

Datum: 09-06-2017

Onderwerp: Advies kennisprogrammering Bouwkundig Versterken

Geachte heer Alders,

Hierbij het advies van de kennistafel 'Bouwkundig Versterken' op 2 november. Het doel van deze kennistafel was richting te geven aan de kennisprogrammering voor de komende jaren.

De focus van de kennistafel was veiligheid en schade, voor zowel gebouwen, scholen als erfgoed. Er zijn 6 deelonderwerpen besproken:

1. seismische belasting, veiligheidsfilosofie
2. grond-constructie-interactie
3. seismische weerstand gebouwen
4. valideren, certificeren, maatregelen
5. vallende objecten en secundaire seismische elementen
6. toekomstige methodiek schadebeoordeling

De kennisaanbieders en kennisvragers zijn gekomen tot een lijst van 10 activiteiten binnen de genoemde 6 deelonderwerpen, die als eerste zouden moeten starten in een langjarig onderzoeksprogramma. Dit advies bevat een beschrijving van de deelonderwerpen, de lijst met activiteiten, de bijbehorende onderzoeksvragen en een beknopte uitwerking van de activiteiten naar omvang en tijd.

Wij hopen op een spoedige start van het onderzoeksprogramma.

Hoogachtend,



Ir. Carine van Bentum
ir. Jelle Pama

BuildinG, namens TNO
BuildinG, namens Hanzehogeschool Groningen

Advies kennisprogrammering 'Bouwkundig Versterken'

Delft, 9 juni 2017

Dit advies is opgesteld door de volgende kennisaanbieders:

- TU Delft : Jan Rots, Joop Paul, Rita Esposito, Rob van Hees
- TU Eindhoven : Simon Wijte, Freek Bos
- Deltares : Mandy Korff
- TNO : Raphael Steenbergen, Dirk Kraaijpoel, Rob van Hees
- NAM : Jan van Elk, Dick den Hertog
- EU Centre : Helen Crowley, Rui Pinho
- BuildinG : Carine van Bentum, Jelle Pama

Inhoudsopgave

Inleiding	3
Aanleiding	3
Doelstelling	3
Relatie kennisprogramma's voor de ondergrond en de bovengrond	4
Leeswijzer	5
1. Seismische belasting	6
Inleiding	6
Afgeronde en lopende onderzoeken	5
Prioriteitenlijst seismische belasting	7
Randvoorwaarden	7
2. Grond-constructie interactie	8
Inleiding	8
Afgeronde en lopende onderzoeken	8
Kernreferenties	9
Prioriteitenlijst grond-constructie interactie.....	9
3. Seismische weerstand	10
Inleiding	10
Afgeronde en lopende onderzoeken	11
Kernreferenties	11
Prioriteitenlijst seismische weerstand.....	12
4. Valideren en certificeren	13
Inleiding	13
Afgeronde en lopende onderzoeken	13
Prioriteitenlijst valideren en certificeren.....	14
5. Vallende objecten en secundaire seismische elementen	15
Inleiding	15
Afgeronde en lopende onderzoeken	15
Kernreferenties	15
Prioriteitenlijst vallende objecten en secundaire seismische elementen	15

6. Toekomstige methodiek schadebeoordeling	17
Inleiding	17
Beoordeling van schade als gevolg van trillingen	17
Afgeronde en lopende onderzoeken	17
Kernreferenties	18
Prioriteitenlijst toekomstige methodiek schadebeoordeling	19
Randvoorwaarden	20
Speerpuntenlijst 'Bouwkundig versterken'	21
 BIJLAGEN	
Bijlage 1 Deelnemerslijst Kennistafel 'Bouwkundig Versterken'	30
Bijlage 2 Samenvatting kennistafel 2 november	32
Bijlage 3 Volledige lijst met onderwerpen - Seismische belasting	34
Bijlage 4 Volledige lijst met onderwerpen – Grond-constructie interactie	35
Bijlage 5 Volledige lijst met onderwerpen – Seismische weerstand	36
Bijlage 6 Volledige lijst met onderwerpen - Valideren en certificeren	38
Bijlage 7 Volledige lijst met onderwerpen - Vallende objecten en secundaire seismische elementen	40
Bijlage 8 Volledige lijst met onderwerpen - Toekomstige methodiek schadebeoordeling	41

Inleiding

Aanleiding

De NCG heeft onder meer als taak om het onderzoek en de kennisontwikkeling gerelateerd aan aardbevingen en de ontwikkeling van een kansrijk Groningen te coördineren. Dit betreft een breed aantal terreinen zoals de woningmarkt, ruimtelijke kwaliteit, sociale structuur, onderwijs en zorgontwikkeling, erfgoed, schadeafhandeling, versterkingsopgave en de gewenste energietransitie¹. De NCG ziet dat er behoefte is aan een overlegplatform van wetenschappers en 'kennisvragers', waar vraag en aanbod bijeenkomen en waar de maatschappelijke vraag vertaald kan worden in onderzoeksvragen. De NCG heeft voor ogen om via dit overlegplatform richting te geven aan het meerjarig onderzoek².

BuildinG is door NCG gevraagd om als pilot een kennistafel te organiseren. Op 2 november 2016 heeft een eerste kennistafel plaatsgevonden met als thema 'Bouwkundig Versterken'. Het thema van de kennistafel omvatte zowel veiligheid als schade voor (woon)gebouwen, scholen en erfgoed.

Doelstelling

Deze eerste kennistafel in een serie was bedoeld als start voor de kennisprogrammering van het programma Bouwen en Versterken, waarbij op basis van een gesprek tussen aanbieders van kennis en kennisvragers de speerpunten voor onderzoek en kennisduiding zijn geïdentificeerd. Door de kennistafel op deze wijze te organiseren is een gedeeld beeld ontstaan over de beschikbare kennis en de kennisvragen op korte en lange termijn.

In algemene zin heeft een kennistafel de volgende doelen:

- Bijeenbrengen van aanbod van kennis en kennisvragers (met regelmaat)
- In gesprek over kennis tussen kennisaanbieders onderling en met kennisvragers (met regelmaat)
- Verbindingen/kennisnetwerk voor kennisaanbieders onderling en met kennisvragers

De gewenste uitkomsten zijn:

- Gedeeld beeld van de beschikbare kennis (overzicht beschikbare kennis)
- Gedeeld beeld van de resterende kennisvragen
- Prioriteren van onderzoeksondewerpen

De focus van de kennistafel van 2 november was veiligheid en schade, voor zowel gebouwen, scholen als erfgoed. Er zijn 6 deelonderwerpen besproken:

1. seismische belasting, veiligheidsfilosofie
2. grond-constructie-interactie
3. seismische weerstand gebouwen
4. valideren, certificeren, maatregelen
5. vallende objecten en secundaire seismische elementen
6. toekomstige methodiek schadebeoordeling

¹ Concept Meerjarenprogramma Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen 2017-2021 NCG, 2 nov 2016

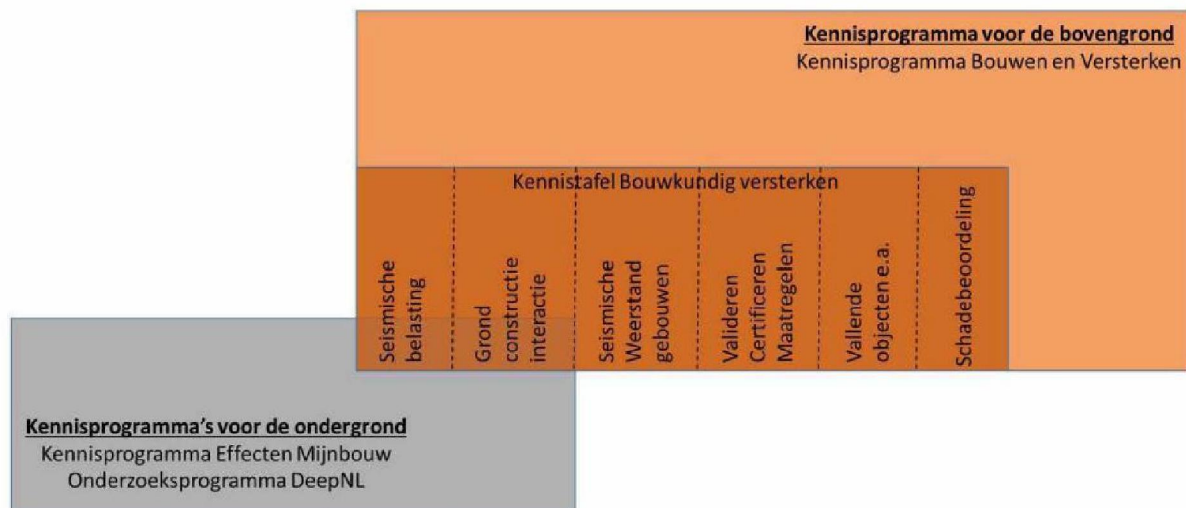
² Kamerbrief Aanstelling Nationaal Coördinator Groningen, 1 mei 2015

Relatie kennisprogramma's voor de ondergrond en de bovengrond

Deze eerste kennistafel Bouwkundig Versterken levert speerpunten op, die de start kunnen vormen voor het kennisprogramma Bouwen en Versterken. Het kennisprogramma Bouwen en Versterken is een van de twee kennisprogramma's die voorzien zijn om de kennisvragen te beantwoorden die gerelateerd zijn aan de bovengrond. Het andere kennisprogramma is Leefbaarheid.

De deelonderwerpen seismische belasting en grond-constructie-interactie hebben enige mate van overlap met het kennisprogramma dat wordt opgezet om de kennisvragen met betrekking tot de ondergrond te beantwoorden (zie figuur 1). Ook hier zijn twee programma's voorzien: Kennisprogramma Effecten Mijnbouw en het onderzoeksprogramma NWO DeepNL.

Globaal kan gezegd worden dat kennisvragen met betrekking tot het ontstaan van aardbevingen, het gedrag van de diepe ondergrond en de voortplanting van de seismische golven door de bodem deel uitmaken van de kennisprogramma's voor de ondergrond. Kennisvragen die nader ingaan op het gedrag van de bovenste grondlagen (de ondiepe ondergrond) en de trillingsoverdracht naar de fundering behoren tot het kennisprogramma Bouwen en Versterken voor de bovengrond. Per kennisvraag zal een afweging gemaakt worden in welk programma (ondergrond of bovengrond) dit zal worden opgepakt. Nauwe samenwerking tussen de programma's is een voorwaarde om te komen tot een kennisbasis waarmee veiligheid en schade kunnen worden beoordeeld in termen van risico's.

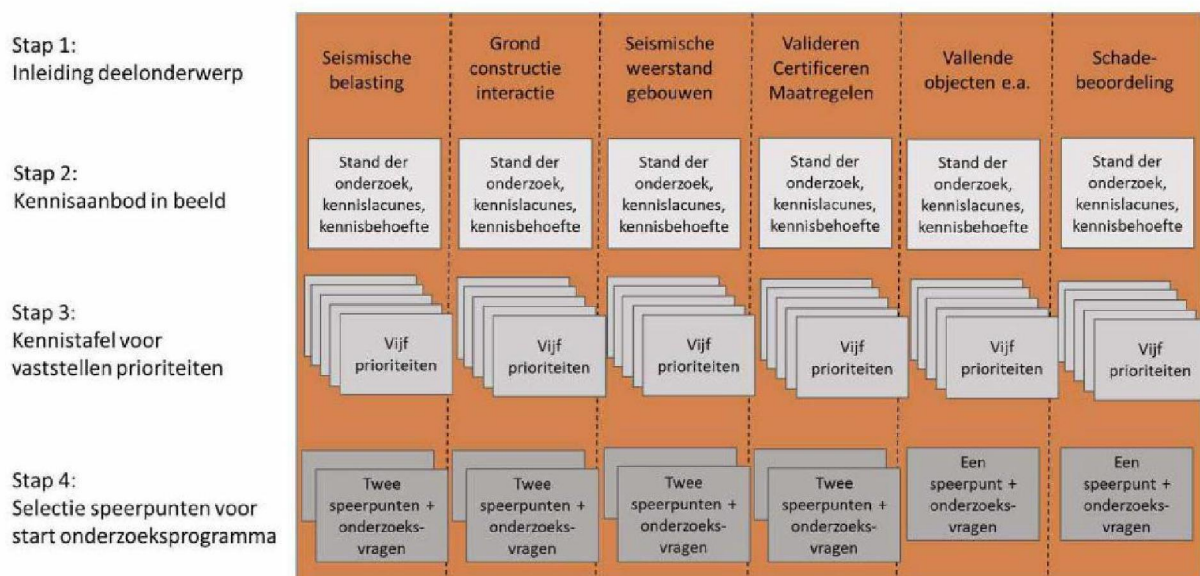


Figuur 1: Overlap tussen kennisprogramma's voor de ondergrond en het kennisprogramma Bouwen en Versterken voor de bovengrond

Leeswijzer

Om te komen tot een lijst met 10 speerpunten is een aantal stappen doorlopen (zie figuur 2). Als eerste stap zijn op basis van ervaringen van de kennisaanbieders 6 relevante deelonderwerpen gedefinieerd. Als tweede stap is voor elk deelonderwerp aan de kennisaanbieders gevraagd om op basis van de actuele stand der kennis aan te geven welke kennislacunes er nog zijn. Ook aan de kennisvragers is gevraagd om aan te geven aan welke kennis zij behoefte hebben. De kennistafel op 2 november vormt de derde stap in het proces. De kennislacunes zijn in gezamenlijkheid tussen kennisaanbieders en kennisvragers samengevoegd tot 5 onderzoeksprioriteiten per deelonderwerp. Als laatste stap hebben de kennisaanbieders uit deze 30 onderzoeksprioriteiten een lijst met 10 speerpunten gedestilleerd. In deze vierde stap is rekening gehouden met de aangegeven mate van urgentie per deelonderwerp. Oftewel bij de bepaling van de speerpunten over alle deelonderwerpen heen, is de volgorde van de onderzoeksprioriteiten per deelonderwerp niet veranderd. Bij elk speerpunt is een verdiepingsslag gemaakt door de concrete onderzoeksvragen te benoemen en hierbij een tijdspad en omvang te geven.

