

Detectie van vochtvariaties in de dijkbekleding bij Wemeldinge met behulp van Passieve Microgolven Technologie



Amsterdam en Houten, September 2010

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

The logo for Vrije Universiteit Amsterdam, featuring a stylized eagle with spread wings above the year "1555".
vrije Universiteit amsterdam

Dit onderzoek is uitgevoerd door

Miramap B.V. (Roland Haarbrink)
Toendrameer 57
3994 JC Houten

in samenwerking met:

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

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

Foto voorkant: De geïnspecteerde dijk bij Wemeldinge

Dankwoord

Dank gaat uit naar de uitvoerende tak van Rijkswaterstaat die ons de mogelijkheid hebben geboden om de dijk bij Wemeldinge te meten en ons extra informatie hebben gegeven van de dijk.

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 bodemvocht variaties te detecteren in de dijkbekleding van Wemeldinge, Zeeland.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de microgolf radiometer scanner goed in staat is om variaties in bodemvocht in de dijkbekleding te detecteren.

Bij de huidige dijkinspectie zien we weinig variatie in de microgolven data bij de metingen boven de haringman blokken en veel boven de grauwackes met gietasfalt. Hieruit leiden wij af dat het bodemvocht in de kleilaag onder de haringmanblokken waarschijnlijk redelijk stabiel is maar sterk varieert onder de grauwackes. Deze waarnemingen zijn echter nog niet geverifieerd en verder onderzoek is nodig op deze locatie om uit te wijzen of dit ook daadwerkelijk het geval is. Desalnietemin blijkt er uit de synthetische studie dat deze radiometer zeer gevoelig moet zijn voor variaties in bodemvocht in de kleilaag en dat de bovenliggende lagen, semi transparant zijn voor de radiometer.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	5
2 Theorie en Technologie.....	6
2.1 Theoretische Achtergrond.....	6
2.2 L-band Radiometer.....	8
3. Methodologie.....	8
4 Studie gebied.....	9
5. Resultaten en Discussie.....	9
5.1 Synthetische Analyse.....	9
5.2 Dijkmetingen.....	10
6. Conclusies en Aanbevelingen.....	13
Referenties.....	13

1. Inleiding

Sterke bodemvocht variaties in de kleilaag in de dijkbekleding kan een effect op de kwaliteit van de dijk. Een te droge kleilaag kan bijvoorbeeld de stabiliteit van de dijk aantasten. Het bepalen van de bodemvochtconditie van de kleilaag is erg complex omdat er bekleding over ligt (bijvoorbeeld haringmanblokken, een vlijlaag, of grauwacke en basalt, gepenetreerd met asfalt) wat een directe meting van bodemvocht ingewikkeld maakt. Daarnaast zijn *in situ* metingen van bodemvocht over het algemeen punt observaties, wat in de praktijk betekent dat je heel veel metingen nodig hebt wil je een goed beeld krijgen van de bodemvochtcondities binnen in de dijk. Passieve microgolven radiometrie kan op dit vlak een oplossing bieden omdat je met deze teledetectie methode verschillen in bodemvocht kunt detecteren.

Het gebruik van passieve microgolven radiometers voor dijkinspectie begint langzaam body te krijgen. Uit eerdere recent onderzoek [1] is gebleken dat het mogelijk is om verschillende materialen en holle ruimtes te detecteren. Verder is er in de wetenschap al vanaf de jaren zeventig bekend dat microgolven radiometers heel erg gevoelig zijn voor bodemvocht [2]. In de industrie wordt er echter nog op een zeer beperkte schaal gebruik gemaakt van de mogelijkheden van passieve microgolven radiometrie. 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) 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.% [3]. 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 kunnen worden uitgevoerd (Zie Foto in Figuur 1). Voor dit onderzoek maken we gebruik van deze handzame radiometer.



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 variaties in bodemvocht te determineren en zo ja hoe ziet het signaal eruit over een stuk dijk waarbij het vermoeden is dat er een sterke variatie in bodemvocht is binnen in de ondergrond.

Om antwoord te krijgen op deze vraag zijn er een aantal transects gelopen over een dijk bij Wemeldinge, Zeeland, waarvan het vermoeden was dat er veel variatie in bodemvocht zou zijn in de kleilaag. 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 [3]. De dielectrische constante is een fysische grootheid die beschrijft hoe een elektrisch veld een medium beïnvloedt en erdoor beïnvloed wordt.

