

stowa

Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Rijkswaterstaat

INSPECTIE VAN WATERKERINGEN

EEN OVERZICHT VAN MEETTECHNIEKEN



STOWA RAPPORT 2006 10
DWW RAPPORT 2006 60



INSPECTIE VAN WATERKERINGEN

EEN OVERZICHT VAN MEETTECHNIEKEN

RAPPORT

2006

10

2006

60

DWW RAPPORT

ISBN 90.5773.319.6



COLOFON

UITGAVE STOWA UTRECHT 2006

OPDRACHTGEVERS

STOWA	L.R. Wentholt
DWW	P.J.L. Blommaart

AUTEURS

G.M. Moser	Partner in Water Management B.V.
W.S. Zomer	BZ Innovatiemanagement B.V.

PROJECTGROEP

B. van de Roest (vz)	Rijkswaterstaat
C. van Ackooij	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden
M. Guichelaar	Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard
R. Joosten	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
K. Klaassens	Provincie Groningen
R. van Oort	Rijkswaterstaat AGI
L. Zijlstra	Wetterskip Fryslân

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2006-10
DWW rapportnummer 2006-60
ISBN 90.5773.319.6

TEN GELEIDE

Het overzicht van meettechnieken geeft in dit rapport een indruk van de actuele technieken voor het meten aan waterkeringen. Het overzicht is een selectie van anno 2006. Het overzicht is vooral het werk van vele niet in het overzicht genoemde auteurs die hun werk op het gebied van de ontwikkeling en het toepasbaar maken van technieken op inzichtelijke wijze toegankelijk willen maken voor een brede gebruikersgroep. Een gebruikersgroep van waterkeringbeheerders die voor de uitdaging staan het beheer van waterkeringen te innoveren. Dit overzicht kan de dialoog tussen de aanbieders van meettechnieken en de afnemers bevorderen over het opnemen van meettechnieken in de werkprocessen van de beheerders. Het overzicht moet worden gezien als een product van samen werken aan verbetering van het beheer van waterkeringen. Dank gaat uit naar alle (anonieme) auteurs die hier een bijdrage voor hebben geleverd. Voor de aanbieders van meettechnieken geeft dit overzicht inzicht in de achtergronden van beheerders waarop ze hun gegevensbehoefte richten. Het toegankelijk maken van elkaars werkgebied vormt de sleutel voor succes of innovatie met perspectief. Innovatie is naar mijn mening vooral het succesvol kopiëren van het werk van anderen met een bescheiden eigen toevoeging.

Utrecht, juli 2006

De directeur van de STOWA
ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

ACHTERGROND

Als voortvloeisel van de kadeverschuiving bij Wilnis en Terbregge en de afschuiving van de kanaaldijk bij Stein, hebben STOWA en DWW een plan van aanpak opgesteld voor onderzoek naar verbetering van inspecties van waterkeringen [1]. Conform dit plan is een inventarisatie en analyse uitgevoerd naar de inrichting en uitvoering van huidige inspecties van waterkeringen [2]. Hierbij is gebleken dat er veel technieken zijn die ondersteuning kunnen bieden voor de inrichting en uitvoering van inspecties van waterkeringen. In de gerapporteerde inventarisatie is het inspectieproces onderverdeeld in vier deelprocessen: waarnemen, diagnosticeren, prognosticeren en operationaliseren. De voorliggende rapportage geeft een overzicht van technieken voor het waarnemen. Waarnemen in de betekenis van het meten en vastleggen van parameters die gerelateerd zijn aan faalmechanismen en bezwijkmechanismen van waterkeringen. Genoemde mechanismen vormen het uitgangspunt voor de kern van diagnostische en prognostische systemen.

Onbekendheid over de mogelijke meerwaarde van technieken voor het waarnemen weerhoudt waterkeringbeheerders (de eindgebruikers) mogelijk nog de technieken op te nemen en te gebruiken in het beheer. Ook de onbekendheid van de technieken zelf kan het toepassen ervan doen stagneren. Dit rapport geeft een overzicht van de huidige stand van zaken van technieken ten behoeve van het waarnemen. Veel van deze technieken zijn nog volop in ontwikkeling. De technieken kunnen veel, maar zijn (nog) niet toegesneden op het gebruik voor waterkeringen. Hier is nog een slag nodig. Het voornemen is het overzicht periodiek te actualiseren en ook de meerwaarde van technieken nog meer te preciseren.

GEbruik DOCUMENT

Dit document biedt de beheerder een handvat om zich te oriënteren op mogelijk in te zetten meettechnieken voor het waarnemen aan waterkeringen. De informatie over beschikbare technieken is in dit rapport gebundeld en biedt de beheerder een startpunt voor verdere ontsluiting van de technieken voor operationeel gebruik

BESCHRIJVING INHOUD DOCUMENT

In het rapport wordt onderscheid gemaakt naar waterkerende constructies in de vorm van grondkeringen en kunstwerken. Onderscheid naar primaire en regionale waterkeringen is voor de beschrijving van technieken niet wezenlijk van belang. Technieken voor het waarnemen worden ingezet om meer informatie te verkrijgen over het gedrag van waterkeringen en verbanden te leggen naar faal- en bezwijkmechanismen. In onderhavig rapport wordt een overzicht gegeven van faal- en bezwijkmechanismen van waterkeringen. Daarnaast worden indicatoren opgesomd die relevante aanwijzingen kunnen geven over falen of mogelijk bezwijken van waterkeringen. Traditionele meettechnieken, remote sensing technieken en geofysische meettechnieken zijn beschreven. Geen enkele meettechniek is in staat om geheel in de behoefte aan gegevens over waterkeringen te voorzien. Meettechnieken vullen elkaar aan en verhogen daarmee de betrouwbaarheid van diagnoses en prognoses voor waterkeringen. De betekenis van de diverse meettechnieken voor het waarnemen van indicatoren die gerelateerd zijn aan falen en/of bezwijken is in tabelvorm aangegeven.

ONTWIKKELINGEN

De komende jaren staan de ontwikkelingen op het gebied van inspecties van waterkeringen niet stil. Diverse initiatieven zijn of worden genomen om innovaties in het inspectieproces te realiseren. De innovaties hebben betrekking op procesmatige, organisatorische, technische en inhoudelijke aspecten van het inspecties van waterkeringen.

De resultaten van onderzoek naar meettechnieken zullen in volgende geactualiseerde versies van dit overzichtsrapport (digitaal) beschikbaar komen. Op deze wijze wordt gewaarborgd dat de meest actuele kennis over inspectietechnieken beschikbaar wordt gesteld.

INSPECTIE VAN WATERKERINGEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
1	INLEIDING	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel rapport	1
1.3	Kader rapport	2
1.4	Leeswijzer	3
2	TYPERING WATERKERINGEN	4
2.1	Inleiding	4
2.2	Waterkerende grondlichamen	4
2.3	Kunstwerken	5
2.4	Indeling primaire en regionale waterkeringen	5
3	FAALMECHANISMEN EN INDICATOREN	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Faalmechanismen	7
3.2.1	Inleiding	7
3.2.2	Overloop en overslag	8
3.2.3	Macro-instabiliteit aan de binnenzijde	9
3.2.4	Micro-instabiliteit	9
3.2.5	Piping	9
3.2.6	Heave	10
3.2.7	Macro-instabiliteit aan de buitenzijde	10
3.2.8	Horizontaal afschuiven van de dijk	10
3.2.9	Erosie van de toplaag aan de buitenzijde	10
3.2.10	Sterkte en stabiliteit van constructies	10

3.3	Faalmechanismen dijken, duinen en kunstwerken	11
3.3.1	Inleiding	11
3.3.2	dijken	11
3.3.3	Faalmechanismen duinen	11
3.3.4	Faalmechanismen Kunstwerken	12
3.4	Faalmechanismen en indicatoren	12
3.4.1	Inleiding	12
3.4.2	Dijken	12
3.4.3	Duinen	14
3.4.4	Kunstwerken	14
4	BASISELEMENTEN WATERKERINGEN	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Geometrisch profiel	16
4.3	Bekledingen	19
4.4	Grondlichaam	23
4.5	Grondwater / waterspanning	23
5	MEETTECHNIEKEN	25
5.1	Inleiding	25
5.2	Begrippen	25
5.3	Traditionele technieken	28
5.3.1	Inleiding	28
5.3.2	Sonderingen	29
5.3.3	Boringen	31
5.3.4	Vinproeven	31
5.3.5	Terreinonderzoek ter bepaling van vervormingparameters	32
5.3.6	Metingen van waterspanningen en stijghoogte	32
5.3.7	Elektrische dichtheidsmeting	33
5.3.8	Pomp- en putproeven	34
5.3.9	Infiltratieproeven	35
5.4	Moderne insitu-technieken door sensortechnologie	35
5.4.1	Inleiding	35
5.4.2	Glasvezelsensor voor puntmetingen	35
5.4.3	Glasvezelsensor voor gedistribueerde vormveranderingen	35
5.5	Geofysische technieken	36
5.5.1	Inleiding	36
5.5.2	Basisprincipes	36
5.5.3	Weerstandsmetingen	38
5.5.4	Grondradar	41
5.5.5	Seismiek	44
5.5.6	Laser altimetrie	46
5.5.7	Interferometrische SAR	51
5.5.8	Passieve Microgolf Radiometrie (PMR)	54
5.5.9	Actieve elektromagnetische metingen	56

6	MEETTECHNIEKEN NADER BESCHOUWD	61
6.1	Inleiding	61
6.2	Waarnemingen geometrisch profiel	61
6.3	Metten van geometrisch profiel	61
6.4	Metten van vervormingen	63
6.5	Relevantie meettechnieken	64
6.6	Metten aan faal- en bezwijkmechanismen	64
6.6.1	Inleiding	64
7	REFERENTIES	72
	BIJLAGEN	
BIJLAGE 1	BORINGEN	73
B1.1	Handboringen met een lepelboor of gutsboor	73
B1.2	Pulsboringen	73
B1.3	Ackermann-boring	74
B1.4	Begemann-boring	74
BIJLAGE 2	VINPROEVEN	76
BIJLAGE 3	TERREINONDERZOEK VERVORMINGSPARAMETERS	78
B3.1	Pressiometer	78
B3.2	Dilatometer	78
B3.3	Cone-pressuremeter	79
BIJLAGE 4	WATERSPANNINGSMETING	80
B4.1	Algemeen	80
B4.2	Peilbuizen	80
B4.3	Waterspanningsmeters	81
B4.3.1	Manometertype	81
B4.3.2	Elektrische waterspanningsmeters	82
B4.3.3	Vw-waterspanningsmeter	82
BIJLAGE 5	NIET DESTRUCTIEF ONDERZOEK VAN DE ASFALTKWALITEIT	84
B5.1	Inleiding	84
B5.2	Nucleaire dichtheidsmeter	85
B5.3	Grondradar	85
B5.4	Valgewicht-deflectiometer	86
BIJLAGE 6	OVERZICHT EIGENSCHAPPEN VAN MEETTECHNIEKEN	87
B6.1	Inleiding	87
B6.2	Technieken voor metingen in het geometrische profiel	87
B6.2.1	Inleiding	87
B6.2.2	Visuele inspecties	88
B6.2.2.1	Eigenschappen van de techniek	88
B6.2.2.2	Operationaliteit van de techniek	88
B6.2.2.3	Niveau van de techniek	88
B6.2.2.4	Toepasbaarheid van de techniek	88
B6.2.2.5	Inzetbaarheid van de techniek	89
B6.2.2.6	Enkele leveranciers van de techniek	89
B6.2.2.7	Kostenoverzicht van de techniek	89
B6.2.3	Laseraltimetrie	89
B6.2.3.1	Eigenschappen van de techniek	89
B6.2.3.2	Operationaliteit van de techniek	89
B6.2.3.3	Niveau van de techniek	89
B6.2.3.4	Toepasbaarheid van de techniek	89
B6.2.3.5	Inzetbaarheid van de techniek	89
B6.2.3.6	Enkele leveranciers van de techniek	89
B6.2.3.7	Kostenoverzicht van de techniek	90

B6.2.4	Zichtbaar licht fotografie / fotogrametrie	90
B6.2.4.1	Eigenschappen van de techniek	90
B6.2.4.2	Operationaliteit van de techniek	90
B6.2.4.3	Niveau van de techniek	90
B6.2.4.4	Toepasbaarheid van de techniek	90
B6.2.4.5	Inzetbaarheid van de techniek	90
B6.2.4.6	Enkele leveranciers van de techniek	90
B6.2.4.7	Kostenoverzicht van de techniek	90
B6.2.5	Radar-interferometrie	91
B6.2.5.1	Eigenschappen van de techniek	91
B6.2.5.2	Operationaliteit van de techniek	91
B6.2.5.3	Niveau van de techniek	91
B6.2.5.4	Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	91
B6.2.5.5	Inzetbaarheid van de techniek	91
B6.2.5.6	Enkele leveranciers van de techniek	91
B6.2.5.7	Kostenoverzicht van de techniek	91
B6.2.6	3D GPS	92
B6.2.6.1	Eigenschappen van de techniek	92
B6.2.6.2	Operationaliteit van de techniek	92
B6.2.6.3	Niveau van de techniek	92
B6.2.6.4	Toepasbaarheid van de techniek	92
B6.2.6.5	Inzetbaarheid van de techniek	92
B6.2.6.6	Enkele leveranciers van de techniek	92
B6.2.6.7	Kostenoverzicht van de techniek	92
B6.2.7	Waterpassing, theodolieten, tachymeters, etc.	92
B6.2.7.1	Eigenschappen van de techniek	92
B6.2.7.2	Operationaliteit van de techniek	93
B6.2.7.3	Niveau van de techniek	93
B6.2.7.4	Toepasbaarheid van de techniek	93
B6.2.7.5	Inzetbaarheid van de techniek	93
B6.2.7.6	Enkele leveranciers van de techniek	93
B6.2.7.7	Kostenoverzicht van de techniek	93
B6.2.8	Zeer gevoelige seismologische technieken	93
B6.2.8.1	Eigenschappen van de techniek	93
B6.2.8.2	Operationaliteit van de techniek	93
B6.2.8.3	Niveau van de techniek	93
B6.2.8.4	Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	94
B6.2.8.5	Inzetbaarheid van de techniek	94
B6.2.8.6	Enkele leveranciers van de techniek	94
B6.2.8.7	Kostenoverzicht van de techniek	94
B6.2.9	Sonar	94
B6.2.9.1	Eigenschappen van de techniek	94
B6.2.9.2	Operationaliteit van de techniek	94
B6.2.9.3	Niveau van de techniek	94
B6.2.9.4	Toepasbaarheid van de techniek	94
B6.2.9.5	Inzetbaarheid van de techniek	94
B6.2.9.6	Enkele leveranciers van de techniek	94
B6.2.9.7	Kostenoverzicht van de techniek	95
B6.2.10	Glasvezeltechnieken	95
B6.2.10.1	Eigenschappen van de techniek	95
B6.2.10.2	Operationaliteit van de techniek	95
B6.2.10.3	Niveau van de techniek	95
B6.2.10.4	Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	95
B6.2.10.5	Inzetbaarheid van de techniek	95
B6.2.10.6	Enkele leveranciers van de techniek	95
B6.2.10.7	Kostenoverzicht van de techniek	95

B6.3	Technieken voor meten aan bodemopbouw	96
	B6.3.1 Inleiding	96
	B6.3.2 Grondradar in combinatie met EM-tracers	96
	B6.3.2.1 Eigenschappen van de techniek	96
	B6.3.2.2 Operationaliteit van de techniek	96
	B6.3.2.3 Niveau van de techniek	96
	B6.3.2.4 Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	96
	B6.3.2.5 Inzetbaarheid van de techniek	96
	B6.3.2.6 Enkele leveranciers van de techniek	97
	B6.3.2.7 Kostenoverzicht van de techniek	97
	B6.3.3 Oppervlaktegolf metingen	97
	B6.3.3.1 Eigenschappen van de techniek	97
	B6.3.3.2 Operationaliteit van de techniek	97
	B6.3.3.3 Niveau van de techniek	97
	B6.3.3.4 Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	97
	B6.3.3.5 Inzetbaarheid van de techniek	97
	B6.3.3.6 Enkele leveranciers van de techniek	97
	B6.3.3.7 Kostenoverzicht van de techniek	97
	B6.3.4 Boringen en sonderingen	98
	B6.3.4.1 Eigenschappen van de techniek	98
	B6.3.4.2 Operationaliteit van de techniek	98
	B6.3.4.3 Niveau van de techniek	98
	B6.3.4.4 Toepasbaarheid van de techniek	98
	B6.3.4.5 Inzetbaarheid van de techniek	98
	B6.3.4.6 Enkele leveranciers van de techniek	98
	B6.3.4.7 Kostenoverzicht van de techniek	98
B6.4	Technieken voor metingen aan bekledingen	98
	B6.4.1 Inleiding	98
	B6.4.2 Visuele inspecties	99
	B6.4.2.1 Eigenschappen van de techniek	99
	B6.4.2.2 Operationaliteit van de techniek	99
	B6.4.2.3 Niveau van de techniek	99
	B6.4.2.4 Toepasbaarheid van de techniek	99
	B6.4.2.5 Inzetbaarheid van de techniek	99
	B6.4.2.6 Enkele leveranciers van de techniek	100
	B6.4.2.7 Kostenoverzicht van de techniek	100
	B6.4.3 Zichtbaar licht fotografie / fotogrametrie	100
	B6.4.3.1 Eigenschappen van de techniek	100
	B6.4.3.2 Operationaliteit van de techniek	100
	B6.4.3.3 Niveau van de techniek	100
	B6.4.3.4 Toepasbaarheid van de techniek	100
	B6.4.3.5 Inzetbaarheid van de techniek	100
	B6.4.3.6 Enkele leveranciers van de techniek	100
	B6.4.3.7 Kostenoverzicht van de techniek	100
	B6.4.4 Nabij infrarood fotogrametrie	100
	B6.4.4.1 Eigenschappen van de techniek	100
	B6.4.4.2 Operationaliteit van de techniek	100
	B6.4.4.3 Niveau van de techniek	101
	B6.4.4.4 Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	101
	B6.4.4.5 Inzetbaarheid van de techniek	101
	B6.4.4.6 Enkele leveranciers van de techniek	101
	B6.4.4.7 Kostenoverzicht van de techniek	101
	B6.4.5 Thermisch infrarood fotogrametrie	101
	B6.4.5.1 Eigenschappen van de techniek	101
	B6.4.5.2 Operationaliteit van de techniek	101
	B6.4.5.3 Niveau van de techniek	101
	B6.4.5.4 Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	101

	B6.4.5.5	Inzetbaarheid van de techniek	101
	B6.4.5.6	Enkele leveranciers van de techniek	101
	B6.4.5.7	Kostenoverzicht van de techniek	101
B6.5		Meten van waterspanning / grondwater	102
	B6.5.1	Inleiding	102
	B6.5.2	Bodemonderzoek: peilbuizen	102
	B6.5.2.1	Eigenschappen van de techniek	102
	B6.5.2.2	Operationaliteit van de techniek	102
	B6.5.2.3	Niveau van de techniek	102
	B6.5.2.4	Toepasbaarheid van de techniek	102
	B6.5.2.5	Inzetbaarheid van de techniek	103
	B6.5.2.6	Enkele leveranciers van de techniek	103
	B6.5.2.7	Kostenoverzicht van de techniek	103
	B6.5.3	Zeer gevoelige seismologische technieken	103
	B6.5.3.1	Eigenschappen van de techniek	103
	B6.5.3.2	Operationaliteit van de techniek	103
	B6.5.3.3	Niveau van de techniek	103
	B6.5.3.4	Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	103
	B6.5.3.5	Inzetbaarheid van de techniek	103
	B6.5.3.6	Enkele leveranciers van de techniek	103
	B6.5.3.7	Kostenoverzicht van de techniek	103
	B6.5.4	Glasvezelkabels en temperatuurssonderingen	103
	B6.5.4.1	Eigenschappen van de techniek	103
	B6.5.4.2	Operationaliteit van de techniek	104
	B6.5.4.3	Niveau van de techniek	104
	B6.5.4.4	Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	104
	B6.5.4.5	Inzetbaarheid van de techniek	104
	B6.5.4.6	Enkele leveranciers van de techniek	104
	B6.5.4.7	Kostenoverzicht van de techniek	104
	B6.5.5	Passieve microgolfradiometrie	104
	B6.5.5.1	Eigenschappen van de techniek	104
	B6.5.5.2	Operationaliteit van de techniek	104
	B6.5.5.3	Niveau van de techniek	104
	B6.5.5.4	Mogelijke toepasbaarheid van de techniek	104
	B6.5.5.5	Inzetbaarheid van de techniek	104
	B6.5.5.6	Enkele leveranciers van de techniek	104
	B6.5.5.7	Kostenoverzicht van de techniek	105
	B6.5.6	Waterspanningsmeters	105
	B6.5.6.1	Eigenschappen van de techniek	105
	B6.5.6.2	Operationaliteit van de techniek	105
	B6.5.6.3	Niveau van de techniek	105
	B6.5.6.4	Toepasbaarheid van de techniek	105
	B6.5.6.5	Inzetbaarheid van de techniek	105
	B6.5.6.6	Enkele leveranciers van de techniek	105
	B6.5.6.7	Kostenoverzicht van de techniek	105

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Naar aanleiding van de kadeverschuiving bij Wilnis en Terbregge in de zomer van 2003 en de afschuiving van de kanaaldijk bij Stein in januari 2004, is door STOWA en Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) besloten een gezamenlijk onderzoek in te stellen naar de huidige werkwijze van inspecteren van waterkeringen en mogelijke verbeteringen hierin. Hiertoe is een inventarisatie en analyse van huidige inspecties uitgevoerd [2]. Uit de inventarisatie en analyse is gebleken dat er bij de waterkeringbeheerders onvoldoende overzicht is van technieken die bij inspecties kunnen worden ingezet. Daarnaast worden er door bedrijven op de markt veel inspectietechnieken voor waterkeringen aangeboden. Beide constateringen leiden tot een behoefte voor een actueel overzicht van technieken. Onderhavig rapport tracht dit overzicht te bieden.

1.2 DOEL RAPPORT

Het rapport biedt de beheerder een handvat ter oriëntatie op inspectietechnieken. Technieken ter ondersteuning en onderbouwing van het reguliere beheer en onderhoud van waterkeringen en mogelijk voor aanvullend onderzoek bij het beheer in bijzondere omstandigheden.

Het rapport geeft een overzicht van technieken voor het meten aan waterkeringen. Het rapport is vooral een bundeling van bestaande kennis op het gebied van meettechnieken. Ontwikkelingen gaan door en daarmee is het gerapporteerde overzicht een momentopname. Inzetbaarheid en beschikbaarheid van nieuwe meettechnieken zullen op termijn zeker meer onder handbereik van de waterkeringbeheerders komen. Ontwikkelingen en aanvullingen op dit rapport worden bekend gemaakt op de website www.inspectiewaterkeringen.nl.

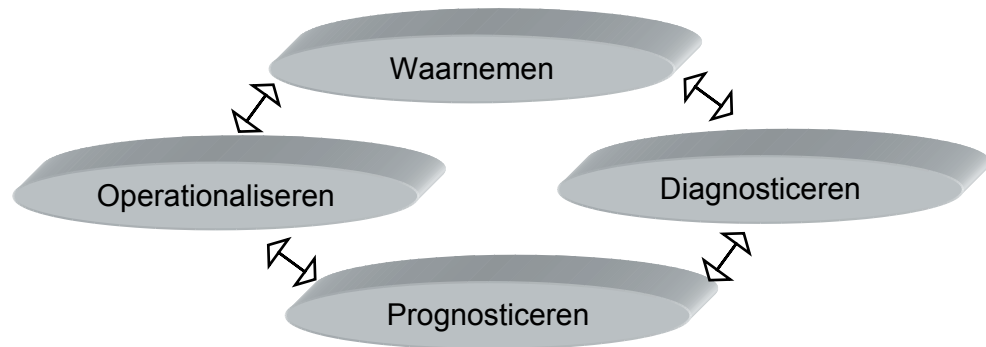
De auteurs zijn zich bewust dat het rapport niet een uitputtende weergave is van alle meettechnieken. Het rapport biedt wel een representatief overzicht van voor waterkeringen relevante meettechnieken. In dat opzicht biedt het rapport zeker een eerste handvat aan beheerders om de inzet van meettechnieken in het beheer beter te kunnen afwegen. Suggesties of aanvullingen op het rapport van beheerders, medewerkers van kennisinstituten of bedrijven zijn van harte welkom op genoemde website. Het overzicht is mede tot stand gekomen door bijdragen van Stichting Postacademisch Onderwijs Delft, de Technische Adviescommissie van de Waterkeringen (TAW), GeoDelft en Fugro.

Het rapport is opgesteld door ir. G.M. Moser van Partner in Water Management B.V. en ing. W.S. Zomer M.Sc. van BZ Innovatiemanagement B.V. in opdracht van STOWA en DWW.

1.3 KADER RAPPORT

Het onderhavige rapport over meettechnieken kan de beheerder helpen bij het inrichten en uitvoeren van inspecties. Inspectie is gedefinieerd als toezicht houden of nauwkeurig in ogenschouw nemen. Inspectie in de betekenis van toezicht houden omvat een geheel aan activiteiten die voor het houden van toezicht noodzakelijk zijn. Nauwkeurig in ogenschouw nemen definieert de mate van detail waarop de schouw zich richt. Het geheel aan handelingen die voor toezicht op de waterkeringen noodzakelijk zijn ten behoeve van het beheer wordt het inspectieproces genoemd. Het inspectieproces is te verdelen in de vier deelprocessen waarnemen, diagnosticeren, prognosticeren en operationaliseren.

FIGUUR 1.1 UIT [2], DEELPROCESSEN INSPECTIE



Dit rapport gaat over meettechnieken. Technieken die kunnen worden ingezet voor het waarnemen. Waarnemen vindt plaats vanuit een vooraf bepaald doel of oogmerk. Er wordt gericht geobserveerd, waarbij technieken als hulpmiddel worden ingezet. Het meten (waarnemen) staat in relatie tot een gerichte vraag of informatiebehoefte en is gericht op het bepalen van kenmerkende grootheden. De meting levert een waarde op voor de grootte.

De informatiebehoefte ontstaat uit analyse van de toestand van de waterkering in relatie tot de norm voor die toestand. Het resultaat van de analyse is onder meer een overzicht van relevante parameters waarvoor de actuele waarden bekend moeten zijn om een uitspraak te kunnen doen over de actuele staat of toestand van de waterkering. Een uitspraak doen over de actuele toestand van de waterkering in relatie tot de norm is de essentie van het deelproces diagnosticeren. De ontwikkeling van de actuele toestand wordt in het deelproces prognosticeren voorspeld. Ten behoeve van de diagnostiek en prognostiek kunnen dus gerichte gegevens van de waterkeringen worden gevraagd. De meettechnieken helpen die gegevensbehoefte af te dekken. Meettechnieken zullen vooral worden ingezet om de beheerder van waterkeringen actuele gegevens te leveren over faalmechanismen. Een diagnose voor de actuele staat van een waterkering is immers een uitspraak over de actuele conditie van de waterkering tegen falen. De faalmechanismen waarop getoetst kan worden zullen in dit rapport kort worden gememoreerd.

Bij visuele inspecties worden waarnemingen gedaan met het oog. Visueel waarnemen is een hulpmiddel om gegevens te verzamelen en is in die zin een inspectietechniek. Het is echter in veel gevallen geen meettechniek, er is immers geen exacte bepaling van grootheden of parameters aan de orde. Visuele inspecties hebben vooral een signalerende waarde en zijn verder van belang voor het indiceren van de beheerkwaliteit van waterkeringen. Er is overigens geen direct expliciet verband tussen de beheerkwaliteit van waterkeringen en

het mogelijk falen. Wel is evident dat door slecht beheer de kans op falen zal toenemen. Visuele waarnemingen liggen veelal aan de basis voor het definiëren van de jaarlijkse onderhoudsactiviteiten. Visuele waarnemingen zijn als techniek buiten de beschouwingen van dit rapport gehouden.

1.4 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de verschillende types waterkeringen. In hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van faal- en bezwijkmechanismen. Ook zijn indicatoren gegeven die op falen of bezwijken van keringen kunnen wijzen. Meettechnieken kunnen worden ingezet voor de waardebeoordeling van de indicatoren. In hoofdstuk 4 zijn waterkeringen onderverdeeld in vier basiselementen. Van deze basiselementen kunnen kenmerkende gegevens worden verzameld die benodigd zijn voor bepaling van de technische staat van de elementen. Er wordt een overzicht van indicatoren of bijzondere aspecten gegeven, dat representatief is voor informatiebehoefte van de beheerder. In hoofdstuk 5 is een overzicht van meettechnieken gegeven. Principe en achtergronden van de meettechniek worden toegelicht. Ook de specifieke toepassing van techniek komt aan de orde. Zowel traditionele technieken als nieuwe technieken komen in dit hoofdstuk aan bod. In hoofdstuk 6 zijn de technieken gegroepeerd naar mogelijke toepassing op faalmechanismen. Technieken voor het meten van karakteristieke grootheden die informatie kunnen geven over de kwaliteit van een element, over mogelijke faalmechanismen en/of bezwijkmechanismen.

2

TYPERING WATERKERINGEN

2.1 INLEIDING

De meest voor de hand liggende wijze om waterkeringen op te splitsen is op basis van type constructie. De volgende waterkerende constructietypes kunnen worden onderscheiden:

- waterkerende grondlichamen (deze worden in paragraaf 2.2 nader toegelicht);
- kunstwerken (deze worden in paragraaf 2.3 nader toegelicht).

Een andere indeling is de indeling van waterkeringen in primaire en regionale keringen. Hierop wordt nader ingegaan in paragraaf 2.4.

2.2 WATERKERENDE GRONDLICHAMEN

Tot de waterkerende grondlichamen worden gerekend:

- dijken en kaden;
- dammen (een dam is een dijk met aan twee zijden water. Bekende voorbeelden hiervan zijn de Brouwersdam en de Afsluitdijk);
- hoge gronden
- duinen.

Dijken zijn grondlichamen bestemd voor het keren van water. Het betreffen kunstmatig opgeworpen grondwerken. Duinen zijn natuurlijk opgeworpen grondlichamen die water keren. Ook hoge gronden vormen natuurlijke keringen tegen water.

Dijken zijn verder onder te verdelen naar:

- zee- en meerdijken;
- rivierdijken (zomerdijk, winterdijk of banddijk, schaaldijk);
- kanaaldijken;
- boezemkades;
- polderkades, kades langs beken dan wel plassen
- wakerdijk en slaperdijk.

Bij dijken is onderscheid naar grondsoort voor het grondlichaam mogelijk relevant. Onderscheiden worden kleidijken, zanddijken en veenkaden.

Het meest kenmerkende verschil tussen zee- en meerdijken en rivierdijken is gelegen in de hydraulische belasting. Zee- en meerdijken worden belast door een relatief kort durende combinatie van hoogwater en hoge golven. Rivierdijken worden langduriger (orde 14 dagen) belast door hoogwater bij hoge afvoeren, zonder dat er sprake is van noemenswaardige (wind)golfaanvallen. Het verschil in belasting heeft consequenties voor vooral het dwarsprofiel en de talusbekleding van de dijk.

Boezemkades en kanaaldijken onderscheiden zich van rivierdijken door het feit dat de belasting op deze waterkerende grondlichamen nagenoeg permanent is en daarbij met grote regelmaat een verval moeten keren dat dicht bij het ontwerpverval ligt.

2.3 KUNSTWERKEN

Kunstwerken zijn door mensen gemaakte objecten die niet bestaan uit grond. In het kader van het waterkeringbeheer is het volgende onderscheid wezenlijk:

Kunstwerken bestaan uit:

- waterkerende kunstwerken;
- bijzondere waterkerende constructies;
- niet-waterkerende objecten.

Tot de categorie waterkerende kunstwerken behoren bijvoorbeeld de volgende kunstwerken:

- schutsluis;
- spuisluis;
- inlaat en/of uitlaat bij gemalen;
- coupures.

Overgangsconstructies zijn bijzondere waterkerende constructies bij overgangen van waterkerende grondlichamen naar kunstwerken en vice versa. Ze vormen kwetsbare delen in het geheel van waterkeringen en behoren extra aandacht te krijgen bij inspecties.

Waterkerende kunstwerken bestaan veelal uit meerdere waterkerende onderdelen, waarvan sommige beweegbaar zijn. Hierbij valt te denken aan sluisdeuren en spuischuiwen. Bewegende onderdelen zijn aan slijtage onderhevig en behoren daarom te worden onderworpen aan een ander inspectieregime dan statische waterkerende constructies. De bediening en de mogelijkheid voor noodbediening zijn bij dit type waterkeringen onderdeel van het inspectieplan.

Tot de bijzondere waterkerende constructies worden stormvloedkeringen en hoogwaterkeringen gerekend. Kenmerkend hierbij is dat het constructies zijn die tijdelijk het dwarsprofiel van een waterloop blokkeren om hoogwater te weren. Het controleren van het sluitingsproces is een belangrijk onderdeel van de inspecties voor dit type kunstwerken.

Niet waterkerende objecten zijn bijvoorbeeld kabels en leidingen in waterkeringen of dijkmeubilair.

2.4 INDELING PRIMAIRE EN REGIONALE WATERKERINGEN

Een alternatief voor het onderscheiden van waterkeringen op basis van constructietype is een verdeling in:

- primaire waterkeringen;
- regionale waterkeringen;
- overige waterkeringen.

Primaire waterkeringen zijn vastgelegd in de wet op de waterkeringen. De periodieke toetsing van de status van deze keringen is expliciet beschreven. De keringen worden iedere vijf jaar getoetst. De toetsmethodiek is voorgeschreven in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid [3]. Minimaal iedere vijf jaar worden de primaire waterkeringen volledig geïnspecteerd.

Regionale waterkeringen zijn gedefinieerd als niet-primaire keringen die zijn opgenomen in legger/keur van waterschappen en/of zijn aangewezen op basis van een provinciale verordening [2]. Regionale waterkeringen bieden lokaal en/of regionaal bescherming tegen overstroming vanuit hoger gelegen panden, waterlopen zoals kanalen en boezemwateren of waterbassins.

Voor regionale waterkeringen is de normering en toetsing nog niet volledig uitgewerkt. Wel zijn er bij voorbeeld voor boezemkades richtlijnen opgesteld. Genoemd worden:

- “Technisch rapport toetsen boezemkades”, opgesteld door de TAW in 1993
- “Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkades” opgesteld door Fugro in 1998
- Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen in opdracht van de provincies [4]

De onderverdeling naar primaire en regionale waterkeringen is in het kader van onderhavige rapportage minder relevant en wordt niet gebruikt.

Onder overige waterkeringen worden bijvoorbeeld compartimenteringsdijken en water- en slaperdijken verstaan.

3

FAALMECHANISMEN EN INDICATOREN

3.1 INLEIDING

Bij de beoordeling van waterkeringen is het zinvolle onderscheid te maken tussen falen en bezwijken van de constructie. Er is sprake van falen als de waterkering één of meer functies niet meer vervult. Met bezwijken wordt verlies van samenhang of grote geometrieverandering aangeduid. In de "Leidraad zee- en meerdijken: TAW, 1999" [5] worden de volgende definities voor de begrippen "Bezwijken" en "Falen" gegeven:

- Bezwijken: het optreden van grote vervormingen in een constructie waardoor de samenhang van de constructie verloren gaat;
- Falen: het niet (meer) voldoen aan vastgestelde functionele criteria.

Een waterkering kan falen zonder dat er sprake is van bezwijken. Een voorbeeld hiervan is wanneer een dijktraject niet meer voldoet aan de gestelde eisen voor het geometrische profiel; de dijk is bijvoorbeeld te laag. Dit hoeft niet te betekenen dat de dijk daarom bezwijkt of is bezweken.

Het onderscheid tussen falen en bezwijken, wordt lastiger als faalcriteria worden ontleend aan sterkte-eigenschappen van de constructie. Sterkte-eigenschappen van de constructie kunnen daarbij gerelateerd zijn aan de belasting. Van belang is te weten dat de wijze waarlangs het waterkerende vermogen van de constructie tekort schiet faalmechanisme wordt genoemd. In het navolgende worden de bekende faalmechanismen kort beschreven. Vervolgens wordt per type waterkering een opsomming gegeven van de geïnventariseerde faalmechanismen. Hierbij wordt voor waterkerende grondlichamen onderscheid gemaakt naar dijken en duinen en is er de categorie kunstwerken. Tot slot wordt een overzicht gegeven van indicatoren. Ook hierbij is dezelfde onderverdeling van waterkeringen gehanteerd.

