

# Detectie van holle ruimtes in de dijkbekleding bij Texel met behulp van Passieve Microgolven Technologie

*Een studie naar de mogelijkheden van de toepasbaarheid van mobiele L-band radiometrie voor dijkinspectie.*



Amsterdam/Culemborg, Mei 2010

The logo for miramap, featuring a small globe icon above the word "miramap" in a blue, lowercase, sans-serif font.

The logo for Vrije Universiteit Amsterdam, featuring a stylized blue bird or wing icon above the text "vrije Universiteit" and "amsterdam" in a smaller, lowercase, sans-serif font.

Dit onderzoek is uitgevoerd door

Miramap B.V. (Roland Haarbrink)  
Pascalweg 23  
4104 BE Culemborg

in samenwerking met:

Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen (Yvo Provoost)  
Kanaalweg 1  
4337 PA Middelburg

Rijkswaterstaat Texel (Richard Koene)

Vrije Universiteit Amsterdam (dr. Richard de Jeu)  
Afdeling Hydrologie en Geo-Wetenschappen  
De Boelelaan 1085  
1081 HV Amsterdam

Foto voorkant: De geïnspecteerde dijk bij Mokbaai, Texel

### **Dankwoord**

Dank gaat uit naar de uitvoerende tak van Rijkswaterstaat die ons de mogelijkheid hebben geboden om de dijk bij Mokbaai te meten en ons extra informatie hebben gegeven van de dijk. Verder willen we de VU studenten Ruben Weeda en Camilo Galvis Tarazona bedanken voor hun assistentie bij de metingen.

## **Samenvatting**

Miramap B.V. heeft samen met Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen en de Vrije Universiteit Amsterdam een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden van een nieuwe microgolf radiometrie scanner om anomalieën te detecteren in de dijkbekleding van MokBaai, Texel.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de microgolf radiometer scanner zeer goed in staat is om holle ruimtes te detecteren met een dikte van +/- 3 cm. Ruimtes die gevuld zijn met water zijn gemakkelijker te detecteren dan holle ruimtes.

Het instrument kan grote gaten of zones met gaten gemakkelijk traceren. Bij de huidige dijkinspectie werd op RD X 113681.37 m en RD Y 557871.31 m. een sterke anomalie gedetecteerd die geïnterpreteerd kan worden als een indicatie voor een grote holle ruimte binnen in het dijklichaam. Op dit punt waren tot op heden geen boringen verricht. Verder onderzoek is nodig op deze locatie om uit te wijzen wat de verklaring is voor de ze sterke anomalie.

Deze nieuwe studie bevestigt het feit dat het mogelijk is om met passieve microgolven radiometrie holle ruimtes te detecteren binnen een dijklichaam. Deze technologie kan eventueel worden ingezet om lange stukken dijk te inspecteren in een kort tijdsbestek. Later kunnen de gegevens dan geanalyseerd worden en kan er zeer gericht boringen en werkzaamheden aan de dijk verricht worden.

# Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	5
2 Theorie en Technologie.....	6
2.1 Theoretische Achtergrond.....	6
2.2 L-band Radiometer.....	7
3. Methodologie.....	8
4 Studie gebied.....	8
5. Resultaten en Discussie.....	10
5.1 Synthetische Analyse.....	10
5.2 Dijkmetingen.....	11
6. Conclusies en Aanbevelingen.....	14
Referenties.....	15



# 1. Inleiding

Tijdens de bouw van dijkbekleding blijkt vaak dat bij het aanbrengen van gietasfalt over breuksteen er holle ruimtes kunnen ontstaan binnen in de bekleding. Deze holle ruimtes kunnen de kwaliteit van de dijk ondermijnen. Tot nu toe worden er regelmatig steekproefsgewijs boringen verricht om aan te kunnen tonen of er holle ruimtes aanwezig zijn. Dit is een tijdrovende klus waarbij ook de bepaling van de boorlocaties een grote onzekerheid met zich meebrengt.

Het gebruik van passieve microgolven radiometers voor wetenschappelijke doeleinden is de laatste jaren sterk in opkomst. Zo worden er in de wetenschap radiometers toegepast om op verschillende schalen bodemvocht [1] sneeuw en ijsdikte [2], neerslag [3] en vegetatie [4] te meten. In de industrie wordt er nog op een zeer beperkte schaal gebruik van gemaakt. Dit komt met name door de onbekendheid van deze technologie en het tot voor kort ontbreken van handzame L-band radiometers.

