



## Naar een nationale onderzoeksstrategie betreffende het verantwoord gebruik van de Nederlandse ondergrond

### Samenvatting.

*Gemotiveerd door fysieke en maatschappelijke consequenties van aardbevingsactiviteit en bodemdaling in Groningen ten gevolge van gaswinning in de afgelopen decennia vragen wij aandacht voor vorming van een **nationale onderzoeksstrategie** betreffende de effecten van het gebruik van de Nederlandse ondergrond op de bebouwde omgeving, natuur en milieu, en veiligheid.*

*Deze nationale onderzoeksstrategie is gericht op de **pro-actieve kennisontwikkeling** voor toekomstige activiteiten en geïnduceerde processen in de Nederlandse ondergrond in het kader van de **energietransitie**. Het beoogt een belangrijke overgang mogelijk te maken in overheidsbeleid: een overgang naar **onafhankelijke kennis** en **continue paraatheid** betreffende geïnduceerde schadelijke effecten van huidige en toekomstige activiteiten in de ondergrond, en wel voor de volledige cyclus van de activiteiten, van planning tot na ontmanteling.*

*De voorgestelde onderzoeksstrategie is gericht op het bouwen én onderhouden van een spreekwoordelijke beschermende dijk, gevormd door **onafhankelijke wetenschappelijke expertise op topniveau**, op basis waarvan (1) onderbouwde beslissingen over ontwikkeling, exploitatie en beheersmaatregelen en nazorg kunnen worden genomen, waardoor preventie wordt geoptimaliseerd en de veiligheid wordt verhoogd, (2) snel en adequaat kan worden gereageerd op onverwachte problemen die zich ondanks de voorstudies toch zullen voordoen, en (3) communicatie en interactie met burgers, overheden en bedrijfsleven inhoudelijk kunnen worden verbeterd en versterkt. Belangrijke aandachtspunten zijn in ieder geval: (1) Inzicht in natuurlijke en door menselijk ingrijpen beïnvloede en gegenereerde **complexe processen (dynamiek) in de ondergrond**, (2) Het breed proactief identificeren, kennen en modelleren van mogelijke korte en lange termijn scenario's en onzekerheden in natuurlijke en geïnduceerde processen en effecten en handelingsperspectieven, (3) Integratie van kennis over hoe ondergrondse processen en dreigingen doorwerken via de bebouwde omgeving bij burgers en maatschappelijke sectoren.*

*De onderzoeksstrategie beoogt de volledige keten van wetenschappelijk onderzoek, van fundamenteel tot toegepast, gecoördineerd en systematisch te versterken tot een internationaal toonaangevend **kennisecosysteem** op het gebied van natuurlijke en geïnduceerde processen in de Nederlandse ondergrond.*

*Dit voorstel, geïnitieerd vanuit de onderzoekprogramma's DeepNL en KEM in samenspraak met SodM en EBN, wordt gesteund door de belangrijkste relevante publieke, onafhankelijke onderzoekorganisaties (Universiteiten, TNO, KNMI, Deltares).*

-----

### **Motivatie voor dit voorstel**

Het tijdig onderkennen, onderzoeken en kwantificeren van de mogelijke natuurlijke en geïnduceerde processen, zoals bodembewegingen en lekkage van vloeistoffen, en de daardoor veroorzaakte schadelijke effecten op de bebouwde omgeving, veiligheid en natuur en milieu, inclusief de daaraan gerelateerde onzekerheden, moet versneld leiden tot adequate risicobeheersing op basis van een excellente kennisbasis en een verantwoord gebruik van de ondergrond door goed opgeleide vakmensen. Dit draagt bij aan het snel realiseren van ambities in de energietransitie.

