

TNO-Rapport

2007-U-R0566B

Bodemdaling in Nederland

Datum	20 December 2006
Auteur(s)	Mevr. Dr. A.G. Muntendam-Bos Mevr. Dr. I.C. Kroon Dr. P.A. Fokker Drs. G. de Lange
Exemplaarnummer	
Oplage	20
Aantal pagina's	27
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	TNO
Projectnaam	GIP "Bodemdalingkaart van Nederland"
Projectnummer	034.62543

Inhoudsopgave

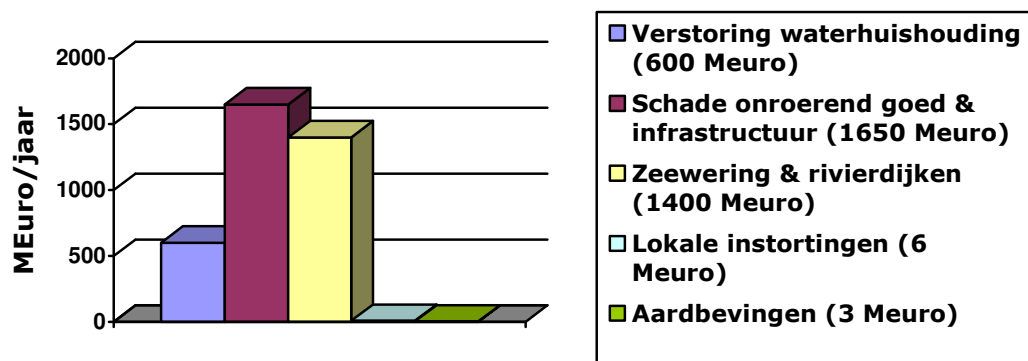
1.	Inleiding	3
2.	Bodemdalingprocessen	6
2.1	Tektoniek, isostatie en eustatie	6
2.2	Compactie van sediment	7
2.3	Bewegingen bij zoutstructuren	8
2.4	Bodemdaling door gaswinning	9
2.5	Bodemdaling door koolwinning	10
2.6	Zeespiegelfluctuaties en aardgetijden	10
2.7	Overigen	10
3.	Procesgerelateerde data	11
4.	Relevante processen voor de procesgerelateerde, interactieve bodemdalingstool	12
4.1	Temporele en ruimtelijke resolutie bodemdalingstool	12
4.2	Relevante processen en data	12
5.	Workflow m.b.t. realisatie procesgerelateerde bodemdalingstool	14
5.1	Data Acquisitie	14
5.2	Kwaliteitscontrole & Consistentiecorrectie	15
5.3	Database & Visualisatie in DINOLoket	15
5.4	Relateren aan voorwaartse fysische modellen	15
5.5	Inverteren van de data naar de onderliggende processen	15
5.6	Voorspellen van de bodemdaling a.d.h.v. beleids- en beheersscenario's	16
6.	Voorbeeld: Bodemdaling Krimpenerwaard	17
6.1	Geobserveerde bodemdaling tussen 1984 en 2000	17
6.2	Voorwaarts modelleren bodemdaling Krimpenerwaard	19
6.3	Inverteren naar de onderliggende processen en voorspellen van toekomstige bodemdaling	20
7.	Literatuur	21
	Appendix A: Beknopte beschrijvingen data	23
	Appendix B: Overzicht projectuitvoering, afronding fases en oplevering deliverables	25
	Appendix C: Inventarisatie voor data aquisitie	26

1. Inleiding

Bodemdaling in Nederland is een belangrijk maatschappelijk probleem gezien de verhoogde risico's voor waterbeheer, bebouwing en infrastructuur die hieraan gerelateerd zijn.

In sommige delen van Nederland is het maaiveld de afgelopen eeuwen een paar meter lager komen te liggen. Dit is vooral het gevolg van steeds efficiëntere en toenemende ontwatering. De ontwatering leidt deels tot het droogvallen van veenpakketten, die bij toetreding van zuurstof vergaan, en deels tot verlaging van de waterspanning in de samendrukbare pakketten waardoor compactie optreedt. Daarnaast speelt delfstofwinning een rol. Het betreft zowel het rechtstreeks verlagen van het aardoppervlak door bijv. zand- en grindwinning, als bodembeweging door winning van bijv. gas, olie, zout en warmte. Door bodembeweging als gevolg van deze processen kan schade en hinder optreden voor derden. Dit omvat zaken als verstoring van de waterhuishouding, schade aan onroerend goed, problemen bij de zeekering, lokale instortingen aan het maaiveld, aardbevingen en gevoelens van onrust bij de bevolking als gevolg daarvan.

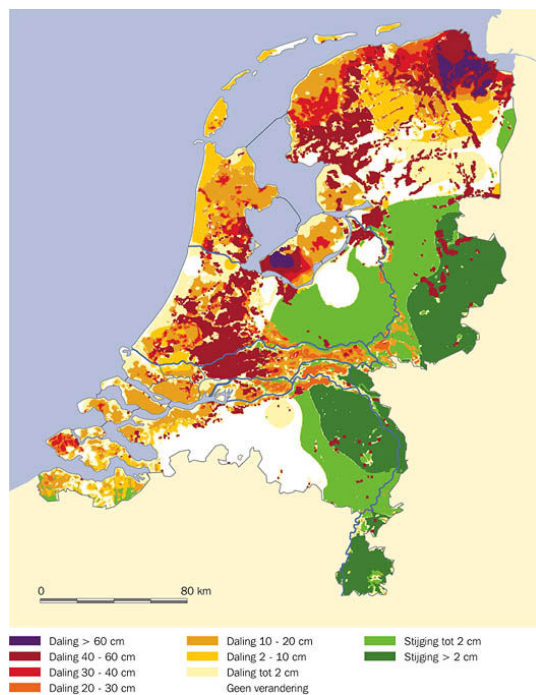
De risico's die met de Nederlandse ondergrond verband houden, vertegenwoordigen een negatieve post op de balans van de economische waarde van onze ondergrond. De in figuur 1.1 weergegeven kosten dienen zowel om risico's te beheersen als om de gevolgen van desondanks optredende calamiteiten te financieren.



Figuur 1.1: Verwachte jaarlijkse kosten van risico's verbonden aan de Nederlandse ondergrond (Mulder et al., 2003; Waterhuishouding eigen schatting op basis van CBS-gegevens).

Uit bovenstaande figuur blijkt dat jaarlijks een bedrag van ongeveer 3,5 miljard euro moet worden opgebracht om de schade voortkomende uit ondergrondrisico's te vergoeden en nieuwe schade te voorkomen. Dit bedrag komt uit de publieke middelen en bedraagt ruim 1% van de jaarlijkse Rijksbegroting.

Het betrouwbaar weergeven van de opgetreden bodemdaling en het voorspellen van toekomstige bodemdaling is dus van groot belang voor grondwatermanagement, optimalisatie van olie en gas exploratie en aansprakelijkheidszaken. De beschikbaarheid van en de onzekerheden in de bodemdalingobservaties, consistentie van de data en het kwantificeren van de oorzaken die aan bodemdaling ten grondslag liggen zijn op dit moment bepalend voor de kwaliteit van weergaven en voorspellingen ten aanzien van bodembeweging.



Figuur 1.2: Verwachte maaiveldddaling in 2050 (na 55 jaar) in NW4. Bron: RIZA.

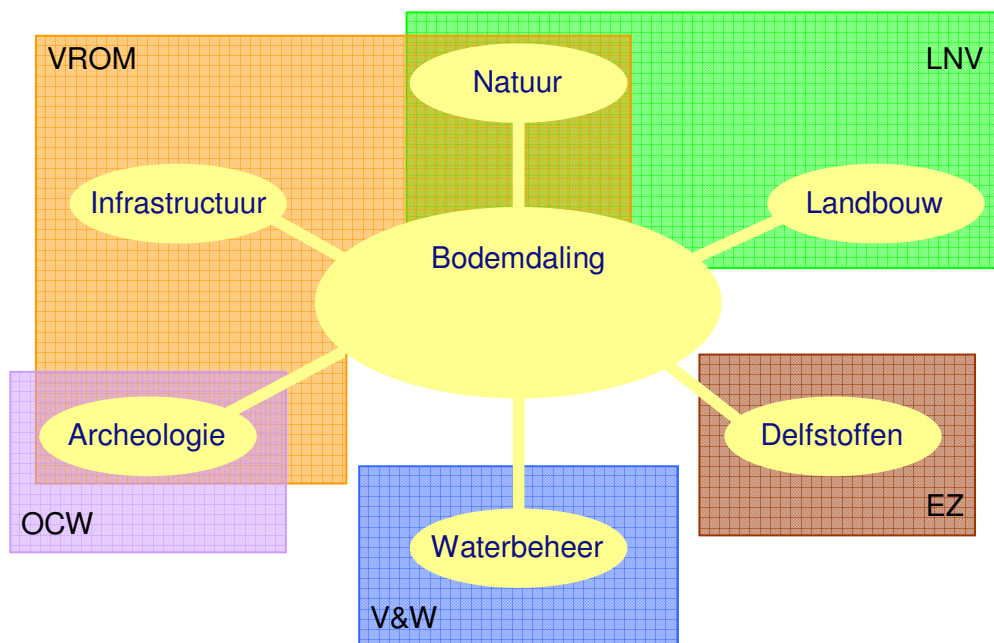
Tot op heden zijn op landelijke schaal slechts enkele weergaven van bodemdaling gepubliceerd. De eerste poging om tot een begrip van de bodembeweging te komen werd ingegeven door de resultaten van de Vierde Nauwkeurigheds Waterpassing, ten behoeve van het NAP-netwerk (Lorenz et al., 1991). In het verlengde hiervan is getracht de verschillende contribuanten van de bodemdaling te kwantificeren. Een duidelijke conclusie uit dit onderzoek was dat de natuurlijke, diepere bodemdaling (en –stijging) weliswaar een grote marge van onnauwkeurigheid heeft, maar dat deze relatief klein is vergeleken met de geïnduceerde en ondiepe processen. In de voorbereiding tot de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4, 1997) is getracht om de ernst van de bodemdaling in kaart te brengen. Hiervoor is in 1997 door het RIZA uit gegevens, aangeleverd door de toenmalige Meetkundige Dienst, de Rijks Geologische Dienst en de Stichting Bodemkartering, een voorspelling gedaan van de totale maaiveldddaling tot het jaar 2050 (Figuur 1.2). In de kaart zijn vier bekende processen bij elkaar opgeteld. Hierbij zijn in veel gevallen vuistregels gebruikt en is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met de invloed van verschillende waterbeheersscenario's. Voor NW4 was dit voldoende, de kaart geeft grootschalig aan waar in de komende 50 jaar de aandachtsgebieden liggen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat met deze kaart de werkelijke bodemdalinggevoeligheid niet te kwantificeren is.

