

# Bodemdaling door Aardgaswinning

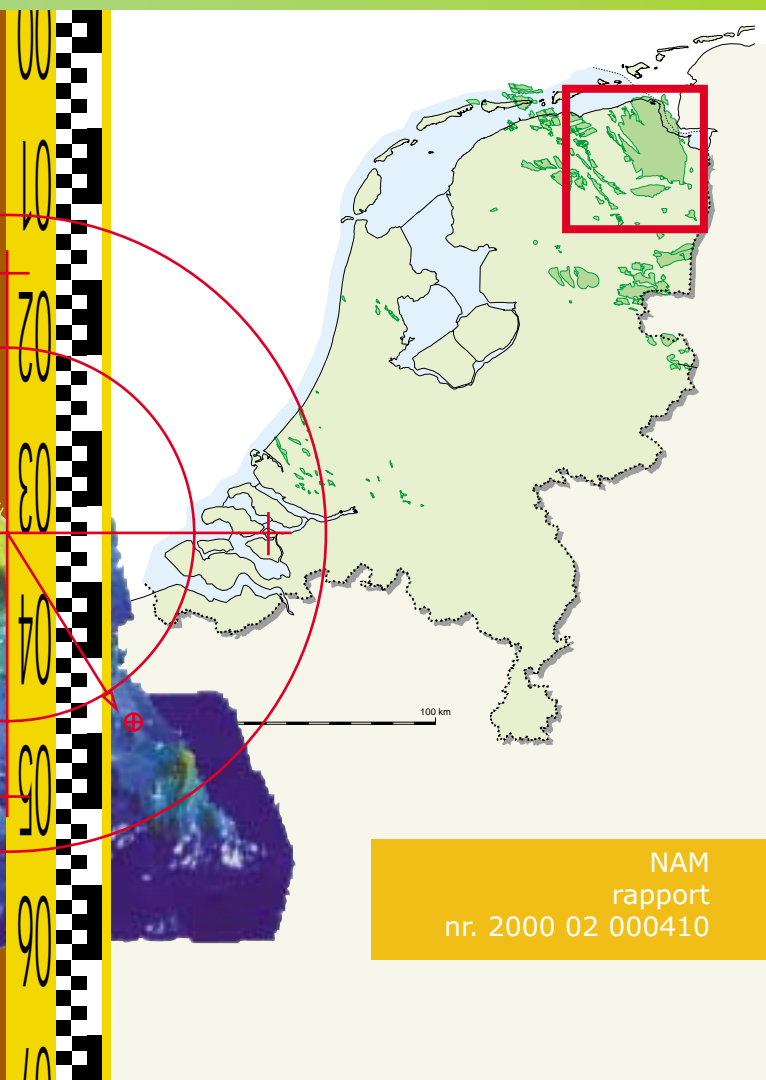
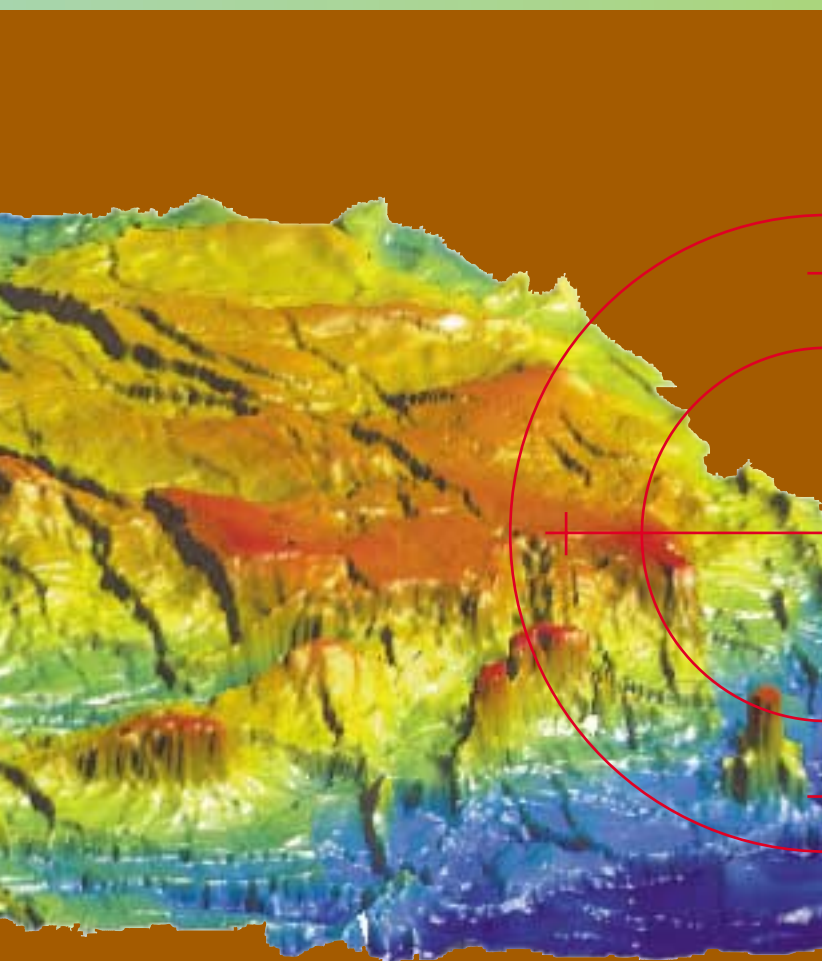
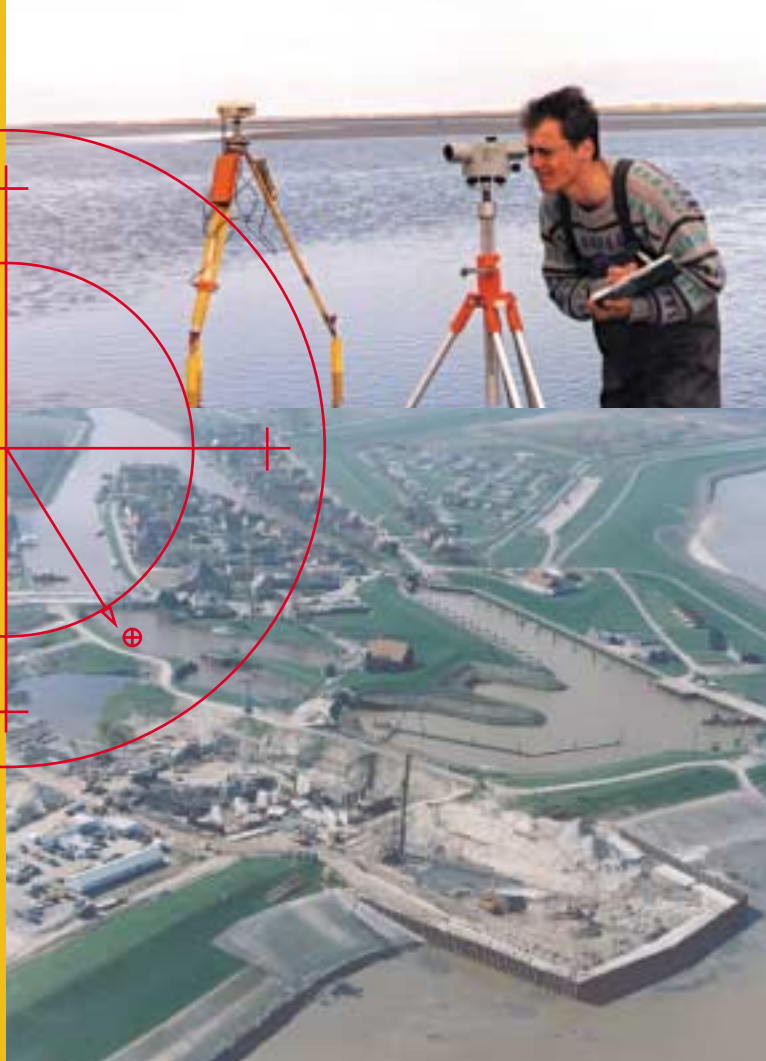
Groningen veld en randvelden in Groningen, Noord Drenthe en het Oosten van Friesland

Status Rapport 2000 en Prognose tot het jaar 2050

maart 2000

## SAMENVATTING

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.



NAM  
rapport  
nr. 2000 02 000410



## Inhoud

Samenvatting	2
Verklarende woordenlijst	3
1. Inleiding	4
2. Observaties en Nieuwe Ontwikkelingen sinds 1995	5
2.1 Metingen	5
2.2 Data Verwerking	5
2.3 Research	5
3. Bodemdalingsmetingen: Meetmethoden en Analyse	6
3.1 Waterpassingen	6
3.2 Alternatieve meetmethoden	6
3.3 Geodetische Deformatie Analyse	7
3.4 Research	7
4. Compactiemetingen in ondiepe observatieputten	8
5. Compactiemetingen in diepe observatieputten	10
6. Modelleren van Compactie, Laboratorium Experimenten en Research	12
6.1 Compactiemodel	12
6.2 Compactiemetingen	12
6.3 Compactie Database	14
6.4 Modelleren van Kernbeschadiging	14
6.5 Eindige Elementen Modelleren	14
7. Aquifer-effecten	15
8. Invloed van andere gasvelden	17
9. Prognose tot het jaar 2050	19
9.1 Contourkaarten	19
9.1 Onzekerheid	19
10. Conclusies	21

Deze samenvatting is een weergave van de belangrijkste hoofdstukken en conclusies van het officiële rapport. Het volledige rapport is overeenkomstig de 'Bodemdalingsovereenkomst 1983' tussen onder andere de Provincie Groningen en NAM, aangeboden aan de Provincie Groningen en andere betrokken overheden.

Extra exemplaren van deze samenvatting zijn verkrijgbaar bij de afdeling Voorlichting van de NAM, Postbus 28000, 9400 HH Assen. Telefoon 0592-362074.

Grafische vormgeving en begeleiding: Reclamebureau Unicom BV, Groningen.

M.m.v. NAM – XGM-DS (Draughting Services).

Luchtfoto omslag: Aerophoto Eelde.

Overnemen van tekst of figuren alleen na schriftelijke toestemming van de NAM.



## **Samenvatting**

Ter uitvoering van de Overeenkomst Groningen-NAM inzake regeling vergoeding kosten bodemdaling aardgaswinning van 31 augustus 1983 bevat dit rapport een op huidige kennis en inzichten gebaseerde prognose voor de bodemdaling als gevolg van gaswinning in de provincie Groningen. In de overeenkomst is vastgelegd dat de NAM eens in de vijf jaar zal rapporteren over haar bodemdalingsverwachtingen, rekening houdend met resultaten van actuele metingen en specifiek onderzoek op dit gebied.

