

Meetnetten voor de bepaling van bodemdaling door delfstofwinning

projectnr. 177768
revisie 00
7 februari 2008

Opdrachtgever

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische zaken
Prinses Beatrixlaan 428
Postbus 8
2270 AA Voorburg

datum vrijgave	beschrijving revisie 00	goedkeuring	vrijgave
07-02-2008	eerste uitgifte		

	Inhoud	Blz.
1	Inleiding	1
2	Huidige situatie	2
2.1	Bovengrondse peilmerken	2
2.2	Ondergrondse peilmerken	3
2.3	Inrichting meetnet	3
2.4	Meettechniek	3
3	Gewenste situatie	4
4	Knelpunten	5
5	Inrichting van het meetnet	6
5.1	Diepgefundeerd meetnet	6
5.2	Diepgefundeerde peilmerken	6
5.3	Bovengrondse peilmerken	6
5.4	Robuustheid meetnet	8
6	Conclusies en aanbevelingen	10
	Referenties	11
	Bijlagen	
1.	Constructie ondergronds peilmerk	
2.	Checklist beoordeling peilmerken	

1 Inleiding

Voor het monitoren van bodemdaling door delfstofwinning zijn de mijnbouwondernemingen in het kader van de Nederlandse Mijnbouwwet verplicht om periodiek metingen te laten uitvoeren om de toename aan bodemdaling middels nadere analyses te kunnen bepalen.

De in de meetregisters [1] gepubliceerde hoogteverschillen geven inzicht in de totale beweging van de gemeten peilmerken, maar zijn geen directe maatstaf voor de hoeveelheid bodemdaling veroorzaakt door delfstofwinning. De gemeten peilmerk daling is namelijk de som van de beweging van de dieper gelegen gesteentelagen in de ondergrond (tengevolge van de winning van zout en gas) en andere oorzaken zoals de daling van het maaiveld liggend boven slappe aardlagen (als gevolg van bijvoorbeeld polderpeilverlaging, natuurlijke klink en trillingen afkomstig van het verkeer) en de eigen beweging van het vaste object (bepaald door de fundatiekwaliteit van het bouwwerk) waarin het peilmerk is aangebracht. Er is behoefte aan een hogere mate van betrouwbaarheid waarmee de werkelijke bodemdaling door delfstofwinning kan worden bepaald. Enerzijds kan deze betrouwbaarheid worden verhoogd door gebruik te maken van geavanceerde analyse technieken, anderzijds kan de detectiemethode nog worden verbeterd.

In opdracht van het Staatstoezicht op de Mijnen (hierna 'SodM') brengt Ingenieursbureau Oranjewoud B.V. (hierna 'Oranjewoud') met dit rapport een advies uit omtrent de betrouwbaarheid in de bepaling van de hoeveelheid aan bodemdaling veroorzaakt door delfstofwinning. Doel van het advies is dat 'SodM' betere richtlijnen kan uitvaardigen voor het inrichten van meetnetten zodat in de toekomst de mate en toerekening van de bodemdaling als gevolg van delfstofwinning met een hogere mate van betrouwbaarheid kan worden vastgesteld.

Dit rapport bestaat uit de volgende hoofdstukken. In hoofdstuk 1 wordt de huidige methode voor de detectie van bodemdaling door delfstofwinning beschreven. In hoofdstuk 2 wordt de gewenste situatie beschreven. In hoofdstuk 3 volgt een opsomming van de belangrijkste knelpunten. Hoofdstuk 4 bevat het advies waarmee de ontstane situatie kan worden doorbroken. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een opsomming gegeven van de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Huidige situatie

2.1 Bovengrondse peilmerken

Tot op heden wordt er voor de bepaling van bodemdaling door delfstofwinning in de meerderheid van de gevallen gebruik gemaakt van bestaande bovengrondse NAP-hoogtemerken van Rijkswaterstaat. De door Rijkswaterstaat gepubliceerde peilmerken zijn merken die beogen aan het publiek /gebruiker een betrouwbare referentie (een hoogte) te verschaffen gerelateerd aan het NAP vlak. Primair is voor dat doel een landelijk dekkend peilmerkbestand ingericht en dat wordt ook als zodanig onderhouden. De borging van een punt is hierop gericht. Een peilmerk is normaliter een meetbout die rechtstandig in een verticaal opgetrokken stenen object is verankerd. De door Rijkswaterstaat gepubliceerde hoogten zijn ingedeeld in stabiliteitsklassen [referentie NAP register].