De dielectrische 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 bepaalt 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 dielectrische constante van zand bedraagt ongeveer 3 tot 5 en water heeft een waarde van 80, waardoor een vochtige zandige bodem een dielectrische 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 bij de dijkbekleding bij Wemeldinge 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 [4]. 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 (ϵ')	Imaginaire (ϵ'')	Reëel (ϵ')	Imaginaire (ϵ'')
Beton	4.375	0.085	5.335	0.203
Basalt	6.031	0.143	6.063	0.133
Vlijsteen	3.245	0.116	7.578	0.196
Gietasfalt	3.903	0.057	3.936	0.053
Water			80.0	6.1
Lucht	1	0		
Klei*	19.7	0.8	29	2.8

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. NB de kleiwaarden zijn niet gemeten maar gemodelleerd met een dielectrisch mixing model [4].*

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 polarisatie 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.

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 bodemvochtvariaties in het dijklichaam te determineren is er een synthetische analyse uitgevoerd en zijn er een aantal transects gelopen over de dijk bij Wemeldinge.

Op de dijk zijn op verschillende hoogtes transects gelopen van ongeveer 600 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 er op gemeten op vrijdag 20 Augustus 2010 op een bij Wemeldinge (aangegeven met de rode pijl in Figuur 2) tussen dijkpaal 1600 en 1606 gemetne. De metingen werden verricht bij droge omstandigheden. Op de dijk zijn 4 transects gelopen met een afstand van plus minus 600 m.

De metingen zijn verricht op het talud. De bovenste drie transecten gingen voor een groot deel over haringman blokken (25 cm dik). Hieronder zat een 20 cm dikke vlijlaag en daaronder 2 m klei. Het onderste transect ging volledig over een 20 cm dikke grauwacke en basalt laag met gietasfalt. Hieronder zat een 5 cm dikke puinlaag gevolg door een 15 cm dikke vlijlaag en daaronder 2 m klei. De bovenste 3 transecten zijn met de buggy gelopen maar het onderste transect met grauwacke en basalt was te ruw voor de buggy. Voor deze transect is de radiometer gedragen.



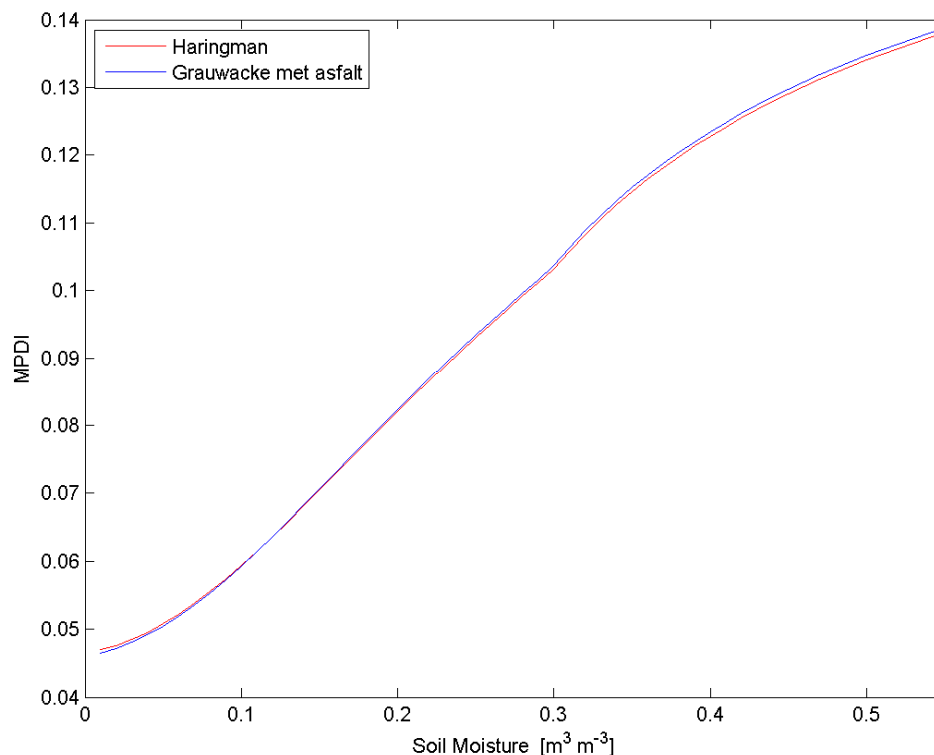
Figuur 2: Detailkaart van de meetlocatie bij Wemeldinge

