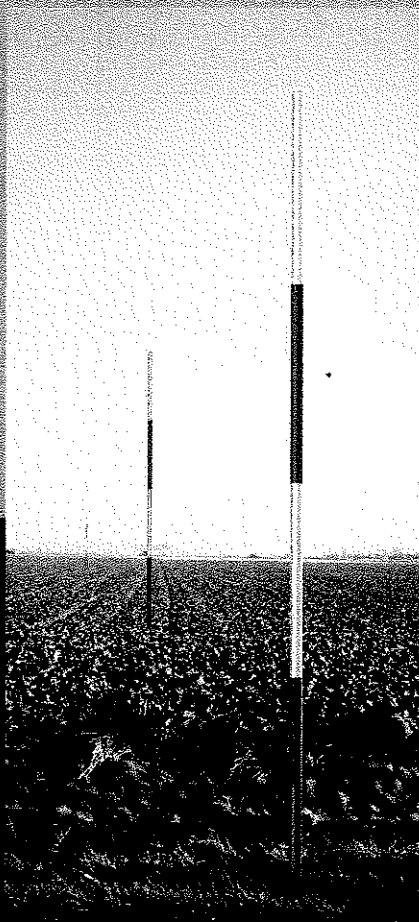


V. HERK

BODEMDALING IN FRIESLAND

[*sakjen fan 'e boaiem yn Fryslân*]



Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland

BODEMDALING IN FRIESLAND

[*sakjen fan 'e boaiem yn Fryslân*]

Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland

Dit rapport is vervaardigd in opdracht van
de Minister van Economische Zaken en
Gedeputeerde Staten van de provincie Friesland.

Het is verkrijgbaar bij:

Ministerie van Economische Zaken
Afdeling Bedrijfs- en Publieksinformatie
Bezuidenhoutseweg 30
2594 AV 's-Gravenhage
Telefoon: 070 - 3 79 88 20

Provincie Friesland
Provinciehuis
Bureau Voorlichting
Tweebaksmarkt 70
8911 KZ Leeuwarden
Telefoon: 058 - 92 55 24

INHOUD

Hoofdstuk 1	Inleiding	4
1.1	Voorwoord	4
1.2	Voorgeschiedenis	4
1.3	Samenstelling	5
1.4	Werkwijze	5
1.5	Rapport	6
1.6	Dankwoord	7
Hoofdstuk 2	Waterpassingen	8
2.1	NAP-hoogten	8
2.2	Hoogtemeting	8
2.3	Precisie, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van metingen	10
2.4	Deformatiemetingen	14
2.5	Het Gronings-Friese waterpasnet	18
2.6	Het gebied bij Grouw	20
Hoofdstuk 3	Geomechanica	23
3.1	Inleiding	23
3.2	Mechanica van poreuze materialen	23
3.3	Vervorming van de diepe lagen	25
3.4	Vervorming door oppervlaktebelastingen	26
3.5	Vervorming door verlaging grondwaterstand	27
3.6	Vervorming door oxydatie	28
3.7	Combinatie van effecten	28
3.8	Ongelijkmatige zettingen	29
Hoofdstuk 4	Waterhuishouding	30
4.1	Algemeen	30
4.2	Mogelijke oorzaken van grondwaterstands dalingen in het aandachtsgebied	30
4.3	De waterhuishouding in het aandachtsgebied vanaf de eeuwwisseling tot heden	31
4.4	De wijzigingen in de grondwaterstand in het aandachtsgebied gedurende de laatste decennia	32
4.5	De relatie tussen gaswinning en de grondwaterstand	35
4.6	Vergelijkingsgebieden	35
Hoofdstuk 5	Schade aan bebouwing	37
5.1	Inleiding	37
5.2	Probleemstelling	37
5.3	Aard van de bebouwing	38
5.4	Krachtsafdracht	39
5.5	Zettingen	43
5.6	Uitwendige oorzaken die tot beschadiging kunnen leiden	45
5.7	Invloed van variërende grondwaterstand	46
5.8	Kans op scheurvorming	49
5.9	Voorbeelden van schade	50
Hoofdstuk 6	Conclusies	51
Figuren		53
Bijlage 1	Instellingsbeschikking Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland	61
Bijlage 2	Namen en functies van de leden van de klankbordgroep bodemdaling Friesland	62
Bijlage 3	Geraadpleegde literatuur	63

INLEIDING

1.1

VOORWOORD

In het onderhavige rapport, dat is opgesteld door de Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland, zijn de bevindingen van deze commissie neergelegd met betrekking tot haar onderzoek naar de mogelijk oorzaken en gevolgen van de dalingen van de bodem in de provincie Friesland. De Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland, hierna te noemen 'de commissie', heeft hiermee naar haar oordeel voldaan aan het gestelde in de artikelen 3 en 7 van de instellingsbeschikking van de Minister van Economische Zaken, handelende in overeenstemming met Gedeputeerde Staten van Friesland, van 14 november 1989 (Stcrt. 224).

1.2

VOORGESCHIEDENIS

In 1988 was enige bezorgdheid ontstaan met name in de provincies Friesland en Drenthe onder andere naar aanleiding van het mogelijk optreden van aardbevingen en het optreden van scheuren in gebouwen en ongelijkmatige bodemverzakkingen, mogelijk als gevolg van aardgaswinning. Naar aanleiding hiervan zijn door de Vaste Commissies voor Economische Zaken en voor Verkeer en Waterstaat vragen gesteld aan de Ministers van Economische Zaken en van Verkeer en Waterstaat. Het optreden van aardbevingen is en wordt in een ander kader onderzocht en komt in dit rapport niet aan de orde. Door bovengenoemde vaste Kamercommissies zijn vragen gesteld over de ongelijkmatige daling van het grondoppervlak in het gebied rondom Grouw. Na de beantwoording van de schriftelijke vragen (Kamerstukken II 1988-89, 21 108, nr. 1) is vanuit deze Kamercommissies in het daarop volgende mondelinge overleg aangedrongen een onderzoek te laten verrichten naar de oorzaken van plaatselijke bodemdalingen, in het bijzonder in de omgeving van Grouw. Het Ministerie van Economische Zaken, dat hierover reeds in gesprek was met het College van Gedeputeerde Staten van de provincie Friesland heeft mede naar aanleiding hiervan in gezamenlijk overleg met dat college besloten een onafhankelijke commissie in het leven te roepen. Deze onderzoekscommissie zou de situatie met betrekking tot de bodemdaling in Friesland, waaronder die bij Grouw en omgeving, aan een nader onderzoek moeten onderwerpen. Dit is de Tweede Kamer op 19 september 1989 meegedeeld (Kamerstukken II 1989-90, 21 108, nr. 3).

Deze gezamenlijk ingestelde onderzoekscommissie is op 16 november 1989 door de Commissaris der Koningin in de provincie Friesland geïnstalleerd. Ten einde te bewerkstelligen, dat een goede afstemming zou plaatsvinden met de direct bij de bodemdalingsproblematiek betrokken instanties, is daarnaast door Gedeputeerde Staten van Friesland een klankbordgroep in het leven geroepen (besluit van 24 oktober 1989). Deze betrokken instanties, waarvan vertegenwoordigers zitting hebben in de klankbordgroep zijn: de provincie Friesland, de gemeenten en de waterschappen in de provincie Friesland, de Rijks Geologische Dienst en het Staatstoezicht op de Mijnen (zie bijlage 2).

SAMENSTELLING

In de commissie, waarvan de instellingsbeschikking is opgenomen als bijlage 1 bij dit rapport, hebben als leden zitting:

- *prof.ir. W.C. Reij, tevens voorzitter,*

emeritus hoogleraar in de milieutechnologie aan de faculteit der Werktuigbouwkunde en Maritieme techniek van de Technische Universiteit Delft en voormalig Directeur-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer;

- *prof.ir. J.E. Alberda,*

emeritus hoogleraar in de mathematische geodesie en de landmeetkunde aan de faculteit der Geodesie van de Technische Universiteit Delft;

- *prof.ir. W.J. Beranek,*

hoogleraar in de krachtswerking in gebouwen aan de faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft;

- *ir. N. Molenaar,*

voormalig directeur van de Landinrichtingsdienst van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en

- *prof.dr.ir. A. Verruijt,*

hoogleraar in de grondmechanica aan de faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft.

Als secretaris van de commissie is aangewezen: mw. mr. T. Witberg, coördinator juridische aangelegenheden bij het Directoraat-Generaal voor Energie van het Ministerie van Economische Zaken.

WERKWIJZE

Allereerst heeft, direct na de installatie van de Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland, deze commissie verkennend vergaderd met de klankbordgroep. De commissie heeft kennis genomen van de, onder andere door de leden van de klankbordgroep verstrekte, informatie op het gebied van (ongelijkmatige) bodemdalingen mede in relatie tot de aardgaswinning. Daarnaast heeft zij ook informatie verkregen over en aandacht besteed aan de onderzoeken, die op dit gebied zijn verricht in de provincie Groningen. Tevens heeft de commissie kennis genomen van de diverse artikelen die over deze problematiek in de pers zijn verschenen.

Gezien het feit, dat de meeste vragen en onduidelijkheden betrekking hadden op het gebied rondom Grouw heeft de commissie gemeend zich op dit gebied te moeten concentreren. Van een groot aantal gebouwen in dit gebied zijn foto's bestudeerd (ongeveer 150 stuks). Op 25 april 1990 heeft de commissie een bezoek gebracht aan dit gebied om zich op de hoogte te stellen van de situatie ter plaatse. Tevens heeft een aantal leden gesproken met vertegenwoordigers van de waterschappen De Middelsékrite en De Stellingwerven alsmede van de Rijks Geologische Dienst, district Noord. Ten behoeve van haar oordeelsvorming heeft de commissie besloten een gebied te bezien, dat vergelijkbaar is met het gebied rondom Grouw maar waar geen aardgaswinning plaatsvindt. De keuze is hierbij gevallen op het westelijke gedeelte van de polder Oosterzee, met name de omgeving van Oosterzee-Buren (gemeente Lemsterland). Met vertegenwoordigers van de Rijks Geologische Dienst, district Noord en de Waterschappen De Middelsékrite en De Stellingwerven is met name over de geaardheid en de hydrologische situatie van het gebied rondom Grouw (het aandachtsgebied) en het vergelijkingsgebied in de omgeving van Oosterzee-Buren gesproken. Op grond van de grote hoeveelheid gegevens met

name van de Landinrichtingsdienst is gebleken dat, hoewel deze twee gebieden niet in alle opzichten vergelijkbaar zijn (Grouw is bv. een kwelgebied en Oosterzee een ontwateringsgebied), er vele parallellen tussen beide gebieden zijn te trekken, zoals het grondwaterstandsgedrag en de bodemopbouw. Om echter zo goed mogelijk vergelijkingen te kunnen trekken is er mede op aanraden van de klankbordgroep een tweede vergelijkingsgebied gezocht. Dit tweede vergelijkingsgebied is gevonden ten westen van IJlst (gemeente Wymbritseradeel). Qua hydrologie is dit gebied nog meer vergelijkbaar met het aandachtsgebied; het zijn namelijk beide kwelgebieden. Ook wat de bodemopbouw betreft bestaan er tussen deze beide gebieden grote overeenkomsten. Hoewel de commissie zich bij het kiezen van de beide vergelijkingsgebieden bewust is geweest, dat elke keuze aanvechtbaar is, meent zij dat er, ondanks lokale verschillen, voldoende argumenten aanwezig zijn om de keuze van beide vergelijkingsgebieden, zoals zij die heeft gemaakt, te rechtvaardigen. Het zijn alle drie klei-op-veengebieden met eenzelfde soort bebouwing en in alle drie de gebieden is het waterpeil de laatste decennia geleidelijk gedaald. Ook de beide vergelijkingsgebieden zijn door (leden van) de commissie bezocht en in beide gebieden is een groot aantal gebouwen aldaar bekeken.

Verder heeft de commissie ten behoeve van haar oordeelsvorming onder andere de waterpassingen in het gebied rondom Grouw bestudeerd, de meetverschillen alsmede de peilmerken bezien en beoordeeld.

Voor het beoordelen van grondwaterstandsverschillen heeft de commissie hermetingen laten uitvoeren bij een aantal peilbuizen. Bij deze hermetingen is de hoogte bepaald van een tiental waarnemingspunten (peilbuizen).

Ook heeft de commissie gesproken met vertegenwoordigers van Elf Petroland B.V., als vertegenwoordiger van de houders van ~~de~~ enige concessies voor de winning van aardgas en aardolie in Friesland.

Nadat alle relevante informatie was verzameld en beoordeeld heeft de commissie haar oordeel gevormd en haar bevindingen voorgelegd aan de klankbordgroep. Nadat deze haar visie in een gezamenlijke vergadering kenbaar heeft gemaakt is hiermee rekeninghoudend het onderhavige rapport opgesteld. De visie van de klankbordgroep is niet, zoals in de instellingsbeschikking (artikel 7, tweede lid) is vermeld als bijlage bij het rapport gevoegd, omdat de klankbordgroep in het algemeen met het rapport kon instemmen. De klankbordgroep wenste slechts een beperkt aantal verduidelijkingen en nuanceringen aangebracht te zien. Aan deze wensen is de commissie tegemoet gekomen, zodat de klankbordgroep geen aanleiding zag deze visie apart in het rapport op te laten nemen.

1.5

RAPPORT

Met betrekking tot de waterpassingen in het algemeen en de resultaten in het gebied rondom Grouw in het bijzonder blijken veelal onduidelijkheden te bestaan, zodat de commissie het wenselijk heeft geacht allereerst daaraan een hoofdstuk te wijden. In dit hoofdstuk (hoofdstuk 2) worden hoogtemetingen en deformatiemetingen behandeld evenals de kwaliteit van dergelijke metingen.

In het derde hoofdstuk, getiteld 'Geomechanica' komen de geomechanische aspecten van bodemdaling aan de orde. Dit hoofdstuk behandelt met name de mechanica van poreuze materie, de vervormingen, die kunnen optreden door oorzaken van buitenaf, en ongelijkmatige zettingen.

Het daarop volgende hoofdstuk 'Waterhuishouding' bevat een beschrijving van de wijzigingen in de waterhuishouding in het gebied rondom Grouw en de eerdergenoemde vergelijkingsgebieden alsmede een beschrijving van de veranderingen, die hierdoor in de ondiepe ondergrond kunnen optreden.

Het voorlaatste hoofdstuk 'Schade aan bebouwing' bevat uiteenzettingen over de aard van de bebouwing in de desbetreffende gebieden, de krachtsafdracht naar de ondergrond en over de uitwendige oorzaken, die tot beschadiging van gebouwen kunnen leiden.

Ten slotte zijn de conclusies op grond van de bevindingen van de commissie in het gelijknamige hoofdstuk neergelegd. De commissie heeft afgezien van het opnemen van een samenvatting in het rapport, omdat hierin onvoldoende gegevens en achtergronden zouden kunnen worden opgenomen om de noodzakelijke nuanceringen over te brengen. Voor een goed begrip van de onderhavige materie is het van belang kennis te nemen van het gehele rapport.

1.6

DANKWOORD

De commissie wenst hierbij allen te bedanken, die haar bij haar werkzaamheden behulpzaam zijn geweest. In het bijzonder is zij dank verschuldigd aan ing. F.B. Janssen, werkzaam bij de Landinrichtingsdienst, voor het vele goede werk dat hij ten behoeve van de commissie heeft verricht.

WATERPASSINGEN

J.E. Alberda

2.1

NAP-HOOGTEN

In Nederland worden hoogten over het algemeen aangegeven ten opzichte van Normaal Amsterdams Peil (NAP). Dit is een vergelijkingsvlak dat men zich theoretisch kan voorstellen als een in rust verkerend wateroppervlak dat door een in Amsterdam vastgelegd materieel punt gaat; het is uiteraard geen plat vlak. In het land bevindt zich een honderdtal diep gefundeerde ondergrondse peilmerken op geselecteerde plaatsen met een zo groot mogelijke stabiliteit. De hoogten van deze peilmerken zijn door zo nauwkeurig mogelijke (primaire) waterpassingen t.o.v. het NAP bepaald en leggen te zamen het NAP-stelsel vast. Hermeting van dit primaire net geschiedt met tussenpozen van ca. 20 jaar om de stabiliteit van de peilmerken te controleren en om eventuele tectonische bewegingen vast te stellen. Door secundaire en tertiaire metingen is het primaire net verdicht, waardoor van duizenden peilmerken in het hele land de NAP-hoogte bekend is. Deze gewone peilmerken bestaan in de regel uit speciale bouten in goed gefundeerde gebouwen of kunstwerken.

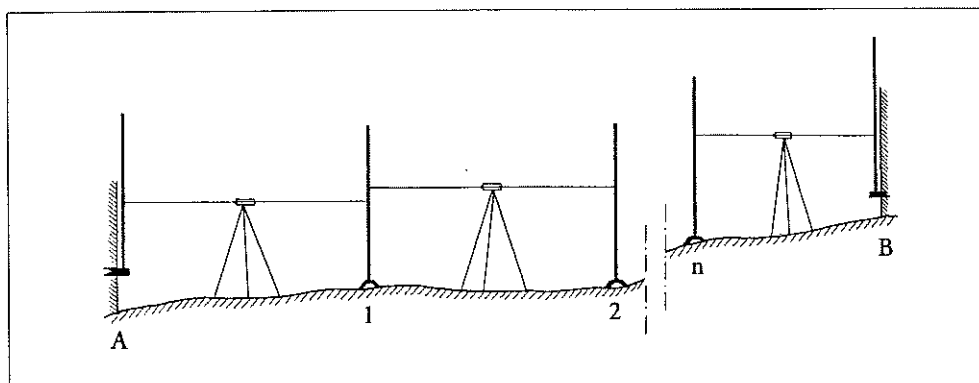
2.2

HOOGTEMETING

Hoogtemeting komt altijd neer op het meten van hoogteverschillen. Door optelling van hoogteverschillen komt men, uitgaande van een punt met bekende hoogte, tot hoogten t.o.v. het vergelijkingsvlak.

Voor de problematiek van de bodemdaling van Friesland zijn twee meetmethoden van belang: optische en hydrostatische waterpassing.

Optische waterpassing



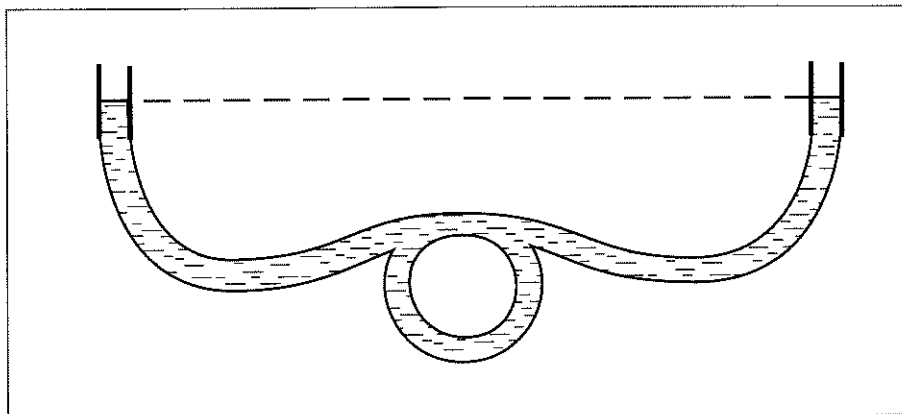
Figuur 2.1

Het principe van optische waterpassing wordt getoond door figuur 2.1.

A en B zijn peilmerken waarvan het hoogteverschil moet worden bepaald; de punten 1 t/m n zijn tijdelijke tussenopstellingen. Op A en 1 worden in centimeters verdeelde baken zuiver verticaal opgesteld. De onderkant van elke baak is het nulpunt van de verdeling en valt samen met het hoogste punt van de cilindrische bout A resp. van de bolvormige bovenkant van de op 1 neergezette metalen baaksokkel. Midden tussen A en 1 wordt een waterpasinstrument opgesteld, in principe bestaande uit een richtkijker waarvan de vizierlijn door middel van een optisch-mechanische voorziening horizontaal wordt gesteld. Op beide baken wordt achtereenvolgens de hoogte van de vizierlijn afgelezen. Het verschil van de aflezingen geeft het hoogteverschil tussen A en 1. Deze procedure kan men voortzetten via de punten 2 t/m n, tot men bij de bout B komt. Sommering van de hoogteverschillen A-1, 1-2, ..., n-B geeft het hoogteverschil tussen A en B. De afstand tussen de opeenvolgende baakopstellingen (de zgn. slaglengte) is ca. 100 m. Afhankelijk van de kwaliteit van het instrument, de baken en de meetprocedure onderscheidt men waterpassingen van verschillende nauwkeurigheidsklassen. Bij de Groningse en Friese waterpassingen worden instrumenten van de hoogste verkrijgbare nauwkeurigheid gebruikt. De verdeling van de baken is aangebracht op een strook van invarmetaal, dat vrijwel ongevoelig is voor temperatuurswisselingen. De aflezingen geschieden tot op 0,1 mm. De meetprocedure volgt de regels die de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat stelt voor secundaire waterpassingen.

Hydrostatische waterpassing

Bij hydrostatische waterpassing maakt men gebruik van het feit dat een stilstaand wateroppervlak een vlak van gelijke hoogte is. Voor metingen waaraan slechts lage nauwkeurigheidseisen worden gesteld kan men soms het vrije oppervlak van een meer gebruiken, mits er geen aan- of afvoer van water is en er geen sprake is van opwaaiing of dichtheidsverschillen. Voor nauwkeurige metingen gebruikt men het principe van communicerende vaten (figuur 2.2).



Figuur 2.2

In de nabijheid van twee punten waarvan het hoogteverschil moet worden bepaald worden peilglazen opgesteld die door een buis of slang zijn verbonden. Het water staat in beide peilglazen even hoog mits aan een aantal fysische voorwaarden is voldaan. Door een kleine optische waterpassing worden de hoogteverschillen tussen het waterniveau en de respectievelijke peilmerken bepaald. De Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat heeft op grond van dit principe een zeer nauwkeurige meetmethode ontwikkeld, waarbij kilometerslange loden buizen gevuld met gedestilleerd water worden gebruikt. Terwille van een zo constant mogelijke

temperatuur moet de verbindingbuis in water liggen en is het traject gebonden aan kanalen, rivieren en kustgebieden. Bij de primaire NAP-metingen wordt de hydrostatische waterpassing veel toegepast. De methode vormt o.a. de enige mogelijkheid om het NAP naar de Waddeneilanden over te brengen met de vereiste nauwkeurigheid. Om praktische en economische redenen is de methode niet geschikt om kleine gebieden van een fijnmazig stelsel van peilmerken te voorzien. Wel wordt hetzelfde principe in eenvoudige vorm toegepast in de bouw (slangwaterpas) en bij de controle op deformaties binnen een bouwwerk.

Overige methoden

Er zijn verschillende andere methoden van hoogtemeting, die geschikt zijn voor topografisch werk. Ze worden wegens hun relatief geringe nauwkeurigheid hier niet vermeld. In het kader van de bodemdaling in Friesland is de toepassing van satellietmetingen wel eens genoemd. Bij de toepassing van het Global Positioning System (GPS) kunnen punten in een aardvast driedimensioneel coördinatenstelsel worden bepaald. Door transformaties van coördinaatverschillen kunnen hieruit hoogteverschillen in een ander referentiestelsel, bijvoorbeeld het NAP-stelsel worden berekend, mits de relatie tussen beide stelsels bekend is. De vorm van het nulvlak van het NAP is direct afhankelijk van de zwaartekracht en is daardoor niet een regelmatig wiskundig oppervlak (zoals een bol), maar betrekkelijk grillig van aard. Weliswaar kan de vorm met behulp van zwaartekrachtmetingen worden berekend, maar de resultaten zijn behept met een onzekerheid in de orde van 10 cm voor de hoogten en 5 cm voor hoogteverschillen. Door op een en hetzelfde punt met regelmatige tussenpozen de hoogte met GPS te bepalen kunnen wellicht in de toekomst hoogteveranderingen van dat punt met een nauwkeurigheid van enkele millimeters worden geconstateerd; onderzoek naar deze mogelijkheid is gaande. Voorlopig echter bieden satellietmetingen nog geen alternatief voor waterpassingen bij het meten van een dicht net van nauwkeurige hoogten in een klein gebied.

Voor een juist begrip wordt nog opgemerkt dat optische en hydrostatische waterpassing altijd hoogteverschillen t.o.v. het nulvlak van het NAP meten omdat ze met horizontale lijnen werken die per definitie plaatselijk evenwijdig zijn aan dat nulvlak (althans in Nederlandse omstandigheden). De onbekendheid van de vorm van het nulvlak doet daarom niet ter zake.

2.3

PRECISIE, NAUWKEURIGHEID EN BETROUWBAARHEID VAN METINGEN

Meten is het volgens bepaalde regels toevoegen van een getal aan een theoretisch begrip. Het hangt van het doel van de meting af, welke verfijning men nastreeft bij de definitie van zo'n theoretisch begrip. Als voorbeeld kan dienen het op het eerste gezicht probleemloze begrip "afstand". Een automobilist heeft bij "de afstand tussen Leeuwarden en Amsterdam" iets heel anders in gedachten dan een landmeter die beroepshalve met de afstand tussen een punt in Leeuwarden en een in Amsterdam te maken heeft.

De regels waarvan hierboven sprake is leggen de meetmethode vast; ze moeten uiteraard zijn afgestemd op de definitie van de te meten grootte. Het heeft bijvoorbeeld geen zin te trachten de hoogte van een punt van het maaiveld tot op 0,1 mm te meten met een zeer nauwkeurige methode. Anderzijds kan men geen millimeternauwkeurigheid verkrijgen met een meetmethode waarbij slechts op decimeters wordt afgelezen. De afstemming op het doel is essentieel. Men zou kunnen denken dat het gunstig is allerlei metingen zo nauwkeurig mogelijk te verrichten omdat ze dan voor alle mogelijke doelen kunnen dienen. In de geodesie geldt dit globaal voor fundamentele wijdmazige netwerken, zoals de primaire waterpassing van het NAP en het primaire net van de Rijksdriehoeksmeting, die de basis vormen van al het landmeet-

kundige werk in Nederland en bovendien voor wetenschappelijke doeleinden worden gebruikt. Maar algemeen geldt dat metingen meer geld en tijd kosten naarmate de nauwkeurigheidseisen hoger zijn, er moet dus een afweging plaatsvinden. De factor tijd is speciaal bij deformatie-metingen van groot belang.

Precisie

De ervaring leert dat de meting van een fysische grootte altijd behept is met onzekerheid. Dit blijkt als men dezelfde grootte onder dezelfde omstandigheden met dezelfde methode herhaaldelijk meet. De meetuitkomsten, d.w.z. de getallen die uit de meting resulteren, vertonen een onderlinge spreiding. De mate van onderlinge overeenstemming van de uitkomsten wordt de precisie van de meetmethode genoemd. Meestal kan de verdeling van de uitkomsten statistisch goed beschreven worden als die van een toevalsvariabele met een zgn. normale verdeling. Bij een zuivere meetmethode komt de mathematische verwachting (praktisch op te vatten als het gemiddelde van een groot aantal meetuitkomsten) overeen met de gezochte waarde van de gemeten grootte. Dit betekent dat een meetuitkomst gelijk is aan de gezochte waarde plus een toevallige afwijking die onbekend is maar waarover statistische (kans) uitspraken kunnen worden gedaan. De meest gebruikte maat voor de precisie van een meetmethode is de standaardafwijking σ van de verdeling van de meetuitkomsten. Herhaalt men een meting een groot aantal malen, dan ligt ongeveer 68% van de normaal verdeelde toevallige afwijkingen tussen $-\sigma$ en $+\sigma$, ongeveer 95% tussen -2σ en $+2\sigma$, terwijl een verwaarloosbaar percentage in absolute waarde groter is dan 3σ . De standaardafwijking die bij een bepaalde meetmethode hoort is meestal uit experimenten en overige ervaring bekend en kan tevens uit metingen worden geschat. Een kleine standaardafwijking betekent een grote precisie. Het gemiddelde van n enkelvoudige meetuitkomsten (verkregen met een methode met standaardafwijking σ) heeft de standaardafwijking σ/\sqrt{n} . Bij een bepaalde meetmethode kan men dus (tot op zekere hoogte) de precisie verbeteren door de meting een aantal malen te herhalen en het gemiddelde van de enkelvoudige meetuitkomsten te nemen. De precisie van metingen kan ook (tot op zekere hoogte) worden verbeterd door betere instrumenten en procedures, maar de variabiliteit van de uitkomsten kan niet tot nul worden gereduceerd. Hoe exact een meetuitkomst er ook uitziet, men moet er altijd een onzekerheidsgebied omheen denken.