De deelonderwerpen worden apart behandeld in de hoofdstukken 1 t/m 6. Per deelonderwerp is een korte inleiding gegeven, alsmede een beknopte stand van lopend onderzoek, de kernreferenties en de randvoorwaarden die ingevuld moeten worden om de kennisvragen succesvol te beantwoorden. Elk hoofdstuk eindigt met de 5 onderzoeksprioriteiten die de kennisaanbieders en kennisvragers in gezamenlijkheid hebben vastgesteld. De onderliggende lijsten met kennislacunes, geïdentificeerd door de kennisaanbieders, en de kennisbehoefte, zoals geformuleerd door de kennisvragers, zijn per deelonderwerp opgenomen in bijlagen 3 t/m 8. Bijlage 1 bevat een deelnemerslijst van de kennistafel op 2 november. Bijlage 2 geeft een overzicht over het verloop van de dag van de kennistafel. Het hoofdstuk met de lijst met 10 speerpunten besluit dit advies.



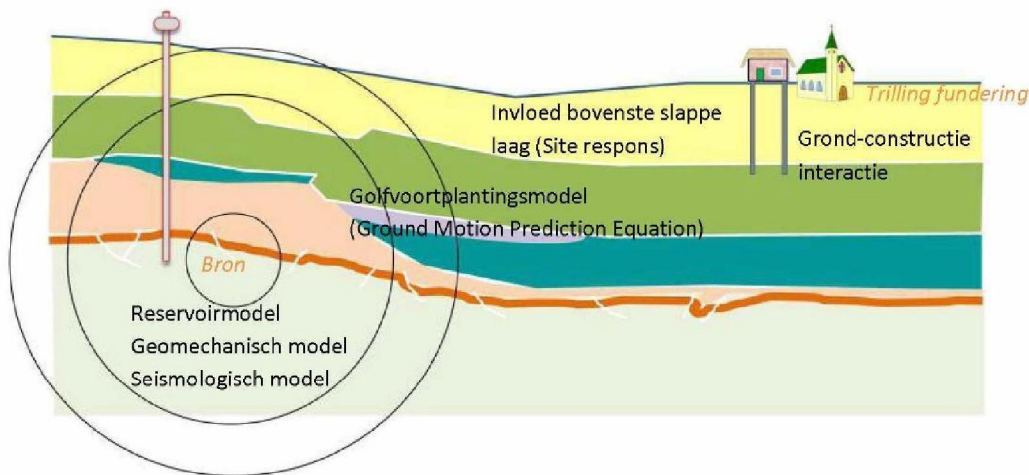
Figuur 2: Selectieproces om te komen tot 10 speerpunten

1. Seismische belasting

Inleiding

Onder seismische belasting wordt verstaan de kwantitatieve beschrijving van de (seismische) groundbeweging waarmee in het ontwerp van een bouwwerk rekening moet worden gehouden, zodanig dat aan de vereiste (veiligheids- en/of schade-) normen wordt voldaan.

Voor een volledige beschrijving van de seismische belasting is kennis nodig van de te verwachten bevingen, van het voortplantingsproces van seismische golven in de bodem, en van de overdracht van de trillingen naar de fundering (zie figuur 3).



Figuur 3 De onderdelen waaruit de seismische belasting is opgebouwd

“Seismische belasting” komt zowel in de kennisprogramma’s voor de ondergrond als voor de bovengrond aan bod. Onderwerpen met betrekking tot de oorzaken van de aardbevingen, bronmechanismen en de voortplanting van de seismische golven zullen voornamelijk in de programma’s voor de ondergrond gestalte krijgen. De effecten van de ondiepe ondergrond vormen een overgangsthema, dat een verbinding tussen de beide programma’s maakt. Enerzijds kan de ondiepe ondergrond geïntegreerd worden in het grootschalig golfvoortplantingsmodel, anderzijds wordt het gedrag van de lokale ondiepe ondergrond, en meer specifiek de interactie met de fundering, vaak in bouwkundige analyses geïntegreerd. De uiteindelijke beschrijving (parameterisatie) van de seismische belasting voor bouwkundig gebruik en de implementatie van de veiligheidsfilosofie is in ieder geval onderdeel van het Kennisprogramma Bouwen en Versterken.

Afgeronde en lopende onderzoeken

NAM voert ten behoeve van het winningsplan een onderzoeksprogramma uit voor seismische hazard- en risicoanalyse. NAM heeft hierin een seismologisch model ontwikkeld dat de kans op het ontstaan van aardbevingen relateert aan de te verwachten productie en de compactie van het veld. Voor de voortplanting van de trillingen in de bodem is specifiek voor Groningen een Ground Motion Prediction Equation (GMPE) ontwikkeld. De meest actuele, gepubliceerde versie van dit voortplantingsmodel is v2 (in een serie die loopt van v0, v1, naar v2 en toekomstige versies). Vanaf versie v2 bevat de GMPE een regionaal site response model, gebaseerd op geologisch en geofysisch onderzoek van de ondiepe ondergrond in Groningen.

Het KNMI heeft ook een aantal hazardanalyses uitgevoerd (KNMI'15, KNMI'16), waarbij het seismologisch model wordt gebaseerd op observaties in het recente verleden. Hierbij wordt geen direct verband gelegde met productie. Voor de GMPE wordt samengewerkt met NAM.

Met NPR9998 kan voor een specifiek gebouw bepaald worden met welke seismische belasting rekening gehouden moet worden. De seismische belasting in NPR998:2015 is gebaseerd op het KNMI'15 hazard model en GMPE v1.

Door de Samenwerkende Bedrijven Eemsdelta (SBE) wordt onderzoek gedaan naar de effecten die de aardbevingen hebben op de industrie in de industriegebieden Delfzijl en Eemshaven. In dit onderzoek wordt voortgebouwd op de ontwikkelingen in de NPR en nieuwe inzichten uit het NAM onderzoeksprogramma (o.a. GMPE v2).

Prioriteitenlijst seismische belasting

De volgende 5 onderwerpen worden door de kennistafel geadviseerd om op te nemen in het langjarige kennisprogramma. De onderwerpen zijn gerangschikt naar prioriteit.

1. Ruimtelijke differentiatie ontwerpspectra / tijdreeksen

Toelichting: Afleiden van tijdreeksen voor specifieke, lokale grondcondities in Groningen (grid, gemeentes, geologische zones, database). Hoe vertalen we de probabilistische hazard analyses naar een belasting op een constructie?

2. Verticale component belasting

Toelichting: Wat is de impact op de constructie en welke criteria moeten gehanteerd worden voor de toetsing van de constructie aan deze component van de belasting?

3. Toepasbaarheid lokale, site-specifieke response analyse

Toelichting: Inzet van lokale metingen van grondcondities versus het gebruik van de regionale modellen. Een handreiking is nodig over hoe om te gaan met belastingfactoren, veiligheidsfilosofie, extremen versus gemiddelde waarden.

4. Validatie site-respons modellen

Toelichting: Validatie met behulp van monitoring netwerken TNO&KNMI, in het lineaire domein vanwege de beschikbaarheid van de huidige bevingen.

5. Verbetering kennis grondgedrag

Toelichting: Met name van belang om ook het niet-lineaire gedrag in laboratoriumexperimenten mee te nemen voor toekomstige, mogelijk zwaardere bevingen.

Randvoorwaarden

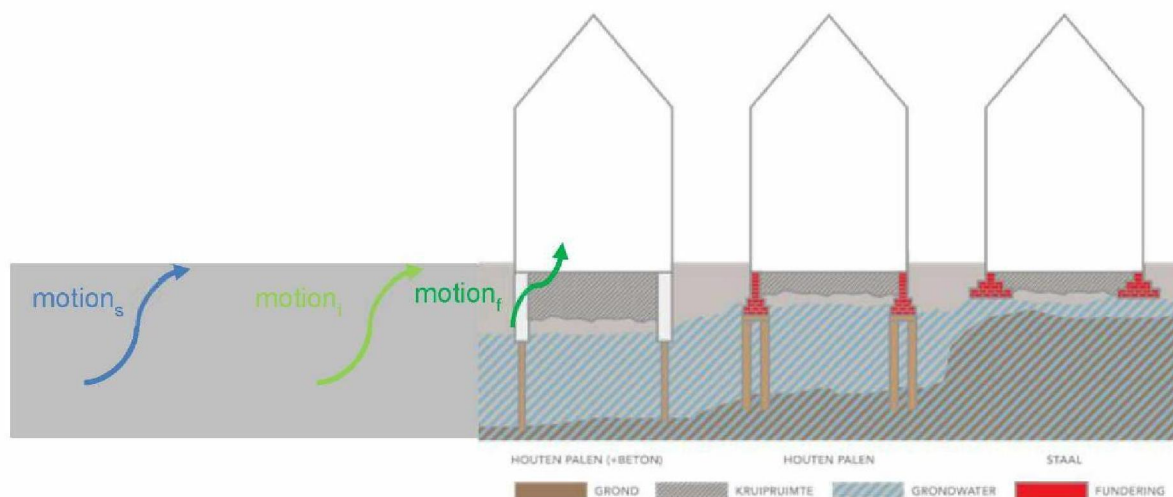
Afstemming met de kennisprogramma's voor de ondergrond, het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw en het onderzoeksprogramma van NWO DeepNL is essentieel, alsmede met de ontwikkelingen in de taskgroep Seismic Forcing (i.o.) van NEN en de lopende onderzoeksporen van KNMI en NAM.

2. Grond-constructie interactie

Inleiding

De fundering heeft een grote invloed op het gedrag van het gebouw in geval van een aardbevingstrilling. Voor de draagkracht van de fundering is niet alleen de capaciteit van de palen of funderingsbalken in de normale grondopbouw van belang, maar ook het aspect verweking.

Er kunnen verschillende type funderingen zijn toegepast (zie figuur 4), zoals een fundering met houten palen en betonnen opzetters, een fundering met houten palen, of een strokenfundering (ook wel "op staal" genoemd).



Figuur 4 Overdracht van trilling van bodem naar fundering

In aardbevingsanalyses wordt de trilling van de fundering van een gebouw vaak gelijk gesteld aan de vrije veld trilling. Dit is niet geheel correct, omdat door aanwezigheid van het gebouw een verstoring ontstaat. Dit noemen we grond-constructie interactie. Het is bekend dat wanneer de gebouwsmassa en afmetingen groter worden en de grond slapper wordt, grond-constructie interactie een belangrijkere rol speelt. Bij rotsachtige ondergronden is deze invloed gering, maar voor de Groningse slappe grond kunnen deze effecten een niet-verwaarloosbare bijdrage leveren aan de seismische belasting.

Afgeronde en lopende onderzoeken

Er is een bruikbaar, maar niet gevalideerd, verwekingsmodel voor Groningse aardbevingen. Er lopen momenteel onderzoeken naar de invloed van gelaagde grond op verweking en de invloed van het aantal belastingwisselingen (in opdracht van NAM, uitgevoerd door Deltares en Virginia Tech).

Voor grond-constructie interactie is het noodzakelijk dat geïntegreerde berekeningen worden uitgevoerd, waarbij zowel het grondpakket als de constructie wordt gemodelleerd. Dat is zowel een complexe berekening vanwege het zeer sterke niet-lineaire gedrag van de grond en de constructie, als een tijdrovende berekening, vanwege de grote hoeveelheid elementen die nodig is om het geheel te modelleren. De overdracht van grond naar fundering is meestal gunstig, omdat men voor de invloed van

het gebouw een dempende werking veronderstelt (de trilling ter plaatse van de fundering is lager dan die in de bodem). Maar, er zijn gevallen bekend waarbij juist opslinging zal plaatsvinden [Crowley, 2015].