Hoewel mag worden verondersteld dat met zorg peilmerken zijn aangebracht en worden beheerd, is de kans redelijk groot dat bij gebruik van een enkel merk een foutieve NAP hoogte wordt aangehouden. De redenen hiervoor zijn legio. Naast administratieve, menselijke, interpretatie en aanmeet fouten is de stabiliteit van een punt een belangrijke factor.

Opmerking:

In de praktijk is bewezen dat door bovengenoemde factoren het gebruik van één peilmerk als referentie er een grote kans op het toepassen van een verkeerde hoogte is. Bij een fout van < 1 cm is deze kans meer dan 20 %. Een gebruiker wordt dan ook sterk aangeraden om aan minimaal twee bouten aan te sluiten waarmee de NAP hoogte is gecontroleerd en daardoor de betrouwbaarheid van de toegepaste NAP hoogte sterk verbeterd.

Zoals hiervoor is aangegeven is een peilmerk primair bedoeld als service aan een breed publiek voor een goed functionerend hoogte referentie netwerk. Merken zijn nagenoeg nooit aangebracht om peilmerkdaling, laat staan bodemdaling, door een enkele oorzaak (zoals delfstofwinning) te kunnen detecteren. Om op basis van bovengrondse peilmerken een correcte analyse te kunnen maken van de beweging van de diepere ondergrond (lees Pleistocene) is het dus van belang dat de peilmerken stabiel zijn in die zin dat alle overige oorzaken van mogelijke bewegingen geminimaliseerd zijn.

De grootte van de daling door bijv. gaswinning is mede gebaseerd op de veronderstelling dat de peilmerkdaling representatief is aan bodemdaling in de directe omgeving. Een correcte analyse naar oorzaak van bodembeweging/daling is eenvoudiger wanneer de beweging van peilmerk gelijk is aan de maaiveld daling.

Bovengrondse merken voor gebruik van detectie van bodemdaling door delfstofwinning moeten dus met de nodige zorg worden gekozen en worden aangebracht. De stabiliteit van bovengrondse merken vraagt hierbij veel aandacht. Immers in een peilmerk kunnen meerdere oorzaken opgesloten liggen die daling van het merk veroorzaken:

- kwaliteit van het peilmerk: type bout en verankering
- kwaliteit van het object waarin het merk is verankerd, waarbij een aantal aspecten van belang zijn:

- robuustheid en vormvastheid
- kwaliteit van de fundering
- de ondergrond waarop een bouwwerk is gefundeerd
- gevoeligheid in wijzigingen van de grondwaterstand
- verstoring gevoeligheid
 - beschadiging
- beweging van de diepere ondergrond (bodemdaling door mijnbouwactiviteiten)
 - opbouw Holoceen
 - waterwinning
 - diepte en opbouw van het Pleistoceen

De belangrijkste oorzaak is puntruïsfel ofwel de kwaliteit van het peilmerk en het object waarin het peilmerk is verankerd.

2.2 Ondergrondse peilmerken

Bodemdaling aan het maaiveld veroorzaakt door delfstofwinning komt altijd vanuit grotere diepte, zeg dieper dan 200 meter. Alle andere invloeden die peilmerk daling / maaiveld daling veroorzaken komen uit het gebied boven of direct onder het maaiveld (Holoceen). In essentie is het dus vrij eenvoudig om peilmerk daling door mijnbouw te onderscheiden van andere invloeden. Immers de verticale beweging van (de bovenkant) van het Pleistoceen is toe te rekenen aan de veroorzaker die dieper ligt. Meestal is dit alleen delfstofwinning, soms ook nog waterwinning of een geringe mate van natuurlijke compactie van onderliggende lagen.

