

Memo

www.tno.nl

Aan Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
Van TNO - Adviesgroep Economische Zaken
Onderwerp Wierdenanalyse GMM-V6

Datum
19 juni 2023
Onze referentie
AGE 23-10.059

Wierdenanalyse in GMM-V6: Risicoanalyse van gebouwen op wierden met en zonder toepassing van een aangepast opslingermodel in Grondbewegingsmodel V6.

Introductie

Op 18 oktober heeft TNO (2022) in haar Statusrapport aanbevelingen gedaan over de te gebruiken modellen in de publieke risicoanalyse (SDRA) Groningen voor gasjaar 2023/2024. Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) advies gevraagd over de bruikbaarheid en kwaliteit van de voorgestelde modelversies in de SDRA 2023. Op 20 december heeft SodM (2022) geadviseerd om Grondbewegingsmodel versie 6 (GMM-V6) te gebruiken, inclusief toepassing van extra opslingerfactoren voor gebouwen op wierden zoals gedefinieerd in Grondbewegingsmodel versie 7 (GMM-V7). EZK (2023) heeft vastgesteld dat de publieke SDRA 2023 voor gasjaar 2023/2024 dient te worden uitgevoerd met GMM-V6 (exclusief toepassing van extra opslingerfactoren voor gebouwen op wierden). Tevens is opgemerkt dat een separate 'wierdenstudie' wordt gedaan naar de opslingerfactoren uit GMM-V7.

Naar aanleiding van een trilateraal overleg tussen EZK, SodM en TNO zijn de volgende uitgangspunten en werkzaamheden voor deze wierdenanalyse overeen gekomen. Het doel van de wierdenanalyse is een verkenning van het verschil in risico tussen het al dan niet toepassen van het opslingermodel voor gebouwen op wierden in GMM-V6.

Deze memo is een beknopte rapportage van de bevindingen, waarbij de focus ligt op de gebouwen die op wierden staan. Sectie Methode beschrijft de aanname van de toepasbaarheid van het wierdenmodel in GMM-V6 op basis van de GMM-V7 documentatie. Sectie Resultaten geeft de risicoanalyses van de runs op basis van de vastgestelde modelinstellingen voor de SDRA (TNO, 2023), inclusief en exclusief opslingermodel. Voor het basisscenario is uitgegaan van operationele strategie 1 (volledige insluiting Groningenveld per 1 oktober 2023).

Op verzoek van SodM is separaat een analyse toegevoegd met betrekking tot de invloed van het wierdenmodel in het geval er wordt uitgegaan van GMM-V6 zonder toepassing van periode correlatie in het siteresponse model. TNO benadrukt dat deze modelaannee afwijkt van de SDRA 2023 en deze niet door TNO wordt ondersteund.

Methode

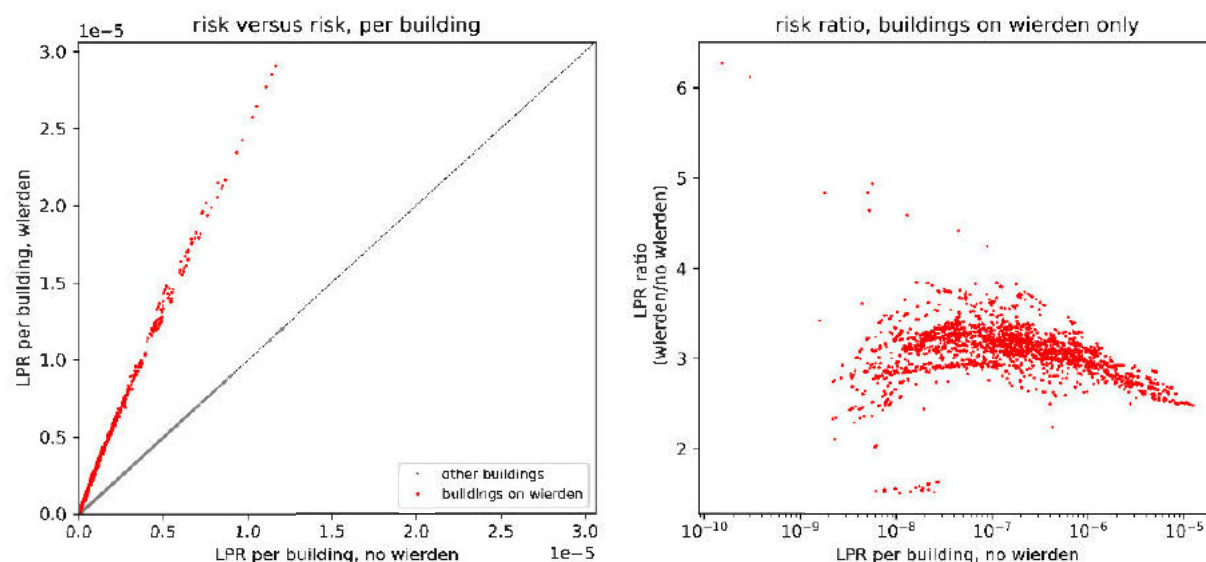
Ten behoeve van het GMM-V7 (Bommer et al., 2022) is door Kruiver et al. (2022) voor alle wierden in het publieke SDRA domein een enkele amplificatiefactor afgeleid, die enkel geconditioneerd is op de responsperiode. Deze amplificatiefactor is gebaseerd op een modelleerstudie op basis van het GMM-V7 site response model. Dit betekent dat de amplificatiefactor strikt genomen alleen toepasbaar is voor GMM-V7. Het ligt in de lijn der verwachting dat een studie op basis van het GMM-V6 site response model vergelijkbare resultaten oplevert. Dit is echter niet gevalideerd. Het is te verwachten dat het gebruik van de amplificatiefactor in combinatie met GMM-V6 leidt tot onder- of overschatting van de grondbewegingen en daarmee ook op het risico van gebouwen op wierden. Of deze onder- of overschatting acceptabel is voor het gebruik in GMM-V6 zou nader onderzocht moeten worden. Nadere validatie van de amplificatiefactor op basis van GMM-V6 is gewenst voordat er definitieve conclusies op basis van deze analyse kunnen worden getrokken.

