

Samenvatting

Eindrapport

multidisciplinair onderzoek

naar de relatie tussen

Gaswinning en aardbevingen

in Noord-Nederland

november 1993

Inhoud

Inleiding	5
Probleemstelling	5
Aardbevingen en gaswinning	7
Gevolgen van aardbevingen voor Noord-Nederland	11
Seismische detectie	13
Conclusies en aanbeveling	14
Instellingsbeschikking	15
Colofon	16

Samenvatting eindrapport

Inleiding

Sinds 1986 worden met enige regelmaat lichte aardbevingen waargenomen in de noordelijke provincies. Het eerst in december 1986 in Assen, gevolgd door een beving bij Hooghalen in 1987. Omdat de oorzaak van deze bevingen niet duidelijk was, besloot het Ministerie van Economische Zaken door het KNMI een netwerk van seismometers te laten plaatsen rond Assen. Dit netwerk kwam eind 1988, begin 1989 tot stand. Eind 1989 vond een derde beving plaats, niet in Drenthe, maar in Noord-Holland bij Purmerend. In 1990 werd een begin gemaakt met het opzetten van een onderzoeksprogramma.

In 1991 werden in Drenthe vier bevingen geregistreerd, waarvan twee in het centrum van het Asser netwerk. Deze bevingen brachten nieuwe gegevens aan het licht, waardoor het onderzoeksprogramma meer concreet kon worden ingevuld. In juni 1991 is het onderzoeksprogramma ter kennisneming aan de Tweede Kamer gezonden.

Het onderzoek, waarvan de duur werd vastgesteld op 2 jaar, is gestart in oktober 1991. Het KNMI was bereid de projectleiding te verzorgen. De begeleiding van het onderzoek kwam in handen van een commissie van deskundigen. De taak van deze commissie werd vastgelegd in een ministeriële beschikking, zie pagina 15.

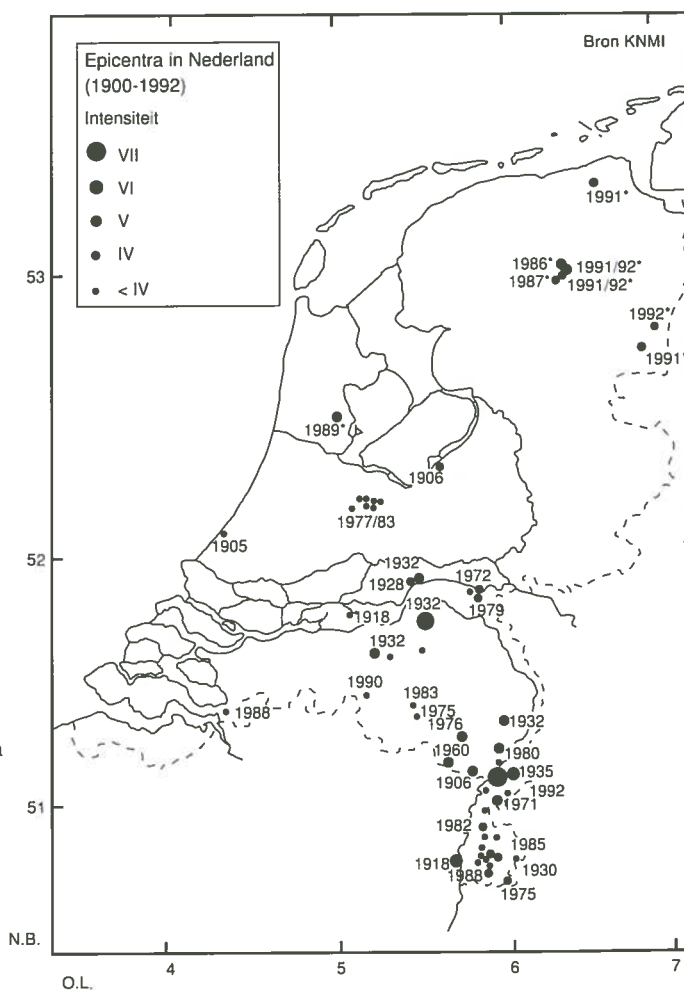
Het multidisciplinaire onderzoek naar de relatie tussen gaswinning en aardbevingen in Noord-Nederland heeft een schat aan informatie opgeleverd. Het eindrapport van de commissie en de afzonderlijke onderzoeksrapporten zijn daarvan een weergave. Door de complexiteit van de materie en het multidisciplinaire karakter van de studie is het eindrapport omvangrijk en voor niet-ingewijden minder toegankelijk. In deze uitgebreide samenvatting komen daarom de hoofdpunten uit het eindrapport aan de hand van een aantal illustraties kort aan de orde.

De commissie hoopt hiermee de problematiek toegankelijk te maken voor een groter publiek, overigens zonder afbreuk te willen doen aan de functie van het eindrapport als hoofdtekst. Deze samenvatting komt dus niet in de plaats van het eindrapport.

Probleemstelling

Aardbevingen ontstaan door veranderingen van het spanningsveld in de ondergrond waarbij langs een bestaande breuk in het gesteente plotselinge verschuivingen kunnen optreden. In Nederland zijn aardbevingen betrekkelijk zeldzaam. Dit komt omdat Nederland centraal is gelegen op een continentale plaat waar spanningsveranderingen in de ondergrond over het algemeen klein zijn. In Zuid-Nederland treden een aantal bevingen per jaar op, zie figuur 1. Deze aardbevingen hebben een natuurlijke oorsprong en zijn gebonden aan breuken in een slenkensysteem. Noord-Nederland daarentegen wordt gezien als aseismisch, dat wil zeggen dat er geen natuurlijke aardbevingen van enig belang voorkomen.

Figuur 1: Epicentra van Nederlandse aardbevingen in de periode van 1900-1992. De epicentra gemerkt met een sterretje (*) liggen in de omgeving van producerende gasvelden.

