

Het probleem van de foute NPR-PGA

Een keten van fouten leidt tot
veel stress en miljarden
onnodige kosten



Verkorte versie Dissertatie Geïnduceerde aardbevingen in Groningen

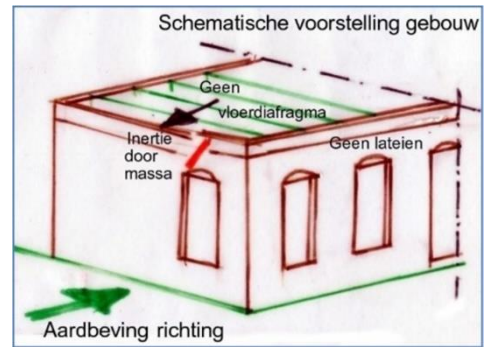
De noodzaak van een PGA-accepteerbaar
bepaling in plaats van de onmogelijke M_{max}

Dr.ing. Sjoerd Nienhuys, 2025 / 2026

Figuur 1. Betreft voorpagina foto.

Boven het eerste raam van de gestutte zijgevel zit een grote scheur. Die werd veroorzaakt doordat het midden van die gevel naar buiten is bewogen. Dit was mogelijk door het ontbreken van een verbindend vloerdiafragma van de eerste etage of zoldervloer. Bij woningen uit deze bouwperiode werden geen vloerdiafragma's toegepast.

Foto voorpagina door Emilie van Wijnbergen



Omslagontwerp en alle schetsen door Sjoerd Nienhuys.

Foto's door Sjoerd Nienhuys tenzij anders aangegeven.

Wanneer iemand auteursrecht heeft op foto's, gelieve zich bij Sjoerd Nienhuys te melden.

Disclaimer. Ik heb er alles aan gedaan om de bron van de afbeeldingen te herleiden en vermelden.

Grafieken zijn van gepubliceerde rapporten en websites, hoofdzakelijk uit 2022.

Deze verkorte versie heeft enkele opmerkingen over de november 2025 Zeerijp aardbevingen toegevoegd.

Het probleem van de foute NPR-PGA

Een keten van fouten leidt tot veel stress en miljarden onnodige kosten.

Dit is een verkorte versie van de dissertatie van 2025:

Geïnduceerde aardbevingen in Groningen, de noodzaak van een acceptabele PGA in plaats van de onmogelijke Mmax.

In relatie tot het document Burgerboek

“Duurzaam Herstel en Versterken van Woningen in Groningen”

Kernwoorden: Aardbevingen, angst, bewoner, geïnduceerd, compactie, CVW, funderingen, Groningen, IMG, informatie, KNMI, M-acc, magnitude, Mmax, Mw, NAM, NEN, NCG, paradigma, PGA-acc, PGAg, PECAG, Richter, Rotliegend, schade, tektonisch, veiligheid, woningbouw, zandsteen, Zechstein, zoutsteen.

Een digitale kopie van dit document staat op de website www.nienhuys.info pagina 2 en kan vrij worden gedownload en geciteerd onder bronvermelding.

<http://510790959.swh.strato-hosting.eu>



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	4
Voorwoord	5
Samenvatting	6
Tijdslijn aardbevingen Groningen (rood is basis van probleemontwikkeling).....	8
De 15 sterkste bevingen van Richter 3 en hoger.....	9
Hoofdstuk 1. Begrippen en theorie	11
Hoofdstuk 2. Commerciële bedrijfsvoering.....	21
Hoofdstuk 3. De speculatieve berekeningen.....	23
Hoofdstuk 4. Achtergrondproblematiek	25
4.1. De PGA-berekeningen in de NPR	28
Hoofdstuk 5. Het bepalen van de PGA-accepteerbaar.....	30
5.1. Verschillende gebouwtypologieën (typische bouwstijlelementen).....	31
5.2. Het veiligheidsrisico bij een verminderde gasproductie	32
Hoofdstuk 6. Belangrijkste vaststellingen en conclusies	33
Afkortingen.....	34
EINDNOTEN	36

Voorwoord

Na de aardbeving van 16 augustus 2012 bij Huizinge wilde de NAM weten wat er met het huidige gasexploitatiebeleid nog te verwachten was aan aardbevingen.ⁱ Onder andere werd de internationale consultant Arupⁱⁱ aangesteld die volgens bestaande risico (*Seismic Hazard*) regels een planning maakte, waarbinnen de ‘*retrofitting*’ of seismische versterking van meer dan 100.000 van de bijna 350.000 gebouwen werd voorgesteld. Na de mededelingen van de NAM en het KNMI over mogelijke, toekomstige (nog grotere) aardbevingen, ontstond er grote beroering onder de Groningse bevolking. Onderzoekers van de GGD en de RUGⁱⁱⁱ vermeldde in 2016 dat en minstens 10.000 Groningers **angstgevoelens en stress** hadden ontwikkeld vanwege dramatische toekomstbeelden en slechte schade afhandeling.

De consultants van de NAM hadden in 2013 berekeningen gemaakt op de basis van hun toen nog beperkte kennis van de diepe ondergrond,^{iv} en de toentertijd aanvaarde (meest tektonische) rekenmethoden. Die nieuwe berekeningen kwamen eerst uit op meer dan **10 maal de sterkte van de Huizingebeving** (vóór 2012 had de NAM een Mmax 4,1 uitgerekend).^{1 en i} Er was niemand van alle bèta-wetenschappers die stelde: “**dat kan niet, dat mag niet**”. Althans dat kwam niet naar buiten.

Op basis van de geschatte maximale aardbevingssterkte werd volgens de Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) methode ook de maximale piek grondversnelling (PGA) uitgerekend.^v Dat is dus óók een theoretische speculatie die nóóit gaat voorkomen. Uit die berekeningen volgde dat misschien 50% van alle gebouwen gedeeltelijk of geheel zou instorten. Wat men wél had moeten uitrekenen is wat de Groningse gebouwen aan bevingen konden doorstaan zonder al te veel schade (Damage Limitation, DL). Op basis van die informatie zou men dan de gasproductie moeten aanpassen en reguleren.

Vervolgens verplichtte de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) om met die onmogelijk hoge PGA-waarde van de NPR 9998 te gaan rekenen, inclusief het veiligheidsrisico van 10^{-5} dat door de Commissie Meijdam (foutief) werd vastgesteld.^{vi} Slechts slopen en nieuwbouw bleven een optie om gebouwen te beschermen tegen die extreem hoge PGA-waarden. Het betrof naar schatting 27.000 woningen. Ondertussen was de NAM betrokken bij de herstelkosten, maar foute aannames of strategieën en nieuwe regels **om aan de herstelkosten te ontkomen**, resulteerde in lange procedures, ontkennen, tegenwerken, bagatelliseren en weggijken en verkeerd kijken door de NAM/CVW schadeopnemers.

Wat het NEN, de NCG, de ingenieurs en politici of de RUG onderzoekers kennelijk niet in de gaten hadden was dat de prognosewaarden en de daarvan afgeleide PGA **volstrekt speculatief** waren.² Door de zeer hoge kostenprojecties die een combinatie waren van de extreem zware PGA-prognoses en de zwakke Groningse woningbouw, ontstond grote terughoudendheid van de NAM om echt ruimhartig te versterken. Sinds 2014 werd door de NAM een serie beperkende maatregelen ingevoerd om de schade-identificatie en daarmee de vergoedingen te beperken. De NCG berekende later dat voor 27.000 woningen sloop en nieuwbouw nodig was (10 jaar werk en € 10 miljard kosten). De sinds 2025 toenemende angstgevoelens en stress onder de bevolking was het resultaat van **verkeerde, misleidende informatie en daaraan gekoppeld verkeerde maatregelen**.

¹ De Mmax is een puur theoretische waarde van de allerzwaarste beving die nóóit gaat voorkomen. Wanneer je die uitkomsten gaat gebruiken voor de maximale grondversnelling (PGA) gaat die dus ook nóóit voorkomen.

² Dat hadden de NAM-consultants, het KNMI en het SodM wel in de gaten en dat werd ook meermalen in hun rapporten vermeld. Die informatie werd kennelijk niet doorgegeven aan de andere organisaties, terwijl die andere organisaties ook geen onderzoek deden naar de oorsprong van die hele hoge PGA-waarde.

Samenvatting

De eerste beving die met de gaswinning samenhang, trad al in 1976 op, maar pas in 2012 kwam er een relatief grote beving (Richter 3,6) nabij Huizinge.^{vii} De NAM beweerde dat ze hier niet op gerekend had³ en gaf het KNMI de opdracht om uit te rekenen wat er nog meer zou kunnen komen. De consultants hebben kennelijk een rekenmodel gehanteerd dat vooral gebaseerd was op zogenaamde tektonische aardbevingen, en een combinatie van tektonisch en geïnduceerde. Ondertussen voerde de NAM de gaswinning op, zonder dat dit direct bekend werd.

Het KNMI kwam in 2013 tot een verwachte PGA-waarde die wel **vijfmaal** zo groot was als de verticale PGA bij Huizinge. Iedereen met enig bouwkundig benul en kennis van aardbevingen had zich kunnen realiseren dat dit inhield dat ongeveer **100.000 huizen in de provincie Groningen gedeeltelijk of geheel zouden instorten, met vele doden als gevolg**. Arup had dat ook zo berekend. Sommige Groningers met gescheurde woningen vreesden mogelijk voor instortingen bij verdere bevingen.

In een latere (2016) internationale Workshop op Schiphol^{viii} werden nog **heel veel zwaardere** prognoses gemaakt (Richter 6,5 = meer dan 1000 maal de sterkte van de Huizingebeving). Met die theoretische en speculatieve prognoses werd opnieuw een zeer onwaarschijnlijk hoge PGA_h afgeleid (de maximale grondversnelling).⁴ Deze kwam in de NPR 9998:2015.

De berekeningen waren op basis van onvoldoende gegevens, geëxtrapoleerd en gebaseerd op tektonische methodes waarbij meerdere en extra hoge onzekerheidsmarges werden aangenomen en doorgerekend lang voorbij het opraken van het aardgas. Pas met de documentatie die in 2022 vrijkwam met de PECAG kwamen via de Wet op Openbaar Bestuur (WOB) oude gegevens boven tafel die meer informatie gaven over de (foute/tekort schietende) rekenmethodes die de consultants in 2013 toepaste.^{ix}

Het eerste berekende resultaat (2014, PGA 0,42g) was vergelijkbaar met een ‘voorspelling’ dat toekomstig verkeer in het binnenstedelijk gebied zich met **achtmaal** de toegestane snelheid zal voortbewegen (240 km/uur). Iemand die dergelijke ‘voorspellingen’ over het verkeer doet, zou niet serieus genomen worden, maar dat gebeurde wel met de nieuwe berekeningen van de M_{max} en de PGA. Een half jaar later werd dit PGA 0,36g.



Figuur 2. Vergelijking verkeer en gaswinning. In een woonwijk max (30 km/uur) is het onzin om te plannen dat er 240 km/uur wordt gereden. Om die topsnelheid als rekenbasis of planning voor het stadsverkeer aan te nemen is onzinnig.

³ De zwaarte van Richter 3,6 van de Huizingebeving is ongeveer **1/4 van de sterkte** van Richter 4,1 die de NAM eerder had uitgerekend. Er kan na meer dan 13 jaar geconstateerd worden dat die eerste berekening redelijk was.

⁴ De verticale PGA bij ondiepe aardbevingen (3 km in Groningen) is meestal hoger dan bij vele malen dieperliggende tektonische aardbevingen omdat de schokken uit het hypocentrum zich vrij direct (1 tot 3 seconden) bij het epicentrum manifesteren. In Groningen heeft de zachte/natte bovengrond ook een invloed op de PGA.

Behalve aardbevingen veroorzaakte de aardgaswinning ook bodemdalingen, en daarmee een relatieve verhoging in de grondwaterstand, die indirect van invloed was op de fundamente van woningen en de landelijke water- en riool-infrastructuur. Dat herstellen zou zo moeten gebeuren dat toekomstige (mogelijk zwaardere) bevingen geen schade meer zouden veroorzaken. Dat is allemaal niet gebeurd. De NAM probeerde eerst om van alles om de ontstane schade te ontkennen en uitsluitingen te stellen. Schade aan de fundamente van huizen werd niet eens bekeken. Overige schade werd slechts cosmetisch gerepareerd, en de kosten van procedures zoals overleg, inspecties en rapporten door schade-experts en contra-experts, arbitrage bedroegen wel **driemaal** het bedrag dat uiteindelijk aan de reparaties zelf werd besteed.

In de loop der jaren werden de Mmax en Richter ‘voorspellingen’ aangepast, met het curieuze gevolg dat door de veranderende verwachtingen bij exact dezelfde en dicht bij elkaar gelegen woningen totaal verschillende maatregelen werden genomen. Eerst werden de scheuren cosmetisch weggewerkt, een jaar later werden andere woningen als *total loss* beschouwd, omdat ze niet bestand zouden zijn tegen toekomstige extreme bevingen. Weer later werden dezelfde type woningen alleen wat gerepareerd, omdat bij de te verwachten minder sterke bevingen het huis zou blijven staan, **maar dan wel zwaar beschadigd**.

Een belangrijke conclusie is dat theoretische wetenschappers of mijnbouwbedrijven de door hen berekende Richterwaarden niet mogen verspreiden als publieke informatie. Deze informatie is bijna onbegrijpelijk voor de media en de burger en **helemaal niet relevant** bij geïnduceerde aardbevingen. Immers, deze mijnbouwprocessen kunnen gestuurd worden door menselijk handelen.

Er zijn wel acht momenten geweest waarbij men tot het inzicht had kunnen komen om de Mmax niet te gebruiken en de PGA-max niet op die basis te berekenen.

1. De opdracht van de NAM naar de KNMI om de zwaarst mogelijke beving te berekenen.
2. De rekenresultaten van de KNMI die teruggekoppeld werden naar de NAM en diens consultants.
3. De beoordeling van de KNMI-rekenresultaten door het SodM op 16 januari 2013.
4. De beoordeling van de externe consultants op het nieuwe Winningsplan 2013.
5. De publicatie naar de media van de nieuw uitgerekende Mmax door de NAM.
6. De NPR commissie van de NEN die het KNMI PGA-kaartje aannamen als mogelijk voorkomend.
7. De consultant engineers van de NAM die prototype versterkingen gingen bouwen op NPR-basis.
8. De engineers van de NCG die verplichtte om met de NPR (kaartje) te gaan rekenen.

Al die ingenieurs hadden kunnen bedenken dat een PGA 0,36g tot zware beschadiging en zelfs volledige instorting van tienduizenden oude bakstenen woningen in de provincie Groningen het gevolg zou hebben. Dat zou mogelijk honderden doden kosten, iets dat juridisch totaal ontoelaatbaar is. Er had op tijd goede actie ondernomen moeten worden om zwakke gebouwen voldoende seismisch te versterken (retrofitten) zodat er nergens instortingsgevaar of **excessieve** schade ontstaat.⁵ Dit laatste werd in zekere mate gedaan door het wegnemen van hoogrisico elementen zoals de bakstenen schoorstenen.

De algemene conclusie is dat men de mogelijke PGA niet had mogen afleiden van de onmogelijke Mmax, maar die had gebaseerd moeten zijn op wat voor de bevolking toelaatbaar is. In plaats van een PGA-max berekening en normgeving had men de maximale toelaatbare PGA moeten bepalen.

⁵ Wanneer de bewoner weet dat de schade niet erger wordt en binnen het jaar de woning wordt opgeknapt of versterkt, op kosten van de schadeveroorzaker, zal deze niet gauw in de stress raken. Echter, als echter de bewoner wordt wijsgemaakt dat er **binnenkort nog veel zwaardere aardbevingen** gaan komen (is gebeurd), en dat er eendeloos onderhandeld moet worden over de geleden schade op basis van foute rapporten (is gebeurd, en nog steeds), en het jaren duurt voordat er iets gebeurt (is ook al zo), en dat wat er gebeurt helemaal geen seismische versterking is (is vaak geconstateerd), dan wordt die bewoner financieel benadeeld en in een grote uitzichtloze stress gejaagd. Dit laatste is het lot van tienduizenden Groningers (ook in 2025 nog steeds).

Tijdslijn aardbevingen Groningen (rood is basis van probleemontwikkeling)

1943. Eerste olieveld ontdekt bij Schoonebeek.

1947. Oprichting NAM (Shell en Esso). **Bedrijfsmodel gebaseerd op winst voor aandeelhouders.**⁶

1959 tot 1963. Van ontdekking tot eerste exploitatie aardgas en aanleg van landelijk gasdistributienetwerk.

1986. Eerste aardbeving bij Assen, aardgasveld Eleveld. **NAM ontkent dat de oorzaak de gaswinning is.**

Tot 1990. Twintig jaar elastische compactie van Rotliegend zandsteen met lichte trillingen.

Vanaf 1990 meer NAM-onderzoek naar gedraging diepe ondergrond en plaatsing meer trillingsmeters.

2006. Aardbeving Richter 3,5 Westeremden, $PGA_v 0,06g$. **NAM ontkent dat de oorzaak de gaswinning is.**

2007. NAM onderzoekt maximale sterkte aardbevingen. ($M_{max} 4,1 = 4 \times$ sterkte Richter 3,5).

2008. Aardbeving Loppersum Richter 3,2. Dit is half zo sterk als de Westeremdenbeving van 2006.

2009. Aardbeving Zeerijp Richter 3,0. Oprichting GBB. **NAM doet slechts cosmetisch herstel.**

2012. Huizinge.beving Richter 3,6. $PGA_v 0,085g$ en $PGA_h 0,05g$. NAM erkent relatie gaswinning en nivelleert, en **voert ook gasproductie op in de verwachting dat er binnenkort geen grotere bevingen komen.**

2013. NAM geeft opdracht **herberekening van M_{max}** . Arup maakt plan voor seismisch versterken op basis **$PGA 0,55g$** . NAM stelt ruimhartige beoordeling schade met A-B-C regeling, **maar introduceert daarna steeds meer beperkende voorwaarden**. Het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) adviseert Ministerie economische Zaken (EZ) om gaswinning sterk te reduceren. EZ instrueert NAM tot sterke vermindering productie. Opleiding RUG voor berekening van gebouwen op seismische belasting met Eurocode 8.