De voorgaande prognose dateert uit 1995. De toen gedane voorspelling over bodemdaling door gaswinning is tot op heden correct gebleken. Boven het Groningen gasveld zijn de verschillen tussen de voorspelde en de laatstelijk in 1998 gemeten bodemdaling gemiddeld kleiner dan 10%. Gezien de onzekerheden die inherent zijn aan de prognose en de metingen, geven deze verschillen geen aanleiding tot bijstelling van de prognose. Wat de maximale bodemdaling betreft, wijkt de huidige prognose daarom weinig af van de vorige. Onveranderd blijft de verwachting dat de daling in het centrum van het schotelvormige bodemdalingsgebied in het jaar 2050 minder dan 45 cm zal bedragen. Een waarde van ca. 38 cm wordt het meest waarschijnlijk geacht. Evenals bij de vorige prognose zijn er enige veranderingen in de vorm van de bodemdalingsschotel. Zo zijn de sinds 1995 in Groningen en Friesland nieuw gevonden gasvelden overeenkomstig hun ontwikkelingsplannen in de prognose meegenomen. Daardoor beslaat de uiteindelijke bodemdalingsschotel een groter oppervlak in vergelijking met de vorige prognose. De bodemdaling is berekend voor de eindfase van de productie periode van het Groningen veld, voorzien in 2050 en voor de tussenliggende jaren 2010 en 2025. In de prognoses zijn de best beschikbare gegevens verwerkt met betrekking tot modelparameters als dikte, druk en diepte van het reservoir. Inverse modellering van de gemeten bodemdaling heeft geleid tot verbeterde inzichten m.b.t. het drukverloop in het watervoerende deel van het reservoir gesteente (aquifer). De drukontwikkeling in het reservoir tot 2024 is gebaseerd op het Plan van Gasafzet 1999. Verdere drukontwikkeling is gebaseerd op een einddruk van ca. 15 bar in 2050. In de prognose voor het jaar 2050 en tussenliggende jaren is aangenomen dat de twee velden die worden gebruikt voor ondergrondse gasopslag, Norg en Grijskerk, hiervoor op dat tijdstip nog in gebruik zijn. Boven deze velden zal op dat moment de bodemdaling minder zijn dan wanneer deze velden leeg geproduceerd zouden zijn.

Naast de bestaande modellen waarmee evenals in 1995 de reservoircompactie en de daaruit voortvloeiende bodemdaling zijn berekend, zijn voor de 2000 prognose in samenwerking met TNO modelberekeningen uitgevoerd met behulp van zogenaamde eindige-elementen-analyse, waarbij de eigenschappen van het reservoir en alle bovenliggende lagen in detail kunnen worden beschreven. De resultaten van deze modellering komen goed overeen met de op traditionele wijze voorspelde bodemdaling.

Het in 1995 gerapporteerde verschil tussen de samendrukbaarheid die enerzijds in het laboratorium aan gesteente-monsters (kernen) wordt gemeten en anderzijds uit veldgegevens wordt afgeleid, is verder onderzocht. Niet-uniaxiale compactie, waarbij de samendrukking van het reservoir niet uitsluitend in verticale richting optreedt, zou het waargenomen verschil goeddeels kunnen verklaren. Er zijn tot dusver echter geen duidelijke aanwijzingen gevonden dat de compactie in Groningen anders dan uniaxiaal (alleen verticaal) verloopt. Het onderzoek naar een andere mogelijke oorzaak, namelijk de beschadiging die optreedt tijdens het naar boven halen van een kern uit het reservoir, heeft geresulteerd in modellen waarmee het proces van kernen en het vervolgens herbelasten van een kern kan worden beschreven. Deze modellen zullen nader worden uitgewerkt en gekalibreerd om de optredende kernschade te kunnen kwantificeren, zodat de laboratoriummetingen daarvoor mogelijk in de toekomst gecorrigeerd kunnen worden.

In 1998 is in Groningen de vijfjaarlijkse grote waterpassing uitgevoerd met het doel de bodemdaling gedetailleerd in kaart te brengen. Hieruit volgt dat de bodemdaling die tussen 1964 en 1998 in het centrum van de schotel boven het gasveld Groningen is opgetreden circa 23 centimeter bedraagt. Dit komt overeen met de prognose die in 1995 werd uitgebracht.

Het "Global Positioning System" (GPS, meting m.b.v. satellieten) is minder geschikt gebleken dan verwacht voor het bepalen van bodemdaling door aardgaswinning in Groningen, waarbij nauwkeurige hoogtemeting van dichte netwerken wordt vereist. Onder de plaatselijke omstandigheden verdienen de traditionele waterpassingen vooral nog de voorkeur.

In het 1995 prognoserapport werd melding gemaakt van de ontwikkeling van een software pakket waarmee, op basis van de waterpasmetingen, de bodemdaling in tijd per punt en gebiedsdeel gemodelleerd kon worden. Tijdens verdere ontwikkeling van de analyse- en toetsingsmethodiek is onder andere vastgesteld dat het mogelijk was de bodemdaling door gaswinning nauwkeuriger in kaart te brengen door introductie van een zogenaamd continu tijd-plaatsmodel per bodemdalingsschotel.

Tot slot zijn de afgelopen vijf jaar wederom metingen verricht in de diepe compactie observatieputten. Bij analyse van deze metingen blijkt de samendrukbaarheid van het reservoir-gesteente goed overeen te komen met de in 1995 gehanteerde waarden. In drie putten zullen de metingen de komende jaren worden voortgezet om de optredende reservoircompactie nauwkeurig te blijven volgen.



## Verklarende woordenlijst

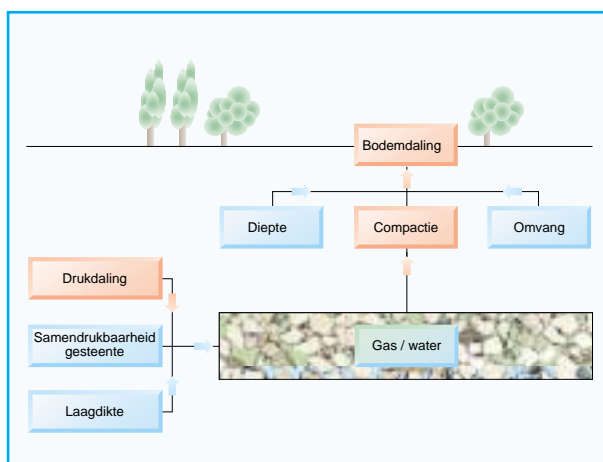
Aquifer (lateraal)	watervoerend deel van het reservoir gesteente (naast het reservoir gelegen)
Cm	compactie coëfficiënt; materiaaleigenschap die de mate van samendrukbaarheid aangeeft
Compressibiliteit	samendrukbaarheid
Depletie	het onttrekken van koolwaterstoffen (gas/olie) uit gesteente
GPS	Global Positioning System: systeem voor plaats- en hoogtebepaling met behulp van satellieten
In-situ	ter plaatse (in de ondergrond)
Kern	gesteentemonster uit de ondergrond verkregen bij het boren van een put
Porositeit	verhouding tussen het poriënvolume en het totale volume van het reservoir
TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
3-D seismiek	drie-dimensionale seismiek; methode waarmee de ondergrond in kaart kan worden gebracht



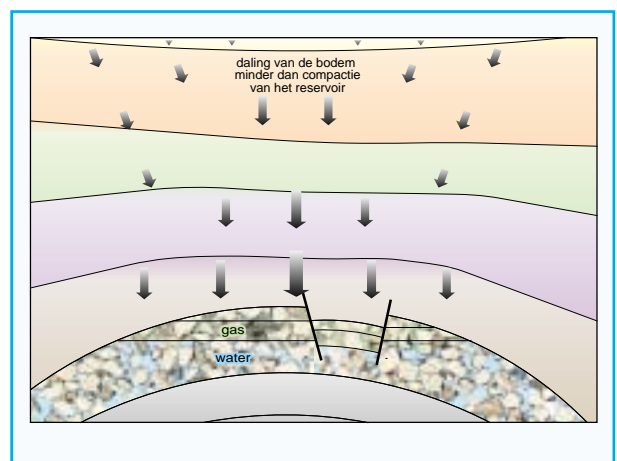
## Inleiding

De Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V. (NAM) behoort na te gaan in hoeverre haar productieactiviteiten aanleiding kunnen geven tot bodemdaling als gevolg van compactie van de poreuze gesteentelagen waaruit aardolie of -gas wordt gewonnen. Daarmee kan een inschatting worden gemaakt van de eventuele effecten van bodemdaling op bijvoorbeeld de waterhuishouding of het milieu. Vervolgens kan worden bezien welke maatregelen getroffen kunnen worden om deze effecten te voorkomen dan wel te beperken. Hiertoe wordt voortdurend onderzoek verricht en zijn, in de provincie Groningen al sinds 1964, regelmatig veldmetingen gedaan. In een gasveld veroorzaakt de winning van aardgas een vermindering van de poriëndruk in de gasvoerende gesteentelaag. Daarbij wordt het gesteente langzaam iets samengedrukt onder het gewicht van de bovenliggende lagen. Deze compactie hangt af van verschillende factoren zoals de materiaaleigenschappen van het reservoirgesteente, de grootte van de drukkaling en de dikte van het depleterende reservoir (figuur 1.1). De mate waarin de compactie wordt omgezet in bodemdaling op maaiveld niveau is afhankelijk van de diepte en omvang van het depleterende gasveld. Bij een zeer groot gasveld als Groningen zal de bodemdaling boven het centrum van het veld vrijwel gelijk zijn aan de ondergrondse compactie. Bij kleinere velden daarentegen zal de bodemdaling aan het aardoppervlak slechts een fractie van de compactie van het reservoirgesteente bedragen (figuur 1.2). De door gaswinning veroorzaakte bodemdaling manifesteert zich in de vorm van een platte, zeer gelijkmatige

schotel. Die veroorzaakt een zekere scheefstand van het maaiveld, die echter dermate gering is (enkele centimeters verval per strekkende kilometer) dat er daardoor geen schade aan gebouwen ontstaat. Hoewel de gemiddelde bodemdaling boven de gasvelden in de provincie Groningen relatief gering is, is het volume van de schotel zodanig dat de waterhuishouding, mede gezien de hoogte van het maaiveld t.o.v. het zeeniveau, wordt verstoord. Om een regeling te treffen voor de vergoeding van kosten, die teruggevoerd kunnen worden op bodemdaling ten gevolge van gaswinning in de provincie Groningen, werd op 31 augustus 1983 de overeenkomst Groningen-NAM inzake de regeling vergoeding kosten bodemdaling aardgaswinning aangegaan. Deze overeenkomst gaf aanleiding tot de installatie op 9 maart 1984 van de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning. De Commissie heeft tot taak vast te stellen welke maatregelen aan te merken zijn als redelijkerwijs noodzakelijk om nadelige effecten van bodemdaling door aardgaswinning te voorkomen, te beperken of te herstellen. Tevens beoordeelt de Commissie welke kosten NAM, op grond van de overeenkomst dient te vergoeden. Uitgangspunt bij de besluitvorming over te nemen maatregelen is onder meer de bodemdalingsprognose van de NAM. De NAM werkt sinds de start van de gasproductie in 1963 continu aan het voorspellen van de bodemdaling in de provincie Groningen. De inhoud van dit rapport vormt de weerslag van alle over de afgelopen decennia opgedane kennis en ervaring.



Figuur 1.1  
Drukdaling in het reservoir resulteert in bodemdaling. Factoren van invloed.



Figuur 1.2  
De bodemdalingsschotel beslaat een groter oppervlak dan het reservoir.  
De grootte van de bodemdaling is echter kleiner dan de reservoircompactie.