Toevallige afwijkingen kunnen positief of negatief zijn en zijn gemiddeld nul. Beschouwt men de som van n meetuitkomsten, onafhankelijk van elkaar gemeten met dezelfde standaardafwijking σ , dan zullen hun toevallige afwijkingen elkaar ten dele compenseren. Men kan aantonen dat dan de som kan worden beschouwd als de uitkomst van een meting waarbij de standaardafwijking $\sigma\sqrt{n}$ behoort. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de standaardafwijking van een optisch waterpast hoogteverschil tussen punten A en B evenredig is met de wortel van de lengte van het waterpastraject AB. Bij de secundaire waterpassing in Friesland kan de precisie van de meetmethode worden gekarakteriseerd met een standaardafwijking $\sigma_0 = 1$ mm per $\sqrt{\text{km}}$. Bij een traject van 1 km is dan de standaardafwijking 1 mm, bij 4 km is dat 2 mm enz..

Systematische fouten

Het uitvoeren van een meting is een fysisch gebeuren waarbij veel factoren met betrekking tot instrument, waarnemer en omgeving een rol spelen. De invloeden van deze factoren zijn bij een zuivere meetmethode van dezelfde orde van grootte, elke invloed kan positief of negatief zijn en fluctueren met de tijd. Hierdoor ontstaat de voor meetuitkomsten karakteristieke spreiding die een toevalskarakter heeft en statistisch in de regel goed beschrijfbaar is. Een meting kan echter ook onderhevig zijn aan eenzijdige en min of meer permanente invloeden

die eveneens afkomstig kunnen zijn van instrument, waarnemer en omgeving. Een instrument kan ontregeld of niet goed geijkt zijn, een waarnemer kan eigenschappen hebben waardoor hij bijvoorbeeld gewoonlijk iets te hoog afleest, en metingen in het vrije veld worden beïnvloed door veel onbeheersbare of moeilijk beschrijfbaar factoren. Hierdoor kunnen systematische fouten ontstaan die maken dat meetuitkomsten stelselmatig te hoog of te laag uitvallen. Bij aanwezigheid van een systematische fout kan het zijn dat een reeks herhalingsmetingen wat de spreiding betreft hetzelfde beeld geeft als bij een zuivere meetmethode; de precisie is dan ongewijzigd, maar door de systematische fout is het gemiddelde verschoven en correspondeert dit niet met de gezochte waarde. Een systematische fout die veel kleiner is dan de standaardafwijking kan aanvaardbaar zijn, maar is dat niet altijd. In het geval dat veel meetuitkomsten bij elkaar worden opgeteld (zoals bij optische waterpassing) stapelen de systematische fouten zich eveneens op en kan het resultaat een niet verwaarloosbare systematische fout hebben. Het ontwerp van een meetmethode (d.w.z. het geheel van instrumenten en handelingen dat tot een meetuitkomst leidt) is gericht op het zoveel mogelijk vermijden, elimineren of beperken van systematische fouten voorzover ze ter zake doen. Dit is dus een kwestie van meettechniek. Bij de optische waterpassing zijn veel eenzijdige invloeden mogelijk die systematische fouten kunnen veroorzaken. Ze zijn uit theorie en ervaring goed bekend en men kan ze in elk landmeetkundeboek vinden evenals de remedies die ertegen worden gebruikt.

Ten slotte moet worden opgemerkt dat in de praktijk geen scherp onderscheid kan worden gemaakt tussen kleine systematische fouten en toevallige afwijkingen.

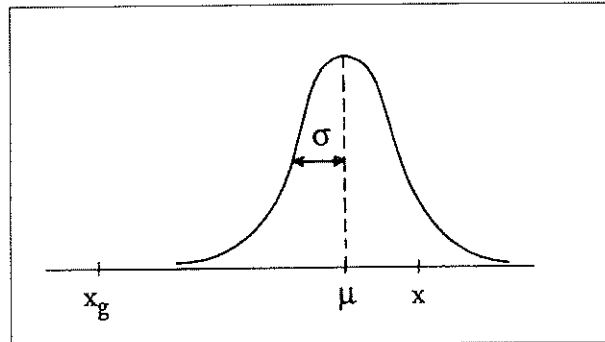
Grove fouten en controle .

Menselijke vergissingen (en ook storingen in automatische apparatuur) kunnen leiden tot grove fouten of blunders. Voorbeelden zijn afleesfouten van een hele meter of decimeter, het verkeerd opschrijven van een meetuitkomst (1284 i.p.v. 1248), het verwisselen van puntnummers, rekenfouten enz.. Grove fouten maken uiteraard een meetuitkomst of berekening waardeloos, vandaar dat een hoofdprincipe van de landmeetkunde is dat metingen moeten worden gecontroleerd. Men kan zich controle verschaffen door zgn. overtallige metingen: men meet meer dan strikt wiskundig nodig is om de situatie vast te leggen. De eerste mogelijkheid is de meting een of meer malen te herhalen. Doet men dit onder verschillende omstandigheden of instellingen van het instrument, dan kunnen vaak bepaalde systematische fouten worden gelimineerd of sterk beperkt indien men als meetuitkomst het gemiddelde van de enkelvoudige uitkomsten neemt; dan wordt ook de precisie verbeterd. Bij de optische waterpassing meet men elk traject heen en terug. Men krijgt dus per traject twee uitkomsten voor hetzelfde hoogteverschil, die met elkaar moeten kloppen binnen een bepaalde tolerantie die afhankelijk is van de lengte van het traject en van de precisie van de meetmethode. Als de uitkomsten meer verschillen dan de tolerantie aangeeft, wordt er opnieuw gemeten. Bovendien vormen de trajecten in een waterpasnet gesloten kringen. In een gesloten kring moet theoretisch de som van de hoogteverschillen nul zijn. Ten gevolge van de toevallige afwijkingen zal dit vrijwel nooit het geval zijn en zal een sluitterm worden geconstateerd. Op grond van de lengte van de totale kring en de precisie van de meetmethode wordt voor de kringsluitterm ook een tolerantie gesteld, bij overschrijding waarvan wordt overgemeten.

Een derde vorm van controle verkrijgt men door een nieuw netwerk aan te sluiten op een aantal reeds in hoogte bekende punten, liefst van een hogere orde. De door de nieuwe metingen bepaalde hoogteverschillen moeten weer binnen bepaalde toleranties, kloppen met de reeds bekende. De controles leveren niet alleen informatie over eventuele grove fouten maar ook over eventuele specifieke systematische fouten.

Nauwkeurigheid

Onder nauwkeurigheid verstaat men de mate waarin een meetuitkomst de gezochte waarde benadert; dit begrip heeft dus betrekking op het gezamenlijke effect van toevallige afwijkingen en systematische fouten. Bij een zuivere meetmethode is nauwkeurigheid hetzelfde als precisie. Figuur 2.3 geeft schematisch de effecten van precisie en nauwkeurigheid weer.



Figuur 2.3. x_g is de onbekende gezochte waarde, x is een willekeurige meetuitkomst; $x - x_g$ is de zgn. totale afwijking.

Bij een groot aantal herhalingen van de meting hebben de uitkomsten een frequentieverdeling die in de figuur door de geschetste dichtheidsfunctie van een normale verdeling is gekarakteriseerd. De verwachting van de betrokken toevalsvariabele is μ ; de systematische fout of onzuiverheid is $\mu - x_g$, de toevallige afwijking van x is $x - \mu$. De standaardafwijking σ is een parameter van de geschetste kromme, haar grootte is in de figuur aangegeven. Bij een zuivere meetmethode is $\mu - x_g$ nul, althans verwaarloosbaar.

Bovenstaande beschouwing kan dienen om het begrip nauwkeurigheid duidelijk te maken, maar kan niet direct dienen om een kwantitatieve maat voor de nauwkeurigheid van een bepaalde meetuitkomst aan te geven, immers x_g en μ zijn daarbij onbekend. Wel kunnen op grond van ervaring, in ons geval de analyse van zeer veel praktijkmetingen in waterpasnetten, goed bruikbare statistische uitspraken worden gedaan omtrent de precisie van meetmethoden en de orde van grootte van niet-gelimineerde systematische fouten. Tenzij het tegendeel blijkt uit de bij de kwaliteitsbeheersing toegepaste toetsen kan men er van uitgaan dat de opgegeven standaardafwijking van een meetmethode in voldoende mate de nauwkeurigheid beschrijft.

Betrouwbaarheid

In het voorgaande is de absolute eis van het verrichten van controles vermeld. Wanneer men slechts één enkele meting verricht van bijvoorbeeld een hoogteverschil, dan is het volledig onbekend of de uitkomst een grove of systematische fout bevat. De uitkomst is dan onbetrouwbaar. Betrouwbaarheid is de mate waarin in een samenstel van metingen zulke fouten kunnen worden ontdekt. Omdat alle meetuitkomsten onderhevig zijn aan toevallige afwijkingen, krijgt men bij controle altijd tegenspraken tussen de uitkomsten en moet men beslissen of die in overeenstemming zijn met de meetprecisie, of dat ze zo groot zijn dat tot de aanwezigheid van fouten moet worden geconcludeerd. De beslissing geschiedt op grond van de toetstheorie uit de wiskundige statistiek. Omdat grove en systematische fouten niet automatisch tot grote tegenspraken behoeven te leiden kan het gebeuren dat hun aanwezigheid bij controle niet wordt ontdekt, zodat foutieve metingen niet worden verworpen (fout van de tweede soort uit de toetstheorie). Bij het ontwerp van metingen wordt grote aandacht geschonken aan de effectiviteit van het controlesysteem; op grond van de betrouwbaarheidstheorie kan een ondergrens worden aangegeven die fouten moeten bereiken om met behoorlijk grote kans (80% of 90%) bij controles ontdekt te worden.

Om een gebied van peilmerken te voorzien wordt een waterpasnet gemeten. De trajecten tussen naburige punten worden gewaterpast, waarbij ervoor wordt gezorgd dat de trajecten gesloten kringen vormen. Nadat gecontroleerd is dat heen- en terugwaterpassing met elkaar kloppen binnen de tolerantie (eventueel na hermeting) wordt als meetuitkomst het gemiddelde van heen- en terugwaterpassing aangehouden. De som van de gemeten hoogteverschillen in een gesloten kring van trajecten zal niet nul zijn ten gevolge van toevallige afwijkingen. Dit is voor de praktijk onaanvaardbaar, ook als de sluittermen aan de daarvoor geldende tolerantie voldoen, want de hoogten die men uiteindelijk wenst te berekenen moeten ondubbelzinnig worden bepaald en niet afhankelijk zijn van de keuze van de bij de berekening gebruikte trajecten. Daarom wordt een omvangrijke berekening uitgevoerd, de zgn. vereffening van het netwerk. Daarbij wordt aan het gemeten hoogteverschil van elk traject een kleine correctie toegekend, zodanig dat de gecorrigeerde meetuitkomsten aan de eis voldoen dat hun som in elke gesloten kring nul is. De vereffening gebeurt met de op de waarschijnlijkheidsrekening gebaseerde methode der kleinste kwadraten, die de oorspronkelijke meetuitkomsten a.h.w. zo min mogelijk geweld aandoet en resultaten van de maximaal haalbare precisie levert. Door de vereffening ontstaat een netwerk dat vrij is van tegenspraken en waarin alle hoogteverschillen een betere precisie hebben dan de oorspronkelijke meetuitkomsten. De beschreven werkwijze is de zgn. vrije vereffening van het net, waarbij in principe alleen de gemeten hoogteverschillen een rol spelen. Als het netwerk één peilmerk bevat waarvan de NAP-hoogte bekend is kan men na de vrije vereffening de NAP-hoogten van alle peilmerken berekenen. In de praktijk gebruikt men meer dan één aansluitpunt, daarbij is weer een vereffening nodig, die ook weer verbetering van de precisie geeft.

Om misverstanden te voorkomen moet worden opgemerkt dat de hoogten die resulteren uit de in het voorgaande beschreven bewerkingen geheel het karakter van meetuitkomsten hebben. Elke hoogte is een functie van alle meetuitkomsten in het gehele netwerk. Als men alle metingen opnieuw verricht en dezelfde bewerkingen toepast krijgt men andere waarden voor de hoogten, ook al is er geen enkele zakking of rijzing opgetreden: ook de uitkomsten voor de hoogten zijn toevalsvariabelen. De vereffening heeft tot gevolg dat er tussen de uitkomsten voor de hoogten een sterke onderlinge afhankelijkheid (correlatie) bestaat. Als de hoogte van een peilmerk een positieve toevallige afwijking heeft, dan zullen de hoogten van naburige peilmerken met grote waarschijnlijkheid ook een positieve toevallige afwijking hebben.

DEFORMATIEMETINGEN

Deformatiemetingen dienen voor het bepalen van vervormingen en verplaatsingen van objecten. Hierbij speelt dus de tijd een rol. Het principe van het vaststellen van deformaties is eenvoudig: men meet de toestand op het tijdstip t_1 en op een later tijdstip t_2 en vergelijkt de twee uitkomsten met elkaar. Men kijkt dus a.h.w. het verschil tussen twee momentopnamen. Zet men dit in de tijd voort, dan kan men een beeld krijgen van aard en grootte van de vervormingen c.q. verplaatsingen.

Relatieve deformatiemetingen dienen om vervormingen van een object, meestal een constructie, te bepalen. Het gaat daarbij om bewegingen van de onderdelen t.o.v. elkaar. Eventuele bewegingen van het object als geheel t.o.v. de omgeving zijn daarbij afwezig of van ondergeschikt belang.

Absolute deformatiemetingen zijn gericht op bewegingen van het object t.o.v. zijn omgeving (en kunnen ook relatieve deformaties omvatten). Hoe 'absoluut' de resultaten zijn hangt ervan af hoe groot de beschouwde omgeving is. Absolute bewegingen in Nederland zijn relatieve bewegingen in Europees of wereldwijd verband.

De beschouwing wordt in het navolgende beperkt tot absolute deformatiemetingen met geodetische methoden, omdat de waterpassingen in Friesland tot deze categorie behoren: ze hebben betrekking tot zakkings t.o.v. het NAP.

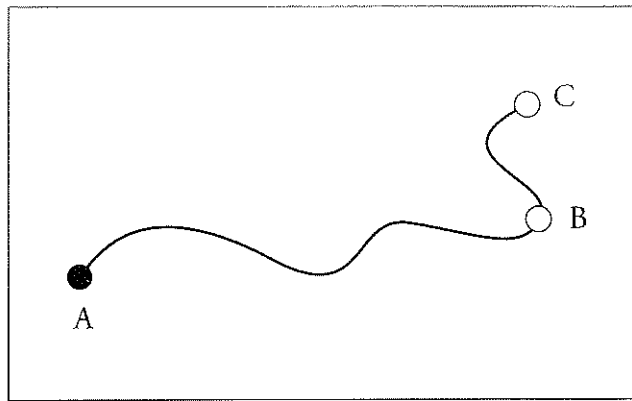
De volgende zaken zijn over het algemeen bepalend bij het ontwerpen en uitvoeren van deformatiemetingen:

- *De oorzaak van de beweging.* Deze is soms bekend, soms onbekend; er kan ook meer dan één oorzaak zijn.
- *De richting van de beweging.* Deze kan vaak uit de oorzaak worden afgeleid. Als men de verwachte richting van een verplaatsing kent, kunnen de metingen zo worden ontworpen, dat men de verplaatsing zo goed mogelijk bepaalt.
- *De snelheid van de beweging.* Het zal duidelijk zijn, dat een beweging van enkele centimeters per eeuw ook met de nauwkeurigste metingen niet binnen een of twee jaar kan worden vastgesteld: de deformaties moeten a.h.w. de tijd hebben zo groot te worden, dat ze meetbaar zijn. Anderzijds moet de periode tussen 'momentopnamen' niet zo groot zijn, dat daarin belangrijke veranderingen in aard en grootte van de deformaties kunnen worden verwacht.
- *De definitie van de meetpunten.* Het is over het algemeen niet moeilijk een punt zo te markeren, dat de opeenvolgende metingen op precies hetzelfde materiele punt betrekking hebben. Het kan echter aanzienlijk moeilijker zijn te voldoen aan de eis, dat de verplaatsingen van meetpunten representatief zijn, d.w.z. geheel en uitsluitend het gevolg zijn van een bekende oorzaak, die men wenst te onderzoeken.
- *De beschikbare technieken en de nauwkeurigheid, de kosten en de tijd die verbonden zijn aan hun toepassing.* De precisie van de metingen moet in ieder geval zo hoog zijn, dat deformaties van de verwachte grootte ontdekt kunnen worden.

Voor de interpretatie van de uitkomsten van deformatiemetingen is het in paragraaf 2.3 behandelde van groot belang. Om te beginnen moet worden opgemerkt, dat de uitkomst van een deformatiemeting tot stand komt door het verschil tussen twee metingen, resp. op tijdstip t_1 en t_2 , te beschouwen. In het algemeen zijn deze metingen onafhankelijk van elkaar en hebben ze dezelfde precisie. In het geval van een zakkingsmeting heeft men de uitkomsten H_1 en H_2 voor de hoogte van een punt. Hebben H_1 en H_2 bijvoorbeeld elk een standaardafwijking van 3 mm, dan heeft de 'gemeten zakking' ($H_1 - H_2$) een standaardafwijking van $3\sqrt{2} \approx 4,2$ mm.

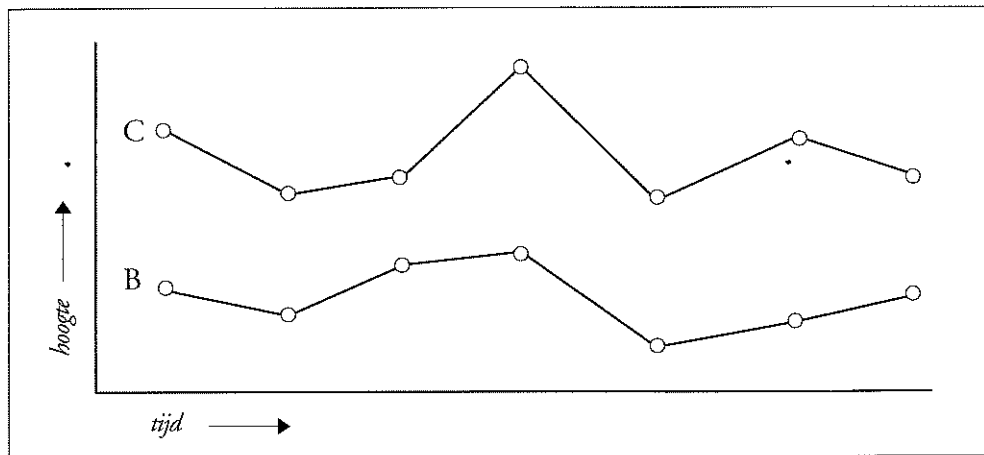
Om het karakter van een langere reeks metingen te illustreren kan een gefingeerd voorbeeld van waterpassingen dienst doen.

Laat in figuur 2.4 A een vast punt zijn waarvan de hoogte bekend is, en B en C punten waarvan men het hoogteverschil met A gedurende een aantal jaren elk jaar bepaalt door de trajecten AB en BC te waterpassen. In de praktijk zal men hiervoor vaak een netwerkje meten, maar dit maakt geen principieel verschil.



Figuur 2.4

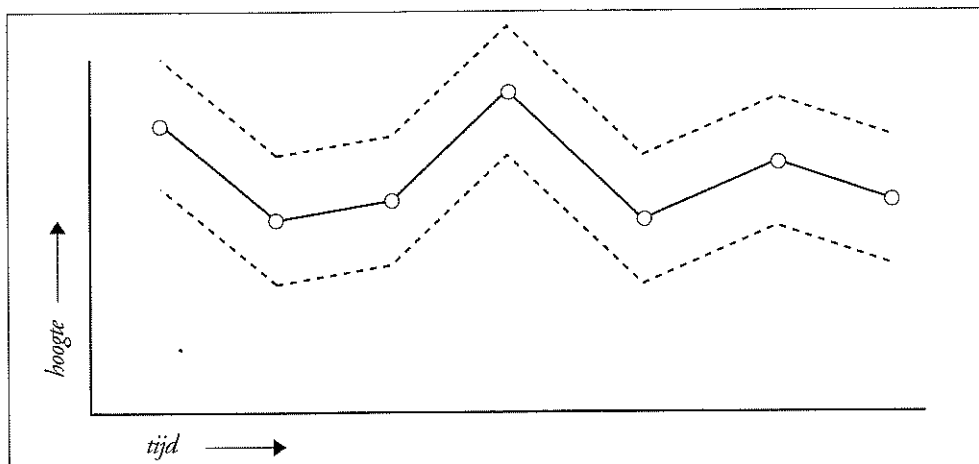
Wij veronderstellen nu dat geen van de punten zakt of rijst. Het beeld dat men van de meetuitkomsten voor de hoogten H_B en H_C krijgt, zal dan een karakter hebben als in figuur 2.5.



Figuur 2.5

In de figuur zijn, zoals gebruikelijk, de punten die de opeenvolgende uitkomsten voorstellen door rechte lijnen verbonden, waardoor een beeld van de verticale bewegingen van B en C wordt gesuggereerd. Het is direct duidelijk, dat dit beeld niet realistisch kan zijn: het lijkt of punt B tussen de eerste en de tweede bepaling is gedaald en dat precies op het tijdstip van de tweede bepaling een beweging omhoog is begonnen, die bij de vierde bepaling weer in een daling overgaat. Maar de suggestie wordt versterkt, doordat de toppen en dalen van de 'zigzaglijn' voor het punt C ongeveer corresponderen met die van de lijn voor B. Deze overeenkomst versterkt de indruk, dat het gebied rond B en C een zekere golfbeweging vertoont. Welnu, een dergelijke interpretatie heeft alleen enige relatie tot de werkelijkheid, indien de fluctuaties die de zigzaglijnen vertonen aanmerkelijk groter zijn, dan de standaardafwijkingen waarmee de opeenvolgende hoogten zijn bepaald. In het voorbeeld is ondersteld, dat A, B en C stabiel zijn, zodat hun hoogten niet veranderen. De punten, die de gemeten hoogten van B resp. C voorstellen, zouden dus alle op een horizontale rechte lijn moeten liggen. Wat de zigzaglijnen te zien geven, is de invloed van de toevallige afwijkingen van de meetuitkomsten. De correspondentie tussen de toppen en dalen van de lijnen voor B en C is geen aanwijzing, dat het gebied rond die punten een golvende beweging ondergaat. De overeenkomst vloeit voort uit het feit, dat de hoogten van B en C niet onafhankelijk van elkaar zijn bepaald: bij elke waterpassing worden ze op dezelfde wijze beïnvloed door de uitkomst van het traject AB. Om verkeerde conclusies te

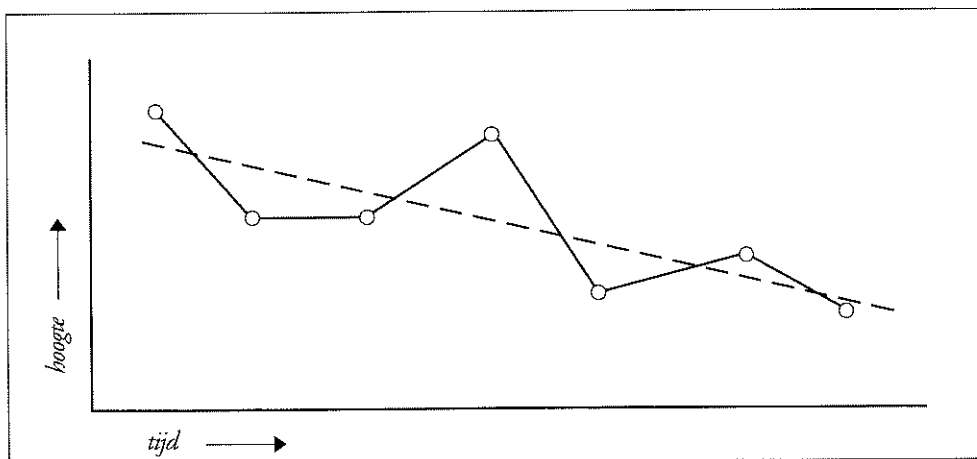
voorkomen geeft men de onzekerheid vaak aan door een zgn. betrouwbaarheidsgebied om de zigzaglijn, dat is een strook waarin met bijvoorbeeld 95% kans de gezochte hoogten liggen. Bij deze keuze van 95%, wordt dit gebied gevormd door een strook van 1,96 maal de standaardafwijking aan weerszijden van de gemeten zigzaglijn. Figuur 2.6 geeft zo'n gebied voor de lijn van punt C.



Figuur 2.6

Het betrouwbaarheidsgebied laat zien, dat het beslist onverantwoord is te concluderen, dat de hoogte van C volgens de zigzaglijn fluctueert.

Indien een punt als C in werkelijkheid zakt, krijgt men een soortgelijk beeld, alleen zal de zigzaglijn een dalende tendens (trend) vertonen. Figuur 2.7 geeft zo'n geval weer.