Kernreferenties

- NPR 9998
- Crowley, H.; Pinho, R.; Polidoro, B. & Stafford, P. (2015), 'Development of v2 Partial Collapse Fragility and Consequence Functions for the Groningen Field'

Prioriteitenlijst grond-constructie interactie

De volgende 5 onderwerpen worden door de kennistafel geadviseerd om op te nemen in het langjarige kennisprogramma. De onderwerpen zijn gerangschikt naar prioriteit.

1. Overdracht: gedrag van paalfunderingen in site response

Toelichting: Invloed van aanwezigheid van paalfunderingen op de resultaten van een site response berekening, afleiding van invloedsfactoren voor paalfunderingen voor de overdracht tussen ondergrond en gebouw.

2. Overdracht: vereenvoudiging indirecte methode (veren)

Toelichting: Voor de aanwezigheid van een fundering onder het gebouw kan in verschillende berekeningsmodellen gebruik worden gemaakt van schematisaties, bijvoorbeeld in de vorm van veren. Het gebruik hiervan is op dit moment niet goed genoeg uitgewerkt voor de Groningse funderingstypen. Gebruik gemaakt kan worden van te ontwikkelen standaard impedantie functies.

3. Verweking

Toelichting: Op dit moment wordt gewerkt aan een nieuwe Groningen specifieke verwekingsmethode. Als deze methode beschikbaar komt moeten vervolgens voor een zinvol gebruik ervan nog toepassingen worden ontwikkeld voor het bepalen van de optredende vervormingen in geval verweking optreedt. Ook de toegankelijkheid van de informatie en uniformering van de aanpak in geval van verweking ontbreken nog. Gedacht kan worden aan kaarten die de relatieve gevoeligheid voor verweking aanduiden.

4. Vergelijking grondmodellen

Toelichting: Er zijn vele grondmodellen in gebruik voor het bepalen van de invloed van de aardbeving op de ondiepe ondergrond en de overdracht naar de fundering. Deze modellen komen enerzijds vanuit de constructieve hoek en anderzijds uit de geotechnische achtergrond. Een gevoeligheidsanalyse kan de verschillen tussen deze aanpakken duiden zodat uniformering van de aanpak kan plaatsvinden. Er is behoefte aan een kader rondom het efficiënt en goed toepassen van deze modellen.

5. Hoe Eurocode 8 toepassen

Toelichting: Voor fundering op staal en palen wordt op dit moment Eurocode 8 deel 5 toegepast. Deze beschrijft een eenvoudige aanpak, met diverse leemtes voor toepassing in de Groningse situaties. Zo voldoen de Groningse funderingen bijna allemaal niet aan de eisen in Eurocode 8 en zijn er ook conservatisme die weggenomen zouden kunnen worden, bijvoorbeeld in relatie tot de aanlegdiepte van de fundering.

3. Seismische weerstand

Inleiding

De Nederlandse bouwwijze en ondergrond wijkt sterk af van de buitenlandse situatie, waardoor veel buitenlandse kennis slechts ten dele bruikbaar is voor de Nederlandse situatie. Dit geldt in het bijzonder voor het dynamische gedrag van gestapeld ongewapend metselwerk waaruit veel huizen bestaan, maar ook voor traditionele houtconstructies of betonnen appartementsgebouwen met een draagconstructie van kalkzandsteen.

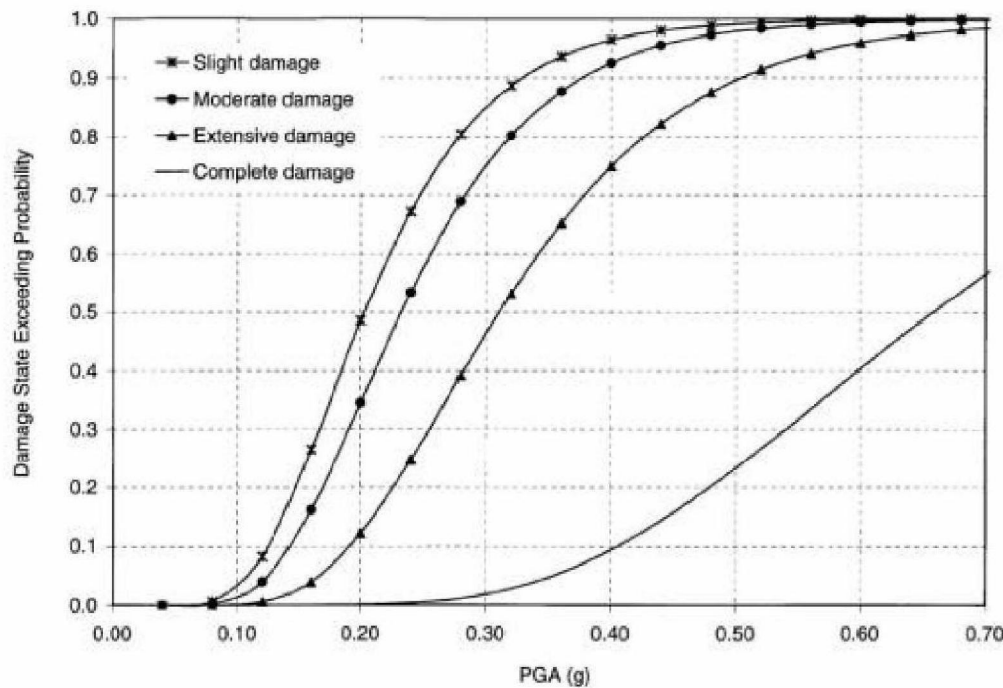
Voor de Groningse gebouwen moet worden bepaald wat de kans is dat een gebouw een bepaalde schadetoestand bereikt bij een gegeven aardbevingsbelasting. Over het algemeen werkt men met 5 schadetoestanden (Damage States), zoals weergegeven in figuur 5. Waarbij DS1 scheurinitiatie representeert en DS5 volledig falen (Near Collapse). Schadetoestanden 1-3 zijn belangrijk in de schadebeoordeling en schadetoestanden 4-5 voor de veiligheidstoetsing.



Figuur 5 Schadetoestanden (Damage States) van een gebouw. Waarbij DS1 scheurinitiatie is en DS5 volledig falen.

Een gebouw kan op vele manieren falen (lees scheuren of bezwijken) door een aardbevingsbelasting. De twee belangrijkste mechanismen zijn: in-het-vlak en uit-het-vlak falen van wanden. Bij de eerste is de richting van de belasting parallel aan de wand en ontstaan er bijvoorbeeld scheuren doordat de wand afschuift. Bij de tweede is de richting van de belasting loodrecht op de wand en ontstaan er scheuren door buiging of bezwijkt een gebouwdeel doordat deze roteert. Ook van belang is het systeemgedrag van vloeren en wanden samen, omdat door de niet op aardbevingen gerichte bouwwijze in Nederland, deze veelal gestapeld zijn en niet (mechanisch) verbonden.

De weerstand die een gebouw heeft tegen een aardbevingsbelasting (trilling in dit specifieke geval) wordt uitgedrukt in kwetsbaarheidscurves (fragility curves), zie figuur 6. Op de horizontale as staat een maat voor de aardbevingsbelasting, bijvoorbeeld PGA (peak ground acceleration of in het Nederlands piekgrondversnelling) en op de verticale as de kans dat de beschouwde schadetoestand optreedt.



Figuur 6 Voorbeeld van een fragility curve

[bron: H. Hwang, J. B. Liu, Y. Chiu, *Fragility. Seismic, of. Analysis, Bridges. Highway, Technical Report, MAEC RR-4 Project, Center for Earthquake Research and Information, The University of Memphis, 2001*]

Afgeronde en lopende onderzoeken

Om het gedrag van de Groningse constructies onder geïnduceerde aardbevingen te bepalen, zijn, met name door NAM (in samenwerking met Arup, EU Centre en TU Delft), berekeningen gemaakt met eindige elementen pakketten, proeven uitgevoerd op losse wanden, zijn een tweetal huizen op de triltafel beproefd (EU Centre) en is één hoofdconstructie van een rijtjeshuis statisch beproefd (TU Delft). In deze proeven is in het merendeel niet tot bezwijken beproefd en is gestopt bij grootschalige schade. De proeven, zowel voor faalgedrag in-het-vlak als uit-het-vlak, zijn gebruikt als validatie voor de berekeningen. Ook zijn specifieke proeven gedaan om het effect van spouwmuuren te bepalen.

De door het NAM team bepaalde fragility curves zijn berekend op basis van push-over berekeningen. De criteria in de push-over berekeningen zijn vastgesteld aan de hand van genoemde experimenten en niet-lineaire tijdsdomeinanalyses (non-linear time history analyses afgekort tot NLTH analyses). Deze afstemming tussen push-over berekeningen en criteria uit de niet-lineaire tijdsdomeinanalyses is op dit moment nog in ontwikkeling. Zo wordt door ARUP op grote schaal voor diverse woningtypen NLTH berekeningen gedaan; deze geven een goed inzicht in de optredende mechanismen en geven richting aan de versterkingsmaatregelen. Ook zijn er diverse afstudeerstudies geweest aan de TU Delft en TU Eindhoven.

Kernreferenties

- Crowley et al, Development of v2 partial collapse fragility and consequence functions for the Groningen field, nov 2015
- Arup, EU Centre, TUDelft, EU Centre shaketable test of terraced house modelling predictions and analysis cross validation, nov 2015

- Arup, EUcentre, TUDelft, Groningen earthquakes – structural upgrading, URM modelling and cross-validation, jun 2015
- Michalaki, Seismic assessment of a typical Dutch Rijthuis, MSc Thesis, 2015

Prioriteitenlijst seismische weerstand

De volgende 5 onderwerpen worden door de kennistafel geadviseerd om op te nemen in het langjarige kennisprogramma. De onderwerpen zijn gerangschikt naar prioriteit.

1. Criteria NC voor gebouw & component

Toelichting: Te gebruiken met willekeurige eindige elementen (finite element of FE) software en zowel in-het-vlak als uit-het-vlak.

Vaststellen bij welke waarden van verschillende criteria het gebouw of het gebouwelement als bezweken moeten worden beschouwd. Vertaling hiervan in criteria zodat voldaan wordt aan voldoende veiligheid bij de beoordeling. Onderverdeling naar diverse typologieën.

2. Equivalente criteria voor NC en SD

Toelichting: Het leggen van de relatie tussen de NC en SD capaciteit van verschillende bouwtypen.

Onderzoek of en hoe door middel van een eenvoudiger SD (Serious Damage) berekening voldaan kan worden aan de NC (Near Collapse) eis.

3. Best practices voor beoordeling gebouw

Toelichting: Versnelde NLTH voor inzicht per bouwtype.

Vereenvoudigde methode voor individuele panden.

Het enerzijds versnellen van NLTH berekeningen (rekenen op netwerken) en anderzijds de inzichten opgedaan in deze NLTH berekeningen vertalen in eenvoudige rekenmethoden.

4. Transparante oplossingen versterking

Toelichting: Hoe typisch Nederlandse bouwwijzen en componenten versterken.

Met minimale impact en op basis van een economische afweging.

Het gericht ontwikkelen van versterkingsmaatregelen voor erfgoed met respect voor de bestaande draagconstructie en de monumentale uitstraling.

5. Capaciteit van de fundering

Toelichting: Weerstand van paalfunderingen

Effect van de fundering op het individueel risico (IR) en schade.

Bepaling van de seismische weerstand van de typisch Nederlandse funderingen, bepaling effect op de NC grenstoestand, ontwikkelen van effectieve maatregelen.

4. Valideren en certificeren

Inleiding

Validatie is het bepalen *of je de goede dingen doet*: is je model dat je hebt opgezet representatief voor de werkelijkheid. Dit kun je beoordelen door bijvoorbeeld berekeningen te toetsen aan andere methoden (cross-checks, cross-validation, Prufung, second opinions, expert judgement, expert system) en aan testresultaten (lab-, field-, in-situ tests voor materiaal, component, verbindingen, assemblages).

Verificatie is het beoordelen *of je de dingen goed doet*: doet je model wat je hebt bedacht. Dit kun je beoordelen door bijvoorbeeld je model te testen voor een standaardgeval. Bij software heb je standaard testruns die je uitvoert. Bij certificatie toets je of je de procedure hebt gevolgd.

In het kader van veiligheid en schade ligt de nadruk op twee validatieprocessen: de validatie van de rekenmodellen en de validatie van de effectiviteit van de versterkingsmaatregelen.

Afgeronde en lopende onderzoeken

Op het gebied van validatie van materiaal-, component- en constructie-eigenschappen zijn door NAM diverse onderzoeken uitgevoerd bij EUCentre in Pavia, Italië en de TU Delft, zie figuur 7.



Figuur 7 Materiaal- en componentproeven bij de TU in Delft.