## Observaties en Nieuwe Ontwikkelingen sinds 1995

### 2.1 Metingen

Uit de waterpasmetingen (zie ook hoofdstuk 3) blijkt dat over de periode 1993 - 1998 de bodemdaling in het centrum van de schotel boven het Groninger gasveld met ongeveer 3 centimeter is voortgeschreden. In 1998 bedroeg de maximale bodemdaling die sinds 1964 boven het Groninger gasveld is opgetreden circa 23 centimeter. Dit komt overeen met de daling zoals verwacht volgens de in 1995 uitgebrachte prognose. Er zijn eveneens geen wezenlijke verschillen met de prognose van 1990, als rekening wordt gehouden met het feit dat de gasproductie hoger is geweest dan in 1990 werd aangenomen.

Over de provincie Groningen zijn in vier achtereenvolgende jaren een veertigtal punten met GPS (Global Positioning System) aangemeten. Uit vergelijking met waterpasresultaten is gebleken dat GPS een aantal, vooralsnog moeilijk te elimineren, systematische verstoringen kent. Hierdoor is de methodiek helaas minder geschikt dan verwacht voor de verankering van waterpasnetwerken. Ook voor nauwkeurige hoogtemeting van dichte netwerken is GPS hoogtemeting minder aantrekkelijk.

In nauw overleg met de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat is met behulp van een verbeterde analyse- en toetsingsmethodiek de stabiliteit getoetst van de referentiepunten die voor de waterpassingen tussen 1964 en 1998 waren gebruikt. Met de stabiel bevonden referentiepunten zijn alle peilmerkhoogtes opnieuw berekend en op basis hiervan is vervolgens een contourkaart voor de bodemdaling in 1998 afgeleid (zie hoofdstuk 3).

De sinds 1970 uitgevoerde ondiepe compactiemetingen zijn voortgezet en bevestigen de eerdere inzichten in de hoeveelheid natuurlijke compactie (klink) van de ondiepe ondergrond tussen ca. 10 en 400 m diepte (hoofdstuk 4).

In-situ compactiemetingen worden uitgevoerd in daarvoor speciaal geboorde diepe putten waarin over de producerende formatie op vaste afstanden licht radioactieve kogels zijn geschoten (hoofdstuk 5). Analyse van de sinds 1982 in deze diepe compactie observatieputten verrichte zogenaamde FSMT-metingen toont aan dat de samendrukbaarheid ( $C_m$ ) van het reservoirgesteente varieert tussen  $0,45 \times 10^{-5}$  en  $0,75 \times 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$ . Dit komt overeen met de in 1995 gehanteerde waarden. Zoals in de vorige prognose werd beschreven compacteert niet alleen het gasvoerende reservoirgesteente, maar zijn ook watervoerende gesteentelagen (aquifers) aan drukdaling en dus compactie onderhevig. Er worden twee soorten aquifers onderscheiden: onder en naast het gasvoerende gesteente. Uit drukmetingen is bekend dat het watervoerende reservoirgesteente onder het gasvoerende gesteente aan drukdaling onderhevig is.

De waterpasmetingen bevestigen dat bodemdaling optreedt boven sommige lateraal aangrenzende watervoerende reservoirgesteenten die in drukcommunicatie staan met het gasveld (zie ook hoofdstuk 7).

### 2.2 Data Verwerking

Snellere computers en meer gebruikersvriendelijke software maken het mogelijk de resultaten van waterpassingen en prognose nog beter dan voorheen met elkaar te vergelijken. Op deze wijze kon met name meer inzicht worden verkregen in de drukdaling in de laterale aquifers, waar geen directe drukmetingen beschikbaar zijn.

Volledige integratie van geïnterpreteerde 3-D seismische data heeft geresulteerd in een nauwkeuriger model van de ondergrond, waarin ligging en structuur van de verschillende reservoirs en aquifers zijn vastgelegd. De huidige software biedt de mogelijkheid om een aantal modellen van de ondergrond te creëren, die verschillen in de mate van detail waarin de verschillende aardlagen worden beschreven qua opbouw en eigenschappen. Deze modellen worden afzonderlijk doorgerekend en de resulterende bodemdaling voor de verschillende scenario's kan worden vergeleken. Op deze manier wordt een beter inzicht verkregen in bijvoorbeeld de invloed van een zoutlaag in de ondergrond op de te verwachten bodemdaling.

De bodemdalingsschotel van een veld beslaat een groter oppervlak dan het veld zelf (figuur 1.2). In Noord-Nederland zijn veel gasvelden zo dicht bij elkaar gelegen dat de bodemdalingsschotels elkaar overlappen. Met moderne hard- en software was het mogelijk om in de huidige prognose bijna alle door NAM geëxploiteerde gasvelden in Groningen, Friesland en Noord-Drenthe op te nemen (zie ook hoofdstuk 8).

### 2.3 Research

Nieuw op het gebied van de research is onder andere de ontwikkeling van gebruikersvriendelijke software in samenwerking met TNO om bodemdaling met behulp van eindige elementen analyse te modelleren.

Het fundamentele onderzoek naar de oorzaak van het verschil tussen de gesteentecompressibiliteiten die in het laboratorium worden gemeten en de uit veldgegevens afgeleide waarden is voortgezet. Deze onderwerpen worden in hoofdstuk 6 nader toegelicht.



## Bodemdalingsmetingen: Meetmethoden en Analyse

### 3.1 Waterpassingen

Sinds het begin van de gasproductie in Groningen in 1963 worden regelmatig waterpassingen uitgevoerd met als doel de bodemdaling nauwkeurig in kaart te brengen. De trajecten van de waterpassingen worden in overleg met het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) vastgesteld en door ingenieursbureaus gemeten. De omvang van het meetnet is met de toename van de totale gasproductie en de ontdekking van nieuwe gasvelden over de jaren opgevoerd. Het meetnet is hierbij steeds aan ruim buiten de verwachte dalingssschotel gelegen en stabiel veronderstelde ondergrondse merken van de Meetkundige Dienst aangesloten. De meetfrequentie is afgestemd op de (natuur)gevoelige waarde en de verwachte daling van het gebied. De metingen worden uitgevoerd volgens richtlijnen en toleranties zoals die door de Meetkundige Dienst gehanteerd worden. Vervolgens worden de peilmerkhoogtes berekend door de afdeling NAP van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat.

Volgens afspraken met de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning en SodM wordt in Groningen elke vijf jaar een fijnmazig net van 2200 km gewaterpast om de bodemdaling zeer gedetailleerd in kaart te brengen. In de tussentijdse periode werd tot op heden tweemaal een profielmeting uitgevoerd om trendbreuken in de ontwikkeling van de bodemdalingsschotel vast te kunnen stellen. In het gebied rondom Munnekezijl wordt sinds 1996 jaarlijks een netwerk van ca. 300 km gemeten.

Gemiddeld is er één peilmerk per kilometer waterpastraject. In figuur 3.1 zijn de waterpasnetten van de in 1998 uitgevoerde grote waterpassing afgebeeld.

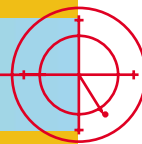
De uit waterpassingen afgeleide bodemdaling is opgebouwd uit verschillende componenten, waarvan bodemdaling door gaswinning er slechts een is. Het is tot nu toe echter moeilijk uitvoerbaar gebleken om de resultaten van waterpassingen te corrigeren voor effecten die geen verband houden met de gaswinning, zoals bodemdaling door veranderingen in de grondwaterstand of natuurlijke klink van het Holoceen. In de praktijk wordt de invloed van deze effecten beperkt door eliminatie van aantoonbaar instabiele peilmerken.

### 3.2 Alternatieve meetmethoden

Naast de waterpassingen heeft de NAM vanaf 1994 grote GPS-campagnes laten uitvoeren. Het Global Positioning System (GPS) is een wereldwijd satellietplaatsbepalings- en navigatiesysteem, dat is opgezet en wordt onderhouden door het Amerikaanse Ministerie van Defensie. Zo'n 24 satellieten zenden continu signalen uit, waardoor met een ontvanger de positie kan worden bepaald. Relatieve nauwkeurigheden op centimeter niveau zijn haalbaar door simultane inzet van twee of meer hoogwaardige GPS ontvangers. Over de provincie Groningen zijn in vier achtereenvolgende jaren een veertigtal punten gemeten. Deze punten zijn tegelijkertijd vrijwel allemaal gewaterpast, zodat vergelijking mogelijk is. Hieruit is gebleken dat GPS nog een aantal moeilijk te verwijderen



Figuur 3.1  
Waterpasnet Noord-Nederland 1998.



## Bodemdalingsmetingen: Meetmethoden en Analyse

systematische verstoringen kent, waardoor de methodiek voor voldoende nauwkeurige hoogtemeting van dichte netwerken helaas minder geschikt is.

Ook de mogelijkheden van Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) zijn onderwerp van studie geweest. Dit is een techniek waarmee maaivelddaling kan worden bepaald op basis van de verschillen tussen op meerdere tijdstippen vanuit een vliegtuig of satelliet gemaakte radarbeelden van het aardoppervlak. Voor Groningen bleek deze techniek echter door de geringe dalingsnelheid, de relatief grote atmosferische instabiliteit, vegetatie veranderingen en agrarische oppervlaktebewerkingen, nog onvoldoende geschikt.

### 3.3 Geodetische Deformatie Analyse

In het statusrapport van 1995 werd melding gemaakt van de ontwikkeling van het software pakket 'ScanDefo' voor stabiliteitsanalyse van referentiepunten (aansluitpunten) en de modellering van bodemdaling in tijd per punt en per gebiedsdeel. Dit project was een samenwerkingsverband tussen de Faculteit der Geodesie van de TU Delft, de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat en de NAM.

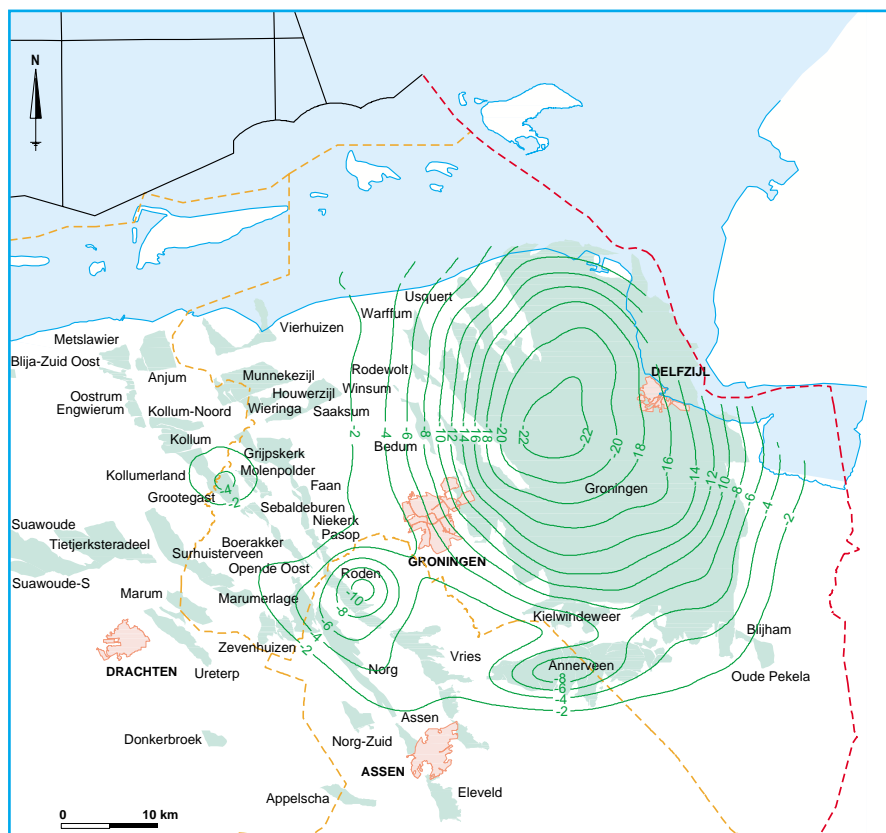
De hierin gevolgde analyse- en toetsingsmethodiek is sindsdien verder ontwikkeld. Door de introductie van een continu tijd-plaats model per bodemdalingsschotel bleek het mogelijk:

- de globale karakteristieken van de bodemdaling met enkele parameters vast te leggen;
- significante peilmerkinstabiliteit d.m.v. statistische toetsing te detecteren;
- de bodemdaling door gaswinning nauwkeuriger en betrouwbaarder in kaart te brengen.

