

Briefrapport

Retouradres: Postbus 155, 2600 AD Delft

Prorail
Tulpenburgh II 1.63
T.a.v. M. Poos
Postbus 2038
3500 GA UTRECHT

**Onderwerp**

Schade aan gebouwen door spoorwegtrillingen

Geachte heer Poos,

Naar aanleiding van uw vraag aan TNO om te duiden bij welke trillingsniveaus (veroorzaakt door treinverkeer) er sprake kan zijn van het optreden van constructieve schade (schade waarbij mogelijk veiligheidsrisico's optreden), rapporteer ik u over de bevindingen.

De vraagstelling is onderverdeeld in de volgende vier deelvragen:

Deelvraag 1: Omschrijving van niveaus van schades in termen van cosmetisch, functioneel, constructief.

Deelvraag 2: Nadere duiding wat onder veiligheidsrisico's wordt verstaan.

Deelvraag 3: Op basis van (internationale) literatuur vaststellen bij welke trillingsniveaus sprake kan zijn van constructieve schade. Hierin tevens meenemen welke waarnemingen er in kader van SBR-A traject en in kader van ontwikkeling schadeprotocol voor Prorail beschikbaar zijn.

Deelvraag 4: Wat is de kans dat bij de langs het traject verwachte optredende trillingsniveaus constructieve schade optreedt. Deze vraag heeft betrekking op het deel van het traject bij Vught en 's-Hertogenbosch.

De beantwoording is gebaseerd op beschikbare kennis bij TNO, die is verzameld bij het onderzoek naar de updates van de SBR Richtlijn A (in 2017) en van het Prorail schadeprotocol (in 2020). Hierover is gerapporteerd in de volgende referenties:

- TNO Rapport TNO-2016-R10863: Herziening SBR Richtlijn A: Literatuurstudie
- TNO 2016 R11734 Kans op Schade bij Trillingen - Evaluatie Database Praktijkdata
- TNO 2020 R10620: A revision of ProRail's damage-protocol on train induced vibration in the light of new measurement data
- C.J. Ostendorf, C.P.W. Geurts, E. Mureau: Schadeprotocol trillingen Versie 2020, Cauberg Huygen

Buildings, Infrastructure & Maritime

Stieltjesweg 1
2628 CK Delft
Postbus 155
2600 AD Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00

Datum

19 juli 2021

Onze referentie

TNO 2021 M11346

E-mail

chris.geurts@tno.nl

Doorkiesnummer

+31888663162

Projectnummer

060.48530/01.04.01

Op opdrachten aan TNO zijn de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, zoals gedeponeed bij de Griffie van de Rechtbank Den Haag en de Kamer van Koophandel Den Haag van toepassing. Deze algemene voorwaarden kunt u tevens vinden op www.tno.nl.
Op verzoek zenden wij u deze toe.

Datum

19 juli 2021

Onze referentie

TNO 2021 M11346

Blad

2/8

Daarnaast heeft Prorail informatie toegestuurd over de trillingsniveaus die verwacht worden in Vught en 's-Hertogenbosch zuid, ten behoeve van de beantwoording van deelvraag 4.

Deelvraag 1: Omschrijving van schades

Schade aan gebouwen door trillingen manifesteert zich doorgaans als scheurvorming in metselwerk. Gesteld kan worden dat alle metselwerk in verloop van tijd in lichte mate gescheurd zal zijn vanwege invloeden van temperatuur en vocht. Vaak worden deze scheuren niet of nauwelijks opgemerkt. Scheuren in metselwerk kunnen worden geclassificeerd naar hun afmetingen en effect dat deze hebben op de prestatie van de gevel en de mate waarin de scheuren repareerbaar zijn. Een classificatie die internationaal veel wordt gebruikt is die van Burland [BRE, 1995]. Deze is hieronder vertaald en in tabelvorm weergegeven. Onderscheid wordt gemaakt in drie categorieën schade: Esthetisch, Functioneel en Constructief. Schade kan als esthetisch worden aangemerkt als deze zichtbaar is, maar niet het functioneren van het metselwerk (als bouwfysische buffer tegen weer en wind of constructief dragend) vermindert. Deze schade wordt ook wel cosmetische schade genoemd. Bij functionele schade worden de primaire functies van het metselwerk nadelig beïnvloed. Van constructieve schade is sprake als de constructieve samenhang in het geding is. Als constructieve schade aanwezig is en verergert kan dit van invloed zijn op de constructieve veiligheid. In het algemeen geldt dat esthetische schade eenvoudig repareerbaar is, functionele schade vraagt om uitgebreidere maatregelen en bij constructieve schade moeten vaak delen van het metselwerk worden vervangen.

