

# INSPECTIE VAN WATERKERINGEN



RAPPORT

2010  
31

INSPECTIE VAN WATERKERINGEN  
EEN OVERZICHT VAN MEETTECHNIEKEN

STOWA

2010

31

ISBN 978.90.5773.486.1



# COLOFON

Amersfoort, mei 2010

UITGAVE STOWA, Amersfoort

AUTEUR

S.W. Bakkenist – BZ Innovatiemanagement b.v.

W.S. Zomer – BZ Innovatiemanagement b.v.

KLANKBORDGROEP/BEGELEIDINGSCOMMISSIE

R. Nolten – Hoogheemraadschap van Delfland

N. Pals – TNO ICT

R. Stellingwerff – Waterschap Vallei en Eem

L. Wentholt – STOWA

L. Zoetemeijer – Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

FOTO OMSLAG W.S. Zomer

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2010-31

ISBN 978.90.5773.486.1

# TEN GELEIDE

Op het IJkdijk terrein ten zuiden van Nieuweschans werkten in de zomer van 2008 zo'n 60 bedrijven en samenwerkende kennisinstellingen samen aan de realisatie van het macrostabiliteitsexperiment. Dat leverde naast fraaie plaatjes van een verschoven proefdijk ook een schat aan gegevens op over het gedrag van de proefdijk voor, tijdens en na falen. Door de aangebrachte sensoren en meters werd de ontwikkeling van het faalmechanisme minitieuze gevolgd. Uiteindelijk werden maar liefst 32.000.000 metingen verzameld! De experimenten en de nadere analyse van de resultaten vormen een vruchtbaar onderzoeksterrein. En er is op dat gebied al veel werk verzet. Het bleef niet bij het macrostabiliteitsexperiment. In 2009 volgden experimentele toepassing van nieuwe inspectietechnieken in de Vlaardingse Kade door Hoogheemraadschap van Delfland en in de Eemshaven door waterschap Noorderzijlvest.

Deze rapportage maakt de kennis en inzichten die tijdens de genoemde experimenten zijn verkregen, beschikbaar voor de beheerpraktijk. Centraal staat de vraag: welke technieken kan ik inzetten om mijn dijk te monitoren? Maar ook: wat zijn de mitsen en maren bij toepassing. Daarbij is dit rapport een tussenstand per voorjaar 2010; de ontwikkelingen gaan onder-tussen volop door. De rapportage beoogt waterkeringbeheerders wegwijs te maken, gericht op toepassing van de inspectietechnieken in het eigen waterkeringbeheer. Want daar is het uiteindelijk allemaal om begonnen. De beheerder wordt dan ook van harte uitgenodigd de voorliggende rapportage aan te vullen met zijn/haar eigen leerervaringen met toepassing van innovatieve inspectietechnieken in de praktijk.

Deze uitgave is een aanvulling op de rapportage Inspectietechnieken van Waterkeringen, een overzicht van meettechnieken uit 2006. De ervaringen met deze nieuwe technologieën in het IJkdijk Macrostabiliteitsexperiment (experimentele toepassing), de LiveDijk toepassing in de Eemshaven (operationele toepassing) en het experiment Vlaardingse Kade door Hoogheemraadschap van Delfland (operationele toepassing) zijn hierna beschreven. Voor 2011 wordt een volledig geïntegreerde uitgave van genoemde rapportage voorzien

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

# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# INSPECTIE VAN WATERKERINGEN EEN OVERZICHT VAN MEETTECHNIKEN

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Leeswijzer	1
	1.3 Bronnen	2
<b>2</b>	<b>METEN VAN BEWEGING</b>	<b>3</b>
	2.1 MEMS technologie	3
	2.1.1 Eigenschappen van de techniek	3
	2.1.2 Eigenschappen van de techniek	3
	2.1.3 Operationaliteit van de techniek	4
	2.1.4 Niveau van de techniek	4
	2.1.5 Toepasbaarheid van de techniek	4
	2.1.6 Inzetbaarheid van de techniek	4
	2.1.7 Enkele leveranciers van de techniek	4

<b>2.2</b>	Thermografische opnamen	5
	2.2.1 Inleiding	5
	2.2.2 Eigenschappen van de techniek	5
	2.2.3 Operationaliteit van de techniek	5
	2.2.4 Niveau van de techniek	5
	2.2.5 Toepasbaarheid van de techniek	5
	2.2.6 Inzetbaarheid van de techniek	6
	2.2.7 Enkele leveranciers van de techniek	6
<b>2.3</b>	Optische metingen	6
	2.3.1 Inleiding	6
	2.3.2 Eigenschappen van de techniek	6
	2.3.3 Operationaliteit van de techniek	7
	2.3.4 Niveau van de techniek	7
	2.3.5 Toepasbaarheid van de techniek	7
	2.3.6 Inzetbaarheid van de techniek	7
	2.3.7 Enkele leveranciers van de techniek	8
<b>2.4</b>	Laseraltimetrie	8
	2.4.1 Inleiding	8
	2.4.2 Eigenschappen van de techniek	8
	2.4.3 Operationaliteit van de techniek	8
	2.4.4 Niveau van de techniek	9
	2.4.5 Toepasbaarheid van de techniek	9
	2.4.6 Inzetbaarheid van de techniek	9
	2.4.7 Enkele leveranciers van de techniek	9
<b>2.5</b>	Mechanische sensoren	9
	2.5.1 Inleiding	9
	2.5.2 Eigenschappen van de techniek	9
	2.5.3 Operationaliteit van de techniek	11
	2.5.4 Niveau van de techniek	11
	2.5.5 Toepasbaarheid van de techniek	11
	2.5.6 Inzetbaarheid van de techniek	11
	2.5.7 Enkele leveranciers van de techniek	11
<b>3</b>	<b>METEN VAN TRILLINGEN</b>	12
<b>3.1</b>	Geluidsmetingen	12
	3.1.1 Inleiding	12
	3.1.2 Eigenschappen van de techniek	12
	3.1.3 Operationaliteit van de techniek	13
	3.1.4 Niveau van de techniek	13
	3.1.5 Toepasbaarheid van de techniek	13
	3.1.6 Inzetbaarheid van de techniek	13
	3.1.7 Enkele leveranciers van de techniek	13
<b>3.2</b>	Optische metingen	13