3.2 FAALMECHANISMEN

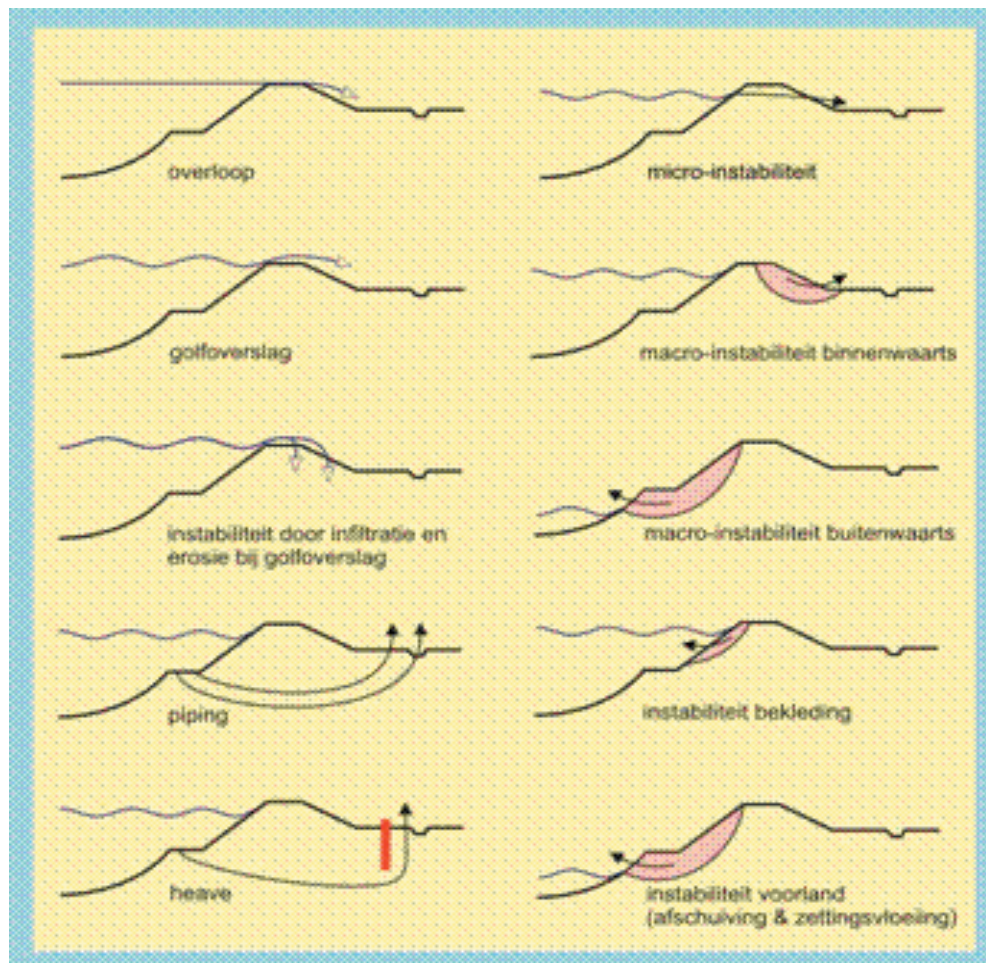
3.2.1 INLEIDING

In deze paragraaf worden de volgende faalmechanismen toegelicht:

- Overloop en overslag (paragraaf 3.2.2);
- Macro-instabiliteit aan de binnenzijde (paragraaf 3.2.3);
- Micro-instabiliteit (paragraaf 3.2.4);
- Piping (paragraaf 3.2.5);
- Heave (paragraaf 3.2.6);
- Macro-instabiliteit aan de buitenzijde (paragraaf 3.2.7);
- Horizontaal afschuiven van de dijk (paragraaf 3.2.8);
- Erosie van de top laag aan de buitenzijde (paragraaf 3.2.9);
- Sterkte en stabiliteit van constructies (paragraaf 3.2.10).

FIGUUR 3.1

FAALMECHANISMEN



3.2.2 OVERLOOP EN OVERSLAG

Indien het niveau van het buitenwater hoger komt dan de kruin van de dijk, kan er water over de waterkering stromen. Dit verschijnsel wordt overloop genoemd. Zijn er golven en de kruin van de dijk is lager dan de golfoploop, dan kan er eveneens water over de dijk komen. Dit verschijnsel wordt overslag genoemd. Bij het ontwerp van waterkeringen wordt hiermee rekening gehouden. Er is sprake van falen als het overslagdebiet groter is dan het ontwerpdebiet voor overslag.

Bij genoemde faalmechanismen kunnen er problemen ontstaan aan de binnenzijde van de dijk, doordat het overlopende of overslaande water erosie tot gevolg heeft en er schade kan ontstaan. De bekleding van de waterkering kan worden ondermijnd als gevolg van de erosie. Hierdoor kan het binnentalud mogelijk afschuiven. Beide mechanismen kunnen dan leiden tot onbeheersbare bresvorming en het bezwijken van de dijk inleiden.

Zowel bij de watersnoodramp van 1916 (onder andere: Zuiderzeegebied) als die van 1953 (onder andere: Zeeland) was het faalmechanisme “overslag” de belangrijkste oorzaak voor het bezwijken van de dijken. Na wateroverlast door te veel regenval komt overlopend en overslaand water het meeste voor de laatste 10 jaren.

3.2.3 MACRO-INSTABILITEIT AAN DE BINNENZIJDE

Met macro-instabiliteit wordt het afschuiven van grote delen van het waterkerende grondlichaam bedoeld aan de binnenzijde van de waterkering. Dit bezwijkmechanisme kan in principe twee oorzaken hebben:

- de belasting wordt te groot (het gewicht van het grondpakket in relatie tot de water-spanning in de (onder)grond neemt af of externe belasting zoals door het verkeer);
- de sterkte van de grond neemt af.

Verweking van het grondlichaam kan een oorzaak van de afname van de weerstand tegen afglijden zijn. Bij hoge waterstanden zal het niveau van het freatische grondwater in het waterkerende grondlichaam toenemen waardoor verweking kan optreden.

Een voorbeeld van de invloed van verkeersbelasting op dit bezwijkmechanisme is het treinongeluk bij Weesp in 1918. Het gevolg van dit onderzoek was de aanleiding om in Nederland op een wetenschappelijke wijze de grondmechanica te gaan beoefenen. Hiertoe werd het laboratorium voor Grondmechanica (LGM) opgericht; het latere GeoDelft.

3.2.4 MICRO-INSTABILITEIT

Onder micro-instabiliteit van de waterkering wordt verstaan het aantasten van de toplaag op het binnentalud als gevolg van (uit)stromend grondwater. De oorzaken liggen in hoge buitenwaterstanden en hoge grondwaterstanden aan de binnenzijde van de waterkering. In dijken die zijn opgebouwd uit zanderig, grofkorrelig materiaal kan grondwaterstroming tot gevolg hebben dat gronddeeltjes worden meegevoerd. In dijken met een zandkern met klei-afdekking kan het voorkomen dat de klei de grondwaterstroming wil tegenhouden. Dit kan plaatsvinden totdat de druk zo groot is dat de kleilaag wordt afgedrukt of afschuift.

Bij dit faalmechanisme komt de bedreiging voor de sterkte en stabiliteit van de waterkering van binnen de waterkering zelf. Dit in tegenstelling tot overloop en overslag, wat externe invloeden zijn.

Als de toplaag lokaal verdwenen is of veel grondmateriaal is weggespoeld, kan vrij snel op een ingrijpende wijze de erosie toenemen of verzakking optreden. Hierdoor kan in zeer korte tijd de stabiliteit en sterkte van de dijk ondermijnd worden.

3.2.5 PIPING

Piping is het ontstaan van aaneengesloten holle ruimtes in of onder een dijk of kunstwerk in de vorm van stroomkanalen. De stroomkanalen werken als preferente stroombanen. Door verschillen in buiten en binnen waterstand ontstaat kwel. Het kwelwater kan geconcentreerd via de stroomkanalen binnendijks uittreden. Hierbij kunnen gronddeeltjes worden meegevoerd, waardoor de grootte van de stroomkanalen weer kan toenemen en waardoor de waterkering uiteindelijk ondermijnd wordt.

Kwel is grondwaterstroming die tijd nodig heeft om zich te kunnen ontwikkelen. Vandaar dat piping vooral bij rivierdijken en regionale waterkeringen (o.a. boezemkades) speelt en minder bij zeedijken. Bij zeedijken zijn grote vervallen van het waterniveau kortstondig aanwezig en is er te weinig tijd om stroomkanalen te ontwikkelen.

3.2.6 HEAVE

Met heave wordt een situatie bedoeld waarbij door opwaartse grondwaterstroming de verticale korrelspanning van de grond wegvalt en de grond vloeibaar wordt als ware het drijfzand. Heave kan bijvoorbeeld optreden achter een kwelscherm aan de binnenzijde van een dijk of een kunstwerk. De stabiliteit van de grondconstructie vervalt bij heave waardoor afschuiven of verzakken van de grond plaats kan vinden.

3.2.7 MACRO-INSTABILITEIT AAN DE BUITENZIJDE

Het principe van macro-instabiliteit aan de buitenzijde is gelijk aan macro-instabiliteit aan de binnenzijde (paragraaf 3.2.2). Bekend is vooral het fenomeen dijkval. Dijkval ontstaat als na een relatief lange periode van hoogwater de buitenwaterstand snel daalt. Het freatische grondwater in het waterkerende grondlichaam is door de lange periode van hoog buitenwater in een evenwichtssituatie gekomen met het hoogwater. Als de druk van het buitenwater aan de buitenzijde te snel wegvalt, kan de overdruk van het freatische grondwater zorgen dat het buitentalud van de dijk gaat afglijden en de waterkering verzakt.

3.2.8 HORIZONTAAL AFSCHUIVEN VAN DE DIJK

Een dijklichaam schuift af als het product van het gewicht van het lichaam en de weerstandscoëfficiënt lager wordt dan de horizontale kracht die het hoge buitenwater op het lichaam uitoefent. Bij uitdroging van bijvoorbeeld veen kan het gewicht van het waterkerende grondlichaam afnemen waardoor afschuiven kan ontstaan.

3.2.9 EROSIE VAN DE TOPLAAG AAN DE BUITENZIJDE

Bij zee- en meerdijken en duinen is de (golf)aanval aan de buitenzijde van de waterkering op de deklaag of toplaag van de bekleding veel intensiever dan aan de binnenzijde. De snelheid waarmee eventuele vervolgschade na het falen van de toplaag zich kan ontwikkelen is groot. Vandaar dat dit faalmechanisme bij de inspecties van bekledingen veel aandacht krijgt en vaak directe maatregelen vraagt.

3.2.10 STERKTE EN STABILITEIT VAN CONSTRUCTIES

In het voorschrift Toetsen op Veiligheid [6] is een uitgebreide beschrijving opgenomen van de toetsmethodiek van waterkerende constructies. Deze worden getoetst op:

- hoogte; stabiliteit en sterkte:
 - stabiliteit van de constructie en grondlichaam;
 - sterkte van (waterkerende) constructieonderdelen;
 - piping en heave;
- betrouwbaarheid sluiting.

Voor nadere informatie wordt verwezen naar het voorschrift Toetsen op Veiligheid.

3.3 FAALMECHANISMEN DIJKEN, DUINEN EN KUNSTWERKEN

3.3.1 INLEIDING

3.3.2 DIJKEN

Voor dijken zijn de volgende faalmechanismen geïnventariseerd:

- overloop;
- golfoverslag;
- macro-instabiliteit aan de binnenzijde;
- micro-instabiliteit;
- piping en heave;
- macro-instabiliteit aan de buitenzijde;
- horizontaal afschuiven van de dijk;
- erosie van de toplaag aan de buitenzijde door golven, stromend water, kruierend ijs en/of vandalisme (dan wel ondermijning van de toplaag).

Onderstaand wordt een opsomming gegeven van faalmechanismen die minder voorkomen:

- intensief verkeer op de dijken waardoor verweking van de kleilaag kan optreden;
- aanvaring door een schip. Dit kan bij hoogwater direct bezwijken van de dijk tot gevolg hebben;
- aardbevingen die aanleiding geven tot lokale bodemdaling en/of verweking;
- werkzaamheden onder, in, aan of nabij de dijk;
- terrorisme;
- het verdwijnen van belasting reducerende constructies, zoals bij voorbeeld zandbanken voor de kust;
- bezwijken van objecten in of op de kering. Voorbeelden; een gesprongen waterleiding in de kering of omver gewaaide bomen op de kering.

3.3.3 FAALMECHANISMEN DUINEN

Voor duinen geldt dat erosie door golven, stroming van water (duinafslag) en de wind (winderosie) kunnen leiden tot falen en bezwijken. Helmgras en andere begroeiing verstevigen de duinen doordat zij het zand vasthouden met hun wortels en beschutting bieden aan het zand tegen winderosie. Het verdwijnen van begroeiing kan ervoor zorgen dat erosie door wind in heviger mate optreedt. Ten slotte dient te worden beoordeeld of eventuele bebouwing, kabels en leidingen of andere niet-waterkerende objecten inclusief hun verstoringsgebied in het grensprofiel de veiligheid negatief beïnvloeden [6].

FIGUUR 3.2

DUINEN MET HELMGRAS AAN DE NOORDZEE



3.3.4 FAALMECHANISMEN KUNSTWERKEN

Voor kunstwerken zijn de volgende faalmechanismen geïnventariseerd:

- overloop en golfoverslag;
- afschuiven en verzakken;
- constructieve instabiliteit;
- bezwijken sluitingsmiddelen;
- gebrek aan sterkte;
- aanvaringen;
- terrorisme;
- bedieningsfouten;
- onder- en achterloopsheid.

3.4 FAALMECHANISMEN EN INDICATOREN

3.4.1 INLEIDING

In deze paragraaf worden indicatoren gegeven die horen bij de faalmechanismen van dijken (paragraaf 3.4.2), duinen (paragraaf 3.4.3) en kunstwerken (paragraaf 3.4.5). De indicatoren zijn meestal kwalitatief van aard en zijn niet direct te koppelen aan een functionele eis of criterium. De indicatoren voor de waterkerende grondlichamen zijn vooral grootheden die iets zeggen over verandering of verlies van de samenhang van constructies. Ze representeren dan de gevolgen van het overschrijden van een kritieke grens voor de belasting vanuit faalmechanismen.

3.4.2 DIJKEN

De volgende indicatoren voor faal – en/of bezwijkmechanismen van dijken zijn tot nu toe geïdentificeerd:

- veranderingen in de kruinhoogte en/of het geometrische profiel;
- langsscheuren op kruin (glijvlakken, uitdrogen);
- langsscheuren of kieren langs vaste constructie onderdelen (afschuiven);
- dwarsscheuren (locale verlaging, uitdroging);
- opbolling bij de teen (glijvlakken, afschuiving);
- stromend water in de kwelsloot (bodemmateriaal meevoerende wellen);
- verkleuring van het water in de kwelsloot (bodemmateriaal meevoerende wellen);
- natte plekken op het binnentalud (verweking van het binnentalud);
- verandering van de vegetatie door vernatting (langere termijn);
- sloot wordt dichtgedrukt (afschuiving, verweking);
- beschadiging van het gras door vertrapping door vee (erosie taludbekleding); omhoogkomende en kammende stenen (erosie taludbekleding);
- niet meer aansluiten van de bekleding aan overgangsconstructies (erosie taludbekleding, verzakkingen constructies, etc.);
- ver- en wegzakken stenen met als gevolg gaten in de bekleding (erosie van de taludbekleding);
- opwellend water (kwel, opbarsten), eventueel met meevoeren van zand (piping).

Een overzicht van faalmechanismen en indicatoren bij dijken is gegeven in tabel 3.1. De tabel is overgenomen uit Plan van aanpak onderzoek verbetering inspectie, [1].

TABEL 3.1 FAALMECHANISMEN EN INDICATOREN BIJ DIJKEN EN KADES UIT [2]

Faalmechanisme en indicatoren bij dijken en kades			
Faalmechanisme	Indicatoren		
	belasting	Constructie	
		zwakte-indicatoren	bezwijkindicatoren
overloop	<ul style="list-style-type: none"> - hoogwater, - extreme regenval, - storm 	<ul style="list-style-type: none"> - lokale verlaging van de kruin, dwarsscheuren in de kruin - grootschalige verlaging van de kruin vaak als gevolg van klink en zetting, 	<ul style="list-style-type: none"> - erosie van het binnentalud, beschadiging van de grasbekleding - scholvorming binnentalud als gevolg van verzadiging binnentalud
overslag	<ul style="list-style-type: none"> - hoogwater, - storm 	<ul style="list-style-type: none"> - lokale verlaging van de kruin, dwarsscheuren in de kruin - grootschalige verlaging van de kruin als gevolg van klink en zetting - niet waterkerende objecten (bomen op de kruin) 	<ul style="list-style-type: none"> - erosie van de toplaag op kruin en binnentalud, concentratie van wegstromend water - verzadiging binnentalud waardoor afschuiving, langsscheuren in de kruin, vervorming bij de teen van het binnentalud
macro-instabiliteit binnenzijde	<ul style="list-style-type: none"> - langere tijd hoogwater - hoge freatische lijn - schade toplaag buitentalud waardoor de kleilaag beschadigd is 	<ul style="list-style-type: none"> - steil talud aan de binnenzijde 	<ul style="list-style-type: none"> - scheurvorming op de kruin - verzakken van de kruin - opbolling bij de teen van het binnentalud - dichtdrukken van de sloot bij de teen van het binnentalud
micro-instabiliteit	<ul style="list-style-type: none"> - hoogwater - aanwezigheid van muskusratten 	<ul style="list-style-type: none"> - gangenstelsels, gaten in toplaag 	<ul style="list-style-type: none"> - uittreden van water op het binnentalud - verkleuring slootwater - verandering van de vegetatie - vorming glijcirkel zie macro-instabiliteit
pipíng en heave	<ul style="list-style-type: none"> - combinatie van hoog water aan de buitenzijde en laag water aan de binnenzijde 		<ul style="list-style-type: none"> - natte plekken bij teen binnentalud dan wel op enige afstand van de teen van het binnentalud - verandering vegetatie - uitstromend water - drijfzand - zand heuveltjes met een krater - uitstromend water dan wel verkleuring van het water in de sloot
macro-instabiliteit buitentalud	<ul style="list-style-type: none"> - snelle waterstanddaling - aantasting voorland 	<ul style="list-style-type: none"> - steil talud 	<ul style="list-style-type: none"> - langsscheuren op de kruin - kanteling van de kruin
afschuiven dijklichaam	<ul style="list-style-type: none"> - hoogwater - langdurige droogte - verlaging van de tegendruk 	<ul style="list-style-type: none"> - mager ontwerp van dijk of kade - materiaal - recente verstoringen in de omgeving 	<ul style="list-style-type: none"> - opbolling voor de teen van het binnentalud - dichtdrukken sloot bij het binnentalud - vervorming beschoeiing - lawaai door breken beschoeiing en leidingen
erosie toplaag buitenzijde	<ul style="list-style-type: none"> - storm - extreme stroming - kruisend ijs - aanvaring 	<ul style="list-style-type: none"> - ontbreken stenen - omhoogkomen dan wel verzakken van stenen of groepstenen - geulen of gaten onder de bekleding - scheuren in asfalt of beton - dunne plekken in het asfalt/beton of klei - "stripping" van het asfalt - openingen bij overgangen tussen verschillende bekledingstypen - gaten in het gras, bijv. door dieren, toeristen of vandalisme - kwaliteit gras 	<ul style="list-style-type: none"> - stenen, brokken asfalt of klei op de kruin - geluid rollende stenen - scheurvorming op de kruin

3.4.3 DUINEN

De volgende indicatoren voor faalmechanismen bij duinen zijn bekend:

- erosie van zand door water en wind (hoeveelheid zand in duinprofiel, stuifgaten, erosie van de kustlijn, mogelijk 'achterloopsheid' duinenrij, etc.);
- verslechtering van de kwaliteit van begroeiing zodat winderosie kan toenemen.

3.4.4 KUNSTWERKEN

Voor kunstwerken zijn de volgende indicatoren voor mogelijk falen en/of bezwijken geïdentificeerd:

- grond sluit niet aan meer aan de constructie, grond verzakt achter de constructie (of er zit beweging in de constructie of in het grondlichaam);
- stromend water direct langs de constructie, verkleuring van het water direct achter het kunstwerk, er vallen gaten in het grondlichaam direct grenzend aan het kunstwerk (achterloopsheid);
- scheurvorming in de wanden van het kunstwerk (constructieve instabiliteit);
- lekkage door niet goed sluitend waterkerende middelen;
- enz. roest, rottend hart, afbrokkelend beton of metselwerk.

Een overzicht van faalmechanismen en indicatoren voor kunstwerken is gegeven in tabel 3.2. De tabel is overgenomen uit Plan van aanpak onderzoek verbetering inspectie.

TABEL 3.2 FAALMECHANISMEN EN INDICATOREN BIJ KUNSTWERKEN UIT [1]

Faalmechanisme en indicatoren bij kunstwerken			
Faalmechanisme	Indicatoren	Constructie	
		belasting	
		zwakte-indicatoren	bezwijkindicatoren
overloop/overslag	<ul style="list-style-type: none"> - hoogwater, - extreme regenval, - storm - verandering van de aanwezige strijklengte dan wel diepte voor het kunstwerk 	<ul style="list-style-type: none"> - niet voldoen aan de vigerende hoogte-eis voor de constructie - lokale verlaging v/d waterkerende onderdelen van het kunstwerk, - grootschalige verlaging v/d hoogte van het kunstwerk als gevolg van klink en zetting, 	<ul style="list-style-type: none"> - erosie van het loskorrelig materiaal bij het kunstwerk - vollopen van de buffer achter het kunstwerk
instabiliteit van de constructie	<ul style="list-style-type: none"> - hoog water - extreme regen val - droogzetting van bijv. de sluiscolk - extreem laag water 	<ul style="list-style-type: none"> - constructiemateriaal in relatie tot leeftijd - staat van onderhoud - scheuren in de constructie - verandering van de belasting, ophoging grondlichaam, meer en zwaarder verkeer - schade aan de constructie 	<ul style="list-style-type: none"> - vervorming van de constructie - scheurvorming in de constructie - scheuren in het aangrenzende grondlichaam - problemen met de sluitingsmiddelen - breken van aangrenzende constructies (beschoeiing e.d.)
instabiliteit van de sluitingswerken	<ul style="list-style-type: none"> - hoog water - extreme regen val - droogzetting van bijv. de sluiscolk - extreem laag water 	<ul style="list-style-type: none"> - constructiemateriaal in relatie tot leeftijd - staat van onderhoud - corrosie/rot en scheuren in het sluitingswerk - schade aan de constructie 	<ul style="list-style-type: none"> - bezwijken van sluitingswerk - kraken bij sluiten en openen - water stroomt door het sluitingswerk
onder- en achterloopsheid	<ul style="list-style-type: none"> - combinatie van hoog water aan de buitenzijde en laag water aan de binnenzijde 	<ul style="list-style-type: none"> - korte kunstwerken - kunstwerk op palen - aanwezigheid van waterdoorlatend materiaal onder en naast het kunstwerk - materiaal van de kwelschermen in relatie tot de leeftijd - grote veranderingen in de freatische lijn in het grondlichaam naast het kunstwerk 	<ul style="list-style-type: none"> - lokale verzakkingen aan de binnenzijde van het kunstwerk, - zand heuveltjes met een krater - uitstromend water dan wel verkleuring van het water in de sloot
niet sluiten van de waterkering	<ul style="list-style-type: none"> - hoog water 	<ul style="list-style-type: none"> - staat van onderhoud geleidingswerken - recente werkzaamheden aan het kunstwerk - onge oefendheid in sluitingsprocedure 	<ul style="list-style-type: none"> - hoge stroomsnelheden door het kunstwerk - erosie van stortebed en van bodem en oevers van af- en aanvoersloten, - vollopen buffer achter het kunstwerk

4

BASISELEMENTEN WATERKERINGEN

4.1 INLEIDING

Waterkeringen zijn waterkerende grondlichamen en waterkerende constructies. Waterkeringen hebben kenmerken of maten die representatieve grootheden vormen voor onderdelen ervan of voor de waterkeringen in zijn geheel. In dit hoofdstuk worden belangrijke onderdelen van waterkeringen en kenmerken ervan beschreven. Voor het beheer van waterkeringen kan het belangrijk zijn de ontwikkeling van deze kenmerken in de tijd te volgen. Anders gezegd in het kader van inspecties kunnen bewust waarnemingen worden uitgevoerd met het doel een uitspraak te doen over de verandering van kenmerken of maten. De kenmerken of maten van waterkeringen die belangrijke informatie kunnen geven over de staat van de waterkeringen of onderdelen ervan komen aan de orde.

De volgende onderdelen of aspecten zijn onderscheiden:

- het geometrische profiel (paragraaf 4.2);
- de bekledingen (paragraaf 4.3);
- de bodemopbouw (paragraaf 4.4);
- het grondwater en de waterspanning (paragraaf 4.5).

In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op technieken voor het waarnemen.

4.2 GEOMETRISCH PROFIEL

Voor het geometrische profiel zijn de volgende kenmerken van belang:

- kruinhoogte van de kering;
- de x y z-coördinaten van het profiel van de kering (kruinbreedte, taludhellingen, tonrondte van het talud, hoogte/breedte van stortbermen, etc.)

De kenmerken kunnen in het kader van inspecties worden gecontroleerd en vastgelegd.

De beheerder is echter vooral geïnteresseerd in maatveranderingen van deze kenmerken. Veranderingen in het geometrische profiel kunnen optreden door:

- zetting van de ondergrond;
- klink van het dijklichaam;
- verzakking en verschuivingen, bijvoorbeeld door instabiliteit van de ondergrond, als gevolg van piping of gevolg aardgaswinning.

Met het oog zijn hoogteveranderingen van een dijk zijn moeilijk waar te nemen, er zullen daarom hoogtemetingen ter controle moeten worden uitgevoerd. Lokale verzakkingen van voldoende omvang kunnen nog wel met het oog waargenomen worden.

De frequentie waarmee hoogtemetingen worden uitgevoerd varieert. Direct na aanleg van de dijk is de frequentie hoog, dit om zetting en klink te kunnen volgen en controleren. De frequentie kan omlaag als er nog maar weinig zetting en klink plaatsvindt. Voor primaire

waterkeringen is de frequentie uiteindelijk minimaal eens per 5 jaar. Voor regionale waterkeringen is een dergelijke norm voor inspectie van de hoogte nog niet vastgesteld.

Inspectiegrootheden en belangrijke aspecten van profielen van kunstmatige waterkeringen zijn weergegeven in tabel 4.1 en zijn overgenomen uit [6].

TABEL 4.1 INSPECTIEPARAMETERS PROFIELEN VAN WATERKERINGEN EN ASPECTEN HIERVAN UIT [6]

Inspectieparameter	Significante eenheid	Nauwkeurigheid	Inspectiefrequentie	Ruimtelijke spreiding	Toelichting
Profiel van de waterkering (inclusief kruinhoogte)	in centimeters	Z-coördinaat: $\pm 0-5$; X- en Y-coördinaat: 0-10 cm.	Standaard: 5 jaarlijks; bij nieuwe waterkeringen gevoelig voor zetting: jaarlijks tot elke paar maanden	Zeer divers. Van 10 – 500 m.	Hoogte, breedte, lengte
Plaatsvinden van zettingen en verzakkingen	in millimeters en in centimeters	Z-coördinaat: $\pm 0-5$; X- en Y-coördinaat: 0-10 cm.	Standaard: 5 jaarlijks; bij nieuwe waterkeringen gevoelig voor zetting: jaarlijks tot elke paar maanden	Afhankelijk van de ondergrond. Verschil in zettingen moeten duidelijk worden: 20 – 100 m.	Verschil in hoogte door de tijd.
Hoogte stortberm voor de waterkering	in decimeters	Z-coördinaat: $\pm 10-20$ cm.	Standaard: jaarlijks afhankelijk van de situatie later of eerder.	Elke 100 m. Soms dichterbij tot 50 m. (bij bijzonderheden)	De lage betrouwbaarheid wordt geaccepteerd omdat door de hoeveelheid op verschillende hoogte aanwezige stortstenen groot is.
Samenstelling grond/opbouw grondlagen	in centimeters	Afwijking van laboratorium analyses	Eenmalig bij aanleg	Gebiedsdekkend	De in het laboratorium gebruikte foutmarges worden geaccepteerd
Grondwaterstanden in de kering	in centimeters	$\pm 5-10$ cm.	Afhankelijk van het gebied. Soms meerdere malen per dag voor een aantal dagen (getijde). Bij hoogwater.	Afhankelijk van de ondergrond en van het doel.	De grondwaterstand wordt als indicatief gezien. Vaak middels peilbuizen.
opbouw vooroever	in tientallen m ³	$\pm 5-10$ cm.	Jaarlijks in het kader van kustmetingen en na storm.	10-100 m langs de kust. Elke meter in het dwarsprofiel haaks op de kust	Verloop van de vooroever
Aanwezigheid niet-waterkerende objecten	Onbekend	Moet aanwezige objecten weergeven.	2 tot 4 keer per jaar.	Gebiedsdekkend: alle objecten.	Huizen, bomen, tuinen, hekken, etc. Werkelijke situatie dient bekend te zijn. Veranderingen hierin zijn wenselijk om te monitoren en in te grijpen als deze illegaal zijn (handhaving).

Voor duinen geldt dat er jaarlijks profielmetingen worden uitgevoerd. Duinen vormen samen met het strand de kering tegen zeewater. Ze vormen een flexibel dynamisch verdedigingssysteem dat voortdurend aan veranderingen onderhevig is en daarom goed geïnspecteerd moet worden.

De staat van de natuurlijke waterkering wordt aan de hand van de volgende kenmerken of parameters beoordeeld:

- het aantal kubieke meters zand in het duinprofiel;
- kans op "achterloopsheid" van een duinenrij;
- aanwezigheid van stuifgaten;
- mate van erosie van de kustlijn;
- standzekerheid van de strandhoofden;
- kwaliteit van het aanwezige helmgras (het gras houdt het zand van de duin vast).

Er worden meestal visuele inspecties uitgevoerd. Voor hoogtebepalingen, de inspectie van vooroevers en duinen worden technische hulpmiddelen ingezet. In tabel 4.2 uit [6] zijn de parameters en aspecten die belangrijk zijn voor inspecties van duinen samengevat.

TABEL 4.2 INSPECTIEPARAMETERS DUINEN EN ASPECTEN HIERVAN UIT [6]

Inspectieparameter	Significante eenheid	Nauwkeurigheid	Inspectiefrequentie	Ruimtelijke spreiding	Toelichting
Hoeveelheid zand in duin	Enkele tientallen m ³	X,Y, Z-coördinaat: ±5-10 cm	Standaard: Jaarlijks, m.b.v. Jarkus.	elke 200 - 250 m een raai.	De X, Y en Z-coördinaten zijn voor de berekening van de inhoud van belang. Voor de inhoudsberekening van een duin geeft de nauwkeurigheid hiervan een afwijking van ± enkele m ³ . Driedimensionale beelden zijn welkom.
Aanwezigheid van stuifgaten	Onbekend	Onbekend	Jaarlijks, bij een dynamisch duinbeheer 2 - 3 maal per jaar.	Gebiedsdekkend	Ondermijnende kale plekken in duinenrij.
Kwaliteit van het helmgras	Lengtedichtheid	±5 cm. sprietjes per m ²	Jaarlijks.	Gebiedsdekkend	Gezondheid van de planten, kleur en sterkte, seizoensafhankelijk. Geen betrouw- of nauwkeurigheid voor aan te geven.
Erosie van de kustlijn (vooroever)	Enkele tientallen m ³	Z-coördinaat: ±5-10 cm.	Jaarlijks	Langs de kust elke 10 - 100 m. Dwarsprofiel vervolgens elke meter.	Metingen m.b.v. peilingen onderwater.
Achterloopsheid van duinenrijen	Onbekend	Onbekend	Jaarlijks, bij een dynamisch duinbeheer 2-3 maal per jaar.	Gebiedsdekkend	Lage plekken in duinenrij. Bij storm kan de zee over de eerste rij heen gaan en zo tussen de eerste en tweede duinenrij terecht komen.
Standzekerheid van de strandhoofden	Onbekend	Onbekend	Twee maal per jaar. Voor en na het stormseizoen.	Elk strandhoofd	Strandhoofden zorgen voor bescherming van de kustlijn. Moeilijk te inspecteren omdat ze grotendeels onder water liggen.

4.3 BEKLEDINGEN

De taluds van zee- en meerdijken zijn bekleed om bescherming te bieden tegen beschadigingen en erosie. Er worden drie groepen van bekledingssoorten onderscheiden: gras, stenen bekledingen (ook beton en met beton ingegoten glooiingen vallen hieronder) en asfalt of met asfalt ingegoten glooiingen. Per bekledingstype worden de volgende kenmerken onderscheiden:

1. Gras
 - bedekkinggraad van de grasmat (kale plekken, geslotenheid grasmat);
 - kwaliteit (o.a. polvorming, kleur, soortenrijkdom, etc.);
 - doorworteling van de grasmat;
 - beweiding van de grasmat;

Aanwezigheid van knaagdieren kan oorzaak zijn of worden voor beschadigingen van de grasmat. Dit geldt ook voor aanwezigheid van houtopslag, (grof) zwerfvuil en ander vegetatiesoorten. Vroegtijdig signaleren is daarom van belang. Parameters en aspecten die van belang zijn voor inspectie van grasbekledingen zijn samengevat in tabel 4.3 uit [6].

TABEL 4.3 INSPECTIEPARAMETERS GRASBEKLEDING EN ASPECTEN HIERVAN UIT [6]

Inspectieparameter	Significante eenheid	Nauwkeurigheid	Inspectiefrequentie	Ruimtelijke spreiding	Toelichting
Scheuren (niet genoemd in gesprekken, maar uit [5])	Lengte en breedte scheur: in centimeters.	Onbekend: $\pm 0 - 5$ cm?	Variërend van elke paar maanden tot jaarlijks.	Gebiedsdekkend	Scheuren door bijvoorbeeld aanhoudende droogte. Lastig waar te nemen omdat scheuren bedekt kunnen zijn door het gras.
Gesloten grasmatt	In procenten (bedekkingsgraad).	Bv. 20 cm open grond per m ² . Plekken van 2 á 30 cm dienen te worden gedetecteerd.	Variërend van elke paar maanden tot jaarlijks. Na hoogwater.	Gebiedsdekkend, grote stukken.	Grote kale plekken. Inspectie gaat met grote stukken. Open ruimtes tussen gras? Kun je de grond zien? Zou het weg kunnen spoelen? Visuele inspecties. Gaat op gevoel.
Kwaliteit grasmatt (b.v. (hoogwater) schade, polvorming, ongezond gras)	Onbekend. Zie toelichting.	Lastig te concretiseren. Wordt uitgevoerd door experts. Monitoren het hele areaal en doen steekproeven.	Variërend van elke paar maanden tot jaarlijks. Na hoogwater.	Gebiedsdekkend	Verstikking door lang hoogwater. Pollen in het gras die kale plekken rondom de pol veroorzaken. Gezondheid en vitaliteit van het gras.
Soortenrijkdom	Onbekend. Zie toelichting.	Lastig te concretiseren. Wordt uitgevoerd door experts. Monitoren het hele areaal en doen steekproeven.	Veelal vijfjaarlijks.	Gebiedsdekkend	Verschillende soorten kruiden en grassen aanwezig in de grasmatt. De significante eenheid
Aanwezigheid o.a. mollen, konijnen, muskus- en beverratten	Onbekend. Zie toelichting.	Onbekend. Zie toelichting.	Variërend van dagelijks tot (meer)maandelijks.	Gebiedsdekkend	Deze knaagdieren graven in de grasmatt. Bij hoogwater erodeert een deel weg. Schade is het gevolg. De significante eenheid en nauwkeurigheid is niet te omschrijven, omdat de aanwezigheid hiervan al waargenomen dient te worden.
Doorworteling	Veel dikke en dunne wortels in bovenste grondlaag (zie LTV)	Volgens methode LTV.	Wanneer het noodzakelijk is om de doorworteling te bepalen, gebeurt dit vijfjaarlijks in het kader van de LTV.	Bovenste 20 cm van de grasmatt, 4 steekproeven in vakken van 5-5 meter (gehele dijk in deze vakken indelen)	Geeft sterkte en veerkracht aan de grasmatt. Mate van voorkomen van dunne en dikke wortels in de laag van maaiveld tot 0,15 m-mv (zie LTV).
Beweiding	Type beweiding (schapen, koeien, etc.)	Niet te concretiseren. Type beweiding.	Wekelijks tot (meer)maandelijks	Gebiedsdekkend	Runderen veroorzaken schade aan de grasmatt. Schapen niet. Ook in het kader van handhaving is dit belangrijk.

2. Stenen bekleding

- holle ruimtes en geulvorming onder de bekleding;
- ontbrekende stenen uit de bekleding;
- verzakkingen, dan wel omhoogkomen van stenen, kammen en afschuiven van de bekleding.

Parameters en aspecten die van belang zijn voor inspectie van stenen bekledingen zijn samengevat in tabel 4.4 uit [6].