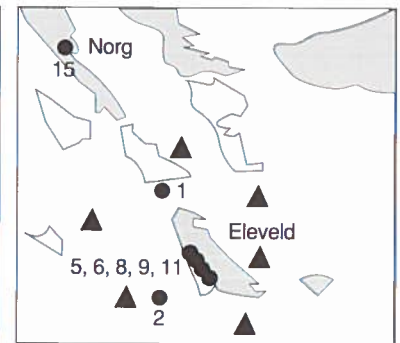
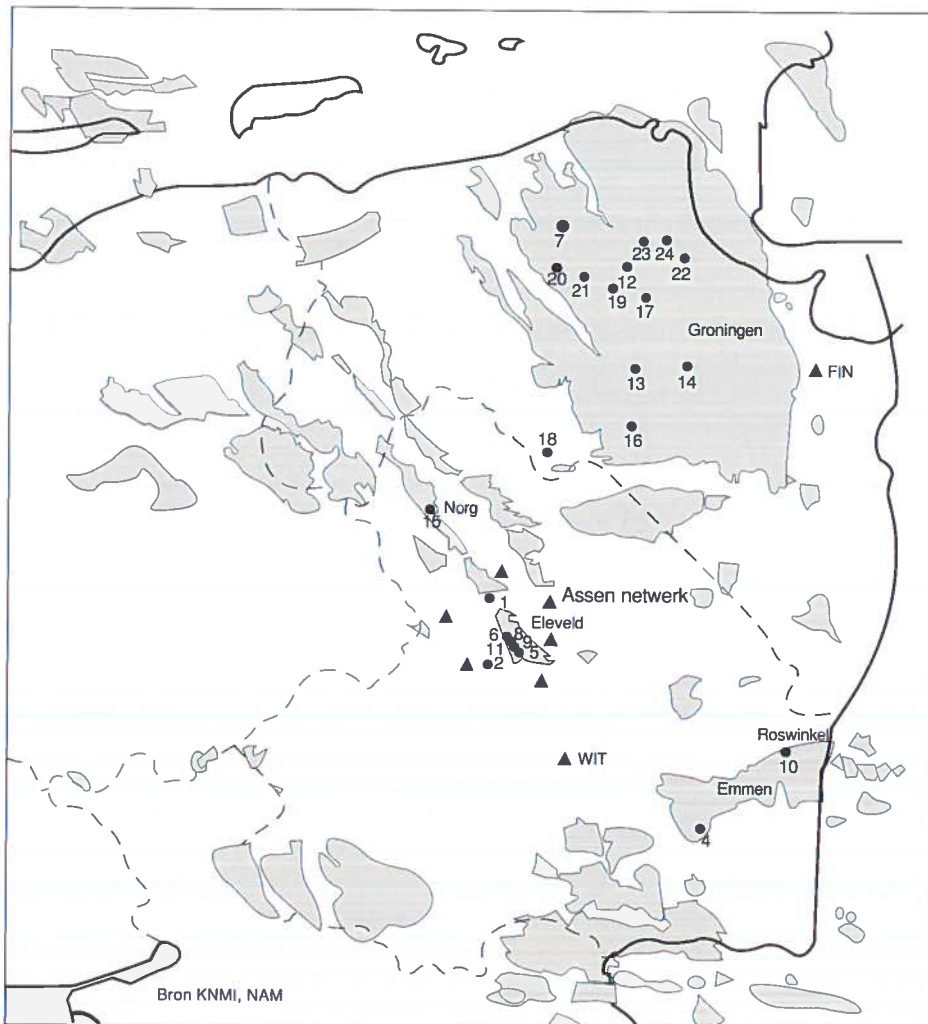


Vanaf 1986 werden echter wél aardbevingen in Noord-Nederland waargenomen, zie de figuren 1 en 2. Deze bevingen vonden plaats in gasvelden of in de omgeving daarvan. Dit roept de vraag op in hoeverre het onttrekken van gas aan de bodem de herkomst van de bevingen kan verklaren. De registraties van de seismometers van het netwerk rond Assen hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan het onderzoek.

Aanvankelijk waren slechts gegevens beschikbaar van een klein aantal aardbevingen. Daarom is al in een vroeg stadium gekozen voor een aanpak waarbij modelberekeningen een belangrijke rol spelen. Later, toen gaande het onderzoek meer seismische gegevens beschikbaar kwamen, is ook gebruik gemaakt van statistische methoden, bijvoorbeeld om de maximaal te verwachten sterkte van toekomstige aardbevingen te schatten.

Gaswinning veroorzaakt een herverdeling van de spanningen in de ondergrond, vooral in het gasreservoir zelf en in de directe omgeving van het reservoir. Het gas bevindt zich in een poreuze gesteentelaag, het gasreservoir, bijvoorbeeld een zandsteenlaag. Het reservoir wordt afgesloten door een voor gas niet-doorlatend gesteente, bijvoorbeeld steenzout.

Door de complexe geologische structuur van de ondergrond is het spanningsveld in Noord-Nederland slechts bij benadering bekend. De geschetste vraagstelling kan dan ook alleen goed opgelost worden door samenwerking in verschillende vakgebieden zoals seismologie, geologie en geomechanica. Dit verklaart het multidisciplinaire karakter van deze studie.



Situatie Eleveld

Figuur 2: Epicentra van geregistreerde aardbevingen in Noord-Nederland (stippen). De nummers van de aardbevingen zijn terug te vinden in de tabel op pagina 8. De driehoekjes geven seismische stations weer. Gasvelden zijn in grijs weergegeven.

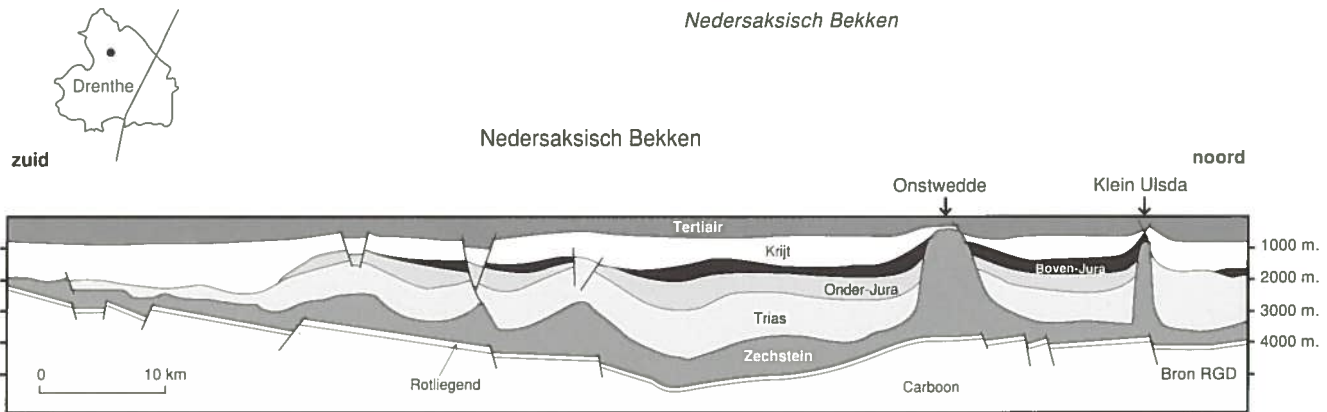
Voor de start van het multidisciplinaire onderzoek is de probleemstelling over de oorzaak van de opgetreden bevingen aangevuld met een tweetal vervolgvragen. De eerste betreft de te verwachten gevolgen van optredende aardbevingen, dus de vraag naar de maximaal mogelijke aardbeving die kan voorkomen en de eventuele schade die daarvan het gevolg kan zijn. De tweede vraag betreft het optimaal registreren van volgende aardbevingen, om te komen tot een goede kwantificering van plaats, diepte en magnitude.

De totale probleemstelling omvat dus de oorzaak en de gevolgen van de aardbevingen en de mogelijkheden om toekomstige aardbevingen goed te kunnen registreren. Deze drie onderwerpen komen afzonderlijk in de volgende paragrafen aan de orde.