Hieruit kunnen we concluderen dat **een meetnet, dat specifiek is bedoeld om bodembeweging door delfstofwinning te detecteren, moet bestaan uit peilmerken die verankerd zijn in het Pleistoceen.** Voor dit doel zijn de ondergrondse peilmerken van het GeoDelft type ontwikkeld. Zie Bijlage 1 voor een beschrijving van de constructie van deze peilmerken.

2.3 Inrichting meetnet

Voor de inrichting van het meetnet wordt gebruik gemaakt van de procedure van 'SodM' [2]. De inrichting (grootte, de intensiteit en de vorm) van het puntenveld zal een correcte beschrijving van de verwachte bodemdalingssituatie, veroorzaakt door delfstofwinning, moeten kunnen genereren. Hierin wordt geadviseerd om gebruik te maken van ondergrondse merken.

De huidige meetnetten bestaan voornamelijk uit bovengrondse peilmerken. In slechts enkele meetnetten zijn één of meerdere ondergrondse merken opgenomen. Het bekendste voorbeeld is het meetnet in de winningsvergunning Leeuwarden West van Vermilion [3] waarin een zevental ondergrondse merken zijn opgenomen.

2.4 Meettechniek

De betrouwbaarheid van een meting is geborgd door de configuratie van de meetnetten samen met de gehanteerde meetprocedure, de zo genoemde secundaire nauwkeurigheidswaterpassing. Hierbij wordt de procedure gevolgd die, met ingang van 18 augustus 2005, is vastgesteld door Staatstoezicht op de Mijnen en de Data-ICT-Dienst van Rijkswaterstaat (voorheen RWS-AGI).

3 Gewenste situatie

Zoals genoemd in de Inleiding (hoofdstuk 1) is er behoefte aan een meer nauwkeurige detectie van de bodemdaling door delfstofwinning. Hiervoor dienen de peilmerken zodanig aangebracht te worden dat alle oorzaken van mogelijke bewegingen anders dan delfstofwinning geminimaliseerd zijn. In paragraaf 2.2 is beargumenteerd dat hiervoor ondergrondse peilmerken, die verankerd zijn op het pleistocene zand, noodzakelijk zijn. Dit is niet nieuw en zelfs reeds een aantal decennia bekend.

Om echter daadwerkelijk bodemdaling veroorzaakt door delfstofwinning te kunnen detecteren met de hedendaagse eisen aan de nauwkeurigheid is het sterk aan te bevelen om het gebruik van ondergrondse peilmerken sterk uit te breiden en evenwichtig te verdelen over het gehele onderzoeksgebied.

Ook is het maatschappelijk wenselijk om inzicht te krijgen in maaiveld daling die niet toegerekend kan worden aan delfstofwinning, inclusief autonome bodemdaling.

4 Knelpunten

Een aantal knelpunten kunnen worden onderscheiden bij het inrichten van meetnetten:

1. De huidige meetnetten voor het detecteren van bodemdaling door delfstofwinning hebben alle gemeen dat er naast de daling veroorzaakt door delfstofwinning ook veel peilmerk daling door andere oorzaken wordt gemeten. Dit komt hoofdzakelijk doordat er gebruik wordt gemaakt van reguliere NAP peilmerken. Deze peilmerken zijn in veel gevallen onvoldoende geschikt voor detectie van het fenomeen waarin de gebruiker is geïnteresseerd, namelijk de mate van peilmerk daling als gevolg van delfstofwinning.
2. De praktijk heeft geleerd dat het niet mogelijk is te voorspellen hoeveel, waar en met welke snelheid de daling zich exact voordoet.
3. De voornaamste reden voor het geringe gebruik van ondergrondse peilmerken zijn de relatief hoge kosten van de plaatsing.
4. In landelijke gebieden waar onvoldoende kwalitatief goede bouwwerken aanwezig zijn is het plaatsen van nieuwe bovengrondse merken nog een bijkomstig knelpunt.

