2024 Jaarrapportage Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM)

KEM Wetenschappelijk Expert Panel (KEM-panel)

Mei 2025

Inhoud

Samenvatting 3
Summary 4
1. Inleiding 5
2. KEM strategische ontwikkelingen 5
2.1 2017-2022 inhoudelijk 5
2.2 2017-2022 operationeel 6
2.3 2023-2028 inhoudelijk 6
2.4 2023-2028 operationeel 8
3. KEM onderzoek 8
3.1 Seismisch-akoestische risico's 9
3.2 Bodemdalingsrisico's 13
3.3 Milieurisico's ondergrond en installaties 16
3.4 Maatschappelijke effecten mijnbouw 18
4. Kennisborging en -uitwisseling 18
4.1 Kennisdeling via kemprogramma.nl 19
4.2 Kennisborging in publieke DRA-modellen 19
4.3 Communicatie met de omgeving 20
5. Activiteiten wetenschappelijk expert panels 22
5.1 KEM Wetenschappelijk expert panel (KEM-panel) 22
5.2 KEM advisering DRA modelontwikkeling (KEM-subpanel) 23
5.3 KEM Sociale Effecten Mijnbouw panel (SEM-panel) 24
6. Conclusies en aandachtspunten 25
6.1 KEM strategie en onderzoek 25
6.2 Kennisborging en -uitwisseling 26
6.3 Activiteiten wetenschappelijke expert panels 27
Bijlage A Kamerbrief 2016 over KEM en Kamerbrief 2022 over KEM evaluatie en verlenging 28
Bijlage B Terms of Reference KEM scientific expert panel, Subpanel HRA modelontwikkeling en Panel sociale effecten mijnbouw 35
Bijlage C Status KEM onderzoekvragen en -projecten eind 2024 41
Bijlage D Lijst van KEM rapporten en publicaties 43
Bijlage E Samenstelling KEM-panel, KEM-subpanel en SEM-panel eind 2024 49
Bijlage F Termen, afkortingen en definities 51

Samenvatting

Dit is de 7e jaarrapportage van het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM). In de rapportage komen de tot en met december 2024 uitgevoerde activiteiten en bereikte resultaten aan de orde. De jaarrapportage is een rapportage van het KEM-panel en geeft de duiding en conclusies van het KEM-panel weer.

KEM-onderzoeksprojecten. De kwaliteit van de praktisch alle onderzoeksprojecten is naar het oordeel van het KEM-panel goed en de impact is betekenisvol. In 2024 ging, naast lange termijn seismiciteit Groningen, veel aandacht uit naar effecten van andere – voor de energietransitie relevante - mijnbouwactiviteiten, zoals zoutwinning en geothermie en ondergrondse opslag van waterstof en CO_2. De in 2024 opgeleverde projectresultaten betroffen: modellering waterbeheer geïnduceerde ondiepe bodemdaling (KEM-16b), effect op seismische risico's van grootschalige gasinjectie (N_2, CO_2) in Groningen (KEM-24), H_2-opslag in clusters van zoutcavernes (KEM-28), monitoringseisen voor offshore CO_2 opslag (KEM-27) en evaluatie van de GMMV7 van het publieke seismische dreiging- en risico analysemodel (SDRA) Groningen (KEM-36).

In 2024 zijn er 4 projecten voortgezet dan wel gestart. De projecten gaan over: lange termijn effecten ten Zuid-Westen van het Groningen gasveld (KEM-19b); de invloed van gecontroleerde pekelontsnapping op de stabiliteit van cavernes en caverne-clusters (KEM-45); de invloed van ondiepe heterogeniteit op het ruimtelijke bodemdalingsverloop (KEM-47); en de cumulatieve effecten meervoudige mijnbouwactiviteiten (KEM-48). De resultaten komen in 2025 beschikbaar.

Kennisborging en kennisuitwisseling. De KEM-website publiceerde ook in 2024 voor nieuwe en lopende projecten beschikbare informatie. Dat zijn de onderzoeksvraag, alle projectresultaten en de evaluatie van de kwaliteit en mogelijke impact van het KEM-panel. Daarnaast zijn voor afgeronde projecten, waar relevant, een link naar duidingsinformatie van het Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) en Staatstoezicht op de Mijnbouw (SodM) en presentaties over het project in een KEM-DeepNL colloquium toegevoegd. De website had in 2024 circa 2700 bezoekers, die meer dan 31.000 pagina's bekeken, voornamelijk de KEM-projectpagina's. Communicatie vanuit KEM richting de wetenschap bleef in 2024 beperkt tot het delen van KEM resultaten en onderzoeksonderwerpen in de DEEP-NL stakeholder bijeenkomst en de succesvolle KEM-kennisdag in Groningen. En er was tweewekelijkse overleg tussen de KEM-secretaris en coördinatoren van KGG (mijnbouwbeleid) en SodM (mijnbouwtoezicht).

Het KEM-panel adviseerde in 2018 dat de kennisborging het best vormgegeven kan worden door de inzet van publieke instrumenten voor de analyse en weergave van dreigingen en risico's van mijnbouw. Het publieke SDRA model Groningen van TNO is vanaf 2021 in gebruik, waarbij het KEM-subpanel jaarlijks adviseert over de kwaliteit, bruikbaarheid en ontwikkeling van de SDRA (sub)modellen in het volgende jaar. Eind 2023 is de door KGG en SodM geautoriseerde versie van de broncode van de SDRA publiek beschikbaar gekomen voor onderzoekers en belanghebbenden. De KEM-subpanel advisering voor eind 2023 was uitgesteld in verband met de sluiting van Groningen in gasjaar 2023-2024. Eind 2022 adviseerde het KEM-subpanel aan SodM over de door TNO voorgestelde SDRA modelversie voor de operationele strategie van het Groningen gasveld en adviseerde begin 2023 over de voorgestelde additionele SDRA-modelontwikkelingen en SDRA-toepassing Groningen. Deze adviezen zijn in beperkte mate opgevolgd, waardoor de recente modelverbeteringen niet in de maatgevende risicoberekeningen zijn meegenomen. Mede door KEM-projecten zijn er in 2023 en 2024 ook verbeterde bodemdaling dreiging analyse modellen (BD(R)A-tools) beschikbaar gekomen. Het KEM-panel meent dat publieke dreiging- en risicomodellen voor alle mijnbouwactiviteiten en risico's nog steeds alle aandacht verdienen.

KEM-panels. Het KEM-panel kwam onder leiding van de in 2024 aangetreden voorzitter prof. Tom Veldkamp vier keer bij elkaar. De wetenschappelijke expertrol ten aanzien van de vraagarticulatie, projectbegeleiding, projectevaluatie en duiding van onderzoeken werd in 2024 efficiënt en goed ingevuld. Eind 2024 is een SodM-adviesvraag over de SDRA Groningen aan het KEM subpanel opgepakt, dat begin 2025 gerapporteerd zal worden. Prof. Danielle Timmermans is eind 2024 aangesteld als voorzitter van het panel voor onderzoek naar Sociaalmaatschappelijke Effecten van Mijnbouw (SEM-panel).

KEM-evaluatie en status afgesproken verbeteracties. De evaluatie en de PEGA hebben ertoe geleid dat KGG en SodM hebben besloten tot een continuering van KEM (2023 - 2028). De in de evaluatie geconstateerde tekortkomingen en aanbevelingen zijn in 2023 en 2024 opgevolgd en verwerkt in de 'KEM-strategy and operations 2023-2027', inclusief het verbeterde KEM dashboard waarmee jaarlijks op basis van kennislacunes en maatschappelijke urgentie ge(her)prioriteerd kan worden.

Summary

This is the 7th annual report of the Mining Impacts Knowledge Programme (KEM). The report covers activities carried out and results achieved up to December 2024. The annual report is a report of the KEM panel and reflects the KEM panel's interpretation and conclusions.

KEM- research projects. In the opinion of the KEM panel, the quality of practically all research projects is good and the impact is meaningful. In 2024, besides long-term seismicity Groningen, much attention was paid to impacts of other mining activities - relevant for the energy transition - such as salt extraction and geothermal and underground storage of hydrogen and CO_2. Project deliverables delivered in 2024 included: modelling water management induced shallow subsidence (KEM-16b), impact on seismic risks of large-scale gas injection (N_2, CO_2) in Groningen (KEM-24), H_2storage in clusters of salt caverns (KEM-28), monitoring requirements for offshore CO_2-storage (KEM-27) and evaluation of the GMMV7 of the public seismic hazard and risk analysis model (SDRA) Groningen (KEM-36).

By 2024, 4 projects have been continued or started. The projects deal with: long-term effects south-west of the Groningen gas field (KEM-19b); the influence of controlled brine bleed-off on the stability of caverns and cavern clusters (KEM-45); the influence of shallow heterogeneity on the spatial subsidence gradient (KEM-47); and the cumulative effects multiple mining activities (KEM-48). Results will be available in 2025.

Knowledge assurance and knowledge sharing. The KEM website also published available information for new and ongoing projects in 2024. These are the research question, all project results and the evaluation of the quality and potential impact of the KEM panel. In addition, for completed projects, where relevant, a link to interpretation information from the Ministry of Climate and Green Growth (KGG) and State Supervision of Mines (SSM) and presentations on the project in a KEM-DeepNL colloquium have been added. The website had around 2,700 visitors in 2024, who viewed more than 31,000 pages, mainly the KEM project pages. Communication from KEM towards science in 2024 was limited to sharing KEM results and research topics in the DEEP-NL stakeholder meeting and the successful KEM Knowledge Day in Groningen. And there were fortnightly consultations between the KEM secretary and coordinators from KGG (mining policy) and SSM (mining supervision).

In 2018, the KEM panel advised that knowledge assurance can best be shaped by using public tools to analyse and represent mining hazards and risks. TNO's public SDRA Groningen model will be in use from 2021, with the KEM subpanel advising annually on the quality, usability and development of the SDRA (sub)models in the following year. By the end of 2023, the KGG and SSM-authorised version of the SDRA source code was made publicly available to researchers and stakeholders. The KEM subpanel advisory for late 2023 had been postponed due to the closure of Groningen in gas year 2023-2024. In late 2022, the KEM subpanel advised SSM on TNO's proposed SDRA model version for the Groningen gas field operational strategy and advised in early 2023 on the proposed additional SDRA model developments and SDRA application Groningen. These advices were followed to a limited extent, so the recent model improvements were not included in the normative risk calculations. Partly due to KEM projects, improved subsidence hazard analysis models (BD(R)A tools) also became available in 2023 and 2024. The KEM panel believes that public hazard and risk models for all mining activities and risks still deserve full attention.

KEM panels. The KEM panel met four times under the leadership of its 2024 chairman Prof Tom Veldkamp. The scientific expert role regarding demand articulation, project guidance, project evaluation and interpretation of studies was efficiently and well fulfilled in 2024. At the end of 2024, an SSM advisory question on SDRA Groningen was taken up to the KEM subpanel, to be reported in early 2025. Prof Danielle Timmermans has been appointed as chair of the Panel on Research on Social Effects of Mining (SEM Panel) by the end of 2024.

KEM review and status agreed improvement actions. The evaluation and the PEGA resulted in KGG and SSM deciding on a continuation of KEM (2023 - 2028). The shortcomings and recommendations identified in the evaluation were followed up in 2023 and 2024 and incorporated in the 'KEM strategy and operations 2023-2027', including the improved KEM dashboard that allows annual (re)prioritisation based on knowledge gaps and societal urgency.

1. Inleiding

Dit is de 7e jaarrapportage van het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM). Het is geen financieel jaarverslag, maar betreft de inhoudelijke activiteiten van het KEM in 2024, conform de kamerbrief (Kamerstuk 32849, nr. 80) en de kamerbrief naar aanleiding van de in 2022 uitgevoerde evaluatie (Kamerstuk 32849, nr. 213) van KGG. De jaarrapportage is een rapportage van het KEM-panel en geeft de duiding en conclusies van het KEM-panel weer.

In de rapportage komen de tot en met december 2024 uitgevoerde activiteiten en bereikte resultaten aan de orde. De rapportage betreft conform de kamerbrief van de Minister van KGG uit 2016 (zie bijlage A) de ontwikkelingen van:

1. *Onderzoek.* Strategische ontwikkelingen van KEM (hoofdstuk 2) en inhoudelijke resultaten en impact van KEM onderzoeksprojecten (hoofdstuk 3);
2. *Kennisborging en -uitwisseling.* Ontwikkelingen op het gebied van de KEM website, mijnbouw dreiging en risico evaluatie instrumenten en kennisuitwisseling (hoofdstuk 4);
3. *Wetenschappelijk expert panels.* Toetsing en articulatie onderzoeksvragen, controle op kwaliteit en duiding van resultaten van onderzoek naar fysieke (KEM-panel) en sociale effecten (SEM-panel), advies over publieke dreiging- en risicoanalyse modelontwikkeling (KEM-subpanel) (hoofdstuk 5).

Hoofdstuk 6 is gewijd aan de conclusies en aandachtspunten.

2. KEM strategische ontwikkelingen

2.1 2017-2022 inhoudelijk

In jaarverslagen tot en met 2022 is over de strategische ontwikkeling van KEM in de eerste strategische periode uitgebreid gerapporteerd. Deze ontwikkeling was gebaseerd op de eerste KEM-onderzoek agenda opgesteld in 2017 op basis van consultatie in Groningen en later op het KEM-03a rapport “Towards a national research agenda and toolbox for mining effects in The Netherlands” (zie figuur hiernaast).

Specifieke onderzoekvragen werden daarbij in diverse communicatievormen aangedragen door KGG, SodM, door belanghebbenden, belangengroepen en regionale overheden. In de eerste jaren (2017-2019) ging de aandacht vooral uit naar bodembewegingen in Groningen, in de jaren daarna (2020-2022) ook naar bodembewegingen bij zoutwinning, geothermie, opslag van vloeistoffen (CH_4, H_2, N_2, CO_2), alsook lekkage risico’s, infrageluid en abandonnering vraagstukken elders in het land.

Er werd in deze jaren ook gewerkt aan het ontwikkelen en verbeteren van publieke beschikbare mijnbouw effecten dreiging en risicoanalyse instrumenten, c.q. de publieke seismische dreiging en risicoanalyse tool (pSDRA) Groningen en een bodemdaling dreigingsanalyse instrumentarium. Het resultaat is dat de mate van beschikbaarheid van publieke kennis en publieke dreiging en risicoanalysetools op het gebied van seismiciteit en bodemdaling eind 2022 flink was verbeterd. Wat betreft kennis over en instrumenten voor lekkage risico’s zijn de eerste stappen gezet. Daarnaast werden de resultaten met wetenschappers en publiek in Nederland gedeeld middels de KEM-website, de KEM-DeepNL seminars, de KEM jaarverslagen en regionale KEM-bijeenkomsten.

In 2022 vond de onafhankelijke evaluatie van het KEM-programma plaats. Geconcludeerd is dat KEM grotendeels effectief en efficiënt is. Professionele belanghebbenden die geconsulteerd zijn gaven aan de projectresultaten hen goed bereiken, deze positief waarderen en er impact is. In de evaluatie waren ook tekortkomingen geïdentificeerd en aanbevelingen gedaan. Dit heeft er toe geleid dat KGG met instemming van SodM eind 2022 besloten heeft tot een continuering van KEM met tenminste 5 jaar (2023-2027, Kamerbrief (Kamerstuk 32849, nr. 213) met een aangescherpte doelstelling:

- onafhankelijk toegepast onderzoek uitvoeren om inzicht te vergroten in de mogelijke effecten en onzekerheden van mijnbouwactiviteiten,

- kennis samenbrengen in methoden en gereedschappen (Dreiging en risico analyses: DRA's) om effecten te kwantificeren, die gebruikt kunnen worden voor beleid en toezicht in de energietransitie en
- bijdragen aan kennis van en vertrouwen in mijnbouwactiviteiten door communicatie naar experts en andere stakeholders (o.a. inwoners) over KEM-projecten.

2.2 2017-2022 operationeel

In deze periode is gewerkt met een in 2019 opgestelde "KEM modus operandi", die de werkprocessen van onderzoeksvraag tot en met projectevaluatie beschreven. Het feitelijke onderzoek start met onderzoeksvragen, die door het KEM-panel worden getoetst, soms wetenschappelijk beter gearticuleerd en voorzien van een aanbeveling van de beste internationale groepen die het werk zouden kunnen uitvoeren. Daarna worden onderzoeksprojecten door KGG en SodM aanbesteed, opgestart en begeleid en door het KEM-panel gevolgd. Uiteindelijk evalueert het KEM-panel de projectresultaten op inhoudelijke kwaliteit en mogelijke impact.

De uitvraag van de onderzoeken is destijds belegd bij de Inkoop Uitvoering Centrum Economische Zaken (IUC- EZ) (incl. vragen vanuit SodM en NCG). Op 24 juli 2017 heeft overleg plaatsgevonden met de afdeling inkoop van KGG en met haar inhoudelijk adviseur (bijzonder hoogleraar aanbestedingsrecht). Op basis van het advies van laatstgenoemde is duidelijk geworden dat de aanbesteding van KEM-onderzoek niet onder Europese aanbestedingsregels valt zolang het om wetenschappelijk onderzoek gaat. Wel gelden een aantal andere voorwaarden waar in de aanbesteding rekening mee gehouden moet worden.

De meest onderzoeken (ca. 20) zijn, tot en met 2022, internationaal, in de markt gezet via Bureau Inkoop. Een deel (ca. 5) zijn opgenomen in de werkprogramma's van TNO, KNMI en Deltares. Daarnaast waren er ca. 5 SDRA-ontwikkelprojecten bij TNO. De ervaringen zijn tot nu toe positief. De onderzoekskosten van de KEM-onderzoeken bedragen tot nu toe maximaal 4 miljoen euro per jaar verdeeld over KGG en SodM (inclusief de ontwikkelkosten van de publieke SDRA tool voor Groningen). Het is voor het KEM-panel niet goed mogelijk de financiële overzichten te geven aangezien de financiële controle geen onderdeel is van de Terms of Reference (die verantwoordelijkheid ligt bij KGG en SodM).

2.3 2023-2028 inhoudelijk

Vanaf begin 2023 is door KEM een nieuw KEM-dashboard in gebruik genomen om de voortgang van KEM in relatie tot de strategische doelen te plannen en te volgen (zie onderstaande figuur). Dit dashboard is op verzoek van het KEM wetenschappelijk expert panel (KEM-panel) verfijnder wat betreft de verschillende type mijnbouwactiviteiten

Mining activity versus H&R type		Seismic hazards and risks	Subsidence hazards and risks	Environmental hazards and risks
Oil and gas reservoir production	Groningen	KEM-02, KEM-04, KEM-05, KEM-08, KEM-09, KEM-14, KEM-19ab, KEM-24ab, KEM-34, KEM-36	KEM-19a, KEM-19b, KEM-47	KEM-18
	Small gas fields	KEM-07, KEM-56	KEM-16, KEM-47	
	Oil fields			
Underground storage in porous reservoirs	Methane cyclic storage	KEM-01, KEM-48KEM-39,		
	Hydrogen cyclic storage	KEM-39		
	Production water storage			
	CO2 storage	KEM-27, KEM-39	KEM-27	KEM-27
Geothermal reservoir energy production	Conventional doublet systems	KEM-06, KEM-15, KEM-52	KEM-06	KEM-06, KEM-18, KEM-52
	Enhanced Geoth. Systems (EGS)	KEM-06	KEM-06	KEM-06
Salt cavern development and production	Shallow caverns (<750m)		KEM-17, KEM-26, KEM-49	
	Deep Caverns (>750m)		KEM-16,KEM-17, KEM-28,KEM-45	KEM-13
Underground storage in caverns	Methane cyclic storage			
	Oil strategic storage			
	Hydrogen cyclic storage	KEM-28	KEM-28	KEM-28
	Nitrogen cyclic storage			
	Compressed Air storage			
Mining infrastructures	Wells	KEM-31		KEM-13, KEM-18, KEM-28
	Installations	KEM-31		KEM-33
	Pipelines	KEM-31		
Coal mining domains and infrastructure	Limburg			

H&R measures vs H&R type		Seismic risks	Subsidence risks	Environmental risks
Public HRA instruments		KEM-03, KEM-10, KEM-35, KEM-43	KEM-03, KEM-16a, KEM-16b, KEM-47	
Public monitoring systems		KEM-11, KEM-27		
Public norms, TL systems and mitigating actions				
Legend		5 = high	3 = medium	1 = low
		Priorities and KEM research projects		

ten opzichte van het vroegere dashboard. Ook is de categorie risicobeheersinstrumenten aangevuld met

monitoringsinstrumenten en besluitvorming en toezicht ondersteunende instrumenten zoals normen, stoplichtsystemen en mitigerende maatregelen.

Begin 2023 zijn op basis van een consultatieproces bij kennisinstellingen en overheden de prioriteiten opnieuw voor de komende jaren bepaald. Deze prioriteiten zijn in het KEM-dashboard door middel van de blauwe kleuren weergegeven (lichtblauw > lage prioriteit, donkerblauw > hoge prioriteit). In voorgaande figuur van het KEM dashboard zijn tevens alle tot en met 2024 uitgevoerde en afgeronde KEM projecten terug te vinden. De korte omschrijving en status van deze onderzoeksprojecten is te vinden in bijlage C en de lijst van onderzoeksrapporten en publicaties in bijlage D. In paragrafen 3.1-3.4 wordt inhoudelijk gerapporteerd over het uitgevoerde en aankomende onderzoek op het gebied van de vier onderscheiden dreigingen en risico's van mijnbouwactiviteiten: seismiciteit, bodemdaling, milieurisico's en sociale effecten. Specifiek onderzoek naar lange termijn effecten na abandonnering worden in dezelfde paragrafen meegenomen.

In het dashboard duidelijk is te zien dat KEM onderzoeken de prioritaire aandachtsgebieden voor een deel ruimschoots geadresseerd hebben. Ook is te zien dat op een aantal gebieden met hoge prioriteit minder onderzoek plaatsvond, met name op het gebied van milieudreiging en -risico's en mijnbouwactiviteiten zoals kolen en waterstofopslag. Ook is duidelijk dat KEM onderzoek nog beperkt heeft bijgedragen aan publiek beschikbare dreiging- en risicobeheersmaatregelen. Het is de ambitie van KEM om bij te dragen aan een toestand eind 2028 waarin er de meeste hoge of medium prioriteiten opgepakt zijn. Dat betekent niet dat er dan geen wetenschappelijk of toegepast onderzoek meer nodig is, want nieuwe vraagstukken kunnen zich aandienen en voortschrijdend inzicht blijft relevant voor de praktijk. Daarnaast is in 2024 een start gemaakt met het opzetten van onderzoek naar sociale effecten van mijnbouw.

In het onderstaande figuur van het KEM-dashboard zijn de tot en met 2024 geïdentificeerde onderzoeksvragen van KEM weergegeven. Dit zijn zowel overgebleven onderzoeksvragen uit de voorgaande jaren als nieuwe geformuleerde onderzoeksvragen. Zie bijlagen C voor respectievelijk de lijst en beschrijving van deze (nog) niet opgepakte of afgewezen onderzoeksvragen[1].