In nauw overleg met de Meetkundige Dienst is met behulp van 'ScanDefo' de stabiliteit van de voor de waterpassingen tussen 1964 en 1998 gebruikte referentiepunten getoetst. Alle peilmerkhogtes zijn vervolgens opnieuw berekend op basis van nu constant gehouden hoogtes voor de stabiel bevonden referentiepunten. Van deze hoogtes is vervolgens een contourkaart voor de bodemdaling in juni 1998 afgeleid (figuur 3.2).

### 3.4 Research

Verdere vervolmaking van de hierboven beschreven procedure is onderwerp van studie door de Subfaculteit der Geodesie van de TU Delft. Het onderzoek richt zich op de eliminatie van effecten van wisselende referentiepunt keuzes, interactie tussen bodemdalingsschotels, modellering van autonome bewegingsruis en gaswinningsmodelruis en optimalisatie van netwerk ontwerp en meetfrequentie.



Figuur 3.2  
Contourkaart voor bodemdaling  
opgetreden tussen 1964 en 1998.  
Voor oorzaken anders dan de aard-  
gaswinning is gedeeltelijk gecorri-  
geerd. Daling weergegeven in cm.



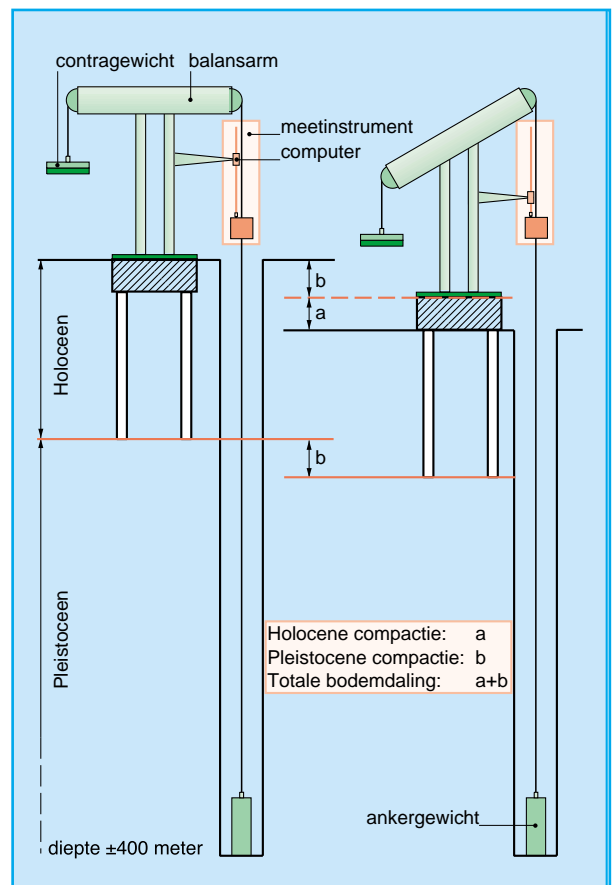


## Compactiemetingen in ondiepe observatieputten



Figuur 4.1  
Compactie observatieputten in  
Groningen.

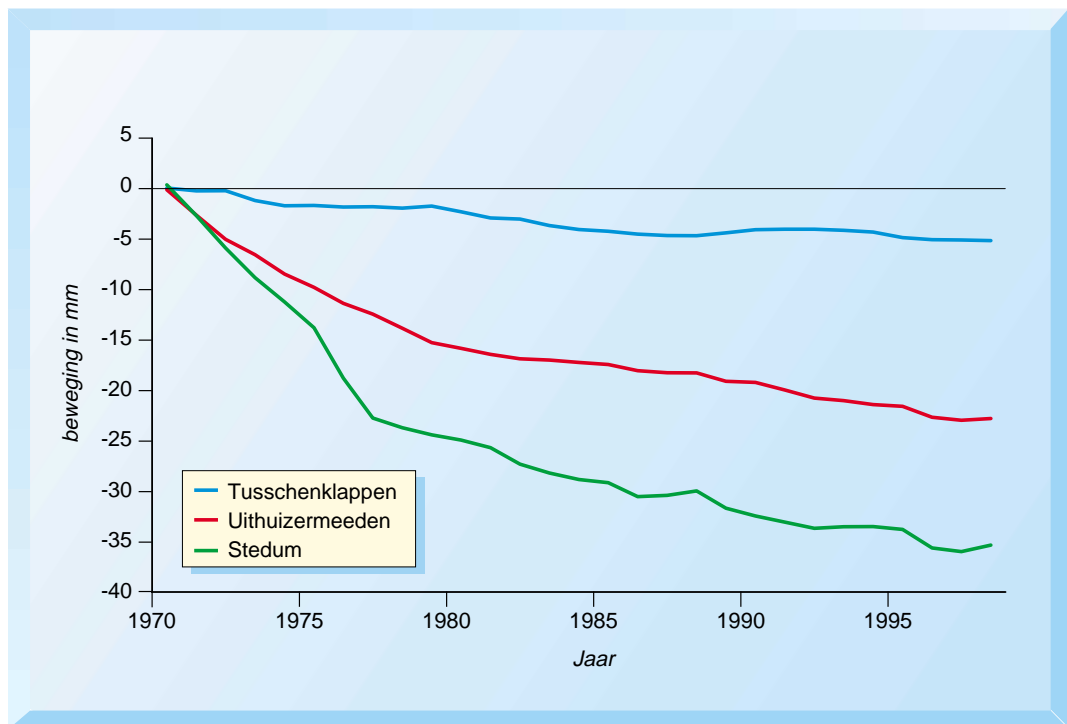
Sinds het begin van de jaren zeventig wordt de compactie binnen het sedimentpakket van circa 10-400 m diepte dagelijks geregistreerd in veertien observatieputten. Deze putten liggen verspreid over het gasveld Groningen en de directe omgeving daarvan (figuur 4.1). Het meten van ondiepe compactie gebeurt d.m.v. het kabelput meting principe (figuur 4.2). De meetapparatuur bestaat uit een balansarm, waarover een kabel is gespannen die enerzijds is verbonden met een ankergewicht op de bodem van de 400 m diepe put en anderzijds met een contragewicht. Dit houdt de kabel onder constante spanning. Een computer gestuurd systeem zorgt er voor dat de compactie, die optreedt tussen de fundering van meetapparatuur (op ca. 10 m diepte) en de bodem van de put, dagelijks op een bepaalde tijd geregistreerd wordt. Iedere twee maanden worden de compactiemetingen afgelezen en uitgeprint onder toezicht van het Staatstoezicht op de Mijnen.



Figuur 4.2  
Principe van meetmethode ondiepe compactie.



## Compactiemetingen in ondiepe observatieputten



Figuur 4.3  
Resultaten van ondiepe  
compactiemetingen.

De afgelopen periode zijn de data opnieuw geïnterpreteerd. De meetresultaten van vrijwel alle locaties vertonen een gelijksoortig patroon (figuur 4.3). Gedurende de eerste jaren na installatie van de meetopstellingen wordt een hogere compactiesnelheid gemeten dan in de jaren daarna. De mate van compactie van de bodem direct onder de meetopstelling verschilt van locatie tot locatie en is afhankelijk van funderings-toestand, plaatselijke geologie en hydrologie. Ook na correctie voor de zetting in de beginperiode zijn er nog aanzienlijke verschillen tussen de boven het gasveld Groningen gemeten compactiesnelheden van het sedimentpakket tussen ca. 10 en 400 m. Door de aanwezigheid van sterk variërende lokale factoren kunnen de waarnemingen niet worden gebruikt voor correctie van hoogtemetingen aan peilmerken elders.



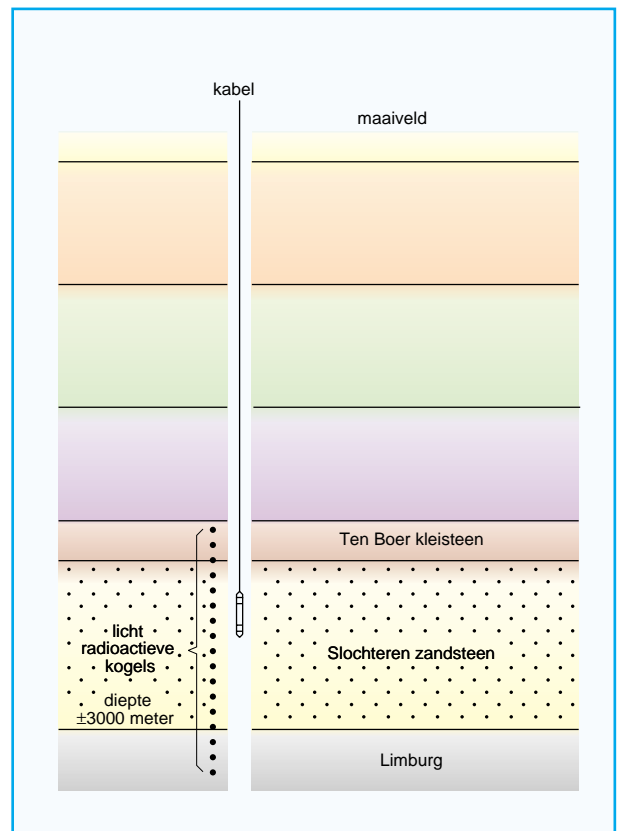
## Compactiemetingen in diepe observatieputten

Om de in-situ compactie van het reservoir te meten zijn in het verleden in elf putten laag radioactieve kogels om de 10 m over het gehele reservoir geschoten. Door periodiek de verandering van de afstand tussen de kogels te bepalen, kan inzicht in de reservoir compactie worden verkregen.

De 11 putten zijn over het veld verspreid, zodat alle variaties in lithologie vertegenwoordigd zijn. Om informatie te verkrijgen omtrent de compactie van de formaties boven en onder het reservoir zijn in drie putten, Roode Til, Ten Boer en De Hond, ook kogels geschoten in de bovenliggende Ten Boer Kleisteen en in de onderliggende Limburg formatie.

Van de elf putten zijn er nu nog zeven in gebruik (figuur 4.1). Usquert bleek geen deel van het Groningen veld uit te maken, maar een apart veld te zijn en is voor de toekomst ingericht als productieput. Sappemeer en Schaaphok zijn verlaten vanwege mechanische problemen, terwijl Bierum is ingericht als productieput.