### **Huidige situatie**

Onderzoek naar seismiciteit geïnduceerd door gaswinning in Groningen begon in 1986, maar bleef de daaropvolgende twee decennia beperkt qua omvang. In de afgelopen decennia, in het bijzonder

sinds de aardbeving in Huizinge in 2012, is de urgentie om schadelijke effecten van de gaswinning in Groningen en de onderliggende oorzaken daarvan intensief te onderzoeken vanuit EZK en SodM gestaag toegenomen. Na Huizinge zijn - naast het Studie en Data-Acquisitie Plan (SDAP) van de operator NAM - het NWO-programma DeepNL<sup>1</sup>, het EZK/SodM- Kennisprogramma Effecten van Mijnbouw (KEM<sup>2</sup>), het Bouwnormeringsonderzoek (NPR) en de ontwikkeling bij TNO van een publiek beschikbaar instrument voor seismische dreiging en risico-evaluatie (SDRA<sup>3</sup>) op gang gebracht. De intensivering van de seismologische en andere monitoring na Huizinge was hierbij essentieel. Deze onderzoeken en daarop gebaseerde dreiging- en risicoanalyses hebben er mede toe geleid dat de versterkingsopgave kon worden ingeschat, de gaswinning in Groningen werd aangepast en uiteindelijk wordt afgebouwd, waarbij het de verwachting is dat de seismiciteit en bodemdaling er met een nog onbekende vertraging op reageren. Ook voor het verlaten van zoutcavernes en naijlingseffecten van steenkoolwinning in Limburg was tot nu toe beperkte aandacht in onderzoek, terwijl ook hier hiaten en onzekerheden in kennis nog steeds onderzoeksvragen oproepen. De ambitieuze energietransitie impliceert daarbij een toenemend gebruik van de ondergrond onder onze bebouwde omgeving. Dit betreft o.a. grootschalige productie van geothermische energie en ondergrondse opslag van waterstof en energieresiduen zoals kooldioxide. Innovatieprogramma's op het gebied van deze activiteiten zijn tot nu toe sectoraal en praktijkgericht en maken geen deel uit van een nationale onderzoeksstrategie ondergrond. Door het tijdelijke karakter van de DeepNL, KEM, Innovatie en SDRA programma's is het risico groot dat de in deze programma's opgedane kennis snel verouderd en samen met de opgeleide jonge onderzoekers verdwijnt en dat de multidisciplinaire samenwerkingsverbanden verbroken worden.

### **De nieuwe aanpak**

Het is voor de initiatiefnemers duidelijk dat onderzoek, aandacht en zorg voor de effecten op de bebouwde omgeving en veiligheid van mijnbouwactiviteiten en voor verantwoord gebruik van de ondergrond, in het algemeen, niet kunnen stoppen bij het stopzetten van de gaswinning in Groningen, maar voor onbepaalde tijd noodzakelijk blijven. Om te komen tot een verantwoorde toename in gebruiksfuncties van de ondergrond wordt continuïteit in een brede kennisontwikkeling en monitoring, die de praktijk en risicobeheersing ondersteunt, noodzakelijk geacht.

Het is van belang na Huizinge de geleerde - en nog te leren - lessen met betrekking tot de seismiciteit in Groningen proactief in te zetten voor de nieuwe vormen van gebruik van de ondergrond in Nederland, met als belangrijke rode draad in de nieuwe aanpak: werken aan het voorkomen van, en paraatheid betreffende geïnduceerde schadelijke en hinderlijke effecten van activiteiten in de ondergrond, en wel voor de volledige cyclus van de activiteiten, van planning tot en met ontmanteling.