Voor de huidige analyse is desalniettemin de aanname gedaan dat de amplificatiefactor voor GMM-V6 identiek is aan die van GMM-V7. Het verdient daarom aanbeveling de uitkomsten van de huidige studie te beoordelen als die van een gevoeligheidsanalyse.

Om de invloed van de wierdenamplificatiefactor te onderzoeken is de operationele strategie 1 van de SDRA 2023 opnieuw uitgevoerd met inachtneming van deze amplificatiefactor voor enkel die gebouwen die zich daadwerkelijk op een wierde bevinden.

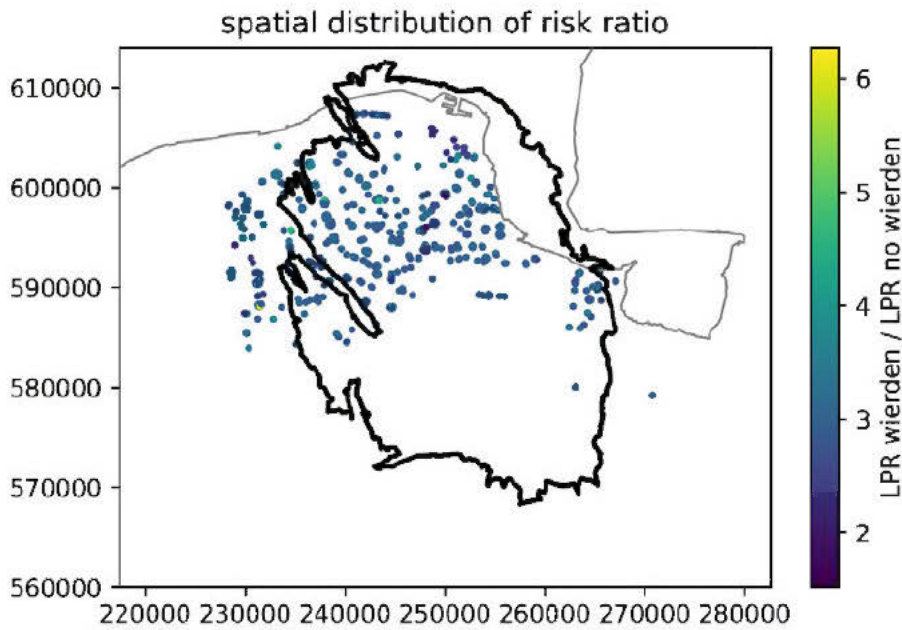
Modelresultaten

De resultaten van de toepassing van de GMM-V7 amplificatiefactor voor wierden in GMM-V6 zijn weergegeven in Figuren 1 t/m 3. In de figuren is te zien dat de gebouwen op wierden een hoger risico toegekend krijgen wanneer de wierdenamplificatiefactor wordt gebruikt. Het risico van de overige gebouwen wordt niet beïnvloed door de amplificatiefactor. In Figuur 1 bevinden deze zich op een rechte lijn met richtingscoëfficiënt van 1. Gebouwen met een risico tussen 10^{-6} en 10^{-5} zonder toepassing van de wierdenamplificatiefactor krijgen een 2.5 tot 3 maal hoger risico als de wierdenamplificatiefactor wel wordt meegenomen in de risicoberekening.