Vanuit het oogpunt van beleid en beheer is het wenselijk om inzicht te krijgen in de verschillende contribuanten van de maaiveldddaling en de mate waarin deze te beïnvloeden zijn (figuur 1.3). De relatie tussen lokale variaties in maaiveldddaling als gevolg van peilbeheer enerzijds en de opbouw van de ondergrond en het hydrologische systeem anderzijds is onderzocht in het kader van het Delft Clusterproject "Bodemddaling en Integraal Waterbeheer" (Bremmer et al, 2003). Aan de hand van de resultaten van dit onderzoek kan worden vastgesteld dat de maaiveldddaling ten gevolge van peilbeheer in belangrijke mate wordt bepaald door de

opbouw van de ondergrond.

Daarnaast laat de studie zien dat de beschikbaarheid van betrouwbare maaiveldalingsgegevens niet vanzelfsprekend is. Dit is gerelateerd aan de wijze van meten, inclusief fouten die daarbij op kunnen treden, het feit dat er geen systematische herhalingsmetingen zijn en met de maaiveldalingsprocessen.

In dit rapport ligt de nadruk op het identificeren van de oorzaken van de bodemdaling, die in Nederland binnen een bepaalde tijdschaal een belangrijke rol spelen, en de aan deze processen gerelateerde observaties van bodemdaling. Deze observaties zullen vervolgens verwerkt kunnen worden in een consistente, procesgerelateerde bodemdalingkaart van Nederland. Deze kaart vormt de basis voor een te ontwikkelen bodemdalingstool waarmee voorspellingen van de toekomstige bodemdaling gebaseerd op specifieke beleidsscenario's (bv. van waterbeheer, gasonttrekking, etc.) kunnen worden gemaakt.



Figuur 1.3: Beleidskaders waarmee de overheid bodemdaling kan beïnvloeden.

2. Bodemdalingprocessen

Van een groot aantal processen kan worden verwacht dat zij een bijdrage leveren aan de bodembeweging in Nederland. Hierbij moet worden gedacht aan zowel natuurlijke als antropogene processen (zie tabel 2.1 voor een classificatie van de hieronder genoemde processen). In dit hoofdstuk zal dieper worden ingegaan op alle processen die hoogteveranderingen kunnen veroorzaken.

2.1 Tektoniek, isostasie en eustasie

Onder tektoniek wordt verstaan de beweging van de lithosfeerplaten¹, zowel horizontaal als verticaal, onder invloed van een veelheid aan krachten die op de lithosfeer kunnen aangrijpen. Deze processen veroorzaken (wisselende) spanningsvelden in de platen, waardoor bewegingen en breukvorming in de lithosfeer kan plaatsvinden (Lorenz et al., 1991).

Veranderingen in intraplaatspanningen kunnen tevens het gevolg zijn van veranderingen in verticale belasting. Deze veranderde belasting zal dan gecompenseerd worden, wat isostatische compensatie wordt genoemd. Een belangrijke vorm hiervan is de postglaciale isostasie. Hierbij veert de lithosfeer na de zware belasting van de ijskappen weer terug naar zijn isostatische evenwicht, terwijl de zeebodem door het toegenomen watervolume in de oceanen juist daalt. In Nederland is dit effect in de laatste 10.000 jaar geleidelijk in belang afgenomen (Lambeek and Chappell, 2001 en referenties daarin; Peltier et al., 2002; Kiden et al., 2002).

In dit verband mag uiteraard de geoidale eustasie niet ontbreken: de aardrotatie en lokale veranderingen in het zwaartekrachtsveld van de aarde veroorzaken dalingen en stijgingen van het oceaanniveau (de geoïde). De ruimtelijke schaal van deze veranderingen kunnen op dit moment via satelliet metingen worden bepaald tot een resolutie van ~130 km.

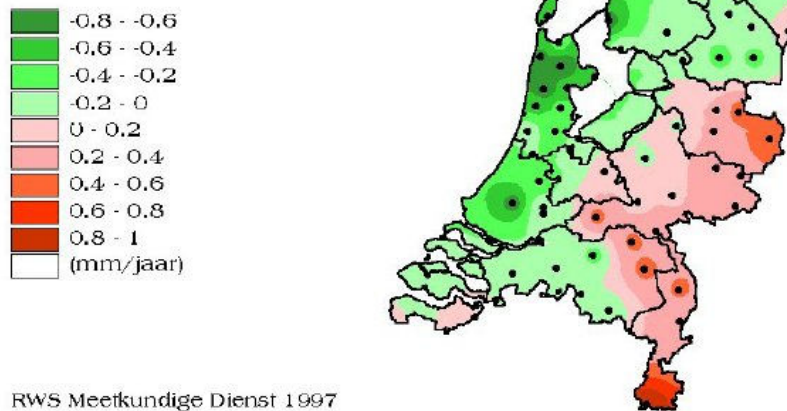
In Nederland spelen vooral de tektoniek en isostasie een belangrijke rol (Lorenz et al, 1991; Kooi, 1997; Kooi et al, 1998). Nederland bevindt zich aan de zuidoost rand van het Noordzeebekken waarin sinds het begin van het Tertiair (ca. 65 M jaar geleden) sedimenten accumuleren. Hierdoor treedt er in Nederland een door isostasie veroorzaakte kantelende beweging langs een noordoost-zuidwest lijn op (figuur 2.1). Daarnaast zijn in Nederland verschillende tektonische elementen te onderscheiden, die een invloed hebben op gemeten bewegingen (bv. de Roerdal Slenk, het Zuiderzeebekken en de Voorne Trog).

Tabel 2.1: Classificatie van de hiergenoemde bodembewegingsprocessen

<p>Antropogene oorzaken (99%)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compactie van sediment (zetting & kruip) • Veenoxidatie • Reservoir compactie bij olie- & gaswinning • Wegvloeien en oplossen van zout • Stijging van mijnwater na beëindiging kolenwinning
<p>Natuurlijke oorzaken (1%)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tektonische, isostatische en eustatische bodembewegingen • Bodemgesteldheid: klei-/veen-/zandgrond • Aardgetijden en zeespiegelfluctuaties

¹ Lithosfeer omvat het bovenste deel van de aarde, te weten korst (ca. 30 km) en het bovenste deel van mantel.

**Vertikale bewegingen Pleistoceen
bepaald uit waterpassingen over
ondergrondse merken van het NAP (.)**



RWS Meetkundige Dienst 1997

Figuur 2.1: Bodembeweging afgeleid van de ondergrondse merken van het NAP (Riedstra, 2000; Voor een meer recente bepaling zie Leusink, 2003).

De tektonische bewegingen beperken zich tot het riftsysteem, waar de Roerdal Slenk deel van uitmaakt. Deze bewegingen resulteerden o.a. in de $M_w = 5.3$ Roermond aardbeving van 13 april 1992 (van Eck & Davenport, 1992).

2.2 Compactie van sediment en veenoxidatie

Bodemdalning wordt ook veroorzaakt door natuurlijke samendrukking of inklinking van sedimenten (Kooi, 2000; Lange et al., 2000; Lange et al., 2004; Linden et al., 2005). Vooral zetting en klink van klei en veen en oxidatie van veen resulteert in een afname van de dikte van het sedimentpakket. De hoogte van de grondwaterspiegel is voor deze processen van groot belang en wordt door menselijk handelen sterk beïnvloed.

Zetting is het mechanisme waarbij door een verhoging van de korrelspanning het grondskelet in elkaar wordt gedrukt. Hierbij kunnen we drie fasen onderscheiden (Bremmer et al., 2003):

- Initiële zetting direct na aanbrengen van een belasting, bv. infrastructuur. Deze heeft een lokaal karakter en is slechts gedurende een relatief korte tijd (enkele jaren) actief.
- Consolidatie, welke gepaard gaat met het uitdrijven van water, tot de waterspanningsverhoging is gedissipeerd.
- Seculaire zetting, wat een kruipproces is dat geleidelijk in de tijd afneemt.