TABEL 4.4 INSPECTIEPARAMETERS STENEN BEKLEDING EN ASPECTEN HIERVAN UIT [6]

Inspectieparameter	Significante eenheid	Nauwkeurigheid	Inspectiefrequentie	Ruimtelijke spreiding	Toelichting
Holle ruimtes en geulvorming onder stenen	in centimeters	Verzakking vanaf 2 cm.	Variërend van twee wekelijks tot jaarlijks. Na iedere calamiteit.	Gebiedsdekkend	Holle ruimte onder de stenen ondermijnen de bekleding. Erosie vindt plaats onder de stenen waardoor het dijklichaam wordt ondermijnd. Wens: vanaf 2 cm diepte waarnemen. Wordt vaak duidelijk door het meezakken van het basalt. Dit gebeurt echter niet altijd.
Verzakken, kammen en afschuiven bekleding	in centimeters	$\pm 0 - 5$ cm.	Variërend van twee wekelijks tot jaarlijks tot vijfjaarlijks. Na iedere calamiteit.	Gebiedsdekkend	Verzakken, kammen en afschuiven zijn vaak met het oog waar te nemen. Behalve als het erg langzaam gaat.
Ontbreken van zetstenen	in centimeters	X-, Y- en Z-coördinaten: $\pm 0 - 5 / 10$ cm. Elke steen.	Variërend van twee wekelijks tot jaarlijks. Na iedere calamiteit.	Gebiedsdekkend	Stenen die uit de glooiing zijn verwijderd. Elke steen dient gedetecteerd te worden, aangezien anders snel meerdere stenen weg kunnen slaan.
Aanwezigheid van houtopslag en andere vegetatie	Aanwezigheid hiervan.	Aanwezigheid hiervan.	Variërend van twee wekelijks tot jaarlijks. Na iedere calamiteit.	Gebiedsdekkend	Aanwezigheid is vaak voldoende om te verwijderen. Houtopslag kan bekledingen ondermijnen en voor erosie zorgen bij hoogwater.
Tonronde bekleding	in centimeters	$\pm 0 - 5$ cm.	Variërend van twee wekelijks tot jaarlijks. Na iedere calamiteit.	Gebiedsdekkend	De vorm van de bekleding (bol). Staat in verband met verzakken, kammen en afschuiven van de bekleding.
Bekledingsvlakken	Exacte grens van het ene naar het andere vlak.	Exacte grens (lastig als verschillende zuillengtes elkaar afwisselen.	Eenmalige meting.	Gebiedsdekkend	De grens tussen bekledingsvlakken.

3. Asfalt

- scheurvorming in beton dan wel asfalt;
- optreden van rafeling;
- optreden van stripping;
- dikte van het asfalt;
- stijfheid van het asfalt.

De taludbekledingen worden door de beheerders regelmatig geïnspecteerd. Er wordt extra gecontroleerd tijdens en na hoogwater en stormen. Controles geschieden voornamelijk op basis van visuele waarnemingen.

Parameters en aspecten die van belang zijn voor inspectie van asfaltbekledingen zijn samengevat in tabel 4.5 uit [6].

TABEL 4.5 INSPECTIEPARAMETERS ASFALTBEKLEDING EN ASPECTEN HIERVAN UIT [6]

Inspectieparameter	Significante eenheid	Nauwkeurigheid	Inspectiefrequentie	Ruimtelijke spreiding	Toelichting
Dikte	In centimeters.	Onbekend	Variërend van dagelijks tot (meer)maandelijks.	Puntmetingen. Willekeurig verspreid.	De dikte bepaalt onder andere de sterkte van de asfaltlaag. De puntmetingen worden verspreid over de bekleding. Er is geen vaste verdeling voor het aantal puntmetingen.
Scheurvorming en rafeling	Diepte, lengte en breedte scheur: in centimeters?	Onbekend	Variërend van elke paar maanden tot jaarlijks.	Alle scheuren en rafels.	Door scheurvorming en rafeling kan erosie optreden en kunnen er gaten onder de bekleding komen. Deze gaten worden snel duidelijk omdat het asfalt meezakt. Plantengroei kan in scheuren voorkomen.
Gaten onder de bekleding	In centimeters.	Onbekend	Variërend van elke paar maanden tot jaarlijks. Na hoogwater.	Gebiedsdekkend	Door holle ruimtes zakt het asfalt en kan scheurvorming optreden. Gaten worden meestal vrij snel duidelijk omdat het asfalt meezakt. Wens: waarnemen vanaf diepte van 2 cm.
Stripping (afbrokkelen bovenste laag. Dikte wordt dunner)	In centimeters.	Onbekend	Veelal vijfjaarlijks.	Gebiedsdekkend	Het proces dat de bovenste laag van het asfalt loslaat.
Stijfheid	Zoals wordt vereist in laboratorium metingen	Zoals wordt vereist in laboratorium metingen	Veelal vijfjaarlijks in het kader van de LTV.	Puntmetingen. Willekeurig verspreid.	De stijfheid geeft aan in hoeverre de asfaltlaag golfklappen kan opvangen. De puntmetingen worden verspreid over de bekleding. Er is geen vaste verdeling voor het aantal puntmetingen.

4.4 GRONDLICHAAM

Voor de sterktebepaling van de waterkering zijn de volgende kenmerken van belang:

- grondopbouw van het dijklichaam (in grote mate van detail);
- opbouw van de ondiepe en diepe ondergrond onder de kering en in de omgeving hiervan;
- opbouw van de vooroever;
- aanwezigheid van niet waterkerende objecten in, op, aan en bij de waterkering (kabels, leidingen, gebouwen, etc.).

De opbouw van het dijklichaam zal in de loop der tijd niet of nauwelijks veranderen, maar voornamelijk compacter worden. Activiteiten van buitenstaanders kunnen leiden tot verstoringen en veranderingen in de opbouw van de waterkering. Hierbij kan gedacht worden aan (illegale) graafwerkzaamheden in het dijklichaam voor bijvoorbeeld de aanleg van kabels, leidingen of kelders.

De beheerinspanning is vooral gericht op het vastleggen en duurzaam toegankelijk houden van gegevens over dijklichaam en ondergrond, kabels, leidingen en andere keringvreemde elementen. Van oudere dijken zijn vaak geen gedetailleerde gegevens over de opbouw en samenstelling van de dijk bekend.

4.5 GRONDWATER / WATERSPANNING

Het aanwezige water in een waterkerend grondlichaam heeft grote invloed op de sterkte en stabiliteit van de kering en is daarom een belangrijke parameter waarop de beheerder zijn aandacht richt. Van belang zijn:

- De ligging van het freatisch vlak in het dijklichaam en veranderingen hierin;
- Waterspanning/stijghoogtes in waterkering en ondergrond en veranderingen hierin. Vooral ter plaatse van laagovergangen;
- Grondwaterstroming door de verschillende bodemlagen en veranderingen hierin;
- Bodemvocht (capillaire en funiculaire zone boven het freatische vlak) en veranderingen hierin.

In tegenstelling tot de statische grondopbouw van de waterkering, zijn vochtgehalten en waterspanningen in de grond in en rond keringen vaak aan veranderingen onderhevig. Dit geldt in mindere mate voor regionale waterkeringen. Over het algemeen verandert het grondwaterpeil in bij voorbeeld boezemkades niet zeer snel door de weinig veranderende randvoorwaarden. Het boezempeil fluctueert immers weinig. Wel kunnen in combinatie met extreem langdurige neerslag of verdroging kritieke situaties ontstaan als gevolg van de veranderde vochttoestand en/of waterspanningen.

Bij rivierdijken kan de stand van het buitenwater relatief snel (t.o.v. het grondwater) toenemen en vrij snel weer dalen.

Zee- en meerdijken hebben veelal te maken met zeer kortstondige perioden van hoog water. Hierbij hebben factoren als gemiddelde binnen en gemiddelde buiten waterstand, golven en golfslag een rol in de beïnvloeding van de grondwaterstoestand.

TABEL 4.6 INSPECTIEPARAMETERS GRONDWATER (TOEGEVOEGD)

Inspectieparameter	Significante eenheid	Nauwkeurigheid	Inspectiefrequentie	Ruimtelijke spreiding	Toelichting
Vochtgehalte (veenkaden)	Vochtgehalte (%)	%	Variërend van dagelijks tot maandelijks	Puntmeting	Alleen als daartoe aanleiding betaat bijvoorbeeld door extreme droogte
Groenwaterstand in dijk	m t.o.v. NAP	5 cm.	Variërend van dagelijks tot maandelijks	Puntmeting	Bij veranderende en extreem hoge rivierwaterstanden tenminste dagelijks i.v.m. mogelijke verweking
Stijghoogte 1 ^e watervoerend pakket	m t.o.v. NAP	10 cm.	Variërend van dagelijks tot maandelijks	Puntmeting	Bij veranderende en extreem hoge rivierwaterstanden tenminste dagelijks i.v.m. mogelijk opdrijven

5

MEETTECHNIEKEN

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van meettechnieken die kunnen worden toegepast voor het meten aan waterkeringen. Traditionele technieken komen aan bod, maar ook moderne technieken als bij voorbeeld remote sensing. De technieken zijn samengebracht in dit hoofdstuk om de beheerder in één bundel een zo volledig mogelijk beeld te geven van wat er thans aan meettechnieken is. Voor dit overzicht is onder ander gebruik gemaakt van het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies van juni 2001[7], De PAO -cursus “Haal meer uit uw grondonderzoek” [8], de bijdrage van Dr. J.K. Van Deen [9] en de PAO -cursus “Monitoring- en Inspectietechnieken voor kades en dijken” van oktober 2005 [10].

Meettechnieken die in laboratoriumomstandigheden worden gebruikt worden niet behandeld. Onderhavig rapport geeft een overzicht van meettechnieken die kunnen worden gebruikt in het veld. Alvorens in de technieken te duiken wordt in deze inleiding nog een aantal basisbegrippen gegeven. De begrippen hebben betrekking op het meten en helpen de beheerder eisen te stellen aan de meettechnieken. Het overzicht van meettechnieken is in drie categorieën opgebouwd, traditionele technieken, moderne insitu- technieken en geofysische technieken.

5.2 BEGRIPPEN

Maximaal meetbereik: de maximaal mogelijke waarde van een meetinstrument; hierboven wordt instrument overbelast.

Elk meetsysteem heeft een beperking over het bereik waarover de meting kan worden uitgevoerd. Denkt u maar aan een koortsthermometer. Het meetbereik is 36 tot 43 graden Celsius, ligt de temperatuur daarbuiten dan kan zij met dit instrument niet gemeten worden.

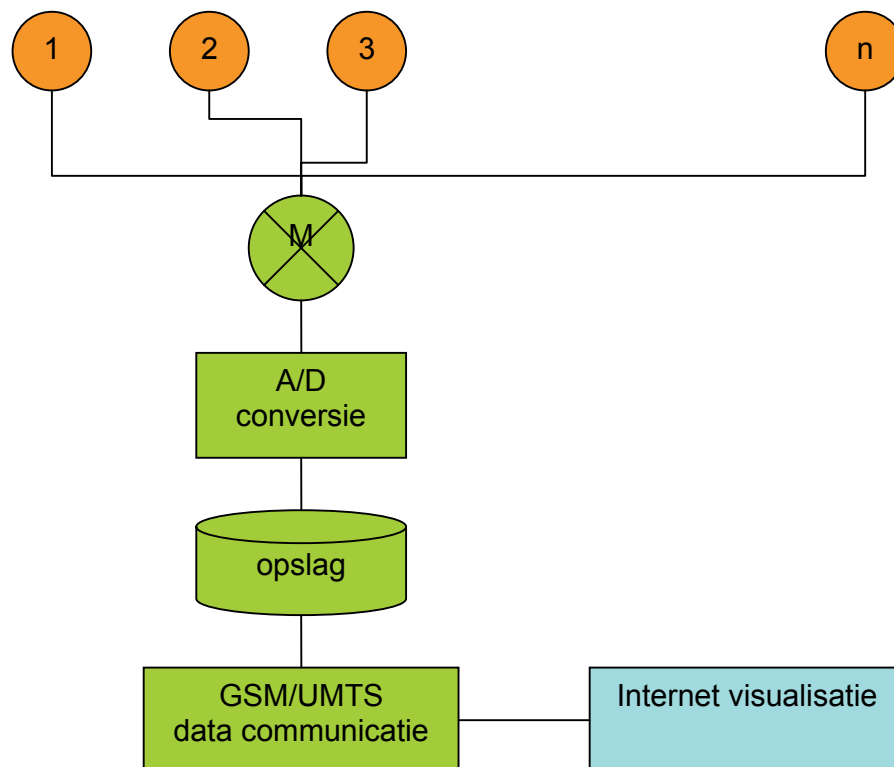
Wanneer u een bepaald meetsysteem wilt inzetten zult u zich dus moeten afvragen over welk bereik u wilt meten. Dit klinkt triviaal, maar kan in de praktijk lastig blijken. Stel u wilt enige jaren op een aantal punten aan maaiveld de horizontale deformatie van een kade periodiek inspecteren. Wat is dan de te verwachten vervorming? Kiest u het meetbereik te klein dan zal bij overschrijding ervan de meting falen. De neiging is dan vaak om ruim te gaan zitten: “Ga maar uit van maximaal 1 meter horizontale vervorming”. Punt is echter dat bij een te groot gekozen meetbereik de kwaliteit van de meting nadelig wordt beïnvloed. In het voorbeeld van de thermometer: het zal moeilijk zijn de temperatuur van een persoon goed te bepalen met behulp van een oventhermometer tot 250 graden Celsius.

Resolutie: het oplossende vermogen, de kleinste meetbare verandering van de te meten grootte.

De resolutie van een meetsysteem geeft dus aan hoeveel een bepaalde meetwaarde moet afwijken om überhaupt meetbaar te zijn. Denkt u bijvoorbeeld aan het sonderen door de grond. Een zandlaagje met een dikte van circa 5 mm in een kleipakket zal door de afmetingen van de conus niet leiden tot een meetbare afwijking in conusweerstand of wrijving. Wordt echter de waterspanning ook gemeten dan zal door de kleine afmetingen van het filter dit wel kunnen leiden tot een meetbare afwijking. Met andere woorden de resolutie van de meting van weerstand en wrijving zijn te laag terwijl de resolutie van de meting van waterspanning wel voldoende voor detectie van de dunne zandlaag.

In de praktijk wordt de resolutie van meetsystemen zoals aangegeven in schema 5.1 en schema 5.2 bepaald door de zwakste schakel in de gehele meetketen. Dit is vrijwel altijd de omzetting van analoog naar digitaal.

SCHEMA 5.1



Meetfrequentie: het aantal metingen per tijdseenheid dat moet worden uitgevoerd om een fysisch proces te monitoren.

Theoretisch kan men stellen dat de meetfrequentie van een sinusvormig signaal een factor 2 hoger moet zijn de hoogste frequentie van dit fenomeen. In de praktijk worden echter beduidend hogere frequenties (factor 3 à 5) aangehouden.

Beschouw het meten van vervormingen van een boezemkade. Normaal gesproken worden deze vervormingen bepaald door seizoensinvloeden en waterstanden. Dit zijn langzame processen en dus volstaat een lage meetfrequentie van bijvoorbeeld 1x per dag. Echter als gevolg van verkeersbelasting kunnen gedurende korte tijd wellicht veel grotere deformaties optreden. Deze zijn echter niet meetbaar door met deze lage meetfrequentie. Wil men deze effecten ook meten dan moet het meetsysteem veel sneller kunnen meten, bijvoorbeeld 1x per minuut. Stel dat er zich ook nog een flinke verkeersdrempel in de weg bevindt dan kan

dat door de klap leiden tot dynamische vervormingen in de ondergrond. Dit zijn effecten in de orde tot 30 trillingen per seconde (30 Hz). De meetfrequentie zal dan moeten liggen in de orde van 100 Hz.

Ook hier geldt weer dat de neiging bestaat te overdimensioneren: kies de meetfrequentie zo hoog dat zij altijd volstaat. Nadeel is dan de enorme hoeveelheid data die geanalyseerd moet worden, terwijl dat misschien niet nodig is.

Meetnauwkeurigheid: de meetnauwkeurigheid van een meetsysteem in de geotechniek wordt bepaald door een aantal factoren, namelijk:

- Fouten (systematische en toevallige) in de meting zelf
- Wijze van installatie, zondigen tegen de “conformance rule”

Ad 1. Fouten

Fouten zijn de verschillen tussen de gemeten en werkelijke waarde van een meetgrootte. De totale fout is de som van systematische en toevallige fouten.

Systematische fouten: fouten die niet veranderen indien de meting onder identieke omstandigheden wordt herhaald (bijvoorbeeld afwijkingen in het meetinstrument). Systematische fouten worden sterk verminderd door kalibratie van het meetinstrument.

Betrouwbaarheid (reproduceerbaarheid): de betrouwbaarheid wordt bepaald door de mate waarin een meetsysteem onder dezelfde omstandigheden in dezelfde situaties dezelfde resultaten geeft.

Toevallige fouten: deze ontstaan door variatie van omstandigheden, omgevingsfactoren, wijze van aflezen etc.: herhaling van de meting geeft steeds een ander resultaat (niet-lineair gedrag). Door de meting vaak te herhalen onder ongewijzigde omstandigheden kan de toevallige fout door middeling worden verkleind.

Aanbieders van technieken hebben de neiging de nauwkeurigheid van het meetsysteem gunstig voor te stellen door te praten over de sensornauwkeurigheid. Voor de gebruiker gaat het om de nauwkeurigheid van de meting van de geotechnische parameter en deze wordt bepaald door alle fouten in het totale meetcircuit.

Ad 2. Wijze van installatie

Bij het meten in grond is het van groot belang dat het gedrag van de grond niet wordt beïnvloed door het aanbrengen van het meetinstrument. Een bekend voorbeeld is het meten van totaaldrukken in de grond. Deze totale druk is een sommatie van de waterspanning en korrelspanning. De instrumenten die hiervoor te koop zijn worden in een boorgat in de grond geplaatst en het boorgat wordt afgevuld met grond. Echter door het boorgat en de vulling kan de initiële grondcondities zodanig worden verstoord dat de meting minder nauwkeurig is.

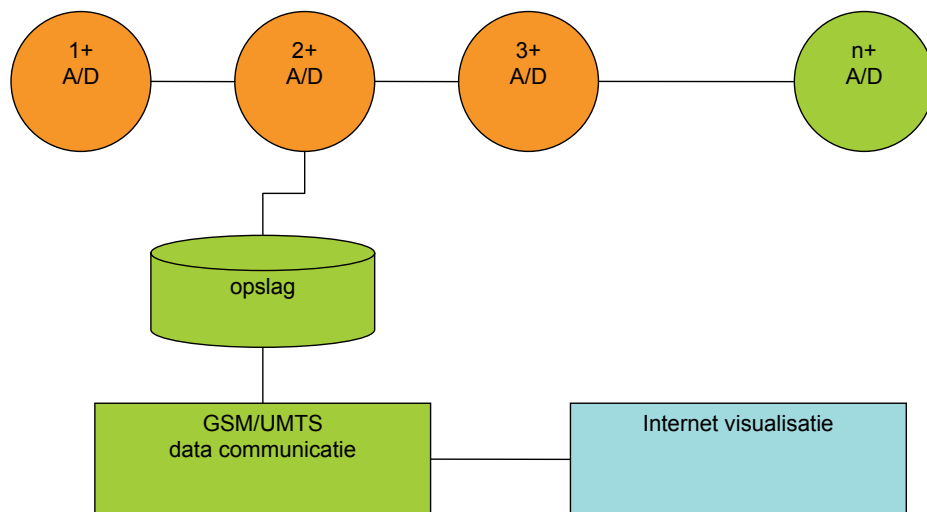
MEETCIRCUIT

Schema 5.1 toont de conventionele opzet van een meetsysteem. Een aantal meetsensoren is via kabels (één per sensor) verbonden aan één meetstation. Een multiplexer schakelt, zoals een ouderwetse telefooncentrale, tussen elke sensor en de A/B-kaart. Deze kaart draagt zorg voor de omzetting van de analoge signalen in digitale getallen die vervolgens worden opgeslagen in het geheugen van het meetstation.

Indien onmiddellijke beschikbaarheid van de data is gewenst kunnen de gegevens via een GSM of UMTS worden doorgestuurd naar kantoor en zichtbaar worden gemaakt via internet.

De IC technologie is tegenwoordig zo ver doorontwikkeld dat het ook mogelijk is geworden direct bij de sensor te digitaliseren. Dit zijn de zogenaamde intelligente sensoren, zie schema 5.2. Bijkomend voordeel is dat ook de kalibratiefactoren in de sensor worden opgeslagen zodat direct de meetwaarde in engineering eenheden beschikbaar zijn. Bij de conventionele opzet vindt de omrekening van meetsignaal naar engineering eenheden in het meetstation plaats.

SCHEMA 5.2



Belangrijk voordeel van deze techniek is dat de bekabeling tussen sensor en meetstelsel sterk wordt gereduceerd. Er hoeft niet meer van elke sensor een aparte meetkabel naar het meetstation te worden aangelegd. Nadeel is wel dat er meer elektronica nabij de sensor in de grond zit, waardoor de storingsgevoeligheid kan toenemen en een sensor in de grond is moeilijk te vervangen.

5.3 TRADITIONELE TECHNIKEN

5.3.1 INLEIDING

Onder traditionele meettechnieken voor veldonderzoek aan waterkeringen kunnen technieken worden geschaard die gericht zijn op het verkrijgen van gegevens in de verticale bodemkolom van waterkeringen en waarbij het meetlichaam in de waterkering wordt gebracht. Ze leveren specifiek aan punten toe te wijzen meetwaarden op. Bij de meting is in die specifieke punten het meetvolume aan grond weggenomen of is de grond lokaal ter plaatse van het meetvolume verstoord door het ingebrachte meetlichaam. De verstoringen als gevolg van de metingen zijn echter zo gering dat de keringen waarin gemeten wordt als geheel nog steeds als ongestoord kunnen worden beschouwd. De volgende technieken komen aan de orde: sonderingen, boringen, vinproeven, terreinonderzoek ter bepaling van vervormingsparameters, metingen van waterspanningen, elektrische dichtheidsmeting, pomp- en putproeven en infiltratieproeven.

5.3.2 SONDERINGEN

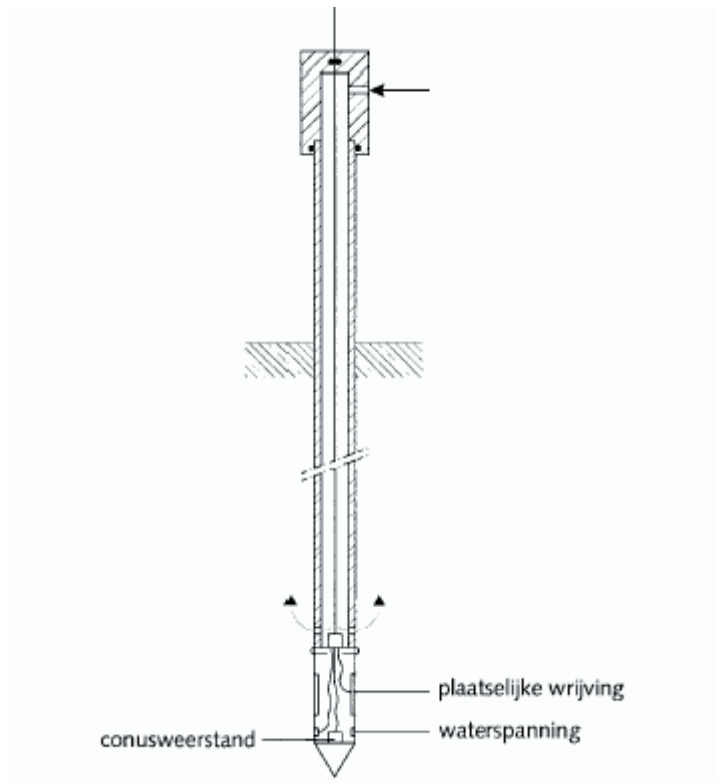
Ter bepaling van de bodemopbouw wordt vaak de standaard (elektrische) druksondering (Engels: Cone Penetration Test; CPT) gebruikt, hierbij wordt gelijktijdig de kleef of mantelwrijving gemeten. In principe wordt bij een sondering de weerstand gemeten, die een conusvormig lichaam (zie figuur 5.1) ondervindt bij het wegdrukken in de grond. De methode is nationaal (Ref. NEN 3680) in internationaal gestandaardiseerd.

Met behulp van de kleefmeting kunnen laagscheidingen tussen bijvoorbeeld veen- en kleilagen met een zelfde conusweerstand zichtbaar worden gemaakt, waardoor een aanmerkelijk vollediger beeld wordt verkregen dan bij meting van de conusweerstand alleen. De (elektrische) sondering met kleefmeting is toepasbaar in nagenoeg alle grondsoorten in Nederland en is voldoende nauwkeurig. Bovendien is de sondering relatief goedkoop. Sonderingen in overeenstemming met NEN 3680 kunnen worden uitgevoerd met sondeerconussen van verschillende vorm. Omdat de vorm van de sondeerconus invloed heeft op de weerstand in de grond, dient in overeenstemming met NEN 3680 bij elk onderzoek duidelijk te worden aangegeven welk type is gebruikt.

In de NEN 3680 worden de sonderingen in een drietal kwaliteitsklassen verdeeld. De mechanische conus behoort tot de laagste kwaliteitsklasse 1 en wordt vrijwel niet meer toegepast. Het toepassen van een mechanische conus gebeurt alleen indien er sprake is van veel puin in de ondergrond, waarbij de kans op beschadiging van de kwetsbare elektrische conus groot is. De huidige praktijk is elektrisch sonderen. Uit het verloop van de vastheid van de grond met de diepte, zoals die blijkt uit de conusweerstand en de plaatselijke wrijving wordt een goed beeld verkregen van de laagopbouw en de samenstelling van de grondslag.

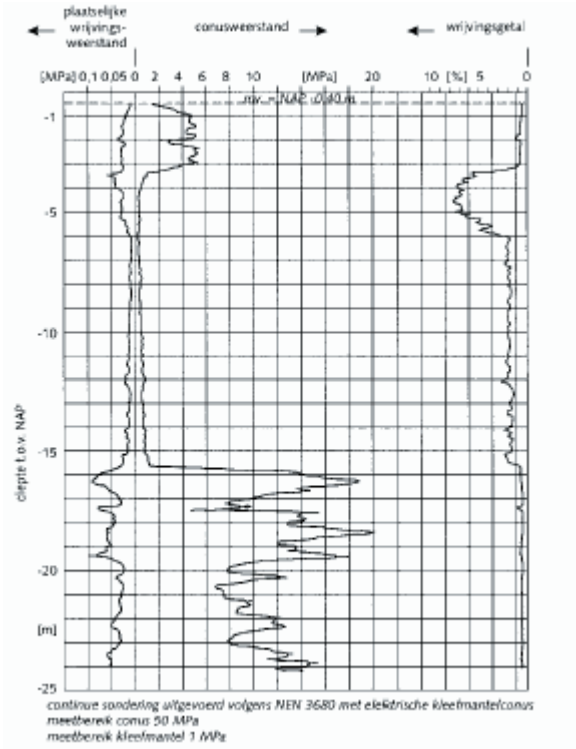
FIGUUR 5.1

SONDEERCONUS



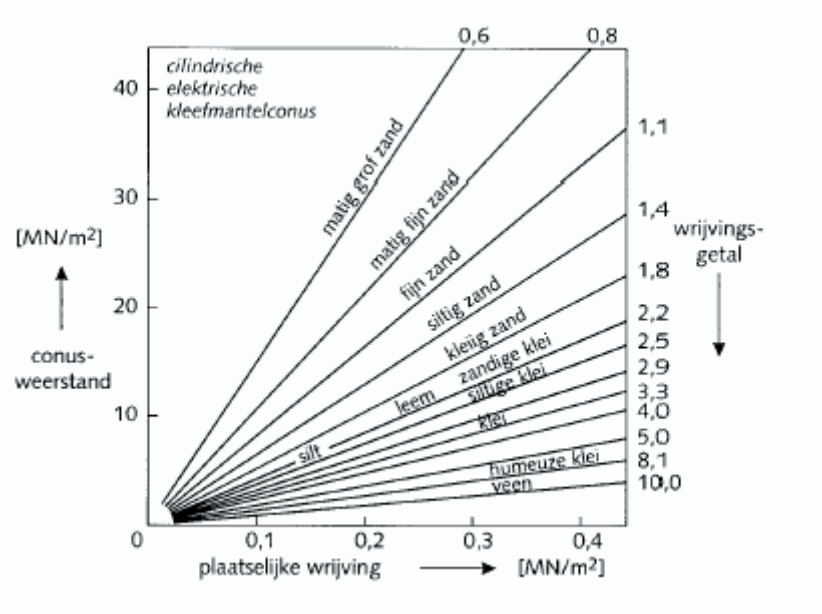
FIGUUR 5.2

VOORBEELD SONDEERGRAFIEK



FIGUUR 5.3

RELATIE TUSSEN SONDEERWEERSTAND, PLAATSELIJKE WRIJVING EN GRONDSOORT



Figuur 5.2 geeft een voorbeeld van het resultaat van een sondering met een cilindrische elektrische kleefmantelconus.

Voor de grond onder de grondwaterstand geeft het wrijvingsgetal bovendien een goede indicatie van de grondsoort. In figuur 5.3 is het verband tussen conusweerstand en de plaatselijke wrijving in verschillende grondsoorten uitgezet voor sonderingen met de cilindrische elektrische kleefmantelconus.

Gecompleteerd met de resultaten van enige (hand)boringen en het geo-elektrische onderzoek geven sonderingen een betrouwbaar inzicht in de ligging en de dikte van de verschillende bodemlagen.

Er zijn talloze correlaties van sondeerweerstand met bijvoorbeeld dichtheid, sterkteparameters en samendrukkingparameters. In CUR-publicatie 162, bijlage A (Ref. Construeren met grond) zijn de meest gebruikte correlaties opgenomen.

5.3.3 BORINGEN

Boringen zijn ten opzichte van sonderingen duur en worden over het algemeen toegepast ten behoeve van classificatie en identificatie van grond. Een boring is een goede maar bewerkelijke methode om het grondprofiel nauwkeurig vast te stellen. Meestal gebeurt de classificatie van de bodemlagen door visuele beschrijving volgens NEN 5104 van de met de boor omhoog gebrachte grond. Het is gewenst de visuele beoordeling te verifiëren door in het laboratorium uit te voeren classificatieproeven op monsters van de uitkomende grond. Voorbeelden van zulke proeven zijn volumegewichtbepaling, korrelverdelingsbepalingen en bepalingen van de vloeigrens, uitrolgrens en krimpgrens van klei. Vaak worden boringen gemaakt voor het nemen van ongeroerde monsters uit de verschillende grondlagen. Deze monsters worden gebruikt voor de bepaling van volumegewichten en de mechanische eigenschappen, zoals de sterkte- en vervormingparameters. Ze vormen daarmee de basis van de grondmechanische analyse, die nodig is voor de stabiliteitsbeoordeling van grondconstructies. Het is daarom van groot belang dat de monsters werkelijk ongeroerd uit de grond en in het laboratorium komen. In bijlage 1 staat een korte toelichting bij de boormethoden die in ons land worden toegepast.

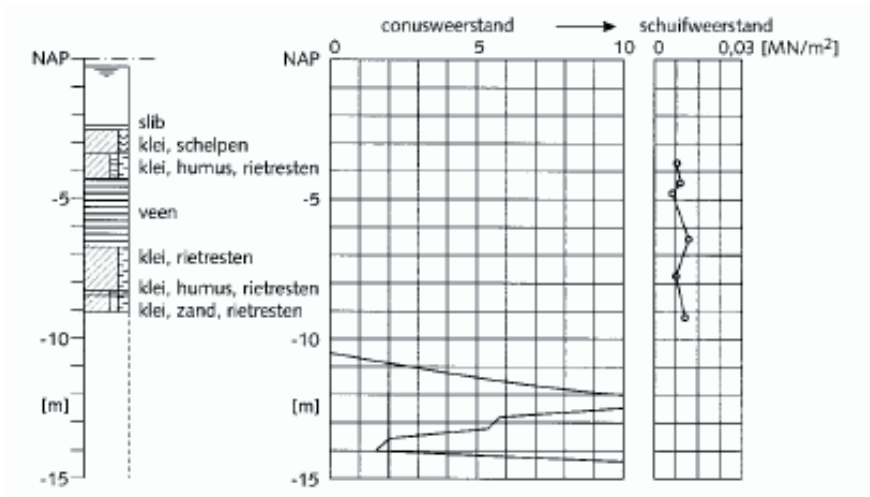
5.3.4 VINPROEVEN

De zogenaamde vinproef of vane-test wordt zowel in het laboratorium als in het terrein toegepast voor de directe meting van de ongedraineerde schuifsterkte van cohesieve gronden. In principe berust de methode op de bepaling van het torsiemoment, dat nodig is om de vin om zijn verticale as in de grond te laten draaien.

Door afwisselend dieper te boren en een vinproef uit te voeren, kan op eenvoudige wijze een bodemprofiel worden verkregen, dat een beeld geeft van de ongedraineerde schuifsterkte als functie van de diepte (figuur 5.4).

FIGUUR 5.4

VERLOOP ONGEDRAINEERDE STERKTE MET DE DIEPTE



In bijlage 2 is een uitgebreide beschrijving van de vinproef en de, voor het uitvoeren van de proef, benodigde apparatuur te vinden.

5.3.5 TERREINONDERZOEK TER BEPALING VAN VERVORMINGPARAMETERS

Insitu meting van vervormingparameters is problematisch, omdat daarbij in feite de spreiding van aangebrachte belastingen en de ontwikkeling van wateroverspanningen zouden moeten worden gesimuleerd. Om die redenen bestaan er nauwelijks insitu methoden, die langs directe weg vervormingparameters opleveren. Er is altijd een interpretatieslag nodig. Een tweetal veldproeven waarmee vervormingparameters bepaald kunnen worden zijn de pressiometer en de dilatometer. De cone pressuremeter meet zowel de sterkte als stijfheidseigenschappen van de ondergrond. In het kader van het TAW onderzoek 'parameterbepaling' is een gebruiksvriendelijk model (Piano) ontwikkeld (Ref. PIANO User Manual), waarmee uit de meetresultaten van de cone pressuremeter rechtstreeks de glijdingsmodulus en de ongedraineerde schuifsterkte zijn te bepalen, die in EEM berekeningen kunnen worden gebruikt.

In bijlage 3 staan de pressiometer, de dilatometer, de cone pressuremeter en de met behulp van deze apparaten uit te voeren onderzoeken beschreven.

5.3.6 METINGEN VAN WATERSPANNINGEN EN STIJGHOOGTE

De ligging van de grondwatervlans is van invloed op de verschillende geotechnische en geohydrologische berekeningen. Van elk watervoerend pakket moet de actuele en zo mogelijk de hoogste en laagste grondwater stijghoogte worden bepaald. Tevens moet worden nagegaan door welke factoren de verschillen in waterstand worden beïnvloed. De eventueel aanwezige invloeden op de waterstanden ten gevolge van inzijging, kwel en wateronttrekking, zoals bijvoorbeeld in een waterwingebied zijn daarbij van belang evenals bijvoorbeeld de nabijheid van een rivier met wisselende waterstanden. Door middel van een piëzometerring kan de heersende grondwaterspanning worden gemeten maar dit betreft een momentopname. Ten behoeve van korte en lange duur metingen kunnen beter andere meettechnieken worden toegepast. In Nederland is een grote verscheidenheid aan waterspanningsmeters beschikbaar.

De meest gangbare zijn:

- de open peilbuis;
- de Bourdon waterspanningsmeter;
- de elektrische waterspanningsmeters

Inzichten met betrekking tot de toepasbaarheid, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en kosten van de waterspanningmeetapparatuur staan vermeld in tabel 5.1.

Voor meer informatie over de diverse toepasbaarheid van de meetmethoden wordt verwezen naar CUR 162 (Ref. Construeren met grond). Tijdens het sonderen kan de waterspanning bij de conuspunt continu worden gemeten (zie figuur 5.5).

TABEL 5.1

WAARDERINGEN VAN WATERSPANNINGEN MET BETREKKING TOT TOEPASBAARHEID IN GRONDSOORTEN

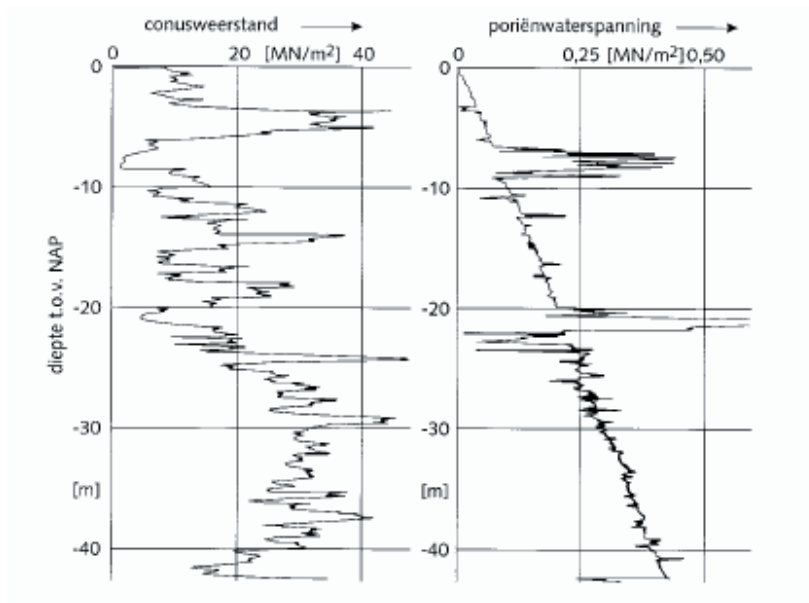
Meetapparatuur	Grondsoort	nauwkeurigheid	betrouwbaarheid	kosten
Peilbuis	Zand, veen ¹⁾	++	++	++
Bourdon water-spanningsmeter	Zand, veen, klei ¹⁾	+	-	o
Elektrische water-spanningsmeter	Zand, veen, klei	++	+	--

¹⁾ niet toepasbaar voor cyclische of dynamische waterspanningsmetingen

verklaring: ++ = goed of goedkoop o = matig - = slecht of duur
 + = redelijk -- = zeer slecht of zeer duur

FIGUUR 5.5

VOORBEELD VAN SONDERING MET WATERSPANNINGSMETING



5.3.7 ELEKTRISCHE DICHTHEIDSMETING

Om de gevoeligheid van het voorland voor zettingsvloeiing vast te stellen moet de dichtheid van de zandlagen insitu bepaald worden. De eerder beschreven onderzoeksmethoden als sonderen en boren zijn hiervoor niet geschikt. Door Geodelft is apparatuur ontwikkeld waarmee dit onderzoek wel kan worden uitgevoerd. Het is specialistisch en kostbaar onderzoek, maar bedacht moet worden dat de schade die bij het optreden van zettingsvloeiing ontstaat groot is.

