

# **Detectie van holle ruimtes onder de Muraltmuurtjes bij Burghsluis aan de Oosterschelde, Zeeland**



Juni 2012

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

Dit onderzoek is uitgevoerd door

Miramap B.V. (ir. Roland Haarbrink)  
Business Center "De Terp"  
Kokermolen 11  
3994 DG Houten

Transmissivity (dr. Richard de Jeu)  
Donizettihof 9  
2151 ND Nieuw Vennepe

in samenwerking met:

Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen  
(Yvo Provoost, Klaas Kaslander, Jan Willem Beijer)  
Kanaalweg 1  
4337 PA Middelburg

Foto voorkant: Gemeten Muraltmuurtjes nabij de Plompe Toren bij Burghsluis aan de Oosterschelde, Zeeland

## **Dankwoord**

Dank gaat uit naar de uitvoerende tak van Rijkswaterstaat en het Waterschap die ons de mogelijkheid hebben geboden om de Muraltmuurtjes in te meten en voor het verrichten van de verschillende verificatieboringen.

## Samenvatting

Miramap B.V. heeft samen met Rijkswaterstaat Projectbureau Zeeweringen en Transmissivity een studie uitgevoerd om holle ruimtes onder Muraltmuurtjes nabij Burghsluis aan de Oosterschelde in kaart te brengen.

Een Muraltmuur is een muurtje boven op een dijk, die diende als alternatieve en goedkope dijkverhoging. Een Muraltmuur bestaat uit drie of vier horizontale betonnen platen, van ongeveer een meter hoog, tussen betonnen staanders. Muraltmuren zijn een uitvinding van ingenieur de Muralt en zijn in 1906 ontwikkeld om op een goedkope manier dijken te verhogen zonder het dijklichaam te hoeven verbreden. Tussen 1906 en 1935 werd ongeveer 120 km van deze Muraltmuurtjes aangelegd, ongeveer een derde van alle toenmalige Zeeuwse buitendijken. Tijdens de watersnood van 1953 bleken ze echter niet allemaal te voldoen en werden de meeste Muraltmuurtjes bij dijkverhogingen na 1953 afgebroken.

Nabij Burghsluis aan de Oosterschelde ligt nog een strook oude Muraltmuurtjes boven op de dijk die binnenkort gerenoveerd gaat worden. Gezien de cultuur historische waarde van deze muurtjes is de vraag gesteld of deze muurtjes hier nog voldoen aan de huidige veiligheidsnormen. Een manier om dat te bepalen is door te kijken of er onder de holle ruimtes onder de muurtjes zitten. Om dit te bepalen is er gebruikt gemaakt van passieve microgolven radiometrie. Deze technologie heeft in het verleden laten zien dat het holle ruimtes kan detecteren onder asfaltbekleding en werd nu ingezet om de holle ruimtes onder deze muurtjes in kaart te brengen.

Op 29 Februari 2012 werd eerst een test meting over een traject van ongeveer honderd meter uitgevoerd. Uit deze microgolven meting werden 3 plekken gekozen ter verificatie en hieruit bleek dat wanneer de horizontale microgolvenmeting naar beneden gaat en de verticale omhoog de kans heel groot is dat er een holle ruimte onder de muurtjes ligt. Op 23 Maart 2012 werd het gehele traject tussen dijkpaal 32 en 55 ingemeten met twee verschillende radiometers. Uit deze metingen bleek dat er in ieder geval op 4 verschillende plaatsen het sterke vermoeden bestond dat er holle ruimtes zouden kunnen zitten onder de muurtjes omdat hier het microgolven signaal een afwijkende waarde gaf. Deze plekken zaten met name nabij dijkpalen 40, 46, 47 en 53. Verder werden er nog twee andere sterke anomalieën aangetroffen die in alle waarschijnlijkheid veroorzaakt zijn door kabels/leidingen of afvoersystemen.

Deze metingen zijn in Mei 2012 geverifieerd door middel van een aantal boringen en daar bleek dat met name de sterke variatie in de ondergrond bepalend waren voor de veranderingen in het microgolvensignaal en in mindere mate de holle ruimtes. De variaties van de betonlaag, alsmede de variatie in de daar onderliggende ondergrond hebben met name de variatie in het microgolven signaal bepaald. Hieruit kunnen we daarom ook afleiden dat de hoeveelheid holle ruimtes onder de muraltmuurtjes waarschijnlijk zeer beperkt is. Tenslotte kwamen er uit de data analyse nog een aantal interessante waarnemingen. Zo werd er op de plek waar de sensor een sterke anomalie gaf bij dijkpaal 40 een leiding aangetroffen, en waren de herstelwerkzaamheden die ooit in de jaren 50 hebben plaatsgevonden rondom dijkpaal 47 zichtbaar in het microgolvensignaal.

## Factsheet

- Een traject van 2200 meter van muraltmuurtjes nabij Burghsluis is met behulp van L-band radiometers grondig doorgemeten en geanalyseerd.
- Geringe holle ruimtes zijn gedetecteerd en gevalideerd bij dijkpalen 46 (pagina 17) en 47 (pagina 18).
- De hoeveelheid holle ruimtes onder de muraltmuurtjes is verder waarschijnlijk zeer beperkt.
- Bij dijkpaal 40 is een leiding aangetroffen.
- Bij dijkpaal 47 waren herstelwerkzaamheden van de jaren 50 zichtbaar in het microgolvensignaal.
- De passieve microgolven sensoren laten verder relatief veel variatie zien onder de muurtjes, die met name zijn toe te schrijven aan variaties van de betonlaag en de onderliggende ondergrond.

## **Inhoudsopgave**

Samenvatting.....	3
Factsheet .....	4
Inhoudsopgave .....	5
1. Inleiding .....	6
2. Theorie en Technologie .....	7
3. Studiegebied.....	9
4. Testmeting en Methodologie .....	9
5. Resultaten en Interpretatie .....	12
6. Conclusies en Aanbevelingen .....	22
Referenties .....	22
Appendix A: Metingen in kaart gebracht.....	23
Appendix B: Boorresultaten .....	25

## 1. Inleiding

Muraltmuurtjes zijn betonnen muurtjes die in het begin van de twintigste eeuw zijn geïntroduceerd om op een efficiënte en goedkope manier dijken te verhogen. Ze waren bedacht door ingenieur de Muralt en tussen 1906 en 1935 werd ongeveer 120 km aangelegd op de Zeeuwse buitendijken. Tijdens de watersnood van 1953 bleek echter dat deze muurtjes niet voldeden en zijn de meeste muurtjes bij dijkverhogingen weer afgebroken.

Nu zijn er op de Zeeuwse buitendijken alleen nog maar een paar plekken te vinden met deze oude muurtjes en alleen een strook Muraltmuurtjes op de oude zeedijk langs de Grevelingen bij Scharendijke is op het moment beschermd als monument.

Bij Burghsluis aan de Oosterschelde ligt ook nog een paar kilometer Muraltmuur op de buitendijk. Deze dijk wordt binnenkort gerenoveerd en de vraag is daarom ook of deze cultureel historische muurtjes hier nog aan onze huidige veiligheidsnormen voldoen en kunnen blijven staan of dat ze bij de renovatie weggehaald moeten worden.

De veiligheid van deze muurtjes wordt mede bepaald door de ondergrond. Indien er veel holle ruimtes onder de muurtjes zitten, is de kans op verzakkingen te groot en voldoen ze niet meer aan de huidige veiligheidsnormen.

Passieve microgolven radiometrie is een teledetectie techniek die ons informatie kan verschaffen over de aanwezigheid van holle ruimtes onder de Muraltmuurtjes.

Voor dit project is daarom ook deze techniek ingezet en het traject tussen dijkpaal 32 en 55 is ingemeten en bekeken in hoeverre deze technologie ons informatie kan geven over de huidige kwaliteit van deze muurtjes. Figuur 1 geeft aan hoe de deze muurtjes eruit zien en waar ze zijn ingemeten.