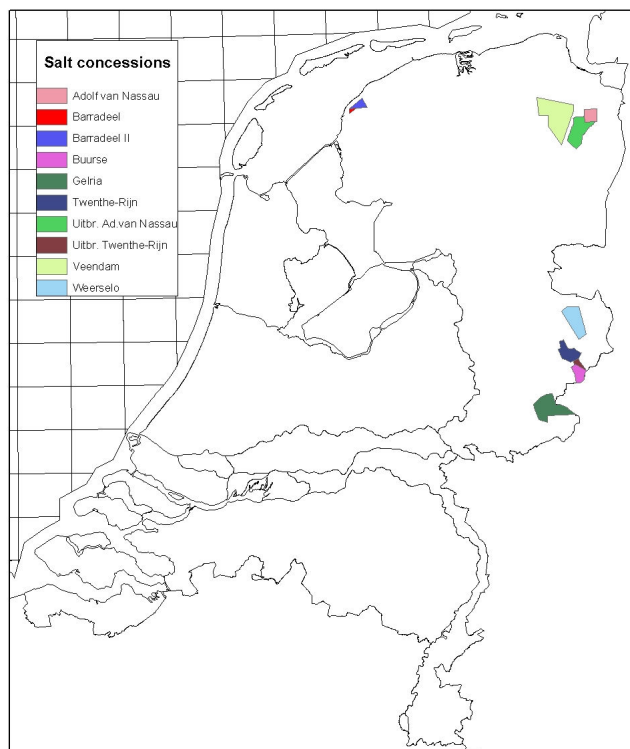
Oxidatie van veen vindt plaats bij toetreding van lucht bij het veenpakket, waardoor het veen wordt afgebroken, met name via biologische processen. Dit proces vindt overwegend plaats boven het niveau van de laagste grondwaterstand.

Om klei- en veengebieden in laag Nederland geschikt te houden voor bebouwing en landbouwkundig gebruik is een zekere mate van ontwatering noodzakelijk. Om de vereiste ontwateringsdiepte te kunnen blijven realiseren wordt het polderpeil naar beneden toe aangepast, wat tot verdere bodemdaling leidt. Verschillen in drooglegging, grondgebruik en bodemprofiel zijn de belangrijkste veroorzakers van ruimtelijke variaties in dalingsnelheid in de afgelopen eeuwen.

2.3 Bewegingen bij zoutstructuren

Het omhoog bewegen van zoutdiapieren of zoutkussens kan optreden als gevolg van intraplaatspanningen in combinatie met dichtheidsverschillen tussen het zout en het omringende gesteente (Podladchikov et al, 1993; Poliakov et al., 1993). Bij hooggelegen zoutpijlers kunnen stijgingen van het maaiveld voorkomen boven de structuren, maar ook dalingen daaromheen. Dit laatste wordt veroorzaakt door het dunner worden van de zoutlaag, door het "wegvloeien" van het zout naar de diapier. Daarnaast kunnen er zakkingen voorkomen door oplossingsverschijnselen in het zout of het omringende gesteente. De grootte van de verzakkingen kan uiteenlopen van enkele centimeters tot tientallen meters met een ruimtelijke verbreiding van ca. 50 meter tot enige kilometers.

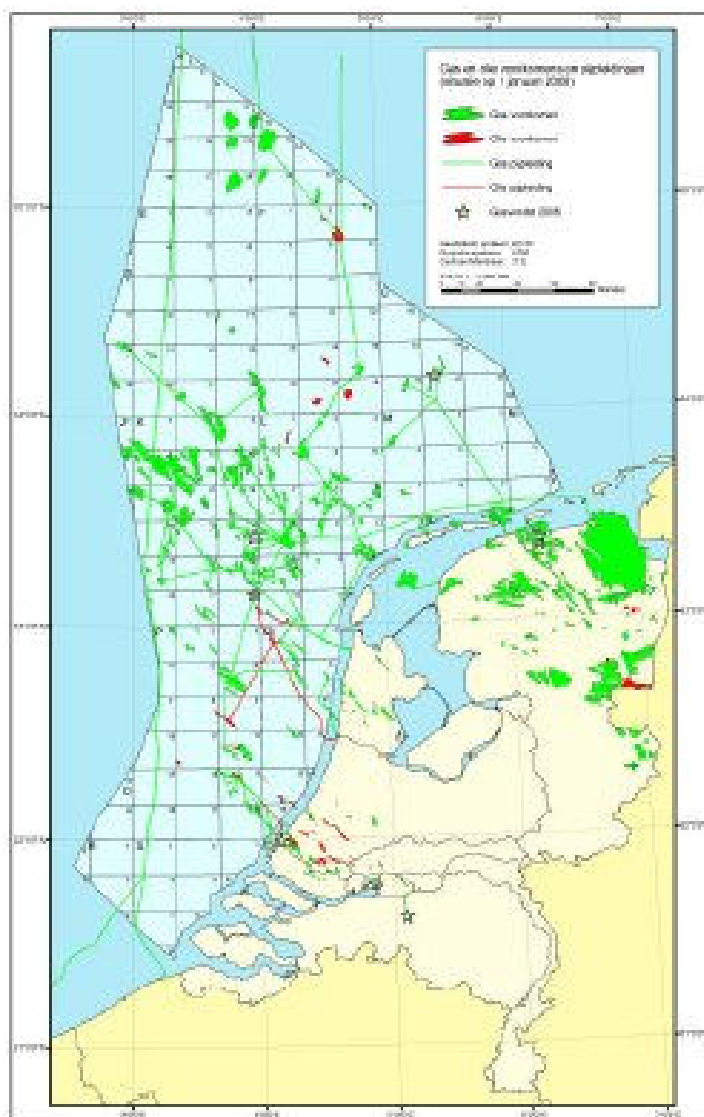
In het noordoosten en oosten van Nederland komen dikke zoutpakketten voor, inclusief zoutdiapieren en zoutkussens. Op een aantal plaatsen wordt het zout in de diepe ondergrond gewonnen (Figuur 2.2). Door convergentie in zoutcavernes (oftewel het dichtgedrukt worden van de cavernes door opdringend zout vanuit de cavernewand) ontstaat een volume tekort in de ondergrond wat zich vertaalt in bodemdaling aan het oppervlak gedurende winning. Verdergaande daling na afloop van winning hangt sterk af van de gekozen wijze van het verlaten van de cavernes (bijv. Kroon, 2003). Een ander proces treedt op in zeer ondiepe cavernes, zoals in de zoutwinning uit de Roet Formatie in Twente. Deze cavernes kunnen omhoog migreren, waardoor soms aan het oppervlak instortingsgaten (dolines) gevormd kunnen worden (Mensen en Paar, 2002).



Figuur 2.2: Overzicht van de zoutwinlocaties in Nederland.

2.4 Bodemdaling door gas- en oliewinning

Aardgas is onder hoge druk opgeslagen in reservoirs (bijv. zandsteenlagen uit het Rotliegend op een diepte van 2000 tot 3500 meter). De winning van het aardgas heeft tot gevolg dat de vloeistofdruk in het gashoudende gesteente sterk afneemt, wat leidt tot een toename in de gesteentedruk. Deze druk heeft tot gevolg dat het zandsteen, waarin zich het aardgas bevindt, wordt samengedrukt. Dit leidt aan het aardoppervlak tot een gelijkmatige schotelvormige daling van de bodem. De grootte, vorm en diepte van deze schotel worden bepaald door o.a. de hoeveelheid aardgas die is gewonnen, de geologische structuur, het patroon van aanwezige breuken in de diepe ondergrond en de mechanische eigenschappen van het gesteente. Daarnaast bevat de Nederlandse ondergrond ook een aantal olievelden (Figuur 2.3), waarboven een bodemdaling ten gevolge van een vergelijkbaar proces kan worden waargenomen.



Figuur 2.3: Overzichtskaart olie- en gasvoorkomens in Nederland (per 1 januari 2006)

2.5 Bodemdaling door koolwinning

Door de steenkoolwinning heeft Limburg in het verleden een sterke bodemdaling (tot enkele meters) gekend. Thans vindt in deze gebieden vooral een lichte bodemstijging (tot enkele decimeters) plaats als gevolg van de geleidelijke stijging van het mijnwater. Echter, lokaal ontstaan soms instortingsholtes (zoals recent op de hoek van de Domaniale Mijnstraat en Voorterstraat in Kerkrade).

Vlak over de grens in Duitsland, tussen Keulen, Aken en Roermond, wordt in dagbouw bruinkool gedolven. Daarbij wordt op uitgebreide schaal de bruinkool tot honderden meters diep weggegraven. Om dit mogelijk te maken wordt het gebied intensief ontwaterd (Pötgens, 1990; Rolf, 1991). Ter plaatse is daardoor de grondwaterstand met honderden meters verlaagd. Deze verlaging van de grondwaterstanden plant zich voort tot in Brabant en Limburg, waardoor extra bodemdaling ten gevolge van zetting en klink kunnen optreden.

2.6 Zeespiegelfluctuaties en aardgetijden

In de laatste honderd jaar wordt een continue stijging van de zeespiegel langs de Nederlandse kust waargenomen. Deze stijging bestaat uit een combinatie van stijging van de absolute waterstand en bodemdaling. Deze stijging is vooral te wijten aan de overgang van de kleine ijstijd in de 16^e tot midden 19^e eeuw naar de huidige warmere periode (Lambeck et al., 1997; Lambeck et al., 1998; Lambeck, 2001). Door de klimaatveranderingen ten gevolge van het broeikaseffect wordt deze relatieve zeespiegelstijging extra versterkt en de IPCC schattingen voor de komende eeuw liggen tussen de 60 en 85 cm (De Ronde en Vogel, 1988). Er zijn aanwijzingen dat zich momenteel een versnelling voordoet van het stijgen van de (absolute) eustatische zeespiegel en dat deze ook optreedt in het Nederlandse kustgebied (Rijkswaterstaat, 2000; White et al, 2005).

De aardgetijden vinden plaats door de aantrekkingskracht van de zon en de maan en uiten zich als een golfbeweging die langs het aardoppervlak voortbeweegt. De amplitude van de deformatie op aarde bedraagt enkele decimeters. De grootte van Nederland t.o.v. de golflengte van deze beweging is echter zeer gering. Het tijverschil neemt echter op bijna alle plaatsen in Nederland toe (Projectteam NW4, 1997). Het hoogwater stijgt sneller dan de zeespiegel, gemiddeld 5 cm per eeuw, en het laagwater stijgt gemiddeld 5 cm langzamer dan de zeespiegel. Voor een groot gedeelte is dit veroorzaakt door menselijk handelen, vooral het uitdiepen van vaargeulen heeft het tijverschil doen toenemen.

