q. in de richting van die voor 'bestaande' situaties. Er is dan wel enige mate van hinder te verwachten, maar die wordt voor 'bestaande' situaties waarin een zekere mate van gewenning wordt verondersteld, geaccepteerd. Of dit laatste voor een ziekenhuis van toepassing of wenselijk is, moet dan nader worden beoordeeld.

4.4 Maatregelen

Als verruiming van de streefwaarden geen optie is, dan moeten trilling reducerende maatregelen worden getroffen in het ontwerp van het gebouw. Gedacht kan worden aan:

- het tegen trillingen isoleren van het fundament en/of;
- het trilling geïsoleerd opstellen van het gebouw op het fundament en/of;
- het verstijven van de vloeren.

Een andere optie om de trillingen in het Rijnstate ziekenhuis te reduceren is het vergroten van de afstand tussen gebouw en het spoor. Als indicatie hiervoor geldt dat bij een afstand van circa 60 meter, de trillingssterkte zodanig afneemt dat er, gerekend over een periode van één week, slechts twee nachtperiodes zijn te verwachten waarin de trillingssterkte $v_{\text{eff,max},30,i}$ kortstondig en eenmalig hoger is dan de streefwaarde A_2 voor 'nieuwe' situaties. De gemiddelde trillingssterkte V_{per} over de nachtperiodes blijft met 0,013-0,020 ruim lager dan de streefwaarde A_3 van 0,05 voor 'nieuwe' situaties.

4.5 Schade SBR-A

Uit de geprognosticeerde trillingen zijn de hoogste trillingssnelheid V_{top} en de dominante frequentie f_d bepaald en getoetst aan de grenswaarden voor schade. Onderstaande tabel 4 geeft een samenvatting van de resultaten. Uit de toets volgt dat de kans op schade door trillingen ten gevolge van treinen niet waarschijnlijk is (kleiner dan 1%).

Tabel 4: Trillingssnelheid V_{top} en dominante frequentie f_d op fundament Rijnlandziekenhuis getoetst aan SBR-A grenswaarden

PROGNOSE SCHADE, SBR-A (juli 2006):	PROGNOSE BEGANE GROND				GRENSWAARDE SBR-A	
	V_{top} :	0,82	mm/s	X-richt.	F_{dom} :	12,5 Hz
Indicatieve prognose:	γ_v :	1,6		Herhaald koertdurend, weg-railverke		
	V_d :	1,31	mm/s		γ_t :	1,5
					V_t :	3,53 mm/s
Toets:	$V_d < V_t$: Geen kans op schade door trillingen					

5 Conclusie

Het Rijnstate ziekenhuis doet een haalbaarheidsonderzoek naar een vestiging in de gemeente Overbetuwe, bij voorkeur op de Spoorlaan te Elst. Volgens de gemeente Overbetuwe is een ziekenhuisfunctie een goede aanvulling op de aanwezige voorzieningen in Elst.

Onderdeel van de haalbaarheidsstudie is het inzichtelijk maken van de effecten vanwege trillingen door de passerende treinen op de nabijgelegen spoorlijn.

Uit het onderzoek blijkt dat de kans op schade door trillingen ten gevolge van treinen niet waarschijnlijk is (kleiner dan 1%) en is daarmee aanvaardbaar.

Ten aanzien van het aspect hinder blijkt dat bij een beoordeling aan de streefwaarden voor nieuwe situaties in alle etmaalperioden hinder door trillingen van passerende treinen te verwachten is. Ingeval de beoordeling wordt uitgevoerd aan streefwaarden voor bestaande situaties gedurende de dag- en avondperiode geen hinder door trillingen van treinen te verwachten is en in de nachtperiode is slechts zeer beperkt –één nacht per week kortstondig en eenmalig– hinder door trillingen van een passerende treinen te verwachten. Overwogen kan worden om de te hanteren streefwaarden te verruimen van die voor ‘nieuwe’ situaties naar c.q. in de richting van die voor ‘bestaande’ situaties. Er is dan wel enige mate van hinder te verwachten, maar die wordt voor ‘bestaande’ situaties waarin een zekere mate van gewenning wordt verondersteld, geaccepteerd. Of dit laatste voor een ziekenhuis van toepassing of wenselijk is, moet dan nader worden beoordeeld.

Als verruiming van de streefwaarden geen optie is, dan moeten trilling reducerende maatregelen worden getroffen in het ontwerp van het gebouw. Gedacht kan worden aan:

- het tegen trillingen isoleren van het fundament en/of;
- het trilling geïsoleerd opstellen van het gebouw op het fundament en/of;
- het verstijven van de vloeren.

Cauberg Huygen B.V.

mr. ing. M.J.M. Blankvoort
Senior Adviseur