Miramap ([www.miramap.com](http://www.miramap.com)) heeft met ondersteuning van de Business Incubator van de European Space Agency in Noordwijk, speciaal voor water- en waterkeringenbeheerders in Nederland, een passieve microgolf scanner ontwikkeld die vanuit een vliegtuig de droogtevariaties in de grond nauwkeurig in beeld brengt. Uit recent onderzoek is ondermeer gebleken dat L-band radiometrie vanuit vliegtuigen een bijdrage kan leveren aan de verbetering van hydrologische modellen en zeer nauwkeurig bodemvocht kan registreren van een afstand met een nauwkeurigheid binnen de 3 Vol.% [5]. Het systeem van Miramap is operationeel en meet op afstand nauwkeurig bodemvocht met een resolutie van +/- 65 m.

Voor het meten van de dijkbekleding heeft Miramap een handzame L-band radiometer ontwikkeld. Deze is gemonteerd op een kar, waarmee op een dijk detailmetingen worden uitgevoerd (Zie Foto in Figuur 1).



*Figuur 1: De Mobiele L-band microgolven scanner van Miramap op de dijk bij Colijnsplaat (Zeeland)*

Het hoofdvraag van dit project is:

Is L-band radiometrie gevoelig genoeg om holle ruimtes te determineren en zo ja hoe ziet het signaal eruit over een stuk dijk waar is aangetoond dat er een hoop holle ruimtes aanwezig zijn

Om antwoord te krijgen op deze vraag is er gebruik gemaakt van een theoretisch model om de gevoeligheid van de radiometer te analyseren en zijn er een aantal transects gelopen over een dijk bij Mokbaai, Texel, waarvan bekend is dat er veel holle ruimtes aanwezig zijn. De theoretische achtergrond, technologie en methodologie worden eerst besproken en na de locatie beschrijving volgen resultaten, conclusies en aanbevelingen voor toekomstig onderzoek.

## 2. Theorie en Technologie

### 2.1. Theoretische Achtergrond

Een L-band radiometer meet de natuurlijke uitstraling van het grondoppervlak in het microgolvenbereik. Het is een passieve sensor en voor een L-band radiometer meet hij de uitstraling bij een golflengte van 21 cm. De radiometer drukt deze uitstraling uit in helderheidtemperaturen ( $T_b$ , wat staat voor brightness temperatures).

Voor een dijkbekleding kan de helderheidtemperatuur observatie van de L-band radiometer wiskundig worden beschreven als

$$Tb_p = \sum_{i=1}^n f_i T_i \quad (1)$$

waarin  $f$  de fractie energie is die door laag  $i$ ,  $p$  de polarizatie (horizontaal of vertikaal),  $T_i$  de effectieve temperatuur van laag  $i$  en  $n$  de totale hoeveelheid lagen. De effectieve reflectiviteit ( $R_{eff[p]}$ ) van de dijkbekleding kan dan worden beschreven als

$$R_{eff[p]} = 1 - \sum_{i=1}^n f_i \quad (2)$$

De waarde van  $f$  is direct gerelateerd aan de dielectrische constante van de laag en kan eenvoudig worden uitgerekend aan de hand van de Maxwell vergelijkingen [6]. De dielectrische constante is een fysische grootheid die beschrijft hoe een elektrisch veld een medium beïnvloedt en erdoor beïnvloed wordt.

De diëlectrische constante is gedefinieerd als een complex getal opgedeeld in een reële eenheid en imaginaire eenheid. Het reële gedeelte bepaald de propagatie karakteristieken van de energie als deze omhoog beweegt door het materiaal. Het imaginaire gedeelte bepaald het energieverlies.

Elk materiaal heeft een unieke dielectrische constante en er is met name een zeer groot verschil tussen droog materiaal zoals bijvoorbeeld zand en water. Het reële gedeelte van de diëlectrische constante van zand bedraagt ongeveer 3 tot 5 en water heeft een waarde van 80, waardoor een vochtige zandige bodem een diëlectrische

constante van 20 of hoger kan bereiken. Deze verschillen maken de passieve microgolven radiometer tot een belangrijk hulpmiddel om verschillen in de bodem te bepalen.