Daarnaast heeft NAM een ontwerpconsultatieprijsvraag uitgeschreven en is er een nieuwbouwinnovatieregeling geweest. Dit heeft geleid tot mogelijke oplossingen voor versterking en schadeherstel.

Op het gebied van certificatie van maatregelen is nog niet zoveel gebeurd.

Prioriteitenlijst valideren en certificeren

De volgende 5 onderwerpen worden door de kennistafel geadviseerd om op te nemen in het langjarige kennisprogramma. De onderwerpen zijn gerangschikt naar prioriteit.

1. Valideren berekeningsmodellen

Toelichting: Wat is de betrouwbaarheid van de rekenmethoden uit de NPR voor typische Groningse gebouwen en grondcondities? Het ontbreekt aan voldoende experimentele data om de rekenmodellen aan te valideren. De keuze voor de benchmarks waaraan gevalideerd wordt, verdient ook aandacht. Behoeftte aan validatie geldt ook voor geotechnische modellen.

2. Impact parameters -> keuzes in onderzoek

Toelichting: Hoe kunnen we de onzekerheden in (materiaal)eigenschappen en model verkleinen? Welke parameters zijn het meest relevant; welke parameters dragen het meest bij aan de onzekerheden en waar moeten we dus meer experimenteel onderzoek naar doen?

3. Gedrag verbindingen

Toelichting: Experimenteel en modelmatig onderzoek is nodig om inzicht te krijgen in het gedrag van verbindingen. Ook in relatie tot herstel- en versterkingsoplossingen. Er moet een koppeling gemaakt worden tussen het gedrag van verbindingen en de bijbehorende beoordelingscriteria voor gebouwen.

4. Uniformiteit testen elementniveau

Toelichting: Voor aanbieders van oplossingen is het van belang om hun producten te kunnen certificeren. Bij voorkeur op componentniveau.

5. 'No Regret' maatregelen

Toelichting: In 1 keer goed doen of later misschien nog een keer terugkomen? Welke aanpak volgen bij monumenten? Compatibele versterkingsmethoden: maatregelen die getroffen worden in het kader van de versterkingsopgave moeten ook bijdragen aan schadebeperking.

Uit de kennistafel is verder naar voren gekomen dat er aandacht moet worden geschonken aan de koppeling van de ingreep met verduurzamen en leefbaarheid.

5. Vallende objecten en secundaire seismische elementen

Inleiding

Het risico dat mensen lopen door geïnduceerde aardbevingen wordt niet alleen bepaald door het instorten van (complete) gebouwen, maar ook door het instorten/afvallen van onderdelen van gebouwen. Het instorten van gebouwen wordt veroorzaakt doordat de draagconstructie van het gebouw bezwijkt (de constructieve delen). Echter, schoorstenen, borstweringen, niet-dragende binnenwanden, trappen, etc. kunnen ook bezwijken tijdens een aardbeving. Deze elementen worden in NPR 9998 secundaire seismische elementen genoemd.

Afgeronde en lopende onderzoeken

NAM heeft in haar winningsplan een eerste basis gelegd voor een beoordelingsmethode [Taig en Pickup, 2016]. Gebaseerd op ervaringen in Nieuw-Zeeland, Nederland (aardbevingen in Roermond en Roswinkel) en België (Luik) is een risicoanalyse ontwikkeld voor vallende objecten op basis van blootstellingstijd, een invloedsgedebied en de kans om getroffen te worden door een vallend object. De focus van deze studie lag op schoorstenen, kopgevels, balkons en borstweringen.

Kernreferenties

- T. Taig and F. Pickup, Risk Assessment of Falling Hazards in Earthquakes in the Groningen region, 2016

Prioriteitenlijst vallende objecten en secundaire seismische elementen

De volgende 5 onderwerpen worden door de kennistafel geadviseerd om op te nemen in het langjarige kennisprogramma. De onderwerpen zijn gerangschikt naar prioriteit.

1. Criteria ontwikkelen en updaten

Toelichting: Hoe combineer je veiligheid, leefbaarheid en waarde/behoud van een object? Criteria differentiëren voor monumenten/beeldbepalende panden, omdat daar die verhouding anders kan liggen. Het ontwikkelen van een beoordelingsmethode voor vallende objecten die rekening houdt met de monumentale waarde van gebouwen en de rol die vallende objecten daarin spelen.

2. Welke elementen moeten beschouwd worden bij de risicobepaling en

Toelichting: Welke elementen dienen beschouwd te worden (tussenwanden, gevels, schoorstenen, etc)? Hoe zet je de risicobeschouwing op? Kun je gebruik maken van internationale empirie en de verbeterende rekenmethoden door deze te implementeren in de hier gebruikte risicoaanpak? Een probabilistisch raamwerk is onontbeerlijk.

3. Nauwkeuriger bepalen van verticale component grondbeweging

Toelichting: De verticale component van de grondbeweging is dikwijls voor vallende objecten net zo belangrijk als de horizontale. De verticale component grondbeweging is bijvoorbeeld relevant voor elementen die verticaal vallen zoals balkons. Kennis ten behoeve van een verticale GMPE dient hiertoe vergaard te worden.

4. Oplossingen zoeken in versterken element

*Toelichting: Niet standaard denken aan slopen.
Hoe kan met behoud van het vallende object een niet of beperkt zichtbare versterking doorgevoerd worden?*

In de discussie over de prioriteiten kwam meermalen naar voren dat bedrijven en bewoners zich onvoldoende gehoord voelen. Dit betreft zowel communicatie over het proces van versterking en schadeherstel als informatie over beschikbare kennis of nog te ontwikkelen kennis. Het verdient daarom aanbeveling niet alleen eindresultaten, maar ook procesafspraken en tussentijdse resultaten te delen met de belanghebbenden.

6. Toekomstige methodiek schadebeoordeling

Inleiding

In de analyse van bouwwerken onder aardbevingsbelasting wordt wereldwijd een aanpak gevolgd waarbij een onderscheid wordt gemaakt in vijf schadetoestanden (Damage States) na het optreden van een aardbeving. Deze schadetoestanden lopen van DS1 tot en met DS5 van kleine schade tot volledig bezwijken. Om voor de Groningse gebouwvoorraad te kunnen bepalen wat de kans is dat een schadetoestand optreedt, is het nodig de relatie te kennen tussen de piekgrondversnelling (of piektrillingsnelheid) en de mate van optreden van schade. Dit inzicht is zowel van belang voor preventie (voorspellen of er kans op schade is bij een te verwachte beving en indien nodig maatregelen treffen) en het beoordelen van claims (beoordelen wat bij een opgetreden beving de kans op schade is in een specifiek gebied en in welke mate schade is toe te kennen aan een beving). Voor beide gebruiksdoelen is het nodig om te bepalen wat een acceptabele kans op schade is afhankelijk van beschouwde schadetoestand.

Beoordeling van schade als gevolg van trillingen

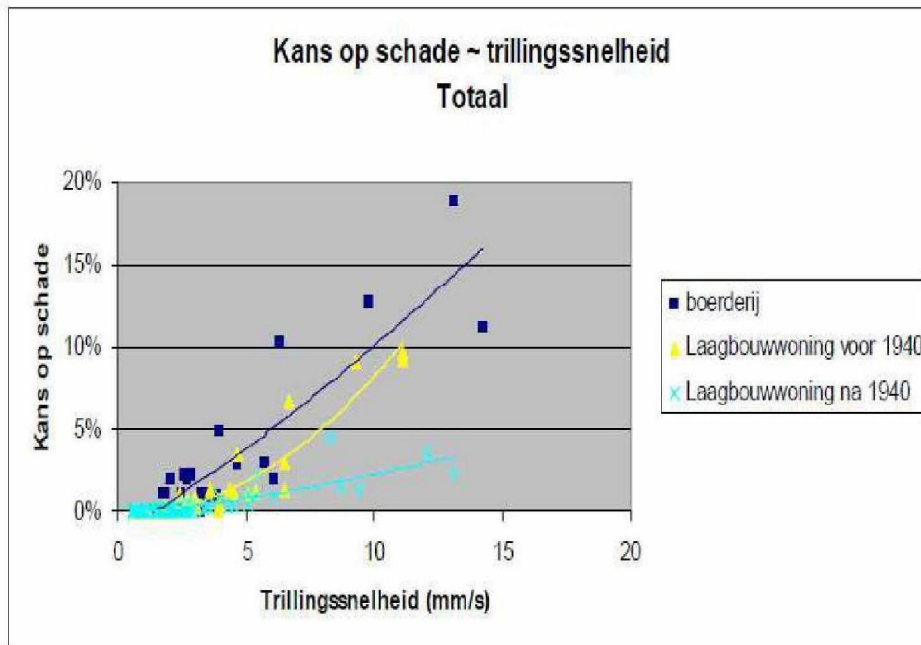
In Nederland wordt doorgaans SBR Richtlijn A gebruikt om te beoordelen of een optredende trilling acceptabel is met betrekking tot het optreden van schade aan gebouwen. Er is geen directe verwijzing naar de schadegrenstoestanden, maar impliciet gaat men uit van de kans op scheurinitiatie en daarmee een schadetoestand vergelijkbaar met DS1. Aardbevingen worden niet genoemd als trillingsbron in deze richtlijn, welke zich richt op andere bronnen, zoals heiverkzaamheden en verkeer. De werkwijze van de SBR Richtlijn A is daarnaast niet zonder meer geschikt voor de toets op aardbevingen.

Op dit moment werkt de SBRCURNET commissie “Trillingen” aan een herziening van deze richtlijn. Deze herziening beoogt onder meer het risico bij overschrijden van de grenswaarden beter in beeld te brengen (door het afleiden van relaties tussen trillingsniveaus en kans op optreden van schade), daarnaast wordt er meer toelichting gegeven in de richtlijn en wordt de grenswaarde voor trillingsgevoelige funderingen aangepast. Er wordt vooral naar de genoemde andere bronnen wordt gekeken (heien, verkeer).

Aardbevingen worden ook in de herziene richtlijn niet expliciet benoemd.

Afgeronde en lopende onderzoeken

In het kader van de ontwikkeling van SBR Richtlijn A heeft TNO in 1997 een relatie afgeleid tussen de optredende trillingsniveaus, gemeten op de fundering, en de kans op het optreden van schade. Hiervoor is gebruik gemaakt van een eenvoudig rekenmodel van de constructie en het materiaalgedrag [Waarts, 1997]. De relatie is dus niet gebaseerd op metingen. Ook in deze periode heeft TNO, met behulp van de door Waarts opgestelde relatie, relaties bepaald tussen de kans op bouwkundige schade en verschillende aardbevingsmaten, waaronder PGA. Dit was op basis van de kennis (rekenmodellen) die destijds beschikbaar was en afgeleid voor aardbevingen rond Roswinkel [Van Staalduinen en Geurts, 1998]. Een kalibratie van de gebruikte modellen heeft plaatsgevonden in 2009, toen van vijf waargenomen aardbevingen in Noord-Nederland de verwachtingswaarden voor de trillingsnelheden zijn gerelateerd aan de toegekende schadeclaims per aardbeving [Roos et al, 2009], zie figuur 8. Verdere kalibratie kan mogelijk plaatsvinden met data uit het recent geïnstalleerde meetnet in Groningen. Dit meetnet bevat meer dan 300 woningen waarbij trillingsensoren zijn aangebracht op funderingsniveau. Bij het overschrijden van een vooraf gedefinieerde grenswaarde wordt een schadeopname uitgevoerd.



Figuur 8 Relatie tussen trillingssnelheid bij een aardbeving in Groningen (berekend aan de hand van Magnitude, diepte en afstand tot epicentrum) en schade (als aantal schademeldingen per 100 gebouwen in het betreffende gebied) [Roos et al, 2009]

Internationale wetenschappelijke onderzoeken naar het oorzakelijk verband tussen trillingen en optredende schades zijn schaars. De gevonden relaties zijn veelal gebaseerd op indirecte waarnemingen, waarbij achteraf een schade-inventarisatie wordt uitgevoerd en via rekenmodellen een schatting wordt gemaakt van de opgetreden trillingsniveaus.

Onderzoek naar schadetoestanden in het kader van de aardbevingen in Groningen vindt thans voornamelijk plaats bij Arup, in het kader van het winningsplan van NAM. Er zijn kwetsbaarheidscurves (fragility functions) afgeleid voor schadeklasse DS1 t/m DS5 die aangeven wat de relatie is tussen het trillingsniveau (uitgedrukt in PGA) en de kans op het bereiken van een bepaalde schadetoestand [Arup, 2013]. De kwetsbaarheidscurves zijn afgeleid van analyses van internationale schadesurveys.

