



> Retouradres Postbus 93144 2509 AC Den Haag

Minister van Economische Zaken en
Klimaat, de heer E.D. Wiebes
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Minister van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties, de heer R.W. Knops
Postbus 20011
2500 EA Den Haag

**Adviescollege
Veiligheid
Groningen**

Postbus 93144
2509 AC Den Haag

Ons kenmerk
ACVG/202004-01

Uw kenmerk
PDGB/19302050
BHM/19304775

Datum 7 april 2020
Betreft Advies gebruik HRA en NPR

Geachte minister Wiebes, minister Knops,

Naar aanleiding van een steekproef door de Nationaal Coördinator Groningen heeft u een drietal vragen voorgelegd aan het Adviescollege Veiligheid Groningen (ACVG) met betrekking tot het verschil in deze steekproef tussen de resultaten van de HRA en de NPR 9998: 2018.

Het ACVG heeft op uw verzoek de oorzaken van de geconstateerde verschillen in kaart gebracht en heeft aanbevelingen geformuleerd om enerzijds onnodige verschillen te beperken en anderzijds om met de onvermijdelijke verschillen tussen de resultaten van de HRA en de NPR 9998: 2018 om te gaan.

Dit advies ontvangt u in bijlage bij deze brief.

Met vriendelijke groet,

Adviescollege Veiligheid Groningen

W. Nagtegaal
Voorzitter

N. Cornelissen
Secretaris

Verschillen tussen de NPR:9998 en de HRA

oorzaken & aanbevelingen

Samenvatting

Aanleiding

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft recent een steekproef getrokken uit gebouwen die deel uitmaken van batch 1581 en deze met de meest recente *Nederlandse Praktijkrichtlijn* (NPR) 9998:2018 opnieuw beoordeeld. Het betreft 61 gebouwen (181 adressen) die volgens de Hazard & Risk Assessment (HRA) een normaal risicoprofiel hebben. Dat betekent dat ze voldoen aan de *Meijdam-norm*. De uitkomst van de herbeoordelingen met de NPR 9998: 2018 is dat bij alle 61 gebouwen toch versterkingsmaatregelen nodig zijn. De discrepantie in deze steekproef tussen de resultaten van de HRA en de NPR 9998: 2018 is opvallend groot.

Dit rapport

Op verzoek van de Ministers van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) en Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft het Adviescollege Veiligheid Groningen (ACVG) de oorzaken van de geconstateerde discrepanties in kaart gebracht. Het ACVG heeft zich daarbij gebaseerd op literatuuronderzoek, gesprekken met deskundigen en eigen aanvullende analyses. Hierbij zijn ook 28 versterkingsadviezen beschouwd voor gebouwen die niet tot de steekproef behoren. In lijn met de adviesvraag zijn aanbevelingen geformuleerd om onnodige verschillen te beperken. Ook zijn aanbevelingen gefomuleerd hoe om te gaan met de onvermijdelijke verschillen. Voor de context van dit advies is het van belang dat het onderscheid tussen de HRA en de NPR helder is.

Context: functie HRA en NPR

De HRA en de NPR 9998 zijn beide hulpmiddelen om de werkelijkheid te benaderen en te begrijpen. Zij bezitten echter verschillende functies binnen de versterkingsopgave. De HRA wordt gebruikt voor het identificeren en prioriteren van gebouwen die opgenomen en beoordeeld moeten worden. De beoordeling zelf vindt plaats met de NPR 9998. Ondanks dat beide hulpmiddelen een ander doel dienen, is het belangrijk voor de zorgvuldigheid en snelheid van de versterkingsopgave dat hun uitkomsten zoveel mogelijk aansluiten en dat de discrepanties uitlegbaar zijn.

De *Meijdam-norm* is de basis voor de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen in Groningen. De HRA en de NPR 9998 gaan beide uit van de *Meijdam-norm* voor het *individueel risico*. De methoden voor de bepaling van het *individueel risico* voor een gebouw zijn fundamenteel verschillend. In de HRA wordt het *individueel risico* voor de meer dan 150.000 gebouwen in Groningen berekend. Hierbij wordt elk gebouw toegewezen aan een *HRA-gebouwtypologie* waarvoor de weerstand in algemene zin is gemodelleerd, rekening houdend met de variatie binnen een type. De typologie-toewijzing vindt plaats op basis van algemeen beschikbare informatie, dus niet op basis van individuele opnames. Bij beoordelingen met de NPR 9998 wordt ieder afzonderlijk gebouw door een constructeur bekeken, geschematiseerd en doorgerekend. Daarbij wordt geen risicoberekening gemaakt, maar wordt gewerkt met rekenvoorschriften die een benadering geven van het *individueel risico*.

Oorzaken van de discrepanties in de steekproef

Gestelde vraag 1: *“Hoe is te verklaren dat gebouwen, die volgens de HRA aan de veiligheidsnorm voldoen en zelfs geen licht verhoogd risicoprofiel hebben, in de beoordeling op basis van de NPR 2018 toch versterkt blijken te moeten worden?”*

Het ACVG heeft eerst alle verschillen tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 in beeld gebracht. Daarna is beoordeeld welke verschillen de discrepanties in de steekproef kunnen verklaren. Daarbij is gekeken naar de de belasting op gebouwen, de weerstand van gebouwen tegen die belastingen, en de gevolgen van bezwijken in termen van overlidenskansen. Daarnaast is gekeken naar de methode voor toetsing aan de *Meijdam-norm* en de schematisering van gebouwen.

Het resultaat van het feitenonderzoek is weergegeven in de tabel op pagina iv. Uit het onderzoek komt naar voren dat de discrepanties in de steekproef vooral het resultaat zijn van verschillen bij de bepaling van de weerstand van gebouwen en daarbij in het bijzonder:

A. De weerstand van metselwerkwallen tegen belastingen uit-het-vlak.

In de steekproef zijn alle NPR 9998:2018-beoordelingen voor het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerkwallen uitgevoerd met een vereenvoudigde, behoudende rekenmethode uit Bijlage H van de NPR 9998:2018. In de HRA wordt deze methode niet gebruikt. De HRA leunt op de uitkomsten van meer geavanceerde simulaties.

B. De benodigde stijfheid van dakvlakken en vloeren.

De toepassing van vereenvoudigde rekenmethodes voor *in-het-vlak* bezwijken (NLPO, Bijlage G van de NPR 9998:2018) leidt, in combinatie met toepassingsvoorwaarden ten aanzien van de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken, tot een behoudend oordeel. In de HRA speelt dit geen rol omdat ze leunt op de uitkomsten van meer geavanceerde rekenmethoden.

C. De omgang met onzekerheid door constructeurs bij het opstellen van versterkingsadviezen.

Bij onzekerheid over eigenschappen die de weerstand van een gebouw bepalen, hanteren constructeurs bij toepassing van de NPR 9998 doorgaans behoudende uitgangspunten. De gedachte achter de HRA is dat onzekerheden worden gemodelleerd door kansen toe te kennen aan de mogelijke waarden van onzekere parameters of constructieve kenmerken.

Het is aannemelijk dat deze aspecten samen tot een overschatting van het *individueel risico* aan de zijde van de NPR 9998:2018 hebben geleid. Hoewel het ACVG aan de zijde van de HRA geen aanleidingen voor een onderschatting op deze onderwerpen heeft gevonden, is het wenselijk na te gaan of dit mede kan hebben bijgedragen aan de (grootte van de) discrepantie in de uitkomsten. Verdere evaluatie van de HRA is wenselijk. Daarbij gaat het met name om de *gebouw-tot-gebouwvariabiliteit* en de omgang met het *uit-het-vlak* bezwijken van wallen. Verder acht het ACVG het wenselijk dat de *gebouwendatabase* doorgaand wordt geactualiseerd..

De herbeoordeling van de 61 gebouwen uit batch 1581 blijkt onder tijdsdruk te zijn uitgevoerd. Het ACVG constateert dat dit de diepgang en kwaliteit van de uitvoering heeft beïnvloed. Mede daaruit is het belang van kwaliteitsborging op de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen naar voren gekomen.

Aanbevelingen over het verkleinen van discrepanties

Gestelde vraag 2: "Op welke wijze kan het verschil tussen de uitkomsten van HRA en NPR worden verkleind?"

Het ACVG onderscheidt aanbevelingen die direct zijn gerelateerd aan de beoordeling van de constructieve veiligheid en meer algemene verbeterpunten wanneer men de discrepanties wil verkleinen. Daarbij is het goed de uitgangspunten voor de rekenmethoden te duiden.

Context: uitgangspunten rekenmethoden

Het ACVG vindt een gelaagde aanpak bij de beoordeling van de constructieve veiligheid van gebouwen met de NPR: 9998 essentieel voor de snelheid van de versterkingsopgave. Een gelaagde aanpak houdt in dat wordt gestart met eenvoudige snelle rekenmethoden. Als een gebouw niet blijkt te voldoen aan de *Meijdam-norm* wordt een meer geavanceerde rekenmethode ingezet als verwacht mag worden dat dit een wezenlijke invloed heeft op het beoordelingsresultaat. Vereenvoudigde beoordelingsmethoden zijn dus van meerwaarde. Wel is een zorgvuldige kalibratie van vereenvoudigde modellen noodzakelijk aan meer geavanceerde modellen en de *Meijdam-norm*.

Ten aanzien van de constructieve veiligheid adviseert het ACVG het volgende:

1. Verbeter de vereenvoudigde methode voor de *uit-het-vlak* beoordeling van metselwerk wanden uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018. In opdracht van het Ministerie van BZK wordt hier onder auspiciën van NEN al aan gewerkt.
2. Verbeter de consistentie tussen de benaderende rekenmethoden cf. NPR 9998: 2018 voor het globaal (*in-het-vlak*) bezwijken van gebouwen. Onder auspiciën van NEN wordt hier momenteel al aan gewerkt. Laat NEN hierbij ook de invloed van de toets op de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken meenemen.
3. Laat de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) evalueren in hoeverre in de HRA adequaat wordt omgegaan met *uit-het-vlak* bezwijken en de *gebouw-tot-gebouwvariabiliteit* binnen HRA-*gebouwtypologieën*. Maak de lopende werkzaamheden binnen NEN-module 4 daarbij dienstbaar aan deze evaluatie door TNO.
4. Besteed aandacht aan de kwetsbaarheid van gebouwen met meervoudige constructieve schade. Het effect van meervoudige constructieve schade op de weerstand van gebouwen ontbreekt in zowel de HRA als de NPR 9998: 2018.
5. Blijf de *gebouwendatabase* actualiseren en maak daarbij gebruik van nieuwe kennis, zoals de resultaten van opnames, beoordelingen, schaderapportages en versterkingen.

Daarnaast stelt het ACVG de volgende algemene verbeterpunten voor:

6. Verbeter systematisch de inhoudelijke kwaliteitsborging ten aanzien van de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen.
7. Verbeter de eenduidigheid van de regie op de (door-)ontwikkeling en validatie van de verschillende technisch-inhoudelijke hulpmiddelen voor de versterkingsopgave. Zodoende wordt de consistentie verbeterd en ervoor gezorgd dat initiatieven beter op elkaar en de praktijk aansluiten. Zolang de technische hulpmiddelen niet worden ontwikkeld onder eenduidige regie, zijn suboptimale kaders en vertraging onvermijdelijk.

Het bovenstaande laat onverlet dat discrepanties nooit geheel te voorkomen zijn, zeker niet bij meer dan 150.000 gebouwen.

Aanbeveling over de omgang met discrepanties

Gestelde vraag 3: “Hoe kan worden omgegaan met de discrepantie tussen de uitkomsten van de HRA en NPR bij het vaststellen van een risicoprofiel van een gebouw en het beoordelen of een gebouw aan de veiligheidsnorm voldoet?”

Het kan voorkomen dat gebouwen die onvoldoende aardbevingsbestendig zijn niet door de HRA worden opgemerkt. Om dit te voorkomen doet het ACVG de volgende aanbevelingen:

8. Benut bij het vaststellen van risicoprofielen ook andere informatiebronnen die betrekking hebben op constructieve veiligheid, zoals kennis over gebouwen met meervoudige constructieve schade.
9. Stel de achtergronden van de vastgestelde risicoprofielen op verzoek beschikbaar aan bewoners. Maak het daarnaast mogelijk om zelf een opname aan te vragen, om het toegekende risicoprofiel te evalueren en indien mogelijk via zelfinspectie bij te dragen. In dit verband spreekt het ACVG steun uit voor het initiatief “opname op verzoek”.

Tot slot

Het ACVG acht het van het grootste belang dat de benodigde versterkingen zo snel mogelijk worden uitgevoerd, waarbij recht wordt gedaan aan de veiligheid en de wensen en zorgen van bewoners. Het ACVG adviseert de Minister van BZK en de Minister van EZK om te communiceren over de bevindingen en aanbevelingen uit dit advies vanuit het perspectief van de Groninger en de Groningse regio. Dit betekent dat de bevindingen en opvolging van de aanbevelingen voor de bewoner op een begrijpelijke wijze worden uitgelegd. Ook betekent dit dat bewoners de mogelijkheid moeten krijgen om eventuele vragen hierover aan deskundigen voor te leggen. Vanzelfsprekend werkt het ACVG hier graag aan mee en is het ACVG hiervoor beschikbaar.

