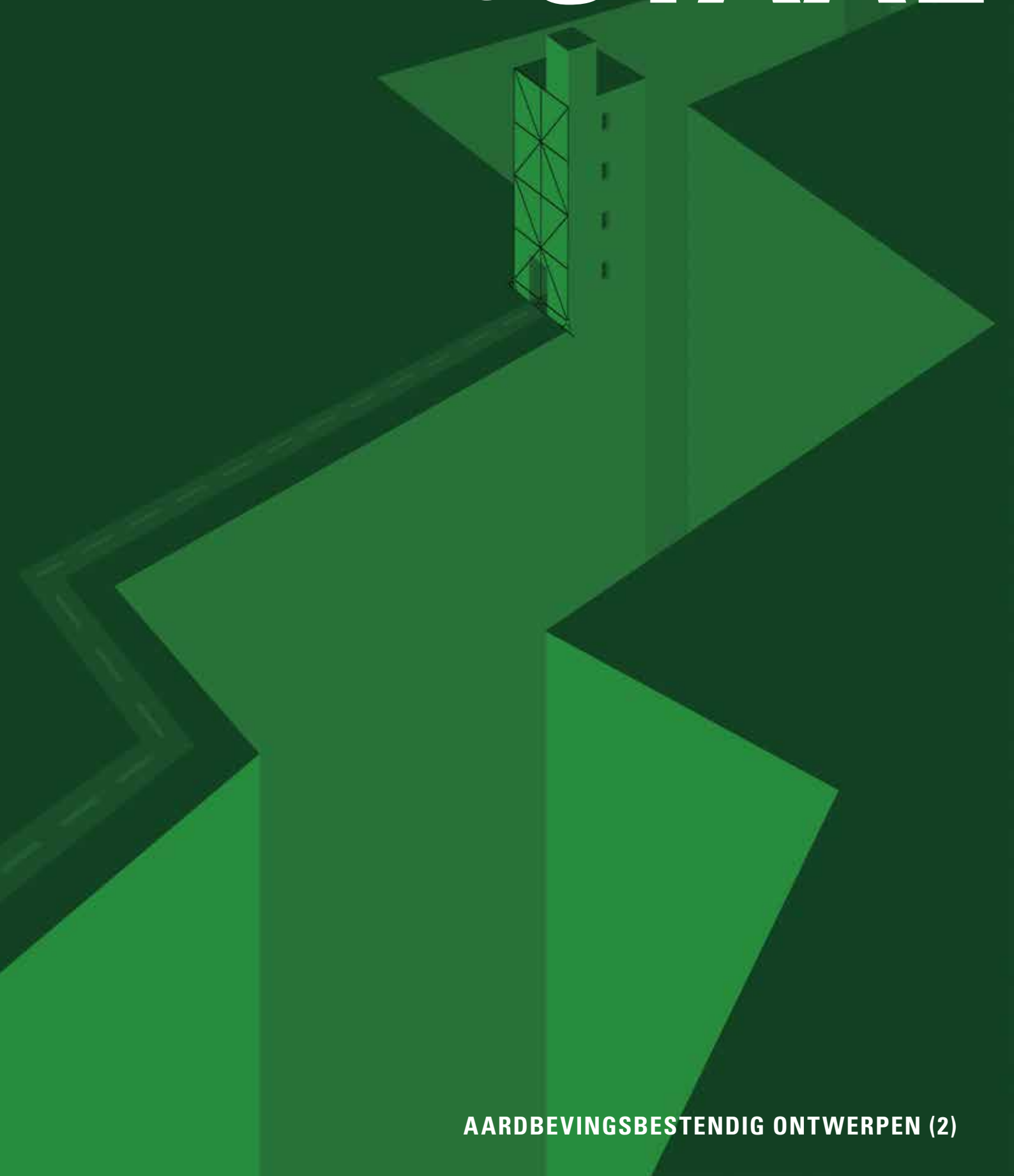


02117 255

BOUWEN MET

vakblad over staal en staalconstructies

STAAL



AARDBEVINGSBESTENDIG ONTWERPEN (2)

ISSN 0166-6363.

Uitgever Marco Pauw.

Redactie Paul van Deelen • Henk Orsel • Marco Pauw.

