Inleiding

Op 10 september 2019 heeft de Minister van Economische Zaken en Klimaat het Definitief Instemmingsbesluit gasopslag Norg (hierna: het Instemmingsbesluit) gepubliceerd. Artikel 2 van het Instemmingsbesluit schrijft voor dat NAM voor 1 april 2022 een actualisatie van het opslagplan moet indienen. Door middel van het voorliggende document wordt invulling gegeven aan dit voorschrift. Het document geeft een actualisatie van de elementen uit het vigerende opslagplan waarvoor dit relevant is. Zo wordt in de inleiding en hoofdstuk 3 van deze actualisatie een mogelijke rol van gasopslag Norg na 2022 aangegeven alsmede een doorkijk naar de sluiting ervan op termijn. Op basis van de meest recente meetdata zijn de risico's voor bodemdaling en bodemtrilling opnieuw geanalyseerd. Deze resultaten zijn opgenomen in hoofdstuk 4 en 5.

In het Instemmingsbesluit wordt tevens verzocht een actualisatie op te nemen met betrekking tot de actuele procedure voor schadeafhandeling. Vanaf 1 juli 2020 wordt de schadeafhandeling rondom Norg verzorgd door het IMG. De NAM staat hiermee met betrekking tot de schadeafhandeling rondom Norg op afstand en de schadeafhandeling wordt in deze actualisatie dan ook niet verder beschreven.

Onderdelen die ongewijzigd zijn gebleven ten opzichte van het vigerende opslagplan zijn niet in deze actualisatie opgenomen. Injectie- en productievolumes en hieraan gerelateerde reservoirdrukken worden jaarlijks separaat conform de rapportageverplichting van het Instemmingsbesluit gerapporteerd.

Achtergrond gasopslag in Nederland
Aardgas speelt een belangrijke rol in de Nederlandse energievoorziening van huishoudens, bedrijven en industrie. Tevens is aardgas een grondstof voor verschillende industriële processen en wordt het gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. De vraag naar aardgas kent een seizoensafhankelijkheid waarbij in de winter, door de lagere temperatuur, de vraag naar aardgas groter is dan in de zomer. De gasopslagen hebben een belangrijke rol in het invullen van de hogere vraag in de winter. Door de opslag in de zomer te vullen wordt een buffer gecreëerd om in de winter te kunnen gebruiken.

Daarnaast hebben gasopslagen een belangrijke rol bij verstoringen in het gassysteem. Wanneer de aanvoer van gas door onvoorziene omstandigheden wordt onderbroken, worden gasopslagen ingezet om eventuele tekorten op te vangen. De recente ontwikkelingen op de Europese gasmarkten hebben geresulteerd in een EU-energiestrategie voor het zeker stellen van voldoende gasreserves voor de komende winter(s) en concrete voorstellen voor minimale vulgraden van gasopslagen[1]. In deze functie zijn de gasopslagen, waaronder gasopslag Norg, vooralsnog dus essentieel voor Leveringszekerheid van Nederlandse energie.

Rol van ondergrondse gasopslag Norg nu en in de toekomst
De ondergrondse gasopslag (*underground gas storage* of UGS) Norg wordt gebruikt om laagcalorisch gas op te slaan. Laagcalorisch gas wordt vooral in huishoudens gebruikt. In UGS Norg kan zowel Groningen gas als pseudo Groningen gas worden opgeslagen. Pseudo Groningen gas is een mengsel van binnenlands geproduceerd en geïmporteerd hoogcalorisch gas dat door bijmenging met stikstof geschikt gemaakt wordt voor laagcalorisch gebruik. In de aanlevering van stikstof voor bijmenging speelt de oplevering van stikstoffabriek Zuidbroek II een belangrijke rol. Op dit moment is deze installatie nog niet operationeel hetgeen gevolgen heeft voor de behoefte aan laagcalorisch gas uit Norg of het Groningenveld. Door in de zomer de opslag in Norg te vullen met pseudo Groningen gas kan de opslag in de winter worden ingezet om in de gasvraag te voorzien. Dit maakt dat de gasproductie uit het Groningenveld in de winter kan worden beperkt en het Groningenveld alleen in uitzonderlijke situaties een reserverol dient te vervullen.

Onderzoek op verzoek van de minister heeft aangetoond dat UGS Grijpskerk als laagcalorische gasopslag de reserverol van het Groningenveld mogelijk kan overnemen. Hiervoor dient UGS Grijpskerk te worden omgezet van hoogcalorische naar laagcalorische opslag. Voor deze omzetting heeft de NAM in 2021 een herziening van het opslagplan voor UGS Grijpskerk ingediend.

[1] "*REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy*" https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1511

Met een steeds verder teruglopende gasvraag kan UGS Grijpskerk als laagcalorische berging op den duur de volledige opslagfunctie van UGS Norg overnemen. Hiermee kan de opslagfunctionaliteit van UGS Norg op termijn gefaseerd worden afgebouwd. Met de afnemende rol van UGS Norg binnen leveringszekerheid behoort een gefaseerde winning van het kussengas tot de mogelijkheden[2]. Voor eventuele winning en inzet van het kussengas voor leveringszekerheid zal op termijn een separaat besluitvormingstraject moeten worden doorlopen, deze maken geen deel uit van dit opslagplan. De snelheid waarmee de gasvraag afneemt en de termijn waarop UGS Norg kan worden afgebouwd is onzeker.

[2] Kamerbrief 24 september 2021 - Gaswinningsniveau Groningen gasjaar 2021-2022 (*https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2021/09/24/kamerbrief-over-gaswinningsniveau-groningen-gasjaar-2021-2022*)

Actualisatie Opslagplan Gasopslag Norg

31 maart 2022

kenmerk: EP202203203543

Formulier aanvraag instemming opslagplan
ex artikel 34 lid 1 Mijnbouwwet (Mw) juncto artikel 24 Mijnbouwbesluit (Mb)
Elektronisch in te dienen bij:
Ministerie van Economische Zaken
Directie Energie & Omgeving
Mijnbouwvergunningen@minezk.nl

Artikel	***Onderwerp***	***Beschrijving***
Mw 34 lid 1	**Verzoek om instemming voor een actualisatie van het Opslagplan** **Ondergrondse Gasopslag Norg**	☐ een opslagplan voor voorkomens in het continentaal plat vanaf de 12 zeemijlszone ☒ een opslagplan voor voorkomens in Nederlands territoir tot 12 zeemijl uit de kust
	Algemene gegevens	
	Naam indiener	Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
	Adres	Postbus 28000 9400 HH ASSEN
	Contactpersoon	5.1.2.e
	E-mail	5.1.2.e
Mw 34 lid 2	***Indiener***	☒ is houder van de vergunning ☐ is uitvoerder cf artikel 22 Mw
	Winningsvergunningsgebied(en) **Ligging Gemeente en Provincie**	☒ Opslagvergunning Norg Gemeente Noordenveld & Westerkwartier Provincie Drenthe & Groningen
Mw 34 lid 1 Mb 24 lid 1a	**Voorkomens koolwaterstoffen**	Norg Rotliegend
Mb 24 lid 1a	***Soort koolwaterstof die wordt gewonnen***	☐ olie ☐ hoog calorisch gas ☒ Groningen kwaliteit gas ☐ laag calorisch gas ☐ zwavelhoudend gas ☒ aardgascondensaat
Mr 1.2.1 lid 3	**Bestaande of nieuwe winning**	☒ opslagplan voor reeds bestaande opslag ☐ opslagplan voor nieuwe opslag
Mw 34 lid 7	***Coördinatie vergunningen***	☐ -: te weten met: ☐ Omgevingsvergunning ☐ Watervergunning ☐ Mijnbouwmilieuvergunning ☐ Anders, namelijk: ☒ nee

1. Vigerend opslagplan en reden voor de actualisatie

Op 15 april 2016 heeft de NAM een aanvraag tot instemming met een geactualiseerd opslagplan ingediend. Met deze aanvraag werd tevens de opslag van 7 miljard Nm^3 mogelijk gemaakt. Op 29 augustus 2018 heeft de minister van EZK de NAM verzocht om deze aanvraag aan te passen waarbij uitgegaan wordt van een maximaal werkvolume van 6 miljard Nm^3. Op 5 september 2018 heeft de NAM hiervoor de gewijzigde aanvraag ingediend. Op 10 september 2019 heeft de minister ingestemd met dit gewijzigde opslagplan Norg. Dit is het vigerende opslagplan voor UGS Norg.

In artikel 2 van het instemmingsbesluit is opgenomen dat de NAM uiterlijk 1 april 2022 het opslagplan actualiseert. In deze actualisatie wordt onder meer aandacht besteed aan de rol van de opslag na 2022 en de sluiting daarvan op termijn. Dit document geeft invulling dit specifieke artikel van het instemmingsbesluit.

Opslagplannen en instemmingsbesluiten zijn op www.nlog.nl te vinden onder veldcode NOR.

2. Ondergrondse Gasopslag

De ondergrondse gasopslag Norg is in 1997 in gebruik genomen en wordt beschreven in het opslagplan Norg (2004). Het aardgas wordt opgeslagen in het gasveld Norg. De opslag wordt geopereerd met negen putten vanaf een centrale bovengrondse gasbehandelingsinstallatie. In de gasopslag wordt laagcalorisch gas van de G-gaskwaliteit aardgas opgeslagen, de berging wordt ingezet om aardgas te leveren op momenten van hoge vraag.

Tabel 1: Algemene gegevens

Locatienaam	**Locatieadres**	**Plaats**	**Gemeente**
UGS Norg	Westerstukkenweg 2, 9333 PT	Langelo	Noordenveld

De belangrijkste parameters die het gasveld Norg beschrijven zijn samengevat in Tabel 2. De "GIIP" (Gas Initially In Place) geeft de hoeveelheid gas die oorspronkelijk in het reservoir aanwezig was. Het werkvolume geeft aan hoeveel gas uit de ondergrondse gasopslag ingezet kan worden binnen de opgelegde maximale en minimale gemiddelde reservoirdruk.

Tabel 2: Belangrijke parameters die de gasopslag Norg beschrijven

Voorkomen	*GIIP [miljard Nm^3]*	*Werkvolume [miljard Nm^3]*	*Maximale gemiddelde reservoirdruk (op referentie diepte)[bar]*		*Minimale gemiddelde reservoirdruk (op referentie diepte) [bar]*	
			Veld	*Blok 2*	*Veld*	*Blok 2*
Norg	*27,8*	*6,0*[3]	*327*	*347*	*235*	*225*

[3] Het werkvolume van 6,0 miljard Nm^3 is indicatief. Het maximale werkvolume dat past binnen de drukgrenzen is groter dan 6,0 miljard Nm^3 maar ook afhankelijk van het dynamische gedrag van het veld.

