

Leeghwaterstraat 44
2628 CA Delft
Postbus 6012
2600 JA Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00
F +31 88 866 06 30

TNO-rapport

TNO 2019 R10923

Trilafeltesten uit-het-vlak wandelementen: Fischer proefstuk en Referentie proefstukken

Datum	5 juli 2019
Auteur(s)	A.J. Bronkhorst S.A. Verdenius
Aantal pagina's	75 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	7
Opdrachtgever	Fischer BV i.s.m. TNO met ondersteuning van TKI Deltatechnologie
Projectnaam	TKI Aardbeving bestendig bouwen
Projectnummer	060.20730

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Samenvatting

In het kader van de ontwikkeling van een test- en beoordelingsprocedure voor bepaling van het effect van nieuwe gevelproducten en versterkingsmaatregelen op de aardbevingsbestendigheid van gebouwen heeft TNO testen uitgevoerd op een dragend gevelement. Doelen van deze testen waren: (1) de ontwikkeling van een testprocedure voor dynamische testen voor bepaling van uit-het-vlak gedrag van een gevelement, (2) data voor kalibratie van een rekenmodel, en (3) vergelijking van de testresultaten van verschillende gevelproducten met een referentie.

Dit rapport beschrijft de triltafeltesten uitgevoerd op het proefstuk van Fischer en twee referentie proefstukken (R1 en R2). Op elk proefstuk zijn testen uitgevoerd in een begane grond en 1^e verdieping configuratie. Na een aantal aardbevingstesten bij een bepaalde intensiteit werden hamertesten en een schade-inspectie uitgevoerd, om inzicht te krijgen in de schade ontwikkeling en verandering in de dynamische eigenschappen.

In fase 1 weerstonden alle proefstukken de testen tot en met het Gr-1 (100%) signaal met een PTA $\approx 0,25$ g. Op geen van de proefstukken is tot dit signaal schade waargenomen in de schade inspecties. De referentie proefstukken vertoonden lineair elastisch gedrag tot een PTA $\approx 0,4$ (Referentie 1) en PTA $\approx 0,6$ g (Referentie 2). Het Fischer proefstuk gedroeg zich lineair elastisch tot een PTA $\approx 0,5$ g. De effectieve stijfheid van de twee referentie proefstukken kwam redelijk overeen, de effectieve stijfheid van het Fischer proefstuk was ongeveer een factor 2 kleiner. Voor alle proefstukken nam de effectieve stijfheid geleidelijk af met een toename in piek tafelversnelling (PTA). Met toenemende PTA was ook een afname in de eigenfrequentie van alle proefstukken waarneembaar.

In fase 2 weerstonden alle proefstukken de testen tot en met het Gr-2 (100%) signaal met een PTA = 0,43 g. De referentie proefstukken vertoonden in deze fase lineair elastisch gedrag tot een PTA $\approx 0,2$ (Referentie 1) en PTA $\approx 0,5$ g (Referentie 2). Het Fischer proefstuk gedroeg zich lineair elastisch tot een PTA $\approx 0,3$ g. Hoewel proefstuk R2 pas bij een hogere PTA dan R1 niet-lineair gedrag vertoonde, weerstonden beide proefstukken ongeveer dezelfde maximum PTA van 0,7 g. Het verschil in hechtingsoppervlak tussen proefstuk R1 (massief buitenblad) en R2 (geperforeerd buitenblad) lijkt dus weinig invloed te hebben op de uiteindelijke faalsterkte. Het grotere hechtingsoppervlak van de geperforeerde steen lijkt proefstuk R2 wel bestendiger te maken tegen scheurvorming dan het proefstuk R1 met massieve steen in het buitenblad. Het Fischer proefstuk weerstond een maximale PTA van 0,55 g, hiermee had het proefstuk een lagere weerstand dan de twee referentie proefstukken.

De gehanteerde testprocedure geeft informatie over de verandering in de eigenschappen, de schadeontwikkeling en het falen van een gevelement onder een uit-het-vlak aardbevingsbelasting. De gemeten data zijn goed bruikbaar voor een vergelijking van verschillende producten en kunnen worden ingezet voor de kalibratie van een rekenmodel. Aanvullend onderzoek is nodig om te bepalen hoe de data ingezet kunnen worden in combinatie met een rekenmodel om tot een beoordeling op gebouwniveau te komen.

Inhoudsopgave

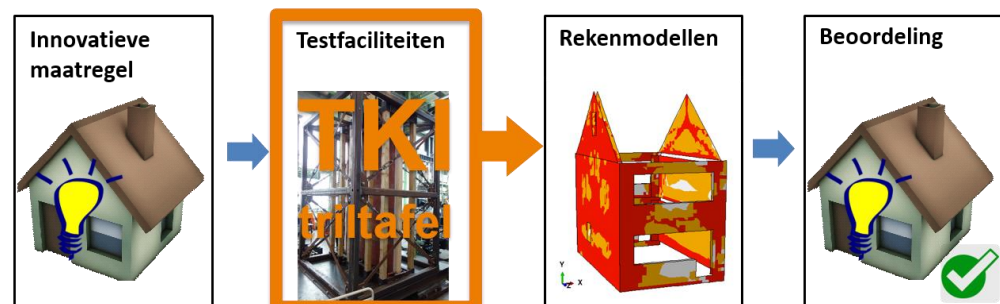
	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Testopzet	5
2.1	Test definitie	5
2.2	Test faciliteit	7
2.3	Testopstelling.....	7
2.4	Proefstukken.....	11
2.5	Instrumentatie	15
2.6	Signalen	17
2.7	Testschema	20
3	Resultaten	23
3.1	Fase 1 – begane grond belasting en signaal Gr-1	23
3.2	Fase 2 – 1 ^e verdieping belasting en signaal Gr-2.....	34
4	Conclusie.....	43
5	Referenties	47
6	Ondertekening	48
	Bijlage(n)	
	A Overzicht digitaal beeldmateriaal	
	B Afleiding belasting bovenzijde proefstukken	
	C Remix/Sakrete Multimortel	
	D Productinformatie Fischer	
	E Technische informatie sensoren	
	F Analyse methodes	
	G Tijdsignalen	

1 Inleiding

De afgelopen 30 jaar zijn er meer dan duizend aardbevingen in Groningen geregistreerd. Veel van deze bevingen zijn nauwelijks voelbaar, maar een aantal, zoals de beving bij Huizinge in 2012 en bij Zeerijp in 2018 hebben tot schade aan gebouwen geleid. Sinds de Huizinge aardbeving zijn er zorgen om de veiligheid van de bewoners in het Groningse aardbevingsgebied. Om de veiligheid in Groningen te waarborgen moet een groot aantal gebouwen worden versterkt. Maatregelen zijn echter vaak zeer ingrijpend, financieel en esthetisch, maar ook sociaal en emotioneel. Het is dus belangrijk om vast te kunnen stellen of, en in welke mate, versterkingsmaatregelen de aardbevingsbestendigheid van een gebouw verhogen. Er is in de praktijk behoefte aan een eenduidige methode om het effect van een versterkingsmaatregel of bouwproduct op de aardbevingsbestendigheid van een gebouw te beoordelen; de NPR 9998:2018 [1] geeft hiervoor te weinig handvatten. Om tot een beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van een gebouw met een versterkingsmaatregel of nieuw bouwproduct te komen, zijn zowel testen als berekeningen nodig. Figuur 1 geeft een schematische weergave van de keten waarin op basis van testen en berekeningen een beoordeling wordt gemaakt. Door middel van testen kan informatie worden verkregen over de sterkte- en stijfheidseigenschappen van een gebouwcomponent waarin een versterkingsmaatregel of nieuw bouwproduct is toegepast. Deze informatie kan vervolgens worden gebruikt om een rekenmodel van een gebouw inclusief versterkingsmaatregel of nieuw bouwproduct te kalibreren. Met dit gekalibreerde rekenmodel kan de weerstand van het gebouw onder een aardbevingsbelasting berekend worden en kan worden bepaald of het gebouw inclusief versterkingsmaatregel of nieuw bouwproduct voldoet aan de eisen in de geldende norm.

TNO heeft samen met Strating, Remix, FeNB2, Fischer, Straw Blocks, Wienerberger, BuildinG, en EPI een onderzoekstraject uitgevoerd. Het doel van dit onderzoek is om een testprocedure (oranje kader in Figuur 1) vast te stellen voor het uit-het-vlak gedrag van dragende wandelementen. Met de resultaten van deze testen wordt informatie verkregen voor de kalibratie van een rekenmodel. De testprocedure is beschreven in rapport TNO 2019 R10972.

Dit rapport beschrijft de uitvoering en resultaten van triltafeltesten uitgevoerd op drie proefstukken, te weten het Fischer proefstuk en proefstuk Referentie 1 (R1) en Referentie 2 (R2). Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de testopzet. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van de testen. De conclusies en aanbevelingen worden beschreven in hoofdstuk 4.



Figuur 1 Schematische weergave van de te doorlopen keten om een innovatieve maatregel te beoordelen op aardebevingsbestendigheid van een gebouw.

2 Testopzet

Dit hoofdstuk geeft een toelichting van de opzet van de testen uitgevoerd op de triltafel in BuildinG. Bijlage A geeft een overzicht van beeldmateriaal (foto's en filmpjes) dat is genomen tijdens de testen.

2.1 Test definitie

Uit verschillende studies, zoals bv. [2] [3] [4] [5], naar het effect van aardbevingen op metselwerk gebouwen blijkt dat schade en falen van dit soort gebouwen vaak te maken hebben met het uit-het-vlak gedrag van de dragende muurdelen. Figuur 2 geeft een aantal voorbeelden van metselwerk gebouwen waarbij uit-het-vlak falen van geveldelen ten gevolge van een aardbevingsbelasting is geobserveerd. Afhankelijk van de randcondities die van toepassing zijn kunnen verschillende scheurpatronen optreden. Figuur 3 geeft een paar scheurpatronen die veel worden geobserveerd in gebouwen. Het patroon in Figuur 3(a) is bekend als eenrichtingsbuiging falen. Dit komt veel voor in lange muren of muren zonder ondersteuning aan beide zijkanten. Het patroon in Figuur 3(b) wordt tweerichtingsbuiging falen genoemd, wat in muren waarbij alle zijden ondersteund worden.

Dit onderzoek focust zich op eenrichtingsbuiging. Hiervoor wordt het proefstuk aan de onderzijde gefixeerd, en aan de bovenzijde wordt een rotatie- en translatievrijheid gesimuleerd. Er worden testen uitgevoerd op een dragend wandelement op zowel de begane grond, alsmede op de eerste verdieping van een gebouw bestaande uit twee lagen en een dak. De reden hiervoor is dat de trillingsniveaus groter worden op hogere verdiepingen, zoals weergegeven in Figuur 4. Daarnaast neemt de belasting, ten gevolge van de massa van de bovengelige delen, op de bovenzijde van het wandelement af. Beide effecten hebben een ongunstige invloed op de aardbevingsbestendigheid van het wandelement.



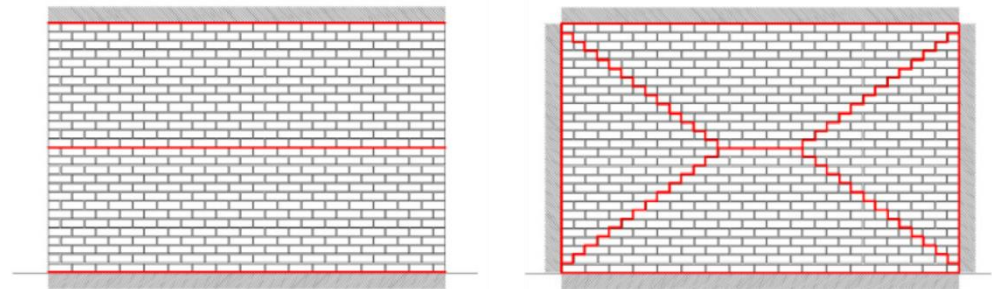
Figuur 2 Voorbeelden van uit-het-vlak schade aan metselwerk gebouwen, afkomstig uit Dizhur et al. [2].

In de testen worden trillingen in één richting aangeboden, i.e. de uit-het-vlak richting van het proefstuk. De testen moeten inzicht geven in de schade ontwikkeling en het falen van het proefstuk ten gevolge van een uit-het-vlak aardbevingsbelasting.

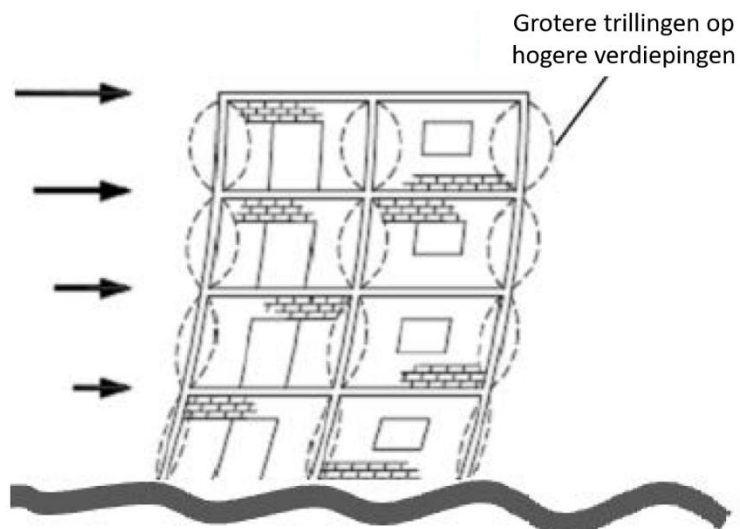
Hiervoor wordt data vergaard van:

- De bewegingen (versnellingen en verplaatsingen) van de tafel en van het proefstuk op verschillende posities over de hoogte en breedte onder aardbevingssignalen van verschillende intensiteit;
- De dynamische eigenschappen van het proefstuk na een serie aardbevingssignalen;
- De schade ontwikkeling in het proefstuk na een serie aardbevingssignalen van een bepaalde intensiteit.

De resultaten van deze testen kunnen worden gebruikt voor de kalibratie van een rekenmodel. Met dit gekalibreerde rekenmodel kan de weerstand van het gebouw onder een aardbevingsbelasting berekend worden en kan worden bepaald of het gebouw inclusief het geteste bouwproduct voldoet aan de eisen in de geldende norm.



Figuur 3 Typische schadepatronen voor (a) eenrichtingsbuiging en (b) tweerichtingsbuiging, afkomstig uit Graziotti et al [5].



Figuur 4 Trillingsniveaus in wandelementen nemen toe per verdieping, overgenomen uit Tomazevic [6].

2.2 Test faciliteit

De testen zijn uitgevoerd op de uni-axiale triltafel van BuildinG¹, weergegeven in Figuur 5. De tafel heeft een oppervlakte van ongeveer 2 m x 3 m en een gewicht van 3,5 ton. Tabel 1 geeft de belangrijkste specificaties van de triltafel. Voor de aansturing van de tafel wordt gebruik gemaakt van een actuator, aangestuurd met behulp van Moog software².



Figuur 5 Uni-axiale triltafel van BuildinG

Tabel 1 Triltafel specificaties

Oppervlak	2 x 3 m
Gewicht	3,5 ton
Maximaal testgewicht	10 ton
Maximale vijzelkracht	125 kN
Maximale slag	0,14 m
Pieksnelheid	0,4 m/s
Piekversnelling	7 m/s ² (0,7 g)*
Frequentiebereik	~0 – 50 Hz**

* Afhankelijk van de karakteristieken van het aangeboden testsignaal

** Afhankelijk van het testgewicht op de tafel

2.3 Testopstelling

Figuur 6 toont de testopstelling; hierin zijn enkele onderdelen te onderscheiden. Het witte supportframe (A) op de achterzijde van de tafel verleent ondersteuning aan een stalen bovenbalk (B) op de bovenzijde van het proefstuk. Binnen het beschikbare tafelloppervlak was een zo stijf mogelijk supportframe gemaakt. De reden voor dit stijve frame was om de bovenbalk een zo gelijk mogelijke horizontale trilling te laten ondergaan als die aangebracht op de tafel in het relevante

¹ www.building.nl

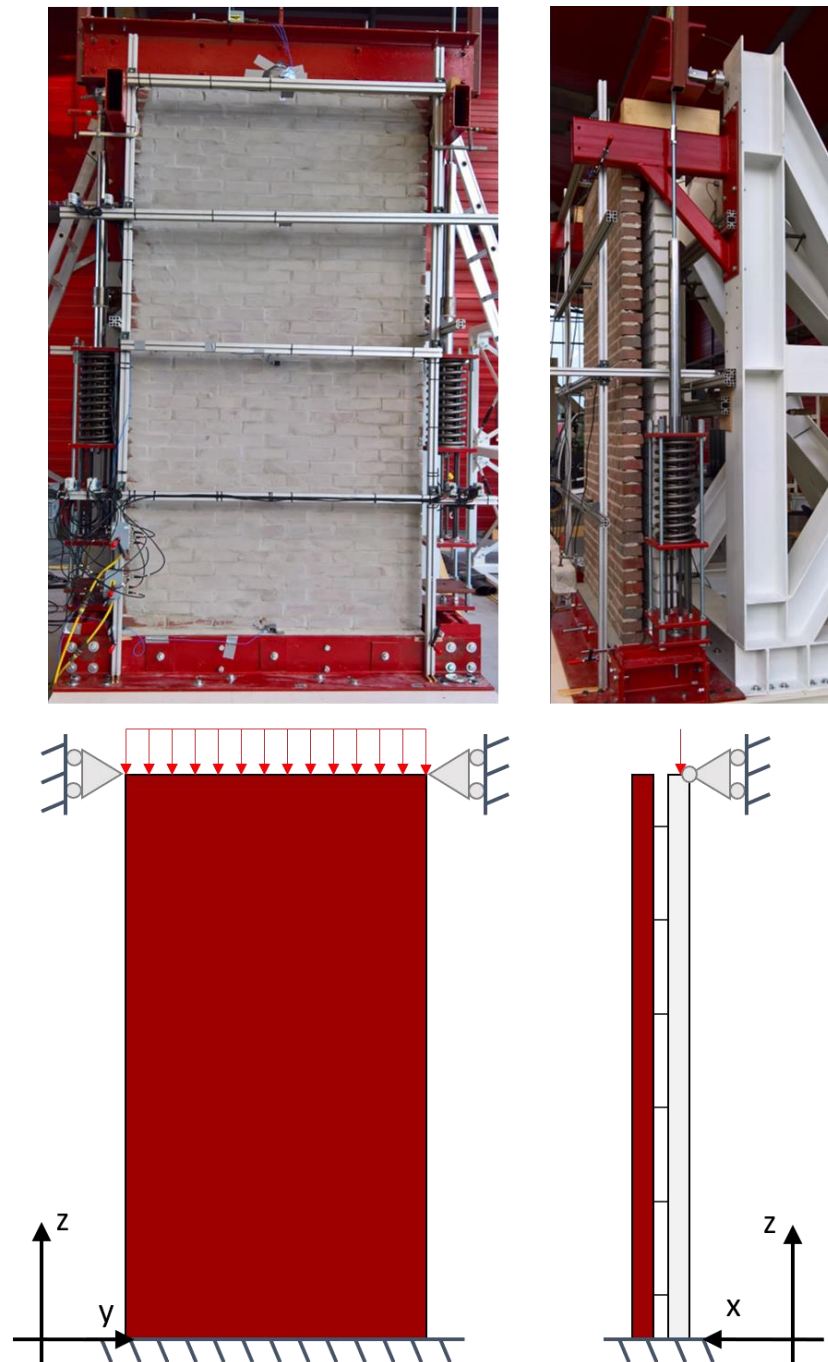
² www.moog.com

frequentiebereik voor de proefstukken. De proefstukken gebruikt in overeenkomstige testen uitgevoerd door Graziotti et al [6] hadden een eigenfrequentie tussen de 10 en 20 Hz. De eigenfrequentie van het supportframe in de testen beschreven in dit rapport was 25 Hz, waarmee deze buiten het verwachte relevante frequentiebereik van de proefstukken ligt.

Bij falen van het proefstuk wordt de bovenbalk opgevangen door een uitkragende opvangconstructie (C) aan het supportframe. De bovenbalk op de bovenzijde van het proefstuk wordt aangetrokken door middel van een voorspanconstructie (D). Het aluminium frame (E) wordt gebruikt voor laser sensoren om de verplaatsingen van het proefstuk tijdens de testen te kunnen meten. Eenzelfde frame is ook aan de binnenzijde van het proefstuk geplaatst.

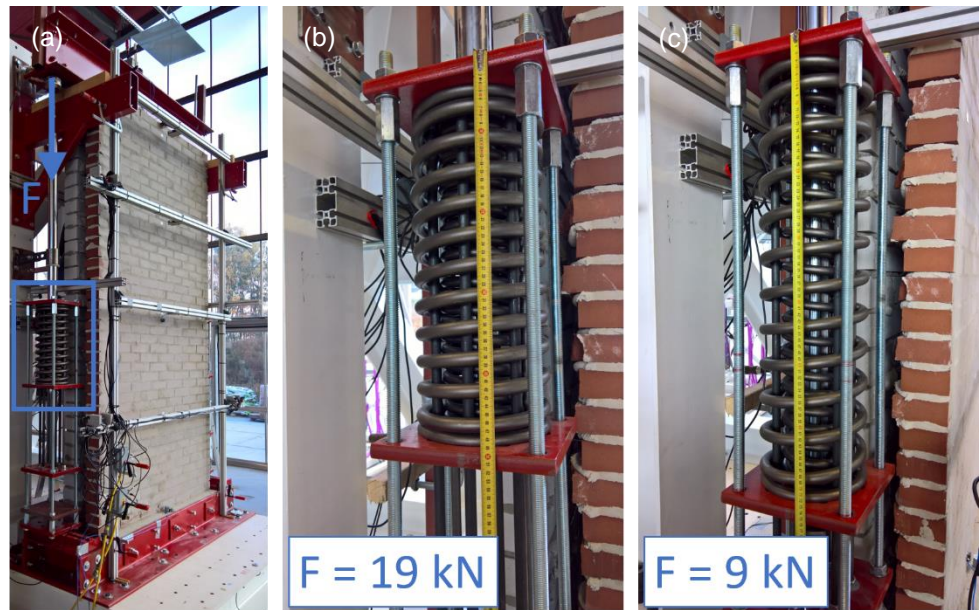


Figuur 6 Overzichtsfoto van de testopstelling met daarin enkele onderdelen uitgelicht: het supportframe (A), de bovenbalk (B), de opvangconstructie voor de bovenbalk (C), de voorspanconstructie (D) en het frame voor de lasers (E).



Figuur 7 Foto's met voor- en zijaanzicht van de testopstelling (boven) met een schematische weergave van de randcondities (onder).

Figuur 7 presenteert twee aanzichten van de testopstelling. Het betonblok aan de onderzijde van het proefstuk staat gefixeerd op de tritafel tussen twee rode hoekprofielen. Aan de bovenzijde is een uniform verdeelde belasting aangebracht op het binnenblad van het proefstuk, waarmee het gewicht ten gevolge van bovengelegen bouwdelen (vloeren, wanden en dak) is gesimuleerd. De stalen balk is met een scharnier verbonden aan het supportframe. Dit scharnier geeft de stalen balk rotatievrijheid om zijn lengte as (y-as) en staat enige translatie in z-richting toe.



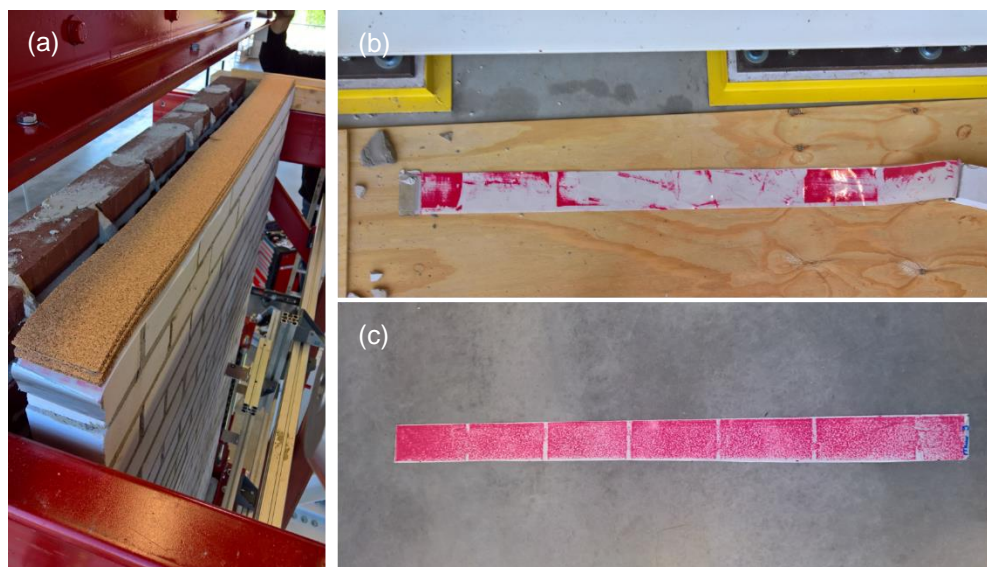
Figuur 8 Aanbrengen van kracht op de bovenbalk met de voorspanconstructie (a), en de voorspankracht F toegepast in de testen voor (b) de begane grond ($F = 19$ kN) en (c) de 1^e verdieping ($F = 9$ kN).

De belasting op de bovenzijde van het proefstuk is aangebracht door middel van het voorspannen van een veerconstructie, weergegeven in Figuur 8(a). Deze voorspanconstructie trekt via een buis aan de stalen balk op de bovenzijde van het proefstuk. De belasting op de bovenzijde van het proefstuk wordt bepaald door de voorspankracht van de veren ($F = 19$ kN of 9 kN per veer) en het gewicht van de bovenbalk (~300 kg).

Tijdens de testen op de metselwerk proefstukken zijn twee belastingen toegepast, die representatief zijn voor de belasting op een wandelement op de begane grond (2×19 kN + 3 kN \approx 41 kN) en op de eerste verdieping (2×9 kN + 3 kN \approx 21 kN) van een metselwerk gebouw bestaande uit twee lagen. De bepaling van deze twee belastingen is toegelicht in bijlage B.

Om een zo uniform mogelijke verdeling van de belasting op de bovenzijde van het proefstuk te realiseren is een aantal lagen kurk aangebracht tussen de bovenbalk en het binnenblad van het proefstuk, weergegeven in Figuur 9(a).

Met behulp van drukpapier is bepaald of het gebruik van kurk resulteert in een meer uniforme belasting dan wanneer er geen kurk gebruikt wordt. Figuur 9(b) en (c) illustreren het effect van de kurk op de verdeling van de belasting. Zonder kurk zijn er een paar zones waar de bovenbalk op het proefstuk drukt, met kurk is de belasting uniform verdeeld over de breedte van het proefstuk.



Figuur 9 Realisatie van een uniforme belasting aan de bovenzijde van het proefstuk met behulp van stroken kurk (a), afdrukken van drukpapier zonder kurk (b) en met kurk (c).

2.4 Proefstukken

Deze paragraaf beschrijft de opbouw en materialen gebruikt in de drie geteste proefstukken. Eerst worden de twee referentie proefstukken besproken, daarna wordt het proefstuk van Fischer besproken. Alle proefstukken zijn gebouwd op een betonblok (1,47 m breed, 0,4 m diep en 0,2 m hoog). Dit blok representeert een deel van de fundering. Alle proefstukken zijn afzonderlijk ingemeten en gewogen; de gewichten (exclusief betonblok) en dimensies van de proefstukken staan vermeld in Tabel 2. Voor elke test zijn twee gelijke proefstukken gebouwd, zodat er in geval van beschadiging bij het plaatsen van het proefstuk op de trilltafel een back-up proefstuk aanwezig was. De afmetingen en massa's in Tabel 2 betreffen enkel de geteste proefstukken. Het verschil in massa tussen het R1 proefstuk en het Fischer en R2 proefstuk is voornamelijk het gevolg van de verschillende baksteen toegepast in het buitenblad. Het relatief kleine verschil tussen het Fischer en R2 proefstuk is waarschijnlijk voornamelijk het gevolg van een verschil in massa tussen de betonblokken.

Tabel 2 Afmetingen en massa (exclusief betonblok) van de drie proefstukken.

Proefstuk	Hoogte x breedte x diepte [m]	Massa [kg]
Referentie 1 (R1)	2,68 x 1,46 x 0,28	1390
Referentie 2 (R2)	2,68 x 1,47 x 0,28	1318
Fischer	2,68 x 1,46 x 0,28	1296

2.4.1 Referentie proefstukken

Figuur 10 geeft een aantal foto's van de proefstukken Referentie 1 (R1) en Referentie 2 (R2). Beide referentie proefstukken bestonden uit een buitenblad, dat middels spouwankers verbonden was aan een kalkzandsteen binnenblad, zoals geïllustreerd in Figuur 10(b) en (d). Binnen- en buitenblad waren gemetseld in halfsteensverband. Na metselen is het buitenblad ingewassen, te zien in Figuur 10(a), om schadeontwikkeling in het proefstuk beter te kunnen volgen.

Het binnenblad van beide referentie proefstukken bestond uit witte stenen van kalkzandsteen (CS16), Amstelformaat, van de firma Calduran Kalkzandsteen BV. De steen is 214 mm breed, 102 mm diep en 72 mm hoog. Beide referentie proefstukken hadden een binnenblad opgebouwd uit 32 lagen met elk 6,5 steen per laag (zes en een halve strek).