5. Resultaten en Discussie

5.1. Synthetische Analyse

De vraag of passieve microgolf radiometrie geschikt is om bodemvocht variaties te vinden in de kleilaag onder 25 cm dikke haringmanblokken en 20 cm vlijsteen 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 met 25 cm haringmanblokken, 20 cm vlijsteen en daaronder klei die varieert in bodemvocht, zien we duidelijk de gevoeligheden van een L-band radiometer voor bodemvocht. We hebben een profiel van 2 m genomen waarbij de

onderste 1.55 m klei is waar we de vochtigheid in variëren. Dit wordt in Figuur 2 aangegeven met de rode lijn. We hebben daarnaast ook een simulatie gedraaid waarbij de toplaag 20 cm grauwacke en 15 cm vlij is ipv Haringman. Dit wordt aangegeven met een blauwe lijn. In dit figuur kun je duidelijk zien dat de MPDI niet gevoelig is voor de toplagen, en alleen omhoog gaat bij meer bodemvocht in de kleilaag. Dit komt omdat beton, asfalt, vlij en grauwacke semi transparant zijn in deze golflengte. Dus als de kleilaag in principe vochtiger is gaat de MPDI omhoog. In dit geval is een MPDI van 0.14 nat en een MPDI van 0.07 droog. Deze gegevens kunnen echter niet 1 op 1 gebruikt worden met de gegevens in het veld omdat we hier te maken hebben met een model waarbij we uitgaan van homogene lagen, een constante temperatuur in het profiel en ook constante bodemvocht waarden in elke laag. Dit is in de werkelijkheid natuurlijk niet het geval. Desalniettemin kan wel gezegd worden dat de kans groot is dat de ondergrond natter is als de MPDI omhoog gaat.