Er zijn geen studies bekend die iets zeggen over wat acceptabele schade is. TNO heeft in haar advies aan SODM (Steenbergen, Geurts, 2016) een voorzet gegeven om aan te sluiten bij de veiligheidsfilosofie. Ook is er geen onderzoek bekend naar effectieve versterkingsmaatregelen om schade te voorkomen. Het NAM handboek is gericht op de versterking van gebouwen en niet op het voorkomen van schades. Een toetskader hiervoor ontbreekt en mede om die reden is ook niet duidelijk welke basisbestendigheid een gebouw moet bezitten.

Kernreferenties

- Waarts, "Kans op schade door Trillingen", 1997, TNO Rapport 97-CON-DYNR1698
- Van Staalduinen en Geurts, "De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie", 1998, TNO Rapport 97-CON-R1523-1.

- Roos, Waarts, Wassing, "Kalibratiestudie schade door aardbevingen", 2009, TNO rapport TNO-034-DTM-2009-04435
- Arup, Groningen 2013 Seismic Risk Study –Earthquake Scenario – based Risk assessment, 2013, REP /229746/SR001
- Geurts en Steenbergen, "Relatie tussen PGA waarden en kans op schade voor geïnduceerde aardbevingen in Groningen", 2016, M0100296951
- SBR: Trillingen, meet- en beoordelingsrichtlijnen, Schade aan gebouwen, Deel A (2006), thans in revisie, volgende versie 2017
- Borsje, Pruijsma, de Richemont, "Monitoring Network Building Vibrations – Analysis Earthquakes in 2014 and 2015", 2016, TNO report 2016 R11323
- *Borsje et al., 2008*

Prioriteitenlijst toekomstige beoordelingsmethodiek schade

De volgende 5 onderwerpen worden door de kennistafel geadviseerd om op te nemen in het langjarige kennisprogramma. De onderwerpen zijn gerangschikt naar prioriteit.

1. Schadeproces

*Toelichting: Hoe zijn bewoners beter te betrekken bij het schadeproces?
Hoe zijn bewoners beter te informeren?
Hoe kunnen schade en de beleving van schade gekwantificeerd worden?*

Dit zijn geen kennisvragen die opgepakt dienen te worden in het Kennisprogramma Bouwen en Versterken. Dit ligt of bij NCG (organisatie proces) of bij RUG (beleving).

2. Beoordelingsmethodiek schade

*Toelichting: Doel: Hoe te komen tot objectieve, breed gedragen procedure?
Deelvraag: Wat is de kans op schade op basis van modellen versus waarnemingen in één pand?
Een beoordelingsmethodiek bestaat uit 3 stappen:
Stap 1 (identificeren invloeden) betreft de bepaling of de voorspelling van het trillingsniveau in het gebouw.
Stap 2 (waarneming gevolgen) betreft het vaststellen van schade.
Stap 3 (beoordeling) betreft de beoordeling van de schade in relatie tot de opgetreden trillingen.*

3. Oorzaak schade

*Toelichting: Hoe te komen tot een goede diagnose, breed bekeken?
Wat is het effect van meerdere lichte bevingen versus één zware beving? Hoe kan het effect van historie van panden meegenomen worden (initiële spanningen, als gevolg van invloeden tijdens levensduur)?
Wat is het effect van andere oorzaken?*

4. Versterken

*Toelichting: In hoeverre dragen maatregelen bij aan voorkomen van schade?
Welke afwegingskader gebruiken bij een set van oplossingen?
Hoe kunnen verschillende opties in rekenmodel/beoordelingsmethode meegenomen worden? Is het mogelijk om met kleinschalige testen op productniveau te komen tot een basis voor 'certificering'? Wat zijn criteria voor sloop?*

5. Materiaalgedrag

*Toelichting: Modelleren en valideren
Modelleren en valideren van materiaalgedrag gericht op schades en
schademechanisme (dus niet m.b.t. constructieve veiligheid). Zie onderwerp 3.
Kennisvragen betreffen gedrag van materiaal onder realistische
aardbevingsbelastingen en hoe deze belastingen te karakteriseren?*

Uit de kennistafel is verder naar voren gekomen dat het betrekken van de bewoners bij de afhandeling van schade essentieel is. De aandacht voor het proces is minstens zo belangrijk als de technische inhoud (zie prioriteit 1).

Randvoorwaarden

Bij inzet van versterkingspilots is het nodig dat er aantal gebouwen beschikbaar zijn en er marktpartijen geëngageerd zijn om oplossingen ter beschikking te stellen.

Speerpuntenlijst 'Bouwkundig Versterken'

De lijst met kennisvragen is omvangrijk en complex, en beslaat een breed gebied aan expertises en disciplines. De Nederlandse kennisinstellingen zijn afgelopen jaren gezamenlijk opgetrokken om inzicht te krijgen in het gedrag van typisch Nederlandse gebouwen onder aardbevingsbelastingen in Groningse grondcondities, waarbij ieder zijn expertise in kon brengen. Het onderzoek is sterk gestuurd geweest door het urgente karakter van de situatie in Groningen, waardoor vele fundamentele vragen zijn blijven liggen en validatie van methoden niet heeft plaatsgevonden. Ook de ontwikkeling van kennis voor hoe in te grijpen in gebouwen met monumentale waarde is achtergebleven. Om de komende jaren deze lacunes in te vullen en zo efficiënt mogelijk om te gaan met de beschikbare middelen, verdient het aanbeveling om het onderzoek vanuit één meerjarig programma te coördineren, gebruik te maken van de reeds opgedane kennis door de Nederlandse kennisinstellingen en de kennis zoveel mogelijk te delen via openbare platforms zodat de inwoners en bedrijven in Groningen direct toegang hebben tot de laatste stand der kennis.

Middels dit advies geven de Nederlandse kennisinstellingen aan welke onderzoeksonderwerpen binnen het thema Bouwkundig Versterken de hoogste prioriteit hebben. De 10 speerpunten zijn opgesteld in overleg met de kennisvragers (brede doorsnede van bedrijven, overheden en bewoners). De opzet is zodanig dat de speerpunten kunnen dienen als start van het kennisprogramma Bouwen en Versterken. De 10 speerpunten zijn in volgorde van prioriteit:

1. Definiëren van criteria voor de Near Collapse toestand voor Groningse gebouwen en componenten van gebouwen. *(deelonderwerp Seismische weerstand)*
2. Valideren van de rekenmethoden uit de NPR om de betrouwbaarheid ervan te bepalen voor typische Groningse gebouwen en grondcondities, gegeven de toestand van het gebouw en eventuele toepassing van herstelmaatregelen. *(deelonderwerp Valideren en certificeren)*
3. Afleiden van tijdreeksen en ontwerpspectra voor specifieke, lokale grondcondities in Groningen. *(deelonderwerp Seismische belasting)*
4. Het leggen van de relatie tussen de Near Collapse capaciteit en Serious Damage capaciteit van verschillende gebouwtypen. *(deelonderwerp Seismische weerstand)*
5. Bepalen van het gedrag van paalfunderingen in de bovenste grondlagen (site response). *(deelonderwerp Grond-constructie interactie)*
6. Het ontwikkelen van een beoordelingsmethode (inclusief criteria) voor vallende objecten die rekening houdt met de monumentale waarde van gebouwen en de rol die vallende objecten daarin spelen *(deelonderwerp Vallende objecten)*
7. Het ontwikkelen van een beoordelingsmethodiek voor schade, bestaande uit vier componenten: het identificeren van mogelijke oorzaken van schade, het vaststellen van schade, het beoordelen van schade en het aandragen van effectieve maatregelen. *(deelonderwerp Toekomstige methodiek schadebeoordeling)*
8. Het reduceren van onzekerheden in parameters en modelkeuzes. *(deelonderwerp Valideren en certificeren)*
9. Het opstellen van een vereenvoudigde methode op basis van veren om de fundering te modelleren. *(deelonderwerp Grond-constructie interactie)*
10. Bepalen wat de impact is van de verticale belasting op een constructie en de onderdelen van een constructie. *(deelonderwerp Seismische belasting)*

In de tabel op de volgende pagina's zijn de 10 speerpunten meer in detail uitgewerkt. Voor elk speerpunt zijn de te beantwoorden onderzoeksvragen gegeven. Tevens is kort uitgewerkt op welke manier de onderzoeksvraag aangepakt kan worden, waarbij de uitwerking gesplitst is in twee delen. Als eerste is aangegeven wat er gedaan kan worden in het komende half jaar. Daarnaast is aangegeven welke

activiteiten nu opgestart dienen te worden, maar waarbij de kennis, door de langere doorlooptijd van de activiteiten, de komende jaren als een serie van deelresultaten beschikbaar zal komen.

Tijdens de kennistafel kwam meermalen naar voren dat bedrijven en bewoners zich onvoldoende gehoord voelen. Dit betreft zowel communicatie over het proces van versterking en schadeherstel als informatie over beschikbare kennis of nog te ontwikkelen kennis. Het verdient daarom aanbeveling niet alleen eindresultaten, maar ook procesafspraken en tussentijdse resultaten te delen met de belanghebbenden.

	SPEERPUNT	ONDERZOEKSVRAGEN	OMVANG EN TIJD
1	Seismische weerstand Criteria NC voor gebouw en component	<ul style="list-style-type: none"> - Wat is de (vervormings)capaciteit van gebouwen en gebouwcomponenten? - Hoe definieer je near collapse limit state voor Groningse gebouwen? - Hoe gedraagt een monumentaal gebouw zich als de grenstoestand NC wordt aangehouden? <p><i>OPMERKING: koppeling met 'Criteria vallende objecten', 'Gedrag verbindingen' en Capaciteit van de fundering'.</i></p>	<p><u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Op basis van huidige (test)gegevens bepalen welke experimenten voor componenten nodig zijn en welke eigenschappen gevarieerd moeten worden - Een probabilistisch raamwerk opzetten - Vaststellen bij welke waarden van verschillende criteria het gebouw of het gebouwelement als bezweken moeten worden beschouwd. <p><u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Testen van componenten³ - Gekalibreerde NLTH berekeningen - Vertaling van bezwijkwaarden in criteria zodat voldaan wordt aan voldoende veiligheid bij de beoordeling. Onderverdeling naar diverse typologieën.
2	Valideren en certificeren Valideren van berekeningsmethoden	<ul style="list-style-type: none"> - Wat is de betrouwbaarheid van de rekenmethoden uit de NPR voor typische Groningse gebouwen en grondcondities? - Wat is het toepassingsgebied van de rekenmethoden? - Aan welke benchmarks valideren? - Kunnen we vereenvoudigde rekenmethoden inzetten die voor de praktijk beter bruikbaar zijn? - Hoe ga je om met de bestaande situatie van een gebouw (bv in geval van reeds gescheurd metselwerk) en hoe verwerk je versterkende maatregelen of herstelmaatregelen in je rekenmodellen? 	<p><u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Voortzetting validatiewerk aan metselwerk - Vertaalslag naar vereenvoudigde methode voor metselwerkrijtjeshuis⁴ <p><u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Validatie van alle methoden uit de NPR met experimenten voor verschillende gebouwtypologieën⁵ / componenten / verbindingen / materialen - Vaststellen systeem- en materiaaleigenschappen en validatie van effect van versterkende maatregelen en herstelmaatregelen

³ Hier ligt een parallelle aanpak voor de hand, waarbij zowel een meer toegepaste aanpak wordt gekozen, als een fundamentele aanpak via promovendi. De combinatie zorgt ervoor dat er tussentijdse resultaten kunnen worden opgeleverd waarbij de markt snel toegang krijgt tot de kennis.

⁴ Aansluitend of aanvullend op activiteiten van NEN-taakgroep Analyse Methodes.

⁵ Validatie op gebouwniveau is verre van eenvoudig omdat er realistisch gezien maar een beperkt aantal testen gedaan kan worden. De testen in Delft, Italië en Portugal zijn niet afdoende om de totale populatie aan gebouwen af te dekken.

	SPEERPUNT	ONDERZOEKSVRAGEN	OMVANG EN TIJD
			met experimenten voor verschillende gebouwtypologieën / oplossingen - Monitoring en evaluatie
3	Seismische belasting Ruimtelijke differentiatie ontwerpspectra / tijdreeksen	<ul style="list-style-type: none"> - Algemeen: Hoe vertalen we de resultaten van PSHA (probabilistic seismic hazard analysis) naar seismische belastingen op een constructie? - Is het UHS (uniform hazard spectrum) geschikt, of is het beter gebruik te maken van correlaties tussen periodes (conditionele spectra)? - Hoe parameterizeren we de spectra? (bijv. 2-punts, 3-punts, ... N-punts of UHS) - Hoe construeren we time histories (tijdreeksen) met adequate record-to-record variabiliteit en rekening houden met de (a) synchroniteit van verticale & horizontale pieken, en het aantal cycli? 	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> - Parameterisatie spectra - Zorg voor aansluiting bij activiteit in kader NPR ⁶ <u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u> - Conditionele spectra - Groningen-specific ground motion time histories - Methode bepalen voor spectral matching en de benodigde tijdsduur van het signaal (hoeveel cycli) ⁷
4	Seismische weerstand Equivalente criteria NC naar SD	<ul style="list-style-type: none"> - Wat is de relatie tussen NC en SD? - Hoe kan globaal bezwijken worden gedefinieerd met in achtname van lokale componenten? - Wat zijn de effecten van de verticale voorbelasting van het metselwerk, de detailgeometrie, etc op de maximale verplaatsingen van het gebouw? - Hoe kunnen drift limits worden afgeleid uit de NC criteria? 	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> - Door middel van NLTH berekeningen de relatie leggen tussen bezwijken en een minder vergaande grenstoestand voor een rijtjeshuis. - Opzetten probabilistisch raamwerk <u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u> - De relatie leggen tussen componentgedrag en globaal bezwijkgedrag - Variatiestudie met verschillende penantafmetingen etc om de spreiding te bepalen ⁸ .