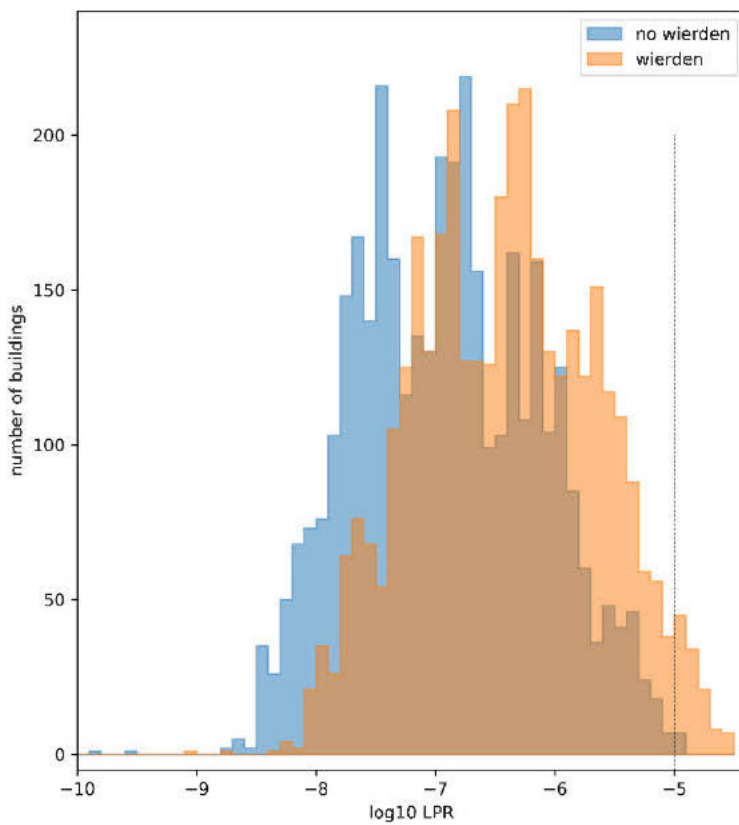


Figuur 1: **Links:** Plaatsgebonden Persoonlijk Risico (LPR) per gebouw met wierdenamplificatiefactor (verticale as) uitgezet tegen het risico zonder de wierdenamplificatiefactor (horizontale as), voor alle gebouwen in de exposure database. Risico is berekend op basis van de uitkomsten van grondbewegingsmodel GMM-V6. Gebouwen op wierden zijn in het rood weergegeven, overige gebouwen in het grijs. **Rechts:** De risicoverhouding van modeluitkomsten berekend met en zonder wierdenamplificatiefactor, uitgezet tegen het risico zonder wierden (in logaritmische schaal). Elk datapunt is een gebouw op een wierde (overige gebouwen zijn niet geplot).

Figuur 2 geeft een overzicht van de locatie van alle geïdentificeerde gebouwen die zich op een wierde bevinden. Figuur 3 toont de risicoverdeling van de gebouwen op een wierde. Deze figuur maakt duidelijk dat het toepassen van de wierdenamplificatiefactor leidt tot een verschuiving van de risicoverdeling naar hogere LPR-waardes.



Figuur 2: Kaartweergave van gebouwen op wierden. De kleurschaal laat de risicoverhouding zien per gebouw (zie Figuur 1, rechter paneel). In het totaal betreft het 3645 geïdentificeerde gebouwen die zich op een wierde bevinden (EDB V2023).