Figuur 2.7

In de figuur is tevens een rechte lijn aangegeven, die zo goed mogelijk bij de gemeten hoogten past; deze geeft de trend weer. Tenzij er sprake is van kortperiodieke bewegingen of van abrupte voorvallen, zoals aardbevingen of -verschuivingen, hebben bodembewegingen een geleidelijk verloop, waarvan de grafische voorstelling een continue en gladde lijn toont. Een rechte lijn als die in figuur 2.7 geeft dan ook een veel realistischer beeld van een werkelijke bodemdaling dan de afzonderlijke meetuitkomsten, in ieder geval binnen een betrekkelijk korte periode. Zo'n rechte lijn geeft aan dat de daling evenredig is met de tijd, dus een constante snelheid heeft. Een daling met een niet constante snelheid kan worden voorgesteld met een gekromde lijn. Een dergelijk 'gladstrijken' van een grillige zigzaglijn die berust op meet-

uitkomsten komt in de techniek zeer veel voor; het is een vorm van vereffenen zoals besproken in paragraaf 2.3. In de praktijk is het vaak voldoende, op het oog een lijn te trekken die zo goed mogelijk aansluit bij het algemene verloop van de zigzaglijn, dit is in feite gedaan in figuur 2.7. Een andere methode is het berekenen van voortschrijdende gemiddelden, waarbij men punten van de lijn verkrijgt door achtereenvolgens het gemiddelde van een aantal meetuitkomsten, bijvoorbeeld 1 t/m 3, 2 t/m 4, 3 t/m 5 enz. te bepalen. In de geodesie geschiedt het aanpassen van een lijn bij meetuitkomsten meestal met de in paragraaf 2.3 genoemde methode der kleinste kwadraten. Hiervoor is het nodig dat het wiskundig karakter van de te bepalen lijn vooraf bekend is of realistisch aangenomen kan worden. Soms kan op grond van theoretische modelbeschouwingen dit karakter worden geformuleerd, anders kiest men op grond van het algemene verloop van de zigzaglijn een zo eenvoudig mogelijke modelformule, bijvoorbeeld die van een rechte lijn of een tweedegraadskromme. De parameters van die formule worden dan met de methode der kleinste kwadraten bepaald. Men krijgt zo het meest aannemelijke beeld van de beweging, niet verstoord door de grilligheid van de toevallige afwijkingen. Door statistische toetsen kan men nagaan of de verschillen tussen de zigzaglijn en de gevonden vereffende lijn in overeenstemming zijn met de meetprecisie. Met nadruk moet worden vermeld dat zo'n door 'gladstrijken' verkregen lijn wel degelijk behept is met onzekerheid ten gevolge van de toevallige afwijkingen van de meetuitkomsten. Bij berekening met de methode der kleinste kwadraten is de precisie van de bepaling echter zo goed mogelijk, deze kan worden berekend en is o.a. van belang om de onzekerheid van voorspellingen door extrapolatie aan te geven. Bij de interpretatie van meetuitkomsten moet er rekening mee worden gehouden dat een deformatie verschillende oorzaken kan hebben. In het geval van de Fries-Groningse waterpassingen neemt men aan dat het hele gebied onderhevig is aan een langzame uniforme zakking van tectonische aard. Daarnaast zijn er peilmerken die sneller zakken dan andere peilmerken in de omgeving. Deze snellere zakking kan worden verklaard door de plaatselijke omstandigheden in de ondiepe ondergrond. Van verscheidene van deze sneller zakkende peilmerken is uit vroegere NAP-metingen bekend dat ze al voor het begin van de gaswinning onstabiel waren.

HET GRONINGS-FRIESE WATERPASNET

Een goede technische beschrijving van het Gronings-Friese waterpasnet wordt gegeven in het rapport 'Gasveldwaterpassing Groningen 1987' van de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (MD), Delft, november 1988. Enkele kenmerken van de uitgevoerde waterpassingen zijn:

- a. De toegepaste werkwijze is gebaseerd op de regels van de MD voor secundaire waterpassingen. Deze regels zijn gericht op het behalen van de precisie gekarakteriseerd door een standaardafwijking van 1 mm/km in het gemiddelde van heen- en terugwaterpassing van een sectie of traject;
- b. De waterpassing is overwegend optisch en gericht op de zakking van peilmerken van het NAP tengevolge van gaswinning, dus niet op zakkingen van het maaiveld;
- c. De waterpassing van 1987 is de zevende zgn. grote waterpassing sinds 1964; de vorige grote waterpassing werd in 1981 gemeten. In de periode tussen de grote waterpassingen zijn tussen 1973 en 1987 tien zgn. kleine waterpassingen gemeten, die uit ijlere netwerken bestaan.

De volgende opmerkingen kunnen hierbij worden gemaakt:

ad a. De keuze van de werkwijze en de nagestreefde nauwkeurigheid moet als juist worden beoordeeld met het oog op het doel van de metingen enerzijds en de daarmee gemoeide tijd en kosten anderzijds. De NAP-hoogten van de peilmerken worden in het gehele vereffende en op primaire peilmerken aangesloten netwerk bepaald met een standaardafwijking van ca. 3 à 4 mm.

De standaardafwijking van het verschil tussen twee opeenvolgende bepalingen van hetzelfde punt is $\sqrt{2}$ maal zo groot, dus 4,2 à 5,6 mm. Een statistische beschouwing leert dat met de gebruikelijke criteria (toetsing met een onbetrouwbaarheidsdrempel van 5%, eenzijdig) een zakking van driemaal dit bedrag, dus 12,6 à 16,8 mm, met een kans van meer dan 90% geconstateerd zal kunnen worden. Van belang is dat dat grotere zakkingen, o.a. die van de prognose afwijken, met grotere zekerheid kunnen worden geconstateerd. Door de vergelijking van een reeks opeenvolgende bepalingen per punt of per groep van punten kan voorts het zakkingsproces nog scherper worden gevolgd.

Uiteraard is van belang dat de nagestreefde nauwkeurigheid daadwerkelijk wordt behaald. De kwaliteit van de metingen wordt gecontroleerd volgens de zeer strenge regels van de MD. De heen- en terugmeting van een sectie of traject ter lengte L mogen niet meer verschillen dan $3\sqrt{L}$ mm. Bij overschrijding van deze tolerantie wordt overgemeten. Bij de waterpassing van 1987 werd in het oostelijk deel van het net daardoor 12% van de trajecten hermeten (256 km van 2119 km), in het westelijk deel 7% (102 km van 1476 km).

Door analyse van de verschillen tussen de heen- en terugmeting van secties en trajecten werd in de waterpassing van 1987 het optreden van systematische fouten geconstateerd van 0,65 mm per km (oostelijk deel) respectievelijk 0,60 mm per km (westelijk deel). Dit verschijnsel treedt bij de gevolgde meetmethode vaak op; het is meestal te wijten aan zakking van instrument en baken tijdens de metingen, hier is misschien ook een invloed van de gebruikte automatische waterpasinstrumenten in het spel. Omdat bij de berekeningen het gemiddelde van heen- en terugmeting wordt gebruikt, waarin deze systematische fout praktisch geheel wordt gelimineerd, heeft deze geen nadelige gevolgen. Dit wordt bevestigd door de onafhankelijke statistische schatting van de precisie die kan worden gemaakt op grond van de kringsluitertermen bij de vereffening van het net. Deze bepaling leverde een standaardafwijking van 0,9 mm/ $\sqrt{\text{km}}$ op. Het netwerk is aangesloten op vijf ondergrondse peilmerken van het primaire NAP-net, na zorgvuldig onderzoek van de betrouwbaarheid van hun hoogten. De totale vereffening inclusief de aansluiting op genoemde peilmerken leverde geen aanwijzing voor systematische fouten of een significant lagere meetprecisie op.

ad b. Er worden in het kader van de waterpassingen geen systematische metingen op zakbaken verricht om bewegingen van het maaiveld te bepalen. Deze bewegingen worden in sterke mate beïnvloed door processen in de ondiepe ondergrond (zie de hoofdstukken 3 en 4).

ad c. Vanaf het begin van de gasveldwaterpassingen is het totale net uitgebreid en verdicht, terwijl ook het aantal aansluitingen aan ondergrondse merken is uitgebreid. Al deze veranderingen hebben verbetering van de nauwkeurigheid tot gevolg. Als bij de globale beschouwingen wordt aangenomen dat opeenvolgende bepalingen dezelfde nauwkeurigheid hebben dan is dit strikt genomen niet juist: de hoogten berekend uit de oudste waterpassingen zullen over het algemeen een wat geringere nauwkeurigheid hebben.

Algemeen kan worden geconcludeerd dat ontwerp en uitvoering van de waterpassingen voldoen aan de doelstelling, het verloop van de bodemdaling door gaswinning betrouwbaar en met een passende nauwkeurigheid vast te leggen.

Van de waterpassingen in het Friese gedeelte zijn de uitkomsten vanaf 1970 onderzocht aan de hand van de NAM-rapporten Grote Waterpassing Friesland 1987, Waterpassing Ameland 1986, 1987, 1988 en Waterpassing Blija 1985, 1987. Deze bevatten zgn. Staten van periodieke verschillen tussen de hoogten gevonden bij de opeenvolgende waterpassingen. Laatstgenoemd rapport geeft geen aanleiding tot opmerkingen. Bij de waterpassingen op Ameland valt op dat volgens de uitkomsten één peilmerk (106) aanmerkelijk sneller gezakt is dan de overige, nl. 39 mm in één jaar (de overige maximaal 16 mm). De hoogten van 1986 en 1987 zijn overigens aangeduid als voorlopig. De zakking gemeten tussen 1987 en 1988 was slechts 2 mm. Het peilmerk is niet in een kring opgenomen maar bepaald met losse trajecten, in 1988 met een ander traject dan in de voorgaande jaren, hoewel het trajectnummer (91) niet

is gewijzigd. Een en ander roept vraagtekens op bij dit overigens niet belangrijke detail. De belangrijkste informatie is vervat in het rapport over de grote waterpassing Friesland 1988; dit geeft de opeenvolgende gemeten hoogten tussen 1970 en 1987. Opvallend is dat de verschillen tussen de hoogten van 1970 en 1974 een stijging vertonen van veel peilmerken in het gebied ruwweg oostelijk en zuidelijk van Hardegarijp. Noordelijker dan Drachten is het bedrag ca. 4 à 8 mm, zuidelijker loopt het op tot ongeveer 10 mm. Een dergelijke stijging door gaswinning is ongeloofwaardig, bovendien is de productie pas begonnen in 1971 resp. 1974 (bij Akkrum). De oorzaak van het verschijnsel moet dan ook worden gezocht in de verbeterde aansluiting van het net. De NAP-hoogten in het betrokken gebied van het Friese net van 1987 zijn in hoofdzaak afhankelijk van de aansluiting aan de ondergrondse merken Murmerwoude en Oranjewoud, bepaald in respectievelijk 1985 en 1987. De aansluiting van het net van 1970 is niet nader onderzocht. Ten behoeve van de berekening van profielen en de contourkaart van de zakkingen heeft men voor een aantal peilmerken die in 1970 (of verschillende latere jaren) nog niet bepaald waren de hoogte in dat jaar geschat op grond van de later bepaalde hoogte en het zakkingsgedrag van nabij gelegen punten. Voor de hoogteveranderingen na 1970 heeft men o.a. de hoogte van het ondergronds merk Oranjewoud, bepaald in 1987, gebruikt, waarvan zakking uitgesloten moet worden geacht. De 'stijging' van vele punten tussen 1970 en 1974 moet dus voornamelijk worden gezien als een correctie van het waterpasnet van 1970 tengevolge van een betere aansluiting. De periodieke verschillen na 1974 geven vrijwel altijd zakkingen te zien.

De incidentele waarneming van een stijging, hetzij reëel, hetzij als toevallig effect in de metingen kan niet worden uitgesloten. In het westelijk deel zijn tussen 1970 en 1974 ook een aantal stijgingen gemeten, ze geven echter niet zo'n consistent beeld als het oostelijk deel.

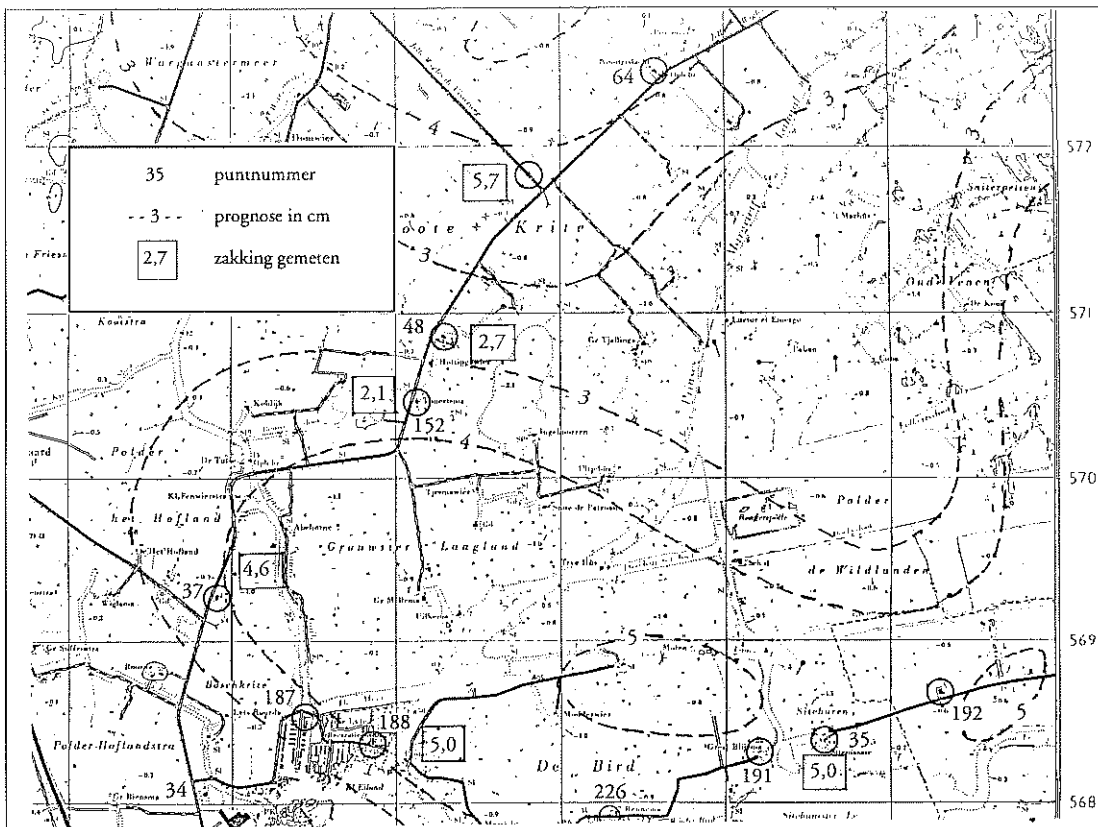
Bij de berekening van het cumulatieve verschil zijn de 'stijgingen' tussen 1970 en 1974 in rekening gebracht. Gezien het bovenstaande lijkt het reëler de resultaten van 1974 als referentie te nemen, waardoor vele cumulatieve zakkingen wat groter worden dan in het NAM-rapport 1987 wordt vermeld.

De zakkingen per peilmerk zijn tot nu toe beschikbaar in de numerieke vorm van de genoemde periodieke verschillen. Een grafische weergave zou de vorm van de 'zigzaglijn' als in figuur 2.7 aannemen. Zowel voor verdergaande analyse als voor de presentatie verdient het aanbeveling tevens vereffende ('gladde') zakkingslijnen te berekenen zoals beschreven in paragraaf 2.4. Dit kan op betrekkelijk eenvoudige wijze geschieden als men voor elk punt apart de vereffening uitvoert; dit is een benadering, waarbij niet alle informatie uit de opeenvolgende netwerken wordt gebruikt. Bij een meer strenge aanpak worden alle zakkingslijnen tegelijk bepaald uit een omvangrijke berekening waarbij alle opeenvolgende netwerken zijn betrokken.

2.6

HET GEBIED BIJ GROUW

In figuur 2.8 is een deel van het gebied bij Grouw weergegeven waaraan de commissie speciale aandacht heeft gewijd. Ten noorden en oosten van dit gebied bevinden zich vanaf 1970 gemeten trajecten, waar tussen 1970 en 1974 de in paragraaf 2.5 genoemde 'stijgingen' tot 8 mm zich manifesteren (deze trajecten vallen buiten de figuur). In het zuidelijk deel van de kaart is een aantal peilmerken van traject 64 weergegeven. Het traject is in zijn geheel gemeten in 1987; volgens de Staten van periodieke verschillen zijn de resultaten vergeleken met geschatte hoogten uit 1980. Het hoe en waarom van de schatting is hier niet duidelijk. Van de eindpunten van het traject, peilmerk 34 en het niet getoonde peilmerk 126 zijn de hoogten in 1983 bepaald. Voor de peilmerken 35 en 188 werden tussen 1980 en 1987 zakkingen van 50 mm afgeleid, ze zijn op de kaart aangegeven. Voor de overige peilmerken van dit traject werden zakkingen van in doorsnee 8 mm, maximaal 16 mm gevonden.



Figuur 2.8

Schuin door het getoonde gebied loopt het traject 32. Van de meeste peilmerken daarvan kan de gemeten zakking sinds 1970 worden afgeleid uit een zestal waterpassingen tussen 1970 en 1987. Getoond worden in de figuur de grootste zakkingen, nl. van peilmerk 37 (46 mm) en 57 (57 mm), ter vergelijking is ook de gemeten zakking van de peilmerken 152 (21 mm) en 48 (27 mm) weergegeven.

De kaart vertoont ter vergelijking tevens de contourlijnen van de zakkingsprognose, die zijn geschetst aan de hand van de kaart 'Prognose Bodemdaling Provincie Friesland' van maart 1987. De prognose varieert in het getoond gebied van 3 cm tot 5 cm. Omdat van enkele hiervoor genoemde peilmerken de gemeten zakking al het bedrag van 5 cm bereikt, is de geschiedenis hiervan bij de MD nagegaan. De volgende gegevens werden verstrekt (hoogten NAP):

Peilmerk 35	Peilmerk 188
1955 + 0,2580	1980 - 0,4327
1980 + 0,2076	1981 - 0,4327
1987 + 0,1583	1987 - 0,4829
Peilmerk 37	Peilmerk 57
1955 + 0,6920	1958 - 0,1599
1958 + 0,6622	1970 - 0,2095
1970 + 0,6370	1974 - 0,2248
1974 + 0,6187	1977 - 0,2376
1977 + 0,6084	1980 - 0,2462
1977 + 0,6084	1981 - 0,2462
1980 + 0,6008	1981 - 0,2462
1983 + 0,5975	1983 - 0,2575
1987 + 0,5912	1987 - 0,2666

De peilmerken 37 en 57 waren vóór het begin van de gaswinning al bekend als 'stevige zakkers'. Van het peilmerk 57 is bekend dat het gedeelte van het gebouw, waarin het is aangebracht, is gefundeerd op houten palen. Dit gedeelte is zichtbaar gezakt ten opzichte van een latere aanbouw op betonpalen. Het peilmerk 35 is slechts éénmaal voor de gaswinning bepaald maar geeft ook het beeld van een 'zakker'. Uit de waargenomen zakking van 35 vóór 1980 kan een 'eigen' zakking van ca. 2 mm per jaar worden afgeleid, dus ca. 14 mm in de zeven jaar tussen 1980 en 1987. Het peilmerk 188 heeft geen oude geschiedenis.

GEOMECHANICA

A. Verrijt

3.1

INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de geomechanische aspecten van bodemdaling besproken, in het bijzonder voor het geval van Friesland. Daarbij zal vooral aandacht worden besteed aan de invloed van de aardgaswinning.

De bodem van Friesland bestaat uit meer of minder slappe lagen, terwijl op grotere diepte de bodem bestaat uit gesteente. In lagen op ongeveer 2000 m diepte bevindt zich op sommige plaatsen gas (of olie). De dikte van de gashoudende lagen is ongeveer 20 m. Vergeleken met de situatie in Groningen liggen de gashoudende lagen minder diep en is de dikte ongeveer een-tiende van die in Groningen. In Friesland is de winbare hoeveelheid dan ook veel minder dan die in Groningen. Ook de te verwachten bodemdaling is in Friesland veel kleiner dan in Groningen.

Bodemdaling aan de oppervlakte kan optreden door een viertal oorzaken:

1. Vervorming van de diepe lagen, door de winning van het gas (of de olie).
2. Vervorming van de lagen aan het oppervlak door belastingen.
3. Vervorming van de lagen aan het oppervlak door daling van de grondwaterstand.
4. Vervorming van de lagen aan het oppervlak door oxydatie.

Om de verschillende oorzaken in een algemeen kader te kunnen plaatsen is het dienstig eerst het mechanisme van de vervorming van poreuze materialen in het algemeen te bezien.

3.2

MECHANICA VAN POREUZE MATERIALEN

Een poreus materiaal bestaat uit een vaste fase, bestaande uit losse of min of meer verkitte korrels. In het meest losse geval kan men denken aan los zand, in het meest vaste geval aan een steenachtig materiaal, met een stelsel van door kleine kanaaltjes verbonden kleine holtes. Poreus gesteente is veelal ontstaan uit korrelachtige materialen, door samendrukking onder hoge drukken (door het gewicht van honderden meters dikke lagen erboven). De vervormingen van poreuze materialen bestaan uit twee componenten: in de eerste plaats de volumeverandering van de korrels en in de tweede plaats de verkleining van de poriënruimte. Dat laatste gaat gepaard met een vervorming in de punten waar de korrels met elkaar in contact zijn. In het geval van losse korrels bestaat dit uit verschuivingen en rollen in de contactpunten. In het algemeen is deze tweede component van de vervorming de grootste, omdat de korrels op zich zelf erg stijf zijn en het volume ervan slechts in geringe mate verandert onder invloed van drukveranderingen. De verkleining van de poriënruimte betekent dat er minder ruimte is voor de vloeistof in de poriën, hetgeen weer betekent dat de vloeistof ofwel wordt samengedrukt, waarbij de druk in de vloeistof oploopt, ofwel dat de vloeistof uit de poriën wegstroomt, op natuurlijke of kunstmatige wijze.

De spanningen in een poreus materiaal worden in het algemeen ook gesplitst in twee

componenten, die de hierboven genoemde twee vervormingsmechanismen beheersen. De eerste component is de vloeistofdruk (deze vloeistof kan water zijn of olie of gas), die zowel de volumeverandering van de vloeistof bepaalt als de volume-verandering van de korrels zelf, die immers praktisch volledig door de vloeistof worden omringd. De tweede component is de zogenaamde korrelspanning, die een maat is voor de krachten die de korrels in de contactpunten aan elkaar overdragen, en die derhalve de vervormingen van het skelet in de contactpunten bepaalt. Deze splitsing van de spanningen, die afkomstig is van Terzaghi, betekent dat de totale spanning in de grond steeds bestaat uit de som van de korrelspanning en de vloeistofdruk. In de grondmechanica is de vloeistof in het algemeen water, en noemt men de vloeistofdruk de waterspanning. De vervormingen van de grond worden voornamelijk bepaald door de korrelspanning, en de veranderingen daarin. Een verandering van de korrelspanning zal direkt tot een vervorming leiden.

De korrelspanningen kunnen door verschillende oorzaken veranderen. Een belangrijke oorzaak is een verandering van de bovenbelasting. Als de spanningen in het grondwater daarbij gelijk blijven, betekent elke toename van de totaalspanning een verandering van de korrelspanning, en dus een vervorming. Maar ook bij gelijkblijvende bovenbelasting kunnen de korrelspanningen veranderen, en wel als de waterspanningen veranderen, bijvoorbeeld door een verlaging van de grondwaterstand. Daarop zal in paragraaf 3.5 worden ingegaan. Naast de instantane vervorming die optreedt bij verandering van de korrelspanningen kan bij constante korrelspanning nog een doorgaande tijdsafhankelijke vervorming optreden, die in de loop van de tijd steeds geringer wordt. Men noemt dat kruip. Deze kruip is vooral van belang bij zeer slappe grondsoorten zoals klei en veen. Bij zand en zandsteen is de kruipvervorming erg klein of verwaarloosbaar.

Voor de vervorming van grond ten gevolge van veranderingen van de korrelspanningen geldt, bij benadering,

$$(1) \quad \varepsilon = \frac{I}{D} \Delta\sigma'$$

waarin D de elasticiteitsmodulus bij zijdelingse opsluiting is en $\Delta\sigma'$ de toename van de korrelspanning. De waarde van deze elasticiteitsmodulus is voor grond en niet al te stijf gesteente in het algemeen ongeveer lineair afhankelijk van het spanningsniveau, dat wil zeggen dat er geldt

$$(2) \quad D = C\sigma'$$

hetgeen wil zeggen dat de stijfheid van de grond, althans in eerste benadering, evenredig is met het niveau van de beginspanningen. Voor normaal zand is de grootte van de parameter C meestal in de orde van grootte van 50 - 250.

Opgemerkt moge worden dat de hierboven beschreven relaties een benaderend en globaal karakter hebben. Absolute geldigheid hebben ze zeker niet, maar ze geven wel een goede indruk van het soort verbanden dat er bestaat tussen vervormingen en spanningen. Men bedenke ook dat de relaties zeker niet gebruikt kunnen worden om de vervormingen van een zandlaag op zeer grote diepte (zeg enige honderden meters diepte) te voorspellen uit het gedrag van een laag aan de oppervlakte. In dergelijke gevallen dient men voor elk van de representatieve lagen apart onderzoek te doen naar de stijfheidsparameters, in het terrein of in het laboratorium. De formules zijn in het algemeen wel goed bruikbaar om de orde van grootte van vervormingen te schatten.

VERVORMING VAN DE DIEPE LAGEN

Schattenderwijs kan men de volgende waarden vinden voor de te verwachten vervormingen ten gevolge van de aardgaswinning in Friesland, in het gebied ten zuiden van Leeuwarden. Hierbij wordt er van uitgegaan dat bij de winning van het gas de druk in het gas wordt verlaagd. Bij winning van aardolie of aardgas door middel van verdringing door water kan de vloeistofdruk gelijk blijven en dan zal er geen aanleiding zijn tot bodemdaling.

Volgens opgave van Petroland is de elasticiteitsmodulus van het gesteente waaruit het gas wordt gewonnen (Grs argileux) 30000 bar, dat is 3000 MPa ($1 \text{ Mpa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$). Het volumegegewicht van grond en poreus gesteente is ongeveer 20 kN/m^3 , en op 2000 m diepte is de totaalspanning dus ongeveer $2000 \text{ m} \times 20 \text{ kN/m}^3 = 40 \text{ MPa}$. Water is ongeveer half zo zwaar, en de hydrostatische vloeistofdruk is op 2000 m diepte dus ongeveer 20 MPa. Dat laatste getal komt ook overeen met de door Petroland gemelde gasdruk. De korrelspanning, het verschil van totaalspanning en waterspanning, is dus aanvankelijk ongeveer 20 MPa. Een elasticiteitsmodulus van 3000 MPa, zoals hierboven genoemd, komt dan overeen met een factor $C = 150$ in formule (2). Dat is alleszins redelijk. Gaat men er van uit dat de druk in het gas door de gaswinning geheel tot nul wordt gereduceerd, dan vindt men voor de vervorming van het gesteente, met formule (1), $\epsilon = 20/3000 = 1/150$. Voor een laag van 20 m dikte betekent dit een totale zakking van 0.13 m. De werkelijk voorspelde zettingen zijn ongeveer de helft hiervan. De berekening hierboven is ook wel erg globaal, en houdt bijvoorbeeld geen rekening met de spreiding van de zakkingen over een groter gebied. Ook is de drukafname gemaximaliseerd, en is geen rekening gehouden met later herstel van de druk. De orde van grootte van de globale berekening is redelijk in overeenstemming met de voorspellingen.

In het geval van een reservoir van ongeveer constante dikte zal de vervorming van het reservoir ook ongeveer constant zijn, en de lagen erboven zullen dan gelijkmatig zakken. In het geval van een reservoir waarvan de dikte geleidelijk afneemt tot nul zullen ook de vervormingen geleidelijk afnemen. Ook aan het oppervlak zal men dan een geleidelijk tot nul afnemende (komvormige) zakking constateren, maar wel over een groter gebied. Het ongeveer cirkelvormige gebied waarover zakking zal optreden ten gevolge van een zeer lokale vervorming op grote diepte heeft een straal die ongeveer even groot zal zijn als de diepte waarop de vervorming (door gaswinning) optreedt. Dat is dus ongeveer 2000 m. De zakking verloopt dan van ongeveer 0.10 m in het midden van de kom tot nul aan de rand, over een afstand van enige kilometers. Schade aan gebouwen en constructies is bij dergelijke vervormingen niet waarschijnlijk.