Mining activity versus H&R type		Seismic hazards and risks	Subsidence hazards and risks	Environmental hazards and risks
Oil and gas reservoir production	Groningen	KEM-21, KEM-22, KEM-41 KEM-2023-c,		
	Small gas fields			
	Oil fields			
Underground storage in porous reservoirs	Methane cyclic storage			
	Hydrogen cyclic storage	KEM-40		
	Production water storage			
	CO2 storage	KEM--46		
Geothermal reservoir energy production	Conventional doublet systems	KEM2023-a, KEM-2023-ef		
	Enhanced Geoth. Systems (EGS)			
Salt cavern development and production	Shallow caverns (<750m)			
	Deep Caverns (>750m)		KEM-2023-a	
Underground storage in caverns	Methane cyclic storage			
	Oil strategic storage			
	Hydrogen cyclic storage	KEM-40	KEM-28	KEM-28
	Nitrogen cyclic storage			
	Compressed Air storage			
Mining infrastructures	Wells			
	Installations			KEM-29
	Pipelines			
Coal mining domains and infrastructure	Limburg			

H&R measures vs H&R type		Seismic risks	Subsidence risks	Environmental risks
Public HRA instruments		KEM-57	KEM-37, KEM-2024-b	
Public monitoring systems		KEM-46		
Public norms, TL systems and mitigating actions				
Legend		5 = high	3 = medium	1 = low

Priorities and KEM research projects

Alle onderzoeksvragen worden zoals gebruikelijk door het KEM panel besproken, al of niet met argumentatie geaccepteerd en uitgevoerd of voor KEM afgewezen en doorverwezen. Een deel van deze onderzoeksvragen zijn in 2024 in onderzoeksprojecten gestart en een tweede deel van deze onderzoeksvragen zijn in 2024 besproken en

[1] Sinds 2023 worden de mogelijke onderzoeksvragen anders naamgeving dan voorheen. De onderzoeksvragen krijgen een naam met het jaartal en een letter. Zodra een onderzoeksvraag naar de aanbesteding gaat, krijgt het een naam met een KEM-nummer.

geaccepteerd om in 2025 te worden aanbesteed (beiden vetgedrukt). Voor een laatste deel moet de besluitvorming nog plaatsvinden. Zoals te zien is richten deze nieuwe KEM onderzoeksvragen en -projecten zich op alle aandachtsgebieden met een relatief hoge prioriteit, met uitzondering van het aandachtsgebied normering, stoplichtsystemen en mitigatiemaatregelen.

2.4 2023-2028 operationeel

In 2023 en 2024 zijn de in de evaluatie gesuggereerde operationele verbeteringen opgepakt en grotendeels gerealiseerd. Deze zijn opgenomen in het document "KEM-Strategie en modus operandi 2023-2027", te vinden op de KEM Website, waarmee het proces van vraagidentificatie, -articulatie en besluitvorming daarover nu helderder, transparanter en toegankelijker gemaakt is. Deze werkwijze en de eerder beschreven inkoopprocedures hebben in 2023 en 2024 goed gewerkt.

Vanaf 2023 tot en met 2024 zijn de onderzoeken (ca. 6), meestal internationaal, in de markt gezet via Bureau Inkoop. Een deel (ca. 2) zijn opgenomen in de werkprogramma's van TNO, KNMI en Deltares. Daarnaast zijn er ca. 2 SDRA-ontwikkelprojecten bij TNO. In 2023 en 2024 bleven de het aantal en de omvang van KEM projecten bij SodM, wegens capaciteitsprioritering licht achter bij die van KGG. In 2024 is dit bij SodM bijgetrokken. Toch blijven er af en toe onderzoeksvragen bestaan die door gebrek aan beschikbare begeleidingscapaciteit en soms vanwege (dreigende) budgettaire limieten met grote vertraging opgepakt worden.

De ervaringen met de aanbesteding en uitvoering van de onderzoeken in 2023 en 2024 zijn zeer positief, mede door de consultatie van een KEM-panellid in de opstartfase van de projecten. De onderzoekskosten van de KEM-onderzoeken bedragen tot nu toe maximaal 4 miljoen euro per jaar verdeeld over KGG en SodM (inclusief de ontwikkelkosten van de publieke SDRA tool voor Groningen). Het is voor het KEM-panel niet goed mogelijk de financiële overzichten te geven aangezien de financiële controle geen onderdeel is van de Terms of Reference (die verantwoordelijkheid ligt bij KGG en SodM). Voor volgende jaren wordt een vergelijkbare inspanning als in 2023 en jaren daarvoor voorzien. KGG heeft naar aanleiding van de Parlementaire Enquête Groninger Aardbevingen (PEGA) de toegezegde financiering van KEM met een jaar, tot en met 2028, verlengd.

Wat betreft communicatie zijn er in 2024 plannen in uitvoering genomen (o.a. voor een verbeterde website, directe communicatie via KEM kennisdagen in de regio). In 2023 is gezamenlijk geconcludeerd dat de het verstandig is (en ook in lijn met de PEGA aanbevelingen) om binnen KEM ook aandacht te besteden aan de maatschappelijke, sociale effecten van mijnbouw. In 2024 is het wetenschappelijke panel voor de Sociale Effecten Mijnbouw (zie Terms of Reference van SEM in bijlage B en panel samenstelling in bijlage E) gestart, dat samen met KGG, SodM en belanghebbenden in 2025 een voorlopige onderzoek agenda zal opstellen en de eerste onderzoeksprojecten op dit terrein gaat begeleiden.

3. KEM onderzoek

In dit hoofdstuk wordt de voortgang van de onderzoeksvragen en -projecten van KEM thematisch toegelicht. Het betreft de thema's: seismo-akoestische risico's, bodemdaling risico's, milieurisico's en sociale effecten van mijnbouw.

Per thema komen aan bod:

- Status van onderzoeksvragen. Hierbij worden figuren gebruikt waarin de KEM-projecten in samenhang weergegeven worden. In het groen is aangegeven welke projecten in 2024 actief waren.
- Resultaten en impact van tot en met 2024 afgeronde KEM-projecten. Alle informatie over deze projecten (onderzoeksvraag, resultaten en projectevaluatie) zijn op de KEM-website te vinden.
- Lopend en startend onderzoek. De onderzoekvragen van deze KEM-projecten in uitvoering zijn snel na dat deze aanbesteed zijn te vinden op de KEM-website.
- Overige onderzoeksvragen. Het gaat om de onderzoeksvragen die in het KEM-panel nog besproken gaan worden. De onderzoeksvragen, die het KEM-panel om verschillende redenen afgewezen of hebben geen prioriteit hebben gekregen zijn te vinden in bijlage C.
- Status onderzoeksvragen en ontwikkeling publieke dreiging en risico analyse (DRA) instrumenten

3.1 Seismisch-akoestische risico's

Status onderzoeksvragen aangaande seismische risico's

Groningen en kleine gasvelden

Veel onderzoekvragen van KEM (KEM-02, KEM-04, KEM-05ab, KEM-08, KEM-09, KEM-14, KEM-19ab, KEM-24ab, KEM-34, KEM-36, KEM-43) gaan over kennis over de seismische dreiging- en risico's verbonden aan gasproductie in **Groningen**. Ze zijn specifiek gericht op het beantwoorden van onderzoeksvragen over de processen en hun onzekerheden en de wijze van berekenen van de seismische dreiging en risico's in Groningen teneinde een seismische dreiging en risico instrument te kunnen ontwikkelen en verbeteren. De SDRA Groningen modellentrein is ontwikkelt, gevalideerd en verbeterd middels de projecten KEM-03a, KEM-10, KEM-35 en KEM43. KEM-11a, b en c richtte zich op de kwaliteit van monitoring van seismiciteit en de aardbevingscatalogus van het KNMI. Onderzoeksresultaten van al deze projecten zijn met KEM-07 dat zich specifiek op **kleine gasvelden** richtte, ook relevant voor aardbevingsdreiging- en risico's bij kleinere gasvelden. Al deze onderzoekprojecten zijn inmiddels aanbesteed, gestart en afgerond (NB KEM-05b is door NCG en TUDelft opgepakt en 11c door het KNMI).

Gasopslag, waterstofopslag en geothermie

Er zijn drie onderzoeksprojecten uitgevoerd gericht op seismische risico's bij strategische aardgas opslag in kleine gasvelden (KEM-01, KEM-39, KEM-48) en twee op CO_2 berging in gasvelden offshore (KEM-39, KEM-27).

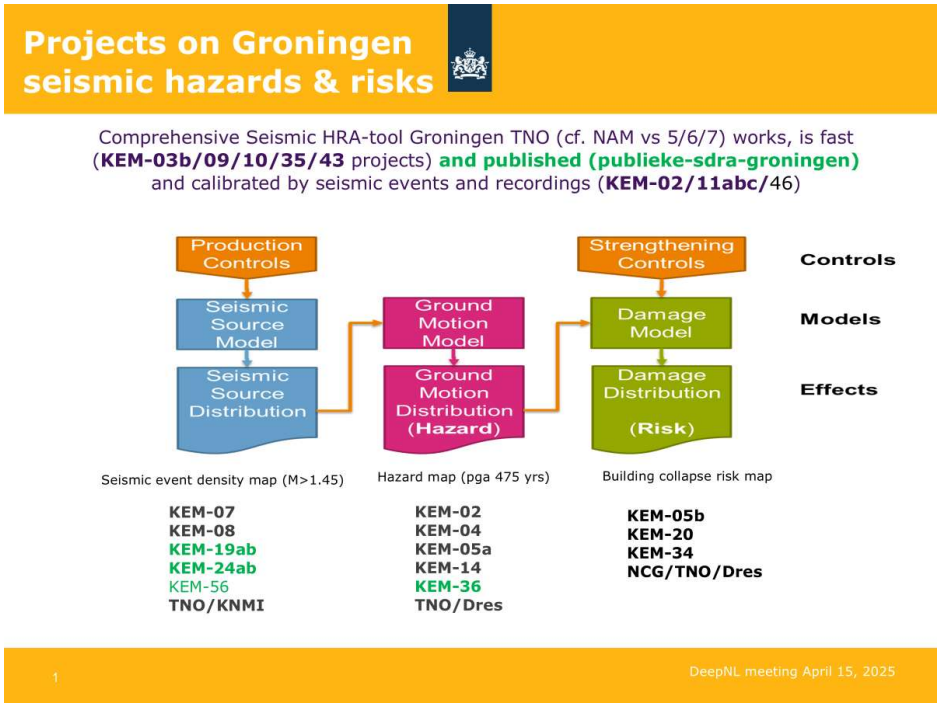
Daarnaast zijn er twee onderzoeksprojecten uitgevoerd over seismische risico's, verbonden aan geothermie (KEM-06, KEM-15) en een project eind 2024 gestart (KEM-52). Er heeft nog geen specifiek onderzoek plaatsgevonden geen naar eventuele seismische risico's verbonden aan zoutwinning en voormalige kolenwinning, maar er zijn al wel onderzoeksvragen geformuleerd.

De resultaten van alle afgeronde onderzoeksprojecten zijn beschikbaar op de KEM-website. Tot en met 2024 zijn de resultaten van KEM-01, KEM-02, KEM-04, KEM-05a, KEM-09, KEM-11, KEM-14, KEM-35 en KEM-43 gedeeld met experts van rijksoverheden en wetenschappers bij universiteiten en kennisinstellingen, in Nederland in de gezamenlijke KEM-DeepNL colloquia. De resultaten van lopende onderzoeken (KEM-19, KEM-48) volgen naar verwachting begin 2025. Een aantal onderzoeksvragen zijn met argumentatie door het KEM-panel afgewezen, doorverwezen, niet behandeling genomen of aangehouden.

Resultaten en impact van onderzoek naar seismische dreiging- en risico's tot en met en in 2024

Groningen gasveld en kleine gasvelden

Het KEM-panel is van mening dat eind 2024, ten opzichte van 2017, grote stappen zijn gemaakt in de publieke kennisontwikkeling ten aanzien van seismische mijnbouwrisico's in Groningen en bij kleine gasvelden.



Enkele specifieke uitkomsten en impact van KEM-onderzoek met betrekking tot seismische risico's zijn (**resultaten 2024 in *cursief***) voor:

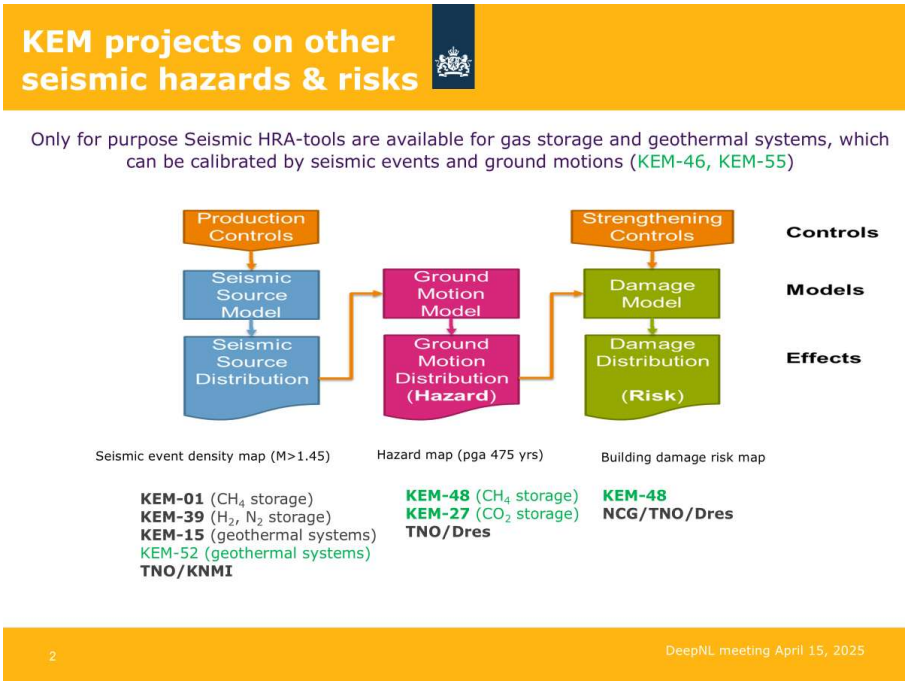
- 2019: Voor de berekening van seismische risico's in kleine gasvelden is een alternatieve, fysisch-gebaseerde evaluatiemethodiek ontwikkeld en gedemonstreerd. Op basis daarvan is het

inzicht ontstaan dat een dichter netwerk van seismologische data en een completere set van reservoirdata nodig zijn voor betrouwbaardere voorspellingen met de huidige of alternatieve methodieken. Dit heeft al effect op de seismologische monitoringseisen bij alle mijnbouwactiviteiten en het basis seismisch meetnetwerk in Nederland (KEM-07).

- 2019-2020: Mede door het gebruik in enkele KEM-onderzoeken is gesignaleerd dat een deel van de (vroegere) grondversnellingsmetingen in Groningen andere, soms incorrecte resultaten gaven. KEM-11 heeft een impuls gegeven aan de verbetering van de kwaliteit van het seismologische netwerk en de aardbevingencatalogus van Groningen. Het KNMI neemt resultaten mee in het verbeteren van het netwerk en de catalogus (KEM-11).
- 2020: Er zijn suggesties gedaan voor mogelijke verbeteringen in de (seismologische) modellen, die het voorkomen van bevingen voorspellen. Deze zullen in overweging genomen worden voor de verdere ontwikkeling van het Seismologisch bevingsmodel, SSM, in het publieke (TNO) seismische dreiging en risicoanalyse tool (KEM-08).
- 2020-2021: In twee studies is het cumulatieve effect van meerdere bevingen op het zettingsgedrag van de ondiepe bodem (KEM-05a) en de mogelijkheid tot verweking (KEM-14) van de ondiepe bodem in Groningen onderzocht. De conclusie is dat sommige bodemtypen gevoeliger zijn dan andere, maar dat er voor de gaswinning in Groningen geen extra risico's zijn.
- 2020-2021: Aangetoond is dat de grondversnellingsmetingen in Groningen door lokale variaties in de ondergrond meer worden beïnvloed dan met de huidige modellen kan worden beschreven. Het KEM-02 en KEM-04 onderzoek toont aan dat de ruimtelijke variabiliteit in bodembewegingen ten gevolge van heterogeniteit in de ondergrond relatief klein (aanwezigheid van Peelogeulen, variaties in de dikte van het Zechstein) of relatief groot (door topografie, de Holoceen slappe ondergrondlagen direct onder het oppervlak, door aanwezigheid van zoutkoepels) zijn. Deze verworven inzichten in het effect van zeer lage seismische golfsnelleden in de zeer ondiepe slappe ondergronden en de demping op iets grotere diepte, zijn belangrijk en worden in het volgende grondbewegingsmodel GMM (V7) meegenomen. In dit model worden wierden, met zeer lage seismische golfsnelheden, als aparte objecten meegenomen.
- 2020-2023: KEM-34, een bijdrage aan een groot EU project, richt zich op het kunnen kwantificeren van de kwetsbaarheid van diverse infrastructuren voor zwaardere aardbevingen (I>V). Tevens richt het project zich op het versnellen van de risicocommunicatie met de nationale of regionale veiligheidsteams. KEM-34 richt zich op de case Groningen, gericht snelle dreigingsinformatie (KNMI) en risico-informatie over dijken, bruggen, sluizen en dergelijke infrastructurele werken.
- 2020-2022: Het project KEM-19a dat de lange termijn drukvereffening en vloeistofstroming in en rondom het Groningen gasveld onderzoekt is in 2022 afgerond. In dit project werden de lange termijn bodembewegingseffecten (bodemdaling en seismiciteit) na sluiting van het Groningen gasveld nader onderzocht. De resultaten geven meer duidelijkheid over locatie en aard van te verwachten bodembewegingen na het stoppen van de productie in Groningen. Het onderzoek concludeert dat de kans op bodemdaling en seismiciteit rondom het Groningen gasveld licht zal toenemen maar beperkt zal zijn.
- *2020-2024. Het project KEM-24b (vervolg van KEM-24a dat eind 2022 niet tot antwoorden van voldoende kwaliteit leidde) dat het effect bestudeert van grootschalige gasinjectie (N_2, CO_2) ter beïnvloeding van de druk in de reservoirs (stoppen of terugdraaien van de drukdaling) op de seismische risico's is in 2024 afgerond. Het project concludeert dat de risico's op bevingen na sluiting van het Groningen gasveld met injectie licht kunnen verminderen ten opzichte van geen injectie. De studie heeft echter alleen de gunstige reservoirdruk effecten van stikstofinjectie onderzocht. Tevens zijn sommige, potentieel significante, effecten op seismische risico's, zoals gascompositie en afkoeling, niet opgenomen.*
- *2020-2024: Het project KEM-36 (een vervolg op KEM-04) richtte zich op de kwalitatieve en kwantitatieve validatie van GMMV7 van de publieke seismische HRA instrument van TNO door middel van respectievelijk expertstudie en met 3D seismische modelberekeningen. GMMV7 is goed bevonden en te verkiezen boven GMMV6. Het onderzoek geeft een verklaring waarom de metingen van PGA met hogere frequenties hoger zijn die van de SHRA. Het effect op de gemodelleerde gebouwschade is - door de gekozen 'period to period' correlatie - echter beperkt. De resultaten zijn bruikbaar voor de ontwikkeling van de SDRA Groningen.*

Gasopslag, waterstofopslag en geothermie

Het KEM-panel is van mening dat eind 2024, ten opzichte van 2017, grote stappen zijn gemaakt in de publieke kennisontwikkeling ten aanzien van seismische dreiging- en risico's van gasopslag. KEM onderzoek naar seismische dreiging en risico's naar waterstofopslag en geothermie is relatief beperkt. Enkele specifieke uitkomsten en impact van KEM-onderzoek met betrekking tot deze seismische risico's zijn (**resultaten 2024 in *cursief***):



- 2018: Er is middels project KEM-01 een beter inzicht verkregen in de te hanteren minimum en maximum reservoirdrukken en de maximale opslag- en productiesnelheden voor de opslag van gas in voormalige gasvelden. De seismische risico's worden daarmee geminimaliseerd. Deze receptuur is inmiddels verwerkt in praktische richtlijnen.
- 2022-2023: Het project KEM-39 opgezet om de geomechanische en geochemische factoren die de kans op verschuivingen langs bestaande breuken bepalen tijdens drukopbouw en cycli van ondergronds opslag van CO_2, H_2 en N_2 is in 2022 gestart en afgerond. Geconcludeerd is dat voor deze gassen dezelfde methode van veilige bandbreedte voor reservoirdrukken gehanteerd kan worden als voor methaan (zie ook resultaten van KEM-01). De studie constateert ook dat kennis in de literatuur over geochemische effecten bij breuken voor N_2 en H_2 nog zeer beperkt is en om meer fundamenteel onderzoek vraagt.
- 2020-2023: Het onderzoek KEM-15, dat zich richt op een verbeterd begrip van de geomechanische effecten ten gevolge van koud waterinjectie bij geothermische systemen is afgerond. Er is gekeken naar parameters en combinaties van parameters, zowel geomechanisch als operationeel, die een rol spelen bij mogelijke geïnduceerde seismiciteit. Er is ook specifiek gekeken naar het risico op seismiciteit wanneer breuken binnen de invloedssfeer zitten van het geothermische systeem. Als onderdeel van het project is er een probabilistische seismische dreigingsanalyse ontwikkeld. De evaluatie van dit project is afgerond waarna het project begin 2024 door SodM wordt gepubliceerd en tegelijk via de website van het KEM beschikbaar zal komen.
- *2021-2024: In de KEM-27 literatuurstudie naar monitoring methoden van ondergrondse CO_2 opslag offshore zijn veel boorgat en geofysische monitoringstechnieken die gebruikt zijn in diverse CO_2 opslagprojecten wereldwijd geïnventariseerd. Er is een technische review uitgevoerd op de 'best practices' voor het monitoren van CO_2 injectie en daarnaast worden nieuwe technieken geëvalueerd op bruikbaarheid in Nederland. De resultaten helpen om de monitoringsplannen voor offshore CO_2 opslag in Nederland beter te beoordelen.*

Lopend en startend onderzoek naar seismische dreiging- en risico's in 2024

In 2024 liepen diverse grote projecten, die in 2022 bijdragen aan de publieke kennisontwikkeling ten aanzien van seismische mijnbouwrisico's. Daarnaast zijn nieuwe onderzoeksvragen door het KEM-panel gearticuleerd en goedgekeurd en eind 2024 in de opstartfase (**in italic**). Het betreft de volgende projecten:

- 2023-2024: Het project KEM-19 dat onderzoek doet naar de lange termijn drukvereffening en vloeistofstroming in en rondom gasvelden in Noord-Nederland, de lange termijn bodembewegingseffecten daarvan (bodemdaling en seismiciteit) na sluiting van het gasveld in Groningen, is in 2022 afgerond en verlengd. De uitbreiding van dit werk richt zich specifiek op het gebied ten zuidwesten van het Groningen veld, waar na-ijlingseffecten in de omliggende aquifer van het Groningen gasveld te verwachten zijn. Het doel is deze effecten goed te modelleren middels een uitbreiding van de publieke SDRA. Dit project is 2025 klaar.

- 2023-2024: In 2023 is het KEM-48 project gestart dat – mede op verzoek van bewoners – de cumulatieve effecten van meervoudige mijnbouwactiviteiten (gaswinning en -opslag) en meervoudige risico's (seismisch, bodemdaling, lekkage) in het gebied rondom de gasopslag Grijpskerk onderzoekt. Dit project in 2025 klaar.
- *2024-2025: Onderzoeksvraag KEM-52 betreft effecten van meervoudige reservoirs bij geothermische productiesystemen. Deze vraag is geaccepteerd en wordt in 2025 opgepakt.*
- *2024-2025: Onderzoeksvraag KEM-55 betreft de review van natuurlijke en door de mens geïnduceerde (voormalige kolenmijnbouw) seismische dreiging en risico's in Limburg. Deze vraag is geaccepteerd en wordt in 2025 gestart.*
- *2024-2025: Onderzoeksvraag KEM-56 is gericht op het – met de kennis van Groningen - evalueren van maximale magnitude (Mmax) en gesimuleerde magnitude (Msim) voor kleine gasvelden. Deze vraag is geaccepteerd en wordt in 2025 opgepakt.*

Overige onderzoeksvragen

Een aantal van de tot en met 2024 geïdentificeerde onderzoeksvragen met betrekking tot seismische effecten wachten nog op een definitieve besluitvorming. Dat betreft:

- 2021: KEM-21 en KEM-22 gericht op het - met behulp van AI- op korte termijn voorspellen van de kans op aardbevingen (sinds 2020) heeft geen urgentie. De huidige monitoring en signalering van met behulp van seismische activiteit en dichtheid parameters wordt afdoende geacht. Deze vraag is vooralsnog aangehouden.
- 2021: De KEM-40 onderzoeksvraag is gericht op mogelijke en mate van invloed van cyclische belastingen op de sterkte van opslag reservoirs of-cavernes. Deze vraag wordt in 2025 beoordeeld.
- 2021: Onderzoeksvraag KEM-41 is gericht op verdere afstemming van en communicatie betreffende Seismische monitoring, SDRA modellen en de NPR normstelling. Deze vraag is vooralsnog aangehouden.
- 2022: Onderzoeksvraag KEM-46 is gericht op de natuurlijke en geïnduceerde seismiciteit zowel offshore in het Q kwadrant als op land in Noord-Holland en Utrecht. Dit zijn regio's waar lichte bevingen zijn geweest en nieuwe mijnbouwactiviteiten verwacht worden. De vraag is of er een natuurlijke component in de geobserveerde bevingen zit. Deze vraag is aangehouden.
- 2023: Onderzoeksvraag KEM-2023-c betreft grootschalige injectie van zeewater in Groningen om seismische risico's te reduceren. Deze vraag wordt in 2025 besproken met het KEM-panel om te beoordelen of dit een project moet worden gezien de uitkomsten van KEM-19b en 24b.