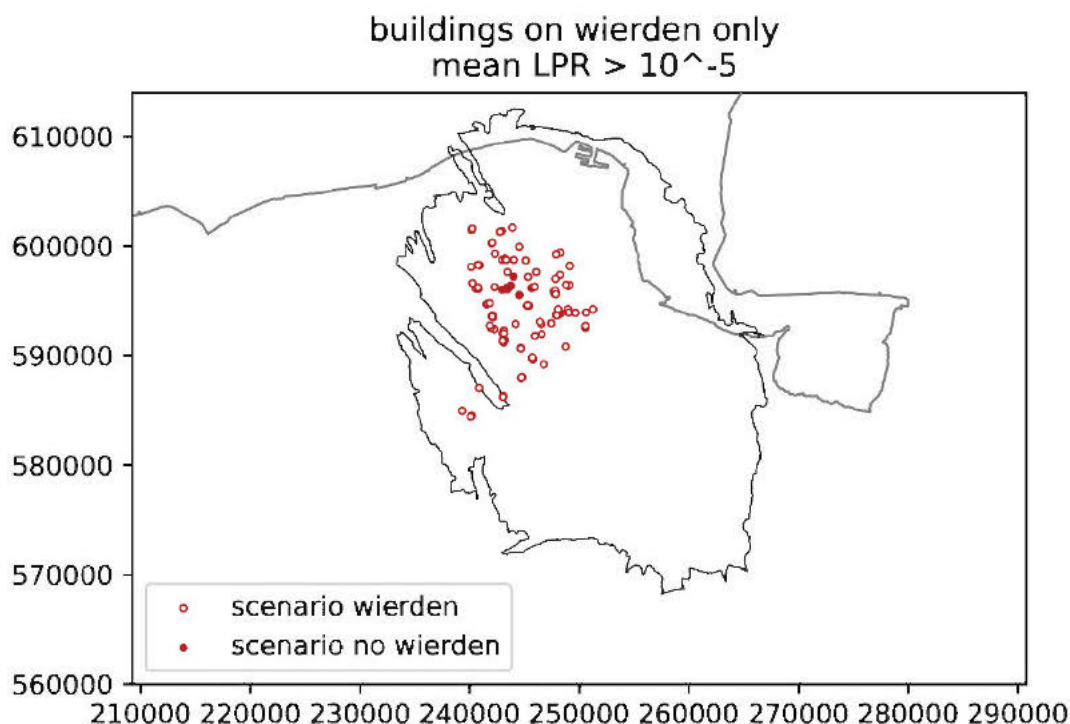


Figuur 3: Risicoverdeling over de gebouwen op wierden berekend zonder (blauw) en met (oranje) wierdenamplificatiefactor. De gestippelde lijn geeft de Meijdam norm aan (LPR 10⁻⁵).

In Tabel 1 en Figuur 4 wordt weergegeven hoe de toename van het LPR van de gebouwen op wierden zich vertaalt in het aantal gebouwen dat de LPR-norm van 10^{-5} overschrijdt. Voor de volledigheid is in Tabel 2 en Figuur 5 het aantal gebouwen weergegeven dat de P90 LPR van 10^{-5} overschrijdt.

Tabel 1: Aantallen gebouwen die een verwachtingswaarde LPR van 10^{-5} overschrijden, inclusief een uitsplitsing van de gebouwen die zich op een wierde bevinden. De linker tabel geldt voor SDRA 2023 scenario 1, GMM-V6; de rechter voor hetzelfde scenario inclusief de wierdenamplificatiefactor voor de gebouwen die zich op een wierde bevinden.

	GMM-V6		GMM-V6 + wierden amplificatie	
	Verwachtingswaarde LPR 1e-5		Verwachtingswaarde LPR 1e-5	
	alle gebouwen	op wierden	alle gebouwen	op wierden
GY2023/2024	18	7	126	115
GY2024/2025	8	1	97	90
GY2025/2026	0	0	55	55
GY2026/2027	0	0	25	25
GY2027/2028	0	0	18	18
GY2028/2029	0	0	13	13
GY2029/2030	0	0	5	5
GY2030/2031	0	0	1	1
GY2031/2032	0	0	0	0
GY2032/2033	0	0	0	0
GY2033/2034	0	0	0	0

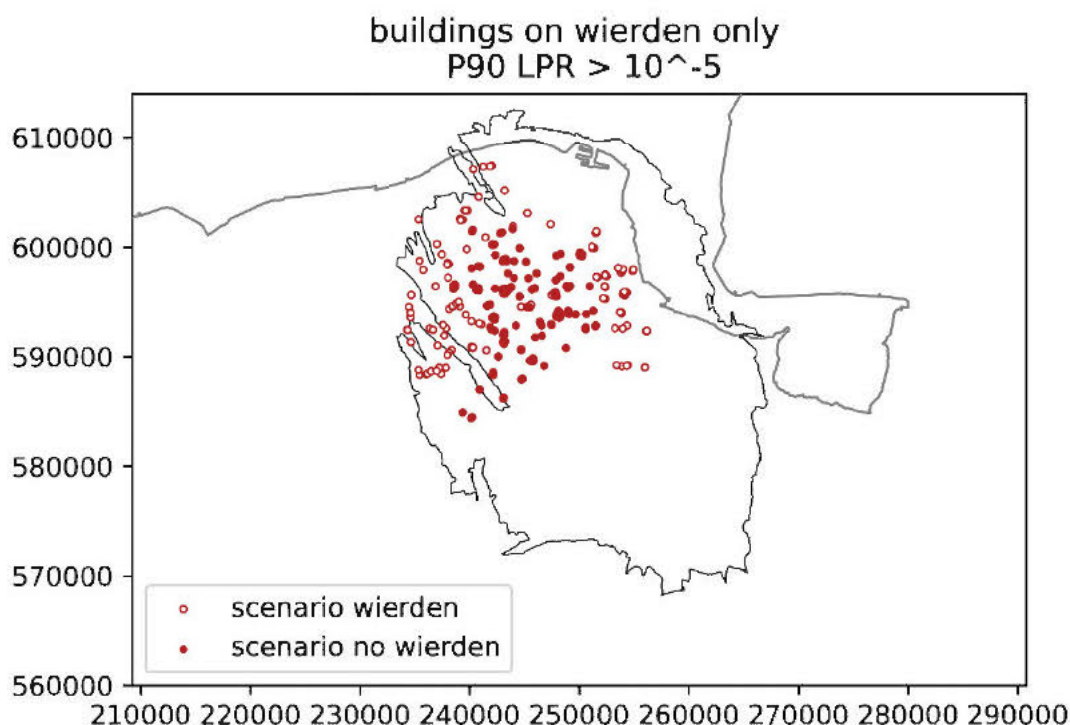


Figuur 4: Ruimtelijke verdeling van de gebouwen die een verwachtingswaarde LPR van 10^{-5} averschrijden die zich op een wierde bevinden. Resultaten worden getoond voor gasjaar 2023/2024 op basis van SDRA 2023 scenario 1. Op basis van