Overzicht van de resultaten van het feitenonderzoek naar de verschillen tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 en hun relevantie voor de discrepanties in de steekproef.

Potentiële oorzaak van discrepanties	Deelaspect	Bronnen	Conclusies	Relevantie voor discrepanties in steekproef
1. Verschillen t.a.v. modellering fysica	1.1 Modellering aardbevingsbelasting	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: gesprekken met deskundigen • Secundair: literatuurstudie (geen vergelijkende studies op resultaatniveau) 	Aardbevingsbelastingen aan de basis van gebouwen worden in de HRA en de NPR 9998: 2018 niet op precies dezelfde wijze gemodelleerd. De verschillen ten aanzien van de aardbevingsbelastingen in de HRA-2018 en de NPR 9998: 2018 zijn echter klein.	Klein zie advies 7
	1.2 Modellering weerstand van gebouwen	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: eigen analyse steekproef batch 1581, eigen analyse van 28 aanvullende reguliere versterkingsadviezen, literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	1.2a: De vereenvoudigde NLPO-rekenmethoden voor het <i>in-het-vlak</i> bezwijken cf. NPR 9998: 2018 zijn behoudend. In de steekproef is overal gebruik gemaakt van vereenvoudigde NLPO-berekeningen. In de reguliere constructeurspraktijk worden ook vaak meer gedetailleerde NLPO-methoden gebruikt en soms NLTH-methoden. In de HRA wordt niet met vereenvoudigde methoden gewerkt; ze steunt op NLTH-methoden.	Klein zie advies 2
			1.2b: De aparte toetsing van de <i>stijfheid</i> van vloer- en dakvlakken in NPR 9998: 2018 in combinatie met toepassing van de vereenvoudigde NLPO-methode voor <i>in-het-vlak</i> bezwijken, leidt tot een behoudend oordeel. De HRA steunt op meer geavanceerde NLTH-methoden die het gebouw in zijn geheel beschouwen.	Groot zie advies 2
			1.2c: De vereenvoudigde methode voor <i>uit-het-vlak</i> bezwijken van metselwerk uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 is behoudend. Deze methode is in de steekproef overal gebruikt. In de reguliere constructeurspraktijk wordt Bijlage H ook veelvuldig gebruikt. In de HRA wordt niet gewerkt met de benaderingsmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018.	Groot zie advies 1
			1.2d: Het effect van meervoudige constructieve schade op de weerstand van gebouwen is een kennisleemte in zowel de HRA als de NPR 9998: 2018.	N.t.b. zie adviezen 4, 8-9
1.3 Modellering gevolgen van bezwijken	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	De gevolgen van bezwijken in termen van overlijdenskansen worden anders gemodelleerd in de HRA en de NPR 9998: 2018. Dit kan leiden tot verschillen in beoordelingsresultaten.	Onzeker zie advies 7	
2. Verschillende benaderingswijzen bij toetsing aan Meijdam-norm	2.1 Benaderende, semi-probabilistische werkwijze in de NPR 9998	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	2.1a: Bijlage G van NPR 9998: 2018 over de NLPO-methode is gekalibreerd aan de <i>Meijdam-norm</i> . Wel is betere afstemming tussen vereenvoudigde en geavanceerde modellen gewenst, zie 1.2a.	Klein zie advies 2
	2.2 Benaderende werkwijze met gebouwtypen in de HRA	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	2.1b: Bijlage H van de NPR 9998: 2018 over <i>uit-het-vlak</i> bezwijken is nog onvoldoende gekalibreerd aan de <i>Meijdam-norm</i> .	Groot Zie advies 1
3. Onvolkomenheden bij het schematiseren van gebouwen	3.1 Schematisering gebouwen bij gebruik NPR 9998: 2018	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: eigen analyse steekproef batch 1581, eigen analyse van 28 aanvullende reguliere versterkingsadviezen • Secundair: gesprekken met deskundigen 	2.2: De door NAM aangenomen bandbreedtes voor de <i>gebouw-tot-gebouwvariabiliteit</i> lijken voor een relatief kwetsbaar rijtjeshuistype te passen bij een alternatieve uitwerking door TU Delft. Dit is echter nog niet voor andere HRA-gebouwtypen onderzocht en is onderdeel van de typologie-benadering van TNO.	N.t.b. zie adviezen 3, 8-9
	3.2 Schematisering HRA-indexgebouwen	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	Bij onzekerheid wordt door constructeurs vaak een behoudende keuze gemaakt. Hierdoor ontstaat een systematische overschatting van het <i>individueel risico</i> bij toepassing van de NPR 9998.	Groot zie advies 6
	3.3 Toewijzing gebouwen aan HRA-gebouwtypologieën	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	Een internationaal reviewpanel en SodM hebben zich positief uitgelaten over de gevolgde aanpak en de validatie met experimenten. Het ACVG heeft de schematiseringen van de HRA-indexgebouwen echter niet zelf kunnen evalueren. Nadere evaluatie is wenselijk.	N.t.b. zie adviezen 8-9
			De betrouwbaarheid van de toewijzing van de 61 gebouwen uit de steekproef is dusdanig dat de discrepanties in de steekproef niet zijn te verklaren door systematische fouten bij het toewijzen van deze gebouwen aan HRA-gebouwtypologieën.	Klein zie adviezen 5, 8-9

Inhoud

Samenvatting	i
Afkortingenlijst.....	vi
Begrippenlijst.....	vi
1 Inleiding.....	1
1.1 Aanleiding.....	1
1.2 Missie Adviescollege Veiligheid Groningen	2
1.3 Aanpak.....	2
1.4 Leeswijzer	2
2 Toelichting op de HRA en de NPR 9998.....	4
2.1 NPR 9998: Nederlandse Praktijkrichtlijn voor aardbevingsbestendig bouwen	4
2.2 HRA: Hazard & Risk Assessment.....	4
3 Beschrijving van de steekproef	6
3.1 Overzicht van de discrepanties in de steekproef	6
3.2 De steekproef in het licht van de reguliere constructeurspraktijk	6
4 Oorzaken van discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998: 2018	8
4.1 Overzicht van de potentiële oorzaken van discrepanties	8
4.2 Discrepanties door verschillen in de modellering van de fysica.....	8
4.2.1 De modellering van de aardbevingsbelasting op gebouwen	8
4.2.2 De modellering van de weerstand van gebouwen.....	9
4.2.3 De modellering van de gevolgen van het bezwijken van gebouwen	12
4.3 Discrepanties door verschillende benaderingen bij toetsing aan de Meijdam-norm.....	13
4.3.1 De benaderende, semi-probabilistische werkwijze in de NPR 9998	13
4.3.2 De benaderende werkwijze met gebouwtypen in de HRA.....	14
4.4 Discrepanties door onvolkomenheden bij het schematiseren van gebouwen	15
4.4.1 De schematisering van gebouwen bij gebruik van de NPR 9998: 2018	15
4.4.2 De schematisering van HRA-indexgebouwen	15
4.4.3 Onjuiste typeringen van gebouwen in de HRA.....	16
4.5 Overzicht oorzaken discrepanties in steekproef.....	16
5 Aanbevelingen voor verkleining van de discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998	19
6 Aanbevelingen voor omgang met de discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998.....	21
7 Tot slot.....	22

Afkortingenlijst

In dit advies worden onderstaande afkortingen gebruikt. Voor technische termen is in de begrippenlijst een definitie opgenomen.

ACVG	Adviescollege Veiligheid Groningen
BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
HRA	Hazard and Risk Assessment
GSAT	Groningen Seismic Assessment Tool
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LPR	Local Personal Risk
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij
NEN	Nederlands Normalisatie-instituut
NCG	Nationaal Coördinator Groningen
NLPO	Non-Linear Push Over
NLTH	Non-Linear Time History
NPR 9998	Nederlandse Praktijk Richtlijn 9998
PSHA	Probabilistic Seismic Hazard Analysis
SDOF	Single Degree of Freedom
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TU Delft	Technische Universiteit Delft

Begrippenlijst

In dit advies gelden de volgende termen en definities. Deze zijn *cursief* gedrukt in het advies.

3Muri	Softwarepakket waarmee NLPO berekeningen kunnen worden gemaakt.
Collapse States	Bezwijktoestanden. In het gevolgmodel van de Hazard and Risk Assessment worden voor gebouwen in metselwerk drie <i>Collapse States</i> onderscheiden, waarbij <i>Collapse State 3</i> correspondeert met volledige instorting.
Gebouwendatabase	Een database waarin voor gebouwen in Groningen is aangeven tot welke <i>gebouwtypologieën</i> zij vermoedelijk behoren (ook: Exposure Database).
Gebouwtypologie	Verzameling gebouwen met dusdanig vergelijkbare constructieve kenmerken dat hun weerstand tegen aardbevingen zich op een vergelijkbare wijze laat beschrijven.
Gebouw-tot-gebouwvariabiliteit	De spreiding in de weerstand van gebouwen die tot dezelfde typologie behoren.
Grondbewegingsmodel	Een model dat de energie van een aardbeving en de verplaatsing op diepte vertaalt in een beweging (grondsnelheid en grondversnelling) aan het aardoppervlak.
Groningen Seismic Assessment Tool	Softwarepakket waarmee NLPO berekeningen kunnen worden gemaakt om relatief snel te berekenen of een gebouw voldoet aan de norm voor het <i>individueel risico</i> .
Hazard and Risk Assessment	Een beoordeling van de aardbevingsdreiging en het <i>individueel risico</i> voor gebouwen in Groningen inclusief de vergelijking met de <i>Meijdam-norm</i> .
Indexgebouw	Een gebouw dat model heeft gestaan bij de ontwikkeling van de <i>fragility curve</i> voor een HRA- <i>gebouwtypologie</i> . Het feit dat een gebouw

	dat tot een bepaalde HRA-typologie behoort, kan afwijken van het betreffende <i>indexgebouw</i> is in de HRA meegenomen door het effect van <i>gebouw-tot-gebouwvariabiliteit</i> afzonderlijk in rekening te brengen.
Individueel risico In-het-vlak	De overlijdenskans van een individu in een periode van een jaar. Term die een richting parallel aan een vlakvorming constructief element aangeeft. Zo wordt het gewicht dat op een muur rust <i>in-het-vlak</i> afgedragen.
Fragility curve	Een curve (kwetsbaarheidscurve) die de faalkans geeft als functie van een belastingparameter
Local Personal Risk	Een maat voor het <i>individueel risico</i> waarbij wordt aangenomen dat personen continu aanwezig zijn op een willekeurige plaats in of rond een gebouw.
Meijdam-norm	Norm voor de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen. De norm behelst een maximaal <i>individueel risico</i> van $1/100.000$ (10^{-5}) per jaar ten gevolge van een aardbeving.
Mijnbouwwet	Wet van 31 oktober 2002, houdende regels met betrekking tot het onderzoek naar en het winnen van delfstoffen en met betrekking tot met de mijnbouw verwante activiteiten.
Nederlandse Praktijk Richtlijn 9998	De NPR 9998 geeft (reken)methoden waarmee constructeurs kunnen vaststellen of gebouwen, al dan niet na versterkingsmaatregelen, voldoende aardbevingsbestendig zijn. Als in dit rapport over de NPR 9998 wordt gesproken (zonder jaartal), dan wordt bedoeld op de NPR 9998 in algemene zin, los van een bepaalde versie.
Non-Linear Push Over	Rekenmethode waarbij het bezwijkgedrag van een gebouw wordt bepaald op basis van een vereenvoudigde horizontale belasting.
Non-Linear Time History	Rekenmethode waarbij het dynamisch gedrag van een gebouw tijdens een aardbeving in de tijd wordt gesimuleerd.
Probabilistische methode	Methode voor de beoordeling van de constructieve veiligheid waarbij een faalkans of risico wordt berekend. Dit wordt gedaan door aan alle mogelijke waarden van de onzekere belasting en de onzekere weerstand kansen van voorkomen toe te kennen.
Probabilistic Seismic Hazard Analysis	Een PSHA geeft voor alle mogelijke grondbewegingen aan het aardoppervlak een inschatting van de kans van voorkomen.
Semi-probabilistische methode	Methode voor de beoordeling van de constructieve veiligheid waarbij modellen worden gevoed met rekenwaarden van onzekere belasting- en weerstandsparameters. Deze rekenwaarden zijn idealiter zodanig gedefinieerd dat het <i>individueel risico</i> kleiner is dan de <i>Meijdam-norm</i> als een gebouw volgens een <i>semi-probabilistische</i> beoordeling voldoet.
Single Degree of Freedom systeem	Een SDOF-systeem is een systeem met één vrijheidsgraad, een één-massa-veersysteem.
Sterkte Stijfheid Tijdvak	De geschiktheid van een materiaal om belastingen te weerstaan. De weerstand tegen vervorming. De seismische belasting hangt af van het niveau van de gaswinning. De gaswinning neemt in de tijd af. De NEN-webtool onderscheidt drie <i>tijdvakken</i> waarvoor de seismische belasting is berekend.
Uit-het-vlak	Term die een richting loodrecht op een vlakvormig constructief element aangeeft. Zo belast de wind die tegen een muur blaast de muur <i>uit-het-vlak</i> .