Schade zou mogelijk wel op kunnen treden bij winning van gas of olie in het geval van een reservoir met abrupte verschillen in dikte, of breuken. Zulke breuken komen in de reservoirs onder Friesland ook voor. Een globale berekening van het effect er van gaat als volgt. Gesteld wordt dat er een breuk is van maximale invloed, namelijk een abrupte overgang van een reservoir van 20 m dikte op een dikte nul. Er is dan op 2000 m diepte een discontinuïteit in de vervormingen, en de vraag is of die discontinuïteit zich tot het oppervlak kan doorzetten. Globaal is bij een laag van 2000 m dikte de gemiddelde verticale korrelspanning 10 MPa. De horizontale korrelspanning is meestal ongeveer de helft hiervan, dat is dus ongeveer 5 MPa. Bezijken langs een verticale breuk zou kunnen optreden als de schuifspanning gelijk wordt aan de horizontale normaalspanning maal de wrijvingscoëfficiënt. Als die wrijvingscoëfficiënt geschat wordt op 0.4 vindt men dat de schuifspanning bij bezijken langs een verticale breuk ligt in de orde van grootte van $\tau = 2 \text{ MPa}$. De elasticiteitsmodulus bij zijdelingse opsluiting is hierboven gesteld op 3000 MPa, op 2000 m diepte. Omdat de stijfheid ongeveer lineair met de diepte verloopt, zie formule (2), is de gemiddelde elasticiteitsmodulus ongeveer 1500 MPa. Stelt men dat de glijdingsmodulus de helft is van de elasticiteitsmodulus (dat is de grootst

mogelijke verhouding), dan is de gemiddelde glijdingsmodulus ongeveer $G = 750 \text{ MPa}$. De elastische hoekvervorming die moet optreden alvorens bezwijken langs het breukvlak kan optreden (en een discontinuïteit zich zou beginnen te manifesteren) is dan $\tau/G = 2/750 = 0.0027$. Voor een laag van 2000 m dikte betekent dit dat er aan de onderzijde een verschil in zakking zou moeten zijn van $0.0027 * 2000 \text{ m} = 5.3 \text{ m}$. Dat is een factor 50 à 100 groter dan de werkelijke zakkingen, en dit betekent dat een dergelijke doorgaande discontinuïteit niet kan optreden. De vervormingen zijn een factor 50 à 100 te klein om een doorgaande breuk op te wekken.

Er kan nog opgemerkt worden dat de uitkomst van deze globale berekening in redelijke mate overeenkomt met die van de veel nauwkeuriger berekeningen die voor het overeenkomstige probleem voor de Groningse situatie zijn gemaakt door het Exploratie en Productie Laboratorium van de Koninklijke Shell (KSEPL), met behulp van een numeriek model. Daarbij werd gevonden dat voor een tot het oppervlak doorlopende breuk of discontinuïteit, in de Groningse situatie, een verschil in zakking in het reservoir vereist is van 12.40 m. De hier gepresenteerde berekening is weliswaar zeer globaal, maar de orde van grootte is redelijk. Omdat de marge zo groot is (een verhoudingsfactor 50 of meer tussen de voor een doorlopende breuk benodigde zakking en de werkelijk optredende) is de conclusie verantwoord.

De uitkomst van deze berekeningen impliceert dat de soms genoemde zeer plaatselijke verzakkingen in weilanden niet door aardgaswinning kunnen worden veroorzaakt.

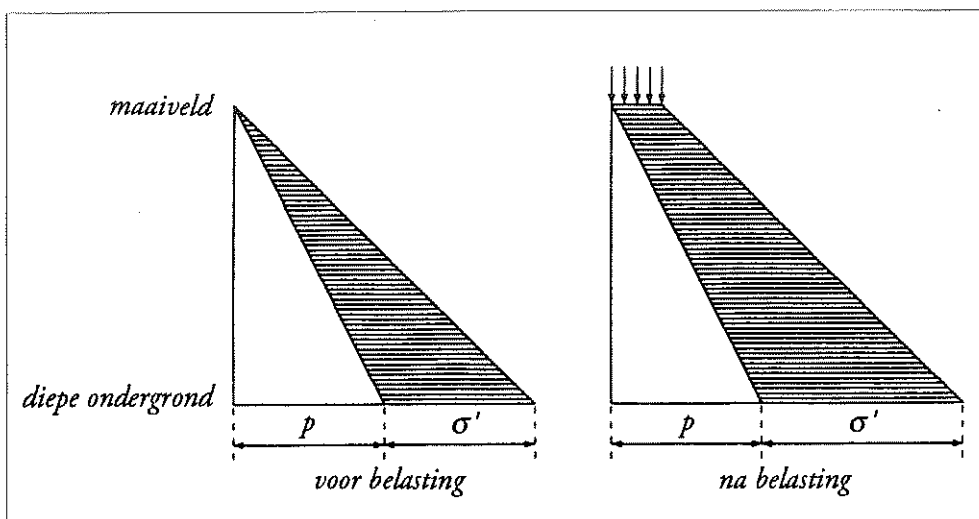
3.4

VERVORMING DOOR OPPERVLAKTEBELASTINGEN

Bij oppervlaktebelastingen, door bijvoorbeeld een weglichaam, of een op staal gefundeerd gebouw, zullen de spanningen in de ondergrond groter worden. Daarbij treedt uiteraard de grootste zakking op direct onder de belasting en zal op grote afstand niets merkbaar zijn. De berekening van de zettingen ten gevolge van de belasting behoort onderdeel te zijn van het ontwerp van de constructie. Ook de bepaling van de grootte van het invloedsgebied maakt daarvan deel uit. In het geval van een ondergrond die voor een groot deel uit slappe lagen klei en veen bestaat kan de zetting aanzienlijk zijn en zal er ook kruip optreden, dat wil zeggen dat de zettingen nog vele jaren zullen doorgaan na het aanbrengen van de belastingen.

Het eenvoudigste geval treedt op als men over een groot oppervlak een gelijkmatige belasting aanbrengt. Het verloop van de spanningen voor en na het aanbrengen van de belasting met de diepte zijn getekend in figuur 3.1, voor het geval van volledig homogene grond, met een grondwaterstand die samenvalt met het maaiveld.

De waterspanningen verlopen lineair met de diepte (dat is de hydrostatische waterdruk), en aanvankelijk geldt hetzelfde voor de totaalspanningen, alleen zijn die ongeveer twee maal zo groot (omdat grond meestal ongeveer twee maal zo zwaar is als water). Na het aanbrengen van de bovenbelasting neemt de totaalspanning toe met een constant bedrag, namelijk de grootte van die bovenbelasting. Als de grondwaterstand niet verandert nemen ook de korrelspanningen met dat bedrag toe. Als gevolg hiervan zal er een zakking van het maaiveld optreden. In dit geval is dat een gelijkmatige zakking, omdat de bovenbelasting gelijkmatig is verondersteld. In het geval van een ongelijkmatige bovenbelasting zal ook de zakking van het maaiveld ongelijkmatig zijn, met alle mogelijke gevolgen van dien.

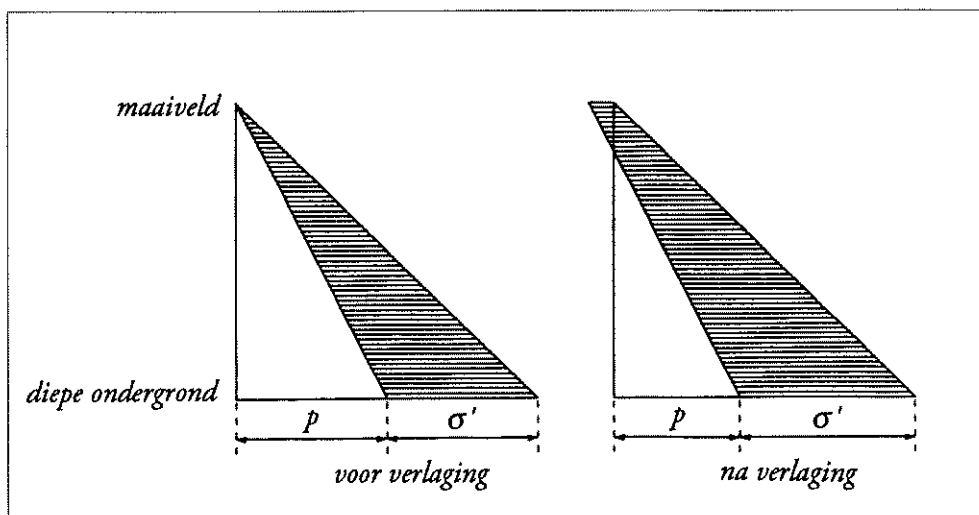


Figuur 3.1. Spanningen bij oppervlaktebelasting. In deze figuur is p de waterspanning en σ de korrelspanning. De som hiervan is de totaalspanning.

3.5

VERVORMING DOOR VERLAGING GRONDWATERSTAND

Bij verlaging van de grondwaterstand, door bijvoorbeeld bemaling of drainage, zullen de waterspanningen in de grond lager worden. De korrelspanningen nemen dan toe, en het gevolg zal zijn dat er een zakking van het oppervlak optreedt. Voor een eenvoudig geval is dit getekend in figuur 3.2.



Figuur 3.2. Spanningen bij verlaging grondwaterstand.

De begintoestand in figuur 3.2 is dezelfde als die in figuur 3.1. Als aangenomen wordt dat de grond met water verzadigd blijft als de grondwaterstand zakt, veranderen de totaalspanningen niet, en is de toename van de korrelspanningen dus precies gelijk aan de afname van de waterspanningen. Als de grond boven het grondwater geheel of gedeeltelijk droog wordt na verlaging van de grondwaterstand nemen de totaalspanningen ook af, met maximaal ongeveer 40% van de afname van de waterspanningen. De toename van de korrelspanningen is dan wat minder dan de afname van de waterspanningen, maar het effect blijft altijd aanwezig.

In figuur 3.2 is ook aangenomen dat de waterspanningen over de volle hoogte van de beschouwde grondlaag met het zelfde bedrag afnemen. Het kan ook voorkomen dat men alleen de grondwaterstand nabij het oppervlak verlaagt, en dat op grotere diepte de grondwaterdrukken gelijk blijven, bijvoorbeeld omdat er een diepe zandlaag is, die in open verbinding staat met een meer of kanaal met een vast peil. In een dergelijk geval zal de verlaging van de waterdrukken met de diepte afnemen. Het effect van vergroting van de korrelspanningen, en dientengevolge het optreden van vervormingen en dus van maaiveldzakkingen, zal evenwel steeds optreden.

Het omgekeerde effect van het hier beschouwde fenomeen kan ook optreden. Als de grondwaterstand verhoogd wordt zullen de korrelspanningen afnemen, en zal de grond zwellen, zij het in aanzienlijk mindere mate (ongeveer een factor 10 minder). Het maaiveld komt dan omhoog. Dit treedt bijvoorbeeld op in gebieden waar de winning van grondwater wordt gestopt, en de grondwaterstand hoger wordt.

In het algemeen is zand een veel stijver materiaal dan klei en veen, hetgeen ook tot uitdrukking komt in de waarden van de samendrukkingsconstante C uit formule (2), die voor klei en veen wel een factor 10 kleiner kan zijn dan voor zand. Bij verlagingen van de grondwaterstand in de orde van grootte van enige decimeters treedt in het geval van een zandlaag nauwelijks vervorming op. In het geval van een laag klei of veen kan een dergelijke verlaging echter al tot behoorlijke zettingen aanleiding geven. Het is dan heel goed mogelijk dat bij een verlaging van de grondwaterstand met 1 m de zakking van het maaiveld in de orde van 10 cm of meer is. Als een dergelijke zakking over een groot gebied optreedt behoeft zelfs dit nog geen schade op te leveren. Indien de zakking echter over betrekkelijk korte afstanden varieert kan dat wel tot aanzienlijke schade aan opstallen leiden. In hoofdstuk 5 wordt hierop nader ingegaan.

3.6

VERVORMING DOOR OXYDATIE

Bij organische gronden, met name veen, kan vervorming optreden door oxydatie van het organische materiaal. In feite verdwijnt dan een gedeelte van het materiaal, en het resultaat is uiteraard een daling van het niveau van het maaiveld. In het algemeen zal de grondwaterstand niet veranderen, omdat die meestal door hydrologische factoren en ingrepen wordt bepaald, zodat er enige ontlasting van de diepere lagen optreedt. Deze zal meestal onvoldoende zijn om de bodemdaling door oxydatie te compenseren. Voor een nadere beschouwing wordt overigens verwezen naar hoofdstuk 4.

3.7

COMBINATIE VAN EFFECTEN

In veel gevallen in werkelijkheid zal een combinatie van de hierboven genoemde effecten optreden. Zo zal men bij maaiveldzakkingen ten gevolge van kruip of oxydatie, en bij een vaste grondwaterstand, constateren dat de grondwaterstand relatief minder diep wordt. Voor de begaanbaarheid, en voor de teelt van gewassen, kan dat nadelig zijn, en men zal geneigd zijn compensatie te zoeken in de vorm van verlaging van de grondwaterstand. Dat heeft dan op zich ook weer maaiveldzakking tot gevolg. In Nederlandse polders zijn dit soort verschijnselen tamelijk normaal. Het betekent dat er een bijna eeuwig voortdurende langzame zakking van het maaiveld is. Voor de bescherming van het land tegen overstroming betekent dit dat er een voortdurende waakzaamheid vereist is. Daar zijn in Nederland dan ook de instrumenten voor aanwezig, bij waterschappen en waterstaat.

Ook een combinatie van maaiveldzakking door gaswinning en de andere genoemde effecten kan optreden. Zo zal gaswinning in het algemeen wel tot maaiveldzakking leiden, maar de grondwaterstand zal meestal niet beïnvloed worden. Ter compensatie kan men de grondwaterstand met een gelijk bedrag verlagen. In dat geval is er geen extra tendens tot maaiveldzakking, omdat in de bovenste lagen de korrelspanningen gelijk blijven. In de praktijk kan men natuurlijk de maaiveldzakking door gaswinning niet simultaan volgen met grondwaterstandsverlagingen, zodat er steeds enige extra vervorming zal zijn. Bovendien zal men in veel gevallen, als de grondwaterstand toch moet worden aangepast, tegelijk nagaan of er wellicht nog andere redenen zijn om de grondwaterstand extra te verlagen, bijvoorbeeld ten behoeve van de landbouw of de begaanbaarheid. In een dergelijk geval zal een extra zakking optreden door de extra verlaging van de grondwaterstand.

Op de hier genoemde verschijnselen wordt, met name voor de situatie in Friesland, nader ingegaan in hoofdstuk 4.

3.8

ONGELIJKMATIGE ZETTINGEN

Voor gebouwen en constructies die op staal gefundeerd zijn zal in het algemeen een volledig gelijkmatige zakking van het maaiveld niet tot schade leiden. Bij de komvormige zettingen ten gevolge van gaswinning in Friesland, waarbij de diameter van de kom vele kilometers is, en de maximale zetting in de orde van tien centimeter, is schade niet te verwachten. Hierboven is aangetoond dat abrupte zettingsverschillen door doorgaande breuken bij de omstandigheden en eigenschappen in Friesland niet zullen optreden. Deze conclusie geldt ook voor gebouwen en constructies die geheel of gedeeltelijk op palen zijn gefundeerd. Bij de zakkingen ten gevolge van gaswinning zakt immers het gehele bovenliggende pakket en is er geen verschil in zakking tussen het maaiveld en de zandlaag waarop de palen staan.

Op de schade aan gebouwen door de verschillende factoren en oorzaken wordt nader ingegaan in hoofdstuk 5.

WATERHUISHOUDING

N. Molenaar

4.1

ALGEMEEN

In hoofdstuk 3 is aangegeven dat er door verlaging van de grondwaterstand bij de bovenste grondlagen zetting ofwel klink kan optreden waardoor het maaiveld kan gaan dalen. Daarbij vormt zand de meest stijve grondsoort en veen de minst stijve. Klei neemt een middenpositie in.

Klink komt hoofdzakelijk voor beneden de grondwaterspiegel en is evenredig met de samendrukbaarheid en de dikte van de betreffende grondlagen.

Voorts is klink afhankelijk van de geschiedenis van het beschouwde bodemprofiel. Een in voorgaande jaren door een inmiddels weer opgeheven lagere grondwaterstand ontstane klink is slechts zeer ten dele omkeerbaar. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer in een droge zomer de grondwaterstand lager is geweest dan ooit tevoren. Er is dan een extra klink opgetreden, welke grotendeels gehandhaafd blijft. Dit heeft tot gevolg dat bij een later in de tijd aangebrachte gematigde grondwaterstandsvaling de daaruit voortvloeiende klink relatief gering is.

Zetting of klink van de ondiepe ondergrond kan, afhankelijk van de grondsoort, van de wijze van fundering en van overige constructieve omstandigheden, scheefstand of scheuren bij gebouwen teweeg brengen. Dit is in het bijzonder het geval wanneer de zetting of klink over een korte afstand ongelijkmatig is. Voorts kunnen bij verlaging van de grondwaterstand houten funderingsonderdelen boven de grondwaterspiegel komen en tot rotting overgaan. Hierdoor kan de sterkte van de fundering worden aangetast, waardoor eveneens schade aan gebouwen kan ontstaan (zie hoofdstuk 5).

In de Inleiding is het gebied aangegeven, waarop de aandacht van de commissie in het bijzonder gericht is geweest (figuur 4.1) alsmede de reden waarom. In dit gebied zijn in mei 1988 foto's gemaakt van een zestigtal boerderijen en woningen, welke alle min of meer tekenen van schade vertonen. Deze foto's zijn genomen in verband met een in het kader van de ruilverkaveling 'Oude Jokse' voorziene peilverlaging. Deze verlaging is ten noorden van Grouw uitgevoerd in 1988 en 1989. Ten zuiden van Grouw moet deze nog plaatsvinden.

Gegeven deze schade alsmede de aangegeven relatie tussen verlaging van de grondwaterstand en mogelijke schade aan gebouwen, is het zinnig na te gaan in welke mate de grondwaterstanden in het aandachtsgebied gedurende de afgelopen decennia zijn verlaagd.

4.2

MOGELIJKE OORZAKEN VAN GRONDWATERSTANDSDALINGEN IN HET AANDACHTSGEBIED

Het desbetreffende gebied kan in hoofdzaak gekendstet worden als een klei-op-veen-gebied. Het kleidek varieert in dikte van enkele centimeters tot meer dan een meter. De veendikte bedraagt 2 à 3 meter. Bij opnamen in 1974/1975 bleek de gemiddelde hoogste grondwaterstand onder het maaiveld minder dan 40 cm beneden maaiveld te zijn en de gemiddelde laagste grondwaterstand deels 50 tot 80 cm, deels 80 tot 120 cm, en deels meer dan 120 cm.

Ook bij ondiep ontwaterde veenweidepercelen is sprake van maaiveldsdaling. Dit is niet

alleen het gevolg van klink, maar ook van krimp en oxydatie (zie F.B. Janssen - Maaiveldsdalingen in het Friese veenweidegebied).

Bij krimp betreft het een afname van het volume door uitdroging van de bovengrond. Krimp is voor een deel reversibel, hetgeen inhoudt dat herbevochtiging een toename van het volume tot gevolg heeft, waarbij echter het oorspronkelijke volume niet meer wordt bereikt.

Bij oxydatie is er sprake van materiaalverlies (organische stof) vooral in de zomer.

Beide laatste verschijnselen doen zich voor boven de grondwaterspiegel en sterker naarmate de veenlaag dikker en het kleidek dunner is.

Klink, krimp en oxydatie kunnen te zamen tot een aanzienlijke maaiveldsdaling leiden. Bij handhaving van de grondwaterstand wordt deze ten opzichte van het maaiveld als gevolg van de genoemde daling steeds minder diep. Dit veroorzaakt landbouwkundig een grotere wateroverlast met negatieve effecten op opbrengst en begaanbaarheid. Deze omstandigheid heeft er in het verleden in het algemeen toe geleid dat bij deze gronden werd overgegaan tot peilverlaging in de sloten, gericht op een daling van de grondwaterstand in de percelen. Dit bracht wederom extra klink, krimp en oxydatie teweeg, waardoor opnieuw behoefte ontstond aan peilverlaging. Zo heeft in het bijzonder bij veengronden een geleidelijke peilverlaging plaats gevonden, veelal tot het moment waarop in latere jaren een meer ingrijpende peilverlaging werd doorgevoerd met het oog op de meer stringente eisen welke in de landbouw worden gesteld ten aanzien van de waterhuishouding.

In paragraaf 4.3 wordt aangegeven in welke mate het open-waterpeil in het aandachtsgebied zich sinds de vorige eeuw heeft gewijzigd. Hiervan uitgaande wordt in paragraaf 4.4 een poging gedaan de verandering in de grondwaterstanden gedurende de laatste decennia te benaderen.

4.3

DE WATERHUISHOUDING IN HET AANDACHTSGEBIED VANAF DE EEUWWISSELING TOT HEDEN

De oudste informatie levert blad Heerenveen 1 van de Waterstaatskaart, bewerkt in 1876. Met uitzondering van geringe oppervlakten wordt het gebied rond Grouw bemalen met windmolens, voor een deel beperkt tot zomerbemaling. Onvoldoende beheersing van de Friese boezem leidde tot frequente wateroverlast in de zomer. Inundatie was 's winters een regelmatig terugkerend verschijnsel. Deze uitgangssituatie is alleen relevant voor gebouwen van vóór 1900.

Het is daarom juister de eerste herziening van de Waterstaatskaart van 1920 als uitgangspunt te nemen (zie figuur 4.2). Ten noorden van Grouw is er dan nog veel windbemaling. Een bemalingsconcentratie is gerealiseerd in de 'Polder de Grootte Krite' en 'It Ald Skroet' en ten zuiden van Grouw in het waterschap 'Leppedijk'. De op de Waterstaatskaart vermelde peilen moeten vooral gezien worden als streefpeilen. Windbemalingen kenden beperkingen evenals de grotere gemalen die met stoom werden aangedreven. Het peilbeheer van de Friese boezem is sinds 1920 verbeterd door de bouw van het Woudagemaal bij Lemmer, maar winterse overstromingen bleven voorkomen. Dit heeft geduurd tot 1968, in welk jaar het tweede boezemgemaal bij Staveren en vergrote spuimogelijkheden op het Lauwersmeer aan de sterke fluctuaties van het boezempeil een einde maakten.

De herziene Waterstaatskaart van 1947 (figuur 4.3) wijst nog niet op duidelijke polderpeilverlagingen ten opzichte van 1920, behoudens in 'It Ald Skroet'. De windbemaling ten noorden van Grouw is dan echter nagenoeg verdwenen, terwijl de vervanging van windbemaling en stoomgemalen door elektrische en dieselmolens een betere peilbeheersing mogelijk gemaakt moet hebben.

De herziene Waterstaatskaart van Heerenveen-West uit 1967 (uitgave 1968) geeft een

beeld dat nauwelijks afwijkt van 1947. Opnamen van polderpeilen in de tweede helft van de jaren zeventig in het kader van de ruilverkaveling 'Oude Jokse', waarbinnen het aandachtsgebied goeddeels is gelegen, tonen echter aan dat er ten opzichte van 1947 wel duidelijk lagere polderpeilen voorkomen. Deze peilen zijn geactualiseerd ten behoeve van de tervisielegging in 1984 van de uitkomsten van de zogenaamde eerste schatting (basis voor de inbreng) in de ruilverkaveling 'Oude Jokse' (figuur 4.4). Zij geven verschillen met die van 1947 van enkele centimeters tot meer dan 40 cm. In de polder 'It Ald Skroet' is een verdere peilverlaging tot stand gekomen in het kader van de ruilverkaveling 'Garijp-Wartena' in de jaren zestig.

Zoals reeds eerder vermeld is ten noorden van Grouw in 1988 en 1989 een peilverlaging doorgevoerd in het kader van de ruilverkaveling 'De Oude Jokse'. De verlaging bedraagt 30 à 70 cm, behoudens rond gebouwen en langs wegen waar de genoemde peilen van 1984 gehandhaafd zijn (figuur 4.5).

Het bovenstaande toont aan dat de slootpeilen in het aandachtsgebied in de achterliggende decennia niet gelijk zijn gebleven maar duidelijk zijn gedaald. Van belang is te weten in welke mate de grondwaterstanden in de percelen hierop hebben gereageerd.

4.4

DE WIJZIGINGEN IN DE GRONDWATERSTAND IN HET AANDACHTSGEBIED GEDURENDE DE LAATSTE DECENNIA

Als gevolg van de wisselende verhouding tussen neerslag en verdamping gedurende het jaar hebben grondwaterstanden tussen de sloten in de winter een bol en in de zomer een hol verloop.

Een slootpeilverlaging werkt door in de gemiddelde grondwaterstand in de percelen. De mate van doorwerking is afhankelijk van de afstand tot de sloot. Nabij de sloot zal de grondwaterstands daling gelijk zijn aan de peilverlaging. In het midden van een perceel zal deze daling, afhankelijk van het bodemprofiel, een deel van de peilverlaging bedragen.

Een globale indruk omtrent grondwaterstands daling in het verleden valt af te leiden uit het verschil tussen de gemiddelde zomer-grondwaterstanden welke de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (COLN) in de jaren 1952-1954 in het onderwerprijke gebied heeft geregistreerd en de gemiddeld laagste grondwaterstanden welke de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) heeft bepaald in de jaren 1974-1975. Deze standen waren respectievelijk 40 tot 100 cm en 50 tot meer dan 120 cm beneden maaiveld, waarbij bedacht moet worden dat het maaiveld in de tussenliggende periode ook nog is gezakt.

Een verdere aanwijzing voor grondwaterstands daling zou kunnen worden verkregen uit de gegevens van de ook binnen het aandachtsgebied vóórkommende peilbuizen, waarin met verschillende frequentie, veelal vanaf 1952, grondwaterstanden zijn gemeten.

De meeste van deze buizen zijn rond de twee meter lang (landbouwbuizen), terwijl enkele zogenaamde peilputten tientallen meters lang zijn met het oog op de meting van de stijghoogte van het diepe grondwater. De grondwaterstanden worden vastgesteld ten opzichte van NAP door de afstand vanaf de grondwaterstand tot de bovenkant van de de buis af te trekken van de hoogte in NAP van deze bovenkant welke bij plaatsing van de buis is bepaald.

Binnen het aandachtsgebied zijn de grondwaterstandscurven bezien van die buizen welke volgens de beschikbare informatie sinds de plaatsing niet zijn verplaatst (afkomstig uit het archief van de DGV-TNO). Het betreft de landbouwbuizen L8, L11, L22 en L27 en verder de peilput P42. Deze buizen zijn geplaatst in 1952 behoudens P42 welke in 1959 is aangebracht. Verder is de in 1952 geplaatste en in 1974 herplaatste landbouw buis L16 mede in beschouwing genomen (figuur 4.1).

Van deze buizen zijn bij L8, L11, L22, L23 en L27 de grondwaterstanden 4x per jaar opgenomen. Uit de bij deze buizen behorende grondwaterstandscurven zijn grafische voorstellingen van het voortschrijdend tweejaarlijks gemiddelde afgeleid (figuren 4.6 en 4.7). Op basis van deze gegevens valt geen duidelijk trend te onderkennen. Alleen bij L27 lijken de uitkomsten sinds het begin van de jaren zeventig op een iets lager niveau te liggen. Gezien het geringe aantal metingen per jaar moet men echter voorzichtig zijn met het trekken van conclusies.

P42 en L16 behoren tot de buizen welke 24x per jaar worden gemeten. Uit de bij deze buizen behorende curven (figuren 4.8 en 4.9) valt af te leiden dat de stijghoogte van het diepere grondwater bij P42 10 à 15 cm is gedaald maar dat de grondwaterstand bij L16 is gestegen. Dit laatste blijkt het gevolg te zijn van een onjuiste bepaling van de hoogte in NAP van de bovenkant van de buis bij de herplaatsing in 1974. In 1988 is deze hoogte opnieuw gemeten. Voorts is aan het einde van de reeks een meerjarig gemiddelde van de grondwaterstanden in deze buis bepaald ten opzichte van de bovenkant van de buis. Door vergelijking van deze gegevens met dezelfde gegevens aan het begin van de reeks kan worden aangenomen dat de gemiddelde grondwaterstand nabij L16 sinds 1952 met rond 9 cm is gedaald. Dit is redelijk in harmonie met de sinds 1961 gemeten gemiddelde daling van het open-waterpeil van 10 à 15 cm bij de peilschaal S16 welke in de directe nabijheid van L16 is gelegen.