De dielectrische constante van verschillende materialen die bij de dijkbekleding worden aangetroffen zijn onlangs gemeten in het laboratoire de l'integration du materiau au systeme (IMS) in Pessac Frankrijk. Tabel 1 geeft de dielectrische constante aan van de verschillende materialen onder droge en natte condities en die je in de Mokbaai tegen kunt komen. Dielectrische constanten van klei en zand zijn meer afhankelijk van bodemvocht omdat ze simpelweg meer water kunnen opnemen dan de andere dijkbekleding materialen. De dielectrische constante van deze materialen zijn in het verleden veel onderzocht en kunnen geschat worden met het Wang-Schmugge dielectric mixing model [7]. Een klei varieert gemiddeld van  $9.7+0.76i$  (droog) tot  $29.1+2.82i$  (nat) en een zand van  $3.8+0.14i$  (droog) tot  $31.6+3.08i$  (nat).

Materiaal	Droog		Nat	
	Reëel ( $\epsilon'$ )	Imaginaire ( $\epsilon''$ )	Reëel ( $\epsilon'$ )	Imaginaire ( $\epsilon''$ )
Beton	4.375	0.085	5.335	0.203
Basalt	6.031	0.143	6.063	0.133
Gietasfalt	3.903	0.057	3.936	0.053
Water			80.0	6.1
Lucht	1	0		

*Tabel 1: Dielectrische Constante van verschillende materialen die worden aangetroffen in de dijkbekleding. Deze constante zijn bepaald bij 1.2 GHz (vgl met L-band observaties) onder droge en verzadigde condities.*

Kort samengevat kan dus worden geconcludeerd dat een observatie van een L-band radiometer een functie is van de materiaal eigenschappen in de ondergrond, de temperatuur en het bodemvochtgehalte. Om de temperatuur invloeden te elimineren kan er gebruikt gemaakt worden van een polarisatie ratio index. Er wordt dan zowel in horizontale als verticale polarisatie gemeten en de ratio tussen deze twee wordt dan gebruikt om de materiaal eigenschappen te analyseren. Een polarisatie ratio die vaak gebruikt wordt is de Microwave Polarization Difference Index (MPDI) en die is gedefinieerd als:

$$MPDI = \frac{T_{bv} - T_{bh}}{T_{bv} + T_{bh}} \quad (3)$$

De kracht van deze index is dat het temperatuur effect geminimaliseerd is en de index alleen maar een functie is van materiaal eigenschappen en bodemvocht condities.

## 2.2. L-band Radiometer

Tijdens deze studie is gebruik gemaakt van een door Miramap ontwikkelde passieve microgolven scanner. Deze scanner registreert de natuurlijke uitstraling bij 1.4 GHz (L-band). Dit komt overeen met een golflengte van 21 cm. De sensor registreert de observaties in helderheidstemperaturen met een nauwkeurigheid van 1 K. De observaties zijn gemeten in zowel horizontale polarisatie en verticale polarisatie.

Om van de horizontale polarizatie over te schakelen naar de verticale, dient het kijkgedeelte van de radiometer een kwartslag te worden gedraaid.

Voor elke meting moet de radiometer gecalibreerd worden om een range te bepalen. Dit wordt gedaan door een observatie van het water (cold load) te nemen en van je lichaam (hot load). Over het algemeen zit de natuurlijke emissie tussen deze twee uiterste en zorgt deze calibratie voor een goede schatting van de werkelijke helderheidstemperaturen. De radiometer is geschikt voor het meten van trajecten over dijken doordat deze kan gemobiliseerd op een buggy zoals te zien is in Figuur 1. Gezien de ruwheid van het terrein is in dit geval de buggy niet gebruikt en is de radiometer met de hand gedragen.

De radiometer zelf bevat een simpele aan/uit knop waarmee de meting start en stopt. De radiometer schrijft elke seconde een meetwaarde weg en slaat deze op, op een SD geheugen kaart. Verder zit ook een GPS ingebouwd welke automatisch ook de precieze locatie opslaat op de SD kaart.

Na de meting wordt de SD kaart verwijderd uit de radiometer en ingelezen op een pc. De gemeten data wordt dan via de pc omgezet naar helderheidstemperaturen met de betreffende GPS-locatie erbij.

### **3. Methodologie**

Voor het analyseren van de toepasbaarheid van deze nieuwe technologie om te kijken of hij gevoelig genoeg is om anomalieën in het dijklichaam te determineren is er een synthetische analyse uitgevoerd en zijn er een aantal transects gelopen over de dijk bij Mokbaai. In Mokbaai zijn er door middel van een aantal boringen een aantal luchtgaten geconstateerd.