Het buitenblad van proefstuk R1 is gemetseld met Gronings Rood massieve bakstenen (2,1 kg per baksteen), zoals te zien is in Figuur 10(e). Het buitenblad van proefstuk R2, zie Figuur 10(f), bestond uit Gronings Rood geperforeerde bakstenen (1,7 kg per baksteen). Zowel de massieve als geperforeerde steen zijn van het type Jupiter, van de firma Strating. Beide bakstenen zijn 209 mm breed, 99 mm diep en 50 mm hoog (waalformaat) en beide buitenbladen bestonden uit 43 lagen, elk met 6,5 steen per laag.

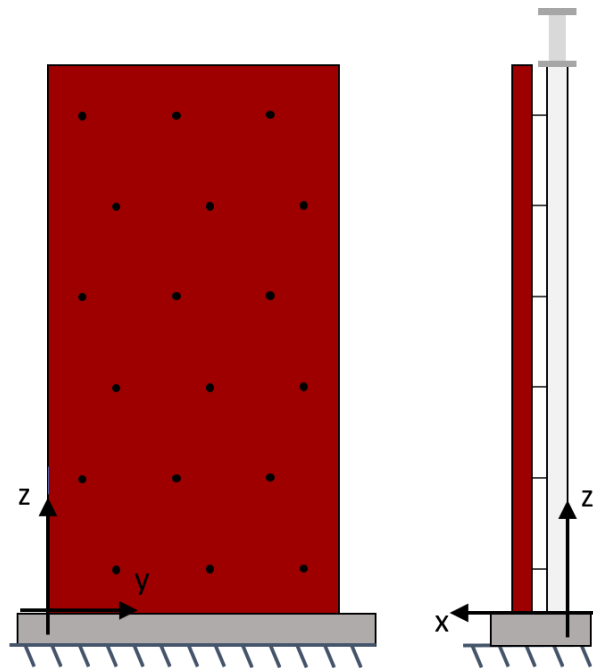
Voor de kalkzandstenen is de Remix/Sakrete Multimortel gebruikt. Bij gebruik van deze mortel op kalkzandstenen geldt een hechtsterkte van $0,45 \text{ N/mm}^2$. Aanvullende productinfo van deze mortel is in bijlage C te vinden. Voor de bakstenen van het buitenblad is de Remix BM2 M5 mortel gebruikt. Dit is mortel met zand (korrelgrootte 0-4 mm), 70 kg kalkhydraat, 70 kg cement en 45 kg kalksteenmiddel. De sterkte-informatie van deze mortel is weergegeven in Tabel 3. De diepte van de spouw tussen binnen- en buitenblad was 80 mm. In deze spouw zaten L-vormige ankers van Gebroeders Bodegraven UNI-L (32512), met een diameter van 3,6 mm, verzinkt draad en een lengte van 200 mm. De posities van de ankers zijn weergegeven in Figuur 11 en gespecificeerd in Tabel 4. Gemiddeld zijn er 4,3 ankers per m^2 toegepast.



Figuur 10 Detailfoto's van de referentie proefstukken. (a) Het buitenblad na inwassen, (b) zijaanzicht van de spouw, (c) het buitenblad voor inwassen, (d) het binnenblad, (e) de bovenzijde van proefstuk R1 en (f) de bovenzijde van proefstuk R2.

Tabel 3 Aanvullende sterkte-informatie van Remix BM2 M5 mortel

Gemiddelde druksterkte	7,2 N/mm ²
Gemiddelde buig-treksterkte	2,4 N/mm ²
Gemiddelde hechtsterkte (massieve steen)	0,202 N/mm ²
Gemiddelde hechtsterkte (geperforeerde steen)	0,162 N/mm ²



Figuur 11 Schematisch vooraanzicht en zijaanzicht van het proefstuk met ankers.

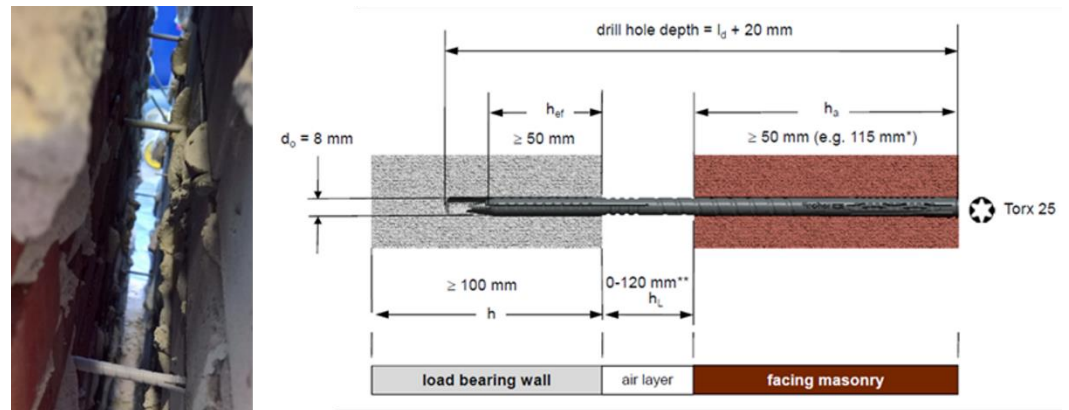
Tabel 4 Locaties van de ankers in het proefstuk, gemeten vanaf de voorzijde van de triltafel, volgens het assenstelsel zoals gedefinieerd in Figuur 11.

Z [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]
Proefstuk R1 (massief buitenblad)			
2,50	-	0,31	1,08
2,26	0,25	0,77	1,18
1,76	0,19	0,68	1,20
1,25	0,23	0,78	1,29
0,75	0,24	0,66	1,28
0,25	0,22	0,76	1,20
Proefstuk R2 (geperforeerd buitenblad)			
2,49	0,18	0,64	1,09
2,18	0,35	0,84	1,30
1,68	0,13	0,60	1,06
1,18	0,36	0,85	1,32
0,68	0,12	0,63	1,08
0,18	0,39	0,84	1,31

2.4.2 Fischer proefstuk

In Figuur 12 is het Fischer proefstuk te zien; dit proefstuk is, op de ankers na, identiek aan proefstuk R2. Het proefstuk bestaat dus uit een kalkzandsteen binnenblad (32 lagen CS16-stenen) en een buitenblad van geperforeerde Gronings Rood bakstenen (43 lagen Jupiter-stenen). De spouwdiepte tussen binnen- en buitenblad bedraagt 80 mm en de bladen zijn gemetseld met de mortels zoals beschreven in paragraaf 2.3.1.

Bij dit proefstuk zijn de bladen verbonden met Fischer renovatie-ankers van het type VBS-8x225 A4 (zie bijlage D voor gedetailleerde informatie over dit anker). Deze ankers zijn na constructie van de muur ingebracht; de muur is in eerste instantie zonder ankers gemetseld. De ankers hebben een diameter van 8 mm, een lengte van 225 mm en een indringdiepte van 50 mm in het binnenblad. In Figuur 12 is dit schematisch weergegeven. De posities van de ankers zijn terug te vinden in Tabel 5.



Figuur 12 Zijaanzicht van het Fischer proefstuk (links) en een schematische weergave van de gebruikte Fischer ankers (rechts).

Tabel 5 Locaties van de ankers in het proefstuk, gemeten vanaf de voorzijde van de triltafel volgens het assenstelsel gedefinieerd in Figuur 11.

Z [m]	Y1 [m]	Y2 [m]	Y3 [m]	Y4 [m]
2,43	0,18	0,62	0,94	-
1,94	0,20	0,62	0,93	1,29
1,44	0,19	0,53	0,95	1,31
0,94	0,19	0,53	0,95	1,28
0,44	0,19	0,51	0,97	1,28

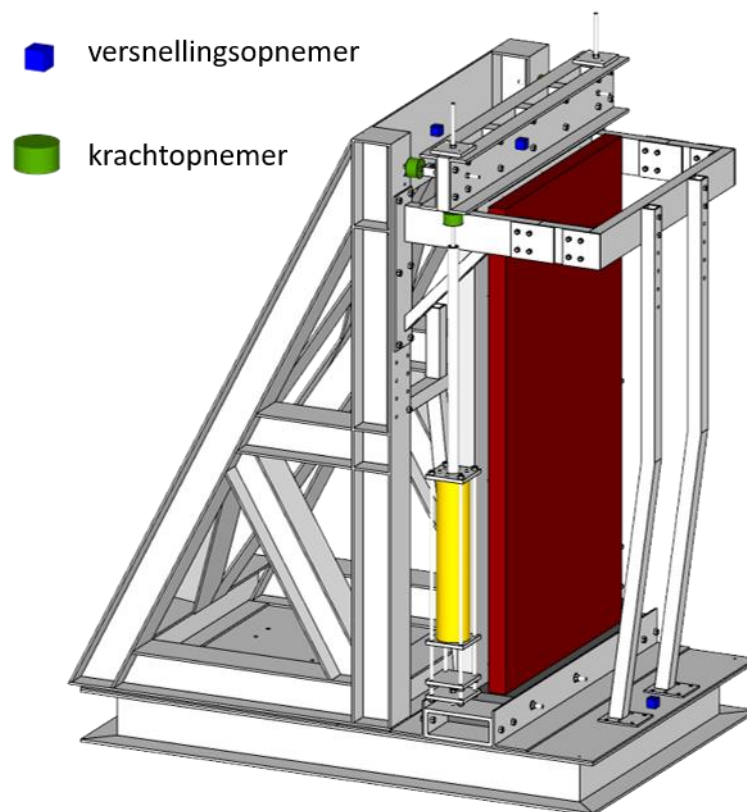
2.5 Instrumentatie

Tijdens de testen zijn de volgende grootheden gemeten op de verschillende onderdelen van de tafel en opstelling:

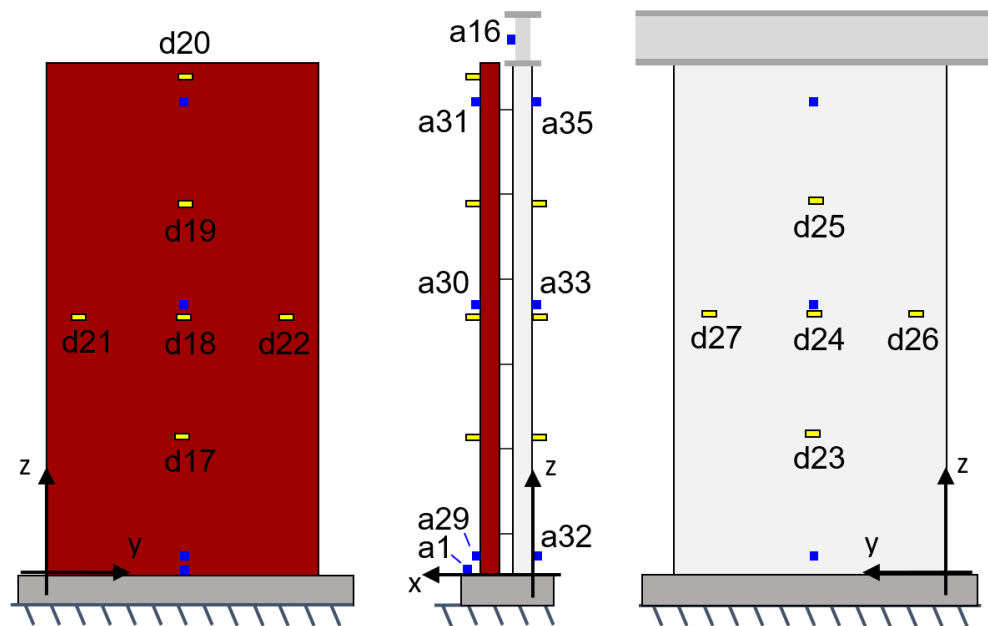
- Op de tafel, het frame, de bovenbalk, het betonblok en het proefstuk zijn versnellingen gemeten;
- Op de voorspanconstructie en de horizontale verbinding tussen frame en bovenbalk zijn krachten gemeten;
- Op het proefstuk zijn verplaatsingen gemeten.

Daarnaast zijn ook het kracht- en verplaatsingssignaal uit het Moog aansturingssysteem gelogd.

Figuur 13 toont de posities van de versnellingsopnemers op de tafel, het frame en de bovenbalk en de krachtopnemers in de horizontale verbinding tussen supportframe en bovenbalk en in de voorspanconstructie. De data van deze sensoren is gebruikt om het gedrag van de bovenbalk en de invloed van het supportframe op de testen te kunnen bepalen.



Figuur 13 Versnellingsopnemers op de tafel, de bovenbalk en het supportframe, en krachtopnemers aan de bovenbalk.



Figuur 14 Schematische weergave van voor-, zij- en achteraanzicht van het proefstuk met lasers (geel) en versnellingsopnemers (blauw) op het buitenblad (rood) en het binnenblad (wit), het betonblok en de bovenbalk.

Tabel 6 Overzicht van de meetrichtingen en posities van de sensoren op het proefstuk, het betonblok en de bovenbalk.

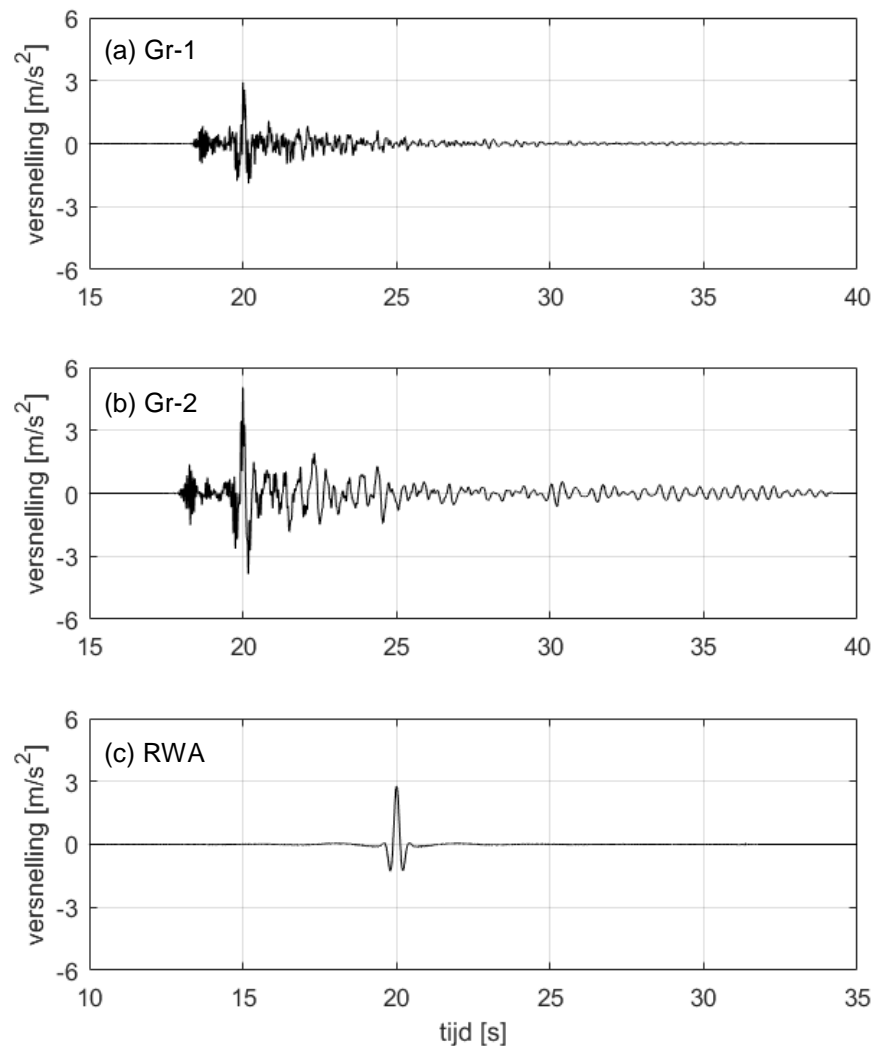
Sensor	Meetrichting	Positie					
		Referentie 1 (R1)		Referentie 2 (R2)		Fischer	
		y [m]	z [m]	y [m]	z [m]	y [m]	z [m]
a1	x, y, z	0,73	0	0,73	0	0,73	0
d17	x	0,73	0,66	0,73	0,65	0,73	0,66
d18	x	0,73	1,36	0,73	1,35	0,72	1,35
d19	x	0,73	1,97	0,73	1,97	0,73	1,98
d20	x	0,73	2,60	0,73	2,60	0,73	2,60
d21	x	0,15	1,35	0,14	1,35	0,14	1,35
d22	x	1,31	1,35	1,30	1,35	1,30	1,35
d23	x	0,73	0,69	0,73	0,69	0,73	0,69
d24	x	0,74	1,36	0,74	1,36	0,73	1,36
d25	x	0,74	2,00	0,74	2,03	0,73	1,98
d26	x	0,15	1,36	0,15	1,36	0,15	1,36
d27	x	1,32	1,37	1,32	1,37	1,31	1,36
a29	x	0,73	0,06	0,73	0,06	0,73	0,06
a30	x	0,73	1,30	0,73	1,40	0,73	1,40
a31	x, y, z	0,73	2,66	0,73	2,65	0,73	2,65
a32	x	0,73	0,06	0,75	0,06	0,75	0,06
a33	x	0,74	1,42	0,74	1,42	0,74	1,42
a35	x	0,73	2,66	0,73	2,65	0,72	2,64

Figuur 14 toont de posities waar versnellingen en verplaatsingen zijn gemeten op het proefstuk tijdens de testen; de versnellingsopnemers op de bovenbalk en op het betonblok zijn ook weergegeven. Op binnen- en buitenblad zijn versnellingen gemeten op 3 posities over de hoogte (onder, midden, boven) om inzicht te krijgen in de dynamische eigenschappen van het proefstuk. Met behulp van lasers zijn

relatieve verplaatsingen van het proefstuk ten opzichte van de triltafel gemeten op een kwart, de helft en driekwart van de proefstuk hoogte. Op het buitenblad is de verplaatsing ook bovenin het proefstuk gemeten. De exacte posities van de sensoren in het assenstelsel in Figuur 14 zijn gespecificeerd in Tabel 6. Alle sensoren zijn uitgelezen met een sampling-frequentie van 500 Hz. Voor de dataverwerking is de data gefilterd met een achtste-orde Butterworth-filter met een frequentie van 50 Hz. Voor meer informatie over de instrumentatie wordt verwezen naar bijlage E.

2.6 Signalen

Drie signalen, weergegeven in Figuur 15, zijn gebruikt tijdens de testen op de proefstukken. Deze signalen zijn ook toegepast door Graziotti et al [6] in triltafeltesten op metselwerk spouwmuren. De weergegeven signalen zijn de originele signalen, ze zijn dus niet geschaald (schaalfactor SF = 100%).

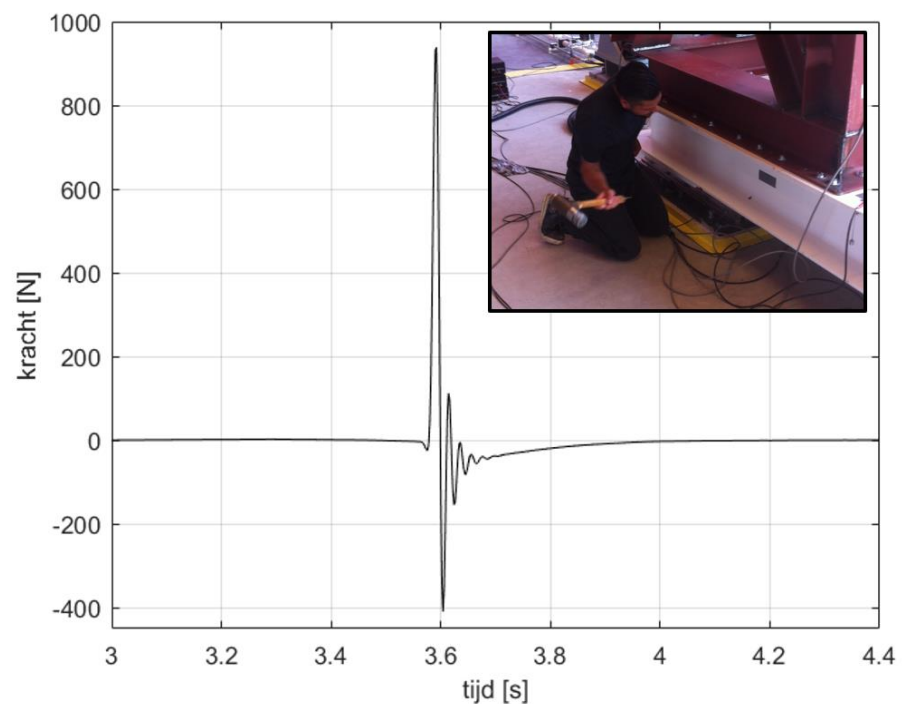


Figuur 15 De drie testsignalen toegepast tijdens de triltafeltesten: (a) Gr-1, (b) Gr-2, en (c) RWA. De weergegeven signalen zijn de originele signalen met een schaalfactor (SF) van 100%.

Graziotti et al [6][8] hebben het Gr-1 signaal geselecteerd op basis van onderzoek door Crowley et al [9] naar representatieve signalen voor Groningse aardbevingen. Het Gr-2 signaal is gemaakt door Graziotti et al [8] met behulp van het eindige elementen pakket TREMURI voor een gebouw met twee verdiepingen. Hierbij is het Gr-1 signaal opgelegd ter hoogte van de fundering van het gebouw en is het Gr-2 signaal op de eerste verdieping geregistreerd.

De grootste versnelling die optreedt in het Gr-1 signaal komt overeen met de piek grond versnelling (PGA). De grootste versnelling die optreedt in het Gr-2 signaal is hoger dan de PGA, aangezien dit versnellingssignaal bepaald is op de eerste verdieping. Om een inschatting te maken van het bijbehorende PGA niveau kan de grootste versnelling in het Gr-2 signaal omgerekend worden naar de grootste versnelling van het bijbehorende Gr-1 signaal op de begane grond. Dit wordt gedaan door de grootste versnelling gemeten op de tafel (PTA) tijdens een test met signaal Gr-2 te vermenigvuldigen met 0,55.

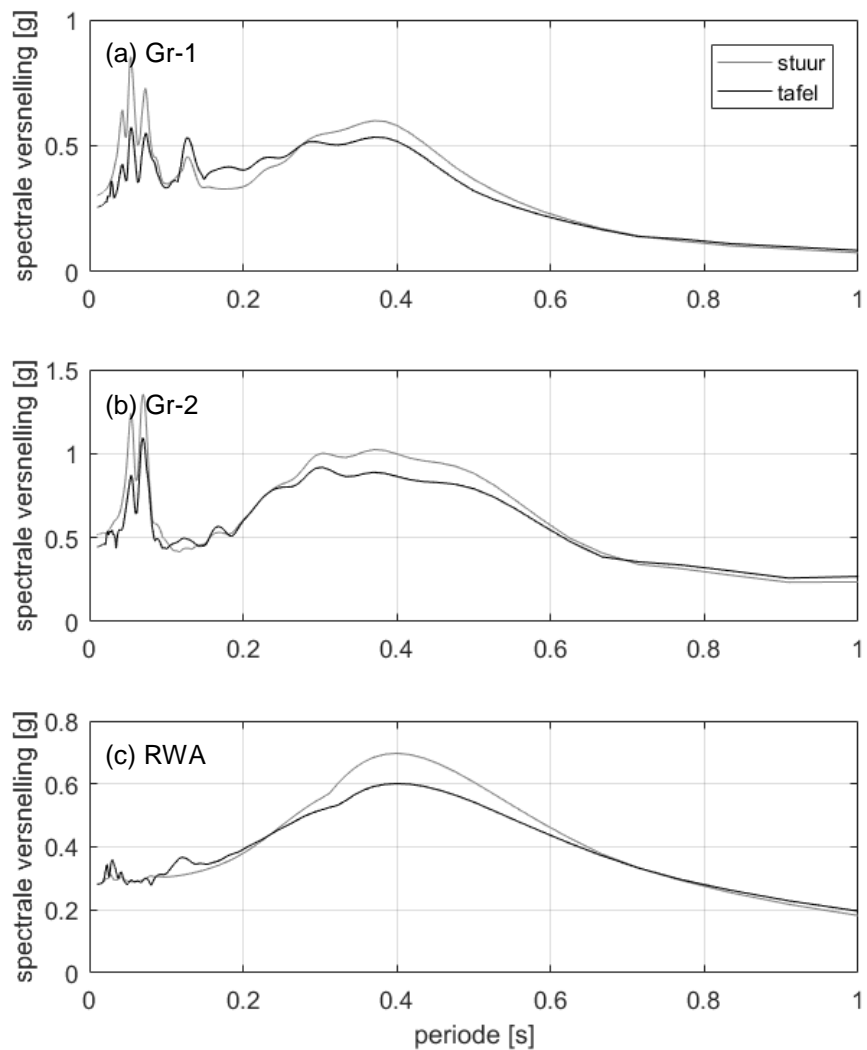
Voor de bepaling van de eigenfrequentie en demping van de proefstukken is gebruik gemaakt van hamertesten (zie Figuur 16) en het Ricker Wave Acceleration (RWA) signaal weergegeven in Figuur 15(c).



Figuur 16 Foto van een hamertest en krachtsignaal gemeten op de hamer tijdens een test.

De aansturing van de triltafel werd geregeld met het gemeten verplaatsingssignaal op de vijzel. Door middel van testen op de tafel met supportframe zijn de instellingen van deze aansturing geoptimaliseerd om een zo goed mogelijke overeenkomst te krijgen tussen het gerealiseerde en gewenste respons spectrum. Figuur 17 illustreert de respons spectra van het Gr-1, Gr-2 en RWA signaal gerealiseerd tijdens testen met proefstuk R1. Het respons spectrum van het gewenste stuursignaal en het gemeten versnellingssignaal op de tafel zijn weergegeven. Voor periodes tussen 0,02 s en 1 s zijn de verschillen tussen het gewenste stuursignaal en gemeten signaal op de tafel maximaal 30%. Voor periodes kleiner dan 0,1 s en tussen 0,3 s en 0,6 s worden maximaal 15% lagere versnellingen gerealiseerd op de tafel in vergelijking met het stuursignaal. Het gerealiseerde respons spectrum op de tafel weergegeven in Figuur 17 voldoet niet aan de criteria gespecificeerd in de triltafel norm voor certificatie van niet-constructieve componenten AC156 [10]. Hierin wordt aanbevolen dat het gerealiseerde respons spectrum niet meer dan 30% het gewenste spectrum overschrijdt. Daarnaast mag het gerealiseerde response spectrum het gewenste response spectrum op maximaal twee 1/6-octaf punten onderschrijden met minder dan 10%. Hier worden een paar opmerkingen bij geplaatst:

1. De AC156 [10] geeft criteria voor certificering, dit betekent dat op basis van een pass/fail test wordt bepaald of een product voldoet. Hiervoor is het logisch dat er strenge eisen worden gesteld aan het gerealiseerde testsignaal. De resultaten van de testen uitgevoerd in dit project zullen worden gebruikt voor de kalibratie van een rekenmodel. Hierbij is het vooral van belang dat in het rekenmodel dezelfde randcondities worden toegepast als in de test, de eisen aan het opgelegde testsignaal kunnen minder stringent zijn.
2. De aansturing voor deze testen was geoptimaliseerd met alleen het supportframe op de tafel. In de testen met de proefstukken bleek dat deze een behoorlijke invloed hebben op het gerealiseerde testsignaal. Een meer nauwkeurige aansturing zou kunnen worden verkregen door het optimaliseren van de aansturing uit te voeren met een proefstuk op de tafel. Op basis van het gegeven dat de resultaten niet bedoeld zijn voor certificering van de geteste producten is besloten om de testen met de gerealiseerde instellingen uit te voeren.



Figuur 17 De response spectra (bepaald met 5% demping) van de drie testsignalen toegepast tijdens de triltafeltesten: (a) Gr-1, (b) Gr-2, en (c) RWA.

2.7 Testschema

Tabel 7 geeft het overzicht van de uitgevoerde testen op de drie proefstukken. De testen zijn uitgevoerd in twee fasen, met twee verschillende testconfiguraties:

- Configuratie 1 - Begane grond
In deze configuratie zijn testen uitgevoerd, waarbij een belasting aan de bovenzijde van het proefstuk werd toegepast die van toepassing is voor een wandelement op de begane grond. In deze configuratie is het Gr-1 signaal gesimuleerd op de tafel.
- Configuratie 2 - Eerste verdieping
In deze configuratie is de belasting gereduceerd tot een belasting voor een wandelement op de eerste verdieping. In deze configuratie is het Gr-2 signaal gesimuleerd op de tafel.

In beide configuraties is de piek tafel versnelling (PTA) van het aangeboden signaal op de tafel in stappen opgevoerd. In Tabel 7 zijn de stappen aangegeven door middel van een schaalfactor (SF). De signalen met SF = 100% zijn de signalen weergegeven in Figuur 15. Door de intensiteit van het signaal gradueel op te voeren is informatie verkregen over het lineair elastische gedrag van het proefstuk (bij lage trillingsniveaus) en het plastische gedrag (bij hoge trillingsniveaus), en is informatie verkregen van de schadeontwikkeling in het proefstuk met toenemende piekversnelling op de tafel.