Het duurde tot 1974 voordat er een voldoende nauwkeurige meetmethode en bijbehorende meetapparatuur ontwikkeld waren om de reservoir compactie in-situ te kunnen meten. Om de afstand tussen elk aangrenzend paar kogels te bepalen, wordt een meetinstrument, waarin zich een aantal gamma detectoren bevinden, in het gat gelaten en aan een (elektrische) kabel langs de kogels geleid (figuur 5.1). Als een van de detectoren zich recht tegenover een kogel bevindt, is het aantal door die detector ontvangen gammastralen per tijdseenheid maximaal. Dit maximum geeft zo de positie van de kogel aan. Het huidige meetinstrument, Schlumberger's Formation Subsidence Monitoring Tool (FSMT), bevat vier detectoren. Wanneer de bovenste twee detectoren de gammastraling opvangen van de bovenste kogel van elk paar, registreren de onderste twee detectoren de gammastraling van de onderste kogel. Uit de onderlinge afstand van de maxima en de afstand tussen de detectoren kan de afstand tussen twee naburige kogels worden berekend. Door deze afstand voor elk paar naburige kogels periodiek te meten en



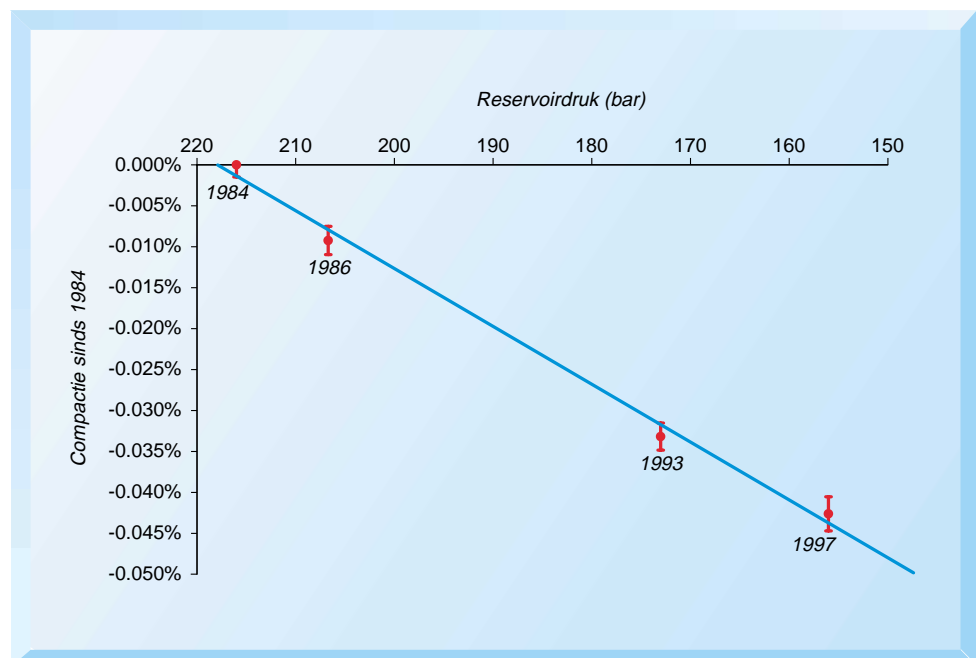
Figuur 5.1  
Principe van in-situ reservoir compactiemetingen.



## Compactiemetingen in diepe observatieputten

de resultaten te combineren, kan de in het reservoir optredende compactie worden bepaald. De resultaten van in de afgelopen vijf jaar uitgevoerde in-situ compactiemetingen bevestigen de conclusie uit 1995 dat voor elke observatieput de gemiddelde compactie coëfficiënt ( $C_m$ ) varieert tussen de  $0,45 \times 10^{-5}$  en  $0,75 \times 10^{-5} \text{ bar}^{-1}$  (figuur 5.2). Ook in de modellen voor de huidige prognose is gebruik gemaakt van deze in-situ gemeten  $C_m$ -waarden. Wanneer hiermee de bodemdaling voor de afgelopen jaren wordt berekend, komen de resultaten goed overeen met de gemeten bodemdaling over het Groningen gasveld.

Uit analyse van de resultaten van de FSMT-metingen over de afgelopen jaren blijkt, dat het compactieproces niet wezenlijk verschilt van put tot put. Op grond hiervan is besloten om in de toekomst alleen in-situ compactiemetingen uit te voeren in drie representatieve over het veld verspreide observatieputten, t.w. Stedum, Roode Til en De Hond. De andere vier putten zullen goed worden onderhouden, zodat ook daarin metingen gedaan kunnen worden als daar aanleiding voor mocht zijn. De momenteel relatief geringe gasproductie uit het Groningen veld heeft tot gevolg dat het compactieproces zeer langzaam verloopt. Hierdoor is het niet noodzakelijk de regelmatige in-situ compactiemetingen in elk van de drie genoemde putten vaker dan eens per vijf jaar uit te voeren.



Figuur 5.2  
Resultaten van in-situ compactiemetingen in Stedum. Aangegeven is de in verschillende jaren gemeten compactie (%) met bijbehorende onzekerheidsmarge als functie van de dalende reservoirdruk. De rechte lijn is de lineaire regressie, waaruit de  $C_m$  wordt berekend.



## Modellering van Compactie, Laboratorium Experimenten en Research

### 6.1 Compactiemodel

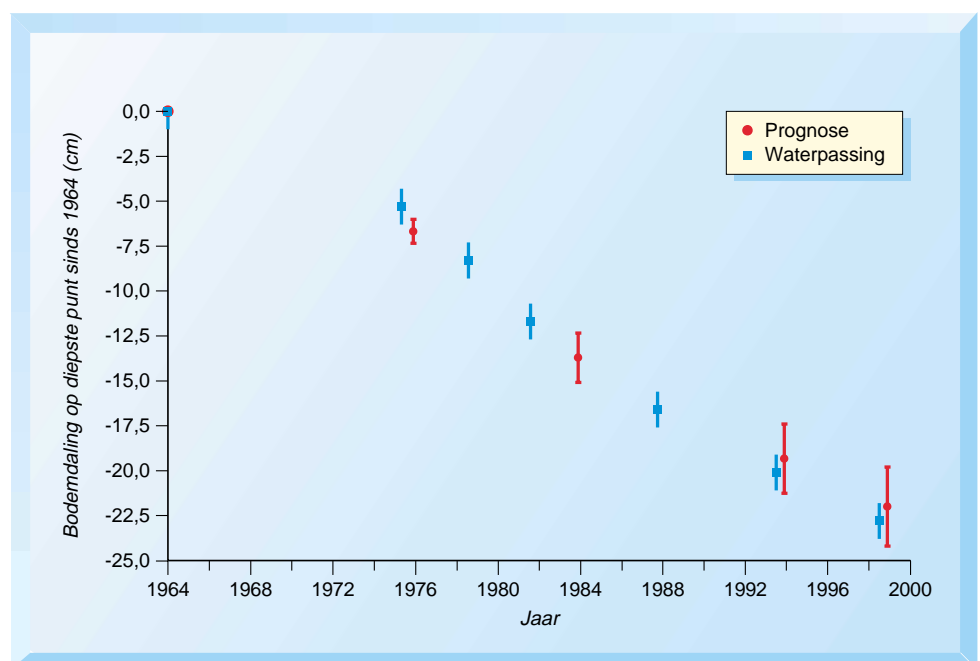
Om een bodemdalingvoorspelling te maken moet een model voor het compactiegedrag aangenomen worden. Bepalende factoren voor het compactiegedrag zijn o.a. cementatie (mate waarin zandkorrels aan elkaar gekit zijn), porositeit en de microstructuur van het gesteente. Tot nu toe is er geen model beschikbaar dat een kwantitatief verband geeft tussen deze parameters en het compactiegedrag. Derhalve moet een empirisch model worden afgeleid uit macroscopische waarnemingen, zoals compactie-experimenten in het laboratorium. Uit deze experimenten volgt dat het compactiegedrag voor het Groningen veld goed wordt beschreven door een model, waarbij de compactie lineair met de drukkaling verloopt. Dit wordt bevestigd door de goede overeenkomst tussen de gemeten bodemdaling in het centrum van de bodemdalingsschotel boven het Groningen veld en de uitkomst van bodemdalingberekeningen waarin een lineair compactiegedrag is aangenomen (figuur 6.1). Het huidige best beschikbare model is nog niet in staat om tijdsafhankelijke processen, zoals kruip-deformatie te beschrijven. Met kruip wordt bedoeld dat het reservoirgesteente additionele vervorming ondergaat nadat de drukkaling gestopt is. Het is nog niet geheel duidelijk in hoeverre kruip in het veld voorkomt of voor zal kunnen komen, gezien de verschillen tussen de laboratoriumexperimenten en de in-situ omstandigheden. Uit waterpasmetingen elders boven gasvelden die inmiddels verlaten zijn, is echter niet gebleken dat er enkele jaren na beëindiging van de gasproductie nog bodemdaling van enige betekenis optreedt. Gesteld dat kruip in het veld een rol speelt, dan manifesteert deze zich waarschijnlijk dus al tijdens de gasproductie. In dat geval zijn de effecten van kruip, althans gedeeltelijk, in de huidige prognose

meegenomen omdat de berekeningen getoetst zijn aan de observaties. Om toch rekening te houden met mogelijke in de toekomst optredende kruip, mede gebaseerd op voorlopige resultaten van de hieronder beschreven langdurige kruipexperimenten, zijn tijdsafhankelijke effecten bij het bepalen van de onzekerheidsmarge van de prognose voor de bodemdaling na het verlaten van de velden in aanmerking genomen.

### 6.2 Compactiemetingen

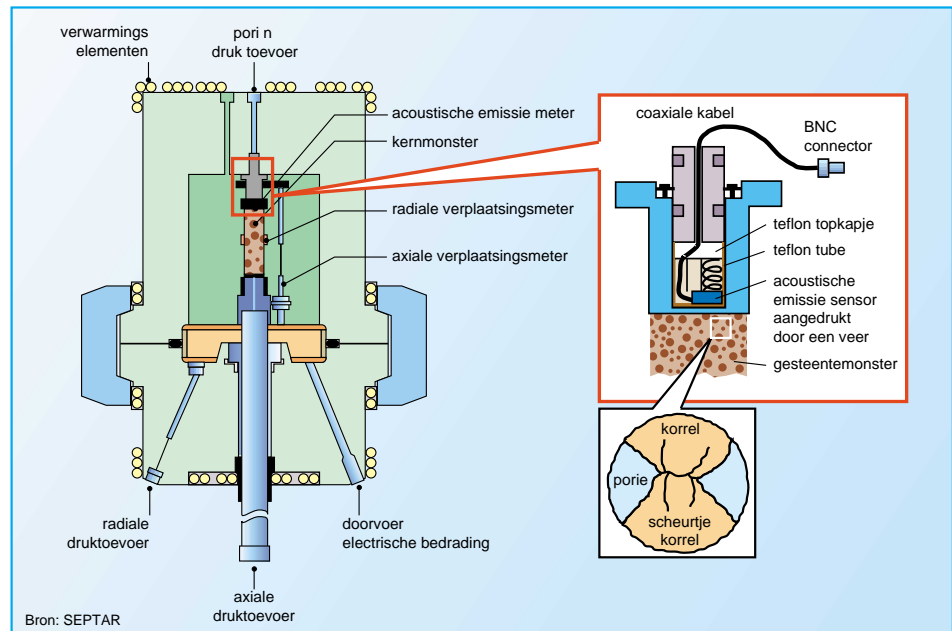
Een belangrijke parameter in de modellen voor bodemdaling is de samendrukbaarheid (compressibiliteit of  $C_m$ ) van het reservoirgesteente. Deze parameter beschrijft de compactie van het reservoir als gevolg van de spanningsveranderingen die optreden door de winning van het gas. In het Shell laboratorium in Rijswijk wordt al vele jaren experimenteel onderzoek verricht naar de compressibiliteit van het Groningen reservoirgesteente. In totaal zijn er sinds 1970 ongeveer 200 experimenten gedaan. Deze hebben geleid tot een goed inzicht in het compactiegedrag van het Groningen reservoirgesteente, al dient in aanmerking genomen te worden dat de in het laboratorium gemeten waarden voor de compressibiliteit gemiddeld ongeveer anderhalf maal zo groot zijn als de veldwaarden afgeleid uit waterpassingen en de in-situ compactiemetingen.