<b>4</b>	<b>METEN VAN DE TEMPERATUUR</b>	<b>14</b>
<b>4.1</b>	<b>Optische metingen</b>	<b>14</b>
4.1.1	Eigenschappen van de techniek	14
4.1.2	Operationaliteit van de techniek	14
4.1.3	Niveau van de techniek	14
4.1.4	Toepasbaarheid van de techniek	14
4.1.5	Inzetbaarheid van de techniek	14
4.1.6	Enkele leveranciers van de techniek	15
<b>4.2</b>	<b>Thermografische metingen</b>	<b>15</b>
<b>4.3</b>	<b>MEMS Technologie</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>METEN VAN VOCHTGEHALTE</b>	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>MEMS Technologie</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>METEN VAN WATERSPANNINGEN</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	<b>Mechanische sensoren</b>	<b>17</b>
6.1.1	Inleiding	17
6.1.2	Eigenschappen van de techniek	17
6.1.3	Operationaliteit van de techniek	17
6.1.4	Niveau van de techniek	17
6.1.5	Toepasbaarheid van de techniek	17
6.1.6	Inzetbaarheid van de techniek	18
6.1.7	Enkele leveranciers van de techniek	18
<b>6.2</b>	<b>MEMS technologie</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>19</b>
	<b>BIJLAGE</b>	
1	Overzichttabel	21



# 1

## INLEIDING

### 1.1 AANLEIDING

Deze uitgave is een aanvulling op de rapportage *Inspectietechnieken van Waterkeringen, een overzicht van meettechnieken* uit 2006. Inspectie van waterkeringen is volop in ontwikkeling. Sinds de eerste uitgave in 2006 zijn er een flink aantal innovatieve inspectietechnieken ontwikkeld en toegepast in waterkeringen. De ervaringen met deze nieuwe technologieën in het IJkdijk Macrostabiliteitsexperiment (experimentele toepassing), de LiveDijk toepassing in de Eemshaven (operationele toepassing) en het experiment Vlaardingse Kade door Hoogheemraadschap van Delfland (operationele toepassing) zijn hierna beschreven. Voor 2011 wordt een volledig geïntegreerde uitgave van genoemde rapportage voorzien.

Deze rapportage beoogt de waterkeringbeheerder tussentijds een beknopt en toegankelijk overzicht te verschaffen van beschikbare inspectietechnieken voor monitoren van macrostabiliteit van waterkeringen zoals die zijn beproefd in de recente experimenten.

### 1.2 LEESWIJZER

Hierna worden de recentelijk beproefde en toegepaste inspectietechnieken besproken per parameter die relevant is voor het monitoren van het faalmechanisme macrostabiliteit.

De volgende parameters worden besproken:

- Meten van beweging
- Meten van trillingen
- Meten van temperatuur
- Meten van vochtigheid
- Meten van waterspanning

Vervolgens zijn voor elke type inspectietechniek de volgende zaken benoemd:

- Inleiding
- Eigenschappen van de techniek
- Operationaliteit van de techniek (staat van beschikbaarheid). Er zijn drie verschillende niveau's onderscheiden. Deze zijn:
  - *Operationeel & Experimentele toepassing gerealiseerd*; de inspectietechniek is zowel in een operationele als in een experimentele opstelling toegepast en hebben praktisch bruikbare meetresultaten opgeleverd.
  - *Experimentele toepassing met bruikbare meetresultaten*; de inspectietechniek is toegepast in een experimentele opstelling en heeft daar voor de praktijk van het waterkeringbeheer praktische meetresultaten opgeleverd.
  - *Experimentele toepassing zonder bruikbare meetresultaten*; de inspectietechniek is toegepast in een experimentele opstelling en heeft daar voor de praktijk van het waterkeringbeheer geen waardevolle meetresultaten opgeleverd.

- Niveau van de techniek.

Er zijn drie verschillende niveaus onderscheiden. Deze zijn:

- Niveau 1. Het niveau van het gehele beheergebied; de meettechniek kan worden ingezet voor een snelle 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.
- Toepasbaarheid van de techniek (ervaringsfeiten)
- Inzetbaarheid van de techniek (omstandigheden)
- Leveranciers van de techniek

In de conclusies en aanbevelingen worden praktische overwegingen bij verdere toepassing van de beschreven inspectietechnieken vermeld. Hier wordt ook ingegaan op kostenaspecten.

Tenslotte is een overzichtstabel toegevoegd waarin de gegeven informatie is samengebracht in een handzaam en totaal overzicht.

### 1.3 BRONNEN

De teksten vormen een voor de beheerder toegankelijke samenvatting en bewerking van de rapportage van het macrostabiliteitsexperiment met de titel *Macrostabiliteit IJkdijk: sensor- en meettechnologie*. Dit is een uitgave van Rijkwaterstaat van 1 september 2009 met ISBN nummer: 978.90.5773.432.8 en is verkrijgbaar via de stichting IJkdijk, e-mail: [info@ijkdijk.nl](mailto:info@ijkdijk.nl).

Daarnaast is nadere toelichting achterhaald via deskresearch en zijn de gegevens aangevuld met verkregen informatie van betrokkenen rondom het LiveDijk Eemshaven experiment en Vlaardingse Kade experiment. Nadere informatie over het Livedijk Eemshaven experiment kan worden verkregen via [www.livedijk.nl](http://www.livedijk.nl).