*Figuur 1: Muraltmuurtje tussen dijkpaal 53 en 54. De gele pijl geeft aan welk gedeelte van de muurtjes zijn ingemeten. Voor dit project is alleen aan de dijkant ingemeten.*

De afgelopen jaren is L-band radiometrie al voor verschillende toepassingen met betrekking tot de kwaliteit van de Nederlandse zeeweringen en kades ingezet. In [1] wordt een samenvatting gegeven van de mogelijkheden over microgolven radiometrie en daaruit blijkt al dat het mogelijk is om holle ruimtes op te sporen.

De hoofdvraag binnen dit onderzoek richt zich met name op de detectie van holle ruimtes onder deze muurtjes. We onderzoeken in hoeverre microgolven radiometrie in staat is om holle ruimtes te detecteren en wat volgens deze metingen de huidige staat is van deze muurtjes.

In dit rapport beschrijven we de resultaten van de metingen die zijn verricht bij de Muraltmuurtjes bij Burghsluis. Eerst wordt de testmeting van 100 m besproken en daarna de gehele meting tussen dijkpaal 32 en 55. Twee verschillende sensoren zijn gebruikt om zo een betere consistentie van de metingen te bewerkstelligen.

## 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 polarisatie (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 diëlectrische constante van de laag en kan eenvoudig worden uitgerekend aan de hand van de Maxwell vergelijkingen [2].

De diëlectrische 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 diëlectrische constante en er is met name een zeer

groot verschil tussen lucht, beton en een natte klei ondergrond. Het reële gedeelte van de diëlectrische constante van lucht is 1, van droog beton ongeveer 4 [3] en een vochtige kleiige bodem van 20 of hoger. Deze verschillen maken de passieve microgolven radiometer tot een belangrijk hulpmiddel om verschillen in de ondergrond te bepalen.

Kort samengevat kan dus worden geconcludeerd dat een observatie van een L-band radiometer een functie is van 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 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 vocht en materiaal variaties in de ondergrond.

Deze index is echter niet alleen gevoelig voor variaties in de ondergrond maar in beperkte mate ook op de vegetatie die erop groeit, met name als deze vegetatie erg nat is. Bij de interpretatie van de signalen van deze index, dient hiermee dan ook rekening mee gehouden te worden.

## 2.2. L-band Radiometer

Tijdens deze studie is gebruik gemaakt van een door Miramap ontwikkelde passieve microgolven scanners. 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. Voor deze studie is er gebruik gemaakt van twee onafhankelijke scanners. Door de steile hellingen van de Muraltmuurtjes is ervoor gekozen om de sensor met de hand te dragen en zo de muurtjes in horizontale polarisatie positie en verticale polarisatie positie in te meten.

De radiometers werden voor de meting gekalibreerd en elke meting werd voorzien van een GPS locatie en opgeslagen op een SD kaart.

De observaties snelheid van de sensor is 1 seconde met een ruimtelijke resolutie van om en nabij 1 m.



### 3. Studiegebied

Voor dit onderzoek zijn er metingen verricht in Zeeland op een buitendijk bij Burghsluis aan de Oosterschelde. Eerst is er een testmeting verricht op 29 Februari 2012 over een traject van 100 m (zie sectie hieronder) en op basis van de resultaten van deze meting is er op 23 Maart 2012 het volledige traject tussen dijkpaal 32 en 55 ingemeten. De metingen zijn verricht bij droge omstandigheden met twee radiometers in de namiddag tussen 16:00 hr en 19:00 hr. Om de invloed van de zon op de radiometer (i.e. sunglint) te minimaliseren is er van West naar Oost ingemeten. Eerst is het 2.3 km lange traject ingemeten in horizontale polarisatie positie en achtereenvolgens in verticale positie. In Mei zijn daarna aan de hand van de metingen een aantal boringen verricht ter verificatie. Figuur 2 geeft een detail kaart van de locatie. De resultaten van de zowel de testmeting als de volledige trajectmeting worden in de volgende secties besproken.



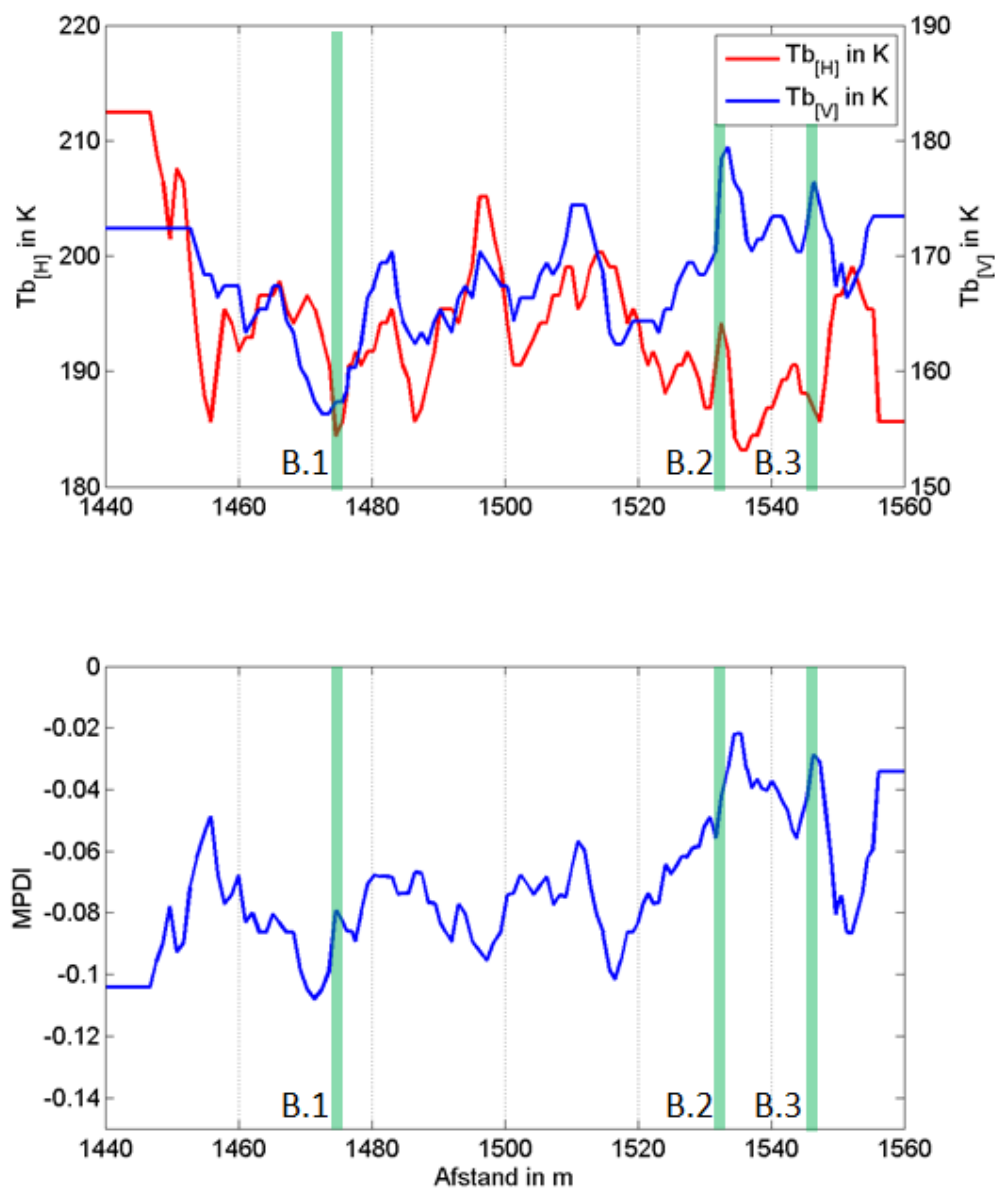
*Figuur 2: Detailkaart van de meetlocatie bij Burghsluis aan de Oosterschelde. Het 2.3 kilometer lange meettraject is aangegeven met een rode lijn*