---

### **Dijk bouwen**

*De (gedeeltelijke) analogie van mijnbouw-gerelateerd risico met overstromingsrisico is duidelijk en roept de vraag op: wat wil de Nederlandse overheid bieden, paraatheid, preventie en veiligheid (a priori studies, proactief handelen) of reactief handelen (a posteriori actie)? Blijft zij vooral optreden als er problemen zijn ontstaan en schade is geleden, zoals bij de gaswinning in Groningen is gebeurd? Of wordt er een dijk gebouwd ter bescherming? Nederland heeft door middel van de Deltawerken en versterking van rivierdijken gezorgd voor bescherming tegen de dreiging en de risico's van overstromingen. Een fysieke dijk kan niet worden gebouwd als bescherming tegen de risico's die gepaard gaan met activiteiten in de Nederlandse ondergrond, maar de te bouwen beschermende dijk is een spreekwoordelijke dijk van onafhankelijke wetenschappelijke expertise op topniveau, op basis waarvan (1) onderbouwde beslissingen over ontwikkeling en exploitatie en beheersmaatregelen kunnen worden genomen, waardoor preventie wordt geoptimaliseerd en de veiligheid wordt geborgd, (2) snel en adequaat kan worden gereageerd op onverwachte problemen die zich ondanks de voorstudies toch zullen voordoen, en (3) communicatie en interactie met burgers, overheden en bedrijfsleven inhoudelijk kunnen worden versterkt. Onlosmakelijk verbonden met deze expertise is de factor van menselijke capaciteitsontwikkeling. Zo'n "dijk" is kwetsbaar en moet continu onderhouden, vernieuwd en versterkt worden.*

---

Dit initiatief roept op tot de aanleg van een dergelijke dijk en het gezamenlijk streven naar samenwerking, afstemming en integratie van de betrokken onderzoeksactiviteiten en continue wetenschappelijke aandacht voor de mijnbouw-gerelateerde dynamiek van de Nederlandse ondergrond en geassocieerde risico's over heel Nederland. Wetenschappelijk onderzoek naar de dynamiek in de diepe ondergrond, de slappe ondiepe ondergrond en interactie met de bebouwde omgevingen de daaruit voortvloeiende inzichten en instrumenten staan centraal bij beslissingen over de start van en toezicht op ondergrondse activiteiten. Dit initiatief sluit nauw aan bij het initiatief, "Deltaplan Diepe Ondergrond" (TNO) dat zich richt op gegevensverzamelingen en kennisopbouw van de diepe en ondiepe structuur van de gehele Nederlandse ondergrond. Tezamen vormen en versterken zij deze spreekwoordelijke dijk.

### ***Naar een nationale onderzoeksstrategie en -agenda***

Vanuit NWO, KEM, Innovatieprogramma's, TO2-instituten zijn er afzonderlijk urgente kennisinhoudelijke uitdagingen geïdentificeerd en onderzoekagenda's ontwikkeld. Belangrijke benoemde aandachtspunten zijn in ieder geval: (1) Inzicht in de door menselijk ingrijpen beïnvloede en gegenereerde processen (dynamiek) in de ondergrond is nog onvoldoende, gaat met veel onzekerheden gepaard en dient aanzienlijk te worden versterkt met (inter)nationale onderzoeksinspanningen, (2) Het breed proactief identificeren van mogelijke scenario's en onzekerheden in natuurlijke en geïnduceerde processen en effecten en handelingsperspectieven met alle belanghebbenden moet versterkt worden, waarbij voortschrijdend inzicht moet landen in risico-instrumenten voor beleid, (3) De onderzoeksinspanningen naar de dynamiek in de diepe en ondiepe ondergrond zijn te versnipperd en niet of onvoldoende geïntegreerd, hetgeen vraagt om een gezamenlijke aanpak in een ecosysteem van fundamentele onderzoekers tot kenniswerkers in de praktijk om effectief te zijn en (4) *last but not least* de integratie van kennis over hoe ondergrondse processen en risico's doorwerken bij burgers en maatschappelijke sectoren en hoe daarover helder en effectief naar het publiek gecommuniceerd kan worden.

In de **bijlage** van deze notitie zijn belangrijke, urgente **wetenschappelijke uitdagingen** concreter uitgewerkt. Algemeen kan gesteld worden dat eerder genoemde mijnbouw- en aanverwante activiteiten en relevante natuurlijke en geïnduceerde processen in de ondergrond onderling verwante theoretische en experimentele onderzoekspunten hebben. Anderzijds is aanpassing van het onderzoek aan de specifieke aspecten van de mijnbouwactiviteit en aan de specifieke ondergrond waarin de activiteit plaatsvindt steeds noodzakelijk. De combinatie van generieke opbouw van proceskennis met behulp van experimenten en locatie- en mijnbouw-specifieke lokale dynamiek (o.a. op basis van lokale meetreeksen) levert robuuste inzichten, en daarop gebaseerde risico-instrumenten, op.