Medewerker Cor van Eldik

Redactieraad dr.ir. R. Abspoel, TU Delft • W. Borgstein, Tata Steel • ir. M.F.I. Braem, Croes • M. Derks, Coatinc • ir. Y. van Diermen, Pieters Bouwtechniek • P. ter Haar, Zinkinfo Benelux • ir. M. Horikx, Hogeschool van Amsterdam • G.J. Kannekens, Hollandia Structures/SNS • ir. F. Maatje (voorzitter), Bouwen met Staal • ir. K. Oosterman, ZJA • ing. R. Roef, Construsoft • ing. J. Seinen, Rijkswaterstaat • mw. A. van Stiphout, Jack Muller • ir. L.I. Vákár, Movares • T.S. Wolvekamp MSc, BAM Infra Consult.

Redactie en administratie Bouwen met Staal • Louis Braillelaan 80 • 2719 EK • Zoetermeer • tel. (088) 353 12 12 • bms@bouwenmetstaal.nl.

Advertenties Advercom • Teding van Berkhoutstraat 88 zw • 2032 LN Haarlem • tel. (087) 875 89 65/(06) 24 68 52 25 • edejong@advercom.nl • www.advercom.nl.

Vormgeving Banee Design, Rotterdam • www.banee-design.nl.

Druk Veldhuis Media, Raalte • www.veldhuismedia.nl.

Vrijwaring Uitgever, redactie en samensteller verklaren dat de inhoud van dit vakblad zorgvuldig en naar beste weten is samengesteld. Zij aanvaarden geen aansprakelijkheid voor schade, van welke aard ook, als gevolg van handelingen en/of beslissingen die zijn gebaseerd op de geboden informatie.

Abonnementen 2017 Binnenland € 66; buitenland € 91; studenten € 20 (via Staalkaarthouder); losse nummers € 21 (prijzen incl. btw). Annuleren voor 2018 is mogelijk tot 1 december 2017. Een abonnement is ook verkrijgbaar als onderdeel van het lidmaatschap van Bouwen met Staal. Abonnees hebben geen toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad.

Lidmaatschap Bouwen met Staal Het lidmaatschap geeft recht op één of meer abonnementen op het vakblad *Bouwen met Staal* en gratis deelname aan avondsessies. Als (bedrijfs)lid ontvangt u ook korting op studiedagen, excursies en op andere producten en diensten van Bouwen met Staal (zoals publicaties, cursussen, opleidingen en de Nationale Staalbouwdag). Bovendien krijgt elk lid toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad (online en als App) en het archief (online) dat per artikel kan worden geraadpleegd via bijvoorbeeld auteur, onderwerp of trefwoord.

Voor meer informatie en aanmelding(en) www.vakbladbouwenmetstaal.nl.

Illustratie cover iStockphoto, copyright juanljones.

Foto p. 15 (Jeroen Wouters) Joris Den Blaauwen • www.jorisdendaauwen.nl.

**bouwen met
staal**

© Bouwen met Staal 2017

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeveelvoudigd, in enigerlei vorm, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



PROLOOG

Dit is de tweede special Aardbevingsbestendig ontwerpen en voorlopig niet de laatste. De leercurve is steil; er valt nog volop te rapporteren. Daarnaast klinkt de roep om uitleg bij de normering. Het hanteren van de praktijkrichtlijn is nog geen sinecure. Ook vechten nieuwe inzichten, onderzoeken en ontwikkelingen om voorrang. Bovendien is de uitvoering van de versterkingsopgave nog maar goed en wel op gang gekomen. Engineering kost tijd en blijkt een kritische succesfactor.

Daarom gaat deze tweede uitgave nog steeds grotendeels over versterken van bestaande bouw. Voor nieuwe lezers: we pakken de draad weer op en nummeren daarom boven de artikelen gewoon door. Was het eerste themanummer een inleiding in de materie, in dit nummer wordt verder uitgediept, worden lessen getrokken en oplossingen getoond. De auteurs van deze uitgave, leden van de Technische Commissie Aardbevingsbestendig Ontwerpen en haar werkgroepen, en ook zij die alweer hebben toegezegd mee te werken aan de volgende editie, zeggen wij dank.

Zoals de naam van de Nationaal Coördinator Groningen doet vermoeden, heet de opgave in Groningen een schaal van nationale omvang te zijn. We stellen vast dat de inspanning zich relatief geruisloos buiten de waarneming van de rest van Nederland voltrekt. Hans Alders, de Nationaal Coördinator Groningen, schonk klare wijn bij de presentatie van het *Meerjarenprogramma Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen 2017-2021*. Bij inspectie van zo'n 450 woningen bleek onlangs dat ze 'allemaal' moeten worden versterkt. Wat hij maar wilde zeggen: de omvang van het versterkingsprogramma lijkt nog steeds niet doorgedrongen. Voor de goede orde: de opgave betreft 23.000 objecten binnen de contourkaart van het KNMI, en nochtans niet daarbuiten.