2014. Rapport: 'Vertrouwen op Herstel en Herstel van Vertrouwen.' (toegezegd € 1.182 miljoen). **NPR-bepaling $PGA_h 0,42$ als rekenbasis voor seismisch versterken ($8 \times$ Huizinge??!!)**. Opname van schade aan woningen en begin verwijderen hoogrisico-elementen. Testen van draconische versterkingsmethoden. Plan voor toepassing *base-isolation* monumenten. **Vertalen en "verbeteren" Eurocode 8 naar NPR 9998:2015.nl.**

2015. **Herziening van eerste kaartje NPR 9998 naar $PGA_h 0,36g$** . Oprichting CVW. Aanstelling NCG. **NAM/CVW maakt steeds meer beperkende voorwaarden met als gevolg veel arbitrage en kosten.** **Voortzetting van slechts cosmetische reparatie**, seismisch versterken Openbare Basis Scholen. Design competitie voor het ontwikkelen van versterkingssystemen voor de woningbouw. **Systematische versterking en nieuwbouw van woningen begint pas in 2016, meer dan drie jaar na de Huizingebeving.**

2016. **NCG verplicht te rekenen met NPR- $PGA 0,36g$ en 27.000 woningen worden als onveilig beoordeeld??!!** Groeiend onveiligheidsgevoel onder de bevolking en protesten over herstelmaatregelen.

2016-2018. Onderzoeken GGD en Gronings Perspectief. 10.000 inwoners hebben angstgevoelens en stress. **Vermindering van planning sloop en nieuwbouw voor 27.000 woningen.** EZ (Wiebes) wil engineering van woningen stopzetten en relatie bevingen en gasproductie onderzoeken. NCG Hans Alders stapt op.

2018. Aardbeving Zeerijp, Richter 3,5 $PGA_v 0,11g$ is 25% kleiner dan de Huizingebeving. **Opnieuw onrust.**

2021. **Ongeveer 75% van alle kosten zijn door moeizame procedures, slechts 25% kosten aan herstellkosten. Daarvan is heel weinig aan seismisch versterken. Oprichting aparte IMG voor schade. NCG doet seismisch versterken inclusief sloop en nieuwbouw op basis van achterhaalde NPR- PGA -waarden.** De Parlementaire Enquête Commissie Aardbevingen Groningen (PECAG) wordt opgezet. Gasvelden naar waakvlam.

2018-2025. Vermindering van aantal en frequentie van schokken en trillingen uit het Groningse gasveld.

2023. PECAG doet verslag van onderzoek. Aanvullende onderzoeken Gronings Perspectief naar bevolking.

2024. Einde gaswinning uit Groningse veld. Weerstand over gaswinning in het Waddengebied.

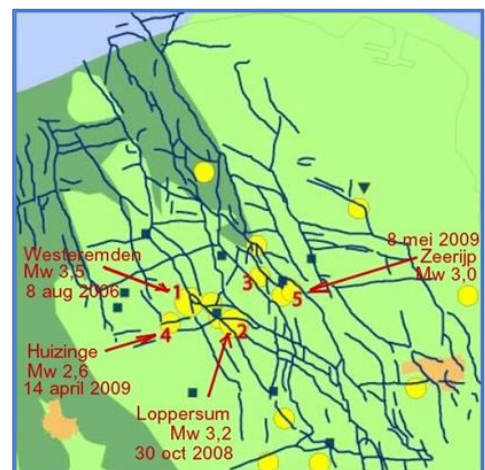
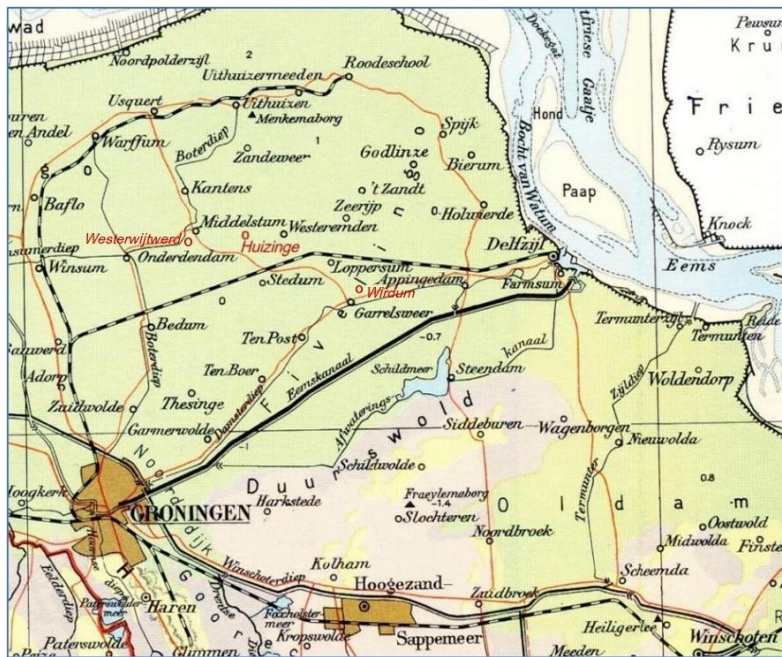
2025. Aardbeving Zeerijp Richter 3,5 met $PGA_v 0,08g$. **Opnieuw onrust over mogelijke bevingen.**

⁶ Dit is een gunstig (verdien)model voor industriële ontwikkeling, maar gaat vaak voorbij aan de belangen van de omringende bevolking of de Natuur in de directe omgeving (uitstoot, schade). Een beter bedrijfsmodel is dan een coöperatie (met bewoners) of een 'steward-owned' ondernemingsmodel.

De 15 sterkste bevingen van Richter 3 en hoger

Hieronder staan de 15 sterkste aardbevingen groter of gelijk aan Richter 3,0 in Groningen: Van de meeste bevingen is de PGA_v niet (eenvoudig) te vinden.

				Displacement
1.	8 augustus 2006	te Westeremden,	Richter 3,5 PGA_v 0,06g	32 ± 15 mm
2.	30 oktober 2008	te Loppersum,	Richter 3,2	15 ± 6 mm
3.	8 mei 2009	te Zeerijp,	Richter 3,0	
4.	26 juni 2011	te Westeremden,	Richter 3,2	
5.	27 juni 2011	te Garrelsweer,	Richter 3,2	
6.	16 augustus 2012	te Huizinge,	Richter 3,6 PGA_v 0,085g PGA_h 0,05g	
7.	7 februari 2013	te Zandweer,	Richter 3,2	
8.	16 november 2013	te Garrelsweer,	Richter 3,2	
9.	25 januari 2013	te Westeremden,	Richter 3,1	
10.	30 september 2015	te Hellum,	Richter 3,1	
11.	8 januari 2018	te Zeerijp,	Richter 3,4 PGA_v 0,11g	
12.	22 mei 2019	te Westerwijtwerd,	Richter 3,4	
13.	16 november 2021	te Garrelsweer,	Richter 3,2	
14.	8 oktober 2022	te Wirdum,	Richter 3,1 PGA_v 0,06g	
15.	14 november 2025	te Zeerijp,	Richter 3,5 PGA_v 0,08g PGA_h 0,05g	

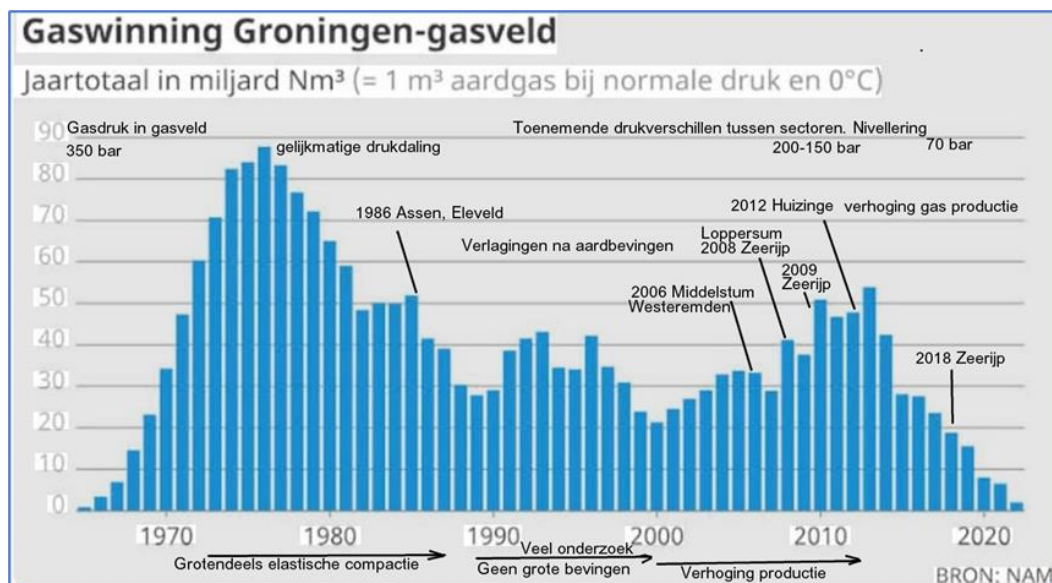


Figuren 3. Kaart van Groningen. Bron: Schoolatlas der gehele aarde 43^{ste} druk. 1964

Links. Huizinge is rood ingetekend. De gemeente Loppersum omvatte in 1990 ook de dorpen Stedum, Middelstum en 't Zand. De gemeente Eemsdelta, samen met Garrelsweer, Westeremden, Zeerijp en Zandweer waren de locaties van de grootste aardbevingen. Rechts. Aardbevingen vóór de Huizingebeving 2012 met locatie.

Bron KNMI, en https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_zwaarste_aardbevingen_in_Nederland

De NAM monitorde al vanaf het eerste begin (1970-'80) van de gaswinning de effecten van compactie en de sterkte van de trillingen. Na de Huizingebeving zijn het aantal seismografen en andere trillingsmeters sterk uitgebreid, waarbij er ook diepe geofoons werden aangelegd (2014). Op bases van de vele seismografen kon daardoor steeds preciezer de sterkte en locatie van de trillingen en de scheuren in het zandsteen worden vastgesteld.



Figuur 4. Verloop gasproductie met grootste bevingen tot 2022.

Tekst is toegevoegd. Na grotere bevingen werd de winning tijdelijk verlaagd, maar niet na de 2012 Huizingebeving. Er werd al wel nivellering toegepast om drukverschillen tussen de sectoren in het gasveld te verminderen.

De algemene problematiek van de gaswinning begint hier met een commercieel bedrijf dat voor de aandeelhouder zoveel mogelijk winst moet maken, en een overheid die een belangrijke inkomstenbron voor de nationale uitgaven zag. Met de opbrengst werd gedurende tientallen jaren royale gemeenschappelijke voorzieningen gefinancierd zonder dat er reserves werden opgebouwd voor de toekomst. Product- en inkomsten-maximalisatie (bedrijf en overheid) waren de kernbelangen van de activiteiten.

Het is nuttig dat er schattingen gemaakt worden over de mogelijk zwaarste bevingsscenario, maar de focus moet zijn op het voorkomen van grote on- of niet-accepteerbare schade. Productmaximalisatie zou moeten inhouden hoe men op de lange termijn voor iedereen de meest gunstige uitkomst krijgt. Dat is dus niet veel schade en ellende veroorzaken en voortijdig stoppen met de gaswinning.

Aan de ene kant wilde (feitelijk moest) de NAM de schadevergoeding zorgvuldig toepassen, maar met een beperking van de onkosten in gedachten. Aan de andere kant volgde men de internationale seismische procedure dat eerst de publieke gebouwen versterkt moesten worden, met het resultaat dat de aanpak voor de woningbouw achterbleef.

Het herstelproces kwam daardoor zeer langzaam van de grond. Dat alles resulteerde in toenemende stress onder de bevolking en dat resulteerde uiteindelijk in 2000 in een Parlementaire Enquête Commissie Aardbevingen Groningen (PECAG). De financiële situatie van het versterkingsprogramma en de sociale onrust daarover staan uitvoerig beschreven in het eindrapport van de PECAG op hun website.^x

Hoofdstuk 1. Begrippen en theorie

Ook in het boek ‘Duurzaam Herstel en Versterken van Woningen in Groningen’ staan de definities en begrippen uitgelegd in het eerste hoofdstuk.⁷ Kennis van de definities is belangrijk voor het begrip.

De Mmax of theoretisch maximum aardbeving

Dit is een puur theoretisch berekend getal (bij tektonische aardbevingen) die wegens gebrek aan data rond 2012/2013 niet te schatten viel voor de Groningse geïnduceerde bevingen. Gesteld dat de speculatieve theorieën van toepassing zouden zijn op geïnduceerde aardbevingen, dan zal de grootte sterk afhangen van het gedrag van de veroorzaker van de bevingen (de NAM). Die NAM wist heel goed dat bij minder of langzamere gasexploitatie er minder (zware) bevingen zouden komen.

S.J. Bourne.^{xi} Geeft in 2022 aan dat: *de Mmax de kleinste **onmogelijke** aardbevingssterkte is. Het is niet de grootste historische magnitude. De Mmax is niet de grootste te verwachten magnitude. Het is geen magnitude met een beperkte return periode. De Mmax is nooit registreerbaar.*

De NAM wist in 2012 ook dat men best de gasproductie na de Huizingebeving kon opvoeren om het met de overheid afgesproken periode-productiequota voor de afgesproken periode (2008-2013) te kunnen halen. De berekeningen en statistieken wezen uit dat een volgende zwaardere aardschok in dezelfde regio tenminste meer dan twee jaar later zou komen. In werkelijkheid was de Zeerijpbeving van januari 2018 ongeveer vijf en een half (5,5) jaar later dan de Huizingebeving. Meer gas is meer (korte-termijn) winst.

Richter.

De KNMI bepaalt aan de hand van meerdere seismografen de Richterwaarde.⁸ De Richterwaarde is een logaritmische schaal. **Een punt Richter hoger is een 10 maal zo zware beving.** Twee hele punten Richter is een **100 maal zo zware aardbeving**. Een tiende punt hoger is ongeveer 1,26 maal zwaarder.

De beving op 8 augustus 2006 te Westeremden was **Richter 3,5** met $PGA_{\text{verticaal}} 0,06g$. De 2010 Mmax berekening was Richter 4,1 of **viermaal zo sterk als Richter 3,5**.

De (dubbele) beving op 16 augustus 2012 te Huizinge was Richter 3,6 met $PGA_{\text{verticaal}} 0,085g$. De horizontale component was lager met $PGA_{\text{horizontaal}} 0,05g$.

De beving van 14 november te Zeerijp was Richter 3,5 met $PGA_{\text{verticaal}} 0,08g$ en $PGA_{\text{horizontaal}} 0,05g$.⁹

De naschok in de ochtend van 14 november te Zeerijp was Richter 2,1 met een sterkte van ongeveer $1/20^{\text{ste}}$ van de sterkte van de eerdere beving.

Logaritmische schaal van Richter

De aardbevingssterkte wordt door het KNMI aangegeven in “Richter”.

Richter 4 is **tienmaal** zo sterk als Richter 3. Richter 5 is **tienmaal** zo sterk als Richter 4.

Dus: **Richter 6 is duizendmaal zo sterk als Richter 3**. Dat is $10 \times 10 \times 10$.

⁷ Dit Burgerboek is in haar geheel en in hoofdstukken down te loaden van mijn website www.nienhuys.info

⁸ Sinds een aantal jaren gebeurt dat met nieuwe software en via veel meer meetpunten dan bij de 2012 Huizingebeving nog niet voorhanden waren. De metingen zijn afgerond op een cijfer achter de komma (10%).

⁹ Er is in Zeerijp wel een veel hogere piek ($PGA_v 0,2g$) met een duur van slechts 0,02 seconde gemeten, die wel een knal en scheur kan opleveren, maar vanwege de korte duur en de kleine horizontale verplaatsing geen structurele schade. De horizontale vervolgschokken (samen minder dan 1 sec.) waren van de sterkte tot $PGA 0,05g$.

Figuur 5. De logaritmische schaal

De 2012 Huizingebeving is 0,1 punt sterker dan de recente Zeerijpbeving op 14 november 2025. Dat lijkt niet veel, maar Richter is een logaritmische waarde.

Een 0,1 punt verschil geeft $10^{0,1} = 1,26$ en is dus **26% sterker**.

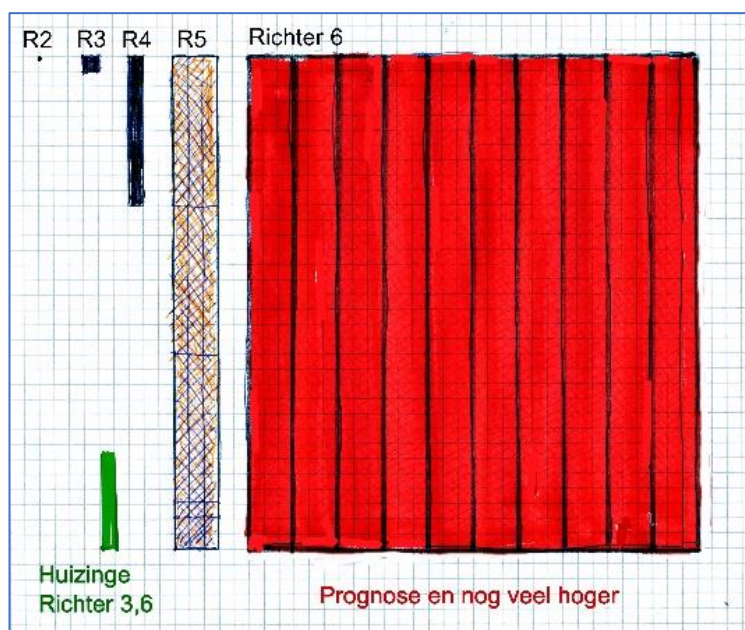
Een 0,2 punt verschil geeft $10^{0,2} = 1,58$ en is dus **60% sterker**.

Een 0,3 punt Richter verschil geeft $10^{0,3} = 2$, en is dus **100% sterker**.

Een 0,4 punt Richter verschil geeft $10^{0,4} = 2,5$ en is dus **150% sterker**.

Een 0,5 punt Richter verschil geeft $10^{0,5} = 3,16$ en is dus ruim tweemaal zo sterk.

Enzovoort.