Door Geodelft is apparatuur ontwikkeld om het poriëngehalte van met water verzadigd zand in het terrein als functie van de diepte te kunnen vaststellen. De apparatuur kan zowel vanaf land als vanaf water met normale sondeerapparaten in de grond worden gebracht.

De toegepaste methode berust op het feit dat de zandkorrels uit elektrisch niet-geleidend materiaal bestaan, terwijl het poriënwater wel elektrisch geleidend is. De eigenlijke meting geschiedt dan ook in twee fasen. In de eerste fase wordt de specifieke elektrische weerstand gemeten van het totale grondmassief – korrels en poriënwater – met behulp van de zogenaamde grondsonde. Deze grondsonde bestaat uit een speciale sondeerbuis, waarin de meetelementen elektrisch geïsoleerd zijn aangebracht. De meetelementen zijn twee combinaties van vier elektroden. De ene combinatie heeft een invloedssfeer van enige decimeters; de andere een invloedssfeer van ongeveer één meter. Tevens is de sonde voorzien van een conus en een kleefmantel, zodat tegelijkertijd de ook in dit geval waardevolle conusweerstand en plaatselijke kleef worden geregistreerd. De sonde wordt in de grond weggedrukt en elke 0,20 m wordt de specifieke elektrische weerstand afgelezen.

In de tweede fase van de meting wordt door middel van de zogenaamde watersonde de specifieke elektrische weerstand van het poriënwater bepaald. De watersonde bevat een meetcel die via een filter kan worden volgezogen met een kleine hoeveelheid poriënwater, waarna de specifieke elektrische weerstand van dit water wordt gemeten. Deze meting wordt op verschillende diepten uitgevoerd.

Het poriëngehalte kan worden afgeleid uit het quotiënt van de beide gemeten specifieke elektrische weerstanden. Een theoretische afleiding van het verband is praktisch niet mogelijk, daar een zandmassa bestaat uit korrels van verschillende grootte en vorm, die niet regelmatig gerangschikt zijn. De gevraagde betrekking wordt daarom in het laboratorium vastgesteld, in de vorm van een ijklijn, door middel van proeven op monsters uit het onderzochte zandpakket. Daartoe wordt in een uit isolerend materiaal vervaardigde cilinder een met water verzadigd zandmonster opgebouwd met een bekend poriëngehalte. Dan kan zowel de specifieke elektrische weerstand van het verzadigde zand als die van het poriënwater worden gemeten. Deze proef wordt bij verschillende poriëngehalten van een monster herhaald. Na ijking van een aantal monsters uit het onderzochte gebied wordt een gemiddelde ijklijn vastgesteld.

5.3.8 POMP- EN PUTPROEVEN

Met pomp- en putproeven kunnen geo-hydrologische parameters zoals het doorlaatvermogen en de bergingscoëfficiënt van een watervoerend pakket en de weerstand tegen verticale stroming door een slecht doorlatende laag worden bepaald (hydraulische weerstand).

Bij een pompproef wordt door middel van één of meer putten water onttrokken aan één of meer watervoerende pakketten. Tijdens het pompen en gedurende enige tijd erna worden de veranderingen in de stijghoogten gemeten, in zoveel mogelijk punten op verschillende afstanden van de pompput. Met behulp van de dalingslijnen die in de peilfilters geregistreerd worden, kunnen de verschillende geo-hydrologische eigenschappen van de ondergrond worden bepaald.

Wanneer tijdens het pompen alleen de stijghoogte in de pompput of in de omstorting van de put vastgelegd wordt, spreekt men van een putproef. Dit is een vereenvoudigde versie van de pompproef die vaak toegepast wordt om het boren van putten en het installeren van dure peilfilters te voorkomen. Een nadeel is echter dat uit deze proef alleen het doorlatend vermogen van het watervoerend pakket bepaald kan worden. Ook is het gebied waarvoor de berekende bodemparameter geldt, beperkt tot de directe omgeving van de put.

Veel onderzoek naar geo-hydrologische parameters met behulp van pomp- en putproeven wordt gedaan door verschillende instituten op het gebied van de drinkwatervoorziening. De resultaten worden verzameld door de Dienst Grondwaterverkenning van TNO.

5.3.9 INFILTRATIEPROEVEN

Infiltratieproeven dienen om de verticale doorlatendheid van de grond ter plekke te bepalen. Bij deze proeven wordt een ring met een diameter van meestal 0,15 m op het maaiveld geplaatst, met daaromheen – ter voorkoming van randeffecten – een grotere ring met een diameter van 1,0 m. Beide ringen worden gevuld met water. Uit het toegevoerde debiet en de gemeten waterspanningen of stijghoogten in de grond onder de ringen kan de doorlatendheid worden afgeleid. Een nadeel is dat, ondanks de aanwezigheid van een tweede ring, een zeker randeffect door zijdelingse stroming niet valt uit te sluiten, zodat geen zuiver verticale doorlatendheid wordt gemeten.

Het voordeel van deze proeven boven doorlatendheidsproeven in het laboratorium is, dat een meer representatief monster wordt beproefd als gelet wordt op structuren in de grond zoals scheuren en wormgaten. Bovendien is het monster dan echt ongeroerd. De proef moet worden doorgezet tot een continu debiet naar beneden is bereikt. Dit kan enige tijd (uren) vergen.

5.4 MODERNE INSITU-TECHNIEKEN DOOR SENSORTECHNOLOGIE

5.4.1 INLEIDING

In de vorige paragraaf zijn technieken beschreven die al lang en nog veel worden toegepast bij grondonderzoek. Een moderne variant voor het uitvoeren van insitu-metingen is die waarbij gebruik wordt gemaakt van sensortechnologie met als belangrijkste meetmedium glasvezels. Bij de meting wordt gebruik gemaakt van de lichteigenschappen van glasvezels. Optische glasvezels worden al lang toegepast in de kabels van ultrasnelle telecommunicatienetwerken. Via lichtpulsen wordt informatie over grote afstanden snel overgebracht. Voor waarnemingen aan objecten zijn in principe met glasvezels twee type metingen uit te voeren: puntmetingen en gedistribueerde metingen. In de volgende paragrafen zal hierop nader worden ingegaan.

Gebruik van glasvezelkabel voor meting aan waterkeringen vraagt een zorgvuldige wijze van aanbrengen van de glasvezelkabel. De veranderingen die gemeten worden, moeten representatief zijn voor de waterkering en mogen niet het gevolg zijn van de wijze waarop de kabels zijn aangebracht in het grondlichaam. Net als bij de traditionele insitu-technieken is ook hier de vraag aan de orde wat de invloed van de verstoring in het meetvolume is als gevolg van het plaatsen van het meetlichaam in het meetvolume.

5.4.2 GLASVEZELSENSOR VOOR PUNTMETINGEN

Voor het uitvoeren van puntmetingen aan objecten is er een glasvezeltype waar op specifieke punten van de kabel een optisch 'streepjespatroon' is aangebracht. Een van de eigenschappen van de code is dat de afstand tussen de streepjes verandert wanneer de glasvezel wordt opgerekt. Vanuit de uitleesapparatuur in de meetopstelling wordt licht via de glasvezel naar het streepjespatroon gebracht. Het streepjespatroon reflecteert unieke lichtkleuren onder invloed van vormverandering (rek). De uitleesapparatuur ontvangt de gereflecteerde lichtkleuren vanuit het meetpunt en kan de gegevens omzetten naar informatie over de rek bij het meetpunt.

5.4.3 GLASVEZELSENSOR VOOR GEDISTRIBUEERDE VORMVERANDERINGEN

Bij gedistribueerde metingen wordt gebruik gemaakt van een ander type uitleesapparatuur. De glasvezel hoeft niet speciaal voor de waarnemingen te worden aangepast. Bij het meetprincipe wordt gebruik gemaakt van de reflectie van licht aan de atomen van het glas van de glasvezel. De kleur van het gereflecteerde licht blijkt in zeer geringe mate afhankelijk te zijn

van de rek van de glasvezel. Door het licht in pulsvorm door de glasvezel te zenden en met een echotechniek de kleur van het gereflecteerde licht te meten, is het mogelijk de plaats van rek of compressie langs elk punt van de lengte van de glasvezel te meten.

5.5 GEOFYSISCHE TECHNIEKEN

5.5.1 INLEIDING

De kracht van geofysische technieken voor onderzoek aan waterkeringen is gelegen in het goed ruimtelijk kunnen afbakenen van geologische eigenschappen van de ondergrond. Onzekerheid over de ruimtelijke variatie van deze eigenschappen worden ingeperkt.

De beperking van geofysische technieken is dat de verkregen informatie minder gedetailleerd is. Het onderscheidende vermogen van de techniek is minder, waardoor kleine variaties in de samenstelling niet worden gedetecteerd. De technieken werken aanvullend op traditionele technieken. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de basisprincipes van geofysische technieken. Daarna komen aan de orde weerstandsmetingen, grondradar en metingen aan oppervlaktegolven. Een aparte categorie geofysische technieken vormen de remote sensing technieken. Technieken waarbij de waarnemingen worden gedaan vanuit de lucht bij voorbeeld per vliegtuig, helikopter of satelliet. Onderscheiden worden laser altimetrie, interferometrische synthetic aperture radar (InSAR), passieve micro radiometrie en actieve elektromagnetische metingen.

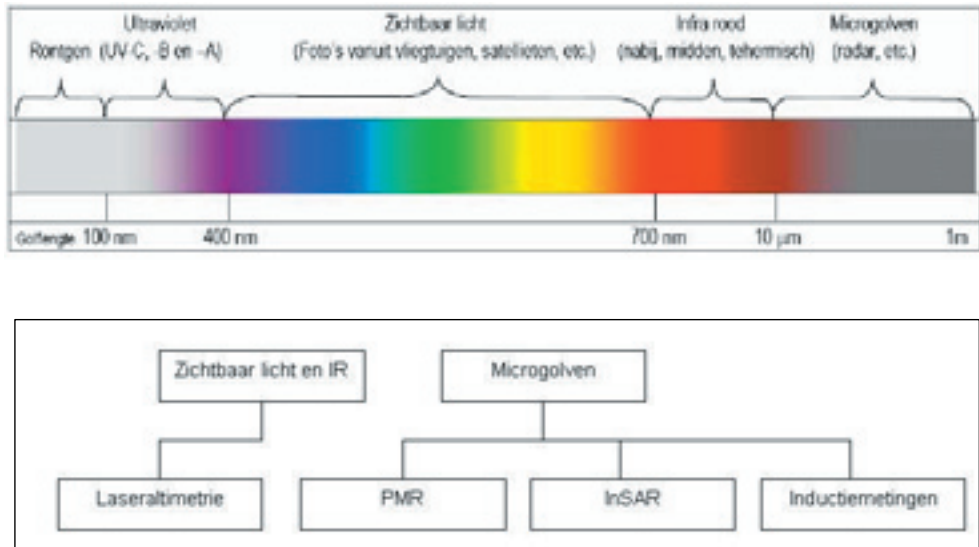
5.5.2 BASISPRINCIPES

Vanuit de fysica kunnen de beschikbare geofysische technieken in een aantal groepen verdeeld worden. Twee onderscheidende principes die direct van invloed zijn op de toepasbaarheid zijn het type veld dat gebruikt wordt en de fysische aard van de meetgrootte. De technieken die met een zogenaamd propagerend veld werken, produceren een impuls die zich als een golffront in de grond voortplant, en meten de reflecties of verstoringen van dat golffront. Deze technieken heten ook wel puls-echo-technieken; in de 'bovenwereld' is de navigatieradar op schepen en vliegtuigen een bekend voorbeeld. Bij de zogenaamde niet-propagerende velden wordt geen golffront geproduceerd en wordt een overall eigenschap van de ondergrond gemeten.

Direct met dit onderscheid samen hangt het toepassingsdomein. Bij de verkenning van de ondergrond gaat het steeds om twee aspecten: de geometrie, de ruimtelijke verdeling van elementen in de ondergrond enerzijds, en de eigenschappen (kwalitatief) of parameterwaarden (kwantitatief) die op die elementen van toepassing zijn. Puls-echotechnieken zijn naar hun aard afbeeldingstechnieken. Hoewel de golflengte veel en veel groter is, is bij deze technieken beeldvorming mogelijk die conceptueel vergelijkbaar is met een optisch lenzensysteem.

FIGUUR 5.6

GOLFLENGTES VOOR GEOFYSSISCHE TECHNIEKEN



Zij zijn in principe dan ook geschikt om de geometrie van de ondergrond in kaart te brengen. Zij reageren op veranderingen van eigenschappen, dus op grenzen, tussen grondlagen, of tussen grond en objecten. De niet-propagerende technieken echter meten een overall eigenschap van een relatief groot volume grond. Een belangrijke beperking van deze laatste technieken is de niet-uniciteit of equivalentie: (heel) verschillende situaties in de ondergrond kunnen aanleiding geven tot vrijwel ononderscheidbare responsies. Een verdere onderverdeling van de niet-propagerende technieken is die in passieve en actieve technieken: bij passieve technieken wordt een 'spontaan' aanwezige eigenschap gemeten, bij actieve technieken gaat het om de respons op een aangebrachte stimulus.

In figuur 5.6 is het spectrum van golflengtes weergegeven dat kenmerkend is voor het toepassingsdomein van geofysische technieken. Geheel links van het spectrum liggen de röntgengolven en geheel rechts de radargolven. Fotografische technieken als luchtfotografie liggen binnen de bandbreedte van het zichtbare licht. Geofysische meettechnieken zijn gebaseerd op de aanwezigheid van golven of op voor de meting opgewekte golven uit het spectrum van figuur 5.6.

Een tweede onderscheid in de verschillende technieken is de aard van het fysisch veld. In wezen zijn hier twee varianten: de metingen die wisselwerken met de mechanische eigenschappen (dus: trillingen, akoestiek, seismiek) en de metingen die met elektrische of elektromagnetische velden werken.

Een belangrijk aspect van de puls-echotechnieken is de golflengte (of equivalent daaraan: de frequentie). Voor grondradar ligt het bruikbare golflengtegebied tussen 10 cm en 10 meter (frequenties tussen 3 GHz - 30 MHz). Die bruikbare band wordt door twee randvoorwaarden ingeperkt. De detecteerbaarheid van objecten, en in het algemeen het oplossende vermogen (de mogelijkheid om details in het beeld te kunnen onderscheiden) hangt direct samen met de golflengte. Die resolutie is van de orde van een halve golflengte. Dit maakt dat er voor golflengten van meer dan ca 10 meter in de geotechniek geen emplot is.

Aan de andere, hoogfrequente, kant van het spectrum wordt de toepasbaarheid beperkt door de demping. In vele gevallen is de penetratie van de orde van één golflengte; afhankelijk van

het medium kan dit in bijzondere gevallen oplopen tot ca. 10 golflengtes. Gunstige media zijn droog zand, schoon (zoet!)water, asfalt en (ongewapend) beton. Ongunstig zijn klei en zout (grond)water.

Een overzicht van de verschillende meettechnieken is gegeven in tabel 5.2.

TABEL 5.2 OVERZICHT GEOFYSISCHE MEETTECHNIEKEN [CUR 182, GEOFYSISCHE TECHNIEKEN VOOR GRONDONDERZOEK, 1996]

Type veld eigenschappen	niet-propagerend			propagerend		
	GRAV	MAGN	GE	EM	GPR	HRS
resolutie en nauwkeurigheid	sterk afnemend met diepte			weinig afnemend met diepte		
detecteerbaarheid	grote contrasten op grote schaal			kleine en grote contrasten op kleine schaal		
uniciteit	niet aanwezig			equivalentie alleen op zeer gedetailleerde schaal		
resolutie ondiep. 0-5 m.	+	+	+	+	++	op land geen signaal
resolutie matig diep 5-20 m.	0	0	0	0	soms penetratie +	op land soms signaal +
resolutie diep. 20-50 m.	-	-	-	-	in het algemeen geen penetratie	+
bodemparameter die de respons bepaalt	dichtheid	magnetische permeabiliteit	elektrische geleiding	elektrische geleiding	permittiviteit	elastische impedantie
gemeten fysische grootheid	gravitatie	magnetisch veld	schijnbare geleiding	amplitude EM-veld	amplitude EM-veld tegen de tijd	deeltjessnelheid of druk tegen de tijd
geofysische gegevens uit eindresultaat	dichtheidsverdeling	verdeling van magnetisatie	elektrische geleidingsverdeling	elektrische geleidingsverdeling	looptijd, snelheid (diepte) en radarstratigrafische kenmerken en absorptie, permittiviteit	looptijd, snelheid (diepte) en seismo-stratigrafische kenmerken, elastische impedantie
storende effecten bij geologische interpretatie		metalen voorwerpen	kabels, leidingen laterale variaties (met name nabij elektroden)	kabels, leidingen laterale variaties (met name bij antennes)	FM radiozenders, geleidende objecten op of nabij het maaiveld	kleinschalige lokale fenomenen met impedantiecontrasten

Legenda: GRAV gravimetrie, MAGN magnetometrie, GE geo-elektrisch methode, EM elektromagnetische inductie, GRP grondradar, HRS hoge resolutie seismiek

5.5.3 WEERSTANDSMETINGEN

5.5.3.1 INLEIDING

De elektrische weerstand van de ondergrond wordt bepaald door de grondslag, in combinatie met het grondwater. Grosso modo heeft klei een lage weerstand, zand een hoge. Daarom zijn weerstandsmetingen in principe informatief over de grondslag. Zoals boven al opgemerkt hebben weerstandsmetingen last van equivalentie: meerdere oorzaken kunnen vergelijkbare gevolgen hebben. Wanneer aan het maaiveld een lagere weerstand wordt geconstateerd kan dat duiden op een dikkere kleilaag, een ondiepere kleilaag of een hogere grondwaterstand.

Voor een goede interpretatie is het dus van belang dat ook andere gegevens beschikbaar zijn zoals maaiveldhoogtes, lokaal grondonderzoek en de aanwezigheid van (onder- of bovengrondse) metalen voorwerpen.

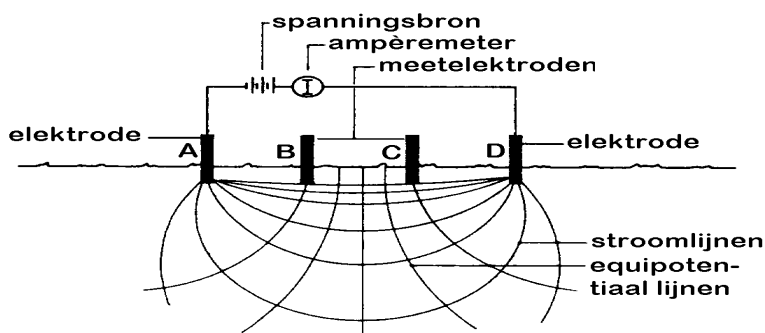
Er zijn twee wezenlijk verschillende uitvoeringsprincipes van de weerstandsmeting. De weerstand kan bepaald worden door elektrodes (stalen pennen) in de grond te prikken, daar een stroom doorheen te sturen en op twee andere elektrodes de resulterende spanningen aan het aardoppervlak te meten (geo-elektrische methode, figuur 5.7); ofwel de meting wordt contactloos uitgevoerd door met behulp van spoelen stromen in de ondergrond te induceren en het resulterende veld te meten (elektromagnetische(inductie)methode, 'EM' (figuur 5.9). In beide gevallen is de afstand tussen de stroomelektrodes, resp. de spoelen, bepalend voor het dieptebereik, en door deze afstand te variëren kan dus een (globale) indruk van het verloop van de weerstand met de diepte, en dus van de grondslag met de diepte verkregen worden. De diepte-nauwkeurigheid van de technieken is beperkt, maar daar staat tegenover dat de meting tamelijk directe informatie oplevert ten aanzien van de parameter 'grondsoort'.

5.5.3.2 GEO-ELEKTRISCHE SONDERING

Traditioneel wordt de geo-elektrische meting uitgevoerd als geo-elektrische 'sondering'. Dat wil zeggen dat rondom één punt metingen worden uitgevoerd met verschillende elektrode-afstanden, symmetrisch ten opzichte van het centrale punt. Iedere meting heeft zijn eigen dieptebereik en door de metingen te combineren verkrijgt men een globaal, verticaal profiel van de elektrische weerstand van de ondergrond. Door de toenemende beschikbaarheid van meet- en rekencomputers is het tegenwoordig gebruikelijk met multi-elektrodesystemen te werken waarbij enige tientallen elektrodes aan een kabel verbonden zijn en alle mogelijke elektrode-combinaties digitaal worden aangestuurd en achtereenvolgens gemeten. Dit geeft een lateraal tamelijk continu beeld van de ondergrond. De productie van geo-elektrische metingen is ongeveer 1km/dag.

FIGUUR 5.7

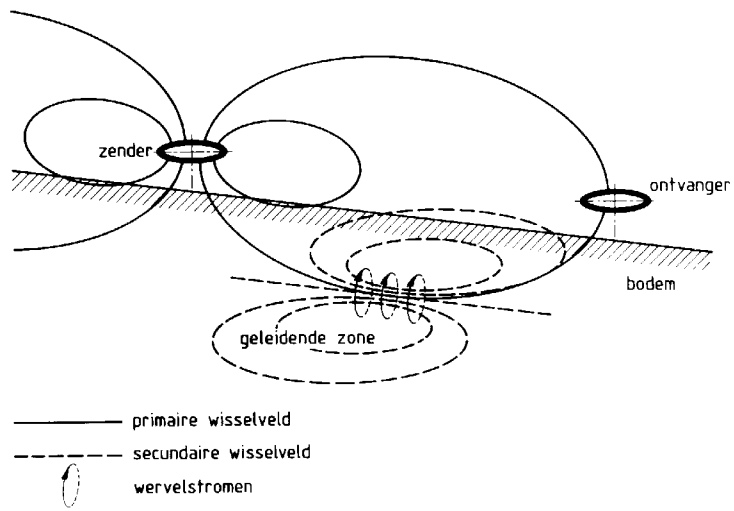
PRINCIPE GEO-ELEKTRISCHE METING



FIGUUR 5.8 UITVOERING MULTI-ELEKTRODE GEO-ELEKTRISCHE METING



FIGUUR 5.9 ELEKTROMANETISCHE (M) MTI



FIGUUR 5.10 UITVOERING EM-METING



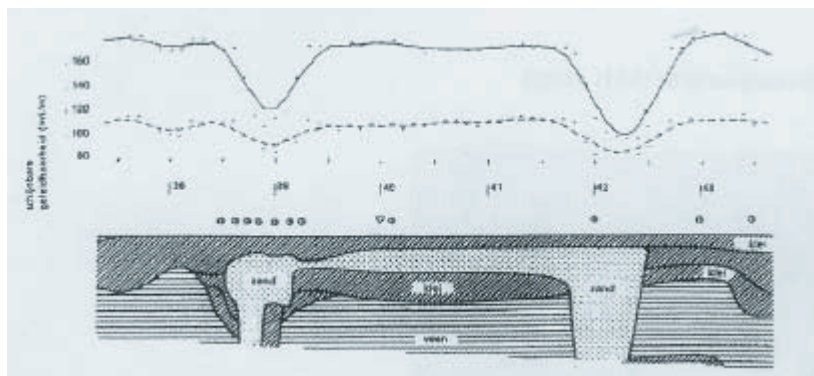
5.5.3.3 ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIEMETHODE

Bij de EM-meting wordt gewerkt met spoelen. Door de oriëntatie van de spoelen (horizontaal of verticaal) te variëren wordt een ander dieptebereik verkregen, waardoor ook enige informatie over het diepteverloop van de weerstand wordt verkregen. Voor een kwantitatief diepteprofiel is de multi-elektrode GE-meting duidelijk geschikter. De voortgang van EM-metingen is ongeveer 5 km/dag.

De toepassing van weerstandsmethoden is met name de globale, grootschalige tracéverkenning voorafgaande aan het aanleggen van een nieuwe weg of van de reconstructie van een dijk, ten behoeve van de veiligheidsbeoordeling van dijken of bij de tracéverkenning bij de aanleg van pijpleidingen, zoals bij voorbeeld de grote watertransportleiding van Bergambacht naar het duingebied bij Wassenaar: de dikte van de holocene klei- en veenlagen, alsmede het lokaliseren van met zand gevulde geulen in datzelfde slappe-lagenpakket van klei en veen. Bij de dijkenbouw, en met name het vaststellen van de kwaliteit van bestaande dijken in het kader van de Wet op de Waterkering, is de laatste jaren met deze technieken vele kilometers ondergrond systematisch in kaart gebracht. Voor de wegenbouw zijn er daarnaast nog toepassingen als het bepalen van de diepteligging van de onderzijde van een zandcunet, evenals het bepalen van de ligging van de rand van het cunet.

Een resultaat van een gecombineerde weerstands/traditionele meting is weergegeven in figuur 5.11. Zonder laterale informatie van de weerstandsmeting had de zandgeul gemakkelijk over het hoofd gezien kunnen zijn; voor de exacte plaatsbepaling van de rand en de vorm van de geul zijn puntmetingen weer onontbeerlijk.

FIGUUR 5.11 GEULDETECTIE MET EM EN SONDERINGEN



5.5.4 GRONDRADAR

5.5.4.1 INLEIDING

De tweede techniek die bruikbaar is voor de geotechniek, is die van de puls-echotechniek grondradar. Hierboven werd reeds gememoreerd dat met behulp van propagerende golven een afbeelding van de ondergrond mogelijk is die conceptueel sterk gelijkt op de beeldvorming zoals die met lenzen in de optica plaatsvindt.

De herkenbaarheid van de echo's is afhankelijk van een aantal factoren, in de eerste plaats van de amplitude van het signaal. De puls wordt tijdens de propagatie door de ondergrond door drie effecten verzwakt. De belangrijkste is de (exponentiële!) demping ten gevolge van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond; zand is een veel betere elektrische isolator dan klei en daarom een veel prettiger medium. De tweede is de verstrooiing aan allerlei

heterogeniteiten (ruimtelijke variaties in watergehalte, boomwortels, bakstenen). De laatste is de geometrische verzwakking (met $1/r^2$). Omdat de elektrische geleidbaarheid sterk afhangt van het watergehalte in de grond, is het watergehalte medebepalend voor de penetratie. Ook dit draagt mogelijk bij aan het misverstand dat grondradar niet in water zou penetreren.

Belangrijk voor de herkenbaarheid van grondradarsignalen is ook dat de als tweede dempingsmechanisme genoemde verstrooiing aan heterogeniteiten niet alleen de doorgaande puls verzwakt, maar natuurlijk ook een grote hoeveelheid echo's genereert, de zogenaamde 'clutter'.

Afhankelijk van de omstandigheden blijkt de signaal/ruis (of eigenlijk dus de signaal/clutter) verhouding bepalend zijn voor de herkenbaarheid van het beeld.

5.5.4.2 TECHNIEK

Bij grondradar wordt op of vlak boven het aardoppervlak met behulp van een antenne een min of meer pulsvormige golf opgewekt. De golf plant zich voort door de ondergrond, weerkaatst tegen grondlagen en obstakels, en geeft reflectie-echo's die weer aan het aardoppervlak worden geregistreerd. De beeldvormende golf is elektromagnetisch van aard; het type golf is hetzelfde als een radiogolf in het FM-bereik. Het zenden en ontvangen van een grondradarsignaal geschiedt contactloos. Dit is in tegenstelling tot de seismiek, waar bron en ontvanger stevig fysiek contact met de grond moeten maken. Grondradar werkt met antennes op of vlak boven het maaiveld. Dit is een groot operationeel voordeel. In de regel wordt de antennes langs een lijn over het maaiveld getrokken. Puntvormige reflectoren geven aanleiding tot de bekende hyperboolfiguren in radarechogrammen doordat het object eerst 'dichterbij' komt en dan weer uit zicht verdwijnt. Het is goed te bedenken dat de hele hyperbool afkomstig is van één gelokaliseerd object en dat uitgestrekte objecten dus evenzeer een heel vervormde afbeelding kunnen geven. Bovendien moet men steeds bedenken dat bij een grondradarsysteem met slechts een kanaal, de echo recht van onderen kan komen, maar ook scheef van de zijkant. Een uitgebreidere uitleg is te vinden in de CROW-monografie Toepassing radartechniek in de wegenbouw (CROW, 2000).

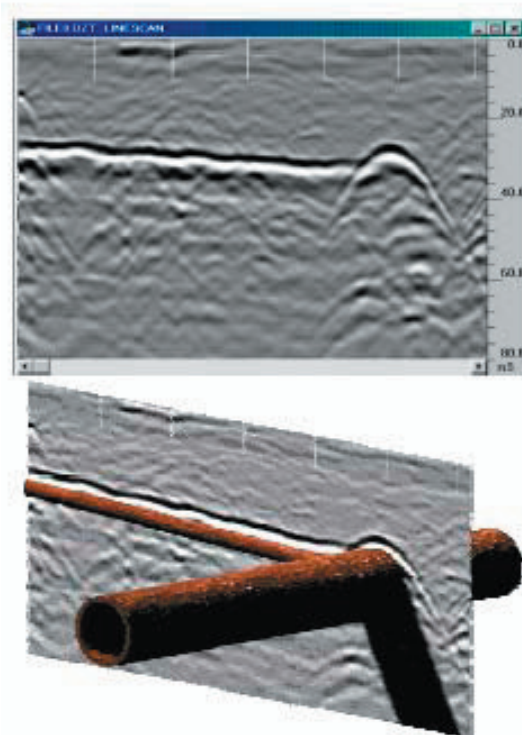
5.5.4.3 TOEPASSING

Objecten die zich in principe goed lenen voor detectie met grondradar zijn metalen voorwerpen (blindgangers, leidingen, vaten) maar daarnaast ook niet-metallische leidingen (kunststof, beton, zowel gasgevuld als watergevuld), (oud) metselwerk, puin, grondlagen en heterogeniteit en de grondwaterspiegel. Het is een hardnekkig misverstand dat grondradar niet in of door het grondwater zou kunnen penetreren. Meten vanuit een waterdichte casing onder water is effectief gebleken om de funderingsconstructie van een sluis te onderzoeken.

Wel is de grondwaterspiegel zelf een sterke reflector die de doorgaande puls sterk verzwakt; deze genereert derhalve ook kleinere echo's, die bovendien ook weer door dat sterke reflectievlak heen moeten om het maaiveld te bereiken.

FIGUUR 5.12

SIGNALERING LEIDING VIA GRONDRADARMETINGEN



De kwantitatieve meting van grondradar behelst de tijdspanne die verstrijkt tussen het uitzenden van de puls en het ontvangen van de echo.

Lucht is een relatief homogeen medium met een bekende voortplantingssnelheid, waardoor de echotijd direct om te rekenen valt in afstand. Grond is niet homogeen en vertoont nogal variaties in voortplantingssnelheid.

De indringing in diverse typen ondergrond kan als volgt worden samengevat:

droge grond	: zeer goed
vochtige grond	: goed
nat zand	: redelijk – goed (in zoet milieu)
natte klei	: matig – slecht
zout/brak water	: zeer slecht
zoet water	: redelijk – goed
ijs	: zeer goed
bevroren grond	: goed

Door de beperkingen van grondradar zijn de toepassingen heel specifiek: asfaltdiktemetingen, obstakeldetectie en de bepaling van de grondwaterspiegel zijn duidelijke voorbeelden. Omdat de grondradar in veen en klei een slechte indringing heeft, is het toepassen van deze methode in deze grondslag veelal niet zinvol.

Door de grote golflengte (zelfs bij 1 GHz nog 30 cm) bij grondradar ligt een bundelvormende antenne voor grondradar aan de grens van de mogelijkheden, omdat dit snel aanleiding geeft tot onhandelbaar grote systemen. De laatste 10 jaar is overal ter wereld (onder andere ook in het kader van het eerste CaB-programma (1996-1999)) onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om met een meerkanaals grondradarsysteem tot een 3D-afbeelding van de ondergrond te komen. Recent heeft Schlumberger de StreetLOG geïntroduceerd, gebaseerd op het

Zweedse grondradarsysteem met meerdere kanalen dat rond 1998 is ontwikkeld door Mala. Men claimt dat hiermee in één run de complete infrastructuur onder een weg in de binnenstad in kaart kan worden gebracht.

Laagfrequent grondradar (<100 MHz) wordt toegepast voor het verkennen van een cunet of zandlichaam van een weg voorafgaande aan de doorpersing van een waterleiding, duiker of fietstunnels.

5.5.5 SEISMIEK

5.5.5.1 INLEIDING

Oppervlaktegolven kunnen worden gebruikt om de ondiepe bodem te bemeten. Met deze geofysische techniek wordt vanaf maaiveld gemeten en het resultaat is de bodemgelaagdheid tot ongeveer 30 m. diepte. De techniek kan worden gebruikt voor het lateraal verkennen van grondlagen in en onder dijken: een aantal faalmechanismen van dijken wordt veroorzaakt door de afwijkingen in grondlagen in of onder de dijken. De methode is reeds gebruikt voor het in kaart brengen van trillingsgevoeligheid van de Nederlandse bodem en voor het bepalen van de dikte van vuilstorten.

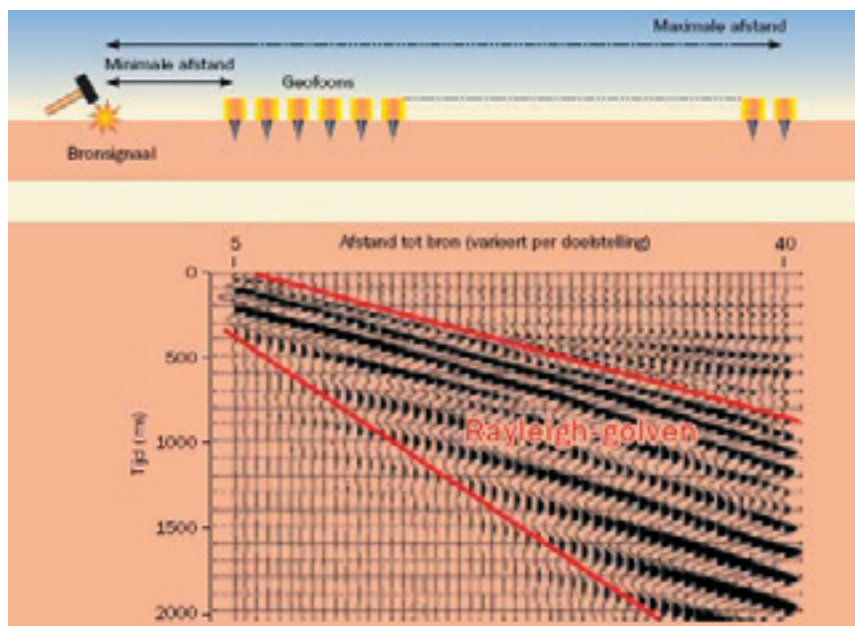
5.5.5.2 TECHNIEK

Er wordt gebruik gemaakt van oppervlaktegolven. Dit zijn trillingen die zich vanaf een bronsignaal langs het oppervlak voortplanten. In de meeste gevallen wordt dit bronsignaal verkregen door middel van een klap met een voorhamer op een stalen plaat. De oppervlaktegolven worden ontvangen met een aantal seismische ontvangers aan het oppervlak.

Oppervlaktegolven planten zich alleen voort aan een vrij oppervlak, zoals de overgang van bodem naar lucht. Ze bestaan voor het grootste deel uit 'Rayleigh' golven. Een visualisatie van de Rayleigh-golfbeweging is te zien in figuur 5.13. Met één hamerslag worden oppervlaktegolven in vele golflengtes opgewekt.

FIGUUR 5.13

ALS EEN OPPERVLAKTEGOLF WORDT GEGENEREERD, ZAL EEN DEELTJE MEESTAL IN EEN ELLIPSVORM EN TEGEN DE KLOK IN BEWEGEN ALS DE GOLF VAN LINKS NAAR RECHTS PASSEERT. DEZE GOLFBEWEGING WORDT BEÏNVLOED DOOR DE LAGEN WAAR DE GOLF DOORHEEN REIST: DE SNELHEID VAN KLEINE GOLFLENGTES ZAL ALLEEN DOOR ONDIEPE LAGEN WORDEN BEÏNVLOED, TERWIJL DE SNELHEID VAN GROTERE GOLFLENGTES AFHANKELIJK IS VAN DE MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VAN ZOWEL DIEPE ALS ONDIEPE LAGEN



De snelheid van elke golflengte is afhankelijk van de mechanische eigenschappen van de lagen waarin deze golf zich verplaatst. Elke golflengte heeft dus een snelheid die afhankelijk is van de lagen waar de golf doorheen reist. De variatie van snelheid met golflengte heet dispersie. De meetmethode is gebaseerd op het vinden en uitwerken van dispersierelaties. Deze methodiek bestaat al enige jaren in de SASW (CUR 182) en MASW techniek (Park et al., 1999), maar is door TNO aangepast voor de speciale condities van de Nederlandse ondergrond, welke vaak extreme verschillen kent in verticale gelaagdheid. Voorbeelden hiervan zijn slappe veenlagen tussen zandlagen en gecompacteerd zand tussen kleilagen.