GMM-V6 (zonder wierdenamplificatiefactor; gevulde rode cirkels) overschrijden 7 gebouwen de LPR van 10^{-5} . Op basis van GMM-V6 met wierdenamplificatiefactor (open + gevulde rode cirkels) overschrijden 115 gebouwen de LPR van 10^{-5} .

Tabel 2: Aantallen gebouwen die de P90 LPR van 10^{-5} overschrijden, inclusief een uitsplitsing van de gebouwen die zich op een wierde bevinden. De linker tabel geldt voor SDRA 2023 scenario 1, GMM-V6; de rechter voor hetzelfde scenario inclusief de wierdenamplificatiefactor voor de gebouwen die zich op een wierde bevinden.

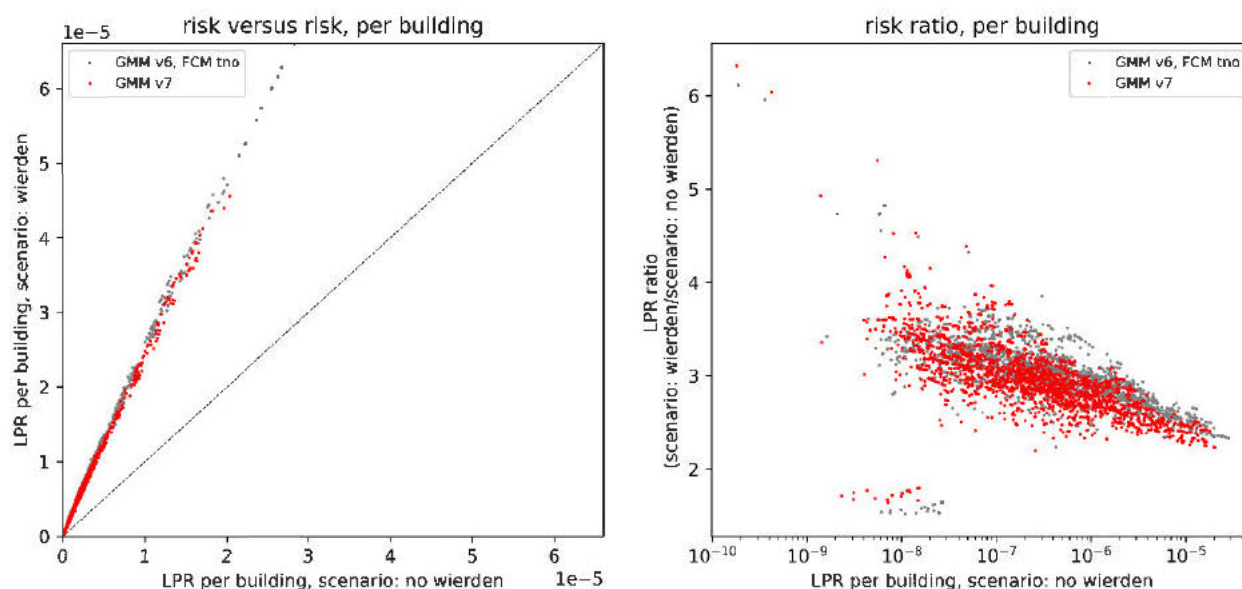
	GMM-V6		GMM-V6 + wierden amplificatie	
	P90 LPR $1e-5$		P90 LPR $1e-5$	
	alle gebouwen	op wierden	alle gebouwen	op wierden
GY2023/2024	572	131	841	400
GY2024/2025	457	100	694	337
GY2025/2026	320	62	512	254
GY2026/2027	209	40	389	220
GY2027/2028	116	23	288	195
GY2028/2029	59	18	206	165
GY2029/2030	29	10	175	156
GY2030/2031	8	2	145	139
GY2031/2032	3	0	65	62
GY2032/2033	0	0	51	51
GY2033/2034	0	0	37	37



Figuur 5: Ruimtelijke verdeling van de gebouwen die de P90 LPR van 10^{-5} overschrijden die zich op een wierde bevinden. Resultaten worden getoond voor gasjaar 2023/2024 op basis van SDRA 2023 scenario 1. Op basis van GMM-V6 (zonder wierdenamplificatiefactor; gevulde rode cirkels) overschrijden 131 gebouwen de P90 LPR van 10^{-5} . Op basis van GMM-V6 met wierdenamplificatiefactor (open + gevulde rode cirkels) overschrijden 400 gebouwen de P90 LPR van 10^{-5} .