# 2

## METEN VAN BEWEGING

### 2.1 MEMS TECHNOLOGIE

#### 2.1.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

MEMS technologie staat voor micro-elektromechanische systemen. MEMS zijn kleine embedded systemen die uit een combinatie van elektronische, mechanische en eventueel chemische componenten bestaan. Ze variëren in grootte van een micrometer tot enkele millimeters, en het aantal dat zich in een bepaald systeem kan bevinden varieert van enkele tot miljoenen.

MEMS kunnen als miniatuur sensoren en actuatoren gebruikt worden. Ze kunnen zo voor verschillende doeleinden gebruikt worden, zoals het meten van de luchtdruk, waterdruk, de temperatuur, het detecteren van bewegingen. Van MEMS zijn er momenteel al vele toepassingen op de markt, en er worden nog steeds meer technologieën en toepassingen voor MEMS ontwikkeld. De meest gebruikte MEMS op de hedendaagse markt zijn accelerometers. De bekendste toepassing situeert zich in airbags.

De MEMS toegepast in het macrostabiliteitsexperiment zijn gebaseerd op deze accelerometers en worden gebruikt voor het meten van beweging in dijklichamen

#### 2.1.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De sensoren zijn (onderling) verbonden met een netwerkkabel. De netwerkkabel zorgt ook voor overdracht van informatie en energievoorziening. De afstand tussen de sensoren kan worden gevarieerd evenals de diepte waarop kabel en sensoren worden aangelegd.

In de experimenten zijn MEMS sensoren het SDP systeem van Koenders Instruments en het GeoBeads systeem van Alert Solutions toegepast.

De aanleg kan zowel verticaal middels sondering (GeoBeads en SDP) als horizontaal (GeoBeads) middels graven van sleuven worden uitgevoerd en is dus invasief (aangebracht in het dijklichaam).

De aanleg van het GeoBeads systeem in de Livedijk Eemshaven is zonder functionele schade aan de waterkerende functie uitgevoerd door een ondiepe sleuf te graven in de lengte richting van de dijk en na aanleg van de sensoren deze te dichten en af te dekken met de oorspronkelijke graszoden.

GEOBEADS MODULE



SDP



### 2.1.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De technologie is toegepast bij het Ijkdijk macrostabiliteitsexperiment, de Livedijk Eemshaven en bij de Vlaardingse Kade. Metingen zijn in real-time beschikbaar via een dataverbinding en internet applicatie.

### 2.1.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.

Inzetbaar op niveau 3. Het niveau van het dwarsprofiel van de kering: de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.

### 2.1.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Meet beweging en vervorming van het dijklichaam.

Bij het macrostabiliteitsexperiment werd beweging geconstateerd ruim 42 uur voor uiteindelijk falen van de waterkering. De uitdaging ligt in het vertalen van een experimentele opzet naar toepassing in de beheerpraktijk.

In de toegepaste systemen wordt naast beweging ook waterspanningen (SDP & Geobeads) en temperatuur (GeoBeads) en bodemvocht (GeoBeads) gemeten.

### 2.1.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Er zijn geen inzet beperkende omstandigheden bekend. Aangezien de technologie invasief wordt aangelegd, zal de wijze van aanleg moet worden bepaald door de beheerder rekeninghoudend met de lokale toestand van de dijk.

### 2.1.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

AlertSolutions ([www.alertsolutions.nl](http://www.alertsolutions.nl)) levert deze technologie onder de naam GeoBeads. Koenders Instruments ([www.koenders-instruments.com](http://www.koenders-instruments.com)) levert deze technologie onder de naam Slimme Dijk Probes (SDP).

## 2.2 THERMOGRAFISCHE OPNAMEN

### 2.2.1 INLEIDING

Met behulp van een camera worden opnamen van een dijklichaam gemaakt waarmee beweging kan worden gedetecteerd. De camera legt beelden vast in het infraroodgebied van het spectrum. Hierdoor worden temperatuurverschillen zichtbaar.

### 2.2.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

Het vaststellen van herkenningspatronen in temperatuursverloop die indicatief is voor vervorming van een waterkering. Daarnaast kunnen de camera's vervormingen van een dijklichaam waarnemen. Deze herkenningspatronen kunnen met behulp van speciale software omgezet in een early-warning system.

De opnamen worden gemaakt vanaf een vaste opstelling gemonteerd op een terreinwagen. Temperatuurverschillen die deze camera's kunnen waarnemen zijn tot ca. 85 milli-Kelvin nauwkeurig. De "sensoredichtheid" van de camera's bedraagt ongeveer 1 meting per vlak van 6 X 6 cm. Dit komt voor het gehele dijkoppervlak overeen met ongeveer 75.000 meetpunten die 25 keer per seconde een waarneming registreren.



### 2.2.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De techniek is toegepast tijdens het Ijkdijk macrostabiliteitsexperiment.

Vervorming is duidelijk waargenomen maar de resultaten van de proef zijn nog te onnauwkeurig om een de omvang van de beweging vast te stellen. Voor een nauwkeurige bepaling van het aantal millimeters vervorming is een meer geavanceerdere camera en een vaste opstelling noodzakelijk; de opnamen vanaf een mobiele meetwagen hebben last van verstoringende externe invloeden.

### 2.2.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken. De techniek geeft een overzicht van enkele honderden meters.

### 2.2.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Naast het vaststellen van temperatuursverandering en vervorming als gevolg van bezwijkmechanismen kan het systeem worden gebruikt voor muskus- en beverrattenbestrijding. De holen van muskusratten en beverratten kunnen worden gedetecteerd door waarneming van de beesten in het opgenomen beeld.



#### 2.2.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Het systeem functioneert niet bij mist. Voor een kwantitatieve bepaling van de vervorming is een vaste opstelling noodzakelijk met een speciale gevoelige camera; deze is niet beproefd.

#### 2.2.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

Intech ([www.intech.nl](http://www.intech.nl)) levert thermografische opnamen onder de naam IDS system.