In het algemeen geven de bovenstaande bevindingen geen bevredigend beeld van de relatie tussen de daling van het open-waterpeil en van de grondwaterstand. Een oorzaak hiervan kan gelegen zijn in de mogelijkheid dat het maaiveld en in samenhang daarmee een aantal buizen in de loop van de jaren zijn gezakt, zodat de waarnemingen ten opzichte van NAP in toenemende mate onjuist zijn weergegeven.

Teneinde hier zicht op te krijgen is in juli 1990 de hoogte ten opzichte van NAP van de bovenkant van de buis en van het maaiveld bij de buis opnieuw gemeten voor de buizen L8, L11, L22, L23, L27 en P42. Verder zijn bij deze hermeting een drietal niet verplaatste buizen meegenomen ten westen van het aandachtsgebied, namelijk L10, L13 en L14 (figuur 4.1).

De uitkomsten van deze waterpassing zijn hieronder weergegeven:

	Maaiveldhoogte in 1990 vergeleken met die in 1952 c.q. 1959	Hoogte van de bovenkant van de buis in 1990 vergeleken met de hoogte in 1952 c.q. 1959
L8	- 0.20 m	- 0.15 m
L10	- 0.09	+ 0.01
L11	- 0.02	+ 0.03
L13	+ 0.18	+ 0.23
L14	- 0.05	- 0.03
L22	+ 0.07	+ 0.18
L23	- 0.42	- 0.40
L27	- 0.07	- 0.07
P42-1	0	- 0.01
P42-2	0	0

De nieuw verkregen gegevens vertonen een grillig beeld. Plaatselijk verschillende omstandigheden kunnen daarbij een rol gespeeld hebben. Bij sommige rijst echter het vermoeden dat er ook verstoringen of certijds gemaakte meetfouten in het geding zijn.

Eerder is naar voren gekomen dat in het aandachtsgebied uit de grondwaterstandscurven

bij de buizen L8, L11, L22 en L23 geen duidelijke dalende trend valt af te leiden. Van L27 wijst de curve op enige daling van de gemiddelde grondwaterstand, terwijl op basis van de curven van P42 een daling van de stijghoogte van het diepere grondwater van 10 à 15 cm mag worden aangenomen. Bij L16 is sprake van een grondwaterstands daling van rond 9 cm.

Als deze gegevens worden gecombineerd met de gegevens van de hermeting van de bovenkant van de buizen is het mogelijk de langs deze weg benaderde wijzigingen van de grondwaterstanden tussen 1952 en heden te benaderen. Daarbij is er vanuit gegaan dat de wijziging van de hoogte van de bovenkant van een buis moet leiden tot een evengrote aanpassing van de gemiddelde grondwaterstand ter plaatse van die buis. De aldus verkregen wijzigingen zijn hieronder weergegeven in samenhang met de eerdergenoemde wijzigingen in het open-waterpeil tussen 1947 en 1984:

	Wijziging gemiddelde grondwaterstand tussen 1952 en heden	Wijziging open-waterpeil tussen 1947 en 1984
L8	15 cm daling	27 cm daling
L11	3 cm daling	24 cm daling
L16	9 cm daling	24 cm daling
L22	18 cm stijging	0 cm
L23	40 cm daling	9 cm daling
L27	> 7 cm daling	15 cm daling
P42-1	10 à 15 cm daling	15 cm daling
P42-2	10 à 15 cm daling	15 cm daling

Als gevolg van de eerder besproken verscheidenheid bij de uitkomsten van de hermeting van de bovenkant van de buizen en mede van het feit dat uit de Waterstaatskaart niet altijd ondubbelzinnig het open-waterpeil ter plaatse van de buizen valt af te lezen, geven bovenstaande gegevens geen volkomen uitsluitel over de daling van het open-waterpeil en in relatie daarmee van de daling van de grondwaterstand.

Wel kan de algemene conclusie worden getrokken dat er als gevolg van dalingen van open-waterpeilen grondwaterstands dalingen hebben plaats gevonden in de periode 1947 tot 1984, hetgeen in het bijzonder valt af te lezen uit de gegevens bij de in het midden van het aandachtsgebied staande buizen L8, L16, L27 en P42, nog afgezien van de mogelijke grondwaterstands dalingen in de periode vóór 1947 op basis van verbetering van de peilbeheersing in die periode. De gegevens zijn echter van dien aard dat op grond daarvan een precieze omvang van de grondwaterstands dalingen niet is vast te stellen. Dit leidt er tevens toe dat zij onvoldoende basis vormen voor een oordeelsvorming bij schade aan gebouwen in individuele gevallen, temeer daar in die gevallen naast de bodemkundige omstandigheden ook de omvang van erfverharding en erfbeplanting van invloed kan zijn op de grondwaterstand. Voorts kan het vóórkomen dat het slootpeil in de directe omgeving van de gebouwen hoger is dan in de omliggende polder.

Wel dient nog met nadruk vermeld te worden dat veelal uit de beschouwde grondwaterstandscurven duidelijk de grote invloed van droge zomers valt af te leiden zoals bijvoorbeeld die van 1959 en 1976. Eerder is aangegeven dat extra lage zomergrondwaterstanden kunnen leiden tot een extra blijvende klink, welke van negatieve invloed kan zijn op de gesteldheid van gebouwen. Dit rechtvaardigt de opvatting dat bij de invloed van de daling van de grondwaterstand op de mate van klink in het onderwerpelijke gebied in de afgelopen decennia de grondwaterstanden in extra droge zomers van relatief groot belang zijn geweest.

DE RELATIE TUSSEN GASWINNING EN DE GRONDWATERSTAND

De aardgaswinning rond Grouw is begonnen in 1972 en is nog nergens ten einde gekomen. De uiteindelijk voorziene zakking van het maaiveld in dit gebied bedraagt maximaal 5 cm. Hiervan uitgaande ligt de zakking op dit moment in de orde van grootte van enkele centimeters.

Maaiveldsdaling als gevolg van gaswinning leidt bij gelijkblijvende waterstanden tot een landbouwkundig minder goede drooglegging. In beginsel zal er naar worden gestreefd de oorspronkelijke drooglegging (afstand maaiveld tot slootpeil) zoveel mogelijk te behouden door verlaging van het open-waterpeil. Deze verlaging is gericht op het verkrijgen van de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld van vóór de aardgaswinning, waardoor de oorspronkelijke toestand weer wordt bereikt. In zo'n geval is er geen invloed van gaswinning op klink in de bovenste grondlagen. Daarnaast is er het feit dat de maaiveldsdaling ten gevolge van de aardgaswinning rond Grouw in absolute zin en veelal ook in relatieve zin zeer klein is ten opzichte van de totale dalingen van het open-waterpeil gedurende de laatste decennia in dit gebied.

Deze beide omstandigheden tonen aan dat het mogelijke aandeel van aardgaswinning in polderpeilverlaging en grondwaterstands­daling slechts van zeer ondergeschikte betekenis kan zijn.

Ook de vraag echter of er in de toekomst in Friesland bij verdere voortgang van de voorgenomen aardgaswinning peilaanpassingen te verwachten zijn die zullen resulteren in een grotere dan de oorspronkelijke drooglegging verdient aandacht. Bij maaiveldsdaling door winning van aardgas krijgt het aardoppervlak de vorm van een platte schotel. Naarmate de maximale daling groter is, en de afstand waarover de daling plaatsvindt kleiner, kan de noodzaak ontstaan, vergeleken met de oorspronkelijke drooglegging, plaatselijk zowel een grotere als een kleinere drooglegging te accepteren bij het streven door peilaanpassing de oorspronkelijke drooglegging gemiddeld zoveel mogelijk te benaderen. Bij een grotere drooglegging kan een verlaging van de grondwaterstand optreden, welke tot extra klink in de ondergrond kan leiden.

Voor de vaste wal van de provincie geldt tot heden toe een prognose, welke maximaal een zakking van het maaiveld aangeeft van 16 cm. Op de meeste plaatsen is deze prognose veel lager. Niet moet worden uitgesloten dat deze prognoses naar beneden kunnen worden bijgesteld op grond van recente onderzoeksgegevens in Groningen. Maar ook los hiervan mag worden aangenomen dat, gegeven de thans voorziene maximale maaiveldsdalingen en de afstand waarover deze dalingen worden bereikt, bij eventuele peilaanpassingen gemakkelijk grondwaterstands­dalingen vermeden kunnen worden die tot extra klink van enige betekenis zouden kunnen leiden.

VERGELIJKINGS­GEBIEDEN

Om een zo goed mogelijk oordeel te kunnen vormen over het hoe en waarom van de vóórkomende schade aan gebouwen in het aandachtsgebied, heeft de commissie twee gebieden bezocht, welke buiten de invloed van de gaswinning liggen en waar evenals in het aandachtsgebied klei-op-veengronden vóórkomen en de waterpeilen de laatste decennia geleidelijk zijn gedaald. Het betreft het dorp Oosterzee-Buren in de gemeente Lemsterland en een gebied ten westen van IJlst ten noorden en ten zuiden van de lijn Oosthem-Westhem in de gemeente Wymbritseradeel.

Oosterzee-Buren in de gemeente Lemsterland

Oosterzee-Buren ligt in de in voorbereiding zijnde ruilverkaveling 'Echtener en Grootte Veenpolder'. De bodem bij dit dorp bestaat overwegend uit veenmosveen ter dikte van 1.50 à 3.00 meter, rustend op een zandondergrond en afgedekt door een kleilaag, waarvan de dikte gering is ten opzichte van het kleidek in het aandachtsgebied.

De Waterstaatskaart van 1923 (figuur 4.10) vermeldt een zomerpeil van AP - 1.05 meter en een bemaling met twee windmolens. De kaart van 1952 geeft twee elektrische vijzelgemalen aan welke nog steeds functioneren. De kaarten van 1952 en 1969 suggereren een constant peil van - 1.05 meter. Uit peilopnamen van de Landinrichtingsdienst in de jaren 1976 - 1988 blijkt evenwel dat ook in dit gebied sprake is geweest van een geleidelijke polderpeilverlaging. Het polderpeil ligt thans gemiddeld rond - 1.50 meter NAP.

Een globale aanduiding voor de daling van de grondwaterstand in dit gebied levert ook hier de vergelijking tussen de gemiddelde zomergrondwaterstanden van 40 tot 70 cm beneden maaiveld in de periode 1952-1954 geregistreerd door de COLN en de door de Stiboka vastgestelde gemiddelde laagste grondwaterstanden van 80 tot 120 cm beneden maaiveld in de periode 1976-1977.

In tegenstelling tot het aandachtsgebied is hier sprake van een potentieel inzijsingsgebied, hoewel de drooglegging van de Noordoostpolder slechts in zeer beperkte mate invloed heeft gehad op de waterhuishouding in dit gebied.

Bij een terreinbezoek heeft de commissie bij een aantal gebouwen schade geconstateerd die in belangrijke mate vergelijkbaar is met die in het aandachtsgebied.

Gebied ten westen van IJlst in de gemeente Wymbritseradeel

Het betreft een klei-op-veengebied dat waterhuishoudkundig (potentieel kwelgebied) en bodemkundig in hoge mate vergelijkbaar is met het aandachtsgebied van Grouw. Het kleidek is wisselend van dikte, variërend van enkele decimeters tot meer dan één meter. De veendikte is overwegend 2 à 3 meter en de zandondergrond ligt op 2 à 4 meter onder maaiveld.

De Waterstaatskaart uit 1873 geeft aan dat het gebied nagenoeg geheel door windmolens werd bemalen. Deze kaart vermeldt geen peilen. Deze zijn wel aangegeven op de herziene kaart van 1922 (figuur 4.11). Latere versies brengen geleidelijk verlaagde polderpeilen in beeld. Door de Landinrichtingsdienst zijn in de jaren 1977-1983 polderpeilen opgenomen. Het gemiddelde van een negental opnamen is eveneens in figuur 4.11 weergegeven. De verschillen met 1922 lopen uiteen van enkele centimeters tot een aantal decimeters.

Door de COLN in de jaren 1952-1954 geregistreerde gemiddelde zomer- grondwaterstanden bedragen 40 tot 140 cm onder maaiveld. De in 1974-1978 door de Stiboka bepaalde gemiddeld laagste grondwaterstanden variëren van 80 tot meer dan 120 cm beneden maaiveld.

In dit gebied heeft de commissie enkele tientallen boerderijen en woningen aangetroffen welke een schade vertonen die naar omvang geen wezenlijke verschillen laat zien met die in het aandachtsgebied.

SCHADE AAN BEBOUWING

W.J. Beranek

5.1

INLEIDING

In de gebieden van Friesland waar bodemdaling door aardgaswinning kan optreden, bestaat de bebouwing vrijwel uitsluitend uit laagbouw. Het zijn veelal gemetselde woonhuizen en bedrijfsgebouwen (boerenschuren), die zowel op staal als op palen gefundeerd kunnen zijn. Zoals bekend is de bodem in de omgeving van Grouw weinig draagkrachtig. De bovenste slappe lagen van de bodem bestaan uit veen met kleidek. De wat vastere pleistocene zandlagen beginnen op een diepte van 2 tot 4 meter beneden het maaiveld.

Gemetselde gebouwen zijn gevoelig voor ongelijkmatige zakkingen van de bodem, hierdoor kan scheefstand en/of scheurvormig optreden. Alvorens de invloed van ongelijkmatige zakkingen door externe oorzaken te bespreken, lijkt het zinvol om eerst na te gaan hoe gebouwen de daarop werkende belastingen (voornamelijk het eigen gewicht) naar de ondergrond afdragen en welke spanningen en vervormingen daaruit voortvloeien. Als hierbij ook trekspanningen in het metselwerk optreden is er immers al een kans op scheurvorming. Vervolgens kan dan worden onderzocht door welke oorzaken deze kans op scheurvorming in de loop der tijd zodanig kan toenemen, dat inderdaad scheuren zullen optreden of dat reeds aanwezige scheuren verder worden vergroot.

In paragraaf 5.2 wordt het probleem eerst in hoofdlijnen besproken. In de daarop volgende paragrafen wordt meer in detail op een en ander ingegaan.

5.2

PROBLEEMSTELLING

Indien een gemetseld gebouw op staal wordt gefundeerd op een betrekkelijk slappe, maar verder volkomen homogene bodem, zullen in het overgrote deel van de muren drukspanningen ontstaan. Toch zullen op een aantal plaatsen trekspanningen optreden. De oorzaak hiervan ligt in een zodanige geometrie van gebouw en fundering dat de tegendrukken vanuit de ondergrond niet rechtstreeks evenwicht kunnen maken met het gewicht van de erboven liggende gebouwdelen. Meer in het bijzonder spelen hierbij de volgende zaken een rol:

- de aanwezigheid van muuropeningen (ramen en deuren),
- onjuist gekozen breedten van de funderingsaanleg,
- verschillende diepten van de fundering.

Deze plaatselijke trekspanningen kunnen vrij gemakkelijk waarden bereiken die de treksterkte van het metselwerk benaderen, zelfs bij een optimale uitvoering. Door variatie in de grondgesteldheid, het optreden van bodemdalingen (door welke oorzaak dan ook) en een gelcidelijke achteruitgang van de kwaliteit van de bouwmaterialen in de loop der tijden kunnen de trekspanningen toenemen tot waarden die de treksterkte van het metselwerk overschrijden, zodat scheuren optreden. Hierdoor zal de samenhang van het gebouw verminderen en zal ook

de afdracht van de belastingen enigermate worden gewijzigd. Het gebouw past zich langzaam aan de nieuwe toestand aan, waardoor de scheurwijdte kan toenemen en over het algemeen ook nieuwe scheuren zullen ontstaan. Het gebouw blijft dus min of meer in beweging.

Om scheurvorming te voorkomen zou het gebouw òf in het geheel niet moeten zakken òf volkomen gelijkmatig moeten zakken. Aan de eerste voorwaarden is bij funderingen op staal in veengebieden niet te voldoen. Om te zorgen dat het gebouw bij een fundering op staal zich als een star blok gedraagt, is een stevig gewapend beton-fundering nodig die hoegenaamd niet vervormt. Scheefzakken blijft dan nog altijd mogelijk. Dit laatste kan slechts worden voorkomen door het aanbrengen van een paalfundering, bestaande uit gewapend betonpalen die op een dieper gelegen draagkrachtige laag rusten.

5.3

AARD VAN DE BEBOUWING

In het beschouwde gebied komt vrijwel uitsluitend laagbouw voor. De woningen bestaan meestal uit één of twee woonlagen met een zolder. De boerenschuren bestaan uit lage gemetselde muurtjes met een grote hoge kap. Het gewicht van de kap wordt grotendeels afgevoerd via het 'gebint' (dat is een samenstel van houten balken, schoren en stijlen). De stijlen zijn afzonderlijk gefundeerd op poeren, zie onder b.

Buitenmuren van oudere woningen bestaan meestal uit steens metselwerk met een dikte van 0,22 m. Binnenmuren en muren van aanbouwen kunnen ook bestaan uit halfsteens metselwerk met een dikte van 0,11 m.

Bij de 'nieuwere' bouw na 1930 komen spouwmuren in zwang. Dit zijn twee halfsteensmuren met een tussenruimte voor isolatiedoeleinden (0,11 - 0,05 - 0,11 m). Bij deze bouwwijze rusten de muren meestal op een gewapend betonbalk, die via een verbrede voet weer op staal kan zijn gefundeerd, maar ook via palen op dieper liggende vaste lagen kan rusten.

Bij de funderingen kunnen we drie typen onderscheiden, waarbij type b. min of meer een overgang vormt tussen a. en c.

- a. Een fundering op staal
- b. Een fundering op poeren
- c. Een paalfundering

ad a. Een fundering op staal

Hierbij rusten de muren via een verbrede voet rechtstreeks op de ondergrond, die over een zekere diepte is uitgegraven (beneden de vorstgrens). Het is mogelijk dat eerst een grondverbetering in de uitgraving is aangebracht. Bij funderingen op staal kan de volgende onderverdeling worden aangebracht:

1. Een verbreding van het metselwerk van de muur
2. Een gewapende of ongewapende betonstrook of balk waar de muur op rust.

ad b. Een fundering op poeren.

Poeren zijn min of meer vierkante verbredingen van metselwerk of beton in de vorm van een afgeknotte pyramide. De poeren worden op regelmatige afstanden onder de muur geplaatst. Tussen de poeren worden zgn. spaarbogen gemetseld, waar de niet rechtstreeks ondersteunde muurgedeelten op rusten.

De poeren kunnen rechtstreeks op staal zijn gefundeerd maar ook via 4 tot 6 houten palen op de zandlaag rusten.

ad c. Een paalfundering Hierbij rusten de muren op een strook of balk (meestal van beton). Deze balk wordt weer ondersteund door palen die in het onderzoeksgebied op de wat vastere zandlaag rusten.

Bij paalfunderingen kunnen we vier typen onderscheiden:

1. Houten palen waar de muren meestal via een houten plank op rusten.
2. Houten palen met beton-opzetters met er boven een betonbalk.
3. Betonpalen met er boven een betonbalk.
4. Boorpalen waarbij een gat in de grond wordt geboord waar beton in wordt gestort. Tussen muur en boorpalen wordt weer een betonbalk aangebracht.

Naarmate het kleidek dunner wordt, zijn meer gebouwen met een paalfundering te verwachten. Bij oudere gebouwen voor 1925 worden uitsluitend houten palen aangetroffen. Bij meer recente gebouwen na 1950 komen voornamelijk betonpalen voor of houten palen met beton-opzetters, maar ook wel boorpalen.

Qua vorm van bebouwing kan de volgende indeling worden gemaakt:

a. Woonhuizen:

- Alleenstaande woning
- 'Twee onder één kap'
- Rijtjeshuizen met 3 tot 8 woningen per rijtje

b. Boerderijen:

- Kop-hals-romp type
- Kop-romp type
- Stelp type ('alles onder één kap')

Bij de boerderijen zijn de woning en het bedrijfsgedeelte vrijwel altijd met elkaar verbonden; een afzonderlijk vrijstaand bedrijfsgedeelte komt zelden voor. Zowel bij de woningen als de bedrijfsgedeelten van de boerderijen kunnen alle voorheen genoemde funderingstypen voorkomen, hierbij kunnen woning en bedrijfsgedeelte op verschillende wijze zijn gefundeerd. Het is moeilijk om de funderingswijze van de bestaande bebouwing in een concreet geval te achterhalen. Dikwijls is uitgraven de enige mogelijkheid.

Dit soort laagbouw wordt meestal volgens traditionele regels gebouwd, berekeningen komen er nauwelijks of in het geheel niet aan te pas.

5.4

KRACHTSAFDRACHT

Starre ondersteuning

Het gewicht van vloeren en meubilair wordt bij dit soort bebouwing via houten balken naar twee tegenover elkaar liggende muren afgedragen: de bouwmuren. Bovendien moeten deze bouwmuren hun eigen gewicht naar de ondergrond afdragen. De krachten die per bouwmuur naar de ondergrond moeten worden overgebracht, zijn dus gemakkelijk te bepalen. De niet dragende muren (de muren waar geen vloeren op rusten) zijn over het algemeen voorzien van raam- en/of deuropeningen. De afdracht van de verticaal werkende belasting door het eigen gewicht is hierbij minder rechtstreeks dan bij muren zonder muuropeningen. Hoewel de verticale drukspanningen nog steeds overheersen, kunnen er plaatselijk ook trekspanningen optreden, voornamelijk bij de hoeken van raam- en deuropeningen.

Indien alle muren op een volkomen starre ondergrond zouden rusten en de wanden in de hoeken van het gebouw niet met elkaar in verband zouden zijn gemetseld, zouden de (zeer kleine) verticale verplaatsingen van verschillend belaste muren op eenzelfde hoogte boven maaiveld, niet aan elkaar gelijk zijn. Aangezien bij een in verband gemetseld gebouw, de verticale

verplaatsingen in de aansluitingen van de muurdelen echter gelijk moeten zijn, kan er een zekere herverdeling van de verticale krachtsafdracht tussen de muren onderling plaatsvinden.

Tijdseffecten

Wat de berekeningen betreft moet nog een ander facet worden beschouwd. Het is algemeen gebruikelijk om - zowel bij eenvoudige als bij zeer gecompliceerde berekeningen - uit te gaan van de uiteindelijke geometrie en materiaaleigenschappen van het gebouw in een gewichtsloze toestand. Vervolgens wordt als het ware 'de zwaartekracht aangezet'. De invloed hiervan op de vervormingen en bijbehorende spanningen kan dan nauwkeurig worden bepaald.

In werkelijkheid wordt een gemetseld gebouw laag voor laag opgetrokken. Tijdens de bouw zijn de vervormingsmogelijkheden van de metselspecie veel groter dan na volledige verharding. Dit betekent dat tijdens de bouw optredende verschillen in vervorming veel gemakkelijker kunnen worden overbrugd, waardoor de spanningen lager zullen zijn dan met de voorheen genoemde wijze van berekenen wordt gevonden. De aldus berekende spanningen vormen als het ware een bovengrens van de mogelijk optredende spanningen.

We mogen ervan uitgaan dat bij een normaal gemetseld huis op een starre ondergrond, er weliswaar plaatselijke trekspanningen in het metselwerk zullen optreden, maar dat de treksterkte van het metselwerk niet zal worden overschreden, zodat er ook geen scheuren ontstaan. Deze situatie doet zich voor als een fundering op staal rechtstreeks op een stijve zandlaag rust of wanneer betonpalen op een dieper liggende zandlaag op stuit zijn geheid.

Verende ondersteuning

Bij een fundering op staal op slappe lagen, zijn de verticale verplaatsingen van de ondergrond veel groter dan de verkorting van het gebouw zelf in verticale richting. We zeggen dat de stijfheid van het gebouw groot is ten opzichte van de stijfheid van de ondergrond. De tegendrukken vanuit de grond worden bepaald door de geometrie van gebouw en fundering en de totale belasting van het gebouw.

Als we de krachtsafdracht in het groot bekijken komt het er vrijwel op neer, dat het ongescheurde gebouw zakt alsof het een star blok is, dat ter plaatse van de fundering door veren is ondersteund. Als we deze (grond)veren in verhouding stijver of slapper maken, dan heeft dat wel invloed op de totale zakking van het gebouw, maar nauwelijks of niet op de spanningsverdeling in de muren van het gebouw.

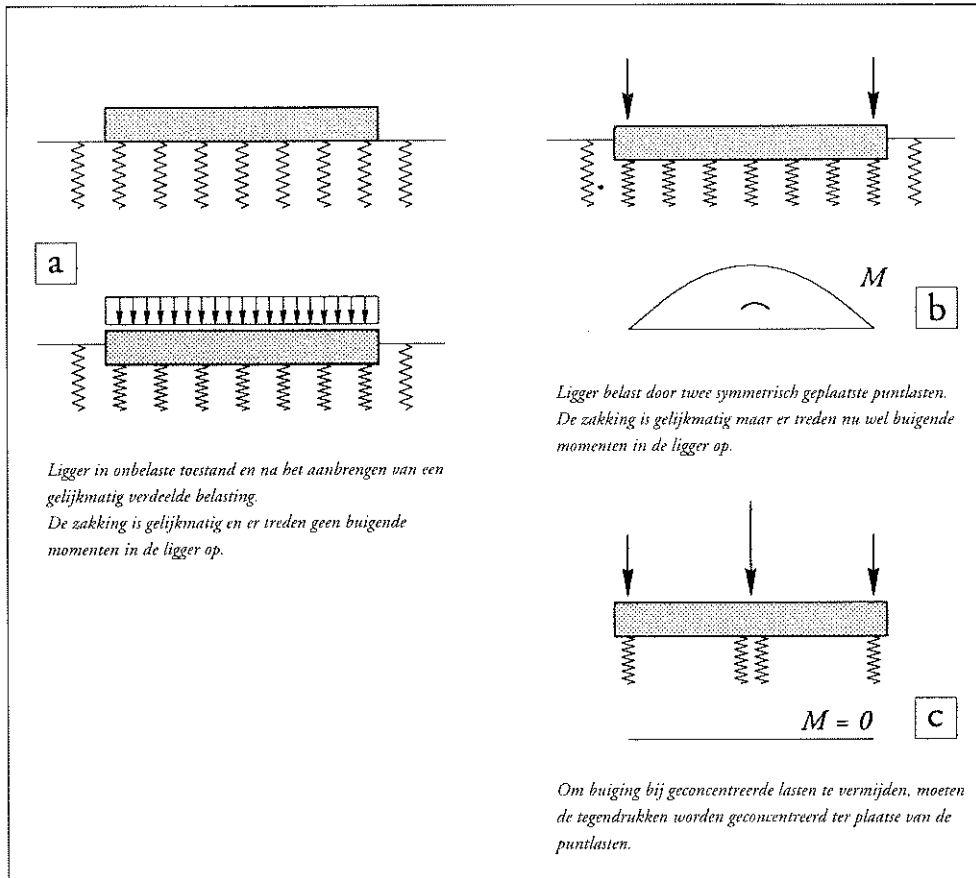
Tijdseffecten

Voor het gebouw zelf gelden dezelfde tijdseffecten zoals die onder 'Starre ondersteuning' zijn besproken. Voor de ondergrond moet echter eveneens met tijdseffecten rekening worden gehouden. Bij funderingen op staal bij een slappe ondergrond kan het immers maanden duren voor de uiteindelijke zetting nagenoeg is bereikt. Maar ook hier wordt de grond in de berekening weer zodanig geschematiseerd dat tegelijk met het aanbrengen van het gewicht van de woning ook de uiteindelijke zetting wordt bereikt.