5 Inrichting van het meetnet

5.1 Diepgefundeed meetnet

Een net van meetpunten verankerd in het Pleistoceen, zodanig verdeeld over een delfstofwingebied waarmee het mogelijk is een goede beschrijving van de bodemdalingskom door een mijnbouwactiviteit te leveren, is de aangewezen oplossing om de bodemdaling door delfstofwinning te detecteren.

Het aantal punten dat hiermee is gemoeid kan sterk variëren omdat het afhankelijk is van de mate van nauwkeurigheid die wordt verlangd, de diepte van het Pleistoceen en van de verwachte grootte en vorm van de dalingskom. De dalingskom heeft haar oorsprong in de geomechanische eigenschappen van de diepe ondergrond, de omvang en diepte van het reservoir en de geprognoseerde productie.

Een voorbeeld:

In een verwachte cirkelsymmetrische dalingskom zijn voor een goede kombeschrijving minimaal 9 punten per aslijn nodig, dus bij twee haaks op elkaar staande 'detectieassen' is het totaal 18 min 1 is 17 punten. De praktijk leert dat men de peilmerken niet op de meest ideale ontwerp-locatie kan aanbrengen en dat men genoodzaakt is om meer merken aan te brengen. Bij meer complexe vormen van de dalingskom of bij grotere onzekerheid hoe de kom zich gaat manifesteren zal het aantal benodigde peilmerken snel stijgen.

5.2 Diepgefundeerde peilmerken

Bij het inrichten van meetnetten voor detectie van bodemdaling door delfstofwinning is van belang te weten hoe diep onder het maaiveld het Pleistocene zand met conuswaarden van 20-30 MPa wordt bereikt (zie ook Bijlage 1). In gebieden, waar het Holoceen een geringe dikte heeft of geheel ontbreekt en dus het Pleistoceen nagenoeg aan of direct onder het maaiveld ligt, vindt beweging van top Pleistoceen en puntruis in hetzelfde verticale vlak (locatie) plaats. Hoewel in dit geval peilmerkbeweging als gevolg van beweging van het Holoceen niet aan de orde is, kan men nog steeds puntruis en daling van het Pleistoceen niet zonder meer onderscheiden. Om toch een juiste conclusie over de bijdrage aan bodemdaling door delfstofwinning te kunnen trekken, is het van belang dat **de 'diep' gefundeerde punten zo diep in het Pleistoceen worden verankerd, dat in ieder geval conuswaarden van 20-30 MPa worden bereikt.**

5.3 Bovengrondse peilmerken

Om het aantal van de (kostbare) diep gefundeerde punten te beperken vormt een combinatie van een beperkt aantal (in het Pleistoceen) diepgefundeerde punten in combinatie met bovengrondse peilmerken waarschijnlijk een acceptabele oplossing voor detectie van bodemdaling door delfstofwinning. Daarnaast is opname van bovengrondse punten in een meetnet ook noodzakelijk om meettechnische redenen. Tevens is het maatschappelijk wenselijk om gelijktijdig een indruk te krijgen van de totale peilmerkdaling op maaiveldniveau.