### 4. Testmeting en Methodologie

Om ervoor te zorgen dat we er zeker van waren dat het mogelijk was om met de microgolven sensor holle ruimtes te detecteren werd er eerst een test meting verricht op 29 Februari 2012. Er werd op een traject van ongeveer 100 m ingemeten tussen dijkpaal 46 en 48. Figuur 3 laat de resultaten van deze meting zien. De resultaten werden ter plekke geanalyseerd en op basis van de metingen werden een drietal locaties uitgezocht voor een verificatie boring:

- A. een locatie waarbij de horizontale en verticale polarisatie meting naar beneden gaan (Boring 1 in Figuur 3)
- B. een locatie waarbij zowel de horizontale als de verticale polarisatie meting omhoog gaan (Boring 2 in Figuur 3) en
- C. een locatie waarbij de horizontale naar beneden en de verticale polarisatie meting omhoog gaat (Boring 3 in Figuur 3).

Uit de Boringen bleek dat alleen bij situatie C, waarbij de horizontale polarisatie naar beneden gaat en de verticale omhoog, er een holle ruimte onder de muurtjes ligt (Zie ook foto's Figuur 4). Deze bevindingen komen ook overeen met de theorie waar de verticale polarisatie anders kan reageren op holle ruimtes dan de horizontale omdat de horizontale polarisatie meer gevoelig is voor veranderingen in diëlectrische constante en de verticale polarisatie meer gevoelig is voor temperatuur veranderingen.



Figuur 3: Resultaat van de testmeting op 29 Februari 2012 tussen dijkpaal 46 en dijkpaal 48. De 3 locaties van de drie verschillende boringen zijn aangegeven met een groene lijn. De afstand is gegeven in meters vanaf dijkpaal 32. In boring 3 werd een holle ruimte onder de beton laag aangetroffen.



*Figuur 4: Een aantal foto's van de verschillende boringen. a) boring op locatie 3 in de Muraltmuur; b) boorkern van de betonlaag. De betonlaag is ongeveer 20 cm dik; c) Boring op locatie 1, boorkern zakt niet weg nadat er door de betonlaag heen geboord is en d) boorwater loopt ook niet weg. Hier is geen holle ruimte aangetroffen; e) boorkern bij boor locatie 3 valt een aantal centimeter naar beneden nadat er door de betonlaag heen geboord is en f) het boorwater is ook gelijk weggelopen. Hieronder werd een holle ruimte aangetroffen.*



Deze resultaten werden meegenomen en op 23 Maart 2012 werd het gehele traject tussen dijkpaal 32 en 55 ingemeten met twee verschillende radiometers om zo de consistentie te verhogen. De verschillende metingen werden geanalyseerd en gebaseerd op de testmeting werd er vooral gekeken hoe vaak situatie C zich voordoet in de metingen.

## **5. Resultaten en Interpretatie**

### **5.1. Metingen**

Het 2.3 km lange traject werd ingemeten met twee verschillende radiometers. Om het overzichtelijk te houden is er voor gekozen om het traject in stapjes van 500 m te bespreken. De uiteindelijke microgolven observaties zijn ook op een Google Earth beeld geprojecteerd (aangegeven in MPDI waarden) en zijn in Appendix A aan dit document toegevoegd. De verificatieboringen die in Mei zijn uitgevoerd kunnen teruggevonden worden in Appendix B. Het kleurenpatroon in MPDI geeft aan dat er in de microgolven metingen een zeer sterke variatie gevonden is, die vaak bepaald wordt door bodemvocht variatie onder de Muraltmuurtjes en vegetatie op de Muraltmuurtjes. Echter voor een aantal gevallen verandert de MPDI door de waarschijnlijke aanwezigheid van holle ruimtes. Deze locaties zijn ook in deze kaarten aangegeven. De mogelijke locatie van deze holle ruimtes wordt ook verder hieronder besproken.

### **5.2. Traject 1: 0 - 500 m van dijkpaal 32 naar dijkpaal 37**

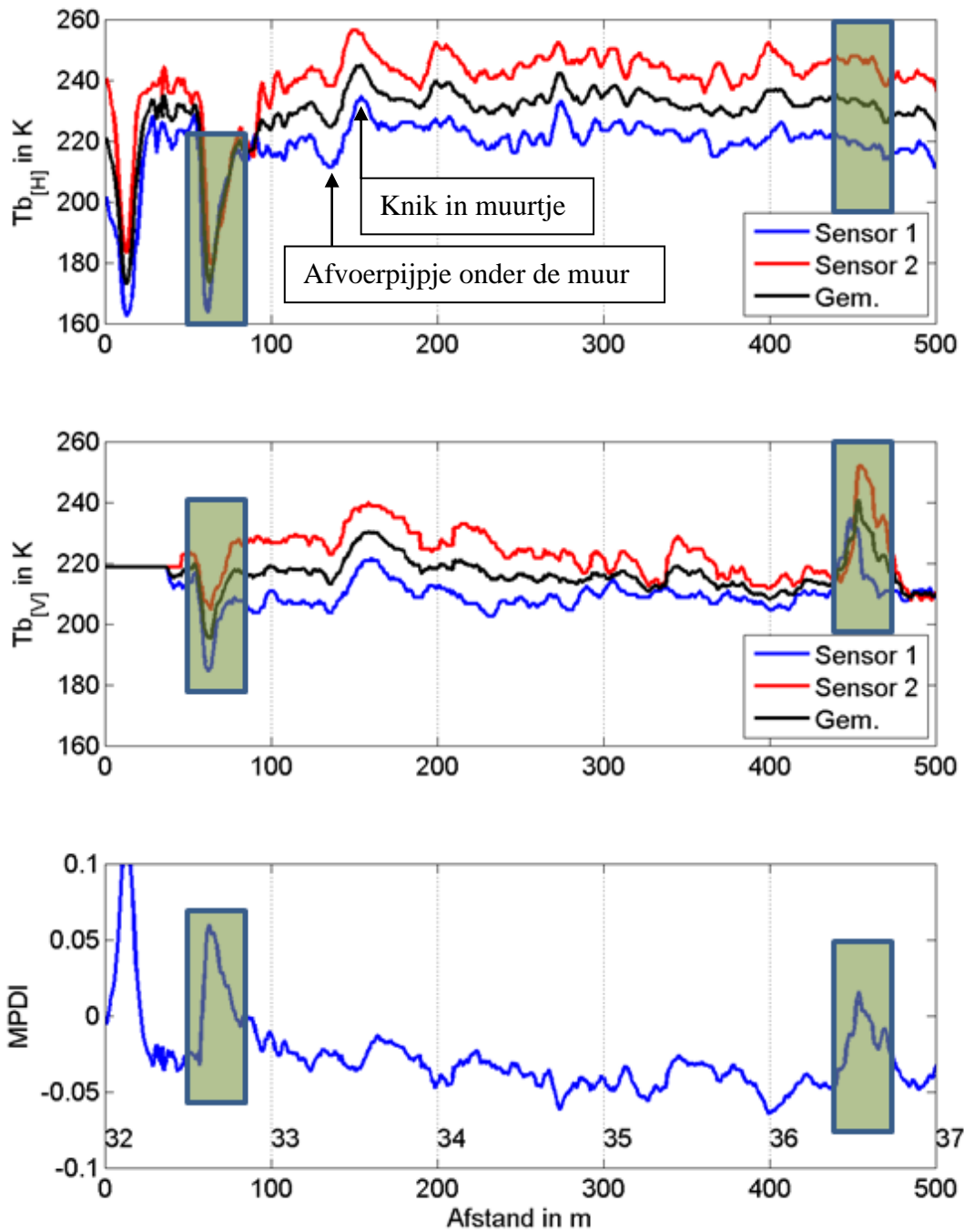
Op het eerste traject tussen dijkpaal 32 en 37 zijn een aantal zaken zichtbaar (Zie Figuur 5). Ten eerste valt op dat er een offset verschil zit tussen de twee sensoren zowel in horizontale als in verticale polarisatie. Dit komt met name door het feit dat de metingen met de hand gedaan zijn door twee verschillende personen. Hierdoor is het eigenlijk onmogelijk om met eenzelfde kijk hoek alles in te meten, waardoor je een verschil krijgt in offset. Naarmate de kijk hoek van de sensoren bij elkaar komen neemt de offset af. Verder is het ook duidelijk dat de relatieve variatie overal ongeveer hetzelfde is. Dus de sensoren reageren vergelijkbaar op een variërende ondergrond. Daarom hebben we ook de sensoren bij elkaar gemiddeld om zo een meer consistentere waarde te genereren. Bij dit eerste traject vallen er een paar sterke anomalieën op. Een tussen dijkpaal 32 en 33 en een tussen dijkpaal 36 en 37.