Interactie tussen - en integratie van - het door de praktijk (EZK/SodM/EBN/bedrijfsleven/burger) gevraagde kortlopend toegepast onderzoek en langdurig fundamenteel onderzoek, met geconcentreerde aandacht voor het elimineren van manco's en zwaktes verbonden aan bovengenoemde vier aandachtspunten, vormen de kern van de hier voorgestelde onderzoeksstrategie en -agenda. Continuïteit is cruciaal voor onderhoud en actualiseren van de te vormen "dijk".

De beoogde samenwerking en integratie zijn onder meer nodig voor de inhoudelijke versterking van de publiek beschikbare modellen voor risicobeoordelingen betreffende veiligheid en schade (zoals het Seismische Dreigings- en Risicoanalyse tool [SDRA] Groningen van TNO), voor de continue aanpassing ervan aan nieuwe ontwikkelingen en voor toepassingen ervan in andere regio's dan Groningen en vergelijkbare modelketens voor andere soorten ondergrondse activiteiten dan gaswinning en ondergronds ruimtegebruik in Nederland. Wetenschappelijk onderzoek en *state-of-the-art* kennis zijn de sleutel tot het ontwikkelen en verbeteren van voorspellende modellen met betrekking tot geïnduceerde seismiciteit, bodemdaling en vloeistofstroming in de diepe en ondiepe ondergrond en de mogelijke risico's.

### ***Naar een hecht ecosysteem Onderzoek Dynamiek Ondergrond***

Met continuïteit in zowel lange-termijn fundamenteel onderzoek als in korte-termijn toegepast onderzoek kunnen belangrijke stappen worden gezet. Daartoe streeft dit voorstel naar een goed gestructureerde positionering van alle deelnemende partijen (d.w.z. onderzoeksprogramma's en onderzoeksorganisaties, instellingen, groepen, enz.) binnen een overkoepelend kader (geen fusie), met efficiënte en constructieve interactie en samenwerking op alle relevante interne raakvlakken. Het moet gericht zijn op het vormen van een **kennisecosysteem** (*sensu* Rathenau Instituut rapport "Sturen op samenwerking in kennisecosystemen", juni 2020) dat alle academische en overheid gerelateerde programma's en organisaties omvat die actief zijn in - of gebruikmaken van resultaten van - wetenschappelijk onderzoek met betrekking tot het gebruik van de ondergrond, met beschrijving en erkenning van hun specifieke rollen en taken.

Het ecosysteem van belanghebbenden in onderzoek naar de dynamiek in de Nederlandse ondergrond is relatief overzichtelijk. Wetenschappelijke (sub)disciplines die essentieel zijn voor het bovengeschetste onderzoek en het ecosysteem omvatten de aardwetenschappen, in brede zin, diverse (sub)disciplines van de fysica, wiskunde en informatica alsook civiele techniek en veiligheidsmanagement. De belangrijkste partijen in dit ecosysteem zijn: (1) Rijksoverheid (EZK voor Energietransitie en Mijnbouw beleid, SodM voor toezicht, EBN voor participatie en lenW voor bouw- en waternormering, (2) Beheer en publieke toegang ondergrondse gegevens en modellen (KNMI met seismische data, TNO met BRO en NLOG ondergrond data, Deltares met geotechnische en RIVM met milieuaspecten), (3) Bedrijfsleven voor uitvoering gebruik ondergrond verenigd in sectorale platforms (Nogepa, Platform Geothermie, etc.), (4) TO2 instituten voor toegepast onderzoek, zoals TNO en Deltares, en Rijkskennisinstelling KNMI en RIVM en (5) de Nederlandse universiteiten voor fundamenteel onderzoek. Deze partijen werken al samen, zoals in de topsector Energie, maar onderschrijven merendeels de noodzaak tot een structurele vorm van samenwerking teneinde onderzoek gefinancierd uit verschillende geldstromen gezamenlijk doelgericht en effectief in te zetten.