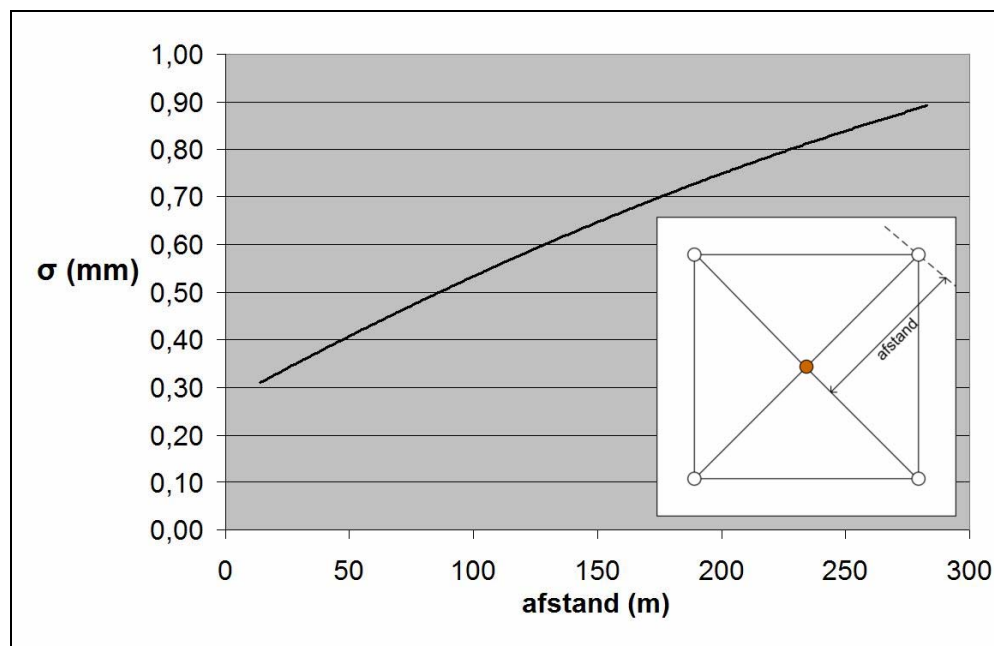
Om een goede analyse te kunnen doen omtrent de peilmerkdaling die niet toegekend kan worden aan delfstofwinning is het noodzakelijk een aantal bovengrondse merken te plaatsen in de directe omgeving van een ondergronds peilmerk. Bij de keuze van peilmerken die, naast de diepgefundeerde punten, acceptabel zijn in een meetnet bedoeld voor het detecteren van bodemdaling door delfstofwinning is het van belang om met name de puntruis te minimaliseren. Door het verschil in puntruis kan peilmerkdaling van twee peilmerken die relatief dicht bij elkaar in de buurt liggen namelijk sterk verschillen. Tevens kunnen in zekere mate de met zorg gekozen peilmerken het ondergrondse merk controleren op eventuele verstoring.

Het verdient aanbeveling om rond een diepgefundeerd peilmerk minimaal 3 maar beter is 4 bovengrondse peilmerken te plaatsen. De overwegingen om tot dit aantal te komen zijn de volgende:

- één enkel peilmerk geeft een indicatie
- die door een tweede peilmerk kan worden bevestigd
- een derde peilmerk kan uitsluitel geven over de eventuele tegenspraak
- een vierde peilmerk dient om het verlies van één van de drie voornoemde peilmerken in de periode tussen de opvolgende metingen te compenseren

De plaatsing dient bij voorkeur in vier gescheiden objecten te geschieden, omdat waarschijnlijk meerdere peilmerken in hetzelfde object eenzelfde (mogelijk onjuist) bewegingspatroon in de tijd vertonen. Een object kan hier vervangen worden door een schroefanker.

Om de gewenste afstand van de bovengrondse merken tot het ondergrondse merk te bepalen is een verkenningsberekening uitgevoerd. In figuur 1 wordt de standaardafwijking weergegeven van de vier bovengrondse peilmerken ten opzichte van het diepgefundeerde peilmerk. De standaardafwijking van het diepgefundeerde peilmerk is hierbij op 0 mm gesteld. De puntidentificatie op 0.2 mm. De vier punten zijn met het diepgefundeerde peilmerk middels vier kringen verbonden. Vervolgens zijn de standaardafwijkingen in een Move3-verkenningsberekening berekend. De uitkomsten zijn met $\sqrt{2}$ vermenigvuldigd en in de grafiek van figuur 1 gepresenteerd.



Figuur 1: Standaardafwijking versus afstand voor de configuratie van 4 bovengrondse merken rondom een ondergronds merk voor twee opeenvolgende metingen.

Uit figuur 1 blijkt, dat het verstandig is om de afstand tot het diepgefundeerde peilmerk klein te houden, tot maximaal 100 meter, om nog een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over de beweging van de bovengrond in relatie tot de beweging van de ondergrond. Voor de afstand van 100 meter is het nog mogelijk om een verschil in hoogte tussen het ondergronds merk en de omringende bovengrondse merken van de orde van 1,5 mm (3σ) te kunnen bepalen.

