

Bodembeweging in Nederland

Raad voor Aarde en Klimaat
in samenwerking met de Nederlandse Commissie voor Geodesie

Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen

Bodembeweging in Nederland

Raad voor Aarde en Klimaat
in samenwerking met de Nederlandse Commissie voor Geodesie

juni 2007

Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
Raad voor Aarde en Klimaat
Postbus 19121
1000 GC Amsterdam
020-5510727
rak@bureau.knaw.nl
www.knaw.nl/rak

Inhoud

Inleiding 7

1. Bodembeweging in Nederland 7

2. Belang van het monitoren van verticale bodembeweging 8

3. Het monitoren van bodembeweging 8

4. Betrokken partijen 9

5. Voordelen voor beleid en wetenschap 10

Conclusies en aanbevelingen 11

Samenstelling RAK en NCG 12

Inleiding

Nederland is een kwetsbaar land als het gaat om zijn ligging ten opzichte van het wateroppervlak en de zeespiegel. De bodem van Nederland is door allerlei oorzaken voortdurend in beweging met grote en kleine gevolgen voor de waterhuishouding, de bebouwing en de bedijking. Goede kennis van de bodembeweging en voorspellingen van de toekomst daarvan zijn uitermate belangrijk voor de instanties die verantwoordelijk zijn voor de waterhuishouding, de bebouwing en de bedijking, en zullen deze helpen bij het maken van besluiten die sociaal en economisch gezien voordelen opleveren.

1. Bodembeweging in Nederland

Door verschillende oorzaken is de bodem van Nederland van nature in beweging. Deze bewegingen zijn heel grootschalig; desalniettemin zijn de effecten gering (maximale daling van 10 centimeter per eeuw). De relevante natuurlijke mechanismen zijn aardgetijden, (neo-)tektoniek, isostasie, compactie van sedimenten, krimp, oxidatie, breukbewegingen en zouttektoniek.

Door menselijk ingrijpen kan lokaal (en soms regionaal) een veel sterkere bodembeweging (meestal daling) ontstaan. Voorbeelden van menselijk ingrijpen die een sterke bodemdaling kunnen veroorzaken zijn: exploitatie van olie of gas, winning van drinkwater, variaties in grondwaterniveau, zoutwinning, en grote infrastructurele werken. Er zijn ook natuurlijke fenomenen waardoor lokaal een versterkte bodemdaling voor kan komen. Een goed voorbeeld hiervan zijn bewegingen langs breuken in de ondergrond. In Nederland komt dit weinig voor en zijn de effecten niet zo groot.

Door het zeer gevarieerde en complexe palet van bodembewegingstypen vindt verticale bodembeweging plaats op verschillende ruimtelijke schalen en tijdschalen. Bewegingen in de bovenste, holocene, aardlaag zijn van een zeer lokaal karakter en kunnen ten gevolge van vele processen met in de tijd sterk variërende snelheden, en in wisselende richtingen, plaatsvinden. Bodembewegingen in de pleistocene en diepere lagen zijn over het algemeen regionaal van karakter, verlopen gelijkmatiger en veel langzamer.

2. Belang van het monitoren van verticale bodembeweging

Bodembeweging kan een aanzienlijk effect hebben op onze waterhuishouding. Doordat de bodem daalt, kan zoute kwel toenemen, kunnen dijkprofielen en afwatering ongunstiger worden, oppervlaktewateren verzilten en rioleringen verzakken, en daardoor openbarsten. Ook onze kustveiligheid kan in het geding komen, zeker in combinatie met de gevolgen van klimaatverandering zoals zeespiegelstijging, grotere extremen in neerslag en de toename van waterafvoer van de grote rivieren.

Om problemen ten gevolge van bodembeweging tijdig te kunnen ondervangen zijn goede kennis van de bodembeweging in Nederland en voorspellingen voor de toekomst daarvan van essentieel belang. Hiervoor is een overzicht nodig van bodembewegingen die op korte, middellange en lange termijn optreden, zowel op lokale, regionale, als op landelijke schaal. Het monitoren van de bodembeweging levert actuele informatie op over waar en in welke mate bodembeweging in Nederland voorkomt.