⁶ Dit betreft activiteiten van de taakgroep Seismische krachten

⁷ Mogelijk maakt dit onderdeel uit van het NWO programma DeepNL

	SPEERPUNT	ONDERZOEKSVRAGEN	OMVANG EN TIJD
			- Overige typologieën beschouwen.
5	Grond-constructie interactie Overdracht: gedrag van paalfunderingen in site response	- Welke tijdsignalen breng je op de paalfundering aan? - Hoe neem je de paalfundering mee in je site respons berekening? - Hoe kunnen de berekeningsmodellen voor site respons worden vereenvoudigd?	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> - Vergelijkende site respons studies met en zonder paalfundering en onder verschillende grondcondities <u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u> - vergelijkende berekeningen, komen tot best practices vanuit fundamentele mechanismen
6	Vallende objecten Criteria ontwikkelen en updaten	- Welke veiligheidsbenadering dient gebruikt te worden voor maximale verplaatsingen en NC criteria? - Welke criteria voor monumentale gebouwen dienen gebruikt te worden? - Hoe definieer je de capaciteit van de constructie of van het constructie-element? - Wanneer zijn no regret maatregelen vanuit het oogpunt van veiligheid wenselijk en wanneer niet (bv bij monumenten waar andere waarden ook een rol spelen)?	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> - Het ontwikkelen van een beoordelingsmethode voor vallende objecten die rekening houdt met de monumentale waarde van gebouwen en de rol die vallende objecten daarin spelen ⁹ . <u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u> - Methode uitbreiden met (slimme) versterkingsmaatregelen die elementen intact laat. - Bepalen van de werkelijke capaciteit van de monumentale constructie ¹⁰ .
7	Schadebeoordeling beoordelingsmethodiek > materiaalgedrag	- Is het mogelijk om toekomstige schade te voorspellen? - Wat is de oorzaak van schade? Wat is de relatie tussen waargenomen schade versus de schadeoorzaak (of	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> - Ontwikkelen van voorspellingsmodellen ¹¹ - Bepalen of voorspellen trillingsniveaus op basis van meetdata voor een specifiek pand ¹²

⁸ Hier ligt een parallelle aanpak voor de hand, waarbij zowel een meer toegepaste aanpak wordt gekozen, als een fundamentele aanpak via promovendi. De combinatie zorgt ervoor dat er tussentijdse resultaten kunnen worden opgeleverd waarbij de markt snel toegang krijgt tot de kennis.

⁹ In aansluiting op activiteiten in NEN-verband via de taakgroep Vallende objecten

¹⁰ Hier ligt een parallelle aanpak voor de hand, waarbij zowel een meer toegepaste aanpak wordt gekozen, als een fundamentele aanpak via post-docs. De combinatie zorgt ervoor dat er tussentijdse resultaten kunnen worden opgeleverd waarbij de markt snel toegang krijgt tot de kennis.

¹¹ NAM ontwikkelt een methodiek in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken.

	SPEERPUNT	ONDERZOEKSVRAGEN	OMVANG EN TIJD
		<p>oorzaken)?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wat is de kans op schade op basis van modellen versus waarnemingen in een specifiek pand? - Wat is het (mogelijk) opgetreden trillingsniveau in een specifiek pand? - Wat is de (mogelijk) opgetreden (ongelijkmatige) zetting van een specifiek pand? <p>- Hoe kunnen we snel en efficiënt schade opnames doen?</p> <p>- Hoe leggen we de schade eenduidig en objectief vast?</p> <p>- Hoe kunnen we beoordelen wat de oorzaak van de schade is en of die afkomstig is van een aardbeving?</p> <p>- Kun je schade voorkomen?</p> <p>- Wat is het effect van cumulatieve (kleine) schades?</p> <p>- Wat is de effectiviteit van maatregelen? Relatie tussen monitoren en modelleren.</p> <p>- Wat is het effect van versterkingsmethoden op verdere schade?</p> <p>- Welk afwegingskader inzetten bij een set van oplossingen? Zowel voor recente als historische gebouwen.</p> <p>- Wat zijn de criteria voor sloop?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ontwikkelen objectieve methode voor het vastleggen van schade, eventueel met inzet van slimme technologie en beeldanalysemethoden. - Komen tot een methodologie om interventies in geval van monumentale gebouwen te beoordelen (matrix erfgoed parameters vs technische parameters, als onderlegger voor discussie tussen betrokken partijen) <p><u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Vaststellen en vastleggen van objectieve methode om geobserveerde schades toe te kennen aan schadeoorzaken. Het is niet ondenkbaar dat de conclusie van deze activiteit is dat de oorzaak van de schade niet eenduidig is aan te wijzen¹³. - Vaststellen van een realistisch protocol voor de toetsing van materialen en constructies op aardbevingen (optredende niveaus, aantal cycli, verloop van de trilling in tijd, plaats en richting). - Ontwikkelen van een Decision Support Tool, enerzijds voor beoordeling best practices, anderzijds om keuzes, waarbij monumentale of esthetische waarden in het geding zijn objectief en transparant vast te leggen en beoordelen¹⁴. - Onderzoek naar gedrag van materialen en constructies bij diverse niveaus van bevingen inclusief herhaaldelijk optredende bevingen¹⁴. - Modelleren van materiaalgedrag in FEM omgeving (niet-lineair gedrag): doorrekenen meerdere aardbevingsscenario's¹⁴. - Bepaling van restspanningen in bestaande gebouwen. Op basis daarvan schatting maken van capaciteit voor het opnemen van

¹² De eerste stap voor een procedure wordt reeds opgepakt in het onderzoek naar het bepalen van de oorzaken van schade in de buitengebieden.

¹³ De eerste stap voor een procedure wordt reeds opgepakt in het onderzoek naar het bepalen van de oorzaken van schade in de buitengebieden.

¹⁴ Hier ligt een parallele aanpak voor de hand, waarbij zowel een meer toegepaste aanpak wordt gekozen, als een fundamentele aanpak via promovendi. De combinatie zorgt ervoor dat er tussentijdse resultaten kunnen worden opgeleverd waarbij de markt snel toegang krijgt tot de kennis.

	SPEERPUNT	ONDERZOEKSVRAGEN	OMVANG EN TIJD
			<p>trillingen (en andere door gaswinning veroorzaakte belastingen)¹³.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Testwerk op laboratoriumschaal (m.b.v. triltafel/vlaktester/etc.): vergelijkend onderzoek naar bestendigheidsopties; Prototype onderzoek op bouwdeelschaal. - Testwerk in volle schaal in pilot woningen/gebouwen: inspecteren, gericht instrumenteren, exciteren, vervolgens weer inspecteren etc. E.e.a. in verschillende situaties (meerdere vergelijkbare woningen ieder met andere oplossingen voorzien). - Monitoring en evaluatie gerealiseerde oplossingen. Combinatie van trillingsmetingen en visueel monitoren; hierbij overwegen hoe participatie van bewoners / eigenaren te introduceren en organiseren. - Ontwikkeling van een testprotocol en rekenmethode om bestendigheidso oplossingen door te rekenen (m.b.t schade)
8	<p>Valideren en certificeren</p> <p>Impact parameters > keuzes in onderzoek</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hoe kunnen onzekerheden in parameters en modelkeuzes worden gereduceerd (voor zowel materialen als verbindingen)? - Wat is het effect van versterkingsmethoden op verdere schade? - Hoe kunnen best-practices worden beoordeeld? 	<p><u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Op basis van beschikbare data uit onderzoeken van afgelopen jaren een inschatting maken van de onzekerheden en op basis daarvan keuzes maken welke parameters nader onderzocht dienen te worden. <p><u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Reduceren onzekerheden door middel van experimenteel onderzoek naar meest relevante parameters¹⁵

¹⁵ Hier ligt een parallele aanpak voor de hand, waarbij zowel een meer toegepaste aanpak wordt gekozen, als een fundamentele aanpak via promovendi. De combinatie zorgt ervoor dat er tussentijdse resultaten kunnen worden opgeleverd waarbij de markt snel toegang krijgt tot de kennis.

9	Grond-constructie interactie Overdracht: vereenvoudiging indirecte methode (veren)	<ul style="list-style-type: none"> - Hoe kun je de fundering het beste modelleren in de berekeningen? - Hoe kan op een vereenvoudigde manier (bv met veren) de fundering worden gemodelleerd? - Wat is de vervormingscapaciteit van palen voordat deze bezwijken? 	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> <ul style="list-style-type: none"> - Interactieberekeningen maken met grond én gebouw. Bepalen welke berekeningen geven het beste resultaat geven. - Vergelijking maken tussen berekeningen uitgevoerd met verschillende FEM pakketten (met verschillende grond- en paalmodellen) <u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u> <ul style="list-style-type: none"> - toepassing van elementen en vereenvoudigingen voor het meenemen van de fundering in toetsingsberekeningen voor de bovenbouw
10	Seismische belasting Verticale component belasting	<ul style="list-style-type: none"> - Wat is de impact van de verticale belasting op de constructie en de onderdelen? - Kan de verticale component van de belastingen worden vereenvoudigd in de berekeningen middels het meenemen van een zekere factor? 	<u>Stap 1: tijdsinspanning <0,5 jaar</u> <ul style="list-style-type: none"> - maken van vergelijkende berekeningen met horizontale EN verticale belasting - onderzoek naar de verticale component van de belasting <u>Stap 2: tijdsinspanning 2-4 jaar</u> <ul style="list-style-type: none"> - nvt

BIJLAGE 1 Deelnemerslijst Kennistafel 'Bouwkundig Versterken'

Naam	Bedrijf
Rudi Roijackers	ABT Wassenaar
Siebe de Boer	Arcadis
Frans de Haan	Arcadis
Coen van der Vliet	Arcadis
Gerben de Vries	Arup
Ronald Stoter	Arup
Mark Spanenburg	BAM
Joep Tünnissen	Centrum Veilig Wonen
Klaas de Boer	Bouwbedrijf de Boer
Mandy Korff	Deltares
Peter Rozema	Gasberaad
Susan Top	Gasberaad
Bé Schollema	Gemeente Loppersum
Joop Kruize	Groninger Bodem Beweging
Derwin Schorren	Groninger Bodem Beweging
Carine van Bentum	BuildinG / TNO
Jelle Pama	BuildinG / Hanzehogeschool Groningen
Theo van Wageningen	Ingenieursbureau Dijkhuis
Koos Verbeek	Kennisprogramma Effecten Mijnbouw
Kathelijne Bouw	Kenniscentrum Noorderruimte
Elles Bulder	Kenniscentrum Noorderruimte
Dennis Borgmeier	Kingspan Icopal
Hilbert Pool	Kingspan Icopal
Annemarie de Groot	Libau en Monumentenwacht
Taco den Bezemer	NAM
Jan van Elk	NAM
Dick den Hertog	NAM
Ans Bekkering	Nationaal Coördinator Groningen
Kees van Es	Nationaal Coördinator Groningen
Ilse de Vent	Nationaal Coördinator Groningen
Rien Huige	NEN
Ömer Türkmen	QuakeShield
Jan Zuidema	Remmers Bouwchemie
Michiel van Hunen	Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Maurice Hermens	Royal HaskoningDHV
Gerard Westenbroek	Stichting Stapelbouw
Roy Reuver	Takkenkamp
Chris Geurts	TNO
Raphaël Steenbergen	TNO
Dirk Kraaijpoel	TNO
Rob van Hees	TNO / TU Delft
Jan Rots	TU Delft
Joop Paul	TU Delft / Arup
Freek Bos	TU Eindhoven
Bert ten Hoeve	Van Wijnen

Naam	Bedrijf
Rinse Wiersum	W2N
Freddy Sekema	Wierden en Borgen
Floris Besseling	Witteveen & Bos
Harm Hoorn	Zonneveld ingenieurs b.v.