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Nationaal Coördinator Groningen (NCG) heeft recent een steekproef uitgevoerd onder gebouwen uit batch 1581 die volgens de *Hazard and Risk Assessment (HRA)*¹ een normaal risicoprofiel bezitten.² Van de 771 adressen uit de steekproef is voor 181 adressen (61 gebouwen), die eerder waren beoordeeld op basis van de *Nederlandse Praktijk Richtlijn (NPR) 9998: 2015*, een herbeoordeling op basis van de *NPR 9998: 2018* uitgevoerd. De *NPR 9998: 2018* is de meest recente richtlijn voor het beoordelen van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen in Groningen en het ontwerp van versterkingsmaatregelen. Bij alle 61 gebouwen zijn nog steeds versterkingsmaatregelen nodig. De discrepantie in deze steekproef tussen de resultaten van de HRA en de *NPR 9998: 2018* is opvallend groot.

In verband met het resultaat van de steekproef zijn op 9 januari 2020 namens de Minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) en de Minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) de volgende vragen voorgelegd aan het Adviescollege Veiligheid Groningen (hierna: het ACVG):³

1. “Hoe kan worden omgegaan met de discrepantie tussen de uitkomsten van de HRA en NPR bij het vaststellen van een risicoprofiel van een gebouw en het beoordelen of een gebouw aan de veiligheidsnorm voldoet?
2. Hoe is te verklaren dat gebouwen, die volgens de HRA aan de veiligheidsnorm voldoen en zelfs geen licht verhoogd risicoprofiel hebben, in de beoordeling op basis van de *NPR: 2018* toch versterkt blijken te moeten worden?
3. Op welke wijze kan het verschil tussen de uitkomsten van HRA en NPR worden verkleind?”

In het voorliggende advies geeft het ACVG antwoord op de bovenstaande vragen. Voor de context is het van belang dat het onderscheid tussen de HRA en de NPR helder is.

Context: functie HRA en NPR

De HRA en de *NPR 9998* zijn beide hulpmiddelen om de werkelijkheid te benaderen en te begrijpen. Zij bezitten echter verschillende functies binnen de versterkingsopgave. De HRA wordt gebruikt voor het identificeren en prioriteren van gebouwen die opgenomen en beoordeeld moeten worden. De beoordeling zelf vindt plaats met de *NPR 9998*. Ondanks dat beide hulpmiddelen een ander doel dienen, is het belangrijk voor de zorgvuldigheid en snelheid van de versterkingsopgave dat hun uitkomsten zoveel mogelijk aansluiten en dat de discrepanties uitlegbaar zijn.

De *Meijdam-norm* is de basis voor de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen in Groningen. De HRA en de *NPR 9998* gaan beide uit van de *Meijdam-norm* voor het *individueel risico*. De methoden voor de bepaling van het *individueel risico* voor een gebouw zijn fundamenteel verschillend. In de HRA wordt het *individueel risico* voor de meer dan 150.000 gebouwen in Groningen berekend. Hierbij wordt elk gebouw toegewezen aan een *HRA-gebouwtypologie* waarvoor de weerstand in algemene zin is gemodelleerd, rekening houdend met de variatie binnen een type. De typologie-toewijzing vindt plaats op basis van algemeen beschikbare informatie, dus niet op basis van individuele opnames. Bij beoordelingen met de *NPR 9998* wordt ieder afzonderlijk gebouw door een constructeur bekeken, geschematiseerd en doorgerekend. Daarbij wordt geen risicoberekening gemaakt, maar wordt gewerkt met rekenvoorschriften die een benadering geven van het *individueel risico*.

1 HRA staat voor Hazard & Risk Assessment. Hoewel hier wordt gesproken over “de” zijn er in 2018 meerdere HRA’s uitgevoerd en is ook in 2019 een HRA uitgevoerd, steeds gebruik makend van nieuwe kennis en inzichten. In paragraaf 1.4 wordt hier nader op ingegaan.

2 Zie ook Kamerstuk 33 529, nr. 701.

3 Adviesvraag gebruik HRA en NPR, 9 januari 2020. Kenmerk PDGB / 19302050, BHM / 19304775.

1.2 Missie Adviescollege Veiligheid Groningen

Het ACVG is ingesteld om de Ministers van EZK en BZK gevraagd en ongevraagd te voorzien van onafhankelijk advies over de te gebruiken kaders, normen en modellen omtrent de veiligheid van gebouwen en bouwwerken in het kader van de versterkingsopgave in Groningen. Het gaat daarbij om onder meer: (a.) de wijze waarop een risicoprofiel voor een gebouw en de actualisatie daarvan wordt vastgesteld, (b.) de wijze waarop wordt vastgesteld of een gebouw voldoet aan de veiligheidsnorm als ook (c.) de wijze waarop wordt vastgesteld welke maatregelen nodig zijn om een gebouw aan de veiligheidsnorm te laten voldoen.⁴

Het ACVG acht het van het grootste belang dat de benodigde versterkingen zo snel mogelijk worden uitgevoerd, waarbij recht wordt gedaan aan de wensen en zorgen van bewoners. De aanbevelingen uit dit rapport zijn vanuit deze visie opgesteld.

1.3 Aanpak

Dit advies is tot stand gekomen op basis van een eigen analyse van de 61 versterkingsadviezen uit de steekproef uit batch 1581 (hierna: “de steekproef”), een eigen analyse van 28 reguliere versterkingsadviezen voor gebouwen die niet tot de steekproef behoren, interviews met betrokkenen en een literatuurstudie naar de technische achtergronden van de NPR 9998: 2018 en de HRA.

Het ACVG heeft niet alle verschillen tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 in detail kunnen onderzoeken. Waar mogelijk heeft het ACVG zich gebaseerd op de uitkomsten van eigen analyses en technische rapporten en is slechts ter controle met externe deskundigen gesproken. Daar waar het ACVG zich grotendeels of volledig heeft gebaseerd op de oordelen van externe deskundigen (individuen, review panels of instituten) is dit duidelijk aangegeven. Ook waar het niet mogelijk bleek om binnen de gestelde tijd uitsluitsel te krijgen, is dit vermeld.

Ondanks de bovengenoemde beperkingen heeft het ACVG zich een goed beeld kunnen vormen van het gebruik van de NPR 9998 en de HRA in de praktijk, de verschillen die er tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 bestaan, de wijze waarop deze verkleind kunnen worden en hoe met verschillen - die onvermijdelijk in enige vorm blijven bestaan - kan worden omgegaan.

Conform de opdracht aan het ACVG, is een voorlopige versie van dit advies gedeeld met de Regio en de Inspecteur-generaal der Mijnen voor een reactie. In het kader van kwaliteitsborging en transparantie, heeft het ACVG ook de NCG, de Tijdelijke Commissie Mijnbouwschade Groningen (TCMG), de Mijnraad, het Nederlands Normalisatie-instituut (NEN), de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), het Groninger Gasberaad en de Groninger Bodem Beweging, evenals de Ministeries van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties en Economische Zaken en Klimaat om een reactie gevraagd op de voorlopige versie. Vervolgens is het advies door het ACVG naar eigen inzicht afgerond. De wijze waarop met de ontvangen reacties is omgegaan is aan de betrokkenen bekend gemaakt.

1.4 Leeswijzer

De volgorde waarin de gestelde vragen in dit advies worden beantwoord wijkt af van de volgorde waarin de vragen zijn gesteld. Dit is gedaan omdat een goed begrip van de oorzaken van de geconstateerde discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 (vraag 2) essentieel is voor adviezen over de weg voorwaarts (vragen 1 en 3).

Dit advies is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt een algemene, korte toelichting gegeven op de HRA en de NPR 9998. In hoofdstuk 3 wordt een bondig overzicht gegeven van de discrepanties in de steekproef. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de resultaten gepresenteerd van het feitenonderzoek naar de onderliggende oorzaken van deze discrepanties. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een conclusie die het

4 Besluit tot instelling van het Adviescollege Veiligheid Groningen.

antwoord vormt op vraag 2. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de mogelijkheden om deze discrepanties te verkleinen (vraag 3). Ten slotte worden in hoofdstuk 6 aanbevelingen gedaan over de omgang met resterende discrepanties (vraag 1).

Als in dit rapport over de NPR 9998 wordt gesproken (zonder jaartal), dan wordt bedoeld op de NPR 9998 in algemene zin, los van een bepaalde versie. Bij het bepalen van de risicoprofielen uit batch 1581 heeft NCG gebruik gemaakt van de HRA-run uit 2018 die de basis vormde voor het instemmingsbesluit voor gasjaar 2018/2019.⁵ Door de NCG is aangegeven dat de risicoprofielen van de gebouwen uit de steekproef hetzelfde zouden zijn geweest als was uitgegaan van een HRA met daarin een update van een geactualiseerde *gebouwendatabase* die kort daarna is verschenen⁶ of van de HRA-run uit 2019. Wanneer in dit rapport wordt gesproken over de HRA, dan wordt bedoeld op deze verzameling HRA's. Alleen als dit nodig is om verwarring te voorkomen, is door het vermelden van jaartallen aangegeven om welke HRA het gaat.

5 NAM, Seismic Risk Assessment for Production Scenario "Basispad Kabinet" for the Groningen Field. Addendum to: "Induced Seismicity in Groningen, Assessment of Hazard Building Damage and Risk (November 2017)", juni 2018.

6 NAM, Exposure Database (EDB) voor het gebied van het Groningen veld - stand van Zaken september 2018, september 2018.

2 Toelichting op de HRA en de NPR 9998

2.1 NPR 9998: Nederlandse Praktijkrichtlijn voor aardbevingsbestendig bouwen

Voorschriften ten aanzien van de veiligheid van gebouwen zijn in Nederland vastgelegd in het Bouwbesluit 2012. Om na te gaan of aan de bepalingen uit het Bouwbesluit wordt voldaan, kan gebruik worden gemaakt van voorgeschreven (reken)methoden. Deze zijn uitgewerkt in normen die worden gepubliceerd door NEN.

Naar aanleiding van de aardbevingen in Groningen is specifiek voor het beoordelen van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen in Groningen een praktijkrichtlijn ontwikkeld: de NPR 9998. De NPR 9998 geeft regels voor zowel nieuwbouw, verbouw als bestaande bouw. De eerste versie van de NPR 9998 is in februari 2015 uitgebracht door NEN. Op basis van praktijkervaringen en nieuwe inzichten is in 2018 een nieuwe versie gepubliceerd: de NPR 9998: 2018. Dit is vooralsnog de meest recente versie van de NPR 9998 en met deze versie wordt momenteel in het veld gewerkt. In opdracht van het Ministerie van BZK wordt onder auspiciën van NEN gewerkt aan een update van de NPR 9998: 2018. Deze zal gefaseerd worden uitgebracht, naar verwachting op 1 juli 2020 en 1 januari 2021.

De NPR 9998 geeft (reken)methoden waarmee constructeurs kunnen vaststellen of gebouwen, al dan niet na versterkingsmaatregelen, voldoende aardbevingsbestendig zijn. Het uitgangspunt is daarbij steeds de *Meijdam-norm* voor het *individueel risico*.⁷ Met de NPR 9998 berekenen constructeurs echter niet direct een *individueel risico*. De NPR 9998 geeft aan met welke waarden van de onzekere belastings- en weerstandsparameters, met welke veiligheidsfactoren en met welke (soorten) modellen gerekend moet worden. Als het gebouw volgens een berekening conform de NPR 9998 voldoet, dan is het *individueel risico* voldoende klein. Deze indirecte methode voor toetsing aan een risiconorm wordt door ingenieurs ook wel aangeduid als een *semi-probabilistische* benadering. Omdat de *semi-probabilistische* benadering relatief eenvoudig is in het gebruik, zijn alle Nederlandse bouwvoorschriften *semi-probabilistisch* van aard. Een beoordeling op basis van een risicoberekening is volgens de NPR 9998 echter ook altijd toegestaan.⁸

2.2 HRA: Hazard & Risk Assessment

De *Mijnbouwwet* vereist dat een winningsplan voor het Groningen-gasveld een beschrijving bevat van de risico's voor gebouwen. In dit verband wordt door de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) jaarlijks een HRA gepubliceerd. Deze risicobeoordelingen worden door toezichthouder SodM getoetst.

In zijn advies van 29 juni 2018 over de gevolgen van de afname van de gaswinning op de versterkingsopgave baseerde de Mijnraad⁹ zijn verwachtingen mede op de destijds beschikbare HRA van de NAM. Daarmee deed de HRA zijn intrede binnen de versterkingsopgave. De HRA wordt momenteel gebruikt als input bij het vaststellen van de risicoprofielen van gebouwen. De lijst van gebouwen die volgens de HRA een verhoogd risico bezitten, wordt nog 'verrijkt' op basis van additionele overwegingen. Deze risicoprofielen bepalen mede welke gebouwen voor opname en beoordeling in aanmerking komen en in welke prioriteitsvolgorde¹⁰.