Het resultaat van een meting is een gelaagdheid met bijbehorende schuifgolfsnelheid. Schuifgolfsnelheid is een mechanische parameter en heeft een directe relatie met belangrijke parameters in de geotechniek, de stijfheidsmodulus G en Young's modulus E .

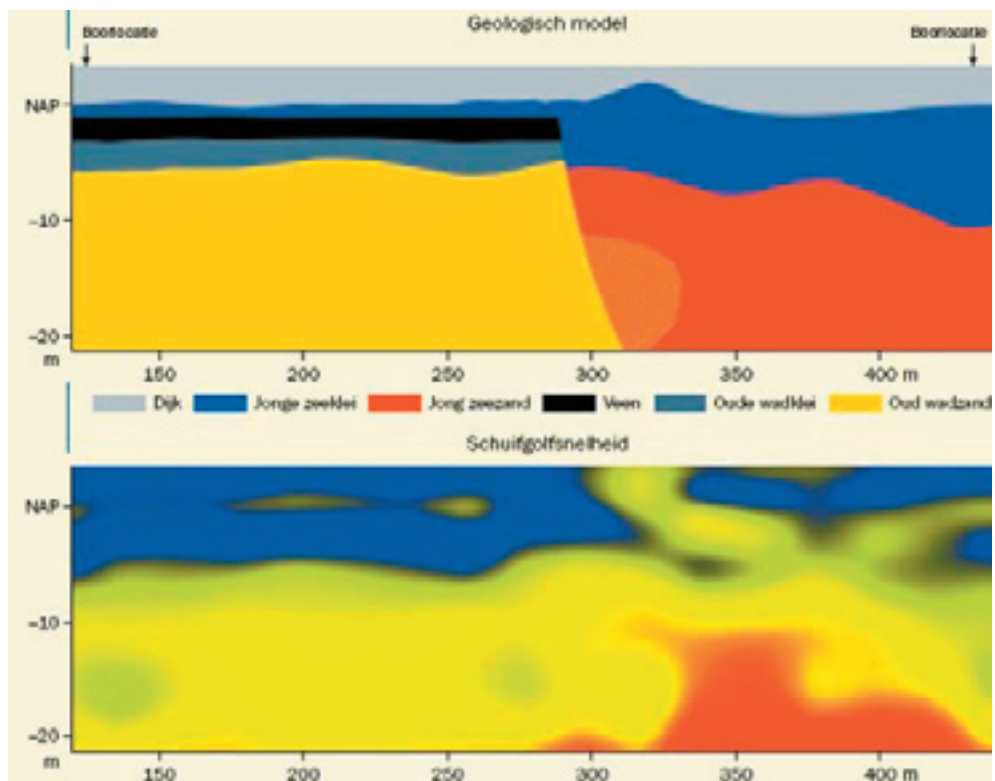
Als een meting is uitgevoerd, wordt de data van een rij ontvangers ingelezen in het tijd-domein. Na het inlezen wordt de data getransformeerd naar een ander domein, dat de assen golflengte en snelheid heeft. In dit domein kan voor elke golflengte een snelheid worden bepaald en hiermee is de dispersierelatie bekend. Deze dispersierelatie wordt in een iteratieve berekening gestopt, welke een correct 1D lagenmodel met bijbehorende schuifgolfsnelheid berekent. De diepte van dit lagenmodel is grotendeels afhankelijk van de bodemopbouw, maar is gemiddeld ongeveer 30 m. Opnames in het veld waarbij de rij ontvangers en het bronsignaal continu worden verplaatst, resulteren in een 2D profiel van schuifgolfsnelheden. De techniek is ontleend aan de eigenschappen van extern opgewekte trillingen (seismiek) die zich door een medium voortplanten.

5.5.5.3 TOEPASSING

Onder dijken kunnen zich de zandige opvullingen van oude geulen bevinden. Door hun afwijkende eigenschappen ten opzichte van omliggend sediment zorgen deze voor een verhoogde waterstroming. In extreme gevallen kan dit leiden tot het wegspoelen van zand, het zogenaamde 'piping'-effect, met als gevolg instabiliteit van de dijk. Afwijkingen in de grondlagen onder de waterkeringen kunnen met deze techniek worden opgespoord.

FIGUUR 5.14

2-D WEERGAVE VAN EEN PROFIEL OVER EEN DIJK. BOVEN: EEN GEOLOGISCH MODEL OPGEBOUWD UIT DE INFORMATIE UIT TWEE BORINGEN EN DE GEMETEN SCHUIFGOLFSNELHEDEN UIT DE METING. ONDER: DE METING ZELF. IN DIT ONDERSTE PROFIEL DUIDT BLAUW OP 'LANGZAME', SLAPPE, SEDIMENTEN, IN DE MEESTE GEVALLEN VEEN EN SLAPPE KLEI. GEEL EN ROOD GEVEN IN DIT FIGUUR DE ZANDEN AAN. HET JONGE, ZUIVERE ZEEZAND IS TE HERKENNEN AAN EEN HOGERE SNELHEID DAN HET OUDE WADZAND, DAT VEEL SILT EN KLEI BEVAT



De meetgegevens geven een directe relatie met geomechanische eigenschappen van de grondlagen vanaf maaiveld tot een diepte van ongeveer 30 m. Het gemeten signaal is continu (in een profiel) en geeft informatie over het verticale en laterale verloop van stijfheidseigenschappen van grondlagen. Met behulp van de meetresultaten is het mogelijk (geologische) structuren op te sporen die aanwezig zijn tussen boringen en/of sonderingen.

De resolutie van de meetresultaten van ConsoliTest is afhankelijk van lokale grondomstandigheden, acquisitieparameters en geofysische processing technieken. De beschikbaarheid van boringen en/of sonderingen in het ConsoliTest profiel verhoogt de betrouwbaarheid van de geologische en geomechanische interpretatie van een grondlagenmodel significant.

5.5.6 LASER ALTIMETRIE

5.5.6.1 INLEIDING

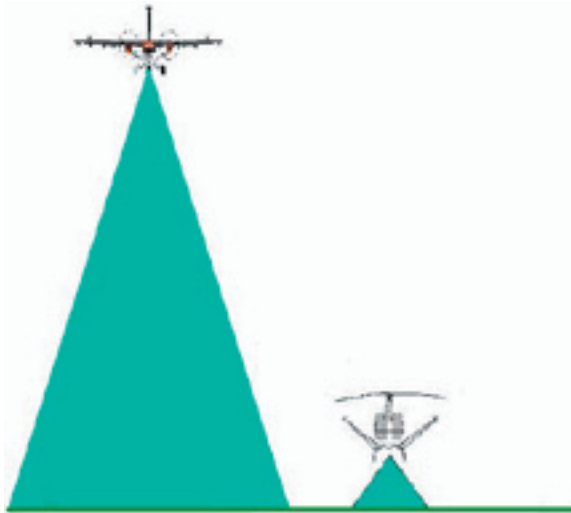
De volgende 3 paragrafen zijn ontleend aan de bijdrage van P. Franken van Fugro-Impark B.V. in de PAO-cursus “Monitoring- en Inspectietechnieken en -methodes voor kades en dijken” [10].

Laseraltimetrie is een actieve remote sensing techniek waarbij laserstralen naar het aardoppervlak worden gezonden en de looptijd wordt gemeten tussen het moment van zenden en ontvangst. Deze looptijd is een maat voor afstand tussen de zender en het aardoppervlak. Verder wordt meestal ook de intensiteit van het terugkerende signaal gemeten teneinde een uitspraak te kunnen doen over het soort materiaal van het oppervlak. De laserstraal die wordt

gebruikt opereert in het nabije infrarood gebied welk onzichtbaar is voor het menselijke oog. De laserstraal die het oppervlak bereikt is volledig veilig voor iemand die omhoog kijkt naar het meetplatform (zelfs met een verrekijker).

FIGUUR 5.15

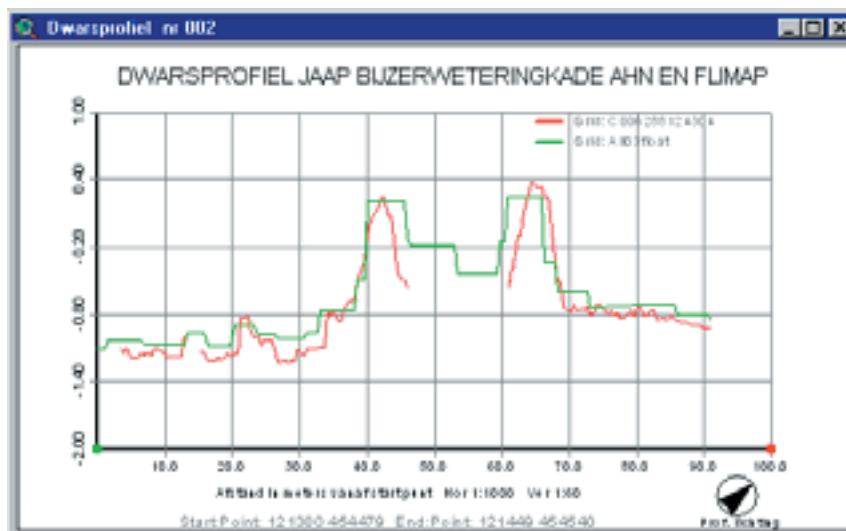
MEETBEREIK VLIEGTUIG EN HELIKOPTER



Laseraltimetrie is een van de meest gebruikte remote sensing technieken voor de inspecties van keringen in Nederland. Op dit moment zijn er in Nederland ruim 7000 kilometer keringen ingemeten met laseraltimetrie. De techniek wordt ingezet vanuit een vliegtuig of een helikopter. Het laatste middel wordt gebruikt bij de inspectie van dijken vanwege de benodigde resolutie en nauwkeurigheid.

FIGUUR 5.16

VERGELIJKING HOOGTE-RESULTATEN ALGEMENE HOOGTEBESTAND NEDERLAND (GROEN) EN FLIMAP



De behaalde nauwkeurigheden variëren in z richting tussen enkele centimeters tot ongeveer 15 cm. Laseraltimetrie stelt de gebruiker in staat om een zeer duidelijk beeld van de topografie te verkrijgen en met name voor keringen een volledig beeld omtrent de geometrie vanwege de dichtheid van de gegevens. Ook in gebieden met vegetatie is men tegenwoordig in staat om een duidelijk beeld van het oppervlak en alle belangrijke objecten in te meten zoals de locatie en hoogte van gebouwen, soort bekleding op de dijk enz.

5.5.6.2 TECHNIEK

Bij laseraltimetrie wordt gebruik gemaakt van een laser lichtstraal met een golflengte van ongeveer 1000 nm. Voor het uitzenden van deze laserstralen wordt gebruik gemaakt van een bron die met een vaste regelmaat laserpulsen uitzendt. Dit is afhankelijk van het type scanner en ligt ergens tussen de 1000 en 150.000 punten per seconde. De laserpulsen worden naar het aardoppervlak gereflecteerd door middel van een roterende spiegel. Een ronddraaiende beweging van de spiegel wordt een scan genoemd. In iedere scan zitten een aantal beams en dit is afhankelijk van de snelheid waarmee de spiegel draait en de zendfrequentie van de scanner. Het resultaat is dat er haaks op de vliegrichting hoogtepunten gemeten worden met een intensiteit variërend tussen de 1 en 200 punten per vierkante meter.

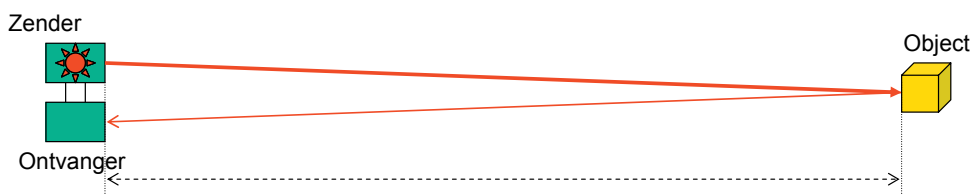
Om precies te weten waar de laserstraal het oppervlak bereikt is het nodig dat drie zaken goed bekend zijn:

1. Looptijd tussen moment van zenden en ontvangst.
2. Oriëntatie en stand van het platform.
3. Locatie van het platform.

De looptijd wordt gemeten met een interne klok. Deze moet zeer precies zijn gegeven het feit dat de laserstraal in 1 nanoseconde 15 centimeter aflegt.

FIGUUR 5.17

LOOPTIJDMETING BIJ LASERALTIMETRIE



$$\text{afstand} = (\text{lichtsnelheid} * \text{looptijd}) / 2$$

- lichtsnelheid ~ 300,000 km/s
- 1 milliseconde ~ 150 km
- 1 nanoseconde ~ 15 cm

De oriëntatie van het platform is eveneens belangrijk omdat bij ieder verandering in de stand van het platform de laserstralen het oppervlak op een andere locatie bereiken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van inertiële navigatie systemen. Deze meten aan de hand van versnellingen (2 x integreren wordt afstand) de hellingshoeken van het systeem. Deze wordt uitgedrukt in de roll, pitch en heading. Moderne inertiële systemen doen deze metingen enkele honderden keren per seconde.

Tenslotte moet de positie van het platform worden vastgesteld in de ruimte. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van Kinematische GPS, dit is een techniek waarbij een aantal vaste stations op bekende plekken worden neergezet en de gemeten positie vergelijkt met de bekende positie. Verder wordt het aantal golflengtes berekend om deze positie verder te verfijnen. Uiteindelijk is het mogelijk om de positie in de ruimte vast te stellen op enkele centimeters nauwkeurig.

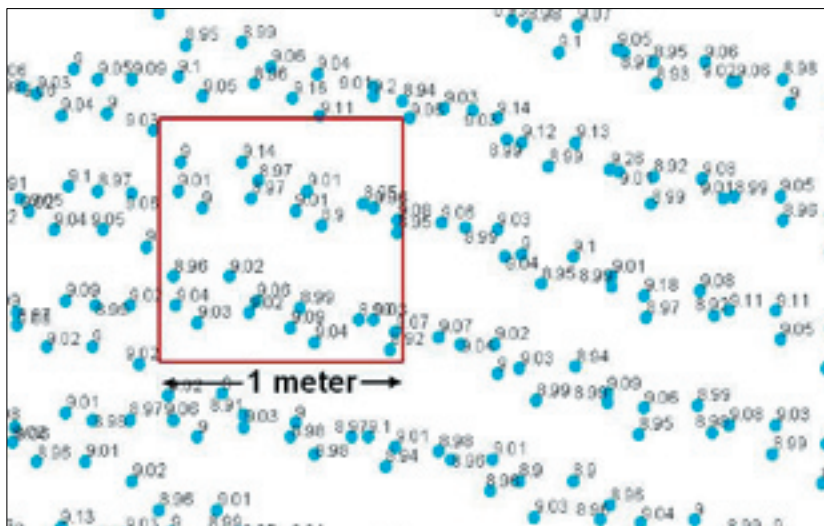
Als een laserstraal een object raakt wordt een deel van de energie weerkaatst en een deel van de energie reist door. In de begintijd van laseraltimetrie werd bijna altijd alleen de eerste terugkerende puls van de laserstraal gemeten. In bosrijke gebieden is dit de bovenkant van de vegetatie. Tegenwoordig is het mogelijk een aantal reflecties te meten waarbij naast de bovenkant van de vegetatie ook nog het maaiveld wordt bepaald.

FIGUUR 5.18 MEERDERE RETURNS PER PULS VOOR LASERALTIMETRIE (BRON FLI-MAP)



Nauwkeurigheden bij laseraltimetrie worden in de regel uitgedrukt met een standaardafwijking van 1 sigma. Als een hard en vlak oppervlak zoals een weg wordt ingemeten is het resultaat een puntenwolk met een bandbreedte. Iedere lasermeting zal een andere waarde opleveren. De spreiding waartussen 67 % van de metingen valt is de standaarddeviatie.

FIGUUR 5.19 SPREIDING MEETPUNTEN



Een andere maat die algemeen wordt gebruikt is het gemiddelde verschil tussen een controlepunt en een aantal omgrenzende laserwaarnemingen.

In het algemeen wordt naast de lasersensor een of meerdere foto en of videocamera's gebruikt om het gebied te visualiseren. Deze beelden worden gebruikt voor de interpretatie van de laserdata en na afloop van de verwerking geleverd aan de klant als extra eindproduct.

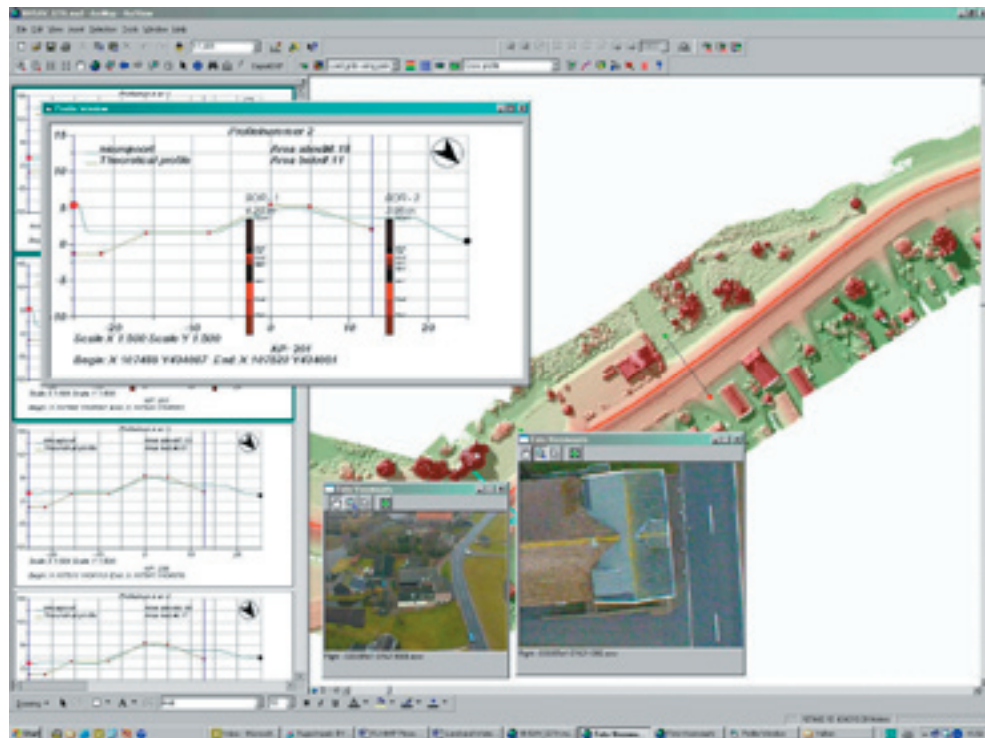
5.5.6.3 TOEPASSING

De voornaamste toepassing is het maken van digitale terreinmodellen aan de hand waarvan de geometrie van de dijk vergeleken kan worden met de vereiste hoogten, breedte en taludsteilheden. Een digitaal terrein model wordt gegenereerd door het ingemeten terrein te verdelen in kleine vierkantjes met een afmeting variërend tussen de 25 cm en enkele meters. Per vierkantje (gridcel) wordt de gemiddelde hoogte berekend en als representatief genomen voor het oppervlak van dit vierkantje. Dit is nodig omdat de data van keringen veelal wordt verwerkt in een GIS en het hier niet mogelijk is om vele miljoenen punten af te beelden. Bij de nieuwe generatie scanners zoals FLI-MAP 400 worden ongeveer 8 miljoen punten per strekkende kilometer dijk opgenomen.

Voor dat het terrein model kan worden gemaakt moeten eerst alle punten die niet in het terreinmodel thuishoren te verwijderen. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan vogels. Als het doel is om een model op te leveren van het maaiveld betekent dit dat alle punten die niet tot het maaiveld behoren uit de ingewonnen data moeten worden verwijderd. Om dit te doen wordt de laserdata automatisch geïnterpreteerd. Dit betekent dat aan iedere lasermeting een attribuut wordt toegevoegd om aan te geven of het punt op het maaiveld ligt of niet. Vervolgens worden alleen de als maaiveld geïnterpreteerde punten gebruikt voor het aanmaken van het digitale terrein model.

Het terreinmodel stelt de gebruiker in staat om op ieder mogelijk punt op de dijk een dwarsprofiel te genereren en deze te vergelijken met het geldende theoretisch profiel.

FIGUUR 5.20 GEBRUIK LASERLIMETRIEDATA IN EEN GIS



In een GIS is het verder mogelijk deze analyse te combineren met de opgenomen foto en videobeelden, grondonderzoek indien aanwezig etc.

5.5.7 INTERFEROMETRISCHE SAR

5.5.7.1 INLEIDING

Net als bij laseraltimetrie berust het principe van interferometrische synthetische apertuur radar (InSAR) op het uitzenden van een signaal naar het aardoppervlak waarbij de looptijd van het terugkerende signaal wordt gemeten om een uitspraak te doen over de afstand tussen de ontvanger en het oppervlak. Het voordeel van het gebruik van InSAR boven laseraltimetrie is het feit dat de metingen kunnen worden verricht met slecht weer zoals mist of bewolking. Een nadeel is echter dat dit een langere golflengte vereist en op deze manier ook inboet aan resolutie.

Een hoogtemodel dat gemaakt wordt met SAR heeft ongeveer een verticale resolutie van een decimeter en een horizontale resolutie van ongeveer een halve meter. Het verschil tussen SAR en InSAR is niet zozeer de techniek die wordt gebruikt maar een manier om de data te verwerken. Door fase verschillen te vergelijken (interferogram) van beelden die uit een net iets ander positie zijn genomen is het mogelijk een Z resolutie te bereiken die gelijk is aan de halve golflengte van het gebruikte signaal en ligt tussen enkele millimeters tot enkele centimeters. Dit is met name interessant voor het monitoren van verschillen en hier ligt dan ook de voornaamste toepassing voor dijken in Nederland.

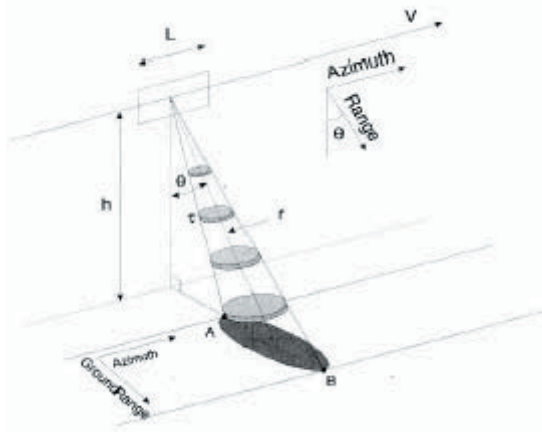
5.5.7.2 TECHNIEK

De naam Synthetic Aperture Radar (SAR) komt van de woorden synthese en Radar. Het systeem bestaat uit een zender, een antenne en een ontvanger. Meestal wordt de antenne afwisselend door de zender en de ontvanger gebruikt. Het systeem wordt gemonteerd op een vliegtuig of satelliet welk op een constante hoogte met constante snelheid vliegt. De zender zendt een signaal uit van microgolven in de richting loodrecht aan de vliegrichting. Het signaal wordt aan het aardoppervlak verstrooid en een deel daarvan wordt naar de antenne terug gereflecteerd. De ontvanger meet vervolgens de intensiteit van het terugkerende signaal, de looptijd en de fase van de echo. De gebruikte golflengtes (cm's tot 1 meter) zijn langer dan die zoals in gebruik bij laseraltimetrie. Bij terugkomst in de ontvanger zijn twee zaken van belang bij het analyseren van het signaal. Aan de ene kant is dit de hoeveelheid (sterkte of amplitude) energie die terug wordt ontvangen en verder de looptijd die is verstreken tussen het tijdstip van zenden en het tijdstip van ontvangst. De sterkte van het terugkerende signaal is afhankelijk van het type materiaal waarop de stralen zijn gereflecteerd, de helling van het oppervlak en de vochtigheidsgraad van het materiaal. Het terugkerende beeld heeft veel weg van een foto, maar ziet er bij nadere inspectie net iets anders uit.

Vanuit een satelliet kan in een keer een strook van 100 kilometer worden ingemeten en vanuit een vliegtuig ligt dit rond een paar honderd meter. Door het bewegen van het vliegtuig schuift het door de radar belichte gebied langs het aardoppervlak. Het resultaat is een tweedimensionaal beeld van het oppervlak. De resolutie van zo'n beeld wordt bepaald in de richting loodrecht aan de vliegrichting door de pulslengte en is in de orde van grootte van enkele meters. In de vliegrichting wordt de resolutie onder andere bepaald door de grootte van de antenne, en is in het beste geval, in de orde van enkele tientallen meters. Voor een tweetal redenen is dit niet praktisch, aan de ene kant is het niet mogelijk een antenne van ruim een kilometer op een vliegtuig te monteren en verder levert dit beelden op met een te kleine resolutie. Dit probleem kan worden opgelost door een bijzondere signaal-verwerkingstechniek toe te passen. Door gebruik te maken van de doppler verschuiving van de radarsignalen kunnen meerdere signalen met elkaar worden gecombineerd. Deze synthese (vandaar de naam Synthetic Aperture Radar) geeft een resolutie in het ingewonnen beeld van enkele meters.

FIGUUR 5.21

VOETPRINT SAR INMETING

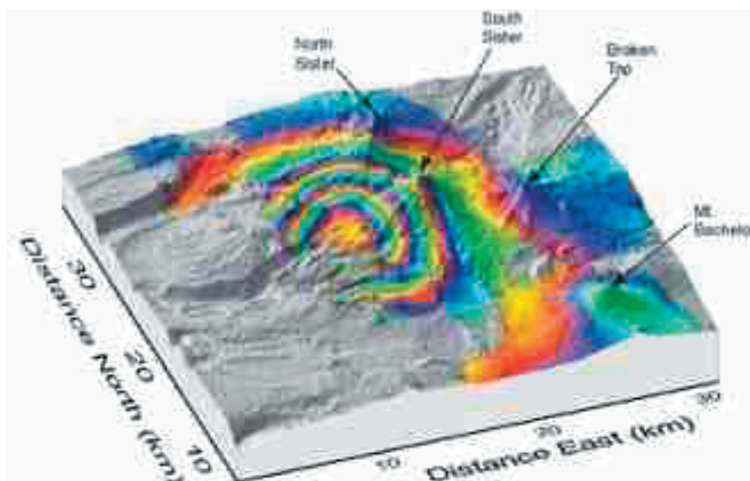


De looptijd die kan worden gemeten kan ook uitgedrukt worden in het aantal golflengtes welk aanwezig is tussen de sensor en het aardoppervlak. Als men nu in staat is om vanuit (bijna) dezelfde positie nogmaals een meting te doen en deze metingen te vergelijken dan wordt ieder beweging van het aardoppervlak in de richting van de satelliet of ervandaan zichtbaar als gevolg van het feit dat er een fase verschil aanwezig is in de gemeten golflengtes. Het is uiteraard niet mogelijk om een vliegtuig of zelfs een satelliet op precies dezelfde plaats te laten terugkeren. Om een fase verschil van een halve golflengte te kunnen meten moet de sensor dus binnen een centimeter worden gepositioneerd. Het is echter wel mogelijk om de sensor in de buurt te krijgen van de eerder meting (satellieten enkele honderden meters en voor een vliegtuig binnen de tien meter) en naderhand hier geometrische correctie op uit te voeren.

De beste methode om deze fase verschillen te meten is door eerst de correcties uit voeren en vervolgens de beelden te vergelijken. Dit vergelijkingsproces wordt in het engels 'interfering' genoemd als gevolg van het feit dat de informatie uit twee goven die wordt gecombineerd er toe kan leiden dat ze elkaar of kunnen versterken of opheffen. Vergelijk dit met de rimpels op het wateroppervlak van twee verschillende bronnen. Meestal worden de fases die elkaar versterken als een rode pixel weergegeven, zij die elkaar opheffen als een blauwe pixel en alle andere gevallen in het spectrum tussen rood en blauw. Het resulterende beeld wordt een 'inoterferogram' genoemd. Alhoewel niet van een dijk gemaakt geeft het volgende beeld van een 'intefergram' van een vulkaan wel een duidelijk voorbeeld.

FIGUUR 5.22

INTERFEROMETRISCH BEELD VAN EEN VULKAAN



De gebruikte golflengtes zijn in de orde van enkele centimeters, maar door het berekenen van faseverschillen kan men variaties in de afstand tussen grond en de antenne meten die in de orde van centimeters en zelfs millimeters zijn.

5.5.7.3 TOEPASSING

Om kleine fouten in de meetapparatuur en de invloed van de atmosfeer te kunnen opheffen is het noodzakelijk dat er in het terrein een aantal vaste radarreflectors worden geplaatst. Via deze reflectoren kan de apparatuur worden geijkt.

FIGUUR 5.23

RADARREFLECTOREN IN HET MEETGEBIED



In de praktijk is het plaatsen van deze radarreflectoren wel een probleem. Deze moeten zeer precies worden opgesteld en ingemeten.

Voor het inmeten van een hoogtemodel met slechts een meting is deze methode minder geschikt voor dijken. In Nederland wordt algemeen een maximale hoogteafwijking gevraagd van 5 centimeter. In 2000 is een test uitgevoerd door Rijkswaterstaat in het gebied van het Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden waar InSAR data is vergeleken met laseraltimetriedata. De bereikte nauwkeurigheid van de SAR metingen bedroeg 7 centimeter als systematische fout met een 1σ standaarddeviatie van 37 cm. Voor de laseraltimetrie bedroeg de systematische fout 3 cm met een 1σ standaarddeviatie van 4 cm.

Hogere nauwkeurigheden zijn haalbaar door interferometrisch te meten maar een probleem hierbij is het feit dat een tweede meting moet worden verricht uit bijna dezelfde positie. Dit betekent dat een zeer strak vluchtpad moet worden gevolgd. In feite moet de piloot door een virtuele tunnel vliegen met een diameter van rond de 10 meter waarvan het centrum wordt gedefinieerd door het vluchtpad van de eerste meting. In Nederland is dit bijna een onmogelijke zaak als gevolg van het aanvragen van vliegvergunningen om te werken op een hoogte die gelijk is aan die van de commerciële luchtvaart. Hoewel de techniek zeer veelbelovend is, met name door de mogelijkheid om deformaties van enkele millimeters op te meten, is deze nog niet met succes toegepast voor dijken in Nederland als gevolg van deze problemen.

5.5.8 PASSIEVE MICROGOLF RADIOMETRIE (PMR)

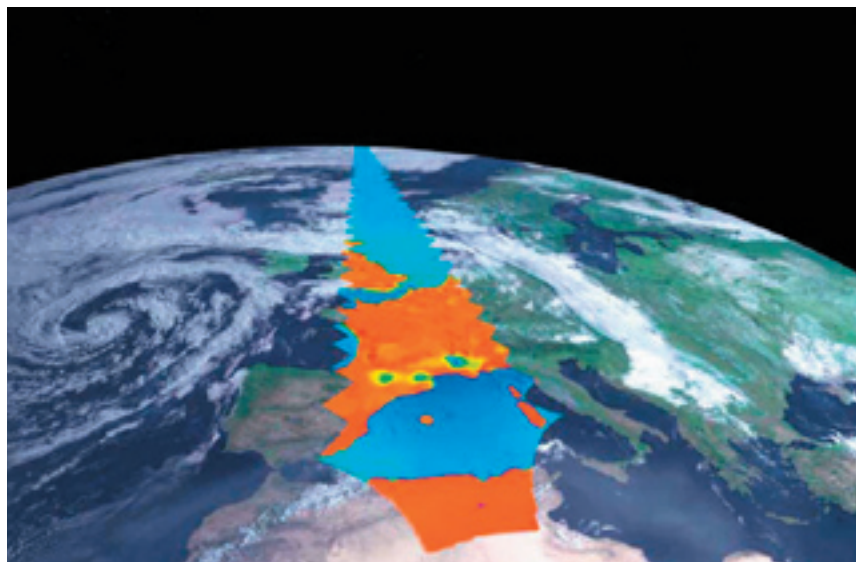
5.5.8.1 INLEIDING

PMR is gebaseerd op het meten van de door de aarde uitgezonden straling met een golflengte die varieert tussen enkele millimeters tot een decimeter. In deze bandbreedte is de door de aarde uitgezonden straling hoofdzakelijk een functie van het watergehalte van het aardoppervlak. Het is verder beïnvloed door andere parameters zoals een hoge grondwaterspiegel, biomassa (bomen en struiken), zoutgehalte en temperatuur van open water. Bij golflengtes korter dan 0,8 cm is de straling van het aardoppervlak in sterke mate beïnvloed door atmosferische omstandigheden zoals waterdamp, mist, wolken en regen. Bij golflengtes langer dan 21 cm is de afgegeven straling beïnvloed door de ionosfeer, technische communicatiemiddelen en kosmische straling.

Het wijdverspreide gebruik van microgolf frequenties voor communicatie en andere doeleinden heeft geleid tot het verlies van een breed spectrum aan straling welk tot voor kort kon worden gebruikt voor passieve remote-sensing. De Internationale Telecommunicatie Bond (ITU) heeft echter wel een aantal banden vastgelegd om te worden gebruikt voor passieve aardobservatie.

FIGUUR 5.24

PMR METING VANUIT EEN SATELLIET (GRONDRESOLUTIE 40 KM.)



5.5.8.2 TECHNIEK

De metingen met PMR worden verricht in het gebied van de microgolf straling te weten 1 tot 200 GHz (dit komt overeen met een bandbreedte van 0,15 cm tot 30 cm). Het gebruikte principe is ongeveer gelijk aan dat van het meten van thermisch infrarood. Meestal wordt gebruik gemaakt van het meten met verschillende frequenties tegelijkertijd.

Hoe langer de golflengte hoe meer dit een aanduiding is van een diepe meting in tegenstelling tot een frequentie met korte golflengte die iets zegt over het oppervlak. De afgegeven straling is een directe functie van de dielectrische constante welke sterk gerelateerd is aan de elektrische geleidbaarheid van het gemeten materiaal. Ieder type materiaal welke te vinden is aan het aardoppervlak heeft een eigen intrinsieke elektrische constante welke wordt uitgedrukt in waarden variërend tussen 1 en 4. Lucht heeft een waarde van 1, vegetatie van 3 en ijs van 3.2. Water daarentegen heeft een waarde van 80.

PMR wordt gebruikt voor de volgende toepassingen:

- Meten van de vochtigheidsgraad van de ondergrond
- Meten van watertemperatuur
- Meten van windsnelheden direct aan het aardoppervlak
- Meten van de mate van regenval boven zee
- Meten van ijs en sneeuw omvang concentratie en type

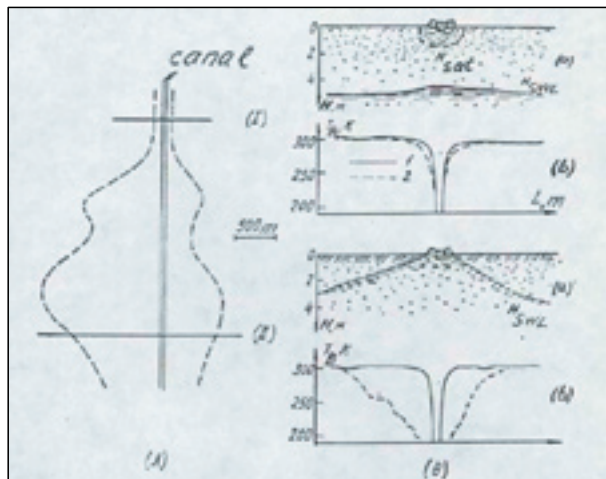
Voor de Nederlandse dijken is met name de eerste toepassing van belang. De ingewonnen gegevens worden verwerkt door de verschillende gebruikte golflengten met elkaar te combineren en ook te combineren met metingen in het veld om het toestel te ijken.

5.5.8.3 TOEPASSING

Met name het meten van de vochtigheidsgraad in de bodem is de belangrijkste toepassing van PMR voor dijken in Nederland. Hierbij kan gedacht worden aan het opsporen van gebieden met kwel of droge plekken in een dijk. Beide toepassingen geven zeer waardevolle informatie voor het berekenen van een aantal faalmechanismen en levert data welk normaal niet snel voorhanden is. Door het gebruik van verschillende frequenties kan een uitspraak worden gedaan over de vochtigheid in de bodem op verschillende dieptes.