2.7 Overigen

Naast voorgenoemde processen zijn er nog een aantal processen te identificeren die (lokaal) een bijdrage leveren aan bodembeweging. Hiertoe behoort de inklinking van de ondergrond door de aanleg van infrastructuur, afgravingen en ophogingen en zeker in het verleden de aangroei van hoogveen. Zeer gecompliceerde processen die daarnaast een rol spelen zijn de opslag van gas en CO₂ in de ondergrond en bodembeweging ten gevolge van geothermie.

3. Procesgerelateerde data

Hier wordt een opsomming gegeven van de verschillende data die gerelateerd zijn aan de in hoofdstuk 2 genoemde processen. Een korte beschrijving van de verschillende data soorten wordt gegeven in appendix A.

Tektoniek, isostasie en eustasie

- Waterpassingen NAP peilmerken
- Geologisch model ondergrond -> borehole database; seismiek

Compactie van sedimenten

- Waterpassingen
- GPS data
- InSAR data
- Grondwaterstanden
- Polderpeilaanpassingen
- Stijghoogten
- NAP peilmerken
- Compactie metingen in boorkernen en zakkaken

Bodemdaling bij zoutstructuren

- Geologische informatie -> borehole; seismiek
- Waterpassing
- Holruimtemetingen in zoutcavernes
- Productie gegevens

Bodemdaling door gaswinning

- Optische & hydrostatische waterpassingen
- GPS metingen
- Productieprofielen
- Seismische registraties -> borehole; seismiek
- Compactie metingen in boorkernen
- Radio-actieve bullets
- Reservoir simulatie gegevens

Bodemdaling door koolwinning

- Locatie bepalingen van de mijngangen
- Mijwaterstanden
- Grondwaterstanden
- Grondwaterstijghoogten
- Waterpassingen

Zeespiegelfluctuaties en aardgetijden

- Satelliet waarnemingen
- Kuststations
- "IPCC schattingen"

4. Relevante processen voor de procesgerelateerde, interactieve bodemdalingstool

Om te voorkomen dat irrelevante data wordt verzameld is het van belang om de temporele en ruimtelijke resolutie van de bodemdalingkaart en -tool te bepalen. Aan de hand van deze keuzes kunnen de relevante processen voor Nederland worden geïdentificeerd en de te verzamelen data geïnventariseerd.

4.1 Temporele en ruimtelijke resolutie bodemdalingstool

Voor de totstandkoming van de historische bodemdalingkaart worden data over de afgelopen 15-20 jaar verzameld. Deze tijdschaal is zo gekozen dat beschikt kan worden over alle mogelijk databronnen (InSAR en GPS data worden verkregen van satelliet systemen, die pas sinds begin jaren '90 van de vorige eeuw operationeel zijn geworden). Deze recente satelliet observaties hebben een significant betere precisie dan de oude waterpasmetingen, waardoor ook de bodemdalingkaart en de voorspellingen uit de bodemdalingstool met grotere nauwkeurigheid kunnen worden gemaakt. Wel zal voor de InSAR data nog nauwkeurig moeten worden onderzocht wat precies gemeten wordt en hoe deze metingen aan de nabije NAP-peilmerken kunnen worden gerelateerd. Daarnaast heeft het rapport van Lorenz et al. (1991) een goed beeld gegeven van de bewegingen van de NAP peilmerken, waardoor een betere controle op het referentievlak van de kaart kan worden verkregen. De meest recente analyse van de NAP peilmerken is gedaan door Leusink (2003).

De data zal per 5 jaar in één consistente analyse worden verwerkt, waardoor temporele effecten van de bodemdaling zichtbaar worden. De uiteindelijke historische bodemdalingkaart zal de cumulatie van de bodemdaling over de gekozen afgelopen 15-20 jaar zijn. Hierdoor is deze gebaseerd op een veel uitgebreidere dataset waardoor de nauwkeurigheid van de kaart wordt vergroot. De bodemkaarten voor elk interval van 5 jaar zullen echter ook beschikbaar worden gemaakt. Daarnaast zal de mogelijkheid tot het verstrekken van onzekerheden gerelateerd aan de bodemdalingkaarten worden onderzocht.

Voor de ruimtelijke schaal is gekozen voor een resolutie van 250 m. De RIZA bodemdalingkaart heeft een ruimtelijke resolutie van ongeveer 1,2 km, terwijl regionale studies van de verandering in maaiveldhoogte een resolutie van minder dan 100 m hebben. Het doel van deze bodemdalingkaart en -tool is om een gedetailleerd landelijk beeld te geven van de bodemdaling in Nederland in het verleden en voorspellingen voor de toekomst, zonder elk lokaal detail mee te nemen waardoor de kaart onleesbaar zou kunnen worden.

4.2 Relevante processen en data

De keuze voor een temporele resolutie van 15-20 jaar en een ruimtelijke resolutie van 250 m resulteert in een selectie van processen die voor de historische bodemdalingkaart van Nederland van invloed zijn. De trage tectonische, isostatische en eustatische bewegingen van de NAP peilmerken van maximaal een paar centimeter per eeuw geven een bodembeweging van minder dan 1 centimeter gedurende het gekozen tijdsinterval. Deze bijdrage kan worden verwaarloosd. In de bodemdalingstool zal bij voorspellingen op langere termijn wel rekening worden gehouden met dit proces. Deze bijdrage zal echter gebaseerd worden op de

resultaten/inzichten van Lorenz et al. (1991) (of eventuele toekomstige aanpassingen daarop).

De compactie van sedimenten en veenoxidatie, waaronder de zetting van polders, zijn samen met de gaswinning binnen de gekozen temporele en ruimtelijke resoluties de belangrijkste factoren van bodemdaling. Het is dan ook van groot belang om alle beschikbare data voor deze processen te verzamelen. De data gerelateerd aan de olie- en gaswinning zijn voor een belangrijk deel (het niet confidentiële deel) beschikbaar bij AGI/Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). Bij deze instituten worden alle metingen in het kader van de mijnbouwwet verzameld en opgeslagen. De data met betrekking tot de compactie van sedimenten zullen bij meerdere instanties moeten worden verkregen. Een groot deel van de data is beschikbaar bij de waterschappen (waterpasmetingen, grondwaterstanden, polderpeilaanpassingen, stijghoogten, GPS metingen) en bij Rijkswaterstaat (waterpassingen, NAP peilmerken) en voor een kleiner deel bij de Dienst voor het Landelijk Gebied. Daarnaast zullen InSAR beelden moeten worden verkregen. Gedeeltelijk kunnen deze beschikbaar zijn bij de afdeling Mathematical Geodesy and Positioning van de TU Delft (faculteit Lucht- en Ruimtevaarttechniek) en gedeeltelijk zullen deze moeten worden aangeschaft bij commerciële partijen¹.

Vooraf in zuidoost Nederland speelt de bodemdaling door vroegere steenkoolwinning een rol. De informatie met betrekking tot de mijnwaterstanden is wederom te verkrijgen bij AGI/SodM.

Gezien de gekozen ruimtelijke resolutie speelt de bodemdaling ten gevolge van zoutwinning ook een significante, lokale rol. Ook deze informatie zou in het kader van de mijnbouwwet bij AGI/SodM beschikbaar moeten zijn.

De grootte van Nederland t.o.v. de golflengte van de aardgetijdenbeweging is zo gering, dat er bij relatieve hoogtemetingen geen rekening mee hoeft te worden gehouden. Ook de invloed van de relatieve zeespiegelstijging kan in dit specifieke project voornamelijk worden verwaarloosd (alhoewel zonder dit gegeven een risico-inschatting niet kan worden gemaakt).

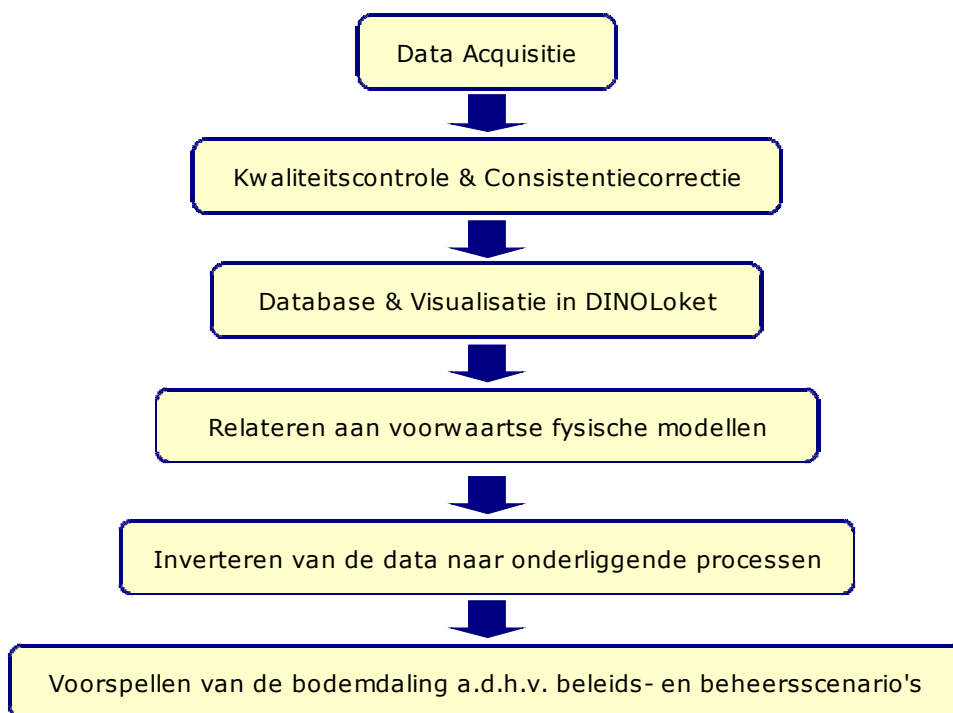
¹ Binnen de afdeling Mathematical Geodesy and Positioning van de TU Delft wordt op het moment al gewerkt aan het verzamelen en verwerken van de InSAR observaties sinds begin jaren '90 van de vorige eeuw om te komen tot een landelijk beeld van de bodembeweging. In dit kader is een samenwerkingsverband tussen TNO en deze afdeling tot stand gekomen in de vorm van de werkgroep "Bodembeweging TNO-TU Delft", waardoor deze data voor dit project beschikbaar komt en kan worden verwerkt in de bodemdalingsskaarten en bodemdalingstool.