Om bodembeweging afdoende te kunnen voorspellen, is ook kennis nodig van de processen die deze bewegingen veroorzaken; dat wil zeggen, kennis en informatie over de fysische en chemische eigenschappen van de aarde en de krachten die daarop werken. De gemeten waarden van bodembeweging kunnen gebruikt worden om de geologische, geofysische en bodemmechanische modellen van de ondergrond aan te scherpen. Verbetering van de bestaande modellen is nodig om in de toekomst betrouwbaardere voorspellingen te kunnen maken over het optreden, de omvang en de mate van bodembewegingen.

3. Het monitoren van bodembeweging

Het monitoren van bodembeweging, en dan met name verticale bodembeweging zoals die in Nederland voorkomt, is geen eenvoudige taak. De grootte van het gezochte signaal ligt vaak in de buurt van de meetnauwkeurigheid. De relatie tussen de meting en de gezochte daling is, gezien de frequentie waarmee metingen worden uitgevoerd en de dichtheid en de kwaliteit van de meetpunten die de bodembeweging moeten representeren, niet altijd zeker.

Voor het meten van bodembeweging staan een aantal technieken ter beschikking: waterpassen, satellietplaatsbepalingssystemen (*Global Positioning System* (GPS) en in de toekomst Galileo), gravimetrie (het meten van de zwaartekracht), satellietradarinterferometrie en vliegtuiglaserhoogtemetingen. Optisch waterpassen is de oudste en tot nu toe de meest gebruikelijke methode om verticale bodembeweging in kaart te brengen. De andere technieken worden tot nu toe niet of slechts sporadisch ingezet, deels omdat kennis en ervaring met deze recent ontwikkelde technologie nog niet breed aanwezig zijn.

Elke techniek heeft haar eigen voor- en nadelen en geen enkele techniek is in staat om aan alle eisen met betrekking tot kosteneffectiviteit, nauwkeurigheid, resolutie in ruimte en tijd, en inzetbaarheid te voldoen. In de tabel zijn deze technieken aan hand van een aantal criteria met elkaar vergeleken. Afhankelijk van de (nog nader te specificeren informatiebehoefte) zal een nationale monitoringstrategie voor bodembeweging uit een combinatie van verschillende meettechnieken moeten bestaan. Bij de ontwikkeling van deze monitoringstrategie en voor de analyse van de meetgegevens moet gebruik gemaakt worden van de aanwezige kennis over de geologische, geofysische en bodemmechanische aspecten van bodembeweging.

Techniek	Kosten	Resolutie in ruimte	Resolutie in tijd	Nauwkeurigheid	Inzetbaarheid
Waterpassen	hoog	puntmeting	laag	hoog	onbeperkt
GPS	gemiddeld	puntmeting	hoog/gemiddeld	gemiddeld	onbeperkt
Gravimetrie	gemiddeld	puntmeting	hoog/gemiddeld	gemiddeld	onbeperkt
Radarinterferometrie	laag	puntmeting	gemiddeld	hoog/gemiddeld	bepert
Laserhoogtemeting	laag	quasi-continu	hoog/gemiddeld	laag	bepert

Tabel: Vergelijking van verschillende technieken voor het meten van verticale bodembeweging aan de hand van een aantal criteria. De tabel geeft slechts een indicatie; afhankelijk van de omstandigheden kan een ander beeld ontstaan.

4. Betrokken partijen

Een groot aantal partijen is betrokken bij of heeft belang bij het meten van bodembeweging, het verwerken en distribueren van de gegevens en het uitvoeren van gerelateerd onderzoek. Het gaat dan zowel om overheidsinstellingen, universiteiten, GTI's, als marktpartijen. Voorbeelden hiervan zijn:

- het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), dat verantwoordelijk is voor de BasisRegistratie bodem en Ondergrond Nederland (BRON);
- de Adviesdienst Geo-informatie en ICT Rijkswaterstaat (AGI), die grootschalig waterpassingen (en GPS-metingen) laat uitvoeren om het Normaal Amsterdams Peil (NAP) in stand te houden;
- waterschappen en het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), die op de hoogte willen blijven van daling van maaivelden en andere landbouwgebieden;
- exploitatiemaatschappijen en het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) die een beeld nodig hebben van de verzakkingen die ontstaan als gevolg van de exploitatie;
- de Technische Universiteit Delft (afdeling *Delft Institute for Earth-Oriented Space Research* (DEOS) van de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek), waar onderzoek plaatsvindt naar de ontwikkeling van nieuwe - en de verbetering van bestaande inwin- en verwerkingsmethoden voor het monitoren van bodembeweging en de analyse daarvan;

- kennisinstellingen (onder meer TNO Bouw en Ondergrond, GeoDelft, Vrije Universiteit Amsterdam, Universiteit Utrecht, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut), die onderzoek doen naar geologische, geofysische en geomechanische aspecten van bodembeweging;
- ingenieurs- en adviesbureaus, die in opdracht van derden bodembeweging en deformaties meten.

De benodigde metingen en analyses worden deels door de partijen zelf uitgevoerd en deels door derden. Meetopzet, meetfrequentie, meettechnieken en data-analyse volgen procedures, die door de opdrachtgevende instanties zelf zijn vastgesteld. Het probleem hierbij is een onvoldoende afstemming van metingen, een deels niet duidelijke procedure voor zowel de analyse van de metingen als voor de afleiding van bodembeweging uit die metingen, en een onvolledige archivering en distributie van meetgegevens. Een centrale data-infrastructuur waarin de gegevens worden verzameld ontbreekt.

Een efficiënte aanpak van de bodembewegingsproblematiek vraagt om:

- afstemming van de metingen op het totaal van de toepassingen en de reeds beschikbare kennis van de ondergrond;
- ontwikkeling en promotie van een standaard voor zowel de afleiding van bodembeweging uit meetgegevens als informatie over de ondergrond; en
- een centrale opslag van meetgegevens en de distributie van meetgegevens aan geïnteresseerde of betrokken partijen.

5. Voordelen voor beleid en wetenschap

Op dit moment bestaat er in Nederland géén nationale strategie gericht op het verkrijgen van inzicht in de verschillende vormen van bodembeweging. Evenmin is er een overheidsorgaan dat alle metingen integraal coördineert, archiveert en distribueert, en de afleiding van bodembeweging uit meetgegevens verifieert. Hoewel een nationale aanpak gepaard gaat met nieuwe investeringen, kunnen daardoor op de middellange termijn juist kosten worden bespaard. Nu wordt door diverse overheidspartijen geld uitgegeven aan activiteiten die gericht zijn op het in kaart brengen van hoogtes, hoogteveranderingen en deformaties van objecten. Naar verwachting zal een centrale aanpak met onder andere een op de behoeften afgestemde meetinfrastructuur, gecoördineerde meetcampagnes, gestandaardiseerde meetprocedures en analysemethodes een flinke *efficiency*-slag en kostenbesparing opleveren. Deze besparing zal echter afhangen van het ontwerp van het bovengenoemde systeem en is nu niet duidelijk aan te tonen. Slechts op basis van het ontwerp kan een kostenraming worden gemaakt.

Het vrijkomen en centraal beschikbaar stellen van de meetgegevens en de analyseresultaten levert een flinke stimulans op voor de wetenschap en de ontwikkeling van *value-added services*.

Daartoe stelt de KNAW voor een centraal overheidsorgaan in te stellen dat een initiërende, coördinerende en sturende rol dient te vervullen bij het verder ontwikkelen, uitwerken en uitvoeren van deze nationale bodemstrategie.

De KNAW beveelt aan dit orgaan te plaatsen bij het TNO-Bouw en Ondergrond Geological Survey of the Netherlands, dat reeds belast is met het beheer van data en informatie van de Nederlandse ondergrond inclusief de daarbij behorende wettelijke taken als registratiehouder en landelijke voorziening in het kader van de basisregistratie van de ondergrond van Nederland. Dit coördinerend orgaan dient te stimuleren dat de beschikbare kennis en informatie uit de verschillende technische disciplines beter op elkaar wordt afgestemd en dat er synthese van de gegevens plaatsvindt.