Naast deze schade classificatie bestaan er meerdere indelingen om schades in metselwerk te classificeren. Deze gebruiken vrijwel alle de scheurwijdte en/of lengte als maat voor de klasse indeling, en komen daarom alle in meer of mindere mate overeen met die van Burland, waarvan de classificatie wordt gebruikt als basis voor de beantwoording van de overige deelvragen.

Datum
19 juli 2021

Onze referentie
TNO 2021 M11346

Blad
3/8

Schade-categorie	Schade-klasse	Omschrijving	Scheurwijdte (metselwerk)	Karakterisering schadebeeld
	0	Verwaarloosbaar	< 0,1 mm	Haarscheurtjes
Esthetisch (cosmetisch)	1	Zeer licht	0,1 tot 1 mm	Enige scheurvorming in metselwerk. Kleine scheuren, meestal beperkt tot pleisterwerk, die eenvoudig kunnen worden weggewerkt.
	2	Licht	tot 5 mm	Scheuren kunnen aan de buitenzijde zichtbaar zijn en kunnen tot vochtdoorslag leiden. Deuren en ramen klemmen licht. Geringe scheurvorming, kan eenvoudig hersteld worden.
Functioneel	3	Matig	5 tot 15 mm, of meerdere scheuren > 3 mm	Deuren en ramen klemmen. Mogelijke schade aan nutsaansluitingen. Vochtdoorslag mogelijk. Scheuren zijn zodanig dat metselwerk dient te worden hersteld
	4	Ernstig	15-25 mm, Ook afhankelijk van het aantal scheuren	Bruikbaarheid en toegankelijkheid ernstig aangetast. Voelbare scheefstand. Herstel vergt vervanging van muurdelen en andere constructieve elementen.
Constructief	5	Zeer ernstig	> 25 mm, hangt van aantal af	Instortingsgevaar. Volledige renovatie noodzakelijk.

In SBR Richtlijn A wordt in een toelichtende tekst een kwalitatieve omschrijving gegeven van schades gerelateerd aan de mogelijke gevolgen, zie onderstaande kader.

Datum
19 juli 2021

Onze referentie
TNO 2021 M11346

Blad
4/8

Schade aan een bouwwerk kan de veiligheid en/of levensduur van het bouwwerk beïnvloeden of leiden tot een vermindering van de gebruikswaarde of de economische waarde van het bouwwerk. 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:

- a. een verlies van functie, zoals het bezwijken van dragende onderdelen waardoor mogelijk de constructieve veiligheid in het geding komt;
- b. een vermindering van de integriteit van het onderdeel of van het bouwwerk als geheel met betrekking tot zijn dragende functie, waarbij sprake is van een significante vermindering van de veiligheid op de korte of langere termijn (vermindering van de verwachte levensduur);
- c. het bezwijken van onderdelen van het bouwwerk die weliswaar niet tot de draagconstructie behoren (zoals niet dragende scheidingswanden, plafonds, ornamenten en dergelijke), maar waarvan het bezwijken de veiligheid van personen die zich in of nabij het bouwwerk bevinden, in gevaar kan brengen;
- d. een vermindering van de economische waarde of van de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in metselwerk, bekledingen van constructiedelen, afwerkklagen of betegeling zonder dat daarbij de veiligheid van personen die zich in of nabij het bouwwerk bevinden, in gevaar komt.

De beschrijving van SBR Richtlijn A is gerelateerd aan de mogelijke gevolgen, wat verschilt van de beschrijving van Burland, die is ingedeeld naar de mate waarin reparatie nodig is. In het algemeen geldt dat schade waarbij alleen de gevolgen onder punt d van SBR-A van toepassing zijn, makkelijk repareerbaar is en onder esthetische schade kan worden geschaard. Bij de gevolgen onder a is waarschijnlijk sprake van schadeklasse 4 of 5 volgens Burland. De onder b genoemde gevolgen zijn voorbeelden van functionele schade, die vaak gerelateerd is aan lange termijn effecten.