Status onderzoeksvragen aangaande de ontwikkeling publieke seismische DRA instrumenten

Groningen en kleine gasvelden

Er zijn er een viertal KEM-projecten uitgevoerd specifiek voor de opzet van publieke seismische dreiging- en risicoanalyse (SDRA) toolbox voor Groningen (KEM-03b, KEM-10, KEM-35 en KEM-43).

De resultaten en impact van deze KEM ontwikkelprojecten:

- 2020: TNO heeft een publiek beschikbare SDRA-tool voor Groningen opgeleverd waarmee de seismische dreiging en risico's voor een gegeven productiescenario honderd tot duizendmaal sneller dan voorheen en onafhankelijk kunnen worden berekend (KEM-03, KEM-10, KEM-35). De TNO SDRA-tool is vergeleken met de uitkomsten van met de vs6 HRA berekeningen van NAM. Bij gelijke aannames en parameters zijn de uitkomsten vrijwel dezelfde. Het TNO SDRA tool is in 2021 door de overheid gebruikt als onderbouwing voor de operationele strategie van het Groningen gasveld voor gas-jaar 2021-2022. In het KEM vindt een gevoeligheidsanalyse plaats (KEM-09) waarvan de uitkomst in 2022 is opgeleverd.
- 2021-2022: De in onderzochte en ontwikkelde verbeteringen in de SDRA versies (KEM-35) betreffen (1) de kalibratie met meer en betere data, (2) seismische bronmodel (o.a. op basis van KEM-08 inzichten), het grondbewegingsmodel (o.a. op KEM-02, KEM-04 inzichten) en consequentiemodel (conform adviezen van het KEM-subpanel). Het ontwikkelde testraamwerk stelt TNO in staat om de alternatieve (sub)modellen en kalibraties te vergelijken voordat deze in een nieuwe versie opgenomen worden. In 2021 zijn vooral seismische bronmodellen getest.
- 2021-2022: In 2022 is een uitgebreide gevoeligheidsanalyse studie afgerond, waarin de meest bepalende parameters en modelaannames in de risicoberekeningen van de SDRA Groningen inzichtelijk zijn gemaakt (KEM-09). Uit de gevoeligheidsanalyse bleek dat de meest gevoelige en bepalende parameters voor het

seismische bronmodel de maximale magnitude verdeling (Mmax) en de relatie tussen het aantal bevingen en de magnitude (Magnitude-frequentie relatie) zijn. Deze zijn met enkele andere parameters in het grondbewegingsmodel en consequentie model het meest bepalend voor de SDRA-uitkomsten en bandbreedtes van de onzekerheden. Voor de gevoeligheidsanalyse is in 2021 een testinfrastructuur ontwikkeld. Deze ontwikkelde testinfrastructuur stelt TNO in staat om alternatieve (sub)modellen en kalibraties te vergelijken en te beoordelen alvorens deze eventueel worden opgenomen in formele versies van het Groningen SDRA modelinstrumentarium. Met deze testbank en mogelijkheden voor gevoeligheidsanalyses ontwikkeld in KEM-09 wordt het SDRA-model Groningen in de toekomst doelgerichter verbeterd. In 2022 is deze testinfrastructuur verder verbeterd en zijn er opnieuw gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

- 2021-2023. TNO heeft op basis van eerder KEM onderzoek (KEM03/10/35/43) een instrument ontwikkeld waarmee de seismische dreiging en risico's voor een gegeven productiescenario in Groningen snel en onafhankelijk kan worden geanalyseerd. De in 2022 in KEM-43 onderzochte en ontwikkelde verbeteringen betreffen (1) de kalibratie met meer en betere data, (2) alternatieve seismische bronmodel (o.a. op basis van KEM-08 inzichten), het grondbewegingsmodel (o.a. op KEM-02, KEM-04 inzichten) geschikt voor risicoanalyses na het stoppen van de productie (3) GMMV7 grondbewegingsmodel en consequentiemodel (conform adviezen van het KEM-subpanel). De resultaten van ontwikkelingen en berekeningen van het SDRA instrument van TNO zijn bij gelijke aannames en parameters vrijwel identiek aan de uitkomsten berekend van met de HRA V6 of V7 van NAM. In 2023 is de publieke SDRA online gekomen: Publieke SDRA Groningen | NLOG.

Het KEM-subpanel (zie hoofdstuk 5.3 en bijlage B) adviseert aan KGG over de verdere modelontwikkelingen van het resulterende publieke SDRA-tool voor Groningen bij TNO en aan SodM over het gebruik van een gevalideerde versies door overheid of derden. Het KEM-subpanel heeft afgelopen jaren tot 2023 adviezen over respectievelijk modelversie status en modelontwikkelprogramma afgeleverd. In december 2022 is het advies over de status van de modelversies voor de SDRA 2023 verstrekt aan SodM. Het advies aan KGG over SDRA modelontwikkeling 2023 is begin februari 2023 opgeleverd. Eind 2023 is er niet geadviseerd omdat de gaswinning in Groningen per 1 oktober 2023 is getopt. Eind 2023 is een mijlpaal bereikt en is de code en het model van de publieke SDRA Groningen openbaar toegankelijk gemaakt via: Publieke SDRA Groningen | NLOG.

In 2023 en 2024 heeft TNO verder gewerkt aan de Groningen SDRA en nieuwe functionaliteiten opgeleverd. SodM heeft het KEM subpanel gevraagd om advies over de werking en toepassing van deze nieuwe functionaliteiten voor de publieke SDRA Groningen. Dit advies wordt begin 2025 verwacht.

Daarnaast zijn er twee onderzoeksvragen aangaande SDRA ontwikkelingen:

- *2024: Onderzoeksvraag KEM-57 betreffende Modelevaluatie en testomgeving geïnduceerde seismiciteit geo-engineering. Deze wordt in 2025 behandeld.*
- *2024: Onderzoeksvraag KEM-53 betreffende het mogelijke hergebruik van SDRA Groningen methoden en modellen voor kleine gasvelden.*

Gasopslag, waterstofopslag en geothermie

Op het gebied van gasopslag, waterstofopslag en geothermie lopen bij KEM op het moment van schrijven geen SDRA ontwikkelprojecten.

3.2 Bodemdalingsrisico's

Status onderzoeksvragen bodemdalingsrisico's

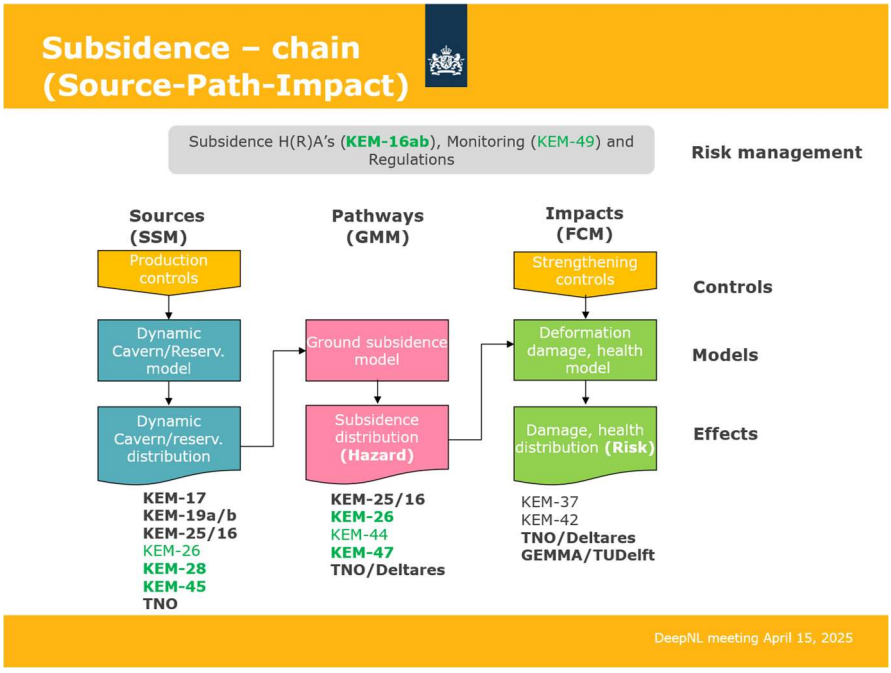
In het KEM zitten er diverse onderzoekvragen gerelateerd aan bodemdalingsrisico's. Een aantal onderzoeksvragen zijn gerelateerd aan zoutcavernes (KEM-17, KEM-26, KEM-49). Onderzoeksvragen bij Groningen betreffen zettingen (bodemdaling) ten gevolge van bevingen (KEM-05a en KEM-14), de invloed van ondiepe heterogeniteiten (KEM-47) en bodemdaling na abandonnering van het Groninger gasveld (KEM-19ab). Daarbij komt bodemdaling ook aan de orde in de ontwikkeling van de SDRA (o.a het Rate Time isotach Compaction Model). Verder zijn er twee onderzoeken naar de combinatie en accumulatie van bodemdaling door een combinatie van verschillende diepe mijnbouw en ondiepe andere oorzaken (KEM-16, KEM-48).

In 2024 liepen er verschillende onderzoeken met betrekking tot bodemdaling: 3D modelleren van bodemdaling van meerdere mijnbouwactiviteiten en heterogene geologische ondergrond en validatie 1D/2D bodemdaling instrumenten (KEM-47), het– mede op verzoek van bewoners – onderzoeken van cumulatieve effecten van meervoudige mijnbouwactiviteiten (gaswinning en -opslag) en meervoudige risico's (seismisch, bodemdaling, lekkage) in het gebied rondom de gasopslag Grijpskerk (KEM-48). In 2024 zijn er een viertal onderzoeksvragen met betrekking tot bodemdaling in het KEM panel besproken en geaccepteerd: Lokale bodemdaling gradiënten of drempels en bouwschade (KEM-44), de invloed van gecontroleerde pekelontsnapping ("controlled brine bleed-off") op de stabiliteit van cavernes en caverne-clusters (KEM-45), de risico's van caverne instorting en 'sinkhole' ontwikkeling (KEM-26) en bodemdaling monitoring met InSAR bij ondiepe cavernes in Twente (KEM-49).

De projectresultaten, inclusief de evaluatie door het KEM-panel zijn te vinden of komen beschikbaar op de KEM-website. Tot en met 2024 zijn de resultaten van KEM-05, KEM-16a, KEM-17, KEM-19 daarnaast ook gedeeld met rijksoverheden en de wetenschap, universiteiten, kennisinstellingen, in Nederland in de gezamenlijke KEM-DeepNL colloquia. De resultaten van lopende onderzoeken (KEM-19b, KEM-47, KEM-48) volgen naar verwachting begin 2025. Een aantal onderzoeksvragen zijn met argumentatie door het KEM-panel afgewezen, doorverwezen, niet behandeling genomen of aangehouden.

Resultaten en impact van onderzoek bodemdaling dreiging en -risico's tot en met en in 2024

Ten opzichte van 2017 is het KEM-panel van mening dat eind 2024 verdere stappen zijn gemaakt in de kennisontwikkeling ten aanzien van de bodemdalingsrisico's door mijnbouw. Het betreft (**resultaten 2024 in *cursief***):



- 2019: Het inzicht is ontstaan dat beter moet worden nagedacht over de beste methode om - met name meer dan 1000 meter diepe - zoutcavernes na afloop van de winningsperiode achter te kunnen laten, zonder toekomstige bodemdaling- of lekkagerisico's. Hiermee kunnen randvoorwaarden voor nieuwe gasopslagen in zoutcavernes en de wijze van abandonnering van bestaande zoutcavernes worden aangepast teneinde bodemdaling en -lekkagerisico's te beheersen (KEM-17).
- 2020-2021: In twee studies is het cumulatieve effect van meerdere bevingen op het zettingsgedrag van de ondiepe bodem (KEM-05a) en de mogelijkheid tot verweking (KEM-14) van de ondiepe bodem in Groningen onderzocht. De conclusie is dat sommige bodemtypen gevoeliger zijn dan andere, maar dat er voor de gaswinning in Groningen geen extra risico's zijn.
- 2020-2022: Het project KEM-19a dat de lange termijn drukvereffening en vloeistofstroming in en rondom het Groningen gasveld onderzoekt is in 2022 afgerond. In dit project werden de lange termijn bodembewegingseffecten (bodemdaling en seismiciteit) na sluiting van het Groningen gasveld nader onderzocht. Daarnaast werden ook vloeistoflekkage of -migratie effecten op de lange termijn beschouwd. De resultaten geven meer duidelijkheid over locatie en aard van te verwachten bodembewegingen na het stoppen van de productie in Groningen. Het onderzoek concludeert dat de kans op bodemdaling en seismiciteit rondom het Groningen gasveld licht toeneemt maar beperkt zal zijn. Daarnaast zal de bodemdalingssnelheid en seismiciteit boven het Groningen reservoir afnemen. De kans op en omvang van gaslekkagerisico's door de gaswinning in Groningen is berekend en wordt klein geacht.

- 2021-2023: Het deelproject KEM-16a richt zich op de ontwikkeling en integratie van publieke bodemdaling dreiging en risicoanalyse tools. Het betreft ten eerste de kwantificering van bodemdaling door een combinatie van diepe oorzaken en ondiepe oorzaken. Ten tweede betreft het de cumulatieve diepe bodemdaling voor een gebied met meerdere diepere oorzaken (meerdere gaswinningen). Ten derde betreft dit de interactie tussen verandering in oppervlaktewater en grondwater, wat heeft geleid tot een nieuw deelproject KEM-16b. Dit deelproject is geheel afgerond en heeft geresulteerd in 'best practices' en robuuste bodemdaling Dreiging (Risico) Analyse D(R)A tools voor meervoudige diepe bodemdaling, GitHub - TNO/PySub: Model framework to determine subsidence caused by mining effects. Hiermee is ook onderzoeksvraag KEM-25 beantwoord en vervalt deze.
- *2023-2024: Het KEM-16b deelproject richtte zich op de relatie tussen bodemdaling en de kans op schade aan gebouwen aan het oppervlak door de interactie van ondiepe door grondwaterpeil fluctuaties gedreven bodemdaling en diepe bodemdaling. De literatuurstudie en modelleringexercities hebben geleid tot een verbeterd inzicht in de (on)diepe bodemdaling oorzaak-effectketen en een tool om deze - na een goede validatie – betrouwbaar in te schatten. Een belangrijke conclusie is dat de richtlijnen uit 1987 van de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning (CBA) een te klein bereik van de impactfactoren bevatten voor de relatie tussen oppervlaktewaterverandering en grondwaterverandering.*

Doorlopend onderzoek naar bodemdaling dreiging- en risico's tot en met 2024

In 2024 liepen enkele grote projecten, die in 2025 gaan bijdragen aan de publieke kennisontwikkeling ten aanzien van bodemdaling dreiging en risico's. Daarnaast zijn er in 2024 nieuwe onderzoeksvragen door het KEM-panel gearticuleerd en goedgekeurd. Het betreft de volgende projecten:

- *2023-2024: Het KEM-19b project dat onderzoek doet naar de lange termijn drukvereffening en vloeistofstroming in en rondom gasvelden in Noord-Nederland, de lange termijn bodembewegingseffecten daarvan (bodemdaling en seismiciteit) na sluiting van het gasveld in Groningen, is in 2022 afgerond en verlengd. De uitbreiding van dit werk richt zich specifiek op het gebied ten zuidwesten van het Groningen veld, waar na-ijlingseffecten in de omliggende aquifer van het Groningen gasveld te verwachten zijn. Het doel is deze effecten goed te modelleren middels een uitbreiding van de publieke SDRA. Dit project is in 2025 klaar.*
- *2023-2024. Het 3D modelleren van bodemdaling met heterogene geologische ondergrond en de vergelijking met bestaande 1D/2D bodemdalingsinstrumenten om te onderzoek wat de lokale variëteit in bodembewegingen kan zijn en te bepalen bij welke heterogeniteit de bestaande modellering niet voldoet (KEM-47). Dit project is in 2025 klaar.*
- *2023-2024. Het – mede op verzoek van bewoners – onderzoeken van cumulatieve effecten van meervoudige mijnbouwactiviteiten (gaswinning en -opslag) en meervoudige risico's (seismisch, bodemdaling, lekkage) in het gebied rondom de gasopslag Grijpskerk (KEM-48). Dit project is in 2025 klaar.*
- *2021-2025: Onderzoeksvraag KEM-44 naar lokale bodemdaling gradiënten en gebouwschade is – na afwijzing van SodM – alsnog opgepakt door KGG. Dit project zal in 2025 starten.*
- *2022-2025. De invloed van gecontroleerde pekelontsnapping ("controlled brine bleed-off") op de stabiliteit van cavernes en caverne-clusters en wat zijn de optimale operationele condities zijn onderwerp van onderzoek (KEM-45). Het project is eind 2024 gestart.*
- *2024-2025: Onderzoeksvraag KEM-49 betreffende InSAR monitoring van ondiepe cavenes in Twente is geaccepteerd en zal in 2025 starten.*

De onderzoeksvragen van alle projecten, die gestart zijn, zijn te vinden of komen beschikbaar op de KEM-website.

Overige onderzoeksvragen

Een aantal van de tot en met 2024 geïdentificeerde onderzoeksvragen met betrekking tot seismische effecten wachten nog op een definitieve besluitvorming. Dat betreft:

- 2021: Onderzoeksvraag KEM 37 (via Tcbb) naar impactmodellen voor een (cyclische) bodemdaling modelketen is aangehouden, o.a. wachtend op resultaten van GEMMA en TNO onderzoek.
- 2021: Onderzoeksvraag KEM-38 (via Tcbb) betreffende optimalisatie (nationale) en integratie bodemdaling monitoring (geodesie, InSar, etc.) is aangehouden, o.a. wachtend op resultaten van KEM-49 onderzoek.

- 2021: Onderzoeksvraag KEM-42 (via Tcbb) naar bodemdaling- en stijgingsprocessen in Limburg is vooralsnog te ongespecificeerd en aangehouden.

Een ander deel van de onderzoeksvragen heeft het KEM-panel om verschillende redenen afgewezen of hebben geen prioriteit gekregen. De projecten die tot en met 2024 afgewezen zijn te vinden in bijlage C.

Status onderzoeksvragen aangaande publieke bodemdaling risicomodellen

Er is een onderzoeksvraag, waarin de evaluatie en opzet van de publieke dreiging en risicoanalyse tool voor bodemdaling een onderdeel is (KEM-16). Tezamen met belanghebbenden is vorm gegeven aan drie deelprojecten voor KEM-16 een cumulatie van bodemdaling door verschillende mijnbouwactiviteiten, een combinatie van diepe en ondiepe oorzaken en een combinatie van bodemdaling met schade aan gebouwen. Bij deze deelprojecten worden publieke bodemdaling dreiging analyse instrumenten ingezet en opgeleverd.

KEM-16 heeft hierbij de eerste publieke tools (GitHub - TNO/PySub: Model framework to determine subsidence caused by mining effects.) gepubliceerd, geschikt voor het bepaling van meervoudige bodemdaling (TNO2022_R11962 report).

3.3 Milieurisico's ondergrond en installaties

Status onderzoeksvragen aangaande lekkagerisico's

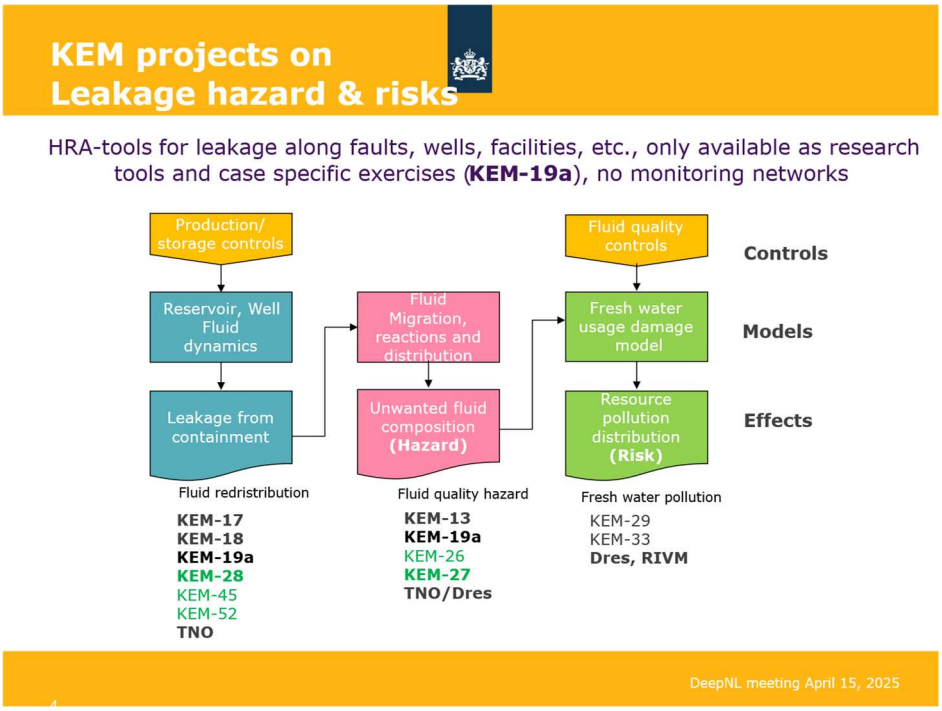
Er zijn in KEM 3 onderzoekvragen gerelateerd aan milieu (lekkage) dreiging en risico's bij putten in **reservoirs** (KEM-13, KEM-18, KEM-19a). Deze waren voor 2024 afgerond> In 2024 is het onderzoek naar monitoring van CO_2 opslag (KEM-27) afgerond.

Er zijn 4 onderzoeksvragen over lekkage risico's van **zoutcavernes** (KEM-17, KEM-28, KEM-45 en KEM-26). KEM-17 en KEM-28 zijn afgerond en KEM-45 en KEM-26 waren eind 2024 in de opstartfase.

Er zijn twee projecten gerelateerd aan milieu of emissierisico's van ondiepe **faciliteiten** (KEM-33, KEM-31). Beiden zijn afgerond. De hoeveelheid onderzoeksvragen op het gebied van ondiepe en bovengrondse faciliteiten (met mogelijk gevaar, hinder en milieuschade tot gevolg) is tot nu toe beperkt gebleven overeenkomstig de KEM-focus op de ondergrondse dreiging en risico's.

Resultaten en impact van onderzoek milieu dreiging en risico's tot en met en in 2024

Ten opzichte van 2017 is het KEM-panel van mening dat eind 2023 nu de eerste belangrijke stappen zijn gemaakt in de kennisontwikkeling ten aanzien van de 'lekkagerisico's door mijnbouw. Enkele specifieke uitkomsten en impact van KEM-onderzoeken op dit gebied zijn (**resultaten 2024 in *cursief***):



Milieurisico's putten en reservoirs

- 2017-2018: Het onderzoek naar het risico's van het boren door zout-stringers is afgerond en heeft geleid tot de aanbevelingen voor aanpassingen in de toegepaste

methodiek, o.a. via de noodzaak van daarop gericht 3D seismisch vooronderzoek (KEM-13).