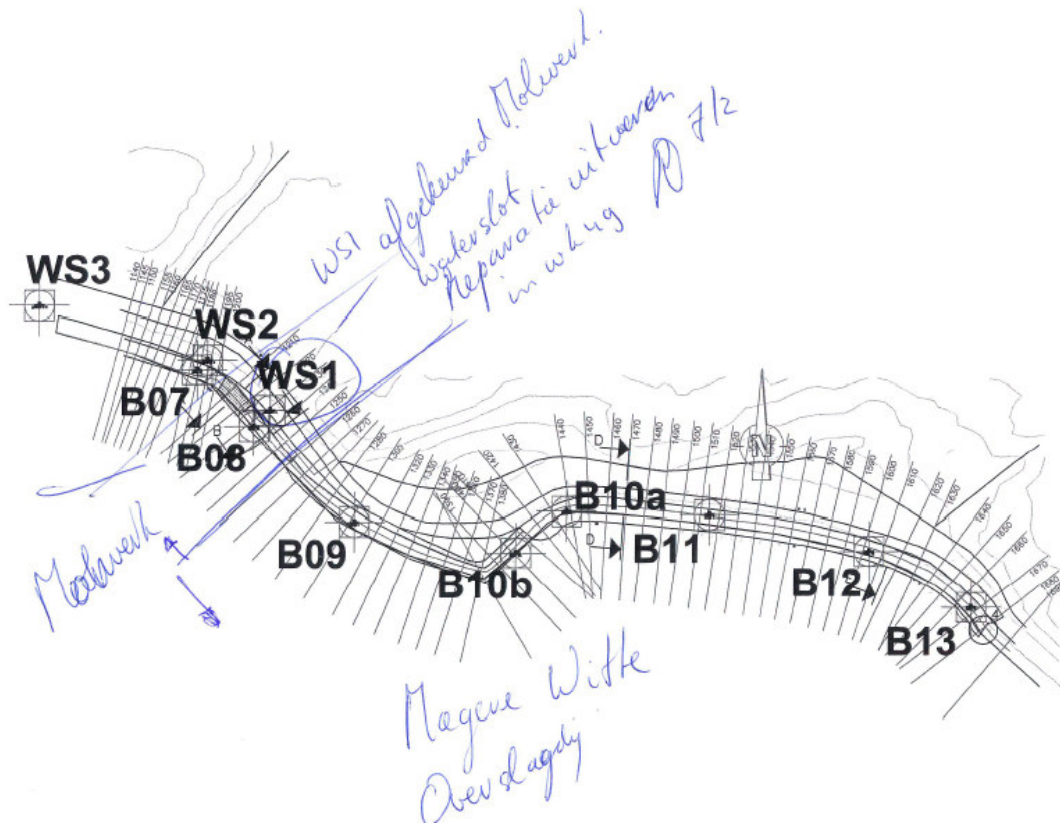
Op de dijk zijn op verschillende hoogtes transects gelopen van 550 m met de L-band radiometer om zo helderheidstemperaturen te verkrijgen in zowel horizontale als in verticale polarisatie. De MPDI van deze transects zijn uitgerekend en geanalyseerd met behulp van additionele gegevens van dijkprofielen.

### **4. Studiegebied**

Voor dit onderzoek is gemeten op Texel op een dijk ten noorden van de Mokbaai (aangegeven met de rode pijl in Figuur 2) tussen km profiel 1140 en 1680m. De metingen zijn allemaal verricht op vrijdag 12 maart 2010 bij droge omstandigheden. Op de dijk zijn 2 transects gelopen met een afstand van plus minus 550 m.

De metingen zijn verricht op het talud. Dit talud bestond uit een 40 cm dikke laag Brueksteen (5-40 kg) gepenetreerd met gietasfalt en afgestrooid met basalt split (63-180 mm). Onder deze laag bevond zich een dik kleipakket.

Op 19 november 2009 zijn er op deze dijk ook een aantal boringen verricht (Toetser Rijkswaterstaat Richard Dhauw). Deze boringen waren genummerd van 7 tot 13. Daarnaast waren er ook een aantal boringen verricht bij de watersloten (aangegeven met WS). De locatie van de boringen en de minimale afstand tot de gelopen transects is aangegeven in Tabel II. In alle boringen werden holle ruimtes aangetroffen.



Figuur 2: Detailkaarten van de meetlocatie op Texel.