Analyse modelresultaten

Om een eerste duiding van bovenstaande modelresultaten te geven is er een vergelijking uitgevoerd van deze modelresultaten en modelresultaten op basis van GMM-V7. De wierdenamplificatiefactor is immers gebaseerd op het GMM-V7 site response model. Omdat GMM-V7 inherent tot andere resultaten leidt dan GMM-V6, is in deze analyse specifiek gekeken naar de relatieve toename van het risico van gebouwen op wierden door de toepassing van de amplificatiefactor. Figuur 6 (linker paneel) toont de relatieve toename van het LPR in het geval de wierdenamplificatiefactor wordt toegepast. De resultaten op basis van GMM-V7 tonen een minder grote relatieve toename van het risico in vergelijking met GMM-V6. Het toepassen van de wierdenamplificatiefactor in combinatie met GMM-V6 lijkt te resulteren in een hogere risico inschatting dan op basis van GMM-V7 verwacht zou mogen worden. Gemiddeld leidt de toepassing van de op GMM-V7 gebaseerde amplificatiefactor als aanpassing in GMM-V6 tot een ca. 2 tot 3% hogere risico inschatting van huizen op wierden dan de originele GMM-V7 toepassing. Hoe dit doorwerkt naar het aantal gebouwen dat de risiconorm overschrijdt is niet onderzocht.



Figuur 6: **Links:** Plaatsgebonden Persoonlijk Risico (LPR) per gebouw met wierdenamplificatiefactor (verticale as) uitgezet tegen het risico zonder de wierdenamplificatiefactor (horizontale as), voor alle gebouwen in de exposure database die zich op een wierde bevinden. Risico is berekend op basis van de uitkomsten van zowel GMM-V6 (grijs) als GMM-V7 (rood). **Rechts:** De risicoverhouding van modeluitkomsten berekend met en zonder wierdenamplificatiefactor, uitgezet tegen het risico zonder wierden (in logaritmische schaal). Elk datapunt is een gebouw op een wierde. Zowel GMM-V6 (grijs) als GMM-V7 (rood) resultaten zijn weergegeven.

Daarnaast merkt TNO op dat de inventarisatie van gebouwen op wierden in de meest recente Exposure Database V2023 (ARUP, 2023) ca. 1000 gebouwen op wierden meer bevat dan vermeldt in de eerdere Exposure Database V7.1 (NAM, 2021) en in de analyse van Kruiver et al. (2022). Op basis van de EDB V2023 documentatie is voor deze toename niet direct een verklaring te geven.

Van de 115 gebouwen die op basis van GMM-V6 met toepassing van wierdenamplificatie niet aan de risiconorm voldoen (Tabel 1) in gasjaar 2023/2024 maken er 29 deel uit van deze recent toegevoegde groep van ca. 1000 gebouwen.

Conclusie

In deze wierdenanalyse is een verkenning uitgevoerd om een beeld te krijgen van de impact op het risico door het al dan niet toepassen van het opslingermodel voor gebouwen op wierden in GMM-V6. Uitgangspunt voor deze analyse is de SDRA 2023, operationele strategie 1. Daarnaast is aangenomen dat de amplificatiefactor voor GMM-V6 identiek is aan die van GMM-V7. Uit de vergelijking van de

relatieve risicotoename van gebouwen op wierden tussen GMM-V6 en GMM-V7 kan opgemaakt worden dat het gebruik van de amplificatiefactor in GMM-V6 leidt tot een hoger risico dan op basis van GMM-V7 verwacht zou mogen worden.

Gebouwen met een risico tussen 10^{-6} en 10^{-5} zonder toepassing van de wierdenamplificatiefactor krijgen een 2.5 tot 3 maal hoger risico als de wierdenamplificatiefactor wel wordt meegenomen in de risicoberekening. Deze risicoverhoging leidt ook tot een toename van het aantal gebouwen dat de LPR-norm van 10^{-5} overschrijdt. Dit aantal neemt toe van 18 naar 126.

Nadere validatie van de amplificatiefactor op basis van GMM-V6 is gewenst voordat er definitieve conclusies op basis van deze analyse kunnen worden getrokken. Dit is ook een randvoorwaarde voordat wordt overwogen deze aanpassing over te nemen in een toekomstige SDRA.