### 2.3 OPTISCHE METINGEN

#### 2.3.1 INLEIDING

Beweging van een dijklichaam kan worden waargenomen door veranderingen in het optisch signaal in een glasvezelkabel. De glasvezelkabel is daarbij aangebracht in het profiel van de waterkering.

#### 2.3.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De detectiekabel vormt samen met de detectie-unit de kern van het detectiesysteem. Dit systeem werkt op basis van optische detectie. Bij optische detectie dient de kabel als sensor. Er wordt licht door de kabel (de optische geleider) gestuurd. Aan het eind wordt het licht ontvangen en vergeleken met het signaal dat aan het begin is verstuurd. Mechanische vervorming van de kabel wordt gedetecteerd. De kabel wordt over de hele lengte steeds om de 50 cm uitgelezen.

Bewegingen en trillingen worden gesignaleerd door wijziging van frequentie en amplitude van de verschillende kleuren in het spectrum van het verzonden lichtsignaal.

Deze inspectietechniek wordt geleverd in de uitvoering als glasvezelkabel (DikeSurvey/LightSpeedSystems) en als doorlatende strook geotextiel van 0,4 m breed met geïntegreerde optische glasfibers (Inventec/TenCate).

### 2.3.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De toepassing is getest in het IJKdijk macrostabiliteitsexperiment.

### 2.3.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.

Inzetbaar op niveau 3: het niveau van het dwarsprofiel van de kering; de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.

### 2.3.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek kan worden toegepast voor vaststellen van beweging van het dijklichaam.

### 2.3.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Er zijn geen inzet beperkende omstandigheden bekend.

Aangezien de technologie invasief wordt aangelegd, zal de wijze van aanleg moeten worden bepaald door de beheerder met in achtname van de lokale toestand van de dijk.

Bij aanleg in een bestaande waterkering zal het systeem van Dikesurvey worden aangebracht middels ondergronds boren. Voor toepassing van GeoDetect in bestaande waterkeringen is graafwerk nodig.

#### AANLEG LIGHTSPEED SYSTEM (DIKESUVEY) MIDDELS ONDERGRONDS BOREN



#### AANLEG GEODECT (IVENTEC/TENCATE)





### 2.3.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

DikeSurvey/LightSpeedSystems ([www.dikesurvey.com](http://www.dikesurvey.com)) levert deze technologie.

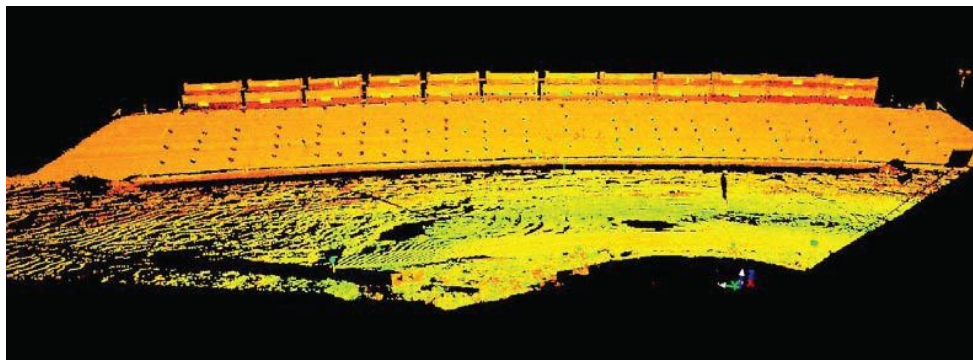
Inventec b.v. / TenCate ([www.inventec.nl](http://www.inventec.nl)) levert deze technologie onder de naam GeoDetect.

## 2.4 LASERALTIMETRIE

### 2.4.1 INLEIDING

Met terrestrische laserscanning is het mogelijk om de geometrie van objecten tot in detail vast te leggen. De scanner meet met een laserpuls de afstand tot punten in de omgeving. De metingen resulteren in een puntenwolk van miljoenen punten, welke elk een positie (x, y, z) en een reflectiewaarde hebben. De laserscanner is tijdens de proef gesitueerd aan de binnenzijde van de dijk en stelt een 3D beeld van het oppervlak van de dijk op. Door de geometrie op verschillende tijdstippen te vergelijken kan vormverandering worden bepaald.

LASERSCAN VAN DE IJKDIJK. DE KLEURENSCHAAL GEEFT DE INTENSITEIT VAN DE REFLECTIES WEER



### 2.4.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De terrestrische laserscans zijn bij het Macrostabiliteitsexperiment opgenomen met de puls-scanner ScanStation 2 van Leica Geosystems. Ongeveer 250.000 metingen beschrijven het dijklichaam op het moment van opname. De originele metingen in bolcoördinaten (afstand, horizontale en verticale hoek) worden door de scanner geleverd in cartesische coördinaten (x, y, z), gegeven in meters.

Acquisitie van een scan neemt rond de 8 minuten in beslag. Een buffer van enkele minuten na acquisitie veroorzaakt een semicontinu meetproces.

Vijf referentiepunten zijn ingezet om verschuivingen tussen de coördinatenstelsels van de scans te kunnen elimineren.

### 2.4.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

De technologie is toegepast in het Ijkdijk macrostabiliteitsexperiment.

De resultaten van de proef bleken door de gekozen opstelling onnauwkeurig. Bij een nieuwe proefopstelling zou gekozen moeten worden voor een hoger instrumentstandpunt en een betere plaatsing van de referentiepunten. Verwacht wordt dat daardoor de meetresultaten sterk verbeteren.



#### 2.4.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.

#### 2.4.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De deformatie van de dijk is waarneembaar vanaf een grootte van 1 cm. Deze deformatie trad reeds 42 uur voor het uiteindelijke bezwijken op, en was ook gelokaliseerd op de plek van het uiteindelijke bezwijken.