Hoewel deze opzet gericht is op de situatie in Nederland, kan de voorgestelde spreekwoordelijke dijk niet geheel op nationale basis worden gebouwd. Wetenschappelijke expertise op topniveau impliceert noodzakelijkerwijs nauwe contacten met wetenschappelijke ontwikkelingen in het buitenland. Internationale contacten en samenwerking en actieve deelname van in Nederland gevestigde wetenschappers aan Europese en andere internationale wetenschappelijke en praktijkgerichte programma's met betrekking tot door mijnbouw veroorzaakte dynamiek van de ondergrond zijn essentiële elementen voor het bereiken en behouden van expertise van internationaal topniveau in Nederland.

### ***Actualiteit en urgentie***

KNMI, TNO (Unit TNO Energietransitie), Deltares, Energie Beheer Nederland (EBN) en Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) hebben in dit stadium hun steun voor het bovenstaande voorstel uitgesproken en zijn bereid een bijdrage te leveren aan verdere ontwikkeling en uitwerking.

Verschillende recente analyses en rapporten wijzen ook op de wenselijkheid en dringende noodzaak van de voorgestelde missie-gedreven onderzoeksstrategie en organisatie:

- Op de eerste plaats is de voorgestelde strategie volledig in lijn met de dringende aanbeveling van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (Rapport "Aardbevingsrisico's in Groningen 2015") betreffende de noodzakelijke zorg (door de overheid) voor een structureel en lange termijn onderzoeksprogramma waarbinnen integraal en onafhankelijk wetenschappelijk en toegepast onderzoek naar de problematiek ten gevolge van activiteiten in de ondergrond wordt gedaan voor zowel de huidige situatie in Groningen als (voorgenomen) activiteiten elders in Nederland.

- Evenzo bepleit de Mijnraad een samenhangende en publiek geborgde kennisinfrastructuur, met publiek gedefinieerde rollen van universiteiten en kennisinstellingen, en daaraan gekoppelde adequate financiering (Mijnraadadvies “Zorgplicht bij mijnbouwactiviteiten”, juni 2021, aanbeveling #5).
- Staatstoezicht op de Mijnen ([www.sodm.nl](http://www.sodm.nl)) geeft in haar sectorevaluaties van veiligheid en overlastrisico's (van o.a. geothermie en zout) duidelijk aan welke risico's er verbonden zijn aan lopende mijnbouwactiviteiten en de periode daarna. Voor goed risicomanagement en toezicht zijn en blijven inhoudelijke expertise en inzicht en permanente kennisontwikkeling noodzakelijk.
- Het periodiek karakter van KEM-agenda en programma (evaluatie en besluit over voortzetting in 2022) en het tijdelijk karakter van het DeepNL-programma (de laatste 4-jarige projecten starten in 2023/2024) maken het urgent om te beslissen over een nationale onderzoeksstrategie en agenda met betrekking tot de door mijnbouw geïnduceerde dynamiek van de Nederlandse ondergrond.
- Het rapport “Sturen op samenwerking in kennisecosystemen”, van het Rathenau Instituut (juni 2020) bepleit het ontwikkelen van strategisch beleid rond samenwerking door universiteiten en andere kennisinstellingen als stap naar kennisecosystemen betreffende cruciale maatschappelijke onderwerpen.
- De voorgestelde onderzoeksstrategie sluit volledig aan bij de inhoud van het sectorbeeld Aard- en Milieuwetenschappen 2020 [<https://www.nwo.nl/nieuws/sectorbeelden-voor-een-sterker-fundament-onder-vier-betadisciplines>] waarin de noodzaak wordt benadrukt voor een sterker fundament om bij te dragen aan het oplossen van belangrijke maatschappelijke en wetenschappelijke vraagstukken zoals op het gebied van koolstofcyclus, duurzame energie en rampen & bedreigingen in verband met seismiciteit en bodemdaling. De voorgestelde strategie is complementair aan het sectorplan dat vanuit het bijbehorende sectorbeeld zal worden ontwikkeld.