Referenties

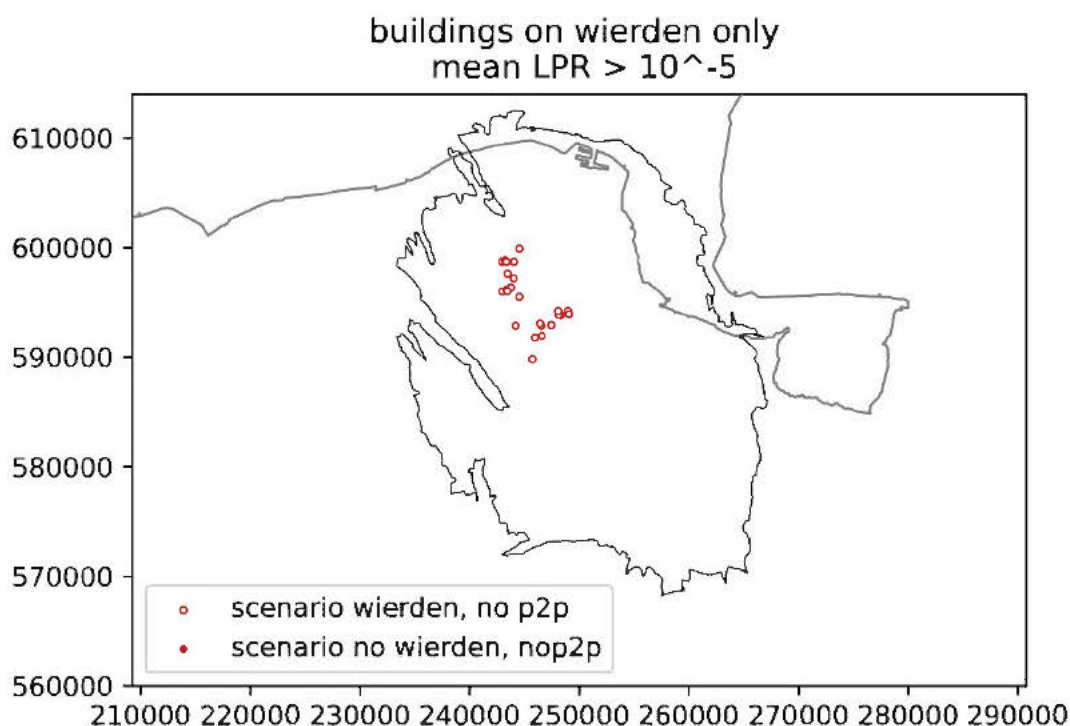
- ARUP (2023). EDB V2023 Cover Note. Reference 287134
- Bommer, J. et al. (2022). V7 Ground-Motion Model for Induced Seismicity in the Groningen Gas Field (Update) With Assurance Letter. NAM Report.
- EZK (2023). Verzoek tot voorstellen operationele strategie voor het gasjaar 2023-2024. Kenmerk PDGGO-DSGG / 25984117, 17 februari 2023. Aangevuld met een erratum. Kenmerk PDGGO-DSGG / 26478290, 28 februari 2023.
- Kruiver, P., et al., (2022). Incorporating dwelling mounds into induced seismic risk analysis for the Groningen gas field in the Netherlands, Bulletin of Earthquake Engineering (2022), 20:255-285.
- NAM (2021). EDB V7.1 PostP+Wierden.csv
- Sodm (2022). Advies modelversies SDRA Groningen 2023, kenmerk ADV-7833, 20 december 2022.
- TNO (2022). Status of the TNO Model Chain Groningen per October 1, 2022 and recommendations for the public Seismic Hazard and Risk Analysis 2023, TNO 2022 R11961, 18 oktober 2022.
- TNO (2023). Publieke Seismische Dreigings- en Risicoanalyse Groningen gasveld 2023, TNO 2023 R10682, 7 april 2023.

Aanvullende resultaten op verzoek van SodM

Op verzoek van SodM is aanvullend een analyse toegevoegd met betrekking tot de invloed van het wierdenmodel in het geval er wordt uitgegaan van GMM-V6 zonder toepassing van periode correlatie in het siteresponse model. TNO benadrukt dat deze modelaannname afwijkt van de SDRA 2023 en deze niet door TNO wordt ondersteund.

Tabel 3: Aantallen gebouwen die de verwachtingswaarde LPR van 10^{-5} overschrijden, inclusief een uitsplitsing van de gebouwen die zich op een wierde bevinden. De linker tabel toont resultaten op basis van SDRA 2023 scenario 1, zonder periode correlatie in GMM-V6 siteresponse-model; de rechter voor hetzelfde scenario inclusief de wierdenamplificatiefactor voor de gebouwen die zich op een wierde bevinden.