De middernachtelijke beving 14 november in Zeerijp 2025 was met Richter 3,5 ongeveer 20 maal zo sterk als de naschok in diezelfde ochtend van Richter 2,1. In januari 2026 (rond 15:45 uur) is er nog een kleine naschok van Richter 1,2 in Zeerijp, die waarschijnlijk door veel mensen niet gevoeld zal zijn. De Zeerijpbeving van 14 november 2025 was wel een van de zwaarste bevingen in Groningen, maar ook 25% lichter dan de dubbele Huizingebeving uit 2012. In vergelijking met tektonische aardbevingen was het geen zeer zware schok¹⁰ maar een lichte aardbeving.

Tektonische versus geïnduceerde aardbevingen

In de onderstaande schematische tekening van een tektonische subductieplaat is het Groningse veld ingetekend. Hierdoor ziet men duidelijk de schaalverschillen tussen de tektonische aardbevingen en geïnduceerde. De diepte van dat zandsteen is slechts 3 km en met een lengte van maximaal 60 km en een dikte van slechts 200 m. Het is goed voor te stellen dat een dergelijk klein veld niet dezelfde krachten kan genereren als een tektonische aardbeving.



Figuur 6. Schematische doorsnede met het Groningse veld ingetekend.

Er zijn tenminste 30 verschillen tussen de lichte tektonische en de veel zwaardere geïnduceerde aardbevingen. Deze zijn meer uitgebreid aangegeven in de dissertatie.

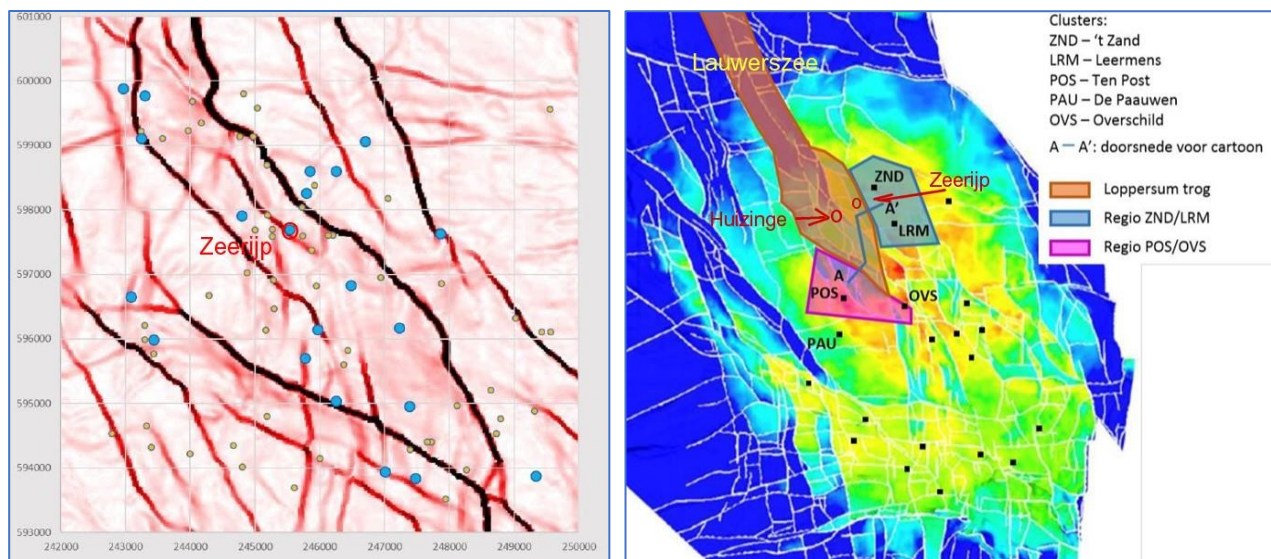
¹⁰ De sterkte van een beving wordt in 2025 door het KNMI bepaald aan de hand van een middeling tussen de waarden van een 20-tal seismografen in Groningen. Dat was in 2012 niet het geval. De nauwkeurigheden van de 2012 en de 2025 metingen zijn dan ook verschillend.

- Bij de Groningse aardbevingen ontstaan bijvoorbeeld géén horizontale verschuivingen in de aardlagen. Die aardbevingen in Groningen zijn veroorzaakt door het plotseling een beetje inzakken van het zandsteen en er zijn zelden grote naschokken¹¹.
- Het over het 200 m (dunne) Rotliegend licht een veel dikkere zoutsteenlaag (Zechstein). Deze voorkomt enerzijds het inzakken van het zandsteen over een breed stuk, maar na enkele jaren kunnen de naastliggende zandsteen gedeeltes wel weer inzakken.
- Bij geïnduceerde aardbevingen is de verticale PGA meestal groter dan de horizontale, terwijl bij tektonische bevingen niet alleen de horizontale de grootste is maar er ook grote horizontale verplaatsingen kunnen voorkomen. In de NPR 9998 wordt dat aspect niet correct meegenomen.

Het berekenen van de sterkte van geïnduceerde aardbevingen mag niet op basis van tektonische bevingen omdat geïnduceerde aardbevingen door menselijk handelen gestuurd kan worden.

Ontstaansgeschiedenis Groningse aardbevingen

De geïnduceerde aardbevingen in Groningen hebben een ontstaansmechanisme die totaal anders is dan bij tektonische bevingen. In Groningen is een dunne, vlakke, ietwat poreuze zandsteenlaag vol breuklijnen (600) die inzakkt/instort doordat er gas uit gehaald wordt. Berekeningen die gebaseerd zijn op tektonische bevingen die op honderden kilometers afstand worden waargenomen zijn niet van toepassing op de Groningse bevingen. Door de aanname van meerdere theoretische mogelijkheden van kettingreacties door de relatief kleine geïnduceerde bevingen, kwamen sommige Mmax berekeningen uit op heel grote waarden, die wel 100 maal de Richterwaarden voor de toekomst suggereerden.



Figuren 7. Grootste diepliggende breuklijn en aardbevingen juli 2013.

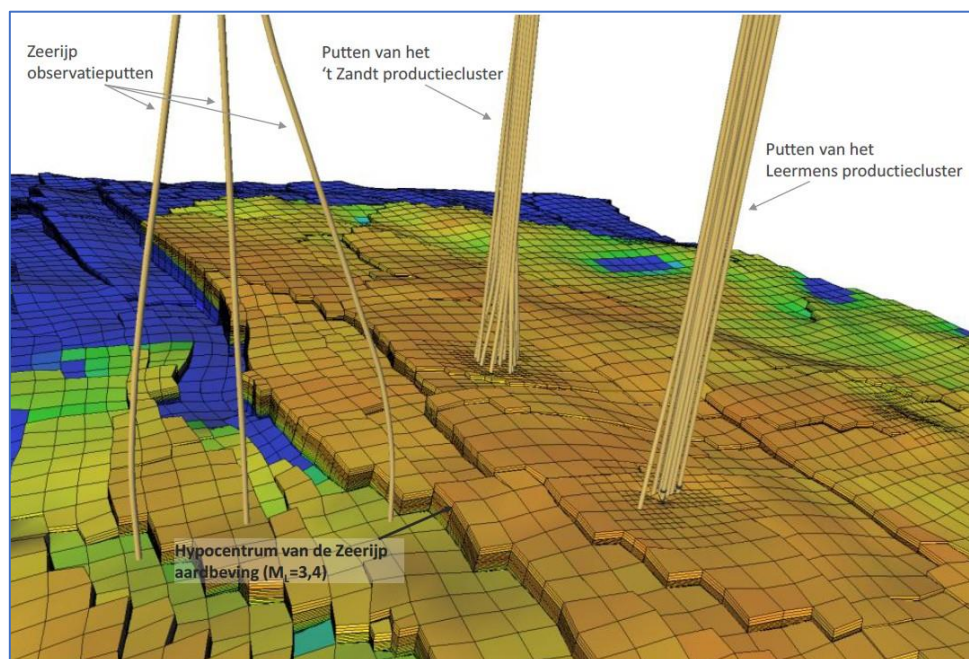
Links: Lauwerszee diepe breuklijnen (zwart). Bron: NAM, Technical addendum to the Winningsplan Groningen^{xii} November 2013. Rechts: Zones met de drie epicentrumregio's. De grote breuklijn loopt tot aan Overschild midden in het Groningse gasveld. Bron: SodM Advies Groningen-gasveld n.a.v. aardbeving Zeerijp 2018 met het hele gasveld.

Onderstaande afbeelding. De top van het zandsteen (geel-oranje) met de putten (in 2025 gesloten) en de Zeerijp observatieputten. De kleur blauw geeft aan dat het reservoir watervoerend. Onttrekken van water veroorzaakt een directe instorting zoals ook bij olievelden gebeurt. Omdat het hoogteverschil in de zandsteenlaag hier het grootste is treden hier ook de grootste bevingen op.

¹¹ Bij de 14 november beving te Zeerijp (Richter 3,5) was er kennelijk wel een duidelijk voelbare naschok van Richter 2,1. Die sterkte was minder dan 8% van de Richter 3,5 sterkte en overdag voor veel mensen niet voelbaar.

Figuur 8. Het model van het Groningen-gasveld rond Zeerijp.

Bron: Speciaal Rapport over de aardbeving bij Zeerijp op 14 november 2025.^{xiii}



De compactie

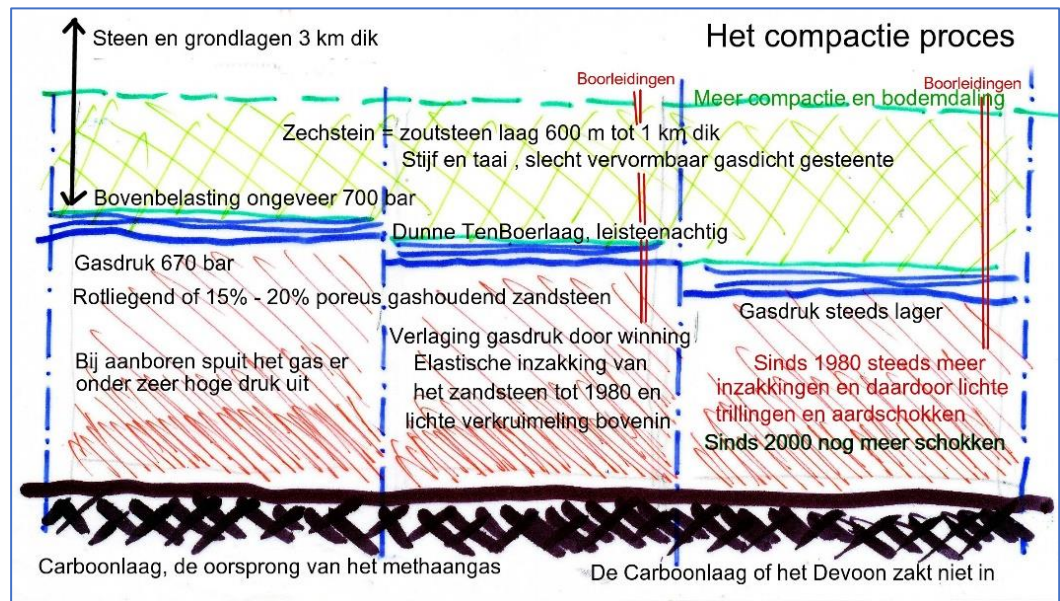
Naarmate er meer gas omhoog gehaald wordt (spuit), daalt de gasdruk in de poriën van dat zandsteen. De draagkracht van de zandsteenlaag (Rotliegend) is een combinatie van de sterkte van dat zandsteen en de hoge gasdruk. Als de gasdruk in het zandsteen daalt neemt de drukkracht op het zandsteen toe en begint het zandsteen te verkrumelen en in te zakken. Aan het oppervlak ontstaan dan verticale schokken en ook horizontale vanuit het epicentrum.¹² De horizontale component is een belangrijk risico, want huizen zijn vooral erop gebouwd om de verticale belasting te weerstaan. Boven op het zandsteen bevindt zich een bijna een kilometer dikke zoutlaag (Zechstein) die het snelle inzakken iets voorkomt en dempt, maar niet helemaal opvangt.¹³

Het onttrekken van gas (het wordt niet opgepompt, feitelijk spuit het er eerst onder hoge druk uit) veroorzaakt een drukverlaging. In de jaren van 1965 tot ongeveer 1975 was er slechts elastische samendrukking (compactie). Daarna beginnen de eerste (nauwelijks) voelbare instortingen waar de boorbuizen zitten. Naarmate de interne gasdruk daalt onder de 200 bar gaan de instortingen sneller en komen ze vaker voor (sinds 2000). De dikke zoutsteenlaag remt instortingen over een breed gebied, maar na verloop van tijd kan de naastliggende sector (waar geen boorbuizen zitten) ook inzakken. Die schok zal dan wat minder fel zijn, tenzij er grote hoogteverschillen tussen de sectoren zijn (regio Zeerijp).

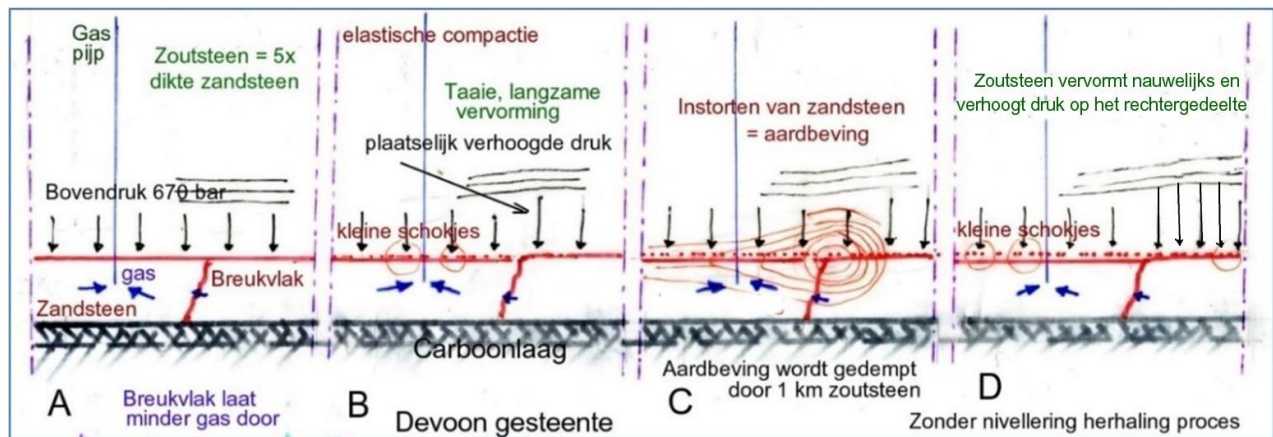
Het Zechstein breekt niet; de dunne TenBoer-laag wel. Het vervormen van het dikke Zechstein kan over vele jaren gebeuren. Hoe dunner het Zechstein, hoe sneller dat zal gaan. Met het instorten (C) ontstaat er eerst een verhoging van de druk op de breukrand van het zandsteen (Rotliegend), maar door de gasnivellering en het instorten van het naastliggende gedeelte gaat die extra druk weer verdwijnen. Wanneer naastliggende zandsteen sectoren onderling tientallen meters hoogteverschil hebben kunnen de schokken langs de breuklijnen sterker zijn.

¹² Metingen geven aan dat de verticale schokken in Groningen ongeveer 60% zwaarder zijn dan de horizontale. In de NPR echter wordt slechts een enkele PGA aangegeven en een rekenformule dat de verticale PGA 15% is van de horizontale. De hele hoge PGA van de NPR is echter gebaseerd op de hoge verticale PGA.

¹³ In de verschillende berekeningen is het dempende effect van die Zechsteinlaag onvoldoende meegerekend. Ook laat de geringe dikte van het zandsteen geen horizontale verschuivingen toe.



Figuur 9. De verschillende fasen van het compactieproces in een sector.



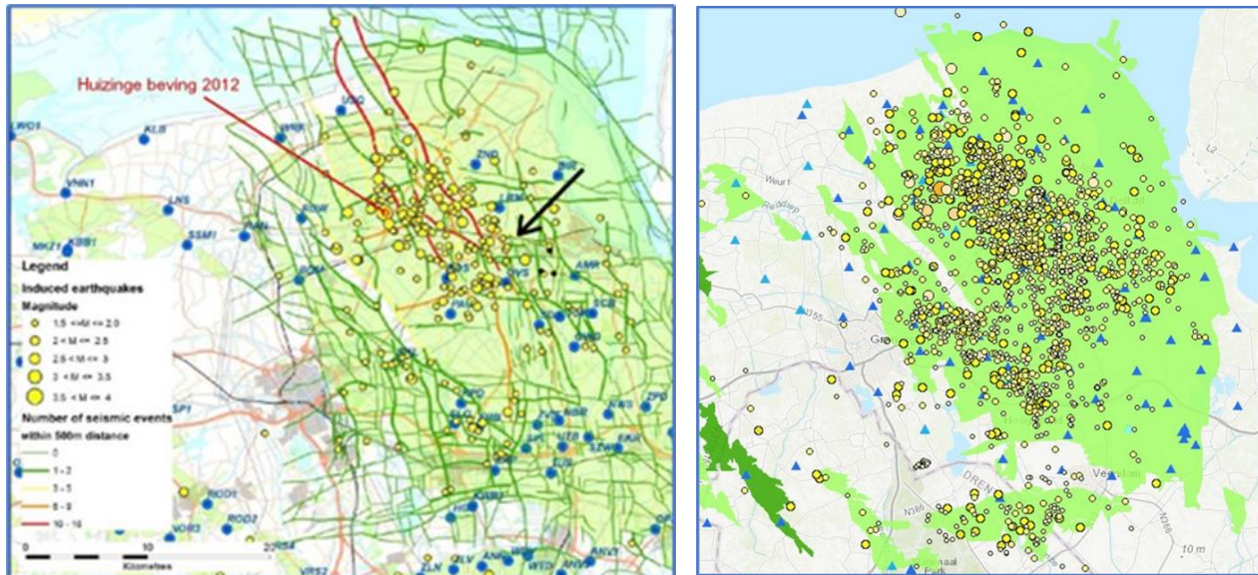
Figuur 10. Per sector zijn er instortingen, daarna de naastliggende sector.

De breuklijnen

De relatief dunne zandsteenlaag waar het aardgas in zit opgesloten is doorkruist met ongeveer 600 breuklijnen, die in de loop van miljoenen jaren zijn ontstaan. Wanneer door de verlaging van de inwendige gasdruk een sectie tussen die breuklijnen plotseling inzakt (met een schok), zal dat vooral trillingen opleveren langs die breuklijnen.