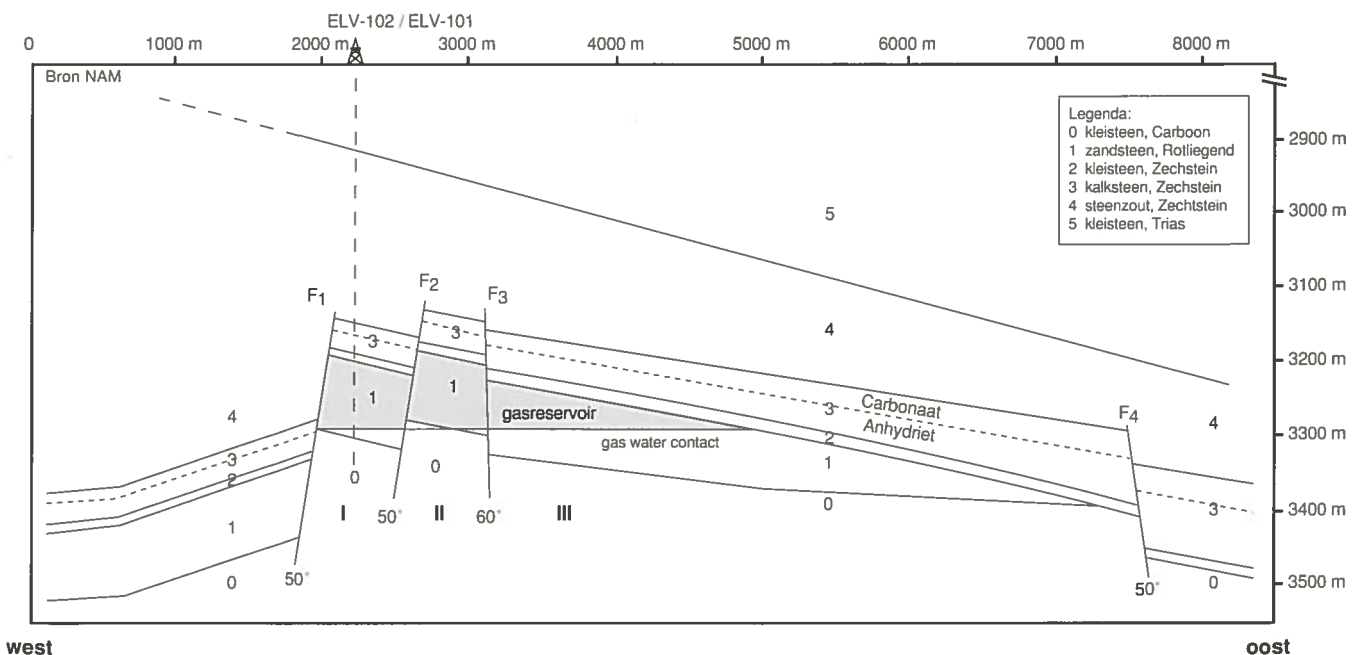
Aardbevingen en gaswinning

Vanaf eind 1986 tot en met augustus 1993 zijn 24 aardbevingen geregistreerd in Noord-Nederland. Figuur 2 geeft een overzicht van de epicentra. Van de 24 bevingen zijn 12 uitsluitend door de boorgatseismometers bij Finsterwolde geregistreerd. Deze seismometers zijn in bedrijf sinds juli 1992. In de tabel op pagina 8 wordt een overzicht van de geregistreerde bevingen gegeven. Alle epicentra liggen in een gasveld of in de directe omgeving daarvan. De bevingen hadden een kracht van 1,4 tot 2,8 op de schaal van Richter en vonden plaats op een geringe diepte van circa 3 km of minder. De tektonische aardbevingen in Zuid-Nederland daarentegen komen op grotere dieptes voor van 5 tot 30 km.

Figuur 3: Dwarsdoorsnede van zuid naar noord over het Nedersaksisch Bekken



Figuur 4: Dwarsdoorsnede van west naar oost over het gasveld Eleveld.



Tabel:

Overzicht van de geregistreeerde aardbevingen in Noord-Nederland tot en met augustus 1993.

Bron KNMI

Plaats	Datum	Tijd (UT)	Coördinaten 'N.B. O.L.	"Amersfoort" coördinaten km	Intensiteit ¹ I ₀	Magnitude ² M _L	Diepte km	Opmerkingen ⁵
Assen	26/12/1986	07:47	52.99; 06.55	556.4; 233.0 ± 1	IV-V	2.8	1 ± 0.5	Enquête; WIT, WTS, ENN * ⁶
Hooghalen	14/12/1987	20:49	52.93; 06.55	549.7; 233.2 ± 1	IV	2.5	1.5 ± 0.5	Enquête; WIT, WTS, ENN *
Purmerend	01/12/1989	20:09	52.53; 04.97	504.7; 126.7 ± 1	V	2.7	1.2 ± 0.4	Enquête; WIT, WTS, ENN *
Emmen	15/02/1991	02:11	52.77; 06.91	532.5; 258.0 ± 1	III-IV	2.2	3 ± 2	Enquête; WIT, WTS, netwerk Assen 3 *
Geelbroek I	25/04/1991	10:26	52.95; 06.57	552.2; 234.8 ± 0.2	III-IV	2.6	3.0 ± 0.3	Enquête; WIT, WTS, netwerk Assen *
Eleveld I	08/08/1991	04:01	52.96; 06.57	553.2; 234.2 ± 0.2	III-IV	2.7	3.5 ± 0.3	WIT, WTS, netwerk Assen *
Middelstum I	05/12/1991	00:24	53.36; 06.66	597.5; 239.6 ± 1	III	2.4	< 2	Enquête; WIT, WTS, netwerk Assen *
Geelbroek II	23/05/1992	15:29	52.95; 06.57	552.4; 234.8 ± 0.2	III-IV	2.6	3.1 ± 0.3	WIT, WTS, netwerk Assen *
Geelbroek III	24/05/1992	18:00	52.95; 06.57	552.0; 234.5 ± 0.3	II	1.6	-	netwerk Assen *
Roswinkel	11/06/1992	17:09	52.85; 07.04	541.5; 266.3 ± 1	III-IV	2.5	1.5 ± 1	Enquête; WIT, WTS, ENN, netwerk Assen *
Eleveld II	22/07/1992	23:23	52.96; 06.58	552.8; 234.5 ± 0.2	III	2.4	3.5 ± 0.3	WIT, WTS, ENN, netwerk Assen, FIN 4 *
Ten Boer	06/12/1992	20:34	53.32; 06.77	593.1; 247.2 ± 2	I	2.0	-	FIN
Slochteren	11/12/1992	13:00	53.22; 06.79	581.8; 248.7 ± 2	I	2.0	-	FIN
Noordbroek	12/02/1993	11:46	53.22; 06.87	582.1; 253.7 ± 2	I	1.4	-	FIN
Langelo	05/03/1993	22:27	53.09; 06.44	568.2; 225.2 ± 1	II-III	1.8	-	Enquête; netwerk Assen, FIN *
Hoogezand	12/03/1993	22:12	53.16; 06.79	575.8; 248.6 ± 2	I	1.6	-	FIN
Overschild	26/03/1993	18:34	53.29; 06.80	590.0; 249.1 ± 2	I	1.8	-	FIN
Haren	05/05/1993	20:08	53.14; 06.66	572.8; 240.1 ± 2	I	1.8	-	FIN
Ten Post	14/05/1993	19:39	53.30; 06.76	591.5; 246.5 ± 2	I	1.7	-	FIN
Bedum	27/06/1993	02:09	53.32; 06.66	593.4; 239.7 ± 2	I	1.8	-	FIN
Stedum	27/06/1993	02:57	53.31; 06.70	592.4; 242.5 ± 2	I	1.5	-	FIN
Appingedam	10/07/1993	00:22	53.33; 06.86	594.5; 253.1 ± 2	I	2.2	-	FIN
Loppersum	27/07/1993	13:39	53.35; 06.79	596.9; 248.1 ± 2	I	1.5	-	FIN
Nijenklooster	23/08/1993	00:51	53.35; 06.83	596.3; 251.3 ± 2	I	1.5	-	FIN