5.4 Robuustheid meetnet

In de praktijk zal het echter blijken dat ook bij een zorgvuldige keuze van objecten die aan bovengenoemde eisen schijnen te voldoen er jaren later blijkt dat er toch lokale verschillen in peilmerkdaling optreden die niet zijn onderkend. Bij nadere bestudering blijkt soms dat andere oorzaken een rol spelen zoals grondwaterspiegel verandering, nazakken van nieuwe gebouwen, overbelasten (te zwaar belasten) van een fundering t.o.v. het ontwerp etc. Met name (oude) bouwwerken waaruit veel is gesloopt of die in de loop der tijd zijn vergroot, belasten delen van de bestaande fundering bovenmatig en veroorzaken een instabiele situatie met veel (mogelijk tijdelijke) puntruïst.

Bovenstaande toont aan dat op voorhand het niet altijd eenvoudig is om een juiste selectie te maken in de locatie keuze bij het plaatsen van peilmerken. Met name het verzamelen van de gegevens over de kwaliteit en gebruik van bouwwerk waarin een merk is verankerd is arbeidsintensief en zal altijd een vorm van subjectiviteit bevatten. In Bijlage 2 is een checklist bijgevoegd die als leidraad kan dienen voor het aanbrengen en het beheer van peilmerken. Een aanvullende bron van informatie is het zettingsgedrag van de individuele peilmerken als functie van de tijd.

Wat in ieder geval duidelijk is dat een meetnet, bedoeld om peilmerkdaling door delfstofwinning te detecteren, over een langere periode (meerdere decennia) in stand moeten blijven. Daarbij is, naast de zorgvuldige locatie keuze en met het oog op verdwijnen van merken, een zekere mate van over-dimensioneren aan peilmerken noodzakelijk. De ervaring leert dat er per jaar ongeveer 1 à 2 procent aan peilmerken

verdwijnt cq. ongeschikt raakt. Het verdient aanbeveling om meetnetten, ook die meetnetten die minder frequent worden gemeten, minimaal één maal in de drie jaar te verkennen op aanwezigheid en status van het peilmerk en het object. Verdwenen of ondoelmatige peilmerken dienen te worden vervangen.

6 Conclusies en aanbevelingen

- Vrijwel alle huidige meetnetten zijn zodanig ingericht, dat men de enkele oorzaak van peilmerkdaling door delfstofwinning onvoldoende rechtstreeks en ondubbelzinnig kan detecteren.
- De meetnetten moeten worden verbeterd door het aanbrengen van stevig in het Pleistoceen gefundeerde peilmerken.
- Het noodzakelijke aantal in het Pleistoceen gefundeerde peilmerken zal in ieder meetnet opnieuw moeten worden vastgesteld, afhankelijk van de mate van nauwkeurigheid die wordt verlangd t.a.v. de bepaling van bodemdaling door delfstofwinning, de draagkracht (diepte) van het Pleistoceen en van de verwachte grootte en vorm van de dalingskom.
- De bovengrondse peilmerken in de bestaande meetnetten zullen moeten worden onderzocht op de huidige status en geschiktheid voor het doel.
- Alle meetnetten, dus ook die meetnetten die minder frequent worden gemeten, dienen minimaal één maal in de drie jaar te worden verkend op aanwezigheid en status van het peilmerk en het object. Verdwenen of ondoelmatige peilmerken dienen te worden vervangen.
- De huidige methode om peilmerkbewegingen te meten is de secundaire nauwkeurigheidswaterpassing. Deze methode is voldoende precies en betrouwbaar.

Referenties

1. NL Olie- en gasportaal. Openbare meetregisters ter voldoening aan het gestelde in artikel 30, 31 en 32 van het Mijnbouwbesluit.
<http://dinolks01.nitg.tno.nl/dinoLks/nlog/registers.jsp>
2. Toezicht op het meten van de bodembewegingen, Staatstoezicht op de Mijnen, revisie 01, 17 mei 2004.
3. Constructie van 7 ondergrondse merken in de omgeving van Franeker ten behoeve van Petroland. Grondmechanica Delft. CO-300770/13, januari 1988.