Voor en na de instortingen stroomt het aardgas nog steeds langzaam van de ene naar de andere sector. Wanneer echter de sectoren op verschillende hoogtes liggen (soms tientallen meters verschil) zal die doorstroming langzamer zijn en kan er dus meer tijd tussen de opvolgende bevingen zitten tussen het eerste veld (met een aardshok) en het naastliggende veld. Onder Zeerijp was dat 5 tot 6 jaar. Omdat het taaie zoutsteen langzaam vervormd kan het jaren duren voordat de volgende beving (instorting) gebeurt. Elke nieuwe instorting zal (iets of veel) kleiner zijn dan de vorige. Naarmate het zandsteen steeds verder wordt samengeperst zal de doorstroming ook minder zijn, en de eigen weerstand van het zandsteen oplopen.

Hoewel de trillingen van het inzakken langs de breuklijn relatief klein zijn, ontstaat er een verticaal opslingereffect van die beweging door de bovenste slappe grondlagen (boven het Zechstein) die de schokbewegingen ongeveer dubbel zo groot maken. Eenmaal aan het oppervlak is er horizontaal geen opslingereffect vanwege de korte duur van de bevingen.



Figuren 11. Overzicht van aardbevingen tot 2022. Bron NAM.

Links. De Huizingebeving is aangegeven in oranje. De bevingen komen overal voor, niet alleen op of langs de breuklijnen, maar ook veel midden in de veldsegmenten tussen de breuklijnen zoals rechts gemeten is.

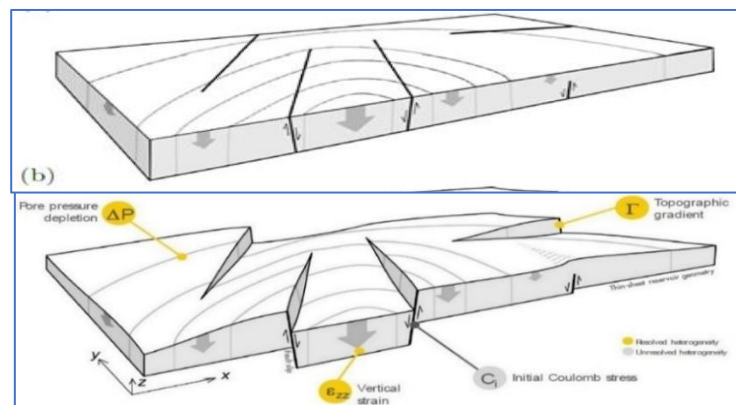
De zware aardbevingen theorie

De hoge Richter 5 en Richter 6 magnitudes die oorspronkelijk in 2013 werden berekend als mogelijk gevolg van de aardgasexploitatie, waren gebaseerd op het idee dat trillingen en verzakkingen in het Rotliegend (langs bestaande breuklijnen) naar beneden zouden doorzetten (trigger effect) in het onderliggende dikkere Carboon en Devoon. De resulterende *drop-fault* bevingen zouden dan aanzienlijk groter zijn dan de kleine schokken vanwege het inzakken/instorten van het zandsteen.

Figuur 12. De zandsteenlaag miljoenen jaren geleden, met breuklijnen

De contourlijnen zijn gerelateerd aan de algemene compactie. Het hele middenstuk geeft een vergrote zakking te zien.

Bron: pagina 79-80. *Study and Data Acquisition Plan Induced Seismicity in Groningen*.^{xiv}



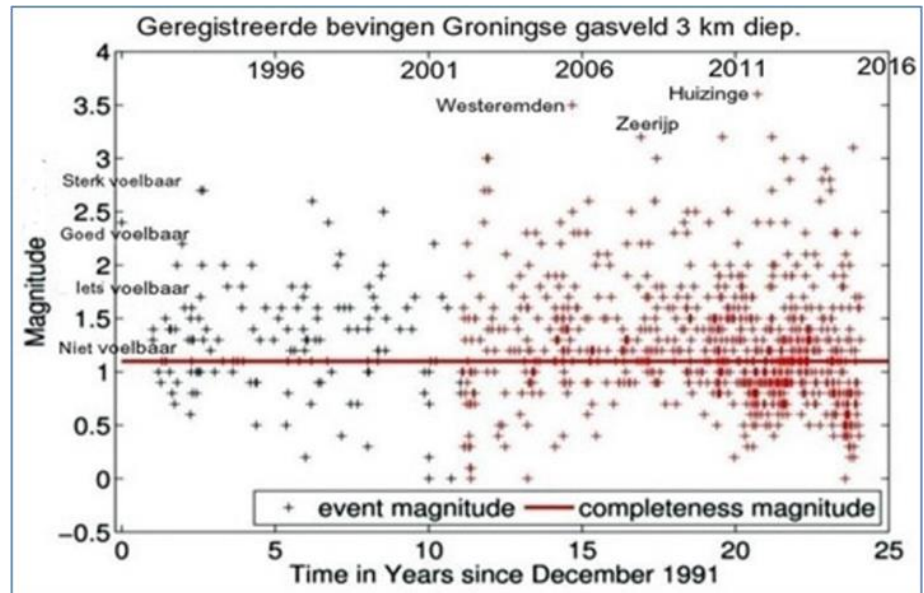
De bovenstaande figuren geven dat idee weer ter plaatse van de Lauwerszee-breuk (figuren 7), een dieperliggende geologische zone vanuit het noordwesten onder het Groningse gasveld. De afbeeldingen hebben een uitgetrokken hoogteschaal.

Onder het Rotliegend ligt het kilometer dikke Carboon- en Devoongesteente en boven het Rotliegend het 600 tot 800 m dikke taaie Zechstein. De veronderstelling was dat secties van het Carboon verzakken ten opzichte van elkaar door verschillende mate van gasonttrekking in die zandsteen secties ook konden inzakken. Echter, het onderliggende Carboon of Devoon gaat niet verticaal plaatselijk verzakken of vervormen vanwege kleine instortingen/compacties in het zandsteen. Het tegendeel is het geval, want vanwege de dikheid en de structuur van het Zechstein voorkomt dat juist het plaatselijk inzakken.

De Gutenberg-Richter-constante

De G-R constante gaat ervan uit dat schokken van een Richtersterkte een punt hoger ($n+1$), 10 maal minder frequent zijn als de schokken van de eerste Richtersterkte (n). Na **een paar honderd jaar** worden dat dan erg zware aardbevingen, want na 10 maal $n+1$ komt er dan een $n+2$, enzovoort. Het verder doorrekenen van de geïnduceerde aardbevingen dan 50 jaar strookt niet met het feit dat de meeste gasexploitaties al binnen die tijd zijn afgerond. Men mag dus niet die R-G constante gebruiken voor de schatting van toekomstige geïnduceerde bevingen, het zijn geen continue bewegende tektonische aardplaten. Dat gebeurde wel.

Figuur 13. Aantal en magnitude van de bevingen sinds 1991.
Bron: NAM, Toelichting Resultaten Mmax expert Workshop, Schiphol 8-10 maart 2016.



De nauwkeurige registratie van de bevingen geeft een lichte vermindering van de bevingen te zien na de 2006 aardbeving te Westeremden toen men de gasopbrengst verlaagde. Er is ook de sterke verhoging van het aantal kleine bevingen te zien na 2011 met een piek aan grotere bevingen per 2012 toen men de gasopbrengst verhoogde. Na 2015 neem het aantal kleine bevingen wel toe, maar niet het aantal grotere bevingen.

De G-R-constante is in Groningen **niet van toepassing**, maar is wel in de berekeningen gebruikt.^{i en xv en III} De gaswinning kan gereguleerd worden. De aantallen bevingen, en de sterkte en de frequentie van die bevingen, worden sterk beïnvloed door de snelheid van de gaswinning en vanuit welke locaties dit gebeurt.

De Piek Grond Acceleratie

De PGA is de hoogste grondversnelling in meters per seconde per seconde (m/s^2). Deze wordt aangegeven in de zwaartekrachtversnelling $g = 9,82 m/sec^2$, afgerond op $10 m/s^2$.

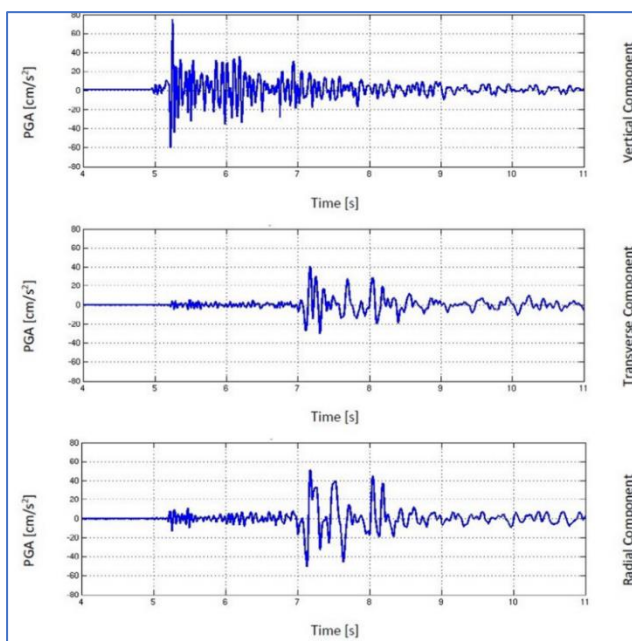
De **horizontale** PGA_h geeft de kritieke zijwaartse belasting op een gebouw, meestal meer dan een stormbelasting (max. $500 kg/m^2$). Bij laagbouw zijn de stormwaarden lager, maar de seismische belasting van rijtjeswoningen is in beide orthogonale richtingen hetzelfde. De statische massa van een gebouw ondervindt vertraging wanneer de grond in beweging komt. Een grotere massa (metselwerk of beton) geeft een grotere belasting op dat gebouw, ook hoe hoger de massa zich bevindt. De gebouwbelasting door de aardbeving wordt bepaald door verschillende factoren die in de NPR 9998 staan. De sterkte van lage (woningen) en stijve/brosse (baksteen) gebouwen kunnen met een sterk vereenvoudigde rekenmethode berekend worden (horizontale belasting = $PGA \times massa$). De verticale PGA heeft ook invloed op het gebouw, maar in veel mindere mate dan de horizontale.

Figuur 14. Beving 2012 Huizinge. Boven is de P-schok 0,075g die het eerste in het epicentrum aankomt.

De bovenste verticale component is de gemeten PGA_v van Huizinge.

Deze grafiek geeft de verticale PGA_v 0,075g aan (in het meetstation Loppersum).

Op een andere manier werd vastgesteld dat de maximale verticale PGA_v 0,085g was in het epicentrum. De radiale horizontale PGA_h is 0,05g.



Wanneer de NPR-PGA is afgeleid van de verticale PGA-max, die is afgeleid van de Mmax, is dat in de **NPR is een basale fout die de gebouwbelastingen met ongeveer 60% verhoogt.**

Die hoge waarde wordt dan 5 maal genomen als de PGA_h -waarde van de eerste NPR kaart (PGA_h 0,42g).

Wanneer er zulke grote verschillen zijn moeten er **twee kaartjes** voor PGA_v en PGA_h zijn.

Ofschoon het KNMI (ook het SodM) wel aangaf wat de vaagheden van de berekeningen waren is de Mmax 6,0 of mogelijk Mmax 6,5 wel in het Winningsplan blijven staan en zo in de publiciteit gekomen. Die hoge (onmogelijke) Mmax, werd via berekeningen ook een hele hoge PGA_h in de NPR 9998:2015. De PGA's werden afgeleid van een combinatie van Mmaxen.

Het valt op dat binnen een jaar verschillende PGA-uitkomsten werden gepubliceerd.

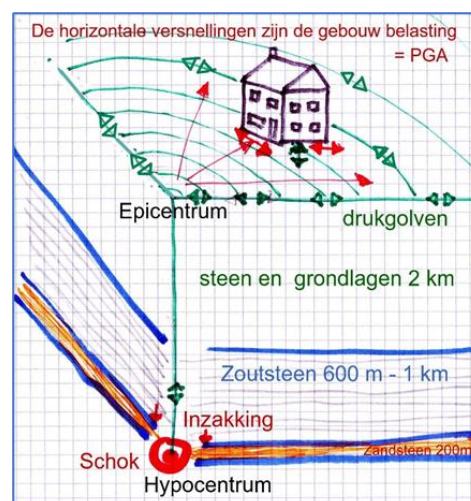
- Advies SodM van juni 2015. Mmax 5,0 en PGA_h tussen de 0,31g – 0,32g. Pagina 22.
- Eerste Advies commissie Meijdam van 23 juni 2015. Mmax 4,5 – 5,0 met PGA_h 0,32g.
- TNO van 24 juni 2015. Mmax tussen 4,1 – 4,7 met PGA_h 0,41g.
- KNMI van 16 oktober 2015. Mmax 5,0 PGA_h 0,36g in de nieuwe NPR 9998:2015.

De richting van de schokgolven.

In het epicentrum (aan het aardoppervlak) veroorzaken deze schokken drie soorten schokgolven, een verticale (Pressure = P-golf) en twee soorten horizontale. De pressure golf krijgt in de bovenste 200 m zachtere grondlagen een grotere uitslag (versterkt, opslingereffect) en wordt daardoor ongeveer tweemaal zo sterk. Vanwege de korte duur van de schokken is er aan het oppervlak geen horizontaal opslingereffect.

Figuur 15. Schematische doorsnede aardbeving.

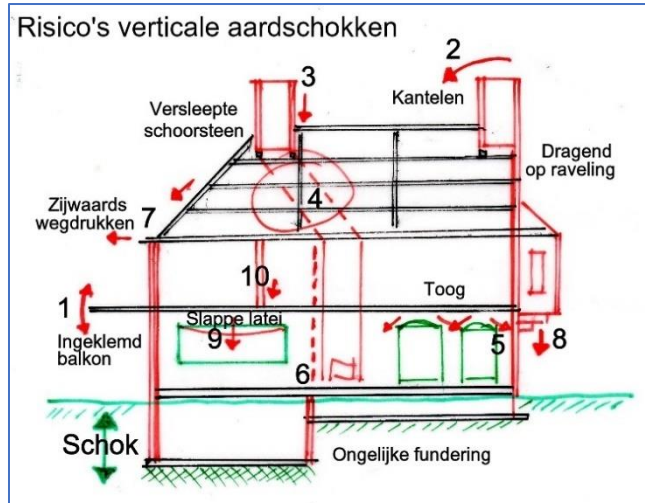
Een aardbeving in het hypocentrum bestaat uit schokken (in Groningen op 3 km diepte). Het zijn vooral de horizontale oppervlakte schokgolven die de belangrijkste zijwaartse gebouwbelastingen opleveren. Deze zijwaartse belastingwaarden moeten in de seismische code staan om gebouwen te berekenen op aardbevingsbelastingen.



De aardbeving-schokken in Groningen hebben in de verticale richting de grootste PGA_v , ongeveer 60% sterker dan de horizontale PGA_h . De Nederlandse woningbouw is daar voldoende op berekend en zal niet meteen instorten. Wel kunnen er door de verticale schokken zettingen ontstaan, vooral als ze vaak voorkomen en funderingen zwak zijn. Dat is ook zo wanneer ze niet direct voor mensen voelbaar zijn. In Nederland zijn gebouwen voor de horizontale belasting slechts op zware stormbelasting berekend.

De verticale PGA_v

1. Overhangend balkon.
 2. Schoorsteen op zwakke stoel.
 - 3+4. Versleepte schoorsteen.
 5. Gemetselde togen, smalle penanten.
 6. Ongelijke fundering.
 7. Muur wegdukker door daksporen.
 8. Zware overhangende erker.
 9. Slappe lange raamlatei.
- No's 5 en 9 zijn te voorkomen met sterke glaspanelen.



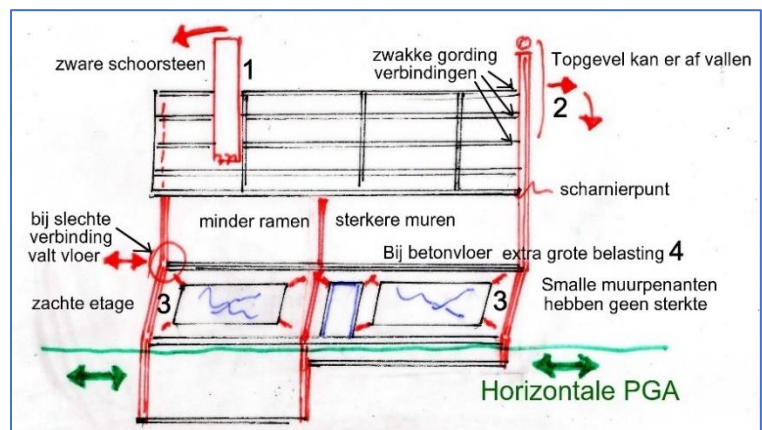
Figuur 16. De grootste risico's voor schade bij verticale schokken

Omdat de verticale schokken in Groningen ongeveer 60% zwaarder zijn dan de horizontale komen deze gebreken veel voor en vormen dan een hoogrisico. De nummers 3, 4 en 5 komen veel voor bij grote oude boerderijwoningen. De nummers 5 en 6 komen veel voor bij de grote schuur.

Het herkennen van de verschillende oorzaken van de baksteenscheuren in een oud gebouw is niet eenvoudig en is dan ook voor verschillende interpretaties vatbaar. Voor een woningeigenaar zonder brede bouwkundige en seismische kennis is het niet mogelijk de schade correct te beoordelen, vooral niet als de bevingen en zettingen **al dertig jaar aan de gang zijn**.

De horizontale PGA_h

1. Hoge zware schoorsteen.
2. Hoge zware topgevel.
3. Smalle raampenanten en grote raampartijen op begane grond. Te voorkomen met sterke glaspanelen die de belasting opnemen.
4. Zware betonnen vloeren.



Figuur 17. De grootste risico's voor schade bij horizontale schokken.