### **Eerste stappen**

Nu de in aanmerking komende partijen interesse hebben getoond, stellen wij ons voor dat een commissie van wetenschappelijke vertegenwoordigers van de verschillende onderzoeksgroepen en organisaties bovenstaand conceptvoorstel op constructieve wijze uitwerkt tot een volledig voorstel, inclusief een *roadmap* en budget, en vervolgens een missiegedreven onderzoeksagenda opstelt, met specifieke aandacht voor de rol van alle deelnemende groepen en hun interacties in een geïntegreerd raamwerk. Het initiatief onder de aandacht brengen van de betrokken ministeries (EZK, OCW, Infrastructuur en Waterstaat) en NWO en daar de nodige steun van krijgen is daarbij essentieel. Dit laatste ook in licht van passende en adequate financiering en de voortzetting van de huidige tijdelijke programma's en verkenning van mogelijkheden tot uitbreiding binnen bijvoorbeeld het klimaat- en transitiefonds van het huidige regeerakkoord.

Tenslotte: het huidige initiatief en het voorgestelde kennisecosysteem op het gebied van betrouwbare proceskennis vormen samen met het complementaire initiatief Deltaplan Diepe Ondergrond op het gebied van betrouwbare data van de diepe ondergrond een unieke en optimale combinatie om het verantwoord gebruik van de ondergrond en de veiligheid van de energietransitie voor de lange termijn met excellente kennis te ondersteunen.

Namens alle genoemde partijen die dit initiatief steunen,  
Utrecht/Eindhoven, juni 2022

Frank Baaijens  
Voorzitter KEM Expert panel

Rinus Wortel  
Voorzitter Programmacie DeepNL

<sup>1</sup> DeepNL omvat meer lange-termijn fundamenteel onderzoek aan Nederlandse universiteiten, in de vorm van een ad-hoc NWO-programma, gestart in 2019. DeepNL is vooral gericht op het begrijpen van dynamische processen in de ondergrond en op methodieken voor monitoring en voorspelling (*forecasting*), met momenteel een focus op de seismiciteit in Groningen. Het programma heeft een beperkte looptijd (tot circa 2027).

<sup>2</sup> Kennisprogramma Effecten Mijnbouw (KEM) is gestart in 2017. KEM heeft een brede focus in haar missie, maar de meeste onderzoeksprojecten tot 2021 hebben betrekking op geïnduceerde seismische activiteit, daarna is ook aandacht voor andere mijnbouweffecten. KEM richt zich op korte termijn resultaten en mobiliseert voornamelijk gerenommeerde (inter)nationale onderzoeksgroepen om binnen 2-3 jaar de onderzoeksvragen over lopende of toekomstige mijnbouwrisico's te beantwoorden.

<sup>3</sup> Publieke Seismisch Dreiging en Risico Analyse (SDRA) Groningen is een beleidsinstrument voor EZK en SodM. Het is ontwikkeld op basis van de NAM HRA en gebruik makend van resultaten van onderzoeksprojecten van NAM (SDAP), KEM/TNO onderzoek en DeepNL.

**Inleiding**

*Hoe lang kunnen er na het volledig beëindigen van gaswinning in een reservoir nog aardbevingen optreden, en welke magnitudes zijn er dan te verwachten?* Dit is momenteel één van de herkenbare, prangende vragen voor Groningen, waaraan onderzoek wordt gedaan. Zo zijn er vele specifieke, urgente en matig urgente uitdagingen en onderzoeksvragen betreffende geïnduceerde seismiciteit, bodemdaling, lekkages en migraties van vloeistoffen en bedreiging van bebouwde omgeving en infrastructuur, natuur en milieu, en veiligheid.

In de context van de energietransitie gaat het echter niet alleen om belangrijke, nu al gestelde urgente vragen betreffende winning van aardwarmte, de grootschalige opslag van gas en waterstof en aardgaswinning op de Noordzee voor leveringszekerheid.

Voor de langere termijn is het cruciaal systematisch een kennisbasis, ecosysteem, te ontwikkelen en onderhouden op grond waarvan verantwoorde, veilige plannen gemaakt kunnen worden en toekomstige vragen beantwoord kunnen worden, en wel sneller en adequater dan tot nu toe het geval is geweest; vragen die we in veel gevallen nu nog niet kennen.