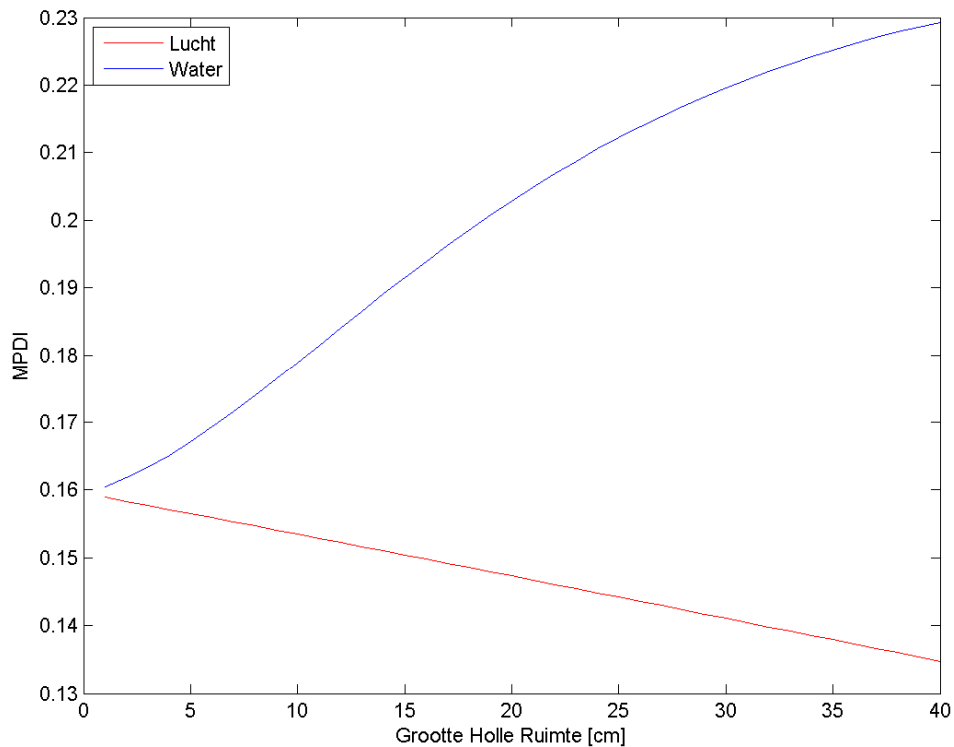
Boring #	RD X in m	RD Y in m	Afstand tot boven transect in m	Afstand tot midden transect in m
7	113378.75	557949.61	6.3	4.5
8	113409.27	557919.29	12.3	2.8
9	113463.48	557868.13	5.1	1.9
<b>10a</b>	113576.55	557873.96	3.6	1
10b	113549.51	557851.93	3.7	2.9
<b>11</b>	113652.69	557872.16	3.7	0.4
12	113738.63	557852.91	7.8	4.7
13	113793.27	557822.73	5.2	1.8
<b>WS1</b>	113417.84	557928.10	0.23	9.4
<b>WS2</b>	113384.27	557954.89	0.74	2.5
WS3	113294.02	557983.58	51	53.8

*Tabel II: Coördinaten van de boorlocaties met daarnaast de kortste afstand tussen de boring en de gelopen transect. De locatie van de boringen die binnen een meter van de gelopen transects zijn genomen zijn aangegeven met een gele kleur.*