Deelvraag 2: Veiligheidsrisico's

Schades aan de constructie van gebouwen kunnen in potentie een risico vormen voor de veiligheid van de gebruikers van een gebouw. Bij het optreden van constructieve schade is sprake van een vermindering van draagkracht omdat de constructieve samenhang is verminderd. Als deze schade zich verder doorzet neemt het gevaar voor falen van de constructie toe.

Als door falen van een (deel van een) constructie de kans ontstaat op letsel of overlijden van gebruikers is het gebouw onveilig. Het ontstaan van constructieve schade zoals in de tabel van Burland weergegeven betekent nog niet direct een veiligheidsrisico maar kan dat op korte termijn wel worden. Geadviseerd wordt om bij het constateren van constructieve schade direct over te gaan tot herstel en tot het wegnemen van de oorzaken die tot deze schade hebben geleid.

Deelvraag 3: Trillingsniveaus en constructieve schade.

De relatie tussen trillingsniveaus en mogelijke schade aan gebouwen is in het kader van de ontwikkeling van SBR Richtlijn A in 2017 nader bestudeerd. In een literatuuronderzoek is een overzicht gegeven van de beschikbare kennis. Daarnaast is een database opgezet op basis waarvan de kans op schade gegeven een trillingsniveau is bepaald.

De meeste informatie uit de beschikbare literatuur betreffen de trillingsniveaus voor het ontstaan van schade. Dit betreft dan het ontstaan van esthetische (ook wel cosmetische) schade. Vele landen hebben eigen richtlijnen ontwikkeld voor grenswaarden aan trillingen te stellen in relatie tot schade aan gebouwen.

In het frequentiegebied tot 10 Hz is een V_{top} van 5 mm/s de laagst genoemde waarde in de meeste richtlijnen, waarbij de meeste richtlijnen stapsgewijs per

Datum
19 juli 2021

Onze referentie
TNO 2021 M11346

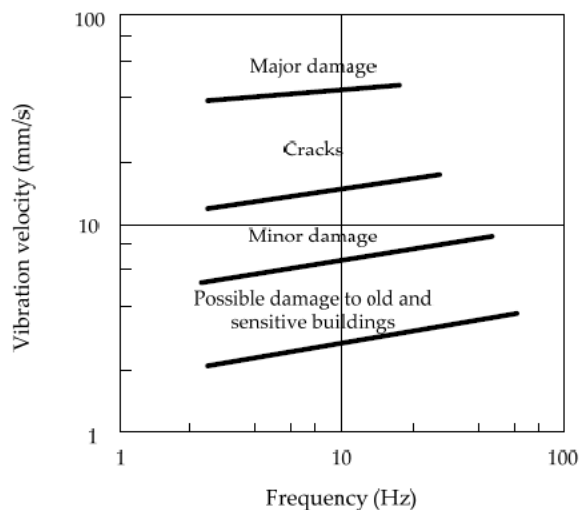
Blad
5/8

frequentieinterval een hogere waarde toelaten. Dit komt overeen met de grenswaarden van de SBR Richtlijn.

Opgemerkt wordt dat deze grenswaarden in de meeste internationale richtlijnen afgeleid zijn van explosiebelastingen (mijnbouwgerelateerd) en daarom van toepassing zijn op kortdurende trillingen. Sommige richtlijnen geven aanvullende strengere eisen voor continue trillingen. SBR-A heeft grenswaarden die overeenkomen met die van Duitsland (DIN 4150, deel 3). Voor continue trillingen worden de grenswaarden in SBR-A door 2,5 gedeeld. SBR Richtlijn A kent behalve kortdurend en continue ook herhaald kortdurend als type trilling. SBR-A maakt ook onderscheid in niet-trillingsgevoelige en trillingsgevoelige gebouwen. SBR-A geeft een procedure om te bepalen of een gebouw trillingsgevoelig is. Indien gebouwen als trillingsgevoelig worden aangemerkt, wordt een extra factor 1,7 gehanteerd. Deze factor komt in andere richtlijnen niet voor. Daar worden de grenswaarden van toepassing verklaard op trillingsgevoelige gebouwen. SBR-A kan gezien worden als een van de strengste richtlijnen voor trillingen gerelateerd aan schade.

Voor de relatie tussen trillingsniveaus en meer ernstige schade (functioneel dan wel constructief) is weinig informatie voorhanden in de literatuur.