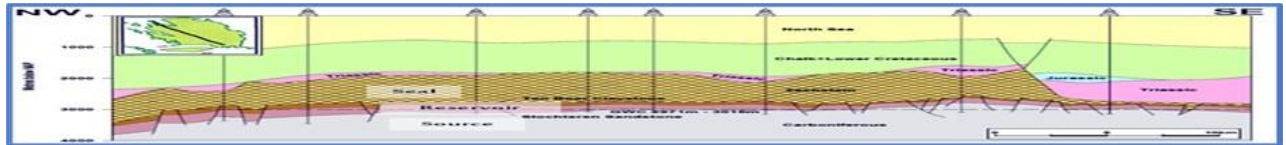
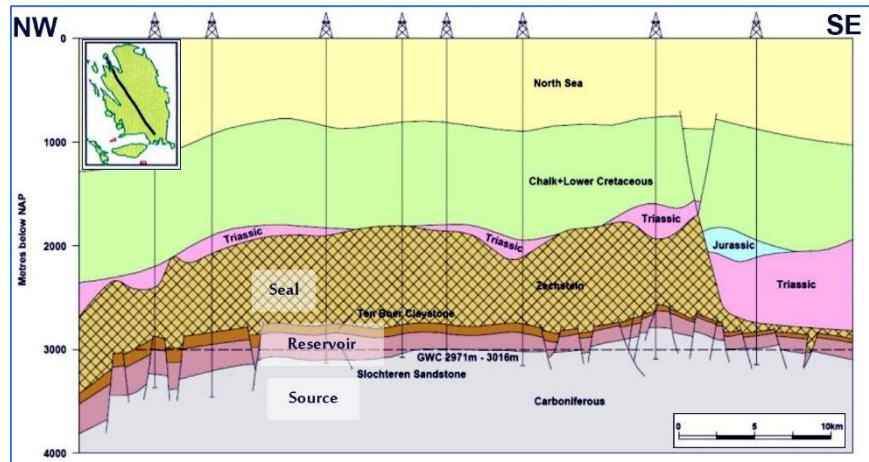
De horizontale schokken in Groningen zijn ongeveer 60% kleiner dan de verticale en de horizontale uitslag is kleiner dan 30 mm. Bij een enkele (heen en weer) schok zal het omval/instort-risico klein zijn, maar bij herhaalde schokken wordt dat risico groter. De M_{max} berekeningen zijn ook gemaakt op basis van de speculatie van het in éénmaal tegelijk instorten van het hele reservoirgesteente (partiticoëfficiënt 100% van 150 km²), hetgeen niet het geval is.

Dit als geheel instorten is bij een breedte/dikte verhouding van 50 km : 0,2 km (=200:1) niet mogelijk. De 100% optie bestaat eigenlijk alleen bij aardlagen waar de breedte/hoogte verhouding kleiner of gelijk aan 2:1 is. Deze fout was al in het Winningsplan 2013 vermeld door Ian Smith, maar niet opgevolgd. De betere TNO-AGE analyse nam een partitie-coëfficiënt aan van 1/1000 van de NAM-KNMI aanname.

Figuur 18. Uitgetrokken doorsnede van het Groningse veld

Van noordwest naar zuidoost.

De Huizinge- en Zeerijpbevingen liggen boven het snijpunt van de 3000m lijn aan de linkerkant, waar de grote verschuiving in het zandsteen is (paars). De verticale maat is hier zesmaal vergroot.



Figuur 19. dwarsdoorsnede op schaal van het gasveld van NW naar ZO

De dunne paarse strook onderin is de 0,2 km gashoudende zandsteenlaag. De dikke groenig gearceerde laag is het taai Zechstein zoutgesteente. Het instorten gebeurt over een stuk dat maximaal tweemaal zo breed is als hoog.¹⁴

¹⁴ Die berekeningen gingen uit van een voortdurend doorgaande gaswinning, zonder aandacht te besteden aan de gevolgen. Dat is een verkeerd principe. Als de gevolgen voor de bevolking centraal staan, had men omgekeerd moeten redeneren. Namelijk, wat is acceptabel voor de bevolking en hoe moet men dan de gaswinning reguleren. Dat geeft dan de PGA-acceptabel.

Hoofdstuk 2. Commerciële bedrijfsvoering

Bij de aardbevingsschade sinds 2009 voorzag de NAM eerst extreem geen grote kostenpost, maar werd in 2012 geconfronteerd met heel veel schadeclaims door de Huizingebeving, die ze wettelijk moesten betalen. Dat zou de winst doen verminderen.

De NAM ontkende na 2012 niet de verantwoordelijkheid en zegde ‘ruimhartig herstel’ toe, maar **feitelijk gebeurde dat niet**. Wel werd er in 2015 een vergoedingsregeling voor waardevermindering van de woningen opgezet. Ook had de NAM een klein team van adviseurs voor schrijnende gevallen. Er werd voor miljoenen onderzoek gedaan naar materiaal- en gebouwsterkte, maar daar hadden de woningeigenaren niets aan. Zo waren er positieve maatregelen, maar de beperkende/negatieve maatregelen hadden de overhand.

Om de financiële schade voor de NAM te beperken werden de volgende maatregelen genomen:

1. Eerst **ontkende** men dat de bevingen door de gaswinning veroorzaakt werden tot 2009.
2. Hoewel de NAM/KNMI beweerde dat er zwaardere aardbevingen zouden komen, werden sinds 2009 slechts **cosmetische reparaties** uitgevoerd, zonder versterkingen (sindsdien zijn er meer dan 80.000 herhaalschades). Dat is anno 2025 nog zo. Het IMG heeft dat systeem overgenomen.
3. Hoewel de grondtrillingen (voelbaar en niet voelbaar) al sinds 1975 aanwezig waren en invloed op een slechte fundering kan uitoefenen, werd **funderingsschade sinds 2012 expres niet beoordeeld**.
4. Na de Huizingebeving was de instructie om de schades te beoordelen. **Alleen de verse A-schade** werd erkend.¹⁵ De B-schade was twijfelachtig maar werd wel vergoed¹⁶ en de **C-schade werd afgewezen**. Oudere schade-effecten van de jarenlange bevingen werden niet beoordeeld.
5. Het principe van ‘eigen gebrek’ werd in 2014 geïntroduceerd. Ook al had een woningeigenaar een bouwfout toegepast, de constructie zou niet gebarsten zijn als er geen aardbeving was geweest. De kwestie ‘eigen gebrek’ is juridisch een ingewikkeld gebied. Er bestond geen financiële oplossing voor mensen die zelf het ‘eigen gebrek’ niet konden financieren (punt 9).

Gebouwherstel én versterking moeten **volledig** worden vergoed.

Versterking moet **lichte vervolgschade voorkomen**.

Er werden wél steeds méér en mogelijk sterkere bevingen verwacht.

Dus géén cosmetische reparaties zoals scheuren dichtsmeren en behang plakken.

Zelfs een kind begrijpt dat zo iets géén versterken is.



Figuur 20. Cosmetische muurreparatie is onlogisch bij de verwachting van zwaardere bevingen.

¹⁵ Bij de schadebeoordeling werd gekeken of er spinnenwebben of mos in de scheuren zaten. Was dat het geval, dan werd het **niet** als aardbevingsschade erkend. Echter, de jarenlange bevingen hadden zettingen van de oude funderingen tot gevolg. Dit kon verergerd zijn door wisselende grondwaterstanden. Die bevingen en veranderd grondwaterniveau waren al minstens 30 jaar aan de gang, dus dan kunnen er zelfs varens in de scheuren groeien.

¹⁶ Het idee was dat de ruime financiering van de A- en B-schade genoeg zou zijn om ook de C-schade aan te pakken. Voor de meeste woningeigenaren was dat niet een optie, onder andere omdat zij meenden dat de B en C-schade verkeerd geclassificeerd werden. Hierdoor ontstonden veel arbitrage en hele hoge kosten voor de NAM.

6. De SBR trillingsrichtlijn^{xvi} werd (foutief) gebruikt om schade door grote trillingen af te wijzen.¹⁷ Deze beoordeling werden later niet meer gedaan.
7. Er werd personeelstraining gegeven om te zorgen dat woningeigenaren de (in naar hun eigen begrip) twijfelachtige schaderapporten zouden accepteren (met beperkte vergoeding).
8. Aanvankelijk eiste de NAM dat de woningeigenaar maar moest aantonen dat de schade door de aardbevingen was veroorzaakt als die woningeigenaar bezwaar maakte tegen de C-schade beoordeling. Dat kon die bewoner niet. De bewijslast werd na een juridische procedure omgekeerd.
9. Er werd geen lange-termijn fonds opgezet om woningverbeteringen te financieren die gelijk met de versterking moesten plaatsvinden. Hierdoor konden woningeigenaren de aanvullende kosten (zoals het aangegeven ‘eigen gebrek’) niet financieren.
10. Er werd een poging gedaan om gebiedsbeperking in te stellen. Dit heeft het niet gehaald.
11. Aan schadebureaus of inspecteurs die te veel A-schade constateerden werd door de NAM en het CVW geen contractverlenging gegeven.¹⁸
12. Hoewel de NCG en het IMG wel de kosten van technische bijstand voor de woningeigenaren financierden, werden die kostenvergoedingen (aan niet-eigen inspecteurs) zo sterk gelimiteerd dat daar slechts flutrapportjes voor gemaakt konden worden (door studenten). Deze onder-financiering was voor externe schadebureaus, waardoor deze geen uitgebreide rapporten konden opstellen. Bij de rechtbank lag dat flutrapportje tegenover lijvige dossiers (met heel veel kopieerwerk van andere cases¹⁹), waarbij de rechtbank dan zonder kennis van zaken zich oriënteerde op de aangeleverde rapporten. Deze externe flutrapporten hadden daardoor bij de rechter weinig kans van slagen ten opzichte van de zware rapporten van het CVW, NCG en IMG. De rechter doet geen eigen onderzoek. Daarbij verliest dan de advocaat van woningeigenaar de aangespannen zaak.
13. De NAM had ook schade of vergoedingen afgewezen van buitenlandse woningeigenaren.²⁰

Een van de resultaten van deze werkmethode was dat de kosten voor $\frac{3}{4}$ bestonden uit rapporten en juridische kosten en slechts voor $\frac{1}{4}$ ^{de} uit feitelijke reparaties inclusief BTW, en dan vooral niet-versterkend. Ook bleef het IMG “reparaties” uitvoeren terwijl de NPR aangaf dat er nog bevingen zouden kunnen komen die wel tweemaal zo sterk zouden kunnen zijn als de Huizingebeving.

Mijnbouw zou niet door op winstbejag gebaseerde bedrijven uitgevoerd mogen worden, maar door communale of coöperatieve of steward-owned bedrijven, waarbij van de opbrengst langtermijn-reserves aangelegd moeten worden die alle mogelijke toekomstige schade en milieukosten²¹ moeten dekken.

¹⁷ Die SBR -rillingrichtlijn is echter bedoeld voor de nieuwbouw (eerste versie 1993) en mag niet voor oudere bouw van vóór 1993 gebruikt worden die die volgens toenmalige bouwverordeningen werd gerealiseerd. Na 1993 werd deze trillingsrichtlijn verschillende malen aangepast.

¹⁸ De kosten van de schadebureaus werden in principe door de NAM vergoed, maar daar was wel een overeenkomst met de NAM/CVW voor nodig. Deze methode werd overgenomen door de NCG en het IMG. In 2024 was er nog een rapport van een kleine woning van 190 pagina’s waarin **94 scheuren** waren gedefinieerd: 1x geen bevingsschade, 1x mechanische oorzaak, 60x thermische oorzaak, 16x werking van het hout, 7x niet functionerende latei, 8x onzekere schade, 1x bakscheuren. **Kortom alles afgewezen.**

¹⁹ Dit resulteerde regelmatig in rapporten waarvan de woningeigenaar moest constateren dat het helemaal niet over de eigen woning ging. Bijvoorbeeld door het ontbreken van schoorstenen of aanbouwen.

²⁰ Hier is een rechtbankuitspraak over eerder afgewezen schade in Zandweer bij.

²¹ Bij mijnbouw naar fossiele brandstoffen zouden ook direct de resulterende CO₂-emissies gecompenseerd moeten worden, in plaats van de eindgebruiker achteraf te belasten (transport en energie).

Hoofdstuk 3. De speculatieve berekeningen.

De algemene stelling is dat men bij geïnduceerde aardbevingen een acceptabele PGA moet bepalen in plaats van uit te gaan van een speculatieve theoretische, maar onmogelijke Mmax.

Die PGA-acc (acceptabel) moet bepaald worden aan de hand van de bevolking met hun gebouwen en voor hen acceptabel schadeniveau.

De theoretische Mmax uitkomsten van berekeningen van geïnduceerde aardbevingen mogen NIET aan de bevolking bekend gemaakt worden.²² Een exploitatiemaatschappij kan natuurlijk wel die berekeningen maken, maar dat is voor intern gebruik om inzicht te krijgen in de risico's en om de exploitatie te beheersen, maar het heeft geen nuttige nieuws waarde.

De driemaal fout

Die berekeningen van de maximale aardbevingssterkte waren op drie manieren verkeerd.

Ten eerste dient men eerst de sterkte van de gebouwen te berekenen en dan vervolgens de aardgas exploitatie daarop aan te passen. Om te projecteren dat men doorgaat met de gasproductie tot er achtmaal zo zware horizontale grondversnelling aankomen, waarbij 100.000 woningen van de 350.000 gebouwen zwaar beschadigd gaan worden, waarvan er 10.000 woningen instorten met wellicht honderden doden is onethisch en de uitvoering juridisch laakbaar.

Ten tweede zat er een door externe consultants (e.g. Ian Smith)^{xvii} gesignaleerde fout in de berekeningen van het Winningsplan 2013 die niet door de NAM, het KNMI of de SodM werd gecorrigeerd. Daarnaast waren de geringe dikte van het Rotliegend (partitie coëfficiënt) en het effect van het dikkere, taaie Zechstein onvoldoende of niet meegenomen.

Ten derde is de Mmax-berekening niet relevant. De PGA-berekening mag niet worden afgeleid van de speculatieve theoretische en onmogelijke Mmax waarden. Bovendien moet de gebouwbelasting berekend worden op basis van de **horizontale** grondversnellingen, dus **niet met de verticale**.

De Mmax- en de PGA-berekeningen veranderden bijna jaarlijks, afhankelijk van de nieuwste inzichten en de productiesnelheid van het aardgas, en het inzicht van de rekenmeesters in deze materie. Een zeer ongewenst resultaat daarvan was dat identieke gebouwen (naast elkaar) of woonwijken die in verschillende periodes beoordeeld werden met totaal verschillende versterkingsregels te maken kregen. Hierdoor ontstond er terecht het gevoel van willekeurige benadeling van een bevolkingsgroep ten opzichte van een andere. Bij de bepaling van een PGA-acc kan dat niet gebeuren.

De grote tragedie voor de bevolking is uitgebreid aan bod gekomen met de rapporten van de GGD en de RUG (2018) en de Parlementaire Enquête Commissie Aardbevingen Groningen (PECAG). Echter, noch de RUG-wetenschappers, noch de leden van de PECAG hebben aangegeven dat ze consequenties begrepen van de effecten van de te hoge Mmax prognoses (en verkeerde, extreem hoge PGA_h in de NPR) en daarmee de ernstige verstoring en vertragingen en kosten die deze veroorzaakten in het herstelprogramma.

Omdat de NAM zo weinig mogelijk kosten wilde maken (tientallen miljarden euro's in het geval de 2015 PGA werkelijkheid zou worden), werd de beoordeling van de aardbevingsschade aangepast (foutief beoordeeld) en volgden eindeloze arbitrageprocedures die onnodig miljarden euro's hebben gekost aan inspecteurs, juristen, sloop en nieuwbouw (en nog steeds kosten).

²² Niet geheim, maar de Mmax treedt niet/nooit op. Mededelingen daarover worden met grote zekerheid verkeerd begrepen. Bovendien geldt die Mmax alleen bij een ongewijzigd hoog gaswinningsbeleid en een eindeloze voorraad, dat was allebei niet zo.

Omdat het voor de burgers een ongelijke strijd tegen de NAM, het CVW, de NCG en de IMG²³ was (nog steeds) om hun recht op gebouwherstel of versterking te krijgen, zijn tienduizenden Groningers zwaar benadeeld. Eind mei 2022 zijn er nog 20.000 Groningers met financiële onzekerheden door de schade.

Voortschrijdend inzicht is de bewoording die sinds 2013 in gebruik was om aan te geven dat men **niet alles precies wist** (en een slag om de arm te hebben) wanneer door de buitenwereld gesteld werd dat de berekeningen of de genomen maatregelen niet deugden. Tot op de dag van vandaag (2026) blijkt er geen voortschrijdend inzicht te zijn ontwikkeld over het ethisch beginsel dat je de maximale geïnduceerde aardbevingen niet moet berekenen of sturen op basis van winstmaximalisatie, maar vanuit het effect op de bebouwing en het belang van de betrokken bevolking.

Tabel 1. Voortschrijdend inzicht van PGA-waarden.

Berekende Mmax	Berekende PGA-waarden die als kaartje in de NPR 8999:2015 kwamen	De werkelijke Richter en PGA-waarden
2006 Richter 4,1	Eurocode 8 PGA 0,2g	Richter 3,5. Westeremden PGA _v 0,06g PGA _h niet bekend, mogelijk 0,04g?
2012 Richter 4,1	Eurocode 8 PGA 0,2g	Richter 3,6. Huizinge PGA _v 0,085g PGA _h 0,05g
2013 Richter 5,5 = 100 X Westeremden	PGA _h 0,55g (Arup)	Zandweer Garrelsweer Richter 3,2 Geen opgaven van PGA-waarden.
2014 Richter 5,5	NPR. PGA _h 0,42g januari (NEN)	Geen grote bevingen
2015	NPR. PGA _h 0,36g september (NEN)	Richter 3,1 Hellum geen opgave PGA.
2016 Schiphol workshop R6 en 6,5 = 1000X R 3,5	NPR. PGA _h 0,36g september (NEN) Geen aanpassing naar boven.	Geen grote bevingen. De gaswinning voor de Huizinge-Loppersum sector was verminderd
2016	NPR PGA _h 0,24g (NEN webtool)	Geen grote bevingen
2017	NPR PGA _h 0,22g (NEN webtool)	Geen grote bevingen
2018	NPR PGA _h 0,22g (NEN webtool)	Richter 3,4 Zeerijp PGA _v 0,11g. PGA _h 0,05g?
2020 Richter 4,5 tot 4,8	NPR PGA _h 0,16g (NEN webtool)	Geen grote bevingen
2024	NPR PGA _h 0,12g (NEN webtool)	Geen grote bevingen
2025	NPR PGA _h 0,12g (NEN webtool)	Richter 3,5 Zeerijp PGA _v 0,08g. PGA _h 0,05g

Noot: De waarden van Richter 3,5 zijn minstens 25% lager dan de Huizingebeving met Richter 3,6. Dat komt onder andere omdat de Huizingebeving in feite een dubbele beving was.