Bij elk versnellingsniveau is het signaal in twee richtingen aangeboden, en daarbij in beide richtingen een aantal maal herhaald. Op deze manier is inzicht verkregen in de gevoeligheid van het proefstuk voor de richting van het signaal. Door herhaald uitvoeren van het signaal bij een bepaald niveau is data verkregen over de reproduceerbaarheid van de testen.

Op gezette momenten in het testprogramma heeft een schade inspectie van het proefstuk plaats gevonden. Hierbij is het proefstuk onderzocht en is visueel vastgesteld of er schade aan het proefstuk was ontstaan. Daarnaast zijn er meerdere foto's gemaakt volgens de methode beschreven in bijlage A.1.

Na elke inspectie werd een hamertest uitgevoerd ter bepaling van de eigenfrequentie en demping van het proefstuk. Op deze manier is informatie verkregen over de verandering van deze dynamische eigenschappen gedurende de testen. Ook het RWA signaal is toegepast om verschillende mogelijkheden van dynamische identificatie te onderzoeken. Daarom is het RWA signaal maar een paar keer toegepast.

Voor ieder proefstuk is vooraf het testschema gedefinieerd tot het Gr-2 (100%) signaal. Daarna werd, naar inzicht van de aanwezige technici, het signaal in intensiteit aangepast tot falen van het proefstuk. Om beschadiging van de instrumentatie te voorkomen werden de verplaatsing- en versnellingsopnemers van het proefstuk verwijderd als het proefstuk uitwijkingen groter dan 1 á 2 cm vertoonde.

Voor de testen in de begane grond configuratie was het de bedoeling om scheurvorming te voorkomen, zodat de invloed van deze testen op de testen in de tweede testconfiguratie (eerste verdieping) beperkt zou blijven. Tijdens de testen op proefstuk R1 bleek er toch scheurvorming te zijn opgetreden na de laatste test in de begane grond configuratie met signaal Gr-1 (300%). Naar aanleiding hiervan is voor de andere twee proefstukken het testschema aangepast; de testen in de begane grond configuratie met signaal Gr-1 (300%) zijn uit het testschema gehaald. Tijdens de testen op het Fischer proefstuk bleken de uitwijkingen in de begane grond configuratie dusdanig groot dat de testen in deze configuratie voortijdig zijn beëindigd na de testen met signaal Gr-1 (200%).

Tabel 7 Testen uitgevoerd op de proefstukken Referentie 1 (R1), Referentie 2 (R2) en Fischer.

Signaal	Referentie 1 (R1)		Referentie 2 (R2)		Fischer	
	SF	Aantal*	SF	Aantal*	SF	Aantal*
Fase 1 - begane grond belasting en signaal Gr-1						
	<i>Inspectie 0 en hamertest</i>		<i>Inspectie 0 en hamertest</i>		<i>Inspectie 0 en hamertest</i>	
RWA	20%	+3 / -3	20%	+3 / -3	20%	+4 / -2 ³
Gr-1	20%	+3 / -3	20%	+3 / -3	20%	+3 / -3
Gr-1	40%	+3 / -3	40%	+3 / -3	40%	+2 ⁴ / -3
	<i>Inspectie 1 en hamertest</i>		<i>Inspectie 1 en hamertest</i>		<i>Inspectie 1 en hamertest</i>	
Gr-1	60%	+3 / -3	60%	+3 / -3	60%	+3 / -3
Gr-1	80%	+3 / -3	80%	+3 / -3	80%	+3 / -3
	<i>Inspectie 2 en hamertest</i>		<i>Inspectie 2 en hamertest</i>		<i>Inspectie 2 en hamertest</i>	
Gr-1	100%	+3 / -3	100%	+3 / -3	100%	+3 / -3
Gr-1	150%	+0 ¹ / -2	140% ⁶	+2 / -2	140% ⁶	+2 / -2
	<i>Inspectie 3 en hamertest</i>		<i>Inspectie 3 en hamertest</i>		<i>Inspectie 3 en hamertest</i>	
Gr-1	200%	+2 / -2	200%	+2 / -2	200%	+2 / -2
	<i>Inspectie 4 en hamertest</i>		<i>Inspectie 4 en hamertest</i>		<i>Inspectie 4 en hamertest</i>	
Gr-1	250%	+2 / -2	250%	+2 / -2	250%	+0 / -0
	<i>Inspectie 5 en hamertest</i>		<i>Inspectie 5 en hamertest</i>		<i>Inspectie 5 en hamertest</i>	
Gr-1	300%	+1 / -0	300%	+0 / -0	300%	+0 / -0
	<i>Inspectie 6 en hamertest</i>		<i>Inspectie 6 en hamertest</i>		<i>Inspectie 6 en hamertest</i>	
RWA	40%	+1 / -1	100%	+3 / -1 ³	100%	+2 / -2
RWA	80%	+1 / -1				
	<i>Inspectie 7</i>		<i>Inspectie 7</i>		<i>Inspectie 7</i>	
Fase 2 - 1^e verdieping belasting en signaal Gr-2						
	<i>Hamertest</i>		<i>Hamertest</i>		<i>Hamertest</i>	
RWA	20%	+3 / -3	20%	+3 / -3	20%	+3 / -3
Gr-2	20%	+3 / -3	20%	+3 / -3	20%	+4 / -2 ³
Gr-2	40%	+3 / -3	40%	+3 / -3	40%	+3 / -3
	<i>Inspectie 8 en hamertest</i>		<i>Inspectie 8 en hamertest</i>		<i>Inspectie 8 en hamertest</i>	
Gr-2	70%	+2 / -3 ²	70%	+1 / -3 ³	70%	+3 ² / -2
Gr-2	100%	+1 ² / -2	100%	+1 / -3 ³	100%	+1 / -2
	<i>Inspectie 9</i>		<i>Inspectie 9 en hamertest</i>		<i>Inspectie 9 en hamertest</i>	
RWA			100%	+3 ³ / -1	100%	+2 / -2
Gr-2	120%	+2 / -0 ¹				
	<i>Inspectie 10</i>		<i>Inspectie 10 en hamertest</i>		<i>Inspectie 10 en hamertest</i>	
RWA					100%	+1 ⁵ / -0
Gr-2	150%	+2 (X) / -1	130%	+2 / -2	130%	+1 / -0
			<i>Inspectie 11 en hamertest</i>		<i>Inspectie 11</i>	
Gr-2			150%	+1 / -3 ³	130%	+1 (X) / -1
			<i>Inspectie 12 en hamertest</i>			
Gr-2			170%	+1 / -1		
			<i>Inspectie 13 en hamertest</i>			
Gr-2			170%	+1		
RWA			100%	+1		
Gr-2			150%	+1 (X)		

* Aantal malen dat signaal is gesimuleerd en in welke richting de piek tafel versnelling (PTA) is opgetreden; + is in positieve x-richting (in de richting van het buitenblad).

¹ Signaal overgeslagen in verband met niet-werkend stuursignaal.

² Signaal Gr-2 (70%) gesimuleerd in plaats van Gr-2 (100%).

³ Signaal in positieve/negatieve richting gesimuleerd in plaats van negatieve/positieve richting.

⁴ Signaal te weinig gesimuleerd.

⁵ Signaal RWA (100%) gesimuleerd in plaats van Gr-2 (130%).

⁶ SF 10% verlaagd omdat het 150% signaal in positieve richting een fout gaf.

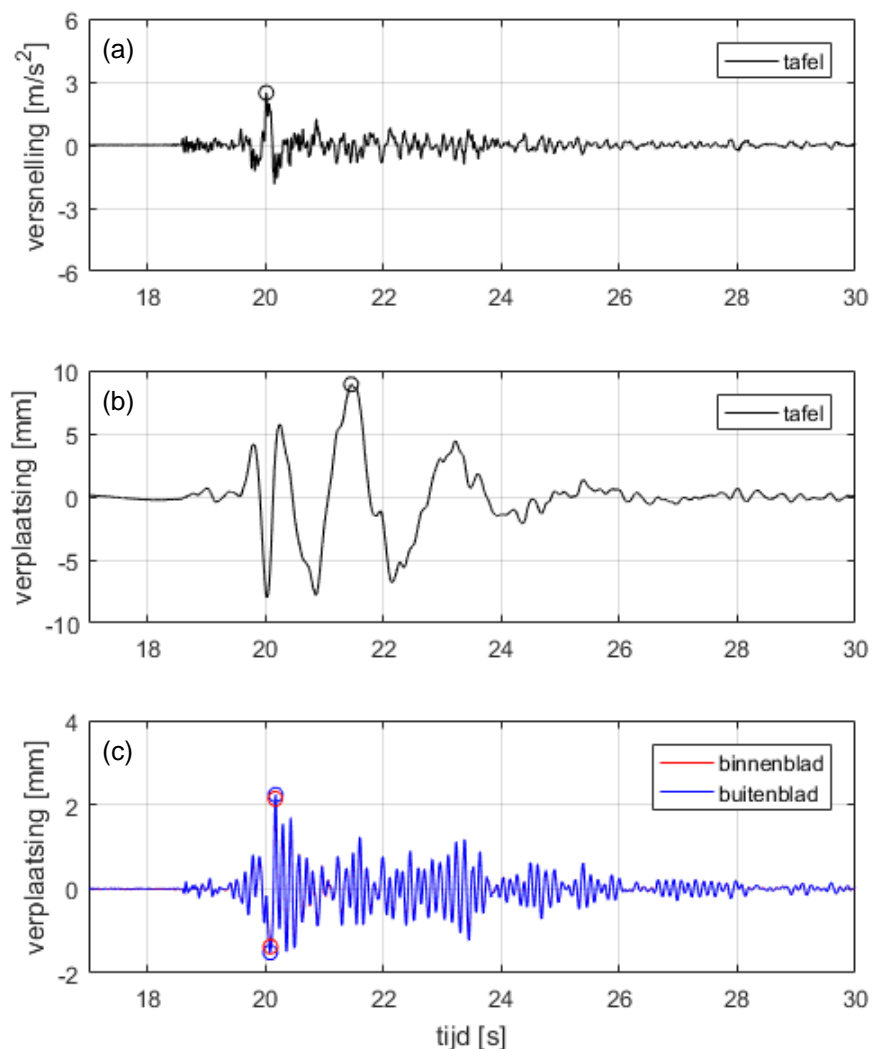
(X) Proefstuk gefaald.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk geeft en bespreekt de resultaten van de uitgevoerde testen op de drie proefstukken (proefstuk R1, R2 en Fischer). Eerst worden de resultaten besproken van de testen uitgevoerd in fase 1, vervolgens worden de resultaten van de fase 2 testen toegelicht. Bijlage F beschrijft de methodes die zijn gebruikt voor de analyse van de testdata.

3.1 Fase 1 – begane grond belasting en signaal Gr-1

Figuur 18(a) en (b) illustreren het gemeten versnellings signaal en verplaatsingssignaal op de tafel tijdens één van de uitgevoerde testen met signaal Gr-1 (100%) op het Fischer proefstuk. Bijlage G geeft de signalen gemeten op alle proefstukken.



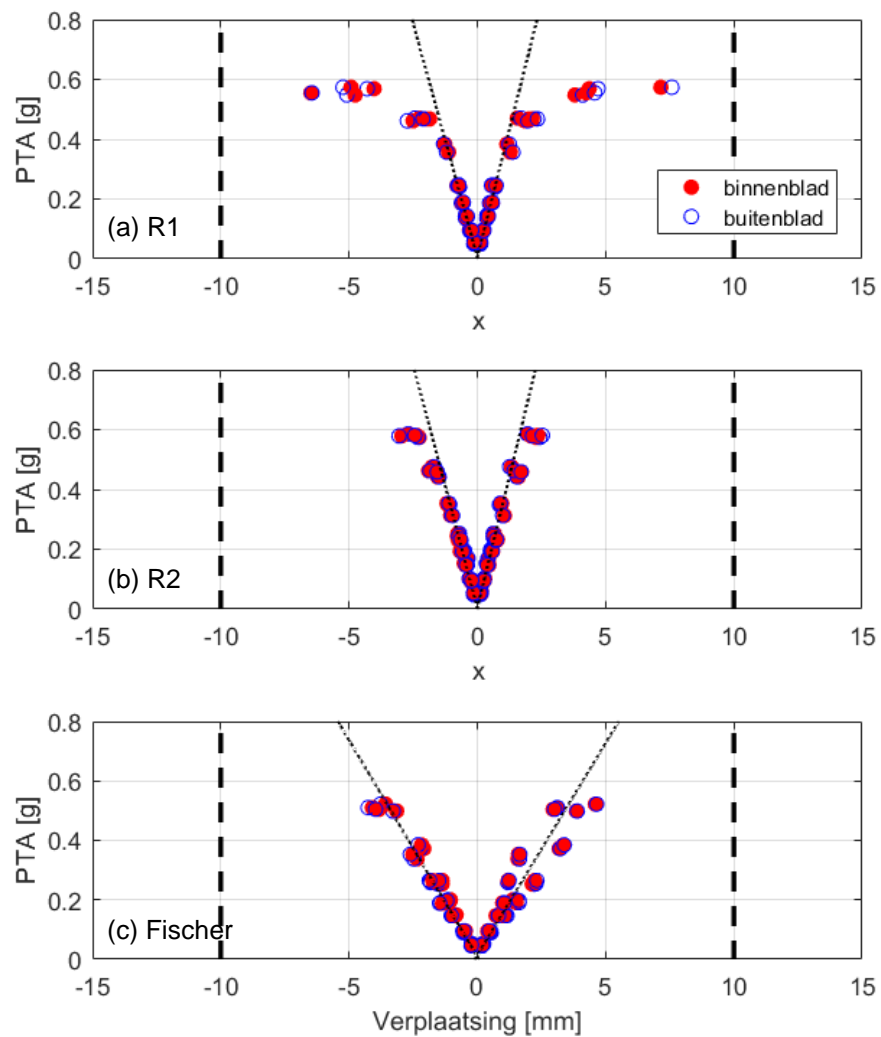
Figuur 18 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-1 (100%) op het Fischer proefstuk: (a) het tafel versnellings signaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.

In Figuur 18(a) en (b) zijn ook de absolute maxima weergegeven (zwarte rondjes); dit zijn de piek tafel versnelling (PTA) en de piek tafel verplaatsing (PTD). Tabel 8 geeft een overzicht van de gemiddelde PTA en PTD waarden bepaald voor elke set signalen uitgevoerd bij een bepaalde schaalfactor. Voor de testen in fase 1 (begane grond) komt de PTA overeen met de PGA (piek grond versnelling). De grootste PGA waarden gemeten tijdens de aardbevingen van nabij Huizinge (2012) en Zeerijp (2018) waren respectievelijk 0,09 g en 0,11 g. Op basis van de webtool bij de NPR 9998:2018 [1] wordt voor een herhalingstijd van 2475 jaar een maximum PGA waarde gevonden van ongeveer 0,26 g. De gerealiseerde piektafelversnellingen in de testen overlappen deze niveaus. De maximum gerealiseerde PTA waarden in de zwaarste testen zijn ongeveer een factor 2,5 groter dan het hoogste niveau gespecificeerd in de NPR 9998:2018 [1]. Achter de gemiddelde PTA en PTD is tussen haakjes de spreiding (één standaard deviatie) gespecificeerd. Hieruit blijkt de hoge reproduceerbaarheid van de signalen aangebracht op het proefstuk.

Tabel 8 De gemiddelde piek tafel versnelling (PTA) en piek tafel verplaatsing (PTD) gemeten in de begane grond testen voor elke set signalen met een bepaalde schaalfactor. Tussen haakjes staat de (één standaard deviatie) spreiding van de set signalen die is gesimuleerd.

Signaal (SF)	Referentie 1 (R1)		Referentie 2 (R2)		Fischer	
	PTA [g]	PTD [mm]	PTA [g]	PTD [mm]	PTA [g]	PTD [mm]
RWA (20%)	0,064 (+/- 0,004)	7,53 (+/- 0,03)	0,062 (+/- 0,005)	7,52 (+/- 0,02)	0,062 (+/- 0,002)	7,54 (+/- 0,02)
Gr-1 (20%)	0,054 (+/- 0,004)	1,79 (+/- 0,02)	0,053 (+/- 0,003)	1,81 (+/- 0,02)	0,050 (+/- 0,003)	1,80 (+/- 0,04)
Gr-1 (40%)	0,095 (+/- 0,001)	3,60 (+/- 0,01)	0,098 (+/- 0,004)	3,60 (+/- 0,02)	0,094 (+/- 0,003)	3,59 (+/- 0,02)
Gr-1 (60%)	0,141 (+/- 0,004)	5,36 (+/- 0,02)	0,153 (+/- 0,009)	5,39 (+/- 0,01)	0,148 (+/- 0,001)	5,35 (+/- 0,02)
Gr-1 (80%)	0,188 (+/- 0,001)	7,15 (+/- 0,02)	0,195 (+/- 0,003)	7,17 (+/- 0,01)	0,193 (+/- 0,005)	7,12 (+/- 0,03)
Gr-1 (100%)	0,245 (+/- 0,002)	8,92 (+/- 0,01)	0,239 (+/- 0,009)	8,94 (+/- 0,01)	0,260 (+/- 0,005)	8,88 (+/- 0,01)
Gr-1 (140%)	X	X	0,332 (+/- 0,022)	12,49 (+/- 0,03)	0,362 (+/- 0,021)	12,45 (+/- 0,04)
Gr-1 (150%)	0,370 (+/- 0,019)	13,42 (+/- 0,02)	X	X	X	X
Gr-1 (200%)	0,467 (+/- 0,004)	17,82 (+/- 0,01)	0,460 (+/- 0,014)	17,82 (+/- 0,02)	0,509 (+/- 0,010)	17,82 (+/- 0,05)
Gr-1 (250%)	0,561 (+/- 0,012)	22,22 (+/- 0,03)	0,580 (+/- 0,005)	22,25 (+/- 0,02)	X	X
Gr-1 (300%)	0,710	26,61	X	X	X	X
RWA (40%)	0,124 (+/- 0,010)	15,00 (+/- 0,02)	X	X	X	X
RWA (80%)	0,232 (+/- 0,004)	30,03 (+/- 0,01)	X	X	X	X
RWA (100%)	X	X	0,288 (+/- 0,006)	37,49 (+/- 0,05)	0,288 (+/- 0,010)	37,51 (+/- 0,10)

Figuur 18(c) presenteert de verplaatsingssignalen gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk (sensoren d18 en d24 in Figuur 14). In Figuur 18(c) zijn zowel de minimum als maximum verplaatsing in het midden van het proefstuk weergegeven. De verplaatsing van het binnen- en buitenblad van het proefstuk liggen op elkaar, wat betekent dat ze als één geheel bewegen. De ankers zorgen dus voor een goede verbinding tussen binnen- en buitenblad. Figuur 19 presenteert de gemeten maximum en minimum verplaatsing in het midden van het proefstuk tegen de piekversnelling gemeten op de tafel (PTA) voor de Gr-1 signalen.



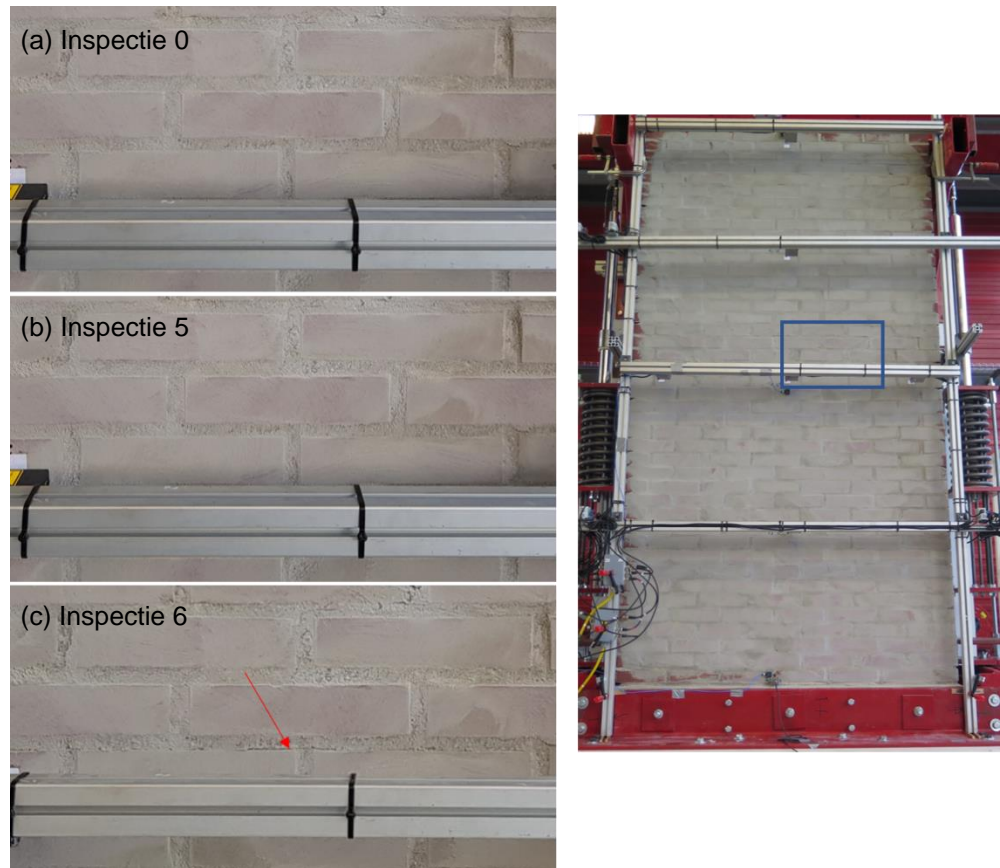
Figuur 19 Verplaatsing midden proefstuk tegen piek tafel versnelling (PTA = Peak Table Acceleration) gemeten met signaal Gr-1: (a) R1, (b) R2, (c) Fischer. De zwarte gebroken lijn specificeert het meetbereik van de verplaatsingsopnemers; de zwarte stippellijn is een gefitte lijn op de data met $PTA \leq 0.2$ g.

Voor alle proefstukken is voor een PTA kleiner dan 0,4 met toenemende PTA een lineaire toename zichtbaar in de uitwijking van het midden van het proefstuk. Voor proefstuk R1 zijn testen uitgevoerd tot een PTA = 0,71 g. In Figuur 19(a) is te zien dat voor een PTA > 0,4 g de gemeten piekverplaatsing groter is dan deze lineaire trend. Dit niet-lineaire gedrag van het proefstuk is een indicatie dat er schade aanwezig is in het proefstuk. Tijdens de schade inspecties kon echter geen scheurvorming worden waargenomen tot de testen met signaal Gr-1 (300%) met PTA = 0,71 g. Ook in de foto's, genomen tijdens inspectie 0 en inspectie 5, kon geen scheurvorming worden geïdentificeerd (zie Figuur 20). In de test met signaal Gr-1 (300%) met een PTA = 0,71 g was de opgetreden verplaatsing groter dan het meetbereik van de verplaatsingsopnemers. Daarom is het resultaat van deze test niet weergegeven in Figuur 19(a). Figuur 20(c) geeft een deel van de scheur weer die zichtbaar was in het buitenblad na deze test. Om deze schade in de fase 1 testen van de andere metselwerk proefstukken te voorkomen, zijn de testen op de overige metselwerk proefstukken beëindigd bij een lagere PTA. De fase 1 testen op de overige metselwerk proefstukken werden beëindigd op basis van de gemeten verplaatsingen en het waargenomen gedrag van het proefstuk. Figuur 19(b) presenteert de verplaatsingen in het midden van proefstuk R2 met toenemende PTA. Tot een PTA \approx 0,4 g zijn de verplaatsingen ongeveer hetzelfde als gemeten op R1. Waar proefstuk R1 bij hogere PTA niveaus duidelijk afwijkt van de lineaire trend, blijft proefstuk R2 relatief dicht in de buurt van de lineaire trend. Hiervoor zijn verschillende verklaringen mogelijk:

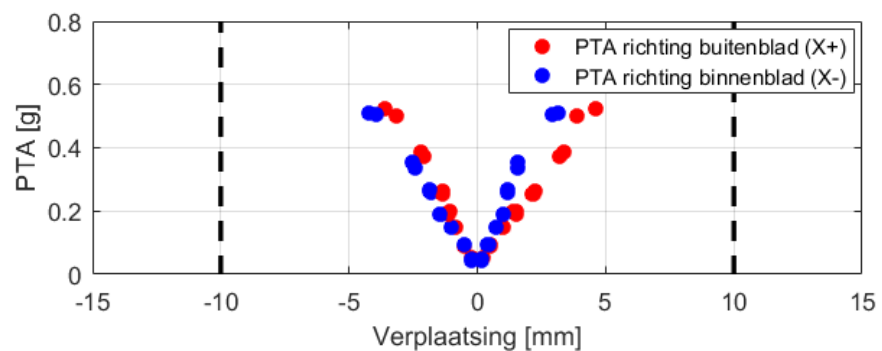
1. Het grotere hechtingsoppervlak van de geperforeerde steen in het buitenblad van proefstuk R2 resulteert mogelijk in een grotere hechtingssterkte dan de massieve baksteen toegepast in proefstuk R1. Hierdoor is er minder scheurvorming in het proefstuk en neemt de stijfheid van proefstuk R2 minder af dan de stijfheid van R1.
2. De inherente variabiliteit in eigenschappen tussen de proefstukken zorgen voor verschillende resultaten. Om te bepalen of de geconstateerde verschillen een gevolg zijn van deze variabiliteit tussen de proefstukken zijn testen op meerdere proefstukken van zowel R1 als R2 nodig.

De fase 1 testen op proefstuk R2 zijn beëindigd bij een PTA = 0,58 g. De test met Gr-1 (300%) die was uitgevoerd op proefstuk R1, is niet gedaan voor proefstuk R2. Figuur 19(c) geeft de grootste verplaatsingen van het Fischer proefstuk met oplopende PTA. De minimum en maximum verplaatsing volgen een lineaire trend tot een PTA = 0,5 g. Deze lineaire trend loopt vlakker dan de trend waargenomen in proefstuk R1 en R2. De uitwijking in het midden van het Fischer proefstuk is ongeveer een factor 2 groter dan de uitwijkingen van R1 en R2. Dit betekent dat de stijfheid van het Fischer proefstuk ongeveer de helft is van de referentie proefstukken. Bij Tabel 9 wordt hier verder op ingegaan.

In vergelijking met de resultaten van proefstuk R1 en R2 zijn er grotere verschillen zichtbaar tussen verschillende testen bij dezelfde PTA. Figuur 21 geeft de maximum verplaatsingen van het Fischer proefstuk, waarbij onderscheid is gemaakt in de richting van de PTA (in binnen- of buitenblad richting). Hieruit blijkt dat de maximum en minimum verplaatsing in het midden van het Fischer proefstuk afhankelijk zijn van de richting van het aangeboden signaal. Dit verklaart ook de verschillen in uitwijking bij een bepaalde PTA geconstateerd in Figuur 19(c). Vanwege de grote verplaatsingen in het midden van het proefstuk en de eerste indicatie van niet-lineair gedrag is fase 1 beëindigd na de testen met signaal Gr-1 (200%) met PTA = 0,51 g. De testen met Gr-1 (250%) en Gr-1 (300%) zijn niet uitgevoerd.

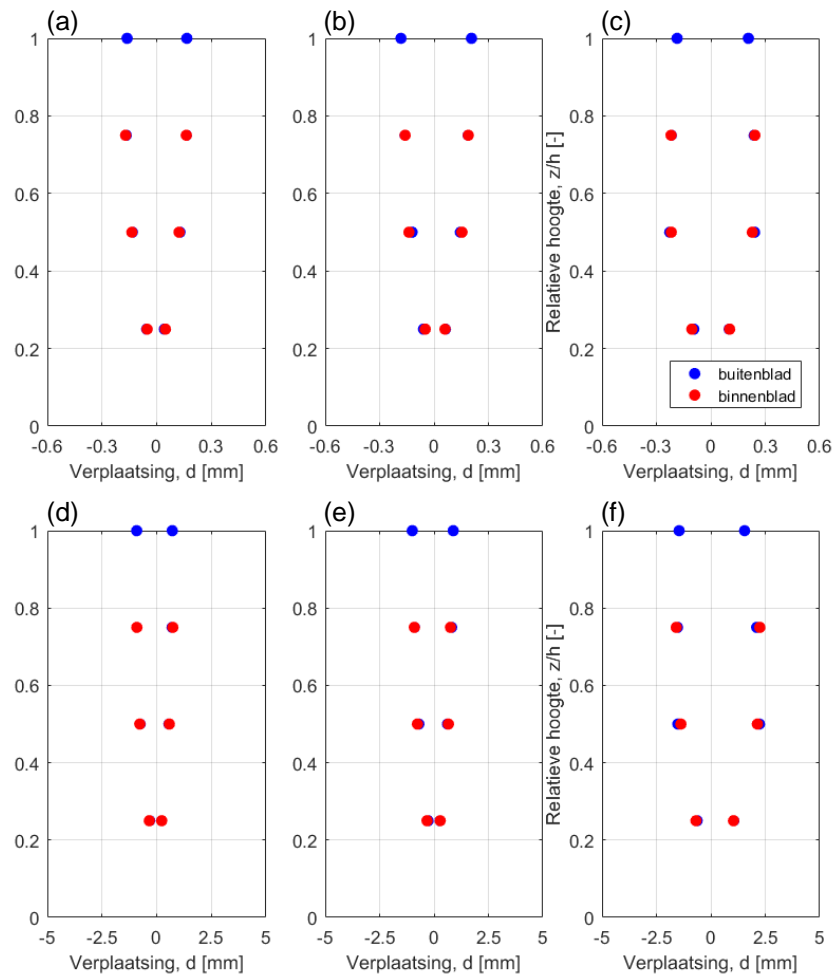


Figuur 20 Foto's genomen van de gespecificeerde zone op proefstuk R1 (blauw kader) in opvolgende schade inspecties: (a) inspectie 0, (b) inspectie 5, en (c) inspectie 6. Het rode pijltje geeft waargenomen scheurvorming aan.