Een dergelijke aanpak kan leiden tot nieuwe inzichten in de problematiek rond bodembeweging. De ontwikkelde kennis kan bovendien vervolgens worden geëxporteerd naar andere laaggelegen kustgebieden met een sterke economische ontwikkeling en daarmee gepaard gaande menselijke invloed op de ondergrond (bijvoorbeeld China en India). Dit zal onze internationale rol als *innovator* op dit gebied versterken.

Conclusies en aanbevelingen

- Om problemen ten gevolge van bodembeweging tijdig te kunnen ondervangen zijn een goede kennis van de bodembeweging in Nederland en voorspellingen voor de toekomst daarvan van essentieel belang.
- Hiervoor is een nationale strategie voor bodembeweging nodig die uit vier componenten bestaat: (1) monitoring, (2) data-analyse en validatie, (3) modellering en (4) archivering en informatievoorziening.
- Bij de ontwikkeling van deze monitoringstrategie en voor de data-analyse en de validatie dient gebruik gemaakt te worden van de aanwezige kennis over de geologische, geofysische en bodemmechanische aspecten van bodembeweging. De gemeten waarden van bodembeweging kunnen benut worden om de geologische, geofysische en bodemmechanische modellen van de ondergrond aan te scherpen.
- Een efficiënte aanpak van de problematiek van de bodembeweging vraagt om (1) afstemming van de metingen op het totaal van de toepassingen en de reeds beschikbare kennis van de ondergrond, (2) het opvoeren van het detailniveau en de *update*-frequentie van de metingen, (3) de ontwikkeling en de promotie van een standaard voor zowel de afleiding van bodembeweging uit meetgegevens als informatie over de ondergrond, (4) een centrale opslag van meetgegevens en (5) de distributie van meetgegevens aan geïnteresseerde of betrokken partijen.
- Een centrale aanpak met onder andere een op de behoeften afgestemde meetinfrastructuur, gecoördineerde meetcampagnes, gestandaardiseerde meetprocedures en analysemethodes kan een flinke *efficiency*-slag en kostenbesparing opleveren. Het vrijkomen en centraal beschikbaar stellen van de meetgegevens en de analyseresultaten levert een flinke stimulans op voor de wetenschap en de ontwikkeling van *value-added services*.
- Een centraal orgaan bij TNO-Bouw en Ondergrond *Geological Survey of the Netherlands* dient te worden ingesteld om deze belangrijke initiërende, coördinerende en sturende rol te vervullen bij zowel het opstellen van de doelstellingen als het verder ontwikkelen, uitwerken en uitvoeren van de strategie voor het monitoren van de bodembeweging in Nederland. Dit coördinerende orgaan dient te stimuleren dat de beschikbare kennis en informatie uit de verschillende technische disciplines beter op elkaar afgestemd en gesynthetiseerd worden.
- Bovenstaande aanpak leidt tot nieuwe kennis en inzichten die Nederland een vooraanstaande internationale rol op dit gebied geven en kansen bieden voor het exporteren van kennis.

Samenstelling RAK en NCG

Raad voor Aarde en Klimaat (RAK) van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW)

Voorzitter:

prof.dr. P.A.M. Andriessen, Vrije Universiteit Amsterdam (VU) – isotopengeologie

Leden:

dr. M. van Bracht, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (NITG-TNO) – hydrologie
dr. R. van Dorland, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) – atmosfeeronderzoek, broeikas effect
mw. drs. L.C. van Geuns, Instituut Clingendael (CIEP) – geologie
prof. dr. S.M. Hassanzadeh, Universiteit Utrecht (UU) – hydrologie
prof. dr. A.A.M. Holtslag, Wageningen Universiteit (WUR) – meteorologie
prof. dr. H. Hooghiemstra, Universiteit van Amsterdam (UVA) – palynologie en kwartaire ecologie
mw. prof. dr. S.J.M.H. Hulscher, Universiteit Twente (UT) – waterbeheer en watersystemen
prof. dr. J.W. de Leeuw, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) en Universiteit Utrecht (UU) – organische geochemie
prof. dr. F.D. van der Meer, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observations (ITC) en Technische Universiteit Delft (TUD) – *remote sensing* en structurele geologie
dr. ir. H. Ridderinkhof, Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) – fysische oceanografie
prof. dr. W. Spakman, Universiteit Utrecht (UU) – tectonofysica