## 5. Resultaten en Discussie

### 5.1. Synthetische Analyse

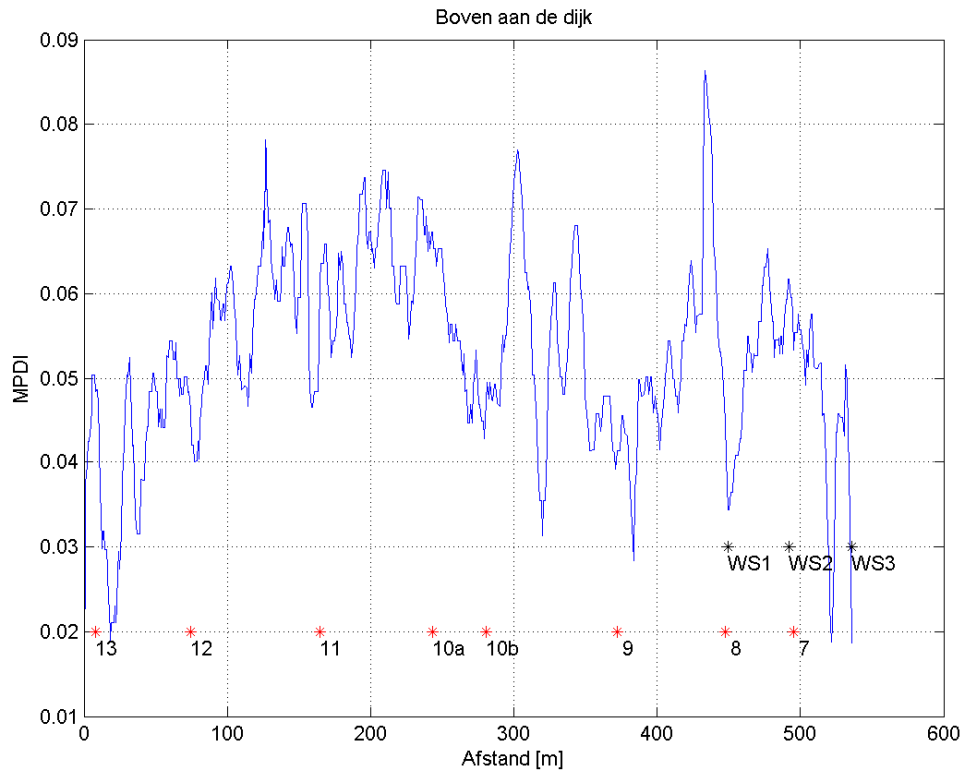
De vraag of passieve microgolf radiometrie geschikt is om holle ruimtes te determineren kan beantwoord worden met een synthetische analyse. Als we de ondergrond mathematisch beschrijven met behulp van vergelijking 1 en 2 waarbij we uitgaan van een uniform dijklichaam en simuleren 10 cm onder de bekleding een holle ruimte (met of zonder water) met variërende dikte, zien we duidelijk de gevoeligheden van een L-band radiometer voor holle ruimtes. Figuur 2 laat de resultaten hiervan duidelijk zien. In dit plaatje kun je zien dat de MPDI naar beneden gaat als er een groot lucht gat in de ondergrond zit. Als dit luchtgat volledig gevuld is met water gaat de waarde juist omhoog. Uit deze analyse is gebleken dat met de gevoeligheid van de huidige microgolven radiometer we holle ruimtes kunnen detecteren van plus minus 3 cm binnen breuksteen en gietasfalt. De radiometer is zelfs gevoeliger als de holle ruimte volledig gevuld is met water.



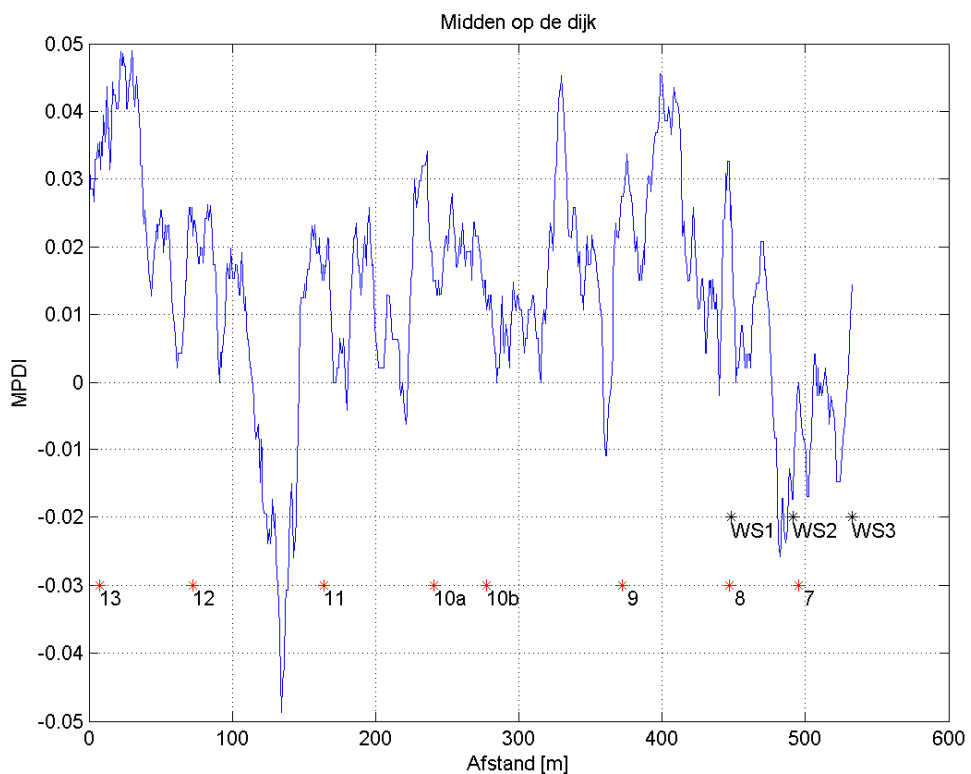
Figuur 2: Simulatie van helderheids temperaturen waarbij het effect van een variërende holle ruimte 10 cm onder een dijklichaam is gesimuleerd.