[Deckner, 2013] heeft een inventarisatie gemaakt van criteria, gerelateerd aan trillingen door heien. Zij vond in (Zweedse) literatuur onderstaande figuur, die de relatie aangeeft tussen verschillende schadetoestanden en de trillingsnelheid en frequentie.



In deze figuur is bij een frequentie < 5Hz een trillingsnelheid van 2 mm/s een ondergrens voor ontstaan van schade aan een gevoelig gebouw. Lichte schade en scheurvorming ontstaan bij waarden vanaf 5 mm/s. Voor 'Major Damage' wordt een grens van 40 mm/s aangeduid. Het is voor deze referentie niet duidelijk omschreven wat onder deze categorie wordt verstaan.

In BS 7385-2 zijn bijgaande definities van cosmetic, minor en major gegeven.

Datum
19 juli 2021

Onze referentie
TNO 2021 M11346

Blad
6/8

9.9 Description of damage

For the purposes of this International Standard, the damage is classified into the following categories:

— **Cosmetic**

The formation of hairline cracks²⁾[21] on drywall surfaces, or the growth of existing cracks in plaster or drywall surfaces; in addition, the formation of hairline cracks in mortar joints of brick/concrete block construction.

— **Minor**

The formation of large cracks or loosening and falling of plaster or drywall surfaces, or cracks through bricks/concrete blocks.

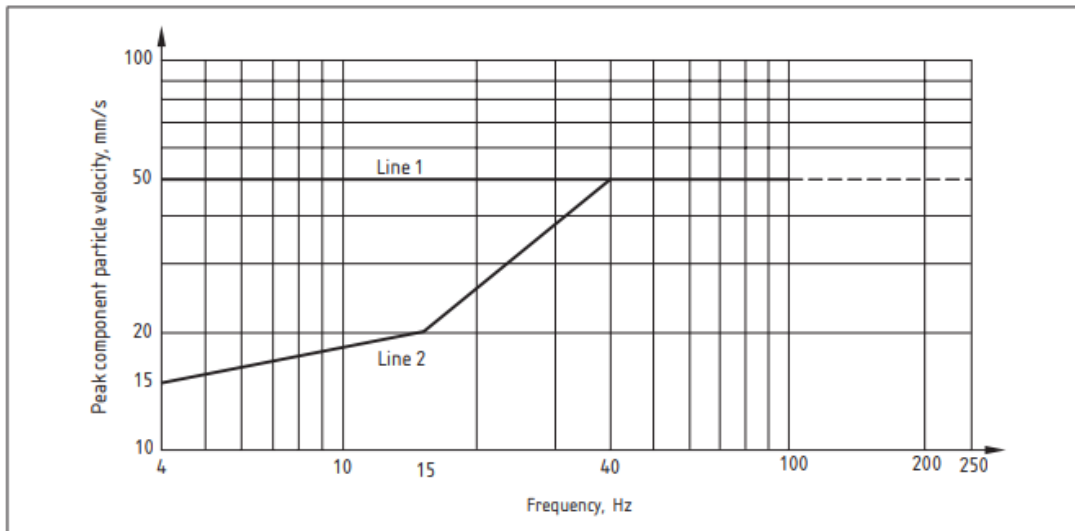
— **Major**

Damage to structural elements of the building, cracks in support columns, loosening of joints, spalling of masonry cracks, etc.

In BS 5228-2 zijn vervolgens criteria gegeven voor zowel *cosmetic*, *minor* en *major damage* als volgt:

Voor cosmetische schade is bijgaande figuur van toepassing. 'Line 1' is van toepassing voor beton en hout. 'Line 2' geldt voor metselwerk. Deze lijn voor metselwerk is strenger dan die voor beton en hout. Wat opvalt is dat deze grenswaarden hoger liggen (minder streng zijn) dan de grenswaarden uit SBR Richtlijn A. Deze richtlijn geeft echter meer duiding aan grenswaarden te hanteren voor '*minor*' en '*major damage*'.

Figure B.1 Transient vibration guide values for cosmetic damage



Voor het ontstaan van *minor damage* is de grenswaarde een factor 2 boven de lijnen 1 en 2 in de figuur. Voor *major damage* is de grenswaarde een factor 4 boven die in de figuur. Dit betekent dat voor metselwerk in BS 5288 grenswaarden voor constructieve schade worden gegeven die vanaf 60 mm/s bij 4Hz lopen.