- 2020-2021: Het onderzoek naar lange termijn lekkage risico's langs boorgaten en putten, die geabandonneerd zijn (KEM-18) is in 2021 afgerond. In deze gedegen studie zijn op basis van wereldwijde ervaringen en inzichten de belangrijkste risicofactoren voor lekkage door en langs de afsluitende cementpluggen geïdentificeerd. Hiermee kan een kwalitatieve risicoscan en monitoring van alle verlaten putten in Nederland vormgegeven worden en het beheer daarvan in relatie tot toekomstig gebruik van de ondergrond verbeterd.
- 2021-2022: Onderzoek naar het effect de mogelijke lange termijn horizontale (in gas en watervoerende formaties) en verticale migratie (langs putten) van vloeistoffen na abandonnering van gasvelden is gestart. De resultaten geven aan dat communicatie tussen de gasvelden langzaam is en verticale lekkage langs putten beperkt is (KEM-19a).
- *2021-2024: Er is een literatuurstudie gaande naar monitoring methoden van ondergrondse CO_2 opslag offshore (KEM-27). Veel boorgat en geofysische methoden zijn in diverse CO_2 opslagprojecten wereldwijd gebruikt en gevalideerd. Er wordt een technische review uitgevoerd op de 'best practices' voor het monitoren van CO2 injectie en daarnaast worden nieuwe technieken geëvalueerd. De resultaten moeten helpen monitoringsrichtlijnen voor CO_2 opslag in Nederland aan te scherpen.*

Milieurisico's cavernes

- 2019: In het KEM-17 onderzoek is het inzicht ontstaan dat veel beter moet worden nagedacht over de beste methode om - met name meer dan 1000 meter diepe - zoutcavernes na afloop van de winningsperiode achter te kunnen laten, zonder toekomstige bodemdaling- of lekkagerisico's. Hiermee kunnen naast randvoorwaarden voor gasopslagen in zoutcavernes en de wijze van abandonnering van zoutcavernes worden aangepast teneinde bodemdaling en -lekkagerisico's te beheersen.
- *2024-2025: Het KEM-28 onderzoek naar en risico analyse van ondergrondse waterstof (H_2) opslag in conglomeraten van zoutcavernes (KEM-28) is in 2023 afgerond en is in 2024 gepubliceerd. Geconcludeerd wordt dat opslag technisch mogelijk is, maar dat er allereerst per locatie specifiek onderzoek een vereiste is en dat er diverse preventieve en correctieve maatregelen nodig zijn. In het rapport worden hiervoor handreikingen gegeven, waarmee ook de eventuele dreiging en risico's voor H_2 opslag in zoutcavernes beter beheerst kunnen worden.*

Milieurisico's ondiepe faciliteiten

- 2019: Het onderzoek naar Brent platform ontmanteling is in 2019 uitgevoerd en gerapporteerd (KEM-33). Het advies heeft mede het standpunt van Nederland ten opzichte van deze kwestie bepaald.
- 2020-2021: Het onderzoek naar infrageluid, afkomstig van de ondergrond en mijnbouwfaciliteiten (KEM-31) heeft voor het eerst de infrageluid bronnen van mijnbouwactiviteiten, verspreidingsvormen en hinderlijke effecten systematisch op een rij gezet. Duidelijk is dat infrageluid voorkomt, diverse oorzaken kan hebben en dat die vanwege een gebrek aan monitoring niet altijd te traceren zijn. SodM beraadt zich op een vervolg.

De projectresultaten, inclusief de evaluatie door het KEM-panel zijn te vinden op de KEM-website. Tot en met 2024 zijn de resultaten van KEM-13, KEM-17, KEM-19a gedeeld met de rijksoverheden en universitaire wereld in Nederland in de gezamenlijke KEM-DeepNL colloquia.

Lopend en startend onderzoek naar milieu risico's

In 2024 liepen enkele grote projecten, die in 2025 gaan bijdragen aan de publieke kennisontwikkeling ten aanzien van milieu dreiging en risico's. Daarnaast zijn er in 2024 nieuwe onderzoeksvragen door het KEM-panel gearticuleerd en goedgekeurd. Het betreft de volgende projecten:

- *2022-2025: Het KEM-26 project richt zich een review en best-practices van de kwantificering van het proces van zinkgatontwikkeling boven cavernes. Welke condities maken dit mogelijk, wat is de snelheid van migratie naar het oppervlakte en wat is het uiteindelijk effect?*
- *2023-2025: KEM-45 is een project dat zich richt op de invloed van gecontroleerde pekelontsnapping ("controlled brine bleed-off, CBBO") op de stabiliteit van cavernes en caverne-clusters. Wat zijn de effecten van CBBO: op de bodemdaling, op de stabiliteit en op de integriteit van de caverne? Wat zijn de best practices voor stabiliteit"fast and a lot" of "slow and few" releases? De studie zal een van de bouwstenen zijn om de risico's van verschillende scenario's voor het verlaten van cavernes te beoordelen: zoals harde afsluiting, CBBO, gecontroleerde hoge druk of het vullen van cavernes.*

- *2024-2025: Wat zijn mogelijke risico's van het gebruik van meervoudige reservoirs (reservoirs op verschillende diepten) bij geothermie? Gegeven verschillende reservoir- en vloeistofeigenschappen van aquifers, hoe verloopt de vloeistofcirculatie en zijn er lekkagerisico's en wat zijn mogelijke maatregelen daartegen (KEM-52).*

De onderzoekvragen van de projecten, die gestart zijn, zijn te vinden of komen beschikbaar op de KEM-website.

Overige onderzoeksvragen

Een aantal van de tot en met 2024 geïdentificeerde onderzoeksvragen heeft het KEM-panel om verschillende redenen afgewezen, geen prioriteit gekregen of aangehouden, wachtende op definitieve besluitvorming:

- De KEM-29 onderzoeksvraag met betrekking tot transport van waterstof en CO_2 door bestaande gaspijpleidingen is in 2021 besproken en heeft op verzoek van SodM geen prioriteit gekregen.
- De KEM-2023-a onderzoeksvraag betreffende een review van de seal integrity modellering van geothermische reservoirs is afgewezen, aangezien het geen onderzoek betreft.

Er zijn op dit moment nieuwe onderzoeksvragen noch onderzoeken op dit aandachtsgebied.

Status onderzoeksvragen aangaande publieke milieu risicomodellen

Milieudreiging en -risico's vallen deels onder de Mijnbouwwet en de Omgevingswet. De bovengrondse milieudreiging en -risico's worden op dit moment afgeschat in de MER plannen die verplicht zijn en de ondergrondse dreiging en -risico's worden in de in de winning plannen van mijnbouwbedrijven ingeschat. Het ontbreekt in het algemeen aan voldoende meetdata en statistiek om de kwantitatieve modellen goed te kalibreren.

Er is derhalve nog geen onderzoeksvraag voorzien voor de ontwikkeling een publieke risico-toolbox voor ondergrondse milieurisico's, maar er zijn wel onderzoeksinstrumenten die als basis kunnen dienen. Wat betreft de migratie van vloeistoffen in en rondom reservoirs zijn reservoirsimulatie instrumenten beschikbaar. Wat betreft milieurisico's van putten in reservoirs heeft project KEM-18 relevante kennis opgeleverd en in KEM-19 is een modelleer workflow beschikbaar gekomen voor het afschatten van de risico's op lekkages door putten van gasvelden. Het modelleren van milieurisico's van cavernes kent nog uitdagingen. Tools voor en emissies van ondiepe mijnbouwfaciliteiten zijn veelal beschikbaar, met uitzondering voor infrageluid.

3.4 Maatschappelijke effecten mijnbouw

In 2024 hebben de eerste discussies plaatsgevonden om tot een KEM onderzoek agenda te komen van onderzoek naar maatschappelijke of sociale effecten van mijnbouw. In 2024 hebben de eerste acties plaatsgevonden ter oprichting van het expertpanel voor Sociale Effecten Mijnbouw (SEM) binnen het KEM-programma. Zo is er onder andere: een terms of reference vastgesteld (bijgevoegd); KGG en SodM hebben een functieprofiel voor de SEM-voorzitter en SEM-panelleden afgestemd en gesprekken gevoerd met potentiële kandidaten; en is er gewerkt aan een onderzoeksagenda sociaalmaatschappelijke effecten mijnbouw. Na een positief gesprek met de Directeur-Generaal Groningen en Ondergrond (KGG) en de Inspecteur-Generaal der Mijnen (SodM), is Prof. Danielle Timmermans aangesteld om het SEM-panel voor te zitten. Het is de bedoeling dat het SEM-panel in 2025 compleet is en daarna de eerste onderzoeken uitzetten.

4. Kennisborging en -uitwisseling

In de kamerbrief 2016 (zie annex 1) is aan KEM en het KEM-panel opgedragen dat de agendering van kennisvragen en de in KEM-onderzoeken ontwikkelde kennis op het gebied van mijnbouwrisico's geborgd en gedeeld moeten worden via kennisuitwisseling. Ook in 2024 is daar op drie fronten aan gewerkt:

1. Informatiedeling via kemprogramma.nl, de KEM-website
2. Kennisborging in publieke DRA-modellen, zoals SDRA Groningen.
3. Communicatie met de omgeving ten aanzien van verschillende mijnbouwrisico's;

4.1 Kennisdeling via kemprogramma.nl

Het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw startte in 2017. Oktober 2018 is de Engelstalige versie van de KEM-website online gekomen. In januari 2019 volgde de Nederlandse versie. Op de website zijn allereerst de algemene informatie over het KEM (de opdracht, het strategische kader en kennisagenda's, de werkwijze van het wetenschappelijk expert panel) en de actuele status van onderzoeksvragen en onderzoeken te vinden (inclusief evaluaties van het KEM-panel en link naar reacties van KGG en SodM). Daarnaast worden de KEM-jaarverslagen gepubliceerd en is er de mogelijkheid om feedback te geven op het KEM.

Het meest bezochte deel van de website is ook in 2024 de informatie over de geaccepteerde en uitgevoerde onderzoeksprojecten (vraag, beschrijving, resultaten, impact, etc.). De evaluatie, die na afsluiting van de KEM-onderzoeken door het wetenschappelijk expert panel gemaakt wordt, maakt onderdeel uit van de projectinformatie. In 2024 zijn er de eindrapportages en evaluaties van een vijftal projectresultaten en -evaluaties toegevoegd. Daarnaast zijn er 4 nieuwe goedgekeurde onderzoeksvragen bijgeplaatst. Er zijn via de website slechts een handvol reacties of vragen binnengekomen, die allen beantwoord zijn.

De ervaringen vanaf afgelopen jaren laten zien dat de website intussen goed gevonden wordt. De website had in 2024 circa 2600 bezoekers, die meer dan 31.000 pagina's bekeken, voornamelijk de KEM-projectpagina's, de verschillende onderzoeken.

Sinds 2021 is de website iets publieksvriendelijker vormgegeven, maar nog niet op het gewenste niveau van gebruikersvriendelijkheid, zoals uit de KEM evaluatie bleek. In 2023 is besloten om in de website in 2024 flink te verbeteren en de mogelijkheid om te reageren te vergemakkelijken. In 2024 is een nieuwe KEM website ontworpen, die in 2025 in gebruik genomen kan worden.

4.2 Kennisborging in publieke DRA-modellen

Seismische dreiging en risico's

Het KEM-panel startte in 2017 met het scherper inkaderen, prioriteren en focussen van KEM en sturing op de ontwikkeling en het verbeteren in het onafhankelijke, publiek beschikbare mijnbouw risico instrumentarium, te beginnen met de seismiciteit Groningen. Het voorstel voor het opzetten van publieke mijnbouw risicotoolboxen en de bijdrage daaraan vanuit het KEM is door KGG en SodM omarmd. Er is vanaf 2018 een proces gestart om het publieke seismisch risico instrumentarium voor Groningen door TNO te helpen laten ontwikkelen via het KEM. In 2020 is de eerste versie het publieke Seismische Dreiging en Risico Analyse instrument (publieke SDRA) door TNO gerealiseerd en vergeleken met NAM HRA vs5 en beschikbaar gekomen voor gebruik vanaf 2021.

Deze versie is per 2021 in gebruik genomen. Er is een KEM-subpanel, gelieerd aan het KEM wetenschappelijk expert panel, opgericht om jaarlijks technisch-inhoudelijk te adviseren over de verdere ontwikkelingen van dit instrument (zie paragraaf bijlagen B en D). In 2021 is door TNO een eerste opzet van het door KEM-subpanel geadviseerde test en gevoeligheidsanalyse raamwerk gerealiseerd (onder andere in het KEM-09 project). Dit test raamwerk is in 2022 afgerond. Met het test raamwerk kan op transparante wijze inzicht verkregen worden in de uitkomsten, verschillen en onzekerheden van verschillende (onderdelen van) seismische dreigings- en risicomodellen. Dit is intussen de basis voor het evalueren van de kwaliteit van modules en versies van de door TNO ontwikkelde publieke SDRA en maakt het testen van alternatieve modellen en modules eenvoudig mogelijk.

Sinds 2023 zijn door TNO in aanvulling op de NAM V6 en V7 modellen diverse verbeterde of alternatieve functionaliteiten toegevoegd aan de publieke SDRA Groningen. Het KEM-subpanel heeft eind 2022 de laatste inhoudelijke adviezen verstrekt over de door TNO voorgestelde modelversies van de SDRA Groningen voor gas-jaar 2023-2024 en begin 2023 en het ontwikkelplan van (onderdelen van) het de publiek SDRA Groningen voor 2024. Eind 2023 is de door KGG en SodM geautoriseerde versie van de broncode van de SDRA publiek beschikbaar gekomen voor onderzoekers en belanghebbenden: Publieke SDRA Groningen | NLOG. Deze mijlpaal maakt het nu wel voor eenieder mogelijk om inzicht kan krijgen in de voor het beleid gebruikte SDRA en eventueel eigen validatietesten uit te (laten) voeren. Zo kan het vertrouwen groeien in de met deze tools geanalyseerde en onderbouwde keuzes van de overheid inzake het Groningen dossier en op termijn alle dossiers op het gebied van effecten mijnbouw.

De adviesvraag aan het KEM-subpanel eind 2023 is uitgesteld in verband met de sluiting van Groningen in gas-jaar 2024-2025. Eind 2024 loopt er een nieuwe adviesvraag naar het gebruik van de SDRA na afsluiten van het Groningen gasveld. Daarover zal begin 2025 door het KEM subpanel gerapporteerd worden. Wel is al wel geconstateerd dat er in de huidige publieke versie van de SDRA een aantal – bij TNO wel beschikbare - verbeteringen (o.a. RTiCM, GMMV7) ontbreken.

Het KEM-panel meent dat een vergelijkbare streven naar publieke seismische DRA instrumenten voor andere mijnbouwactiviteiten aan te bevelen is en volgt met interesse de lopende initiatieven in deze richting voor kleine gasvelden, geothermie en CO_2 opslag. Een eerste onderzoek is KEM-53.

Bodemdaling dreiging en risico's

Mede door KEM projecten zijn er in 2023 ook verbeterde bodemdaling dreiging analyse modellen (BD(R)A-tools) beschikbaar gekomen, waarbij diepere en ondiepere oorzaken meegenomen worden. Het KEM-project (KEM-16a) naar bodemdaling risico tools heeft een eerste publieke tool opgeleverd voor cumulatieve bodemdaling met meervoudige diepe oorzaken (gaswinning, zout, etc.), die ook al publiek beschikbaar is gesteld: GitHub - TNO/PySub: Model framework to determine subsidence caused by mining effects. Er lopen nog KEM projecten die kunnen bijdragen aan kennis over de combinatie van diepe en ondiepe bodemdalingsoorzaken, de rol van ondiepe geologische heterogeniteiten en de consequenties van bodemdaling op de waterhuishouding en de gebouwde omgeving. KEM-16b en KEM-47. De inzichten zijn nog geen onderdeel van een bodemdaling DRA instrument

Milieudreiging en risico's

Op dit gebied hebben de eerste onderzoeken plaatsgevonden, met name gericht op kennis over mogelijke lekkage via putten (o.a. op basis van KEM-18 en KEM-19a) en na-ijlingseffecten van gasreservoirs en aanliggende aquifers (KEM-19), maar geen projecten specifiek gericht op de kwantificering van milieudreiging en risico's.

Sociale effecten

Deze effecten zijn vanaf 2025 onderwerp van KEM onderzoek. Vooralsnog worden daarbij geen kwantitatieve dreiging en risico instrumenten voorzien.

4.3 Communicatie met de omgeving

De communicatie met de omgeving vindt in 2 gremia plaats. Ten eerste de experts in de wetenschap en de experts bij publieke instellingen zoals KGG, SodM, NCG en instituten als TNO, Deltares en KNMI en ten tweede geïnteresseerden in brede zin bij het regionale overheden, belangengroepen of burgers.

Er is via de secretaris van het KEM-panel en via deelname in elkaars bijeenkomsten intensief contact geweest met andere mijnbouw-gerelateerde onderzoeksprogramma's in Nederland, te weten:

- Wetenschappelijk NWO-onderzoeksprogramma DeepNL, waarmee in colloquia KEM-onderzoek gedeeld en besproken wordt en vice-versa;
- Er zijn sinds 2021 naar aanleiding van KEM onderzoekresultaten gezamenlijk met het NWO-programma DeepNL colloquia georganiseerd met als doel resultaten van (inter-)nationale KEM-onderzoek en onderzoekers met Nederlandse DeepNL-onderzoekers te delen en te bespreken. De projecten KEM-01, KEM-02, KEM-04, KEM-05, KEM-09, KEM-10, KEM-11, KEM-14, KEM-17, KEM-19, KEM-35 en KEM-43 zijn tot en met 2023 in de colloquia al aan de orde geweest. Deze presentaties zijn aan de projectinformatie op de KEM-website toegevoegd en zijn daarmee voor het geïnteresseerde publiek beschikbaar gemaakt. In 2024 hebben er geen colloquia plaatsgevonden, alleen een overzichtspresentatie voor DeepNL onderzoekers.
- Er wordt bijgedragen aan wetenschappelijk symposia en publicaties (KNGMG, NAC). Intussen is de lijst met publicaties vanuit de KEM-onderzoeken aan het groeien (zie bijlage D);

- Door de uitvoering van verschillende KEM-onderzoeken door internationaal gerenommeerde groepen komen ook Nederlandse onderzoekers en beleidsmakers in contact met dit netwerk. Voorbeelden zijn: KNMI werkt samen met Norsar en GfZ, Fugro werkt samen met Italiaanse universiteiten, Deltares en KNMI zijn aangesloten aan het EU Turnkey netwerk, etc.

Daarnaast is er ook in 2024 professioneel contact met de belangrijkste instellingen op het gebied van effecten mijnbouw:

- Publiek toolbox team bij TNO en zusterinstituten, die de kennis uit de KEM-onderzoeken consolideren in risico-tools; met TNO zijn in het kader van de publieke SDRA extra contacten geweest. Daarnaast informatie uitgewisseld met ontwikkelingen van tools voor kleine gasvelden, geothermie en CO2 opslag;
- Initiatieven in het kader van topsector innovatieprogramma's, zoals het Geo-energie programma en Geothermie platform en EBN;
- Andere beleidsmedewerkers en onderzoeken bij KGG, SodM en NCG, die niet via KEM lopen hebben presentaties verzorgt in het overleg van het KEM-panel;
- Last but not least, is het nieuwe Dashboard van KEM en de vermeende prioriteiten voor KEM in 2023-2027 met inbreng van KGG, SodM en de kennisinstellingen TNO, KNMI en Deltares tot stand gebracht en met DeepNL gedeeld.

Contact met de regio's, c.q. de regionale overheden en burgers groeide in 2024.

- KGG en SodM zijn voor het KEM-panel de belangrijkste schakel met regionale overheden. Vragen uit de regio komen via hen tot het KEM panel. In 2024 is samen met de provincie Groningen de KEM-kennisdag georganiseerd. Een goede bijeenkomst waarin alle KEM onderzoeksresultaten en de impact daarvan met de deelnemers gedeeld zijn en nieuwe zorgen en onderzoeksvragen uit de regio verzameld zijn.
- De secretaris van het KEM-panel heeft in 2020-2022 samen met de Rijksuniversiteit Groningen voor NCG diverse introductie presentaties en workshops verzorgd over seismiciteit en bodemdaling voor NCG-medewerkers, medewerkers van de veiligheidsregio Groningen en medewerkers van de gemeente Het Hoogeland betrokken in de versterkingsopgave. In 2024 waren er geen activiteiten.
- In 2024 liep het eerste KEM onderzoek, dat samen met regio's werd opgezet (KEM-48) en waarbij omwonenden bij de uitvoering betrokken zijn.
- Er is via de secretaris van het KEM-panel tot op heden e-mail contact geweest met mijnbouwrisico platforms, zoals: (1) Belanghebbende partijen m.b.t. seismische risico's Groningen en NCG; (2) kennisplatformen Bouwen en versterken en Leefbaar en Kansrijk Groningen; (3) Tcbb en TPA; (4) belanghebbenden bodemdaling, c.q.

Harlingen bodemdaling; (5) belanghebbenden geothermie via het Platform Geothermie (via EBN/KGG) en (6) belanghebbenden kolenmijnbouw via het loket na-ijlingseffecten mijnbouw Limburg (via SodM). Deze contacten zijn ad hoc en niet regulier. Deze contacten hebben ook in 2023 in een aantal gevallen geleid tot het delen van nieuwe kennisvragen en bestaande kennis. Voor veel vragen die gesteld worden was geen aanvullend onderzoek nodig om deze te kunnen beantwoorden. In die gevallen is doorverwezen naar instanties die de beantwoording op zich nemen.

5. Activiteiten wetenschappelijk expert panels

KEM onderzoek wordt begeleid door het KEM wetenschappelijk panel (KEM-panel). Het KEM-subpanel begeleid en adviseert over de ontwikkeling van de publiek seismische dreiging en risicoanalyse model van Groningen van TNO. In dit hoofdstuk worden de activiteiten van de beide panels toegelicht.

5.1 KEM Wetenschappelijk expert panel (KEM-panel)

Het onafhankelijke KEM wetenschappelijk expert panel (KEM-panel) is verantwoordelijk voor de borging van de wetenschappelijke kwaliteit en de onafhankelijkheid van KEM. Het panel beoordeelt de onderzoekvragen; adviseert over de articulatie daarvan; beveelt partijen aan die geschikt zijn om de onderzoeken uit te voeren en evalueert de wetenschappelijke kwaliteit en de duiding van de onderzoeksresultaten. Het KEM-panel was sinds begin 2019 compleet, naar de inzichten bij aanvang in 2017. In 2024 is Prof. Tom Veldkamp aangetreden als voorzitter van het KEM-panel. In bijlage D zijn alle leden van het KEM-panel te vinden. Het KEM-panel heeft overwogen qua expertise uit te breiden, maar vooralsnog gezien het beperkt aantal vragen op andere gebieden (constructies, externe veiligheid) en de mogelijkheid om ad hoc experts in te schakelen is daar niet voor gekozen. Tot nu toe is er – afgezien van het KEM subpanel - geen permanente behoefte gebleken aan een tweede grotere ring van domeinexperts buiten het KEM- panel.

Sinds de start heeft het KEM-panel elk jaar twee fysieke (behalve in 2020 i.v.m. Covid19) en twee conference call bijeenkomsten gehad. De secretaris van het KEM-panel bereidt in overleg met de coördinatoren van KGG, SodM en NCG (tot medio 2021) de bijeenkomsten voor, alsook de tussentijdse onderlinge emailcontacten. Er zijn tweewekelijkse overleggen met deze coördinatoren. Het KEM-panel werkt meestal efficiënt en goed en panelleden zijn bereidwillig buiten de vergaderingen om (vraagarticulatie-, projectevaluatie-) acties uit te voeren.

Planning behandeling onderzoeksvragen en -projecten

De onderzoeksvragen komen jaarlijks in 1 of 2 in tranches bij KEM. Elke onderzoeksvraag wordt door het expertpanel beoordeeld en – indien geaccepteerd - waar nodig aangescherpt. In de eerste twee strategieperiodes weren er tien tranches.

De nieuwe onderzoeksvragen opgekomen in de strategieperiode 2023-2027 worden jaarlijks in een tranche gegroepeerd en van een nieuwe nummering (Jaartal-letter) voorzien, zodat onderzoeksvragen die niet tot projecten leiden geen hiaten in de projectnummering op gaan leveren. Het jaar 2024 was de 13^{e} tranche, waarin 6 vragen naar voren gekomen.