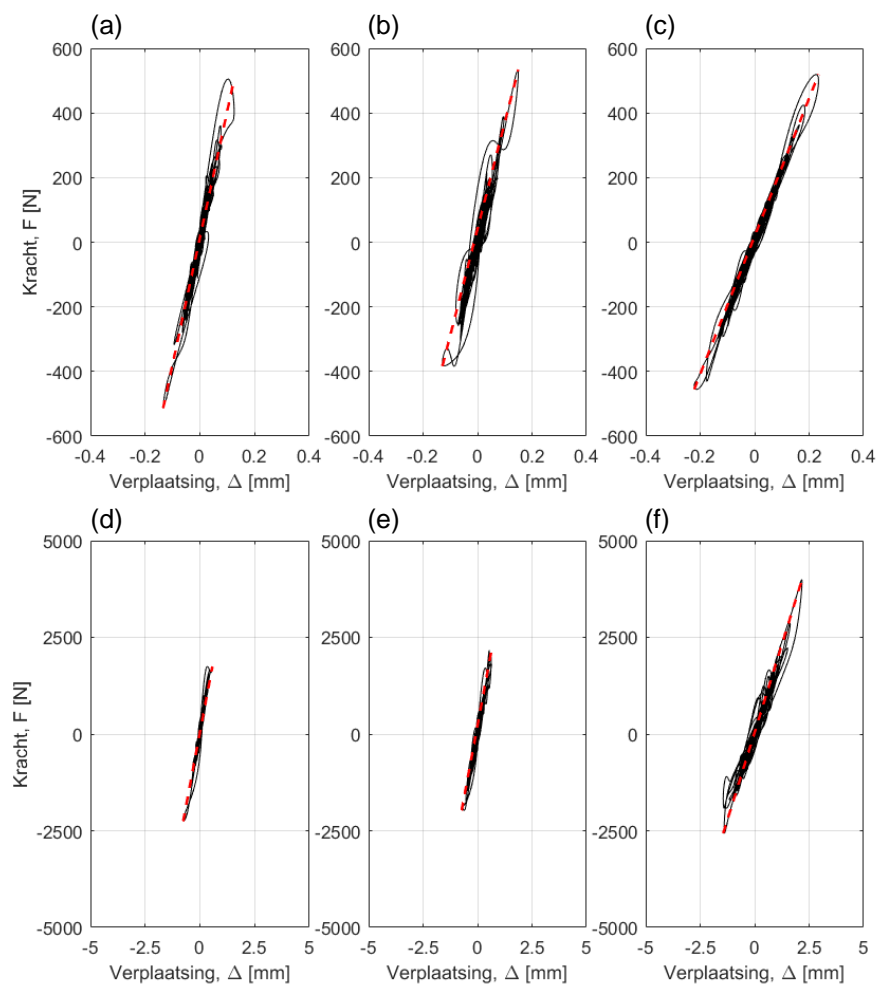
Figuur 21 Verplaatsing midden Fischer proefstuk tegen piek tafel versnelling (PTA = Peak Table Acceleration) gemeten met signaal Gr-1, waarbij onderscheid tussen de testen is gemaakt wat betreft de richting van het aangeboden signaal. De zwarte gebroken lijn specificeert het meetbereik van de verplaatsingsopnemers.

Figuur 22 geeft de verplaatsing van de drie proefstukken over de hoogte op het moment van de maximum en minimum verplaatsing in het midden van het proefstuk. Figuur 22(a)-(c) geven de resultaten voor Gr-1 (20%) met een PTA = 0,05 g en Figuur 22(d)-(f) voor Gr-1 (100%) met een PTA \approx 0,25 g. Voor zowel de Gr-1 (20%) als de Gr-1 (100%) komen de verplaatsingen van de twee referentie proefstukken R1 en R2 goed overeen. Bij beide proefstukken is de verplaatsing het grootst aan de bovenzijde van het proefstuk ($z/h = 1$). Bij het Fischer proefstuk treden de grootste verplaatsing op tussen $z/h = 0,5$ en $z/h = 0,75$.



Figuur 22 Verplaatsing van de proefstukken op 4 posities over de hoogte: (a) R1 – Gr-1 (20%), (b) R2 – Gr-1 (20%), (c) Fischer – Gr-1 (20%), (d) R1 – Gr-1 (100%), (e) R2 – Gr-1 (100%), en (f) Fischer – Gr-1 (100%).

De geconstateerde verschillen in piekverplaatsing in het midden (Figuur 19) en in de verplaatsingen over de hoogte van de proefstukken (Figuur 22) hebben te maken met verschillen in stijfheid. Figuur 23 presenteert grafieken van de kracht tegen de verplaatsing, bepaald voor de drie proefstukken in de testen met Gr-1 (20%) en Gr-1 (100%). Hierbij is de kracht op het proefstuk bepaald door een driehoekige versnellingsverdeling over de hoogte van het proefstuk te bepalen en deze te vermenigvuldigen met de massa van het proefstuk (zie Tabel 2). De verhouding tussen de kracht en de verplaatsing (weergegeven met de rode stippellijn) is een maat voor de effectieve stijfheid (K_{eff}) van het proefstuk. Tabel 9 specificeert de waarden bepaald voor de effectieve stijfheid in de begane grond testen; Figuur 24 geeft de waarden tegen de bijbehorende PTA. Voor alle proefstukken geldt dat lagere effectieve stijfheden worden gevonden bij een toename in de intensiteit van het aangeboden signaal. Deze afname in effectieve stijfheid suggereert dat er al sprake is van (niet-zichtbare) scheurvorming vanaf $\text{PGA} = 0,1 \text{ g}$.



Figuur 23 Grafieken met de kracht op het proefstuk tegen de verplaatsing in het midden van het proefstuk: (a) R1 – Gr-1 (20%), (b) R2 – Gr-1 (20%), (c) Fischer – Gr-1 (20%), (d) R1 – Gr-1 (100%), (e) R2 – Gr-1 (100%), en (f) Fischer – Gr-1 (100%).

De effectieve stijfheden van de referentie proefstukken komen redelijk overeen tot signaal Gr-1 (150%) met een PTA = 0,37 g. Bij de signalen met hogere intensiteit neemt de effectieve stijfheid van proefstuk R1 sneller af dan die van R2. Dit suggereert dat vanaf Gr-1 (150%) de mate van schade ontwikkeling in proefstuk R1 groter is dan in R2. Dit komt overeen met de eerdere bevindingen in Figuur 19, waar een afwijking van de lineaire trend is geconstateerd vanaf signaal Gr-1 (150%) met PTA = 0,37 g.

Het Fischer proefstuk heeft een lagere effectieve stijfheid dan de twee referentie proefstukken. Mogelijke redenen hiervoor kunnen zijn:

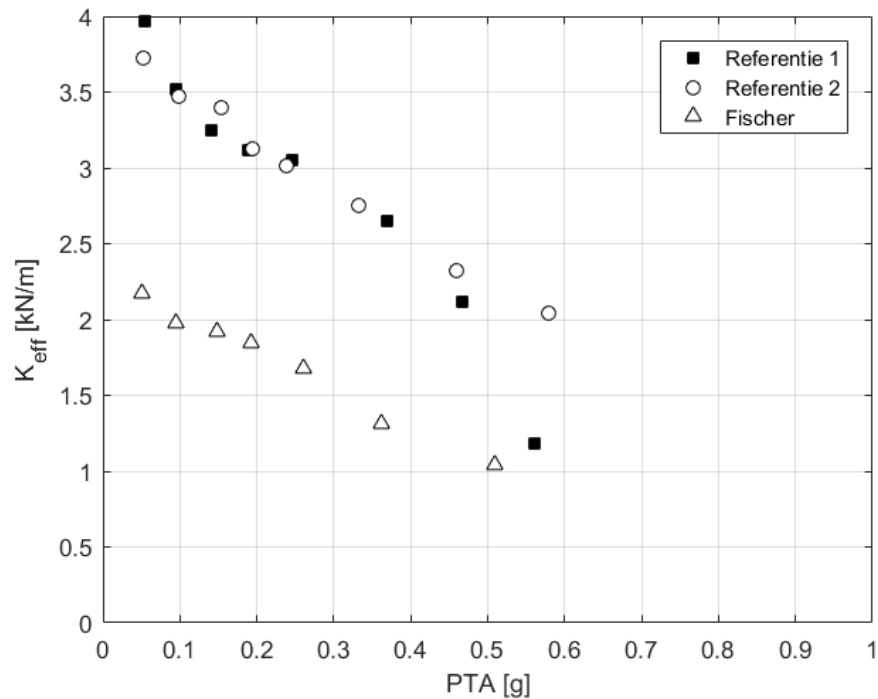
- De Fischer renovatie ankers bestaan uit een schroef in een rubberen plug. De rubberen plug zorgt voor een flexibeler verbinding tussen de metalen schroef en de muur, dan bij het anker toegepast in de referentie proefstukken.
- Het kan ook te maken hebben met de productie van het Fischer proefstuk. Het geteste proefstuk is gebouwd zonder spouwankers, naderhand zijn de renovatie ankers van Fischer aangebracht. Doordat het proefstuk zonder spouwankers is opgebouwd konden het binnen- en buitenblad elkaar niet ondersteunen tijdens de bouw. Mogelijk heeft dit voor een lagere initiële stijfheid van het proefstuk gezorgd.

Om de laatste hypothese te kunnen onderzoeken zou een nieuwe test uitgevoerd moeten worden, waarbij een proefstuk met spouwankers wordt gebouwd. Na het drogen van het proefstuk worden de spouwankers dan doorgeknipt. Hiermee wordt het doorroesten van de ankers gesimuleerd. Na het doorknippen van de ankers worden de renovatie ankers geplaatst.

Tabel 9 De gemiddelde effectieve stijfheid (K_{eff}) bepaald in de begane grond testen voor elke set signalen met een bepaalde schaalfactor. Tussen haakjes staat de bandbreedte van één standaard deviatie van de set signalen die is gesimuleerd.

	Referentie 1 (R1)	Referentie 2 (R2)	Fischer
Signaal	K_{eff} [kN/m]	K_{eff} [kN/m]	K_{eff} [kN/m]
RWA (20%)	4,59 (+/- 0,22)	4,11 (+/- 0,24)	2,21 (+/- 0,05)
Gr-1 (20%)	3,97 (+/- 0,12)	3,72 (+/- 0,22)	2,17 (+/- 0,03)
Gr-1 (40%)	3,52 (+/- 0,03)	3,47 (+/- 0,21)	1,98 (+/- 0,02)
Gr-1 (60%)	3,25 (+/- 0,03)	3,40 (+/- 0,18)	1,92 (+/- 0,06)
Gr-1 (80%)	3,12 (+/- 0,07)	3,13 (+/- 0,13)	1,85 (+/- 0,13)
Gr-1 (100%)	3,05 (+/- 0,08)	3,01 (+/- 0,06)	1,68 (+/- 0,14)
Gr-1 (140%)	X	2,75 (+/- 0,06)	1,31 (+/- 0,08)
Gr-1 (150%)	2,65 (+/- 0,02)	X	X
Gr-1 (200%)	2,12 (+/- 0,07)	2,32 (+/- 0,09)	1,04 (+/- 0,08)
Gr-1 (250%)	1,18 (+/- 0,20)	2,04 (+/- 0,06)	X
Gr-1 (300%)	¹	X	X
RWA (40%)	2,37 (+/- 0,07)	X	X
RWA (80%)	2,06 (+/- 0,21)	X	X
RWA (100%)	X	2,50 (+/- 0,06)	1,38 (+/- 0,09)

¹ Bepaling niet mogelijk doordat de opgetreden verplaatsingen groter waren dan het bereik van de verplaatsingsopnemers.



Figuur 24 De effectieve stijfheid K_{eff} bepaald met signaal Gr-1 tegen de piek tafel versnelling (PTA) voor de 3 proefstukken.

Tabel 10 geeft de eigenfrequenties en dempingswaarden bepaald met de hamertesten en met de verschillende testsignalen die zijn toegepast in fase 1. Details van de bepalingsmethode zijn beschreven in bijlage F. De hamertesten zijn dikgedrukt weergegeven omdat deze het beste beeld geven van de verandering in de dynamische eigenschappen ten gevolge van schade ontwikkeling in het proefstuk. De reden hiervoor is dat het krachtsignaal dat wordt aangeboden aan het proefstuk elke keer dezelfde intensiteit heeft, terwijl de aangeboden testsignalen langzaam toenemen in intensiteit. Deze toename in intensiteit kan ook een verandering in dynamische eigenschappen tot gevolg hebben, die niet noodzakelijkerwijs met schade ontwikkeling te maken heeft, maar bv. met onderdelen van het proefstuk of de testopstelling die ten opzichte van elkaar gaan bewegen vanaf een bepaalde signaalintensiteit.

Voor alle proefstukken is een duidelijke afname in eigenfrequentie waarneembaar. De demping van de proefstukken varieert ongeveer tussen de 1% en 2%, waarbij er geen trend zichtbaar is met toename in intensiteit.

Voor de referentie proefstukken geven de RWA (20%) signalen ongeveer dezelfde eigenfrequenties als de eerste hamertesten. De daaropvolgende Gr-1 signalen laten een snellere afname in eigenfrequentie zien dan de hamertesten. Er is dus inderdaad een invloed van de intensiteit van het aangeboden signaal op de eigenfrequentie waarneembaar. De waarschijnlijke reden voor de afname in eigenfrequentie bepaald met de signaaltesten is dat er kleine scheurtjes in het proefstuk ontstaan, die de stijfheid verlagen zoals eerder was geconstateerd bij de bepaling van de effectieve stijfheid. De hamertesten worden uitgevoerd terwijl het proefstuk stilstaat. De scheurtjes die zijn ontstaan in de signaaltesten hebben in deze situatie een kleiner effect op de eigenfrequentie, mogelijk doordat ze dicht worden gedrukt door de aangebrachte belasting.

Proefstuk R1 heeft bij de eerste hamertest een hogere eigenfrequentie (11,7 Hz) dan R2 (11,1 Hz). De eigenfrequentie van beide proefstukken bepaald met de hamertesten verandert weinig tot en met de derde hamertest. In de vierde hamertest is de eigenfrequentie van proefstuk R1 duidelijk afgenomen, wat waarschijnlijk te maken heeft met een afname in de stijfheid van het proefstuk. Dit is ook zichtbaar in Figuur 24 waar in deze test de effectieve stijfheid significant afneemt. Deze observaties hebben waarschijnlijk te maken met een toename in scheurvorming in het proefstuk. In de daarop volgende hamertesten neemt de eigenfrequentie geleidelijk verder af tot 10,6 Hz in de hamertest na de signaaltest met Gr-1 (250%). Na de test met signaal Gr-1 (300%) is weer een sterke afname in eigenfrequentie te zien, wat goed overeenkomt met de scheurvorming die na deze test is geconstateerd in de schade inspectie (zie Figuur 20).

De eigenfrequentie van proefstuk R2 neemt na de derde hamertest geleidelijk af tot een eigenfrequentie van 10,6 Hz, er is echter geen plotselinge afname zichtbaar. De geleidelijke afname in eigenfrequentie in proefstuk R2 is een indicatie dat er minder scheurvorming is opgetreden dan in proefstuk R1.

Voor beide referentie proefstukken geven de RWA (20%) signalen ongeveer dezelfde eigenfrequenties als de eerste hamertesten. De daaropvolgende Gr-1 signalen laten een snellere afname in eigenfrequentie zien dan de hamertesten. Er is dus inderdaad een invloed van de trillingsintensiteit van het aangeboden signaal op de eigenfrequentie waarneembaar. Voor deze invloed zijn een paar verklaringen mogelijk:

1. Er ontstaan kleine scheurtjes in het metselwerk, die de stijfheid verlagen zoals eerder was geconstateerd bij de bepaling van de effectieve stijfheid. De hamertesten worden uitgevoerd terwijl het proefstuk stilstaat. De scheurtjes die zijn ontstaan in de signaaltesten hebben in deze situatie een kleiner effect op de eigenfrequentie, mogelijk doordat ze dicht worden gedrukt door de aangebrachte belasting.
2. Bepaalde onderdelen van het proefstuk en de testopstelling (bv. het betonblok tussen de hoekprofielen en de stalen ligger op het binnenblad) die vanaf een bepaalde trillingsintensiteit een beetje gaan bewegen of schuiven ten opzichte van elkaar.

Gezien de brosheid van de referentie proefstukken lijkt de eerste verklaring voor de afname in eigenfrequentie de meest waarschijnlijke.

Het Fischer proefstuk heeft een lagere eigenfrequentie dan de twee referentie proefstukken. Dit komt overeen met de eerder bepaalde lagere waarde voor de effectieve stijfheid K_{eff} . De hamertest na de testen met signaal Gr-1 (80%) geeft een duidelijk lagere eigenfrequentie dan de voorgaande hamertest, wat een indicatie is dat er sprake is van schadeontwikkeling in het Fischer proefstuk. Ook de daaropvolgende hamertest resulteert in een verdere afname van de eigenfrequentie tot 8,7 Hz. De laatste hamertest op het Fischer proefstuk na de signaaltest Gr-1 (200%) geeft geen significante verandering in de eigenfrequentie.

Tabel 10 Eigenfrequentie en demping bepaald met de hamertesten (dikgedrukt) en de verschillende aangeboden signalen.

Signaal	Referentie 1 (R1)		Referentie 2 (R2)		Fischer	
	f_1 [Hz]	ζ_1 [%]	f_1 [Hz]	ζ_1 [%]	f_1 [Hz]	ζ_1 [%]
Hamer	11,7	1,3	11,1	1,3	9,7	1,5
RWA (20%)	11,9	1,2	11,1	1,8	9,6	0,7
Gr-1 (20%)	11,5	2,0	10,8	1,9	9,3	1,4
Gr-1 (40%)	11,5	1,6	10,8	0,9	9,2	1,4
Hamer	11,7	1,3	11,0	1,8	9,6	1,2
Gr-1 (60%)	11,5	2,1	10,4	1,0	8,7	1,2
Gr-1 (80%)	10,8	1,3	10,4	1,2	8,5	1,6
Hamer	11,6	1,2	11,0	1,2	9,1	1,4
Gr-1 (100%)	10,8	1,0	10,0	1,5	7,9	1,7
Gr-1 (140%)	X	X	9,9	3,5	- ¹	- ¹
Gr-1 (150%)	10,0	1,3	X	X	X	X
Hamer	11,1	1,4	10,9	1,6	8,7	1,1
Gr-1 (200%)	9,5	0,9	9,5	1,6	6,8	1,1
Hamer	11	1,1	10,7	1,5	8,8	1,1
Gr-1 (250%)	8,6	1,0	9,4	1,3	X	X
Hamer	10,6	1,0	10,6	1,4	X	X
Gr-1 (300%)	- ²	- ²	X	X	X	X
Hamer	10,0	0,7	X	X	X	X
RWA (40%)	- ¹	- ¹	X	X	X	X
RWA (80%)	8,7	1,0	X	X	X	X
RWA (100%)	X	X	9,0	0,8	7,2	2,3

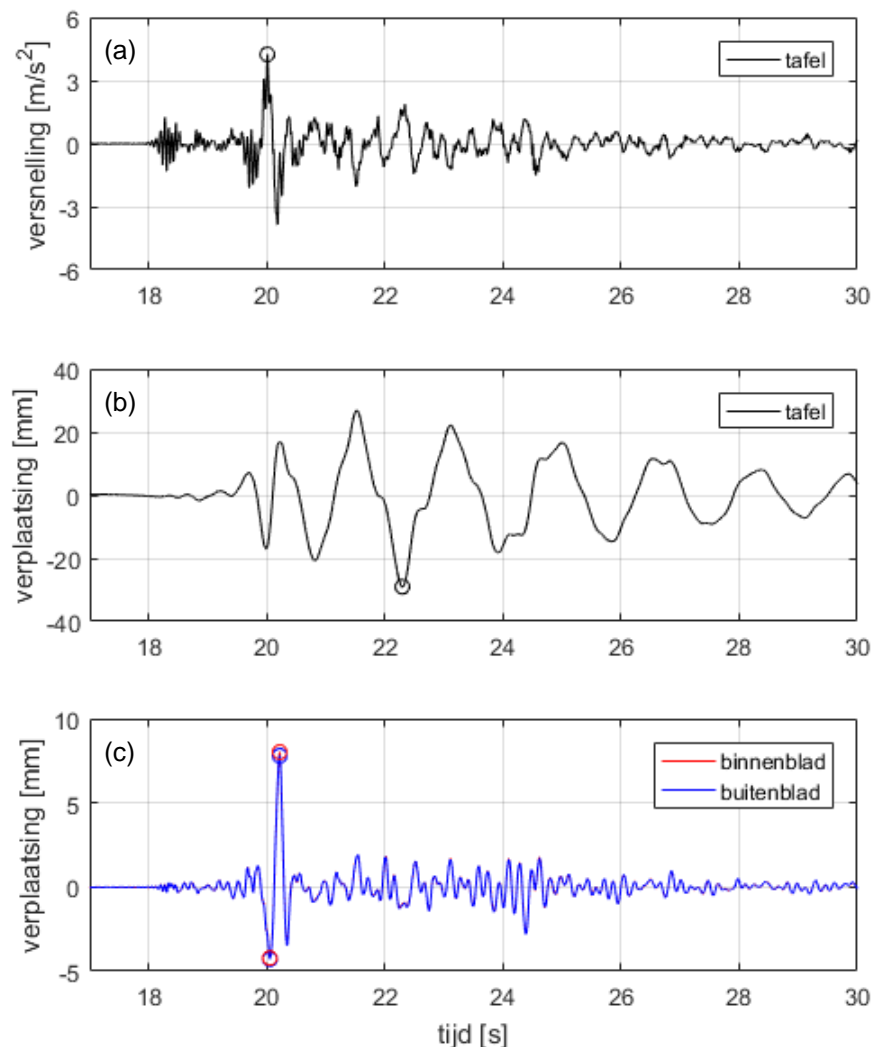
¹ Bepaalde waarde niet betrouwbaar omdat de coherentie van de overdracht te laag is.

² Bepaling niet mogelijk doordat de opgetreden verplaatsingen groter waren dan het bereik van de verplaatsingsopnemers.

3.2 Fase 2 – 1^e verdieping belasting en signaal Gr-2

Voor de fase 2 testen is de belasting op de bovenzijde van het proefstuk verlaagd naar ongeveer 23 kN. Figuur 25(a) en (b) illustreren het gemeten versnellingssignaal en verplaatsingssignaal op de tafel tijdens één van de uitgevoerde testen met signaal Gr-2 (100%) op het Fischer proefstuk. Bijlage G geeft de signalen gemeten op alle proefstukken. Figuur 25(c) presenteert de verplaatsingssignalen gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk. De piek tafel versnelling en piek tafel verplaatsing zijn met zwarte rondjes aangegeven in Figuur 25(a) en (b); de minimum en maximum verplaatsing van het binnen- en buitenblad zijn aangegeven in Figuur 25(c).

Tabel 11 geeft een overzicht van de gemiddelde PTA en PTD waarden bepaald voor elke set signalen uitgevoerd bij een bepaalde schaalfactor; tussen haakjes is de spreiding (één standaard deviatie) gespecificeerd.



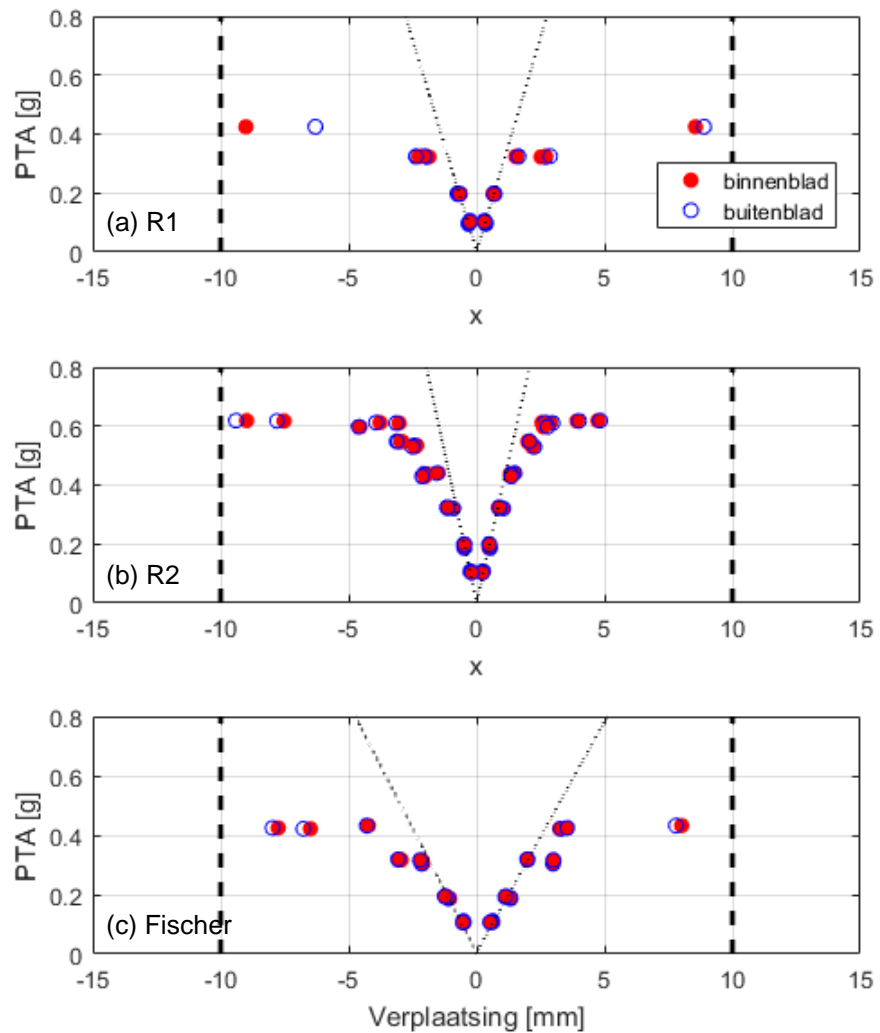
Figuur 25 Gemeten signalen op het Fischer proefstuk voor een test met Gr-2 (100%): (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.

Tabel 11 De gemiddelde piek tafel versnelling (PTA) en piek tafel verplaatsing (PTD) gemeten in de 1^e verdieping testen voor elke set signalen met een bepaalde schaalfactor. Tussen haakjes staat de (één standaard deviatie) spreiding van de set signalen die is gesimuleerd.

Signaal (SF)	Referentie 1 (R1)		Referentie 2 (R2)		Fischer	
	PTA [g]	PTD [mm]	PTA [g]	PTD [mm]	PTA [g]	PTD [mm]
RWA (20%)	0,066 (+/-0,005)	7,51 (+/-0,02)	0,068 (+/-0,004)	7,52 (+/-0,01)	0,071 (+/-0,006)	7,53 (+/-0,02)
Gr-2 (20%)	0,100 (+/-0,004)	5,82 (+/-0,01)	0,106 (+/-0,002)	5,82 (+/-0,01)	0,108 (+/-0,002)	5,81 (+/-0,01)
Gr-2 (40%)	0,198 (+/-0,001)	11,59 (+/-0,01)	0,194 (+/-0,006)	11,60 (+/-0,02)	0,191 (+/-0,003)	11,57 (+/-0,02)
Gr-2 (70%)	0,324 (+/-0,001)	20,31 (+/-0,01)	0,323 (+/-0,002)	20,36 (+/-0,01)	0,315 (+/-0,006)	20,31 (+/-0,01)
Gr-2 (100%)	0,429 (+/-0,008)	28,96 (+/-0,13)	0,435 (+/-0,006)	29,03 (+/-0,01)	0,426 (+/-0,005)	29,02 (+/-0,03)
RWA (100%)	X	X	0,288 (+/-0,003)	37,49 (+/-0,04)	0,292 (+/-0,017)	37,51 (+/-0,11)
Gr-2 (120%)	0,505 (+/-0,001)	34,76 (+/-0,03)	X	X	X	X
Gr-2 (130%)	X	X	0,540 (+/-0,009)	37,70 (+/-0,03)	0,538 (+/-0,010)	37,47 (+/-0,07)
Gr-2 (150%)	0,697 (+/-0,134)	46,23 (+/-4,00)	0,610 (+/-0,008)	43,39 (+/-0,08)	X	X
Gr-2 (170%)	X	X	0,693 (+/-0,07)	47,13 (+/-3,34)	X	X
RWA (100%)	X	X	0,278	37,39	X	X
Gr-2 (150%)	X	X	0,593	43,35	X	X

De PTA waarden in de fase 2 testen zijn geen PGA waarden. Om een inschatting te maken van het bijbehorende PGA niveau kan de grootste versnelling in het Gr-2 signaal omgerekend worden naar de grootste versnelling van het bijbehorende Gr-1 signaal op de begane grond. Door de grootste versnelling gemeten op de tafel (PTA) tijdens een test met signaal Gr-2 te vermenigvuldigen met 0,55 wordt de bijbehorende PGA verkregen (zie paragraaf 2.5 voor een toelichting).