- | | | | |
|----|---|----|---|
| 04 | <p>AANSPRAKELIJKHEID VAN DE MIJNBOUW-EXPLOITANT (2)
 Het nieuwe bewijsvermoeden
 R.J. Versteeg en M.H.F. van der Lek-Langenhof</p> | 46 | <p>VERSTERKEN EN BOUWKUNDIG DETAILLEREN (7)
 Geboute verbindingen van dissipatieve elementen
 C.A. Dol, M.B.J. van Odenhoven en P.A. Teeuwen</p> |
| 08 | <p>AANPAK VERSTERKINGSOPGAVE (2)
 In de leercurve</p> | 52 | <p>VERSTERKEN EN BOUWKUNDIG DETAILLEREN (8)
 Vloerverplaatsing opvangen in metselwerk
 H. Pasterkamp, C. Peterse en H.G. Krijgsman</p> |
| 10 | <p>AANPAK VERSTERKINGSOPGAVE (3)
 Op zoek naar de versnelling en de criteria voor Groningen
 R.H.G. Roijackers, J. Schaveling en M.M.J. Spanenburg</p> | 56 | <p>VERSTERKEN EN BOUWKUNDIG DETAILLEREN (9)
 Naspanning in schoorstenen
 P. Koopmans en A.S. de Jong</p> |
| 16 | <p>MODELLERING ONDERGROND (4)
 De effecten van Soil Structure Interaction
 J.W. Doeksen en B.C. van Viegen</p> | 60 | <p>PROJECTVOORBEELD (4): COMMERCIAL BAY TOWER, AUCKLAND, N-Z
 Efficiënte belastingpaden
 T. Hoogeveen en M. Falger</p> |
| 22 | <p>SEISMISCH REKENEN (3)
 Aardbevingsanalyses voor Groningse opslag tanks
 M. Versluis, F. Besseling en P.A. Teeuwen</p> | 64 | <p>PROJECTVOORBEELD (5): MAJESTIC CENTRE, WELLINGTON, N-Z
 Op het eerste gezicht onmogelijk
 J. White en M. Falger</p> |
| 26 | <p>SEISMISCH REKENEN (4)
 Berekenen van afwijkend geschoorde stalen raamwerken met q-factoren
 D.K. Peters en T. Cristutiu</p> | 68 | <p>PROJECTVOORBEELD (6): WISSELWONINGEN, LOPPERSUM
 Wisselwerking</p> |
| 34 | <p>MODELLERING CONSTRUCTIE (3)
 Krachten of verplaatsingen?
 H.G. Krijgsman</p> | 15 | <p>JEROEN #5
 Dilemma</p> |
| 40 | <p>MODELLERING CONSTRUCTIE (4)
 Verplaatsingsgestuurd ontwerpen en toetsen
 H.G. Kraaijenbrink, R. Vonk en R.C. van der Have</p> | 72 | <p>IN MEMORIAM
 Henk van Maarschalkerwaard (1927-2016)</p> |

Seismisch rekenen

Voor de laatste inzichten en rekenen aan aardbevingsbestendige ontwerpen biedt Bouwen met Staal in maart en april weer de gelegenheid kennis te verwerven en uit te breiden, dit keer aan de hand van goed gedocumenteerde, praktische rekenvoorbeelden. In navolging van eerdere druk bezochte seminars en workshops in 2015 en 2016, kan op 29 maart en 5 en 12 april worden deelgenomen aan een reeks middag-avond-modules. Plaats van handeling: Movares, Utrecht.

In zes dagdelen worden praktische rekenvoorbeelden gepresenteerd door de docenten. De lessen worden verzorgd door leden van de Technische Commissie 13,

'Aardbevingsbestendig ontwerpen' van Bouwen met Staal.

De zes modules behandelen verschillende onderwerpen die bijzonder zijn te volgen. In maart wordt begonnen met (hoofdopzet en detailengineering van) een vierlaagse kantoorgebouw, waarna in april de beurt is aan (versterking van) rijtjeswoningen, infra (schade-acceptatie criteria, bewegende bruggen, viaducten, kademuuren), scholenbouw, hallenbouw en het bepalen van de q-factor.

Voor meer informatie en om in te schrijven, ga naar <http://www.bouwenmetstaal.nl/cursussen/middag-avond-modules-aardbevingsbestendig-ontwerpen>.