#### 2.4.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De techniek kan non-invasief worden toegepast.

De ScanStation 2 heeft een bereik tot 300 meter voor objecten met een albedo waarde (mate waarin licht wordt teruggekaatst) van 90% of meer en 134 meter voor objecten met een albedo waarde van 18%.

Het albedo van klei benadert de 18% zodat de afstand tot de dijk de 134 meter niet mag overschrijden. De reflectie-intensiteit is afhankelijk van de afstand tussen scanner en object. Een kleinere afstand gaat gepaard met een hogere intensiteit en daardoor een grotere kans op een goede afstandsmeting. Daarom is een zo klein mogelijke afstand tot het te meten object gewenst. Gezien mogelijke veiligheidsrisico's voor mensen in het meetgebied van de scanner worden metingen niet uitgevoerd op afstanden korter van 47 meter.

#### 2.4.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

HansjeBrinkers/Leica Geosystems ([www.hansjebrinker.net](http://www.hansjebrinker.net))

### 2.5 MECHANISCHE SENSOREN

#### 2.5.1 INLEIDING

Hierna worden sensoren besproken die een analogoog signaal produceren. Dit signaal kan zowel handmatig als elektronisch worden uitgelezen.

#### 2.5.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

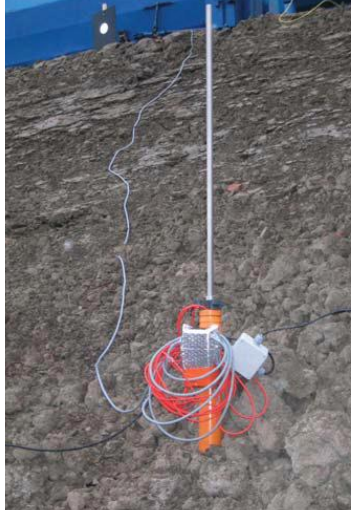
##### INVERTED PENDULUM (IP)

Een inverted pendulum is een type sensor waarmee het mogelijk is de horizontale verplaatsing van een dijklichaam te meten. In principe kan deze meting in twee richtingen uitgevoerd worden maar het spreekt voor zich dat de richting haaks op de waterkering het meest relevant is.



### INPLACE INCLINOMETERS (II)

Een Inplace Inclinator (II) bestaat uit een verticale string van onafhankelijk werkende inclinometers (hellingmeters). Door de gemeten hellingshoeken te vermenigvuldigen met de lengte van de inclinometers en deze bij elkaar op te tellen wordt een horizontaal verplaatsingsprofiel verkregen.



### LIQUID LEVEL SETTLEMENT SENSOR (LLS)

Een elegante en zeer nauwkeurige techniek om verticale zettingen en met name zettingsverschillen te meten, is door middel van een vloeistof-waterpas-systeem. Deze metingen kunnen op twee plaatsen in een waterkering uitgevoerd worden: op de kruin van de waterkering (om zodoende nauwkeurig te controleren of de waterkering aan zettingen onderhevig is en zodoende niet langer voldoet aan de vereiste kerende hoogte) en in de teen van het talud om in een vroeg stadium afschuivingen / instabiliteiten te detecteren.



### 2.5.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Deze mechanische sensoren zijn bij het IJKdijk macrostabiliteitsexperiment toegepast.

De onstabiele toestand van de dijk heeft voor de resultaten in het experiment zeer nadelige gevolgen gehad. De aard van de installatiewerkzaamheden van de Inverted Pendulum, InPlace Inclinator en BAT-waterspanningsmeters noodzaakte het om de buizen waarin de sensoren werden geplaatst aan te brengen voor aanvang van de bouw van de dijk. Deze buizen zijn gedurende bouw van de dijk allen vervormd, waardoor de sensoren niet of ten minste niet optimaal hebben kunnen functioneren. Dit heeft met name gevolgen gehad voor de interpretatie van de absolute meetresultaten.

De meeste sensoren blijken zeer gevoelig zijn geweest voor de activiteiten van de kraanmachine rondom de dijk. De trillingen die deze graaf- en rijwerkzaamheden hebben veroorzaakt geven een verstoord signaal van de sensoren te zien. Aan de ene kant bemoeilijkt dit de interpretatie van de meetwaarden. De algehele trend van verzakking en knikpunten gedurende de verzakking is echter veelal wel terug te zien. Aan de andere kant geeft dit mogelijk een situatie weer wanneer sensoren worden geïnstalleerd in de dijklichaam waarop ook een weg ligt met verkeer.

### 2.5.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.

Inzetbaar op niveau 3: het niveau van het dwarsprofiel van de kering; de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.

### 2.5.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

De sensoren kunnen beweging van het dijklichaam waarnemen.

### 2.5.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Een ideale situatie zou een stabiele dijk zijn, zodat ook een stabiele situatie door de sensoren kan worden geregistreerd. Hierbij zouden ook verschillen in seizoenen en vochttoestand van de dijk in het meetsignaal kunnen worden meegenomen, om meer te weten te komen over de natuurlijke variatie van het sensorsignaal. Dit was niet mogelijk in de huidige opzet door de beperkte duur van het experiment.

### 2.5.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK

RPS-BCC/IFCO levert onder de merknaam IS-Systeem ([www.rps.nl](http://www.rps.nl)).

# 3

## METEN VAN TRILLINGEN

### 3.1 GELUIDSMETINGEN

#### 3.1.1 INLEIDING

Een consortium bestaande uit Volker Wessels Telecom, Landustrie en TNO heeft in het macro-stabiliteitsdijk geëxperimenteerd met de zogenaamde “luisterbuis”. Het doel van deze experimenten was tweeledig namelijk:

- het onderzoeken of met behulp van akoestische instrumenten in een buissysteem een beeld gevormd kan worden van de conditie waarin een dijk verkeerd en
- het onderzoeken of dit buissysteem tegelijkertijd gebruikt kan worden om een dijk te kunnen conditioneren als maatregel tegen piping (hier niet nader uitgewerkt).