5. Workflow m.b.t. realisatie procesgerelateerde bodemdalingstool

Voor het creëren van een procesgerelateerde (interactieve) bodemdalingstool waarmee voorspellingen voor de bodemdaling in Nederland voor de toekomst kunnen worden gemaakt, zijn een aantal tussenstappen noodzakelijk. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van de workflow die voor de komende jaren wordt voorzien. Een overzicht van de projectuitvoering, afronding van fases en de oplevering van deliverables is gegeven in appendix B. In dit hoofdstuk zullen we nader ingaan op de specificaties van de verschillende tussenstappen en de te verwachten problemen en randvoorwaarden.

5.1 Data Acquisitie

Voor de acquisitie van de ruwe bodemdalingdata zal contact moeten worden gelegd met een grote verscheidenheid aan organisaties (bv. Waterschappen, Rijkswaterstaat, olie en gas bedrijven, etc.; zie ook appendix C). Een deel van deze data zal vrij verkrijgbaar zijn, echter er zal ook data bij internationale organisaties moeten worden aangekocht (bv. InSAR data). Daarnaast zullen we te maken krijgen met de confidentialiteit van vooral bodemdalingdata ten gevolge van olie- en gaswinning. Ten dele zal de data ook nog moeten worden verwerkt voordat daadwerkelijke observaties van bodemdaling kunnen worden verkregen. Dit geldt vooral voor GPS en InSAR data. Hiervoor zijn we voor een belangrijk deel aangewezen op de samenwerking met de specialisten op dit gebied bij de TU Delft, Faculteit Lucht- en Ruimtevaarttechniek, Afdeling Mathematical Geodesy and Positioning (met name Dr. R. Hanssen).



Figuur 5.1: Workflow voor het totale project resulterende in de procesgerelateerde bodemdalingstool.

Voorzien wordt dan ook dat de data acquisitie een zeer tijdsintensief traject wordt en dat pas halverwege 2007 kan worden begonnen met de eerste kwaliteitscontroles, consistentiecorrecties en het opbouwen van de database in het *DINOLoket*

5.2 Kwaliteitscontrole & Consistentiecorrectie

Bij de kwaliteitscontrole van de data zal vooral worden gekeken naar de precisie van de verschillende bodemdalingmetingen. Data met een relatief grote onzekerheid zullen een lager gewicht krijgen in de bepaling van de regionale bodemdaling dan data met een grotere precisie. Daarnaast zal gedegen worden gekeken naar de verschillende referentiepunten waarop de bodemdalingobservaties zijn gebaseerd. Geprobeerd zal worden om alle lokale referentiepunten te relateren aan NAP-ijkpunten. Bij de uiteindelijke bepaling van de totale bodemdaling (mits relevant voor een specifiek probleem) zal echter ook rekening gehouden moeten worden met de natuurlijke daling die de ijkpunten ondergaan (Lorenz et al., 1991; Riedstra, 2000; Leusink, 2003). Een extra probleem wordt gevormd door het al dan niet gefundeerd zijn van de verschillende observatielocaties. Meetpunten gelegen in gebouwen die gefundeerd zijn op de pleistocene ondergrond zullen een beduidend ander dalingsbeeld laten zien dan meetpunten in hetzelfde gebied in gebouwen die niet gefundeerd zijn. Hierdoor kunnen lokaal grote variaties tussen de verschillende observaties ontstaan. Indien mogelijk zal worden geprobeerd om voor deze funderingsproblemen te corrigeren, waardoor een consistente dataset van bodemdalingobservaties zal worden verkregen.

5.3 Database & Visualisatie in DINOLoket

Nadat de data zijn verzameld en de kwaliteitscontrole en consistentiecorrecties zijn gedaan, zullen deze worden ingevoerd in de DINO database en toegankelijk worden gemaakt via het *DINOLoket*. Hierbij zal ook een visualisatietool worden ontwikkeld waarmee data kunnen worden geselecteerd en kaarten van de bodemdaling in Nederland gedurende een bepaald aantal jaren kunnen worden gevisualiseerd. Voorzien wordt dat de database elke ± 5 jaar zal worden uitgebreid met kaartmateriaal gebaseerd op de observaties over deze periode, waardoor tijdvariaties in de bodemdaling zichtbaar kunnen worden gemaakt.

5.4 Relateren aan voorwaartse fysische modellen

Voor de meeste bodemdalingprocessen die in Nederland een rol spelen bestaan goede fysische modellen. Deze modellen relateren de observaties aan de procesbeschrijvende parameters. De fysische modellen die de processen beschrijven die voor de bodemdalingstool relevant zijn, zullen bij elkaar worden gebracht en aan de data worden gekoppeld.

5.5 Inverteren van de data naar de onderliggende processen

Nadat de observaties via de voorwaartse fysische modellen zijn gekoppeld aan alle relevante bodemdalingprocessen kunnen de specifieke bijdragen van deze processen worden gespecificeerd. Het belangrijkste probleem hierbij is de impliciete "non-uniqueness" van het inversie probleem. Dit houdt in dat er een reeks van mogelijke modellen bestaat die de data kunnen verklaren. Van groot belang is dan ook het opstellen van een zo goed mogelijk a priori model waaraan de data in de inversie gerelateerd worden en de daaraan gekoppelde a priori covariantie matrix die de onderlinge relaties tussen de modelparameters en de verschillende tijdstappen representeert. Deze twee a priori entiteiten kunnen worden verkregen met een "Monte Carlo" simulatie, waarbij meerdere schattingen van het a priori model en de bijbehorende covariantie matrix worden gemaakt als functie van de onzekerheden in de verschillende parameters die de processen veroorzaken. Deze simulatie kost echter tijd, waardoor deze stap redelijk tijdsintensief kan uitpakken.

De ontwikkeling van het tijdsafhankelijke inversieprogramma maakt deel uit van lopend onderzoek in het kader van de Kennis Innovatie Programma's "DEPOMET/SUBSIDENCE". In dit programma worden tijdsafhankelijke bodemdalingdata gerelateerd aan zowel ondiepe als diepe oorzaken van bodemdaling (compactie ten gevolge van olie- en gaswinning en ondiepe compactie). Hierbij wordt ook uitgebreide ervaring opgedaan met "Monte Carlo" simulaties voor het verkrijgen van a priori modellen en covariantie matrices

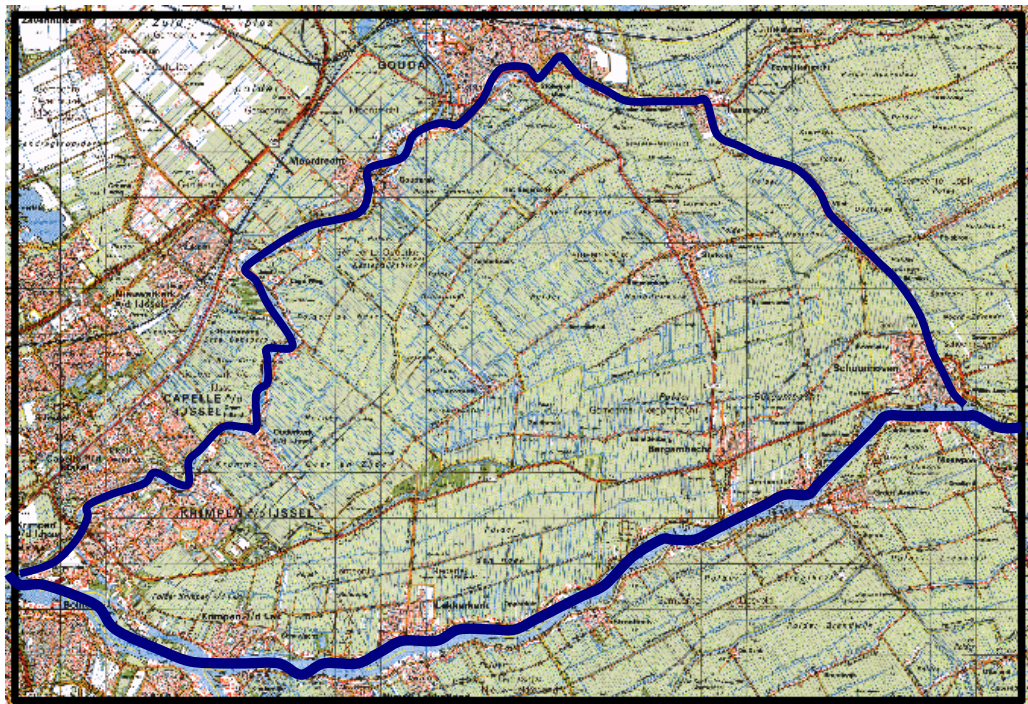
5.6 Voorspellen van de bodemdaling a.d.h.v. beleids- en beheersscenario's

Door de bodemdalingobservaties via de inversie te ontleden in de bijdragen van de verschillende processen, kan de invloed van verschillende beleids- en beheersscenario's worden doorberekend en de bodemdaling op een bepaald tijdstip in de toekomst ten gevolge van deze scenario's worden berekend. Elke ± 5 jaar zullen de verschillende bijdragen van de processen opnieuw worden bepaald aan de hand van de meest recente bodemdalingobservaties, waardoor ook de prognoses voor de verschillende scenario's kunnen worden bijgesteld. Hiervoor zal een interactieve tool met een gebruiksvriendelijke "user interface" worden gemaakt, waar de gebruiker bepaalde scenario's bv. met betrekking tot waterbeheer of olie- en gaswinning kan invoeren en de bodemdaling op elk gewenst tijdstip in de toekomst ten gevolge van deze scenario's kan bepalen. Deze voorspelde bodemdalingkaarten zullen gepaard gaan met Markov Chain Monte Carlo onzekerheidsanalyses. Hierdoor krijgt de gebruiker een indruk van de significantie van de voorspelling. Ook kan de gebruiker hier de historische bodemdaling ten gevolge van individuele processen visualiseren. De bodemdalingobservaties of -voorspellingen zullen ook als "overlays" voor Google-Earth beschikbaar worden gemaakt, waardoor de gebruiker meteen een duidelijk ruimtelijk beeld krijgt van de gegevens.