Figuur 6.1  
Meting vs. Prognose:  
ontwikkeling van de bodemdaling  
in het Groningen veld. De vier-  
kantjes representeren de bodem-  
daling met bijbehorende onzeker-  
heidsmarge afgeleid uit de grote  
waterpassingen. De rondjes laten  
de resultaten en onzekerheden  
van de prognoseberekeningen  
zien.





## Modellering van Compactie, Laboratorium Experimenten en Research



Figuur 6.2  
Compactie apparaat, geschikt voor experimenten bij reservoir temperatuur (100°C). De gesteentemonsters hebben een lengte van 65 mm en een diameter van 35 mm.

Tijdens compactie-experimenten worden cilindervormige monsters, verzadigd met zout water, verhit tot de Groningen reservoir temperatuur van ca. 100 °C en onder de spanning gebracht die in het Groningen reservoir heerste voordat het eerste gas werd geproduceerd. Daarna wordt in het experiment de spanning opgebouwd die door de winning van het gas op het reservoir komt te staan. Dit gebeurt door de poriedruk te verlagen en ook in horizontale richting de spanning te veranderen. De compactie van de monsters wordt zowel in verticale als horizontale richting gemeten met een precisie van 1 µm, waardoor de compressibiliteit zeer nauwkeurig bepaald kan worden (figuur 6.2). Verder kunnen hoogfrequente ultrasone golven worden opvangen, die tijdens compactie door het kernmonster worden uitgezonden. Deze zogenaamde acoustische emissies geven informatie die van wezenlijk belang is bij het modelleren van compactie op basis van mechanismen op korrel-schaal.

Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste observaties.

- De compressibiliteit (compactiecoëfficiënt  $C_m$ ) van de meeste Groningen zandsteen monsters is vrijwel constant tijdens de drukkaling die in het reservoir zal optreden, m.a.w. de compactie neemt lineair toe met de depletie.
- Er is een grote spreiding in de gemeten compressibiliteiten voor verschillende monsters en variërende experimentele condities. In het algemeen neemt de compressibiliteit toe met toenemende porositeit en korrelgrootte, en daalt met toenemende graad van cementatie. Verder is de onderlinge verhouding van de verticale en horizontale spanningstoename bij productie van belang. De meeste experimenten zijn gedaan onder uniaxiale spanningscondities. Compactie vindt dan alleen in verticale richting plaats, terwijl de horizontale deformatie wordt tegengegaan door aanpassing van de horizontale spanning op het monster. Omdat het in principe mogelijk is dat het spanningsverloop in het Groningen reservoir niet volledig uniaxiaal is, zijn ook andere experimenten gedaan, waaruit blijkt dat de compactie bij niet-uniaxiale spanningsveranderingen een factor 2 tot 3 lager is dan onder uniaxiale condities. Hieruit volgt dat de onder uniaxiale spanningscondities gemeten waarden de bovengrens aangeven van de compressibiliteit.
- In de experimenten is te zien dat compactie van Groningen zandsteen niet onmiddellijk in zijn geheel optreedt bij het verlagen van de reservoir druk, maar dat het compactieproces een zekere tijd nodig heeft. Om deze tijdsafhankelijke compactie, de zogenaamde kruip, te bestuderen zijn speciale apparaten gebouwd waarin momenteel zeer langdurige experimenten worden gedaan. De eerste resultaten duiden er op dat kruip niet wordt beïnvloed door de snelheid waarmee de poriedrukdaling wordt uitgevoerd. In alle experimenten nam de snelheid van kruipcompactie af met de tijd. Het onderzoek naar kruip zal worden voortgezet op kernmonsters, die wat betreft porositeit representatief zijn voor het Groningen reservoir.



## **Modellering van Compactie, Laboratorium Experimenten en Research**

### **6.3 Compactie Database**

Zoals vermeld zijn er sinds 1970 vele compactie-experimenten uitgevoerd. Om de resultaten van deze experimenten snel toegankelijk te maken, is een database opgezet waarin behalve de gemeten waarden voor de compressibiliteit ook informatie wordt bewaard als de tijdens de experimenten aangelegde spanningen, details over de kernmonsters zoals de porositeit en verdere verwante data. Dit is van wezenlijk belang voor verder fundamenteel en experimenteel onderzoek naar het compactiegedrag van reservoirgesteente. Door deze database te combineren met kennis van de drie-dimensionale opbouw van het Groningen gasveld, ontstaan nieuwe mogelijkheden om bijvoorbeeld de laterale en verticale variatie in porositeit en lithologie te koppelen aan compressibiliteit. Op die manier kunnen eventuele variaties in de reservoir-compressibiliteit beter gemodelleerd worden.

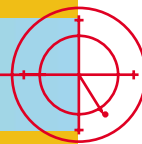
### **6.4 Modellering van Kernbeschadiging**

Het optreden van kernbeschadiging wordt gezien als een mogelijke verklaring voor de observatie dat de in het laboratorium gemeten  $C_m$ -waarden groter zijn dan wordt afgeleid uit de in-situ compactiemetingen en de waterpassingen. De hypothese is dat het boren en omhoog halen (extractie) van een kern uit het reservoirgesteente gepaard gaat met temperatuur- en spanningsveranderingen, die permanente verzwakking van het gesteente veroorzaken. Het onderzoek om de invloed van deze beschadiging op de in het laboratorium gemeten  $C_m$  te kwantificeren is nog niet afgerond. Er zijn modellen ontwikkeld waarmee het proces van kernen en het vervolgens herbelasten van een gesteente monster kan worden beschreven. Deze modellen dienen nog nader te worden uitgewerkt en gekalibreerd om de optredende kernschade te kunnen kwantificeren. De in dit kader reeds beschikbare resultaten van zowel numerieke modellering (Particle Flow Code) als van experimenten op kunstmatig vervaardigde zandsteen lijken te bevestigen dat het extractieproces inderdaad verantwoordelijk is voor een aanzienlijk hogere compressibiliteit van het gekernde gesteente. Geprobeerd zal worden om op basis van deze resultaten fysisch meetbare parameters te identificeren, waarmee het effect van kernbeschadiging op de compressibiliteit van reservoirgesteente kwantitatief kan worden beschreven. Op deze wijze kunnen de in het laboratorium gemeten  $C_m$ -waarden mogelijk in de toekomst gecorrigeerd worden voor kernbeschadiging.

### **6.5 Eindige Elementen Modellering**

De afgelopen jaren is veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van het eindige-elementen-programma GEOMECC. Dit is een gebruikersvriendelijk software pakket, waarmee in drie dimensies (3-D) spanningsveranderingen in de ondergrond (reservoir en bovenliggende lagen) ten gevolge van gaswinning numeriek berekend kunnen worden. Uitgaande van een gedetailleerde beschrijving van de ondergrond, kunnen met

GEOMECC de reservoir compactie en de resulterende bodemdaling aan het aardoppervlak gemodelleerd worden. Als basis voor deze software is het eindige-elementen-programma DIANA van TNO gebruikt, waarmee al eerder bodemdalingsberekeningen zijn uitgevoerd. Met GEOMECC kan momenteel alleen lineair elastische vervorming van het gesteente gemodelleerd worden. Er wordt gewerkt aan uitbreiding van het gesteentemechanische model, zodat ook niet-lineair gedrag, zoals kruip van het reservoir en visco-elastische deformatie van zoutlagen, gemodelleerd kan worden. Voor de huidige prognose zijn in samenwerking met TNO een aantal modelberekeningen uitgevoerd m.b.v. GEOMECC. De resultaten van deze modellering komen binnen de onzekerheidsgrenzen goed overeen met de in dit rapport beschreven bodemdalingsprognose, die op traditionele wijze werd berekend.



## Aquifer-effecten

### Inleiding

Diepte en omvang van een bodemdalingsschotel kunnen worden beïnvloed door de aanwezigheid van aquifers. Dit zijn watervoerende gedeelten van het reservoirgesteente, die in drukcommunicatie kunnen staan met het gasreservoir. Zijn ze onder het gasvoerende gesteente gelegen, dan wordt dit omschreven met de term bodemwater. Indien ze zich naast het reservoir bevinden, dan is er sprake van een laterale aquifer (figuur 7.1). De wijze waarop een aquifer bij depletie van een gasveld reageert, hangt hoofdzakelijk af van de mate van drukcommunicatie en van de verhouding tussen de volumes van gasveld en aquifer.

### Bodemwater

Uit drukmetingen in het noordelijke deel van het Groningen veld is bekend dat de druk van het bodemwater wel is gedaald als gevolg van de gasproductie, maar dat deze daling iets achter blijft bij de afname van de gasdruk. Dit verschil zal naar verwachting in de loop der tijd verdwijnen.

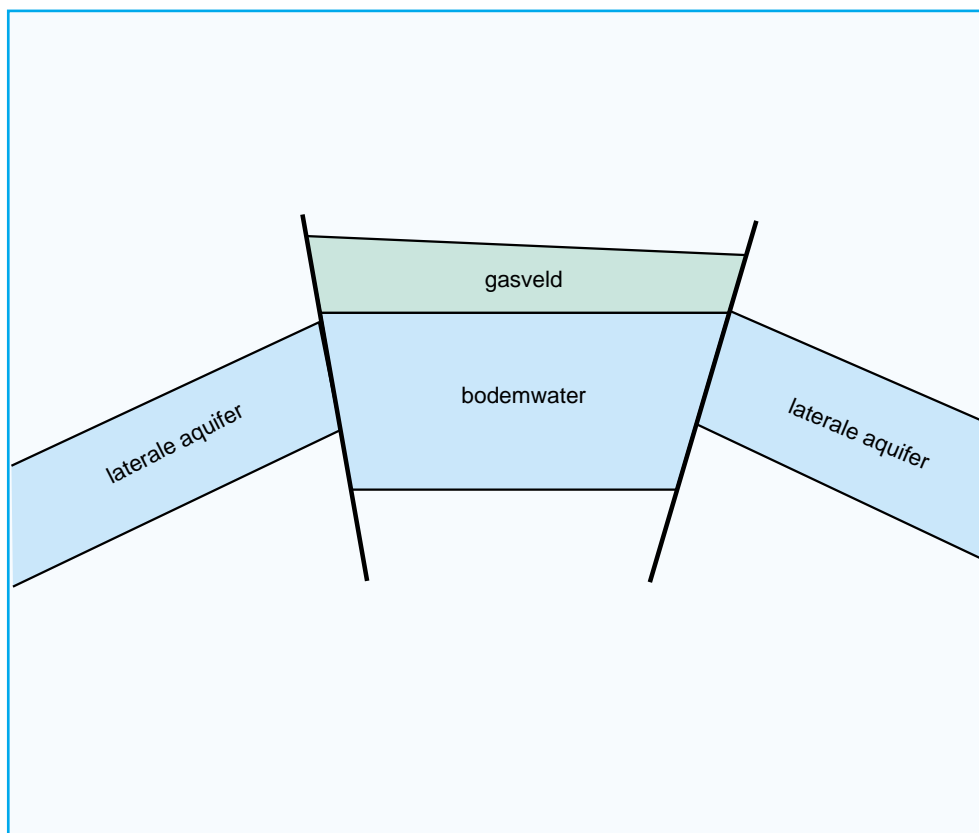
### Laterale Aquifers

Het Groningen veld wordt voornamelijk begrensd door breuken. Aan de randbreuken bevindt het gasvoerende reservoir van de Slochteren Zandsteen zich tegenover de Ten Boer Kleisteen, de Slochteren Zandsteen of de Zechstein formatie van de laterale aquifer. Het is mogelijk dat een