Om het *individueel risico* voor meer dan 150.000 gebouwen in Groningen te bepalen wordt in de HRA eerst per gebouw een kans op een bepaalde mate van bezwijken berekend. Daartoe wordt elk gebouw, zonder uitzondering, op basis van algemeen beschikbare informatie toegekend aan een HRA-*gebouwtypologie*.¹¹ Voor

7 Zie ook kst 33 529, nr. 205 en paragraaf 1.1.2.2 van de NPR9998: 2018.

8 Dit staat vermeld in paragraaf 2.2.3 van de NPR 9998: 2018

9 Mijnraad, 29 juni 2018, Mijnraadadvies veiligheidsrisico's en versterkingsopgave Groningen, kenmerk MIJR/18154796.

10 Ook overwegingen in de uitvoering en slimme clustering kunnen een rol spelen.

11 Hiermee wordt bedoeld op de *gebouwtypologieën* die in de HRA worden onderscheiden. Bij onzekerheid over de juiste HRA-*gebouwtypologie* worden kansen toegekend aan de HRA-typologieën waartoe het gebouw zou kunnen behoren.

elke HRA-*gebouwtypologie* is, aan de hand van een zogenaamd *indexgebouw*¹², de bezwijkkans bepaald als functie van het belastingniveau: hoe hoger de belasting door een aardbeving, des te groter de kans op bezwijken. Door nu aan alle mogelijke belastingniveaus kansen van voorkomen toe te kennen, kan voor elk gebouw een bezwijkkans worden berekend. Het *individueel risico* volgt vervolgens uit vermenigvuldiging van de kans op bezwijken met de kans dat een individu daar het slachtoffer van wordt. Het aldus berekende *individueel risico* moet kleiner zijn de *Meijdam-norm*. Deze aanpak, waarbij alle onzekerheden worden vertaald naar bezwijkkansen en risico's, wordt door ingenieurs ook wel aangeduid als een *probabilistische* werkwijze.

¹² Een *indexgebouw* is een gebouw dat model staat voor een HRA-*gebouwtypologie*. Het feit dat een gebouw tot een bepaalde HRA-typologie behoort, is in de HRA meegenomen door het effect van de *gebouw-tot-gebouwwariableit* afzonderlijk in rekening te brengen.

3 Beschrijving van de steekproef

3.1 Overzicht van de discrepanties in de steekproef

Het ACVG heeft voor alle 61 gebouwen uit de steekproef de oorzaken van de normoverschrijdingen geïnventariseerd. In Tabel 1 zijn de resultaten weergegeven. De tabel geeft aan voor welke aspecten en hoe vaak er in de steekproef discrepanties bestaan tussen de HRA en de NPR 9998: 2018. De percentages uit de laatste kolom hebben betrekking op het aantal opnieuw beoordeelde gevallen, namelijk 61.

Tabel 1. Overzicht van de oorzaken van normoverschrijdingen volgens de 61 herbeoordelingen op basis van de NPR 9998: 2018

Aspect	Aantal	Percentage
Globaal bezwijken (in-het-vlak bezwijken van metselwerk)	8	13%
Uit-het-vlak bezwijken van buitenspouwbladen	45	74%
Uit-het-vlak bezwijken van dragende wanden, dragende binnenspouwbladen en scheidingswanden	55	90%
Onvoldoende stijfheid van vloervlak	36	59%
Onvoldoende stijfheid van dakvlak	52	85%
Onvoldoende sterkte van de verbindingen tussen wand, vloer- of dakvlakken	59	97%

Een kanttekening is dat twee versterkingsadviezen melding maken van onvoldoende weerstand tegen *in-het-vlak* bezwijken, terwijl de achterliggende berekeningen dit oordeel niet ondersteunen. Ook is in vier gevallen, in afwijking van het berekeningsresultaat, een *in-het-vlak* versterkingsmaatregel geadviseerd, waarbij dit in het versterkingsadvies niet nader gemotiveerd is. Deze in totaal zes gevallen zijn in het onderzoek van het ACVG beschouwd als gevallen waarin de weerstand tegen *in-het-vlak* bezwijken voldoende is. Deze zes gevallen komen zodoende niet tot uitdrukking in de in Tabel 1 genoemde aantallen en percentages.

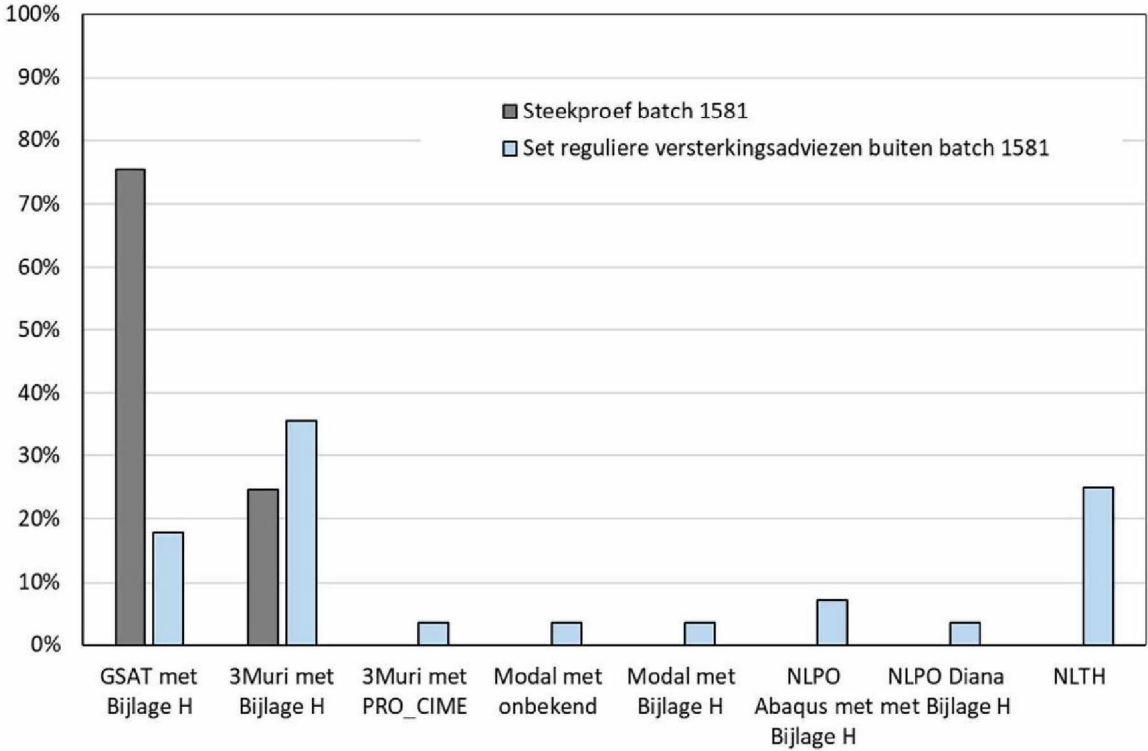
3.2 De steekproef in het licht van de reguliere constructeurspraktijk

Naast de 61 versterkingsadviezen uit de steekproef heeft het ACVG ook 28 reguliere versterkingsadviezen bestudeerd om zich een beter beeld te vormen van de vorm en inhoud van de versterkingsadviezen die voor gebouwen in Groningen worden opgesteld. Daarbij is het volgende geconstateerd.

Ten eerste wordt normaliter een breder palet rekenmethoden gebruikt dan in de steekproef (Figuur 1).¹³ De 61 versterkingsadviezen uit de steekproef zijn allemaal gebaseerd op berekeningen met *Groningen Seismic Assessment Tool* (GSAT) (75%) en *3Muri* (25%), steeds in combinatie met de vereenvoudigde rekenmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 voor het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerkwanden. In de 28 reguliere versterkingsadviezen komen ook andere soorten berekeningen voor, zoals niet-lineaire tijdsdomeinberekeningen (NLTH). Wel is in de 28 reguliere versterkingsadviezen ook veelvuldig gebruik gemaakt van Bijlage H voor de *uit-het-vlak* beoordeling van metselwerkwanden. In paragraaf 4.2.2 wordt nader op deze rekenmethoden ingegaan. Ten tweede zijn de berekeningen uit de steekproef relatief summier gedocumenteerd. Dit wekt de indruk dat de 61 herbeoordelingen onder hoge tijdsdruk zijn uitgevoerd, wat door betrokkenen ook is bevestigd. Ten derde zijn de 61 versterkingsadviezen uit de steekproef opgesteld door een beperkt aantal bureaus. Een aantal grotere bureaus die relatief veel beoordelingen uitvoeren waren niet bij de steekproef betrokken.

Met de inzichten die zijn opgedaan bij het bestuderen van de 28 reguliere versterkingsadviezen heeft het ACVG rekening gehouden bij het formuleren van zijn conclusies en aanbevelingen. Het ACVG vindt het van belang dat bewoners volledig kunnen vertrouwen op de versterkingsadviezen die voor hun woningen worden opgesteld. Deze resultaten onderstrepen dan ook het belang van kwaliteitscontrole in het versterkingsproces.

¹³ Zie ook het advies van SodM ten aanzien van gebouwen in batch 1591 met een normaal risicoprofiel (Kamerstuk 33529-701).



Figuur 1. Overzicht van gebruikte rekenmethoden bij de beoordelingen op basis van de NPR 9998: 2018 in de steekproef uit batch 1581 en set reguliere versterkingsadviezen.

4 Oorzaken van discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998: 2018

4.1 Overzicht van de potentiële oorzaken van discrepanties

In algemene zin kunnen er discrepanties ontstaan tussen twee verschillende methoden voor de beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw door:

- a) verschillen ten aanzien van de betrouwbaarheidseis, en/of
- b) verschillen ten aanzien van de modellen waarmee de fysica wordt beschreven, en/of
- c) verschillen ten aanzien van de methode voor toetsing aan de betrouwbaarheidseis, en/of
- d) verschillen bij de vertaling van de complexe realiteit naar modelinvoer (schematiseren).

Omdat in zowel de HRA als de NPR 9998: 2018 wordt uitgegaan van de *Meijdam-norm* is dit eerste aspect hier niet relevant. De volgende potentiële oorzaken van discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 zijn nader onderzocht:

1. Verschillen ten aanzien van de modellering van de fysica. Daarbij kan onderscheid worden gemaakt tussen:
 - de modellering van de aardbevingsbelasting op gebouwen,
 - de modellering van de weerstand van gebouwen,
 - de modellering van de gevolgen van het bezwijken van gebouwen of constructieonderdelen.
2. Verschillen ten aanzien van de methode voor toetsing aan de *Meijdam-norm*:
 - de NPR 9998 is *semi-probabilistisch* van aard,
 - de HRA beoordeelt gebouwen op basis van de *HRA-gebouwtypologie* waartoe zij behoren.
3. Verschillen door onvolkomenheden bij het schematiseren van gebouwen. Het ACVG heeft hierbij gekeken naar:
 - de schematisering van individuele gebouwen bij toepassing van de NPR 9998: 2018,
 - de schematisering van *HRA-indexgebouwen*,
 - onvolkomenheden bij het toewijzen van gebouwen aan *HRA-gebouwtypologieën*.

In paragraaf 4.2, 4.3 en 4.4 wordt op elk van deze aspecten (respectievelijk 1, 2 en 3) nader ingegaan. Daarbij is steeds aangegeven in hoeverre deze aspecten de discrepanties in de steekproef kunnen verklaren.

4.2 Discrepanties door verschillen in de modellering van de fysica

4.2.1 De modellering van de aardbevingsbelasting op gebouwen

De aardbevingsbelasting op een gebouw wordt gevormd door de grondbeweging (grondversnellingen en snelheden) aan de basis van het gebouw. Hiervoor wordt in de HRA gebruikt gemaakt van een belastingmodel¹⁴ dat verschillende onderdelen omvat, zoals een reservoirmodel, een seismologisch model en een *grondbewegingsmodel*. De NPR 9998: 2018 gebruikt het maximum (de omhullende) van de uitkomsten van het belastingmodel van de NAM en het belastingmodel van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Een deel van de belastingmodellen van het KNMI en de NAM, zoals het *grondbewegingsmodel*, is gelijk. Het ACVG heeft geen studies aangetroffen waarin de aardbevingsbelastingen in de HRA en de NPR 9998: 2018 bij dezelfde terugkeertijden met elkaar zijn vergeleken. Volgens de door het ACVG geraadpleegde experts zijn de verschillen echter klein.

14 Dit model wordt ook wel aangeduid als een *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. Een PSHA levert kansen op uiteenlopende grondversnellingen. In de NPR 9998: 2018 wordt gewerkt met rekenwaarden van de grondversnelling met een bepaalde overschrijdingskans. Deze zijn te raadplegen via een webtool.

Ook veronderstellingen ten aanzien van de ontwikkeling van de gaswinning zijn, in combinatie met het jaartal waarvoor de belasting wordt berekend, van invloed op de verwachte grootte van de aardbevingsbelastingen. Op dit punt zijn de HRA van 2018 en de NPR 9998: 2018, na aanvulling van de webtool in december 2018, volledig vergelijkbaar. In de herbeoordelingen is uitgegaan van de belasting voor *tijdvak 1*, welke overeenkomt met de jaren 2018-2020 bij de afbouw van de gaswinning volgens het basispad voor het gemiddelde winterscenario.¹⁵ Hetzelfde scenario, met (o.a.) zichtjaar 2018, is beschouwd in de HRA van 2018.¹⁶ De discrepanties uit de steekproef kunnen dan ook niet zijn voortgekomen uit sterk verschillende toekomstverwachtingen of zichtjaren.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Volgens de door het ACVG geraadpleegde experts zijn de verschillen in de modellering van de aardbevingsversnelling van de bodem, en daarmee van de belastingmodellering op het gebouw als geheel, dusdanig klein dat zij de grote discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 in de steekproef niet kunnen verklaren.