#### 3.1.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De akoestische experimenten bestonden uit drie onderdelen:

1. Passieve metingen met microfoons en hydrofoons in de Ijkdijk en losse microfoons op de kanaaldijk; passieve metingen zijn metingen waarbij alleen signalen worden opgevangen, zonder dat een signaal wordt uitgezonden)
2. Metingen in een reeks (arraymetingen) met een streamer in de dijk en een serie luidsprekers bovenop de dijk;
3. Akoestische metingen met een optische sensor in de natte buis. Voor de passieve akoestische metingen zijn geluidsignalen in en rondom de dijk opgenomen met microfoons en hydrofoons.

ARRAY MET HYDROFOONS GEWIKKELD OP EEN KLOS



**3.1.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK**

De technologie is experimenteel toegepast in het IJKdijk macrostabiliteitsexperiment.

**3.1.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK**

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.

Inzetbaar op niveau 3: het niveau van het dwarsprofiel van de kering; de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.

**3.1.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK**

De technologie maakt het mogelijk om geluiden vast te leggen als indicator voor veranderende omstandigheden in de waterkering bijvoorbeeld als gevolg van veranderende waterdrukspanning en/of beweging.

**3.1.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK**

De technologie ondervindt veel ruis signaal van storende omgevingsfactoren.

Tijdens de overslagproef zijn uitgebreide akoestische experimenten uitgevoerd. De analyse laat zien dat veel gebeurtenissen tijdens de metingen zijn vastgelegd. Uit de passieve akoestische metingen is echter nog geen voorspellende waarde gebleken voor het falen van de dijk. Enerzijds is de uitgevoerde analyse nog te beperkt om hier een definitieve uitspraak over te doen. Echter is het de verwachting dat door de invloed van alle externe verstoringen in de signalen het erg moeilijk zal zijn om gebeurtenissen in de dijk te scheiden van gebeurtenissen rondom de dijk.

Voor de array metingen zijn de belangrijkste verbeterpunten de aankoppeling van de bronnen en de gevoeligheid van het hydrofoonarray.

**3.1.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK**

Consortium van Volker Wessels Telecom, Landustrie en TNO ([www.tno.nl](http://www.tno.nl)).

**3.2 OPTISCHE METINGEN**

Trillingen kunnen worden waargenomen door waarnemen van veranderingen in het optisch signaal in een glasvezelkabel. Voor beschrijving van deze inspectietechniek zie paragraaf 2.3.

# 4

## METEN VAN DE TEMPERATUUR

### 4.1 OPTISCHE METINGEN

#### 4.1.1 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De technologie van geeft de mogelijkheid de omgevingstemperatuur langs enkele kilometers lange vezeloptische kabels continu, plaats-specifiek en met hoge nauwkeurigheid te meten. Vergeleken met de conventionele meetmethode beschikt deze techniek over een veel hogere informatiedichtheid, en geeft inzicht in de temperatuurdistributie in waterkeringen.

De methode is gebaseerd op het feit dat de optische eigenschappen van het vezel van de omgevingstemperatuur afhankelijk zijn.

#### 4.1.2 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Deze technologie is al langere tijd operationeel ingezet voor waterbouwkundige constructies als stuwdammen in het buitenland. De technologie is toegepast bij het IJkdijk macrostabiliteitsexperiment en de Livedijk Eemshaven.

#### 4.1.3 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

De horizontale toepassing kan worden ingezet op niveau 1 en 2:

Inzetbaar op niveau 1: het niveau van het gehele beheergebied; de meettechniek kan worden ingezet voor een quick scan van alle waterkeringen.

Inzetbaar op niveau 2: het niveau van een dijkvak; de techniek kan worden ingezet voor gedetailleerd en locatiespecifiek onderzoek in verdachte dijkvakken.

De verticale toepassing kan worden ingezet op niveau 3: het niveau van het dwarsprofiel van de kering; de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.

#### 4.1.4 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Deze technologie kan worden toegepast voor het meten van de temperatuur.

#### 4.1.5 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK

In de waterbouw heeft deze techniek een groot toepassingsgebied. Gedistribueerde vezeloptische temperatuurmetingen kunnen ook ter lokalisatie van kwel in dijken, als ook ter bepaling van temperatuurverdelingen in ongewapend beton ingezet worden.

De technologie kent zowel een toepassing met horizontale als verticale temperatuursensoren.



#### **4.1.6 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK**

GTC Kappelmeyer ([www.gtc-info.de](http://www.gtc-info.de))

#### **4.2 THERMOGRAFISCHE METINGEN**

Het temperatuursverloop als gevolg van een optredend bezwijkmechanisme is waargenomen middels thermografische camera's. Voor een nadere beschrijving van deze technologie zie paragraaf 2.2

#### **4.3 MEMS TECHNOLOGIE**

Metingen van de temperatuur kunnen vaak worden meegeleverd met een MEMS sensor-systeem. Voor beschrijving van deze inspectietechniek paragraaf 2.1.

# 5

## METEN VAN VOCHTGEHALTE

### 5.1 MEMS TECHNOLOGIE

Er is tijdens het IJKdijk macrostabiliteitsexperiment zijn MEMS sensoren voor het meten van vochtgehalte toegepast met behulp van de sensoren EnviroSmart TriScan van leverancier Koenders ([www.koenders-instruments.com](http://www.koenders-instruments.com)), Eijkelkamp ([www.eijkelkamp.nl](http://www.eijkelkamp.nl)), Echo2O-TE van leverancier Decagonal ([www.decagonal.com](http://www.decagonal.com)) en het GeoBeadsysteem geleverd door Alert Solutions ([www.alertsolutions.nl](http://www.alertsolutions.nl)).

Voor beschrijving van deze inspectietechniek zie paragraaf 2.1.



# 6

## METEN VAN WATERSPANNINGEN

### 6.1 MECHANISCHE SENSOREN

#### 6.1.1 INLEIDING

Een BAT-waterspanningsmeter meet de waterspanning of poriëndruk op de diepte waarop het BAT-filter is geplaatst.