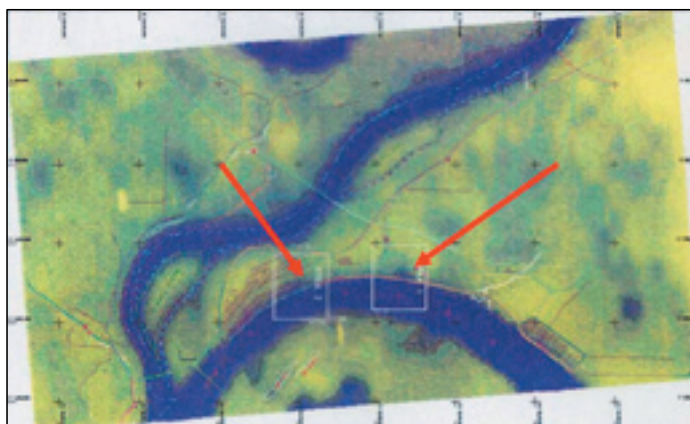
FIGUUR 5.25

PRINCIPE KWELDETECTIE D.M.V. MULTI CHANNEL RADIOMETRIE



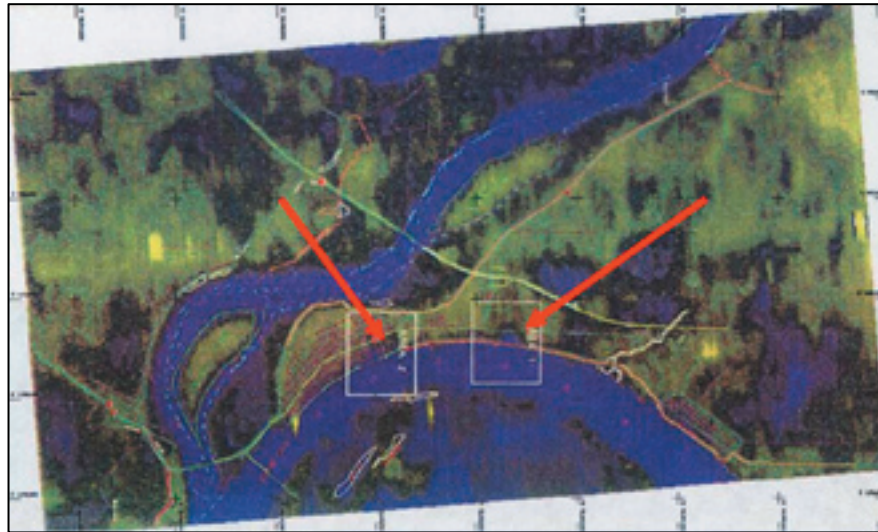
FIGUUR 5.26

BODEMVOCHTKAART AAN HET OPPERVLAK



FIGUUR 5.27

BODEMVOCHTKAART OP 1 METER DIEPTE



5.5.9 ACTIEVE ELEKTROMAGNETISCHE METINGEN

5.5.9.1 INLEIDING

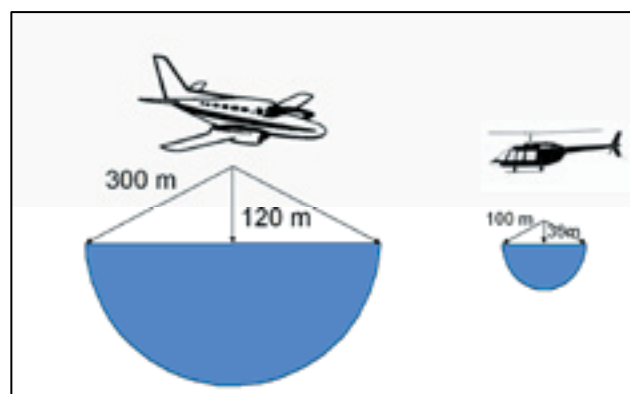
Actieve elektromagnetische metingen zijn ideaal voor die omstandigheden waarbij gegevens nodig zijn die dieper worden opgemeten dan PMR maar ondieper dan bijvoorbeeld echte seismiek.

De meetgegevens zeggen iets over de geleidbaarheid van de bodem welke wordt ingemeten en geven informatie over onder andere de bodemopbouw, objecten die in de bodem aanwezig zijn etc.

Invloeden zoals grondwaterstand en bodemvocht kunnen eveneens informatie geven over de bodemgesteldheid. Deze techniek is grofmazig en wordt veelal ingezet in gebieden waar weinig informatie bekend is en waar deze moet worden ingewonnen over grote afstanden. De opname resolutie wordt zo klein mogelijk gemaakt door de sensor zo dicht mogelijk boven de grond te gebruiken. Vaak is dit niet meer dan 30 meter boven de grond.

FIGUUR 5.28

VOETPRINT EN METINGEN VANUIT HELIKOPTER EN VLIEGTUIG



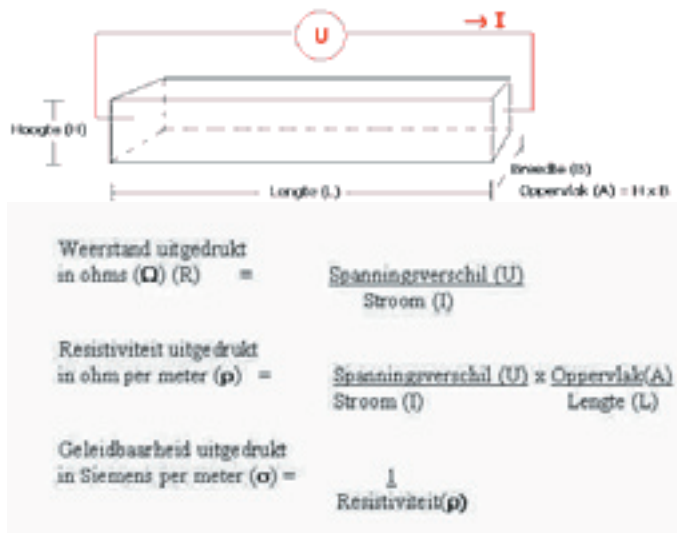
5.5.9.2 TECHNIEK

De metingen met een actief elektromagnetisch systeem zijn gebaseerd op het meten van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond.

Door gebruik te maken van verschillende frequenties kan er op verschillende dieptes worden gekeken en een geleidbaarheidsprofiel van de bodem worden opgebouwd.

De metingen zijn gebaseerd op de volgende principes welke te maken hebben met de elektrische eigenschappen van een voorwerp of ondergrond:

FIGUUR 5.29 ELEKTRISCHE EIGENSCHAPPEN ONDERGROND

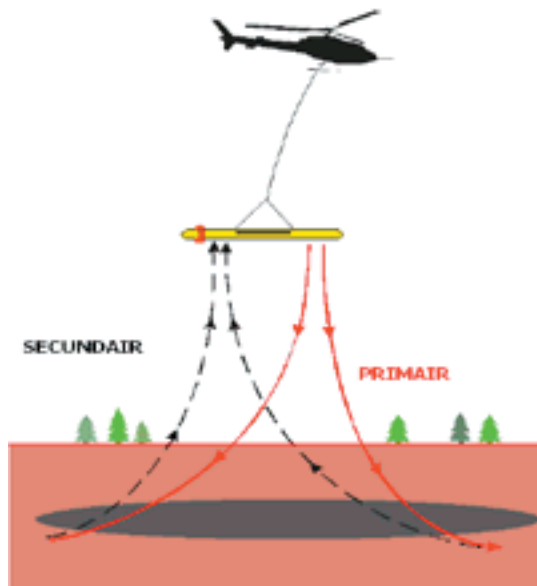


De elektrische eigenschappen van een voorwerp of de ondergrond zijn afhankelijk van een aantal zaken waaronder:

- Poreusheid
- Geleidbaarheid van het materiaal in de open ruimten bij poreus materiaal
- Geleidbaarheid van de ondergrond kan te maken hebben met aanwezigheid van metalen

Er is een sterke relatie tussen de poreusheid van de ondergrond en het materiaal waaruit dit is opgebouwd.

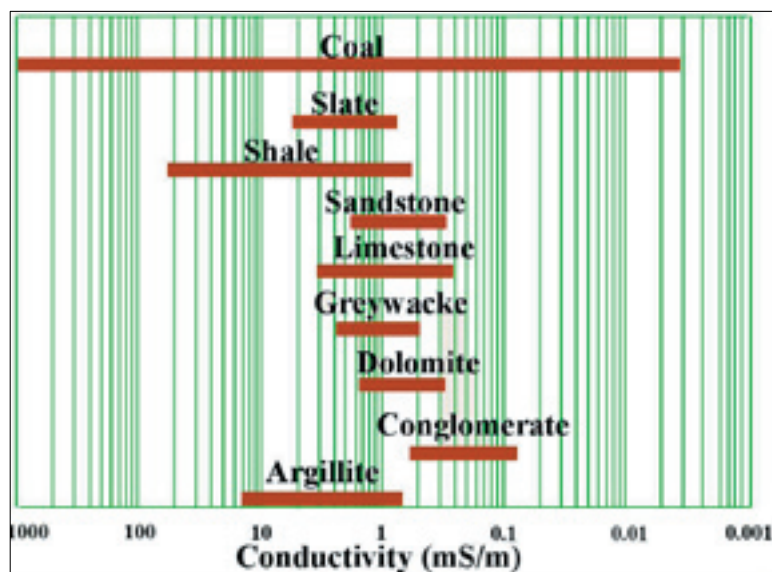
FIGUUR 5.30 MEETSENSOR VOOR INDUCTIEMETINGEN



De metingen worden uitgevoerd door gebruik te maken van een soort torpedo waarin zend en ontvangspoelen zijn gemonteerd. De zendspoelen welke zijn gepositioneerd in de voorkant van de torpedo wekken een (primaire) elektromagnetisch veld op. Als gevolg van de elektrische eigenschappen van de ondergrond wordt dit veld veranderd en dit geeft een secundair magnetisch veld af welke wordt gemeten met behulp van de ontvangspoelen die zich achterin de torpedo bevinden.

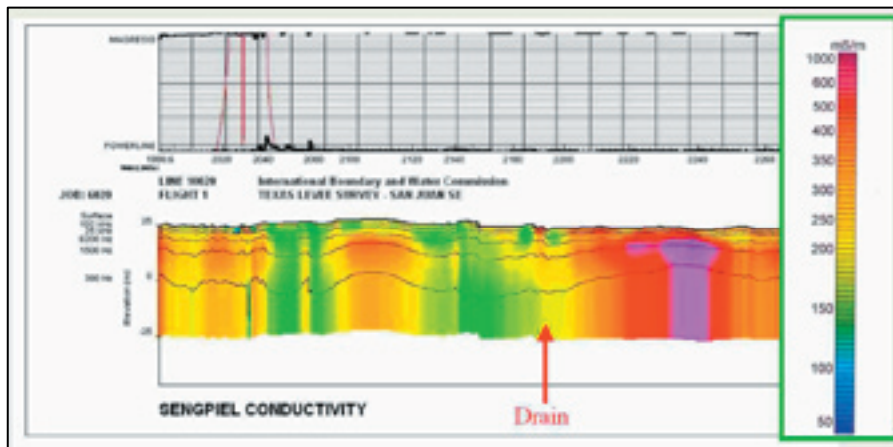
Er zijn twee soorten configuraties van de zend en ontvangspoelen mogelijk. Bij de eerste configuratie zijn de spoelen met gelijke frequentie verschillend gemonteerd voor het zenden en ontvangen. Dit is een geometrische configuratie en deze wordt gebruikt voor het lokaliseren van objecten in de ondergrond zoals bijvoorbeeld pijpleidingen. Bij de tweede configuratie zijn de spoelen met gelijke frequentie in dezelfde hoek gemonteerd. Dit is de frequentie configuratie en wordt gebruikt voor het meten van de geleidbaarheid in de ondergrond. Deze laatste configuratie wordt gebruikt bij het onderzoek naar dijken.

FIGUUR 5.31 GELEIDING IN SOORTEN ONDERGROND



Door het gebruik van verschillende frequenties, welk ieder een meting doen tot op een verschillende diepte kan zo een bodemprofiel worden opgebouwd.

FIGUUR 5.32 BODEMPROFIEL UIT INDUCTIEMETING



5.5.9.3 TOEPASSING

EM metingen zijn met veel succes toegepast in een project voor het inmeten van dijken rond de Rio Grande rivier in Texas, VS. Er zijn een aantal boringen en sonderingen uitgezet om de ingewonnen data te kunnen ijken met deze gegevens. Vervolgens kon over grote lengte een inschatting gemaakt worden van het soort ondergrond.

FIGUUR 5.33 BODEMKAART RIO GRANDE DIJKEN



In Nederland zijn veel gegevens beschikbaar van de ondergrond en lijkt het op het eerste gezicht niet zinnig om een kaart van de ondergrond te maken met zulk een grofmazige techniek. Het best haalbare met deze techniek is een pixelgrootte van ongeveer 5 meter. Bij kleine veendijken is dit al snel de volledige breedte van de dijk. Toch is gebleken bij het onderzoek dat lokale verschillen goed in beeld worden gebracht. In het bovenstaande plaatje is duidelijk te zien dat in de onderste dijk die werd opgemeten er een abrupte overgang te zien is tussen het geel (weinig geleiding) en het blauw (veel geleiding).

Dit gebied is aan een nader onderzoek onderworpen en dit bleek een gebied te zijn waar veel scheuren in de ondergrond zitten welke niet waarneembaar waren vanaf het oppervlak.

FIGUUR 5.34 ONDERGRONDSE SCHEUREN IN RIO GRANDE DIJK



Tot op heden is deze techniek nog niet uitgetoetst in Nederland.

6

MEETTECHNIEKEN NADER BESCHOUWD

6.1 INLEIDING

Er zijn in vorig hoofdstuk veel meettechnieken aan de orde gesteld. Hoe kunnen beheerders nu kiezen uit het brede aanbod van meettechnieken? Belangrijk is te constateren dat geen enkele meettechniek voldoende onderscheidend en betrouwbaar is om autonoom de informatiebehoefte van waterkeringbeheerders te kunnen afdekken. De verschillende meettechnieken vullen elkaar aan, er is geen meettechniek die afzonderlijk voldoende gegevens aanlevert voor een goede betrouwbare diagnose van de staat van waterkeringen. In dit hoofdstuk wordt een overzicht van de betekenis van de verschillende meettechnieken gegeven voor de signalering van faalmechanismen. Eerst wordt echter een korte beschouwing van de relevantie van diverse technieken gegeven voor het beheer. De beschouwing is voor een belangrijk deel overgenomen uit *Inspectietechnieken voor droge veenkaden STOWA 2004*, [12].

6.2 WAARNEMINGEN GEOMETRISCH PROFIEL

In veel gevallen gaat het bij falen om een keten van gebeurtenissen. Een voorbeeld: door een klein scheurtje in een kadekruin stroomt al jarenlang water in een kade. Een geringe stijging van het boezempeil verhoogt de druk in de spleet. Die scheurt daardoor een beetje verder en komt in contact met andere spleten in de boezemkade. In korte tijd kan dan voldoende kracht voor het vormen van een grote scheur worden ontwikkeld. Als die scheur ontstaat, verliest de kade coherentie en schuift in korte tijd als geheel, waarna de resulterende waterstroom een gat erodeert.

Sommige processen die in verband met het falen van een waterkering een rol spelen, zijn eenvoudig aan het oppervlak waar te nemen. Maar omstandigheden en processen die dieper in de grond spelen en voor het falen vaak van doorslaggevend belang zijn, kunnen lang niet altijd aan het oppervlak rechtstreeks en eenvoudig waargenomen worden, laat staan de lokale invloeden en ruimtelijke variaties.

Hierna wordt aandacht besteed aan processen die aan het oppervlak waargenomen kunnen worden, waarvan vervormen van het grondlichaam en de verandering van vochttoestand de belangrijkste zijn. Vervormingen van het grondlichaam zijn uiting van veranderingen van het krachtenevenwicht. Ze worden door de mechanische eigenschappen van het grondlichaam en de ondergrond ervan beïnvloed.

6.3 METEN VAN GEOMETRISCH PROFIEL

Kennis over de opbouw van waterkering en ondergrond is van groot belang voor een goede diagnose. Metingen in de grond betreffen bijna altijd zeer lokale waarnemingen, waarvan sommige variatie in de tijd weergeven. Aan het oppervlak kunnen, zeker met remote sensing technieken, grotere oppervlakken tegelijk worden beschouwd. Dit biedt de mogelijk-

heid ruimtelijke variatiepatronen te herkennen en, afhankelijk van de opnamefrequentie, temporele variatie na te gaan.

Waarnemingen aan het oppervlak kunnen worden uitgevoerd met visuele inspecties in het terrein en met behulp van remote sensing. Inspecties in het terrein kunnen een groot scala van aspecten van de waterkering tegelijk beslaan in soms groot detail.

Remote sensing waarnemingen betreffen slechts een beperkte, door de sensoren en overige hulpmiddelen bepaalde set verschijnselen. Het detail is in veel gevallen geringer dan dat van de terreinwaarnemingen. De remote sensing waarnemingen zijn echter zeer precies omschreven en kunnen in bepaalde gevallen zodanig gecombineerd worden, dat eenduidige aanwijzingen voor bepaalde processen en omstandigheden volgen. De met remote sensing via LIDAR (Light Detection And Ranging) haalbare nauwkeurigheid ten aanzien van vervorming over afstanden van meer dan enige meters is bijvoorbeeld beter dan dat van visuele terreinwaarnemingen, maar het waarnemen van scheurpatronen is met airborne technieken nog niet goed mogelijk. INSAR-metingen (Interferometrie m.b.v. SAR: Synthetic Aperture Radar) van vervorming zijn veel nauwkeuriger dan visuele waarnemingen en zijn breed inzetbaar. Visuele waarnemingen hebben een signalerende functie en geven kwalitatieve informatie. Remote sensing waarnemingen geven meer kwantitatieve informatie. Beide soorten waarnemingen vullen elkaar aan en vormen een goede combinatie voor betrouwbare en nauwkeurige informatie.

Bij remote sensing voor waterkeringen gaat het vooral om remote waarnemingen vanaf airborne platforms (vliegtuig of helikopter). De laterale resolutie van de meeste waarnemingen vanaf satellieten is namelijk te gering ten opzichte van karakteristieke afmetingen van waterkeringen en de relevante componenten ervan (1 - 25 m). De meer regionale informatie uit satellietbeelden is uiteraard wel ondersteunend voor velerlei toepassingen.

Remote sensing met betrekking tot landgebruik en vochthuishouding betreft vooral zichtbaar lichtfotografie en infraroodopnamen (near en far) om inzicht te krijgen in temperatuur- en vegetatievariatie. SAR-beelden (radarbeelden, kunnen (ook bij geen zicht) aanvullende informatie verschaffen.

Remote sensing met betrekking tot vervorming van het grondoppervlak betreft vooral INSAR. De methode moet worden toegepast vanaf een vliegtuig, dit vanwege de benodigde resolutie in de mate (centimeter-schaal) en plaats van vervorming (< 1-3 m²). LIDAR-metingen, met laser, kunnen bijdragen aan de bepaling van de geometrie van de waterkeringen. Beide meettechnieken kunnen voldoende nauwkeurige metingen opleveren voor het vastleggen van vervormingen. Uit waarnemingen op twee verschillende tijdstippen kunnen vervormingsveranderingen in de tijd worden afgeleid.

Het evalueren van de remote sensing metingen vergt gedegen inzicht in de omstandigheden en processen die bij het mogelijk falen van waterkeringen van belang zijn. Immers: er zijn slechts bepaalde specifieke verschijnselen en veranderingen zichtbaar, die op velerlei wijze gecombineerd kunnen worden, maar waarvan de relatie tot mogelijk falen zelden direct is.

6.4 METEN VAN VERVORMINGEN

Vervormingen zijn algemeen voor grondlichamen die in contact staan met de atmosfeer en grond- en buitenwater. Regelmatige weers- en seizoensveranderingen veroorzaken veranderingen van centimeters. Bij veendijken en veenondergrond zelfs wel meer dan een decimeter. Niet alleen de grootte van vervormingen is belangrijk, maar ook de snelheid waarmee de vervormingen veranderen.

Systematische veranderingen van waterpeil en grondwaterpeil veroorzaken veranderingen van centimeters tot soms veel meer dan een decimeter. Deze veranderingen hebben echter alleen onder speciale omstandigheden directe relevantie voor het functioneren van de kering. Met name kan het veranderen van de grond- buitenwaterstand in bepaalde gevallen leiden tot te grote ondermijning van de sterkte of toename van belasting. Vervormingen van centimeters tot een paar decimeter zijn over afstanden van meerdere meters vaak lastig te zien of te herkennen, maar zijn instrumenteel goed vast te stellen. Hetzelfde geldt voor de systematische vervormingen die vaak optreden bij naderende calamiteiten in waterkeringen en die als indicator gebruikt zouden kunnen worden.

Met conventioneel landmeten kan de oppervlaktevervorming zeer nauwkeurig worden vastgesteld, althans: indien het meetnet daarop is ingesteld. De meting betreft namelijk punten. Het vaststellen van relevante vervorming is daarom geheel afhankelijk van het inzicht bij het inrichten van de meetopstelling. De vervormingpatronen over het talud en kruin variëren bij naderend falen in de strekking van de kering meestal op 5 tot 20 m afstanden. Er is dus een dicht net van waarnemingen nodig om met deze techniek sterker deformerende secties te signaleren.

Glasvezelkabels, parallel gelegd aan de strekking van de kering, kunnen deformaties in het centimeter-decimeterbereik signaleren. De locatie van de bemeten sectie in het dwarsprofiel van de kering is van belang voor het duiden van het resultaat van de meting. Om de relevantie van de lokale verplaatsing van de kabel vast te stellen is nader onderzoek over de mate, aard en locatie van de vervorming nodig. De meting is permanent en kan daardoor een belangrijke signaleringsfunctie hebben, met name als er geen verhoogde waakzaamheid is (m.a.w. de ernst van de verschillende belastingsituaties “langdurige droogte” en “hoogwater” is niet als kritiek verondersteld).

Inclinometers geven de horizontale vervorming in een verticaal profiel voor een punt op de kering. Ze geven daarmee inzicht in de aard van de vervorming, hetgeen voor de analyse van groot belang is. Het zeer lokale karakter van de waarneming beperkt de toepasbaarheid ervan in het kader van monitoring tot het verschaffen van aanvullende informatie over bijvoorbeeld zeer verdachte locaties, dan wel het vaststellen van het patroon van regelmatig optredende vervormingen.

Met LIDAR (afstandsmeting met laser) kunnen vervormingpatronen zeer gedetailleerd vastgesteld worden. LIDAR-opstellingen op vaste punten op de grond worden alleen overwogen in het geval van lokale problemen, dit in verband met de kosten. LIDAR-metingen vanuit een vliegtuig of helikopter worden regelmatig uitgevoerd, onder meer in verband met beheer van waterkeringen. Ze bedekken grote arealen met hoge dichtheid (quasi-continu), maar met aanmerkelijk geringere nauwkeurigheid dan bij LIDAR-metingen.

Tot slot: in het algemeen kan worden gezegd dat bij analyses in het kader van early warning en calamiteitbeheersing het ruimtelijke patroon van vervormingen en het verloop ervan in de tijd ten minste zo belangrijk zijn als de vervormingen zelf.

6.5 RELEVANTIE MEETTECHNIEKEN

Remote sensing waarnemingen om processen en mechanismen te achterhalen die het functioneren van een waterkering (kunnen) aantasten, hebben in de meeste gevallen pas betekenis als de faalprocessen en -mechanismen van een waterkering ten minste globaal bekend zijn. De meeste waarnemingen kunnen alleen in zo'n kader geëvalueerd worden.

Naast deze waarnemingen is het altijd nodig ten minste enige informatie over de opbouw van de waterkering en de ondergrond ervan te hebben, samen met informatie over de grondwaterstijghoogten, om tot een adequate analyse te komen van de processen die gaande zijn. Pas wanneer falen onafwendbaar nabij is, kunnen visuele en remote sensing waarnemingen de relevante processen direct waarnemen. Voor elke evaluatie is het nodig gegevens over buitenwaterstanden beschikbaar te hebben.

Waarnemingen aan de vochttoestand (met name veranderingen daarin) en waarnemingen van vervormingen zijn voor het beoordelen van de standzekerheid van een waterkering van groot belang.

Ten aanzien van de vochttoestand en veranderingen daarin zijn vegetatie en watergehalte belangrijke indicatoren. Remote sensing infrarood, mits in voldoende detail (airborne), verschaft informatie over deze aspecten. Bovendien kan met thermisch infrarood de temperatuur van oppervlaktewater bepaald worden, hetgeen nadere informatie geeft over bijvoorbeeld excessieve kwel. Terreinwaarnemingen zijn van belang om lokale verschijnselen vast te kunnen stellen, zoals uittredend water en plasvorming.

Directe visuele waarneming van relevante vervorming is erg lastig en vergt ten minste referenties in de vorm van zichtlijnen en dergelijke. Indicaties van vervormingen, zoals het ontstaan van plassen bij de teen en het ontstaan van scheuren in een bepaald patroon, zijn betrouwbaarder.

Instrumentele meting in het terrein van vervorming is meestal lokaal (kruinlijn of dwarsprofiel op willekeurige locaties) en kan slechts indirect bijdragen aan early warning. Glasvezel meetsystemen kunnen een rol vervullen in een waarschuwingssysteem.

Het via remote sensing waarnemen van vervormingen is sedert enige tijd mogelijk. Met LIDAR kunnen grove vervormingen en vervormingspatronen in ruimtelijk detail worden vastgesteld. Deze informatie kan, samen met andere informatie, bijdragen aan het bepalen van zwakke schakels in het kader van onderhoud van de kering. Met airborne INSAR kunnen centimetervervormingen met een grote ruimtelijke resolutie (1-3 m²) onafhankelijk van de weersgesteldheid rechtstreeks worden bepaald, hetgeen voor analyses in het kader van early warning en voor onderhoudstrategie noodzakelijk is.

6.6 METEN AAN FAAL- EN BEZWIJKMECHANISMEN

6.6.1 INLEIDING

Het meten aan faalmechanismen en bezwijkmechanismen geschiedt indirect via indicatoren. De indicatoren zijn in hoofdstuk 3 geïntroduceerd. In dit hoofdstuk worden de technieken die kunnen worden ingezet voor het meten van deze indicatoren opgesomd. Dit gebeurt in tabelvorm. In de eerste kolom van de tabellen is het faalmechanisme weergegeven. De tweede kolom geeft de indicatoren. In kolom 3 is de meettechniek aangegeven. Kolom 4

geeft kernachtig weer wat gemeten wordt en hoe de meting tot stand komt. Kolom 5 geeft aan van waaruit gemeten wordt. Kolom 6 geeft een overzicht van bedrijven die de metingen kunnen uitvoeren. Kolom 7 geeft aan of de techniek operationeel is voor het waterkeringbeheer. In kolom 8 is weergegeven het schaalniveau waarop de meettechniek kan worden ingezet. De tabellen zijn overgenomen uit Dijken en zwakte-indicatoren.

TABEL 6.1 UIT [1]

Faalmechanisme	Zwakke-indicatoren constructie	Inspectietechniek	Wijze van meten			Leveranciers	Operationeel?	Schaalniveau						
			Draagbaar	Meetwagens	Helikopter			Vliegtuig	Satelliet	Landelijk	Regionaal	Lokaal	Exstu	Institu
Overloop	Lokale verlagings / verzakking (van de kruin)	Laser altimetrie, laserscanning, LIDAR	Hoogte metingen. Bundel infraroodlicht wordt uitgezonden en weerkaatst en opgevangen. Verschil in het tijdstip van terugkomst van de bundel levert hoogteinformatie op.			Fugro-Inpark, Terra Imaging, Oranjewoud, Eurosense, DHV, Hansa Luftbild / Royal Haskoning / ITC, Qinetiq Survey	Ja							
		Röntgen	Grondwaterstanden, bodemvocht, bodemopbouw, scheuren, vervorming. Verschillende sensoren meten middels röntgen straling.			Awenyddion / SpiderTech Security	Ja (?)							
		3d-GPS	hoogte metingen middels GPS worden omgezet tot DTM.			Geocensus, ???	Ja.							
		Glasvezelkabel	Glasvezelkabels worden in de dijk aangelegd om verzakkingen en dergelijke aan te tonen middels vervorming in de kabel.			Gemeentewerken Rotterdam / baas R&D.	Ja							
		Radar interferometrie	Verschil in hoogte over een bepaalde periode. Radar wordt uitgezonden en weerkaatst en opgevangen. Verschil in het tijdstip van terugkomst levert verschil in hoogte op ten opzichte van eerder verrichte metingen op. Voor andere faalmechanismen kan deze techniek wellicht ook worden ingezet.			TNO-FEL	Nee. TNO-FEL ontwikkelt. Verwachting: operationeel in 2008.							

VERVOLG TABEL 6.1 UIT [1]

Faalmechanisme	Zwakke-indicatoren	Inspectietechniek	Toepassing en eigenschappen	Wijze van meten	Leveranciers	Operationeel?	Schaalniveau	Landelijk	Regionaal	Lokaal	Exstitu	Institu
				Draagbaar Meetwagen Helikopter Vliegtuig Satelliet								
Overslag	Lokale verlaging van de kruin, dwarsscheuren in de kruin	Laser atlimetrie, laser scanning, LIDAR, zichtbaar licht fotogrametrie	zie eerder.		Fugro-Inpark, Terra Imaging, NEO / Geocensus, Awenyddion, GBP / Ecoflight, Oranjewoud, Eurosense / DHV, Hansa Luftbild / Royal Haskoning / ITC, Qinetiq Survey	Ja. Zie ook röntgen van Awenyddion.						
		Röntgen	Grondwaterstanden, bodemvocht, bodemopbouw, scheuren, vervorming. Verschillende sensoren meten middels röntgen straling.		Awenyddion / SpiderTech Security	Ja (?)						
		Glasvezelkabel	zie eerder.		Gemeentewerken Rotterdam / baas R&D.							
	Grootschalige verlaging van de kruin als gevolg van klink en zetting	Laser atlimetrie, laser scanning, LIDAR, zichtbaar licht fotogrametrie	zie eerder.		Fugro-Inpark, Terra Imaging, NEO, GBP / Ecoflight, Oranjewoud, Eurosense / DHV, Hansa Luftbild / Royal Haskoning / ITC, Qinetiq Survey	Ja.						
		Glasvezelkabel	zie eerder.		Gemeentewerken Rotterdam / baas R&D.	Ja.						

VERVOLG TABEL 6.1 UIT [1]

Faalmechanisme	Zwakke-indicatoren	Inspectietechniek	Toepassing en eigenschappen				Wijze van meten			Operatoneel?	Schaalniveau				
			Niet waterkerende objecten	Zichbaar licht fotogrammetrie	Veranderingen die visueel kunnen worden waargenomen. Er worden opnamen gemaakt die visueel worden beoordeeld. Afhankelijk van de type waarneming (satelliet of vliegtuig) kunnen verschillende detailniveaus worden behaald.	Dragbaar	Meerwagen	Helikopter	Vliegtuig		Satelliet	Leveranciers	Landelijk	Regionaal	Lokaal
Overslag	Niet waterkerende objecten	Zichbaar licht fotogrammetrie	Veranderingen die visueel kunnen worden waargenomen. Er worden opnamen gemaakt die visueel worden beoordeeld. Afhankelijk van de type waarneming (satelliet of vliegtuig) kunnen verschillende detailniveaus worden behaald.	Dragbaar					NEO, Ecoflight, Fugro-Inpark, Terra Imaging, Eurosense / DHV, Hansa Luftbild / Royal Haskoning / ITC	Ja					
	Kabels en leidingen	Grondradar (in combinatie met EM-tracer)	Middels grondradar (in combinatie met EM-tracers) kunnen kabels en leidingen worden gedetecteerd.	Dragbaar					T&A Survey, Arcadis, Fugro	Ja					
Macro-instabiliteit binnenzijde	Steil talud aan de binnenzijde	Laser altimetrie, laserscanning, LIDAR	zie eerder.						Fugro-Inpark, Terra Imaging, Oranjewoud, Eurosense / DHV, Hansa Luftbild / Royal Haskoning / ITC, Onetiq Survey	Ja					
	Bodemopbouw	Grondradar (in combinatie met EM-tracer)	Opbouw middels grondradar. De bodemopbouw geeft informatie over de mogelijk voorkomende faalmechanismen zoals zetting, oprijving, preferente stroombanen, etc.	Dragbaar					MAP Surveying / Grontmij, Arcadis, Fugro, T&A Survey, Oranjewoud	Ja.					
	Oppervlaktegolf metingen	Oppervlaktegolf metingen	In de ondiepe ondergrond worden oppervlakte golfmetingen uitgevoerd middels seismische golven.						TNO-NITG (ConsoliTest), FUGRO.	Ja.					
	Röntgen	Röntgen	Grondwaterstanden, bodemvocht, bodemopbouw, scheuren, vervorming. Verschillende sensoren meten middels röntgen straling.						Awenyddion / SpiderTech Security	Ja (?)					

VERVOLG TABEL 6.1 UIT [1]

Failmechanisme	Zwakte-indicatoren	Inspectietechniek	Toepassing en eigenschappen	Wijze van meten	Leveranciers	Operationeel?	Schaalniveau	Landelijk	Regionaal	Lokaal	Exstitu	Institu
				Meetwagens	Helikopter	Vliegtuig	Satelliet					
				Dragbaar								
Macro-instabiliteit binnenzijde	Bodemopbouw	Boringen en sonderingen	Opbouw middels boringen en sonderingen. De bodemopbouw geeft informatie over de mogelijk voorkomende faalmechanismen zoals zetting, opdrijving, preferente stroombanen, etc.				T&A Survey, Fugro, Grontmij, Royal Haskoning, TAUW, etc. etc. etc.	Ja.				
	Grondwaterstand en grondwaterstroming	Röntgen	Grondwaterstanden, bodemvocht, bodemopbouw, scheuren, vervorming. Verschillende sensoren meten middels röntgen straling.				Awenyddion / SpiderTech Security	Ja (?)				
		Grondwatertempe- ratuur metingen.	Grondwaterstoring. Door middel van verschillen in watertemperatuur wordt achterhaald of waterkeringen waterdicht zijn of lekken (kwel).				GTC, Dicis / GO systemelektronik.	Ja				
		Peilbuizen	Grondwaterstand monitoring. Middels handmatige of geautomatiseerde methode grondwaterstanden monitoren in grondlichamen.				Axiom Archeotech, Fugro, Ja DHV, Oranjewoud, Arcadis, etc.	Ja				
		Onbekend.	Vochtregisterende sensoren.				WUR / HiTechnologies / Inter Act	Nee. Onderzoek wordt uitgevoerd.				
		Glasvezelkabel	Glasvezelkabels worden in de dijk aangelegd om vochtgehaltes aan te tonen en temperatuur te bemeten (zowel natte als droge plaatsen in de waterkering).				Gemeentewerken Rotterdam / baas R&D, GTC (temperatuur, incl. T-sonderingen)	Ja				

VERVOLG TABEL 6.1 UIT [1]

Faalmechanisme	Zwakke-indicatoren	Inspectietechniek	Toepassing en eigenschappen	Wijze van meten		Leveranciers	Operationeel?	Schaalniveau										
				Meetwagen	Helikopter			Vliegtuig	Satelliet	Landelijk	Regionaal	Lokaal	Ekstrem	Institu				
Micro-instabiliteit binnenzijde	Gangenstelsels, gaten in toplaag	Zichtbaar licht fotogrametrie	Afgeleid aan de schade die de gravers hebben veroorzaakt kunnen gangen worden gedetecteerd.	Dragbaar	Helikopter													
	Grondwaterstand		Zie macro-instabiliteit binnenzijde															

7

REFERENTIES

- [1] Plan van aanpak onderzoek verbetering inspectie waterkeringen. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DWW-2004-059, 5 juli 2004
- [2] Onderzoek Verbetering Inspectie Waterkeringen; Stroomlijning van inrichting en uitvoering van inspecties, STOWA Rapport 2005 30, DWW Rapport 2005 068
- [3] Leidraad veiligheid op toetsen, Technische Adviescommissie voor de waterkeringen, 1996
- [4] Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, Katern boezemkaden, concept 2006
- [5] Leidraad zee- en meerdijken, Technische Adviescommissie voor de waterkeringen, 1999
- [6] Informatiebehoefteinventarisatie waterkeringenbeheer/dijkdeformatie, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Meetkundige Dienst, januari 2003
- [7] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Technische Adviescommissie voor de waterkeringen, juni 2001
- [8] PAO -cursus "Haal meer uit uw grondonderzoek", Stichting Postacademisch Onderwijs, juni 2003
- [9] Geofysische technieken, Dr. J.K. Van Deen GeoDelft, PAO juni 2003
- [10] PAO –cursus "Monitoring- en Inspectietechnieken voor kades en dijken", Stichting Postacademisch Onderwijs, oktober 2005.
- [11] Geofysische technieken voor grondonderzoek, CUR 182, 1996
- [12] Inspectietechnieken voor droge veenkaden, STOWA 2004.

BIJLAGE 1

BORINGEN

Hieronder volgt een korte toelichting bij de boormethoden die in ons land, met zijn over het algemeen slappe grondgesteldheid, worden toegepast.

B1.1 HANDBORINGEN MET EEN LEPELBOOR OF GUTSBOOR

Dit is een methode van droog boren, en leent zich alleen voor toepassing in niet te slappe samenhangende grond, waarin het boorgat ongesteund, dat wil zeggen zonder verbuizing, blijft staan. De bereikbare diepte is afhankelijk van de grondgesteldheid en varieert van 5 tot 15 m.