Tranche	Status	Nummers
1 (2017)	De 9 onderzoekvoorstellen in de 1^{e} Tranche zijn tussen oktober 2017 en januari 2018 geheel afgehandeld door he KEM-panel. Allen betreffen seismische risico's. Ze zijn door het panel besproken en beoordeeld en waar nodig in communicatie over en weer met de indieners aangepast en bijgesteld. Ook heeft het panel geadviseerd door welke partijen de voorgestelde onderzoeken het beste kunnen worden uitgevoerd. Deze onderzoeksvragen zijn allemaal uitgevoerd.	KEM-01 t/m KEM-07
2 (2017)	Een tweede tranche van 6 onderzoeksvoorstellen is tussen november 2017 en maart 2018 afgehandeld door het KEM wetenschappelijk expert panel en betreffen seismische risico's. Vijf van de zes onderzoekvragen zijn na 1 jaa afgerond, in uitvoering of in aanbesteding. KEM-11 is tweemaal verlengd (KEM-11b, KEM-11c).	KEM-08 t/m KEM-12
3 (2018)	Een derde tranche van 8 onderzoeksvoorstellen is behandeld tussen januari en juli 2018 door het wetenschappelijk expert panel en is eind juni 2018 op 1 afgewezen onderzoeksvraag na na afgehandeld door het panel. Alle projecten zijn afgerond of worden afgerond in 2022.	KEM-13 t/m KEM 20

4 (2018)	Eén onderzoekvraag (KEM-23) is met argumenten afgewezen door het KEM-panel. De overige 3 vragen in deze vierde tranche zijn tussen maart en juli 2018 als relevant beoordeeld. Twee onderzoeken (KEM-21 en KEM-22) hebben geen prioriteit gekregen.	KEM-21 t/m KEM 24
5 (2019)	Vragen met betrekking tot bodembewegingen en zout (KEM-25, KEM-26). KEM-25 is beantwoord in het onderzoek van KEM-16, KEM-26 is in 2023 opnieuw opgepakt.	KEM-25 t/m KEM-26
6 (2019)	Eerste vragen m.b.t. energietransitie. Het betreft vragen met betrekking tot waterstof en CO_2 opslag (KEM-27-29) infrageluid (KEM-31), abandonnering faciliteiten (KEM-33) en seismische risico-alert voor infrastructuur (KEM-34) KEM-32 wachtend op KEM-11 wordt door KNMI in PEGA verband opgepakt. De anderen zijn afgerond of lopen nog.	KEM-27 t/m KEM-34
7 (2019)	KEM-35 het ontwikkelen van het seismische DRA-tool Groningen vs 6 is afgerond. KEM-36 wachtte op de laatste activiteiten rondom het GMM V7 in 2022 en is in 2023 opgepakt.	KEM-35 t/m KEM-36
8 (2020)	Een aantal nieuwe vragen opgehaald in de Groningen platform ondergrond bijeenkomst in 2019 en ingebracht door Tcbb, Deze betreffen deel extra vragen met betrekking tot bodemdaling (KEM-37, KEM-38 en KEM-40) en gasopslag (KEM-39, vervolg KEM-01) en het FCM model in de pSDRA (KEM-41). Een vraag met betrekking tot lokale bodemdaling effecten KEM-42) o.a. bij voormalige kolenwinning of cavernes. De meeste van deze onderzoeksvragen zijn of worden opgepakt.	KEM-37 t/m KEM-42
9 (2020)	KEM-43 gericht op het verbeteren van het pSDRA tool, KEM-44 gericht op lokale bodemdaling gradiënten en KEM 45 op drukbeheersing in cavernes door pekel te onttrekken. Deze projecten zijn in 2021 nog niet goedgekeurd en gestart.	KEM-43 t/m KEM-45
10 (2021)	Nieuwe vragen betreffende offshore seismiciteit (KEM-46), 3D bodemdalingsberekeningen (KEM-47 en cumulatieve effecten in het Lauwerszee gebied.	KEM-46 t/m KEM-48
11 (2022)	Het betreft een onderzoek naar het monitoren van bodemdaling en stijging met InSAR (KEM-49), die opvolging verdient en 2 vragen, een over resp. zoutwinning Harlingen en de trillingtool, die geen onderzoek behoeven.	KEM-49 t/m KEM-51
12 (2023)	Vragen over 'seal integrity' en kalibratie modellen aan (micro)seismiciteit bij geothermie (a, f), over (grootschalige) waterinjectie Groningen (b, c) en kalibratie model gasopslag Bergermeer (e) en borging van tiltmeter gegevens (d).	2023-a t/m2024-e
13 (2024)	Vragen over het gebruik SDRA Groningen voor kleinen velden en inschatting van Mmax (c, b). connectiviteit geothermische reservoirs en drukverdelingen (a), lokale bodemdaling en seismiciteit Limburg (x) en herwinnen vertrouwen geo-energie (x).	2024 a t/m 2024-f

NB. Soms vallen onder 1 KEM projectnummer een aantal projecten, Bijv. KEM-03a, KEM03b en KEM-03c (zie Bijlage C).

NB. In tranche 12 en 13 zijn letters gebruikt voor de onderzoeksvragen. Zodra deze aanbesteed worden krijgen deze een KEM-nummer.

In 2024 zijn er 5 project afgerond (KEM-16b, KEM-27, KEM-28, KEM-36, KEM-24b). Er liepen nog 4 projecten door uit voorgaande jaren (KEM-19b, KEM-45, KEM-47, KEM-48, rood vetgedrukt) en zijn er 6 projecten goedgekeurd en/of gestart in 2024 (KEM-26, KEM-44, KEM-49, KEM-52, KEM-55, KEM-56, in rood).

5.2 KEM advisering DRA modelontwikkeling (KEM-subpanel)

Vanaf 2020 is het KEM-panel aangevuld met het subpanel voor modelontwikkeling van de publieke seismische dreiging- en risicoanalyse (SDRA) tool voor Groningen van TNO (zie ook bijlagen B voor de Terms of Reference en bijlage F voor de samenstelling). In het KEM-subpanel zitten wetenschappelijke experts op het gebied van tools voor seismische dreiging en risico's. Het KEM-subpanel brengt via het KEM-panel haar advies uit aan het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en/of het Staatstoezicht op de Mijnen.

Concreet adviseert het KEM-subpanel inhoudelijk inzake de functionele ontwikkeling van het publieke seismische Dreiging en Risico Analyse modellen en instrument van TNO en het verantwoord gebruik van nieuwe functionaliteit te gebruiken versies van het publieke seismische Dreiging en Risico Analyse tool van TNO.

Concreet betekent dit in elk jaar advies op twee door TNO op te leveren plandocumenten:

- Het TNO SDRA Statusrapport met daarin een voorstel voor de te gebruiken officiële publieke SDRA modelversie voor evalueren van het plan van het aankomende gasjaar of eventueel alternatieve scenario's.
- Het TNO SDRA Ontwikkelplan, waarin te ontwikkelen en valideren nieuwe functionaliteit wordt voorgesteld, die mogelijk kan worden opgenomen in een officiële versie van de publieke SDRA.

Het KEM-subpanel heeft voor haar adviezen een aantal criteria gedefinieerd waarop de voorgenomen voorstellen op inhoud en bruikbaarheid beoordeeld worden. Het betreft onder andere de volgende criteria: reproduceerbaarheid

resultaten, testbaarheid en robuustheid van de code, kwantificering onzekerheden in uitkomsten, transparantie van het model en de testresultaten en openheid van de code.

Met deze criteria wordt jaarlijks op basis van aangeleverde voorstellen van TNO beoordeeld of voorgestelde (functionaliteit van) modelversies rijp voor gebruik zijn en wordt ingeschat wanneer voorgestelde nieuw ontwikkelde functionaliteit in een officiële versie gebruikt kan worden. Het KEM-subpanel vergadert circa 2-3 keer om tot elk gevraagd advies te komen.

Hieronder de lijst van tot en met 2024 uitgebrachte adviezen:

Planjaar	Adviesvraag, advies en impact	Status
2021	Statusrapport pSDRA modelversie 2021. Twee leden van het KEM-subpanel adviseerden positief over de SDRA versie voor 2021.	Gestart: Oktober 2020 Opgeleverd: November 2020
2021	TNO pSDRA ontwikkelplan 2021. In een viertal vergaderingen is het KEM-subpanel tot een advies gekomen. Een deel van de geprioriteerde ontwikkelactiviteiten zijn in het plan voor TNO opgenomen. Een deel van de ontwikkeling niet.	Gestart: Februari 2021 Opgeleverd: Mei 2021
2022	Statusrapport pSDRA modelversie 2022. In een viertal vergaderingen is het KEM-subpanel tot een advies gekomen. Een deel van de door TNO voorgestelde functionaliteit is door het KEM-subpanel goed geacht een ander deel behoefde meer validatie. KGG heeft besloten – mede op advies van SodM - geen nieuwe functionaliteit te willen gebruiken in de modelversies voor de pSDRA 2022.	Gestart: Oktober 2021 Opgeleverd: December 2021
2022	TNO pSDRA ontwikkelplan 2022. Dit traject is na een eerste start in januari uitgesteld. Er zijn desondanks wel ontwikkelingen bij TNO gestart op basis van een opdracht van KGG.	Gestart: Januari 2022 Op te leveren: 2022 (niet)
2023	Statusrapport pSDRA modelversie 2023. Het KEM-subpanel adviseerden positief over de SDRA versie voor 2021 aan SodM, met enkele aanbevelingen..	Gestart: September 2022 Opgeleverd: December 2022
2023	TNO pSDRA ontwikkelplan 2023. Dit traject is na een eerste start in januari uitgesteld. Er zijn desondanks wel ontwikkelingen bij TNO gestart op basis van een opdracht van KGG.	Nvt.
2024	TNO schreef geen pSDRA ontwikkelplan 2024. Het KEM-subpanel is wel om advies gevraagd door SodM met een aantal specifieke vragen en refererend naar recent onderzoek van TNO en NAM.	Gestart: September 2024 Oplevering: Januari 2025

De documenten van TNO, KEM-subpanel adviezen, SodM advies en opdrachten KGG zijn gepubliceerd op: https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2022/06/17/modelversies-publieke-sdra-groningen

In de bijlages zijn (een deel) de KEM-subpanel adviezen te vinden en hoe deze gebruikt zijn in de keuze voor modelversies om winningsplannen na te rekenen en nieuwe ontwikkelingen bij TNO in gang te zetten.

De officiële modelversies die in door KGG op advies van SodM (en KEM) voor het beleid gebruikt zijn, zijn te vinden onder: Publieke SDRA Groningen | NLOG. Op deze website ontbreken de adviezen van SodM en het KEM-subpanel over de gebruikte geautoriseerde versies van de SDRA.

5.3 KEM Sociale Effecten Mijnbouw panel (SEM-panel)

In 2024 is de Terms of Reference voor het wetenschappelijk expert panel voor Sociale Effecten Mijnbouw (SEM-panel) vastgesteld (eind van bijlage B.). Dit panel omvat drie leden met internationaal erkende expertise op dit terrein. Als voorzitter is Prof. Danielle Timmermans aangesteld. In 2025 zal het SEM-panel volledig worden en met het bespreken van onderzoeksvragen en -projecten aanvangen.

De scope van het panel betreft onderzoeksvragen en projecten met betrekking tot de maatschappelijke (niet-fysieke) effecten van mijnbouw in Nederland. Het SEM-panel zal ook bijdragen aan het opstellen van de voorlopige onderzoekagenda. Het SEM-panel ziet erop toe dat specificaties van onderzoekaanvragen van KGG, SodM, andere overheidsinstanties en burgers voldoen aan criteria van reikwijdte, relevantie en wetenschappelijke kwaliteit en adviseert welke partijen het best gekwalificeerd zijn om het voorgestelde onderzoek uit te voeren.

Het SEM-panel rapporteert aan het KEM Scientific Expert Panel (KEM-panel) door haar vaste lid (de voorzitter van het SEM-panel). De verantwoordelijkheid van het SEM-panel is het waarborgen van de wetenschappelijke kwaliteit van het onderzoeksprogramma, inclusief de maatschappelijke relevantie, de kwaliteit van de onderzoeksvragen en suggesties voor gerenommeerde onderzoeksgroepen en de beoordeling van het uitgevoerde onderzoek.

6. Conclusies en aandachtspunten

6.1 KEM strategie en onderzoek

KEM loopt inhoudelijk goed. De kwaliteit van de meerderheid van de projecten is naar het oordeel van het KEM-panel uitstekend en de impact betekenisvol. Er is vanaf 2020 een verschuiving van onderzoek vanseismiciteit Groningen naar andere effecten van mijnbouw gerelateerd aan de energietransitie, conform de prioriteiten gesteld in het rapport “Naar een (nationale) onderzoekagenda en risico toolbox in Nederland” (TNO_R10375). KEM is in 2022 op verzoek van alle belanghebbenden (KGG, SodM en KEM panel) door een onafhankelijk bureau (AEF) geëvalueerd. De conclusie is dat KEM grotendeels effectief en efficiënt is. Dit heeft er mede toe geleid dat KEM met bijbehorend budget voor een nieuwe periode van vijf jaar, 2023-2027, is goedgekeurd, resp. voorzien. In de evaluatie zijn ook tekortkomingen geïdentificeerd en aanbevelingen gedaan. Eind 2022 zijn hiervoor acties afgesproken, die in 2024 op een enkel na afgerond zijn.

Sinds 2023 is door KEM een nieuw dashboard in gebruik genomen om de voortgang van KEM in relatie tot de strategische inhoudelijke doelen te plannen en te volgen. Dit dashboard is na overleg met het KEM-panel verfijnder wat betreft de verschillende type mijnbouwactiviteiten ten opzic33hte van het vroegere dashboard. Ook zijn de categorie risicobeheersinstrumenten aangevuld met monitoringsinstrumenten en beslis ondersteunende instrumenten zoals normen, stoplichtsystemen en mitigerende maatregelen. Tevens is besloten de risicotypen ondergrondse lekkage en emissies faciliteiten, die eerder in het voorgaande dashboard en jaarrapportages gehanteerd werden, samen te voegen onder milieurisico’s. In 2023 heeft daarna een consultatieproces plaatsgevonden om de prioriteiten opnieuw te bepalen. Hierbij zijn kennisinstellingen (TNO, KNMI en Deltares en via hen universiteiten) en overheden (KGG en SodM en via hen regionale overheden) geraadpleegd. De kennisinstellingen hanteerden daarbij als criterium de geachte mate van kennislacunes en de overheden de mate van maatschappelijke urgentie. De combinatie van beiden hebben geleid tot de huidige prioritering voor KEM.

In 2024 zijn nieuwe onderzoeksvragen geïdentificeerd via KGG, SodM maar vooral ook met behulp van de input van de KEM-kennisdag in Groningen. Deze vragen passen allen bij de hogere prioriteiten in het KEM dashboard.

Aandachtspunten strategisch:

- De overgebleven acties naar aanleiding van de evaluatie afronden:
    - de instelling van een sociaal-maatschappelijk onderzoekpanel,
    - de upgrade en migratie van de KEM website.
- De beide KEM panels zijn van mening dat een uniforme aanpak in het kunnen kwantificeren van mijnbouweffecten noodzakelijk is. Een lange termijn visie gewenst op de noodzaak voor DRA-instrumenten voor andere mijnbouwactiviteiten of risico’s en de rol van de overheid. Essentieel zijn dat niet alleen naar hazard, maar ook de impact/risico’s mee gekwantificeerd worden (ook al zijn ze soms klein). Verder wordt een probabilistische aanpak van belang geacht om onzekerheden mee te kunnen nemen. In dit kader bepleiten de KEM panels de ontwikkeling en acceptatie van publieke en onafhankelijk verifieerbare hazard en risico instrumenten. Coördinatie en harmonisatie verdienen meer aandacht, gezien de verschillende los van elkaar staande ontwikkelingen (SRA geothermie, CO2 opslag, kleine gasvelden). In 2024 zijn de eerste onderzoeksvragen op dit gebied opgepakt voor kleinen gasvelden.
- Het KEM wetenschappelijk expert panel heeft in 2022 samen met het wetenschappelijke onderzoeksprogramma naar seismiciteit Groningen van NWO (DeepNL) in een breed gedragen briefnotitie gepleit voor een nationale, gecoördineerde onderzoeksstrategie, voor lange termijn (na 2022) onafhankelijk wetenschappelijk (NWO) en toegepast onderzoek (KEM en GTI’s) en de ontwikkeling van publieke DRA-instrumenten, ten behoeve van het verantwoord gebruik van de Nederlandse ondergrond, zoals vereist geacht wordt voor de energietransitie. KEM is ondertussen verheugd dat de PEGA en de kabinetsreactie en KGG reactie een dergelijk strategie ondersteunen, maar wacht nog op actie. In 2024 heeft de eerste gedachtenuitwisseling met het GeoKennisNL team plaatsgevonden.

Aandachtspunten operationeel:

- Het budget voor het KEM-onderzoek was in 2024 globaal gelijk aan de voorgaande jaren, en zal in 2025 op dit niveau nodig blijven. Wegens capaciteitsproblemen of andere prioriteitstellingen zijn diverse onderzoeken traag afgerond en nieuwe onderzoekvragen niet (via KEM) uitgewerkt en aanbesteed. Dit blijft de aandacht vergen, ook in het licht van overheidsbezuinigingen.

6.2 Kennisborging en -uitwisseling

Voor het delen van de opzet, de resultaten en de evaluaties van KEM-onderzoeken is de KEM-website, kemprogramma.nl/, opgezet sinds oktober 2018. Dit functioneert goed. Vooral de onderzoekinformatie en de jaarrapportages weet men steeds meer te vinden. De website had in 2023 circa 2700 bezoekers, die meer dan 31.000 pagina's bekeken, voornamelijk de KEM-projectpagina's. Er is voor gekozen om de duiding van onderzoeksresultaten voor beleid en toezicht geen onderdeel uit te laten maken van de KEM-website. Er worden alleen links gemaakt naar met duiding informatie op de SodM website of uitleg op verzoek van KGG op nlog.nl.

Het KEM stimuleert de ontwikkeling van publieke mijnbouw effecten toolboxen voor mijnbouw risico instrumenten, zoals de publieke SDRA Groningen. Het is gelukt om de ontwikkeling van dit eerste versie van het publieke seismische dreiging en risico analyse instrument van TNO af te ronden en over te gaan naar een meer gecontroleerde beheersituatie, waarbij het KEM-subpanel inhoudelijke adviezen verstrekt. De beslissing om versies te bevriezen voor gebruik in de praktijk ligt bij het ministerie van KGG op basis van advies van SodM, waarbij naast inhoudelijke ook andere argumenten tellen. De publieke SDRA versies zijn voor iedereen toegankelijk via Publieke SDRA Groningen | NLOG. Handreikingen voor seismische dreiging- en risicotool voor kleine gasvelden, geothermie en CO2 opslag zijn onafhankelijk van elkaar in ontwikkeling. Het KEM-subpanel meent dat onderlinge harmonisatie daarvan nog aandacht behoeft.

Intussen is er ook een bodemdalingsdreiging tool (nog geen risicoberekeningen) ontwikkeld beschikbaar gekome: GitHub - TNO/PySub: Model framework to determine subsidence caused by mining effects.

De invulling van andere milieudreiging en risicoanalyse tools staat nog ter discussie.

De directe communicatie met de wetenschappelijke onderzoeksprogramma's van NWO, c.q. DeepNL, verliep in 2024 beperkt. Dit geldt ook voor contacten met de professionals bij KGG, SodM en belangrijkste kennisinstellingen TNO, KNMI, Deltares en onderzoeksgroepen betrokken in KEM projecten. Communicatie met regionale overheden en burgers groeide. Met name de KEM-kennisdag speelde hierin een belangrijke rol en dergelijke dagen zijn voor herhaling vatbaar.

Aandachtspunten wat betreft kennisborging en communicatie zijn:

- De vindbaarheid van de kemprogramma.nl website is in 2021 voor experts verbeterd, maar voor andere belanghebbenden is deze nog onvoldoende duidelijk. Er is een grotere behoefte naar meer gebruikersvriendelijke technische informatie. Een grondige update van deze tweetalige KEM-website wordt in medio 2025 voorzien.
- Een aandachtspunt is hoe KEM samen met andere kennisinstellingen moet communiceren in het verlengde van het PEGA aanbeveling 9 en kabinetsreactie maatregel 49 en hoe actiever geïnteracteerd kan worden met alle belanghebbenden. Hier gaat samen met GeoKennisNL opgetrokken worden.
- Wat betreft de borging in publieke dreiging en risico instrument Groningen zijn er de volgende aandachtspunten: helderheid over de criteria voor vaststelling van modelversies en keuzes in modelontwikkelingen voor de publieke SDRA tool van TNO, de onafhankelijkheid van de doorontwikkeling en kwaliteitsborging van de SDRA (nu lijkt de relatie of afstemming met NAM modelontwikkelingen nog leidend en worden verbeterde functionaliteiten met vertraging in de praktijk benut). Het KEM-subpanel advies dat begin 2025 uitkomt geeft een visie daar op.
- Het intensiveren en persoonlijker communiceren met belanghebbenden in verschillende regionale overheden van mijnbouwregio's en met verschillende belangenplatforms over de resultaten van KEM-onderzoek en het ophalen van eventuele nieuwe onderzoeksvragen is ook in 2023 te beperkt gebleven. Primair ligt deze taak bij KGG of SodM, maar KEM kan actief Kennisdagen in de regio verzorgen. Commitment en hulp van de overheid (miniseries en provincies) hierbij onontbeerlijk.

6.3 Activiteiten wetenschappelijke expert panels

Het KEM wetenschappelijke expert panel kwam in 2024 twee maal digitaal bij elkaar en tweemaal fysiek; de wetenschappelijke expertrol in de vraagarticulatie (zes onderzoekvragen), projectbegeleiding (vijf projecten), projectevaluatie (vijf eindrapportages) en duiding werkte in 2024 efficiënt en goed.

Vanaf eind 2020 speelt het KEM-subpanel een rol in de begeleiding van de modelontwikkeling van het publieke SDRA bij TNO. Er zijn binnenkort 6 adviezen door het KEM-subpanel uitgebracht.

Naar aanleiding van de evaluatie van KEM is besloten KEM uit te breiden met Sociale Effecten Mijnbouw. Hiervoor is een apart SEM-panel opgezet, waarvoor de Terms of Reference zijn opgesteld en de eerste leden in 2024 zijn benoemd.

Aandachtspunten voor de KEM panels zijn:

- Er was – anders dan gebruikelijk - geen adviesvraag geweest aan het KEM-subpanel met betrekking tot SDRA modelstatus en modelontwikkelingen sinds 2023. KGG en SodM besloten de versie van voorgaande jaren te blijven hanteren tot het moment van stoppen van de gasproductie uit het Groninger gasveld. Het KEM subpanel heeft er op gewezen dat enkele belangrijke bij TNO beschikbare verbeteringen niet ingezet zijn bij de meest recente dreiging- en risicoanalyses. In 2024 - na de sluiting van het Groninger gasveld – is het KEM-subpanel om advies gevraagd. Het KEM-subpanel is benieuwd hoe KGG of SodM dit gaat opvolgen in 2025 .
- Het belangrijkste aandachtspunt voor 2024 en 2025 is de bemensing en strategie voor het werkveld sociale effecten mijnbouw, zodat in 2025 de eerste onderzoekprojecten kunnen starten.