randbreuk, die aanvankelijk afsluitend is, door het verlagen van de druk aan gasveldzijde, doorlatend wordt. Er ontstaat dan drukcommunicatie tussen het reservoir en de laterale aquifer en er stroomt water naar het reservoir. Voor het Groningen gasveld kunnen op basis van observaties vier laterale aquifers onderscheiden worden (figuur 7.2). Die aquifers zijn relatief klein in verhouding tot het veld, maar kunnen toch de omvang van de bodemdalingsschotel beïnvloeden. Hun aanwezigheid wordt duidelijk bij vergelijking van waterpasmetingen en bodemdalingberekeningen waarin drukkaling beperkt is tot alleen het gasveld en het bodemwater. Op deze manier is gepoogd de ontwikkeling van de depletie in de laterale aquifers in de tijd zichtbaar te maken. Andere aanwijzingen voor aquiferactiviteit komen uit het drukverloop in de randvelden.

### Zuidwest

Ten zuidwesten van het Groningen veld zijn de breuken in het reservoirgesteente voornamelijk oost-west georiënteerd. Daardoor verloopt de drukcommunicatie in die richting relatief makkelijker dan in de noord-zuid richting. De verwachting is dat de drukkaling het sterkst zal zijn in het gebied tussen enerzijds het Groningen veld en anderzijds de velden Annerveen, Vries en Roden. De drukkaling in deze aquifer wordt ook veroorzaakt door de productie van laatstgenoemde drie velden.



Figuur 7.1  
Watervoerende lagen rond een  
gasveld.





## **Aquifer-effecten**

### *Noordwest*

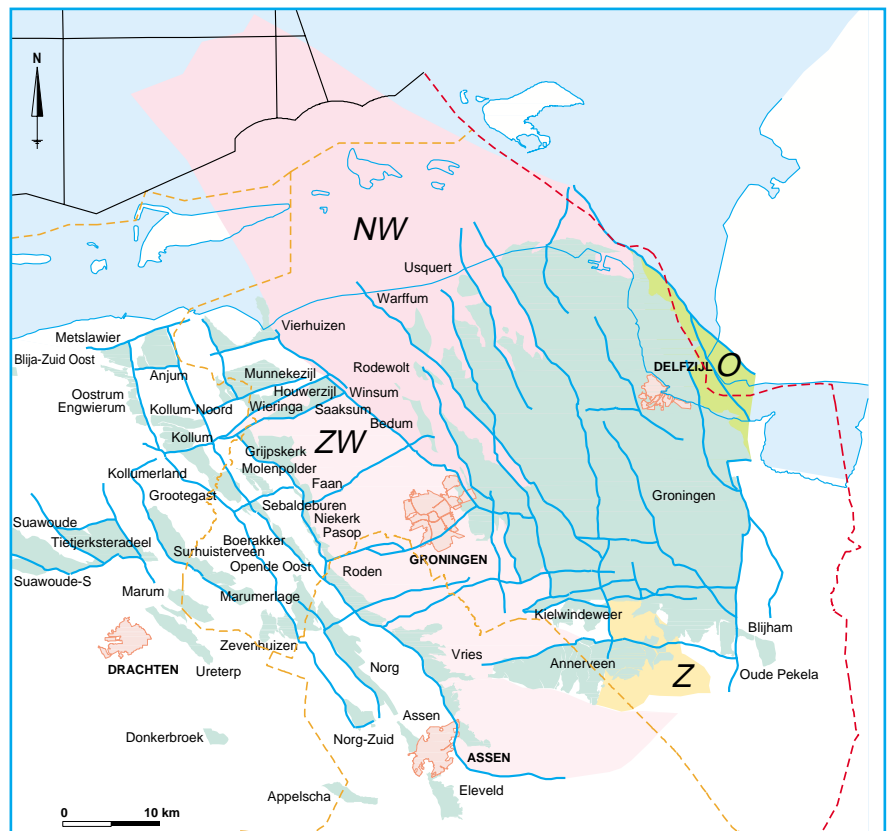
Vanaf de stad Groningen, in noordwestelijke richting, loopt op reservoirniveau een groot breuksysteem, waarvan wordt aangenomen dat het afsluitend is. De doorlaatbaarheid van het reservoirgesteente neemt buiten het reservoir in noordelijke richting af. De drukdaling van deze aquifer is tot nu toe zeer beperkt gebleven en er zijn geen aanwijzingen voor drukcommunicatie tussen de velden Bedum, Warffum en Groningen.

### *Oost*

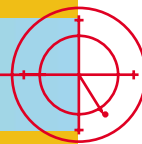
Ten oosten van het veld wordt de grens van de aquifer bepaald door een groot, afsluitend breuksysteem op reservoirniveau in het Eems estuarium.

### *Zuid*

Uit het drukverloop in het oostelijk deel van het Annerveen veld, blijkt dat er communicatie is met het Groningen veld. De zuidelijke aquifer is vrij klein en de grenzen worden aangenomen bij afsluitende breuken.

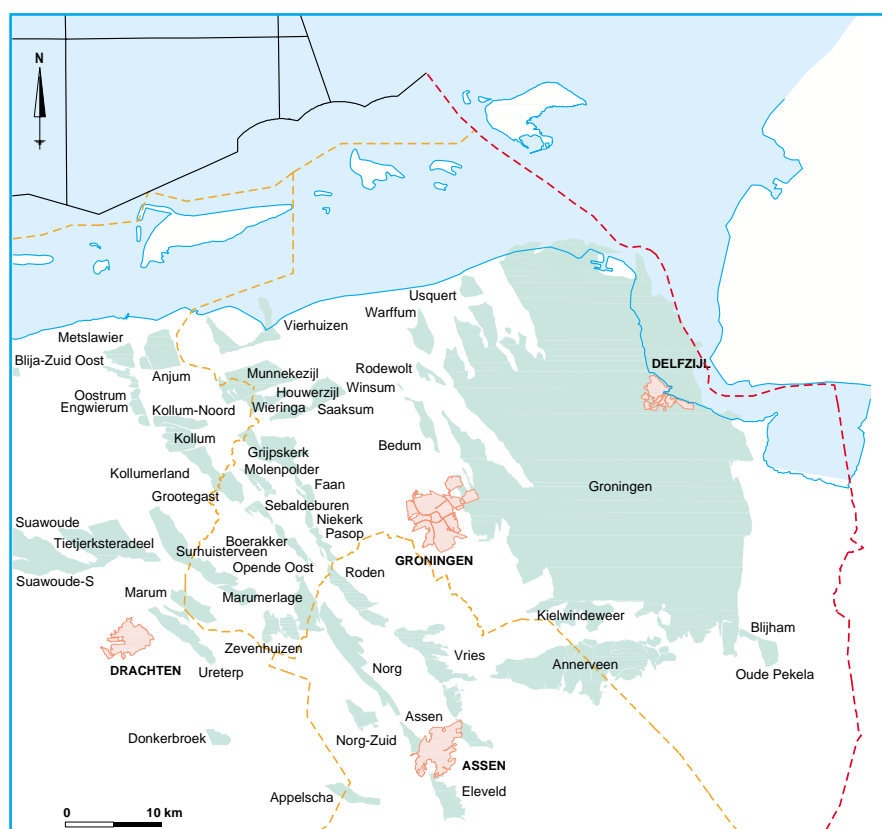


*Figuur 7.2  
Schematische weergave van de  
aquifer-zones rond het gasveld  
Groningen.*



## Invloed van andere gasvelden

Sinds 1995 zijn in de provincies Groningen, Friesland en Noord Drenthe een aantal nieuwe velden aangeboord, die in deze studie zijn meegenomen. Consistent met de in 1998 door de NAM uitgebrachte bodemdalingsprognose voor de Provincie Friesland, is ook het merendeel van de in die prognose opgenomen velden in beschouwing genomen. Naam, ligging en status van alle thans opgenomen velden zijn in Figuur 8.1 en Tabel 8.1 weergegeven.



Figuur 8.1  
Overzicht van de gasvelden die in  
deze prognose zijn meegenomen.



## **Invloed van andere gasvelden**

<b>Veld</b>	<b>In productie op 1-1-2000</b>	<b>Opgenomen in vorige prognose(s)</b>
Anjum	✓	✓
Annerveen	✓	✓
Appelscha	✓	
Assen		
Bedum	✓	✓
Blija-Ferwerderadeel	✓	
Blija Zuid Oost		
Blija Zuid		
Blijham	✓	✓
Boerakker	✓	✓
Donkerbroek		
Eleveld	✓	
Engwierum		
Faan		
Grijpskerk UGS	✓	✓
Groningen	✓	✓
Grootegast	✓	✓
Houwerzijl		
Kielwindeweer		
Kollum		✓
Kollum Noord		
Kollumerland	✓	✓
Marum	✓	✓
Marumerlage		✓
Metslawier		
Molenpolder		
Munnekezijl	✓	✓
Niekerk		
Norg UGS	✓	✓
Norg-Zuid		✓
Oostrum		
Opende-Oost	✓	✓
Oude Pekela	✓	✓
Pasop	✓	✓
Roden	✓	✓
Rodewolt		
Saaksum	✓	✓
Sebaldeburen	✓	✓
Suawoude	✓	
Surhuisterveen		✓
Tietjerksteradeel	✓	
Ureterp	✓	✓
Usquert		✓
Vierhuizen	✓	
Vries	✓	✓
Warffum	✓	✓
Wieringa	✓	✓
Winsum		✓
Zevenhuizen		✓

Tabel 8.1

Status van alle gasvelden die in de bodemdalingstudie zijn meegenomen.