Een AP is een druksensor die drukverschillen in een HDPE-slang meet, welke het gevolg kunnen zijn van bewegingen van de kering. De sensoren zijn onderling met elkaar verbonden via de vloeistof in de slang. De sensoren meten de absolute druk in de HDPE vloeistofslang, welke wordt omgezet naar absolute zakking. Dit type sensor wordt ook wel de zakkingstreng genoemd.

#### 6.1.2 EIGENSCHAPPEN VAN DE TECHNIEK

De BAT-waterspanningsmeters bestaan uit gasbuizen van ongeveer 2,54 cm diameter met een BAT filtertip aan het einde van de buis op de diepte waar de waterspanning moet worden gemeten.

De AP zijn geplaatst in de kruin van de dijk op 25 cm diepte aan de binnenzijde van de kering.

#### 6.1.3 OPERATIONALITEIT VAN DE TECHNIEK

Experimenteel. Deze techniek is toegepast in het IJKdijk macrostabiliteitsexperiment.

Tijdens het experiment is bij controlemetingen na de voltooiing van de aanleg van de dijk gebleken dat alle buizen een aanzienlijke verplaatsing van de dijk af hebben ondergaan. Voorafgaand aan het opbouwen van het dijklichaam zijn alle meetbuizen nagenoeg verticaal aangebracht. Gezien de preferente richting van vervorming wordt aangenomen dat de geconstateerde scheefstand het gevolg is van horizontale vervormingen in het veenpakket alsmede het dijklichaam zelf.

De resultaten van de proef met de AP sensor zijn onbetrouwbaar gebleken. Er heeft waarschijnlijk een luchtbel in de slang gezeten, welke bij aanvang van het experiment niet was geconstateerd en derhalve niet kon worden gerepareerd.

#### 6.1.4 NIVEAU VAN DE TECHNIEK

Inzetbaar op niveau 3: het niveau van het dwarsprofiel van de kering: de meettechniek kan worden ingezet voor bepaling van de mechanische eigenschappen van een waterkering.

#### 6.1.5 TOEPASBAARHEID VAN DE TECHNIEK

Deze techniek kan worden toegepast voor het meten van waterspanningen (BAT) en absolute druk (AP).

#### **6.1.6 INZETBAARHEID VAN DE TECHNIEK**

De BAT-sensoren functioneren als systeem dat bewegingen in keringen kan detecteren. Echter, de interpretatie van de gegevens zijn niet eenduidig door de grote verschillen tussen beide locaties.

De resultaten van het macrostabiliteitsexperiment zijn onvoldoende om inzetbaarheid van de AP sensor te kunnen inschatten.

#### **6.1.7 ENKELE LEVERANCIERS VAN DE TECHNIEK**

RPS-BCC/IFCO levert dit systeem onder de naam IS systeem ([www.rps.nl](http://www.rps.nl)).

### **6.2 MEMS TECHNOLOGIE**

Er is tijdens het IJKdijk macrostabiliteitsexperiment, Livedijk Eemshaven en experiment Vlaardingse Kade een MEMS sensor voor het meten van waterspanningen toegepast. Voor een beschrijving van deze inspectietechniek zie paragraaf 2.1.

## 7

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de voorgaande hoofdstukken zijn een aantal recentelijk beproefde innovatieve inspectietechnieken besproken die kunnen worden ingezet om macrostabiliteit van waterkering te monitoren. Daarbij vallen een aantal zaken op die relevant zijn voor verdere toepassing in de praktijk van het waterkeringbeheer.

### IN-SITU EN REMOTE SENSING TECHNIEKEN

Een onderscheid kan gemaakt worden naar in-situ en remote sensing (ex-situ) toepassingen. Een aantal voor- en nadelen van beide technieken is samengebracht in onderstaande tabel:

	Voordeel	Nadeel
In-situ techniek	Langdurige stabiele metingen mogelijk Meet in het dijklichaam Opbouw sensor netwerk aan te passen aan informatiebehoefte	Aanbrengen middels boringen of graafwerkzaamheden vereist aandacht om functionele schade aan de waterkering te voorkomen Relatief kostbaarder; kosten sterk afhankelijk van omvang netwerk
Remote sensing techniek (ex-situ)	Snel inzetbaar bij calamiteiten Relatief voordeliger voor opnamen op grotere schaalniveau's van beheersgebied en dijkvak	Gevoeliger voor externe verstoring van het meetsignaal bij langdurige metingen, dit heeft nadelige effecten op betrouwbaarheid en nauwkeurigheid Metingen allen van de buitenkant van de waterkering

### WAT KOST HET?

Er is slechts in beperkte mate een standaard kostenopgave te maken voor toepassing van de inspectietechnieken. Zowel de nieuwigheid als specifieke omstandigheden van een locatie zijn sterk bepalend voor prijsstelling. Kosten zijn bijvoorbeeld sterk afhankelijk van grootte van het dijkvak en aantal meetpunten (sensoren).

Voor de beheerder is een andersom redenering wellicht nuttig: wat heb ik ervoor over om mijn waterkering te laten monitoren, wat is een reëel bedrag om hiervoor aan te wenden. Uit analyse in aanloop op de experimenten is afgeleid dat voor operationele inzet van inspectietechnieken een totaal investering van 50k€ tot 150k€ per kilometer dijk verdedigbaar is als deze wordt afgezet tegen de investerings- en onderhoudskosten van de waterkeringen. Bij het LiveDijk Eemshaven project zijn goede ervaringen opgedaan met het hanteren van een budgettaire richtlijn in de omgang met marktpartijen.

### **VAN PRAKTIJKPROEF NAAR PRAKTIJKTOEPASSING**

Bij een praktijktoepassing zal vaak gebruik worden gemaakt van een combinatie van verschillende inspectietechnieken om in de informatiebehoefte te voorzien.