Bijlage A Kamerbrief 2016 over KEM en Kamerbrief 2022 over KEM evaluatie en verlenging

Ministerie van Economische Zaken

> Retouradres Postbus 20401 2500 EK Den Haag

De Voorzitter van de Tweede Kamer
der Staten-Generaal
Binnenhof 4
2513 AA DEN HAAG

Directoraat-generaal Energie, Telecom & Mededinging
Directie Energie en Omgeving

Bezoekadres
Bezuidenhoutseweg 73
2594 AC Den Haag

Postadres
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Factuuradres
Postbus 16180
2500 BD Den Haag

Overheidsidentificatienr
00000001003214369000

T 070 379 8911 (algemeen)
www.rijksoverheid.nl/ez

Ons kenmerk
DGETM-EO / 16093912

Datum 24 juni 2016
Betreft Kennisprogramma effecten mijnbouw

Geachte Voorzitter,

In het rapport 'Aardbevingsrisico's in Groningen' concludeerde de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) dat de kennisontwikkeling omtrent de risico's van gaswinning tekort is geschoten. De OVV stelde dat er meer behoefte is aan inzicht in de risico's en de onzekerheden rond gaswinning. Daarnaast heeft de OVV aanbevolen om het onderzoek onafhankelijk uit te laten voeren en meer aandacht te geven aan multidisciplinaire regie en integratie van kennis. De OVV constateerde dat dit in brede zin geldt en dus ook voor andere vormen van mijnbouw. Het kabinet heeft naar aanleiding hiervan aangegeven een voorstel te ontwikkelen voor de wijze waarop de kennisontwikkeling rond de mogelijke risico's van het gebruik van de ondergrond beter vormgegeven kan worden. Met deze brief informeer ik uw Kamer op welke wijze ik van plan ben hieraan invulling te geven.

Kennisprogramma effecten mijnbouw
Ter uitwerking van bovenstaand punt uit de kabinetsreactie op het OVV-rapport werk ik aan het inrichten van een kennisprogramma dat specifiek gericht is op het vergroten van de kennis over en het begrip van de effecten van mijnbouwactiviteiten. De doelen van dit kennisprogramma effecten mijnbouw zijn:

- Versnelling inhoudelijke voortgang van de kennisontwikkeling met betrekking tot de mogelijke effecten van mijnbouw;
- Intensivering van (multidisciplinaire) samenwerking tussen kennisinstellingen;
- Ontwikkeling van onafhankelijke, toegankelijke en gezaghebbende kennis.

Op basis van deze uitgangspunten is voor het kennisprogramma effecten mijnbouw een aantal samenhangende elementen gedefinieerd:

1. Het feitelijke onderzoeksprogramma effecten mijnbouw;
2. Een platform voor kennisuitwisseling effecten mijnbouw;
3. Een wetenschappelijke adviescommissie kennisontwikkeling effecten mijnbouw.

Directoraat-generaal
Energie, Telecom &
Mededinging
Directie Energie en Omgevin

Ons kenmerk
DGETM-EO / 16093912

Hieronder licht ik deze elementen toe.

1. *Onderzoeksprogramma effecten mijnbouw 2017*

Samen met Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) heb ik een concept onderzoeksprogramma opgezet dat gericht is op de effecten en risico's van mijnbouw in Nederland. Hierbij heb ik zo goed mogelijk de zorgen en vragen meegenomen die naar aanleiding van diverse mijnbouwactiviteiten aan mij zijn voorgelegd. Een belangrijk onderdeel van het kennisprogramma zal zijn het realiseren van de mogelijkheid om de onderzoeken die door NAM worden uitgevoerd in het kader van gaswinning Groningen over de gehele breedte onafhankelijk te kunnen toetsen. Zowel bij het ontwikkelen van het concept onderzoeksprogramma als voor het vaststellen van het definitieve programma vindt afstemming plaats met de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) om te bewerkstelligen dat ook vragen over de effecten van mijnbouwactiviteiten van de kant van NCG onderdeel uitmaken van het programma.

2. *Platform voor kennisuitwisseling*

Ik hecht er belang aan dat het onderzoek aansluit bij de vragen die leven in de samenleving. Ik ga dit onder andere faciliteren door een platform voor kennisuitwisseling in te richten. Dit platform zal zorg dragen voor periodieke (wetenschappelijke) bijeenkomsten waarin de resultaten van recent onderzoek met de wetenschap en met regionale stakeholders worden gedeeld. Anderzijds moet dit platform ook ruimte gaan bieden voor het maatschappelijk debat over zowel de vraagstelling als de uitkomsten. Verder zal er een interactief digitaal platform gecreëerd worden waarop vraag en resultaat bij elkaar komen.

3. *Wetenschappelijke adviescommissie kennisontwikkeling effecten mijnbouw*

Ik acht het van belang dat bij de beschreven kennisontwikkeling zowel de wetenschappelijke kwaliteit alsook de onafhankelijkheid van de onderzoeken goed geborgd zijn. Om te bewerkstelligen dat het onderzoeksprogramma daadwerkelijk bijdraagt aan kennisontwikkeling zal ik een wetenschappelijk gezaghebbende en onafhankelijke commissie van deskundigen aanstellen. Naast kwaliteitsbewaking is dit ook nodig om het draagvlak voor het programma en de resultaten van de onderzoeken te vergroten en om te zorgen voor een versnelling van de kennisontwikkeling op het gebied van effecten mijnbouw.

Van de wetenschappelijke adviescommissie verwacht ik dat zij (1) advies uitbrengt over de concept onderzoeksvragen met als doel de wetenschappelijke articulatie van de kennisvragen te verbeteren; (2) aangeeft welke wetenschappelijke disciplines nodig zijn in het onderzoek en daarbij bij voorkeur een voorstel doet over de instituten en/of universiteiten (nationaal en internationaal) die bij het onderzoek betrokken zouden moeten worden; en (3) jaarlijks rapporteert over de voortgang van de kennisontwikkeling, de onafhankelijkheid van het onderzoek en de meerwaarde daarvan voor kennis met betrekking tot mogelijke effecten van mijnbouw. De wetenschappelijke adviescommissie heeft daarmee een cruciale rol in de ontwikkeling van het kennisprogramma effecten mijnbouw.

Directoraat-generaal
Energie, Telecom &
Mededinging
Directie Energie en Omgeving

Ons kenmerk
DGETM-EO / 16093912

Op het ogenblik ben ik zowel nationaal en internationaal aan het inventariseren welke onafhankelijke wetenschappers beschikbaar zijn voor deelname aan de wetenschappelijke adviescommissie. Omdat het van groot belang is ook aansluiting te houden bij andere nationale onderzoeksprogrammering, hecht ik eraan dat de verbinding met NWO ook verankerd wordt in de commissie.
De criteria waaraan de leden moeten voldoen zijn:

- Gezaghebbend in de (internationale) wetenschappelijke wereld;
- Internationaal netwerk;
- Onafhankelijke positie ten opzichte van de industrie;
- Goed ingevoerd in de effecten van de mijnbouw;
- Actueel beeld van de kennisbehoefte van de overheid;
- Bereid en in staat de overheid op maat te adviseren.

De wetenschappelijke commissie zal ondersteund worden door een wetenschappelijk secretaris. De organisatie en logistiek rondom de feitelijke uitvoering van de projecten binnen de randvoorwaarden als gesteld door de wetenschappelijke commissie zal belegd worden bij TNO-AGE.

Naast de wetenschappelijke adviescommissie zal ik en ook SodM, waar nodig en indien gewenst, binnen de eigen verantwoordelijkheid gebruik blijven maken van nationale en internationale deskundigen.

Planning
Ik streef ernaar om de adviescommissie in het vierde kwartaal van 2016 te installeren. Daarmee zal ook het onderzoeksprogramma effecten mijnbouw in het vierde kwartaal van 2016 formeel kunnen starten.

(w.g.) H.G.J. Kamp
Minister van Economische Zaken

Tweede Kamer der Staten-Generaal

2

Vergaderjaar 2022–2023

32 849 **Mijnbouw**

Nr. 213 **BRIEF VAN DE STAATSSECRETARIS VAN ECONOMISCHE ZAKEN EN KLIMAAT**

Aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal

Den Haag, 21 december 2022

In 2017 heeft mijn voorganger het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (hierna: KEM) ingericht om door middel van onafhankelijke onderzoek het inzicht in mogelijke risico's van mijnbouwactiviteiten in Nederland te vergroten. Met de oprichting van het kennisprogramma is invulling gegeven aan een belangrijke aanbeveling van de Onderzoekraad voor de Veiligheid (OVV) in het rapport «Aardbevingsrisico's in Groningen» (Kamerstuk 32 849, nr. 80).

De doelstelling van KEM is drieledig: het opbouwen en vergroten van toepasbare kennis over de mogelijke effecten van mijnbouwactiviteiten en nazorg daarvan, het ontwikkelen van onafhankelijke, publiek beschikbare, gevalideerde en gezaghebbende instrumenten ter beoordeling van deze effecten en het in algemene zin intensiveren van nationale en internationale onderzoeksactiviteiten. Met dit kennisprogramma werken we gestructureerd aan de borging van het veiligheidsbelang met voldoende inzicht in de onzekerheden die impact kunnen hebben op de besluitvorming over mijnbouw. Voor de regie op het kennisprogramma heeft een van mijn voorgangers een panel van onafhankelijke wetenschappers aangesteld, dat toeziet op de kwaliteit, relevantie, volledigheid, bruikbaarheid en onafhankelijkheid van het onderzoekprogramma.

Het panel heeft mij haar rapportage over het jaar 2021 opgeleverd met daarin de status van de onderzoeken, kennisborging en -verspreiding en de activiteiten van het KEM-panel en subpanel in 2021. De jaarrapportage van het KEM en de begeleidende brief zijn bijgevoegd bij deze brief.

Daarnaast heeft mijn voorganger in de Kamerbrief van 13 september 2021 (Kamerstuk 32 849, nr. 209) aangegeven dat in 2022 een evaluatie van het KEM zou plaatsvinden gericht op doeltreffendheid, doelmatigheid en impact van het KEM. Deze evaluatie is in 2022 uitgevoerd door Andersson Elffers Felix (hierna: AEF) in samenwerking met Royal Haskoning DHV. De evaluatie is bijgevoegd bij deze brief.

kst-32849-213
ISSN 0921 - 7371
's-Gravenhage 2022

Met deze brief kom ik tegemoet aan de toezegging aan de Tweede Kamer om eens per jaar uw Kamer te informeren over het KEM. Ik betrek hierin de inhoud van de jaarrapportage van het KEM-panel, de manier waarop ik de resultaten van de onderzoeken heb betrokken bij mijn beleid en besluitvorming betreffende mijnbouw en de resultaten van de evaluatie van het KEM.

Jaarrapportage 2021

In de periode 2017–2021 zijn 22 onderzoeken afgerond. Nog eens zes onderzoeken waren eind 2021 in variërende stadia van compleetheid. De meeste hiervan zullen in 2022 worden afgerond. In 2021 zijn zes onderzoeken goedgekeurd door het panel of gestart.

In 2021 zijn studies afgerond of gestart naar de afdichtende werking van cement bij boorgaten en putten (KEM-18), infrageluid (KEM-31), langetermijneffecten na abandonnering van gasvelden (KEM-19), beïnvloeding seismisch risico door injectie (KEM-24) en seismische risico's bij waterinjectie door geothermie (KEM-15). Daarnaast zijn twee pilots afgerond waarbij in complexe gevallen de bodemdaling in kaart wordt gebracht (KEM-16).

Op 24 november jl. heb ik een Kamerbrief naar uw Kamer gestuurd over het KEM-24 onderzoek waarbij werd aangegeven dat uit dit onderzoek geen eenduidige conclusies kunnen worden getrokken over de effecten van injectie op seismiciteit (Kamerstuk 33 529, nr. 1086). Ik zal daarom een vervolgonderzoek binnen het KEM opzetten.

In 2021 is ook een studie gestart naar de gevoeligheid van de publieke seismische dreiging en risicoanalyse voor Groningen (hierna: pSDRA, KEM-09). Daarnaast is er gestart met de implementatie van het grondbewegingsmodel versie 7 in de pSDRA (KEM-43). 2021 is ook het eerste jaar waarin de pSDRA is gebruikt om de seismische dreiging en risicoanalyse van het Groningenveld uit te voeren. De resultaten zijn gepubliceerd op het NLOG[1] en gebruikt voor het jaarlijkse vaststellingsbesluit voor het Groningenveld (gasjaar 2021–2022).

Het KEM-panel is na het vertrek van prof. Gerritsen aangevuld met prof. I. Berre van de universiteit van Bergen, Noorwegen. In 2021 vonden vier colloquia plaats waar de resultaten van de onderzoeken werden gedeeld met kennisinstellingen en het onderzoeksprogramma van de Nederlandse organisatie van wetenschappelijk onderzoek (NWO) DEEP-NL. De website (www.KEMpgramma.nl) had in 2021 circa 2200 bezoekers (30% meer dan in 2020), die meer dan 13.000 pagina's bekeken, vooral de KEM-projectpagina's.

Onderzoeken geothermie

Op 17 februari 2022 (Handelingen II 2021/22, nr. 32, item 11 is er door uw Kamer een motie (Kamerstuk 35 531, nr. 33) aangenomen om te investeren in een onafhankelijk wetenschappelijk kennisprogramma geothermie. Ik heb toen aangegeven dat ik dit onderbreng in het Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM). Vraagstukken rondom geothermie kunnen in de toekomst en nu al hier belegd worden. Geothermie is immers een mijnbouwactiviteit. Binnen dit programma is een project afgerond naar de risico's van ultra diepe geothermie (KEM-06) en loopt er een project naar de effecten van afkoeling bij geothermie (KEM-15). Binnen het KEM is ruimte om meer vragen op te nemen over

[1] www.nlog.nl/publieke-sdra-groningen.

geothermie, zowel via de website van het KEM als via mijn ministerie of het Staatstoezicht op de Mijnen. Hiermee heb ik uitvoering gegeven aan deze motie.

Evaluatie KEM

AEF concludeert dat het KEM grotendeels doeltreffend en doelmatig is geweest maar dat er zeker ruimte is voor verbeteringen. Zij hebben hiervoor tien aanbevelingen gedaan alsook een hoofdaanbeveling: «*Continueer minimaal de kerntaak van het KEM: het onafhankelijk begeleiden en laten uitvoeren van onderzoek naar de effecten van mijnbouwactiviteiten*». Deze aanbeveling zal ik zeker uitvoeren: ik zal de looptijd van het KEM met vijf jaar verlengen tot en met december 2027.

Een belangrijke constatering van de evaluatie van het KEM door AEF is dat de beleidstheorie[2] op onderdelen onvoldoende geëxpliciteerd en geconcretiseerd is. De beleidstheorie is de beschrijving van wat het KEM zou moeten zijn, wat het zou moeten doen en wat het zou moeten realiseren. Daarmee vormt zij het kader waartegen de huidige situatie van het KEM kan worden uitgezet. In 2016 is het KEM aangekondigd met een Kamerbrief (Kamerstuk 32 849, nr. 80) en zijn een «terms of reference» en modus operandi[3] uitgewerkt. AEF meent dat het in deze documenten ontbreekt aan een uitgewerkte en geoperationaliseerde beschrijving van het KEM. Er wordt ook geconstateerd dat «*bepaalde projecten zonder de aanwezigheid van een KEM achtige organisatie niet zouden zijn opgepakt*». AEF concludeert dat «*De resultaten van KEM-onderzoeken zijn in vrijwel alle gevallen van meerwaarde geweest voor professionals in dienst van publieke en private partijen. Deze meerwaarde heeft zich geuit in bijdragen aan beleid, toezicht en uitvoering omtrent mijnbouwactiviteiten.*». Eén KEM-project springt er qua waardering uit en dat betreft het seismische dreiging en risico analyse (pSDRA) model, volgens AEF. «*De grote waardering voor dit model is enerzijds de kwaliteit van het model en anderzijds het publieke karakter*». Deze deelconclusies illustreren goed de meerwaarde van het KEM.

Naast de hoofdaanbeveling van continuering van het KEM geeft AEF tien aanbevelingen op het gebied van doelstellingen, beleidstheorie, communicatie, scope en de rol van KEM in het kennislandschap. Conform deze aanbevelingen wil ik het KEM op de volgende punten verbeteren.

Allereerst wil ik de doelen van het KEM voor de komende vijf jaar aanscherpen:

1. Onafhankelijk toegepast onderzoek uitvoeren om inzicht te vergroten in de mogelijke effecten en onzekerheden van mijnbouwactiviteiten.
2. Kennis samenbrengen in methoden en gereedschappen om effecten te kwantificeren, die gebruikt kunnen worden voor beleid en toezicht in de energietransitie.
3. Bijdragen aan kennis van en vertrouwen in mijnbouwactiviteiten door communicatie naar experts en andere stakeholders (o.a. inwoners) over KEM-projecten.

In 2023 zal ik de beleidstheorie[4] van het KEM aanscherpen met deze doelen en de manier waarop deze behaald worden door het KEM. Daarnaast zal ik de onderdelen van de beleidstheorie die AEF aanhaalt expliciteren en concretiseren zodanig dat de organisatie en werkwijze van

---

[2] De beleidstheorie is de beschrijving van wat het KEM zou moeten zijn, wat het zou moeten doen en wat het zou moeten realiseren.
[3] Modus operandi • KEM programma.
[4] De beleidstheorie is de beschrijving van wat het KEM zou moeten zijn, wat het zou moeten doen en wat het zou moeten realiseren.

het KEM beter beschreven is. De communicatie van het KEM naar stakeholders zal worden verbeterd door een verbeterde website en er zal in 2023 een communicatieplan worden uitgewerkt. In 2023 zal ook worden geïnventariseerd in hoeverre het KEM kan worden uitgebreid met niet-fysische effecten.

Het Nederlandse kennislandschap

Ik heb in 2022 een notitie (bijgevoegd) ontvangen van KEM en het DEEP-NL over een nationale onderzoeksstrategie voor verantwoord gebruik van de Nederlandse ondergrond in het kader van de energietransitie. Deze notitie wordt breed ondersteund door kennisinstellingen, universiteiten, het Staatstoezicht op de Mijnen en mijn ministerie. Hier zal in 2023 een plan voor worden uitgewerkt waarna financiering zal worden gezocht. De aanbevelingen van AEF met betrekking tot het KEM en het Nederlandse kennislandschap zijn sterk hiervan afhankelijk en zullen hierin worden opgepakt.

Tenslotte

Ik ben tevreden met het KEM, de behaalde resultaten en de vorderingen. Daarnaast geeft de evaluatie, naast kritische noten, ook duidelijk de meerwaarde aan van dit kennisprogramma. Zoals aangegeven verleng ik het KEM voor een periode van vijf jaar tot en met december 2027. Ik zal uw Kamer jaarlijks op de hoogte houden van de vorderingen van het KEM alsook de verbeteringen naar aanleiding van de resultaten en aanbevelingen van de evaluatie.

De Staatssecretaris van Economische Zaken en Klimaat,
J.A. Vijlbrief

Bijlage B Terms of Reference KEM scientific expert panel, Subpanel HRA modelontwikkeling en Panel sociale effecten mijnbouw

Terms of Reference

International Expert Panel and SHRA-subpanel on Mining Effects

EZK, nu KGG, October 2020

Objective and scope

The International Expert Panel on Mining Effects advises the Directorate Energy and Environment of the Dutch Ministry of Economic Zaken en Klimaat (EZK), the Regulator for natural resources extraction Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) and the Groningen crisis organisation Nationaal Coördinator Groningen (NCG) on the development and implementation of research projects related to the use and associated risks of Natural Resources extraction.

The role of the panel is to ensure that specifications of research requests coming from EZK, SodM, NCG and other public bodies meet criteria of relevance and completeness in the context of issues they are supposed to address and to advise on which parties are best qualified to carry out the proposed research.

Specific tasks include:

- Assess and advice on the scientific description of the proposed research questions
- Indicate which scientific disciplines should be involved in the individual research projects
- Give advice on which national and international institutes and/or universities could best be involved in the research projects
- Assess progress and impartialness of knowledge development and its fitness to address questions concerning mining effects and associated risks.
- Identify and report knowledge gaps, e.g. important research request not raised by MEZK, SodM or NCG
- Report any suggestions how KEM can help in improving management of Mining Risks
- Scientific sounding board on Mining risk assessment protocols (for SodM) and publicly available Mining risk quantification instruments (for TNO c.s.)

The Expert Panel was installed by the Minister of Economic Affairs in Q2 2017.

Context and mission

In their report on induced seismicity risks in Groningen (2015) the Netherlands Safety Investigation Council (OVV) ascertained shortcomings in the knowledge development concerning the risks of natural gas production. Specific recommendations were:

- Improve the insights in the risks and associated uncertainties
- Conduct the research independent from the mining industry
- Stimulate multidisciplinary research projects and put more effort in integrating research results of the various scientific disciplines.

The OVV stated that these recommendations should also apply to mining activities other than natural gas production.

Knowledge program on the effects of Mining

To meet these recommendations the Dutch Government decided to initiate a knowledge development program specifically aimed at mining activities and associated risks. The goals of this program (Kennisprogramma Effecten Mijnbouw, KEM) are to:

- Accelerate and intensify research concerning mining effects and associated risks
- Enhance the multidisciplinary collaboration between research centres and universities
- Develop independently authoritative knowledge which can be verified

Elements of KEM are:

- The actual research framework and program (the research projects)
- A knowledge exchange platform to both initiate and stimulate scientific debate within the scientific community and to consolidate and exchange scientific results with society
- A scientific panel on mining effects, as described in this document, that ensures quality, relevance, completeness, fitness and independence of the conducted research.

Composition

The panel consists of a chairperson and 4-6 members, appointed for periods of three years. The panel and its members will have an outstanding scientific reputation, function independently and will also be perceived as such; they will have no relationship with the mining industry in general and are not involved in research commissioned by the Dutch oil and gas industry in particular. The individual members act without a mandate or instruction from their organisations. They are selected on the basis of their expertise and scientific reputation.

The main areas of expertise to be covered by the panel are:

- Induced seismicity
- Subsidence and uplift
- Containment and confinement
- Long term effects of mining activities
- Technical aspects (pipelines, construction aspects)

The panel may be assisted by sub-panels or guest experts in case additional expertise is required.

Reporting line

The panel reports to the Directorate Energy and Environment of the Ministry of Economic Affairs; the Dutch Regulator for Natural Resources Staatstoezicht op de Mijnen (SodM); and the Nationaal Coördinator Groningen (NCG).

At least once a year, the panel chair will inform the Minister of Economic Affairs about the State of The Programme.

Working method

The panel will have four formal meeting moments in any given year. The panel is expected to meet physically twice a year in The Netherlands. Due to the current situation (Covid-19) this requirement cannot be met. Instead of the in-person meetings, online meetings (spread over two days) are arranged. The two other meetings and any ad hoc meetings are expected to be conducted by video / teleconferencing apart from usual email correspondence. The panel is supported by a secretariat. The members receive a remuneration and compensation for travel time and expenses.

Confidentiality and communication

The members of the panel can communicate about the jointly approved status of the KEM research framework and program. The KEM-panel will not disclose any information on ongoing research requests and projects. The outcome of the research projects will only be communicated by panel members after informing the Ministry of Economic Affairs. The outcome of all projects will become publicly available through the KEM-website.

KEM-subpanel on model development

From 2021 onwards the yearly probabilistic seismic hazard and risk analysis for gas production of the Groningen gas field, previously performed by the operator of the Groningen gas field (NAM), will be performed by TNO using the model chain which TNO has developed under the umbrella of the KEM program.

Additionally, the Study and Data acquisition plan of NAM finishes in 2021, meaning that NAM will cease to develop new model versions to be used in the yearly probabilistic seismic hazard and risk analysis from 2021.

Recognizing that:

1. seismicity in Groningen is decreasing but still occurring,
2. gas production will only cease from 2022, barring limited gas production for security of supply,
3. the strengthening program will continue,
4. Damages may still occur due to ongoing earthquakes,

EZK recognised a need to further develop the models for the yearly analysis as well as a need for a decision on model versions to be used in the yearly risk analysis. For this reason, a KEM-subpanel is formed to:

1. advise on model development for the models included in the model chain developed by TNO (called public SDRA Groningen).
2. give input to the advise of SodM on the versions of the models to be used in the yearly public seismic hazard and risk analysis.

Reporting line

The KEM-subpanel gives advice on the further SDRA model development, yearly in November. The advice is presented to the KEM-panel who will send the advice, with an accompanying letter to the Directorate Energy and Environment of the Ministry of Economic Affairs.

Additionally the KEM-subpanel gives input to the Dutch Regulator for Natural Resources, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) for their yearly advice on the model versions to be used in the yearly public seismic hazard and risk analysis.