3. Duur van de opslag

De opslagvergunning is voor ‘onbepaalde duur’ verleend. Om gas ondergronds te mogen opslaan is een goedgekeurd opslagplan nodig. De minister heeft instemming verleend met het vigerende opslagplan op 10 september 2019 (zie hoofdstuk 1). Het instemmingsbesluit heeft een beperkte looptijd en vergt een actualisatie in 2022.

Op dit moment wordt voorzien dat de berging als gasopslaglocatie in bedrijf zal blijven in lijn met de afspraken die gemaakt zijn vanuit leveringszekerheidsoverwegingen, binnen de wettelijke kaders of zolang dit economisch aantrekkelijk is. Zo heeft UGS Norg onder de huidige mijnbouwwet een wettelijke rol binnen de operationele strategie voor het Groningenveld. In het Akkoord op Hoofdlijnen zijn afspraken gemaakt over de rol van UGS Norg binnen de laagcalorische capaciteit voorziening. In het Norg akkoord zijn aanvullende afspraken gemaakt met betrekking tot de inzet van UGS Norg om de winning uit het Groningenveld te kunnen minimaliseren. Op basis van deze kaders en afspraken is de huidige verwachting dat de gasopslag nog vijf jaar in bedrijf zal blijven. Daarnaast wordt ook onderzocht of de vraag naar laagcalorische gasopslagcapaciteit op alternatieve manieren kan worden ingevuld. Hierdoor zou de opslagfunctionaliteit mogelijk al eerder kunnen worden beëindigd.

Na beëindiging van de opslagfunctionaliteit van het Norg veld zijn er verscheidene mogelijkheden voor verder gebruik, waaronder de optie van winning van het kussengas. Voor een dergelijk winningstraject zullen voor de benodigde vergunningen separaat besluitvormingstrajecten moeten worden doorlopen. Na beëindiging van de opslagfunctionaliteit en eventueel verder gebruik zullen de putten en de installaties worden opgeruimd en de grond in oorspronkelijke staat worden opgeleverd.

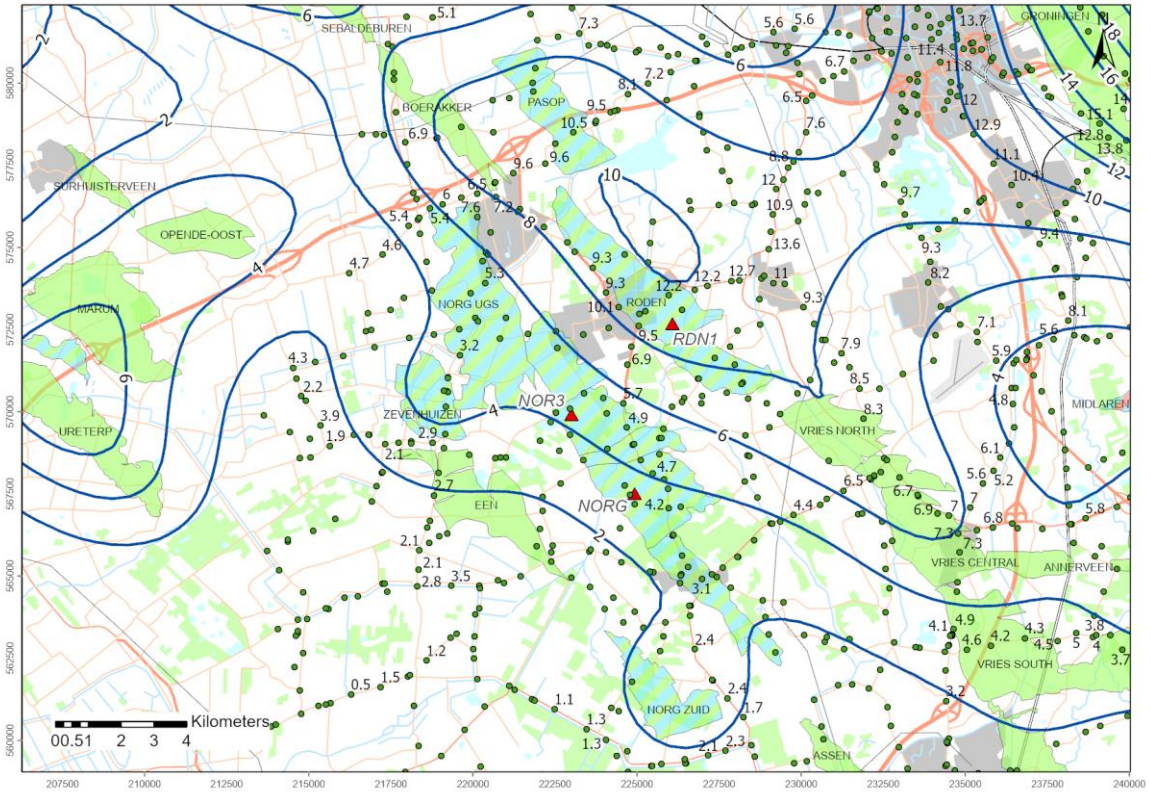
4. Bodembeweging

Dit hoofdstuk is geactualiseerd aan de meest recente bodemdalingsdata en hierbij zijn de bodembewegingsmodellen opnieuw gekalibreerd.

A. Bodemdaling

Het vigerend opslagplan voor Norg voorspelde voor de maximale bodemdaling tijdens een injectie/productie cyclus een daling van minder dan 4 cm. Deze actualisatie toont aan dat deze voorspelling nog steeds geldig is. De gemeten bodembeweging binnen een injectie- en productiecyclus is ongeveer 2 cm.

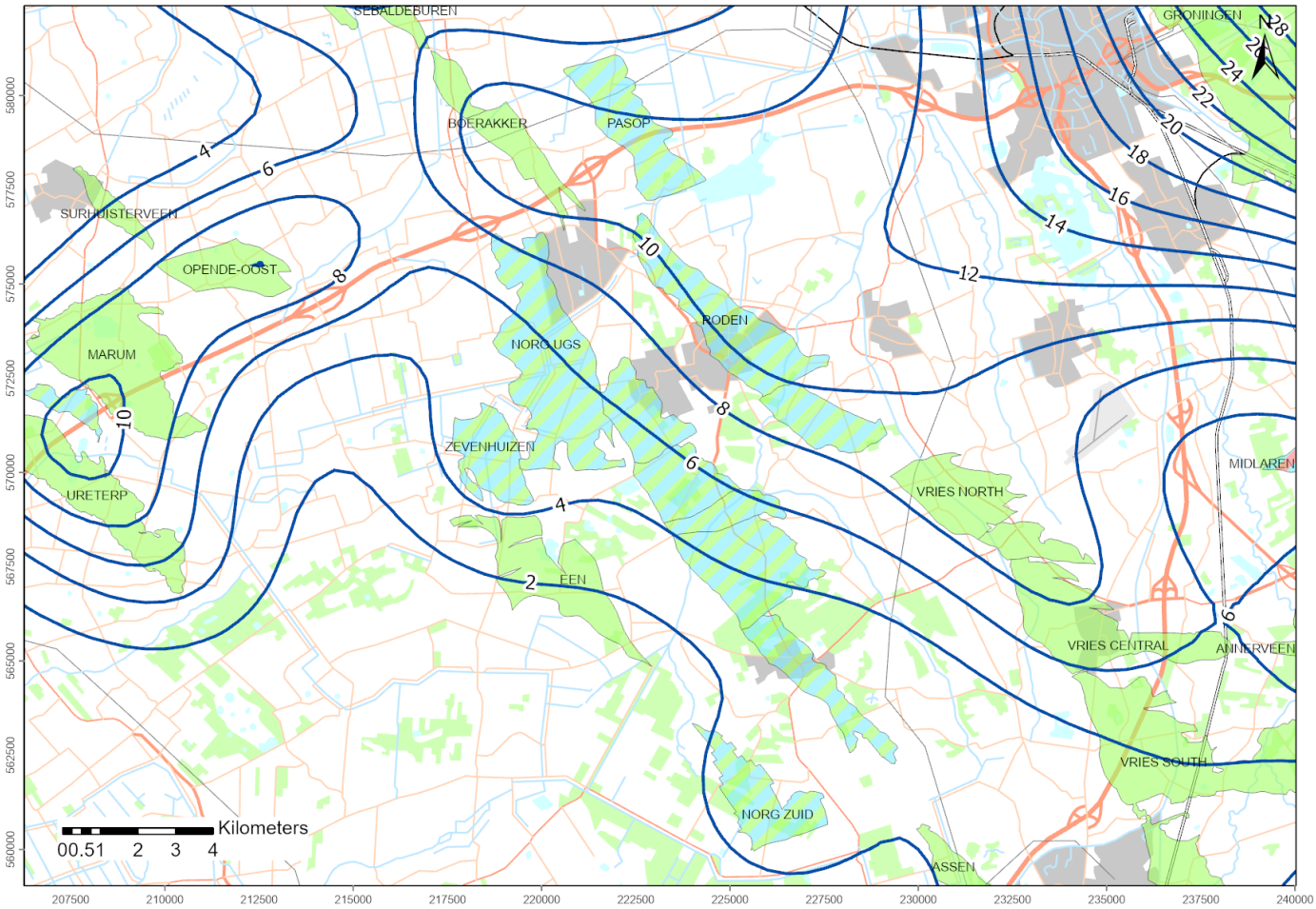
Figuur 1 toont de gemeten bodemdaling boven Norg en omgeving op de peilmerken tussen 1972 en 2018. Peilmerken zonder getal zijn, of niet in 1972 of niet in 2018 gemeten. Deze peilmerken zijn wel in andere jaren gemeten en gebruikt voor kalibratie van het model. De contouren zijn gemaakt volgens het model dat in het Statusrapport 2020[4] beschreven is. De totale bodemdaling tot 2080[5], veroorzaakt door alle gaswinning en gasopslagactiviteiten in het gebied, varieert boven Norg en zal naar verwachting tussen de 2 tot 10 cm komen te liggen. Deze totale bodemdaling wordt getoond in Figuur 2.



Figuur 1: Op peilmerken gemeten bodemdaling tussen 1972 en 2018 (in cm). De contouren geven de gemodelleerde bodemdaling aan. De rode driehoeken geeft de locaties van het GPS-stations aan.