Bij de eerste anomalie valt met name de zeer sterke daling in het horizontale signaal op. Dit blijkt een oude weg te zijn die over de muurtjes heen gaat. Deze weg is duidelijk zichtbaar in het signaal. Dit zou een waterafvoerbuisc kunnen zijn of iets anders wat een “nat” signatuur geeft

Tussen dijkpaal 36 en 37 zien we dat met name de verticale polarisatie uitslaat en zien we geen variatie in de horizontale polarisatie. Dit kan duiden op een verstoring in het EM veld en kan veroorzaakt zijn door een kabel of leiding. Ter verificatie zijn er op dit traject twee boringen verricht, een bij dijkpaal 35 en een precies tussen dijkpaal 36 en 37 (op de anomalie). Hier werden geen holle ruimtes aangetroffen maar wel

variaties in de ondergrond. Bij dijkpaal 35 werd onder een betonlaag van 13 cm 40 cm zandige klei aangetroffen met daaronder zand. Tussen dijkpaal 36 en 37 een betonlaag van 16 cm met daaronder 18 cm zandige klei met daaronder zand. Aanvullende gegevens m.b.t. de historie van het dijkvak, en KLIC-gegevens t.a.v. de kabels en leidingen hebben geen informatie opgeleverd die de anomalie tussen dijkpaal 36 en 37 zou kunnen verklaren. Toch vermoeden we hier een kabel, leiding of een andere onnatuurlijke stoorzender in de nabije omgeving omdat hier alleen het verticale signaal verstoord is.

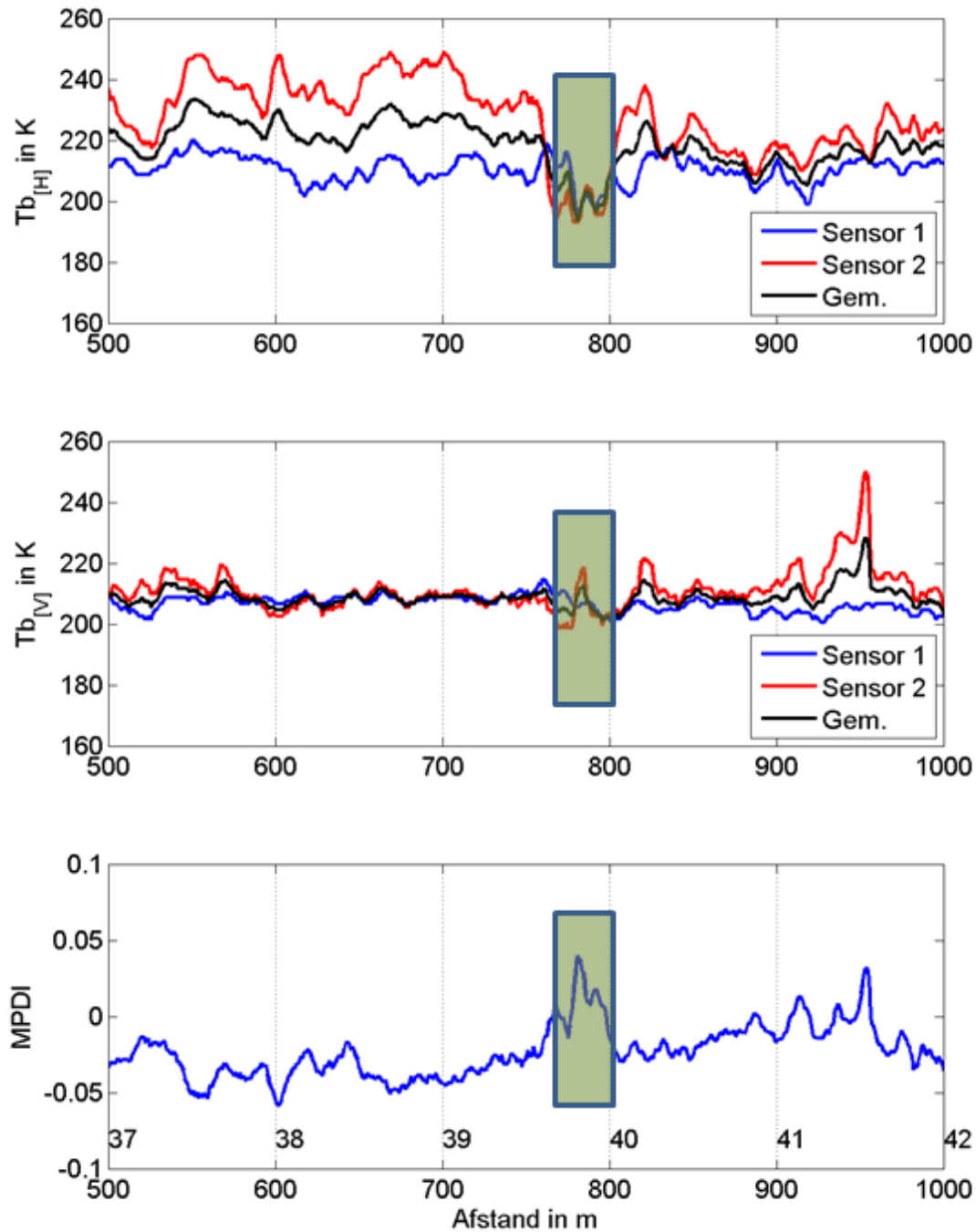
Tenslotte hebben we in de bovenste grafiek van Figuur 5 nog twee kleinere effecten verklaard, nl. een afvoerpijpje onder de muur en een knik in de richting van de muur.



*Figuur 5: Resultaat van de microgolven meting tussen dijkspaal 32 en 37. De bovenste twee profielen laten de originele metingen zien van de twee sensoren in horizontale en verticale polarisatie. Daarnaast is het gemiddelde van deze twee metingen gepresenteerd met een zwarte lijn. In de onderste grafiek wordt de MPDI gepresenteerd. De interessante locaties zijn aangegeven in de groene transparante rechthoeken en worden in de tekst verder besproken*

### 5.3. Traject 2: 500 – 1000 m van dijkpaal 37 naar dijkpaal 42

Bij dit traject valt met name op dat er vlak voor dijkpaal 40 de microgolven signalen een gedrag vertonen waarbij het vermoeden van een holle ruimte sterk vergroot wordt. Hier gaat namelijk de horizontale metingen naar beneden en de verticale omhoog. We denken dan ook dat er hier onder het muurtje een holle ruimte aanwezig is. Na nader onderzoek blijkt dat hier geen ongewenste holle ruimte zit, maar een rioolpersleiding die door de dijk loopt (die natuurlijk ook als holle ruimte geïnterpreteerd kan worden).