Working method

The KEM-subpanel will have two formal meeting moments in any given year on the SDRA model development. Additionally, online meetings will be arranged as needed to advice on model development. The subpanel reports once a year to the full KEM-panel in the meeting in November. The subpanel is supported by a secretariat (the same as the KEM-panel). The members receive a remuneration and compensation for travel time and expenses.

Specific tasks

Specific tasks of the KEM sub-panel include:

- Review of studies with a view on further model development:
    - KEM studies (ongoing)
    - DEEP-NL studies (first results expected in 2021)
    - SDAP studies (NAM research program, ends in 2020, perhaps some limited activity in 2021)
    - Scientific publications in peer reviewed journals
- Advice on proposed SDRA model train development in November of each year. In the advice, the KEM-subpanel:
    - will review the annual public SHRA model train roadmap development reports of TNO, specifically focusing on their scientific quality
    - can propose new research questions and activities on SDRA model train development within the KEM program;
    - can propose new implementations of SDRA model train components into the SDRA model train framework, typically carried out by TNO.
- Every six months a meeting on SDRA model train development, to inform the KEM-subpanel on model development. Participant will be the KEM-subpanel, TNO, SodM and EZK as well as other parties which have recently finished research on parts of the models included in the SDRA model train.
    - Beginning of October
        - Start of advice on the further SDRA model train development,
        - TNO will present their public SHRA model train development and implementation plan,

        - other presentations on model development (if applicable)
    - April
        - TNO will present work program current calendar year
        - discussion on model development and planning
        - other presentations on model development (if applicable)
- Two extra online meetings for the advice on model roadmap development in autumn of each year.
- input to SodM for the model versions to be implemented for the public SHRA for the next calendar year;
- Submit request for review of (parts of) new models to other experts with complementary expertise

Composition

The KEM-subpanel on public SDRA Groningen model development consists of 4-6 members, appointed for a period of three years. The members will have an outstanding scientific reputation, function independently and will also be perceived as such. The individual members act without a mandate or instruction from their organisations. They are selected based on their expertise and scientific reputation. Two KEM- panel members will also be member of the KEM SDRA subpanel.

The main areas of expertise to be jointly covered by the KEM-subpanel are:

- Geological/reservoir model
- Seismological model
- Ground motion model
- Fragility and consequence model
- Probabilistic hazard and risk methodology

The subpanel may be assisted by guest experts in case additional expertise is required. The necessary funds will be arranged by MEZK.

Confidentiality and communication

The members of the subpanel can communicate with the KEM-panel, the Directorate Energy and Environment of the Ministry of Economic Affairs and to the Dutch Regulator for Natural Resources, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) about the SDHR model development.

The KEM-subpanel and its members will not disclose any information from ongoing research and projects and or their concept advice to other parties than mentioned above. The advice will only be communicated by the KEM-panel to other parties after the decision of the Ministry of Economic Affairs on SDRA model development. The advice will become publicly available on the KEM-website.

Terms of Reference

International Panel on the Societal Effects of Mining (SEM)

KGG, January 2024

Objective and Scope

The research on the societal effects of mining is a new subject for KEM. The SEM panel will start in 2024 with a preliminary research strategy and agenda. The SEM panel adheres to the principles and procedures stated in the KEM Strategic Research Framework 2023-2027. Specific aspects of SEM-panel's operations are stated in this document.

The SEM panel reports to the WEP (KEM Scientific Expert Panel) by its permanent member (the chairman of the SEM panel). The responsibility of the SEM panel is to ensure the scientific quality of the research programme, including societal relevance, the quality of the research questions and the assessment of the research. The panel's scope is defined by research questions and projects regarding the societal (non-physical) effects of mining in the Netherlands. The SEM panel will also contribute to defining its preliminary research agenda.

The SEM panel ensures that specifications of research requests from EZK, SodM, and other public bodies and citizens meet criteria of scope, relevance, and scientific quality and advises on which parties are best qualified to carry out the proposed research.

Specific tasks include:

- Assess and advise on the scientific description of the proposed research questions and their relevance to the research agenda SEM.
- Indicate which scientific disciplines should be involved in the individual research projects and how they preferably should interact.
- Advise which national and international institutes and/or universities could best be involved in the research projects.
- Assess the progress and impartialness of knowledge development and its fitness to address questions concerning the societal effects of mining.
- Evaluate project results regarding scientific quality and scientific and societal relevance.
- Identify and report knowledge gaps, e.g. necessary research requests not raised by EZK, SodM, or other public bodies.

Composition

The SEM consists of a chairperson and 2 members, appointed for two years with the possibility of a yearly extension. The panel and its members will have an outstanding international scientific reputation, function independently and be perceived as such; they will have no relationship with the mining industry in general and are not involved in research commissioned by the (Dutch) mining industry. The individual members act without a mandate or instruction from their organisations. They are selected based on their expertise and scientific reputation.

The panel and its members are experts in relevant fields concerning societal mining effects, especially quality of life and liveability. There is, therefore, a strong preference for an international composition of the SEM panel. Preferably, at least one person needs to have experience with or expertise at the intersection between social sciences and physical sciences (preferably physics of mining) and a (chair)person also speaking Dutch.

Reporting line

Based on the research agenda, research projects and expertise, the panel and its members report on research progress regarding societal effects to the WEP. The chairperson of SEM is a member of the WEP and will attend all meetings of the WEP. The chairperson of the SEM informs the WEP of the SEM's progress.

All SEM research questions, projects, and evaluations will be shared with WEP and published on the KEM website. On an annual basis, the SEM writes a chapter in the annual KEM report that states its research progress and, where relevant, advice.

Working method

The working method will be similar for all KEM activities described in the KEM strategy and Operation 2023-2027 document. The SEM panel will have four formal meeting moments in any given year. The panel is expected to meet physically once a year in The Netherlands. The other and ad hoc meetings are expected to be conducted by video/teleconferencing apart from usual email correspondence. The panel is supported by a secretariat. The members receive remuneration and compensation for travel time and expenses.

Confidentiality and communication

The panel members can freely communicate with the WEP, the Ministry of Economic Affairs and Climate Policy and to the Dutch State Supervision of Mines about the societal impact of activities in the deep subsurface. The members of the SEM will not disclose any information on ongoing research requests and projects to other parties. The outcome of the research projects will only be communicated by panel members, in agreement with EZK and SodM, 2-6 months after the projects are completed. During that period, an evaluation of the project has been discussed in the SEM panel. The outcome of all projects will become publicly available through the KEM website, no later than 3-6 months after the evaluation has been discussed by the SEM.

Bijlage C Status KEM onderzoekvragen en -projecten eind 2024

In de onderstaande tabellen de status van alle onderzoekvragen en projecten eind 2024 weergegeven. De periode van vraagstelling tot en met einde project is aangegeven. De in vetgedrukte KEM projecten waren in 2024 actief.

In 2024 zijn er 5 project afgerond (KEM-16b, KEM-27, KEM-28, KEM-36, KEM-24b). Er liepen nog 4 projecten door uit voorgaande jaren (KEM-19b, KEM-45, KEM-47, KEM-48, rood vetgedrukt) en zijn er 6 projecten goedgekeurd en/of gestart in 2024 (KEM-26, KEM-44, KEM-49, KEM-52, KEM-55, KEM-56, in rood).

Tranche	KEM nr.	Bron	korte beschrijving	Project	Status
1 (2017-2018)	KEM-01	SodM	Veilige injectiedruk en -snelheid gasopslagen	**2017-2018**	**Klaar**
	KEM-02	NCG/EZK	Invloed inhomogene ondiepe ondergrond 'site response'	**2018-2020**	**Klaar**
	KEM-03a	KEM/SodM	Inventarisatie publieke HRA-Toolbox en onderzoekvragen	**2018-2019**	**Klaar**
	KEM-03b	EZK/KEM	Nabouw NAM vs2 in publieke Groningen modeltrein	**2018-2019**	**Klaar**
	KEM-03c	EZK/SodM	NJG publicatie onderzoek seismiciteit Groningen	**2018**	**klaar**
	KEM-04	NCG/EZK	3D golfvoortplantingseffecten op seismische signatuur	**2018-2020**	**klaar**
	KEM-05a	NCG/EZK	Effect herhaalde aardbevingen op bodemzettingen	**2020-2021**	**klaar**
	KEM-05b	NCG/EZK	Effect herhaalde aardbevingen op gebouwen	**(2021)**	**klaar (door NCG)**
	KEM-06	SodM	Risicoanalyse UDG/EGS (geothermie)	**2018-20**	**klaar**
	KEM-07	SodM	Geïnduceerde seismiciteit kleine gasvelden	**2018-2019**	**klaar**
2 (2017-2019)	KEM-08	SodM/KEM	Volgende generatie aardbeving modellen	**2019-2020**	**klaar**
	KEM-09	NCG/EZK	Review voortplanting onzekerheden in risico modeltrein	**2021-2022**	**klaar**
	KEM-10	EZK/KEM	Ontwikkeling publieke seismische HRA-modeltrein, vs5	**2019-2020**	**klaar**
	KEM-11a	SodM	Review catalogus aardbevingen Nederland	**2018-2019**	**klaar**
	KEM-11b	SodM	Seismologische data kwaliteit	**2019-2020**	**klaar**
	KEM-11c	SodM/KEM	Upgrade seismische catalogus aardbevingen Nederland	**2021**	**klaar (door KNMI)**
3 (2017-2019)	KEM-13	SodM	Risico doorboren van Carbonaat stringers in zout	**2018-2019**	**klaar**
	KEM-14	NCG/EZK	Risico verweking door geïnduceerde bevingen	**2020-2021**	**klaar**
	KEM-15	SodM/EXT	Seismische risico waterinjectie geothermie	**2020-2023**	**klaar**
	KEM-16a	EZK/KEM	HRA-Modeltrein bodemdaling, diep en ondiep, 3 pilots	**2020-2023**	**klaar**
	KEM-17	SodM/NCG	Stabiliteit zoutcavernes	**2018-2019**	**klaar**
	KEM-18	SodM/EXT	Risico's geothermische boringen, well integriteit	**2020-2021**	**klaar**
	KEM-19a	**NCG/EZK**	Risico's lekkages en bodembewegingen na gaswinning	**2020-2022**	**klaar**
4 (2019)	KEM-24a	EXT/EZK	Risicoreductie seismiciteit d.m.v. 'fluid' injectie	**2020-2022**	**klaar**
5 (2019)	KEM-26	EXT/SodM	Zinkgatontwikkeling, kwantificering dreiging en risico's	2021-2024	naar aanbesteding
6 (2019-2020)	KEM-27	EZK	Monitoringseisen voor offshore CO_2 opslag in gasvelden en aquifers	**2021-2024**	**klaar**
	KEM-28	EZK	Risico analyse van waterstof opslag in conglomeraten van zoutcavernes	**2021-2022**	**klaar**
	KEM-31	SodM	Infrageluid opwekking, dreiging en (gezondheid)risico's	**2020-22**	**klaar**
	KEM-32	NCG/EZK	Optimalisatie strategie monitoren grondtrillingen (MoC)	**(2021)**	**klaar (door KNMI)**
	KEM-33	SodM	Review Brent ontmantelingsplan en 'second opinions'	**2019**	**klaar**
	KEM-34	EXT/EZK	Informatievoorziening infrastructuur bij aardbevingen	**2020-2023**	**klaar**
7 (2020-2021)	KEM-35	EZK/KEM	Ontwikkeling SDRA-tool Groningen TNO, vs6	**2020-2021**	**klaar**
	KEM-36	NCG/EZK	KEM-04 update voor versie 7 SDRA tool Groningen	**2022-2024**	**klaar**
8 (2021)	KEM-39	EXT/EZK	Breukgedrag bij drukken in CO_2, H_2, N_2 opslag (zie KEM-01)	**2021-2022**	**klaar**
9 (2021-2022)	KEM-43	EZK	Ontwikkeling PSHRA vs7	**2021-2023**	**klaar**
	KEM-44	SodM	Lokale bodemdaling, de potentie voor schade	2022-2025	naar aanbesteding
	KEM-45	**SodM**	**Risico van 'salt-bleed off' zoutcavernes**	**2022-2024**	**20% gereed**
10 (2022-2023)	**KEM-47**	**EXT/EZK**	**Impact heterogeniteiten op bodemdaling bij producerende gasvelden**	**2022-2024**	**95% gereed**
	KEM-48	**EXT/EZK**	**Cumulatieve mijnbouweffecten, generiek en in de regio Grijpskerk**	**2022-2024**	**80% gereed**
	KEM-19b	**NCG/EZK**	**Zuidwest aquifer depletie en seismiciteit, KEM-19 vervolgstudie**	**2022-2024**	**90% gereed**
	KEM-24b	EXT/EZK	Risicoreductie seismiciteit d.m.v. 'fluid' injectie, vervolgstudie	**2022-2023**	**klaar**
1 (2022-2023)	KEM-49	EXT/EZK	InSAR metingenTwente en koppeling met gedrag zoutcavernes	2022-2025	naar aanbesteding
	KEM-16b	EZK	Relatie verandering oppervlaktewaterniveau met verandering grondwaterniveau en bodemdaling	**2023-2024**	**klaar**
13(2024)	KEM-52	SodM	Risico's van het gebruik van meervoudige reservoirs bij geothermie	2024	naar aanbesteding
	KEM-53	SodM	Aanpassing van de Groningen SDRA voor kleine gasvelden	2024	naar aanbesteding

	KEM-55	SodM/Tcbb	Review seismiciteit Limburg mbt tektonische en geïnduceerde bevingen	2024-2025	naar aanbesteding
	KEM-56	KGG	Evaluatie van Mmax Msim van kleine gasvelden	2024-2025	naar aanbesteding

Bronnen onderzoeksvragen: EZK: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, vanaf 2024 Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG); SodM: Staatstoezicht op de Mijnen; NCG: National coördinator Groningen en Platform Ondergrond; EXT: Suggesties van externe organisaties en bijeenkomsten; KEM: het wetenschappelijk expert panel van KEM.

De onderzoeksvragen waar nog geen besluit genomen is staan in onderstaande tabel.

Vraag	KEM nr.	Bron	korte beschrijving	Project	Status
4	KEM-21	KEM/SodM	Seismiciteit & schade waarschuwing systemen	2021	in planning
	KEM-22	EXT/SodM	Data gedreven modellen voor seismiciteit in ruimte, tijd	2021	in planning
6	KEM-29	SodM	Evaluatie extra risico's bij transport H_2 of CO_2 in bestaande gastransportnetwerken	2021	in planning
	KEM-30	SodM	Classificatie veiligheidscultuur, effect op mijnbouwrisico's	2019	>> naar SEM
8	KEM-37	EXT/EZK	Bodemdaling impact modellen in DRA-tool en data	2021	in planning
	KEM-38	EXT/SodM	Optimalisatie strategie monitoren bodemdaling/stijging	2021	in planning
	KEM-40	EXT/So	Mechanische verweking tgv cyclische belasting opslag	2021	in planning
	KEM-41	EXT/EZK	Model/data afstemming DRA tool en NPR (cf. KEM-20)	2021	in planning
9	KEM-42	EZK/TCbb	Bodemdaling risico's voormalige kolenwinning Limburg	2021	in planning
10	KEM-46	SodM	Seismiciteit van offshore Q kwadranten, H-Holland and Utrecht	2022	in planning
12	2023-c	EXT/SodM	Haalbaarheidsstudie grootschalige water injectie Groningen	2023	in planning
	2023-e	EXT	Geothermische micro-seismische monitoring, modellering Bergermeer	2023	in planning
13	2024-e	KGG	Modelevaluatie en testomgeving geïnduceerde seismiciteit geo-engineering	2024	In planning
	2024-f	EXT	Terugwinnen vertrouwen in besluiten in geo-energie	2024	>> naar SEM

De onderzoeksvragen die zijn afgewezen door het KEM wetenschappelijk expert panel staan in onderstaande tabel.

Tranche	KEM nr.	Bron	korte beschrijving	Proje	Argumenten
2	KEM-12	SodM	Advies uitbesteding review Warmtestad QRA	**2018**	**no go (extra risico's)**
3	KEM-20	NCG/SodM	Afstemming impact modellen in risicobeoordelingen	**2019**	**No go (geen onderzoek)**
4	KEM-23	EXT/SodM	Risicoreductie seismiciteit d.m.v. opwekken van breuken	**2019**	**no go (extra risico's)**
5	KEM-25	EXT/SodM	Bepaling bodemdaling cumulatieve mijnbouwactiviteiten	**2019**	**no go (geen onderzoek)**
11	KEM-50	EXT/SodM	'Salt creep' vragen Harlingen	**2023**	**no go (geen onderzoek)**
	KEM-51	EXT/EZK	Kwaliteitsborging van de Groningen seismische trillingen tool	**2023**	**no go (geen onderzoek)**
12	2023-a	EZK/SodM	Review van het seal integrity modelling tool (SRIMA)	**2023**	**no go (geen onderzoek)**
	2023-b	EXT/EZK	Dempend effect van water injectie op seismiciteit Borgsmeer	**2023**	**no go (geen onderzoek)**
	2023-d	EXT	Archivering tiltmeter datasets voor onderzoek naar trillingen ruis in gebouwen	**2023**	**no go (geo-informatie)**

Argumenten: (1) Geen onderzoek; Er is geen onderzoek nodig; deze vraag kan met bestaande kennis snel beantwoord worden, (2) extra risico's; deze vraag gaat over een mijnbouwactiviteit die onnodig extra risico's met zich meeneemt, (3) geo-informatie; zorg omtrent de infrastructuur van voor mijnbouw effecten relevante data en monitoring..

Bijlage D Lijst van KEM rapporten en publicaties

KEM rapporten

Hieronder volgt de lijst van tot en met 2024 verschenen rapporten en publicaties van alle gestarte en goedgekeurde KEM-projecten (allen in het Engels ten behoeve van onafhankelijke internationale reviews). De KEM projecten in rood waren actief in 2024. Daarvan hadden de projecten in **bold** nog geen definitieve rapportages eind 2024. Via de blauwe links zijn rapporten van projecten snel te vinden.

Webpage	Risk	Mining	Year	Authors	Title	Report	Consortium
KEM-01	Seismic (SSM)	Gas storage	2018	Ferronato, M., Franceschini, A., Isotton, G., Janna, C., Teatini , P., Tosatto, O., Zoccarato, C.	Safe operational reservoir pressure bandwidth for underground gas storage (3 reports)	Link to final report	University of Padua
KEM-02	Seismic GMM)	Gas production	2020	Besseling, F, Bougioukos, A., Greef de J., Pruiksma, J., Tsouvalas, A.	Evaluation, validation and improvement of the site amplification component of the Groningen HRA model	Link to summary report	Witteveen & Bos, TNO, TUDelft
KEM-03a	All	All	2019	Dost, B., Gessel, van, S., Hoogendoorn, B., Huijgen, M., Marsman, M,. Pluymaeker, M., Thienen-Visser, K.,	Towards a national research and HRA toolbox for mining effects in The Netherlands: a technical reconnaissance	Link to final report	TNO, Deltares, KNMI
KEM-04	Seismic GMM)	Gas production	2020	Ameri, G., Dijkstra, O., Mazzieri, I., Ozcebe, A.G., Paolucci, P., Piunno, G. , Smerzini, C, Vanini, M.	Data driven study on seismic 3D structural features of Groningen ground motions	Link to final report	Fugro, Politecnica Milano, Seister, Hanzehogeschool, GR8-Geo, CM-consult
KEM-05a	Seismic GMM)	Gas production	2021	Meijers, P., Korff, M. et al	Cumulative effect of repetitive earthquakes on soil settlement	Link to final report	Deltares
KEM-05b	Seismic GMM)	Gas production	2021	Not KEM	Cumulative effect of repetitive earthquakes on buildings	Link to final report	TUD
KEM-06	All	Geothermal	2020	A'Campo, Y.W.L., Baisch, S., Besselink, F., Boter, E.L., Laenen, B. Slob, S.	Risk assessment for UDG and EGS and an inventory of preventive and mitigation measures	Link to main report	Witteveen & Bos, Q-Con, VITO
KEM-07	Seismic GMM)	Gas production	2018	Baisch, S., Voros, R.	Geomechanical study - Small gas fields in The Netherlands	Link to final report	Q-Con
KEM-08	Seismic GMM)	Gas production	2020	Dahm, T., Hainzl, Kühn, S., D., Oye, V., Richter, G., Vera Rodriguez, I.	Review, alternatives and future seismogenic source models for HRA model Groningen (3 reports)	Link to last report	GfZ Potsdam, Norsar
KEM-09	Seismic (All)	Gas production	2021	Pluymaekers et al.	Sensitivity analysis public seismic hazard and risk model train Groningen	Link to final report	TNO
KEM-10	Seismic (All)	Gas production	2018	Breunese, J., Kraaijpoel, D., Osinga, S.et al	Public Seismic Hazard and Risk Assessment model train Groningen, vs5 (3 reports)	Link to final report	TNO
KEM-11	Seismic (GMM)	Gas production	2019	Goertz-Allmann,B., Kühn,D., Langet,N., Lindholm, C., Meslem, A., Oye, V.	Review of the KNMI induced earthquake catalogue from the Groningen gas field (2 reports)	Link to final report	Norsar
KEM-11b	Seismic (GMM)	Gas production	2020	Christensen, J.M., Dando, B.D.E. , Dichiarante, A.M., Ghione, F., Kühn, D., Langet, N., Oye, V.	Review of the KNMI induced earthquake catalogue from the Groningen gas field, continued phase 2A	Link to final report	Norsar (KNMI)
KEM-11c	Seismic (GMM)	Gas production	2021	Kühn, D., Oye, V. et al.	Review of the KNMI induced earthquake catalogue from the Groningen gas field, continued phase 2B	Link to KNMI	Norsar (KNMI)
KEM-13	Leakage (LSM)	Facility	2017	Heege ter, J., Zijp, M., Huijgen, M., Bouroul-lec, R., Wilpshaar, M.	Drilling in carbonate stringers occurring in salt formations	Link to final presentation	TNO
KEM-14	Seismic (GMM)	Gas production	2021	P. Meijers, P., Korff, M. et al	Liquefaction (settlement, damage) risk quantification risk module	Link to final report	Deltares
KEM-15	Seismic (SSM)	Geothermal	2021	Dijkstra, O. et al.	Optimal thermal production regime for prevention of the generation of	Link to final report	Fugro, GfZ Potsdam

					seismicity during water injection given faults and production		
KEM-16a	Subsidence (All)	Gas production	2021	Pluymaekers et al	Subsidence risks due to gas/oil production (new subsidence model train), phase 1	Link to final report	TNO, Deltares
KEM-16b	Subsidence (All)	Gas production	2021	Pluymaekers et al.	Subsidence risks due to gas/oil production (new subsidence model train), phase 2	Link to final report	TNO, Deltares
KEM-17	Leakage (LSM)	Salt mining	2019	Baumann, T., Brouard, J., Kaus, B., Schmatz, J.J., Klaver, Popov, A., Urai, J.L.	Over-pressured salt solution mining caverns and possible leakage mechanisms: review and modelling on pore, cavern and salt dome scales (5 reports)	Link to final report	Microstructures and Pores GmbH, Brouard Consulting, Smart tectonics
KEM-18	Leakage (LSM)	Gas production	2021	van Oort, E.	What are the long-term sealing risks associated with (geothermal) wells and what are the typical loss of containment risks	Link to final report	EVO
KEM-19a	Leakage (LSM)	Gas production	2021	Bottero, S. et al.	Post reservoir abandonment long term fluid migration hydromechanical risks and monitoring strategy	Link to final report	TNO. Deltares
KEM-19b	Leakage (LSM)	Gas production	2021	Bottero, S. et al.	Post reservoir abandonment long term fluid migration hydromechanical risks and monitoring strategy, extended		TNO. Deltares
KEM-20	Seismic (FCL)	Gas production	2018	No project	Why and how are risk assessment Groningen model for buildings different from assessment using building norms (NPR)	KEM comments	None
KEM-24a	Seismic (SSM)	Gas storage	2021	Dijkstra, O. et al.	Seismic risk reduction by fluid injection and pressure maintenance	Link to final report	Fugro et al.
KEM-24b	Seismic (SSM)	Gas storage	2021	Osinga, S., Leeuwenburg, O., Volgelaar, B., Pena-Clavijo, S., Bottero, S.	Seismic risk reduction by fluid injection and pressure maintenance, extended	Link to final report	TNO
KEM-27	Leakage	CO2 storage	2022	Raddatz Bob, A., Strijbos, F. et al	Monitoring requirements for CO2 storage sites on the Dutch continental shelf	Link to final report	DNV et al
KEM-28	Leakage	Hydrogen storage	2022	Klaver, J., Brouard et al	Risk assessment of hydrogen storage in a conglomerate of salt caverns in The Netherlands	Link to final report	Brouard, MAP, Pondera, Smart Tectonics, Geo-structures cons.
KEM-31	Sound	Gas	2021	Evers, L. et al	Infrasound generation and observation	Link to final report	KNMI, RIVM
KEM-33	Leakage (LSM)	Facility	2019	As van, D., Eftekari, A.A., Feilberg, K., Nick, H,M.	Review, evaluation of Brent spar decommissioning plan and second opinions	Link to final report	DTU et al
KEM-34	Seismic (FCL)	Gas production	2021	Martinelli, M. et al	Enhancing information flow on impacted infrastructure after seismic events	Link to EU reports	Deltares et al
KEM-35	Seismic (All)	Gas production	2020	Breunese, J., Kraaijpoel, D., Osinga, S.et al	Public Seismic Hazard and Risk Assessment model train Groningen, vs6	Link to final report	TNO
KEM-36	Seismic	Gas production	2022	Pauluci, P, Ameri, G., Dijkstra, O. et al	3D modelling the Groningen seismic wave field conform GMMv7, follow up of KEM-04	Link final report	Fugro, Politecnica Milano, Seister,
KEM-39	Seismic	Gas storage	2022	Ferronato, M., Franceschini, A., Isotton, G., Janna, C., Teatini , P., Tosatto, O., Zoccarato, C.	Geomechanical/chemical factor determining fault criticality du-ring pressure (non)cycling of underground CO_2,H_2, N_2 storage	Link to final report	University of Padua
KEM-43	Seismic	Gas production	2022	Puymaekers et al	Development and validation of new submodels in the seismic HRA model Groningen	Link to final report	TNO
KEM-44	Subsidence	Gas	2021> 2023	A. van der Stoel et al.	Local subsidence and potential damage effects on buildings		Crux et al.
KEM-45	Subsidence	Salt	2022	To be defined	Risk of Salt bleed off salt caverns		To be defined