Datum
19 juli 2021

Onze referentie
TNO 2021 M11346

Blad
7/8

BS 5228 geeft aan dat deze grenswaarden bedoeld zijn voor kortdurende trillingen. Bij continue trillingen wordt een reductie van 50% van deze grenswaarden aanbevolen. Er is geen afzonderlijke categorie 'herhaald kortdurend' in deze norm.

Dit betekent dat *major damage* veroorzaakt door een continue trilling kan ontstaan vanaf een waarde van $15 \times 2 \times 2 \times 0,5 = 30$ mm/s bij een frequentie van 4 Hz en dat deze waarde hoger wordt bij hogere frequenties. Aangenomen kan worden dat BS5228 voor treinverkeer uitgaat van een continue trilling. Deckner (2013) gaf een waarde van 40 mm/s voor heitruillingen, wat qua orde grootte overeenkomt.

Op basis van deze referenties wordt aangehouden dat een waarde van 30 mm/s een ondergrenswaarde is voor het mogelijk kunnen ontstaan van constructieve schade aan gebouwen door treinverkeer.

Waarnemingen in beschikbare databases

In het kader van de update van de SBR Richtlijn in 2017 en voor de update van het schadeprotocol van Prorail in 2020 zijn metingen van trillingen ten gevolge van treinverkeer verzameld en gebruikt als basis voor verdere analyses.

De in deze database gemeten waarden liggen in het bereik tussen 0 en 5 mm/s. In geen van de beschikbare data werd een waarde hoger dan 5 mm/s gevonden. Bij verwerking van deze metingen volgens SBR-A worden meerdere overschrijdingen gevonden, en er is bij de betreffende casussen dus ook een kans op schade. Voor zover er aantoonbaar schade is geconstateerd in deze casussen betreft het esthetische/cosmetische schade: lichte scheurvorming (schadeklasse 1 en 2). De waargenomen trillingsniveaus liggen alle ver onder de hierboven gegeven grenswaarde voor constructieve schade (van 30 mm/s). In deze databases is geen constructieve schade gerapporteerd.

Deelvraag 4: Kans op constructieve schade bij Vught en 's-Hertogenbosch zuid

Door Prorail zijn waarden van de trillingsniveaus overlegd nabij het spoor aan verschillende adressen in Vught. Deze zijn in een Excel bestand weergegeven. Dit betreft predicties gemaakt voor Prorail door derden.

De waarden geven een inschatting op de kans dat er schade optreedt als gevolg van overschrijding van de grenswaarden. De hoogst gemeten waarden in deze predicties liggen in de orde van 2 à 3 mm/s. Na verrekening van de van toepassing zijnde factoren uit SBR Richtlijn A wordt in meerdere locaties een overschrijding gevonden van de grenswaarden uit SBR Richtlijn A. Er moet dus rekening gehouden worden met het mogelijk optreden van schade.

De voorspelde waarden liggen ten minste een factor 10 lager dan waarden die in de literatuur worden aangegeven voor het ontstaan van constructieve schade.

Hieruit wordt geconcludeerd dat er weliswaar een kans op esthetische, makkelijk repareerbare, schade is, maar dat er geen veiligheidsrisico's zijn bij het optreden van de voorspelde trillingssnelheden.

Conclusie

Op basis van de voorspelde trillingssnelheden kan worden vastgesteld dat er een overschrijding is van de SBR-A grenswaarden die kan leiden tot esthetische

schade. De kans dat dit tot constructieve schade aan een van de gebouwen kan leiden wordt verwaarloosbaar geacht.

Referenties

BRE, 1995, Assessment of damage in low-rise buildings, BRE Digest 251, 1995, Building Research Establishment.

Deckner F. Ground vibrations due to pile and sheet pile driving – influencing factors, predictions and measurements. KTH; 2013.

SBR, 2017; SBR Trillingsrichtlijn A; Schade aan bouwwerken: 2017.

Hoogachtend,

C.P.W. Geurts
Senior Research Consultant

M.P.M. Rhijnsburger
Project Manager

T.G.H. Basten
Research Manager Structural Dynamics

Datum

19 juli 2021

Onze referentie

TNO 2021 M11346

Blad

8/8