[4] NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905

[5] Voor consistentie tussen verschillende documenten is de einddatum aangehouden die ook wordt gebruikt in het rapport: NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905

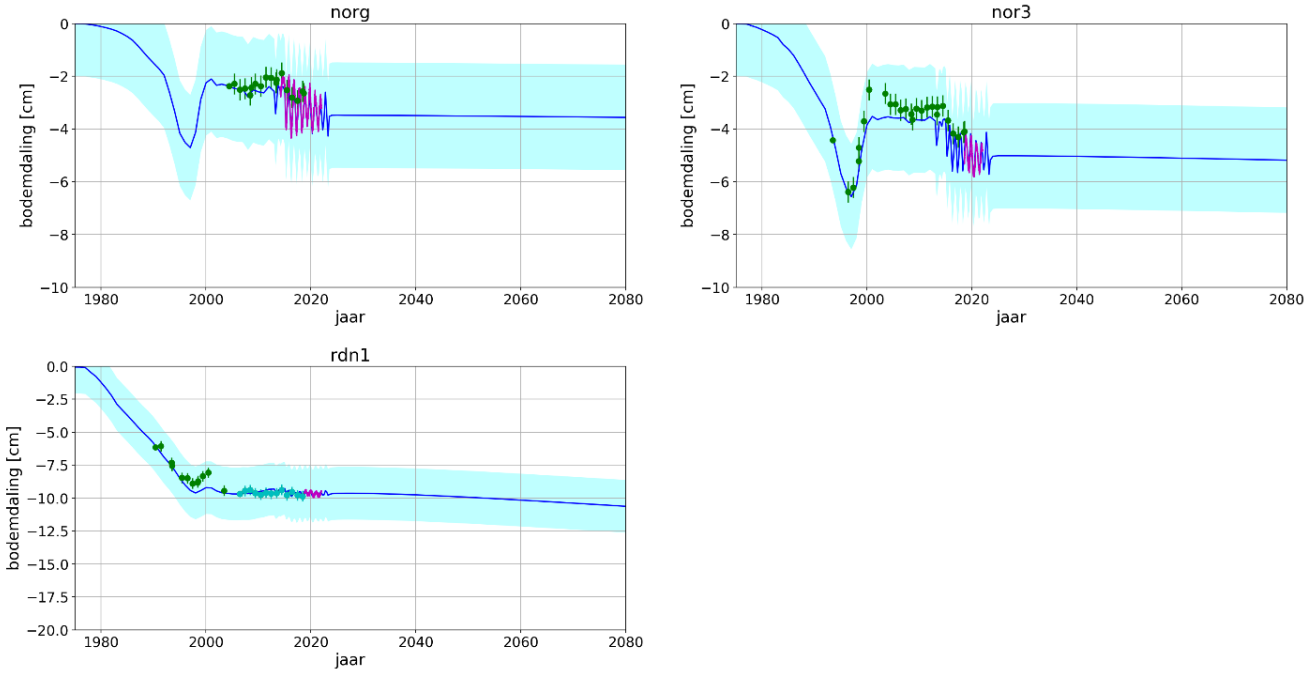


Figuur 2: Bodemdalingsprognose van de totale bodemdaling als gevolg van de gasopslagactiviteiten in Norg in combinatie met gaswinning uit naburige voorkomens (verwachte eindsituatie in 2080). De contourlijnen geven de bodemdaling in centimeters aan. Dit figuur is vergelijkbaar met Fig. C4 uit het vigerend opslagplan.

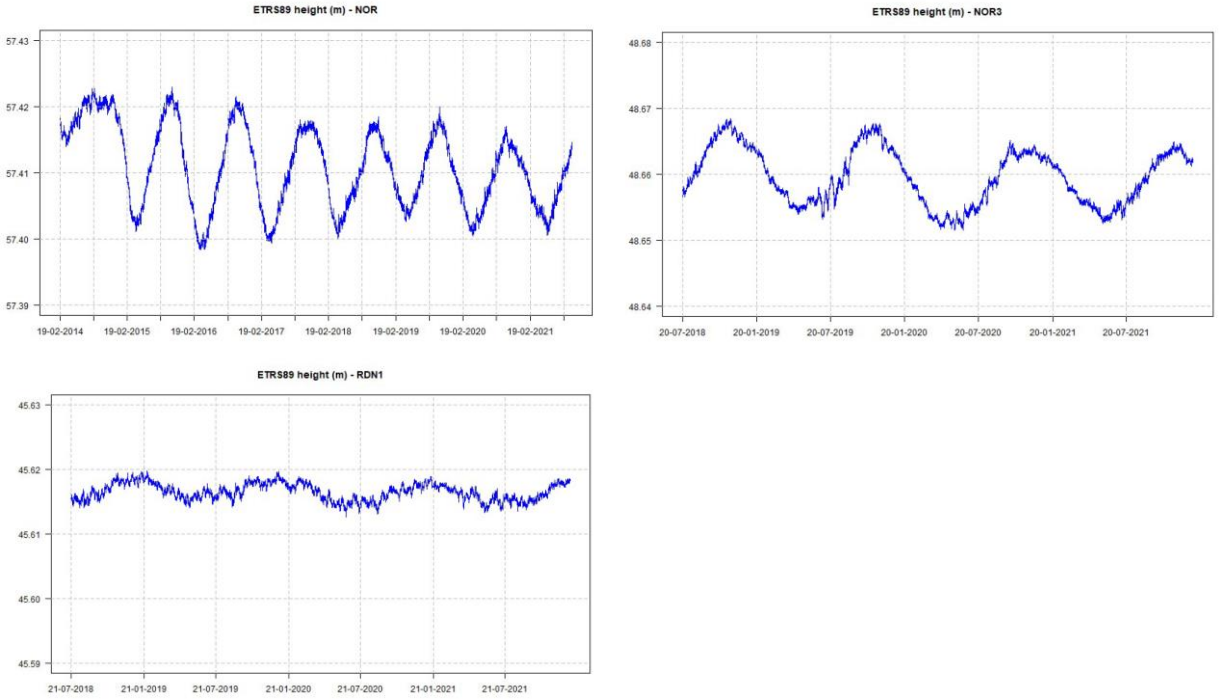
Om inzicht te verkrijgen over de kwaliteit van het model ten opzichte van historische metingen boven Norg zijn de metingen van de dichtstbijzijnde GPS-stations NORG, NOR3 en RDN1 voor de periode tot en met 2021 geselecteerd en vergeleken met de modeluitkomsten (Figuur 3). De ligging van deze stations is aangegeven in Figuur 1. Ook is de gemeten bodemdaling van de waterpaspeilmerken (die in de nabijheid van deze GPS-stations liggen) meegenomen. Figuur 3 laat ook de nog te verwachten bodemdaling voor deze punten zien, die wordt veroorzaakt door de totale gasproductie in dit gebied.

Volgens het vigerend opslagplan bedraagt de te verwachten maximale bodemdaling tijdens een injectie/productie cyclus voor Norg minder dan 4 cm. De GPS-stations meten continu de bodembeweging. De meetgegevens van deze stations worden elk kwartaal gepubliceerd op www.nlog.nl en worden ook getoond in Figuur 4.

Uit de metingen blijkt dat de maximale daling in een injectie/productie cyclus boven Norg ongeveer 2 cm bedraagt.



Figuur 3: Vergelijking van GPS-metingen (paarse lijn) en waterpas metingen (groene punten) met de berekende bodemdaling boven en nabij Norg. De meetonzekerheid in de metingen (gekozen als één standaarddeviatie) bedraagt 4 mm per meetpunt. De blauwe lijn toont de voorspelde bodemdaling op deze locatie inclusief de modelonzekerheid (lichtblauwe gebied). De minimale onzekerheid voor de voorspelling is 2 cm. De locatie van de GPS-stations zijn aangegeven in Figuur 1.



Figuur 4: Gemeten hoogte (m) op de permanente GPS-stations nabij het Norg UGS veld (rode driehoeken in Figuur 1)

5. Bodemtrilling

Het seismisch risico voor Norg is ingeschat voor de fases dat de druk daalt op basis van de leidraad[6] die door het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is uitgegeven. Daarnaast wordt er gekeken of de UGS Norg voldoet aan de aanbevelingen volgens het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw. Binnen dit programma is onderzoek gedaan naar de effecten van cyclische drukdalingen en -verhogingen in ondergrondse gasopslagen op mogelijke breukreactivatie[7].

De seismische risicoanalyse volgens de leidraad laat zien dat Norg in categorie I valt. In de periode sinds het Instemmingsbesluit 2019 heeft zich in het Norg voorkomen geen waarneembare seismische activiteit voorgedaan. Hieronder wordt uiteengezet hoe deze categorisering tot stand is gekomen en wat dit betekent in termen van reëel seismisch risico. Hierbij zijn de parameters van deze analyse geactualiseerd naar de laatste inzichten. De Norg UGS voldoet aan de aanbevelingen voor de drukgrenzen volgens het KEM onderzoek.

Inleiding: Hoe komen bevingen ten gevolge van gaswinning tot stand

Als gevolg van verandering in poriedruk treden in het reservoirgesteente spanningsveranderingen op. Spanningsverandering op een bestaande ondergrondse breuk kunnen leiden tot geïnduceerde bewegingen van het gesteente langs deze breuk. In sommige gevallen kan dit resulteren in een aardbeving. De kans op een aardbeving in Norg UGS hangt onder meer af van de hoeveelheid breuken, de drukverandering en de grootte en dikte van het reservoir.