6. Voorbeeld: Bodemdaling Krimpenerwaard

In het kader van het project "Bodemdaling en Integraal Waterbeheer" (Bremmer et al, 2003) is voor een deel van het beheersgebied van Hoogheemraadschap De Krimpenerwaard een instationair grondwatermodel gemaakt waarmee tegelijkertijd de verandering in maaiveldligging berekend kan worden. Bij deze modellering wordt rekening gehouden met verschillende processen: consolidatie, kruip en veenoxidatie. Daarnaast is door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat voor het gebied een analyse gedaan van beschikbare maaiveldhoogtemetingen (de Bruijne, 2003). In dit hoofdstuk zullen de resultaten van deze analyse en de modelering worden gebruikt om de eerste stappen van de in hoofdstuk 5 beschreven workflow te illustreren.

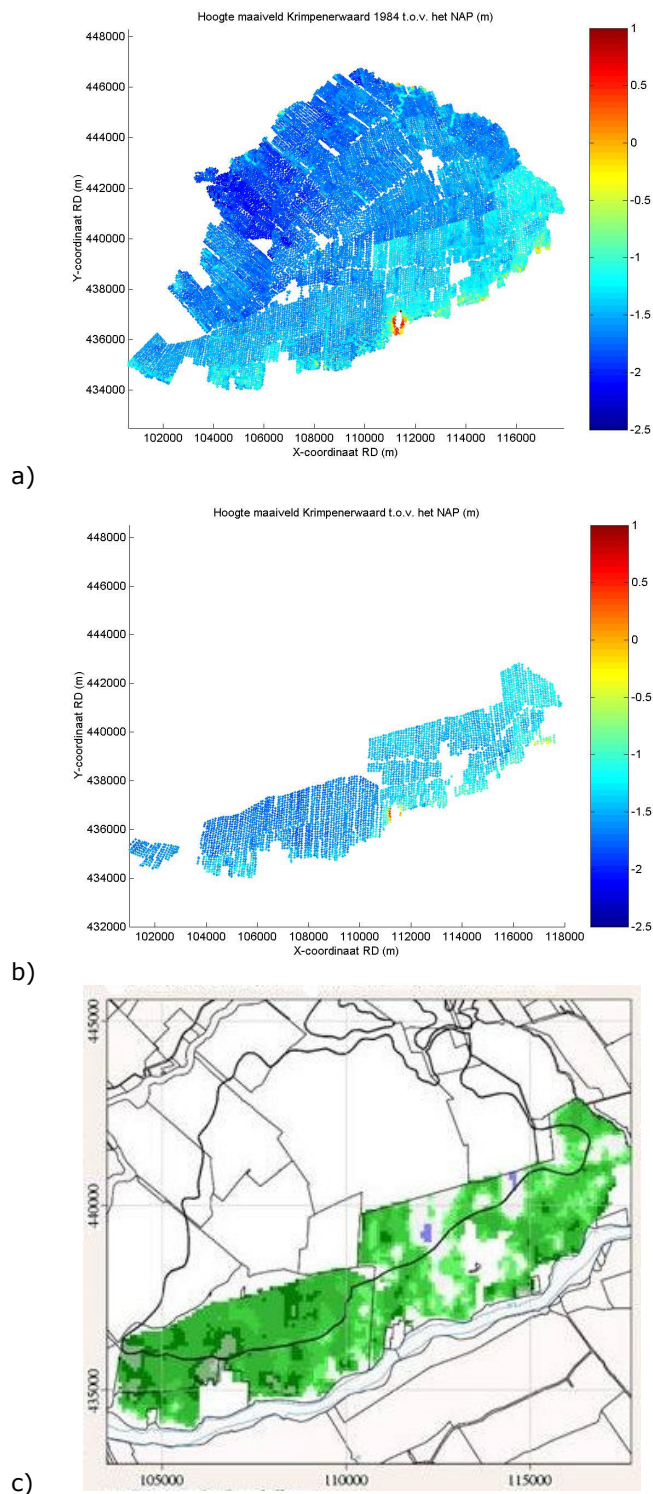
Het herinrichtingsgebied Krimpenerwaard (figuur 6.1) maakt deel uit van het Hollands-Utrechts veenweidegebied en vormt een hydrologische eenheid, die wordt begrensd door de rivieren de Lek, de Hollandse IJssel en de veenstroom de Vlist. Het waterrijke karakter van het gebied wordt landschappelijk gekenmerkt door grote open ruimten met opstreckende verkaveling, die stamt van het vroegere ontginningspatroon.



Figuur 6.1: Onderzoeksgebied Krimpenerwaard.

6.1 Geobserveerde bodemdaling tussen 1984 en 2000

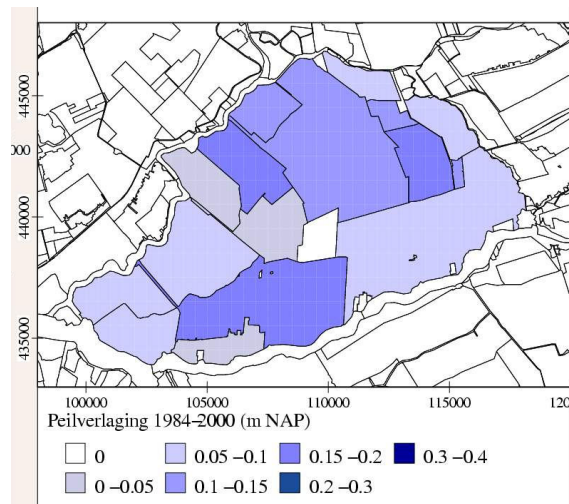
De opgetreden bodemdaling binnen de Krimpenerwaard is bekend uit waterpassingen van de jaren 1984 en 2000 in de polders Lekkerkerk, Den Hoek en Schuwacht & Bergambacht (figuur 6.2). De bodemstijging gemeten in de polder Bergambacht volgt direct uit de waarnemingen, maar de kans dat hier sprake is van een meetfout is erg groot (de Bruijne, 2003).



Figuur 6.2: a) Gemeten maaiveldhoogte in 1984, b) gemeten maaiveldhoogte in 2000, c) gemeten bodemdaling tussen 1984 en 2000.

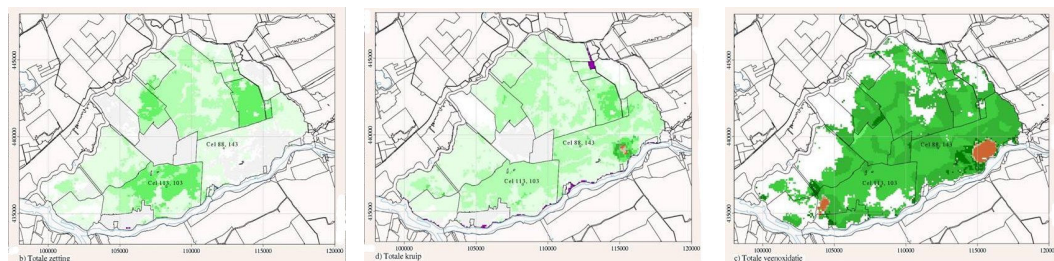
6.2 Voorwaarts modeleren bodemdaling Krimpenerwaard

De informatie van de peilgebieden in de Krimpenerwaard is verzameld en beschikbaar gesteld door het Hoogheemraadschap Krimpenerwaard. De sinds 1960 in de peilgebieden voorkomende peilen zijn de streefpeilen en niet de gehanteerde praktijkpeilen. Van de praktijkpeilen zijn geen gegevens bekend, zodat deze niet kunnen worden gebruikt. Figuur 6.3 geeft een overzicht van de peilverlaging in de Krimpenerwaard tussen 1984 en 2000. Deze peilverlaging is de belangrijkste oorzaak van de bodemdaling in de Krimpenerwaard.



Figuur 6.3: Peilverlaging in de Krimpenerwaard tussen 1984 en 2000 (in m NAP).

Bij de modelberekening voor bodemdaling wordt rekening gehouden met de drie belangrijkste ondiepe processen: zetting, kruip en veenoxidatie. In figuur 6.4 worden de resultaten gepresenteerd van de bodemdalingberekeningen met een resolutie van 100x100 meter. De totale daling van de bodemhoogte veroorzaakt door de individuele processen zetting, kruip en oxidatie wordt weergegeven ten opzichte van de maaiveldhoogte in 1984. De bijdrage van de veenoxidatie aan de bodemdaling is duidelijk groter dan de bijdragen van zetting en kruip. De zetting en kruip zijn het grootst in het gebied bedekt door veen. In het gebied bedekt door klei zijn zetting en kruip verwaarloosbaar.