1 Nauwkeurigheid intensiteit ± 0.5 eenheid

2 Nauwkeurigheid magnitude ± 0.2 eenheid

3 Het netwerk Assen is sinds 1989 operationeel

4 FIN is in juli 1992 permanent gaan registreren

5 In deze kolom zijn de seismische stations aangegeven waar de betreffende beving geregistreerd is

6 Het KNMI heeft over de met * gemerkte bevingen meldingen uit het publiek ontvangen

In de figuren 3 en 4 zijn een tweetal dwarsdoorsneden gegeven. Deze doorsneden laten de complexe geologische opbouw van de diepe ondergrond zien.

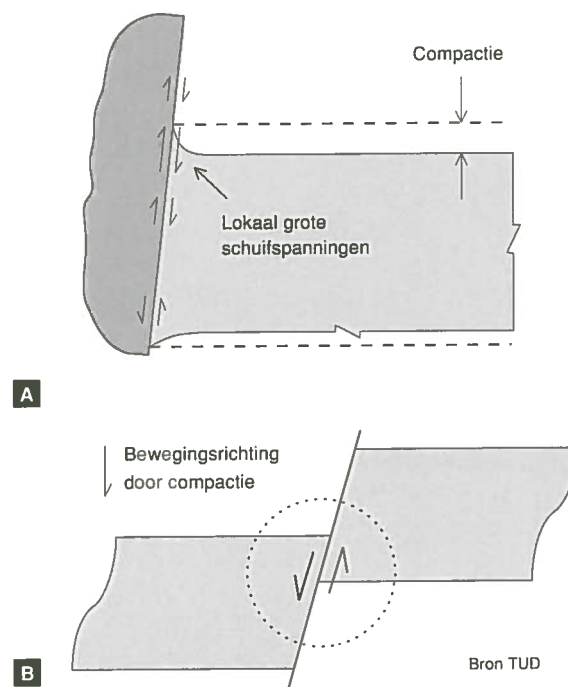
Een aardbeving ontstaat doordat de schuifspanningen in de ondergrond een bepaalde drempelwaarde overschrijden. Deze waarde wordt bepaald door de sterkte eigenschappen van het gesteente en het spanningsveld. Bestaande breuken vormen in dit verband vaak zwaktezones. De vraag naar de relatie tussen gaswinning en aardbevingen werd onderzocht door de spanningsveranderingen als gevolg van drukdaling in gasreservoirs te bepalen met behulp van rekenmodellen. Hiervoor werden de sterkte eigenschappen van het gesteente en andere geomechanische eigenschappen als invoergegevens gebruikt. Het zijn complexe rekenmodellen, omdat tevens de verschuiving langs breuken in rekening gebracht moet worden. Uit de resultaten wordt duidelijk dat er globaal drie verschillende mechanismen zijn te onderscheiden waardoor bestaande breuken gereactiveerd kunnen worden.

- Het eerste mechanisme betreft breuken in of aan de rand van een gasreservoir, zie figuur 5. Het gas bevindt zich in poreus gesteente en staat onder een hoge druk (ca. 350 bar) die een aanzienlijk deel bedraagt van de totale druk in het gasreservoir (ca. 700 bar). Deze totale druk in de ondergrond wordt in Noord-Nederland vrijwel geheel gevormd door het gewicht van de erboven gelegen gesteenten. Het aandeel van de spanning door grootschalige plaatbewegingen, ook wel tektonische spanning genoemd, is hier gering. In vloeistoffen of vaste stoffen met vloeigedrag is de spanning in alle richtingen gelijk. In een vloeistof kunnen geen schuifspanningen blijven bestaan, in vaste stoffen is dat wèl het geval. In de ondergrond is over het algemeen de spanning in de verticale richting groter dan in de horizontale richtingen. De grootte van de schuifspanning wordt mede bepaald door het verschil tussen de grootste en de kleinste spanningscomponent. De schuifspanning langs een breuk is de oorzaak van beweging langs het breukvlak. De spanningscomponent loodrecht op het breukvlak beïnvloedt de wrijving die met de beweging gepaard gaat.

Figuur 5: Schuifspanningen en verschuiving als gevolg van differentiële compactie aan de rand van een gasreservoir (A) en langs een breuk in het reservoir (B).

Bij winning van gas wordt de gasdruk in het reservoir geleidelijk lager. Door deze afnemende tegendruk neemt de druk op het reservoirgesteente toe. Immers de totale druk, veroorzaakt door het boven het reservoir liggende gesteente, blijft constant. Als gevolg van deze druktoename op het reservoirgesteente wordt het reservoir meer in elkaar gedrukt, dit staat bekend als compactie. Deze compactie in de diepte heeft bodemdaling aan het aardoppervlak tot gevolg. Voor het centrale gebied van grote velden is de bodemdaling vrijwel gelijk aan de compactie, voor kleine velden is de bodemdaling slechts een deel van de compactie.

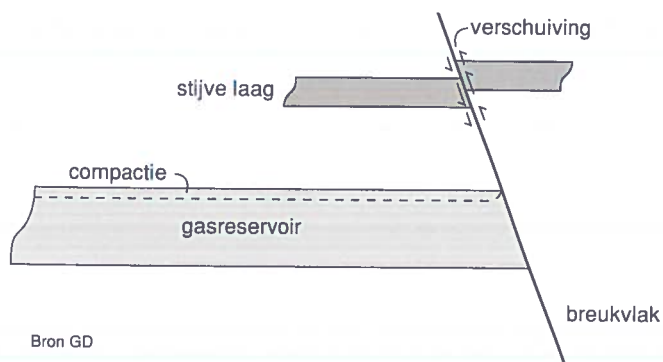
Aardbevingen kunnen ontstaan langs breuken waar de compactie aan weerszijden van de breuk niet gelijk is. Dit wordt differentiële compactie genoemd. Het kan optreden op plaatsen waar een breuk het veld aan de rand afsluit en op plaatsen in het reservoir waar een breuk aanwezig is. Figuur 5 geeft een illustratie van dit mechanisme. Modelberekeningen hebben aangetoond dat dit mechanisme de oorzaak vormt voor de aardbevingen in het gasveld Eleveld. Dit veld is als uitgangspunt voor de berekeningen gekozen omdat van dit veld de meest nauwkeurige seismologische gegevens bekend zijn en omdat het model staat voor de meeste Noord-Nederlandse gasvelden.