Het nieuwe bewijsvermoeden

Centrum Veilig Wonen (CVW) is de advies- en uitvoeringsorganisatie voor de inspectie en het herstel en versterken van woningen en gebouwen in het Groninger aardbevingsgebied. CVW houdt zich bezig met de afhandeling van schades die bij de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) worden geclaimd. Niet iedereen is daarmee gelukkig, zo blijkt uit een eerdere editie van dit blad^[1]. Ongenoegen over schadeafhandeling is aan de orde van de dag. Dat raakt in het bijzonder schades die niet in verband zouden staan met, in dit geval, een aardbeving (c-schades). Brengt een recente wetswijziging daarin verandering? Welke schade komt eigenlijk voor vergoeding in aanmerking?

mr. R.J. Versteeg en mr. M.H.F. van der Lek-Langenhof

Roel Versteeg en Marja van der Lek-Langenhof zijn beiden advocaat bij STIPT•advocaten in Zaltbommel.

Artikel 6:177 van het Burgerlijk Wetboek (BW) kent een risicoaansprakelijkheid voor schade die ontstaat door 'beweging van de bodem' als gevolg van exploitatie van de bodem (artikel 6:177, lid 4, BW). Een belangrijk voordeel van deze bepaling voor de benadeelde is dat hij zich niet druk hoeft te maken over het bewijs van een fout van de exploitant. Schade door bodembeweging als gevolg van de gaswinning is in principe voldoende voor aansprakelijkheid van de exploitant. Maar daarmee is de benadeelde er nog niet.

Bewijslast, een bewijsvermoeden

Een benadeelde draagt als uitgangspunt de bewijslast ten aanzien van het verband tussen een gebeurtenis (de gaswinning door de exploitant) en de uiteindelijk ontstane rechtsinbreuk (bodembeweging, die tot schade leidt). Daarnaast draagt hij de bewijslast ten aanzien van de vraag welke schadeposten in verband staan met de gebeurtenis (winningsactiviteiten-omvang schade). Over dit beno-

digde causaal verband werd in dit blad al eerder uitvoerig aandacht besteed^[2].

Dat aardbevingen in Groningen het gevolg zijn van de gaswinning is nu onbetwist. Dit element levert in praktijk weinig problemen op voor benadeelden. Als het komt tot procedures tussen de exploitant en benadeelden, wordt het verband tussen schade en gaswinning vaak (vrijwillig) door de exploitant erkend^[3]. Over het causale verband tussen concrete fysieke schade aan gebouwen en werken en de aardbevingen is meer discussie mogelijk. Voor elke individuele schade moet de oorzaak en omvang van de schade worden vastgesteld. De aardbevingen in Groningen veroorzaken schade die vaak *gelijksoortig* is. Veelvoorkomend zijn bijvoorbeeld scheuren in het metselwerk en de afwerkingen van gevels, binnenwanden en plafonds van woningen. Dit type schade kan echter ook andere oorzaken hebben dan de aardbevingen.

Velen vonden de bewijslast waarmee gedupeerden te maken krijgen om het verband tus-

sen de winningsactiviteiten en de door hen geleden schade aan te tonen, onredelijk. Dat signaal heeft de politiek bereikt en vond daar gehoor. De ‘Wet bewijsvermoeden gaswinning Groningen’ heeft inmiddels het licht gezien en trad in werking op 31 december 2016^[4]. Het nieuwe bewijsvermoeden houdt in dat, als binnen het effectgebied van Groningenveld fysieke schade aan gebouwen en werken ontstaat, die naar haar aard aardbevingsschade als gevolg van gaswinning kan zijn, wordt *vermoed* dat die schade door gaswinning veroorzaakt is. Dit bewijsvermoeden is verankerd in artikel 6:177a BW. Hiermee wordt de positie van de benadeelde in discussies over het causaal verband tussen de schade en de gaswinning versterkt. De benadeelde kan zich pas beroepen op dit vermoeden, als hij de exploitant op diens verzoek de beschikbare relevante bescheiden over het gebouw of werk ter inzage geeft en de exploitant gelegenheid geeft de schade te onderzoeken.

Het wettelijke bewijsvermoeden geldt alleen voor fysieke schade en niet voor bijvoorbeeld omzetschade van ondernemingen. Degene die binnen het effectgebied van het Groningenveld fysieke schade aan een gebouw of werk ondervindt, die naar haar aard schade door bodembeweging zou kunnen zijn, hoeft nu slechts te stellen dat die schade het gevolg is van bodembeweging door de gaswinning. Daaruit ontstaat dan voor de rechter het vermoeden dat de schade het gevolg is van de gaswinning. Indien de exploitant dit vermoeden niet kan weerleggen, hoeft de benadeelde verder geen bewijs te leveren.