KEM-46	Seismic	Gas	2022	To be defined	Seismicity Q quadrants, N-Holland and Utrecht		To be defined
KEM-47	Subsidence	All	2022	M. Puijmaekers et al.	Local subsidence effects due to 3D shallow heterogeneities		TNO
KEM-48	All	All	2022	A. van der Stoel et al.	Cumulative subsidence, seismicity and environmental effects of mining		Crux et al.
KEM-49	Subsidence	Salt	2022	To be defined	Subsidence monitoring applying InSAR and geodesy in Twente		To be defined
KEM-52	All	Geothermal	2024	To be defined	Risico's van het gebruik van meervoudige reservoirs bij geothermie		VITO, Sproul
KEM-55	Seismic	Coal		To be defined	Review seismiciteit Limburg mbt tektonische en geïnduceerde bevingen		To be defined

Wetenschappelijke publicaties uit (zwart) en in het verlengde van KEM projecten (grijs)

Algemeen (met KEM als sponsor)

Netherlands Journal of Geosciences, Special issue (2018) *Induced Seismicity in the Groningen Gas Field, the Netherlands*, Volume 96 - Special Issue 5 - December 2017. DOI: 10.1017/njg.2017.39

KEM-01

Teatini, P., Ferronato, M., Franceschini, A., Frigo, M. and Janna, C., Zoccarato, C., Isotton, G. (2019) *Gas storage in compartmentalized reservoirs: a numerical investigation on possible "unexpected" fault activation*, - 53rd US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. Paper Number: ARMA-2019-1991

Teatini, Pietro & Zoccarato, Claudia & Ferronato, Massimiliano & Franceschini, Andrea & Frigo, Matteo & Janna, C. & Isotton, Giovanni. (2020) *About geomechanical safety for UGS activities in faulted reservoirs*. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. DOI: 10.5194/piahs-382-539-2020

KEM-02/KEM-05

van Ginkel, J. (2022). *Seismic site response in the Netherlands: impact of the shallow subsurface composition on earthquake ground motion amplification*. University of Groningen. DOI: 10.33612/diss.211424759

KEM-03a

TNO-Deltares-KNMI (2019), *Towards a National Research Agenda and Risk Toolbox for Mining Effects in The Netherlands*, TNO-report TNO_R10375

KEM-04

Paolucci, R, Mazzieri, I, Piunno, G, Smerzini, C, Vanini, M, Özcebe, A. *Earthquake ground motion modeling of induced seismicity in the Groningen gas field*. *Earthquake Engineering Structural Dynamics.* 2021; 50: 135– 154. DOI: 10.1002/eqe.3367

Ameri, G., Martin, C, Oth, A. *Ground-Motion Attenuation, Stress Drop, and Directivity of Induced Events in the Groningen Gas Field by Spectral Inversion of Borehole Record*s, July 2020, *Bulletin of Seismological Society of America 110(5)*. DOI: 10.1785/0120200149

KEM-06

Buijze L, van Bijsterveldt L, Cremer H, Paap B, Veldkamp H, Wassing BBT, van Wees J-D, van Yperen GCN, ter Heege JH, and Jaarsma B. (2019) *Review of induced seismicity in geothermal systems worldwide and implications for geothermal systems in the Netherlands*. Netherlands Journal of Geosciences, Volume 98. DOI: 10.1017/njg.2020.9

KEM-07

K. van Thienen-Visser, J.A. Roholl, B.M.M. van Kempen, A.G. Muntendam-Bos (2018) *Categorizing seismic risk for the onshore gas fields in the Netherlands,* Engineering Geology, Volume 237, Pages 198-207.DOI: 101190/tle34060664.1

Muntendam-Bos, A., Hoedeman, G., Polychronopoulou, K., Weemstra, C., Van der Zee, W., Bakker, R., Roest, H. (2021) *An overview of induced seismicity in The Netherlands.* Netherlands Journal of Geoscience. DOI: 10.1017/njg.2021.14

KEM-08

Kühn D, Hainzl S, Dahm T, Richter G, and Vera Rodriguez I. (2020) *A review of source models to further the understanding of the seismicity of the Groningen field.* Netherlands Journal of Geosciences, Volume 101. doi:10.1017/njg.2022.7

KEM-09

TNO (2022), KEM-09: *Cumulative propagation effect of Groningen risk model component uncertainties on hazard and risk predictions.* TNO2021 R12442.

KEM-03/KEM-10

TNO (2020) *Probabilistic Seismic Hazard and Risk Analysis, TNO Model Chain Groningen* TNO: TNO2020_R11052

TNO (2020) *IT-platform for the TNO Groningen Model Chain PSHRA calculations* TNO: TNO2020_R10474

TNO (2020) *Final report Status of the TNO Model Chain Groningen per October 1, 2020 and recommendations for the public Seismic Hazard and Risk Analysis 2021* TNO: TNO2020_R11464

TNO (2021) *Proposed research activities for model development in the public SHRA Groningen* TNO: TNO2021_R10153

TNO (2021) *Status of the TNO Model Chain Groningen per October 1, 2021 and recommendations for the public Seismic Hazard and Risk Analysis 2022* TNO: TNO2022_R11742

TNO (2021) *Cumulative propagation effect of Groningen risk model component uncertainties on hazard and risk predictions* TNO: TNO2021_RR12442

KEM-11

Kühn, D., Heimann, S., Isken, M. P., Ruigrok, E., Dostal, J. (2020): *Moment tensor inversion testing report on hydrocarbon-induced seismicity in the Groningen gas field, the Netherlands*, GfZ report. DOI: 10.5880/GFZ.2.1.2020.003

Gabriele Ameri, Christophe Martin, Adrien Oth (2020) *Ground-Motion Attenuation, Stress Drop, and Directivity of Induced Events in the Groningen Gas Field by Spectral Inversion of Borehole Records*. *Bulletin of the Seismological Society of America*. DOI: 10.1785/0120200149

KEM-14

Korff, M., Meijers, P. , Wiersma, A., Kloosterman, F. (2019) *Mapping liquefaction based on CPT data for induced seismicity in Groningen, Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions*, CRC Press, Pages 8. ISBN: 9780429031274

KEM-15

Cacace, M., Hofmann, H. Shapiro, S.A. (2021) *Projecting seismicity induced by complex alterations of underground stresses with applications to geothermal systems*, Sci Rep 11, 23560, DOI: 10.1038/s41598-021-02857-0

Mathur, B., Hofmann, H., Cacace, M., Hutka, G., Zang, A. (2022) *Thermo-hydro-mechanical simulation of cooling-induced fault reactivation in Dutch geothermal reservoirs*, Netherlands journal of geosciences 103 (2024), DOI: https://doi.org/10.1017/njg.2023.12.

Gergő Andra, Hutká, Máuro Cacace, Hannes Hőfmánn1,2, Arno Zang (2022) *Seismicity catalogues from Coulomb failure stress models related to cold water-injection in geothermal wells in the Netherlands,* Extended abstracts, CouFrac 2022 - 3rd International Conference on Coupled Processes in Fractured Geological Media: Observation, Modeling, and Application (Berkeley, CA, USA 2022).

Gergő András Hutka, Mauro Cacace, Hannes Hofmann, Arno Zang, Lei Wang, Yinlin Ji (2022) *Numerical investigation of the effect of fluid pressurization rate on laboratory-scale injection-induced fault slip*, DOAJ, https://doi.org/10.1038/s41598-023-30866-8

Zhou, W., Lanza, F., Grogoratos, I., Schultz, R., Cousse, J., Trutnebyte, E., Muntendam-Bos, A. and Wiemer, s. (2024), Managing induced seismicity risks from enhanced geothermal systems: a good practice, Review of Geophysics, 62, e2024RG000849, DOI: 10.1029/2024RG000849

KEM-16

TNO (2022) The PySub Subsidence Model Framework: Technical Reference, TNO: TNO2022_R11962

Github open software: Cumulative subsidence prediction of multiple mining sources, https://github.com/TNO/PySub

KEM-17

Baumann, T., Kaus, B., Popov, A., and Urai, J. (2020) *The 3D stress state within typical salt structures,* EGU General Assembly 2020, Online, EGU2020-15513. DOI: 10.2516/ogst/2020068

Bérest, P., Brouard, B., Karimi-Jafari, M., & Réveillère, A. (2020). *Maximum admissible pressure in salt caverns used for brine production and hydrocarbon storage*. *Oil & Gas Science and Technology–Revue d'IFP Energies nouvelles*, *75*, 76. HAL Id: hal-02981415

KEM-18

Schout, G., Griffioen, J., Hartog, N., Eggenkamp, H. and Cirkel, D.G. (2024) *Methane occurrence and origin in Dutch groundwater: from shallow aquifers to deep reservoirs*, Netherlands Journal of Geoscience, Vol. 103, e24, DOI:10.1017/njg.2024.20

KEM-19, KEM-19b

Moghadam A., Peters E. , Nelskamp S. (submitted 2022) *Gas leakage from abandoned wells: A case study for the Groningen field inthe Netherlands.* International Journal of Greenhouse Gas Control 126 (2023) 103906.

KEM-24ab

Gutierres-Oribio, D., Stafanou, I. (2025) Robust output tracking for an uncertain and nonlinear 3D PDE-ODE system: Preventing induced seismicity in underground reservoirs, IEEE, DOI:10.48550/arXiv.2412.06327

KEM-27

Furre, A.K. Busat, S., Ringrose, P.S., Thorsen, R. (2017), *Optimizing strategies for contrasting offshore CO2 sites*, EAGE/SEG research workshop 2017, ISBN: 978-94-6282-222-1, DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701950

KEM-28

Kishan Ramesh Kumar, Artur Makhmutov, Christopher J. Spiers & Hadi Hajibeygi (2023) Geomechanical simulation of energy storage in salt formations, *Scientific Reports* volume 11, DOI:10.1038/s41598-021-99161-8

Abreu, J.F. et al (2022) Large-scale storage of hydrogen in salt caverns for carbon footprint reduction, Int. Journal on Hydrogen Energy, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.12.272.

KEM-34 (2 out of many)

Mario Martinelli, Cihan Cengiz, Antonis Mavritsakis, Mandy Korf (2022) Seismic fragility functions for embankments on liquefiable soils affected by induced seismicity (in preparation)

E Ruigrok, A Rodriguez-Marek, B Edwards, P. Kruiver, B Dost, J Bommer (2022) Derivation of a near-surface damping model for the Groningen gas field *Geophysical Journal International*, Volume 230, Issue 2, August 2022, Pages 776–795, DOI: 10.1093/gji/ggac069

NLOG, TNO Public seismic hazard and risk analysis source code 2023, https://www.nlog.nl/en/public-shra-groningen

KEM-35/43

TNO (2022) Status of the TNO Model Chain Groningen per October 1, 2022 and recommendations for the public Seismic Hazard and Risk Analysis TNO: TNO2022_R11961

Kraaijpoel D, Martins JE, Osinga S, Vogelaar B, and Breunese (2022) J. Statistical analysis of static and dynamic predictors for seismic b-value variations in the Groningen gas field. Netherlands Journal of Geosciences, Volume 101, e18. https://doi.org/ 10.1017/njg.2022.15

Booitz, N., Langenbruch, C., Shapiro, S.A.,(2024), Production-induced seismicity indicates a low risk of strong seismicity in the Groningen gas field, Nature communication, https://doi.org/10.1038/s41467-023-44485-4

Candela, Thibault & Pluymaekers, Maarten & Ampuero, Jean Paul & Van Wees, J. & Buijze, Loes & Wassing, Brecht & Osinga, Sander & Grobbe, Niels & Muntendam-Bos, Annemarie G.. (2021). Controls on the spatio-temporal patterns of induced seismicity in Groningen constrained by physics-based modelling with Ensemble-Smoother data assimilation. https://doi.org/10.31223/X5X02J.

Aben, F.M., Pruiksma, J.P., Kraaijpoel, D., Osinga, S. and Pluymaekers, M.D.P. (2025) A stress model for nonlinear reservoir compaction and application to the post shut-in Groningen gas field, Geophys. J. Int. (2025) 241, 1494–1517, DOI: 10.1093/gji/ggaf119.

Rate-dependent inelastic deformation of Slochteren sandstone: implication for reservoir compaction in the Groningen gas field, Springer, DOI: 10.1007/s40948-025-01014-5.

KEM-36

Paolucci, R., Mazzieri, I., Pinunno C., Vanini M., Ozbeke, A.G. (2020) Earthquake ground motion modeling of induced seismicity in the Groningen gas field. Earthquake Engineering Structural Dynamics, Vol 50.1, https://doi.org/10.1002/eqe.3367

KEM-39

Teatini, P.(011) Geomechanical response to seasonal gas storage in depleted reservoirs: A case study in the Po River basin, Italy, Journal of geophysical research, Vol. 116, doi.org/10.1029/2010JF001793 Hashemi, Hashemi, L. (2024). *Hydrogen energy storage in porous media*. [Dissertation (TU Delft), Delft University ofTechnology]. doi.org/10.4233

Bijlage E Samenstelling KEM-panel, KEM-subpanel en SEM-panel eind 2024

KEM wetenschappelijk expert panel

Voorzitter	
Prof. Tom Veldkamp	https://www.tue.nl/en/research/researchers/frank-baaijens/ Voorzitter KEM. Magnificus Universiteit Twente.
Leden	
Prof. Iunio Iervolino	http://wpage.unina.it/iuniervo/ Hoogleraar Napels, Stanford en Colombia. Expert op het gebied van schade en risico's door aardbevingen.
Prof. Stefan Wiemer	http://www.seismo.ethz.ch/en/about-us/all-employees/stefan-wiemer/ Hoofd Zwitserse Seismologische Dienst, hoogleraar ETH. Expert geïnduceerde seismiciteit.
Prof. Robert Zimmerman	https://www.imperial.ac.uk/people/r.w.zimmerman Hoogleraar gesteente-mechanica Imperial College London. Editor in Chief International Journal of Rock Mechanics en auteur handboek Fundamentals of Rock Mechanics.
Prof. Majid Hassanizadeh	http://www.geo.uu.nl/hydrogeology/majid/cvmajid.html / Hoogleraar Universiteit Utrecht. Expert in vloeistofstroming in poreuze media.
Prof. Inga Berre	https://www.uib.no/en/persons/Inga.Berre Hoogleraar University of Bergen. Expert in het Modelleren van gekoppelde processen in de ondergrond.
Secretaris	
Ipo Ritsema	https://www.linkedin.com/in/ipo-ritsema-4502481a/ Geofysicus.

SEM wetenschappelijk expert panel

Leden	
Prof. Danielle Timmermans	Danielle Timmermans | Amsterdam UMC. Hoogleraar VU-UMC Amsterdam. Expert in Gezondheidsrisico communicatie en besluitvorming.
Vacature 1	……
Vacature 2	……
Secretaris	
Christiaan Vonk	Christiaan Vonk - Beleidsmedewerker - Ministerie van Klimaat en Groene Groei | LinkedIn

KEM Subpanel SHRA

Leden	
Prof. Stefan Wiemer	http://www.seismo.ethz.ch/en/about-us/all-employees/stefan-wiemer/ Hoofd Zwitserse Seismologische Dienst, hoogleraar ETH. Expert geïnduceerde seismiciteit.
Prof. Iunio Iervolino	http://wpage.unina.it/iuniervo/ Hoogleraar Napels, Stanford en Colombia. Expert op het gebied van schade en risico's door aardbevingen

Prof. Fabrice Cotton	https://www.gfz-potsdam.de/staff/fabrice-cotton/ Hoogleraar in Seismologie. Geoscience group at Potsdam University, Topic Director Geo-Hazards at GfZ.
Prof. Femke Vossepoel	https://www.tudelft.nl/citg/over-faculteit/afdelingen/geoscience-engineering/sections/reservoir-engineering/staff/academic-staff/dr-ir-fc-femke-vossepoel/ Associate Professor in Geophysical data assimilation at Delft University.
Prof. Pierre-Yves Bard	https://www.linkedin.com/in/pierre-yves-bard-b8847717/?originalSubdomain=fr Professor Seismic risks at Grenoble University, Researcher at ISTere/IFFSTAR, Grenoble
Secretaris	
Ipo Ritsema	https://www.linkedin.com/in/ipo-ritsema-4502481a/

KEM Coördinatoren overheid

Ministerie KGG	
Jeroen van er Vaart (KEM)	Jeroen van der Vaart - Geologist - Ministry of Climate Policy and Green Growth | LinkedIn
Christiaan Vonk (SEM)	Christiaan Vonk - Beleidsmedewerker - Ministerie van Klimaat en Groene Groei | LinkedIn
Janneke de Jong (SHRA)	
Staatstoezicht op de Mijnen	
Barend van Engelenburg	https://nl.linkedin.com/in/barend-van-engelenburg-89b1658

Bijlage F Termen, afkortingen en definities

Bodembewegingen	Hieronder vallen seismische grondbewegingen of trillingen en langzame bodemdaling of -stijging onder.
Bodemdaling	Bodemdaling is de zakking van het aardoppervlak. Hiervoor kunnen diverse oorzaken zijn. Het proces verloopt langzaam en onderscheid zich daardoor bodemtrillingen.
Dashboard	Eenvoudige presentatie van strategische doelstellingen. In dit kader het kennis niveau en beschikbaarheid van publieke tools voor dreiging en risico analyse van mijn effecten
DeepNL	NWO wetenschappelijk onderzoeksprogramma naar het gedrag van de diepe ondergrond, onder invloed van de activiteiten die de mens
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, nu Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG)
Geïnduceerde aardbeving	Een aardbeving veroorzaakt door menselijke activiteit zoals het produceren van gas uit de diepere ondergrond
FCM	Fragility and Consequence Model, waarmee - gegeven berekende grondbewegingen (PGA, PGV) - de veiligheidsrisico's worden berekend op basis van de kwetsbaarheid van gebouwen. Op dit moment is versie 7 in gebruik.
GMM	Ground Motion Model, model waarmee de (kansen op) grondbewegingen worden berekend die kunnen optreden tijdens 48 een aardbeving van een gegeven magnitude die op een gegeven locatie optreedt. Het Groningen GMM is in verschillende stappen ontwikkeld. Het eerste eenvoudige model GMM-versie 0 (V0) werd begin 2013 gemaakt voor het 2013 Winningsplan. In de jaren daarna is het model stapsgewijs steeds geavanceerder geworden. Het huidige model heeft versienummer 6. NAM werkt momenteel aan de ontwikkeling van versie 7
HRA model	Computermodel waarmee de seismische dreiging en het seismisch risico in Groningen worden berekend
IMG	Instituut Mijnbouwschade Groningen
IUC-EZ	Inkoop Uitvoering Centrum – Economische Zaken.
KEM	Kennisprogramma Effecten Mijnbouw, onderzoeksprogramma voor ontwikkeling van een onafhankelijke kennispositie dat op advies van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (OVV) in opdracht van de Minister van EZK wordt uitgevoerd. Doel is het inzicht in mogelijke dreigingen en risico's van mijnbouwactiviteiten in Nederland te vergroten
KEM-panel	Panel van onafhankelijke wetenschappelijke deskundigen dat toeziet op de kwaliteit, relevantie, volledigheid, geschiktheid en onafhankelijkheid van het KEM
KEM-subpanel	KEM-subpanel dreiging en risicoanalyse modelontwikkelingen, gericht op de (via het KEM expert panel) advisering over ontwikkeling van het publieke SDRA
KGG	Voormalig Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, nu Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG)
KNGMG	Koninklijk Nederlandse Geologisch en Mijnbouwkundig Genootschap KNMI Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
NAC	Nederlands Aardwetenschappelijk Congres
NAM	Nederlandse Aardolie Maatschappij

NCR	Nationaal coördinator Groningen
NiB	Nationale informatievoorziening Bodemdaling
NPR	Nationale Praktijk Richtlijn. Een rekenkundige beoordeling volgens de NPR geeft aan of een gebouw sterk genoeg is om de belasting van een aardbeving te kunnen weerstaan. De NPR biedt opdrachtgevers, constructeurs en aannemers een (technisch) houvast bij nieuwbouw en bij het preventief versterken van bestaande gebouwen
	PEGA
PEGA	Parlementaire Enquête Groninger Aardgaswinning
PGA	Peak Ground Acceleration: de hoogste grondversnelling die optreedt op een bepaalde locatie tijdens een aardbeving
PGV	Peak Ground Velocity: de hoogste snelheid waarmee de grond beweegt op een bepaalde locatie
Seismische grondbewegingen	De trilling van de grond ten gevolge van een aardbeving
Seismische grondsnelheid	De snelheid waarmee de grond trilt ten gevolge van een aardbeving
Seismische grondversnelling	De verandering van de snelheid waarmee de grond trilt ten gevolge van een aardbeving
Shake maps	Kaarten met de contouren van de opgetreden maximale grondversnelling (de PGA), maximale grondsnelheid of maximale pseudo spectrale versnelling (PSA) voor een gegeven aardbeving
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen (toezichthouder op o.a. de olie en gaswinning in Nederland)
SDRA	Seismische dreiging en risicoanalyse
SHRA	Seismic Hazard and Risk Analysis
SSM	State supervision of Mines
State-of-the-art	Hoogste niveau van ontwikkeling naar de huidige stand van zaken
Tcbb	Technische commissie bodembewegingen
TCMG	Tijdelijke Commissie Mijnbouwschade (per 1 juli 2020 opgegaan in het Instituut Mijnbouwschade Groningen)
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk
	Onderzoek
IUC-EZ	De Inkoop Uitvoering Centrum van Economische Zaken
Validatieonderzoek	Het controleren van een waarde of een methode om aan te tonen dat een apparaat, systeem of instrument met een grote mate van zekerheid in staat is bedoelde resultaten op te leveren