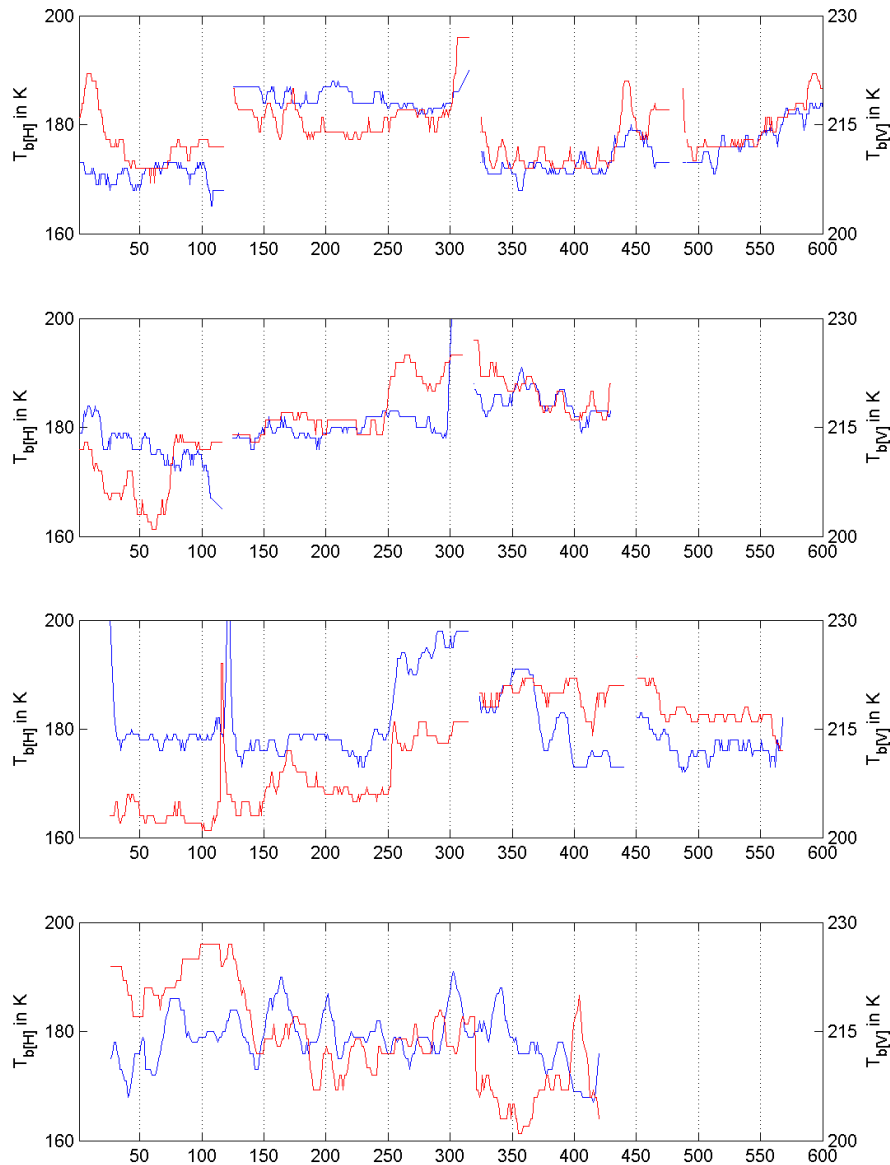


Figuur 2: Simulatie waarbij het effect van variërend bodemvocht onder de 25 cm droge dikke haringman blokken + een 20 cm dikke droge vlijlaag is gesimuleerd (rood) en 20 cm Grauwacke met asfalt +15 cm dikke droge vlijlaag. Het valt op dat het materiaal boven de kleilaag nauwelijks invloed heeft op de MPDI. Dit komt omdat deze materialen semi transparant zijn bij deze golflengte.