Bij de werksessies van de kennisaanbieders, waren de volgende personen aanwezig:

- TU Delft : Jan Rots, Joop Paul, Rita Esposito
- TU Eindhoven : Simon Wijte, Freek Bos
- Deltares : Mandy Korff
- TNO : Raphael Steenbergen, Dirk Kraaijpoel
- NAM : Jan van Elk, Dick den Hertog
- EU Centre : Helen Crowley, Rui Pinho
- BuildinG : Carine van Bentum, Jelle Pama

BIJLAGE 2 Samenvatting kennistafel 2 november

Op 2 november waren ca 50 genodigden als vertegenwoordigers van bedrijven en organisaties aanwezig om deel te nemen aan de 1^e kennistafel Bouwkundig Versterken.

Na een plenair deel, waarbij de uitgangspunten en de doelstellingen van de kennistafel werden verteld, konden de aanwezigen deelnemen aan één van de 3 subtafels om over een bepaald thema te discussiëren. De onderwerpen waren:

1. seismische belasting, veiligheidsfilosofie
2. grond-constructie-interactie
3. seismische weerstand gebouwen
4. valideren, certificeren, maatregelen
5. vallende objecten en secundaire seismische elementen
6. toekomstige methodiek schadebeoordeling

Er werd totaal 3 rondes gehouden, waarbij enkele onderwerpen vaker werden aangeboden.

Nadat de tafelvoorzitters hun thema (en de 'spelregels') van de sub-tafel hebben toegelicht, gaven de kennisaanbieders / onderzoekers een korte presentatie van 10 minuten, gevolgd door 5 min tijd voor het weergeven van hun prioriteiten. Daarna konden vervolgens 3 a 4 kennisvragers hun verhaal vertellen in elk 5 min, waarna er na elke kennisvrager 5 min tijd was om hun vragen te vertalen naar kennisvragen/onderzoeksvragen (voor de genoemde onderwerpen door kennisaanbieders en kennisvragers zie bijlage 3-8 per deelonderwerp). Vervolgens was er tijd voor uitgebreide discussie en prioritering in belang van benodigde kennis (lees: onderzoek).



Foto 1: Uitleg Jan Rots (TU Delft) bij subtafel 4: valideren, certificeren en maatregelen



Foto 2: Samenvatting van Ilse de Vent (NCG) bij subtafel 6: toekomstige schadebeoordelingsmethodiek

BIJLAGE 3 Volledige lijst met onderwerpen - Seismische belasting

Kennislacunes

Door de onderzoekinstellingen zijn de volgende onderwerpen geïdentificeerd:

- Nauwkeurigheid en validatie van de site-respons modellen
NAM heeft i.s.m. Deltares een uitgebreid regionaal site-response model gemaakt. Hoe goed presteert dit model? Verzorgt het regionaal model een betere verwachting dan een globaal alternatief? In het lineaire domein is validatie mogelijk door metingen in boorgaten. In het niet-lineaire domein is het grondgedrag (schuifmodulusreductie en demping) vastgelegd aan de hand van beperkte buitenlandse studies. In hoeverre zijn deze toepasbaar voor de Groningse grond?
- Ruimtelijke differentiatie
In de huidige NPR wordt de belasting geparаметriseerd met een enkele (PGA) kaart en een vast spectrum (afhankelijk van PGA, maar niet van locatie). In hoeverre is het wenselijk om ruimtelijk onderscheid te maken d.m.v. bijvoorbeeld multi-parameter spectrum of zonerings? Van één-parameter (e.g., PGA), via twee-parameter (S_1 , S_s), naar UHS (uniform hazard spectrum)? Hoe om te gaan met het beschikbaar stellen van parameters. Lookup tools? Hoe om te gaan met het aanleveren van tijdreeksen voor NL analyse? On-demand aanmaken, methode specificeren, software ter beschikking stellen?
- Toegevoegde waarde van lokale, site-specifieke response analyse
Het NAM/Deltares site response model is vrij gedetailleerd. In hoeverre is het mogelijk/wenselijk "winst" te behalen met een site-specifieke site response analyse? Welke procedure schrijven we voor? (O.a., omgang met onzekerheden, diepte) In hoeverre zijn de gezoneerde amplificatiefuncties van het NAM/Deltares model, ontworpen voor regionale risicoanalyse, geschikt voor site-specifieke toepassing?
- Veiligheidsfilosofie
NPR schrijft belasting voor aan de hand van probabilistische grondbeweging met herhalingstijd op basis van gevolgklasse. Echter, een uniforme hazard geeft geen uniform risico. Hierom is de VS over gegaan op risk-targeted design maps. In hoeverre is dit voor de NPR wenselijk?

Kennisbehoefte

Door de kennisvragers werden aanvullend deze onderwerpen genoemd:

- Wegnemen van onduidelijkheid over de verticale component van de belasting.
- Het ontwikkelen van lokale spectra voor de kerngebieden (hoger in prioriteit).
- Veiligheidsfilosofie. Het rekenen met ontwerpwaarden of gemiddelde waarden.
- Veiligheidsfilosofie. Het veiligheidsniveau is niet constant.
- Wat is de impact van een lichtere constructie?
- Hoe zitten de verschuivingen van bevingen in de modellen?
- Wat is het effect van wisselende grondwaterstanden?
- Behoeft aan een nieuwe PGA kaart met spectrum in NPR (info op -30m)
- Ontsluiten huidige kennis o.g.v. ruimtelijke differentiatie / ontwerpspectra etc.
- Toegevoegde waarde lokale site info
- Kennisdeling richting constructeurs. Inzicht in afwegingskader, context, achtergrond
- Validatie site respons modellen, incl grondgedrag m.n. veen

BIJLAGE 4 Grond-constructie interactie

Kennislacunes

Door de onderzoekinstellingen zijn de volgende onderwerpen geïdentificeerd:

- **Verweking: optredende vervorming, toegankelijkheid en uniformering aanpak, kaarten**
Inzicht in optredende en toelaatbare vervormingen helpt bij beoordelen constructies
Maken van verwekingskaarten maakt informatie over verweking beter toegankelijk waarmee snelheid omhoog kan
Uniformering aanpak leidt tot minder grote verschillen, meer eenduidigheid.
- **Verweking: veldproef**
Validatie en verbetering van het verwekingsmodel (aging, gelaagde grond, validatie,) leidt tot betere voorspellingen, kleinere onzekerheden
- **Overdracht: gedrag van paalfunderingen in site response**
Invloed palen op doorgifte trilling door de ondergrond – via de fundering naar de constructie
Wat is de invloed van het type fundering? (beton, hout, opzetters, stroken)
- **Overdracht: vereenvoudiging indirecte methode (veren)**
Gebruik standaard impedantie functies
Hoe kan de fundering het beste worden gemodelleerd? Met veren of volledig, direct of indirect?

Kennisbehoefte

Door de kennisvragers werden aanvullend deze onderwerpen genoemd:

- Verschuiving naar niet-lineaire responspectra, dan wordt grond-constructie interactie erg belangrijk. Hoe goed is het model? Hoe goed is de data?
- Verbetering van het model voor optredende vervorming
- Tijdsignalen matchen aan spectrum?
- Wat gebeurt er met sensoren?
- Plaatfundering bij uitbreiding, verschillen bij nieuwbouw
- Overdrachtsfactor
- Rotatie-effect NPR, SBR methodiek, heien, transport S-golf bepalend. Toelaatbare waarde?
- Invloed trilling op inwendige wrijvingshoek

BIJLAGE 5 Seismische weerstand

Kennislacunes

Door de onderzoekinstellingen zijn de volgende onderwerpen geïdentificeerd:

- **Snelle eenvoudige methode voor beoordeling specifiek gebouw**
De kennis die is opgedaan voor het NAM Winningsplan is nog te weinig toepasbaar gemaakt voor de praktijk. Het is nodig om snelle en betrouwbare rekenmethoden te ontwikkelen voor grootschalige toepassing en deze aan laten sluiten aan de streefwaarden voor de veiligheid. Gedacht kan worden aan het ontwikkelen van niet-lineaire kinematische methoden voor uit-het-vlak bezwijken. Deze methode bestaat reeds en is gekalibreerd aan proeven in 2 richtingen. Voor inzet van deze methode is het nodig nieuwe proeven uit te voeren voor gedrag in 4 richtingen. Het is noodzakelijk dat een snelle vereenvoudigde methode gekalibreerd is aan de complexere berekeningen. Een tweede belangrijke voorwaarde voor een snelle eenvoudige rekenmethode is, dat deze te gebruiken is met willekeurige eindige elementen software.
- **Criteria NC voor gebouw & component**
Een uitbreiding van kennis is nodig op het gebied van het betrouwbaar voorspellen van de vervormingscapaciteit bij grote vervormingen en degradatie door cyclisch gedrag nabij de bezwijkgrenstoestand.
Gebaseerd op de proeven definiëren van performance criteria bij NC voor algemene toepassing. Te gebruiken met willekeurige FE software
- **Capaciteit van de fundering**
Wat is de seismische weerstand van palen (hout, beton, hout met betonnen kop)?
Hoe nemen we ongelijkmatige zettingen (door verdichting of verweking in de ondergrond) mee in de constructieve beoordeling?
Wat is het effect van de fundering op veiligheid (in termen van individueel risico) en schade
- **Opstellen DS2/DS3 curves**
Naast veiligheid ook basisbestendigheid nodig. Want als de niet-constructieve delen van een gebouw bezwijken heb je nog steeds een niet-buikbaar gebouw.
- **Constructief gedrag**
Er is nog veel onduidelijk in het constructieve gedrag van een gebouw onder aardbevingsbelasting. Enkele vragen die nog beantwoord moeten worden zijn: Wat is de seismische belasting op wanden uit het vlak? Hoe wordt de aardbevingsbelasting gefilterd als we van maaiveld naar de verdiepingen gaan? Wat is het samengestelde gedrag van penanten en dragende wanden; hoe speelt de verbinding daar een rol? Hoe modelleren we in een eindige elementenpakket de verbindingen, zowel vloer- wandverbindingen als wand-dakverbindingen?

Kennisbehoefte

Door de kennisvragers werden aanvullend deze onderwerpen genoemd:

- Invloed van vele kleine bevingen op de lange termijn
- **Criteria NC voor gebouw en component**
- Van NC naar SD. Equivalente criteria. "30%".
- Gebruik van SD om het toepasbaar te maken voor willekeurige FEM software
- Best practices en resultaten

- Vereenvoudigde methode voor beoordelen specifiek gebouw.
- NLTH analyses versnellen, o.a. nodig voor gevoeligheidsstudies.
- Inzicht per typologie. Oplossingsrichtingen, transparant.
- Hoe typisch NL bouwwijze/componenten versterken/doorrekenen. Bv wapenen penanten. Met minimale impact, erfgoed, plus economische afweging.
- Nederlandse spouwmuur: hoe krijgen we de weerstand omhoog. Wapening in stabiliteitswanden zonder aanhechting, voorspannen metselwerk, Hoe voorkom je dat het metselwerk loskomt van de spouwankers? Wat is het effect van de spouwdiepte op kracht/capaciteit van de spouwankers?
- Duitse methode: kolommetje erbij, dik binnenblad, dun buitenblad
- Gedrag / toetsing fundering op staal
- Wat gebeurt er als de funderingspaal bezweken is?
- Capaciteit funderingen (palen zonder wapening, fundering op staal)
- Materiaal parameters, kalkmortel.
- Vervormingsgedrag versterkingen
- Rekenmethode wanden uit-het-vlak
- Q-factor
- Macromodellering
- Duidelijkere versie NPR, inzichtelijk maken van de kennis. Verschil Eurocode-NPR
- Veiligheid versus ingrepen.
- Keuze bewoners

BIJLAGE 6 Valideren en certificeren

Kennislacunes

Door de onderzoekinstellingen zijn de volgende onderwerpen geïdentificeerd:

- **Validatie van rekenmodellen**
De rekenmodellen valideren door middel van kruisvalidaties over de verschillende rekenmethoden heen (lineair/niet-lineair, statisch/dynamisch) en dit participatief oppakken (gezamenlijk door alle partijen). Dit levert meer begrip op van de krachtswerking en bezwijkmechanismes voor zowel de hogere als lagere schadetoestanden.
Hierbij moet meer accent komen te liggen op op interpretatie: acceptance criteria, near collapse, drift limits, cracking
Dit alles moet ondersteund worden door voortgaand experimenteel werk, ook naar (vele) verbindingen, vloeren, daken. Het uitvoeren van gevoeligheidsstudies en extrapolaties is noodzakelijk om inzicht te krijgen in de consequenties van de grote hoeveelheid aannames en bandbreedtes in de materiaal- en constructie-eigenschappen.
- **Valideren van maatregelen**
Testen van verschillende soorten innovatieve maatregelen voor Groningse bouwwijze en grond. Dit uit te voeren met de materiaal- en productleveranciers, bouwers, uitvinders, vernieuwers, BuildinG.
Hierbij moet gekeken worden naar verschillende gradaties in versterkingsmogelijkheden: (a) vastzetten losse delen, stutten), (b) verbeteren verbindingen en verstijven vloeren/daken, (c) versterken en vertaaien van wanden, (d) toevoegen banden en wanden, (e) fundering base isolation,
Bij het bedenken van maatregelen is het goed aandacht te schenken aan: Is een no-regret aanpak mogelijk? Koppelkansen, bijv. duurzaamheid, iets toevoegen? Bewoners, eigenaren betrekken, communiceren, uitleggen, keuzemogelijkheden? In 1 keer goed doen of later misschien nog een keer terugkomen? Waarbij ook gelet moet worden op het feit dat de maatregelen die getroffen worden in het kader van de versterkingsopgave ook bijdragen aan schadebeperking en zeker niet averechts werken (compatibele versterkingsmethoden).
- **Norm voor productcertificering**
Procedure opstellen voor het aantonen (via testen of modelleren) van effectiviteit maatregelen
- **Validatie van G/G0 damping curves**
.....
- **Monitoren van werkelijk gedrag constructie (zetting, waterspanning)**
Als ultieme validatie voor effectiviteit maatregelen

Kennisbehoefte

Door de kennisvragers werden aanvullend deze onderwerpen genoemd:

Validatie rekenmethoden:

- Hoe zit het met de validatie van de grondparameters: G/G0?
- Is er al voldoende praktijkinformatie over het materiaalgedrag? En hoe zit het bij monumenten?
- Zijn er in situ metingen gedaan (kernen boren)? Of Non-destructieve technieken toegepast (NDT)?
- Eerst bepalen welke parameters belangrijk zijn en die vervolgens valideren.