Het proces van differentiële compactie verloopt in de meeste gevallen geleidelijk. Op plaatsen waar bewegingen langs breuken in de ondergrond gehinderd worden, bijvoorbeeld waar conglomeraat aanwezig is, kunnen zich grote schuifspanningen opbouwen. Wanneer deze schuifspanningen een bepaalde grenswaarde overschrijden, zal deze barrière worden doorbroken, waarbij dan een plotselinge verschuiving optreedt die tot uiting komt als een aardbeving.

- Het tweede mechanisme voor de verklaring van aardbevingen in Noord-Nederland is van toepassing op de situatie in de directe omgeving van het gasreservoir. Rond een producerend gasveld worden grote schuifspanningen gegenereerd die in de directe omgeving kunnen leiden tot relatieve verplaatsingen langs een breukvlak. Tot op enkele tientallen meters onder en boven gasreservoirs kan de spanningsherverdeling langs reeds bestaande breuken leiden tot plotselinge zettingen. Deze zettingen zijn in grote mate afhankelijk van de lokale spanningsverdeling en van de geologische omstandigheden langs het breukvlak. De opeenvolgende gesteentelagen in de omgeving van het reservoir zijn verschillend van samenstelling. Deze verschillen zijn bepalend voor de grootte van mogelijke verschuivingen langs een breukvlak. De aardbevingen in het Groningenveld zijn mogelijk een gevolg van dit mechanisme. Figuur 6 geeft een illustratie hiervan. Het onderscheid tussen het eerste en het tweede mechanisme is gelegen in de plaats van de bevingen. In het eerste geval binnen het reservoir of aan de rand, in het tweede geval onder of boven het reservoir.

Figuur 6: Mechanisme voor het ontstaan van aardbevingen boven de rand van een gasreservoir.



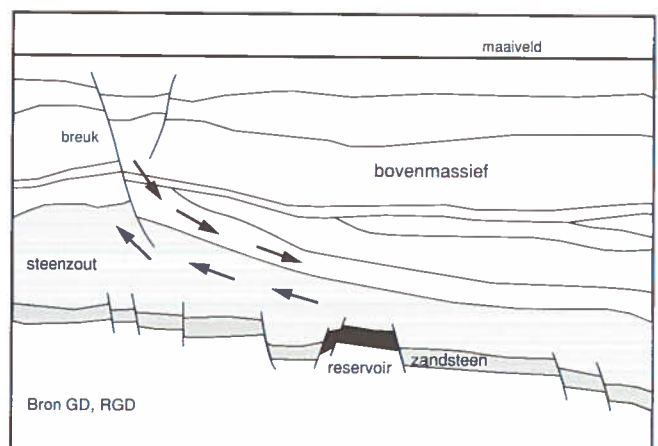
SAMENVATTING

10

Aardbevingen die worden beschreven met het eerste en het tweede mechanisme worden aangeduid met de term "geïnduceerd". De energie die bij deze bevingen vrijkomt staat dus in een directe relatie met het proces van gaswinning zelf.

- Het derde mechanisme is van toepassing op wat verder van het gasveld gelegen breuken. In Noordoost-Nederland is het overgrote deel van de gasvelden gelegen onder een dik zoutpakket. De eigenschappen van dit steenzout, met name het vloeigedrag, zijn bepalend voor de herverdeling van de spanningen en de bewegingen in de verre omgeving van het producerend reservoir. Deze spanningsherverdeling kan, afhankelijk van de heersende tektonische spanning, ook daar leiden tot plotselinge slipbewegingen langs bestaande breukvlakken. De plotselinge zetting waarbij de hoeveelheid energie die vrijkomt voornamelijk bepaald wordt door natuurlijke tektonische processen geeft aanleiding tot een "getriggerde aardbeving". Wellicht vormt dit mechanisme een verklaring voor de bevingen die zijn opgetreden bij Assen en Hooghalen. In figuur 7 is dit derde mechanisme geïllustreerd.

Figuur 7: Mechanisme voor het ontstaan van "getriggerde aardbevingen".



Op grond van deze drie mechanismen ondermeer ondersteund door modelberekeningen voor het gasveld Eleveld is de conclusie getrokken dat er in algemene zin een relatie bestaat tussen gaswinning en het optreden van aardbevingen in Noord-Nederland. Deze conclusie wordt verder gesteund door de ligging van de epicentra boven gasvelden of in de directe omgeving daarvan. Het aantal van 24 geregistreerde schokken in de periode december 1986 tot en met augustus 1993 geeft bovendien aan dat dit een vrij algemeen verschijnsel is. Een aanzienlijk deel van deze bevingen blijkt zich voor te doen in het Groningenveld.

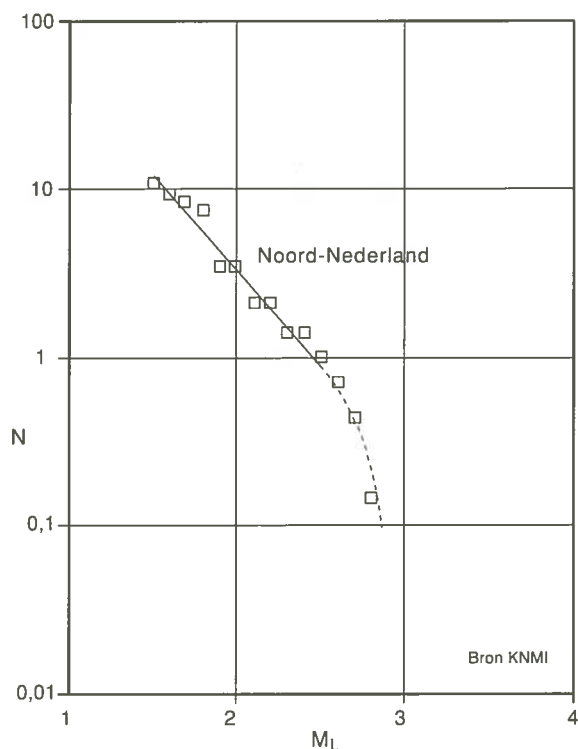
Gevolgen van aardbevingen voor Noord-Nederland

De gevolgen aan het aardoppervlak van aardbevingen worden vooral bepaald door een drietal factoren.