Let op: niet alle schade die zich voordoet binnen het effectgebied van het Groningenveld is per definitie veroorzaakt door bodembeweging door gaswinning. Ook in dit gebied kan zich schade voordoen door oorzaken die niets met mijnbouwactiviteiten te maken hebben, zoals stormschade. Daarom heeft de exploitant van het mijnbouwwerk de mogelijkheid het bewijsvermoeden te weerleggen.

Geen heilige graal

Het bewijsvermoeden is niet onbeperkt. Artikel 6:177a BW heeft alleen betrekking op ‘fysieke’ schade aan gebouwen en werken. Buiten gebouwen en werken kan ook worden gedacht aan fysieke schade aan goederen, zoals

Kritische beschouwing

In opdracht van de Nationaal Coördinator Groningen werd op vrijdag 10 februari voor het eerst binnen het dossier gaswinning een *critical review* georganiseerd. Onderzoek wijst uit dat de woningwaarde in het aardbevingsgebied met 2 tot 5% is gedaald, maar er liggen tal van onderzoeken, waaronder door de RUG en door het CBS, waarvan de uitkomsten verschillen.

Ter voorbereiding van de critical review zijn in sessies door wetenschappers en andere betrokkenen de kernvragen opgehaald, om daarmee in een open dialoog samen inzicht te krijgen in overeenkomsten en verschillen. Tijdens de critical review nemen betrokken wetenschappers, instellingen en bewoners samen de bestaande onderzoeken onder de loep. Doel van de kritische beschouwing is duidelijkheid te scheppen over standpunten van wetenschappers en andere betrokkenen, waarna een agenda voor vervolgonderzoek wordt vastgesteld. Het Kenniscentrum Aardbevingen en Duurzame Ontwikkeling (KADO) van de Rijksuniversiteit Groningen faciliteerde de bijeenkomst.

auto's of inboedel. Het begrip ‘werken’ heeft hier betrekking op constructies die zijn bedoeld om duurzaam te verblijven, zoals een afdak, terreinafscheiding en infrastructurele werken.

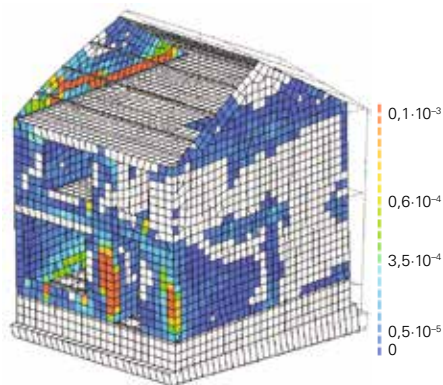
De precisering tot ‘fysieke’ schade betekent dat het gaat om tastbare schade aan het gebouw of werk zelf, maar niet om bijvoorbeeld waardedaling van woningen of omzetschade van ondernemingen. Ook gevolgschade is niet onder het bewijsvermoeden te brengen. Anders dan bij fysieke schade aan gebouwen en werken, is bij gevolgschade, waardedaling van woningen en derving van inkomsten (omzet), geen sprake van veel gelijksoortige gevallen met één duidelijke oorzaak. Het onderzoek naar de schade zal vaak complex zijn. Voor het vorderen van dit type schade(s) geldt de gebruikelijke bewijslastverdeling. Dat wil zeggen dat voor deze gevallen door de benadeelde moet worden aangetoond dat deze schadeposten (direct) verband houden met de rechtsinbreuk (aantasting van eigendom door gaswinning).

Welke schade kan worden gevorderd?

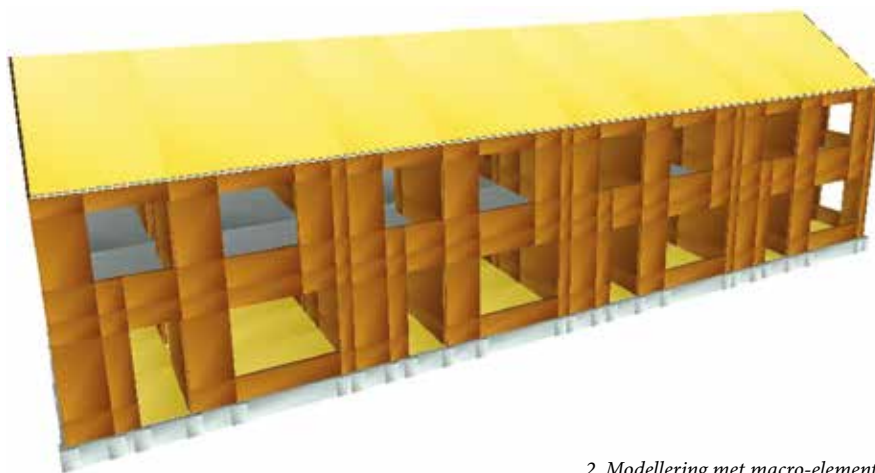
Met enkel het causaal verband tussen de gaswinning en de schade (als wettelijk bewijsvermoeden) is de benadeelde er nog niet. Er bestaat ruimte over de schadeomvang. Welke schade kan voor vergoeding in aanmerking komen? Zo is er enerzijds de regeling voor schadeafwikkeling die de NAM eenzijdig in het leven heeft geroepen. De minister kan altijd afspraken met de NAM maken, maar individuele bedrijfs-/huiseigenaren zijn daaraan niet gebonden. Schadeafwikkeling volgens protocol van de NAM is misschien – maar niet altijd – sneller, maar leidt niet