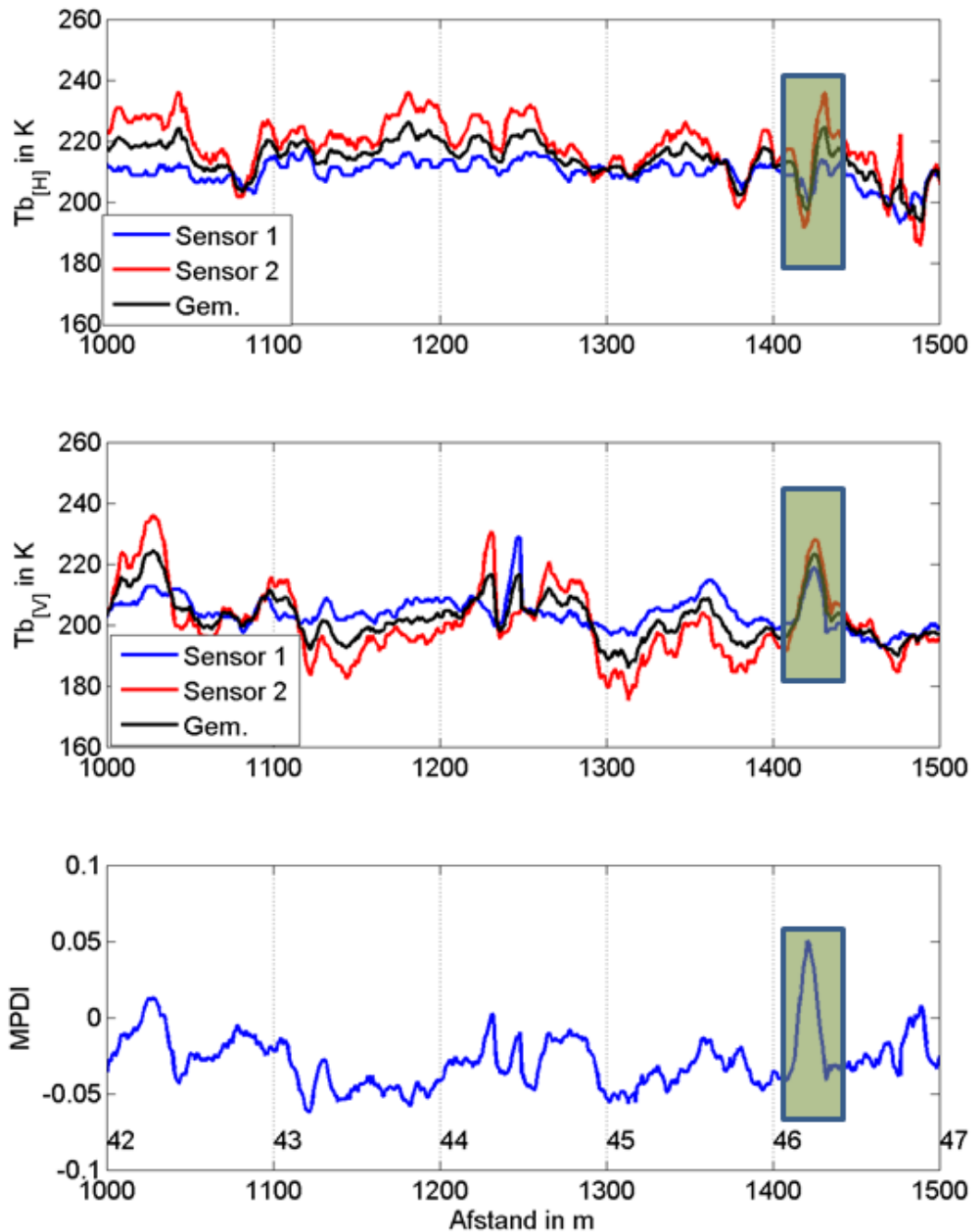
Figuur 6: Resultaat van de microgolven meting tussen dijkpaal 37 en 42. Zie beschrijving bij Figuur 5 voor een verdere uitleg van de verschillende eenheden van de grafiek

Verder zien we dat tussen dijkpaal 41 en 42 Sensor 2 een verhoogde uitslag geeft in de verticale helderheidstemperatuur. Maar deze stijging is niet terug te vinden in de andere signalen, wat betekent dat deze signaal in alle waarschijnlijkheid een onnatuurlijke oorzaak heeft en gerelateerd kan zijn aan de persoon die de meting verrichtte (denk hierbij bijvoorbeeld aan het overpakken van de sensor, plotselinge verschuiving van kijkhoek etc.). Zes meter vanaf dijkpaal 41 is ook een boring gezet en deze boring geeft ook geen extra indicatie voor een holle ruimte (zie appendix B).



## 5.4. Traject 3: 1000 – 1500 m van dijkpaal 42 naar dijkpaal 47

Bij dit profiel zien we met name na dijkpaal 46 een signaal in de radiometer wat veroorzaakt kan zijn door een holle ruimte. Hier gaan de horizontale metingen weer even naar beneden en de verticale omhoog. In de additionele boring wordt in eerste instantie geen holle ruimte aangetroffen, maar nadere inspectie van het boorgat wijst echter wel op een beperkte holle ruimte richting de bovenkant van het muurtje (zie foto Appendix B). Dit een typisch signaal voor een holle ruimte, vergelijkbaar met wat we ook in de test hebben gezien.



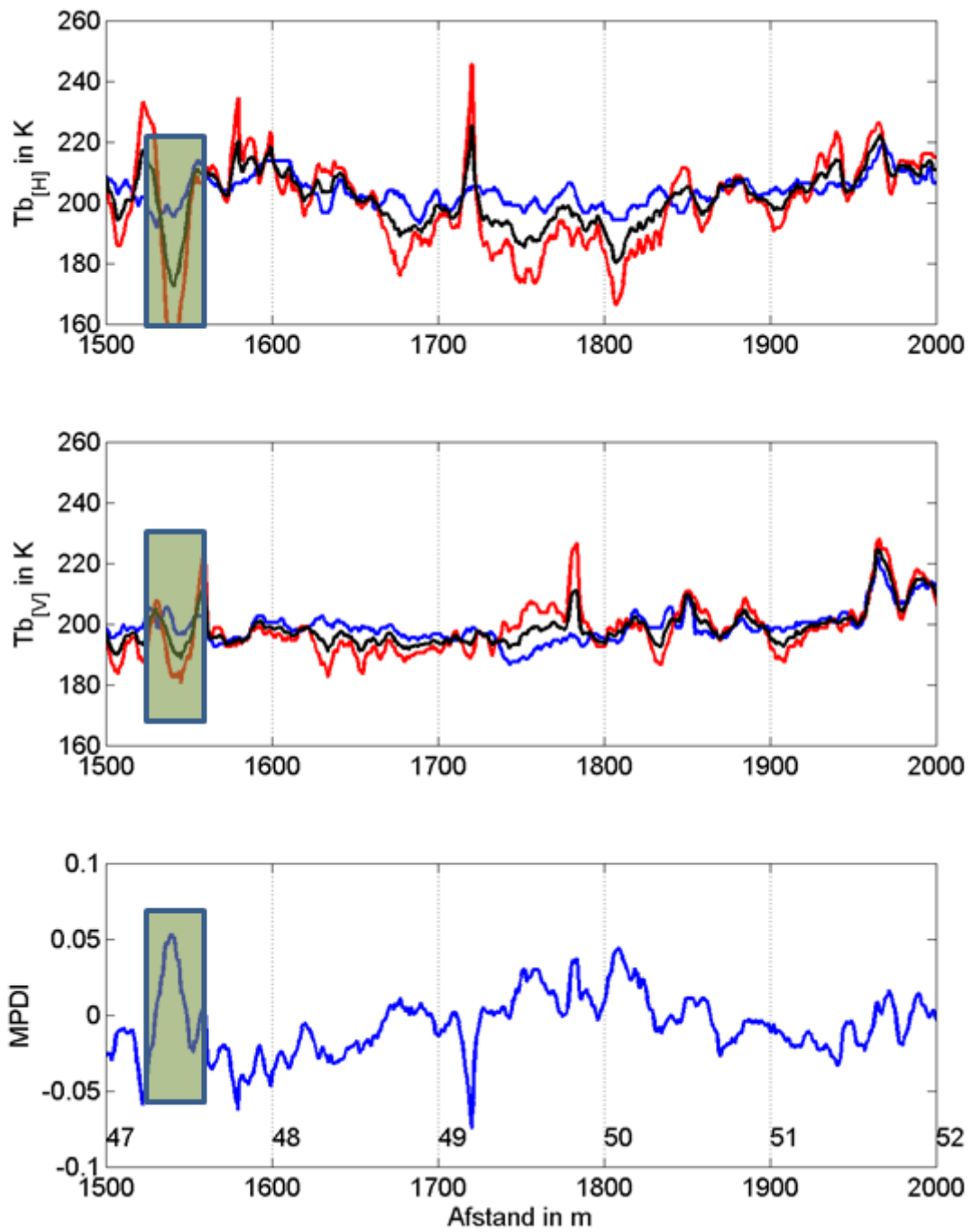
Figuur 7: Resultaat van de microgolven meting tussen dijkpaal 42 en 47. Zie beschrijving bij Figuur 5 voor een verdere uitleg van de verschillende eenheden van de grafiek