Ook al zakt het gebouw volkomen gelijkmatig, dan nog kunnen er spanningen in de wanden optreden die veel groter zijn dan bij een overeenkomstig gebouw met starre ondersteuning. Ter bepaling van de gedachte beschouwen we een elastisch ondersteunde ligger, waarbij de ondersteunende veren niet zijn gekoppeld, (figuur 5.1). Als de ligger zeer stijf is en de belasting op de ligger bovendien gelijkmatig is verdeeld, dan zullen alle verticale krachten rechtstreeks evenwicht maken met de tegendrukken vanuit de ondergrond. Hieruit volgt dat er geen buigende momenten in de ligger zullen optreden.

Als de belasting op de ligger ongelijkmatig is verdeeld, maar het zwaartepunt van de belastingen in het midden van de ligger aangrijpt, dan zal de ligger nog steeds als een star lichaam gelijkmatig zakken. Maar in dit geval zullen er bij gelijkblijvende tegendruk wel degelijk buigende momenten in de ligger optreden.

Om deze buigende momenten te elimineren moeten de veerstijfheden recht evenredig worden gekozen met de daarboven aangrijpende belastingen.



Figuur 5.1. Betrekkelijk stijve ligger, die door ongekoppelde veren is ondersteund.

Deze voor de hand liggende gedachtengang is ook in de praktijk al geruime tijd onderkend. Voor een woning, die is opgebouwd uit een complex samenstel van wanden, kunnen immers geheel overeenkomstige beschouwingen worden opgezet. Hier vormen de wanden de 'liggers' en de grond de 'elastische ondersteuning'. De muuropeningen veroorzaken echter enerzijds afwijkingen in de gelijkmatig verdeelde belasting en vormen anderzijds plaatselijk grote verzwakkingen van de 'ligger'.

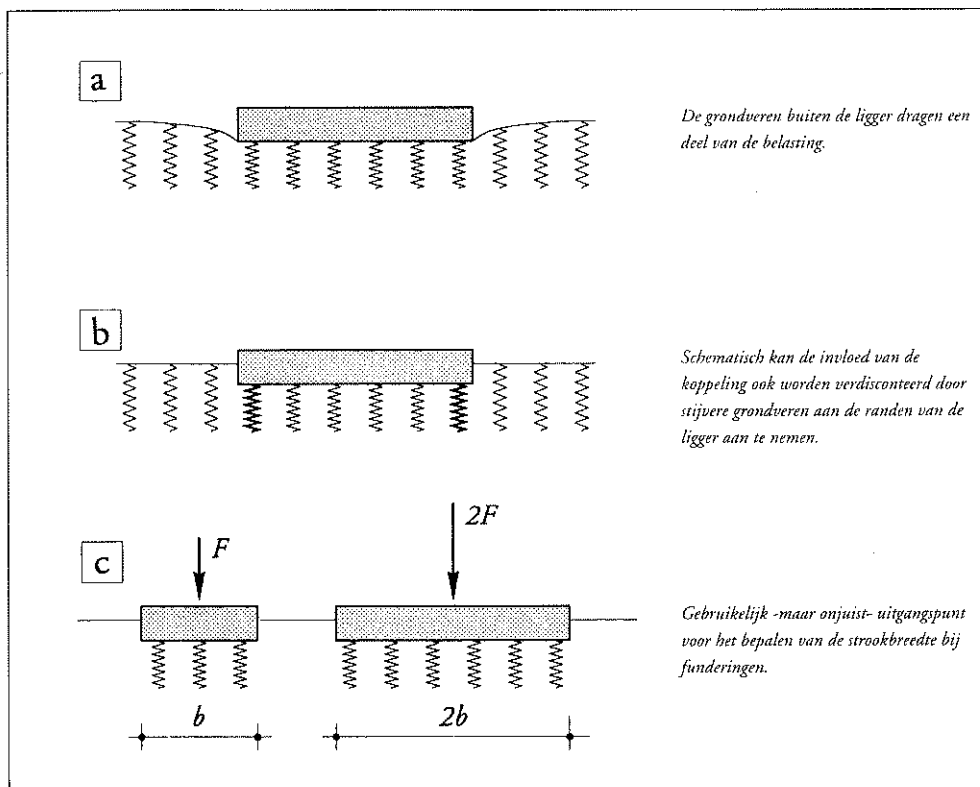
Men streeft ernaar om de fundering onder een muur zo breed te maken, dat de tegendrukken zoals die uit de bovenbelasting volgen, in alle funderingsstroken gelijk zijn. Uitgaande van een constante beddingsconstante van de grond, wordt dan aangenomen, dat de gewenste tegendrukverdeling met de bijbehorende gelijke zakking, inderdaad zal optreden.

Hierbij doet zich echter een zeer onwelkom verschijnsel voor: de tegendrukcoëfficiënt (c.q. de beddingsconstante) van de grond is geen constante, maar varieert afhankelijk van de grootte van het belaste grondoppervlak. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat belastingen in de grond zich snel spreiden, zodat men de grond eigenlijk als een driedimensionaal continuüm zou moeten beschouwen. Vereenvoudigd kan men ook uitgaan van een stelsel gekoppelde veren. Verder is de tegendrukcoëfficiënt ook afhankelijk van de reeds aanwezige voorbelasting ter plaatse; als dieper wordt ontgraven, gedraagt de grond zich stijver.

Constante funderingsdiepte

We gaan in eerste instantie uit van een gebouw dat overal even diep is gefundeerd. In zo'n geval wordt niet alleen de grond direct onder de fundering ingedrukt en draagt belasting af, maar ook een gedeelte van de naastliggende grond neemt aan deze krachtsafdracht deel (figuur 5.2). Dit heeft tot gevolg dat de berekende ideale breedte van de fundering niet de veronderstelde tegendrukken oplevert. Tussen de muren onderling zullen daardoor via schuifspanningen veel grotere krachten moeten worden herverdeeld met de daaruit voortvloeiende grotere trekspanningen.

Meer dan eens wordt in de praktijk voor alle muren dezelfde funderingsbreedte gekozen, onafhankelijk van de grootte van de bovenbelasting. Hierdoor kan de mate van herverdeling nog toenemen en zullen de trekspanningen nog hoger oplopen.



Figuur 5.2. Grond kan worden voorgesteld door een systeem van gekoppelde grondveren. F is de belastingkracht, die wordt uitgeoefend op de fundering, b is de grootte van het gebouw.

Het feit dat een gemetseld gebouw volkomen gelijkmatig zakt, houdt dus niet zonder meer in dat er geen trekspanningen in voorkomen. Het betekent natuurlijk wel, dat het in ieder geval sterk genoeg is gebleken om bij de optredende spanningsverdeling nog niet te scheuren.

In ongunstige gevallen kunnen de optredende trekspanningen de treksterkte van het metselwerk echter wel degelijk benaderen en soms zelf overschrijden.

Bij alle voorgaande berekeningen en beschouwingen is nog steeds aangenomen dat de ondergrond als een volkomen homogeen materiaal mag worden beschouwd, waarvan de eigenschappen in horizontale richting (dus over het grondvlak van het gebouw en de directe omgeving) niet variëren.

Zolang de aanlegdiepte overal gelijk is, beïnvloedt de variatie van de grondgesteldheid in verticale richting wel de stijfheid van de 'grondveren' maar treden in horizontale richting geen variaties in deze stijfheid op.

Zoals reeds werd vermeld, zijn de eigenschappen van de 'grondveren', wèl afhankelijk van de voorheen heersende spanning ter hoogte van de funderingsaanleg. Verschillende funderingsdiepte onder hetzelfde gebouw geven dus ook aanleiding tot andere eigenschappen van de 'grondveren'.

5.5

ZETTINGEN

Zoals onder 'Verende ondersteuning' werd beroegd voor funderingen op staal, is het bij een slappe maar volledig homogene ondergrond, in principe mogelijk eenzelfde krachtswerking te verkrijgen als bij een volledig starre ondergrond.

Hiertoe moeten de funderingsstrookbreedten van de diverse muren - na omvangrijke berekeningen - zodanig worden aangepast dat de rechtstreekse verticale belastingafdracht overal gelijke zakkingen veroorzaakt. De absolute waarde van deze gelijkmatige zetting heeft dan geen invloed meer op de krachtswerking in het gebouw.

Zodra de ondergrond echter niet meer homogeen is - of de werkelijke belastingspreiding in de ondergrond afwijkt van die van het rekenmodel - zullen bij de aangenomen belastingsafdracht op de ondergrond ongelijk grote zakkingen optreden. Er is dan weer een verdere herverdeling van de krachten in de muren noodzakelijk, die wèl overeenkomt met gelijke zakkingen.

Empirische benadering

Voor de bepaling van de ongelijkmatige zakkingen die nog toelaatbaar zijn, gaat men dikwijls als volgt te werk. Allereerst worden de oplegreacties van de muren bepaald, zoals die bij een volledige starre ondersteuning zouden optreden. Hierbij wordt dan ook nog aangenomen, dat alle belastingen rechtstreeks verticaal omlaag kunnen afvloeien.

Vervolgens worden deze belastingen als constant aangenomen en worden de daaruit voortvloeiende vervormingen van de ondergrond bepaald alsof het stijve gebouw daarboven niet langer aanwezig zou zijn.

Aan de hand van vuistregels wordt dan vastgesteld of dit zakkingsverloop door het gebouw al dan niet overbrugd kan worden zonder dat hierbij scheurvorming optreedt. Een dergelijke benadering van het probleem berust uitsluitend op de empirie.

Invoering van de voorwaarden van compatibiliteit

In het algemeen wordt bij sterk vereenvoudigde berekeningen van constructies, alleen het evenwicht van krachten beschouwd. Zodra maar iets nauwkeuriger wordt gerekend, wordt ook de voorwaarde van compatibiliteit (=samenhang) ingevoerd. Bij de berekening van constructies is deze laatste voorwaarde vanzelfsprekend; ook bij de berekening van gebouwen. Vanwege extra moeilijkheden in de berekening wordt deze laatste voorwaarde meestal verwaarloosd bij de aansluiting tussen het gebouw en de ondergrond. Het is nog maar vrij recent dat pogingen zijn ondernomen om hier verandering in te brengen. Uit de resultaten van deze berekeningen zijn een aantal nuttige conclusies te trekken. Zo zijn bij onderzoeken naar de invloed van ongelijkmatige zettingen door aardgaswinning in Groningen zijn vooral voor rijtjeshuizen omvangrijke berekeningen uitgevoerd (zie de Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met de aardgaswinning in de provincie Groningen van de Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning, hierna te noemen: het Groningen-rapport).

De voornaamste conclusies luiden als volgt:

a. Homogene grond

- De belastingen door eigen gewicht worden voor het overgrote deel rechtstreeks per woning naar de ondergrond afgedragen.
- Nabij de kopgevels van het rijtje woningen is de ondersteunende werking van de grond groter dan in het middengedeelte van het rijtje. Dit heeft het volgende effect:
 - een klein gedeelte van het eigen gewicht wordt naar de kopgevels afgedragen als bij een vrij opgelegde ligger onder gelijkmatig verdeelde belasting. Hierdoor kunnen er aanzienlijke trekspanningen ontstaan, vooral nabij de muuropeningen.

b. Inhomogene grond

Bij inhomogene grond kunnen de buigende momenten in de 'ligger' aanmerkelijk worden vergroot en bestaat er grote kans op overschrijding van de treksterkte.

Inhomogeniteiten van de grond kunnen veroorzaakt zijn door natuurlijke oorzaken of kunstmatige oorzaken, dat wil zeggen door ingrijpen van de mens.

De voornaamste natuurlijke oorzaak is de variërende opbouw van de grond waarbij lagen van verschillende (en meestal verlopemde) dikte voorkomen met verschillende eigenschappen, afhankelijk van de samenstelling van de grond, bestaande uit zand, klei, veen en allerlei combinaties hiervan.

Kunstmatige inhomogeniteiten kunnen ontstaan door de aanleg van sloten en wegen die naderhand worden gedempt c.q. afgegraven. Ook het aanbrengen van een grondverbetering ter plaatse van poeren of een strokenfundering behoort hiertoe.

De genoemde inhomogeniteiten kunnen de krachtwerking uitsluitend beïnvloeden als ze zich onder het gebouw bevinden of in de directe omgeving daarvan. Hoe kleiner het gebouw, des de groter is de kans dat het gebouw zich nog als een star geheel kan gedragen, dat door de inhomogeniteiten wel scheef kan zakken maar nog niet zal scheuren.

Uit verschillende provincies zijn hiervan voorbeelden bekend. Een aantal huizenblokken (meestal twee onder een kap) langs een weg is op zich weinig of niet gescheurd, maar de blokken staan wel schots en scheef in de rij. Bij een doorgaande rij woningen zou scheurvorming vrijwel onvermijdelijk zijn geweest.

Woningen zijn minder sterk naarmate ze langer zijn en naarmate er meer openingen in voorkomen. Boerenschuren met grote deuren in voor- of achtergevel zijn dus zeer kwetsbaar. Dit geldt temeer als een woning aan de schuur is vastgebouwd. Ten eerste wordt het totale bebouwde oppervlak daardoor vergroot. Ten tweede bestaat de kans dat de woning op een andere wijze of een andere diepte is gefundeerd dan de schuur. Als de woning zoals gebruikelijk in het beschouwde gebied - maar voor een gedeelte is onderkelderde, wordt de situatie daardoor

ook ongunstiger. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door het verschil in aanlegdiepte, anderzijds door het feit dat de keldervloer over het gehele grondvlak wel door de grond wordt gesteund, maar slechts een geringe bovenbelasting hoeft te dragen. De kelder met de daaronder liggende grond gedraagt zich dan als een veel stijvere veer.

5.6

UITWENDIGE OORZAKEN DIE TOT BESCHADIGING KUNNEN LEIDEN

Er zijn vele mogelijkheden die naderhand tot beschadiging van een gemetseld gebouw kunnen leiden. Sommige oorzaken zijn zeer voor de hand liggend, andere worden min of meer over het hoofd gezien of door de niet-ingewijde zelfs in het geheel niet onderkend. Bij de opsomming van de oorzaken zal de bovengenoemde volgorde in hoofdlijnen worden aangehouden.

Mogelijke oorzaken van de beschadigingen:

a. Het aanbrengen van overbelastingen op vloeren.

Vooraf in schuren kunnen plaatselijke overbelastingen door landbouwproducten voorkomen. Overbelastingen nabij de zijmuren van de schuur kunnen extra belastingen op de fundering van deze muren te weeg brengen. Losgestapelde materialen kunnen ook horizontale krachten op de zijwanden van de schuur veroorzaken.

Ook als bovengenoemde ongunstige krachten niet optreden, kunnen de direct op poeren gefundeerde stijlen relatief meer of minder zakken ten opzichte van de zijmuren van de schuur. Deze verschillen behoeven voor de vloer zelf niet eens tot klachten te leiden. Door het relatief meer of minder zakken van de stijlen van het gebint ten opzichte van de zijmuren, zullen de daarop rustende gordingen veelal zijdelings verplaatsen. Hierdoor kunnen zijwaartse krachten op de lage muurtjes worden overgedragen, die daardoor kunnen gaan scheuren en soms zelfs kantelen.

b. Niet geheel oordeelkundige verbouwingen aan woonhuis of schuur.

Hieronder vallen het verwijderen van min of meer dragende binnenmuurtjes, het verwijderen of verplaatsen van dragende delen van het gebint of het maken van extra muuropeningen zonder het daarboven liggende metselwerk op de juiste wijze te stutten.

c. Het naderhand metselen van aanbouwen die niet los zijn gehouden van de hoofdbouw. De zettingen van het hoofdgebouw zijn dan tot rust gekomen (of ze nemen in een zeer langzaam tempo toe tot een limietwaarde). De aanbouw is vrij snel opgetrokken en wordt vast verbonden met de hoofdbouw. Bij goed doorlatende grond (zand) bereikt de zetting van de aanbouw vrijwel direct zijn uiteindelijke grootte. Bij slecht doorlatende grond (veen, klei) duurt het maanden voordat de uiteindelijke zetting is bereikt. Dit betekent dat de aanbouw aan de hoofdbouw gaat 'hangen' zodat vrijwel zeker scheuren zullen ontstaan.

d. Kleine aanrijdingen (bijv. door landbouwvoertuigen), verkeerstrillingen van langrijdend zwaar verkeer op de weg.

e. Het teruglopen van de kwaliteit van het gebouw door veroudering van het metselwerk, veelal door verwerking van de voegen, maar soms ook door een vermindering van de sterkte van de metselstenen.

f. Temperatuur- en vochtinvloeden.

Scheurvorming kan ontstaan door verschillend grote uitzetting of krimp van bouwmaterialen die onderling vast met elkaar verbonden zijn. Ook roestvorming van stalen onderdelen (bijvoorbeeld verborgen muurankers) kan scheurvorming veroorzaken.

g. Zettingen door uitwendige invloeden, zoals het aanbrengen van grondophogingen of het optreden c.q. uitvoeren van grondwaterstandsverlagingen. Vooral het verlagen van de grondwaterstand kan een zeer grote invloed hebben; dit onderwerp wordt daarom uitvoerig besproken in paragraaf 5.7.

INVLOED VAN VARIËRENDE GRONDWATERSTAND

In vele gevallen is een aanzienlijke zetting van de grond rond de woonhuizen van boerderijen zichtbaar. Dit kan zijn veroorzaakt door eventuele grondophogingen rond de gebouwen. De oorzaak kan ook liggen in het feit dat de veengrond naast het gebouw veel gemakkelijker oxydeert dan onder het gebouw.

In de loop der tijd komen dergelijke gebouwen dus steeds hoger te staan ten opzichte van het maaiveld. Aangezien de drooglegging (= afstand maaiveld tot slootpeil) wordt bepaald door de hoogte van het maaiveld, houdt een constante drooglegging in dat het grondwater zakt ten opzichte van de fundering. Voorts kunnen uit bedrijfs-economische overwegingen extra grondwaterstandsverlagingen zijn aangebracht.

De invloeden van veranderingen in grondwaterstand kunnen worden gesplitst in een directe en een indirecte invloed:

a. Directe invloed van een verlaging van de grondwaterstand.

Hieronder valt het boven de grondwaterspiegel komen van houten funderingsonderdelen (palen en kespen) die tot rotting kunnen overgaan. Hierdoor kan de stijfheid en sterkte van de fundering in ernstige mate worden aangetast. Dit rottingsproces kan bovendien zeer onregelmatig optreden.

Als resultaat zal ongelijkmatige zakking en scheurvorming optreden.

b. Indirecte invloed van de verlaging van de grondwaterstand.

Het verlagen van de grondwaterstand vormt een (gelijkmatig verdeelde) belasting op de ondergrond, omdat een deel van de opwaartse druk op het korrelskelet van de grond verloren gaat. Als de ondergrond homogeen is en de tegendrukken vanuit de ondergrond op de fundering (nagenoeg) gelijk zijn, zal een constante grondwaterstandsval in beginsel een gelijkmatige zetting veroorzaken. Hierdoor wordt de krachtwerving in het gebouw niet beïnvloed, zodat er ook geen scheuren zullen ontstaan. Bij houten paalfunderingen kunnen vergelijkbare verschijnselen optreden als zich onder de zandlaag, waarop de palen rusten, nog min of meer samendrukbare lagen bevinden. Bovendien kan door het zakken van de grond een extra belasting op de palen optreden, die ontstaat door omlaag gerichte wrijvingskrachten, de zogenaamde negatieve kleef.

Invloed van variërende grondwaterstanden op de stijfheid van de grond

Als we een grondophoging aanbrengen of een woning bouwen, dan brengen we in korte tijd een belasting aan, die gedurende lange tijd min of meer constant aanwezig zal zijn. Hierdoor zal de ondergrond zettingen ondergaan, die snel hun eindwaarde bereiken bij zandgrond en zeer langzaam bij klei- of veengrond.

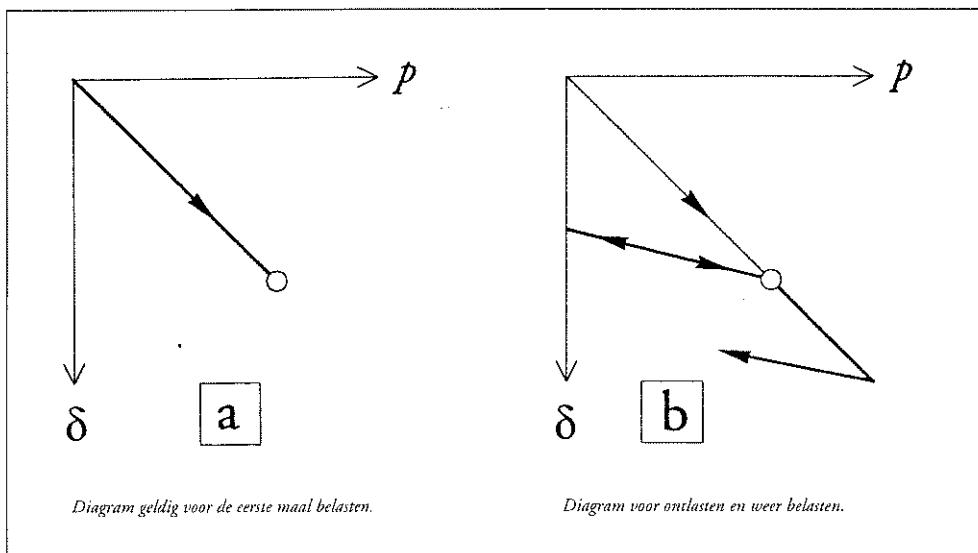
Zoals in hoofdstuk 3 is uiteengezet is het aanbrengen van een grondwaterstandsverlaging rechtstreeks te vergelijken met het aanbrengen van een gelijkmatig verdeelde bovenbelasting. Als de grondwaterstand weer wordt verhoogd tot zijn oude peil, dan is de bovenbelasting dus weer verdwenen. Dit betekent echter niet dat de grond weer terug zal veren tot zijn oorspronkelijke stand. De grond komt maar over een klein gedeelte terug, circa 10 à 20% van de oorspronkelijke zetting (figuur 5.3). Als de grondwaterstand nu weer evenveel wordt verlaagd als voorheen, dat wil zeggen, als de belasting nu weer wordt opgevoerd tot de voorheen bereikte waarde, dan wordt ook de oorspronkelijke zetting weer teruggevonden. Bij variaties in grondwaterstand tussen waarden die voorheen al eens zijn bereikt, gedraagt de grond zich als een veel stijver medium dan voor een eerste belasting.

Zodra de belasting echter hoger wordt opgevoerd dan voorheen is voorgekomen, gedraagt

de grond zich weer als een veel slapper medium.

Door seizoeninvloeden en het ingrijpen van de mens zal de grondwaterstand in de loop der tijd meestal tussen vrij wijde grenzen hebben gevarieerd.

Voor alle variaties in grondwaterstand die boven de laagste ooit bereikte grondwaterstand blijven, zijn de verticale bewegingen van een fundering op staal dus gering.



Figuur 5.3. Geschemiseerd last-vervorming-diagram voor grond.
 p is de lastdruk die op de grond wordt uitgeoefend, δ is de vervorming van de grond.

Homogene ondergrond

Gemakshalve gaan we eerst uit van een volledig constante grondwaterstand. Door de bouw van een woning wordt op de grond een extra belasting aangebracht en voor deze belasting gedraagt de grond zich als een slap medium waarbij in principe de spanningsverdeling in de wanden van de woning kan worden bepaald.

Als nu de grondwaterstand wordt verhoogd, heeft dit hetzelfde effect als een verlaging van de gelijkmatig verdeelde belasting en de grond reageert hierop als een vrij stijf medium. De invloed op het gebouw is gering.

Als de grondwaterstand echter wordt verlaagd ten opzichte van de stationair gedachte waarde, dan reageert de grond als een slap medium. Er is iets verschil tussen het gedrag van de grond onder het gebouw en direct naast het gebouw, maar in hoofdlijnen betekent dit voor homogene grond dat de (slappe) grondlagen nog verder gelijkmatig worden belast. De daaruit volgende zetting van het gebouw is des te gelijkmatiger naarmate de oorspronkelijke belasting (dat is de tegendruk vanuit de grond) gelijkmatiger is. Een goed gefundeerd gebouw zakt gelijkmatig mee en de spanningstoestand in het gebouw zal hierdoor niet of slechts in geringe mate variëren. Bij gebouwen die reeds zijn gescheurd kunnen de veranderingen in grondwaterstand leiden tot het dichtdrukken of weer verder open gaan staan van bepaalde scheuren. Vooral doorgaande scheuren zullen de stijfheid van het gebouw immers in belangrijke mate verminderen.

De toestand wordt aanmerkelijk verslechterd als de grondwaterstand onder en naast het gebouw sterk varieert. Dit verschijnsel kan voorkomen in uitzonderlijk droge zomers waarbij zeer lage grondwaterstanden optreden. Door de plaatselijke aanwezigheid van bomen en struiken rond de bebouwing kunnen diepe en/of sterk horizontaal spreidende wortelstelsels plaatselijk vrijwel al het vocht uit de bodem opzuigen, ook onder de fundering.

Dit betekent voor het gebouw dat de extra belasting door de grondwaterstands­daling niet langer gelijkmatig is verdeeld maar sterk plaatselijk is geconcentreerd. Als de grondwaterstand dan ook nog lager daalt dan voorheen ooit is voorgekomen, zal de grond zich voor de belastingen ook nog als een slap medium gedragen.

Verzakking en scheurvorming zijn dan vrijwel niet te voorkomen bij fundering op staal. Dit is dan ook de voornaamste oorzaak voor de vele klachten over scheurvorming na de uitzonderlijk droge zomers van enkele jaren geleden.

Inhomogene grond

Bij inhomogene grond zal een gelijkmatige grondwaterstands­daling weliswaar een gelijkmatig verdeelde belasting veroorzaken, maar de daaruit volgende zettingen zijn ongelijkmatig. Het gebouw moet deze zettingen, zo goed en zo kwaad als het gaat, zien te volgen. Dit gebeurt hetzij als een stijf geheel waarbij de optredende spanningen scheuren kunnen veroorzaken, hetzij als een reeds gescheurd veel slapper geheel, waarbij de reeds bestaande scheuren aanzienlijk worden vergroot waardoor het gebouw de krachtsafdracht in meerdere of mindere mate kan herverdelen.

De verschijnselen worden vooral ernstig als de grondwaterstand een lager peil bereikt dan vroeger ooit is opgetreden. Als bovendien in droge zomers door de beplanting plaatselijk sterk variërende grondwaterstanden optreden, wordt de situatie nog verder verslechterd.

Samenvatting

Er worden bij ongelijkmatige zettingen - aan een nog ongescheurd gebouw - vervormingen opgedrongen, die plaatselijk door de stijfheid van het gebouw nog wel kunnen worden overbrugd, maar die bij grote grondvlakken onherroepelijk tot buigende momenten leiden die vrij grote - meestal te grote - trekspanningen veroorzaken.