In zand onder de grondwaterspiegel kan deze methode niet worden toegepast.

De kwaliteit van dit type boringen is over het algemeen goed. Omdat de grond met de boor in zijn natuurlijke staat omhoog wordt gebracht, kan naast de grondsoort ook de kwaliteit redelijk goed op de hand worden beoordeeld.

Deze boormethode leent zich ook uitstekend om in combinatie met een steekboor ongeroerde grondmonsters te nemen.

B1.2 PULSBORINGEN

Deze methode van nat boren, waarbij verbuizing van het boorgat plaatsvindt, wordt veel toegepast. Ze is bijzonder geschikt voor slappe gronden en zand. De met de puls omhoog gebrachte grond is echter in hoge mate geroerd en vermengd met water, zodat slechts een globale indicatie kan worden verkregen van de samenstelling ervan. De kwantitatieve eigenschappen van de grond kunnen op basis daarvan niet worden beoordeeld.

Voor grondmechanische doeleinden dienen zulke boringen dan ook altijd te worden gecombineerd met het nemen van ongeroerde steekmonsters.

Die zijn nodig voor een nadere precisering van het grondprofiel, en voor de bepaling van de mechanische eigenschappen van de grondlagen. In de praktijk heeft dit geleid tot een bijzondere vorm van puls boring met continue monsternamen, de zogenaamde Ackermann-boring (figuur B1.1). Het pulsen dient hierbij eigenlijk alleen om telkens na het steken van een 0,3 m lang monster het boorgat op te schonen en gereed te maken voor het steken van een volgend monster.

Bij puls boringen voor het grondonderzoek dient men zeer zorgvuldig te werk te gaan. Bij slechte uitvoering kan de grond onder de bodem van het gepulste boorgat over een diepte van tenminste 0,1-0,2 m in ernstige mate worden verstoord door de opwaartse stroming van water ten gevolge van

een te lage waterstand in de boorbuis, of door het te snel optrekken van de puls: die gaat dan als een soort zuiger in het boorgat werken.

B1.3 ACKERMANN-BORING

Bij de Ackermann-boring wordt telkens een ongeroerd monster gestoken van circa 0,30 tot 0,40 m lengte. In het laboratorium kunnen deze monsters uitgelegd worden, beschreven en gefotografeerd worden. Hierdoor wordt een continu boorprofiel verkregen. Van representatieve lagen kunnen monsters worden geselecteerd voor onderzoek in het laboratorium.

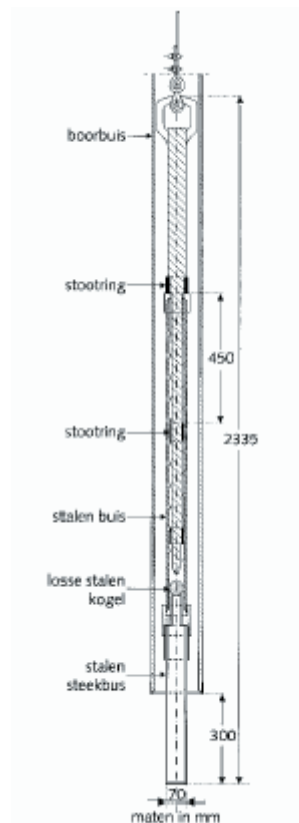
De methode is betrouwbaar maar kan als gevolg van de gebruikte techniek soms enige geroidheid veroorzaken en is voor zandgrond minder geschikt omdat de monsterbus slechts door het gebruik van catchers geheel of gedeeltelijk gevuld blijft maar tegelijk ook het monster kan verstoren. Wordt een continu, nagenoeg ongeroerd monster vereist, dan kan beter de duurdere Begemann-boring worden toegepast.

B1.4 BEGEMANN-BORING

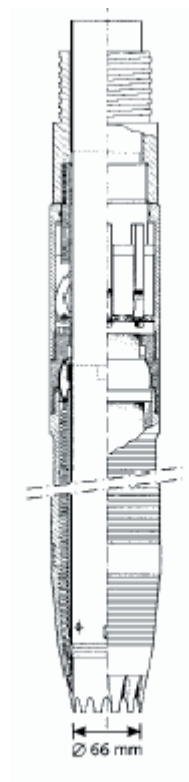
Met deze techniek is het mogelijk om in één bewerking een continue, ongeroerde streng grond te steken tot een diepte van ongeveer 20 m of tot het pleistocene zand. Wel bestaat de mogelijkheid dat de kous scheurt door de aanwezigheid van een tussenzandlaag.

In feite wordt er bij deze methode niet geboord maar gestoken. Het continu-steekapparaat met verlengbuizen wordt in de grond gedrukt, als regel door een sondeerinrichting. De continu-boring kan worden uitgevoerd met een diameter van 29 of 66 mm.

FIGUUR B1.1 ACKERMANN-BORING



FIGUUR B1.2 CONTINU-STEKAPPARAAT

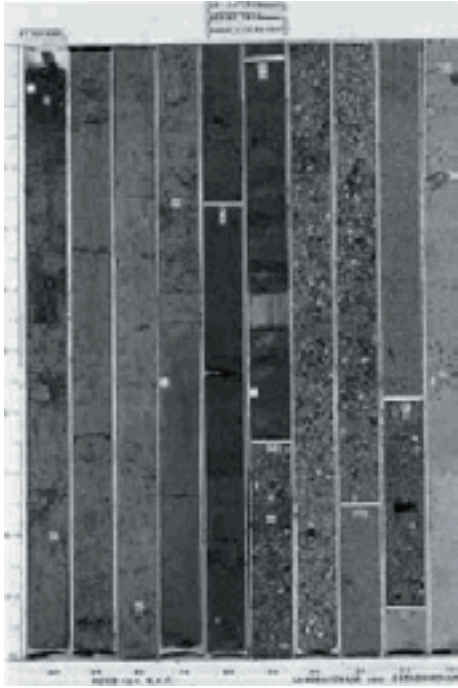


De kleine diameter wordt toegepast voor het nauwkeurig vaststellen van het grondprofiel, en bij eenvoudige onderkenningproeven zoals volumieke-gewichtsbepalingen. De diameter van 66 mm is geschikt om naast de vaststelling van een bodemprofiel ook op relevante diepten ongeroerde monsters uit de streng te nemen voor de uitvoering van laboratoriumproeven.

Door de bijzondere wijze van steken zijn de monsters met een diameter van 66 mm van hoge kwaliteit. Figuur B1.2 geeft een doorsnede van het continu-steekapparaat 66 mm.

In figuur B1.3 is het resultaat van een dergelijke boring door middel van een foto vastgelegd. Een belangrijk voordeel van deze methode is, dat een gedetailleerd beeld wordt verkregen van de opbouw en de samenstelling van de grond. Bovendien kan men op grond van visuele beoordeling van het bodemprofiel wel overwogen kiezen welke ongeroerde monsters gebruikt zullen worden voor de bepaling van de mechanische eigenschappen.

FIGUUR B1.3 BORING MET BEHULP VAN CONTINU-STEKKAPARAAT

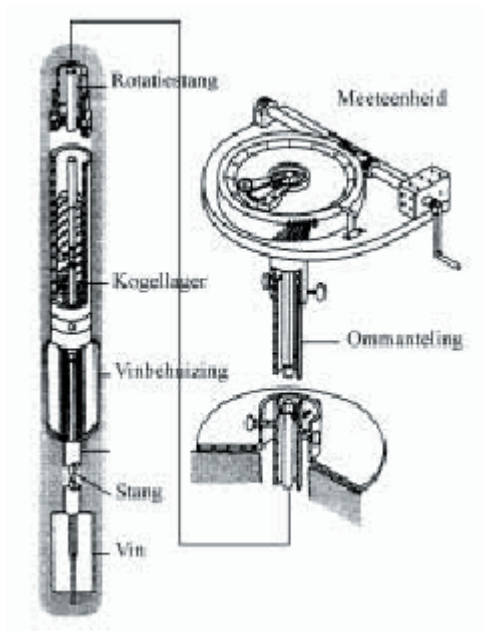


BIJLAGE 2

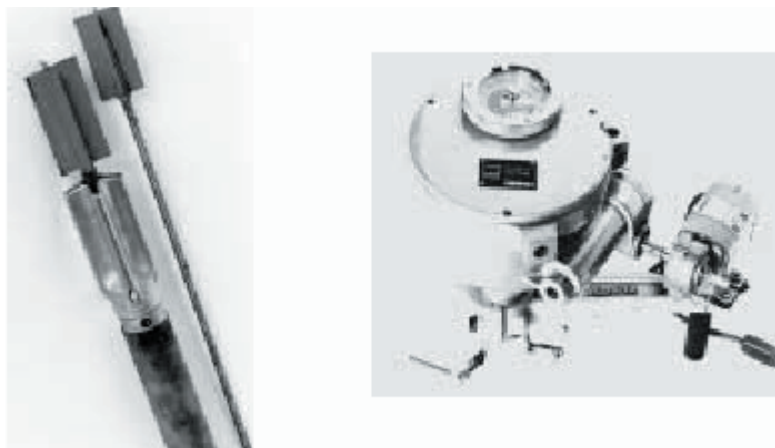
VINPROEVEN

De vin bestaat uit vier dunne, rechthoekige bladen, kruislings bevestigd op het ondereinde van een dunne stalen staaf (rotatiestang). In de figuren B2.1 en B2.2 is het apparaat weergegeven voor terreinmetingen.

FIGUUR B2.1 GEOMETRIE VAN HET VINAPPARAAT



FIGUUR B2.2 VINAPPARAAT MET MEETBEHUIZING



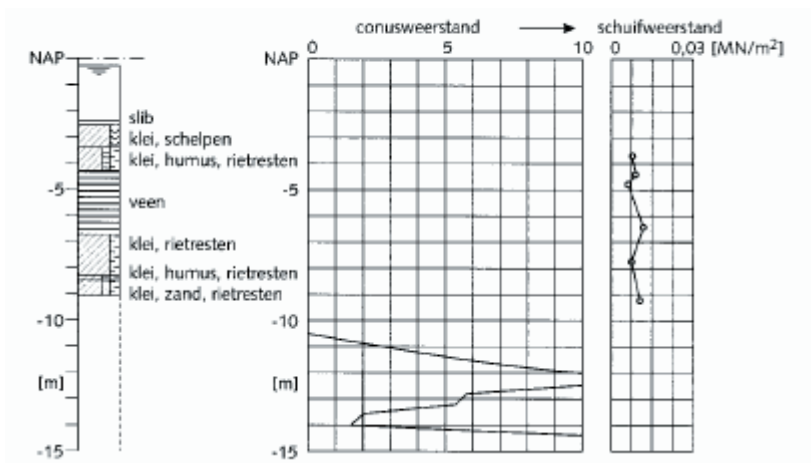
Doorgaans is de hoogte (H) van de vin gelijk aan twee maal de diameter (D) van de omhullende cilinder. De afmetingen van het vinapparaat voor terreinmetingen variëren van H = 160 mm bij D = 80 mm voor slappe grond tot H = 110 mm bij D = 55 mm voor vaste gronden. De draaisnelheid van de vin is min of meer gestandaardiseerd op 0,1 %. Voor verdere informatie wordt verwezen naar de NEN 5106.

In Nederland wordt veelal de vin in een behuizing, met behulp van een sondeerapparaat, in de bodem gebracht. De vin wordt met de behuizing tot op de gewenste diepte gebracht en vervolgens gedraaid. De ommanteling voorkomt dat de grondwrijving de rotatiemeting kan beïnvloeden. De modernste apparaten meten zowel het torsiemoment als de hoekverdraaiing dicht bij de vin, zodat de stangenwrijving volledig wordt geëlimineerd en een nauwkeurige meting van de hoekverdraaiing mogelijk wordt.

Door afwisselend dieper te boren en een vinproef uit te voeren, kan op eenvoudige wijze een bodemprofiel worden verkregen, dat een beeld geeft van de ongedraineerde schuifsterkte als functie van de diepte (figuur B2.3)

FIGUUR B2.3

VERLOOP ONGEDRAINEERDE STERKTE MET DE DIEPTE



De ongedraineerde schuifsterkte (f_{undr}) is gerelateerd aan het maximale torsiemoment (M) en de grootte van de diameter (D) van de omhullende cilinder:

Uit het onderzoek 'parameterbepaling' (Ref. Strain Softening Equations for Pressuremeter Test Analysis), blijkt dat, in tegenstelling tot de meer conservatieve constante $c = 0,86$ uit NEN 5106, de ongedraineerde schuifsterkte bepaald kan worden met $c = 0,91$. Uit dit onderzoek blijkt verder dat het meten van het moment direct boven de vin-bladen de voorkeur geniet, aangezien de hoekcorrectie bij systemen die op maaiveld niveau meten in de orde van grootte van de te meten hoekverdraaiing blijkt te liggen.

Bovengenoemd onderzoek heeft aangetoond dat voor Nederlandse gronden het vinapparaat niet zo geschikt is voor de bepaling van de glijdingsmodulus.

In het algemeen geeft het vinapparaat waarden voor de glijdingsmodulus, die een factor 3 à 5 lager uitvallen ten opzichte van de met CU triaxiaalproef bepaalde waarden.

BIJLAGE 3

TERREINONDERZOEK

VERVORMINGSPARAMETERS

B3.1 PRESSIOMETER

Met behulp van pressiometerproeven kan het horizontale spanningsvervormingsgedrag van de sterk samendrukbare lagen insitu worden gemeten (Ref. The Pressuremeter). Bij de diverse typen proeven (zoals de Ménard-pressiometer, de selfboring-pressiometer en de Camkometer) wordt op basis daarvan met behulp van semi-empirische formules een horizontale elasticiteitsmodulus en soms ook de horizontale terreinspanning afgeleid. Bij enkele typen kan ook indicatieve informatie worden verkregen over het zettingsgedrag. De self-boring pressiometer levert in vergelijking met andere pressiometertypen kwalitatief betere uitkomsten op, terwijl in kwantitatief opzicht meer parameters, zoals bijvoorbeeld sterkte- en consolidatieparameters, correlatief zijn af te leiden. In Nederland is nog weinig ervaring met deze proeven. In Frankrijk en elders in Franssprekende landen wordt de pressiometer met veel succes toegepast.

B3.2 DILATOMETER

De dilatometerproef is nauw verwant aan de pressiometerproef. De dilatometer (zie figuren B3.1 en B3.2) bestaat uit een dun stalen blad, dat aan een zijde is voorzien van een cirkelvormig membraan. Dit membraan kan hydraulisch geëxpandeerd worden. Voor diverse diepten, meestal wordt om de 20 cm gemeten, wordt de druk die benodigd is om het membraan net te doen bewegen geregistreerd, evenals de druk die nodig is om dit membraan 1,1 mm te expanderen.

De horizontale drukken, die nodig blijken om een zekere horizontale verplaatsing in de grond teweeg te brengen, worden, net als bij de pressiometerproef, aan de hand van semi-empirische formules gecorruleerd met de horizontale elasticiteitsmodulus en eveneens met de horizontale terreinspanning (Ref. The flat Dilatometer test and its applications). Naast deze verbanden zijn er ook correlatieformules ter bepaling van sterkte- en doorlatendheidsparameters.

FIGUUR B3.1 MARCHETTI DILATOMETER



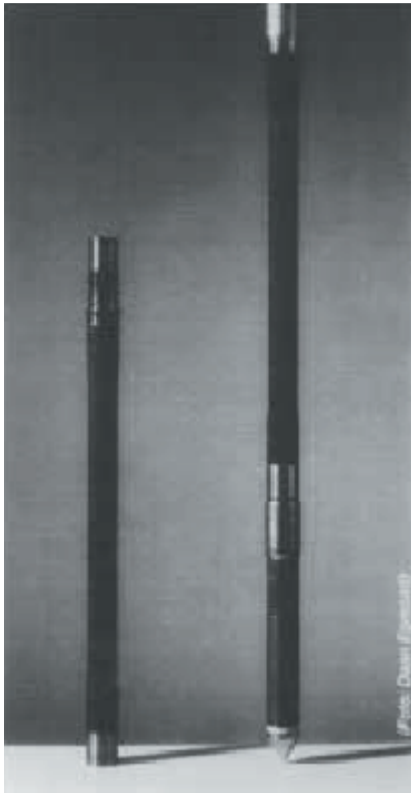
FIGUUR B3.2 DILATOMETER BLAD



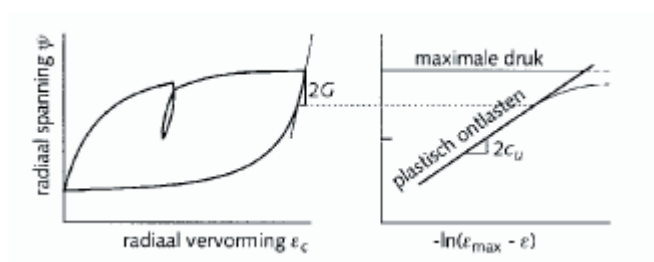
B3.3 CONE-PRESSUREMETER

De cone-pressuremeter (figuur B3.3), bestaat uit een cilindrisch membraan, dat enigszins cilindrisch kan expanderen door het op te blazen. De cone-pressuremeter wordt geplaatst direct achter een sondeerconus. De sondeerconus wordt zoals gebruikelijk in de grond gedrukt; op de gewenste dieptes wordt er een meting met de cone-pressuremeter gedaan door het membraan op te blazen. Hierbij wordt de druk en expansie van het membraan gemeten. Er worden dan een aantal belast-ontlast curven gevolgd, zie figuur B3.4.

FIGUUR B3.3 CONE-PRESSUREMETER



FIGUUR B3.4 CONEPRESSUREMETER, ONTLAST-HERBELAST CURVE



BIJLAGE 4

WATERSPANNINGSMETING

B4.1 ALGEMEEN

In deze bijlage wordt ingegaan op metingen van waterspanningen door middel van peilbuis- en waterspanningsmetingen.

De grondwaterdrukken in diverse lagen worden, afhankelijk van de doorlatendheid van de betreffende laag en het tijdsbestek waarbinnen veranderingen van de grondwaterdruk optreden, gemeten met een open peilbuis of met behulp van een waterspanningsmeter.

B4.2 PEILBUIZEN

Peilbuiswaarnemingen van stijghoogten in de zandondergrond en waterspanningsmetingen in slecht doorlatende grondlagen zijn een belangrijke bron van informatie voor inzicht in de grondwaterstroming bij dijken. Behalve voor rechtstreekse extrapolatie naar ontwerpomstandigheden kunnen de waarnemingen ook worden gebruikt om schematiseringen te ijken aan werkelijke omstandigheden, alvorens te extrapoleren naar ontwerpomstandigheden.

Een peilbuis bestaat uit een filter, dat in de betreffende grondlaag wordt geplaatst, opgelengd met buizen tot iets boven het maaiveld. Bij land dat mogelijk overstroomd, zoals uiterwaarden dienen de buizen te worden opgelengd tot boven de maximale waterstand, om verstoppingen en foute meetwaarden tijdens hoog water te voorkomen.

Verder is het van groot belang om de peilbuizen regelmatig ten opzichte van NAP in te meten.

Doordat de buis boven open is, zal de waterspiegel in de buis zich instellen op een niveau dat overeenkomt met de stijghoogte (= druk) ϕ , van het grondwater rond het filter.

Indien de grondwaterdruk verandert, zal de hoogte van de waterspiegel in de peilbuis evenveel veranderen. Dit betekent dat er een zekere hoeveelheid water door het filter moet toe- of afstromen. Dat veroorzaakt vertraging en demping.

In een doorlatende grondslag (grind en zand) geeft de peilbuis reeds na redelijk korte tijd (enkele minuten tot enkele uren) de nieuwe stand aan. Bij een minder doorlatende grondslag (veen, klei) zou dit veel dagen en bij zeer ondoorlatende grond zelfs weken vergen. Een peilbuis is in slecht-doorlatende grond derhalve onbruikbaar.

Is de zogenaamde aanpassingstijd van een peilbuis te lang, dan dient gebruik gemaakt te worden van een waterspanningsmeter. Deze hebben een geringer waterverbruik. Dit is de hoeveelheid water die door het filter moet toe- of afstromen als functie van de verandering in de te registreren grondwaterdruk.

De peilbuizen zijn, naar de wijze van plaatsen, te onderscheiden in 2 groepen:

- peilbuizen, die in de grond worden weggedrukt;
- peilbuizen, die in een boorgat worden afgesteld.

Aflezing kan geschieden:

- met de hand dat wil zeggen met een peilklokje of elektrisch peilklokje met meetlicht;
- een of andere vorm van automatische registratie (vlotterschrijver, niveaivolger, elektrische opnemer), soms op afstand. Hierbij wordt vaak de druk gemeten van lucht en

water samen. Dit betekent dat om de waterstand te bepalen ook de luchtdruk zelf dient te worden opgemeten. De opnemer die de luchtdruk registreert dient zich op een plaats te bevinden die altijd droog blijft. Bij het inhangen van de drukmeter in de peilbuis, moet nauwkeurig de hoogte/diepte van de drukmeter bepaalt worden.

B4.3 WATERSPANNINGSMETERS

Er zijn twee typen waterspanningsmeters:

- manometer waterspanningsmeter;
- elektrische waterspanningsmeter.

B4.3.1 MANOMETERTYPE

Een Bourdon waterspanningsmeter is niets anders dan een in de grond weggedrukte 3/4" peilbuis met filter, die aan de bovenkant afgesloten is en waarop een manometer is aangesloten. De buis is geheel met water gevuld (gesloten systeem). Teneinde dit te kunnen controleren bestaat het bovenste gedeelte van de buis uit een zogenaamd opzetstuk, waarin zich een peilglas bevindt (zie figuur B4.1).

FIGUUR B4.1

ONDERDELEN VAN EEN BOURDON WATERSPANNINGSMETER

Nummers: 1 en 2 = peilbuis met filter
3 = opzetstuk
4 = peilglas



Bovenin het opzetstuk is een vuldop aangebracht. De manometeraansluiting bevindt zich ter hoogte van de onderkant van het peilglas. De Bourdon manometer heeft meestal een bereik van -100 tot +50 kPa.

Het bovenstaande impliceert, dat de stijghoogte van het water in de grondlaag waarin het filter zich bevindt, gelijk is aan het niveau van de manometer, vermeerderd met de aflezing.

Zodra echter de waterstand in het opzetstuk lager is dan het niveau van de manometer, gaat deze regel niet meer op en moet water worden bijgevuld. De aanpassingstijd van dit type waterspanningsmeter varieert van enkele uren in kleihoudend zand tot enkele dagen in de klei. Dit komt omdat de manometer toch nog betrekkelijk veel water gebruikt.

De nauwkeurigheid van een goed geïnstalleerde en onderhouden Bourdon waterspanningsmeter kan in het algemeen circa 2 à 3 kPa (20 à 30 cm waterkolom) bedragen. Een voordeel ten aanzien van de controle op de juistheid van aflezing is dat het meetgedeelte zich boven

de grond bevindt, zodat dit gemakkelijk vervangen kan worden. Als nadeel geldt de gevoeligheid voor temperatuurwisselingen en gasinsluitingen.

Afhankelijk van de doorlatendheid van de samendrukbare lagen en het tempo van ophogen kan dit type waterspanningsmeter goed worden gebruikt voor het bepalen van de toename van de waterspanning ten gevolge van ophogingen. Hiermee kan de stabiliteit van de ophoging worden beoordeeld, als mede de nog te verwachten zetting. Mede door de relatief lage kosten heeft de Bourdon een groot toepassingsgebied gevonden.

B4.3.2 ELEKTRISCHE WATERSPANNINGSMETERS

Diverse typen elektrische meters worden toegepast, die berusten op verschillende principes. In tegenstelling met de Bourbon bevindt het meetlichaam (de opnemer) zich niet boven maaiveld, maar direct achter het filter. Het kenmerk van de elektrische waterspanningsmeter is in het algemeen dat het waterverbruik van de opnemer aanzienlijk lager is, zodat de aanpassingstijd aanmerkelijk korter is. Alle elektrische meters worden in de grond gedrukt door middel van buizen, waar de meetkabel doorheen loopt. Het huis, waarin de opnemer is ingebouwd, heeft een uitwendige diameter in de orde van 32 à 36 mm, evenals de oplengbuizen, die elk 1 meter lang en van inwendige schroefdraad voorzien zijn. Omdat de oplengbuizen een grotere wanddikte hebben, kan met een grotere kracht gepenetreerd worden dan bij de Bourdon.

Ten gevolge van zettingen en mantelwrijving kan de buis meezakken, waardoor de meting wordt verstoord. Door regelmatig de buis in te meten ten opzichte van NAP kan hiervoor gecorrigeerd worden.

Het aflezen gebeurt meestal met een batterijgevoed afleeskastje; de totale nauwkeurigheid bedraagt afhankelijk van het type in de orde van circa 2 kPa.

Behalve het bij de Bourdon genoemde toepassingsgebied, strekt het gebruik van de elektrische meters zich o.a. uit tot het bepalen van de afvoer-, getij- of neerslaginvloeden op de waterspanning in dijken. Een recente versie is die met een zogenaamde piezoresistieve opnemer. Dit type opnemer bevat een silicium membraan met daarop 4 halfgeleider rekstrookjes in een brugschakeling. Membraan en rekstrookjes vormen één geheel (diffusietechniek). Het door de waterdruk doorbuigend membraan veroorzaakt een weerstandsverandering van de rekstrookjes, waardoor een uitgangsspanning ontstaat die lineair afhankelijk is van de heersende waterdruk. De opnemer heeft voor het volledige meetbereik slechts een waterverplaatsing nodig van 0,1 mm³. Hierdoor is dit type zeer geschikt voor het meten van dynamische verschijnselen (tot 1000 Hz). Het standaardbereik bedraagt 500 kPa. De nauwkeurigheid ligt lager dan 1 kPa.

B4.3.3 VW-WATERSPANNINGSMETER

De optredende grondwaterdruk wordt gemeten met behulp van een trillende-snaar (vibrating wire) drukelement ingebouwd in een conus. Via twee filters met een diameter van 10mm wordt het poriënwater in contact gebracht met het membraan van opnemer. De opnemer wordt met standaard wegdrummaterieel geplaatst tot de gewenste diepte. De nauwkeurigheid van de meting is 0,5 kPa (5 cm waterkolom). Via een 4-aderige elektrische kabel kan het signaal op elke willekeurige plaats worden afgelezen.

Om voor de invloed van temperatuursvariaties te compenseren is de Vw-waterspanningsmeter voorzien van een temperatuursensor. De Vw-waterspanningsmeter meet absolute waterdrukken zodat deze meter gevoelig is voor luchtdrukvariaties. Om deze reden dient gelijktijdig met de uitlezing van de Vw-waterspanningsmeter de heersende luchtdruk te worden bepaald.

In veel gevallen wordt na het wegdrukken de plaatsingsbuis aan de Vw-waterspanningsmeter gelaten zodat er een verbinding is tussen de Vw-waterspanningsmeter en het maaiveld. Met behulp van periodieke paterpassing van de plaatsingsbuis kan eventuele zetting van het instrument worden bepaald zodat een zettingscorrectie kan worden toegepast op de meetresultaten.

De snaar van het drukelement wordt aangestuurd en geeft vervolgens een resonantie op een bepaalde frequentie. Deze gemeten frequentie wordt omgerekend naar de op de diepte van de opnemer geldende druk. De bekende druk wordt gecorrigeerd voor de temperatuurverschillen en de luchtdruk. Indien de plaatsingsdiepte bekend is, kan de stijghoogte worden berekend.

De geplaatste Vw-waterspanningsmeters kunnen uitgelezen worden met een handuitleesunit of ze kunnen aangesloten worden op een centraal opgesteld data-acquisitiesysteem in het veld, eventueel uitgerust met een GSM-verbinding waarbij de meetdata regelmatig naar het kantoor gestuurd wordt.

Voor verdere informatie wordt verwezen naar L.G.M. Mededelingen: Terreinonderzoekingen [LGM, 1977] en Construeren met Grond [CUR 162, 1993].

BIJLAGE 5

NIET DESTRUCTIEF ONDERZOEK VAN DE ASFALTKWALITEIT

B5.1 INLEIDING

Om de laagdikte en de kwaliteit van een asfaltbekleding te onderzoeken wordt meestal een destructief onderzoek uitgevoerd. Er worden kernen uit een bekleding geboord waarvan nauwkeurig de laagdikte, samenstelling, dichtheid en eventueel bitumeneigenschappen worden bepaald. Daarnaast kunnen er proefstukken uit de kern worden gezaagd waarop mechanische proeven worden uitgevoerd om de sterkte en stijfheid van het materiaal te bepalen. Aan deze wijze van onderzoek kleven echter enkele nadelen. Het betreft altijd een meting op één punt en om een goed beeld te krijgen van de laagdikte en de kwaliteit van de bekleding zijn veel meetpunten nodig. Daarnaast wordt de bekleding door het onderzoek beschadigd.

Niet-destructieve onderzoeksmethoden hebben het voordeel dat direct aan de constructie wordt gemeten en de constructie daarbij niet wordt beschadigd. Vaak zijn niet-destructieve onderzoeksmethoden snel uitvoerbaar en daarmee kosteneffectief. Doordat niet-destructieve onderzoeksmethoden steeds op precies dezelfde locaties herhaalbaar zijn kan het verloop van de kwaliteit in de tijd worden vastgesteld. In vergelijking met destructief onderzoek worden veel meer meetdata verzameld waardoor een beter beeld wordt verkregen van de variatie in de laagdikte en de kwaliteit van de bekleding.

In de tachtiger jaren is onderzoek uitgevoerd naar meetmethoden voor een diagnosesysteem voor asfaltbekledingen van zeedijken [Greeuw, 1989].

Daarin is de bruikbaarheid van een aantal niet-destructieve onderzoeksmethoden onderzocht. De beschouwde technieken meten bijvoorbeeld de respons op radargolven, nucleaire bronnen, elektrische velden, seismische golven of een mechanisch valgewicht. Uit de respons kunnen eigenschappen worden afgeleid zoals het vochtgehalte, de dichtheid of de stijfheid van een materiaal. Deze grootheden hebben een relatie met de kwaliteit en duurzaamheid. De technieken kunnen ook inzicht geven in de kwaliteit van de directe ondergrond onder het asfalt. Verder kunnen zwakke plekken zoals niet zichtbare scheuren of andere discontinuïteiten worden gelokaliseerd.

Op dit moment zijn de drie meest relevante niet-destructieve onderzoeksmethoden:

- met een nucleaire bron de dichtheid van de bekleding bepalen;
- met radargolven de laagdikte van de bekleding bepalen;
- met een valgewicht-deflectiemeter het draagvermogen van de bekleding en de directe ondergrond bepalen.

De bovenstaande niet-destructieve onderzoeksmethoden worden in de onderstaande paragrafen behandeld.

B5.2 NUCLEAIRE DICHTHEIDSMETER

De nucleaire dichtheidsmeter is een handzaam instrument dat op het asfalt wordt gezet of aan een voertuig wordt bevestigd. Met deze snel uitvoerbare puntmeting kan een dichtheid worden bepaald. De dichtheid is een goede maat voor de kwaliteit van een bekleding van asfaltbeton. Een hoge dichtheid duidt op een lage holle ruimte en dus een goede kwaliteit. Daarnaast is de dichtheid van de bekleding een invoerparameter bij de beoordeling op wateroverdrukken.

Een nucleaire dichtheidsmeter bestaat uit drie onderdelen:

- een stralingsbron;
- een detector die de hoeveelheid straling per tijdseenheid opvangt;
- apparatuur die het opgevangen signaal omzet in de gewenste vorm (dichtheid, vochtgehalte)

De methode wordt in de wegenbouw veelvuldig gebruikt om asfalt, funderingen en ondergrond te beoordelen. In het CROW-rapport Dichtheid steenfunderingen nucleair meten [CROW, 1998] wordt hier uitgebreid op ingegaan. In funderingen en de ondergrond kunnen met een nucleaire dichtheidsmeter ook vochtgehalten worden gemeten. Op de foto in figuur B5.1 is een nucleaire dichtheidsmeter op een asfaltverharding te zien.

FIGUUR B5.1 NUCLEAIRE DICHTHEIDSMETER OP EEN ASFALTVERHARING



B5.3 GRONDRADAR

De grondradar (zie figuur B5.2) wordt over het asfalt bewogen waarbij over een zekere lengte continue wordt gemeten. Met behulp van een referentiedikte als ijkpunt kan uit de metingen de laagdikte van de bekleding in de gemeten raai worden bepaald. De methode is ontwikkeld voor bodemanalyse maar is in de wegenbouw in opkomst om de laagdikte te meten [CROW, 2000-c].

Het principe van de grondradar is als volgt: door een zendantenne wordt een hoogfrequente radiogolf (900 tot 1500 MHz) vanaf het maaiveld uitgezonden.

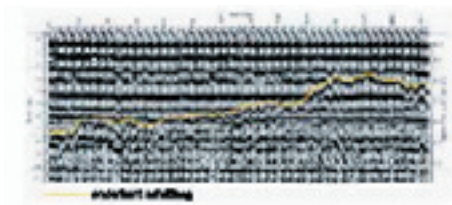
De golf plant zich voort in de ondergrond en bij een discontinuïteit (bijvoorbeeld het grensvlak tussen bekleding en ondergrond) wordt een deel van het signaal gereflecteerd richting maaiveld. De tijd die verstrijkt tussen het uitzenden en ontvangen van de gereflecteerde radargolf wordt geregistreerd door de ontvangstantenne. Met behulp van referentieboorkernen kan hieruit de laagdikte van de bekleding worden afgeleid. In een recent uitgevoerd project was de geconstateerde maximale onnauwkeurigheid van de radar 20 mm [Versluis, 1999-b]. Grotere nauwkeurigheden zijn haalbaar. Het streven naar nauwkeurigheden kleiner dan 10 mm wordt niet zinvol geacht.

In figuur B5.3 is het resultaat van een meting van de laagdikte met behulp van grondradar te zien.

FIGUUR B5.2 RADARMETINGEN OP DE ASFALTBETONBEKLEDING VAN TEXEL – 1999 (FOTO: NPC)



FIGUUR B5.3 BEPALING VAN DE LAAGDIKTE MET BEHULP VAN RADARMETING



B5.4 VALGEWICHT-DEFLECTIEMETER

Een valgewicht-deflectiemeter wordt gebruikt om de stijfheid van de bekleding en de ondergrond te bepalen. De metingen werken als volgt:

Een valgewicht wordt vanaf een vaste hoogte boven de bekleding losgelaten. Als deze het talud treft, zal de bekleding doorbuigen. De doorbuigingen worden gemeten met elektronische versnellingsopnemers (geofoons) die op een meetbalk zijn bevestigd. Het door de geofoons gemeten signaal wordt door integratie omgerekend naar een verplaatsing. Door de verplaatsing uit te zetten tegen de afstand wordt het deflectieprofiel verkregen. Als de laagdikte ter plaatse van de meting bekend is, kan de stijfheid van het asfalt en de ondergrond met een lineair-elastisch rekenmodel worden teruggerekend. Eén meting duurt ongeveer een minuut. Valgewicht-deflectiemeters worden wereldwijd op grote schaal gebruikt bij bepaling van de kwaliteit van verhardingen, fundering en ondergrond van wegen en vliegvelden [CROW, 1995]. Het uitvoeren van valgewicht-deflectiemetingen is mogelijk op taludhellingen van 1:3 en flauwer. In de figuren B5.4 en B5.5 zijn valgewicht-deflectiemetingen te zien.

FIGUUR B5.4 VALGEWICHT-DEFLECTIEMETER OP EEN DIJKTALUD (FOTO NPC)



FIGUUR B5.5 VALGEWICHT-DEFLECTIEMETER: MEETBALK MET GEOFOONS (FOTO: NPC)



BIJLAGE 6

OVERZICHT EIGENSCHAPPEN VAN MEETTECHNIEKEN

B6.1 INLEIDING

In deze bijlage zijn de belangrijkste eigenschappen van meettechnieken samengevat en geordend naar gebruik van de techniek op de gedefinieerde waterkeringelementen uit hoofdstuk 4. Per meettechniek worden de volgende eigenschappen of kenmerken kort beschreven:

- Principe van de techniek;
- Operationaliteit of staat van beschikbaarheid van de techniek;
- Schaalniveau waarop de techniek kan worden ingezet;
Er zijn drie verschillende niveaus onderscheiden [1, 5]. Deze zijn:
 - Niveau 1. Het niveau van het gehele beheergebied; de meettechniek kan worden ingezet voor een quick scan van alle waterkeringen.
 - Niveau 2. Het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.
 - Niveau 3. Het niveau van het dwarsprofiel van de kering; de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.
- (Mogelijke) toepasbaarheid van de techniek;
Op basis van ervaringen uit het waterkeringbeheer of andere vakgebieden wordt een uitspraak gedaan over de (mogelijke) toepasbaarheid van de techniek in het waterkeringbeheer. Indien voor zover bekend nog geen ervaringen zijn opgedaan in het waterkeringbeheer wordt gesproken over mogelijke toepasbaarheid.
- Inzetbaarheid van de techniek;
Er wordt een uitspraak gedaan onder welke omstandigheden de techniek inzetbaar is.
- Enkele leveranciers van de techniek;
- Kostenoverzicht van de techniek (indien beschikbaar).