Bij geïnduceerde aardbevingen waarbij de verticale inzakkingen de grootste schok opleveren (bij gas minder zwaar dan olie of wateronttrekking) dient een seismische code (norm) zowel de verticale als de horizontale PGA-waarde aan te geven. Dus twee kaarten. In seismische gebieden zou nieuwbouw moeten voldoen aan een PGA 0,2g wat met de huidige Nederlandse nieuwbouwcode niet noodzakelijk het geval is. Oudere bouw van vóór 1950 voldoet meestal niet aan die sterkte, hetgeen veel woningen in Groningen zijn. Rijtjeswoningen en doorzonwoningen met brede raampartijen zijn extra kwetsbaar, vooral als ze zware betonnen systeemvloeren op de etage hebben.

²³ Op 6 oktober 2020 zijn er door het IMG 1 miljoen schademeldingen geregistreerd.

Hoofdstuk 4. Achtergrondproblematiek

Wanneer de bevingen groter zijn dan Richter 1,5 worden ze door mensen (die stil zitten) gevoeld. De aardbevingen zijn sinds 1986 over de jaren langzaam in sterkte en frequentie toegenomen. Ook het metingnetwerk werd steeds meer uitgebreid, vooral na de 2012 Huizingebeving.

Tabel 2. *Vergelijk tussen de theorie en de werkelijkheid*

De theorie	De werkelijkheid
Tientallen technische Engelstalige rapporten van bèta-wetenschappers over theoretische berekeningen van mogelijke geïnduceerde aardbevingen in de toekomst.	Tienduizenden Groningse rapporten van schade aan woningen door geïnduceerde aardbevingen door de gaswinning van 2006 tot 2026.
Mmax variërend van Richter 4,1 in 2009 tot Richter 5,5 in 2013 en zelfs Richter 6,5 in 2016 (Internationale experts op Schipholworkshop) = $1000 \times$ Richter 3,5.	Variërend van Richter 3 tot Richter 3,5. Dat is respectievelijk tussen $1/50^{\text{ste}}$ tot $1/100^{\text{ste}}$ van de eerste prognosesterkte van Richter 5,5.
De PGA-max wordt berekend op basis van meerdere Mmaxen en de Monte Carlo methode (PSHA-modellen).	Geen langdurige bevingen of opslingereffect, geen grote horizontale uitslag. Verkeerde PGA _v basis.
Aanwakkering van angstgevoelens en stress over steeds zwaardere toekomstige aardbevingen.	Het zijn geen zware aardbevingen, maar flinke schokken. Er is niets ingestort.
Het berekenen van de onmogelijke PGA-max en die verplichten als rekenbasis.	Wat nodig was: Het berekenen van de PGA-toelaatbaar en daar de gaswinning op aanpassen.

Op 8 augustus 2006 was er te Westeremden (Richter 3,5) een tweede flinke schok met slechts 414 schademeldingen, die de gemoederen in de provincie Groningen sterk beroerde.²⁴ Na een vrij rustige periode, wel met een paar bevingen (die weinig schade veroorzaakten) kwam op 16 augustus 2012 een dubbele klap in Huizinge (Richter 3,6 met PGA_v 0,085g en PGA_h 0,05_g) waar direct meer dan 2.200 schademeldingen uit voortkwamen. Hierop stelde de NAM een nieuw onderzoek in naar de sterkte van de mogelijke toekomstige bevingen. Uit dat onderzoek kwamen in 2013 de uiterst onwaarschijnlijk hoge Richterwaarde 5,5 met horizontale PGA_h 0,42g, **feitelijk een 8 maal hogere horizontale grondversnelling**. Deze werd een half jaar laten bijgesteld tot PGA 0,36g.

In Nederland was men niet bekend met aardbevingen en woningen waren nooit ontworpen op dit type belastingen. Oude woningen van vóór de Tweede Wereldoorlog, die (1) niet op basis van recente bouwverordeningen zijn geconstrueerd liepen veel schade op en (2) woningen met slechte funderingen (verzakkingen) en veel grote ramen (doorzon) extra werden getroffen. De Nederlandse bouwwereld wist weinig tot niets af van deze problematiek en bijscholing op dit thema blijkt in 2013 hoogstnoodzakelijk. De Eurocode 8 of de NPR 9998 geeft de verschillende rekenmethoden aan om de seismische belasting voor **nieuwbouw** te berekenen.^{xviii}

Bouwkundige ingenieurs hebben geen moeite om die (Engelse) Eurocode 8 te lezen. Het vertalen in het Nederlands was daarom onnodig.²⁵ De behoefte bestond wél om beter te specificeren hoe de **bestaande** zwakke Nederlandse baksteen woningbouw versterkt kon worden. De toevoeging van regels omtrent retrofitting (voor laagbouw) zou een relevante en belangrijke toevoeging zijn geweest. **Die kwam er niet.**

²⁴ Na de beving in Zeerijp werd op 6 november 2009 de Groninger Bodem Beweging (GBB) opgericht, met het doel de belangen van de behartigen van inwoners die directe of indirecte aardbevingsschade hadden.

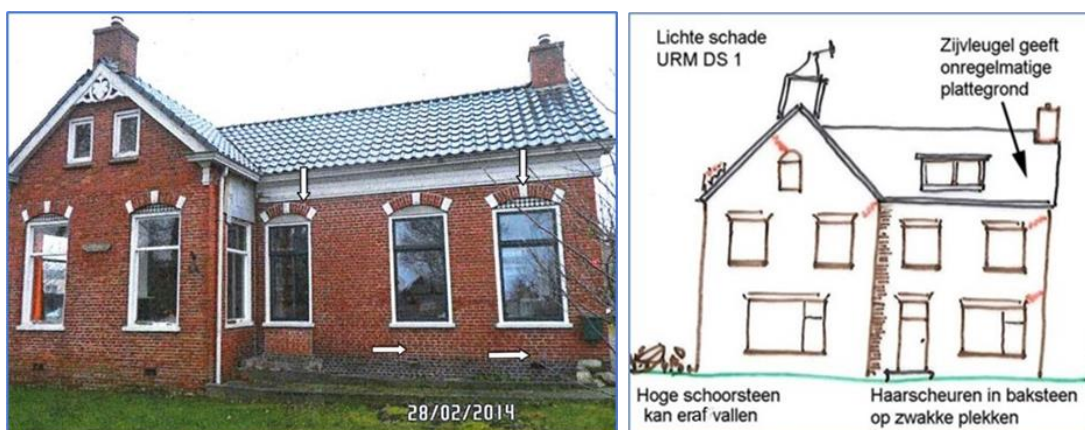
²⁵ Met de vertaling en de periodieke verfijning van de seismische code bleken de formules ook aangepast te worden. Om de vertaling te begrijpen was een extra opleiding nodig, want er zaten geen rekenvoorbeelden bij of een richtlijn voor de berekening van eenvoudige bakstenen laagbouw. De eerste versie NPR 9998:2015 was slechts op **nieuwbouw** gericht, dus niet op de Groningse situatie. Er werd in het bijgevoegde kaartje geen onderscheid gemaakt tussen de lichte horizontale trillingen en de veel zwaardere verticale trillingen terwijl de horizontale bepalend zijn.

Het is noodzakelijk om eenvoudige rekenvoorbeelden te geven. In de opvolgende versies van de NPR komen verschillende formules voor, zonder duidelijke aanwijzing hoe of wanneer deze te gebruiken.

De eerste Mmax berekeningen vinden haar oorsprong in het herziene Winningsplan 2013.²⁶ Er worden in dat rapport verschillende productiescenario's voor de uitputting van het gasveld uitgerekend (met 40, 30 en 20 miljard m³/jaar) en daarbij de mogelijk theoretisch Mmax (en de maximale PGA). De intentie van de NAM in 2012 (en de overheid) was om het gasveld snel en volledig²⁷ te exploiteren.^{28 en xix}

Door de media worden met veel berichten zware tektonische en lichte Groningse geïnduceerde bevingen een-op-een gerelateerd zonder de verschillen te duiden. Deze tektonische bevingen werden met de Richter-waarden gepubliceerd en daardoor vergeleken met de Richter-waarden in Groningen van het KNMI. Beelden uit de pers van zware tektonische aardbevingen (Nepal, Nieuw-Zeeland) zijn daarom niet representatief voor wat er in Groningen te verwachten zou zijn. De beving van Christchurch 22-02-2011 is enigszins vergelijkbaar met Groningen, maar wel met een lagere PGA_h dan de NPR-kaartjes.^{29 en xx}

Een serieus probleem voor de woningeigenaren met schade was dat de NAM **geen bouwfonds** wilde opzetten om langetermijnfinanciering aan te bieden voor woningeigenaren met gebouwen die zogenaamd 'eigen gebrek' hadden, of voor de financiering van de noodzakelijke verduurzaming. Veel oude woningen hebben onderhoudsproblemen en voldoen vandaag de dag ook niet meer aan de nieuwbouwnormen. Met een ruim bouwfonds kunnen aanvullende kosten voor versterking en verduurzaming gefinancierd worden. Die extra kosten kunnen dan pas bij de verkoop van de gebouwen verrekend worden.



Figuren 21. UMR = Unreinforced Masonry Damage = ongewapend metselwerk.

De bovenstaande schets is afgeleid van een veel voorkomend type woning in de provincie (links). Een tweetagewoning heeft meestal meer schade vanwege de grotere hoogte. Vooral de zware gemetselde schoorstenen zijn een risico vanwege de grote massa op een bewegelijke houten kapconstructie.

²⁶ Dit was anno november 2013 een confidentieel (Engels) rapport dat niet beschikbaar was voor het publiek of de pers. Daardoor kon men dus ook niet concluderen hoe de NAM aan de hoge PGA_h-waarden was gekomen.

²⁷ Eind 2012 was al meer dan 2/3^{de} van het gas gewonnen. Er zat er nog 600 miljard m³ winbaar gas (€ 100 miljard tarief 2012) in het veld. Door de lagere interne gasdruk zal het onttrekken van het gas wel steeds langzamer gaan. Bij een hoge snelheid ontstaan er weer grotere bevingen. Het gas leverde de schatkist meer dan 10 miljard euro per jaar op en werd direct gebruikt voor sociale voorzieningen, zonder reserves aan te leggen. Het verminderen van de gasproductie zou miljarden minder inkomsten voor de overheid opleveren, dus een begrotingsprobleem.

²⁸ Topman Shell Ben van Beurden zegt op 6 februari 2016 in een interview met de NOS nog; "Ik pomp alles op wat ik kan oppompen." Minuut 6:35 van de video.

²⁹ Deze was van geringe diepte met een PGA_h ongeveer 0,25g (=5x de Huizingebeving). Vele oude gebouwen zijn in baksteen opgetrokken en nog niet aangepast aan de geldende aardbevingsregelgeving.

Figuur 22 Detailfoto van de bovenstaande afbeelding. De scheuren boven de ramen zijn niet structureel en kunnen verschillende oorzaken hebben. Bij nieuwe bevingen worden ze erger. Veel woningeigenaren ontdekten deze scheuren pas bij nader onderzoek van hun gebouw.

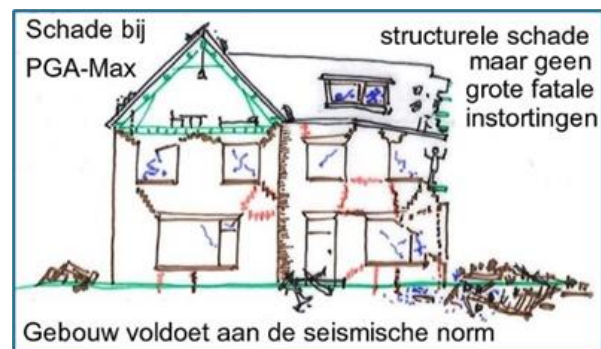


DS1 = lichte schade (Damage State 1). Dit is het maximale schadeniveau dat de bevolking eventueel kan accepteren wanneer en snelle en voldoende schadeloosstelling aanwezig is. Bij een DS1-schade zullen veel bewoners al in een paniek raken, zeker als er door de schadeveroorzaker wordt gesteld dat er binnenkort veel meer en veel zwaardere aardbevingen zullen voorkomen. DS2 is in dat geval al de grenswaarde voor acceptatie. De voorspellingen over zwaardere bevingen waren in 2015 niet-gekwantificeerd in frequentie en sterkte. Veel woningeigenaren zagen hun eigendom door de NAM vernietigd worden. Volgens hun begrip kon elk moment een schoorsteen neerstorten of een muur omvallen in het bed waar hun kinderen sliepen.³⁰ Hun spaargeld dat in de woning zat verdween met de scheuren en verzakkingen. Hun woning was niet meer “veilig”, terwijl ze geen optie hadden om ergens anders heen te gaan.

Het niveau van de schade wordt bepaald door:

- (1) de horizontale en
- (2) de verticale PGA en
- (3) de duur van de schokken en
- (4) de mate van horizontale verplaatsing.

Die vier aspecten werden niet in de NPR vermeld of uitgewerkt.



Figuur 23. De seismische code gaat uit van een veilig gebouw als het net-niet-instort.

De Nationale Praktijk Richtlijn (NPR) is een berekeningscode om uit te rekenen hoe sterk een gebouw minimaal moet zijn, zodat het bij een aardbeving n t n t instort. Het heeft dan w l grote structurele schade. Een gebouw, dat berekend is op de NPR-PGA, zal bij het voorkomen van die PGA gesloopt moeten worden.

De NAM, ontkende eerst categorisch en meermalen dat de bevingen door de aardgas-exploitatie ontstonden. Pas in 2006 erkende de NAM de bevingsschade van de door hen geïnduceerde aardbevingen en liet dat snel (cosmetisch) repareren.³¹

- ‘Seismisch versterken’ betekent volgens de seismische code versterken tot ‘net-niet-instorten’ (No Collapse NC of Damage Limitation DL).³² Wel zou het nodig zijn om de ‘hoogrisico-elementen’ bij kwetsbare gebouwen aan te pakken, zoals topgevels, schoorstenen en dergelijke.

³⁰ Dat was de ingeprinte angst bij sommige bewoners, maar niet helemaal onterecht, want hoge schoorstenen op slappe houten dakconstructies waren met stip de hoogste risico-elementen. Er werden in 2014 al een ruim 3.000 schoorstenen veiliggesteld, maar tot in 2020 bleven er angstgevoelens bestaan dat een nog niet aangepakte schoorsteen door het dak zou kunnen vallen, wanneer de wijk nog niet was gereviseerd door de NCG.

³¹ Dat helpt dus niet, want bij de eerstvolgende beving in hetzelfde gebied staat de scheur in de muur weer open en moet er opnieuw gerepareerd worden. Versterking is hier de noodzaak, zeker als de verwachting is dat er grotere bevingen komen. Bij de NAM ging men ervan uit (vertelde men) dat de bevingen steeds sterker zouden worden omdat de aardgaswinning op maximaal niveau door moest gaan. Omdat men niet precies wist hoe sterk de bevingen zouden worden kon men ook niet zomaar versterking aanbrengen.



Figuren 24. Sinds 2014 werden veel schoorstenen verwijderd of vervangen.

Een lichtgewicht schoorsteen is seismisch een relatieve versterking want die geeft minder belasting. Dit werd in 2014/15 uitgevoerd bij meer dan 3.000 woningen in het kerngebied, echter werden ze niet erkend als versterkingen. Dit negeren of ontkennen van goede maatregelen (bij de lichte aardbevingen in Groningen) geeft aan dat er onder de bestuurders onbegrip was met betrekking tot wat seismisch versterken is en hoe dat moest worden uitgevoerd.

Vooral rijtjes- en doorzonwoningen liepen veel schade risico op vanwege de grote raampartijen. In principe zouden deze woningen goed versterkt kunnen worden door de toepassing van sterke glaspanelen.³³

4.1. De PGA-berekeningen in de NPR

De aardbevingsschade aan een gebouw hangt af van de PGA en vele bouwkundige factoren. Voor seismisch versterken van oude gebouwen wordt internationaal een retrofitting-factor aangenomen die lager is dan de PGA, meestal tussen de 50% of 75% afhankelijk van structuur/gebouwtype en functie. Deze retrofitting factor werd in de NPR 9998:2015 nagalaten om in te voeren. De extreem hoge PGA in de NPR was waarschijnlijk afgeleid van de maximale verticale PGA in plaats van de horizontale PGA.

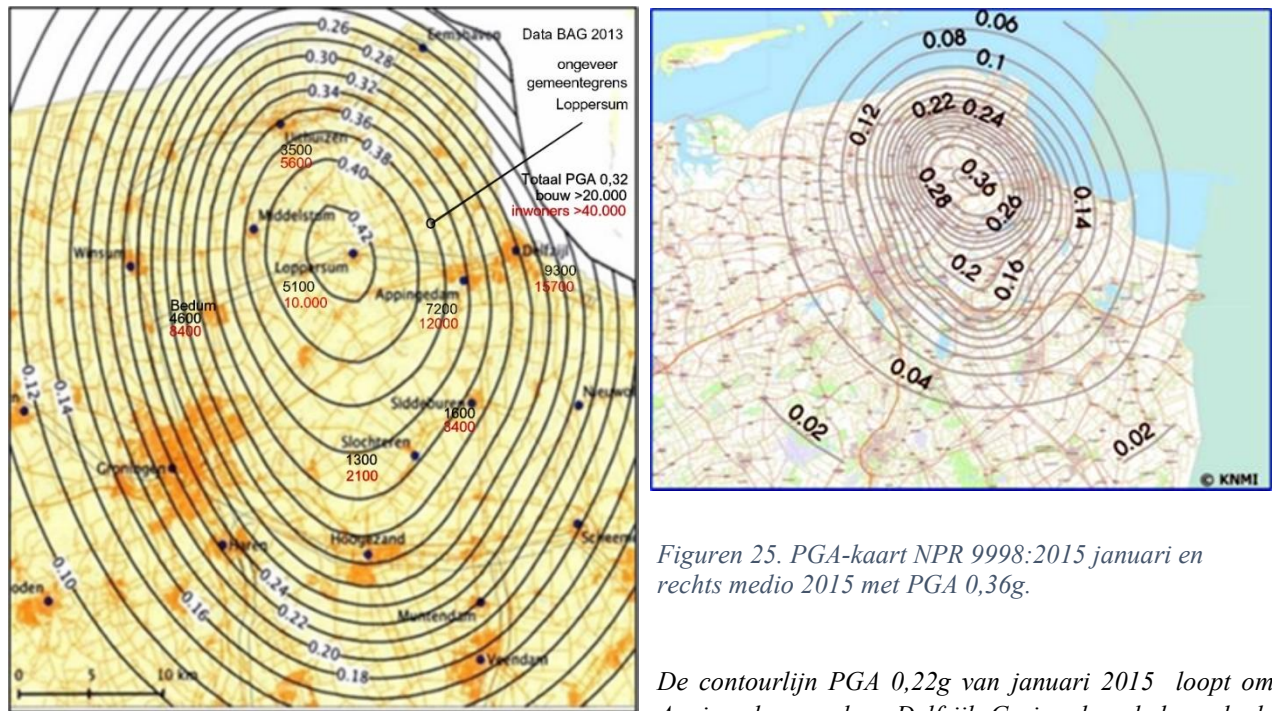
De NPR 9998:2015 kaart (de eerste versie, januari) met een PGA 0,42g geeft een somber scenario. Het verschil van het aantal gebouwen tussen de contourlijnen PGA 0,38g (gemeente Loppersum) en 0,32g (Loppersum en Appingedam) is 15.000 gebouwen met 30.000 inwoners. Door de grotere afstand van veel gebouwen tot het epicentrum zal de PGA en schade minder groot zijn (zie figuren 25).