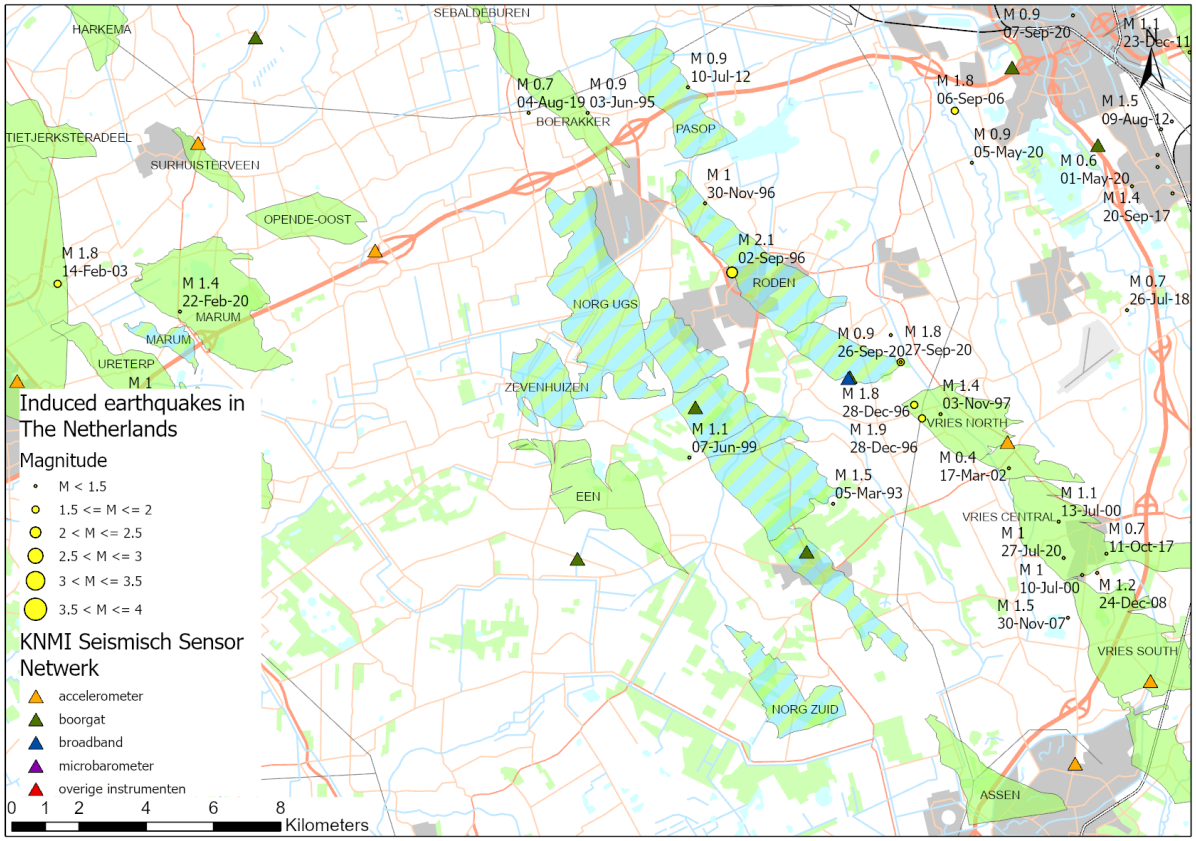
Historische bevingen in het Norg veld

Boven het voorkomen Norg hebben zich in het verleden twee bevingen plaatsgevonden. De eerste beving had een magnitude 1,5 en heeft plaatsgevonden bij Langelo op 5 maart 1993. De andere beving had een magnitude van 1,1 en heeft plaatsgevonden bij Steenbergen op 7 juni 1999. Bevingen met een dergelijke magnitude worden doorgaans niet gevoeld. Tijdens de drukcycli die na 1999 volgden, zijn geen bevingen meer geregistreerd, ook niet nadat het seismisch netwerk in 2016 boven Norg sterk verbeterd is en daarmee alle bevingen boven M=0,5 geregistreerd worden.

Een studie naar deze bevingen[8] toont aan dat deze ontstonden gedurende de gasproductiefase en de eerste opvulling van de UGS. Geomechanische berekeningen, die beschreven worden in deze studie tonen verder aan dat zolang de UGS opereert binnen het historische drukbereik van de cycli, de kans op bevingen klein is. De uitkomsten van deze modelberekeningen worden bevestigd door de metingen.

Figuur 5 geeft de observaties van de aardbevingen boven Norg en de andere velden in de regio weer op een kaart. De zwaarste aardbeving in deze regio had een magnitude van M=2,1 die toegeschreven is aan het Roden gasveld (inmiddels ingesloten).

[6] methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016
[7] KEM-01 Geomechanical factors determining fault criticality during pressure cycling of underground gas storage in reservoirs
[8] NAM (2016) Norg UGS fault reactivation study and implications for seismic threat. Gasopslag-Norg-UGS-fault-reactivation-study-and-implications-for-seismic-threat.pdf (rvo.nl)



Figuur 5: Historische bevingen boven het Norg voorkomen. De getallen naast de markers geven magnitude en datum (in het format dd-mmm-jj).

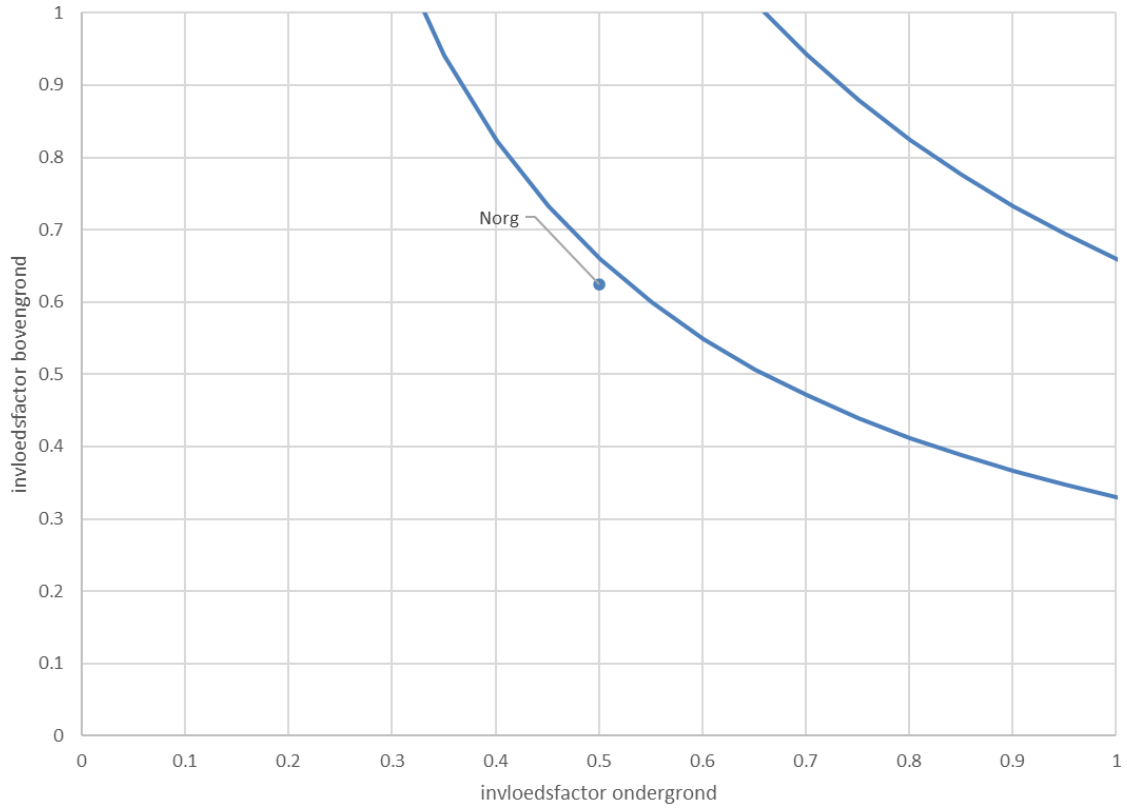
Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse (drukdaling)

In 2016 heeft SodM de tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 9. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- De kans op een beving ($M \geq 1$) door gaswinning.
- De theoretische “maximale bevingsmagnitude” (Mmax) *als* er een beving zou plaatsvinden.

In deze seismische risicoanalyse wordt uitgegaan van de maximale drukdaling volgens het hoog productiescenario. Meer details over de berekening van deze parameters staan in bijlage B.

Het Norg veld valt in risicocategorie I, zoals getoond in Figuur 6. Dit is de laagste risicocategorie. Volgens de SodM leidraad betekent dit dat verdere monitoring met het KNMI-netwerk volstaat.
Vanwege zorgen in de omgeving heeft NAM enkele jaren geleden het monitoringsnetwerk sterk verbeterd en een seismisch risicobeheersplan geïmplementeerd.



Figuur 6: Seismisch risico voor het Norg voorkomen volgens de inschatting in stap 2.

Seismisch risico tijdens de drukcycli

Het KEM-01[9] rapport geeft aanbevelingen voor de drukgrenzen tijdens de opslagfase en de productiefase. De eerste aanbeveling geeft aan dat de maximale gemiddelde druk in het veld niet groter mag zijn dan de initiële druk (de druk voor de gaswinning en opslag). De initiële druk (327 bar) is de grens die wordt opgelegd in het instemmingsbesluit als de gemiddelde velddruk. Een tweede aanbeveling geeft aan dat de minimum druk in de cyclus niet lager mag zijn dan de druk waarbij de eerste beving werd waargenomen. Voor Norg was de gemiddelde velddruk 235 bar bij de eerste beving en ook deze grens is opgenomen in het instemmingsbesluit.

Mogelijke gevolgen van bevingen ten gevolge van gaswinning uit het Norg voorkomen

De praktijkervaring met olie- en gasproductie in Nederland over de afgelopen jaren leert dat lichte aardbevingen ten gevolge van olie- en gasproductie in de meeste gevallen niet leiden tot schade. Toch kan de kans op schade aan bebouwing in de nabije omgeving van het epicentrum van een geïnduceerde aardbeving niet worden uitgesloten. Hierbij speelt zowel kwetsbaarheid van de bebouwing als de intensiteit van de beving een belangrijke rol.
Al in 1998 heeft KNMI beschreven wat de te verwachten intensiteit is bij het optreden van een geïnduceerde aardbeving volgens de Europese Macroseismische Schaal. Deze analyse toonde (kwalitatief) aan dat in het ernstigste geval in de nabijheid van het voorkomen lichte, niet constructieve schade kan optreden aan meerdere gebouwen en matige schade (bedoeld wordt scheuren in muren tot constructieve schade in het uiterste geval) aan enkele gebouwen. Dit laatste wordt bevestigd door de resultaten van de seismische hazard studie van TNO-NITG[10]. De omvang van het gebied waar mogelijk schade kan optreden wordt bepaald door de magnitude, de diepte en de duur van de beving en de lokale grondsamenstelling en aard en conditie van de