projectnr. 177768
7 februari 2008, revisie 00

Meetnetten voor de bepaling van bodemdaling door delfstofwinning
Staatstoezicht op de Mijnen

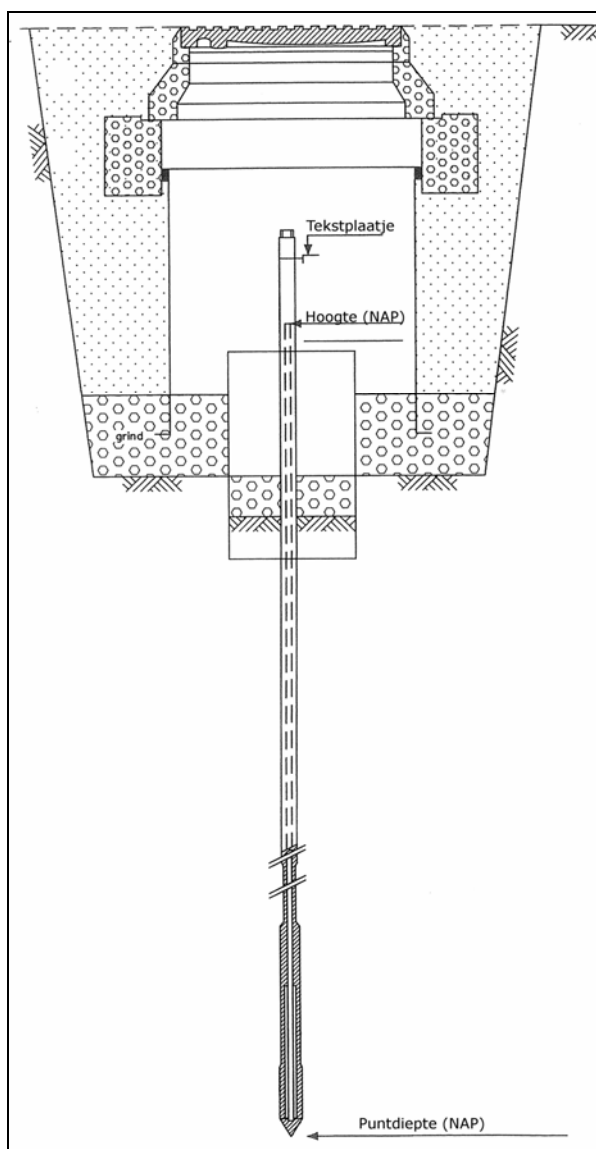


Bijlagen

Bijlage 1: Constructie ondergronds peilmerk

Onderstaande figuur toont een zijaanzicht van de constructie van een ondergronds peilmerk van het GeoDelft type (het huidige Deltares). Voor de bepaling van bodemdaling van de diepe ondergrond heeft een ondergronds peilmerk een hogere betrouwbaarheid dan peilmerken aangebracht in objecten aan het maaiveld. Een ondergronds merk bestaat uit vastpuntconus, een sondeerbuis, een binnenstang en een dop en wordt aan het maaiveld afgewerkt met een gefundeerde put.

Gebruikelijk wordt de punt van de conus in een pleistocene laag geplaatst met conuswaarden van 20 tot 30 MPa. De conus beschikt over een schuifconstructie waardoor krachten door eventuele zetting van hoger gelegen lagen niet op de punt worden overgebracht. De binnenstang wordt in de punt geschroefd. De bovenkant van de binnenstang volgt de eventuele zetting van de pleistocene zandlaag en wordt tijdens een nauwkeurigheidswaterpassing aangemeten.



Figuur: Schets van een ondergronds peilmerk van het GeoDelft type.

Bijlage 2: Checklist beoordeling peilmerken

Checklist beoordeling peilmerken	
1 peilmerk soort merk kwaliteit peilmerk leeftijd	
2 omgeving bereikbaarheid zicht / toegankelijk verankeringsgarantie	
3 object soort object kwaliteit bouwwerk leeftijd (zetting) verwachte levensduur gebruik, met name de belasting type objectfundatie op staal palen geen	
4 ondergrond diepte pleistoceen grondsoort draagkracht	