Hoewel er door de KNMI een nieuw PGA-kaartje NPR 9998:2015 oktoberversie werd aangeleverd (onderstaand rechts), met een aanzienlijke verlaging van de PGA naar 0,36g in het epicentrum en een halvering van de PGA voor Delfzijl (naar PGA 0,16g), bleven de belastingen voor pre-1920 ongewapend metselwerk erg hoog, met groot risico op forse beschadigingen.

De algemene NCG-maatregel was dat de NPR-PGA als basis-rekeninstructie werd opgelegd aan de ingenieursbureaus voor nieuwbouw, **zonder** dat de NPR-informatie verschaft over retrofitting (herstel) van bestaande beschadigde gebouwen. Hiermee werd de volgende stap gezet naar extra hoge kosten voor het versterkingsprogramma.

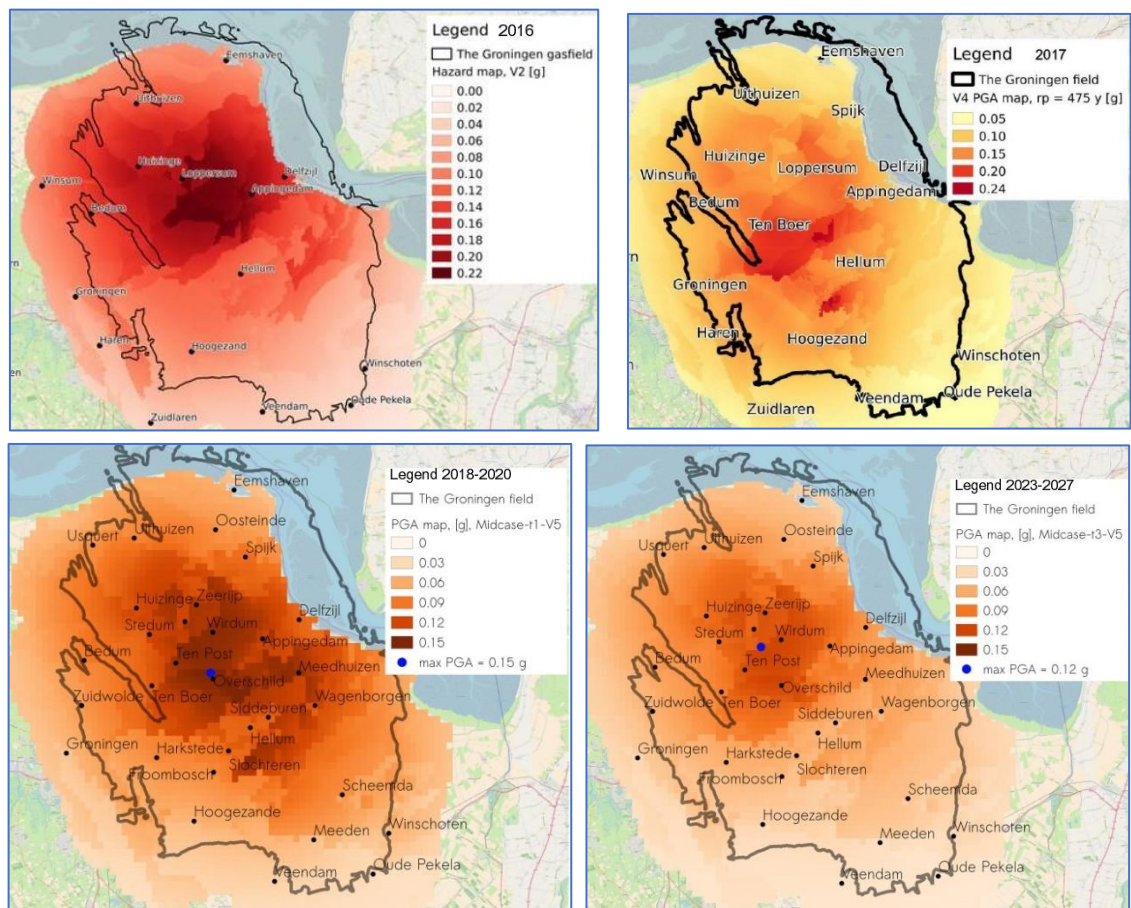
³² No-Collapse (NC) is de basis rekenwaarde. In de NPR wordt Severe Damage (SD) aangegeven. Hierbij wordt de veiligheidsmarge verhoogd zodat er minder schade optreedt. Ook wordt Damage Limitation (DL) vermeld. Hierbij wordt de veiligheidsfactor verder verhoogd. In de NPR wordt aanbevolen de woningbouw op SD te berekenen.

³³ Hierdoor wordt feitelijk de muur in sterkte doorgetrokken (er is dan structureel geen opening meer aanwezig) en een zogenaamde zwakke etage voorkomen.



Figuren 25. PGA-kaart NPR 9998:2015 januari en rechts medio 2015 met PGA 0,36g.

De contourlijn PGA 0,22g van januari 2015 loopt om Appingedam en door Delfzijl. Gezien de geleden schade in Huizinge bij een PGA_h 0,05g (direct 2.200) zal echter bij een PGA_h 0,2g wel viermaal zoveel schade ontstaan.



Figuren 26. Bijna jaarlijks nieuwe PGA-kaarten.

Zelfs tot in 2027 wordt de PGA-max aangegeven met 0,15g. Dat is bijna tweemaal zo zwaar als de zwaarste bevingen. De NCG-bepaling dat de ingenieurs met de nieuwe waarden moesten rekenen kwam meestal een half jaar later door.

Hoofdstuk 5. Het bepalen van de PGA-accepteerbaar

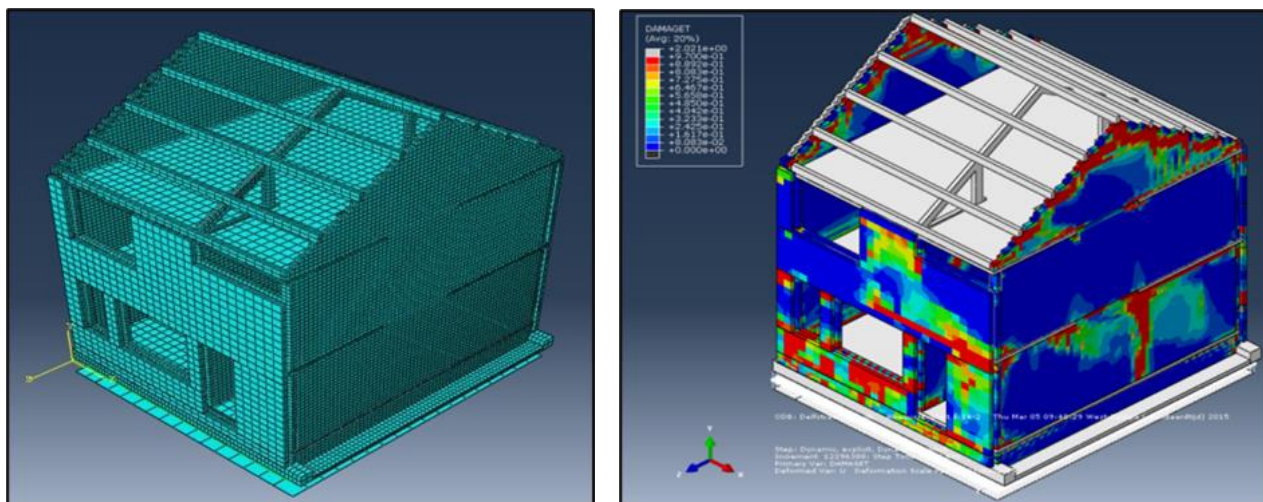
Het dissertatie hoofdargument is dat aan de hand van het soort en de ouderdom van de bebouwing en de mogelijke schade aan die gebouwen moet bepalen wat de **maximaal toelaatbare PGA** is. Vervolgens moeten de gebouwen en/of de gasproductie daarop aangepast worden. Om dat te realiseren moet er een seismische analyse gemaakt worden van de verschillende typologieën van alle bebouwing en per typologie het theoretische schadeniveau vaststellen bij elk PGA-niveau (DS1, met DS2 als grenswaarde).

Het mijnbouwbedrijf zal overleg moeten plegen met de woningeigenaars in de regio. Afhankelijk van de geplande vergoedingen, versterkingen en compensaties kan dan worden vastgesteld welke gebouwen in aanmerking komen voor seismische versterking, verduurzaming of sloop en nieuwbouw.

Bij geïnduceerde aardbevingen moet de maximaal accepteerbare PGA bepaald worden met (1) de sterkte van de gebouwde omgeving, (2) de acceptatie van schade door de bewoners.

Ad (1). Als de NAM zou stellen dat er geen grotere bevingen zouden komen, en de opgelopen schade zou ruimhartig gecompenseerd worden, dan waren er zeer waarschijnlijk minder angstgevoelens ontstaan. Na retrofitting zou de woning geen schadeniveau groter dan DS1 mogen ondergaan.

Ad (2). De acceptatie of tolerantie van de bevolking hangt in grote mate af van (a) de economische compensatie die de bevolking krijgt bij schade. (b) Hoe snel wordt er gerepareerd of het gebouw versterkt ter voorkoming van toekomstige schade. (c) De garantie op een veilige woonomgeving.³⁴ Die acceptatie hangt verder sterk af van (d) de vlotheid gebouwherstel of versterking. (e) De optie om duurzame verbeteringen aan het gebouw te kunnen financieren.³⁵



Figuren 27. NLTHA-methode van berekening met het visuele resultaat.

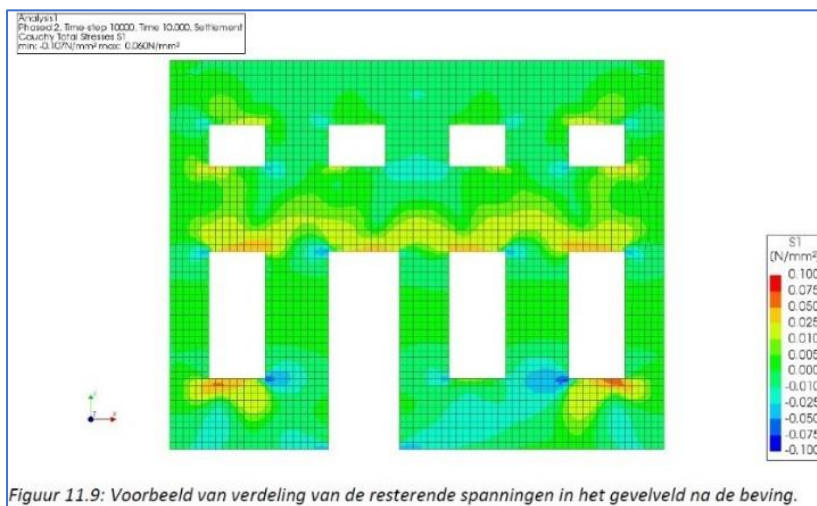
Links. Gebouw opdelen in blokjes van 30 x 30 cm. De fysische aspecten van elk blokje worden in de computer ingevoerd. Op dat ingevoerde gebouw wordt een belasting losgelaten. Rechts. Rood zijn schadezones in metselwerk.

³⁴ Het veiligheidsconcept van de Eurocode 8 of NPR 9998 geldt hier niet, want dat gaat over ‘net-niet-instorten’ (NC) of SD (Severe Damage) dat is een niet-acceptabele situatie voor de bewoner. Voor de berekeningen werd de DL (Damage Limitation) waarde niet toegepast, maar deze geeft al veel meer schade dan de bevolking zou accepteren.

³⁵ Bij deze twee aspecten lieten de NAM en het CVW het sterk afweten. De uitgebreide, trage en discutabele schaderapportages en de daaropvolgende arbitrage, zonder financieringsopties voor ‘eigen gebrek’ veroorzaakten heel veel stress onder de bevolking en dat was niet accepteerbaar. Wanneer er structurele aanpassingen aan een gebouw gedaan moeten worden dan is dat ook het moment om op andere manieren het gebouw te verduurzamen of anderzijds te verbeteren. Voor veel woningeigenaren moet daarvoor dan (renteloze) langetermijnfinanciering toegankelijk zijn.

Naarmate men grotere belastingen op een gebouwplan loslaat, zullen er meer zones rood kleuren en theoretisch instorten. Op deze manier kan men de gewenste grenswaarde van de toelaatbare PGA bepalen.

Omdat de (grote) ramen de zwakste zones in een gebouw zijn, is de ontwikkeling van sterke glaspanelen als versterking van de gevel een goede (logische) optie.



Figuur 11.9: Voorbeeld van verdeling van de resterende spanningen in het gevelveld na de beving.

Figuur 28. Voorbeeld van het resultaat van een NLTHA. Bron: Zonneveld Ingenieurs.

Hier is te zien dat de hoge ramen een zwakke constructie opleveren. Rond de lateien ontstaat verhoogde druk en scheuren. Vanwege het kantelen van de raampenanten ontstaan trekscheuren bij de onderste raamhoeken.

Om een gedetailleerde analyse van elke typologie te hebben, werden door gespecialiseerde bureaus vele NLTHA-berekeningen gedaan.³⁶ en ^{xxi} Elk blokje heeft eigen elasticiteitsgegevens, sterkte en afschuiving waarden. Op basis van één NTLHA-berekening en analyse van een typologie kan elke gebouw van diezelfde typologie verder beoordeeld worden. Het TNO met het NCG publiceren in 2020 een serie rapporten over de NLTHA-berekeningen en resultaten voor gemetselde gebouwen.³⁷ en ^{xxii}

5.1. Verschillende gebouwtypologieën (typische bouwstijlelementen)

In 2013 hebben de NAM-consultants Arup en Plecht Bouwbedrijven een lijst opgesteld van een dozijn hoofdcategorieën van gebouwtypes volgens de indeling in bouwpatronen van elk 20 jaar. Hierdoor was het mogelijk om een bepaald woningtype door te rekenen, de noodzakelijke versterkingen te berekenen en vervolgens die versterking toe te passen op alle woningen van het betreffende type. In 2020 werd er samen met de TNO (30 types) en NCG de typologieën uitgewerkt en versterkingsvoorstellen gemaakt.



Figuren 29. Dezelfde typologieën woningtypen.

Kleine boerderijwoning met voorhuis. De hoge ramen en smalle penanten aan de voorzijde en de aansluiting tussen de twee verschillende bouwdeelen geven bij aardbevingen problemen. De verbinding tussen de kop van het gebouw en de achterliggende schuur is meestal ook een zone waar veel schade optreedt. Bron Funda website 2014

³⁶ Al deze NLTHA-rapporten per typologie zouden door de NCG openbaar gemaakt kunnen worden, zodat alle bouwmaatschappijen en woningeigenaren daar inzicht in kunnen hebben. Dit is nu grotendeels gebeurd.

³⁷ Berekeningen gebaseerd op de hele hoge PGA en de 'verkeerde' Meijdam veiligheidsnorm 10^{-5} .

5.2. Het veiligheidsrisico bij een verminderde gasproductie

Om meer duidelijkheid te krijgen in het risico van gebouwinstortingen en wat acceptabel is in Nederland werd in maart 2015 de Commissie Meijdam opgericht die hierover uitspraak zou moeten doen. Het ‘normale’ veiligheidsrisico dat in de bouw in Nederland is 1:100.000 of 10^{-5} doden per capita per jaar, dat wil zeggen niet meer dan 1 dode per 100.000 bouwvakkers per jaar. Op een bevolking van 500.000 in de provincie Groningen zou die 10^{-5} doden per capita per jaar betekenen dat er dan gemiddeld **5 personen per jaar zouden overlijden door het instorten van gebouwen door aardbevingen**. En dat terwijl er in heel Nederland niemand is overleden door het instorten van een gebouw, althans niet door een aardbeving. Het bestaande risico bij aardbevingen is dus kleiner dan 10^{-9} doden per capita per jaar. Een veel hoger risico vaststellen voor overlijden door opzettelijke gebouwschade toe brengen (geïnduceerde bevingen) als noodlottig ongeluk aan te merken is niet logisch of juridisch toelaatbaar. De risicobepaling voor geïnduceerde aardbevingen mag dus eigenlijk niet groter zijn dan voor infrastructuur met 10^{-7} doden per capita per jaar. Dus zeker niet 10^{-5} zoals de commissie Meijdam voorstelde en in de NPR terecht kwam.

Op basis van deze “norm” is het in Nederland **sociaaljuridisch niet toelaatbaar of toegestaan om moedwillig** (want geïnduceerd) aan meer dan 100.000 gebouwen van woningeigenaren zware schade toe te brengen, inclusief tientallen of honderden **doden te veroorzaken door gebouwinstortingen**.^{xxiii}

De NAM stelde niet: “Dat mag helemaal niet, dat gaan we niet doen zo.”