- Verbindingen testen, componenten, ankers.

Validatie/certificatie versterkingsmaatregelen

- Parallel traject bewandelen: no-regret + validatie van maatregelen.
- Houd snelheid in het proces.
- Minder gevalideerde oplossingen gebruiken en later valideren.
- Validatie van versterkte constructie
- Monitoren (vooral lage magnitudes)
- 1x naar bewoners
- Handboek van maatregelen (meer uniformiteit)
- Waar is behoefte, waar noodzaak?
- Bewoner laten beslissen of hij wel/geen maatregel wil. Maar wat doe je als je dan een veiligheidsprobleem hebt, hek eromheen/bordje voor het huis?
- Wat is de consequentie van het toepassen van een maatregel?
- Hoe kun je innovaties inbrengen? Er wordt veel weerstand in de praktijk ervaren.
- Kun je niet gelijk meer meenemen (koppelkansen)
- Is er een betere uitvoering nodig, of gaat het al redelijk goed? Kennis en kunde van vaklui
- Bij monumenten: wat maken ze stuk wat voorkomen had kunnen worden
- Wat is het doel van de reparatie. Er zijn twijfels bij nu aangeboden maatregelen.
- Hoe versterk je een specifiek huis? Wat zijn de kosten van een standaardoplossing versus sloop/nieuwbouw? Hoe rendabel is versterken?
- Versterken betekent bestaande bouw aanpassen alsof de capaciteit van de bestaande bouw gelijk aan nul is. Dat is niet zo. Dit leidt wel tot zeer rigoureuze maatregelen.
- Vaak is de weerstand van de verbinding bepalend. Wat is die weerstand in praktijk?
- Als je de constructie door de maatregel heel erg veranderd, is opnieuw validatie nodig.
- Er is nu tegenspraak met het versterkingsprogramma bij CVW (Arup/Arcadis), waar al bij 0,2/0,3 g alles versterkt moet worden en het winningsplan, waar in staat dat veel minder (en/of lichtere) maatregelen nodig zijn.
- Hoe ga je om met historische gebouwen? Er zijn nu 2 kampen: de een is strenger voor historische gebouwen dan "normale" gebouwen, de ander juist coulanter.
- Hoe tel je culturele waarde mee? Het individueel risico is namelijk vaak laag.
- NPR mag duidelijker. Bijvoorbeeld wanneer een constructeur een best estimate neemt (gemiddelde waarde) ipv extreme waarde.
- Duidelijkheid nodig
- Rol NCG! Beslis!

BIJLAGE 7 Vallende objecten en secundaire seismische elementen

Kennislacunes

Door de onderzoekinstellingen zijn de volgende onderwerpen geïdentificeerd:

- **Welke elementen moeten beschouwd worden bij de risicobepaling**
- Vertaling van de studies [TTaig] zal moeten plaatsvinden naar handzame beoordelingscriteria voor implementatie in NPR 9998. Sterkteberekeningen aan niet-constructieve elementen vergen veel kennis (over lokale aardbevingseffecten en lokale weerstandsparameters) en inspanning, daarom moet gekeken worden of de op basis van de buitenlandse waarnemingen vastgestelde weerstanden ook hier van toepassing zijn. Tegelijkertijd dienen dan betere rekenmodellen opgezet te worden om deze buitenlandse empirie voor de Groningse situatie vertalen.
- Een beoordelingskader voor niet-constructieve elementen dient in het licht van het Individueel Risico vastgesteld te worden: Als er wanden of andere niet-constructieve elementen binnen een gebouw afbreken of instorten, hoeveel vloeroppervlak wordt dan geraakt en wat is het effect op menselijke veiligheid? Aan welk niveau moet getoetst worden? Als er stukken wand etc naar buiten vallen: wat is dan het invloedgebied en de kans dat iemand zich in dat invloedgebied ophoudt?
- Ten slotte moet bepaald worden welke elementen meegenomen moeten worden in de veiligheidsbeschouwing en hoe die in de modellen/berekeningen moeten worden aangebracht.
- **No-regret maatregelen**
Bepalen welke maatregelen altijd zinvol zijn en de wijze van uitvoering (verbinden buitenblad, Aan binnenblad etc)

Kennisbehoefte

Door de kennisvragers werden aanvullend deze onderwerpen genoemd:

- Criteria Arup bijwerken.
- Hoe kun je schoorstenen versterken? Voorspannen, inboring of andere methode?
- Schoorsteen op 1e bouwlaag of andere bouwlagen.
- Beoordeling van een schoorsteen van een monument
- Gemetselde kanalen wat zijn de risico's?
- Dakpannen. Hellingshoek. Criteria voor toepassen materialen onder bepaalde hoek.
- Installaties in het gebouw, waar past dit?
- Gewichten plafonds - eisen
- Tussentijdse inzichten delen
- Eurocode 8 rekenmethode die hierop aansluiten voor versterking
- Pas bezig gaan bij versterking
- Oplossingen zoeken versterken element
- Risicovolle elementen van binnen versterken?
- Heel veel regret! Tijd inbouwen om andere oplossingen te vinden dan sloop.
- Nauwkeuriger bepalen van risico vallende objecten
- Verticale component grondbeweging voor o.a. elementen die verticaal vallen zoals balkons
- Criteria voor Nederlandse situatie: veiligheid, waarde/behoud, anders voor monumenten en beeldbepalende panden.

BIJLAGE 8 Toekomstige methodiek schadebeoordeling

Kennislacunes

Door de onderzoekinstellingen zijn de volgende onderwerpen geïdentificeerd:

- **Beoordelingsmethodiek voor schade als gevolg van (trillingen door) aardbevingen**
 Er is behoefte aan een objectieve, breed gedragen procedure voor de beoordeling van schades, waarbij gebruik wordt gemaakt van meetdata en/of modellen. Het vaststellen van criteria voor acceptatie van schade vormt onderdeel van deze procedure. Voor de bepaling van de procedure is het nodig om eenduidige relaties af te leiden tussen trillingsgrootheden en optredende schade. Dit geldt zowel voor het verband tussen trillingen en (kans op) schade (vooraf) en het verband tussen schade en (opgetreden) trillingsgrootheid (achteraf). Gegevens uit reeds operationele meetnetten geven waardevolle data voor deze beoordeling. Er zijn modellen nodig voor het interpoleren van de meetnetdata naar niet-bemonsterde gebouwen. Er zal een keuze moeten worden gemaakt voor de maatgevende trillingsgrootheid, en hoe deze te registreren. Voor schadetoestand DS1 (ontstaan van scheuren) lijkt het logisch de verbinding met SBR-A te maken. Maar er is geen heldere methode voor hogere schadetoestanden. Relevant in dit kader is de grote variatie in bouwmethoden, gebruikte materialen, constructiegedrag etc; vrijwel alle relevante parameters zijn stochasten.
- **Oorzaak schade**
 In de beoordelingsmethode moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat schades meerdere oorzaken kennen, al dan niet afkomstig van trillingen. Het is voor een helder oordeel nodig om te identificeren welk aandeel toerekenbaar is aan een aardbeving. De vraag is of het mogelijk is om onderscheid te maken of juist overeenkomsten te vinden tussen aardbevingen en andere trillingsbronnen? Er zal een balans gevonden moeten worden tussen een snelle methode om de oorzaak vast te stellen en de betrouwbaarheid van de methode. In dit kader is een deelvraag of het mogelijk is door middel van bijvoorbeeld een app voor bewoners, de toestand van een pand vast te leggen, en na optreden van schade opnieuw een opname te doen, en vervolgens de schade-oorzaken te onderzoeken.
- **Versterken**
 Het ontbreekt aan een systematiek voor de beoordeling van oplossingen om schade te voorkomen. Er is behoefte aan effectieve versterkingsmaatregelen ter voorkoming van DS2 en DS3 schades, onderzoek t.b.v. sterkte en het bepalen van de effectiviteit van aangereikte oplossingen. Aanbieders van oplossingen hebben behoefte om hun oplossingen op een of andere wijze goedgekeurd of gecertificeerd te krijgen. Basis voor een dergelijke goedkeuring is een objectieve beoordelingsmethode voor de prestatie van de oplossing.
- **Materiaalgedrag**
 Over het materiaalgedrag van verschillende materialen (met name metselwerk) onder aardbevingsbelasting is nog veel onbekend. Denk aan scheurinitiatie, scheuruitbreiding, etc. Er moet inzicht verkregen worden in het gedrag van het metselwerk onder verschillende niveaus van aardbevingsbelasting. Ook is helderheid nodig naar het effect van (regelmatig terugkerende) lage trillingsniveaus. Materiaalmodellen moeten gevalideerd worden met experimenten.

De prioritering van de onderwerpen zal vooral gekoppeld zijn aan de termijn waarop resultaat wordt verwacht.

Kennisbehoefte

Door de kennisvragers werden aanvullend deze onderwerpen genoemd:

- Hoe zit bodemdaling in de beoordelingsmethodiek? Wat is reguliere schade door zettingen? Wat was er gebeurd met de huizen als er geen gaswinning/mijnbouwactiviteiten waren?
- Hoe nemen we de initiële staat van de gebouwen mee en hoe leg je die vast? Kun je een bewoner een bepaalde onderhoudsstaat opleggen?
- Wat te denken van cumulatieve effecten? Is een zware trilling erger dan veel kleine? Kun je scheuren vinden enige tijd na de aardbeving? Of is dit een combinatie van initiële spanning en een kleine (onvoelbare) trilling?
- Kunnen versterkingsmaatregelen ook contra-productief zijn voor schade? Wat is het effect van genomen maatregelen? De koppeling tussen veiligheid en schade is belangrijk. Je moet het breder aanpakken, je moet ook kijken naar de volgende beving.
- Kun je preventief maatregelen treffen? Bijvoorbeeld voor monumenten.
- Is het een overweging om materialen uit te sluiten bij nieuwbouw? Bv omdat je ziet dat die materialen in de huidige bouwvoorraad tot schade leiden.
- Wat is de esthetische waarde van een gebouw? Hoe beeldbepalend zijn gebouwen of elementen van gebouwen en wordt daar voldoende rekening mee gehouden bij de keus van de maatregelen? Wat zijn criteria voor sloop en vervangen van elementen? Wat is esthetische schade?
- Wat is de sociale impact van schade?
- De bewoners moeten meer bij het proces betrokken worden. De bewoner kan nu geen invloed uitoefenen, terwijl er misschien meerdere opties zijn om de schade te verhelpen. Er is veel voortschrijdend inzicht dat maakt het proces niet makkelijker. Communicatie naar bewoners is heel belangrijk. Het is een ingewikkeld proces dat groter is dan het versterken zelf, er zijn veel meer partijen bij betrokken waar de bewoner mee te maken heeft. Zou de bewoner ook een actievere rol willen?
- De stand van de kennis is bij bewoners niet duidelijk. Het is niet erg als niet alles bekend is, maar zeg dat dan. En geef aan dat je voor een praktische oplossing kiest. Het zou prettig zijn als er 1 loket is voor kennis.
- Je zou moeten prioriteren vanuit deskundigheid, niet vanuit politieke motieven.
- Kunnen we iets leren van vergelijkbare problematiek bij tunnelboringen (denk aan Noord-zuidlijn in Amsterdam). Zie COB rapporten.
- Kunnen we een vergelijking maken met een patiënt. Eerst een anamnese, dan een diagnose, dan een behandelplan.
- Monitoren is belangrijk, hiermee kun je onzekerheden wegnemen.