Een goede eerste stap is de identificatie van de eigen informatiebehoefte. De informatiebehoefte bestaat naast het benoemen van de gewenste te meten parameters, ook uit een analyse van toepassingsniveau en gewenste meetvorm. Daarna kunnen beschikbare technieken worden geselecteerd waarbij rekening gehouden wordt met operationaliteit, kosten en wijze van installatie. Deze stap zal plaatsvinden samen met leveranciers.

In de bijlage bij dit rapport is een overzicht van alle besproken inspectietechnieken opgenomen ingedeeld naar faalmechanisme en zwakte-indicator. De tabel kan de beheerder behulpzaam zijn bij het vinden van een match tussen zijn informatiebehoefte en beschikbare technieken.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de ontwikkeling van inspectietechnieken voor het monitoring van macrostabiliteit volop in ontwikkeling is. De inzet van inspectietechnieken levert in een boeiend samenspel van beheerder, kennisinstellingen en marktpartijen meer inzicht in het geotechnisch gedrag van de waterkering. De waterkeringbeheerder kan actief bijdragen aan de verdere operationalisatie van technologie en haar toepassing door enkele dijkvakken uit te rusten met deze inspectietechnieken.

**BIJLAGE 1**

# OVERZICHTTABEL

In navolgende overzicht tabel is voorgaande informatie is samengebracht in een handzaam totaaloverzicht.

Faalmechanisme	Zwakke-indicatoren Inspectietechniek constructie	Toepassing en eigenschappen	Wijze van meten			Leveranciers (Product)	Operationeel?			Schaalniveau				
			Meetwegen	Opstelling	Oppervlakte		Ondergronds	toepassing gerealiseerd	Experimentele toepassing met praktisch bruikbare meetresultaten	Experimenteel zonder praktisch waardevolle meetresultaten	Gebied (1)	Dijkvak (2)	Doorsnede (3)	Exstn
Macrostabieliteit	Beweging	MEMS technologie	Miniatuur sensoren verbonden middels netwerkkaabels, kan meerdere parameters per unit opnemen. Installatie invasief.				Alert Solutions (GeoBeads), Koenders (SDP)							
		Thermografische opnamen	Camera maakt infrarood opname van oppervlakte dijklitchaam. Levert middels software overzichtsbeeld van dijk met herkenning temperatuurverloop als indicator van beweging. Ook opnamen muskus- en beverratten en -holen tbv bestrijding. Werkt niet bij mist				Intech (IDS)							
		Optische metingen	Glasvezelkabel wordt invasief aangebracht in dijklitchaam. Vervorming licht verzonden door de glasvezelkabel is indicator voor vervorming.				DikeSurvey (LightSpeedSystems), Inventec / TenCate (GeoDetect)							
		Laseraltimetrie	Vanaf vaste opstelling wordt van een afstand m.b.v laserlicht geometrie vastgelegd. Er zijn referentiepunten nodig. Non-invasief. Tijdens scanning geen mensen in opname gebied i.v.m. veiligheid				Hansjörbriker (Leica)							
Trillingen	Geluidsmetingen	Mechanische sensoren	Gaat om Inverted Pendulum (IP), Inplace Inclinometers (II) en Liquid Level Settlement (LLS). Worden invasief geïnstalleerd. Stabiele dijk vereist voor nuttige toepassing				RPS-BCC/JFCO (IS-Systeem)							
			Met behulp van akoestische instrumenten een beeld verkrijgen van de conditie van de dijk. Bruikbaar om dijk te conditioneren. Experimentele toepassing. Gevoelig voor omgevingsgeluiden, ruis.				VWT/ Landuistre / TNO (Luisterbuis)							
		Optische metingen	Glasvezelkabel wordt invasief aangebracht in dijklitchaam. Vervorming licht verzonden door de glasvezelkabel is indicator voor trilling				DikeSurvey (LightSpeedSystems), Inventec / TenCate (GeoDetect)							
Temperatuur	Thermografische opnamen	Optische metingen	Glasvezelkabel wordt invasief aangebracht in dijklitchaam. Brengt temperatuurverandering in beeld door wijziging optische eigenschappen van de glasvezelkabel als gevolg van verandering van de temperatuur. Kan zowel horizontaal als verticaal worden toegepast				GTC Kappelmeier							
			Camera maakt infrarood opname van oppervlakte dijklitchaam. Levert middels software overzichtsbeeld van dijk met herkenning temperatuurverloop als indicator van beweging. Ook opnamen muskus- en beverratten en -holen tbv bestrijding. Werkt niet bij mist				Intech (IDS)							
Vochtgehalte	Waterspanningen	MEMS technologie	Miniatuur sensoren verbonden middels netwerkkaabels, kan meerdere parameters per unit opnemen. Installatie invasief.				Alert Solutions (GeoBeads), Koenders (SDP)							
		MEMS technologie	Miniatuur sensoren verbonden middels netwerkkaabels, kan meerdere parameters per unit opnemen. Installatie invasief. Operationaliteit verschilt per leverancier				Alert Solutions (GeoBeads), Koenders (SDP), EnviroSmart TriScan), Eijkelkamp (E-soil MCT), Decagon (Ech20-TE)							
Mechanische sensoren	Waterspanningen	Piezometers	Door middel van probe invasief ingebracht. Flexibel in te zetten op diepte. Wordt geleverd als onderdeel van het SDP systeem van Koenders				Koenders (SDP)							
		Mechanische sensoren	Gaat om Inverted Pendulum (IP), Inplace Inclinometers (II) en Liquid Level Settlement (LLS). Worden invasief geïnstalleerd. Stabiele dijk vereist voor nuttige toepassing				RPS-BCC/JFCO (IS-Systeem)							
MEMS technologie		Miniatuur sensoren verbonden middels netwerkkaabels, kan meerdere parameters per unit opnemen. Installatie invasief.				Alert Solutions (GeoBeads)								