In oktober 2019 komt er een gedetailleerd boek uit over de ‘juridische aspecten van de aardbevingen in Groningen’. Monografieën Privaatrecht. Daarin staat dat:

“Enkele van de conclusies waren dat fundamentele rechtsbeginselen als het recht op veiligheid en het recht op ongestoord woongenot met voeten werden getreden alsook dat sprake was van een schrijnende onevenwichtigheid tussen de partijen als het gaat om de afwikkeling van schade.”

En verderop:

“Zowel bij de totstandkoming van de wettelijke grondslag voor aansprakelijkheid van de exploitant (art. 6:177 lid 1, aanhef en onderdeel b BW) als van het wettelijk bewijsvermoeden voor het vereiste causaal verband (art. 6:177a BW) is immers uitdrukkelijk overwogen dat gedupeerden hun schade op eenvoudige en ruimhartige wijze vergoed zouden moeten krijgen.”

De veiligheid van de bevolking (als geheel) is niet of nauwelijks in gevaar geweest.

De NEN³⁸ en de NPR³⁹-commissies, die door het overnemen van de veel te hoog berekende PGA, en het aldus berekende KNMI-kaartje als officiële bijlage aan de NPR toe te voegen, zijn de oorzaak van de hoge herstelkosten, vertraging en onnodige sloop en nieuwbouw.

³⁸ De NEN heeft vele disciplines in het opstellen van normen voor vele bedrijfstakken, waarvan de bouwwereld een van de grootste afdelingen is. Binnen die bouwwereld waren er vele bouwkundigen die enige of uitgebreide ervaring hadden met aardbevingen. DHV, Haskoning, Arcadis, Arup, Deltares en andere grote aannemers hadden de nodige specialisten met wereldwijde kennis over aardbevingsresistent bouwen en de matige aardbevingsresistente kwaliteit van de Nederlandse baksteen woningbouw.

³⁹ Wanneer je een norm gaat herzien over aardbevingen en gebouwen zou je deskundigen met aardbevingservaring in de woningbouw kunnen consulteren.

Hoofdstuk 6. Belangrijkste vaststellingen en conclusies

Deze vaststellingen en conclusies zijn een antwoord op de onderzoeksvraag van de dissertatie: *Waarom heeft het hele herstel- en versterkingsprogramma van het Groningse aardbevingsdossier zoveel problemen gehad en waarom is de schade afhandeling voor de bevolking jarenlang zo slecht verlopen met angst en stress? Dat leidt tot de vraag over wat de achtergronden waren van de zware Mmax berekening en superzware PGA-uitkomsten in de NPR. Wat had er wel gedaan moeten worden?*

Een belangrijke observatie is dat er vanaf het begin **misleiding** heeft plaatsgevonden door de publicatie van de hoge speculatieve Mmax- en Richterwaarden voor toekomstige aardbevingen, die door bijna niemand werden begrepen. Die Mmax-waarden hadden niet gepubliceerd mogen worden, maar op basis daarvan werd wel de (daardoor ook) speculatieve PGA-max berekend, die dus ook nóóit kan voorkomen. **De NPR met het verkeerde PGA-kaartje werd vervolgens als rekenbasis door de NCG verplicht.**

De voorspelde zeer hoge kosten voor gebouwversterking op basis van de verkeerde NPR-PGA veroorzaakte de **financiële terughoudendheid** (veranderende regels) van de NAM om de gebouwschade ruimhartig te vergoeden en te compenseren. Dit veroorzaakte naast grote vertraging (door procedures) en angst voor zwaardere aardbevingen ook veel stress onder de bevolking. Een aantal van die regels en procedures werden overgenomen door het CVW, de NCG en het IMG.

- A. **De Mmax is niet voor publieke informatie.** De angst bij de bevolking werd gecreëerd door de extreme Mmax- en Richterpublicaties van de NAM/KNMI, misinterpretatie van het begrip ‘veiligheid’, door het toenemende aantal bevingen en de berichtgeving in de media. De Mmax had grote invloed op de PGA-berekening en heeft het herstelproces bemoeilijkt en heel duur gemaakt. **De Mmax komt nóóit voor en is sociaal én juridisch totaal ontoelaatbaar.**
- B. **De schadeveroorzaker dient de aardbevingen te beheersen zodat er geen voor de bevolking ontoelaatbare schade ontstaat.** Een voorbeeld van goede beheersing van geïnduceerde aardbevingen is het *Traffic Light System (TLS)*; een beter systeem is de PGA-acceptabel berekening. Het acceptatieniveau van de bevolking hangt samen met de geboden (financiële) compensatie. **Uit het acceptatieniveau van de bevolking volgt dan de PGA-acceptabel.**
- C. **Het veiligheidsrisico mag niet verlaagd worden tot het niveau van een grootschalig bouwongeval bij geïnduceerde aardbevingen.** Het risico zou bij opzettelijke schade 10^{-7} moeten zijn.
- D. Bij de analyse van gebouwen volgens de NLTHA-methode moet een aan de **werkelijkheid grenzende realistische PGA-max** bepaald worden en moeten de sterkte van de woningen beoordeeld worden op een **DS2 niveau als grenswaarde** voor de maximaal toelaatbare schade.
- E. De grenswaarde van de Eurocode 8 voor het versterken van gebouwen ligt bij PGA 0,2g; daarboven is seismische versterking nodig. **Geïnduceerde aardbevingen mogen daarom nooit groter worden dan PGA 0,2g.** De Eurocode 8 is volledig accepteerbaar en hoefde voor Nederlands gebruik niet te worden vertaald of verfijnd.
- F. De NPR 9998 is een complex document dat behoefte heeft aan een duidelijke regelgeving voor retrofitting en een **voorbeeldberekening voor retrofitting van eenvoudige (baksteen) laagbouw.** Het toevoegen een hoofdstuk over retrofitting van oude metselwerkbebauwing is belangrijk. Er dienen voor geïnduceerde aardbevingen twee kaarten te zijn, een voor de horizontale PGA en een voor de verticale PGA, beiden gebaseerd op de werkelijke waarden van een beheerste gasexploitatie.

Afkortingen

Verschillende begrippen in deze dissertatie worden uitgelegd in hoofdstuk 1 ‘Begrippen’ van het Burgerboek dat in 2020-2021 werd ontwikkeld over aardbevingsbestendig bouwen. De titel van dat boek is: *Duurzaam Herstel en Versterken van Woningen in Groningen*.⁴⁰

De auteur heeft in 1976 de seismische code van Ecuador ontwikkeld en meer dan 25 jaar in het buitenland gewerkt waarvan de helft in aardbevings-gerelateerde projecten. Daarnaast twee jaar (2013-2015) in Groningen aan de ontwikkeling van MBO-informatiemateriaal voor seismisch versterken van woningen in Groningen. De auteur verdedigt in geen enkel opzicht de positie van de NAM.

Tabel 3. Afkortingen.

Alfabetisch	Korte omschrijving
Arup	Hoofdconsultant voor de NAM sinds 2012 voor seismic design en planning in de provincie Groningen. Achternaam van bouwkundig ir. Ove Nyquist Arup, († 1988) en grondlegger van het wereldwijde ingenieursbureau Arup.
CVW	Centrum Veilig Wonen te Appingedam sinds 2014 tot 2019. Winstgevend commercieel bedrijf voor schade identificatie en rapportage met als grootste aandeelhouder Arcadis. Het CVW ontving instructies van de NAM en was daarmee niet onafhankelijk. In 2029 nam de NCG de taken van het CVW over, maar ook een groot deel van het personeel.
DS1	Damage State 1. Schadeniveau gebouwen. DS2-DS5 zijn aanvullende hogere waarden.
EZ	Ministerie van Economische Zaken. Betrokken bij het aardbevingsdossier: 2010-2012 Maxime Verhagen, 2012-2017 Henk Kamp, 2017-2022 Eric Wiebes / Cora van Nieuwenhuizen (a.i.) / Bas van 't Wout / Stef Blok.
GBB	Groninger Bodem Beweging. Opgericht op 6-11-2009 na aardbeving. https://www.groninger-bodem-beweging.nl/gbb/ Via hun Gasbevingen Portaal van de GBB vindt men uitgebreide informatie over de gaswinning en de gevolgen daarvan. https://bevinggevoeld.nl/gasbevingen/ Begon rechtszaak tegen de NAM over opzettelijk schade toebrengen.
G-R constante	Een beving Richter (n) van één punt hoger (n+1), is 10 maal minder frequent als de schokken van de eerste Richtersterkte (n). Gebaseerd op tektonische aardbevingen
GMPE en PSHA	A preliminary Ground Motion Prediction Equation (GMPE) was derived for the Groningen gas field (Bourne et al., 2015). This model (V0) was based on the model from Akkar et al. (2014), who used data of M>4 tectonic earthquakes from Europe and the Middle East, and extended to lower magnitudes using recorded events in Groningen (2.7 < ML < 3.6). The combination of different datasets results in a significant uncertainty in the GMPE, but at that time the limited Groningen database did not allow a more sophisticated model development. ^{xxiv}
IMG	Instituut Mijnbouwschade Groningen. De opvolging van de TCCB. Apart opgericht van de NCG en houdt zich alleen bezig met gebouwherstel zonder versterken.
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. ⁴¹ Het KNMI communiceerde de Richterwaarden van de aardbevingen op hun website, alsmede uitleg over de bevingen.

⁴⁰ Het hele Burgerboek en ook in 13 aparte hoofdstukken staat op website met URL <https://www.nienhuys.info/Aardbevingen-in-Groningen/>

⁴¹ KNMI. Uitleg over Aardbevingen door gaswinning. In noordoost-Nederland komen sinds 2000 geregeld geïnduceerde bevingen voor. Veel gestelde vragen over aardbevingen door gaswinning. Update t/m 2023. <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/aardbevingen-door-gaswinning>
Met uitleg aardbeving Roermond 1992 en aardbevingen wereldwijd.

Alfabetisch	Korte omschrijving
Mmax	De theoretisch uitgerekende grootste maar onmogelijke aardbeving (deze zal dus nooit voorkomen). Een andere definitie: <i>Greatest lower bound of all earthquake magnitudes that are considered physically impossible in a certain location</i> . ⁴²
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij. Opgericht door Shell en Esso op 19 september 1947, nog voor de vondst van het grote Groninger gasveld.
NCG	Nationale Coördinator Groningen. Aangesteld in 2015 door de minister van Economische Zaken in opvolging van het CVW, met als taak de versterking van woningen te beoordelen en aan te pakken.
NEN	Stichting Koninklijk Nederlands Normalisatie Instituut. Stelt normen en richtlijnen vast, onder andere voor de bouw. Producent van de NPR 9998:2015 en volgende versies.
NLTHA	Non-Linear Time-History Analysis voor bepaling seismische sterkte. Digitale sterkte analyse van kleine samengestelde elementen uit de constructie en de hele constructie.
NPR 9998	Nederlandse Praktijk Richtlijn 9998:2015 met groene en witte versies sinds 2015 met jaarlijks nieuwe uitgaven en aangepaste formules. Deze NPR is een vertaling van de Eurocode 8 met berekeningsmethode voor seismisch resistent bouwen. Bij de NPR zit een PGA-kaartje van de horizontale gebouwbelasting. Dit is geen norm, maar een richtlijn of advies. In de NPR wordt slechts één enkele PGA-waarde vermeld. Deze is afgeleid van de grootst berekende Mmax en de verticale PGA en is aanzienlijk verhoogd met onzekerheden en veiligheidsmarges.
PECAG	Parlementaire Enquête Commissie Aardbevingen Groningen. Sinds jan. 2021. Rapport 2023.
PGA	<i>Peak Ground Acceleration</i> of Piek Grond Acceleratie. Maximale horizontale grondversnelling veroorzaakt door een aardbeving. Deze wordt in de NPR verhoogd met factoren van de grondsoorten van de bovenste 30 m ten behoeve van de sterkteberekeningen voor gebouwen (a_gS). Er wordt een verticale en horizontale PGA gemeten, die beiden invloeden op een gebouw hebben. Er zijn verschillende manieren om de PGA te meten. Voor Groningen wordt het geometrisch gemiddelde genomen omdat er bij het epicentrum soms hele hoge PGA_v wordt gemeten van extreem korte duur die minder relevant is voor de gebouwde omgeving.
PGA n(g)	PGA uitgedrukt als veelvoud van de zwaartekrachtversnelling 'g' van $9,82 \text{ m/sec}^2$. Deze waarde wordt plaatselijk gecorrigeerd door de invloed van de bovenste 30 m grondlagen. Deze aangepaste waarde is a_gS en staat in de Webtool (http://seismischekrachten.nen.nl/map.php). Dit is de rekenbasis van de aardbevingsbelasting op een gebouw. Het gaat hier om de horizontale belasting. De verticale PGA_v is bij de Groningse aardbevingen ongeveer 60% groter en heeft andere effecten op de gebouwde omgeving dan de horizontale.
PGA-acc	De voor de bewoners in hun gebouwde omgeving acceptabele PGA. Deze PGA_h is horizontaal en wordt vermeld in de NPR. De verticale PGA_v is bij de Groningse aardbevingen het grootste en deze wordt daarom steeds vermeld, maar is minder belangrijk voor de gebouwde omgeving.
PGV	Piek Grond Velocity (snelheid). De voortplantingssnelheid van de schokgolf. Deze wordt door de seismografen en geofoons gemeten en is een indicator voor de locatie en sterkte van de aardbevingen. De precieze locatie wordt bepaald met behulp van verschillende seismografen. Er bestaat een duidelijke relatie tussen de PGV en de PGA en de PGV kan dus gebruikt worden om de sterkte van de beving aan te geven. The PGV values range from 3 mm/s for sensitive brickwork, to 5 mm/s for conventional brickwork and to 20 mm/s for concrete and wooden structures. For repeated occurrence, lower PGVs could inflict damage (Table 10.6 in Jonker et al. (2017))
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Assessment. Op grond hiervan wordt de seismic risk bepaald = hazard x effect. Het effect is groter in de steden vanwege een grotere bevolking (meer doden). Het is ook groter bij zwakke gebouwen. ^{i en xxv en III}
TNO	Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek. Onafhankelijke organisatie in 1932 opgericht, bij wet de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek.

⁴² Bijvoorbeeld als Richter 3,7 en hoger niet optreedt, maar Richter 3,6 wel, dan $M_{max} = 3,7$. Die $M_{max} 3,7$ treedt dan per definitie niet op. De M_{max} van een nooit optredende aardbeving kan je niet afleiden uit sporadische waarnemingen van lagere aardbevingen zoals in Groningen het geval was. Voor het bepalen van de M_{max} , moeten er meerdere magnitudes zijn die zijn opgetreden als de Gutenberg-Richter-constante van toepassing was.

EINDNOTEN

- ⁱ SodM. Rapport aan de Tweede kKamer, Reassessment of the probability of higher magnitude earthquakes in the Groningen gas field, 16 January 2013.
- ⁱⁱ Arup. (2013). Groningen 2013, Seismic Risk Study - Earthquake Scenario-Based Risk Assessment. De link verwijst naar de zevende versie, maar de eerste versie lag al in 2013 bij de NAM.
- ⁱⁱⁱ Gronings perspectief (Stroebe et al) 2019. Sociale samenhang, samenwerking, veerkracht in het gaswinningsgebied.
- ^{iv} BRG. Bundes Anstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Geozentrum Hannover den 24-11-2006.
- ^v Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen area Bernard Dost, Mauro Caccavale, Torild van Eck, Dirk Kraaijpoel KNMI December 2013.
- ^{vi} Commissie Meijdam (2015). *Eindadvies 'Handelingsperspectief voor Groningen'*.
- ^{vii} Al 26 jaar aardshokken in noorden van Nederland. 8 februari 2013.
- ^{viii} Mmax II Workshop", on constraining the maximum earthquake magnitude in the Groningen field. Report on the Second Workshop on Mmax for Seismic Hazard and Risk Analysis in the Groningen Gas Field.
- ^{ix} TNO-rapport 2013 R11953. Toetsing bodemdalingprognoses en seismic hazards... 23 december 2013
- ^x Tom van der Lee et al. 24 februari 2023. Rapport parlementaire enquêtecommissie aardgaswinning Groningen.
- ^{xi} Bourne, S. J. (2022). Proponent assessment for Mmax in the Groningen field, Compact Presentation in NAM 2022, Amsterdam, The Netherlands, 13–17 June.
- ^{xii} NAM, Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013. Subsidence, Induced Earthquakes and Seismic Hazard Analysis in the Groningen Field, november 2013. Paragraaf 0.13 Independent review of 'Report to the Technical Guidance Committee (TBO) on alternative production measures and hazard analysis' (part 2).
- ^{xiii} Speciaal Rapport over de aardbeving bij Zeerijp op 14 november 2025. 26 november 2025. Jan van Elk.
- ^{xiv} Jan van Elk and Dirk Doornhof. Study and Data Acquisition Plan Induced Seismicity in Groningen. Update July 2020. Closing out the Research Programme. Part 2: Research into Earthquake processes in the Subsurface.
- ^{xv} Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen area. Bernard Dost, Mauro Caccavale, Torild van Eck, Dirk Kraaijpoel KNMI December 2013.
- ^{xvi} Trillingsrichtlijn SBR-A. Schade aan bouwwerken. SBRCURNET; Carel Ostendorf. December 2017.
- ^{xvii} Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013. Subsidence, Induced Earthquakes and seismic Hazard Analysis in the Groningen Field. Date 2013.
- ^{xviii} European Commission. Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. EN 1998.
- ^{xix} Interview op de televisie van de NOS met Shell topman van Beurden over Groningen gaswinning.
- ^{xx} www.Brittanica.com/event/Chrischurch-earthquakes-of-2010-2011
- ^{xxi} TNO-rapport: 2021 R11002D. Typologie-gebaseerde beoordeling van de veiligheid bij aardbevingen in Groningen.
- ^{xxii} TNO 2020 R10966A. Typologie-gebaseerde beoordeling van de veiligheid bij aardbevingen in Groningen - Uitwerking van typologiegroep METSELWERK-C (typologieën METSELWERK5+6+7).
- ^{xxiii} Oldenhuis, F. (Red. 2019). Juridische aspecten gaswinning: 'Groningse' verkenning. Deventer: Wolters Kluwer.
- ^{xxiv} Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Induced Earthquakes in Groningen; Update 2015. Bernard Dost and Jesper Spetzler. KNMI, October 2015.
- ^{xxv} Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen area. Bernard Dost, Mauro Caccavale, Torild van Eck, Dirk Kraaijpoel KNMI December 2013.