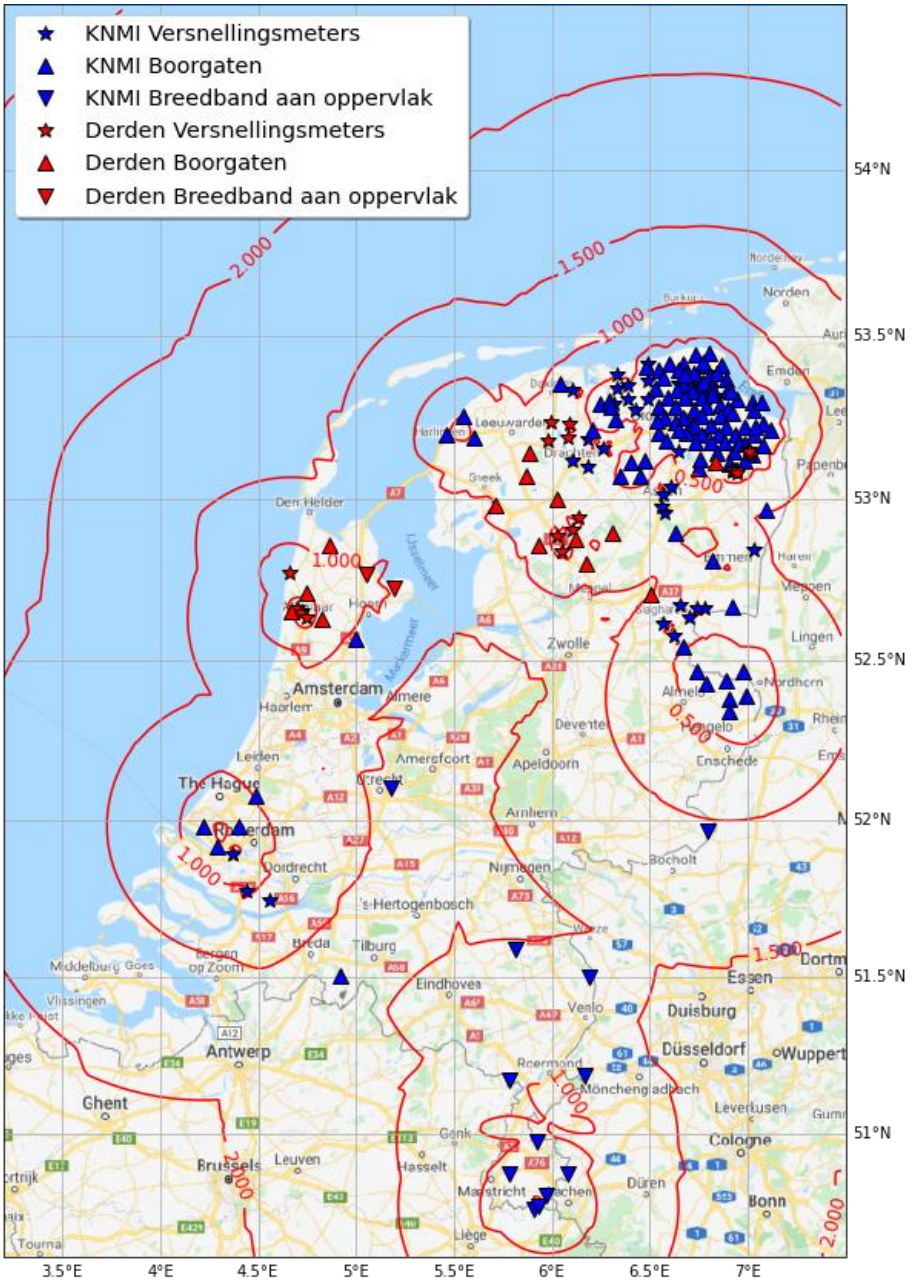
[9] Safe operational bandwidth of gas storage reservoirs, WP& report phase 1& phase 2 final report. Padova, January 2019, Indice (kemprogramma.nl)
[10] Wassing en Dost, 2012, TNO 2012 R11139

bebouwing. Bij een beving die krachtig genoeg is om schade te veroorzaken is het aantal potentiële schadegevallen binnen dit gebied sterk afhankelijk van de dichtheid van bebouwing, terwijl de mate van schade (geen, lichte, matige) op een bepaalde afstand van het epicentrum in grote mate wordt bepaald door het type bebouwing, de staat van onderhoud en de lokale bodemgesteldheid. Deze afhankelijkheid wordt verder beschreven in een rapport van TNO[11]. Meer duiding over de mogelijke gevolgen van een beving wordt gegeven in het seismisch risicobeheersplan voor Norg dat te vinden is op de NLOG-site[12].
Onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke schade aan buisleidingen door potentiële aardbevingen (Deltares 2010, Schade aan buisleiding door aardbeving) toont aan dat mogelijke schade door geïnduceerde aardbevingen klein zal zijn (zowel in mogelijk aantal als ernst). Meer duiding over mogelijke schade wordt gegeven in het algemene risicobeheersplan van NAM[13].
Voor Norg is een is een apart risicobeheersplan geïmplementeerd[14]. Hierin staan de acties die uitgevoerd worden na het registreren van een aardbeving voor verschillende drempelwaarden van magnitudes.

Monitoring van bodemtrillingen

Seismische monitoringstations (versnellingsmeters en boorgatstations) zijn geïnstalleerd boven en in de nabijheid van Norg en staan met een online-verbinding in contact met het KNMI. Een boorgatstation bestaat uit een aantal geofoons die op verschillende dieptes, onder het aardoppervlak, worden aangebracht. Geregistreerde aardbevingen worden automatisch vermeld op de website van KNMI. Na interpretatie van de gegevens door de specialisten van het KNMI kan een kleine aanpassing van de sterkte en/of locatie plaatsvinden.
Boven Norg ligt de drempelwaarde voor de registratie van de zwakste bevingen rond de M=0,5 (Figuur 7). Hiermee wordt ruim voldaan aan de eis van M=1,5 volgens de leidraad van SodM[15]. De stations NLN01 t/m 3 die boven Norg liggen bestaan uit vier geofoon niveaus met een versnellingsmeter aan het maaiveld.

[11] Kalibratiestudie schade door aardbevingen (TNO-rapport, TNO-034-DTM-2009-04435, 11 november 2009).
[12] 20170606_ugs_norg_seismisch_risicobeheerssysteem.pdf (nlog.nl)
[13] https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/kleine-velden/nl/220febb2-2ff0-413d-9e1a-63bc9f0e3f13
[14] 03 UGS Norg seismisch risicobeheerssysteem.pdf (rvo.nl)
[15] methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016



Figuur 7: *Overzicht van de meetdrempel in Nederland (bron: KNMI). De driehoeken geven de locaties aan van de boorgatstations en de sterren van de versnellingsmeters. De omgekeerde driehoeken tonen de breedbandstations. De lijnen geven de minimale magnitude aan die op een locatie gemeten kan worden.*

Bijlage A: Bodemdaling: Details en Achtergronden

Het compactiemodel dat in bodemdalingsberekening wordt gebruikt is het *Rate Type Compaction Model* (RTCiM), waarbij de i staat voor isotachen, van TNO[16]. Dit model is geïntroduceerd in de long term subsidence studie voor het Ameland veld, welke is goedgekeurd door SodM. Tevens wordt dit model ook door NAM toegepast in het Statusrapport 2020[17] voor alle gasvelden in Noord-Nederland.
Boven het Ameland veld, maar ook boven andere velden, wordt waargenomen dat de bodemdaling langzaam begint maar ook naijlt wanneer de productie stopt. Dit tijdseffect kan goed met het RTCiM model beschreven worden. Hieronder wordt meer uitleg gegeven over de drie belangrijkste parameters van dit model. In het begin van de winning, wanneer de compactie achterblijft bij de drukdaling en de bodemdaling langzaam verloopt, wordt de compactie beschreven door de lage C_m factor (C_{md}). Na verloop van tijd, waarbij die tijd bepaald wordt door de b parameter, verloopt de compactie en daling sneller volgens de hogere C_m factor (C_{mref}). Deze overgang gaat echter geleidelijk. Na het einde van de productie kan de bodemdaling nog jaren doorgaan, wederom afhankelijk van de b factor.
De gebruikte parameterwaarden voor de Rotliegend velden zijn gelijk aan de waarden die worden beschreven in het statusrapport 2020 voor Noord-Nederland.
De waarden die gebruikt zijn in de bepaling van de bovengrens voor de toekomstige bodemdaling worden in Tabel 3 weergegeven. De onzekerheid in de compressibiliteit is met het RTCiM model berekend door Cmref en Cmd met 25% te verhogen. De B factor is in deze berekening niet veranderd omdat de B factor alleen het tijdseffect verandert.
De op deze manier berekende bodemdalingsonzekerheid is getabuleerd in onderstaande tabel.

Tabel 3: Onzekerheid van de bodemdalingsprognose in het diepste punt voor de verschillende productiescenario's.

	Compressibiliteit					
Voorkomen	Cmref (10^{-5} bar^{-1})	Cmd (10^{-5} bar^{-1})	B [-]	Onzekerheid compressibiliteit	Nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)	Bovengrens voor de nog te verwachten bodemdaling in diepste punt (cm)
Norg	1,05	0,37	0,018	25%	<4	<4

[16] Pruiksma, J.P. & Breunese, J.N. & Thienen-Visser, Karin & De Waal, Hans. (2015). Isotach formulation of the rate type compaction model for sandstone. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 78. 127-132. 10.1016/j.ijrmms.2015.06.002.
[17] NAM (2020) Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM-gasvelden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP202011201629. https://nam-onderzoeksrapporten.data-app.nl/reports/download/bodemdaling/nl/aa0e05c7-704a-4f9f-a02c-ea7ece904905

Bijlage B: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

De winning van aardgas gaat gepaard met een daling van de druk in de ondergrond met als gevolg een verandering van de gesteentespanningen. Deze verandering van spanning kan leiden tot plotselinge bewegingen langs bestaande breuken, waardoor mogelijk een lichte aardbeving kan plaatsvinden. In Nederland is/wordt door NAM uit ongeveer 80 olie- en gasvelden op het vasteland geproduceerd. Boven vijf velden zijn bevingen geregistreerd die ook duidelijk aan het oppervlak voelbaar waren (magnitude meer dan 2,0 op de schaal van Richter).
In 2016 heeft SodM een tijdelijke richtlijn voor Seismische Risico Analyse (SRA) gepubliceerd[18]. De SRA gaat uit van het stappenschema zoals getoond in Figuur 9. Bij het schema zijn twee parameters belangrijk:

- De kans op een beving (M≥1) door gaswinning;
- De theoretische “maximale bevingsmagnitude” (Mmax) *als* er een beving zou plaatsvinden.