## **5.5. Traject 4: 1500 – 2000 m van dijkpaal 47 naar dijkpaal 52**

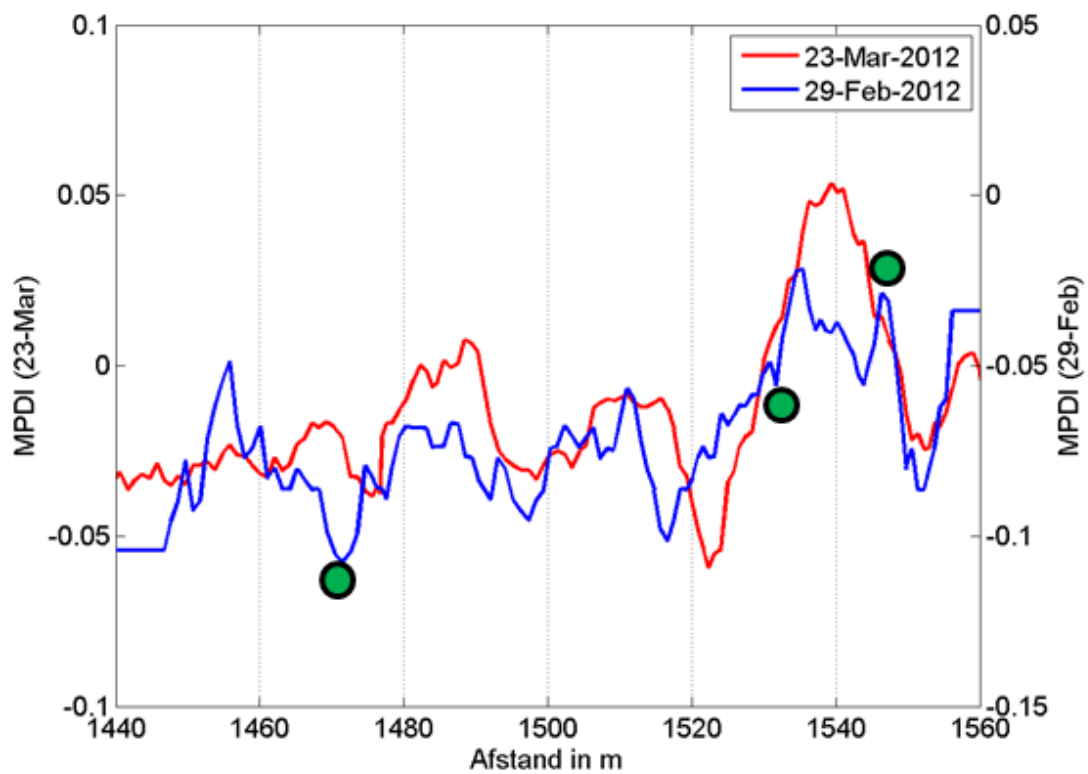
Figuur 8 beschrijft het profiel van dijkpaal 47 tot 52. Hier valt op dat met name de holle ruimtes die bij de testmeting werden aangetroffen weer worden opgepikt door de sensor. Dit is nog duidelijker weergegeven in Figuur 9 waarbij de MPDI van de meting van zowel 29 Februari als 23 Maart geplot is. Hier valt dan met name op dat het lijkt alsof de holle ruimte die in 29 Februari werd aangetroffen, door de booractiviteiten is vergroot. Dit werd echter door de additionele boringen niet verder bevestigd (zie appendix B).

Wel werd er in de archieven gevonden dat er rond 1956 het talud rond dijkpaal 47 was hersteld nadat het was afgeschoven. De oude bestekstekening toont dat ca. 150 m ten oosten van de Plompe Toren een traject van 90 m lengte is hersteld. Dit kan ook de anomalie verklaren omdat hier de ondergrond onder de muraltmuurtjes anders is (e.g. het gebruik van mijnsteen i.p.v. zandige klei) dan bijvoorbeeld de rest van het traject. Het traject van de proefmetingen (dijkpaal 47) zal dus zoals reeds vermoed een later geplaatst deel van de Muraltmuur zijn.

Tenslotte valt op dat Sensor 2 bij dijkpaal 49 plotseling een sterke verstoring geeft in het horizontale signaal. Gezien het feit dat deze anomalie niet gemeten is in de andere sensoren denken we ook dat hier sprake is van een onnatuurlijke fluctuatie.