In de eerste plaats is de sterkte van een beving afhankelijk van de grootte van de verschuiving ter plaatse van de aardbevingshaard. Samen met het verschoven oppervlak van de breuk en de elasticiteit van het gesteente ter plekke bepaalt de verschuiving de kracht van de optredende aardbeving. Uit modelberekeningen is af te leiden dat onder de gegeven condities als gevolg van gaswinning in Noord-Nederland deze kracht niet groter zal worden dan ongeveer 3 op de schaal van Richter.

Uit statistische berekeningen van de geregistreerde aardbevingen in Noord-Nederland is een maximaal te verwachten aardbeving met een magnitude van 3,3 bepaald. Ondanks de totaal andere benadering zijn deze getallen goed met elkaar in overeenstemming. Figuur 8 laat zien hoe het jaarlijkse aantal aardbevingen verdeeld is over verschillende magnitudes.

In de tweede plaats is de diepte van de beving van belang. Alle bevingen waarvan de diepte bepaald kon worden, vonden plaats op minder dan 4 km. Naar gelang de aardbevingshaard ondieper gelegen is, zullen de gevolgen aan het oppervlak groter zijn. Daar staat tegenover dat het gebied waarin de gevolgen merkbaar zijn navenant kleiner is.



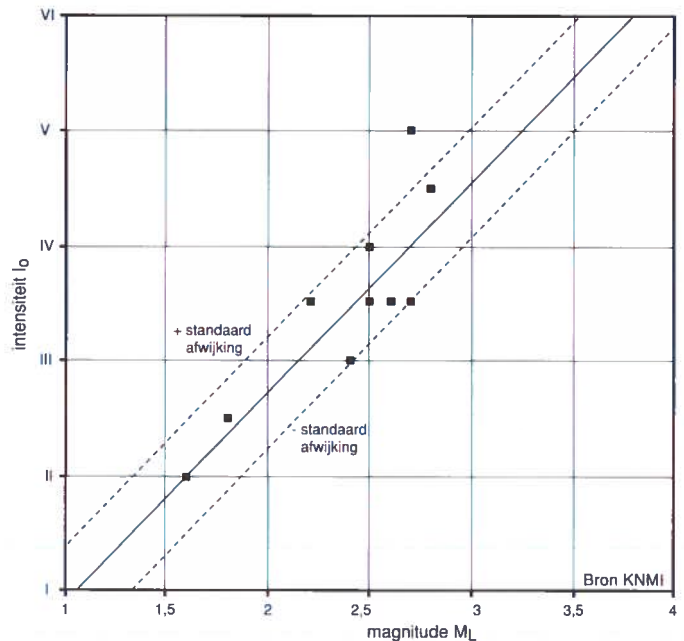
In de derde plaats zijn de gevolgen afhankelijk van lokale geologische omstandigheden zoals de dikte en de aard van het sediment pakket. Een dik en weinig geconsolideerd pakket bijvoorbeeld kan het effect van de optredende trillingen versterken door resonantie-effecten. De gevolgen zijn ook in grote mate afhankelijk van de bouwwijze in het epicentrale gebied.

Het begrip "intensiteit" beschrijft de gevolgen aan het aardoppervlak van een aardbeving. Met de intensiteit wordt aangegeven in welke mate de aardbeving door personen wordt gevoeld of waaruit de schade aan bouwwerken bestaat. De intensiteit wordt beschreven in een twaalfdelige schaal. In Europa is sinds 1992 de European Macroseismic Scale (EMS) in gebruik. In figuur 9 is het verband weergegeven tussen de magnitude van de Noordnederlandse aardbevingen en de waargenomen intensiteiten rond de epicentra. De gegevens aangaande de intensiteiten zijn afkomstig van de enquêtes die naar aanleiding van de gevoelde bevingen uitgevoerd zijn. De spreiding van de meetwaarden wordt voornamelijk veroorzaakt door verschillen in lokale geologische omstandigheden en door variaties in haarddiepte.

Uit figuur 9 is af te leiden dat de intensiteit bij de maximaal mogelijke aardbeving in Noord-Nederland een waarde heeft tussen V en VI. Met de spreiding van de meetwaarden is rekening gehouden bij het bepalen van de maximale intensiteit. De gevolgen voor bouwwerken die deze intensiteiten met zich meebrengen laten zich samenvatten in de conclusie dat er in het ongunstigste geval een kleine kans bestaat op lichte schade in een beperkt gebied rond het epicentrum.

Figuur 8: Jaarlijks aantal aardbevingen N voor Noord-Nederland uitgezet tegen de magnitude M_L . De getekende kromme nadert asymptotisch de waarde $M_L = 3,3$.

Figuur 9: Intensiteit in het epicentrale gebied I_0 uitgezet tegen de magnitude M_L voor aardbevingen in Noord-Nederland. In de tabel is de intensiteitschaal (EMS) omschreven en is de relatie met de magnitude aangegeven voor Noord-Nederland.



EMS onderscheidt drie categorieën waarop aardbevingseffecten hun uitwerking hebben:

- a op mensen
- b op voorwerpen en op de natuur (m.u.v. schade aan gebouwen, uitwerking op de bodem).
- c op gebouwen (schade)

Gradatie 1: Verwaarloosbare tot lichte schade (geen structurele schade) haarscheurtjes in een enkele muur; neervallen van slechts kleine stukjes pleisterwerk; in een enkel geval vallen loszittende stenen van hogere delen van gebouwen.

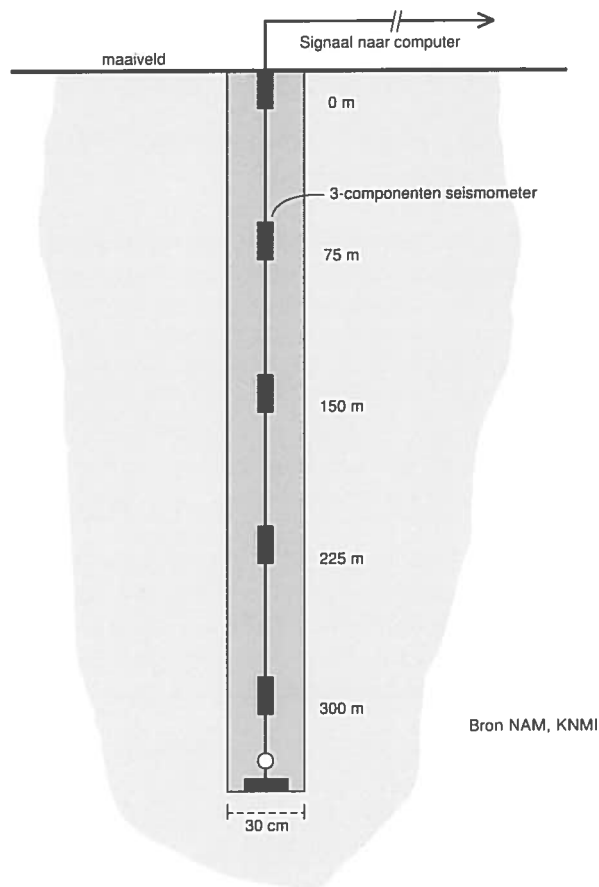
Gradatie 2: Matige schade (lichte structurele schade, matige niet-structurele schade) scheuren in veel muren; neervallen van grotere stukken pleisterwerk; delen van schoorstenen komen omlaag.