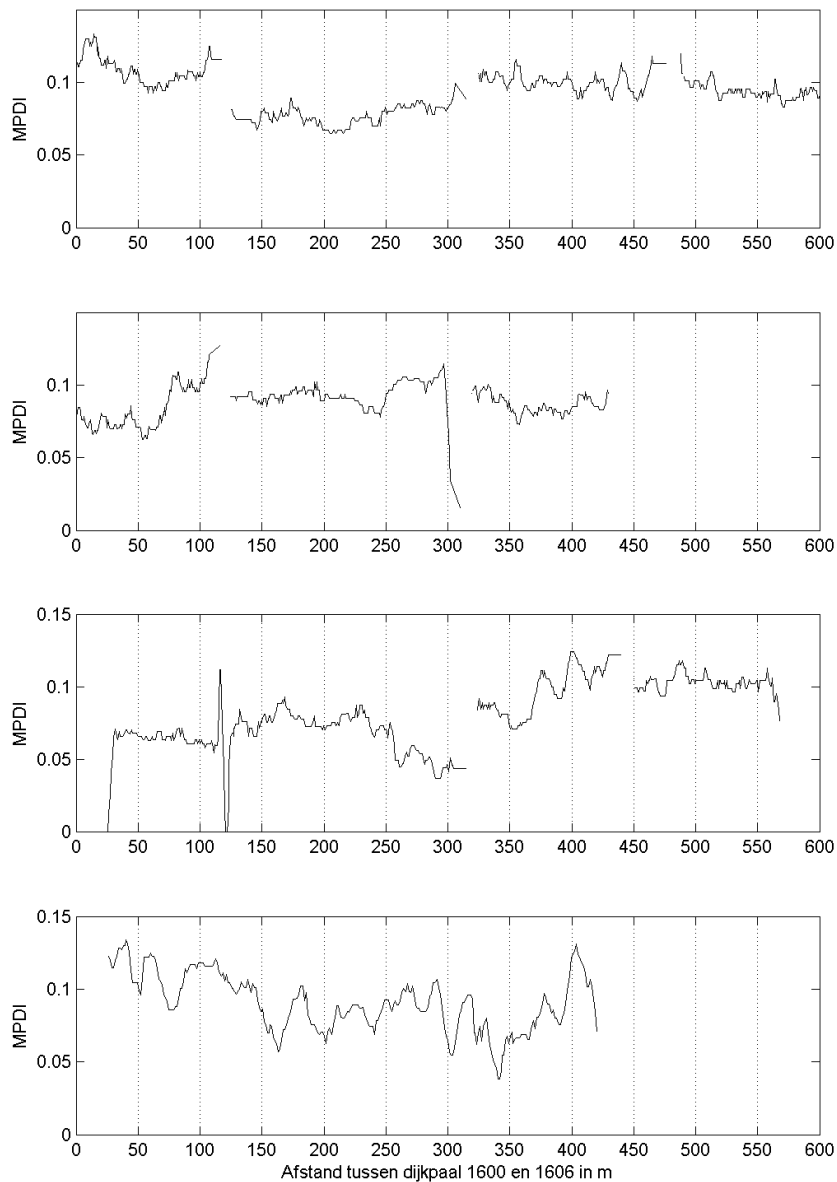
5.1. Dijkmetingen

Figuur 3 en 4 geven de resultaten weer van de metingen op de dijk ten westen van Wemeldinge. Figuur 3 laat de ruwe helderheidstemperaturen zien. Hier valt op dat met name over de haringman blokken de horizontale en verticale helderheidstemperaturen een vergelijkbaar signaal geven. Wat erop wijst dat de ondergrond redelijk uniform is qua gelaagdheid. Dit is echter veel minder het geval bij de grauwacke met gietasfalt. Hier zien we veel meer variatie in de helderheidstemperaturen wat duidt op meer (vocht) variatie in de ondergrond. De

uitschieters naar boven toe op 125 m en 300 m in de waarnemingen dienen buiten beschouwing gelaten te worden omdat hier de radiometer over een gegraven greppel werd getild



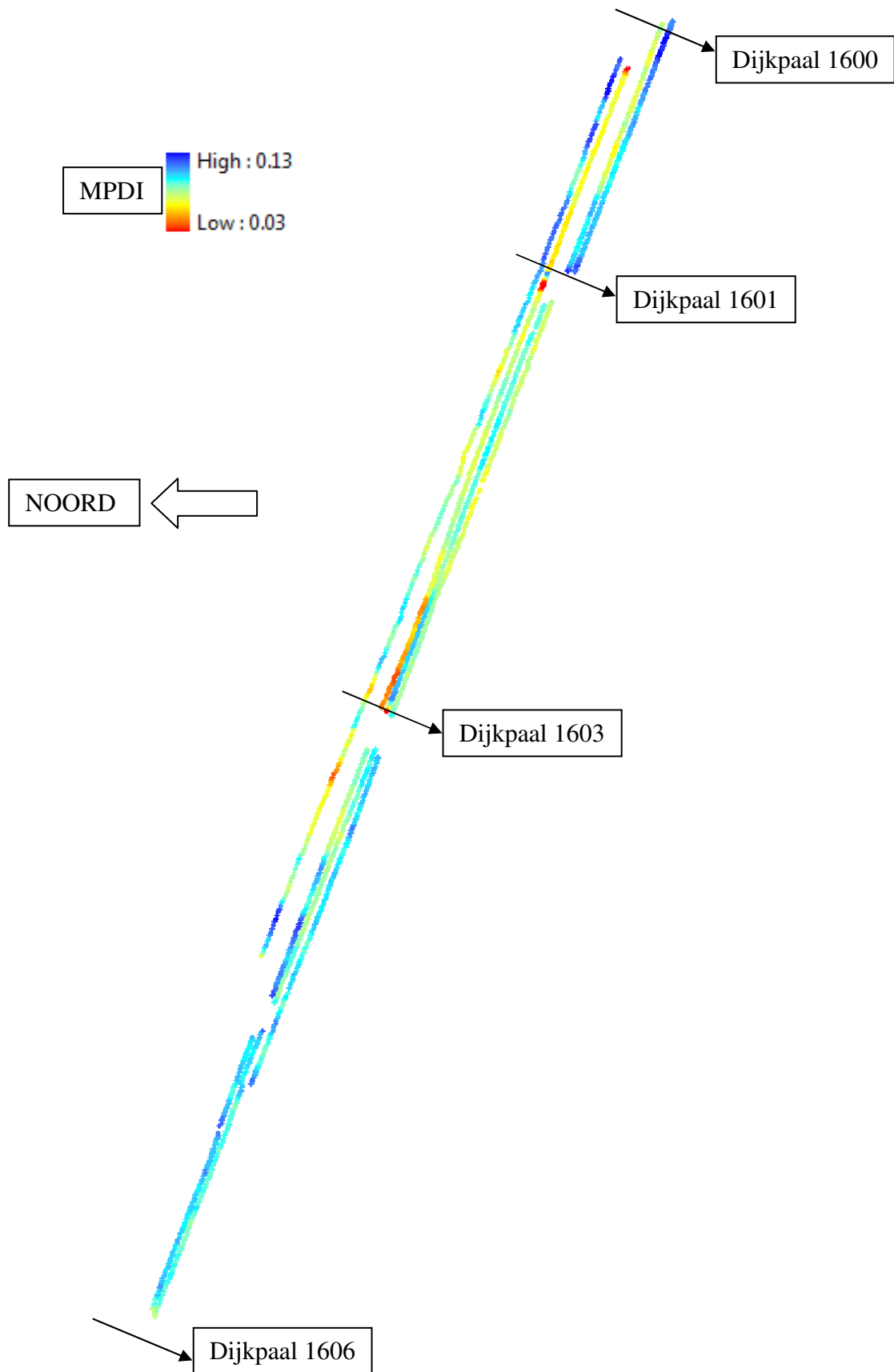
Figuur 3: De gemeten helderheidstemperaturen van de 4 verschillende transecten. Het bovenste transect is boven aan de dijk gelopen over de haringman blokken en de onderste over de grauwacke gepenetreerd met asfalt. De middelste twee zijn in het midden gelopen over afwisselend haring man blokken (0-250 m) en grauwacke (vanaf 250 m). De horizontale helderheidstemperaturen zijn aangegeven met blauw en de verticale met rood. Verder is op de x as de afstand uitgedrukt in m. Er is gelopen van dijk paal 1600 tot dijkpaal 1606.