Theoretisch kader seismische risicoanalyse volgens de leidraad:
Stap 1:
In stap 1 worden alle voorkomens bekeken. De voorkomens die direct in risicocategorie I (zeer laag seismisch risico) vallen zijn:

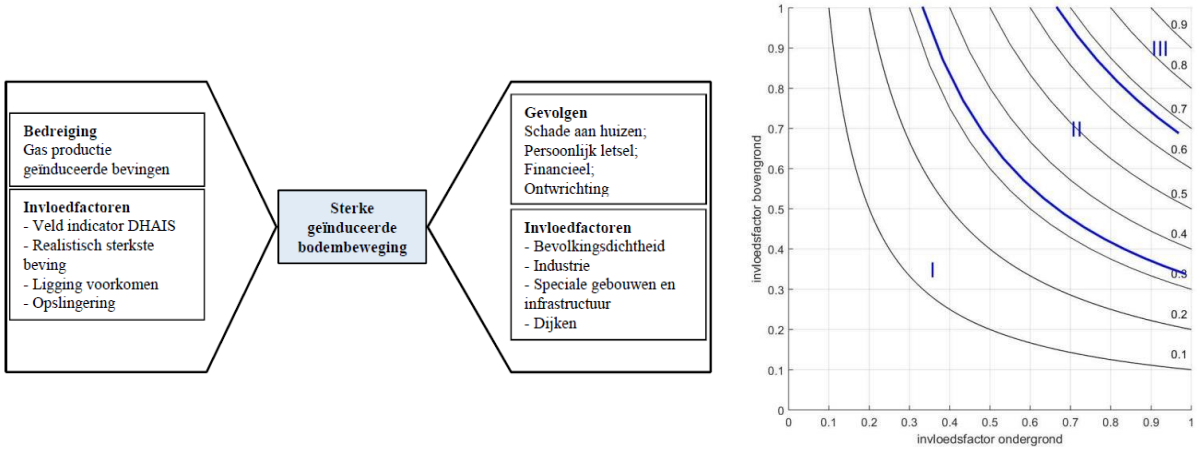
- voorkomens die niet meer produceren
- én voorkomens die niet seismisch actief zijn geweest en waarvoor de kans verwaarloosbaar is dat ze in de toekomst seismisch actief kunnen worden of waarvoor Mmax laag uitvalt (Mmax < 2,5).

Voorkomens die niet aan deze criteria voldoen schuiven door naar stap 2.

Stap 2:
In deze stap worden alle producerende voorkomens bekeken die:

- seismisch actief zijn geweest
- óf een niet verwaarloosbare kans op seismiciteit hebben en waarvoor de waarde voor Mmax ≥ 2,5 is.

In stap 2 wordt op basis van een risicomatrix het risico van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd. Figuur 8 geeft een schematische weergave van de verschillende factoren die bepalen of een geïnduceerde beving kan resulteren in een sterke grondbeweging (de “invloedfactoren ondergrond”) en de verschillende factoren die invloed hebben op de grootte van de mogelijke gevolgen (de “invloedfactoren bovengrond”).



Figuur 8: Links: Schematische weergave van de bedreigingen en gevolgen van geïnduceerde bevingen en de verschillende invloedfactoren die daarbij een rol spelen (SodM, 2016). Rechts: De risicomatrix. De zwarte lijnen zijn lijnen van gelijk genormaliseerd risico. De verdeling in categorieën is gedaan op basis van 1/3 en 2/3 van het genormaliseerde risico (SodM, 2016).

In de risicomatrix-analyse worden de verschillende factoren zoveel mogelijk kwantitatief geanalyseerd en op basis van de uitkomst wordt per factor een score bepaald. De scores van de individuele factoren worden vervolgens opgeteld, zodat een totaalscore voor zowel de invloedfactoren ondergrond als de invloedfactoren bovengrond wordt verkregen. Deze scores worden genormaliseerd met het maximaal te behalen aantal punten voor ondergrond c.q. bovengrond en in de risicomatrix tegen elkaar uitgezet waarmee kwalitatief een risicocategorie wordt bepaald (Figuur 8, rechts).

[18] Methodiek voor risicoanalyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning tijdelijke leidraad voor adressering mbb. 24.1.p, versie 1.2, SodM, 1 februari 2016

De volgende invloedfactoren voor de ondergrond staan beschreven in de leidraad van SodM:

- Veld indicator DHAIS. Deze methode beschrijft hoe de kans op het mogelijk optreden van een beving in een voorkomen kan worden berekend aan de hand van ondergrondse kenmerken. Deze kans moet gezien worden als een indicatie van de kans op *een* beving[19] gedurende de productietijd van het veld die bepaald is op basis van alle observaties van bevingen boven alle gasvelden in Nederland.
- Realistisch sterkste beving (Mmax). Voor een theoretische inschatting van de sterkste beving zijn twee verschillende benaderingen genomen:
    1. een bepaling van de compactie-energie die beschikbaar is in een producerend gasveld en kan leiden tot een beving
    2. een maat voor de mogelijke bevingsmagnitude als de langste breuk in het producerende veld in zijn geheel in één keer in beweging zou komen.

  Methode [1] resulteert doorgaans in lagere waardes voor Mmax dan methode [2]. Dit kan erop wijzen dat de totale hoeveelheid beschikbare energie die tot een beving kan leiden waarschijnlijk niet voldoende is om de grootste breuken in een veld in één keer in beweging te brengen.
- Ligging van het voorkomen. In de SRA-methodiek (SodM, 2016) wordt er een onderscheid gemaakt tussen velden ten noorden van de lijn Amsterdam-Arnhem en velden ten zuiden van deze lijn. Dit onderscheid is gemaakt op basis van observaties. Er is nog nooit een aardbeving door gaswinning waargenomen ten zuiden van de lijn Amsterdam-Arnhem.
- Opslingering; de ondiepe ondergrond kan een opslingering veroorzaken van de seismische golven en wordt daarom boven het veld gekarakteriseerd. Voor relatief slappe ondergrond (veen, klei) is dit effect groter dan voor relatief stevige ondergrond (zand).

Het mogelijke gevolg van een beving volgt uit een analyse en score van de invloedfactoren bovengrond: bevolkingsdichtheid, industrie, speciale gebouwen, vitale infrastructuur en de aanwezigheid van dijken.
Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid wordt de CBS Statline data gebruikt; hierbij krijgt de categorie flats/appartementencomplexen extra aandacht in de uiteindelijke score.
Industriële inrichtingen, speciale gebouwen en vitale infrastructuur en dijken worden in kaart gebracht m.b.v. de risicokaart. (http://www.risicokaart.nl)

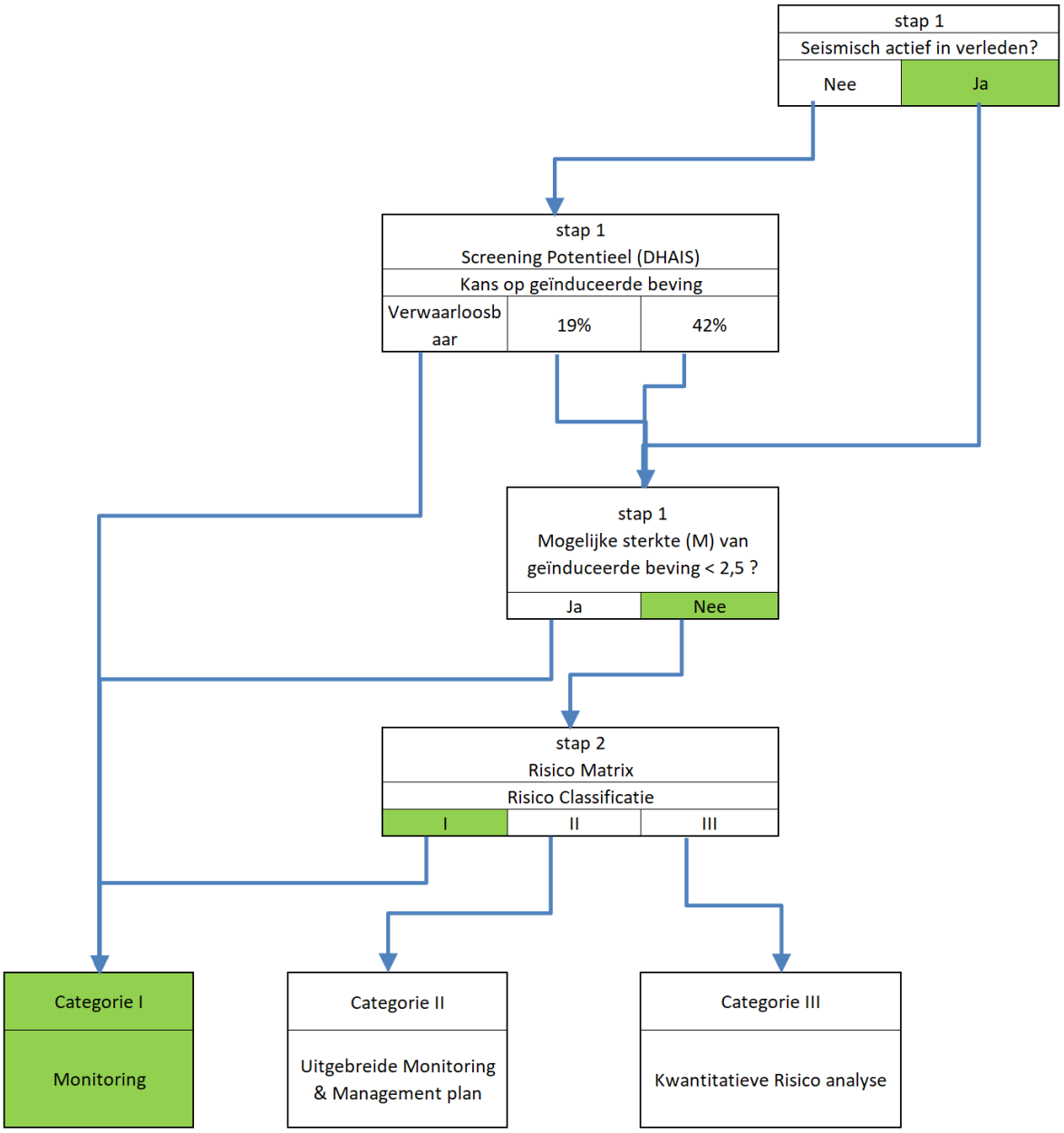
Indien uit het voorgaande blijkt dat voorkomen(s) binnen een Winningsplan in risico categorie III vallen gaan deze door naar Stap 3

Stap 3:
In deze stap worden alleen de voorkomens die in Categorie III vallen verder bestudeerd. Voor deze voorkomens dient een Kwantitatieve Risico Analyse uitgevoerd te worden. Van alle bekende voorkomens in Nederland valt alleen het Groningen gasveld in deze categorie.