Intensiteit	Aanduiding	Verschijsel	Magnitude
I	Niet gevoeld	a Niet gevoeld, zelfs onder de meest gunstige omstandigheden. b Geen effecten. c Geen schade.	0.8 - 1.3
II	Nauwelijks gevoeld	a De aardbeving wordt slechts binnenshuis gevoeld door een enkeling (minder dan 1%) in rusttoestand of in een bijzonder ontvankelijke situatie. b Geen effecten. c Geen schade.	1.3 - 1.8
III	Zwak	a De aardbeving wordt binnenshuis gevoeld door enkelen. Mensen in rusttoestand voelen een schommeling of lichte trilling. b Opgehangen voorwerpen slingeren licht heen en weer. c Geen schade.	1.8 - 2.4
IV	Algemeen waargenomen	a De aardbeving wordt binnenshuis door velen gevoeld en buitenshuis slechts door enkelen. Enkelen worden wakker. De sterkte van de trillingen is matig en is niet beangstigend. Men neemt een licht trillen of zwaaien van het gebouw, kamer, bed of stoel waar. b Rammelen van serviesgoed, glaswerk, ramen en deuren. Hangende voorwerpen slingeren. In een enkel geval begint licht huisraad te schudden en houtwerk te kraken. c Geen schade.	2.4 - 2.9
V	Sterk	a De aardbeving wordt binnenshuis door de meeste mensen gevoeld, buitenshuis door weinigen. Enkele mensen schrikken en rennen naar buiten. Veel slapende mensen worden wakker. Een sterk trillen of schudden van het hele gebouw, kamer of meubilair wordt waargenomen. b Hangende voorwerpen slingeren in aanzienlijke mate. Servies en glaswerk rinkelert. Kleine, topzware en/of wankel voorwerpen kunnen verschuiven of omvallen. Deuren en ramen zwaaien open en dicht. In enkele gevallen breken vensterruiten. Schommelingen in vloeistoffen waarbij volle vloeistofreservoirs kunnen overlopen. Dieren in huis kunnen onrustig worden. c Schade met gradatie 1 aan enkele gebouwen.	2.9 - 3.5
VI	Lichte schade veroorzakend	a Door de meeste mensen binnenshuis gevoeld en door velen buitenshuis. Enkele personen verliezen hun evenwicht. Veel mensen zijn geschrokken en rennen naar buiten. b Kleine stabiele voorwerpen kunnen omvallen en meubilair kan gaan schuiven. In enkele gevallen kan serviesgoed en glaswerk breken. Vee kan angstig worden (ook buiten). c Veel gebouwen ondergaan schade met gradatie 1; enkele ondergaan schade met gradatie 2.	3.5 - 4.1

Seismische detectie

Het laatste onderdeel van de studie was een onderzoek naar de bruikbaarheid van boorgatseismometers om kleine bevingen te detecteren. Aardbevingen zijn niet de enige bronnen die de ondergrond in beweging brengen. Ook verkeer en industriële activiteit brengt de bodem in voortdurende trilling. Zelfs weer en wind zijn in dit opzicht bronnen van de continue bodemruis die door seismometers geregistreerd wordt. Deze bodemruis maakt dat de waarneming van kleine seismische signalen minder nauwkeurig is of dat de kleinste signalen zelfs in de ruis verdwijnen. Voor het netwerk van seismometers rond Assen is berekend dat onder gunstige ruisomstandigheden aardbevingen die plaats vinden binnen het netwerk met een magnitude van 1,7 nog net door alle instrumenten geregistreerd kunnen worden.

Omdat bodemruis snel afneemt met de diepte is het in dit verband beter de seismometers in boorgaten te plaatsen, zie figuur 10. Uit het experiment met seismometers dat werd uitgevoerd in een boorgat bij Finsterwolde is gebleken dat de ruis met bijna een factor 10 gereduceerd kan worden. Daarmee wordt de detectiegrens met een volle magnitude eenheid verbeterd. Dit is ook aangetoond door de continue registratie van de boorgatseismometers bij Finsterwolde, waarbij een tiental kleine aardbevingen in het Groningen veld gedetecteerd werden. Het is gevoeglijk aan te nemen dat dergelijke kleine schokjes ook al zijn opgetreden vóór de ingebruikname van de boorgatseismometers. Het experiment heeft duidelijk gemaakt dat een effectieve detectie van aardbevingen met boorgatseismometers in Noord-Nederland mogelijk is.



figuur 10: Schematisch overzicht van de boorgatseismometers bij Finsterwolde.

Conclusies en aanbeveling

Op grond van het multidisciplinaire onderzoek heeft de begeleidingscommissie de resultaten samengevat in een aantal conclusies die hier, in deze samenvatting, integraal uit het eindrapport zijn overgenomen.

- a In de periode december 1986 tot en met augustus 1993 werden in Noord-Nederland 24 kleine aardbevingen geregistreerd met magnitudes variërend van 1,4 tot 2,8 op de schaal van Richter. Het KNMI ontving van een twaalfstal aardbevingen meldingen uit het publiek. Deze groep van aardbevingen onderscheidt zich van andere bevingen in Nederland door de kleinere magnitude, de geringere haarddiepte en door het tijdsbestek waarin de aardbevingen zijn opgetreden.
- b In het geval van het gasveld Eleveld heeft gaswinning aanleiding gegeven tot geïnduceerde aardbevingen. Deze conclusie is getrokken op grond van seismische waarnemingen, modelberekeningen en geologische gesteldheid van de ondergrond.

Voor de bevingen bij Assen en Hooghalen is een relatie met gaswinning niet uit te sluiten. Via het complexe rheologische gedrag van zoutlagen in de ondergrond zijn deze bevingen mogelijk getriggerd.

Voor de andere aardbevingen is de relatie met gaswinning niet expliciet aangetoond; zij is alleen in algemene zin onderzocht. Gezien het seismische patroon, de ligging van de hypocentra, de relatie met historische seismiciteit en de frequentie-magnitude verdeling zijn deze bevingen echter van niet-tektonische oorsprong en zijn derhalve mogelijk door gaswinning geïnduceerd.

Met betrekking tot de aardbeving bij Purmerend kan geen onderscheid gemaakt worden tussen een tektonisch of een getriggerd mechanisme omdat er onvoldoende gegevens voorhanden zijn.

- c Statistisch gezien is de maximaal te verwachten magnitude van aardbevingen in Noord-Nederland berekend op $M_L = 3,3$ op de schaal van Richter. De kans dat een dergelijke beving optreedt is verwaarloosbaar klein.