## Prognose tot het jaar 2050

### 9.1 Contourkaarten

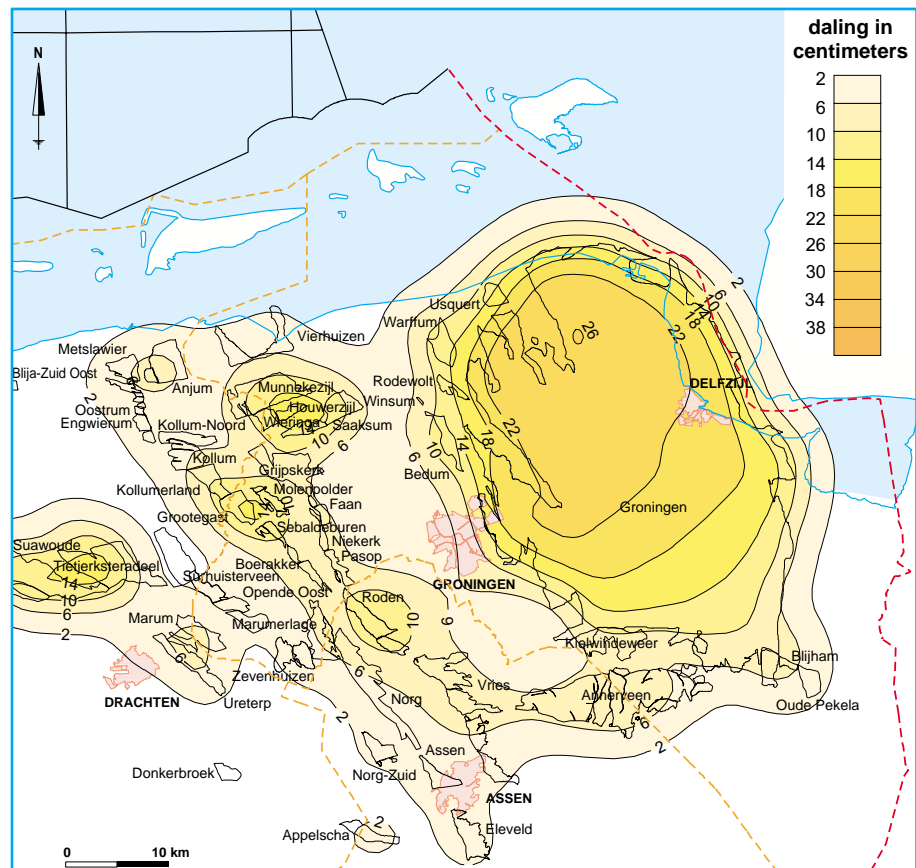
In de figuren 9.1 en 9.2 is de verwachte bodemdaling weergegeven voor resp. de jaren 2010 en 2050. De drukontwikkeling in het Groningen veld tot 2024 is gebaseerd op het Plan van Gasafzet 1999. Evenals in 1995 is bij het opstellen van de 2050 prognose voor het Groningen veld uitgegaan van een einddruk van ca. 15 bar. Voor de andere velden is een drukdaling gebruikt zoals die in de huidige ontwikkelingsplannen voor die velden wordt voorzien. Voor Grijpskerk en Norg wordt aangenomen dat beide velden in 2050 nog voor ondergrondse gasopslag gebruikt worden. Derhalve is er voor de prognoses bij beide velden gebruik gemaakt van de laagste reservoirdruk die ooit bereikt is of tijdens het cyclisch produceren bereikt zal worden.

### 9.2 Onzekerheid

De nauwkeurigheid waarmee bodemdaling door gaswinning kan worden voorspeld is afhankelijk van de validiteit en betrouwbaarheid van het gebruikte model en van onzekerheden in de invoerparameters die in het model worden gebruikt. Naast onvoorziene veranderingen in het toekomstige reservoir- drukverloop bij wijzigingen in het productiescenario, zijn een aantal bronnen van onzekerheid te onderscheiden, die hieronder nader worden toegelicht.

### Compactie- en bodemdalingsmodel

Zoals eerder vermeld, is bij het opstellen van de prognose uitgegaan van het momenteel best beschikbare compactie-model, waarin een lineair compactieverloop met druk wordt aangenomen. De vertaling van compactie naar bodemdaling speelt een relatief ondergeschikte rol. Boven het centrum van het Groningen veld zal de bodemdaling nagenoeg gelijk zijn aan de reservoircompactie. Aan de randen van het veld zal de onzekerheid in de verwachte bodemdaling, t.g.v. de vertaling van compactie naar bodemdaling, groter zijn. Voor jaren waarin de bodemdaling is gemeten door middel van een waterpassing kon het gebruikte compactie- en bodemdalingsmodel worden getoetst en werden de modelparameters gekalibreerd. Het huidige model houdt nog geen rekening met tijdsafhankelijk compactiegedrag, zoals de in de waterpassingen waargenomen vertraging van enkele jaren tussen het moment van begin of einde van de gasproductie en het effect daarvan op de bodemdaling. Deze vertraging heeft echter alleen invloed op het tijdstip waarop de bodemdaling zal optreden en is niet van belang voor de vorm of diepte van de bodemdalingsschotel bij het verlaten van de gasvelden. Ook eventueel kruipgedrag wordt (nog) niet door het gebruikte model voorspeld. Zoals in hoofdstuk 6.1 is vermeld, zijn de effecten van kruip waarschijnlijk al gedeeltelijk in de modelparameters verwerkt. Om toch rekening te houden met



Figuur 9.1  
Bodemdalingsprognose voor het  
jaar 2010.



## Prognose tot het jaar 2050

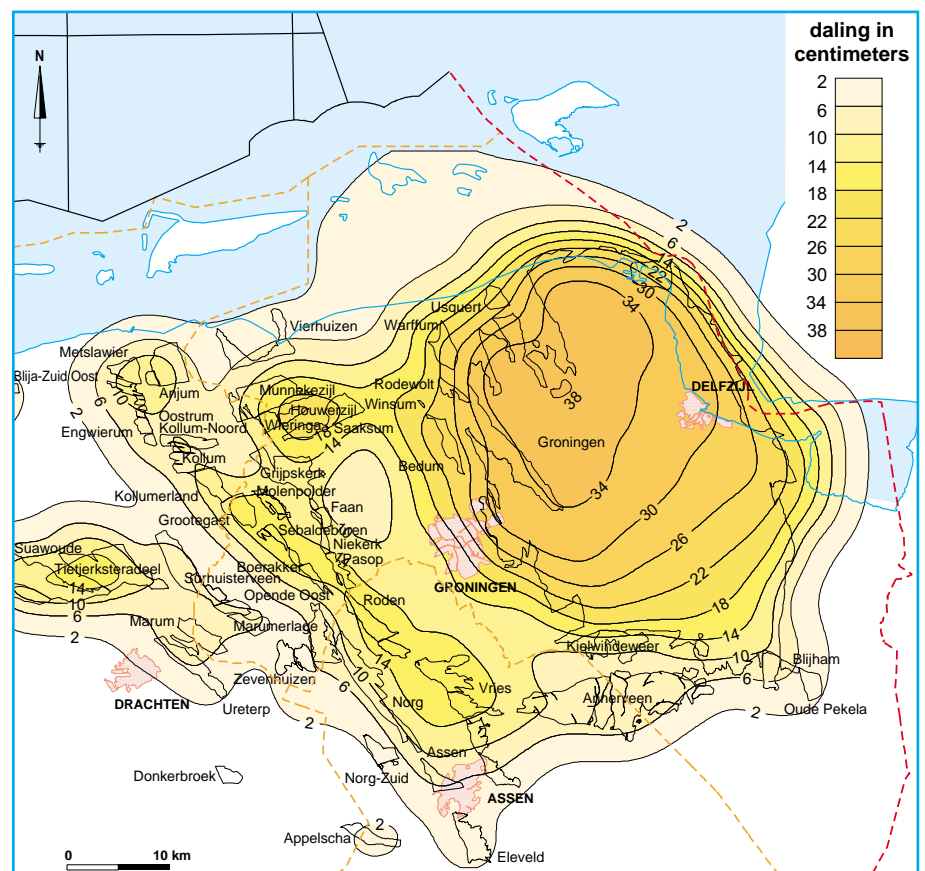
mogelijk in de toekomst optredende kruip, is in de onzekerheidsmarge van de prognose voor de bodemdaling na het verlaten van de velden een waarde van +8% van de berekende daling (excl. kruip) aangehouden.

### *Reservoirgegevens*

Compactie en bodemdaling worden berekend op basis van reservoirparameters als dikte, diepte, druk en compressibiliteit. De onzekerheden in deze parameters zullen gevolgen hebben voor de nauwkeurigheid van de prognose. Uitgaande van het lineaire compactiemodel, resulteert dit in een onzekerheid van ca. 10% (zowel positief als negatief) in de berekende bodemdaling.

### *Aquiferomvang en -activiteit*

De verschillende scenario's voor de depletie van de aquifers resulteren in een onzekerheid die voornamelijk betrekking heeft op de bodemdaling buiten het gasveld. Op de te verwachten bodemdaling in het centrum van het veld heeft het aquifergedrag weinig effect. In de prognose is aangenomen dat een gedeelte van de breuken, nu of in de toekomst, een zekere mate van doorlaatbaarheid vertoont. Als de breuken ook op termijn afsluitend blijken te zijn, zal de bodemdalingsschotel zich minder ver uitstrekken dan in de prognose is aangegeven.



Figuur 9.2  
Bodemdalingsprognose voor het  
jaar 2050.



## Conclusies

- De waterpasmeting van 1998 heeft aangetoond dat de bodemdalingsprognose van 1995 tot op heden correct is.
- Uit GPS-metingen is gebleken dat deze meetmethode een aantal vooralsnog moeilijk te elimineren systematische verstoringen kent, waardoor GPS momenteel voor nauwkeurige hoogtemeting van dichte netwerken minder geschikt is.
- Het onderzoek naar het verschil tussen de in het laboratorium gemeten samendrukbaarheid van het reservoirgesteente en de uit veldgegevens afgeleide waarde is voortgezet. De mogelijke verklaring lijkt te liggen in de effecten van kernschade. Met behulp van een model dat het proces van kernen en het herbelasten tijdens een compactie experiment kan beschrijven, wordt nu onderzocht of de optredende kernschade gekwantificeerd kan worden, zodat correctie mogelijk is.
- De aan het Groningen gasveld grenzende watervoerende zandsteenlagen (aquifers) ondervinden drukdepletie doordat er (beperkte) drukcommunicatie met het gasveld bestaat.  
De bodemdaling boven deze aquifers verloopt in een zeer traag tempo en zal waarschijnlijk enkele honderden jaren in beslag nemen.
- Volgens de huidige inzichten zal de bodemdaling als gevolg van gasproductie boven het Groningen gasveld omstreeks het jaar 2050 een waarde tussen de 34 centimeter en 45 centimeter (95% betrouwbaarheidsinterval) op het diepste punt bereiken. Een waarde van 38 centimeter wordt het meest waarschijnlijk geacht. De gehanteerde onzekerheidsmarge geeft een indruk van het mogelijke verschil dat in de toekomst tussen de voorspelde en de werkelijke bodemdaling kan ontstaan als gevolg van de onzekerheden en onnauwkeurigheden in de voor de berekeningen essentiële modellen en invoergegevens.
- Bodemdalingsmodellering in samenwerking met TNO met behulp van 'eindige-elementen-analyse' bevestigt de hierboven vermelde prognoseresultaten.
- De grootste verandering ten opzichte van de 1995 prognose is de vorm van de bodemdalingsschotel. Dit wordt veroorzaakt door verdere integratie met de prognose voor de provincie Friesland en omdat er nieuwe gasvelden in de prognose zijn verwerkt.





# Bodemdaling door Aardgaswinning

Groningen veld en randvelden in Groningen, Noord Drenthe en het Oosten van Friesland

Status Rapport 2000 en Prognose tot het jaar 2050

maart 2000

## SAMENVATTING

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