4.2.2 De modellering van de weerstand van gebouwen

Met de weerstand van een gebouw wordt bedoeld op de grootte van de aardbevingsbelasting die een gebouw nog net kan weerstaan. Om deze te bepalen kan gebruik worden gemaakt van verschillende berekeningsmethoden.

Berekeningsmethoden

Berekeningsmethoden kunnen geordend worden langs de lijnen lineair – niet-lineair, en statisch – dynamisch. Bij gebouwen in ongewapend metselwerk, waartoe zo'n 70-80% van de gebouwenpopulatie in Groningen behoort, is het meenemen van niet-lineair gedrag en dan met name scheurvorming en bezwijken van het metselwerk essentieel. Dit kan in een quasi-statische analyse (*Non-Linear Push Over*, NLPO) of met een dynamische analyse (*Non-Linear Time History*, NLTH) worden meegenomen.

In NLTH-berekeningen wordt het dynamisch niet-lineaire gedrag van het gebouw als geheel gesimuleerd. Dergelijke analyses zijn doorgaans complex, tijdrovend en vereisen een grote hoeveelheid invoerparameters¹⁷. De potentie van deze modellen om meer aspecten van de fysica te beschrijven is groot. Daarentegen kunnen de uitkomsten van NLTH-berekeningen gevoelig zijn voor de grote(re) hoeveelheid aannames die gedaan moeten worden en de onzekerheden daarin, ook al heeft reeds toenemende kalibratie aan lab-experimenten plaatsgevonden.

In NLPO-berekeningen wordt een gebouw, dat in realiteit op verschillende manieren kan bewegen, vertaald naar een equivalent model met één vrijheidsgraad, een zogenaamd SDOF-model (SDOF = *Single Degree of Freedom*). NLPO-methoden hebben het voordeel dat ze eenvoudiger en sneller zijn dan NLTH-berekeningen, daarbij een zekere mate van conservatisme op de koop toe nemend. Ook brengen NLPO-methoden een scheiding aan tussen de weerstand en de belasting (capacity en demand), zodat nieuwe belastinginzichten snel verwerkt kunnen worden in berekeningen en de beoordeling van eenzelfde gebouw in verschillende seismische zones snel kan plaats vinden. In NLTH-methoden zijn weerstand en belasting vermengd, waardoor in dergelijke gevallen nieuwe analyses nodig zijn.

¹⁵ Zie Kamerstuk 33529-457.

¹⁶ NAM, Seismic Risk Assessment for Production Scenario "Basispad Kabinet" for the Groningen Field. Addendum to: "Induced Seismicity in Groningen, Assessment of Hazard Building Damage and Risk (November 2017)", juni 2018.

¹⁷ Voorbeelden daarvan zijn: de modellen voor het materiaalgedrag, met *stijfheid*-, *sterkte*-, *taaiheid*- en *hysterese*-parameters voor zowel metselwerk, vloeren als verbindingen, onder zowel trek, druk, afschuiving, buiging als combinaties daarvan en of platte 2,5D plaalementen of volledige 3D volume-elementen gebruikt worden, de keuze van het aantal monsterpunten per element, de objectiviteit van de resultaten ten aanzien van de fijnheid van het elementennet en de te kiezen oplosprocedures.

NPR 9998: 2018

De NPR 9998: 2018 geeft verschillende methoden voor het bepalen van de weerstand van een gebouw. Deze methoden variëren van benaderend (eenvoudig), tot nauwkeurig (complex). De NPR 9998: 2018 beschrijft zowel NLTH- als NLPO-methoden. In de praktijk wordt bij het merendeel¹⁸ van de gebouwen gebruik gemaakt van een eenvoudigere beoordelingsmethode, de zogenaamde NLPO-methode.

De NLPO-methode staat beschreven in Bijlage G van NPR 9998: 2018 die is gericht op het globaal bezwijken van gebouwen. Met de NLPO-methode kan alleen een toetsing plaatsvinden van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen in metselwerk waarbij de wanden *in-het-vlak* worden belast. De NLPO-methode kent ook specifieke toepassingsvoorwaarden, die eveneens in Bijlage G zijn omschreven. Dit betreft onder meer de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken.

Van de NLPO-methode zijn verschillende uitwerkingen beschikbaar, variërend van eenvoudig tot geavanceerd. Uit vergelijkende analyses is gebleken dat de verschillende uitwerkingen tot grote verschillen in uitkomsten kunnen leiden en dat de vereenvoudigde methoden de weerstand van een gebouw, en dan met name de krachtcapaciteit, kunnen onderschatten.¹⁹ In opdracht van het Ministerie van BZK wordt onder auspiciën van NEN gewerkt aan richtlijnen voor de selectie en het gebruik van rekenmethoden, en -indien mogelijk- het beter op elkaar afstemmen van de minder geavanceerde methoden op de meer geavanceerde, nauwkeurigere methoden.

Specifiek voor de beoordeling van loodrecht op het vlak belaste wanden van ongewapend metselwerk bevat Bijlage H van de NPR 9998: 2018 een snelle en vereenvoudigde beoordelingsmethode. Bekend is dat de methode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 de weerstand van metselwerk wanden substantieel onderschat.²⁰ Daarnaast wordt de lokale belasting op wanden *uit-het-vlak* soms over- en soms onderschat, afhankelijk van het type gebouw. Onder auspiciën van NEN wordt momenteel onderzoek gedaan om de methode te verbeteren zodat deze meer realistische en per saldo minder behoudende resultaten zal opleveren.

Bij de herbeoordeling van de gebouwen uit de steekproef op basis van de NPR 9998: 2018 is uitsluitend gebruik gemaakt van de softwarepakketten GSAT en *3Muri*. Geavanceerde NLTH-berekeningen zijn niet gemaakt. Met GSAT en *3Muri* kunnen NLPO-berekeningen worden gemaakt conform bijlage G van de NPR 9998: 2018. Voor de beoordeling van het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerk is overal gebruik gemaakt van de vereenvoudigde rekenmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018. Deze beoordeling volgens Bijlage H van NPR 9998: 2018 is in het softwarepakket GSAT geïmplementeerd. Bij gebruik van *3Muri* wordt een aparte berekening volgens bijlage H van NPR 9998: 2018 gemaakt.

Een voorwaarde voor de toepassing van NLPO-berekeningen met GSAT en *3Muri* is dat de *stijfheid* van dak- en vloervlakken voldoende is. NPR 9998: 2018 bevat hiertoe een toets op de *stijfheid* van dergelijke constructieonderdelen²¹. In veel gevallen wordt niet aan deze voorwaarde voldaan, de *stijfheid* is onvoldoende en de dak- en/of gevelvlakken dienen verstijfd te worden. Indien NLTH- berekeningen (die deze voorwaarde niet stellen) zouden zijn uitgevoerd, zou de verstijving als versterkingsmaatregel mogelijk niet, of in mindere mate nodig zijn geweest.

In de versterkingsadviezen uit de steekproef is vaak geconstateerd dat verbindingen onvoldoende sterk zijn. Dit hangt samen met het bovenstaande. Immers, als dak en vloervlakken worden verstijfd, dan zullen zij

¹⁸ Grofweg 80%, zie: NCG, Input ACVG inzake beoordelingskader rekenmethoden, memo met kenmerk NCG/19299298, 9 december 2019.

¹⁹ Messali F., Rots, J.G., Longo, M., Prediction of the peak base shear capacity of seven experiments on full-scale URM structures: comparison between different methods. Delft University of Technology, memo met kenmerk TUD_NPR9998_Memo_o8-Draft01 29-09-2018.

²⁰ TNO, Advies vaststellingsbesluit Groningen gasveld 2019/2020, AGE19-10.025, 7 mei 2019.

²¹ Deze voorwaarde is gegeven in G 9.5.2 en in G10.3 van NPR 9998:2018

grotere krachten overbrengen op andere bouw delen. Het moeten versterken van de verbindingen is een min of meer logisch gevolg van het verstijven van dak- en gevelvlakken. Indien de verbinding van wanden met bovenliggende vloervlakken of met andere naastgelegen wanden wordt versterkt, neemt hun weerstand tegen *uit-het-vlak* bezwijken toe. Hier is het moeten versterken van de verbindingen het logisch gevolg van de geconstateerde onvoldoende weerstand tegen *uit-het-vlak* bezwijken. Tenslotte speelt ook een rol dat bij inspecties mogelijk een geringe weerstand van verbindingen is geconstateerd. Het ligt dan voor de hand te adviseren een dergelijke verbinding te versterken, zonder de consequenties voor het *individueel risico* rekenkundig in beeld te brengen.

In alle beschouwde vereenvoudigde NLPO-berekeningen (in de steekproef en daarbuiten) is de invloed van de flexibiliteit van de fundering en de bodem niet meegenomen. De fundering is star verondersteld. In veel gevallen is dit een behoudende aanname. Dit illustreert het belang van voortgaande kalibratie van vereenvoudigde rekenmethoden aan meer geavanceerde methoden die meer aspecten van de fysica in rekening kunnen brengen.

In beginsel kan met een NLPO-berekening het resultaat van een NLTH-berekening voor *in-het-vlak* bezwijken dicht worden genaderd. Met de NLTH-methode kunnen ook andere bezwijkvormen worden beschouwd. Bij deze methode gelden geen expliciete toepassingsvoorwaarden ten aanzien van bijvoorbeeld de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken.

HRA

In de HRA wordt de weerstand van gebouwen beschreven door zogenaamde *fragility curves* die de kans op (een bepaalde gradatie van) bezwijken geven als functie van het belastingniveau. Deze curves berusten op berekeningen met vereenvoudigde SDOF-modellen die voor de *indexgebouwt*ypen zijn gekalibreerd aan de uitkomsten van NLTH-berekeningen.²² In beginsel zijn deze NLTH-modellen vergelijkbaar met de modellen op het hoogste niveau uit de NPR 9998: 2018, bijlage F, Niet-lineaire tijdsdomeinberekeningen. De vereenvoudigde NLPO-rekenmodellen die zijn geïmplementeerd in *3Muri* en *GSAT* worden in de HRA niet gebruikt. Ook de vereenvoudigde rekenmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 wordt in de HRA niet gebruikt. Hier wordt in paragraaf 4.4.2 nader op ingegaan. In de HRA is de flexibiliteit van de bodem wel beschouwd.

Modellering effect meervoudige constructieve schade op weerstand van gebouwen in NPR 9998: 2018 en HRA

De herhaalde beschadiging van constructieve elementen kan een gebouw verzwakken. In zowel de NPR 9998: 2018 als de HRA ontbreekt het echter aan aandacht voor het effect van meervoudige constructieve schade. In de HRA zou dit wellicht meegenomen kunnen worden door voor de gebouwen die herhaaldelijk constructieve schades hebben ondervonden uit te gaan van een minder-dan-gemiddelde *gebouwsterkte*. In NPR 9998: 2018-beoordelingen is dit wellicht te ondervangen door neerwaartse bijstelling van de rekenwaarden van *sterkteparameters*. Richtlijnen ontbreken hieromtrent. Het ACVG deelt de zorgen vanuit de regio over meervoudige constructieve schade en komt hier in de aanbevelingen op terug.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Gelet op de modelmatige verschillen tussen de NPR 9998: 2018 en de HRA zijn er vooral discrepanties te verwachten als bij NPR 9998: 2018-beoordelingen gebruik wordt gemaakt van (1) een vereenvoudigde NLPO-rekenmethode of (2) de vereenvoudigde beoordelingsmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 voor het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerk wanden. Verder zijn er (3) discrepanties te verwachten bij de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken, omdat een voldoende *stijfheid* een voorwaarde is voor toepassing van een vereenvoudigde NLPO-rekenmethode. Zoals hiervoor besproken volgen de discrepanties met betrekking tot het versterken van verbindingen in veel gevallen uit de omstandigheden (2) en (3).

²² Voor het bepalen van de bezwikkansen van schoorstenen wordt in de HRA gebruik gemaakt van *fragility curves* die zijn gebaseerd op empirie.

Volgens de herbeoordeling van de gebouwen uit de steekproef op basis van de NPR 9998: 2018 zijn er bij deze gebouwen in een beperkt aantal gevallen *in-het-vlak* versterkingsmaatregelen nodig (maatregelen tegen globaal bezwijken). Daarentegen is de opgave ten aanzien van het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerk-wanden groot. Bij de beoordeling van het *uit-het-vlak* bezwijken van wanden is bij alle 61 gebouwen uit de steekproef gebruik gemaakt de vereenvoudigde methode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018. Het ACVG heeft geconstateerd dat op grond van Bijlage H ook soms versterkingsmaatregelen voor buitenspouwbladen zijn geadviseerd waar dit formeel, volgens de NPR 9998: 2018, niet nodig is.²³

Het behoudende karakter van Bijlage H is een belangrijke verklaring van de geconstateerde discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 in de steekproef. Of ten aanzien van het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerk-wanden tegelijkertijd sprake is van een overschatting van de weerstand in de HRA heeft het ACVG niet kunnen vaststellen. Het ACVG heeft evenwel geen aanleiding gevonden om te veronderstellen dat ten aanzien van het *individueel risico* sprake is van een systematische onderschatting van het risico in de HRA. Om deze onduidelijkheid op te lossen, verdient het de aanbeveling dat TNO de NLTH-berekeningen die ten grondslag liggen aan de HRA evalueert, met name wat betreft hun geschiktheid om lokale, *uit-het-vlak* bezwijkmechanismes adequaat te beschrijven.