zonder meer tot volledige schadevergoeding. Anderzijds is er het BW.

Bij grote schades aan een pand, gaat het naast kosten voor herstel veelal ook om andere posten. Zo worden benadeelden vaak geconfronteerd met andere (gevolg)schades zoals winstderving of inkomensderving. Soms is sprake van bereddingskosten, verhuiskosten en kosten die iemand moet maken om tijdelijk elders te verblijven, of productie (tijdens herstel) elders uit te voeren. Ook kan worden gedacht aan schadebeperkingsmaatregelen en redelijke preventieve maatregelen die iemand neemt, nadat de (dreiging van aardbevings)schade ontstaat, juist om (meer) schade te voorkomen. Denk aan het stutten van gebouwen. Uit een recente uitspraak van de Rechtbank Noord-Nederland^[5] blijkt dat de burger bij een vergunde mijnbouwactiviteit moet dogen dat de activiteit plaatsvindt. De exploitant is wel verplicht om alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs gevraagd kunnen worden om te voorkomen dat schade wordt veroorzaakt door bodembeweging als gevolg van de winning. Als dan toch schade ontstaat, dan mag de schade volgens de rechtbank niet voor rekening komen van de benadeelde die moest gedogen. Schade moet voor rekening komen van degene wiens activiteiten aanleiding zijn geweest voor het ontstaan ervan en die van deze activiteiten economisch profijt heeft. Slachtoffers en (hun) onroerende goederen moet de exploitant nemen zoals deze zijn (inclusief hun kwetsbaarheid, bijvoorbeeld doordat lichter is gefundeerd dan gebruikelijk). Dit geldt ook voor indirecte schade, al moet wel opgemerkt worden dat het besproken bewijsvermoeden niet geldt voor aanvullende en/of indirecte schade.



1. Diana NLTH-model van een rijtjeswoning.



2. Modelleren met macro-elementen.

Op zoek naar de versnelling

De analyse en versterking van risicovolle woningen in Groningen lopen achter op de planning. Capaciteit, kennisontwikkeling en kennisdeling blijken van grote invloed op aanpak en proces van de bouwopgave. Maar is er al consensus over de rekencriteria? 'Naar onze mening heeft een nadere vaststelling van de verplaatsingseisen in de NPR de grootste prioriteit voor het (grootschalig) toepassen bij de komende opgave.' Moeten bij berekening van seismische weerbaarheid niet limieten of Acceptance Criteria worden opgelegd voor drift, rotatie en scheurwijdtes? Zo ja, dan heeft dat niet alleen gevolgen voor de individuele berekening maar voor de gehele opgave. Een raming van de laatste inzichten en de lessen tot nu toe.

ir. R.H.G. Roijackers RO, ir. J. Schaveling en ir. M.M.J. Spanenburg RC

Rudi Roijackers en Jaap Schaveling zijn senior seismisch adviseur en Mark Spanenburg is senior seismisch constructeur, allen bij BORG, een samenwerkingsverband op seismisch gebied tussen ABT, abtWassenaar, BAM Advies en Engineering, BAM Noord en BBN.

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) presenteerde in november 2016 het Meerjarenprogramma voor 2017-'21. Zijn opdracht is ongewijzigd ten opzichte van het plan 2016: 'Verbeteren van de schadeafhandeling en concrete maatregelen voor het bouwkundig en preventief versterken van woningen, monumenten en andere gebouwen. In combinatie daarmee het energetisch verbeteren van woningen. En het verbeteren van de leefbaarheid in de dorpen en maatregelen voor de versterking van de economie.'

