

## Onderzoeksresultaten 3d-Radar

Dijkmeting dijkvak Noord-Beveland  
dijkpaal 1790-1797

Auteur drs. G.P.C. Vink  
Verificatie ir. M.M. Willemsen  
Autorisatie ir. G. Akker  
Kenmerk 1509544  
Datum 4 juni 2009  
Versie 1  
Status Concept



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>3d-Radarsysteem</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Interpretatie radardata</b>	<b>6</b>
3.1	Resultaten 3d-radarmeting op het schouwpad	6
3.2	Resultaten 3d-radarmeting ter hoogte van de 'droge' talud raai	7
3.3	Resultaten 3d-radarmeting ter hoogte van de 'natte' talud raai	8
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>10</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>Radar interpretatie schouwpad raai</b>	<b>11</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Radar interpretatie 'droge' talud raai</b>	<b>12</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Radar interpretatie 'natte' talud raai</b>	<b>13</b>

## 1 Inleiding

In opdracht van Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen heeft Breijn Wegbouwkunde een onderzoek uitgevoerd op een buitendijk van een dijkvak te Zeeland waarbij het 3d-radarsysteem is ingezet. Het doel van de radarmetingen is het inzichtelijk maken of het mogelijk is om de geologische opbouw van deze dijk te bepalen met behulp van de 3d-radar. De data zijn middels GPS-positionering met submeter precisie vastgelegd, bovendien zijn gelijktijdig videobeelden opgenomen welke eveneens gekoppeld zijn aan de GPS-positionering.

Het ingemeten dijkvak betreft de buitendijk van een dijkvak direct oostelijk van de Zeelandbrug op Noord-Beveland. Er zijn metingen uitgevoerd over een lengte van 700 meter, te weten vanaf dijkpaal 1790 tot dijkpaal 1797. De data is opgenomen op 15 april 2009 gedurende afgaand/laag water.

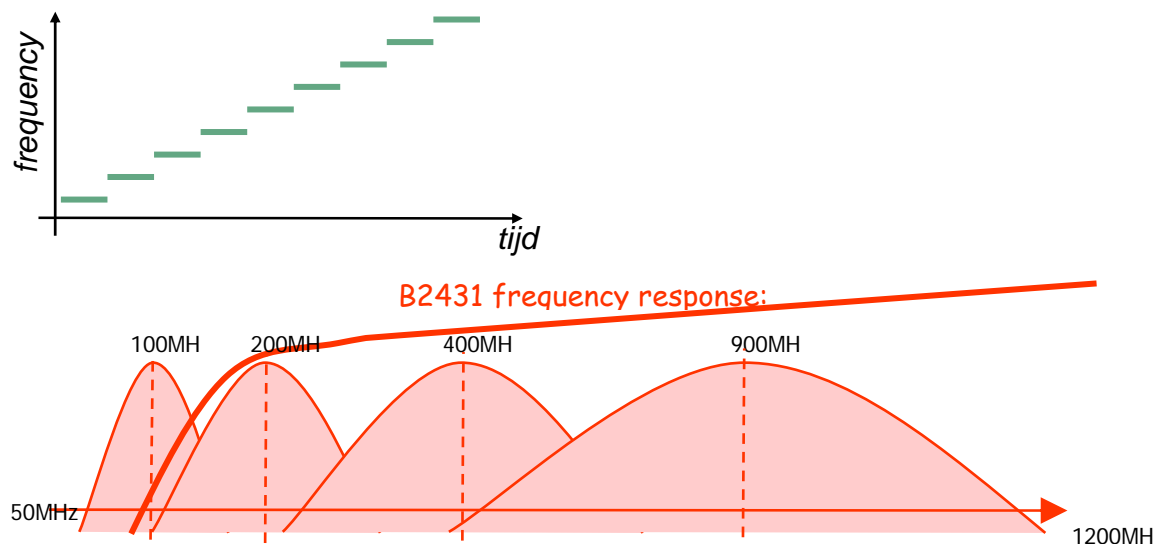
In hoofdstuk 2 wordt het radarsysteem nader beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het radaronderzoek besproken. Tenslotte worden in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek weergegeven.

## 2 3d-Radarsysteem

Traditionele radarsystemen zijn onder te verdelen in grondgekoppelde en luchtgekoppelde antennes. Grondgekoppelde antennes kenmerken zich door een direct contact tussen antenne en grond waarbij vooral lage frequenties gebruikt worden om diep (meer dan 1 meter) in de grond te kijken. Deze systemen hebben als nadeel dat de resolutie dicht aan het oppervlak (bovenste 20 cm) onvoldoende is. Tweede nadeel is dat doordat er direct contact is tussen grond en antenne, de meetsnelheid vrijwel altijd laag is.