De toepassingsvoorwaarde met betrekking tot de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken in de NPR 9998: 2018 bij gebruik van vereenvoudigde NLPO-methoden is eveneens een belangrijke oorzaak van discrepanties tussen de HRA en NPR 9998: 2018 in de steekproef. Doordat HRA is gebaseerd op uitgebreidere NLTH-berekeningen kent de HRA deze inperking niet. Verwacht mag dus worden dat de NPR 9998: 2018 wat betreft de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken het *individueel risico* overschat.

Zoals in het bovenstaande toegelicht hebben NLTH- en NLPO-methoden zowel sterke als zwakke punten. Voor de versterkingsopgave is van belang dat een gelaagde aanpak gevolgd kan worden, waarbij eenvoudige en snelle, mogelijk enigszins conservatieve rekenmodellen zo veel mogelijk worden ingezet waar het kan en waarbij geavanceerde en complexe rekenmodellen worden ingezet waar het noodzakelijk is. Dit pleit voor adequate NLPO-modellen voor bredere toepassing en voor een gericht gebruik van NLTH-berekeningen in speciale gevallen. Voortgaande vergelijkende studies tussen NLPO-methoden, NLTH-methoden en uitkomsten van laboratorium-experimenten zijn hier van belang, zodat een goede keuze gemaakt kan worden, afhankelijk van de uitkomsten.

4.2.3 De modellering van de gevolgen van het bezwijken van gebouwen

Het bezwijken van een gebouw kan ingrijpende consequenties hebben voor bewoners, omwonenden en de bredere gemeenschap. Deze consequenties zijn zeer divers. Naast gewonden, slachtoffers en materiële schade kan het leiden tot grote immateriële schade, angst en zorgen. Veiligheid is een breed begrip dat moeilijk in getallen is te vatten. Voor de beoordeling van de constructieve veiligheid en de ontwikkeling van bouwvoorschriften is echter een concrete prestatie-indicator en een concrete prestatie-eis nodig. Deze indicator is het *individueel risico*; de eis is de *Meijdam-norm*. Daarom wordt in het kader van de beoordeling van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen bedoeld op (de kans op) het overlijden van personen als wordt gesproken over de gevolgen van bezwijken, ook al is veiligheid een breder begrip.

In zowel de NPR 9998 als de HRA wordt rekening gehouden met de kans op het overlijden van een individu in geval van het bezwijken van (een onderdeel van) een gebouw.^{24,25} Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende gradaties van bezwijken²⁶: van het vallen van een schoorsteen (een vorm van lokaal

²³ Het betreft beoordelingen van niet-seismische constructieve elementen (conform NPR 9998: 2018- terminologie) waarbij de menselijke veiligheid niet in het geding is.

²⁴ TNO, 9 October 2018, Background Report NPR 9998:2018, Part A: Terminology and Safety Philosophy, TNO 2018 R10254.

²⁵ NAM, November 2017, Report on the v5 Fragility and Consequence Models for the Groningen Field

²⁶ In technische documenten worden deze aangeduid als Damage States en Collapse States.

bezwijken) tot het compleet instorten van een gebouw (de meest extreme vorm van globaal bezwijken). In zowel de NPR 9998: 2018 als de HRA wordt verondersteld dat een persoon continu op een willekeurige plaats in een gebouw aanwezig is.^{27,28}

De gevolgmotivering in de HRA is verfijnder dan de gevolgmotivering die ten grondslag ligt aan de voorschriften uit de NPR 9998: 2018. Zo wordt in de HRA onderscheid gemaakt tussen de verschillende HRA-gebuuwtypen en zijn de overlijdenskansen per gebuuwtype gerelateerd aan het berekende percentage volumeverlies bij een bepaalde gradatie van bezwijken. In de NPR 9998: 2018 wordt uitgegaan van kentallen die hetzelfde zijn voor alle gebouwen. Dit verschil in detailniveau hangt samen met de *semi-probabilistische* opzet van de NPR 9998: 2018. De motivering van de gevolgen is in de NPR 9998 een stap om te komen tot voorschriften die breed toepasbaar moeten zijn, wat vereenvoudiging noodzakelijk maakt.

In zowel de NPR 9998: 2018 als de HRA wordt verondersteld dat de overlijdenskans van een individu bij het globaal bezwijken van een gebuuw van ongewapend metselwerk grofweg de helft is van het percentage volumeverlies. In de NPR 9998: 2018 worden echter drie vaste percentages volumeverlies onderscheiden (20%, 50%, 100%) met kansen daarop die in vaste verhoudingen tot elkaar staan (0,9 : 0,09 : 0,01). Daarentegen zijn in de HRA verschillende percentages volumeverlies gespecificeerd per HRA-*gebuuwtypologie* (binnen en buiten), voor drie *Collapse States*. De kansen op deze *Collapse States* worden per gebuuw berekend. Dit kan leiden tot verschillen met de aannamen hieromtrent in de NPR 9998: 2018. Kort gezegd: de vaste aannamen over de gevolgen van bezwijken die in de NPR 9998: 2018 overal en voor alle gebouwen worden gehanteerd, kunnen afwijken van de gevolgen die in de HRA voor een specifiek gebuuw worden berekend.

Het is opvallend dat de gedachten over de gevolgen van bezwijken in de HRA en NPR 9998 onafhankelijk van elkaar zijn ontwikkeld. Eenduidige regie op de doorontwikkeling en validatie van de verschillende technisch-inhoudelijke hulpmiddelen voor de versterkingsopgave zal de consistentie verbeteren.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Omdat het ACVG binnen de doorlooptijd van dit advies niet heeft kunnen beoordelen in welke mate de verschillen tussen de gevolgmotiveringen in de HRA en de NPR 9998: 2018 tot verschillende uitkomsten leiden, is het onbekend in hoeverre dit aspect heeft bijgedragen aan de discrepanties in de steekproef.

4.3 Discrepanties door verschillende benaderingen bij toetsing aan de Meijdam-norm

4.3.1 De benaderende, semi-probabilistische werkwijze in de NPR 9998

Zoals toelicht in paragraaf 2.1 is de NPR 9998 *semi-probabilistisch* van aard. In een *semi-probabilistische* beoordeling worden modellen gevoed met rekenwaarden, zoals de 1/2475-jaar aardbevingsbelasting²⁹, al dan niet na vermenigvuldiging met een veiligheidsfactor. Idealiter worden deze rekenwaarden zodanig gekalibreerd dat een *semi-probabilistische* berekening met rekenwaarden tot een vergelijkbaar oordeel leidt als een *probabilistische* (risico)berekening. Veiligheidsfactoren die breed toepasbaar moeten zijn, zullen vaak wat behoudend moeten zijn. Om het conservatisme dat hierdoor ontstaat beperkt te houden worden *semi-probabilistische* bouwvoorschriften gewoonlijk gekalibreerd op basis van (*probabilistische*) risicoberekeningen.

²⁷ In de HRA wordt in dit verband de term *Local Personal Risk* (LPR) gebruikt.

²⁸ De aanname van permante aanwezigheid bij woningen is in lijn met het standpunt van de Minister van EZK hieromtrent, zie kst 33529, nr. 585.

²⁹ Dit is de overschrijdingskansen van de aardbevingsbelasting (ontwerpspectrum aan maaiveld) die volgens de NPR 9998: 2018 moet worden gebruikt als input van berekeningen bij de beoordeling van zogenaamde primaire, seismische elementen (zie ook tabel 2.3 van de NPR 9998: 2018). Deze belasting moet soms nog worden vergroot met een veiligheidsfactor. Het resultaat is dan een belasting met een nog kleinere overschrijdingskans.

Op het belang van kalibratie van de NPR 9988 is reeds in 2018 gewezen door de Mijnraad, TNO en een panel van hoogleraren.³⁰ Daarbij ging het vooral over Bijlage G (gericht op het globaal bezwijken van gebouwen) en Bijlage H (gericht op het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerkwanden). Voor Bijlage G is de destijds geadviseerde kalibratie reeds uitgevoerd en verwerkt in de NPR 9998: 2018 maar voor Bijlage H is dit nog niet het geval. Gelet op het behoudende karakter van de vereenvoudigde rekenmethode uit Bijlage H (zie ook paragraaf 4.2.2) is de noodzaak van kalibratie nog altijd actueel. Bijlage H van de NPR 9998: 2018 is in paragraaf 4.2.2 al aan bod gekomen bij de bespreking van de modellering van de weerstand van gebouwen. Het behoudende karakter van Bijlage H heeft namelijk zowel te maken met de modellering van de fysica als met de kalibratie aan de *Meijdam-norm*.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

De beoordelingsresultaten op basis van Bijlage H van de NPR 9998: 2018 zijn zeer bepalend voor de discrepanties in de steekproef (zie ook paragraaf 4.2.2). Zodoende kan het feit dat de rekenmethode uit deze bijlage nog onvoldoende is gekalibreerd aan de *Meijdam-norm* een belangrijke verklaring zijn voor de waargenomen discrepanties.

4.3.2 *De benaderende werkwijze met gebouwtypen in de HRA*

Bij de HRA worden individuele gebouwen toegewezen aan een zogenaamde HRA-*gebouwtypologie* (zie ook paragraaf 2.2). Zo wordt voorkomen dat voor elk gebouw afzonderlijk een *fragility curve* moet worden opgesteld, wat snelle berekeningen mogelijk maakt. De aanpak start met de keuze voor een beperkt aantal typologieën en met het bepalen van het gedrag van een *indexgebouw*, dat representatief moet zijn voor de desbetreffende typologie. Deze benaderingswijze heeft echter als nadeel dat er extra onzekerheid wordt geïntroduceerd door de gebouw-tot-gebouwvariëaties binnen elke HRA-*gebouwtypologie*. Hoe verfijnder de typologie-indeling is, des te kleiner de gebouw-tot-gebouwvariëaties binnen elke typologie zijn. Bij beoordelingen met de NPR 9998: 2018 speelt dit niet omdat elk gebouw met de NPR 9998: 2018 afzonderlijk wordt geschematiseerd en doorgerekend.

De *gebouw-tot-gebouwvariëabiliteit* binnen de HRA-*gebouwtypologieën* is in de HRA meegenomen door onzekerheidsfactoren toe te passen in risicoberekeningen.³¹ Deze onzekerheidsfactoren hebben zowel betrekking op variaties in constructieve kenmerken als variaties in de bouwkundige staat. Ze zijn gebaseerd op waarden uit de internationale literatuur. Deze waarden kunnen worden geëvalueerd door gericht de mogelijke constructieve afwijkingen binnen een HRA-typologie te modelleren, zoals recent gedaan door de Technische Universiteit Delft (TU Delft). Van de laatste studie heeft het ACVG een concept-rapportage³² kunnen inzien, voor een relatief kwetsbaar rijtjeshuistype. De resultaten van die studie geven voorsnog geen aanleiding om te veronderstellen dat de *gebouw-tot-gebouwvariëabiliteit* in de HRA is onderschat. Voor andere HRA-gebouwtypen, zoals vrijstaande gebouwen, dient echter nog een vergelijking te worden gemaakt. Dit is onderdeel van de typologie-benadering van TNO.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Het ACVG heeft niet kunnen vaststellen in welke mate de benaderende werkwijze met gebouwtypen in de HRA heeft bijgedragen aan de discrepanties in de steekproef.

³⁰ Zie kst 33529-498, blg847904, blg-847906 en blg-847919.

³¹ NAM, Report on the v5 Fragility and Consequence Models for the Groningen Field, november 2017.

³² Technische Universiteit Delft, Definition of a consistent backbone curve for typologie 'Metselwerk 2', kenmerk B2B-R01, 17 December 2019, concept versie 1.

4.4 Discrepanties door onvolkomenheden bij het schematiseren van gebouwen

4.4.1 De schematisering van gebouwen bij gebruik van de NPR 9998: 2018

Bij het vertalen van de complexiteit van een gebouw naar een model moet een constructeur keuzes maken. Een schematisering moet een realistische weergave zijn van essentiële gebouwkenmerken die in lijn is met de veronderstellingen waarop de NPR 9998: 2018 berust. Dit laatste is van belang omdat de NPR 9998: 2018 is gekalibreerd aan de *Meijdam-norm* op basis van veronderstellingen ten aanzien van het gebruik van de NPR 9998: 2018 door constructeurs. Wanneer in de praktijk keuzes worden gemaakt die meer of minder behoudend zijn dan waar bij de kalibratie van de NPR 9998: 2018 vanuit is gegaan, dan is het uiteindelijke beoordelingsresultaat te veel of te weinig behoudend.