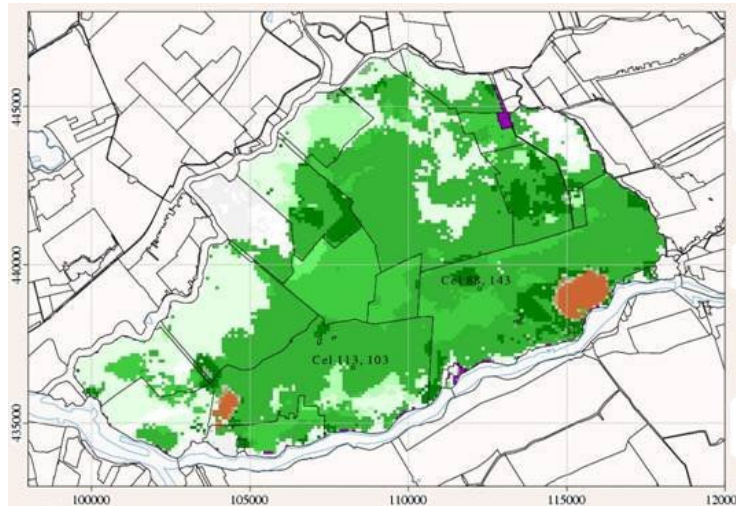
a) Totale zetting

b) Totale Kruip

c) Totale veenoxidatie

Figuur 6.4: Berekende bodemdaling 1984-2000 ten gevolge van a) zetting, b) kruip en c) veenoxidatie.

De ruimtelijke verdeling van de berekende totale bodemdaling over de periode 1984-2000 is weergegeven in figuur 6.5. De berekende bodemdaling rond de drinkwateronttrekkingen bij Bergambacht en bij Lekkerkerk zijn groot. Dit wordt veroorzaakt doordat het grondwatermodel te grote grondwaterstandverlagingen berekent in de deklaag ter plaatse van de onttrekkingen, waardoor een te grote veenoxidatie wordt berekend. De berekende bodemdaling is hierdoor niet betrouwbaar. Overigens toont de gemeten bodemdaling (figuur 6.2) ook een grotere daling nabij deze onttrekkingen (zie de Bruijne, 2003).



Figuur 6.5: Berekende totale bodemdaling tussen 1984 en 2000.

De berekening van de bodemdaling met het grondwatermodel laat dus een redelijk goede overeenkomst met de gemeten bodemdaling zien. Hierdoor, kan dit voorwaartse model gebruikt worden om uit de gemeten bodemdaling voor de onderliggende processen te inverteren zonder aannames te hoeven doen over de onzekere peil aanpassingen.

6.3 Inverteren naar de onderliggende processen en voorspellen van toekomstige bodemdaling.

In het kader van de KIP projecten "DEPOMET" en "SUBSIDENCE" is een tijdsafhankelijk inversie model ontwikkeld waarmee voor diepe en ondiepe processen die bodemdaling veroorzaken kan worden opgelost (zie Kroon et al, 2006 en Muntendam-Bos et al, 2006). Het voordeel van deze benadering is dat zowel de ruimtelijke als de temporele variaties van deze processen kunnen worden geïdentificeerd en de bijdragen van de verschillende processen individueel kunnen worden gebruikt als basis voor het voorspellen van bodemdaling naar de toekomst.

Aangezien het model zich nog in een testfase bevindt is deze methode nog niet toegepast op dit voorbeeld van de Krimpenerwaard en is het voorspellen van bodemdaling gebaseerd op beleids- en beheersscenario's nog niet mogelijk. Wel kan echter gesteld worden dat bij een continuering van de huidige peilverlagingen tot 2016, een verdubbeling van de bodemdaling zoals die tussen 1984 en 2000 is geobserveerd (tot een maximale bodemdaling van 1m), zal optreden. Deze bodemdaling is een direct gevolg van de peilverlagingen en kan door de overheid worden beïnvloed via de "watertoets" en het "waterplan". Dit vereist echter wel de samenwerking tussen de waterschappen, gemeenten en provincie.

Literatuur

- Bremmer, C.N., G. de Lange, W. van der Linden, E. Veling, and J.G. Veldkamp, Bodemdaling en Integraal Waterbeheer, Eindrapport Delft Cluster project 06.03.02, TNO | NITG 03-200-A |, 2003.
- Bruijne, A.J.Th. de, Maaiveldaling Krimpenerwaard, rapport Meetkundige Dienst, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2003.
- Eck, T. van and C.A. Davenport, *Geologie en Mijnbouw*, Special Issue: The Roer Valley Graben, eds van Eck, T. & Davenport, C.A., Vol. 73, 1992
- IPCC, Second assessment report of working Group I, Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- Kiden, P., L. Denys and P. Johnston, Late Quarternary sea-level change and isostatic and tectonic land movement along the Belgian-Dutch North Sea coast, geological data and model results, *J. Quarternary Sci.*, 17(5-6), 535-546, 2002.
- Kooi, H., Contribution of tectonics, isostasy and natural compaction to vertical land movement in the Netherlands, Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat, rapportnummer MDGAP-9770, 1997.
- Kooi, H., P. Johnston, K. Lambeck, C. Smither, R. Molendijk, Geological causes of recent (~100yr) vertical land movement in the Netherlands, *Tectonophysics* 299, 297-316, 1998.
- Kooi, H., Land subsidence due to compaction in the coastal area of The Netherlands: the role of lateral fluid flow and constraints from well-log data, *Global and Planetary Change* 27, 207-222, 2000.
- Kroon, I.C., B-L. Nguyen, and P.A. Fokker, Disentangling shallow and deep processes causing surface movement, *Mathematical Geodesy*, submitted, 2006.
- Lange, G. de, G.B.M. Brand, A.J.Th. de Bruijne, E.J. de Min, and M.J. Ringelberg Modelling Regional And Local Surface Subsidence Due To Compaction Of Unconsolidated Sediments, in: Carbognin L., G. Gambolati and A.I. Johnson (eds), *Land Subsidence, Proc. Sixth Int. Symposium Land Subsidence, Ravenna, Vol. I and II*, 384 and 433 pp, La Garangola Pub., 2000.
- Lange, G. de, W. van der Linden, J. G. Veldkamp, C. N. Bremmer and E. J. M. Veling, Modelling time-dependent compaction and oxidation in a stochastically derived top layer system with a modified IBS-3 Package, in Kovar, Hrkal and Bruthans, eds., *Proceedings of FEM-MODFLOW-2004, Karlovy-Vary, IAHS*, pp. 15-18, 2004.
- Lambeck, K., P. Johnston and C. Smither, Sea-level change in the North Sea, Meetkundige Dienst Rijkswaterstaat, rapportnummer MDGAP-9769, 1997.
- Lambeck, K., P. Johnston and C. Smither, Sea-level change, glacial rebound and mantle viscosity for northern Europe, *Geophysical Journal Int.*, volume 134 - issue 1 - page 102 -144, 1998
- Lambeck, K. and J. Chappell, Sea level change through the last glacial cycle (review), *Science* 292, 679-686, 2001.
- Leusink, J. G. Wat waterpasgegevens vertellen over geologische bodembeweging , afstudeerscriptie TUDelft, 2003

Linden, W. van der, G. De Lange, Ed J. M. Veling and S. A. Leake, A Method For Simulating Compaction, Time-Dependent Creep, And Oxidation Of Shallow Soils, in Land Subsidence, Zhang Agen et al., eds. Proceedings of the Seventh International Symposium on Land Subsidence SISOLS-2005, Shanghai, Shanghai Scientific & Technical Publishers, pp. 552-559, 2005.

Lorenz, G.K., W. Groenewoud, F. Schokking, M.W. van den Berg, J. Wiersma, F.J.J. Brouwer, and S. Jelgersma, Heden en Verleden: Nederland naar Beneden?, Interim-rapport over het onderzoek naar bodembeweging in Nederland, Rijkswaterstaat, Rijks Geologische Dienst, Delft/Haarlem/Rijswijk, 1991.

Mensen, A.J.H. en W.A. Paar, Modelleren van bodemdaling bij zoutwinning, uit: Bodemdaling meten in Nederland, Hoe precies moet het? Hoe moet het precies?, Nederlandse Commissie voor Geodesie, Delft, 2002.

Mulder, E.F.J. de et al., De ondergrond van Nederland, Geologie van Nederland dl. 7, Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO, 379 pp., 2003

Muntendam-Bos, A.G., I.C. Kroon, and P.A. Fokker, Time dependent inversion of surface subsidence due to dynamic reservoir compaction, submitted to Mathematical Geology, 2006.

Peltier, W.R., I. Shennan, R. Drummond and B. Horton, On the post-glacial isostatic adjustment of the British Isles and the shallow viscoelastic structure of the Earth, Geophys. J. Int. 148, 443-475, 2002.

Podladchikov, Y., C. Talbot, and A.N.B. Poliakov, Numerical-models of complex diapirs, Tectonophysics, 228 (3-4), 189-198, 1993.

Poliakov, A.N.B., Y. Podladchikov, and C. Talbot, Initiation of salt diapirs with frictional overburdens – numerical experiments, Tectonophysics 228 (3-4), 1999-210, 1993.

Pötgens, J.J.E., Bodembeweging bij delfstoffenwinning in Nederland, van empirie tot fenomenologie, uit: Bodemdaling in Nederland, Technische Universiteit Delft, Faculteit der Mijnbouwkunde en Petroleumwinning, Delft, 1990.

Projectteam NW4, Klimaatverandering en bodemdaling: Gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland, 4^e Nota Waterhuishouding, Rijkswaterstaat, Lelystad, 1997.

Riedstra, E.J., De hoogte, Rijkswaterstaat een zorg ..., In: Samen meten, beter weten, Voordrachten gehouden ter gelegenheid van de opening van het Astronomisch-Geodetisch observatorium in Westerbork, red. L. Aardoom, Delft, 2000.

Rijkswaterstaat, 3^e kustnota, Traditie, trends en toekomst, RWS Den Haag, 2000.