Voor het ontstaan van scheurvorming door grondwaterstands­daling moet aan twee voorwaarden zijn voldaan:

1. De zettingen zijn ongelijkmatig.
2. De zettingen zijn niet al te klein.

Ongelijkmatige zettingen zullen altijd optreden als de grondwaterstands­daling onder en direct naast het gebouw varieert. Enerzijds kan dit zijn oorzaak hebben in de schotelvorm van de grondwaterspiegel over het oppervlak van een kavel, veroorzaakt door seizoeninvloeden. Anderzijds kunnen grote plaatselijke variaties optreden door het onttrekken van water door diep wortelende gewassen bij onvoldoende aanvoer van grondwater. Maar ook een constante grondwaterstands­daling kan ongelijkmatige zettingen veroorzaken als de grond onder en direct naast het gebouw in horizontale richting inhomogeen is. Zettingen van enige importantie zullen vooral optreden als de grondwaterstand een lager peil bereikt dan ooit voorheen is opgetreden, bijvoorbeeld in uitzonderlijke droge zomers.

KANS OP SCHEURVORMING

Bij de bestaande bebouwing is de geometrie van het gebouw boven maaiveld gemakkelijk te controleren. Over de aard van de fundering zijn meestal geen uitspraken te doen. Bij funderingen op staal blijkt vooral de onderlinge verhouding van de strookbreedten van de fundering een grote invloed uit te oefenen op de spanningsverdeling in de wanden. De sterkte van het metselwerk is niet zonder meer af te lezen aan het gebouw.

De eigenschappen van de plaatselijke ondergrond zijn evenmin goed bekend. Voor concrete gevallen is het ondoenlijk om met zekerheid uitspraken te doen of al dan niet scheurvorming zal optreden als bepaalde uitwendige oorzaken zich voordoen.

Scheurvorming kan slechts worden besproken in termen van de kansrekening. In het Groningen-rapport is uitvoerig op dit onderwerp ingegaan. Zoals reeds eerder is vermeld, worden gemetselde gebouwen gefundeerd en opgetrokken volgens traditionele regels, die voor de gewone gevallen meestal uitstekend blijken te voldoen.

Zoals in paragraaf 5.4 is besproken wordt het eigen gewicht van een gebouw bij een fundering op staal, voor het overgrote deel rechtstreeks naar de ondergrond afgevoerd. Slechts een klein deel van de belasting wordt via buigende momenten en dwarskrachten overgedragen naar andere onderdelen van het gebouw (meestal de randen).

Het blijkt dat de rechtstreekse belastingafdracht voornamelijk drukspanningen in de wanden veroorzaakt. Betrekkelijk kleine buigende momenten kunnen plaatselijk vrij grote trekspanningen in de muren veroorzaken. Deze plaatselijke trekspanningen worden grotendeels gecompenseerd door de eerder genoemde drukspanningen. De kans op scheurvorming is klein, we bevinden ons nog in het traditionele gebied.

De krachtsafdracht in het gebouw kan verslechteren door verschillende oorzaken, zoals een minder gelukkig gekozen bouwwijze, inhomogeniteiten van de ondergrond en grondwaterstandsalingen. De rechtstreekse belastingafdracht naar de ondergrond neemt hierdoor maar in geringe mate af, de daardoor veroorzaakte drukspanningen blijven dan ook vrijwel gelijk. De buigende momenten nemen in absolute waarde wat toe; procentueel is de toename echter aanzienlijk, en dat geldt ook voor de daardoor veroorzaakte trekspanningen.

Na superpositie van de beide belastinggevallen worden de trekspanningen niet langer grotendeels geëlimineerd. We bevinden ons dan buiten het traditionele gebied en de kans op scheurvorming neemt zeer snel toe.

Gemetselde gebouwen zijn dus kwetsbaar voor scheurvorming als ze geheel of gedeeltelijk op staal zijn gefundeerd op slappe grond. Deze scheurvorming betekent niet dat de veiligheid van het gebouw daardoor in gevaar hoeft te komen. Zodra doorgaande scheurvorming optreedt vallen de buigende momenten daar ter plaatse weg. Het gebouw wordt slapper en kan zich daardoor beter aanpassen aan de vervorming van de ondergrond. Deze herverdeling van krachten neemt echter tijd in beslag. Bestaande scheuren kunnen daardoor in grootte toenemen en er kunnen ook nieuwe scheuren ontstaan. De veiligheid kan in het geding komen als de scheurvorming zover doorzet, dat muurdelen geheel los van de rest komen te staan of een zodanige scheefstand gaan vertonen, dat ze om kunnen vallen.

VOORBEELDEN VAN SCHADE

In het onderzoeksgebied rond Grouw is een aantal boerderijen en vrijstaande woningen bezichtigd. Voorts zijn twee vergelijkingsgebieden bezocht: Oosterzee-Buren en Wymbritseradeel.

In alle gebieden is plaatselijke schade door scheefstand en scheurvorming te constateren. Metselwerk kan echter gemakkelijk worden gerepareerd. Op vele plaatsen zijn dan ook reparaties en vervanging van hele muren of muurgedeelten aan te treffen.

Aandachtsgebied Grouw

In de bebouwde kern van Grouw is schade door scheurvorming nauwelijks of niet aanwezig. In het buitengebied zijn vele gebouwen gescheurd, de mate van scheurvorming varieert echter vrij sterk.

Bij een boerderij die zo goed als zeker op staal is gefundeerd, zijn vele scheuren geconstateerd en hebben ook verplaatsingen van muurgedeelten loodrecht op hun vlak plaatsgevonden. De meeste scheuren zijn al van oude datum, te constateren aan verwerking en mosgroei. De samenhang van het gebouw is geleidelijk steeds verder achteruitgegaan door de ongelijkmatige zakkingen.

Van een andere boerderij is bekend dat zij op betonpalen is gefundeerd. Aan de rechte lintvoegen is duidelijk te zien dat zij zich in feite nog gedraagt als een star blok. Scheurvorming boven raamopeningen aan de voorgevel moet worden toegeschreven aan het weinig oordeelkundig vervangen van de raamkozijnen. Het metselwerk beneden en (op enige afstand) boven de raamopeningen is namelijk volkomen vlak gebleven (volkomen rechte lintvoegen). De oorzaak van een losspringende tegelvloer is niet zonder meer aan te geven, maar moet worden gezocht in de ondersteunende vloer en niet in de fundering.

Vergelijkingsgebied Oosterzee-Buren in de gemeente Lemsterland

In dit gebied worden veel meer paalfunderingen aangetroffen. Er zijn diverse gebouwen aangetroffen met schade, vergelijkbaar met de schade, die in het aandachtsgebiedgebied is aangetroffen. Van een sterk verzakkende en gescheurde boerderij is bekend dat zij op houten palen is gefundeerd, die door grondwaterstandsaling zijn gaan rotten.

Vergelijkingsgebied ten westen van IJlst in de gemeente Wymbritseradeel

Hier blijkt de scheurvorming van een groot aantal boerderijen aanzienlijk te zijn. Opvallend is dat diverse boerderijen op een grondophoging van beperkte omvang zijn geplaatst, waarbij de hoeken van de woning zijn gezakt ten opzichte van het overige deel, hetgeen markante scheurvorming heeft veroorzaakt.

Samengevat

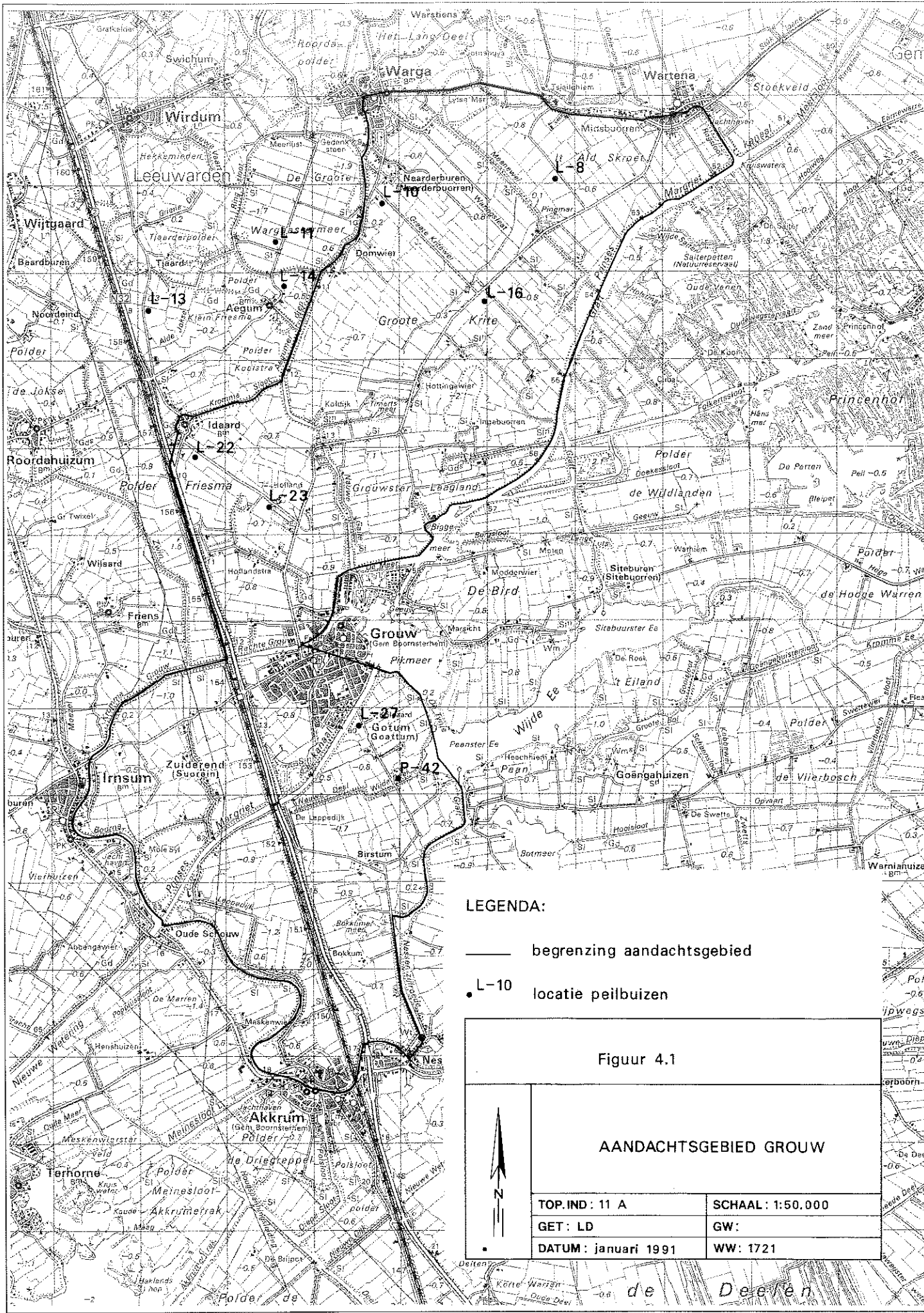
In alle drie genoemde gebieden komt een vrij aanzienlijke mate van scheurvorming voor, zoals die in veengebieden in Nederland - met een overeenkomstige wijze van funderen - algemeen wordt aangetroffen.

CONCLUSIES

Op grond van de bevindingen, die zijn neergelegd in de voorafgaande hoofdstukken, is de Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland tot de volgende conclusies gekomen:

1. De metingen van de bodemdaling kunnen als betrouwbaar worden beschouwd.
2. De resultaten van de metingen geven een bodemdaling te zien, die in het algemeen in overeenstemming is met de prognose.
3. Op enkele punten is een sterkere daling opgetreden die zeer waarschijnlijk kan worden verklaard uit plaatselijke omstandigheden in de ondiepe ondergrond.
4. De bodemdaling door aardgaswinning in Friesland is gering en verloopt vloeiend.
5. Door de aardgaswinning in Friesland kunnen geen tot aan het oppervlak doorlopende breuken optreden. Dit impliceert dat de soms genoemde zeer plaatselijke verzakkingen in weilanden niet door aardgaswinning kunnen worden veroorzaakt.
6. In de laatste decennia hebben gevarieerd per gebied polderpeilverlagingen plaatsgevonden in de orde van grootte van gemiddeld enige decimeters. Deze verlagingen zijn noodzakelijk geweest om voldoende drooglegging te behouden bij daling van het maaiveld.
7. De grondwaterstand is de laatste decennia door polderpeilverlagingen gedaald. Over het algemeen is het effect van extra droge zomers op de grondwaterstand relatief groot. Plaatselijke omstandigheden kunnen tevens van invloed zijn.
8. Aanpassing van de waterstand naar aanleiding van aardgaswinning kan in Friesland tot nu toe slechts zeer gering zijn geweest en is tot op heden overigens ook niet aanwijsbaar.
9. In Friesland komt in klei-op-veen-gebieden bij gemetselde gebouwen, die zijn gefundeerd op staal of houten palen, aanzienlijke schade voor.
De voornaamste oorzaken hiervan zijn:
 - ongelijkmatige bodemdaling
 - het aanbrengen van aanbouwen en het uitvoeren van onoordeelkundige verbouwingen het teruglopen van de sterkte van metselwerk door veroudering en verwerking
 - temperatuurs- en vochtinvloeden (uitzetting en krimp)
 - verkeerstrillingen en eventuele aanrijdingen
 - overbelasting van vloeren en wanden van schuren.
10. Ongelijkmatige bodemdalingen worden voornamelijk veroorzaakt door grondwaterstands-daling bij inhomogene bodem en plaatselijke ongelijkmatige verlagingen van het grondwater.
11. Schade aan gebouwen in het gebied rondom Grouw is niet wezenlijk anders dan in de twee onderzochte vergelijkbare gebieden waar geen aardgaswinning plaatsvindt.

Op grond van de vorengenoemde conclusies constateert de Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland, dat aangezien de aardgaswinning in Friesland leidt tot een gelijkmatige daling van de bodem en geen aanwijsbare aanpassing van de grondwaterstand naar aanleiding van die winning heeft plaatsgevonden, de aardgaswinning slechts een verwaarloosbare invloed kan hebben gehad op schade aan gebouwen.



LEGENDA:

- begrenzing aandachtsgebied
- L-10 locatie peilbuizen

Figuur 4.1

AANDACHTSGEBIED GROUW

TOP.IND: 11 A	SCHAAL: 1:50.000
GET: LD	GW:
DATUM: januari 1991	WW: 1721

Legenda bij figuren 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.10 en 4.11

Polderpeilen volgens waterstaatskaarten of opnamen
Landrichtingsdienst in m. t.o.v. N.A.P.

Gemeentegrenzen

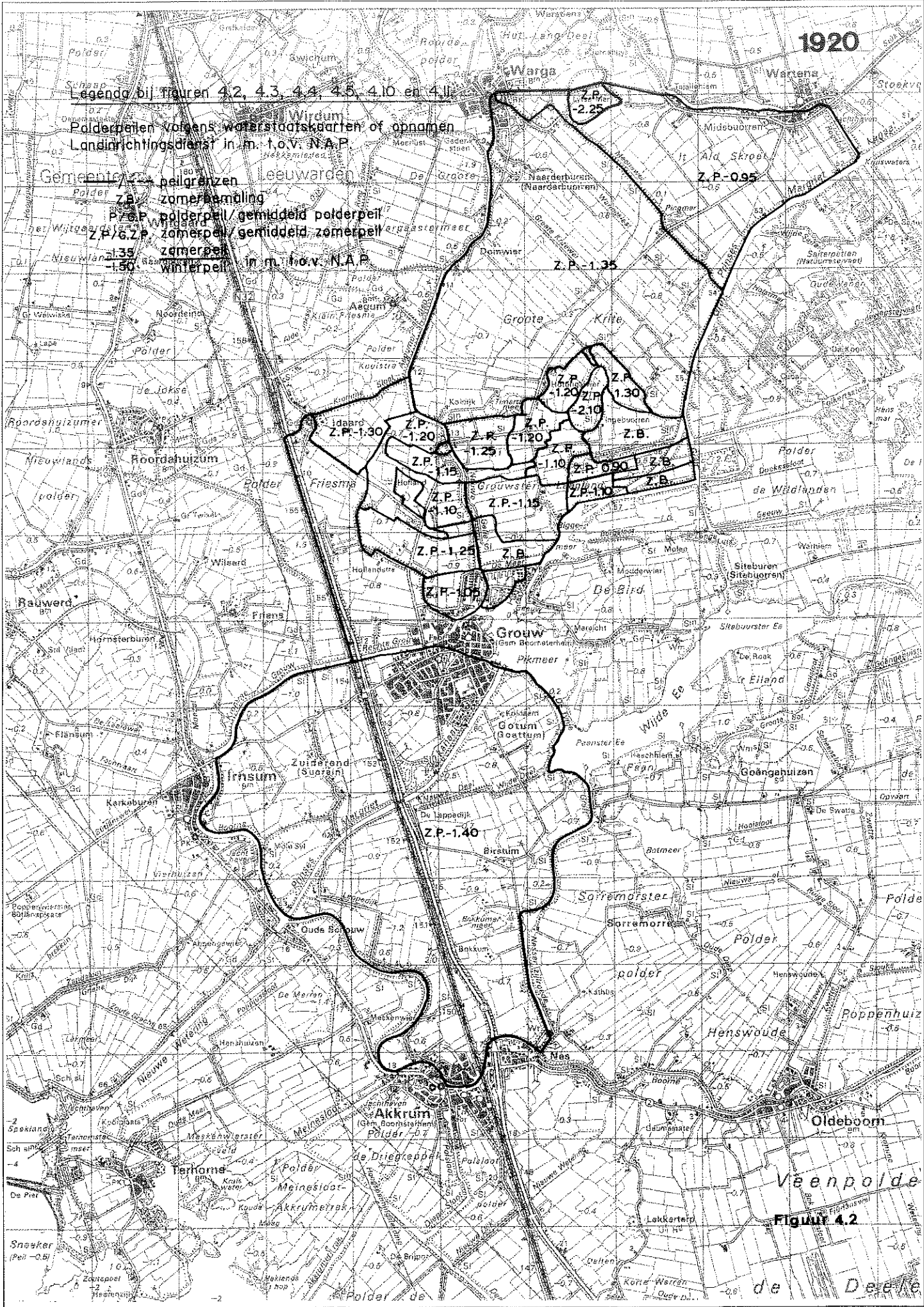
Z.P. zomerpeiling

P/G.P. polderpeil/gemiddeld polderpeil

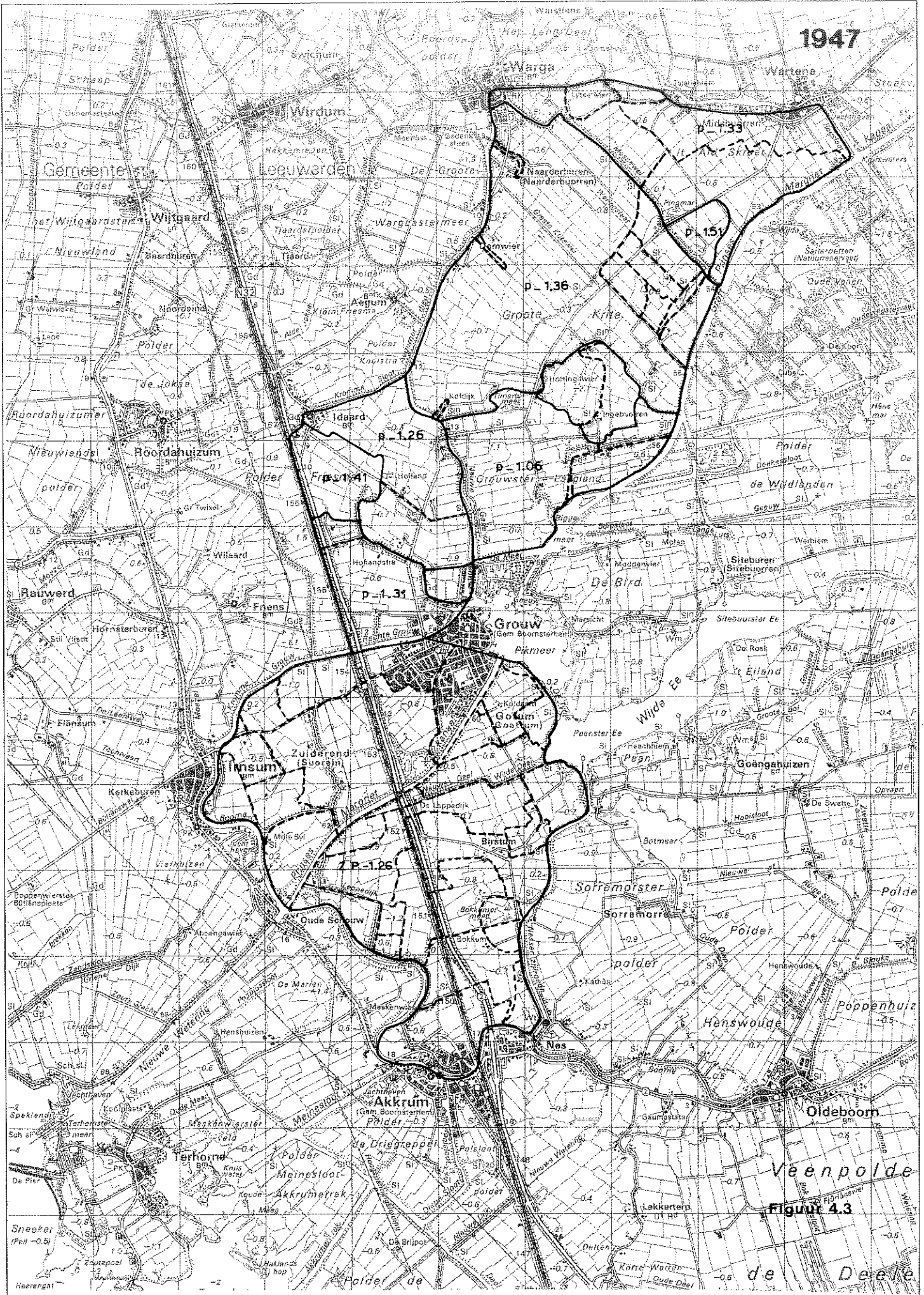
Z.P./G.Z.P. zomerpeil/gemiddeld zomerpeil

Z.P. 1.35 zomerpeil in m. t.o.v. N.A.P.

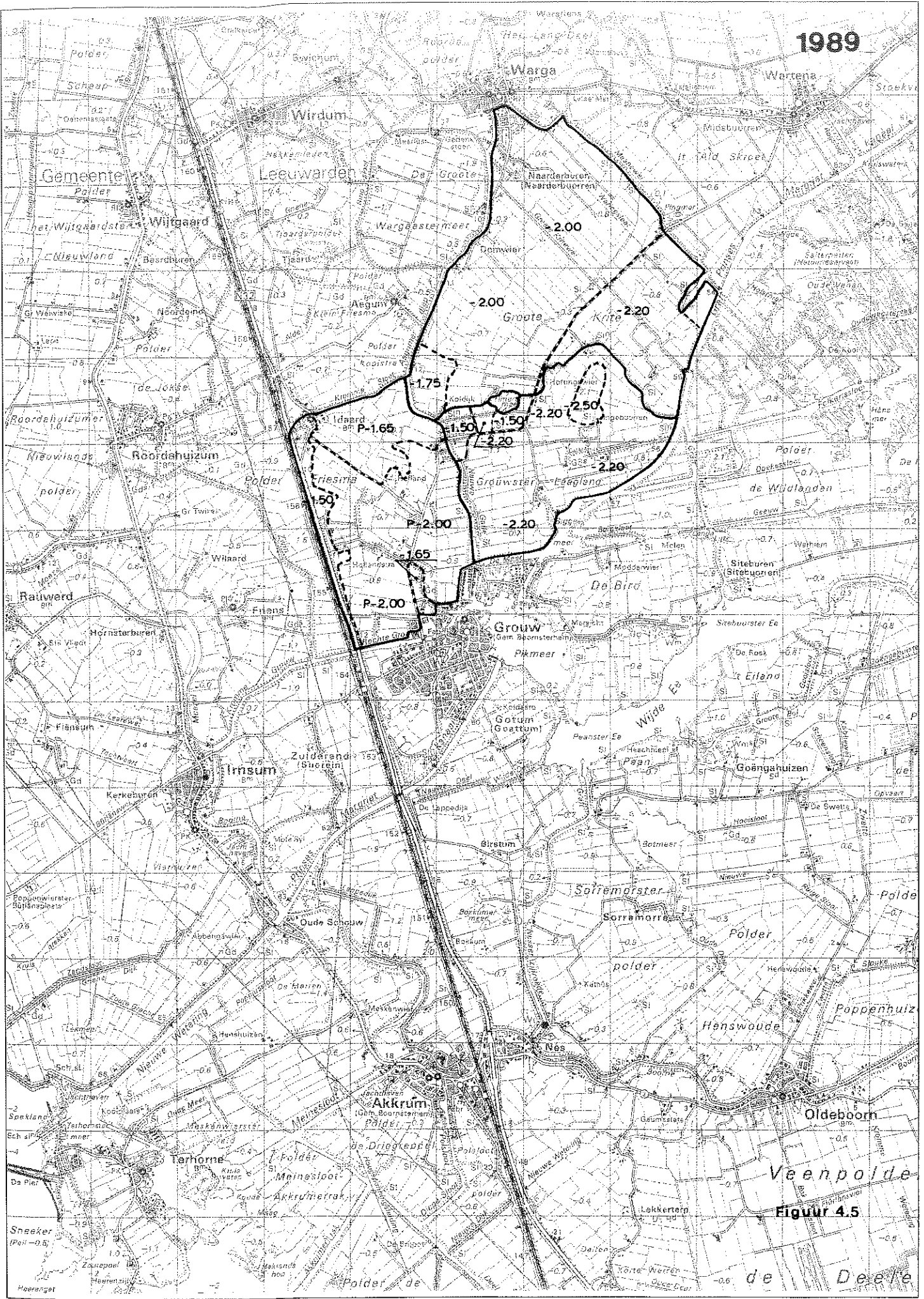
1.50 winterpeil in m. t.o.v. N.A.P.