Figuur 4: De afgeleide MPDI waarden voor de metingen tussen dijkpaal 1600 en 1606

Uit het MPDI blijkt hetzelfde verhaal nog sterker naar voren te komen. Een relatief vlakke observatie bij de haringman blokken en sterkere variaties bij de grauwackes met gietasfalt. Verder lijkt het erop dat het stuk tussen dijkpaal 1601 en 1603 bovenin iets droger is dan de rest. Bij de grauwacke onderin lijkt met name het stuk tussen dijkpaal 1603 en 1604 weer iets droger te zijn.

In Figuur 5 zijn de MPDI waarden gevisualiseerd op de kaart.



Figuur 5: De afgeleide MPDI waarden tussen dijkpaal 1600 en 1606 in kaart gebracht

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 variaties in vocht binnen in de dijk bij Wemeldinge is gebleken dat in alle waarschijnlijkheid de bodemvochtvariatie onder de grauwacke met gietasfalt groter is dan onder de haringmanblokken. De sensor geeft onder de haringmanblokken een relatief stabiel signaal wat duidt op weinig bodemvochtvariatie in de ondergrond. Bij de grauwackes is dit echter niet het geval en zien we hier veel variaties. De synthetische analyse geeft aan dat het goed mogelijk moet zijn om bodemvocht variaties te kunnen traceren en dat de bovenliggende lagen (i.e. haringman, vlijsteen, grauwacke en asfalt) relatief transparant zijn bij deze golflengte.

Zoals gezegd geeft het passieve microgolven signaal van de dijk bij Wemeldinge een sterkere variatie aan bij de grauwackes wat op een grotere variëteit in bodemvocht kan duiden. Op dit punt zijn nog geen verdere gegevens tot onze beschikking om dit te verifiëren. Wij raden daarom ook aan om na het breekwerk te controleren of dit inderdaad het geval was.

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] RAM de Jeu, R Parinussa, L Biemond, R Haarbrink, A Shutko, F Demontoux, and Y Provoost, Safety inspection of levees with L-band Radiometry, In proceedings, Microwave Radiometry and Remote Sensing of the Environment (MicroRad) 2010, 96-98, doi: 10.1109/MICRORAD.2010.5559583
- [2] T.J. Schmugge, "Remote Sensing of Soil Moisture," *Journal of Applied Meteorology*, vol. 17, pp. 1549-1557, 1978.
- [3] T. T. Wilheit, "Radiative Transfer in a Plane Stratified Dielectric," *IEEE Trans. Geos. Electr.*, vol. 16, pp. 138-143, 1978.
- [4] 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.