Figuur 26 geeft de gemeten maximum en minimum verplaatsing in het midden van het proefstuk tegen de piekversnelling gemeten op de tafel (PTA) voor de Gr-2 signalen. Voor proefstuk R1 zijn testen uitgevoerd tot een PTA = 0,70 g. De resultaten van deze testen met signaal Gr-2 (150%) en de testen met signaal Gr-2 (120%) zijn niet zichtbaar in Figuur 26, omdat de verplaatsingen in deze testen groter waren dan het bereik van de verplaatsingsopnemers. Tot en met PTA = 0,2 g is te zien dat de gemeten piekverplaatsingen een lineaire trend volgen met de PTA. Vanaf testsignaal Gr-2 (70%) worden de piekverplaatsingen groter dan deze lineaire trend. In de testen met signaal Gr-2 (100%) met een PTA = 0,43 g is er een duidelijk verschil te zien in de minimum en maximum verplaatsing gemeten op het binnen- en buitenblad. Tijdens deze testen ontstond op ongeveer 3/4 van de hoogte van het proefstuk een scheur over de hele breedte van het buitenblad. Figuur 27(c) illustreert een deel van de scheur die zichtbaar was in het buitenblad na deze test. Hoewel er dus in de fase 1 testen al een scheur was ontstaan in het midden van het proefstuk, aangegeven met de blauwe pijl in Figuur 27(a-b), zorgt de verlaging van de belasting aan de bovenzijde van het binnenblad voor een verandering van de positie waar scheurvorming optreedt. Naast deze nieuwe scheurvorming neemt de schade in de originele scheur wel zichtbaar toe, zoals ook te zien is in Figuur 27(c).

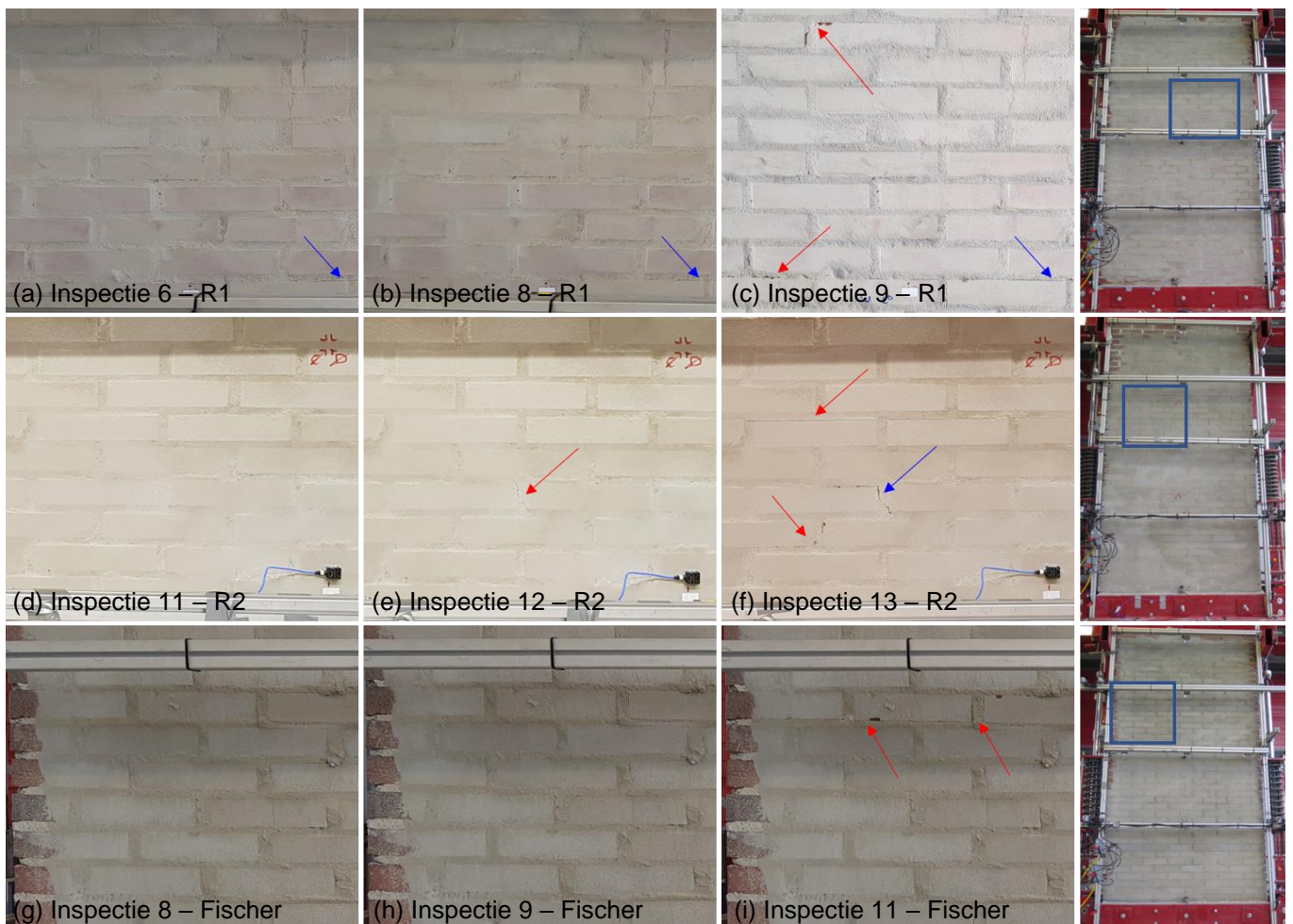


Figuur 26 Verplaatsing midden proefstuk tegen piek tafel versnelling (PTA) gemeten met signaal Gr-2: (a) proefstuk R1, (b) proefstuk R2 en (c) Fischer. De zwarte gebroken lijn specificeert het meetbereik van de verplaatsingsopnemers; de zwarte stippellijn is een gefitte lijn op de data met $PTA \leq 0.2$ g.

Figuur 26(b) geeft de piekverplaatsingen in het midden van proefstuk R2 met toenemende intensiteit in testsignalen. Tot testsignaal Gr-2 (130%) is er een lineaire trend tussen piekverplaatsing en PTA, vanaf $PTA = 0,54$ g worden de piekverplaatsingen iets groter dan deze trend. In de testen met signaal Gr-2 (150%), met een $PTA = 0,61$ g, nemen de piekverplaatsingen sterk toe. In inspectie 12 na deze test is ook de eerste scheurvorming waargenomen, te zien in Figuur 27(e), op een hoogte $z/h \approx 0,6$. De resultaten van de testen met signaal Gr-2 (170%) zijn niet weergegeven, omdat de verplaatsingen groter waren dan het meetbereik van de verplaatsingsopnemers. Na twee testen met Gr-2 (170%) is nogmaals een schade inspectie uitgevoerd. Naast een toename in de originele scheurvorming, was een nieuwe scheur ontstaan op $z/h \approx 0,75$. Hieruit blijkt dat de belasting aan de bovenzijde grote invloed heeft op de locatie waar de grootste spanningen optreden in het proefstuk. Hoewel proefstuk R2 pas bij een hogere PTA dan proefstuk R1 niet-lineair gedrag vertoonde, konden beide proefstukken

dezelfde maximum PTA van ongeveer 0,7 g weerstaan. Het verschil in hechtingsoppervlak tussen proefstuk R1 (buitenblad met massieve baksteen) en R2 (buitenblad met geperforeerde baksteen) lijkt dus weinig invloed te hebben op de uiteindelijke faalsterkte. Het grotere hechtingsoppervlak van de geperforeerde steen lijkt het proefstuk wel bestendiger te maken tegen scheurinitiatie.

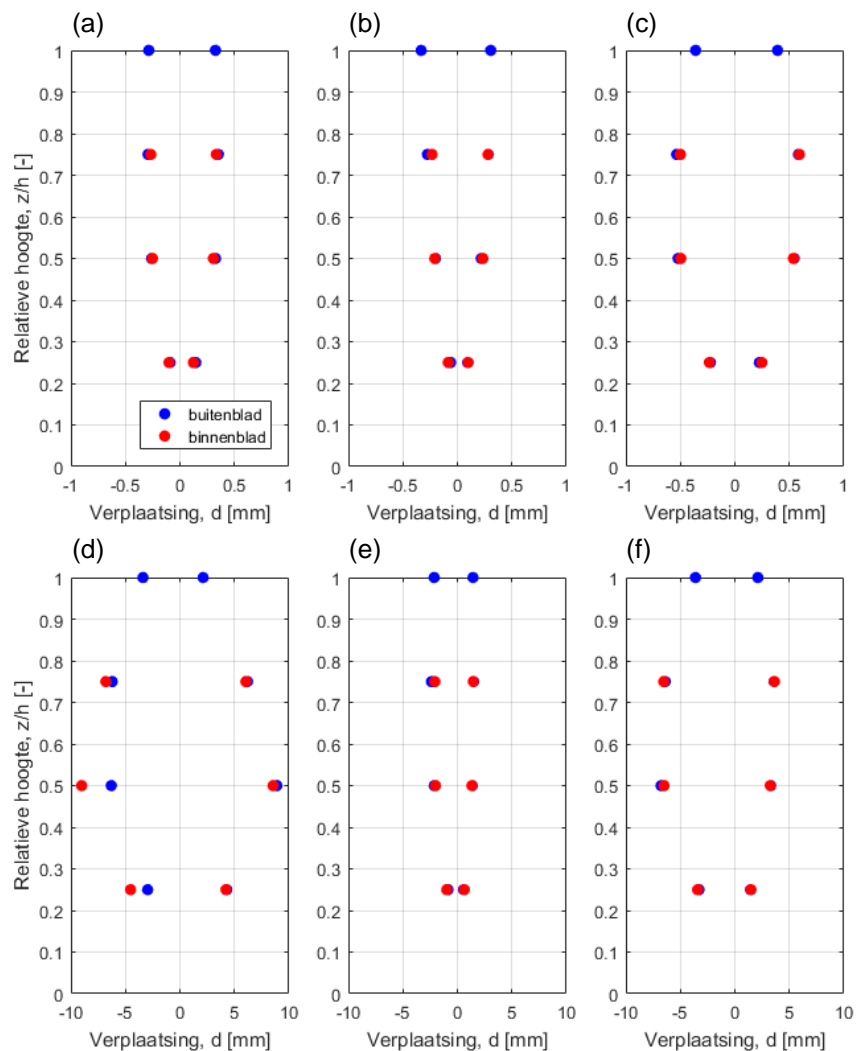
Figuur 26(c) geeft de piekverplaatsingen van het Fischer proefstuk met oplopende PTA. De minimum en maximum verplaatsing volgen een lineaire trend tot een PTA $\approx 0,3$ g. In de testen met signaal Gr-2 (100%) is een duidelijke toename in de piekverplaatsing te zien. In inspectie 9 na deze testen werd echter geen schade waargenomen, dit is ook terug te zien in Figuur 27(h) waarin geen afwijkingen waar te nemen zijn ten opzichte van Figuur 27(g). De eerste test met signaal Gr-2 (130%) resulteerde in piekverplaatsingen die nog net binnen het meetbereik van de verplaatsingsopnemers vielen. In Figuur 26(c) is te zien dat er een duidelijk verschil is tussen de piekverplaatsing gemeten op het binnen- en buitenblad. In inspectie 11, uitgevoerd direct na deze test, is scheurvorming waar te nemen op 3/4 van de hoogte van het proefstuk. Deze schade is aangegeven met rode pijltjes in Figuur 27(i). Het Fischer proefstuk weerstond een maximum PTA van 0,55 g. Het proefstuk faalde uiteindelijk in de derde test met signaal Gr-2 (130%).



Figuur 27 Foto's genomen van de gespecificeerde zones op proefstuk R1 (a-c), R2 (d-f) en Fischer (g-i) in opvolgende schade inspecties: (a) inspectie 6 – R1, (b) inspectie 8 – R1, (c) inspectie 9 – R1, (d) inspectie 11 – R2, (e) inspectie 12 – R2, (f) inspectie 13 – R2, (g) inspectie 8 – Fischer, (h) inspectie 9 – Fischer, (i) inspectie 11 – Fischer. Het rode pijltje geeft waargenomen nieuwe scheurvorming aan, het blauwe pijltje geeft scheurvorming aan die ook was waargenomen in eerdere inspectie.

Figuur 28 presenteert de uitwijking van de drie proefstukken op 4 posities over de hoogte op het moment van de maximum en minimum verplaatsing in het midden van het proefstuk. Figuur 28(a)-(c) geven de resultaten voor signaal Gr-2 (20%), en Figuur 28(d)-(f) geven de resultaten voor signaal Gr-2 (100%). Bij signaal Gr-2 (20%) met een PTA = 0,05 g zijn de verplaatsingen van proefstuk R1 een beetje groter dan die van R2. Bij beide proefstukken is de verplaatsing het grootst aan de bovenzijde van het proefstuk. Bij het Fischer proefstuk treedt de grootste verplaatsing ergens tussen $z/h = 0,5$ en $z/h = 0,75$ op. Zoals al beschreven bij de fase 1 testen is dit waarschijnlijk een gevolg van de lagere effectieve stijfheid van het Fischer proefstuk.

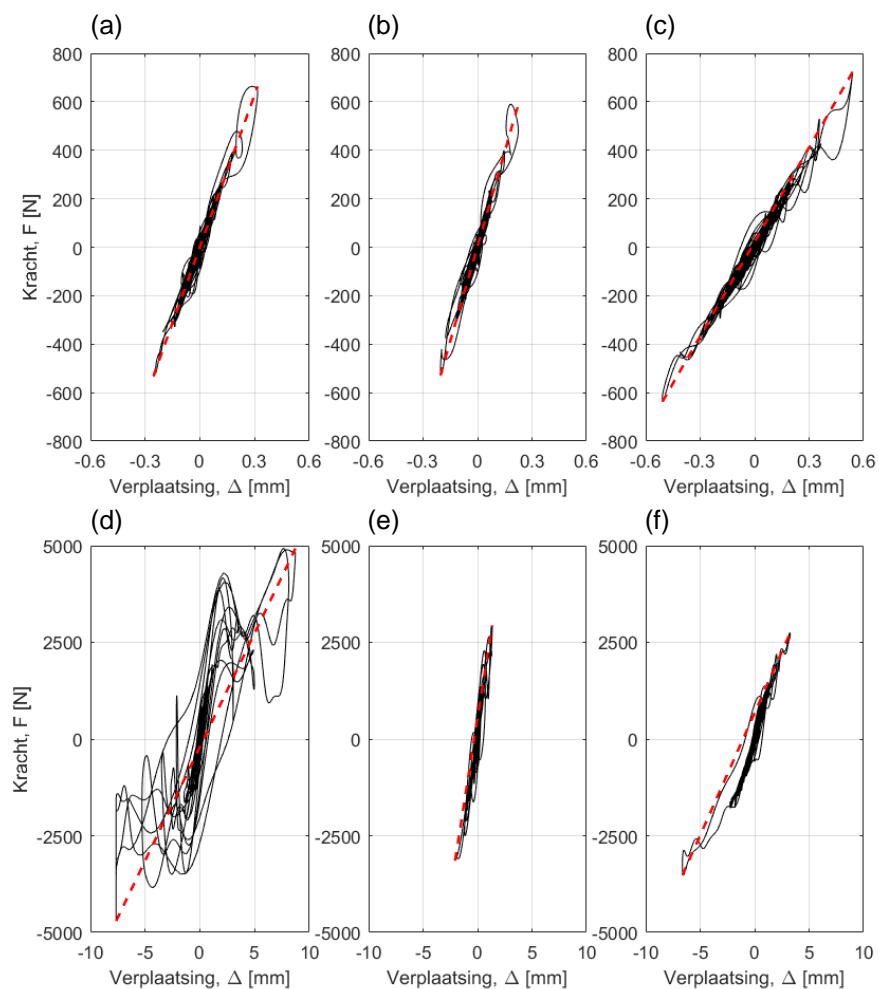
Bij signaal Gr-2 (100%) is er een duidelijk verschil waarneembaar in de verplaatsingen van de twee referentie proefstukken. Proefstuk R1 heeft grotere verplaatsingen dan R2, en in het midden ondergaat het buitenblad van R1 een andere verplaatsing dan het binnenblad. Dit laatste duidt op het ontstaan van schade, wat ook al was geconstateerd op basis van Figuur 26 en Figuur 27.



Figuur 28 Verplaatsing van de proefstukken op 4 posities over de hoogte: (a) R1 – Gr-2 (20%), (b) R2 – Gr-2 (20%), (c) Fischer – Gr-2 (20%), (d) R1 – Gr-2 (100%), (e) R2 – Gr-2 (100%), en (f) Fischer – Gr-2 (100%).

Op het Fischer proefstuk zijn de verplaatsingen in negatieve richting groter dan de verplaatsingen in positieve richting. Hoewel de verplaatsingen groter zijn dan die op proefstuk R2, bewegen binnen- en buitenblad nog wel als één geheel. In de inspectie na deze test, inspectie 11 in Figuur 27(h), kon nog geen schade worden waargenomen op het proefstuk.

Figuur 29 presenteert grafieken van de traagheidskracht op het proefstuk tegen de verplaatsing in het midden, bepaald voor de drie proefstukken in de testen met Gr-2 (20%) en Gr-2 (100%). Voor alle testen met Gr-2 (20%) is er een lineaire relatie zichtbaar tussen de verplaatsing in het midden van het proefstuk en de kracht op het proefstuk, deze relatie is aangegeven met een rode stippellijn. De helling van deze stippellijn is een maat voor de effectieve stijfheid K_{eff} van het proefstuk. Voor de testen met Gr-2 (20%), geïllustreerd in Figuur 29(a)-(c), ligt de rode stippellijn op de gemeten zwarte lijn. Dit betekent dat er met testsignaal Gr-2 (20%) alleen sprake is van lineair elastisch gedrag, en er geen plastisch gedrag optreedt waarbij schade ontstaat.



Figuur 29 Grafieken met de kracht op het proefstuk tegen de verplaatsing in het midden van het proefstuk: (a) R1 – Gr-2 (20%), (b) R2 – Gr-2 (20%), (c) Fischer – Gr-2 (20%), (d) R1 – Gr-2 (100%), (e) R2 – Gr-2 (100%), en (f) Fischer – Gr-2 (100%).

In de testen met de Gr-2 (100%) signalen op proefstuk R1 en het Fischer proefstuk, weergegeven in Figuur 29(d) en (f), is er wel sprake van niet-lineair plastisch gedrag. Dit is goed te zien in Figuur 29(d), waar de zwarte lijn niet op één lijn ligt, en niet overal recht loopt. Hierdoor heeft de effectieve stijfheid, behorende bij de rode stippellijn, een andere waarde dan de lineair elastische stijfheid. In Figuur 29(d) is ook te zien dat de gemeten verplaatsing niet voorbij -8 mm komt. Dit komt doordat de gebruikte verplaatsingsopnemer een meetbereik heeft van 20 mm; de sensor was in deze test ingesteld tussen -8 en +12 mm. Doordat de daadwerkelijk verplaatsing groter lijkt te zijn geweest, is de bepaalde effectieve stijfheid waarschijnlijk te hoog. Dit resultaat wordt in de verdere analyse buiten beschouwing gelaten.

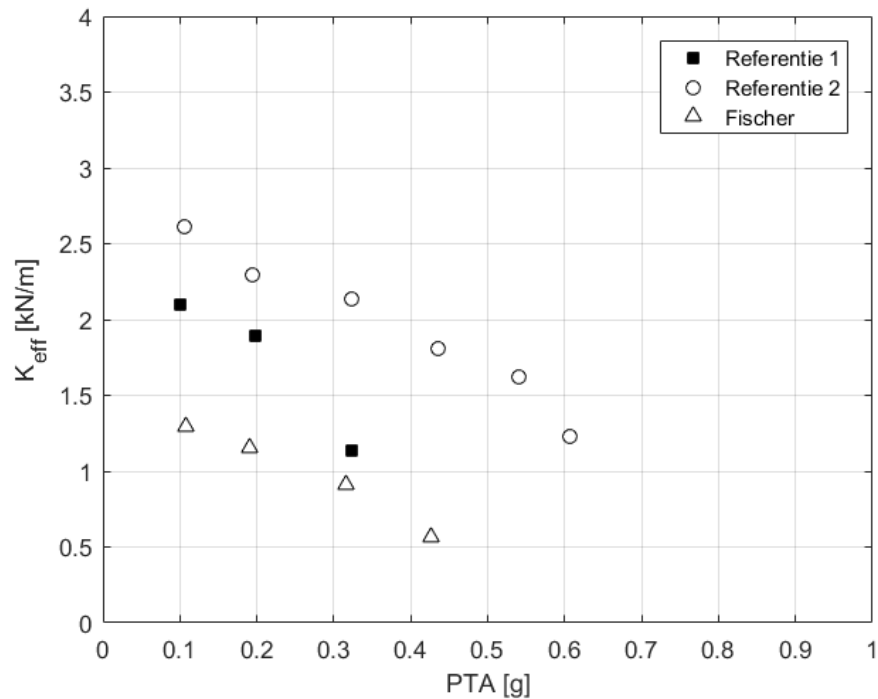
Tabel 12 geeft de waarden bepaald voor de effectieve stijfheid K_{eff} in de 1^e verdieping testen; in Figuur 30 zijn de K_{eff} waarden bepaald met signaal Gr-2 uitgezet tegen de PTA. Voor alle proefstukken geldt dat lagere effectieve stijfheden worden gevonden bij een toename in de intensiteit van het aangeboden signaal. Bij aanvang van de fase 2 testen heeft proefstuk R1 een duidelijk lagere effectieve stijfheid dan R2. De reden hiervoor is dat er in R1 al sprake is van significante schade, opgedaan in de laatste test in fase 1 met signaal Gr-1 (300%). Met oplopende intensiteit van het aangeboden signaal neemt de effectieve stijfheid van proefstuk R1 in eerste instantie geleidelijk af, maar vanaf een PTA = 0,3 g met signaal Gr-2 (70%) is er een grote afname zichtbaar. Dit duidt op het ontstaan van schade in het proefstuk. In inspectie 9 uitgevoerd na deze test is inderdaad scheurvorming waargenomen op het proefstuk.

Tabel 12 De gemiddelde effectieve stijfheid (K_{eff}) bepaald in de 1^e verdieping testen voor elke set signalen met een bepaalde schaalfactor. Tussen haakjes staat de bandbreedte van één standaard deviatie van de set signalen die is gesimuleerd.

	Referentie 1 (R1)	Referentie 2 (R2)	Fischer
Signaal	K_{eff} [kN/m]	K_{eff} [kN/m]	K_{eff} [kN/m]
RWA (20%)	2,17 (+/-0,04)	2,66 (+/-0,06)	1,36 (+/-0,09)
Gr-2 (20%)	2,10 (+/-0,04)	2,61 (+/-0,03)	1,29 (+/-0,01)
Gr-2 (40%)	1,89 (+/-0,04)	2,29 (+/-0,06)	1,15 (+/-0,05)
Gr-2 (70%)	1,14 (+/-0,02)	2,14 (+/-0,06)	0,91 (+/-0,03)
Gr-2 (100%)	- ¹	1,81 (+/-0,05)	0,57 (+/-0,06)
RWA (100%)	X	1,92 (+/-0,16)	0,80 (+/-0,08)
Gr-2 (120%)	- ²	X	X
Gr-2 (130%)	X	1,62 (+/-0,01)	- ¹
Gr-2 (150%)	- ²	1,23 (+/-0,38)	X
Gr-2 (170%)	X	- ¹	X
RWA (100%)	X	- ²	X
Gr-2 (150%)	X	- ²	X

¹ Bepaling niet mogelijk doordat de opgetreden verplaatsingen groter waren dan het bereik van de verplaatsingsopnemers.

² Bepaling niet mogelijk omdat alle sensoren op het proefstuk verwijderd waren voor deze test.



Figuur 30 De effectieve stijfheid K_{eff} bepaald met signaal Gr-2 tegen de piek tafel versnelling (PTA) voor de 3 proefstukken.

De effectieve stijfheid bepaald voor proefstuk R2 neemt geleidelijk af met toenemende intensiteit. De bepaalde K_{eff} waarde voor de testen met Gr-2 (150%) geeft een grote spreiding ten opzichte van de voorgaande testen. Deze spreiding komt doordat in de laatste twee testen uitgevoerd met Gr-2 (150%) significant lagere waarden ($K_{\text{eff}} = 1,20$ kN/m en $K_{\text{eff}} = 0,70$ kN/m) werden gevonden dan in de eerste twee testen met Gr-2 (150%) ($K_{\text{eff}} = 1,50$ kN/m en $K_{\text{eff}} = 1,51$ kN/m). In de laatste test is scheurvorming opgetreden die visueel was waar te nemen, zoals blijkt uit de foto genomen tijdens inspectie 12 weergegeven in Figuur 27(f). Het Fischer proefstuk heeft aan het begin van fase 2 een lagere effectieve stijfheid dan de twee referentie proefstukken. Voor de testen waarbij een effectieve stijfheid bepaald kon worden neemt de waarde ongeveer lineair af met toename in intensiteit. Na deze testen is ook geen visuele schade waargenomen in het proefstuk. Voor de test met signaal Gr-2 (130%) was het niet mogelijk om een nauwkeurige waarde voor de effectieve stijfheid te bepalen, doordat de opgetreden verplaatsingen groter waren dan het meetbereik van de verplaatsingssensoren.

Tabel 13 geeft eigenfrequenties en dempingswaarden bepaald met de hamertesten en met de verschillende testsignalen die zijn toegepast in fase 2. Details van de bepalingsmethode zijn beschreven in bijlage F. De hamertesten zijn dikgedrukt weergegeven omdat deze het beste beeld geven van de verandering in de dynamische eigenschappen ten gevolge van schadeontwikkeling in het proefstuk. De eigenfrequentie van proefstuk R1 is voor aanvang van de testen met de RWA en Gr-2 signalen 9,3 Hz. Dit is 0,7 Hz lager dan de eigenfrequentie bepaald aan het eind van de fase 1 testen (zie Tabel 10). Deze afname is het gevolg van de verlaging van de belasting aan de bovenzijde van het proefstuk. Voor de andere proefstukken is ongeveer dezelfde afname in eigenfrequentie te zien. In de tweede hamertest op proefstuk R1 is dezelfde eigenfrequentie gevonden als de

voorgaande test. Dit komt overeen met de eerdere observatie dat het proefstuk zich in de testen met signaal Gr-2 (20%) en Gr-2 (40%) lineair elastisch gedraagt. Na de testen met Gr-2 (70%) en Gr-2 (100%) konden geen hamertesten meer uitgevoerd worden, omdat de versnellingsopnemers op het proefstuk voor de laatste test met Gr-2 (100%) waren verwijderd.

In de hamertesten op proefstuk R2 is tot de laatste test geen afname in eigenfrequentie waargenomen; de eigenfrequentie bepaald met de eerste en de voorlaatste hamertest zijn hetzelfde. In de tussenliggende hamertesten nam de eigenfrequentie zelfs een klein beetje toe. Dat de eigenfrequentie niet afneemt is een indicatie dat er geen sprake is van significante schadeontwikkeling in het proefstuk. Dit komt redelijk overeen met het lineair elastisch gedrag waargenomen in Figuur 26(b) tot signaal Gr-2 (130%). De schade waargenomen na signaal Gr-2 (150%) heeft bijna geen effect op de eigenfrequentie van proefstuk R2. Na de testen met Gr-2 (170%) is wel een significante afname in de eigenfrequentie waarneembaar. Uit Figuur 27(f) blijkt dat er na deze testen ook een significante toename in aantal en grote van scheuren te zien is.

De eigenfrequentie van het Fischer proefstuk bepaald met de hamertesten verandert ook nauwelijks tot en met de testen met signaal Gr-2 (100%). Er lijkt gedurende deze testen geen schade te zijn ontstaan in het proefstuk. Dit komt overeen met de bevindingen op basis van Figuur 26(c) en Figuur 30.

Tabel 13 Eigenfrequentie en demping bepaald met de hamertesten (dikgedrukt) en de verschillende aangeboden signalen.