Seismische Risico Analyse voor het Norg voorkomen

In stap 1 van de risicoanalyse wordt gekeken of het veld al gebeefd heeft of wat de kans op een mogelijke beving is gedurende de levensduur van het veld. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van de maximale magnitude. In Figuur 9 staan voor het Norg de uitkomsten in groen voor de verschillende stappen. Details van de berekening staan in bijlage B.

[19] De magnitude van een mogelijke beving ligt tussen de 1,5 en de magnitude voor de realistische sterkste beving, waarbij de kans logaritmisch afneemt met de magnitude.



Figuur 9: Stappenplan voor bepaling seismisch risico categorie. Boven het Norg voorkomen hebben al bevingen plaatsgevonden en wordt de maximale beving op
M ≥ 2,5 ingeschat Daarom wordt in "Stap 2" de positie van Norg in de risicomatrix bepaald.

Stap 1: Inschatten risicopotentieel voor het Norg voorkomen.

De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen

In de studie 'Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit (DHAIS)[20] is onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. In 2012 is een update van deze studie uitgevoerd, waarin alle nieuwe data zijn meegenomen tot mei 2010[21]. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans op beven van dat voorkomen bepaald:
DP/Pini: De ratio van drukval (DP) en initiële druk (Pini) in het reservoir;

E: de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente;

$$E = \frac{E_{burden}}{E_{reservoir}}$$

B: een maat voor de breukdichtheid van het reservoir.

$$B = \frac{breukoppervlakte^{3/2}}{brutogesteentevolume} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:
l_b= De totale breuklengte van de intra reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;
h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;
A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC-dieptecontour (in vierkante meters);
De combinatie van de parameterwaarden geven een kans op beven voor een bepaald voorkomen gedurende de productietijd.

Reeds bevende voorkomens	
$DP/P_{ini} \geq 28\%$	B > 0,86 en E ≥ 1,34: P_h = 0.42 ± 0.08
	B > 0,86 en 1,01 ≤ E ≤ 1,33: P_l = 0.19 ± 0.05
	B < 0,86 en/of E < 1,01: verwaarloosbare kans
$DP/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De waarden die zijn gebruikt in de bepaling van de DHAIS-kans zijn gegeven in Tabel 4.

[20] TNO-rapport NITG 04-171-C. Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit.
[21] TNO-rapport 2012 R10198. Van Thienen, 2012. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit in Nederland.

Tabel 4: Invoergegevens voor de bepaling van de DHAIS en de DHAIS-kansen.

Voorkomen	Reservoir dikte / gaskolom (m)[22]	Initiële druk (bar)	Maximale drukdaling tijdens de opslagfase(bar)	Totale breuk-lengte (km)	Reservoir opper-vlakte (km^2)	Maximale waargenomen aardbeving	Aantal aard-bevingen per jaar	DHAIS E[23]	DHAIS B	DHAIS kans
Norg	157	327	102	54,9	29,3	1,5	< 5 per jaar	1,28	5,5	bevend veld

Realistisch sterkste beving
Naast de kans op beven, wordt ook een theoretische waarde voor de “realistisch sterkste beving” (Mmax) bepaald. Er worden twee methoden gebruikt om de Mmax waarde te bepalen: op basis van breukgeometrie en op basis van energiebalans. In de Seismisch Risico Analyse leidraad worden beide methoden gebruikt. Voor de berekeningen van de Mmax is uitgegaan van de standaardwaarden voor de “stress drop” en “partitie coëfficiënt” die gegeven zijn in de leidraad (respectievelijk 5 MPa en 0,01). De veldspecifieke waarden die benodigd zijn voor de berekeningen en de uitkomsten voor de Mmax staan vermeld in Tabel 5.

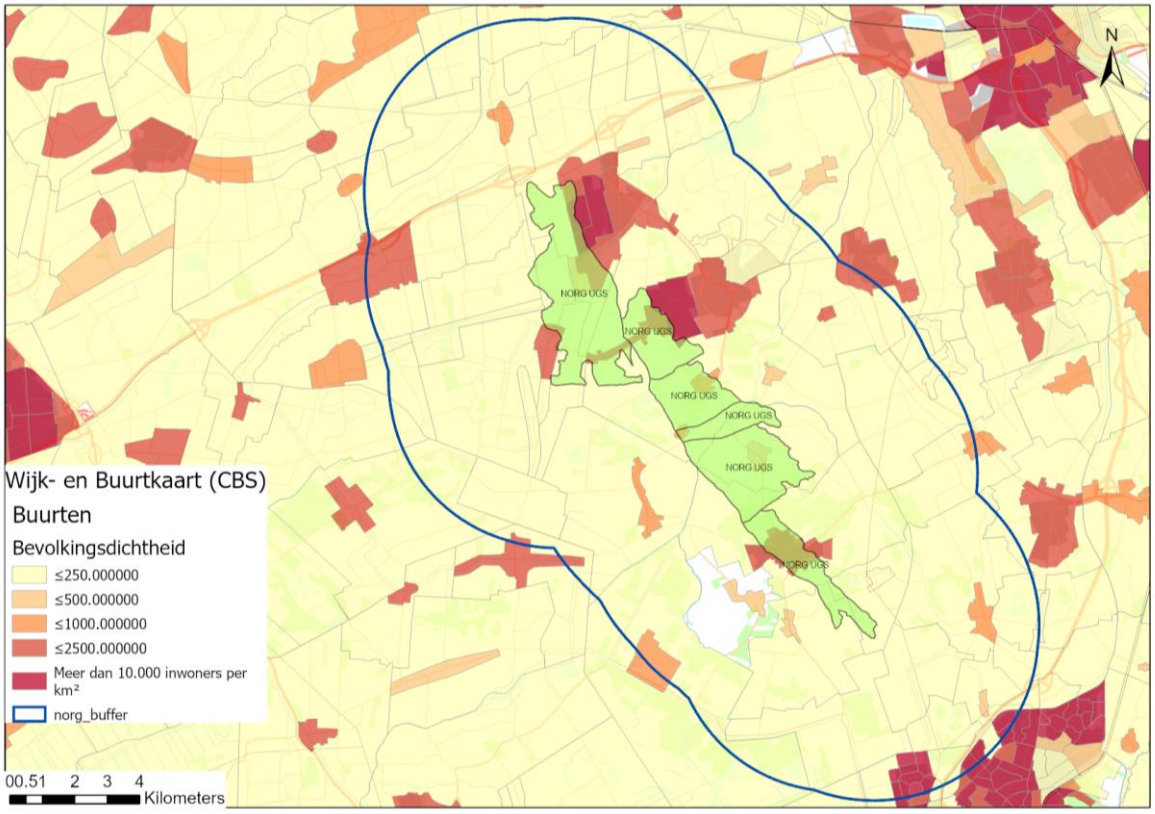
Tabel 5: Invoergegevens voor de bepaling van de Mmax, en de Mmax waarden volgens de twee methoden.

Voorkomen	Langste breuklengte (km)	Poisson's ratio[24]	Breukhoogte (m)	Mmax energiebalans	Mmax breukslip
Norg	7,5	0,2	157	3,3*	4

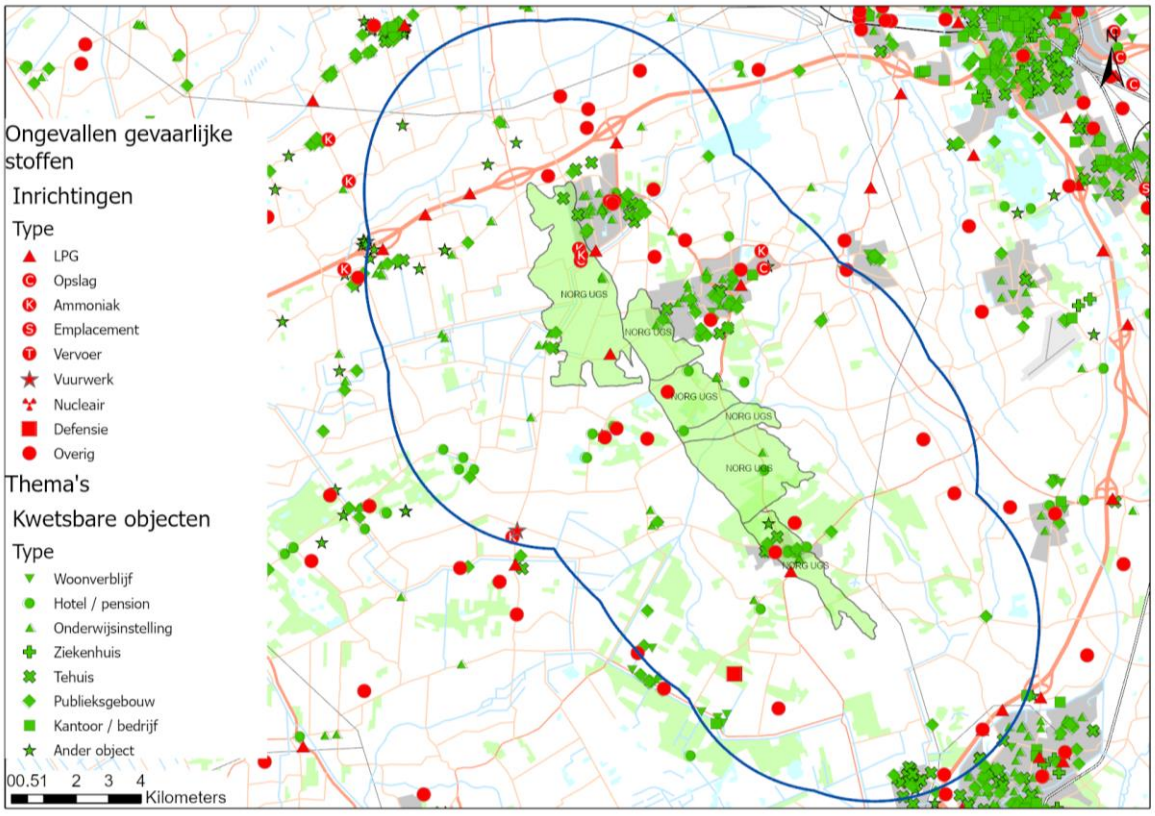
*In het vigerende opslagplan wordt een Mmax van 3,5 genoemd. Deze is gebaseerd op een berekening waarbij de totale compactie-energie wordt toegekend aan 1 beving. Volgens de leidraad is dit niet juist en moet de helft van de energie worden toegekend voor de Mmax berekening, waardoor de waarde lager wordt.