Uit de evaluatie van de 61 versterkingsadviezen uit de steekproef blijkt dat door constructeurs bij onzekerheid veelal van een ongunstige situatie wordt uitgegaan. Hetzelfde beeld komt naar voren in de 28 reguliere versterkingsadviezen (buiten de steekproef) die het ACVG heeft bestudeerd. Deze behoudende werkwijze leidt tot een systematische overschatting van het *individueel risico*.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Uit de steekproef komt naar voren dat in veel gevallen vloer- en dakvlakken moeten worden verstijfd en (mede in verband daarmee) verbindingen tussen vloeren, daken en wanden moeten worden verbeterd. In de rapporten werd maar in een beperkt aantal gevallen een rekenkundige verantwoording van deze maatregelen aangetroffen. De eisen die in de NPR 9998: 2018 aan de *stijfheid* van dak- en vloervlakken worden gesteld, gelden expliciet bij de toepassing van vereenvoudigde NLPO-berekeningsmethoden. Bij uitgebreidere rekenmethoden zoals de NLTH-berekeningsmethode worden dergelijke toepassingsvoorwaarden niet gehanteerd. De toepassing van vereenvoudigde NLPO-methoden uit de NPR 9998: 2018 zal daardoor eerder leiden tot de conclusie dat versterkings- en verstijvingsmaatregelen nodig zijn dan volgt uit een NLTH-berekening.

4.4.2 De schematisering van HRA-indexgebouwen

Het ACVG heeft de schematiseringen van de HRA-indexgebouwen niet zelfstandig kunnen valideren. Een dergelijke validatie zou een zeer grote inspanning vergen vanwege de complexiteit van de NLTH-berekeningen voor de HRA-indexgebouwen. Dergelijke berekeningen zijn gevoelig voor de keuzes van een groot aantal inputparameters (zie paragraaf 4.2.2. voor toelichting). Doordat de NLTH-modellering het gebouw in samenhang beschouwt, zijn de resultaten ook afhankelijk van de wijze waarop details in de constructie worden gemodelleerd. Tenslotte vergt de interpretatie van de uitkomsten van NLTH-berekening een kritische beschouwing en idealiter ook aspectvergelijkingen met andere rekenmodellen en experimenten.

Evenmin heeft het ACVG de vereenvoudigingen en aannamen kunnen valideren bij de vertaling van de uitkomsten van de NLTH-berekeningen naar de SDOF-modellen, die verder in de HRA zijn gebruikt. Met name kon hierdoor niet duidelijk worden in welke mate het *uit-het-vlak* bezwijken van wanden in de HRA afzonderlijk is beschouwd.

Het International Expert Review Panel van de HRA en een door SodM geraadpleegde internationale expert hebben zich in 2018 positief uitgelaten over in de HRA gevolgde aanpak met geavanceerde modellen, laboratoriumtests en de validatie met experimenten.^{33,34} De geïdentificeerde aandachtspunten hadden, en hebben³⁵, niet zozeer betrekking op de modellering van *indexgebouwen*, als wel op de verifiëerbaarheid van de HRA-

33 NAM, Assurance Meeting on Exposure, Fragility and Fatality Models for the Groningen Building Stock, maart 2018.

34 SodM, Gevolgen voor de veiligheidsrisico's en versterkingsopgave. Advies van Staatstoezicht op de Mijnen naar aanleiding van de afbouw van de gaswinning in Groningen, 27 juni 2018.

35 SodM, Advies over de operationele strategie 2019/2020 voor Groningen Gasveld, 8 mei 2019.

gebouwtypologieën (zie paragraaf 4.3.2) en de toewijzing van gebouwen aan een juiste HRA-*gebouwtypologie* (zie paragraaf 4.4.3).

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Het ACVG heeft de schematiseringen van de HRA-*indexgebouwen* niet zelfstandig kunnen beoordelen. Nadere evaluatie is wenselijk. Ook ten aanzien van de wijze waarop het uit-het-vlak bezwijken van wanden in de HRA is opgenomen is een nadere evaluatie gewenst. Het ACVG beveelt aan om de lopende werkzaamheden binnen NEN-module 4 daarbij dienstbaar te maken aan deze evaluatie door TNO.

4.4.3 Onjuiste typering van gebouwen in de HRA

Onjuiste typering van gebouwen kunnen leiden tot onder- en overschattingen van het *individueel risico*. In de HRA worden de ca. 153.000 bewoonde gebouwen in Groningen aan een³⁶ HRA-typologie toegewezen.³⁷ Dit wordt gedaan op basis van externe visuele inspecties, beeldverwerking, bouwtekeningen, archiefstudie en zogenaamde inference rules die gebruik maken van o.a. het bouwjaar en geometrische kenmerken.

In de HRA uit 2019 kon 98% van de gebouwen met een verhoogd risico met een hoge waarschijnlijkheid aan één HRA-typologie worden toebedeeld (t.o.v. 88% in de HRA uit 2018). Voor gebouwen met een licht verhoogd risico was dit 75% (t.o.v. 70% in de HRA uit 2018) en voor alle gebouwen was dit 30% (t.o.v. 20% in de HRA uit 2018).³⁸ Ten behoeve van de HRA uit 2019 is specifiek voor de gebouwen waarbij de passende HRA-typologie onzeker was en er een kans bestond dat ze tot een kwetsbare HRA-typologie behoorden nader onderzoek gedaan.³⁹ De kans dat een onjuiste typering ten onrechte leidt tot een normaal risicoprofiel (false negatives) is daardoor gericht verkleind.

De betrouwbaarheid van de typering van de 61 gebouwen uit de steekproef is nader onderzocht. Daarbij is uitgegaan van de *gebouwendatabase* die is gebruikt in de HRA van 2018, dus voorafgaand aan de latere verbeteringen van de *gebouwendatabase* in datzelfde jaar en de verdere verbeteringen uit 2019.⁴⁰ Uit deze evaluatie is gebleken dat de typering bij vrijwel alle gebouwen uit de steekproef gedeeltelijk (33 gebouwen) of geheel (26 gebouwen) is gebaseerd op inspectiedata. In 1 geval is dit gedaan op basis van zogenaamde inference rules en bij 1 geval kon de wijze van typering niet tijdig worden achterhaald. Bij 34 gebouwen is sprake van een eenduidige typering, bij 11 gebouwen is de kans op de meest waarschijnlijke typologie groter dan 90%, bij 13 gebouwen ligt deze kans tussen de 50% en de 90% en bij 3 gevallen is deze kans kleiner dan 50%.

Relevantie voor de discrepanties in de steekproef

De betrouwbaarheid van de toewijzing van de 61 gebouwen uit de steekproef is dusdanig dat de discrepanties in de steekproef niet zijn te verklaren door systematische fouten bij het toewijzen van de gebouwen uit de steekproef aan HRA-*gebouwtypologieën*.

4.5 Overzicht oorzaken discrepanties in steekproef

Een overzicht van de potentiële oorzaken van verschillen tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 is gegeven in Tabel 2. In de laatste kolom is steeds aangegeven in hoeverre een potentiële oorzaak van belang is voor de discrepanties in de steekproef. De discrepanties in de steekproef zijn vooral het resultaat van verschillen bij de bepaling van de weerstand van gebouwen en daarbij in het bijzonder:

³⁶ Bij twijfel tussen twee of meer typologieën zijn kansen toegekend aan de verschillende mogelijkheden.

³⁷ Het resultaat van deze toewijzingen is vastgelegd in een *gebouwendatabase*, de Exposure Database.

³⁸ SodM, Advies over de operationele strategie 2019/2020 voor Groningen-Gasveld, 8 mei 2019.

³⁹ NAM, Exposure Database V6 Data Documentation, Technical Report, Postprocessing to produce the v6 Exposure Model, July 2019.

⁴⁰ Er is specifiek gekeken naar de *gebouwendatabase* uit 2018 omdat in de HRA uit 2019 is gerekend met een lagere aardbevingsbelasting dan in de herbeoordelingen met de NPR 9998: 2018.

A. De weerstand van metselwerkwallen tegen belastingen uit-het-vlak.

In de steekproef zijn alle NPR 9998: 2018-beoordelingen voor het *uit-het-vlak* bezwijken van metselwerkwallen uitgevoerd met een vereenvoudigde, behoudende rekenmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018. In de HRA wordt deze methode niet gebruikt. De HRA leunt op de uitkomsten van meer geavanceerde simulaties.

B. De benodigde stijfheid van dakvlakken en vloeren.

De toepassing van vereenvoudigde rekenmethodes voor *in-het-vlak* bezwijken (NLPO, Bijlage G van de NPR 9998: 2018) leidt, in combinatie met toepassingsvoorwaarden ten aanzien van de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken, tot een behoudend oordeel. In de HRA speelt dit geen rol omdat ze leunt op de uitkomsten van meer geavanceerde rekenmethodes.

C. De omgang met onzekerheid door constructeurs bij het opstellen van versterkingsadviezen.

Bij onzekerheid over eigenschappen die de weerstand van een gebouw bepalen, hanteren constructeurs bij toepassing van de NPR: 9998 doorgaans behoudende uitgangspunten. De gedachte achter de HRA is dat onzekerheden worden gemodelleerd door kansen toe te kennen aan de mogelijke waarden van onzekere parameters of constructieve kenmerken.

Het is aannemelijk dat deze aspecten samen tot een overschatting van het *individueel risico* aan de zijde van de NPR 9998: 2018 hebben geleid. Hoewel het ACVG aan de zijde van de HRA geen aanleidingen voor een onderschatting op deze onderwerpen heeft gevonden, is het wenselijk na te gaan of dit mede kan hebben bijgedragen aan de (grootte van de) discrepantie in de uitkomsten. Verdere evaluatie van de HRA is wenselijk. Daarbij gaat het met name om de *gebouw-tot-gebouwvariabiliteit* en de omgang met het *uit-het-vlak* bezwijken van wallen. Verder acht het ACVG het wenselijk dat de *gebouwendatabase* doorgaand wordt geactualiseerd. Ook verdient het de aanbeveling om naast de HRA andere informatiebronnen, die betrekking hebben op de constructieve veiligheid, te benutten bij het selecteren van gebouwen voor opname en beoordeling. Daarbij moet gedacht worden aan het betrekken van gebouwen waar sprake is van meervoudige constructieve schade. In zowel de NPR 9998: 2018 als de HRA ontbreekt het aan aandacht voor het effect van meervoudige constructieve schade.

Tabel 2. Overzicht van de resultaten van het feitenonderzoek naar de verschillen tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 en hun relevantie voor de discrepanties in de steekproef

Potentiële oorzaak van discrepanties	Deelaspect	Bronnen	Conclusies	Relevantie voor discrepanties in steekproef
1. Verschillen t.a.v. modellering fysica	1.1 Modellering aardbevingsbelasting	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: gesprekken met deskundigen • Secundair: literatuurstudie (geen vergelijkende studies op resultateniveau) 	Aardbevingsbelastingen aan de basis van gebouwen worden in de HRA en de NPR 9998: 2018 niet op precies dezelfde wijze gemodelleerd. De verschillen ten aanzien van de aardbevingsbelastingen in de HRA-2018 en de NPR 9998: 2018 zijn echter klein.	Klein zie advies 7
	1.2 Modellering weerstand van gebouwen	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: eigen analyse steekproef batch 1581, eigen analyse van 28 aanvullende reguliere versterkingsadviezen, literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	1.2.a: De vereenvoudigde NLPO-rekenmethoden voor het <i>in-het-vlak</i> bezwijken cf. NPR 9998: 2018 zijn behoudend. In de steekproef is overal gebruik gemaakt van vereenvoudigde NLPO-berekeningen. In de reguliere constructeurspraktijk worden ook vaak meer gedetailleerde NLPO-methoden gebruikt en soms NLTH-methoden. In de HRA wordt niet met vereenvoudigde methoden gewerkt; ze steunt op NLTH-methoden.	Klein zie advies 2
			1.2.b: De aparte toetsing van de <i>stijfheid</i> van vloer- en dakvlakken in NPR 9998: 2018 in combinatie met toepassing van de vereenvoudigde NLPO-methode voor <i>in-het-vlak</i> bezwijken, leidt tot een behoudend oordeel. De HRA steunt op meer geavanceerde NLTH-methoden die het gebouw in zijn geheel beschouwen.	Groot zie advies 2
			1.2.c: De vereenvoudigde methode voor <i>uit-het-vlak</i> bezwijken van metselwerk uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 is behoudend. Deze methode is in de steekproef overal gebruikt. In de reguliere constructeurspraktijk wordt Bijlage H ook veelvuldig gebruikt. In de HRA wordt niet gewerkt met de benaderingsmethode uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018.	Groot zie advies 1
			1.2.d: Het effect van meervoudige constructieve schade op de weerstand van gebouwen is een kennisleemte in zowel de HRA als de NPR 9998: 2018.	N.tb. zie adviezen 4, 8-9
1.3 Modellering gevolgen van bezwijken	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	De gevolgen van bezwijken in termen van overlidenskansen worden anders gemodelleerd in de HRA en de NPR 9998: 2018. Dit kan leiden tot verschillen in beoordelingsresultaten.	Onzeker zie advies 7	
2. Verschillende benaderingswijzen bij toetsing aan Meijdam-norm	2.1 Benaderende, semi-probabilistische werkwijze in de NPR 9998	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	2.1a: Bijlage G van NPR 9998: 2018 over de NLPO-methode is gekalibreerd aan de <i>Meijdam-norm</i> . Wel is betere afstemming tussen vereenvoudigde en geavanceerde modellen gewenst, zie 1.2.a.	Klein zie advies 2
	2.2 Benaderende werkwijze met gebouwtypen in de HRA	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	2.1b: Bijlage H van de NPR 9998: 2018 over <i>uit-het-vlak</i> bezwijken is nog onvoldoende gekalibreerd aan de <i>Meijdam-norm</i> .	Groot Zie advies 1
			2.2: De door NAM aangenomen bandbreedtes voor de <i>gebouw-tot-gebouwvariabiliteit</i> lijken voor een relatief kwetsbaar rijtjeshuistype te passen bij een alternatieve uitwerking door TU Delft. Dit is echter nog niet voor andere HRA-gebouwtypen onderzocht en is onderdeel van de typologie-benadering van TNO.	N.tb. zie adviezen 3, 8-9
3. Onvolkomenheden bij het schematiseren van gebouwen	3.1 Schematisering gebouwen bij gebruik NPR 9998: 2018	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: eigen analyse steekproef batch 1581, eigen analyse van 28 aanvullende reguliere versterkingsadviezen • Secundair: gesprekken met deskundigen 	Bij onzekerheid wordt door constructeurs vaak een behoudende keuze gemaakt. Hierdoor ontstaat een systematische overschatting van het <i>individueel risico</i> bij toepassing van de NPR 9998.	Groot zie advies 6
	3.2 Schematisering HRA-indexgebouwen	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	Een internationaal reviewpanel en SodM hebben zich positief uitgelaten over de gevolgde aanpak en de validatie met experimenten. Het ACVG heeft de schematiseringen van de HRA-indexgebouwen echter niet zelf kunnen evalueren. Nadere evaluatie is wenselijk.	N.tb. zie adviezen 8-9
	3.3 Toewijzing gebouwen aan HRA-gebouwtypologieën	<ul style="list-style-type: none"> • Primair: literatuurstudie • Secundair: gesprekken met deskundigen 	De betrouwbaarheid van de toewijzing van de 61 gebouwen uit de steekproef is dusdanig dat de discrepanties in de steekproef niet zijn te verklaren door systematische fouten bij het toewijzen van deze gebouwen aan HRA-gebouwtypologieën.	Klein zie adviezen 5, 8-9