Signaal	Referentie 1 (R1)		Referentie 2 (R2)		Fischer	
	f_1 [Hz]	ζ_1 [%]	f_1 [Hz]	ζ_1 [%]	f_1 [Hz]	ζ_1 [%]
Hamer	9,3	1,7	9,7	2,3	8,1	1,8
RWA (20%)	- ¹	- ¹	9,7	1,3	8,0	1,9
Gr-2 (20%)	- ¹	- ¹	9,5	1,5	- ¹	- ¹
Gr-2 (40%)	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹	6,6	1,6
Hamer	9,3	1,7	10	1,8	8	2,1
Gr-2 (70%)	- ¹	- ¹	8,5	0,9	- ¹	- ¹
Gr-2 (100%)	- ¹	- ¹	- ¹	- ¹	5,7	0,9
Hamer	-³	-³	9,8	1,4	7,9	1,0
RWA (100%)	X	X	- ¹	- ¹	6,1	1,4
Gr-2 (120%)	- ³	- ³	X	X	X	X
Hamer	-³	-³	9,8	1,8	X	X
RWA (100%)	X	X	X	X	- ¹	- ¹
Gr-2 (130%)	X	X	7,9	1,0	- ¹	- ¹
Gr-2 (150%)	- ³	- ³	X	X	X	X
Hamer	X	X	10	1,6	-³	-³
Gr-2 (130%)	X	X	X	X	- ²	- ²
Gr-2 (150%)	X	X	- ¹	- ¹	X	X
Hamer	X	X	9,7	1,0	X	X
Gr-2 (170%)	X	X	- ¹	- ¹	X	X
Hamer	X	X	8,1	1,1	X	X
Gr-2 (170%)	X	X	- ²	- ²	X	X
RWA (100%)	X	X	- ³	- ³	X	X
Gr-2 (150%)	X	X	- ³	- ³	X	X

- ¹ Bepaalde waarde niet betrouwbaar omdat de coherentie van de overdracht te laag is.
- ² Bepaling niet mogelijk doordat de opgetreden verplaatsingen groter waren dan het bereik van de verplaatsingsopnemers.
- ³ Bepaling niet mogelijk omdat alle sensoren op het proefstuk verwijderd zijn voor deze test.

4 Conclusie

In het kader van de ontwikkeling van een test- en beoordelingsprocedure voor bepaling van het effect van gevelproducten en versterkingsmaatregelen op de aardbevingsbestendigheid van gebouwen heeft TNO testen uitgevoerd op een dragend wandelement. Dit rapport beschrijft de triltafeltesten uitgevoerd op het Fischer proefstuk en twee referentie proefstukken (R1 en R2). Het testprogramma bestond uit twee fasen. In de eerste fase werden testen uitgevoerd in een begane grond configuratie, en in de tweede fase werd een 1^e verdieping configuratie gesimuleerd.

Op basis van de testen uitgevoerd in fase 1 worden de volgende conclusies getrokken over de drie proefstukken:

- Alle proefstukken weerstonden de testen tot en met het Gr-1 (100%) signaal met een PTA $\approx 0,25$ g; op geen van de proefstukken is tot dit signaal schade waargenomen in de schade inspecties.
- De uitwijking in het midden van het Fischer proefstuk, bij een bepaalde piek tafel versnelling (PTA), is ongeveer een factor 2 groter dan de uitwijkingen van proefstuk R1 en R2. Het Fischer proefstuk heeft dus een lagere stijfheid dan de twee referentie proefstukken.
- Mogelijke verklaringen voor deze lagere stijfheid zijn de flexibeler verbinding tussen binnen- en buitenblad door de rubberen plug in het renovatie anker, of doordat het Fischer proefstuk is opgebouwd zonder spouwankers (voor plaatsing van de renovatie ankers).
- De maximum verplaatsing in het midden van het Fischer proefstuk was afhankelijk van de richting van de PTA. Deze afhankelijkheid is niet geobserveerd voor de twee referentie proefstukken. De oorzaak van deze afhankelijkheid kon niet worden achterhaald.
- Het proefstuk R2 vertoonde lineair elastisch gedrag tot een hogere PTA dan proefstuk R1, respectievelijk PTA $\approx 0,6$ en PTA $\approx 0,4$ g. Dit verschil in lineair elastisch gedrag kan te maken hebben met een verschil in hechtingssterkte van de twee verschillende buitenbladen of het is een gevolg van variabiliteit in eigenschappen tussen de twee proefstukken.
- Het Fischer proefstuk vertoonde lineair elastisch gedrag tot PTA $\approx 0,5$ g, dit is iets lager dan proefstuk R2, wat ook een geperforeerd buitenblad had.
- In de test met Gr-1 (300%) met een PTA = 0,71 g op proefstuk R1 ontstond een zichtbare scheur over de hele breedte van het buitenblad. Om schade te voorkomen in de fase 1 testen van het Fischer en R2 proefstuk is dit signaal niet gesimuleerd op deze proefstukken.
- In de fase 1 testen van proefstuk R2 en het Fischer proefstuk is geen schade waargenomen in de schade inspecties.
- De effectieve stijfheden bepaald voor beide referentie proefstukken komen redelijk overeen en nemen lineair af tot een PTA $\approx 0,4$ g. Bij hogere PTA neemt de effectieve stijfheid van R1 meer af dan die van R2. Op basis van deze grotere afname in effectieve stijfheid lijkt er sprake van (niet-zichtbare) schade initiatie in proefstuk R1. Voor R2 lijkt hier nog geen sprake van te zijn, aangezien de effectieve stijfheid lineair afneemt tot PTA = 0,6 g.
- De effectieve stijfheid van het Fischer proefstuk in de fase 1 testen is ongeveer een factor 2 lager dan de waarden van proefstuk R1 en R2. De

effectieve stijfheid van het Fischer proefstuk neemt gestaag af tot en met de laatste test (PTA = 0,51 g) in fase 1.

- De eigenfrequenties bepaald met de hamer- en signaal testen voor proefstuk R1 en R2 nemen af in opvolgende testen. Uit de afname geconstateerd bij opvolgende hamertesten blijkt dat de stijfheid van deze proefstukken afneemt. De meest waarschijnlijke verklaring voor deze afname is het ontstaan van scheurvorming in het metselwerk.
- Het Fischer proefstuk heeft een lagere eigenfrequentie dan de twee referentie proefstukken. Dit komt overeen met de lagere waarde voor de effectieve stijfheid.
- Na de testen met PTA = 0,2 g is er een grote afname in eigenfrequentie van het Fischer proefstuk waargenomen, wat het gevolg is van een afname in stijfheid. De waarschijnlijke verklaring is (micro-)scheurvorming in het metselwerk. Er zijn geen scheurtjes waargenomen in de inspectie na de testen met PTA = 0,2 g.

De resultaten van de testen in fase 2 leiden tot de volgende conclusies:

- Alle proefstukken weerstonden het Gr-2 (100%) signaal met een PTA \approx 0,43 g.
- Proefstuk R2 vertoonde ook in deze fase tot een hogere PTA lineair elastisch gedrag dan proefstuk R1, respectievelijk PTA \approx 0,5 g en PTA \approx 0,2 g. Echter, in proefstuk R1 was in de laatste test van fase 1 met signaal Gr-1 (300%) al scheurvorming opgetreden. Deze test is niet uitgevoerd voor proefstuk R2 vanwege het risico op scheurvorming.
- Het Fischer proefstuk vertoonde lineair elastisch gedrag tot een PTA \approx 0,3 g. Na de testen met PTA = 0,54 g is visuele schade waargenomen in het proefstuk.
- Bij aanvang van de fase 2 testen had proefstuk R1 een duidelijk lagere effectieve stijfheid dan R2. Hieruit blijkt dat de scheurvorming in R1 een invloed heeft gehad op de resultaten in fase 2.
- Het Fischer proefstuk had aan het begin van fase 2 een lagere effectieve stijfheid dan beide proefstukken. De waarde nam ongeveer lineair af met toename in intensiteit, overeenkomstig de afname in effectieve stijfheid van proefstuk R2.
- De positie waar scheurvorming optrad in proefstuk R1 veranderde van hoogte in de fase 2 testen. In de fase 1 testen scheurde het proefstuk ongeveer in het midden, in fase 2 ontstond een nieuwe scheur op ongeveer 3/4 van de hoogte. Hieruit blijkt dat de belasting aan de bovenzijde grote invloed heeft op de locatie waar de grootste spanningen optreden in het proefstuk.
- In de hamertesten op proefstuk R2 is tot de laatste test geen afname in eigenfrequentie waargenomen; in de laatste test met versnellingsopnemers op het proefstuk was er wel een afname.
- In het Fischer en R1 proefstuk is geen afname in eigenfrequentie waargenomen voor de uitgevoerde hamertesten in fase 2. Doordat de versnellingsopnemers voortijdig verwijderd moesten worden, in verband met mogelijke kans op falen van deze proefstukken, kon dit niet voor alle testen in fase 2 worden bepaald.
- Hoewel proefstuk R2 pas bij een hogere PTA dan R1 niet-lineair gedrag vertoonde, weerstonden beide proefstukken ongeveer dezelfde maximum PTA van 0,7 g. Het verschil in hechtingsoppervlak tussen proefstuk R1 en

R2 lijkt dus weinig invloed te hebben op de uiteindelijke faalsterkte. Het grotere hechtingsoppervlak van de geperforeerde steen lijkt het proefstuk wel bestendiger te maken tegen scheurinitiatie dan het proefstuk met massieve steen in het buitenblad.

- Het Fischer proefstuk weerstond een maximale PTA van 0,55 g, hiermee had het proefstuk een lagere weerstand dan de twee referentie proefstukken.

De volgende conclusies worden getrokken met betrekking tot de in ontwikkeling zijnde testprocedure:

- Uit de herhaald uitgevoerde testen op de tafel blijkt dat de gerealiseerde signalen op de tafel goed reproduceerbaar zijn. Het respons spectrum van het gemeten versnellings signaal wijkt echter wel af van het gewenste respons spectrum (max. 30%). Voor het verkrijgen van informatie voor de kalibratie van rekenmodellen is dit voldoende nauwkeurig.
- Op basis van een vergelijking van de visuele schade inspecties met de eigenfrequenties wordt geconcludeerd dat de eigenfrequenties bepaald met behulp van de hamertesten een goede indicator zijn voor het optreden van scheurvorming. Daarnaast lijken ze ook een goede indicator voor (niet-zichtbare) schade initiatie. Nader onderzoek, waarbij schade initiatie met andere meettechnieken wordt geïdentificeerd (bv. akoestische emissie), is nodig om dit met meer zekerheid vast te kunnen stellen.
- De geïdentificeerde momenten van schade initiatie en scheurvorming op basis van de verandering in eigenfrequentie komen goed overeen met de verandering in gemeten piek uitwijking en bepaalde effectieve stijfheid in de daaraan voorafgaande aardbevingstest. De verandering in de piek uitwijking en de effectieve stijfheid zijn dus mogelijk ook goede indicatoren voor het identificeren van het moment van schade initiatie en scheurvorming. Nader onderzoek, waarbij de intensiteit van de aangeboden signalen met kleinere intensiteit stappen wordt vergroot en er na elk aangeboden signaal een eigenfrequentie wordt bepaald zou hier meer inzicht in kunnen geven.
- De Ricker Wave (RWA) signalen hadden geen toegevoegde waarde ten opzichte van de aardbevingssignalen Gr-1 en Gr-2. Daarnaast bleken de hamertesten beter geschikt voor bepaling van het dynamische gedrag en de relatie met schade ontwikkeling. Mogelijk heeft het RWA signaal een meerwaarde in het onderzoeken van de amplitude afhankelijkheid van de eigenfrequentie. Dit moet nader worden onderzocht.
- De gevolgde procedure waarbij een (set) aardbevingssignalen wordt gevolgd door een schade inspectie en hamertesten is een effectieve methode voor het volgen van de schade ontwikkeling in de geteste proefstukken.

Naar aanleiding van de uitgevoerde testen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Om te bepalen of het ontbreken van spouwankers bij de opbouw van het Fischer proefstuk van invloed is geweest op de testresultaten, wordt aanbevolen een nieuwe test uit te voeren waarbij het proefstuk met spouwankers wordt gebouwd. Na het drogen van het proefstuk worden de spouwankers dan doorgeknijpt, en worden de Fischer renovatie ankers geplaatst.

- De resultaten van de testen (grafieken verplaatsing tegen PTA, K_{eff} waarden en eigenfrequenties) kunnen worden gebruikt om een rekenmodel te kalibreren. Om de meerwaarde van deze informatie in de beoordeling van een gebouw op aardbevingsbestendigheid te onderzoeken, wordt aanbevolen om gebouwberekeningen uit te voeren met en zonder de informatie verkregen uit de testen.
- Om inzicht te krijgen in de proefstuk variabiliteit en de signaal variabiliteit wordt aanbevolen om testen uit te voeren op een aantal samples van hetzelfde proefstuk, waarbij verschillende type signalen worden aangeboden. Recent zijn additionele testen uitgevoerd om inzicht te krijgen in het benodigd aantal samples.
- De aansturing van de tafel kan verder verbeterd worden door de instellingen in het Moog stuursysteem verder te optimaliseren. Het is hierbij noodzakelijk dat voor elk signaal type opnieuw de meest optimale instellingen worden bepaald. Daarnaast is het nodig dat de instellingen worden bepaald met de gehele testopstelling (inclusief proefstuk) op de triltafel.
- Vanwege praktische redenen (tijd en benodigde aanpassingen in data acquisitie) wordt aanbevolen om te onderzoeken of met een blokpuls of ruissignaal dezelfde resultaten kunnen worden verkregen als met hamertesten.
- Het meetbereik van de gebruikte verplaatsingssensoren was net te klein om goed inzicht te krijgen in het hysteresedrag van de proefstukken. In nieuwe testen is het wenselijk om sensoren met een groter meetbereik ($\sim \pm 50$ mm) te gebruiken.
- Om metingen met de verplaatsingssensoren tot en met falen uit te kunnen voeren, kunnen deze sensoren beter buiten het opvangframe geplaatst worden. Dit vereist dat deze sensoren op een grotere afstand van het proefstuk geplaatst kunnen worden dan de huidig beschikbare sensoren.

5 Referenties

- [1] NEN, NPR 9998 – Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren – Geïnduceerde aardbevingen – Grondslagen, belastingen en weerstanden, 2018.
- [2] Dizhur, D., Ingham, J.M., Moon, L., Griffith, M., Schultz, A., Senaldi, I., Magenes, G., Dickie, J., Lissel, S., Centeno, J., Ventura, C., Leiti, J. and Lourenco, P., Performance of masonry buildings and churches in the 22 February 2011 Christchurch earthquake, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 44, 4, 279-297, 2011.
- [3] Dizhur, D., Campbell, J., Schultz, A. and Ingham, J.M. Observations from the 2010/2011 Canterbury earthquakes and subsequent experimental pull-out test program of wall-to-diaphragm adhesive anchor connections, Journal of the Structural Engineering Society of New Zealand, 26(1), April 2013.
- [4] NZSEE, The seismic assessment of existing buildings – Technical guidelines for engineering consultants, Section C8 – Unreinforced Masonry Buildings, 2017.
- [5] Ingham, J.M. and Griffith, M.C., The performance of unreinforced masonry buildings in the 2010/2011 Canterbury earthquake swarm, Report to the Royal Commission of Inquiry into Building Failure Caused by the Canterbury Earthquake, <http://canterbury.royalcommission.govt.nz/documents-by-key/20110920.46>, 2011.
- [6] Graziotti, F., Tomassetti, U., Penna, A., Magenes, G., Out-of-plane shaking table tests on URM single leaf and cavity walls, Engineering Structures 125, 455-470, 2016.
- [7] Tomazevic, M., Earthquake resistant design of masonry buildings, ISBN 1-86094-066-8, Imperial College Press, 1999.
- [8] Graziotti, F., Tomassetti, U., Rossi, A., Kallioras, S., Mandirola, M., Cenja, E., Penna, A., Magenes G., Experimental campaign on cavity-wall systems representative of the Groningen building stock, EUC318/2015U, EUCENTRE, Pavia, Italy, 2015.
- [9] Crowley, H., Bommer, J., Pinho, R., Selection of records for nonlinear dynamic analysis of Groningen buildings, version 1.0, 13th May 2015.
- [10] ICC-ES, Acceptance criteria for seismic certification by shake-table testing of nonstructural components, AC156, 2010.

6 Ondertekening

Delft, 5 juli 2019

TNO



A.J. Bronkhorst
Auteur



C.P.W. Geurts
review



S. van der Putten
Deputy Research Manager Structural Dynamics

A Overzicht digitaal beeldmateriaal

Deze bijlage geeft een overzicht van de foto's en filmpjes die digitaal zijn bijgesloten bij deze rapportage in beeldmateriaal.zip (voor derden op aanvraag verkrijgbaar).

Dit bestand bevat het volgende beeldmateriaal van de testen:

- A1.Inspectiefoto's
- A2.Overige foto's
- A3.Filmpjes

Deze bijlage geeft een korte toelichting op dit bestand.

A.1 Inspectiefoto's

Deze folder bevat foto's die gemaakt zijn van de proefstukken tijdens de testen op de verschillende inspectiemomenten. De foto's hebben tot doel om de schadeontwikkeling van het proefstuk te kunnen volgen. Voor elk proefstuk is een afzonderlijke folder aangemaakt. Om een goed beeld te krijgen van eventuele schade in de muur, zijn de foto's gemaakt van details van de muur. Hiertoe zijn de foto's per proefstuk allereerst onderverdeeld in vijf mappen:

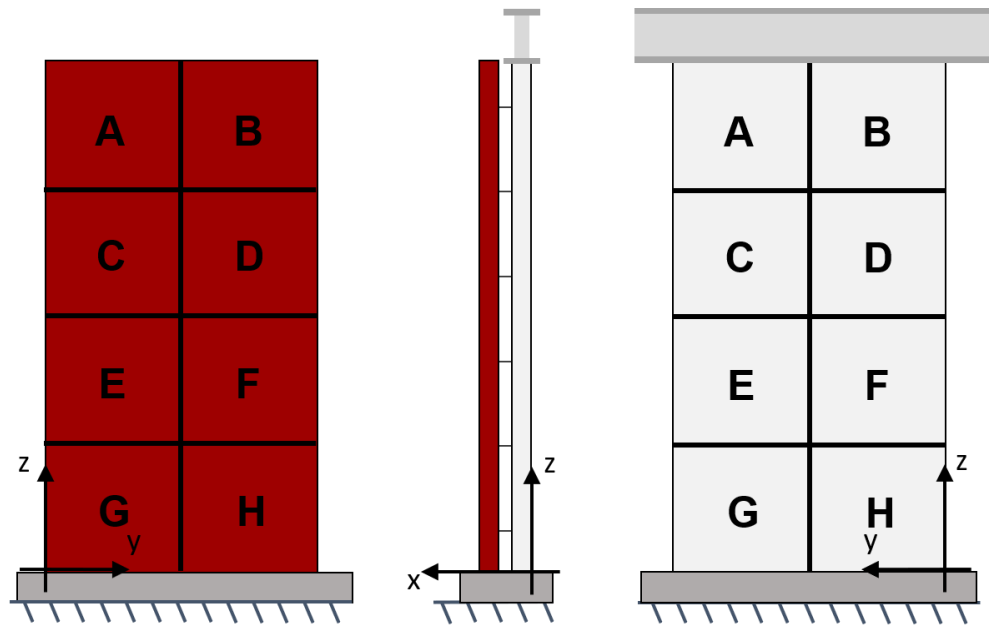
- Buitenblad
- Binnenblad
- Zijkant kantoor
- Zijkant raam
- Statief

Voor het maken van de foto's van het binnen- en buitenblad zijn deze beide opgedeeld in acht vakken, A tot en met H, zoals weergegeven in Figuur A.1. Er is steeds een detailfoto gemaakt van één vak. Deze vakken komen elk als submap terug in de folder. Tevens is er per map een submap met detailfoto's genomen op verschillende plekken op het binnen- of buitenblad, wanneer tijdens de inspectie opvallende zaken aan het licht kwamen.

Het cijfer van de bestandsnaam geeft het inspectiemoment aan. De vermelding "_a" of "_b" geeft enkel aan dat er meerdere foto's van dezelfde locatie op hetzelfde tijdstip zijn gemaakt. In Tabel A.1 tot en met Tabel A.3 wordt per proefstuk een toelichting op de cijfers gegeven.

De inspectiefoto's in de map "Zijkant raam" horen bij de rechterzijkant, gezien van voor de triltafel/het buitenblad. Dit is de kant van krachtcellen 13 en 15. "Zijkant kantoor" is de andere zijkant, behorende bij krachtcellen 12 en 14. Hier zijn op elk inspectiemoment steeds meerdere foto's gemaakt. Deze foto's, elk met een nieuwe toevoeging ("_a" tot en met "_d") zijn van boven naar beneden genomen.

De statieffoto's zijn allen vanaf dezelfde plaats genomen, enkele meters voor de triltafel.



Figuur A.1 Benaming detail-zones proefstukken

Tabel A.1 Toelichting op inspectiemomenten voor referentie proefstuk 1

Inspectie moment	Datum & tijd	Toelichting
0		Voor vervoer muur
1		Na plaatsing muur op tafel
2	18-10-2018, 09:15	Schade opname 0, voor aanvang testen
3	18-10-2018, 10:58	Schade opname 1
4	18-10-2018, 11:34	Schade opname 2
5	18-10-2018, 12:36	Schade opname 3
6	18-10-2018, 12:55	Schade opname 4
7	18-10-2018, 13:12	Schade opname 5
8	18-10-2018, 13:47	Schade opname 6
9	18-10-2018, 14:07	Schade opname 7
10	18-10-2018, 15:46	Schade opname 8
11	18-10-2018, 16:33	Schade opname 9
12	18-10-2018, 17:01	Extra schadeopname voor signaal 93
13	18-10-2018, 17:14	Schade opname 10

Tabel A.2 Toelichting op inspectiemomenten voor referentie proefstuk 2

Inspectie moment	Datum & tijd	Toelichting
0	19-10-2018, 09:00	Voor vervoer muur
1	22-10-2018, 09:24	Na plaatsing muur op tafel
2	22-10-2018, 13:54	Schade opname 0, voor aanvang testen
3	22-10-2018, 14:50	Schade opname 1
4	22-10-2018, 15:20	Schade opname 2
5	22-10-2018, 15:48	Schade opname 3
6	22-10-2018, 16:08	Schade opname 4
7	22-10-2018, 16:21	Schade opname 5
8	22-10-2018, 16:35	Schade opname 7
9	22-10-2018, 17:42	Schade opname 8
10	22-10-2018, 18:06	Schade opname 9
11	22-10-2018, 18:20	Schade opname 10
12	22-10-2018, 18:36	Schade opname 11
13	22-10-2018, 18:53	Schade opname 12
14	23-10-2018, 08:07	Schade opname 13

Tabel A.3 Toelichting op inspectiemomenten voor het Fischer proefstuk

Inspectie moment	Datum & tijd	Toelichting
0		Voor vervoer muur
1		Na plaatsing muur op tafel
2	24-10-2018, 08:06	Schade opname 0, voor aanvang testen
3	24-10-2018, 09:20	Schade opname 1
4	24-10-2018, 10:10	Schade opname 2
5	24-10-2018, 11:07	Schade opname 3
6	24-10-2018, 11:31	Schade opname 4 – Foto's ontbreken
7	24-10-2018, 11:52	Schade opname 7
8	24-10-2018, 13:43	Schade opname 8
9	24-10-2018, 14:10	Schade opname 9
10	22-10-2018, 15:03	Schade opname 11

A.2 Overige foto's

Deze map bevat de foto's die tijdens de voorbereiding en de testen zijn gemaakt.

A.3 Filmpjes

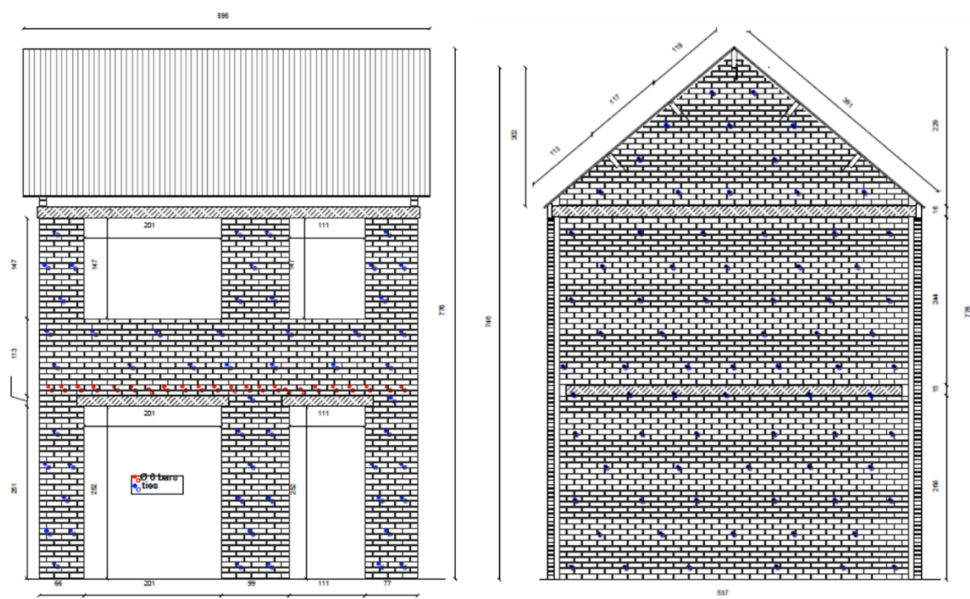
Deze map bevat alle filmpjes gemaakt tijdens de testen. De naam van het document omschrijft tijdens welk testsignaal de film gemaakt is.

B Afleiding belasting bovenzijde proefstukken

Om te simuleren dat de te onderzoeken muur zich op de begane grond bevindt van een huis, is het nodig om een geschikte bovenbelasting aan te brengen. Deze bovenbelasting moet gebaseerd zijn op het gewicht van bovengelegen muren, vloeren en het dak. Het bepalen van de massa's van deze onderdelen is gebaseerd op de productinformatie in de gebouwtesten uitgevoerd door Graziotti et al [8]. Het gebouw (EUC-BUILD1) dat is getest door Graziotti et al [8] was 5,82 meter breed en 5,46 meter diep, met muren van 2,70 meter hoog, zoals weergegeven in Figuur B.2. Tabel B.4 geeft de gewichten en afmetingen gespecificeerd door Graziotti et al [8] voor dit gebouw.

Op basis van deze gegevens is af te leiden dat de resterende massa (totaal – dak – twee vloeren) 31900 kg bedraagt. Deze massa wordt gevormd door vier muren op de begane grond, vier muren op de eerste verdieping en twee geveltoppen.

Gebaseerd op de totaal oppervlakte van deze muren (zie Tabel B.5), betekent dit dat de muren een massa hebben van $(31900 \text{ kg} / 103,28 \text{ m}^2)$ 308,88 kg/m². Gezien de bovenbelasting op het proefstuk enkel geldt voor het binnenblad, dient enkel de massa van de binnenbladen meegenomen te worden. Aangehouden wordt dat dit exact de helft van de massa van de volledige spouwmuur is.



Figuur B.2 Voor- en zijaanzicht van de EUC-BUILD1 testwoning getest door EUCentre

Tabel B.4 Overzicht onderdelen EUC-BUILD1, inclusief massa's en afmetingen.

Onderdeel	Massa	Afmeting	Massa per m ²
Dak	2800 kg	29,40 m ² *	95,24 kg/m ²
Vloer 1	10300 kg	27,28 m ²	377,58 kg/m ²
Vloer 2	11000 kg	29,40 m ²	374,11 kg/m ²
Totaal huis	56000 kg		

*Oppervlakte dak is gelijk genomen aan oppervlakte vloer 2

Tabel B.5 Overzicht van de muuroppervlaktes van het huis in Pavia die bijdragen aan de totale massa

Onderdeel	Oppervlak
Muren Oost	17,43 m ²
Muren West	19,69 m ²
Muren Noord	33,08 m ²
Muren Zuid	33,08 m ²
Totaal	103,28 m ²

Tabel B.6 Opbouw van de benodigde bovenbelasting voor een muur op de begane grond

Onderdeel	Oppervlak	Massa per m ²	Massa
Vloer eerste verdieping	1,43 x 5,59/2 = 4,00 m ²	377,57 kg/m ²	1509 kg
Zijmuur (binnenblad) eerste verdieping	1,43 x 2,44 = 3,49 m ²	154,44 kg/m ²	539 kg
Vloer tweede verdieping	1,43 x 5,59/2 = 4,00 m ²	374,11 kg/m ²	1495 kg
Gable (halve zijmuur)	0,5 x 1,43 x 2,29 = 1,63 m ²	154,44 kg/m ²	253 kg
Dak	1,43 x 5,59/2 = 4,00 m ²	95,24 kg/m ²	381 kg
Totaal			4178 kg

Met deze informatie zijn alle massa's bekend om de bovenbelasting van één muur te bepalen. Tabel B.6 geeft de gewichten van de verschillende onderdelen waarvan de massa's op een begane grond muurdeel rusten. De totale bovenbelasting is ongeveer gelijk aan een massa van 4178 kg. Na aftrek van de massa van de bovenbalk (~300 kg), blijft er 3878 kg over. Omgerekend naar een kracht levert dit 38,8 kN. Per zijde moet dus een kracht van ~19 kN geleverd worden door het verenpakket.

In testfase 2 wordt een muur gemodelleerd die op de eerste verdieping van een huis staat. Tabel B.7 geeft de gewichten die in deze fase van toepassing zijn. In combinatie met de massa van de bovenbelastingsbalk blijft een massa van 1779 kg over. Dit betekent een totale kracht door de veren van 18 kN. Per zijde moet dus een kracht van ~9 kN geleverd worden door het verenpakket.