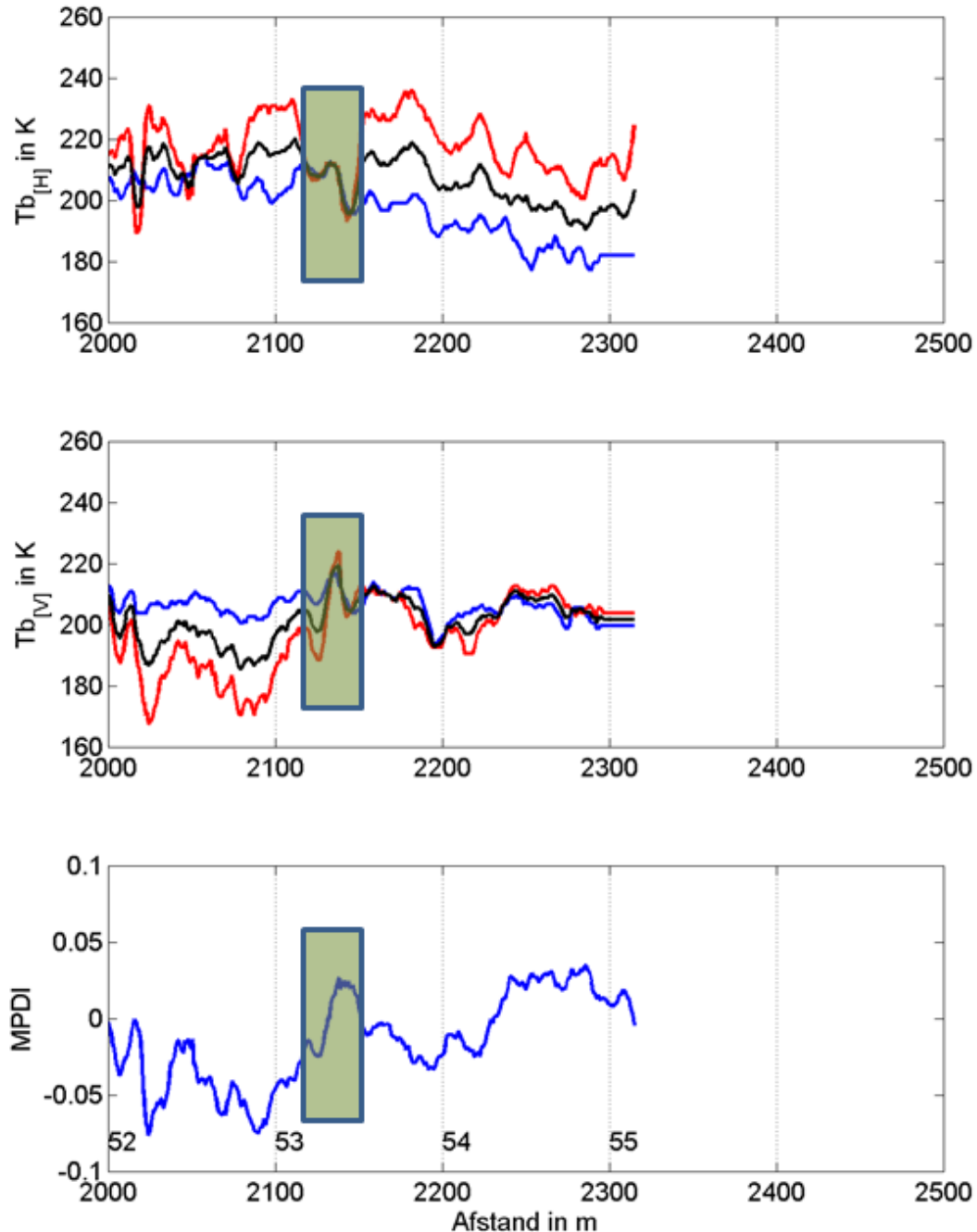
Figuur 8: Resultaat van de microgolven meting tussen dijkpaal 47 en 52. Zie beschrijving bij Figuur 5 voor een verdere uitleg van de verschillende eenheden van de grafiek



*Figuur 9: Vergelijking van de microgolven meting van 29 Februari en 23 Maart. De verschillen tussen de twee metingen worden met name veroorzaakt door de verschillende hydrologische condities. De oude boringen zijn aangegeven met groene cirkels. Het valt op dat waarschijnlijk de holle ruimte onder de betonlaag van het Muraltmuurtje die op 29 Februari is aangetroffen door de boringen is vergroot.*

## 5.6. Traject 5: 2000 – 2300 m van dijkspaal 52 naar dijkspaal 55

In het laatste profiel zien we met name na dijkspaal 53 een fluctuatie in de microgolven data die vermoedelijk veroorzaakt wordt door een holle ruimte. In de boring hier treffen we hier echter niet een significante holle ruimte aan (zie Appendix B). Tussen dijkspaal 54 en 55 zien we de horizontale metingen langzaam afnemen wat veroorzaakt kan zijn door een wat nattere ondergrond.



*Figuur 10: Resultaat van de microgolven meting tussen dijkspaal 37 en 42. Zie beschrijving bij Figuur 5 voor een verdere uitleg van de verschillende eenheden van de grafiek*

## 6. Conclusies en Aanbevelingen

Uit dit onderzoek is gebleken dat de passieve microgolven sensoren heel veel variatie laten zien onder de Muraltmuurtjes. De variaties van de betonlaag, alsmede de variatie in de daar onderliggende ondergrond hebben met name de variatie in het microgolven signaal bepaald. Hieruit kunnen we daarom ook afleiden dat de hoeveelheid holle ruimtes onder de muraltmuurtjes waarschijnlijk zeer beperkt is.

Uit de data analyse kwam een aantal interessante waarnemingen. Geringe holle ruimtes zijn gevonden nabij dijkpalen 46 en 47. Zo werd er op de plek waar de sensor een sterke anomalie gaf bij dijkpaal 40 een leiding aangetroffen, en waren de herstelwerkzaamheden die ooit in de jaren 50 hebben plaatsgevonden rondom dijkpaal 47 zichtbaar in het microgolvensignaal.

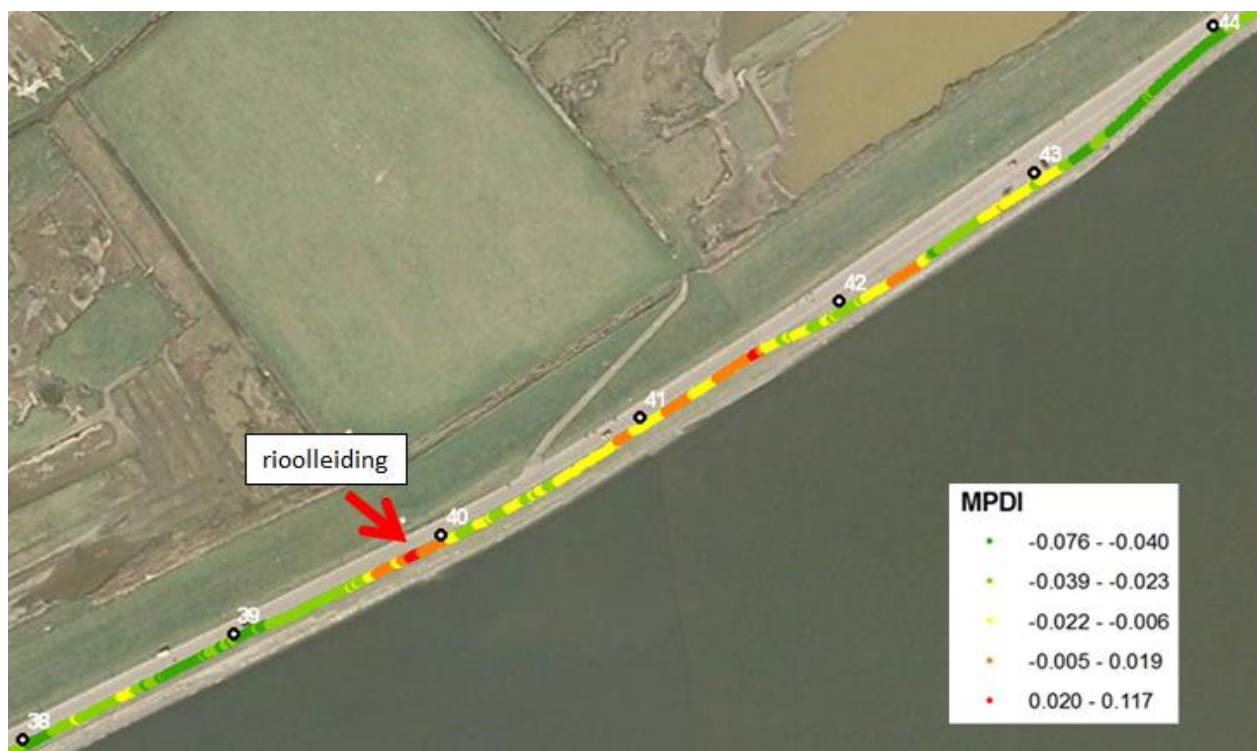
Concluderend kan gezegd worden dat je met passieve microgolven radiometrie op een zeer snelle manier de toestand van de ondergrond onder de Muraltmuurtjes in kaart kunt brengen zonder breekwerk te verrichten. Het is echter wel gebleken dat zowel het meetsignaal maar ook de variërende ondergrond onder de muraltmuurtjes zeer complex is waardoor het soms niet mogelijk is om alles volledig te interpreteren.