Het publieke wetenschappelijke ecosysteem op het gebied van de dynamiek van ondergrond en bebouwde omgeving, zoals voorgesteld in de notitie, is een randvoorwaarde voor het onafhankelijk beantwoorden van dergelijke onderzoeksvragen.

**Wetenschappelijke uitdagingen op hoofdlijnen**

Voor alle activiteiten in de ondergrond, inclusief olie- en gaswinning, geothermische energieproductie, opslag van gas, CO<sub>2</sub> en waterstof en zoutwinning, geldt dat het vereiste inzicht in de geïnduceerde processen systematisch wordt vormgegeven in kwantitatieve modellen, onmisbaar voor het maken van voorspellingen. Voor het opstellen van dergelijke modellen voor elke mijnbouwactiviteit is generiek steeds het volgende vereist:

**a) Kwantificering van de beginsituatie (“nulmeting”)** bij de start van de desbetreffende activiteit in de ondergrond. Dit kan bijvoorbeeld slaan op het spanningsveld in de ondergrond, zoals dat aanwezig was bij het begin van gaswinning (belangrijk voor evalueren van aardbevingsdreiging ten gevolge van drukdaling en compactie), maar voor nieuwe activiteiten is de oorspronkelijke beginsituatie mogelijk al verstoord door eerdere activiteiten in de ondergrond (bijvoorbeeld geothermische energieproductie in een gebied of geologische formatie van vroegere gaswinning) en geldt inmiddels een nieuwe beginsituatie. Dit kan ook slaan op de druk, temperatuur en samenstelling van vloeistoffen in de diepe en ondiepe ondergrond. Kennis van deze beginsituaties (“beginvoorwaarden”) voor de geodynamische modellen vereist waarnemingen, in een dicht netwerk van o.a. seismologische en geodetische waarnemingsstations, van grondbewegingen, spanningsveld en vloeistofbewegingen (o.a. drukveld, temperatuur en stroming) die al plaatsvonden of aanwezig waren voor de start van de desbetreffende mijnbouwactiviteiten.

Op vergelijkbare wijze geldt dit ook voor civieltechnische en sociale kennis en een kwantitatieve nulmeting van de omvang en kwetsbaarheid van bebouwing, infrastructuur en bewoners, die nodig zijn om mogelijke impact van de dynamiek in de ondergrond te kunnen modelleren.

**b) Kennis van de geologische structuur en statische fysische en chemische materiaaleigenschappen van de gesteenteformaties en vloeistoffen** in het gebied waarin ondergrondse activiteiten gepland worden en van de veranderingen in eigenschappen die door activiteiten in de ondergrond veroorzaakt worden. En kennis van de sterkte-eigenschappen van de bebouwde omgeving en infrastructuur en van de demografie en belangen van de bewoners. Kennis van de onzekerheden in deze parameters is cruciaal om tot geloofwaardige inschattingen inclusief onzekerheidsbandbreedtes van te bepalen dreiging en risico's te komen.

**c) Geavanceerde kwantitatieve (mathematisch-fysische) beschrijving van de relevante dynamische processen**, onder andere deformatie en vloeistofstroming, de daarbij optredende spanningsveranderingen langs breukvlakken (verantwoordelijk voor aardbevingen) en van vloeistoftransport in poreuze gesteenten. Naast fysische kunnen ook chemische aspecten van belang zijn, die adequaat beschreven moeten worden. Deze procesbeschrijvingen dienen niet alleen de periode waarin mijnbouw plaatsvindt te betreffen, maar is ook belangrijk voor een periode daarvoor om de beginsituatie zo goed mogelijk te bepalen en voor een (vooralsnog onbekende) periode ná stopzetting van de ondergrondse activiteit (abandonnering, ontmanteling), waarin schadelijke najilingseffecten kunnen optreden.