Tabel B.7 Opbouw van de benodigde bovenbelasting voor een muur op de eerste verdieping

Onderdeel	Oppervlak	Massa per m ²	Massa
Vloer tweede verdieping	1,43 x 5,59/2 = 4,00 m ²	374,11 kg/m ²	1495 kg
Gable (halve zijmuur)	0,5 x 1,43 x 2,29 = 1,63 m ²	154,44 kg/m ²	253 kg
Dak	1,43 x 5,59/2 = 4,00 m ²	95,24 kg/m ²	381 kg
			2129 kg

C Remix/Sakrete Multimortel

Remix Productinformatieblad



Multimortel
16in1
Gewoon omdat het kan

Remix
Multimortel

Deze unieke Multimortel heeft een uitgebalanceerde samenstelling van de nieuwste grondstoffen en additieven. De goede verwerkbaarheid, hoge hechtsterkte, hoge stabiliteit en het uitstekende watervasthoudende vermogen geven deze mortel de unieke eigenschappen voor 16 verschillende toepassingen. Met de bereidingsmethode (zie tabel) bepaalt u de toepassing en heeft u altijd de juiste mortel ter beschikking om de klus te klaren.

Toepassing

Remix Multimortel is een fabrieksmatig vervaardigde droge mortel op cementbasis. Deze unieke mortel is volgens de laatste stand der morteltechnologie ontwikkeld voor 16 verschillende toepassingen (zie tabel) en is daarnaast geschikt voor nog vele andere toepassingen. Voor details zie volgende pagina's.

16in1 mortel	Toepassing	Norm	Kwaliteit	KOMO	CE	Aanmaakwater (liter/25 kg)	Uitlevering (liter/25 kg)
1	Traditioneel metselen (matig- en normaal zuigende stenen)	EN-998-2	M15	ja	ja	3,0 tot 3,3*	13
2	Doorstrijken (matig- en normaal zuigende stenen)	EN-998-2	M15	ja	ja	3,0 tot 3,3*	13
3	Dunbedmetselen (≥ 5 mm lintvoeg), ook tuinmuren en stapelstenen	EN-998-2	M15	ja	ja	3,3	13
4	Metselen/doorstrijken/dunbedmetselen sterk zuigende stenen (gehydrofobeerde stenen en stenen met een laag hechtpotentiaal)	EN-998-2	M15	ja	ja	3,3	13
5	Metselen/doorstrijken kalkzandsteen, snelbouwsteen en cellenbeton	EN-998-2	M15	ja	ja	3,3	13
6	Metselen/doorstrijken/dunbedmetselen glasbouwstenen en zeer weinig zuigende stenen	EN-998-2	M15	ja	ja	2,8	12,5
7	Kleinschalig voegwerk en voegreparatie	EN-998-2	M15	ja	ja	2,3	12
8	Aanbranden en hechtbrug	nvt	nvt	nee	nee	6,75	16
9	Onderstop-, stel-, kim- en vulmortel	EN 13813	C20/F4	ja	ja	2,4	12
10	Chippen (decoratief vertinnen van metsel- en stucwerk)	nvt	nvt	nee	nvt	3,3 tot 4,5**	13
11	Vastzetten/montage van muurafdekkers, dorpels, vensterbanken enz.	nvt	nvt	nee	nvt	3,4	12,5
12	Stucen en uitvlakken van wanden en muren (zonder gronderen)	EN-998-1	CSIV>6N/mm ²	nee	ja	3,3	13
13	Cementdekvloeren 2-7 cm, ook met vloerverwarming	EN 13813	C20/F4	ja	ja	2,2	12
14	Aansmeren sleuven t.b.v. vloerverwarming e.d.	nvt	nvt	nee	nvt	5,5	12
15	Zetten van (grootformaat) tegels in de mortel	EN 13813	C16/F3	ja	ja	3,1	12,5
16	Reparatie en/of vullen van gaten en beschadigingen in cementgebonden oppervlakken (eerst gronderen)	nvt	nvt	nee	nvt	3,2 tot 3,6**	13

* Matig zuigend 3,0 ltr tot sterkzuigend 3,3 ltr

** Afhankelijk van de toepassing

Technische gegevens

Bindmiddel : cement
 Max. korrel : 2 mm
 Aanmaakwater : zie tabel
 Mortelkwaliteit : zie tabel
 Uitlevering : zie tabel
 Verwerkingstijd : ca. 2 uur
 Verwerkingstemperatuur : +5 tot +25 °C
 Alle toepassingen zijn geschikt voor binnen en buiten.

Eigenschappen

- Goede verwerkbaarheid/gebruiksvriendelijk
- Arbeidsbesparend:
 - gronderen is niet nodig en vaak zelfs niet eens wenselijk
 - voorbevochtigen van de metselstenen kan achterwege blijven

- Hoge (uitmuntende) hechtsterkte en stabiliteit
- Hoog watervasthoudend vermogen
- Aanzienlijk minder kans op "verbranden" van de mortel door te snelle uitdroging
- Prima stand vermogen

Algemene regels die voor iedere toepassing gelijk zijn.

Ondergrond

Losse oppervlakken, tussenlagen (zoals vuil, stof, vet, olie, verfresten e.d.), cementhuid en niet draagkrachtige lagen verwijderen. Zuigende ondergronden als kalkzandsteen, porotherm, poriso en cellenbeton hoeven niet te worden voorbevochtigd. Bij de toepassingen 1 t/m 15 (m.u.v. chippen punt 10) niet gronderen. Bij gipsgebonden ondergronden eerst een primer laag Remix Snelgrondering SG aanbrengen voor een goede scheiding tussen gips en cement.

Remix Droge Mortel BV – Postbus 3 – NL-9530 AA Borger – tel. +31 (0)599-287 360 – www.remix.nl

Figuur C.1 Productblad mortel binnenblad (1/4)

Remix Productinformatieblad



Mengprocedure

- Remix Multimortel met schoon leidingwater mengen totdat een homogene specie ontstaat. De hoeveelheid aanmaakwater is afhankelijk van de toepassing: zie tabel. Let op!: Het is van groot belang dat voor elke toepassing de juiste hoeveelheid aanmaakwater wordt toegevoegd.
- De mengtijd is afhankelijk van mengwijze. Mechanisch mengen, bij voorkeur met een speciemenger, boormachine met roerspindel, HST menger of Flotty menger.

Uitvoering

Bij kans op bevriezing van het aanmaakwater in de verse mortel, de mortel niet verwerken of maatregelen nemen om dit te voorkomen.

Nabehandeling

Voorom te snelle droging door het morteloppervlak vochtig te houden door met water te nevelen of het af te dekken met een damp remmende folie. Bescherm de verse specie van begin af aan tegen vochtbelasting en tegen vorst tot voldoende sterkte is bereikt.

Opslag en houdbaarheid

Droog en vrij van de grond in afgesloten originele verpakking. Polyethyleen zakken zijn regenwaterdicht. Polyethyleen is recyclebaar. De houdbaarheid na productie bedraagt minstens 24 maanden. Voor tenminste houdbaar tot (t.h.t.), zie opdruk zijkant zak.

Opmerkingen

- Aan deze kant- en klare mortel geen toeslagstoffen toevoegen.
- Deze mortel kan op kleur worden gebracht met een geschikte mortelkleurstof. De maximale dosering hiervan niet overschrijden.
- Uithardende mortel niet met water of met verse mortel weer verwerkbaar maken.
- Te veel aanmaakwater heeft een negatieve invloed op de druksterkte van de mortel.

Overige informatie

Deze mortel is beoordeeld als vormgegeven bouwstof in het kader van het Besluit Bodemkwaliteit en voldoet aan de eisen hiervan, certificaat 705/715*-jj-BBK. Het [veiligheidsinformatieblad](#) en de [CE prestatieverklaring](#) (DoP) zijn op te vragen bij Remix Droge Mortel BV of te downloaden van www.remix.nl. Remix Multimortel wordt geleverd onder de volgende KOMO productcertificaten:
- Metselen en voegen 705/715*-jj-M
- Vloermortels 705/715*-jj-V
* = voor productielocatie, zie eerste drie cijfers van de opdruk aan de zijkant van de zak.

Toepassingen (aanvullende informatie)

1 t/m 6 Metselen

Metselstenen

De conditie van metselbaksteen op het moment van verwerken verdient aandacht. Het gebruik van te droge of te natte stenen kan leiden tot een verminderde ver-

werkbaarheid en/of hechting van de mortel. Weinig, matig zuigende stenen (IW1, IW2) en gehydrofobeerde stenen droog verwerken. Door de unieke samenstelling van de Multimortel kunnen normaal en sterk zuigende stenen (IW3, IW4) droog worden verwerkt, voorbevochtigen is niet meer nodig!. Stenen met ijsafzetting niet verwerken. Te natte stenen verhogen het risico op smetten op de steen. Bij sterk bezande stenen zal de mortel hechten aan de bezanding en niet aan de steen. Daarom vooraf de bezanding met een borstel te verwijderen.

Esthetica

Voor een mooi eindresultaat zijn de volgende punten van groot belang:

- De afwerking (zoals voegdiepte en structuur) bij zicht toepassingen dient op een constante manier te worden uitgevoerd
- Stoot- en lintvoegen vol en zat metselen. Te vroeg uitkrabben geeft smet (cementsluiser) op de steen en te vroeg doorstrijken van de voeg c.q. doorstrijkmortel (waterfilm op de mortel) geeft een fletse kleur (witte kalkuitbloei)

Het zgn. sponsen kan alleen bij een keramische steen. De spons dient schoon en klam te zijn, een te natte spons veroorzaakt kleurverschil. Test of sponsen mogelijk is middels het opzetten van een proefvlak en raadpleeg eventueel de steenfabrikant. Een goed alternatief voor een spons is een stukje tapijt.

7. Voegen

Zie voor verwerking tevens CUR aanbeveling 61, het voegen van metselwerk.

Voorbereiding:

- Het metselwerk dient minimaal 2 weken oud te zijn (bij lage temperaturen en harde steensoorten een langere wachttijd aanhouden).
- Het metselwerk dient minimaal 1,5 cm te zijn uitgekraabd, vlak en zonder tandvlees op de stenen.
- Het te voegen metselwerk dient 1 dag voor het voegen met schoon water gelijkmatig te worden bevochtigd en zo nodig kort voor aanvang van de werkzaamheden nogmaals (er mag geen waterfilm op de steen of mortel aanwezig zijn).

Aanmaken Voegmortel:

- Gebruik altijd dezelfde hoeveelheid aanmaakwater (zie mengprocedure)
- Wanneer bij het verdichten van de mortel een waterfilm op de mortel komt is de voegmortel te nat aangeemaakt.

Verwerken en verdichten Voegmortel:

Een betere verdichting heeft een positief effect op de voeghardheid en kan worden verkregen door de voegspecie 'drukkend' en niet 'vegend' aan te brengen.

Nabehandeling:

Om kleurverschillen en sterkte verlies van de voeg te voorkomen, moeten beschermende maatregelen worden genomen (zie tevens nabehandeling algemeen).

8. Aanbranden en hechtbrug

Het aanbranden of het aanbrengen van een hechtbrug is

Figuur C.2 Productblad mortel binnenblad (2/4)

Remix Productinformatieblad



het behandelen van het oppervlak van een vloer of wand met een dun aangemaakte specie (papje) en is bedoeld om een goede hechting te krijgen met de later aan te brengen (afwerk)laag. Als aanbrand- en hechtbrugmortel de Multimortel met ca. 4,5 liter water per 25 kg aanmaken. Te droge specie laat zich slecht verdelen en te natte specie zal ontmenging waardoor de eigenschappen verloren gaan. Voor het aanbranden de dunne specie als een film kwasten of uitgieten over de ondergrond. Hierna de afwerklaag "nat in nat" aanbrengen. Let op! Als zich een vlies op het papje heeft gevormd, zal de hechting aanzienlijk minder zijn.

9. Onderstop-, stel-, kim en vulmortel

De Multimortel half-plastisch aanmaken en de specie met een spatel of voegijzer met een drukkende beweging aanbrengen. De mate van verdichting en nabehandeling is medebepalend voor de uiteindelijke druksterkte. Elementen en onderdelen moeten vorstvrij zijn (ijsafzetting verwijderen). Voor het vullen van moeilijk bereikbare ruimtes kan de mortel met een handspuit of mortelpomp worden verpompt.

10. Chippen (vertinnen van metsel- en stucwerk)

Na voldoende uitharding, het metselwerk gronderen met Remix Universeel grondering UG voor een langere verwerkingstijd, zodat het bewerken (chippen) makkelijker wordt. Eerst de voegen volzetten met Multimortel. Daarna een laag Multimortel "Chippermortel" over het metselwerk aanbrengen. Naargelang de temperatuur de Chippermortel 15 minuten tot 30 minuten laten aantrekken en vervolgens afrijen. Vervolgens met een spaan nuance in de mortel aanbrengen en wederom even laten aantrekken. Hierna met een spons de nuance van de gevelstenen deels zichtbaar maken. Zorg ervoor dat dit sponsen met een niet repeterende slag gebeurt. Het opzetten van de mortel kan desgewenst ook met een raapbord of handveger (papje) geschieden.

11. Vastzetten/montage van muurafdekkers dorpels en vensterbanken

Smeer beide delen in met de Multimortel (buttering-floating methode) en vlei de delen met een soepele beweging op elkaar. Let op! De gemonteerde delen niet naderhand corrigeren of verplaatsen. Dit verbreekt namelijk de 1^e hechting, die niet weer wordt hersteld.

12. Stucen en uitvlakken wanden en muren (binnen en buiten)

Zuigende en sterk zuigende ondergronden niet voorbehandelen. Niet zuigende ondergronden zullen het opstijven van de specie en het moment van afwerken vertragen. Voor een beter standvermogen harde ondergronden opruwen met een aanbrandlaag (zie punt 8). De Remix Multimortel is een excellente mortel voor renovatie en nieuwbouw, zowel voor binnen als buiten. Aan te brengen laagdikte: minimaal 8 tot maximaal 20 mm. Na het vlakzetten van de basis laag, de sinterhuid met bijvoorbeeld een rabout verwijderen (schaven) of met een getand spackmes ruw halen. Indien met een houten/kunststof schuurbord of met een spons wordt doorgeschuurd, kan de Multimortel

tevens als eindafwerking worden toegepast. Bij een afwerking voor tegelwerk de mortel niet doorschuren maar enigszins ruw laten staan.

13. Cementdekvloeren 2-7 cm, ook met vloerverwarming

Voor een goede hechting tussen draagvloer en dekvloer eerst een aanbrandlaag aanbrengen (zie punt 8). Terwijl de aanbrandlaag nog glanzend vochtig is de specie op de ondergrond aanbrengen, verdelen, op hoogte brengen, egaliseren, verdichten en eventueel dichtscheren. Ruimten waarin een dekvloer wordt gelegd, tijdens het aanbrengen en aansluitend daarop gedurende ten minste drie etmalen tochtvrij houden

14. Aansmeren sleuven t.b.v. vloerverwarming

De Multimortel als soepele pasteuze specie aanmaken. De specie laat zich eenvoudig verdichten en heeft een uitstekende hechting op de (minerale) stofvrije ondergrond. Verdicht de specie voldoende zodat deze de holle ruimte rondom de leidingen vult.

15. Zetten en leggen van (grootformaat) tegels in de mortel

- Zetten: Bij het zetten van tegels de specie aanbrengen op de voorbehandelde vloer en afhankelijk van de laagdikte deze gelijkmatig verdelen met een grove tot zeer grove vertanding. De tegels in het mortelbed plaatsen en met een rubber hamer aankloppen tot de gewenste positie. Let hierbij op dat het contactoppervlak tussen tegel en mortel minimaal 80% bedraagt.
- Leggen: Bij het leggen worden de tegels in de versvloerspecie gelegd en dient er gebruik te worden gemaakt van een "hechtbrug" aanbrandfilm (Hierbij wordt de hechtbrug mortel als een film op de verse vloerspecie aangebracht (gieten), waarna de tegel in het nog glanzende papje Multimortel wordt geleid. Wandaansluitingen en hoekranden voorzien van een elastische voeg en oppervlakken > 50 m² of lengtes >10 meter voorzien van dilataties.

16. Reparatie en/of vullen van gaten en beschadigingen in cementgebonden oppervlakken

Zorg voor een schone draagkrachtige ondergrond. Behandel normaal en zuigende ondergronden met Remix Universeelgrondering UG en zowel zuigende, normaal zuigende als niet zuigende (gladde) ondergronden met Remix Snelgrondering SG. Breng de Multimortel reparatiespecie aan met spaan en schuur deze naderhand eventueel dicht met een schuurbord.

Deze unieke Multimortel is ook nog toepasbaar:

- In kustgebieden. Deze kunststof gemodificeerde mortel is veel beter bestand tegen zoutbelasting dan normale cementgebonden mortels.
- In aardbevingsgebieden. Vanwege de zeer hoge hechtsterkte is de Remix Multimortel ideaal voor toepassing in aardbevingsgebieden.
- Voor het inboeten van stenen (eventueel in combinatie met de handpomp)

Remix Droge Mortel BV – Postbus 3 – NL-9530 AA Borger – tel. +31 (0)599-287 360 – www.remix.nl

Figuur C.3 Productblad mortel binnenblad (3/4)

Remix Productinformatieblad



Algemeen

Bij uitvoeren werken zijn de eenduidige aanbevelingen en richtlijnen, normen, technische merkbladen evenals de erkende regels der bouwkunst en techniek aan te houden. Onze aanbevelingen zijn van algemene aard en hebben betrekking op proeven en praktische ervaring. Vermijd sterk wisselende klimatologische omstandigheden, deze zijn veelal van invloed op het eindresultaat. Iedere bouwplaats is uniek waardoor de omstandigheden in de praktijk telkens anders zijn. Derhalve zal de gebruiker, alvorens hij of zij een van onze producten gaat gebruiken, zelf moeten nagaan of het product geschikt is voor het beoogde doel. Wij kunnen daarom ook geen enkele aansprakelijk aanvaarden en is de gebruiker dan ook zelf verantwoordelijk voor het gebruik van het product. Raadpleeg altijd de meest recente versie van het productinformatieblad, die te vinden is op onze website.

April 2018



Remix Droge Mortel BV – Postbus 3 – NL-9530 AA Borger – tel. +31 (0)599-287 360 – www.remix.nl

Figuur C.4 Productblad mortel binnenblad (4/4)

D Productinformatie Fischer

D.1 IKOB-BKB certificaat



Figuur D.1 IKOB-BKB certificatie blad renovatie spouwankers (1/4)

IKOB-BKB CERTIFICAAT

Renovatiepouwanker; Type: fischer VBS 8 en VBS M

Nummer: IKB2805/14

Uitgegeven: 2014-06-06

pagina 2 van 4

INLEIDING

Op renovatiepouwankers is de Europese geharmoniseerde technische specificatie EN 845-1 van toepassing.

De goedkeuring op het toepassen van in dit certificaat opgenomen renovatiepouwankers, in combinatie met genoemde spouwmuurconstructies, is verkregen op basis van beproeving waarbij EN 846-5 als uitgangspunt is genomen en geldt als aanvullend op de specificaties conform EN 845-1.

Om geschiktheid aan te tonen voor het gebruik van spouwankers voor renovatie toepassing zijn conform URL 40.01 hoofdstuk 4 en bijlage 3.1 aanvullende bepalingen op EN 845-1 vastgesteld.

In plaats van het beproeven van een direct in de mortel ingelegde renovatiepouwanker is de constructie beproefd, waarbij het renovatiepouwanker in het midden van de steen of de uitgeharde mortelvoeg is aangebracht.

Alvorens de beproeving uit te voeren is het renovatiepouwanker van het te beproeven monster eerst 50 maal over een afstand van 3 mm bewogen (6 mm in totaal).

De ankers zijn beproefd onder verschillende thermische omstandigheden met temperaturen tussen -20°C tot 80°C.

TECHNISCHE SPECIFICATIES

De volgende combinaties van renovatiepouwanker met binnen- en buitenspouwblad zijn beproefd en door IKOB-BKB goedgekeurd.

Constructie specificaties	
Renovatiepouwanker: fischer VBS 8 (chemisch)	
Buitenblad	Baksteen (12 N/mm ²)
	Baksteen (36 N/mm ²)
	Kalkzandsteen (20 N/mm ²)
	Anker in voeg aangebracht (mortel 5 N/mm ²)
Binnenblad	Beton (C20/25)
	Baksteen hol (HD 8 N/mm ²)
	Baksteen (HD 12 N/mm ²)
	Baksteen (HD 36 N/mm ²)
	Kalkzandsteen (CS20)
	Kalkzandsteen hol (CS12)
	Cellenbeton (G4/800)
	Anker in voeg aangebracht (mortel 5 N/mm ²)



Nadruk verboden

Gebruikers van dit certificaat wordt geadviseerd om bij IKOB-BKB te informeren of dit document nog geldig is.

Figuur D.2 IKOB-BKB certificatie blad renovatie spouwankers (2/4)

IKOB-BKB CERTIFICAAT

Renovatiespouwanker; Type: fischer VBS-8 en VBS-M8

Nummer: IKB2805/14

Uitgegeven: 2014-09-03

pagina 3 van 4

Constructie specificaties	
Renovatiespouwanker: fischer VBS M (mechanisch)	
Buitenblad	Baksteen (28 N/mm ²)
	Kalkzandsteen (20 N/mm ²)
	Holle baksteen (28 N/mm ²)
	Anker in voeg aangebracht (mortel 5 N/mm ²)
Binnenblad	Beton (C12/15)
	Beton (C20/25)
	Beton (C50/60)
	Kalkzandsteen (CS12)
	Kalkzandsteen (CS20)
	Lichtbeton steen V6
	Lichtbeton steen Vbl 8
	Baksteen (20 N/mm ²)
	Holle baksteen (12 N/mm ²)
	Holle kalkzandsteen (12 N/mm ²)
	Holle lichtbeton blokken (4 N/mm ²)
	Holle lichtbeton blokken (8 N/mm ²)



Nadruk verboden
Gebruikers van dit certificaat wordt geadviseerd om bij IKOB-BKB te informeren of dit document nog geldig is.

Figuur D.3 IKOB-BKB certificatie blad renovatie spouwankers (3/4)

IKOB-BKB CERTIFICAAT

Renovatiespouwanker, Type: fischer VBS-8 en VBS-M8

Nummer: IKB2805/14

Uitgegeven: 2014-09-03

pagina 3 van 4

TOEPASSINGSVOORWAARDEN

De renovatiespouwankers dienen conform verwerkingsvoorschrift van de fabrikant te worden aangebracht.

De verwerker dient te voldoen aan de in BRL 2826 en URL 40.01 genoemde eisen. Hierbij dient voor het bepalen van het aantal toe te passen ankers gebruik te worden gemaakt van bepalingen en berekeningen conform de Eurocodes inclusief de daarbij horende nationale bijlagen.

MERKEN

De producent heeft het recht om het certificatiemerk te voeren volgens nevenstaand voorbeeld



AANDACHTSPUNTEN VOOR DE AFNEMER

De volgende punten zijn voor de afnemer van belang.

1. Bij aflevering van de in de technische specificatie vermelde producten alsmede van de in de verwerkingsvoorschriften vermelde producten wordt aangeraden te inspecteren of:
 - geleverd is wat is overeengekomen;
 - het merk en de wijze van merken juist zijn;
 - de producten geen zichtbare gebreken vertonen als gevolg van transport en dergelijke, voor zover deze de toepasbaarheid nadelig beïnvloeden.
2. Indien op grond van het onder 1. gestelde tot afkeuring wordt overgegaan wordt aanbevolen contact op te nemen met fischer Benelux BV en zo nodig met IKOB-BKB te Houten.
3. Opslag, transport en verwerking dienen te worden uitgevoerd overeenkomstig de verwerkingsvoorschriften.
4. De toepassingsvoorwaarden dienen in acht te worden genomen.

TITELS GENOEMDE DOCUMENTEN


BRL 2826	Vervaardiging van metsel- en lijmwerkconstructies en/of voegwerk
URL 40.01	Aanbrengen van renovatiespouwankers
EN 845-1	Specificaties voor nevenproducten voor steenconstructies - Deel 1: Spouwankers, muurankers, raveel-/gordingschoenen en ondersteuningsproducten
EN 846-5	Beproevingmethoden voor nevenproducten voor steenconstructies - Deel 5: Bepaling van de trek- en druksterkte en het last-ervormingsgedrag van spouwankers (tussen twee metselstenen)




Nadruk verboden
Gebruikers van dit certificaat wordt geadviseerd om bij IKOB-BKB te informeren of dit document nog geldig is.

Figuur D.4 IKOB-BKB certificatie blad renovatie spouwankers (4/4)

D.2 Technische informatie en installatie details

VBS-M




Remedial wall tie mechanical VBS-M

Embedment depth
50 mm


The drilling process is faster and a shorter plug can be used for the same application. This saves time and money.


Expansion zone

Extended expansion zone, for sunk installation of the plug.

Small rim of the plug and small screw head

Enables a deeper installation of the screw in the outer layer for a plane surface. This guarantees a comfortable installation of further façade layers (ETICS).






Water protection section


A closed spiral section prevents the entering of moisture from the outside into the cavity.


2nd expansion zone

For fixation in the outer facing masonry.

> 9


Figuur D.5 Fischer renovatie anker technische informatie en installatie details (1/4)

VBS-M





100 % mounting safety

Reliable detection of loadbearing base material:

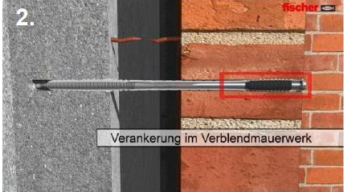
If the plug doesn't fix in the base material, the second expansion zone in the facing masonry is blocked → The screw can't be fixed in the plug!

1.




Verankerung in der Tragschale

2.




Verankerung im Verblendmauerwerk



Parallel thread prevents premature expansion in the facing masonry.

Only when the plug is fixed in the base material, the thread can be pulled in the second expansion zone.

> 10


Figuur D.6 Fischer renovatie anker technische informatie en installatie details (2/4)

VBS-M **fischer**
innovative solutions

Installation details

drill hole depth = $l_0 + 20$ mm

$d_0 = 8$ mm

$h_{ef} \geq 50$ mm

$h_a \geq 50$ mm (e.g. 115 mm*)

≥ 100 mm

h

$0-120$ mm**

h_L

load bearing wall air layer facing masonry

Torx 25

Zulassung

* Standard facing masonry in Germany
 ** 0-20 mm with thinner facing tiles, 20-120 mm at 115 mm facing masonry

> 11

Figuur D.7 Fischer renovatie anker technische informatie en installatie details (3/4)

VBS-M **fischer**
innovative solutions

Installation

1. Drilling of the drill hole with 8 mm drill diameter.
 Concrete / solid brick → Hammer drill bit; Perforated brick → Masonry drill bit
 (Special drill bits with short helix, see chapter accessories)
2. Sticking the screw into the plug and finally into the drill hole until the sleeve is flush mounted or mounted 20 mm deeper.
3. Screwing the screw with TX25 drive into the sleeve until the screw head is flush mounted to the surface of the wall. Note the correct screw depth for sunk installation. **Installation: Screw in without break during the installation!**
4. Fixing in the centre of the stone
5. Sunk installation in the centre of the stone
6. Fixing in the horizontal joint
7. Sunk installation in the horizontal joint

> 12

Figuur D.8 Fischer renovatie anker technische informatie en installatie details (4/4)

E Technische informatie sensoren

Deze bijlage geeft technische informatie over de sensoren en de instellingen die zijn gebruikt in de metingen. In de testen zijn verschillende type sensoren gebruikt. Versnellingsopnemers zijn gebruikt om de versnellingen van de tafel, muur en frame te bepalen. De verplaatsingen van het proefstuk ten opzichte van de tafel zijn gemeten met behulp van lasers, bevestigd op een aluminium frame. Daarnaast zijn de horizontale en verticale krachten op de stalen balk aan de bovenzijde van het proefstuk gemeten met behulp van krachtopnemers.

E.1 Versnellingsopnemers

In de testen zijn twee type versnellingsopnemers gebruikt, namelijk 1D en 3D versnellingsopnemers. De opnemers werden met lijm bevestigd aan de testopstelling. De sensoren geven een voltage als output, wat door het data-acquisitie systeem wordt omgezet in een versnelling in m/s^2 . De gebruikte sensoren zijn van PCB piezotronics. In onderstaande afbeelding zijn de beide types versnellingsopnemers te zien. Detail informatie over de sensor types en gebruikte instellingen in de testen is te vinden in de tabel aan het einde van deze bijlage.



Figuur E.9 detailfoto van een 1D (links) en 3D (rechts) versnellingsopnemer

E.2 Verplaatsingsopnemers

Verplaatsingen zijn gemeten met behulp van lasers. Deze lasers zijn van Panasonic en hebben een meetbereik van $+10/-10$ mm. Om het beste resultaat te krijgen is op het oppervlak waarvan de verplaatsing gemeten wordt een witte sticker geplaatst. Op deze manier wordt de laserstraal het meest zuiver weerkaatst. De lasers worden elk via een hoekprofiel op een aluminium frame geschroefd. Deze lasers hebben ook voltage als output; dit wordt door het data-acquisitie systeem omgezet in een verplaatsing in mm. Hieronder is zo'n laser in meer detail te zien. Detail informatie over het sensor type en de gebruikte instellingen in de testen is te vinden in de tabel aan het einde van deze bijlage.



Figuur E.10 Detailfoto van een laser

E.3 Krachtopnemers

De krachten zijn gemeten met holle krachtopnemers. De as waarop de kracht wordt aangebracht loopt door deze krachtopnemer. De verticale krachtopnemers zijn rechtstreeks aangebracht op de as door het verenpakket; bij de horizontale opnemers is gebruik gemaakt van een scharnier. Op deze wijze loopt de kracht altijd recht door de opnemer, en kan de bovenbalk nog vrij roteren. De krachtopnemers geven een output in mV/V; dit wordt door het data-acquisitie systeem vertaald naar een kracht in kN. Figuur E.11 toont een verticale krachtopnemer. De gebruikte krachtopnemers zijn van het type HBM. Detail informatie over het sensor type en de gebruikte instellingen in de testen is te vinden in de tabel aan het einde van deze bijlage.