Secretaris:

mw. ir. A.M. de Gier, Sector Advies en Verkenning, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW)

Nederlandse Commissie voor Geodesie (NCG) van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW)

Voorzitter:

prof. dr. ir. P.J.G. Teunissen, Technische Universiteit Delft (TUD) – mathematische geodesie en puntsbepaling

Secretaris:

prof. dr. ir. M. Molenaar, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observations (ITC) – fotogrammetrie en *remote sensing*

Leden:

prof. mr. J.W.J. Besemer, Kadaster en Technische Universiteit Delft (TUD) – geo-informatie infrastructuur
prof. dr. ir. A.K. Bregt, Wageningen Universiteit (WUR) – geo-informatiekunde
dr. ir. F.J.J. Brouwer, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) – hoofddirecteur

mw. drs. Th.A.J. Burmanje, Kadaster – voorzitter Raad van Bestuur
kapt. t.z. F.P.J. de Haan, Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine – Chef der Hydrografie
prof. dr. R. Klees, Technische Universiteit Delft (TUD) – fysische, meetkundige en ruimtegeodesie
ir. C.W. Nelis, Vereniging Nederlandse Gemeenten (VNG) – geodesie
prof. dr. ir. P.J.M. van Oosterom, Technische Universiteit Delft (TUD) – geografische informatiesystemen
drs. N. Parlevliet, Adviesdienst Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat – hoofdingenieur-directeur
dr. ir. H. Quee, voorzitter Subcommissie Geodetische Infrastructuur en Referentiesystemen – geodesie
prof. dr. R.T. Schilizzi, Stichting Astronomisch Onderzoek in Nederland (ASTRON), Square Kilometre Array (SKA) – astronomie
prof. dr. D.G. Simons, Technische Universiteit Delft (TUD) – akoestische *remote sensing*
prof. dr. ir. M.G. Vosselman, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observations (ITC) – geo-informatie-inwinning met sensorsystemen
prof. dr. M.J.R. Wortel, Universiteit Utrecht (UU) – tektonofysica

Corresponderend lid:

prof. dr. R.F. Rummel, Technische Universität München – astronomische en fysische geodesie

Ambtelijk secretaris:

F.H. Schröder, Nederlandse Commissie voor Geodesie

Subcommissie Bodembeweging en Zeespiegelvariatie van de Nederlandse Commissie voor Geodesie (NCG)

Voorzitter:

prof. dr. R. Klees, Technische Universiteit Delft (TUD) – fysische, meetkundige en ruimtegeodesie

Leden:

dr. B. Dost, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) – seismologie
dr. ir. A.J.H.M. Duquesnoy, Staatstoezicht op de Mijnen – petrofysica
dr. ir. R.F. Hanssen, Technische Universiteit Delft (TUD) – geodesie
ir. A.P.E.M. Houtenbos – geodesie
mw. dr. C. Katsman, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) – oceanografie
ir. A.J.M. Kösters, Adviesdienst Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat – geodesie
drs. G.A.M. Kruse, GeoDelft – grondmechanica en geologie
drs. G. de Lange, TNO Bouw en Ondergrond – geologie
dr. W.T.B. van der Lee, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ) van Rijkswaterstaat – hydrologie
ir. W.A. Paar, Minerals Akzo Nobel Salt BV – zoutwinning
dr. ir. F. Schokking, GeoConsult BV – ingenieursgeologie en geotechniek
ing. L. Zeylmaier, Nederlandse Aardolie Maatschappij BV – geodesie

Corresponderende leden:

prof. dr. ir. F.B.J. Barends, Technische Universiteit Delft (TUD) en GeoDelft – geotechniek
J.H. ten Damme – geodesie

Ambtelijk secretaris: F.H. Schröder, Nederlandse Commissie voor Geodesie