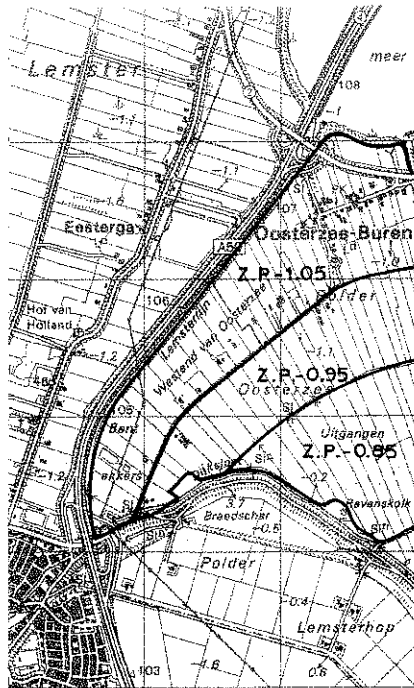
Figuur 4.2



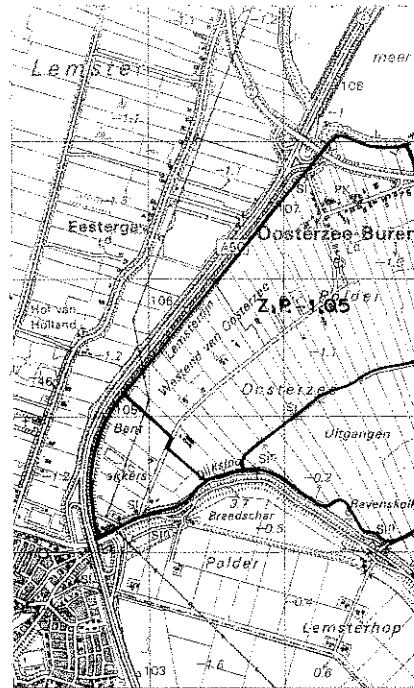
Figuur 4.3



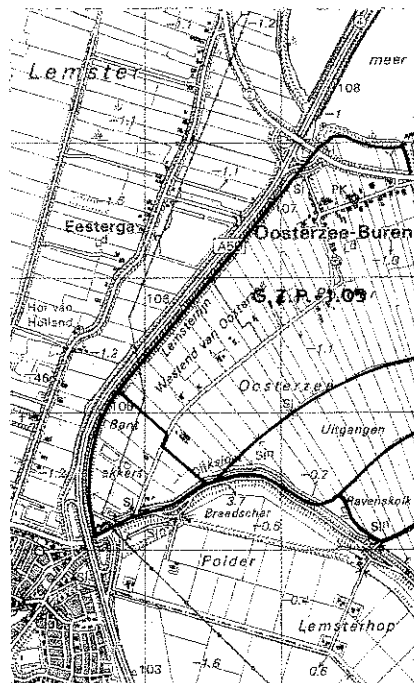
Figuur 4.5



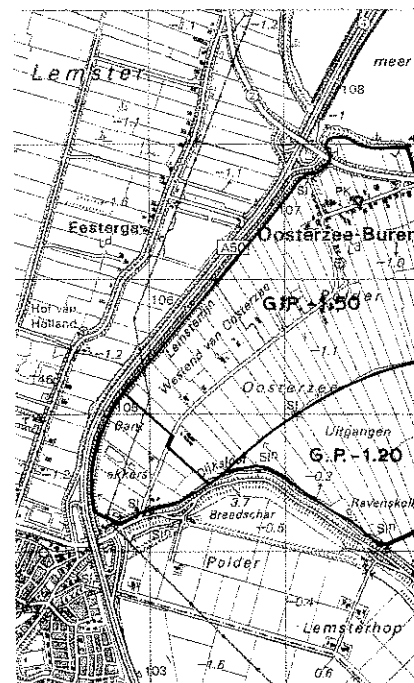
Polderpeil volgens Ws. kaart 1923



Polderpeil volgens Ws. Kaart 1952

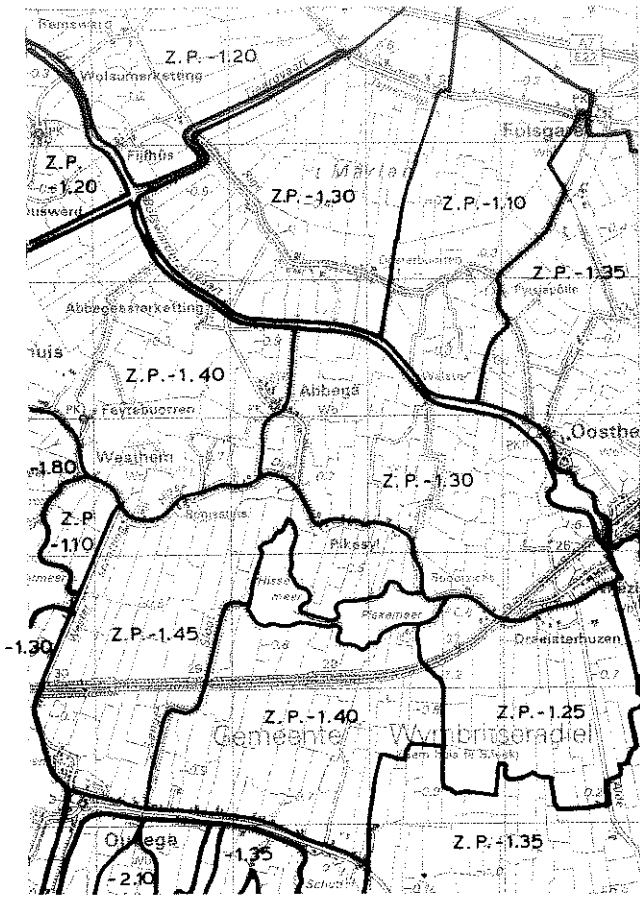


Polderpeil volgens Ws. Kaart 1969

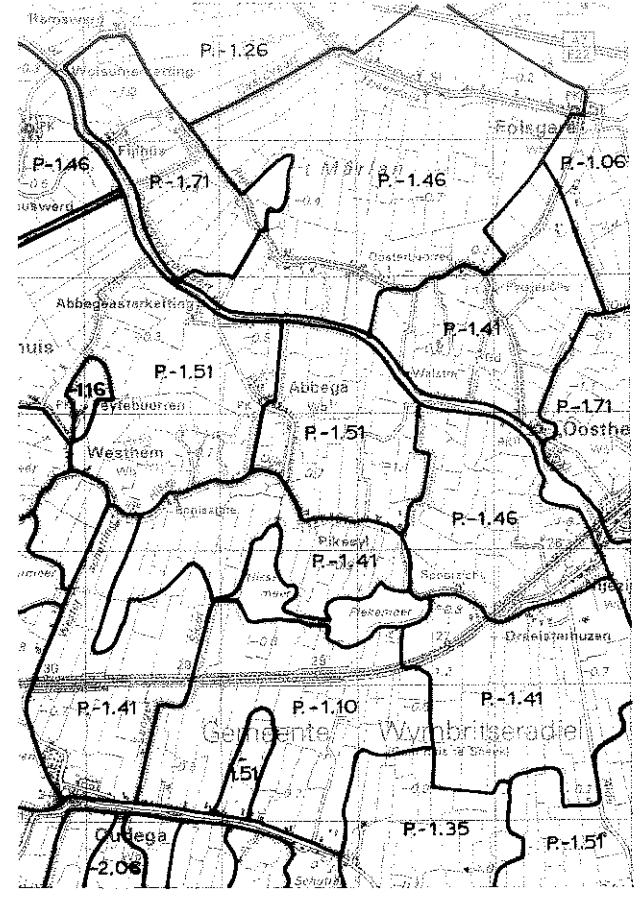


Polderpeil volgens opnamen
Landinrichtingsdienst 1976-1988

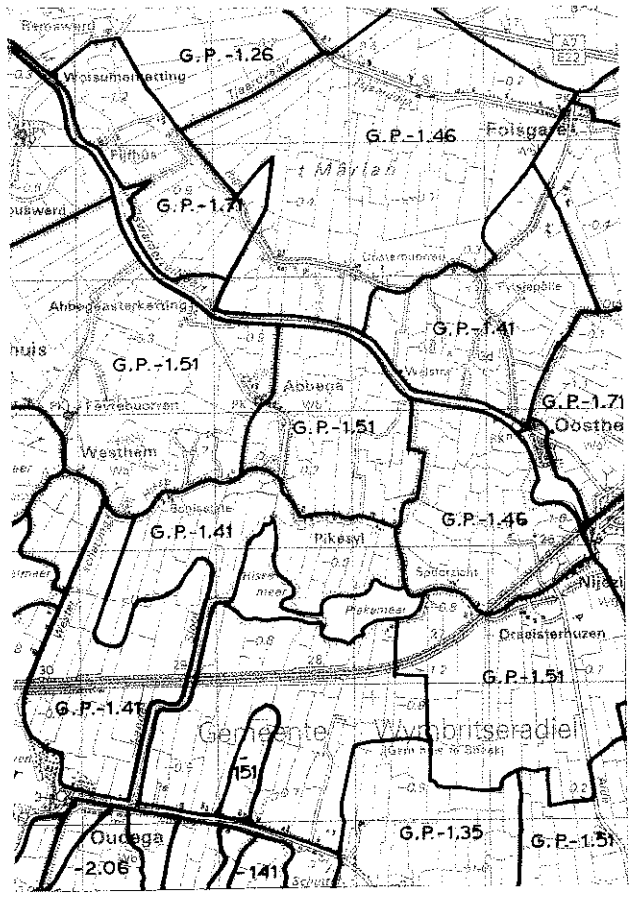
Figuur 4.10



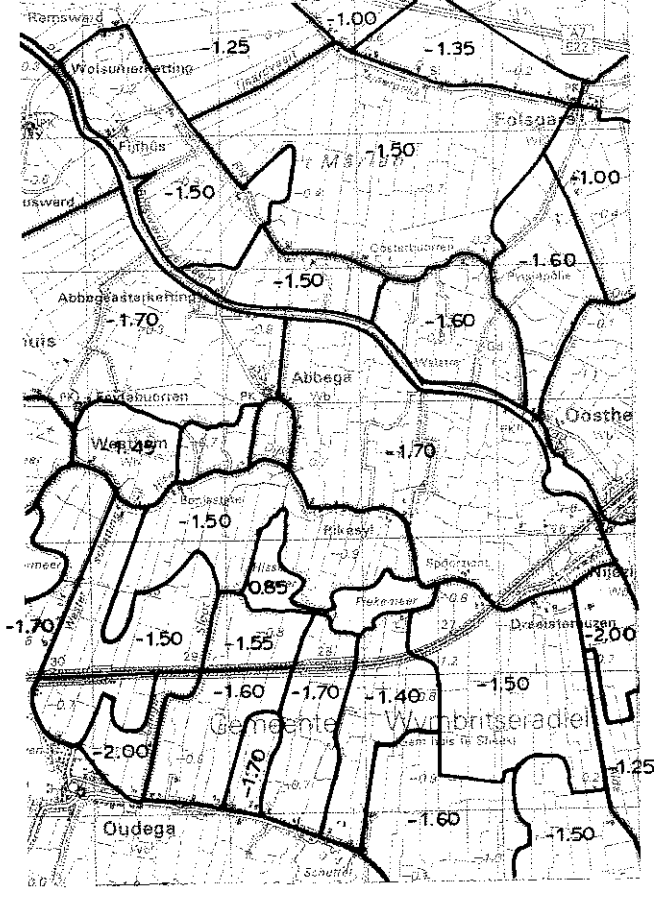
Polderpeil volgens Ws. Kaart 1922



Polderpeil volgens Ws. Kaart 1947-1949



Polderpeil volgens Ws. Kaart 1972



Polderpeil volgens opnamen Landinrichtingsdienst 1977-1983 **Figuur 4.11**

EZ
**Instelling Onderzoekscommissie
 bodemdaling Friesland**

14 november 1989
 Directie Wetgeving en andere
 Juridische Aangelegenheden

De minister van Economische Zaken, Handelende in overeenstemming met de Gedeputeerde Staten van Friesland; Overwegende, dat onduidelijkheid bestaat over de oorzaken van de bodemdalingen in de provincie Friesland; dat het wenselijk is dat een onafhankelijke commissie van deskundigen inzicht verschaft in de mogelijke oorzaken van die bodemdalingen;

Besluit:

Artikel 1

In deze beschikking wordt verstaan onder:
 a. de minister: de minister van Economische Zaken;
 b. de commissie: de in artikel 2 bedoelde Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland;
 c. de gedeputeerde staten: de Gedeputeerde Staten van Friesland;
 d. de klankbordgroep: de, ingevolge het besluit van gedeputeerde staten van 24 oktober 1989, ingestelde klankbordgroep bodemdaling Friesland, bestaande uit vertegenwoordigers van de provincie Friesland, van de gemeenten en de waterschappen in die provincie en van de Rijks Geologische Dienst en het Staatstoezicht op de Mijnen.

Artikel 2

Er is een Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland.

Artikel 3

De commissie heeft tot taak inzicht te verschaffen in de mogelijke oorzaken en gevolgen van de dalingen van de bodem in de provincie Friesland. Daarbij dient de commissie:
 a. relevante informatie met betrekking tot met name ongelijkmatige dalingen van de bodem in Friesland en de gevolgen daarvan te inventariseren en te beoordelen en
 b. zoveel mogelijk aan de hand van de bevindingen, de verschillende mogelijke oorzaken van de onder a genoemde dalingen, zoals wijziging in de grondwaterstand in combinatie met een inhomogene ondergrond, natuurlijke daling in het Pleistoceen alsmede aardgaswinning en het doorzetten van breuken vanuit de diepe ondergrond, te onderzoeken alsmede de mogelijke gevolgen daarvan, zoals scheurvorming in gebouwen.

Artikel 4

1. Tot leden van de commissie worden benoemd:
 a. prof.ir. W.C. Reij, tevens voorzitter;
 b. prof.ir. J.E. Alberda;
 c. prof.ir. W.J. Beranek;
 d. ir. N. Molenaar;
 e. prof.dr.ir. A. Verruyt.
 2. De minister voorziet in het secretariaat van de commissie.

Artikel 5

Ter uitvoering van haar taak kan de commissie onder meer:
 a. de leden van de klankbordgroep of andere daarvoor in aanmerking komende personen ter vergadering uitnodigen om hun mening uiteen te zetten of inlichtingen te verstrekken;
 b. zich rechtstreeks tot leden van de klankbordgroep of anderen wenden tot het verkrijgen van de inlichtingen die zij behoeft.

Artikel 6

De commissie kan ter uitvoering van haar taak de minister en de gedeputeerde staten voorstellen nader onderzoek te doen uitvoeren.

Artikel 7

1. De commissie legt haar bevindingen neer in een rapport, dat zij voor 1 januari 1991 aan de minister en aan de gedeputeerde staten aanbiedt.
 2. Alvorens het in het eerste lid bedoelde rapport wordt aangeboden, wordt de klankbordgroep in de gelegenheid gesteld hierover haar mening bekend te maken. Deze mening wordt als bijlage bij het rapport gevoegd. Indien de mening van de klankbordgroep daartoe aanleiding geeft zal het rapport worden aangepast alvorens het conform het eerste lid wordt aangeboden.

Artikel 8

Een ieder die betrokken is bij de werkzaamheden van de commissie en daarbij de beschikking krijgt over gegevens

waarvan hij het vertrouwelijke karakter kent of redelijkerwijs moet vermoeden, en voor wie niet reeds uit hoofde van ambt, beroep of wettelijk voorschrift ter zake van die gegevens een geheimhoudingsplicht geldt, is verplicht tot geheimhouding daarvan, behoudens voor zover enig wettelijk voorschrift hem tot bekendmaking verplicht of uit zijn taak bij deze werkzaamheden de noodzaak tot bekendmaking voortvloeit.

Artikel 9

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

Artikel 10

1. Deze beschikking wordt bekendgemaakt in de Staatscourant.
 2. Zij treedt in werking met ingang van 16 november 1989 en vervalt met ingang van 1 april 1991.

Afschrift van deze beschikking zal worden gezonden aan de Algemene Rekenkamer.

's-Gravenhage, 14 november 1989.
 De minister van Economische Zaken,
 J. E. Andriessen

BIJLAGE 2

Namen en functies leden van de Klankbordgroep bodemdaling Friesland, ingesteld door Gedeputeerde Staten van Friesland (Staten-besluit van 24 oktober 1989)

- als vertegenwoordiger van de provincie Friesland:

mw. J. Bruinsma-Kleijwegt, tevens voorzitter,
Gedeputeerde van de provincie Friesland;

- als vertegenwoordigers van de gemeenten:

mr B.G. Holtrop,
burgemeester van de gemeente Boarnsterhim en
dhr. A. Meijer,
wethouder van de gemeente Heerenveen;

- als vertegenwoordigers van de waterschappen:

dhr. A.P. van Wijk,
voorzitter van het waterschap De Amelanders Grieden en
dhr. K. Steenbeek,
vice-voorzitter van het waterschap De Stellingwerven;

- als vertegenwoordiger van het Staatstoezicht op de Mijnen:

ir. G. Ockeloën,
Inspecteur-Generaal der Mijnen;

- als vertegenwoordiger van de Rijks Geologische Dienst:

drs. Chr. Staudt,
directeur Rijks Geologische Dienst.

Secretaris van de klankbordgroep: ing. G. Stobbe, werkzaam bij de hoofdgroep Waterstaat en Milieu van de provincie Friesland.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

Kamerstukken

- Verslag van het mondeling overleg met de vaste Commissies van Economische Zaken en Verkeer en Waterstaat, gehouden op 9 maart 1989 en vastgesteld op 19 april 1989 (Kamerstukken II 1988/89, 21 108, nr. 1) met bijlagen:
 - Commissie Bodemdaling door Aardgaswinning. Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met de aardgaswinning in de provincie Groningen, maart 1987;
 - profiel Gasselte-Bierum;
 - contourkaartje bodemdalingslijnen 1988;
- Brief van de Minister van Economische Zaken aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 21 juni 1989 over bodemdaling en aardbevingen in Noord-Nederland met bijlagen:
 - overzicht velden Annerveen, Vries, Roden en Groningen (Groningen);
 - bodemdalingprognose t.g.v. gaswinning jaar 2025 (concessies Groningen en Drenthe); Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.;
 - deformatiemetingen boven gasvelden + bijlagen; Staatstoezicht op de Mijnen, januari 1989;
 - hoogteverschil van peilmerken sinds 1964 boven Groningen gasveld; route Gasselte-Bierum; Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., 1987;
 - rapport over de NAM-waterpassing van 1987 over het gasveld Groningen; Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat, Delft, november 1988;
 - brief van de provincie Groningen aan de Minister van Economische Zaken van 14 december 1987, nr. 15.399/49/B.8a, afd. WPZ, over de prognose van de bodemdaling bijvelden Slochterenveld en velden Fries-Groningse grensgebied;(Kamerstukken II 1988/89, 21 108, nr 2);
- Brief van de Minister van Economische Zaken aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal van 19 september 1989 over bodemverzakking en aardbevingen in Noord-Nederland; onbeantwoorde vragen van het lid Zijlstra (Kamerstukken II 1989/90, 21 108, nr. 3);

Algemeen

- Nationaal Milieubeleidsplan, Natuurbeleidsplan en Derde nota waterhuishouding: overdrukken van passages over verdroging;
- Ir. G. Hannink: Geotechnisch onderzoek bij peilverlagingen, gepubliceerd in Landinrichting 1989/29 6, pgn. 13-20;
- A. Woodland (ed.): Petroleum and the continental shelf of Nordwest Europe 1: Geology - Applied Science Publishers (Barking), 1975, getiteld: Lower Cretaceous Gas-Fields in Holland door A. Cottençon, B. Parant en G. Flacelière;

Jaarverslagen

- Jaarverslag Commissie bodemdaling (Groningen) 1989;
- Aardgas en aardolie in Nederland 1988; Ministerie van Economische Zaken, 's-Gravenhage, mei 1989;
- Olie en gas in Nederland, opsporing en winning 1989; Ministerie van Economische Zaken, april 1990, 's-Gravenhage;
- Verslagen van de Inspecteur-Generaal der Mijnen 1986, 1987 en 1988;

Groningen

- Bodemdaling door aardgaswinning, Groningen Veld en Randvelden, Status Rapport 1990, Prognose tot het jaar 2050, Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., februari 1990, NAM rapportnr. 17.527;
- Korte notitie over de wateroverlast in het Startenhuistermaargebied in Groningen en de mogelijke oorzaken hiervan met de daarbij behorende kaarten:
 - enkele peilmerken van het N.A.P. + kunstwerken in het Bodemdalingsgebied N.O. Hunsingo, schaal 1:25.000 en
 - zakking van peilmerken van het N.A.P. in mm. en hoogten van de kunstwerken in m. van de peilmerken en kunstwerken aangegeven op tek.nr. BE.BDD 000.57, beide van de provincie Groningen, Provinciale Waterstaat, afdeling Land- en Waterhuishouding, 18 mei 1989;

Friesland

algemeen

- Grote Provincie Atlas Friesland, schaal 1:25.000;
- Streekplan Friesland '89 en de daarbij behorende toelichting; Provinciale Staten van Friesland, Leeuwarden, 22 februari 1989;
- Overzichtskaart van de Friese gasvelden; Rijks Geologische Dienst, 20 december 1989; rapportnr. 89RES16;
- Prognose bodemdaling provincie Friesland, schaal 1:100.000; maart 1987;

rapporten

- Stand van zaken betreffende de problematiek van bodemdaling in de provincie Friesland, als gevolg van het winnen van aardgas; provincie Friesland, augustus 1989;
- Rapport zettinggevoeligheid van de ondergrond in Centraal Friesland; Grondmechanica Delft in opdracht van Elf Petroland, januari 1990;
- Rapport 'Bodemdaling Boarnsterhim, opbouw en zettingsgevoeligheid van de holocene grondlagen'; Rijks Geologische Dienst op verzoek van de Onderzoekscommissie bodemdaling Friesland, briefnr. 903555, dd. 18 juni 1990;
- Waterpassingsrapporten:
 - grote waterpassing Friesland 1987; N.A.M. rapport 15.131;
 - waterpassing Ameland 1988; N.A.M. rapport 15.986;
 - waterpassing Ameland 1986,1987; N.A.M. rapport 15.132;
 - waterpassing Blija 1985/87; N.A.M. rapport 15.987;Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.;
- Verzoek om landinrichting, zienswijze Centrale Landinrichtingscommissie met betrekking tot:
 - De Bird en het Zwettegebied, vastgesteld 22 januari 1988;
 - Lemsterpolders, vastgesteld 22 januari 1988;

- Terhorne, vastgesteld 24 september 1987;
- Tuijegaasterveenpolder, vastgesteld 24 september 1987;

kaarten

- Zettingsgevoeligheidskaart provincie Friesland, BP 10696; Rijks Geologische Dienst, uitgebracht onder briefnr. 891975 dd. 1 mei 1989 aan de Provincie Friesland, Hoofdgroep Waterstaat en Milieu;
- Geologische kaart van Nederland met toelichting, schaal 1:50.000, Sneek (10 W, 10 O); Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 1976;
- Geologisch kaart van Nederland met toelichting, schaal 1:50.000, Heerenveen West (11 W) en Heerenveen Oost (11 O); Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 1987;

ruilverkaveling De Oude Jokse:

- Bodemkaart, ruilverkaveling De Oude Jokse, schaal 1:25.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, opname 1974-'75;
- Grondwatertrappenkaart, ruilverkaveling De Oude Jokse, schaal 1:25.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, opname 1974-'75;
- Schematische doorsnede, ruilverkaveling De Oude Jokse, lengteschaal 1:10.000 en diepteschaal 1:50; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, opname 1974;
- Kaart met kleidikte in cm en zanddiepte in cm ten opzichte van het maaiveld, ruilverkaveling De Oude Jokse, schaal 1:25.000; Rijks Geologische Dienst;
- Situatiekaart, ruilverkaveling De Oude Jokse, schaal 1:50.000;

ruilverkaveling de Echtener en Grootte Veenpolder

- Bodemkaart, ruilverkaveling de Echtener en Grootte Veenpolder, schaal 1:15.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, rapport nr. 1279, bijlage 1, blad 1;
- Grondwatertrappenkaart, ruilverkaveling de Echtener en Grootte Veenpolder, schaal 1:15.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, rapport nr. 1279, bijlage 2, blad 1;
- Reductiekaart, ruilverkaveling de Echtener en Grootte Veenpolder, schaal 1:15.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, rapport nr. 1279, bijlage 4, blad 1;
- Veendikte - zanddieptekaart, ruilverkaveling de Echtener en Grootte Veenpolder, schaal 1:15.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Cultuurtechnische Dienst, Utrecht, rapport nr. 1279, bijlage 5, blad 1;
- Waterstaatskaart 'vergelijkingsgebied Oosterzee' 1873;
- Waterstaatskaart 'vergelijkingsgebied Oosterzee' 1923;
- Waterstaatskaart 'vergelijkingsgebied Oosterzee' 1952;
- Waterstaatskaart 'vergelijkingsgebied Oosterzee' 1969;
- Peilopnames 1976-1988 'vergelijkingsgebied Oosterzee'; Landinrichtingsdienst;
- Situatiekaart particuliere diepontwatering Veenpolder van Echten, Grootte Veenpolder en Oosterzee, schaal 1:50.000; Waterschap De Stellingwerven;
- Isohypsenkaart Lemmer e.o. (zomer 1949) stijghoogten van het grondwater direct onder de veenlaag, schaal 1:50.000; Commissie inzake indrogende gronden rondom de Noordoostpolder;

ruilverkaveling Wymbritseradeel:

- Bodemkaart, ruilverkaveling Wymbritseradeel, schaal 1:25.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Landinrichtingsdienst, Utrecht, order 78.163 - 61.1628, 1977;

- Grondwatertrappenkaart, ruilverkaveling Wynbriteradeel, schaal 1:25.000; Stichting voor bodemkartering, Wageningen, in opdracht van de Landinrichtingsdienst, Utrecht;
- Waterstaatskaart Sneek 1873;
- Waterstaatskaart Sneek 1922;
- Waterstaatskaart Sneek-Oost 1947-'49;
- Waterstaatskaart Sneek-Oost, herzien 1971, uitgave 1972;
- Gemiddelde polderpeilen 1977-1983 en huidige particuliere onderbemalingen, Wymbritseraldeel, schaal 1:25.000; Landinrichtingsdienst, afd. Onderzoek, Leeuwarden;
- Peilverschillen 1922-(1977-)1983, Wymbritseradeel, schaal 1:25.000, Landinrichtingsdienst, afd. Onderzoek, Leeuwarden;

Artikelen en notities

- F.B.Janssen, Landinrichtingsdienst, Leeuwarden:
Maaiveldsdalingen in het Friese veenweidegebied, gepubliceerd in Cultuurtechnisch Tijdschrift jg. 26, nr. 4 (dec 1986/jan 1987), pgn. 245-252;
- Leeuwarder Courant, 13 februari 1988, voorlopige inventarisatie van schade aan muren;
- Notitie m.b.t. slootpeilen en grondwaterstanden t.b.v. beschadigd wegvak ten Noorden van Grou; Landinrichtingsdienst, afd. Onderzoek, Leeuwarden, 28 augustus 1989;
- Ruilverkaveling De Oude Jokse, gebouwenonderzoek bij W. Kooijstra, Greate Kritewei 1, Warga; Landinrichtingsdienst, afd. Onderzoek, Leeuwarden, 1 september 1988;
- Toelichting op veranderingen in de waterhuishouding in de omgeving van Grouw met de polderpeilen in de omgeving van Grouw van 1920, 1947, 1984 en 1989; Landinrichtingsdienst, 1990, ruilverkaveling De Oude Jokse;
- Informatie over 'vergelijkingsgebied' Oosterzee, ruilverkaveling de Echter en Groote Veenpolder; Landinrichtingsdienst, afd. Onderzoek, Leeuwarden 1990;
- Informatie over 'vergelijkingsgebied' Wymbritseradeel; Landinrichtingsdienst, afd. Onderzoek, Leeuwarden, 1990;

Diversen

- Geologisch onderzoek i.v.m. studie schadeverwachting inpoldering Markerwaard, uitgevoerd door de Rijks Geologische Dienst:
 - rapportnr. 10374 (met 14 bijlagen), uitgebracht bij brief no. 81570 van 26 maart 1981 aan het Hoofd van Distrikt Noord van de Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Lelystad en
 - rapportnr. 10374a (met 6 bijlagen), uitgebracht bij brief no. 811875 van 11 september 1981 aan het Hoofd van Distrikt Noord van de Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Lelystad;
- Dieptekaart top Zechstein Groep (Boven-Perm) Noordoost Nederland, rapport nr. 6009, schaal 1:250.000; Rijks Geologische Dienst, Haarlem, februari 1987;
- Diktekaart en percentage steenzout Zechstein Groep (Boven-Perm) Noordoost Nederland; gewijzigd naar RGD, 1984, rapp.nr. 6009, schaal 1:250.000; Rijks Geologische Dienst, Haarlem, december 1986;
- Dr.ir. J.S. Veenbos: De bodemkartering in het randgebied van de Noordoostpolder, gepubliceerd in Boor en Spade, Stichting voor bodemkartering, Wageningen, 1948, pgn. 15-19;
- Dr.ir. J.S. Veenbos: Verdrogingsverschijnselen in het randgebied van de Noordoostpolder gepubliceerd in Boor en Spade, Stichting voor bodemkartering, 1951, pgn. 129-138;
- brief van de Rijks Geologische Dienst aan de Provincie Friesland, 5 juli 1990, kenmerk 903732 FS/EL, over een nadere studie naar een te vergelijken gebied.