Figuur E.11 Detailfoto van een verticaal geplaatste krachtopnemer

Trion 3

<i>Naam</i>	<i>Make</i>	<i>Type</i>	<i>Serial</i>	<i>TUI</i>	<i>Range</i>	<i>Sens. Cal.</i> [elec/Eng]	<i>Scale</i> [ENG/elec]	<i>Kabel</i>	<i>Slot</i>	<i>Ch.</i>	<i>Conditioner</i> Conditioner	<i>Amplifier</i>	<i>Serial</i>	<i>Type</i>	<i>Input</i> Type	<i>Excitation</i> V / mA
Kracht	HBM	U2B		n.a	125	0,0400	5V = 125 kN	BNC 2m 1	1	1	TRION-2402-MULTI-8		A018009D	Voltage	single	n.a.
Verplaatsing	MOOG	encoder		n.a	145	0,0714	5V = 72,5 mm	BNC 2m 2	1	2	TRION-2402-MULTI-8		A018009D	Voltage	single	n.a.
F1	HBM	U10	126818	41114454	25	1,9850	3978	ODU 10m 1	1	3	TRION-2402-MULTI-8		A018009D	Bridge	diff	5V
F2	HBM	U10	x	41114452	25	1,9880	3976	ODU 10m 2	1	4	TRION-2402-MULTI-8		A018009D	Bridge	diff	5V
F3	HBM	U10	126818	41114451	25	1,9850	3978	ODU 10m 3	1	5	TRION-2402-MULTI-8		A018009D	Bridge	diff	5V
F4	HBM	U10	x	41114453	25	1,9900	3980	ODU 10m 4	1	6	TRION-2402-MULTI-8		A018009D	Bridge	diff	5V

Trion 4

<i>Naam</i>	<i>Make</i>	<i>Type</i>	<i>Serial</i>	<i>Tui</i>	<i>Range</i>	<i>Sens. Cal.</i> [elec/Eng]	<i>Scale</i> [ENG/elec]	<i>Kabel</i>	<i>Slot</i>	<i>Ch.</i>	<i>Conditioner</i> Conditioner	<i>Amplifier</i>	<i>Serial</i>	<i>Type</i>	<i>Input</i> Type	<i>Excitation</i> V / mA
a1	PCB	3703G3FD3G	3430	41122563	3	0,1012	9,88	3D 1	1	1	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a2					3	0,1037	9,64	3D 1	1	2	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a3					3	0,1012	9,88	3D 1	1	3	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a4	PCB	3703G3FD3G	3444	41122564	3	0,1013	9,87	3D 2	1	4	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a5					3	0,1006	9,94	3D 2	1	5	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a6					3	0,1004	9,96	3D 2	1	6	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a7	PCB	3801DFB20G	427	41111241	20	0,0099	101,17	3D 3	1	7	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a8	PCB	3801DFB20G	429	41111242	20	0,0101	99,13	3D 3	1	8	TRION-2402-MULTI-8		A01704AB	Voltage	single	n.a.
a9	PCB	3701G3FA3G	430	94008461	3	0,1016	xx	3D 3	2	9	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a10	PCB	3801DFB20G	415	41111237	20	0,0101	98,89	3D 4	2	10	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a11	PCB	3801DFB20G	417	41111239	20	0,0101	99,04	3D 4	2	11	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a12	PCB	3801DFB20G	423	41111243	20	0,0100	100,04	3D 4	2	12	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a13	PCB	3801DFB20G	412	41111234	20	0,0102	98,08	ODU 10m 1	2	13	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a14	PCB	3801DFB20G	414	41111236	20	0,0100	99,55	ODU 10m 2	2	14	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a15	PCB	3801DFB20G	416	41111238	20	0,0100	99,58	ODU 10m 3	2	15	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.
a16	PCB	3801DFB20G	418	41111240	20	0,0101	98,90	ODU 10m 4	2	16	TRION-2402-MULTI-8		A01704B4	Voltage	single	n.a.

Trion 5

Naam	Make	Type	Serial	Tui	Range	Sens. Cal. [elec/Eng]	Scale [ENG/elec]	Kabel	Slot	Ch.	Conditioner Conditioner Amplifier	Serial	Type	Input Type	Excitation V / mA
laser1	SUNX	ANR1150		41114135	20	0,501	1,996	UMB1 BNC1	1	1	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser2	SUNX	ANR1150		41114136	20	0,498	2,009	UMB1 BNC1	1	2	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser3	SUNX	ANR1150		41114139	20	0,502	1,993	UMB1 BNC1	1	3	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser4	SUNX	ANR1150		41114140	20	0,502	1,993	UMB1 BNC1	1	4	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser5	SUNX	ANR1150		41114141	20	0,500	1,999	UMB2 BNC2	1	5	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser6	SUNX	ANR1150		41114142	20	0,500	2,002	UMB2 BNC2	1	6	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser7	SUNX	ANR1150		41114143	20	0,504	1,984	UMB2 BNC2	1	7	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser8	SUNX	ANR1150		41114146	20	0,495	2,022	UMB2 BNC2	1	8	TRION-2402-MULTI-8	A01701BB	Voltage	single	n.a.
laser9	SUNX	ANR1150		41114147	20	0,498	2,008	UMB3 BNC 3	2	9	TRION-2402-MULTI-8	A018009E	Voltage	single	n.a.
laser10	SUNX	ANR1150		41114149	20	0,501	1,998	UMB3 BNC 3	2	10	TRION-2402-MULTI-8	A018009E	Voltage	single	n.a.
laser11	SUNX	ANR1150		41114150	20	0,499	2,006	UMB3 BNC 3	2	11	TRION-2402-MULTI-8	A018009E	Voltage	single	n.a.
laser12	SUNX	ANR1150		41114152	20	0,498	2,008	UMB3 BNC 3	2	12	TRION-2402-MULTI-8	A018009E	Voltage	single	n.a.
a17	PCB	3801DFB20G	433	41111240	20	xx	xx	ODU 10m 4	2	16	TRION-2402-MULTI-8	A01704B4	Voltage	Single	n.a.
a18	PCB	3801DFB20G	421	41111240	20	xx	xx	ODU 10m 4	2	16	TRION-2402-MULTI-8	A01704B4	Voltage	single	n.a.

F Analyse methodes

Deze bijlage geeft een beschrijving van de dataverwerking en analyse uitgevoerd op de gemeten versnellingen, verplaatsingen en krachten.

F.1 Verwerking ruwe data

Voor analyse van de gemeten versnellingen, verplaatsingen en krachten zijn er eerst een aantal voorbereidingen uitgevoerd op de ruwe data. Ten eerste zijn offsetten en trends uit de data verwijderd door het gemiddelde eraf te trekken en de data te filteren met een low pass filter. Het filter had een passband frequentie van 48 Hz en een stopband frequentie van 52 Hz. Hierna zijn de gemeten verplaatsingen gedifferentieerd naar snelheden en versnellingen, en de gemeten versnellingen geïntegreerd naar snelheden en verplaatsingen.

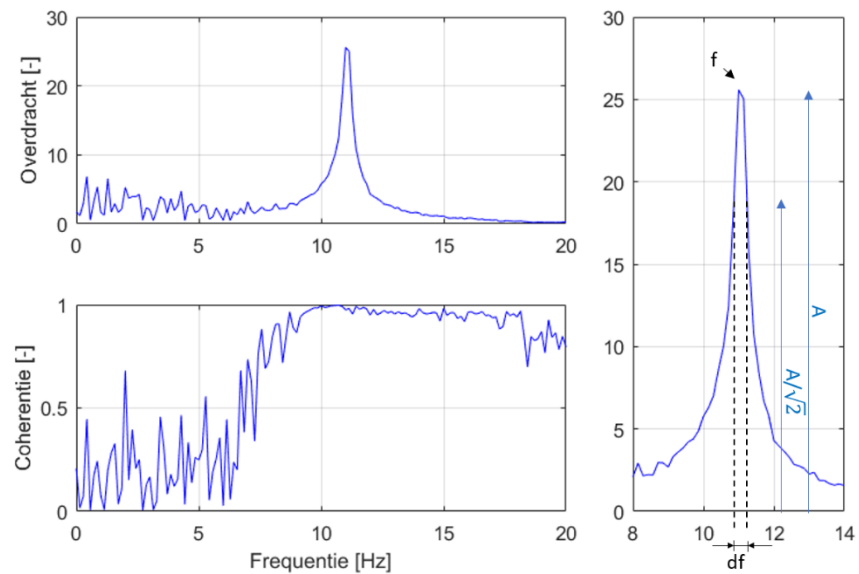
F.2 PTA en PTD

Het gemeten versnellingssignaal op de tafel en het daaruit bepaalde verplaatsingssignaal (door integratie) zijn gebruikt voor bepaling van de piek tafel versnelling (PTA) en de piek tafel verplaatsing (PTD):

$$PTA = \max(|a_{tafel}(t)|)$$
$$PTD = \max(|d_{tafel}(t)|)$$

F.3 Eigenfrequentie en demping

Figuur F.12(a) geeft het overdrachtsspectrum bepaald tussen het gemeten versnellingssignaal op de tafel en het versnellingssignaal gemeten in het midden van het proefstuk. Dit overdrachtsspectrum geeft per frequentie de verhouding tussen de taferversnelling en de versnelling van het midden van het proefstuk. Figuur F.12 (b) geeft de coherentie tussen de twee gemeten versnellingssignalen. De waarde van de coherentie geeft aan in hoeverre er sprake is van een lineaire relatie tussen versnelling op de tafel en het midden van het proefstuk. Indien de coherentie groter is dan 0,8 is er sprake van een lineaire relatie en is de bepaalde piek in het overdrachtsspectrum een eigenfrequentie van het proefstuk. In Figuur F.12(c) is ingezoomd op de grootste piek in Figuur F.12(a). De frequentie waarbij deze piek optreedt wordt een eigenfrequentie genoemd, het proefstuk reageert heftiger op een beweging van de tafel in deze frequentie.



Figuur F.12 Spectra bepaald uit meetdata: (a) overdrachtsspectrum, (b) coherentiespectrum, (c) detail van piek in overdrachtsspectrum.

De demping behorend bij de eigenfrequenties is bepaald door de grootte van de piek te delen door wortel 2. Bij deze waarde is een frequentiebereik (df) te bepalen, weergegeven in Figuur F.12(c). De demping wordt nu gegeven door:

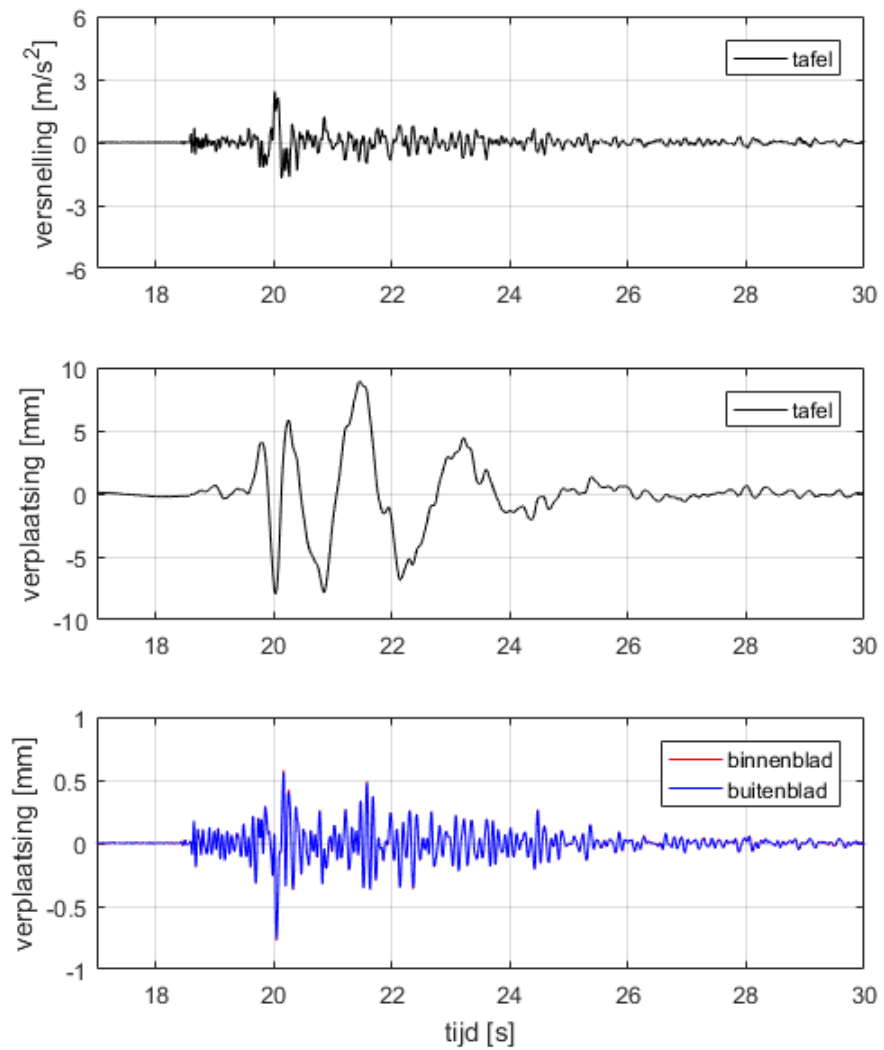
$$\zeta = df/2f$$

Hierin zijn f en ζ de eigenfrequentie en demping.

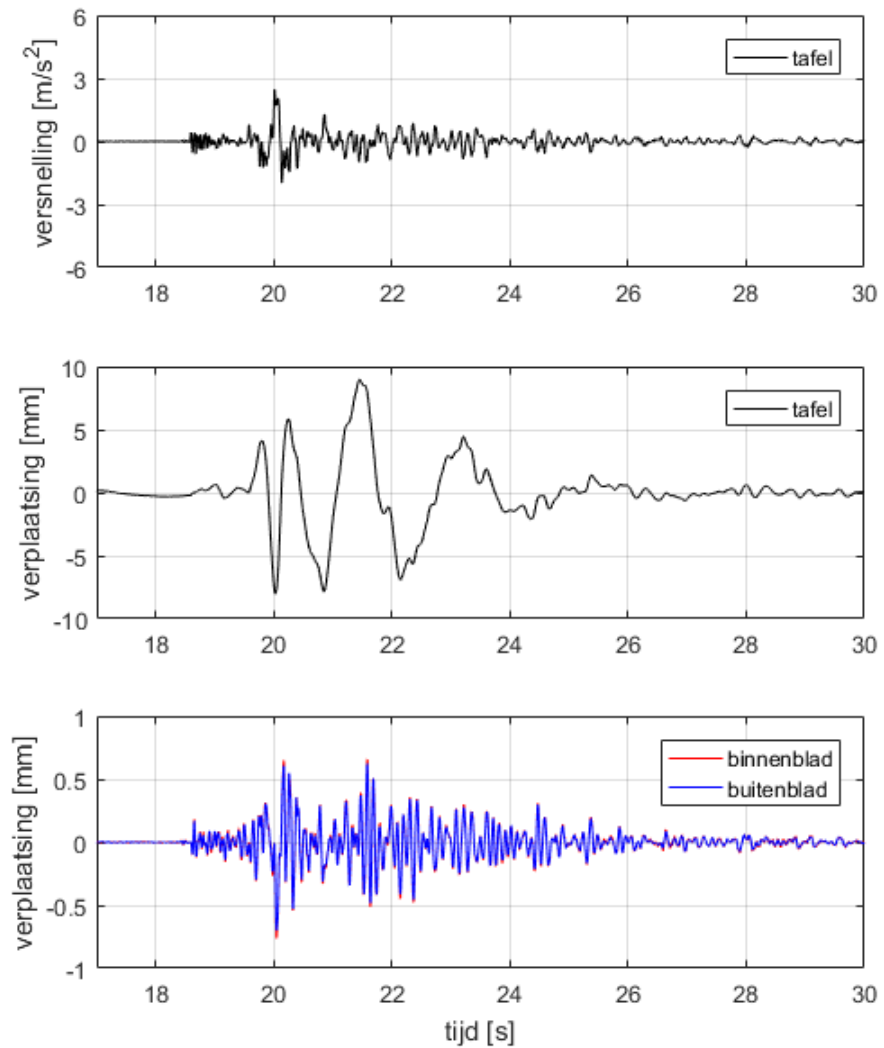
G Tijdsignalen

Deze bijlage geeft de tijdsignalen gemeten op de tafel en het midden van het proefstuk voor de testen uitgevoerd in fase 1 en fase 2 met SF = 100%.

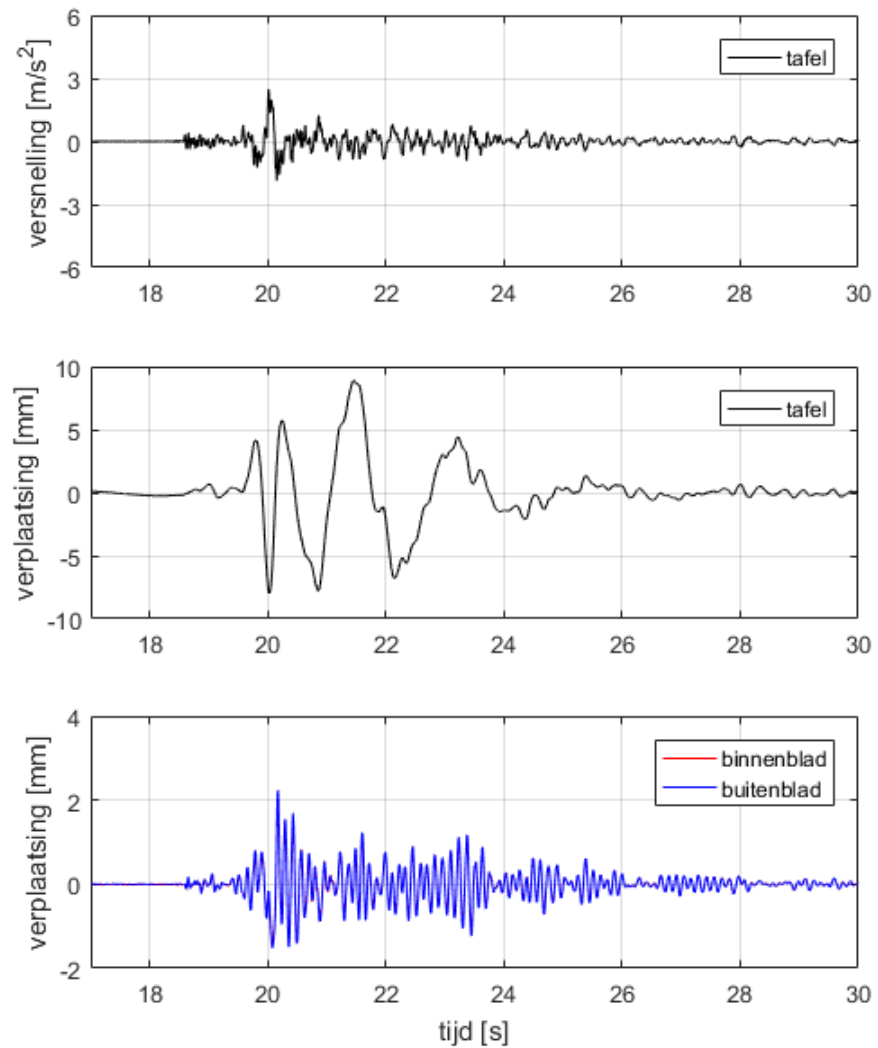
G.1 Fase 1



Figuur G.1 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-1 (100%) op proefstuk Referentie 1: (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.

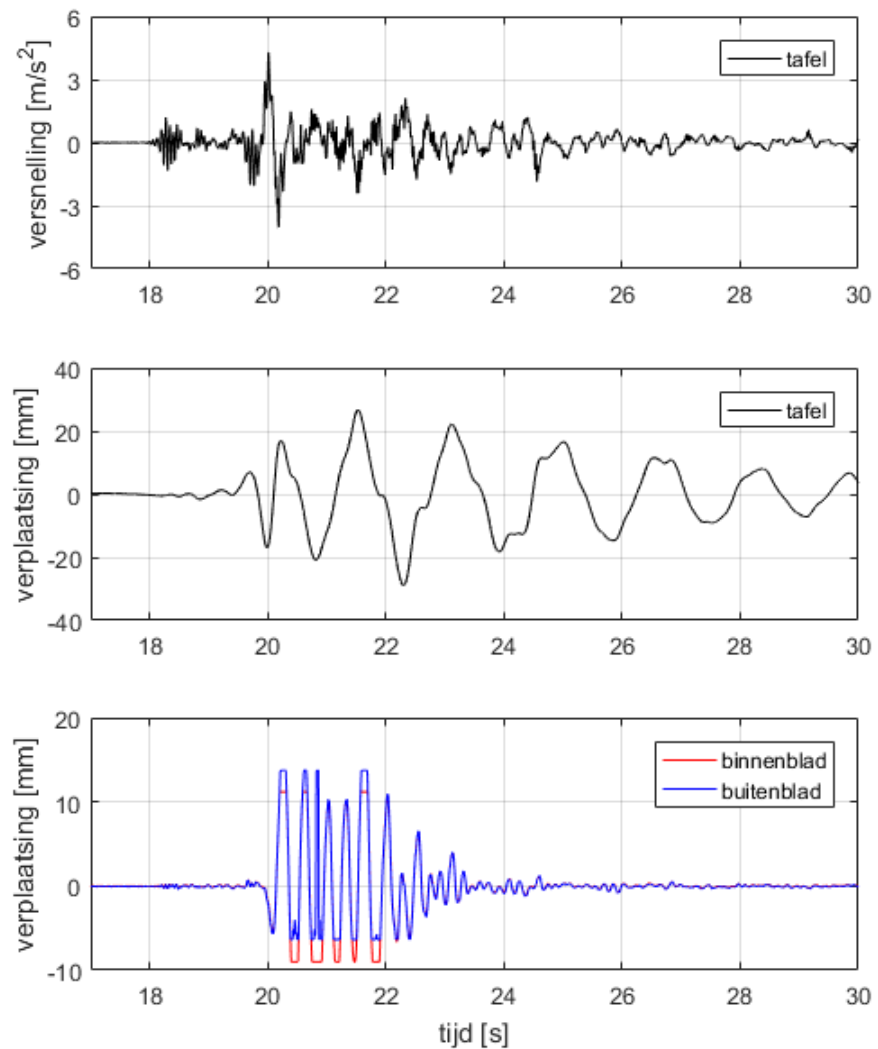


Figuur G.2 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-1 (100%) op proefstuk Referentie 2: (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.

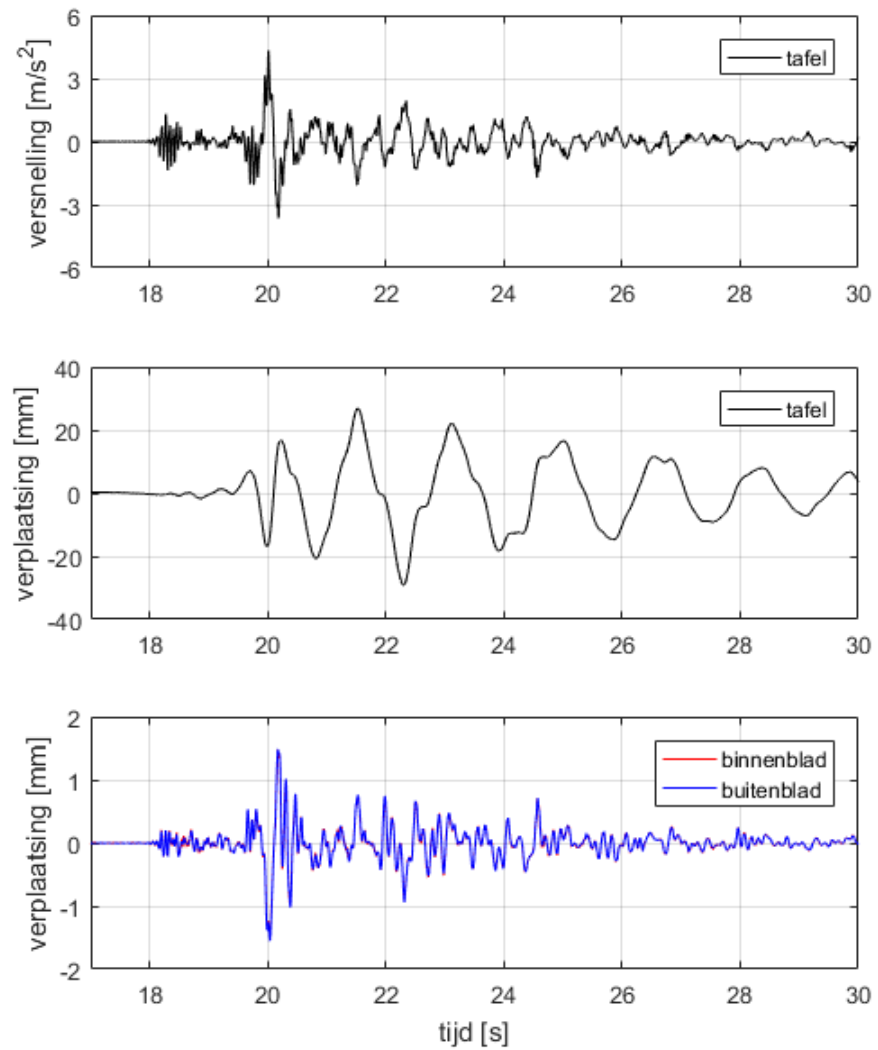


Figuur G.3 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-1 (100%) op het Fischer proefstuk: (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.

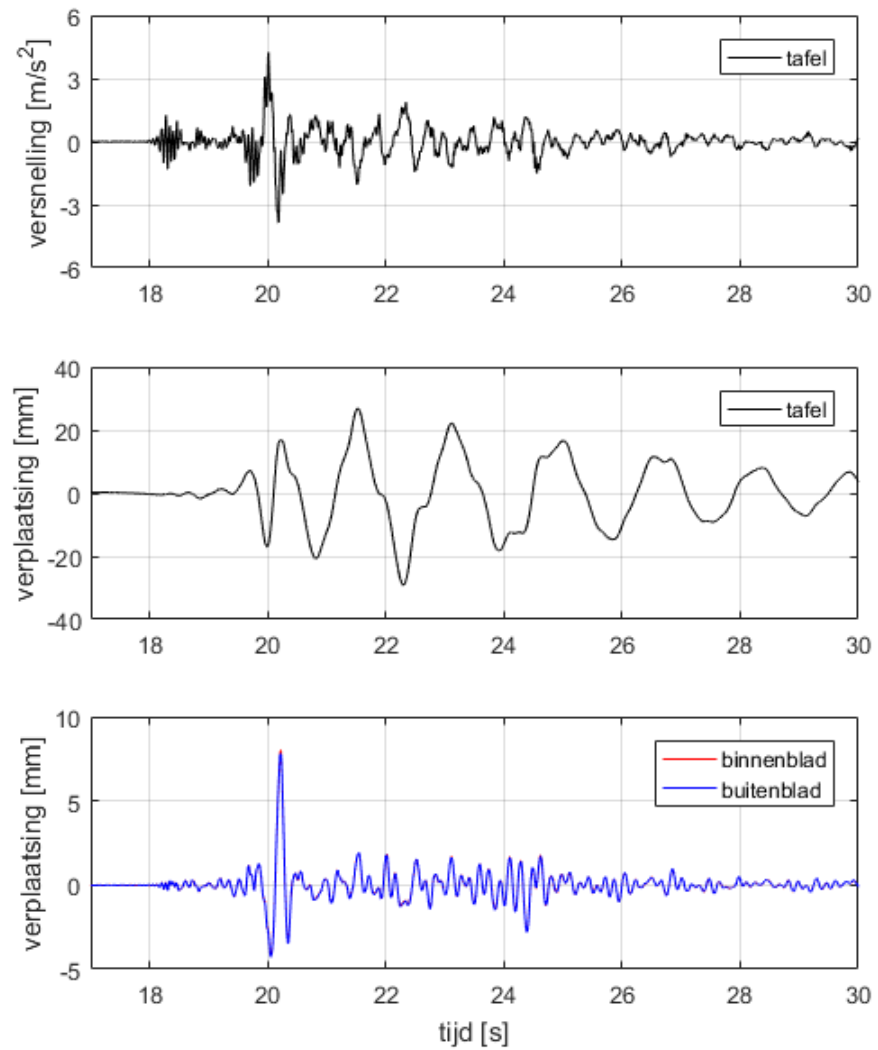
G.2 Fase 2



Figuur G.4 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-2 (100%) op proefstuk Referentie 1: (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.



Figuur G.5 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-1 (100%) op proefstuk Referentie 2: (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.



Figuur G.6 Gemeten signalen tijdens een test met Gr-1 (100%) op het Fischer proefstuk: (a) het tafel versnellingssignaal, (b) het tafel verplaatsingssignaal, en (c) het relatieve verplaatsingssignaal gemeten in het midden van het binnen- en buitenblad van het proefstuk ten opzichte van de tafel.