De opdracht is dan wellicht ongewijzigd, maar de kennis en inzichten op het gebied van de seismische dreiging en de weerbaarheid van gebouwen zijn dat zeker niet.

Het veiligheidsniveau moet volgens de kamerbrief 'Gaswinning Groningen en meerjarenprogramma NCG' (18-12-2015) voor de inwoners van Groningen gelijk zijn als dat van mensen elders in Nederland. Concreet is dit nu ingevuld door te stellen dat binnen de 0,2g-contour (op basis van de KNMI-kaart van oktober 2015) alle woningen binnen vijf jaar geïnspecteerd en beoordeeld moeten zijn, om te kijken of ze voldoen aan de norm van 10^{-5} volgens NPR 9998. Zodra de resultaten van inspecties en berekeningen bekend zijn, moeten de woningen die niet blijken te voldoen, zo snel mogelijk, maar eveneens uiterlijk binnen vijf jaar worden versterkt om ze te laten voldoen aan de norm.

Volgens cijfers van het uitvoeringsorgaan Centrum Veilig Wonen (CVW) en NCG staan er in het aangewezen gebied ongeveer 22.000 woningen en 1.500 andere gebouwen. Het inspecteren, berekenen en beschouwen van al deze woningen is een grote taak. Gemiddeld komt dit neer op één woning of gebouw per 20 minuten gedurende de komende 5 jaar. Grote vraag is: hoe kunnen we de komende jaren deze opgave gestalte geven? We moeten op zoek naar een versnelling van de aanpak.

Rekenmethoden

Het mag voor de seismische constructeurs geen verrassing meer zijn dat er in basis vier methoden zijn om gebouwen seismisch door te rekenen.

1. Zijdelingse belastingmethode.
2. Spectrale modale responsberekening.
3. Niet-lineaire pushover-berekening.
4. Niet-lineaire tijdsdomeinberekening.

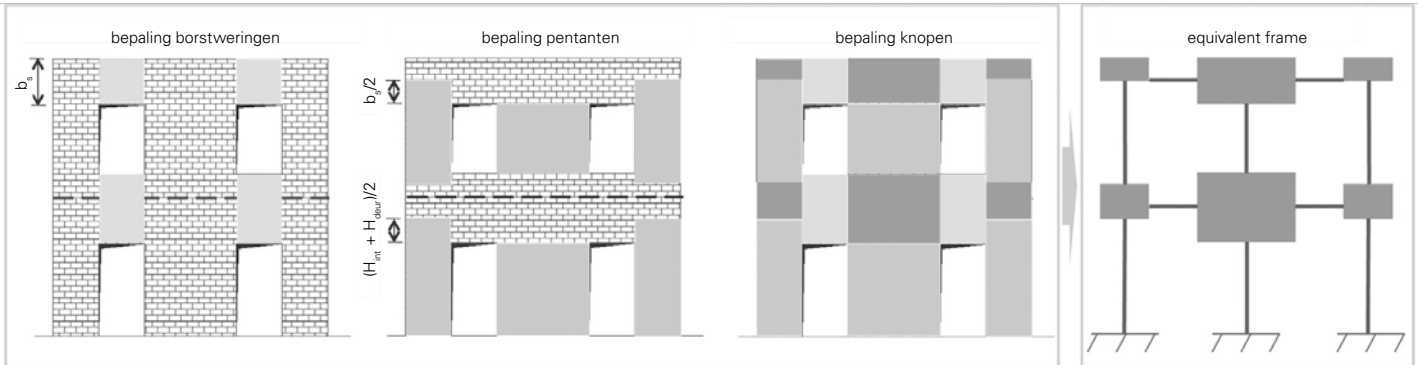
De eerste twee zijn geschikt voor een eerste beeld, maar ze voldoen niet ter definitieve beoordeling. Hiervoor zijn de rekenmethoden te onnauwkeurig en vaak conservatief, zeker voor gemetselde gebouwen. De laatste twee methodes zijn beter geschikt. Maar hoe kunnen de rekenmethodes ingezet worden en welke invloed heeft dit op de snelheid waarmee de opgave kan worden uitgevoerd?