## 5.2. Dijkmetingen

Figuur 3 en 4 geven de resultaten weer van de metingen op de noordelijke dijk van Mokbaai. Beiden transects laten een hoge frequentie in MPDI die we kunnen verklaren aan de hand van de aanwezigheid van holle ruimtes. In de transect boven aan de dijk zien we bij de eerste Waterslot (WS1) een hele sterke overgang van een hoge MPDI van 0.085 naar een lage MPDI van 0.035. De hoge MPDI duidt op een ruimte gevuld met water en de lage MPDI duidt op een holle ruimte gevuld met lucht. Deze transect liep vlak langs de boring van WS1 (zie Tabel II) en bij deze boring werd ook een grote holle ruimte gevonden van +/- 12 cm op 30 cm diepte. De transect op het midden van de dijk laat ook een sterke frequentie zien die duidt op de aanwezigheid van holle ruimtes. Er springt echter wel 1 sterke anomalie naar voren tussen boring 11 en 12, op RD X 113681.37 m en RD Y 557871.31 m. Deze anomalie kan een aanwijzing zijn voor de aanwezigheid van een enorme holle ruimte in de dijk. Helaas zijn er geen boringen verricht op deze locatie en is nader onderzoek nodig om deze anomalie te kunnen verklaren.



Figuur 3: De gemeten MPDI boven aan de dijk

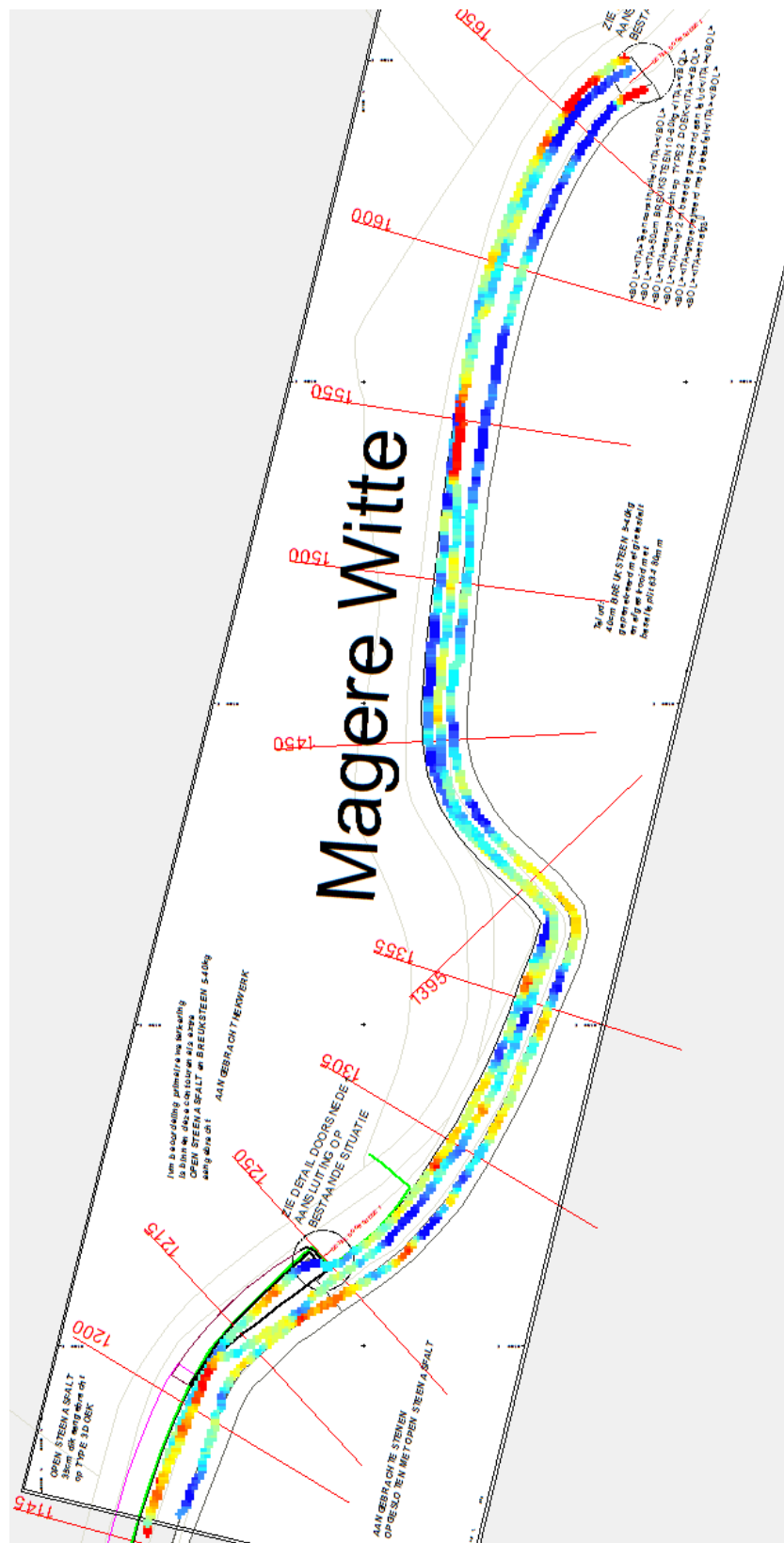


Figuur 4: De gemeten MPDI midden op de dijk.

Figuur 5 toont de geo-gereferereerde MPDI data boven aan, midden en onder aan de dijk over de digitale kaart van het meetgebied. De lage MPDI (in rood) duidt op een



holle ruimte gevuld met lucht en de hoge MPDI (in donkerblauw) duidt op een ruimte gevuld met water. De tussenliggende variaties zijn weergegeven in geel (naar rood toe) en lichtblauw (naar donkerblauw toe).



Figuur 5: De geo-gerefereerde MPDI boven aan, midden en onder aan de dijk.

## **6. Conclusies en Aanbevelingen**

Uit het beschreven onderzoek om door middel van het gebruik van passieve radiometrie (L-Band) meer inzicht te krijgen in de aanwezigheid van holle ruimtes in een stuk dijk aan de Mokbaai in Texel is gebleken dat met deze nieuwe technologie in staat zijn om luchtgaten in het dijklichaam te kunnen traceren. De synthetische analyse geeft aan dat holle ruimtes van +/- 3 cm detecteerbaar zijn.