Voor het berekenen van impact van bodembewegingen en vloeistoflekkages is kennis van kwantitatieve (mathematisch-fysische) procesbeschrijvingen van de dynamiek van bebouwing, bovengrondse (o.a. transport) en ondergrondse (o.a. waterwinning) infrastructuur.

Wetenschappelijk onderbouwde beschrijvingen en formuleringen maken het mogelijk de dynamiek in de ondergrond te kunnen modelleren met in acht neming van epistemische en stochastische onzekerheden. Op deze wijze verkregen kennis wordt vervolgens ingebracht in risicobeheersinstrumenten.

Dit betekent dat in de kennisbasis ook vereist is:

**d) Kennis van risicobeheersinstrumenten**, zoals kwantitatieve modelmatige analyse-instrumenten voor de bepaling van dreiging en risico's van verschillende grondstofwinning en -opslagscenario's, en van instrumenten om monitoring en signaleringstrategieën te ontwerpen, als onmisbare componenten om de ontwikkeling van het desbetreffende proces en zijn effecten te kunnen volgen, evalueren en bijstellen. Een belangrijk element hierbij is het op basis van kennis en maatschappelijke discussie definiëren van normen en grenswaarden voor schade, overlast en veiligheid.

### **Concrete uitdagingen en onderzoeksvragen**

Ter illustratie van de **Wetenschappelijk uitdaging op hoofdlijnen** volgen hier specifieke voorbeelden van geïdentificeerde problemen en onderzoeksvragen die nu al (meer) aandacht verdienen in onafhankelijk fundamenteel en toegepast onderzoek in het publieke domein:

- Geothermie:
  - Initiële spanningen en vloeistofdrukken in de ondergrond zijn in hoge mate onbekend, maar wel bepalend voor seismische risico's. Hoe kunnen we deze parameters steeds beter meten, inschatten en interpoleren?
  - Geothermische doubletten hebben een geplande levensduur van 30 jaar. Hoe gedraagt de ondergrond zich daarna, hoe snel warmt deze op en hoe interfereren daaropvolgende geothermische doubletten met de voormalige?
- Ondergrondse opslag
  - Opslag van gas, H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub> veroorzaakt acceptabele micro-seismiciteit wanneer de gehanteerde drukken niet te laag of te hoog worden. Waar de kritische onder- en bovengrenzen liggen voor verschillende initiële geologische (en geïnduceerde) condities en geomechanische eigenschappen van gesteenten en vloeistoffen vergt onderzoek. Hoe is de initiële situatie bepalend?
  - Wat zijn de lange termijn effecten (o.a. van of door vloeistofmigratie) tijdens en nadat de ondergrondse opslagfunctie vervalst? Hoe kan de nazorg op korte en lange termijn het best vormgegeven worden betreffende monitoring en beheersmaatregelen?
- Monitoren
  - Wat is er aan meetsystemen nodig om per mijnbouwactiviteit overal in Nederland de seismische *magnitude of completeness* (minimum magnitude van betrouwbaar gemeten

aardbevingen) 0.5 te behalen en wat is daarvoor het kostenplaatje? Wat zijn de beheersmaatregelen per mijnbouwactiviteit, wanneer seismiciteit in magnitude toeneemt?

- Hoe kan het monitoring-netwerk van spanningen, drukken en vloeistofsamenstelling het best per mijnbouwactiviteit en landelijk verfijnd worden? Hoe kunnen geabandonneerde putten daarin hergebruikt worden?
- Risico's
  - Wat is de beste methode om de kwetsbaarheid van bebouwing, infrastructuur en milieu op land en buitengaats voor bodembewegingen in kaart te brengen en hoe kunnen eigenaren van zeer kwetsbare bebouwing, infrastructuur en milieu gestimuleerd worden de robuustheid en veerkracht er van te vergroten?
  - Hoe kan de mogelijke dreiging van lekkages van vloeistoffen vanuit de diepe ondergrond naar zoetwater-aquifers en het ondiepe grondwater het best gekwantificeerd worden? Hoe verspreiden stoffen zich met het water en welke stoffen vormen de risico's ten aanzien van welke ondergrondse en bovengrondse functie?