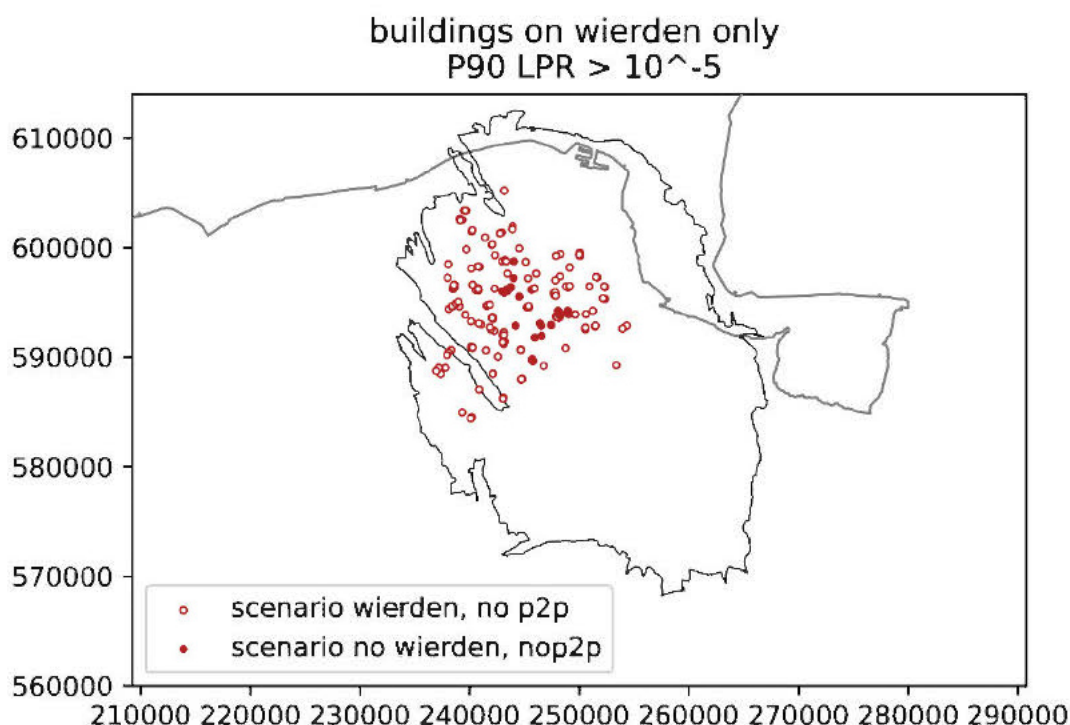
	GMM-V6-no-P2P		GMM-V6-no-P2P + wierden	
	Verwachtingswaarde LPR $1e-5$		Verwachtingswaarde LPR $1e-5$	
	alle gebouwen	op wierden	alle gebouwen	op wierden
GY2023/2024	0	0	25	25
GY2024/2025	0	0	11	11
GY2025/2026	0	0	7	7
GY2026/2027	0	0	7	7
GY2027/2028	0	0	1	1
GY2028/2029	0	0	0	0
GY2029/2030	0	0	0	0
GY2030/2031	0	0	0	0
GY2031/2032	0	0	0	0
GY2032/2033	0	0	0	0
GY2033/2034	0	0	0	0



Figuur 7: Ruimtelijke verdeling van de gebouwen die een verwachtingswaarde LPR van 10^{-5} overschrijden die zich op een wierde bevinden. Resultaten worden getoond voor gasjaar 2023/2024 op basis van SDRA 2023 scenario 1 zonder periode correlatie in GMM-V6 siteresponse-model. Op basis van dit model zonder wierdenamplificatiefactor (gevulde rode cirkels) overschrijdt geen gebouw de LPR van 10^{-5} . Op basis van GMM-V6 met wierdenamplificatiefactor (open rode cirkels) overschrijden 25 gebouwen de LPR van 10^{-5} .

Tabel 4: Aantallen gebouwen die de P90 LPR van 10^{-5} overschrijden, inclusief een uitsplitsing van de gebouwen die zich op een wierde bevinden. De linker tabel toont resultaten op basis van SDRA 2023 scenario 1, zonder periode correlatie in GMM-V6 siteresponse-model; de rechter voor hetzelfde scenario inclusief de wierdenamplificatiefactor voor de gebouwen die zich op een wierde bevinden.

	GMM-V6-no-P2P		GMM-V6-no-P2P + wierden	
	P90 LPR $1e-5$		P90 LPR $1e-5$	
	alle gebouwen	op wierden	alle gebouwen	op wierden
GY2023/2024	79	20	253	194
GY2024/2025	30	10	187	167
GY2025/2026	18	7	148	137
GY2026/2027	18	7	123	112
GY2027/2028	8	2	83	77
GY2028/2029	0	0	38	38
GY2029/2030	0	0	30	30
GY2030/2031	0	0	27	27
GY2031/2032	0	0	21	21
GY2032/2033	0	0	8	8
GY2033/2034	0	0	1	1



Figuur 8: Ruimtelijke verdeling van de gebouwen die de P90 LPR van 10^{-5} overschrijden die zich op een wierde bevinden. Resultaten worden getoond voor gasjaar 2023/2024 op basis van SDRA 2023 scenario 1 zonder periode correlatie in GMM-V6 siteresponse-model. Op basis van dit model zonder wierdenamplificatiefactor (gevulde rode cirkels) overschrijden 20 gebouwen de P90 LPR van 10^{-5} . Op basis van GMM-V6 met wierdenamplificatiefactor (open + gevulde rode cirkels) overschrijden 194 gebouwen de P90 LPR van 10^{-5} .