Het passieve microgolven signaal van de dijk bij Mokbaai heeft een hoge frequentie wat duidt op een frequente aanwezigheid van holle ruimtes (al dan niet gevuld met water). Bij de huidige dijkinspectie werd op RD X 113681.37 m en RD Y 557871.31 m. een sterke anomalie gedetecteerd die geïnterpreteerd kan worden als een indicatie voor een grote holle ruimte binnen in het dijklichaam. Op dit punt waren tot op heden geen boringen verricht. Wij raden aan om deze locatie verder te onderzoeken omdat het kan duiden op een zwakke plek in het dijklichaam.

Concluderend kan worden gezegd dat het gebruik van passieve radiometrie zeer veel potentieel heeft om de toestand van de dijkbekleding beter in kaart te brengen zonder breekwerk te verrichten. De radiometer is compact en kan onder verschillende voertuigen gemonteerd worden waardoor het mogelijk is om grote stukken dijk in een relatief korte tijd te inspecteren. Operationele mogelijkheden voor dit systeem zullen later onderzocht moeten worden.

## Referenties

- [1] R. A. M. de Jeu, W. Wagner, T. R. H. Holmes, A. J. Dolman, N. C. van de Giesen, and J. Friesen, "Global Soil Moisture Patterns Observed by Space Borne Microwave Radiometers and Scatterometers," *Surveys in Geophysics*, vol. 29, pp. 399-420, 2008.
- [2] A. T. C. Chang, J. L. Foster, M. Owe, D. K. Hall, and A. Rango, "Passive and Active Microwave Studies of Wet Snowpack Properties," *Nordic Hydrology*, vol. 16, pp. 57-66, 1985.
- [3] F. J. Wentz, L. Ricciardulli, K. Hilburn, and C. Mears, "How much more rain will global warming bring?," *Science*, vol. 317, pp. 233-235, 2007.
- [4] T. J. Jackson and T. J. Schmugge, "Vegetation effects on the microwave emission of soils," *Remote Sensing of Environment*, vol. 36, pp. 203-212, 1991.
- [5] R. A. M. de Jeu, T. R. H. Holmes, R. Panciera, and J. P. Walker, "Parameterization of the Land Parameter Retrieval Model for L-Band Observations Using the NAFE'05 Data Set," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 6, pp. 630-634, 2009.
- [6] T. T. Wilheit, "Radiative Transfer in a Plane Stratified Dielectric," *IEEE-Trans. Geos. Electr.*, vol. 16, pp. 138-143, 1978.
- [7] J. R. Wang and T. J. Schmugge, "An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content," *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.*, vol. 18, pp. 288-295, 1980.