Stap 2: Risico matrix
Voor het Norg voorkomen in Tabel 5 is het nodig gebleken om de risicomatrix te gebruiken (“Stap 2” van de SRA). Voor elke factor die bepaald is voor de onder- en bovengrond wordt een score gegeven waarbij de som van de scores een positie geeft in de risicomatrix. In dit deel van de bijlage worden de figuren en tabellen getoond die gebruikt zijn om tot een risicobeoordeling te komen. Figuur 10, Figuur 11 en Figuur 12 tonen de situaties voor respectievelijk “Bevolkingsdichtheid”, “Industriële inrichtingen”, “Speciale gebouwen en vitale infrastructuur” en ”Dijken”. Voor de bepaling van de bevolkingsdichtheid is zowel de informatie over de dichtheid per gemeente als de dichtheid per buurt gebruikt. De hoogste waarde die volgt uit beide analyses is gebruikt in de SRA-beoordeling. Figuur 13 toont de kaart van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond kaart om de mate van opslingering te bepalen.
Tabel 6 A en B tonen de evaluatie en scores voor de invloedfactoren. De risicomatrix is afgebeeld in Figuur 6.

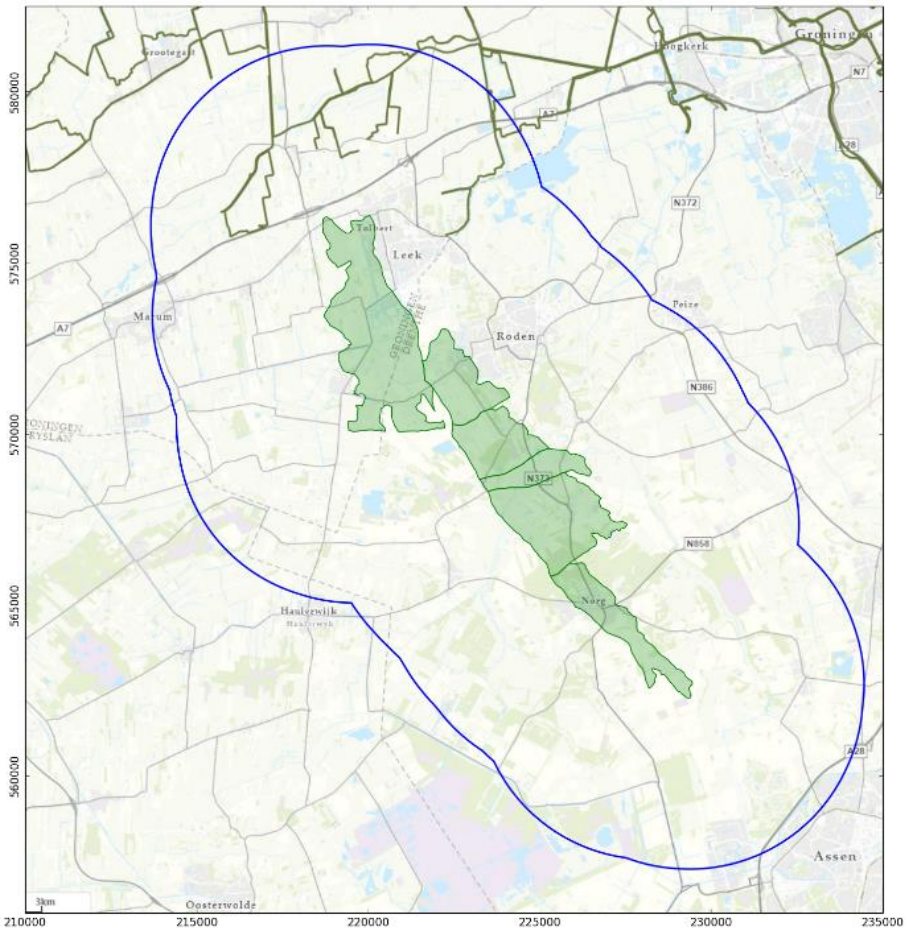
[22] Voor de DHAIS berekening wordt zowel de hoogte van de gaskolom als de totale reservoirdikte beschouwd. Het minimum van deze twee wordt gekozen voor de berekening van de “B” waarde zoals voorgeschreven door de DHAIS methodiek.
[23] Young’s moduli ratio volgens TNO rapport: Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde Seismiciteit, NITG 04-171-C. Voor nieuwe velden wordt de ratio van een analoog veld met dezelfde reservoir seal combinatie gebruikt.
[24] Poisson’s ratio gebaseerd op gemiddelde waarde voor gecementeerde zandsteen op basis van kernplug metingen



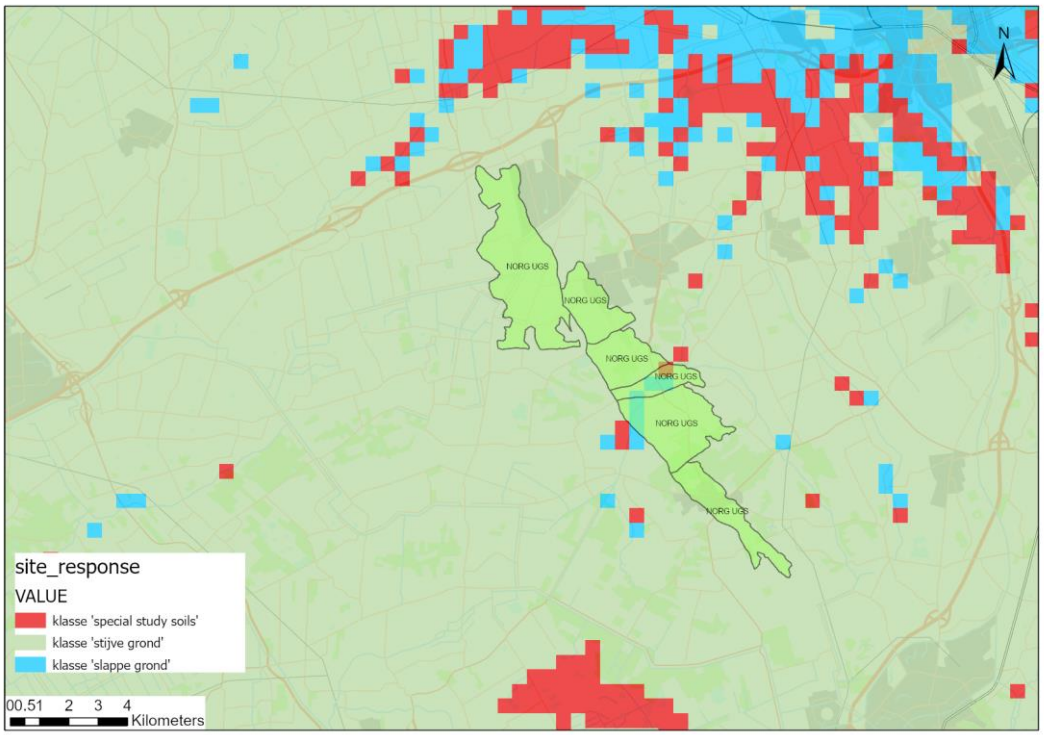
Figuur 10: Overzicht van de bevolkingsdichtheid boven het Norg veld. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond Norg die relevant is voor de SRA.



Figuur 11: Overzicht van de industriële inrichtingen (rode punt), ziekenhuizen (groene plus) onderwijsinstellingen (groene driehoek), tehuizen (groene x) en publieksgebouwen (groene ruit) boven het Norg veld. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond Norg die relevant is voor de SRA.



Figuur 12: Overzicht van de dijken boven het Norg veld. De blauwe omtrek geeft de 5 km straal rond Norg die relevant is voor de SRA.



Figuur 13: Overzicht van de grondsoorten in de ondiepe ondergrond om de mate van opslingering te bepalen.

Uit de analyse op basis van bovenstaande figuren volgen de scores voor de verschillende factoren. Deze zijn weergegeven in
Tabel 6, inclusief onderbouwing en uitkomst.

Tabel 6: Kwantitatieve evaluaties en daaruit voortkomende scores (C) voor de invloedfactoren ondergrond (A) en bovengrond (B).

A

Score	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
5		Alle methodes > 4,5		
4	Bevend veld > 5 bevingen per jaar van M≥ 1,5	1 methode > 4,5 én/of alle methodes 4,1 – 4,5		
3	Bevend veld < 5 bevingen per jaar van M≥ 1,5	1 methode 4,1 – 4,5 én/of alle methodes 3,6 – 4,0		>60% slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/s) en/of >30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
2	P=42% of Bevend veld M < 1,5	1 methode 3,6 – 4,0 én/of alle methodes 3,1 – 3,5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/s) en/of 15-30% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
1	P=19%	1 methode 3,1 – 3,5 én/of alle methodes 2,6 – 3,0		10-30% slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/s) en/of 5-15% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.
0		1 methode 2,6 – 3,0 én/of alle methodes ≤ 2,5	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond ($V_{s,30}$ =< 200m/s) en/of < 5% grondsoort die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.

B

Score	Bevolkingsdichtheid (aantal inwoners per km^2)	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen En vitale infrastructuur	Dijken
4	> 2500	Meerdere direct boven het veld	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld	Primaire dijken boven het veld
3	1000-2500 en/of 500-1000 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 ziekenhuis en/of energievoorziening direct boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld. Meerdere scholen, tehuizen en/of publieksgebouwen direct boven het veld	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld
2	500-1000 en/of 250-500 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld
1	250-500 en/of <250 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld		1 school, tehuis en/of publieksgebouw binnen 5 km rond het veld.	
0	< 250	Geen binnen 5 km rond het veld	Geen boven en/of binnen 5 km rond het veld	Geen dijken binnen 5 km rond het veld

C

Voorkomen	Kans op beven of waargenomen bevingen	Magnitude	Ligging voorkomen	Opslingering	Genormaliseerde totaalscore ondergrond	Bevolkingsdichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken	Genormaliseerde totaalscore bovengrond	Categorie
Norg	3	2	2	0	0,5	1	4	3	2	0,63	I