B6.2 TECHNIEKEN VOOR METINGEN IN HET GEOMETRISCHE PROFIEL

B6.2.1 INLEIDING

De inspectietechnieken die de verschillende aspecten van het geometrische profiel bemeten (hoogte, breedte, veranderingen hierin, etc.) spelen in op faal- en bezwijkmechanismen die hiermee specifiek te maken hebben. Dit zijn de volgende faalmechanismen:

- overloop, overslag. Indien de waterkering niet voldoet aan het vereiste profiel, kunnen overloop en overslag plaatsvinden. Als gevolg van overloop en overslag kan het faalmechanisme erosie plaatsvinden.
- eventuele afschuivingen. Normaliter vinden afschuivingen vrij plotseling plaats. Het kan zijn dat het proces in aanloop op afschuivingen of de afschuiving zelf niet wordt waargenomen door de periode tussen de metingen.

FIGUUR B6.1

AANZICHT PROFIEL DIJK MET GRASBEKLEDING



De volgende technieken om het geometrisch profiel en veranderingen hieraan in kaart te brengen worden hierna behandeld:

- Visuele inspecties (paragraaf 5.3.2);
- Laseraltimetrie (paragraaf 5.3.3);
- Zichtbaar licht fotografie / fotogrametrie (paragraaf 5.3.4);
- Radar-interferometrie (paragraaf 5.3.5);
- 3D GPS (paragraaf 5.3.6);
- Waterpassing, theodolieten, etc. (paragraaf 5.3.7);
- Zeer gevoelige seismologische technieken (paragraaf 5.3.8);
- Sonar (paragraaf 5.3.9).

B6.2.2 VISUELE INSPECTIES

B6.2.2.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Visuele inspecties vormen reeds eeuwen lang de primaire bron van informatie over de toestand van waterkeringen. Ervaren inspecteurs inspecteren de waterkering op afwijkingen zoals beschreven in hoofdstukken 3 en 4. De term visuele inspecties dekt niet de gehele lading omdat ook de andere zintuigen bij het inspecteren worden ingeschakeld. Tegenwoordig kan de inspecteur gebruik maken van diverse hulpmiddelen (digitale verwerking resultaten, etc.) om de resultaten van de inspecties op te slaan. Visuele inspecties kunnen worden ondersteund met diverse middelen zoals het digitaal kunnen opslaan van waarnemingen op veldcomputers.

B6.2.2.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Reeds eeuwen operationeel.

B6.2.2.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2 en in beperkte mate niveau 3.

B6.2.2.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Visuele inspecties worden toegepast voor alle zichtbare aspecten van de waterkering en zijn omgeving en afgeleide parameters (v.b.: verzakte stenen in een bekleding kunnen wijzen op een gat onder de bekleding).

Met visuele inspecties wordt getracht het voorkomen van zoveel mogelijk faalmechanismen te identificeren.

B6.2.2.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Visuele inspecties kunnen in principe onder alle omstandigheden (reguliere en bijzondere omstandigheden) worden uitgevoerd, zolang de veiligheid van de inspecteurs niet in het geding komt. De veiligheid van inspecteurs kan in het geding zijn bij bijvoorbeeld zeer zware stormen of verwachte of aangetoonde instabiliteit van de kering.

B6.2.2.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Beheerders hebben gekwalificeerd personeel in dienst.

B6.2.2.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Loonkosten (geschat op € 50,- per km).

B6.2.3 LASERALTIMETRIE**B6.2.3.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Zie paragraaf 5.2.3 voor de uitleg van het principe van de techniek. De laseraltimeter kan op verschillende platforms worden bevestigd (bijvoorbeeld helikopters en vliegtuigen).

B6.2.3.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel.

B6.2.3.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2.

B6.2.3.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- hoogte van de kering en veranderingen hierin;
- profiel van de kering (kruinbreedte, taludhellingen (o.a.: tonronde van het talud), hoogte/breedte van stortbermen) en veranderingen hierin:
 - zetting van de ondergrond;
 - klink van het dijklichaam;
 - verzakking en verschuivingen, bijvoorbeeld door instabiliteit van de ondergrond, het gevolg van piping, gevolgen van aardgaswinning;
- indien voldoende groot: verzakkingen, dan wel omhoogkomen van stenen en afschuiven van de bekleding;
- bij voldoende grote verzakkingen zijn holle ruimtes en geulvorming onder de bekleding mogelijk af te leiden;
- aanwezigheid van waterkering vreemde objecten.

Veelal wordt gebruik gemaakt van een combinatie van laseraltimetrie en video-opnamen voor de interpretatie van gegevens.

B6.2.3.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek kan worden ingezet bij de juiste atmosferische omstandigheden.

B6.2.3.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Fugro, Terra-Imaging, Haskoning/Hansa Lufbild/ITC, Oranjewoud, DHV/Eurosence, QinetiQ Survey.

B6.2.3.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Onderstaand is een globaal indicatief kostenoverzicht opgenomen van de inzet van laseraltimetrie. Eén en ander is afhankelijk van de te vliegen afstand en de wensen van gebruikers. Voor een gerichte kostenopgave kunt u contact opnemen met de leveranciers.

- Minder dan 500 km: variërend van ongeveer € 400 - € 500 per km;
- Meer dan 500 km: ongeveer € 300 per km;

Bewerken gegevens:

- Variërend van € 0 tot € 800 per km (afhankelijk van de wens van de gebruiker).

B6.2.4 ZICHTBAAR LICHT FOTOGRAFIE / FOTOGRAMETRIE**B6.2.4.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

In paragraaf 5.2.2 is een toelichting gegeven op zichtbaar licht fotografie en fotogrametrie. Zichtbaar licht fotografie heeft vele toepassingsvelden: fotografie, videografie en interpretaties van de ingewonnen beelden. Foto- en video-opnamen kunnen vanaf een grote verscheidenheid aan platforms worden gemaakt. Voorbeelden hiervan zijn: satellieten, helikopters, vliegtuigen, etc..

B6.2.4.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel.

B6.2.4.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2.

B6.2.4.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Fotografische beelden kunnen worden gebruikt voor oriëntatie in het landschap, het waarnemen van veranderingen (mutatiedetectie), beoordeling van aandachtsgebieden van de waterkering, handhaving van de keur, etc.. Fotografische technieken in het zichtbare deel van het lichtspectrum, spelen in op de visueel waarneembare aspecten van de waterkering. Afhankelijk van het detailniveau van de waar te nemen aspecten en van de foto's kunnen verschillende inspectieparameters worden gemonitord.

B6.2.4.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Fotografische technieken kunnen worden ingezet indien de meteorologische omstandigheden dit toelaten: helder zicht, geen lage bewolking, geen smog, etc..

B6.2.4.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Fugro, Terra-Imaging, ITC/Royal Haskoning/Hansa Lufbild, Oranjewoud, DHV/Eurosence, QinetiQ Survey, VB Ecoflight, Imagem, NEO BV, etc..

B6.2.4.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie beschikbaar. De kosten variëren onder invloed van de bewerkingen die noodzakelijk zijn om het beeldmateriaal te interpreteren.

B6.2.5 RADAR-INTERFEROMETRIE

B6.2.5.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De werking van radar is weergegeven in paragraaf 5.2.4. Met radar-interferometrie worden kleine verplaatsingen (in x-, y- en z-richting) van bepaalde vaste, meetbare objecten in het veld bepaald. De radar kan vanaf verschillende platforms metingen verrichten (satelliet, mogelijk in de toekomst vanuit een vliegtuig).

B6.2.5.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Momenteel wordt onderzoek uitgevoerd naar de toepasbaarheid van satelliet radar-interferometrie. TNO-FEL heeft een onderzoeksprogramma voor de ontwikkeling van vliegtuig-based radar-interferometrie.

B6.2.5.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2.

B6.2.5.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- veranderingen in de hoogtes van het profiel van waterkeringen als gevolg van:
 - zetting van de ondergrond;
 - klink van het dijklichaam;
 - verzakking (bijvoorbeeld door instabiliteit van de ondergrond, het gevolg van piping, gevolgen van aardgaswinning);
- indien over een voldoende groot gebied: verzakkingen, dan wel omhoogkomen van stenen en afschuiven van de bekleding;
- bij voldoende grote verzakkingen zijn holle ruimtes en geulvorming onder de bekleding mogelijk af te leiden aan verzakkingen aan het oppervlakte van de kering.

Voor de toepassing van deze techniek is het van groot belang dat “coherent targets” (meetbaar, niet aan grote verplaatsing onderhevig) aanwezig zijn. Waterkeringen in stedelijk gebied en het stedelijk gebied zelf zijn naar verwachting goede toepassingsgebieden voor radar-interferometrie.

B6.2.5.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Momenteel wordt onderzoek verricht naar de toepasbaarheid van satelliet radar-interferometrie op waterkeringen. Vliegtuig-based radarinterferometrie wordt nog ontwikkeld door TNO-FEL.

B6.2.5.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Vexcel The Netherlands (voorheen Synoptics), TNO-FEL (ontwikkeling van airborne-variant).

B6.2.5.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie voorhanden. Hiervoor kunt u contact opnemen met de leveranciers van de techniek.

B6.2.6 3D GPS

B6.2.6.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Met behulp van het Global Positioning System (GPS) kan op basis van verschillende satellieten de positie van de ontvanger van satellietgegevens worden bepaald met een nauwkeurigheid van ongeveer 10 meter. Voor landmeetkundige toepassingen is de nauwkeurigheid vergroot doordat hiervoor signalen in radiofrequenties worden meegezonden. Op deze wijze kunnen x-, y- en z-coördinaten worden bepaald.

B6.2.6.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel.

B6.2.6.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.2.6.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- steekproefsgewijs: hoogte van de kering en veranderingen hierin. Veranderingen zijn moeilijk te meten omdat de bepalingen vaak net op een andere locatie worden uitgevoerd dan de eerdere metingen;
- profiel van de kering (kruinbreedte, taludhellingen (o.a.: tonrondte van het talud), hoogte/breedte van stortbermen) en veranderingen hierin (Veranderingen zijn moeilijk te meten omdat de bepalingen vaak net op een andere locatie worden uitgevoerd dan de eerdere metingen).

B6.2.6.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

3D-GPS bepalingen kunnen in principe onder alle omstandigheden (reguliere en bijzondere omstandigheden) worden uitgevoerd, zolang de veiligheid van de landmeters niet in het geding komt. De veiligheid van de landmeters kan in het geding zijn bij bijvoorbeeld zeer zware stormen of verwachte of aangetoonde instabiliteit van de kering.

B6.2.6.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Ingenieursbureaus en aannemers hebben 3D-GPS ploegen in dienst. Enkele verkopers van meetapparatuur zijn onder andere Leica Geosystems en TOPCON Nederland.

B6.2.6.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Kosten van waterpassing met traditionele middelen en de 3D-GPS kunnen uiteenlopen. Veelal is deze informatie via de bedrijven te achterhalen of bij de waterkeringbeheerder zelf aanwezig.

B6.2.7 WATERPASSING, THEODOLIETEN, TACHYMETERS, ETC.

B6.2.7.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Middels het richten van een meetinstrument (traditionele instrumenten of geautomatiseerde digitale instrumenten) op een baak of meetpunt kunnen hoogtes worden bepaald, ten opzichte van een bepaald referentiepunt. De metingen worden lokaal uitgevoerd en geven daarom in principe alleen een beeld van het gemeten punt. Resultaten tussen meetpunten worden geïnterpoleerd. Het inmeten van dwarsprofielen van waterkeringen vindt normaal per 50 tot 150 meter plaats.

B6.2.7.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel in vele vormen: Traditioneel handmatig tot aan volledig automatische waterpasinstrumenten.

B6.2.7.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.2.7.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- hoogte van de kering en veranderingen hierin. Dit is echter wel lastig om aan te tonen omdat het puntmetingen betreft;
- profiel van de kering (kruinbreedte, taludhellingen (o.a.: tonrondte van het talud), hoogte/breedte van stortbermen).

Waterpassing wordt gebruikt voor het bepalen van de hoogtes van punten ten opzichte van een referentiepunt. Profielen van het maaiveld kunnen op deze wijze worden ingemeten.

B6.2.7.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Waterpassing kan in principe onder alle omstandigheden (reguliere en bijzondere omstandigheden) worden uitgevoerd, zolang de veiligheid van de uitvoerders niet in het geding komt. De veiligheid kan in het geding zijn bij bijvoorbeeld zeer zware stormen of verwachte of aangetoonde instabiliteit van de kering.

B6.2.7.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Uitvoerders zijn ingenieursbureaus en aannemers (o.a.: Arcadis, Fugro, DHV, Oranjewoud, Heijmans, Volker Stevin, etc.). Enkele verkopers van meetapparatuur zijn onder andere Leica Geosystems en TOPCON Nederland.

B6.2.7.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Kosten van waterpassing met traditionele middelen en de nieuwste apparatuur lopen sterk uiteen. Veelal is deze informatie via de bedrijven te achterhalen of bij de waterkeringbeheerder zelf aanwezig.

B6.2.8 ZEER GEVOELIGE SEISMOLOGISCHE TECHNIEKEN**B6.2.8.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Sensoren worden in de bodem ingebracht op verschillende afstanden van elkaar. Deze sensoren registreren trillingen in de bodem veroorzaakt door beweging. Mogelijke oorzaken zijn verzakkingen van (delen van) de kering, grondwaterstroming, graafwerkzaamheden, verkeer, vandalisme, etc. Het is zaak om de (natuurlijke) achtergrondtrillingen te scheiden van de trillingen veroorzaakt door incidenten (verzakkingen, grondwaterstroming, etc.).

B6.2.8.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel in een aantal toepassingvelden, maar nog niet getest in waterkeringen.

B6.2.8.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.2.8.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- Bewegingen in de kering veroorzaakt door verzakkingen, grondwaterstromingen, werkzaamheden, verkeer, vandalisme, etc.

B6.2.8.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek is in principe in te brengen in keringen en functioneert waarschijnlijk onder omstandigheden die in de bodem voorkomen.

B6.2.8.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Awenyddion.

B6.2.8.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Onbekend. Moet uit experimenten naar de toepasbaarheid blijken.

B6.2.9 SONAR**B6.2.9.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Er zijn twee soorten sonar: de actieve en passieve sonar. Bij actieve sonar wordt een geluidssignaal uitgestuurd. De weerkaatsing van het signaal geeft informatie over het object waarop het is gestuit. De tijd die verstrijkt tussen uitzending van de impuls en de ontvangst van de weerkaatsing geeft informatie over de afstand van het object [7].

B6.2.9.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel en wordt onder andere toegepast door meetboten van aannemers en Rijkswaterstaat en Defensie.

B6.2.9.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2, mogelijk niveau 3.

B6.2.9.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- diepte van de onderwaterbodem;
- profiel van de onderwaterbodem.

Sommige sonars kunnen driedimensionale beelden tonen. Deze worden onder andere gebruikt voor het in kaart brengen van waterbodems, bijvoorbeeld voor en na de uitvoering van baggerwerkzaamheden. Deze toepassing worden ook wel lodingen of echopeilingen genoemd. Passieve sonars worden voornamelijk gebruikt voor militaire toepassingen. Deze zenden geen impulsen uit maar gebruiken achtergrondgeluiden om informatie uit af te leiden [7].

B6.2.9.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Sonar kan worden uitgevoerd voor zover weersomstandigheden (wind, golven, etc.) dit toelaten. Metingen kunnen worden verstoord door weersomstandigheden en de veiligheid van scheepsbemanningen kan in bepaalde gevallen in gevaar zijn.

B6.2.9.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Baggeraars (mogelijk: Ballast Ham, Boskalis BV, Van Oord ACZ), Rijkswaterstaat en Defensie.

B6.2.9.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Ongeveer € 400 - € 700 per km (afhankelijk van het aantal te varen raaien, de lengte van de raaien, bij een minimaal in te meten lengte waterbodem, etc.). Voor een gerichte kostenopgave kunt u contact opnemen met de leveranciers van de techniek.

B6.2.10 GLASVEZELTECHNIEKEN**B6.2.10.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

In een grondlichaam of kunstwerk worden netwerken (kabels, matten, etc.) van glasvezels gelegd waaraan verschillende sensoren aan zijn gekoppeld. Enkele voorbeelden van sensoren zijn rek- en trek sensoren, temperatuursensoren, vochtsensoren, etc. Een verzonden lichtpuls door de glasvezel kabel levert een zogenaamde echo. De echo geeft informatie over de status van de constructie waarin de glasvezelkabel zich bevindt (zie ook paragraaf 5.6.4).

B6.2.10.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is in Nederland toegepast op verschillende andere toepassingsvelden, maar nog niet binnen het waterkeringbeheer. De techniek lijkt zich in Duitsland bewezen te hebben op waterkeringen.

B6.2.10.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.2.10.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- hoogte van de kering en veranderingen hierin;
- profiel van de kering (kruinbreedte, taludhellingen (o.a.: tonronde van het talud), hoogte/breedte van stortbermen) en veranderingen hierin veroorzaakt door bijvoorbeeld:
 - zetting van de ondergrond;
 - klink van het dijklichaam;
 - verzakking en afschuiving, bijvoorbeeld door instabiliteit of scheuring van de ondergrond of het gevolg van piping, gevolg aardgaswinning.
- Grondwaterstroming door de verschillende bodemlagen en veranderingen hierin;
- Bodemvocht en veranderingen hierin op de locaties waar de sensoren zijn gelokaliseerd;
- Mogelijk holle ruimtes en geulvorming onder de bekleding (af te leiden uit bijvoorbeeld de stroming van grondwater).

B6.2.10.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek is in principe in te brengen in keringen en functioneert waarschijnlijk onder omstandigheden die in de bodem voorkomen.

B6.2.10.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Baas R&D/Gemeente Werken Rotterdam, GTC Kappelmeyer GmbH (Duitsland), Arcadis.

B6.2.10.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Hiervoor kunt u contact opnemen met de leveranciers van de techniek.

B6.3 TECHNIEKEN VOOR METEN AAN BODEMOPBOUW

B6.3.1 INLEIDING

De inspectietechnieken die de verschillende aspecten van de bodemopbouw bemeten (laagopbouw, veranderingen hierin, etc.) spelen in op faal- en bezwijkmechanismen die hiermee specifiek te maken hebben. Dit zijn de volgende faalmechanismen:

- Macro-instabiliteit aan de binnenzijde;
- Micro-instabiliteit aan de binnenzijde en buitenzijde;
- Piping;
- Heave.

Kennis over de bodemopbouw kan helpen om bovenstaande faal- en bezwijkmechanismen beter te leren begrijpen en te voorspellen. De volgende technieken om de bodemopbouw te identificeren worden hierna behandeld:

- Grondradar in combinatie met EM-tracers (paragraaf 5.4.2);
- Oppervlaktegolf metingen (paragraaf 5.4.3);
- Boringen en sonderingen (paragraaf 5.4.4).

B6.3.2 GRONDRADAR IN COMBINATIE MET EM-TRACERS

B6.3.2.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De werking van radar en elektromagnetische tracers (EM-tracers) zijn weergegeven in paragrafen 5.2.4 en 5.2.5. Opgemerkt wordt dat:

- hoogfrequente systemen worden gebruikt voor het opsporen van afwijkende natte dan wel droge delen in dijken en kaden;
- laagfrequente systemen worden ingezet voor het karteren van de interne opbouw van het dijklichaam.

B6.3.2.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel maar nog niet of nauwelijks toegepast binnen het waterkering-beheer. In het begin van de jaren '90 zijn experimenten uitgevoerd met wisselende resultaten. De techniek is de laatste jaren sterk ontwikkeld.

B6.3.2.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.3.2.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- Karteren van de bodemopbouw en mogelijk veranderingen hierin waarmee onder andere:
 - mogelijk zwakkere plekken in kaart kunnen worden gebracht;
 - mogelijk locaties in kaart kunnen worden gebracht waar potentieel specifieke faal- en bezwijkmechanismen kunnen optreden.

B6.3.2.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De inzetbaarheid van de techniek kan worden beperkt tijdens zeer natte perioden. Water (en de daarin opgeloste stoffen) kunnen de radarsignalen verstoren.

B6.3.2.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Arcadis, Grontmij (MAP Surveying), Fugro, Netherlands Pavement Consultants, T&A Survey en via grote ingenieurbureaus.

B6.3.2.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Er zijn geen gegevens voorhanden.

B6.3.3 OPPERVLAKTEGOLF METINGEN

B6.3.3.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Oppervlaktegolfmetingen worden toegepast om in de ondiepe ondergrond de bodemopbouw van grondlichamen te kunnen bepalen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van seismische golven die kunstmatig worden opgewekt. De wijze waarop de golven zich vervolgens door de bodem transporteren geven informatie over de opbouw en bodemeigenschappen van de verschillende lagen.

B6.3.3.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is door TNO-NITG ontwikkeld en voor zover bekend nog niet op waterkeringen getest.

B6.3.3.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 3 (mogelijk ook 2).

B6.3.3.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- karteren van de bodemopbouw en mogelijk veranderingen hierin (indien over een periode meerdere metingen worden verricht):
 - type bodemlagen;
 - dikte van deze lagen;
 - bepalen van schuifgolfsnelheden en stijfheidsmodussen.
- in kaart brengen van holle ruimtes, zwakkere plekken, etc..

B6.3.3.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Er zijn geen beperkingen bekend over de inzetbaarheid van de techniek behalve die van het waarborgen van een veilige situatie voor de mensen die de bepalingen uitvoeren.

B6.3.3.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

TNO-NITG.

B6.3.3.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Er zijn geen gegevens voorhanden.

B6.3.4 BORINGEN EN SONDERINGEN

B6.3.4.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Met boringen en sonderingen worden eigenschappen van de bodem bepaald door grondmateriaal naar boven te brengen en dit te onderzoeken (in het veld of laboratoria) en in geval van sonderingen geeft de weerstand die het bodemmateriaal geeft op een in de bodem gedrukte lans informatie over het bodemmateriaal. In laboratoria kunnen verschillende eigenschappen van het bodemmateriaal worden bepaald (vochtgehalte, percentages humus en lutum, soorten bodemdeeltjes, verontreinigingen, etc.).

B6.3.4.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Beide technieken zijn sinds lange tijd operationeel inzetbaar.

B6.3.4.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 3.

B6.3.4.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- In kaart brengen van de bodemopbouw;
- Bepalen van de eigenschappen van de bodem;
- Met behulp van de gegevens kunnen grondwaterstromingen door de verschillende bodemlagen worden bepaald. Om dit te ondersteunen worden peilbuizen geïnstalleerd.

Alleen ter plaatse van de boring of sondering wordt een exact beeld verkregen van de bodemeigenschappen. Interpolatie van de bodem tussen de boringen levert onnauwkeurigheden op.

B6.3.4.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De technieken kunnen worden gebruikt om lokaal (niveau 3) bodemeigenschappen te bepalen. Inter- en extrapolatie van de gegevens brengen onnauwkeurigheden met zich mee.

B6.3.4.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Boringen en sonderingen worden uitgevoerd door diverse (milieu-) advies- en ingenieursbureaus. Enkele voorbeelden zijn Arcadis, Fugro, DHV, Oranjewoud, IJsselmeerbeton, etc.

B6.3.4.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Hiervoor kunt u contact opnemen met de leveranciers van de techniek.

B6.4 TECHNIEKEN VOOR METINGEN AAN BEKLEDINGEN

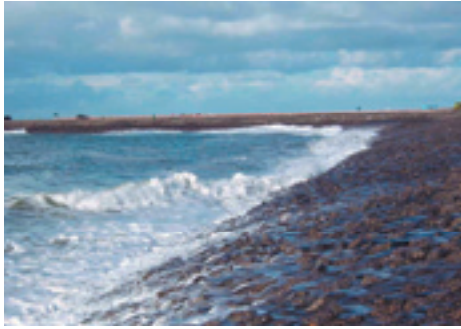
B6.4.1 INLEIDING

Er zijn verschillende typen bekledingen voor waterkeringen. Voornamelijk zijn dit:

- grasbekledingen;
- stenen bekledingen (gezette en gestorte stenen, al dan niet ingewassen met beton of asfalt);
- asfaltbekledingen.

FIGUUR B6.2

MET ASFALT INGEWASSEN ZETSTEEN EN DIJK MET GRASBEKLEDING



De inspectietechnieken die de verschillende aspecten van de kwaliteit van de bekledingen monitoren spelen in op de volgende faal- en bezwijkmechanismen:

- piping en heave. Indien piping en heave plaatsvinden kan dit weerslag hebben op de kwaliteit van de bekleding.
- erosie van de toplaag. Door kale plekken in de bekledingen kan bij neerslag, overslag en overloop erosie versneld plaatsvinden.
- overloop en overslag. Ook verzakkingen van de dijk kunnen invloed hebben op de kwaliteit van de bekleding.

De volgende technieken worden hierna behandeld:

- Visuele inspecties (paragraaf 5.5.2);
- Zichtbaar licht fotogrammetrie (paragraaf 5.5.3);
- Nabij infrarood fotogrammetrie (paragraaf 5.5.4);
- Thermisch infrarood fotogrammetrie (paragraaf 5.5.5).

B6.4.2 VISUELE INSPECTIES

B6.4.2.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Visuele inspecties vormen reeds eeuwen de primaire bron van informatie over de toestand van waterkeringen. De term visuele inspecties dekt niet de gehele lading omdat ook de andere zintuigen bij het inspecteren worden ingeschakeld. Visuele inspecties kunnen worden ondersteund met diverse middelen zoals het digitaal kunnen opslaan van waarnemingen op veldcomputers.

B6.4.2.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is reeds eeuwen operationeel.

B6.4.2.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2 en in beperkte mate niveau 3.

B6.4.2.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Visuele inspecties richten zich bij de inspecties van bekledingen op aspecten zoals beschreven in paragraaf 4.3.

B6.4.2.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Visuele inspecties kunnen in principe onder alle omstandigheden (reguliere en bijzondere omstandigheden) worden uitgevoerd, zolang de veiligheid van de inspecteurs niet in het geding komt.

B6.4.2.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Beheerders hebben gekwalificeerd personeel in dienst.

B6.4.2.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Loonkosten (geschat op € 50,- per km).

B6.4.3 ZICHTBAAR LICHT FOTOGRAFIE / FOTOGRAMETRIE**B6.4.3.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Een beschrijving van de principes van inspecteren met zichtbaar licht fotogrametrie is gegeven in paragraaf 5.2.2 en paragraaf 5.3.4.

B6.4.3.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is in principe operationeel. Het hangt van het detailniveau van de foto's af welke objecten kunnen worden geïnspecteerd. Afhankelijk van de meteorologische omstandigheden kan de techniek worden ingezet.

B6.4.3.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2.

B6.4.3.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Fotografische beelden kunnen worden gebruikt voor oriëntatie in het landschap, het waarnemen van veranderingen (mutatiedetectie), beoordeling van aandachtsgebieden van de waterkering, handhaving van de keur, etc.. Fotografische technieken in het zichtbare deel van het lichtspectrum, spelen in op de visueel waarneembare aspecten van de waterkering.

B6.4.3.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Fotografische technieken kunnen worden ingezet indien de meteorologische omstandigheden dit toelaten: helder zicht, geen lage bewolking, etc..

B6.4.3.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Fugro, Terra-Imaging, Royal Haskoning / Hansa Lufbild, Oranjewoud, DHV / Eurosence, Qinetic Survey, VB Ecoflight, Imagem, NEO BV, etc..

B6.4.3.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie beschikbaar. De kosten variëren onder invloed van de bewerkingen die noodzakelijk zijn om het beeldmateriaal te interpreteren.

B6.4.4 NABIJ INFRAROED FOTOGRAMETRIE**B6.4.4.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Nabij infrarood fotogrametrie wordt gebruikt om de kwaliteit van gewassen te bepalen. Ieder gewas heeft een specifiek absorptiespectrum dat bij een bepaalde kwaliteit van het gewas hoort. Indien de gewassen in kwaliteit achteruit gaan, zal dit zichtbaar worden in het absorptiespectrum.

B6.4.4.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel toepasbaar bij de bepaling van de kwaliteit van bijvoorbeeld bomen en struiken. Voorbeelden van toepassing bij grasmatten op waterkeringen zijn niet bekend.

B6.4.4.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveaus 1 en 2.

B6.4.4.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Nabij infrarood fotogrammetrie kan mogelijk worden ingezet om de kwaliteit van grasbekledingen op waterkeringen te bepalen.

B6.4.4.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Fotografische technieken kunnen worden ingezet indien de meteorologische omstandigheden dit toelaten: helder zicht, geen lage bewolking, etc..

B6.4.4.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

VB Ecoflight.

B6.4.4.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie beschikbaar.

B6.4.5 THERMISCH INFRAROED FOTOGRAMMETRIE

B6.4.5.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Nabij infrarood fotogrammetrie wordt gebruikt om veranderingen in temperatuur te lokaliseren. Die temperatuursverschillen kunnen bijvoorbeeld worden veroorzaakt door het optreden van piping en heave. Het principe is dat grondwater vaak een andere temperatuur heeft dan de bodem op maaiveld niveau. Kwelplekken kunnen worden gelokaliseerd door de verschillen in temperatuur.

B6.4.5.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel toepasbaar. Er zijn enkele ervaringen met de techniek in het waterkeringbeheer.

B6.4.5.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2.

B6.4.5.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek kan worden ingezet bij het detecteren van kwelplekken veroorzaakt door piping en heave.

B6.4.5.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek kan worden ingezet bij de juiste atmosferische omstandigheden.

B6.4.5.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Arcadis, VB Ecoflight, Defensie.

B6.4.5.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie beschikbaar.

B6.5 METEN VAN WATERSPANNING / GRONDWATER

B6.5.1 INLEIDING

Grondwater en bodemvocht spelen een grote rol in het gedrag van waterkeringen. Vaak gaat hier eerst een beïnvloeding van buiten aan vooraf (hoogwater, droogte, extreme neerslag, etc.). Grondwater speelt een belangrijke rol bij de volgende faalmechanismen:

- Piping en heave;
- Macro-instabiliteit binnen en buitenwaarts;
- Micro-instabiliteit aan de binnenzijde;
- Afschuiven (van delen) van de dijk.

Deze faalmechanismen worden geïnitieerd door:

- grondwaterstromingen;
- potentiaal veranderingen van grondwater in verschillende grondlagen (door uitdroging, hoogwater, etc.);
- oververzadiging van de grond;
- etc. etc..

De volgende technieken worden hierna behandeld:

- Bodemonderzoek: peilbuizen (paragraaf 5.6.2);
- Zeer gevoelige seismologische technieken (5.6.3);
- Glasvezelkabels en temperatuursonderingen (paragraaf 5.6.4);
- Waterspanningsmeters (paragraaf 5.6.5).

B6.5.2 BODEMONDERZOEK: PEILBUIZEN

B6.5.2.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Peilbuizen kunnen op verschillende manieren geplaatst en afgelezen worden. Veelal wordt door middel van het plaatsen van een boring een mantelbuis ingebracht waarna een peilbuis wordt geplaatst, al dan niet met kous. Na enige tijd kan het freatisch grondwaterniveau worden afgelezen in de peilbuis. Dit kan handmatig (met een peillood) of continue en geautomatiseerd (met geautomatiseerde peilsystemen). Veelal gebeurt het nog handmatig.

B6.5.2.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel en wordt toegepast in waterkeringen.

B6.5.2.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 3.

B6.5.2.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- In kaart brengen van de bodemopbouw (boringen voorafgaand aan plaatsing peilbuizen) waardoor vervolgens met behulp van verkregen gegevens grondwaterstromingen door de verschillende bodemlagen kunnen worden bepaald;
- Het in monitoren van verschillende stijghoogtes van het grondwater in de verschillende bodemlagen in en onder de waterkering. Op deze wijze kunnen gevaarlijke potentiaalverschillen worden gedetecteerd en kan actie worden ondernomen.

B6.5.2.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek zelf is inzetbaar onder alle omstandigheden, zolang de veiligheid van de veldmedewerkers die de peilbuizen installeren en aflezen niet in gevaar is.

B6.5.2.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

(Milieu)onderzoeksbureaus (o.a.: Arcadis, Oranjewoud, DHV, Witteveen+Bos, TAUW, Royal Haskoning, Fugro, IJsselmeerbeton, T&A Survey, Axiom Archeotech, etc. etc.).

B6.5.2.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie beschikbaar.

B6.5.3 ZEER GEVOELIGE SEISMOLOGISCHE TECHNIEKEN**B6.5.3.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Sensoren worden in de bodem ingebracht op verschillende afstanden van elkaar. Deze sensoren registreren trillingen in de bodem veroorzaakt door beweging van het grondwater. Zie ook paragraaf 5.3.8.

B6.5.3.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is operationeel in een aantal toepassingvelden, maar nog niet getest in waterkeringen.

B6.5.3.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.5.3.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- Bewegingen in de kering veroorzaakt door verzakkingen, grondwaterstromingen, werkzaamheden, verkeer, vandalisme, etc.

B6.5.3.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek is in principe in te brengen in keringen en functioneert waarschijnlijk onder omstandigheden die in de bodem voorkomen.

B6.5.3.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Awenyddion.

B6.5.3.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie voorhanden.

B6.5.4 GLASVEZELKABELS EN TEMPERATUURSSONDERINGEN**B6.5.4.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Met behulp van temperatuursensoren kunnen grondwaterstromingen worden bepaald. Grondwater heeft vaak verschillende temperaturen bij verschillende stroomsnelheden. Dit wordt veroorzaakt door de verblijftijd van het water in een specifiek deel van het grondlichaam. Mogelijkheden om de temperatuur te bepalen zijn het plaatsen van glasvezelnetwerken (kabels, matten, etc., zie ook paragraaf 5.3.10) in een grondlichaam of het in kaart brengen van de temperatuur met behulp van temperatuursonderingen.

B6.5.4.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Glasvezelkabels zijn operationeel toegepast in andere landen op waterkeringen (stuwmeerdammen, dijken, etc.) en andere toepassingsgebieden (kunstwerken, spoorrails, etc.).

B6.5.4.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1, 2 en 3.

B6.5.4.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- Grondwaterstroming door de verschillende bodemlagen en veranderingen hierin;
- Bodemvocht en veranderingen hierin op de locaties waar de sensoren zijn gelokaliseerd;
- Mogelijk holle ruimtes en geulvorming onder de bekleding (af te leiden uit bijvoorbeeld de stroming van grondwater).

B6.5.4.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek is in principe in te brengen in keringen en functioneert waarschijnlijk onder omstandigheden die in de bodem voorkomen.

B6.5.4.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Baas R&D/Gemeente Werken Rotterdam, GTC Kappelmeyer GmbH (Duitsland), Arcadis.

B6.5.4.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie voorhanden.

B6.5.5 PASSIEVE MICROGOLFRADIOMETRIE**B6.5.5.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Deze techniek meet achtergrondconcentraties van microgolven van het aardoppervlak. De metingen kunnen worden uitgevoerd vanuit een vliegtuig. De opgevangen microgolven geven informatie over de vochtigheid van de bovenste bodemlaag / bodemlagen.

B6.5.5.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is toegepast in andere landen. In Nederland is voor zover bekend nog geen specifieke ervaring opgedaan met monitoren van waterkeringen.

B6.5.5.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 1 en 2.

B6.5.5.4 MOGELIJKE TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- Het bepalen van de vochtigheidsgraad en mogelijk het grondwaterniveau van bodems in de bovenste bodemlaag en indien meerde metingen voorhanden zijn het bepalen van veranderingen hierin.

B6.5.5.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek kan worden ingezet bij de juiste atmosferische omstandigheden.

B6.5.5.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Miramap.

B6.5.5.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie voorhanden.

B6.5.6 WATERSPANNINGSMETERS**B6.5.6.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK**

Een waterspanningsmeter is een meter, die op een peilbuis gemonteerd, de waterspanning van het grondwater meet. Het geeft de waterdruk aan die op de sensor werkt. De sensor bestaat uit een rekstrookje op een dun metalen membraan, waartegen het grondwater drukt. Aan de andere kant van het membraan heerst in een afgesloten ruimte een constante druk. [8]

Een ander type waterspanningsmeter is een peilbuis die boven het maaiveld uitsteekt met een filter in een bepaalde bodemlaag. Op basis van een peiling met bijvoorbeeld een peillood kan de stijghoogte van het grondwater worden bepaald.

B6.5.6.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Beide technieken zijn toegepast in Nederlandse bodems. De elektrische waterspanningsmeters worden echter nog niet op grote schaal toegepast waardoor ze erg kostbaar zijn.

B6.5.6.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Niveau 3.

B6.5.6.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

- Het bepalen van waterspanningen of stijghoogtes in verschillende bodemlagen in en onder waterkeringen.

B6.5.6.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De elektrische techniek is in principe in te brengen in keringen en functioneert waarschijnlijk onder omstandigheden die in de bodem voorkomen. Echter, lucht kan de werking van waterspanningsmeters verstoren.

De peilbuizen zijn in te brengen in bodems en functioneren zolang er geen lekkage optreedt langs de peilbuizen naar andere bodemlagen en de bodem rondom de peilbuis niet dichtslibt door wateronttrekkingen.

B6.5.6.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Elektrische waterspanningsmeters: waarschijnlijk GeoDelft, TUDelft en ingenieursbureaus zoals Fugro en Arcadis.

B6.5.6.7 KOSTENOVERZICHT VAN DE TECHNIEK

Geen informatie voorhanden.