Rolf, H.L.M., Evaluatie van de stijghoogte van diepe grondwater in de Roerdalslenk (Midden-Limburg), TNO Milieu en Energie, Rapport OS91-48B, Delft, 1991.

Ronde, J.G. de en J.A. Vogel, Zeespiegelrijzing, Technisch rapport no. 6 in de serie Kustverdediging na 1990, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, nota GWAO 88.015, 's-Gravenhage, 1988.

White, N.J., J.A. Church, and J.M. Gregory, Coastal and global averaged sea level rise for 1950 to 2000, Geophys. Res. Lett. 32(1), L01601, doi:10.1029/2004GL021391, 2005.

Appendix A: Beknopte beschrijvingen data

Waterpasmetingen

Geodetische hoogtemeting van gespecificeerde punten d.m.v. een waterpasinstrument en een baak (meetstok).

Global Positioning System (GPS)

Positiebepalingsstelsel gebaseerd op verzending en terugkaatsing van een signaal vanaf het aardoppervlak naar minstens 3 satellieten met een vaste positie boven de aarde.

Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

Een "remote sensing" techniek waarbij de verschillen tussen twee radar beelden worden onderzocht. Deze verschillen kunnen direct worden gerelateerd aan de grootte en locatie van de bodembeweging.

Borehole data

Gegevens afkomstig uit geboorde putten (bijvoorbeeld boorkernen, weerstand in de putwanden, etc)

Seismiek

Seismiek is het veroorzaken van lichte trillingen om de eerste kilometers onder het oppervlak in kaart te brengen. Deze trillingen weerkaatsen in de ondergrond en de terugkerende echo's kunnen met geofoons geregistreerd worden.

Grondwaterstanden

Periodieke metingen van de hoogte van het grondwater ten opzichte van NAP.

Polderpeilaanpassingen

Aanpassingen van de (gemiddelde) grondwaterstand in een polder aan het niveau van het oppervlaktewater door middel van aanpassing van de waterhuishouding.

Stijghoogten

De stijghoogte is de hoogte, tot waar het grondwater opstijgt in een buis, die zowel in open verbinding staat met de atmosfeer als met het grondwater in een watervoerend pakket, ten opzichte van een referentievlak.

Compactie metingen in boorkernen

Laboratoriummeting van het compactiegedrag van monsters afkomstig uit een boorkern, bij specifieke drukbelasting en temperatuur.

Holruimte metingen

Metingen van de geometrie en omvang van de ondergrondse ruimtes die door oploszoutwinning zijn ontstaan.

Productie gegevens

Informatie over o.a. hoeveelheden geproduceerd gas, drukafname in het reservoir, etc.

Radioactieve bullets

Methode om rechtstreeks in het reservoir compactie te meten, door twee of meer radioactieve markers aan te brengen en de (verandering in) afstanden hiertussen te meten op verschillende momenten in de tijd.

Locatie bepalingen van de mijngangen

Het in kaart brengen van de locaties van oude mijngangen.

Mijnwaterstanden

De hoogte van het grondwater in inmiddels verlaten mijngangen.

Satelliet waarnemingen zeespiegelfluctuaties

Bepaling van de zeespiegelstand (grensvlak water-lucht) uit door de satellite waargenomen reflecties op dit grensvlak.

IPCC schattingen

Door de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) gepubliceerde voorspellingen voor toekomstige zeespiegelfluctuaties op basis van verschillende (economische) scenario's.

Metingen kuststations

Observaties van zeespiegelniveau op gespecificeerde plaatsen langs de Nederlandse kust.

Reservoir simulatie gegevens

Gegevens over de grootte van het reservoir en het dynamische gedrag tijdens productie.

Appendix B: Overzicht projectuitvoering, afronding fases en oplevering deliverables

Tabel B.1: Overzicht projectuitvoering, afronding fases en oplevering deliverables.

Projectfase Deliverable:	2006	2007	2008	2009
Initialisatie	X			
Rapport "Bodemdaling in Nederland"	X			
Projectvoorstel 2007	X			
Representatief voorbeeld historische bodemdalingkaart	X			
Presentatie Rijkswaterstaat	X			
Data Acquisitie		X	X	X
Kwaliteitscontrole & consistentiecorrecties		X	X	X
Protocol uitvoeren controle & correcties		X	X	
Database & visualisering in DINO		X	X	X
Database met bodemdalingdata voor de afgelopen 15-20 jaar		X	X	X
Beschikbaar maken via DINOLoket, inclusief visualisatietool		X	X	X
Relateren aan voorwaartse fysische modellen (lopend onderzoek in het kader van KIP SUBSIDENCE)			X	
Inverteren van de data naar de onderliggende processen (Lopend onderzoek in het kader van KIP SUBSIDENCE)			X	X
Voorspellen van bodemdaling a.d.h.v. beleids- en beheersscenario's			X	X
Interactieve gebruikerstool			X	X

Hoewel de ontwikkeling van de interactieve tool voor het voorspellen van bodemdaling waarschijnlijk in 2009 gereed zal zijn, wordt voorzien in een beperkte continuatie van het project. De database zal regelmatig worden uitgebreid met nieuwe bodemdalingobservaties, waarna ook de inversie naar de onderliggende processen opnieuw zal worden gemaakt. Voorspellingen door de interactieve tool die daarop worden gebaseerd zullen van nieuwe input worden voorzien. Periodiek (bv elke 5 jaar) zal ook de basiskaart worden herzien.

Appendix C: Inventarisatie voor data acquisitie

Als voorstudie voor het GIP-project "Bodemdalingstool 2007" is een inventarisatie gemaakt van de verschillende data die reeds intern bij DINO aanwezig zijn en niet opnieuw hoeven te worden verzameld. Daarnaast wordt in deze appendix ook een overzicht gegeven van de data die nog wel verzameld moet worden met daarbij de bronnen waar deze verkregen kunnen worden.

Maaiveldhoogten in DINO

Voor alle objecten in DINO (boringen, putten, geochemische of geofysische metingen, etc.) wordt in principe het maaiveld geïnventariseerd bij opname van het object in de database of als gevolg van mutaties in dit gegevenstype. De wijze waarop deze gegevens worden bepaald is divers: een range van aflezen van topografische kaarten tot aan landmeting. De nauwkeurigheid van meetwaarde van dit type loopt dus, indien de meetmethode is vastgelegd, van zeer onnauwkeurig (meters) tot nauwkeurig (centimeters).

Afhankelijk van de wijze waarop het beheer van deze gegevens plaatsvindt is een actuele waarde van het maaiveld aanwezig of is het maaiveld alleen bij aanvang van de boring in DINO opgenomen. Het is dus niet zonder meer helder of er niet meer actuelere gegevens aanwezig zijn buiten DINO.

Uit bovenstaande mag blijken dat bij een gebruik van deze gegevens voor doeleinden als maaiveldddaling e.d. er eerst een kwaliteitscontrole van deze gegevens zal moeten plaatsvinden alvorens deze bruikbaar kunnen zijn. Dit vergt een forse inspanning waarvan a priori niet kan worden aangenomen dat ze ook een hoog rendement zal hebben.

Overige data in DINO

Naast maaiveldhoogten bevat DINO uitgebreide informatie met landelijke dekking op het gebied van grondwaterstanden, oppervlaktewaterstanden en stijghoogtemetingen. Ook bevat DINO een steeds uitgebreidere VES dataset en seismische lijnen. Deze informatie is met name van belang voor het modelleren van de bodemdaling (dus voor de bodemdalingstool) en niet voor het in kaart brengen van de historische bodemdaling over de afgelopen 15-20 jaar.

Nog te verzamelen data

Tabel C.1. geeft een overzicht van de data die nog verzameld moet worden en de instanties waar deze data waarschijnlijk verkregen kunnen worden. Hiervoor moeten (op de InSAR data na) nog de benodigde contacten worden gelegd (voorzien voor eerste helft 2007).

Tabel C.1: Overzicht van de nog te verzamelen data en de bronnen waar deze kunnen worden verkregen.

Nog te verzamelen data:	Bron:
Compactie van Sedimenten: <ul style="list-style-type: none"> - Lokale waterpasmetingen - Lokale GPS metingen - InSAR metingen - Polderpeilaanpassingen - NAP peilmerken 	Waterschappen, Dienst Landelijk gebied Waterschappen, Dienst Landelijk gebied TU Delft (Dr. R. Hanssen) ¹ Waterschappen, Dienst Landelijk gebied Rijkswaterstaat, Dienst Landelijk gebied
Bodemdaling door zoutwinning: <ul style="list-style-type: none"> - Geologische informatie (borehole, seismiek) - Waterpasmetingen - Holruimtemetingen - Productiegegevens 	AGI/SodM (i.h.k.v. de mijnbouwwet)
Bodemdaling door gaswinning: <ul style="list-style-type: none"> - Waterpasmetingen - GPS metingen - Productieprofielen - Seismische registraties (borehole, seismiek) - Compactie metingen boorkernen - Radio-actieve bullets - Reservoir drukmetingen - Reservoir simulatie gegevens 	AGI/SodM (i.h.k.v. de mijnbouwwet)
Bodemdaling door koolwinning: <ul style="list-style-type: none"> - Locatie bepalingen mijngangen - Mijnwatstanden - Waterpasmetingen 	AGI/SodM (i.h.k.v. de mijnbouwwet)

¹ In het kader van de bepaling van InSAR data is een samenwerkingsverband tussen TNO en de TU-Delft tot stand gekomen in de vorm van de werkgroep "Bodembeweging TNO-TU Delft". Deze werkgroep heeft als doel: (1) de uitwisseling van onderzoeksresultaten, (2) discussie over de interpretatie van data en modellen, (3) het produceren van gezamenlijke artikelen, en (4) het fungeren als wederzijdse vraagbaak.