Tabel 1. Toelaatbare drift van een gemetselde primaire seismische wand/penant in Near Collapse.

norm	normaalkracht en buiging	dwarskracht
NEN-EN 1998-3 ^[5]	C.4.2.2 1,07H ₀ /D	C4.3.1 0,53%
DBD 12 ^[5]	tabel 2.5 2,0-4,0% ¹⁾	tabel 2.5 0,4-0,6% ¹⁾
ASCE 41-13 ^[6]	tabel 11.4 100Δ _{tc,r} /h _{eff} ≤ 2,5%	tabel 11.4 1,0%

Met:

- H₀ = afstand tussen het punt waar de buigsterkte wordt overschreden en het contra buigpunt (m)
 D = diepte van het element in de krachtsrichting (m)
 Δ_{tc,r} = verplaatsing waarbij toe crushing (stuik) optreedt (m)
 h_{eff} = effectieve hoogte van het element (m)
 1) voor kalkzandsteen en bakstenen uit klei, uitgaande van géén knooprotaatie aan boven- of onderzijde



3. Wand geschematiseerd als equivalent frame.

en de criteria voor Groningen

Niet-lineaire tijdsdomeinberekening

Het afgelopen jaar is er veel ervaring opgedaan met de niet-lineaire tijdsdomeinberekeningen (NLTH's) (afb. 1). Hierbij worden constructies onderworpen aan een opgelegd versnellings- of verplaatsingssignaal. Het niet-lineaire materiaalgedrag wordt meegenomen in de iteratieve berekeningen. De rekenmethode is de meest geavanceerde van alle vier en er zijn goede resultaten mee behaald. Het belangrijkste voordeel van de NLTH is dat het de minst conservatieve van de vier methoden is. Ook kan met deze methode het meest gedetailleerd worden beschouwd op welke kritische onderdelen een constructie bezwijkt. De methode heeft ook nadelen.

- Om een juist antwoord te krijgen, is zeer gedetailleerde kennis van het gebouw noodzakelijk. Kleine details zijn erg belangrijk, maar vaak onbekend of moeilijk te achterhalen.
- De rekenmethode is tijdrovend. Zowel voor de modellering als voor het verkrijgen van de resultaten.
- De methode leent zich minder voor het doorrekenen van versterkingsalternatieven vanwege de lange rekentijden.
- Slechts een beperkt aantal ingenieursbureaus heeft kennis en ervaring met dit type berekeningen.

Daarnaast zijn er gedurende het laatste jaar

twijfels gerezen over de uitkomsten van de analyses. De NLTH-berekeningen geven vaak veel gunstiger resultaten dan de eenvoudigere sommen. Ook zijn de verschillen groter dan uit internationale voorbeelden verwacht zou mogen worden. De scepsis betreft onder andere of de resultaten van de analyse voldoende zijn als enkel de NLTH-som een evenwicht aan het einde van de berekening heeft gehaald. Of zijn er toch aanvullende Acceptance Criteria waaraan de constructie moet voldoen? Uitgangspunt is en blijft dat de bevindingen moeten corresponderen met relevante testresultaten van metselwerkwallen of op proefwoningen. Enkele acceptance criteria die worden overwogen, zijn:

- driftlimieten, die de maximaal acceptabele interstorey drift en gebouwdrift vastleggen;
- rotatielimieten, die de maximale rotaties van onderdelen van de structuur beperken;
- scheurlimieten, die de maximale scheurwijdtes van constructiedelen vastleggen.

Vergelijkbare Acceptance Criteria worden ook toegepast in buitenlandse normen zoals de Amerikaanse ASCE, de Nieuw-Zeelandse NZL of de Eurocode.

Als de fijnmazige 3D NLTH-modellen minder interessant worden, omdat al in een eerder stadium van de berekening op driftlim-

mieten de capaciteit van de woning wordt bereikt, dan is ook een eenvoudiger aanpak van de NLTH-berekening mogelijk op 3D-modellen met macro-elementen. De macro-elementen kunnen ook het bezwijkgedrag van wanden, penanten en lateien beschouwen, maar doordat er minder elementen zijn, kan de berekening veel sneller doorlopen worden. Het Nieuw-Zeelandse ANSR heeft deze mogelijkheid, maar ook de (niet commercieel verkrijgbare) academische versie van 3Muri kan dit (afb. 2).

Pushover-berekeningen

In plaats van een NLTH-berekening kan in veel gevallen worden volstaan met een eenvoudiger pushover-berekening. Die kan sneller aantonen wat de drift van een gebouw is bij een bepaalde aardbevingsbelasting. Die drift wordt veelal bereikt vóórdat de invloed van individuele kritische verbindingen zich laat gelden.

Een van de methodes om gemetselde wanden te modelleren, is het omvormen van een wand naar een equivalent frame^[4] (afb. 3). Het equivalent frame deelt een wand op in penanten, lateien en knopen. Samen vormen deze een raamwerk. De knopen blijven onvervormbaar. Al het niet-lineaire gedrag zit in de penanten en lateien. Dit is vergelijkbaar met de eerder genoemde macro-model-