Uit de geomechanische modellering is ook een schatting gemaakt voor de maximaal te verwachten aardbeving. De waarde van 2,9 op de schaal van Richter is ondanks de totaal andere aanpak in goede overeenstemming met het resultaat uit de seismologie.

- d De uitkomsten van het multidisciplinaire onderzoek geven aan, dat als gevolg van de maximaal te verwachten aardbeving, zelfs in het ongunstigste geval, slechts een kleine kans bestaat op lichte schade aan bouwwerken in een beperkt gebied rond het epicentrum.
- e Met inschakeling van seismische observaties in boorgaten is een adequate seismische detectie mogelijk. De ervaring met het station Finsterwolde heeft aangetoond dat er technisch gezien geen beletselen zijn voor de aanleg van een netwerk van boorgatseismometers in Noord-Nederland.
- f Gezien de resultaten van het onderzoek naar de relatie tussen gaswinning en aardbevingen komt de commissie tot de slotsom dat onder bepaalde omstandigheden aardbevingen het gevolg zijn van gaswinning. Het aantal aardbevingen en de sterkte ervan zijn in Noord-Nederland niet van dusdanige aard dat dit aanleiding hoeft te zijn tot enige verontrusting.

De commissie is van mening dat nader onderzoek pas tot verdergaande resultaten kan leiden wanneer substantieel meer gegevens over het ondergrondse spanningsveld en seismische registraties voor handen zijn. Met het oog hierop komt de commissie met de aanbeveling om voor Noord-Nederland een seismisch observatie-netwerk op te zetten. Dit netwerk zal goed in staat moeten zijn de eventuele aardbevingen te detecteren, te lokaliseren en te kwantificeren.

EZ

Instelling Begeleidingscommissie Onderzoek Aardbevingen

30 september 1991/nr.91085238
Directie Wetgeving en andere
Juridische Aangelegenheden/W

De Minister van Economische Zaken, Handelende in overeenstemming met de Minister van Verkeer en Waterstaat; Overwegende, dat er onduidelijkheid bestaat over de oorzaak van enkele aardbevingen in Drenthe en Noord-Holland; dat er onder leiding van het KNMI een onderzoek wordt verricht naar de achtergrond van deze bevingen; dat het wenselijk is dit onderzoek te laten begeleiden door een commissie van deskundigen;

Besluit:

Artikel 1

In dit besluit wordt verstaan onder: ministers: de Minister van Economische Zaken en de Minister van Verkeer en Waterstaat; commissie: de in artikel 2 bedoelde commissie; onderzoek: het multidisciplinaire onderzoek naar de relatie tussen gaswinning en bevingen, bedoeld in het antwoord van de regering op vragen van enkele leden van de Tweede Kamer, Aangangsels nr. 597 van de Handelingen der Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991.

Artikel 2

Er is een Begeleidingscommissie Onderzoek Aardbevingen.

Artikel 3

De commissie heeft tot taak:

- de onderscheiden deelprojecten binnen het onderzoek inhoudelijk te begeleiden onderling af te stemmen;
- de resultaten van het onderzoek te verwerken in een rapport, dat geschikt is voor openbaarmaking;
- aanbevelingen te doen aangaande het gebruik van seismometers, mede op grond van het experiment met boorgatseismometers, dat in het kader van het onderzoek wordt uitgevoerd;
- aan de hand van de resultaten van het onderzoek te beoordelen of de geologische gesteldheid van de ondergrond in het noorden des lands zodanig is, dat onder bepaalde voorwaarden nieuwe bevingen verwacht kunnen worden en zo ja, in hoeverre deze bevingen gevolgen voor bouwwerken zouden kunnen hebben.

Artikel 4

1. De voorzitter en de overige leden van de commissie worden benoemd en ontslagen door de Minister van Economische Zaken in overeenstemming met de Minister van Verkeer en Waterstaat.

2. Ter gelegenheid van de instelling worden tot lid benoemd:

- dr. A.R. Ritsema, tevens voorzitter;
- H.J. Gussinklo, werkzaam bij de Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.;
- dr. H.W. Haak, werkzaam bij het KNMI;
- drs. A. Lokhorst, werkzaam bij de Rijks Geologische Dienst;
- ir. J.J.E. Pöttgens, werkzaam bij het Staatstoezicht op de Mijnen.

3. De Minister van Economische Zaken voorziet in het secretariaat.

Artikel 5

Ter uitvoering van haar taak kan de commissie onder meer:

- daarvoor in aanmerking komende personen ter vergadering uitnodigen om hun mening uiteen te zetten of inlichtingen te verstrekken;
- zich rechtstreeks tot derden wenden tot het verkrijgen van de inlichtingen die zij behoeft.

Artikel 6

De commissie kan ter uitvoering van haar taak de ministers voorstellen nader onderzoek te doen uitvoeren.

Artikel 7

De commissie stelt haar eigen werkwijze vast.

Artikel 8

De commissie biedt het rapport, alsmede de aanbevelingen en conclusies, bedoeld in artikel 3, voor 1 november 1993 aan de ministers aan.

Artikel 9

Een ieder die betrokken is bij de werkzaamheden van de commissie en daarbij de beschikking krijgt over de gegevens waarvan hij het vertrouwelijk karakter kent of redelijkerwijs moet vermoeden, en voor wie niet reeds uit hoofde van ambt, beroep of wettelijk voorschrift ter zake van die gegevens een geheimhoudingsplicht geldt, is verplicht tot geheimhouding daarvan, behoudens voor zover enig wettelijk voorschrift

hem tot bekendmaking verplicht of uit zijn taak bij deze werkzaamheden de noodzaak tot bekendmaking voortvloeit.

Artikel 10

Het beheer van de bescheiden betreffende de werkzaamheden van de commissie geschiedt met inachtneming van de bepalingen van het Besluit Algemene secretarie-aangelegenheden rijksadministratie (Stb. 1980, 182) op overeenkomstige wijze als bij het Ministerie van Economische Zaken. De bescheiden worden na beëindiging van de werkzaamheden van de commissie opgeborgen in het archief van dat ministerie.

Artikel 11

1. Dit besluit wordt bekendgemaakt in de Staatscourant.

2. Het treedt in werking met ingang van de tweede dag na die van de dagtekening van de Staatscourant waarin het wordt geplaatst.

3. Het vervalt met ingang van 1 januari 1994.

Afschrift van dit besluit zal worden gezonden aan de Algemene Rekenkamer.

's-Gravenhage, 30 september 1991
De Minister van Economische Zaken,
J.E. Andriessen.

Colofon

Samenstelling
Begeleidingscommissie Onderzoek Aardbevingen

Vormgeving
Studio KNMI

Lithografie
Grafisch bedrijf Nauta en Haagen bv, Oss

Druk
Meerpaal Offset bv, Tiel

*Deze samenvatting en het eindrapport van de
Begeleidingscommissie zijn op aanvraag beschikbaar bij het KNMI
afdeling Seismologie, Postbus 201, 3730 AE De Bilt.
Telefoon 030 - 206 911.*