Verder werden de metingen met een simpele GPS antenne en ontvanger geregistreerd waardoor de boringen niet altijd op exact dezelfde locatie zaten waar de anomalie werd geregistreerd. Voor een nog nauwkeuriger verificatie raden wij dan ook aan om met een nauwkeuriger GPS systeem te werken. Hiermee kan de verificatie nog gericht uitgevoerd worden waardoor er weer meer uit de sensor signalen te halen is.

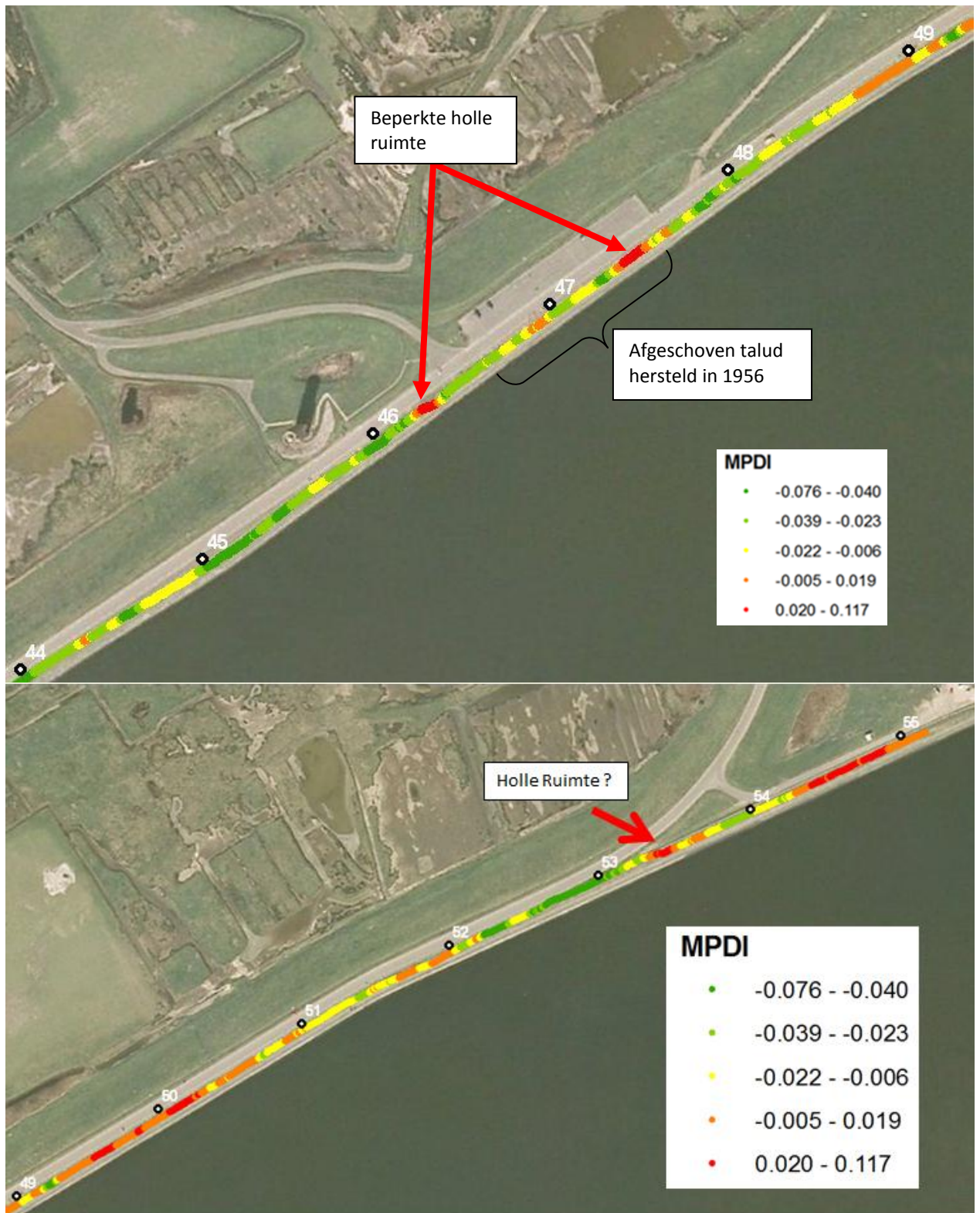
## Referenties

- [1] RAM de Jeu, R Haarbrink, en Y Provoost, Passieve microgolven radiometer houdt de dijken in de gaten, *Land en Water*, Aug 2011
- [2] TT Wilheit, Radiative Transfer in a Plane Stratified Dielectric," *IEEE. Trans. Geosc. Electr.*, vol. 16, pp. 138-143, 1978.
- [3] Miramap, Determinatie van de toestand van dijkbekleding met behulp van Passieve microgolven Technologie, Een studie naar de mogelijkheden van de toepasbaarheid van mobiele L-band radiometrie voor dijkinspectie, Technisch rapport voor Rijkswaterstaat projectbureau Zeeweringen, December 2009.
- [4] RAM de Jeu, Retrieval of Land Surface Parameters Using Passive Microwave Observations, PhD Dissertation, VU Amsterdam, 120 pp, ISBN 90-9016430-8, 2003

## Appendix A: Metingen in kaart gebracht







*Figuur 11: Een serie van MPDI metingen van het gehele traject van dijkpaal 32 tot dijkpaal 55 gepresenteerd op een Google Earth image. Gebieden waarbij we het vermoeden hebben van de aanwezigheid van holle ruimtes zijn aangegeven. Daarnaast zijn ook andere anomalieën die we in de meting zijn tegengekomen ook aangegeven. De oorzaak van deze anomalieën is niet altijd bekend maar we hebben het vermoeden sommige zijn veroorzaakt door leidingen/kabels of afvoersystemen.*



## APPENDIX B: Boorresultaten

<u>Locatie</u>	<u>RD Coördinaten</u>	<u>Meetresultaten</u>
dp 35	n.t.b.	Geen holle ruimte, dikte beton 13cm, daaronder 40cm zandige klei op >60cm zand
dp 36+50m	42755;411262	Geen holle ruimte, dikte beton 16cm, daaronder 18cm zandige klei op >55cm zand
dp 41 +6m	43167,849;411471,876	Geen holle ruimte, dikte beton 13cm, daaronder 65cm vette klei op >65cm slappe klei
dp 44	n.t.b.	Geen holle ruimte, dikte beton 19cm, daaronder 40cm zandige klei op >80cm vette klei
dp 46+20m	43582;411756	Beperkte holle ruimte <10cm, dikte beton 13cm, daaronder 40cm zandige klei op >100 vette klei
dp 46+77m	(= 1e proeflocatie)	Geen holle ruimte, dikte beton 19cm, daaronder 20cm mijnsteen op 35cm vette klei op 30cm zand
dp 47+28m	(= 2e proeflocatie)	Geen holle ruimte, dikte beton 20cm, daaronder 10cm mijnsteen op >110cm vette klei
dp 47+36m	43677;411826	Geen holle ruimte, dikte beton 23cm, daaronder 20cm mijnsteen op 15cm zandige klei op 55cm vette klei
dp 47+45m	(= 3e proeflocatie)	Beperkte holle ruimte <10cm, dikte beton 19cm, daaronder 15cm mijnsteen op 15cm zandige klei
dp 50	n.t.b.	Geen holle ruimte, dikte beton 13cm, daaronder 50cm vette klei op >50cm zand
dp 51+64m	44035,888;412055,478	Geen holle ruimte, dikte beton 16cm, daaronder 110cm vette klei op >15cm zand
dp 53+30m	44191;412126	Geen holle ruimte, dikte beton 15cm, daaronder >125cm klei



*Figuur 12: Boring van dp 46+20 met beperkte holle ruimte richting bovenkant van de muraltmuur (aangegeven door schaduw)*