5 Aanbevelingen voor verkleining van de discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998

Zoals toegelicht in hoofdstuk 4 zijn er diverse verschillen tussen de HRA en de NPR 9998: 2018 die tot discrepanties tussen hun uitkomsten kunnen leiden. Om deze discrepanties te verkleinen doet het ACVG verschillende aanbevelingen. Het ACVG onderscheidt aanbevelingen die direct zijn gerelateerd aan de beoordeling van de constructieve veiligheid en meer algemene verbeterpunten. Daarbij is het goed de uitgangspunten voor de rekenmethoden te duiden.

Context: uitgangspunten rekenmethoden

Het ACVG vindt een gelaagde aanpak bij de beoordeling van de constructieve veiligheid van gebouwen met de NPR: 9998 essentieel voor de snelheid van de versterkingsopgave. Een gelaagde aanpak houdt in dat wordt gestart met eenvoudige snelle rekenmethoden. Als een gebouw niet blijkt te voldoen aan de *Meijdam-norm* wordt een meer geavanceerde rekenmethode ingezet als verwacht mag worden dat dit een wezenlijke invloed heeft op het beoordelingsresultaat. Vereenvoudigde beoordelingsmethoden zijn dus van meerwaarde. Een zorgvuldige kalibratie is noodzakelijk van vereenvoudigde modellen aan meer geavanceerde modellen en de *Meijdam-norm*. In de aanbevelingen verwijst het ACVG hiernaar. Onderstaande aanbevelingen ten aanzien van de NPR 9998: 2018 zijn dan ook nadrukkelijk niet gericht op het afstappen van vereenvoudigde rekenmethodes, maar op het verbeteren daarvan. Daarbij sluit het ACVG aan op reeds lopende initiatieven, zoals de actualisatie van de NPR 9998: 2018 onder auspiciën van NEN.

Ten aanzien van de constructieve veiligheid adviseert het ACVG het volgende:

1. Het ACVG adviseert om de eenvoudige methode voor de *uit-het-vlak* beoordeling van metselwerkwanden uit Bijlage H van de NPR 9998: 2018 te verbeteren. Hierbij gaat het zowel over verbetering van de modellering van de fysica als kalibratie aan de *Meijdam-norm*. In opdracht van het Ministerie van BZK wordt momenteel onder auspiciën van NEN gewerkt aan verbetering van Bijlage H van de NPR 9998: 2018. Deze verbetering zal naar verwachting vergaande consequenties hebben voor de beoordeling van de weerstand van metselwerkwanden. In zijn tussentijds advies over de typologiebenadering die door TNO wordt ontwikkeld heeft het ACVG aanbevolen om specifiek voor het *uit-het-vlak* bezwijken van wanden een snelle beoordelingsmethode met een bijbehorende maatregelencatalogus te ontwikkelen. Deze gerichte typologie-uitwerking zou een aanvulling kunnen zijn op een verbeterde Bijlage H van de NPR 9998: 2018.
2. De NPR 9998: 2018 geeft verschillende (reken)methoden voor het beoordelen van de kans op het globaal (*in-het-vlak*) bezwijken van gebouwen. Het ACVG adviseert om de consistentie tussen deze methoden te verbeteren door vereenvoudigde rekenmethoden te ijken aan meer geavanceerde, nauwkeurigere rekenmethoden en experimenten. Onder auspiciën van NEN wordt momenteel gewerkt aan verbetering van de consistentie tussen niet-lineaire push-over (NLPO) berekeningsmethoden. Laat NEN hierbij ook de invloed van de toets op de *stijfheid* van vloer- en dakvlakken meenemen.
3. Hoewel het ACVG in zijn onderzoek geen aanleidingen voor onderschatting heeft gevonden, acht het ACVG het wenselijk dat door TNO wordt geëvalueerd in hoeverre in de HRA adequaat wordt omgegaan met *uit-het-vlak* bezwijken en de *gebouw-tot-gebouwvariabiliteit* binnen HRA-*gebouwtypologieën*. Het ACVG adviseert om de veronderstelde *gebouw-tot-gebouwvariabiliteit* te evalueren door gericht constructieve afwijkingen binnen een HRA-typologie te modelleren, bijvoorbeeld zoals recent door de TU Delft (in opdracht van TNO) is gedaan voor een kwetsbaar

rijtjeshuistype.⁴¹ Maak de lopende werkzaamheden binnen NEN-module 4 daarbij dienstbaar aan deze evaluatie door TNO.

4. Het effect van meervoudige constructieve schade op de weerstand van gebouwen ontbreekt in zowel de HRA als de NPR 9998: 2018. Het ACVG adviseert om gebouwen met meervoudige constructieve schade in de *gebouwendatabase* te markeren, zodat de toepasselijkheid van de HRA-resultaten voor deze gebouwen gericht kan worden geëvalueerd. Voor deze gebouwen dient in de HRA mogelijk te worden uitgegaan van een slechte, in plaats van een onzekere, bouwkundige staat. Het ACVG adviseert verder om richtlijnen op te stellen over de omgang met meervoudige constructieve schade bij het beoordelen van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen met de NPR 9998.
5. Het ACVG adviseert om gebruik te maken van een geactualiseerde *gebouwendatabase* (Exposure Data Base) en daarbij de resultaten van opnames, beoordelingen en versterkingen te betrekken. Zo kunnen onnodige discrepanties door het onvolledig benutten van beschikbare informatie worden voorkomen. Het ACVG ondersteunt de werkwijze uit de recente update van de *gebouwendatabase* waarbij de *gebouwtypologie* kritisch is bekeken wanneer een onjuiste typering van praktische betekenis zou kunnen zijn. Als er onzekerheid is over de typering en een onjuiste typering ten onrechte zou kunnen leiden tot een normaal risicoprofiel, dan is nadere studie gewenst (false negatives). Hetzelfde geldt voor gevallen waarin een onjuiste typering ten onrechte zou kunnen leiden tot een verhoogd risicoprofiel (false positives).

Daarnaast stelt het ACVG de volgende algemene verbeterpunten voor:

6. Het ACVG adviseert om de inhoudelijke kwaliteitsborging ten aanzien van beoordelingen van de aardbevingsbestendigheid van gebouwen te verbeteren. Het belang hiervan is tijdens het onderzoek duidelijk naar voren gekomen. Door systematische kwaliteitsborging kunnen ook sneller verbeterpunten worden geïdentificeerd ten aanzien van werkprocessen en de technisch-inhoudelijke hulpmiddelen die in de versterkingsopgave worden gebruikt.
7. Het ACVG adviseert eenduidigheid van de regie op de (door-)ontwikkeling en validatie van de verschillende technisch-inhoudelijke hulpmiddelen voor de versterkingsopgave. Zodoende wordt de consistentie verbeterd en ervoor gezorgd dat initiatieven beter op elkaar en de praktijk aansluiten. Hierbij gaat het niet alleen over de NPR 9998 en de HRA, maar ook over de ontwikkeling van bijvoorbeeld de typologiebenadering. In zijn tussentijds advies heeft het ACVG reeds geadviseerd om de typologiebenadering die door TNO wordt ontwikkeld onder regie snel samen te brengen met de typologiebenadering die door de NCG wordt ontwikkeld. Uiteraard is het ook van belang dat de uiteindelijke typologiebenadering inhoudelijk consistent is met de (nieuwe) NPR 9998. Zolang de technische hulpmiddelen niet worden ontwikkeld onder eenduidige regie, zijn suboptimale kaders en vertraging onvermijdelijk.

⁴¹ Technische Universiteit Delft, Definition of a consistent backbone curve for typologie 'Metselwerk 2', kenmerk B2B-R01, 17 December 2019, concept, versie 1.

6 Aanbevelingen voor omgang met de discrepanties tussen de HRA en de NPR 9998

Ondanks inspanningen om de consistentie tussen de HRA en de NPR 9998 te vergroten, zijn discrepanties nooit volledig uit te sluiten. Dit hangt samen met de verschillen tussen de sterke en zwakke punten van deze methoden. Beide methoden hebben dan ook hun waarde in het versterkingsproces. De NPR 9998 is onmisbaar voor de beoordeling van individuele gebouwen en het ontwerp van maatregelen. De HRA speelt een waardevolle rol bij het identificeren en prioriteren van gebouwen voor opname en beoordeling. Dit zou ondoenlijk zijn voor de meer dan 150.000 gebouwen in Groningen op basis van alleen berekeningen met de NPR 9998.

Gelet op het bovenstaande beschouwt het ACVG de NPR 9998 en de HRA als complementair. Het ACVG acht het echter wel essentieel dat wordt voorkomen dat ten onrechte wordt afgezien van opname en beoordeling. Hiertoe doet het ACVG de volgende aanbevelingen⁴²:

8. De HRA is input voor deskundige oordeelsvorming maar kan deze nooit vervangen. Dit betekent dat ook andere informatiebronnen die betrekking hebben op constructieve veiligheid betrokken moeten worden bij het vaststellen van risicoprofielen, zoals informatie over gebouwen met meervoudige constructieve schade. Het Besluit versterking gebouwen Groningen biedt daarvoor het wettelijk kader.⁴³
9. Het ACVG adviseert om de achtergronden van de vastgestelde risicoprofielen op verzoek beschikbaar te stellen aan bewoners van de betreffende gebouwen. Daarnaast adviseert het ACVG het voor bewoners mogelijk te maken om zelf een opname aan te vragen om het toegekende risicoprofiel te evalueren. In dit verband spreekt het ACVG steun uit voor een snelle start van het initiatief "opname op verzoek".⁴⁴

⁴² De aanbevelingen zijn doorgenummerd om eenvoudiger de relatie aan te kunnen geven met de resultaten van het feitenonderzoek (zie laatste kolom in Tabel 2).

⁴³ Besluit van de Minister van Economische Zaken en Klimaat van 20 mei 2019, nr. WJZ/19127069, inzake versterking van gebouwen in Groningen en tot instelling van de Tijdelijke commissie versterking Groningen (Besluit versterking gebouwen Groningen), artikel 4, lid 5.

⁴⁴ Zie ook: Kamerstuk 33 529, nr. 718 met bijlage blg-920751.

7 Tot slot

Het ACVG acht het van het grootste belang dat de benodigde versterkingen zo snel mogelijk worden uitgevoerd, waarbij recht wordt gedaan aan de veiligheid en de wensen en zorgen van bewoners. Het ACVG adviseert de Minister van BZK en de Minister van EZK om te communiceren over de bevindingen en aanbevelingen uit dit advies vanuit het perspectief van de Groninger en de Groningse regio. Dit betekent dat de bevindingen en opvolging van de aanbevelingen voor de bewoner op een begrijpelijke wijze worden uitgelegd. Ook betekent dit dat bewoners de mogelijkheid moeten krijgen om eventuele vragen hierover aan deskundigen voor te leggen. Vanzelfsprekend werkt het ACVG hier graag aan mee en is het ACVG hiervoor beschikbaar.

Adviescollege Veiligheid Groningen
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag
contact@adviescollegeveiligheidgroningen.nl
T 088-0422777
www.adviescollegeveiligheidgroningen.nl

© Adviescollege Veiligheid Groningen
April 2020