Luchtgekoppelde antennes zenden hun signaal eerst door de lucht (meestal 30-50 cm) alvorens het signaal de grond penetreert. Luchtgekoppelde antennes zenden meestal een hoge frequentie uit waardoor de bovenste 30-40 cm met voldoende resolutie in beeld kunnen worden gebracht. Bij grotere dieptes is er onvoldoende resolutie.

Het 3d-Radarsysteem is een soort hybride van bovengenoemde systemen. Het combineert de eigenschappen van zowel een grondradar alsook een luchtradar. Het systeem bestaat uit 31 antennes, opgesteld in een 1,80 meter brede meetopstelling, waarbij elke antenne meerdere frequenties gebruikt. Per antenne wordt een zogenaamde *frequency sweep* uitgevoerd. Dit betekent dat elke antenne in een zeer korte tijd gegevens verzameld bij verschillende frequenties, beginnende bij 150 MHz en vervolgens in stappen van circa 2 MHz oplopend tot maximaal 2000 MHz. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2-1. Met deze meetopstelling wordt zo een goede resolutie verkregen over een groot bereik, beginnend vanaf 5-10 cm tot circa 1-2 m.



**Figuur 2-1: Schematisering frequentieverdeling**

De bepaling van laagdikte is gebaseerd op het verschijnsel dat het radarsignaal een verschillende weerstand ondervindt bij verschillende materialen. Zo is de weerstand door asfalt groter dan door zand. Dit weerstandsgetal wordt ook wel diëlectrische constante genoemd.

De metingen kunnen tot een maximum van 80 km/u worden uitgevoerd omdat er geen fysiek contact is tussen de antennebalk en de grond/wegdek. Bij lagere rijsnelheden kunnen meer antennes worden ingeschakeld waardoor ook effecten in breedterichting waargenomen kunnen worden. Op foto 2-1 is het meetvoertuig te zien met de radarmeetopstelling.

Het systeem kan gebruikt worden voor het achterhalen van laagdiktes van de verharding, maar ook voor het detecteren van kabels en leidingen alsook voor het detecteren van wapening in betonnen kunstwerken.



**Foto 2-1: Meetvoertuig met radar meetopstelling**

### 3 Interpretatie radardata

Op de onderzoekslocatie zijn een drietal meetraaien opgenomen met de 3d-radar, te weten een raai op het schouwpad, een raai op het talud op circa 2 meter vanaf rand schouwpad en een raai op het talud op circa 9,5 meter vanaf rand schouwpad. We zullen deze meetraaien vanaf nu noemen de schouwpad raai, het 'droge' talud raai en het 'natte' talud raai in genoemde volgorde. De term 'droog' en 'nat' zijn gekozen omdat de 'droge' meetraai normaal gesproken met hoog water nog droog staat terwijl de 'natte' meetraai met hoog water onder water staat.

Er is 3d-radardata opgenomen waarbij alle 31 beschikbare radarantennes ingezet zijn. Hierdoor is over een effectieve breedte van 1,80 meter per meetraai data opgenomen. De 3d-radardata is gekoppeld middels GPS-positionering met submeter precisie. Ook zijn videobeelden opgenomen gedurende de metingen, deze videobeelden zijn eveneens middels GPS-positionering met submeter precisie gekoppeld.

De opgenomen videobeelden en de 3d-radardata zijn geïmporteerd in het programma Road Doctor Pro waarna de 3d-radardata is bewerkt met filters en geïnterpreteerd op de aanwezigheid van laagscheidingen en het verloop van dezen.

De resultaten van deze interpretatie, inclusief de data en de videobeelden zijn aan opdrachtgever beschikbaar gesteld middels een viewer van Road Doctor. Bovendien zijn de resultaten van de drie meetraaien gepresenteerd in de bijlagen van deze rapportage.

#### 3.1 Resultaten 3d-radarmeting op het schouwpad

Volgens de gegevens die door opdrachtgever beschikbaar zijn gesteld bestaat de dijk ter plaatse van het schouwpad uit een zanddijk, met hierop een kleipakket, vervolgens een fundering van hydraulische fosforslakken en tenslotte een asfaltlaag, type AC 22 base 02. Waargenomen in het veld, is dat op een gedeelte van het onderzoeksgebied er geen asfalt aanwezig is maar een tegelverharding.

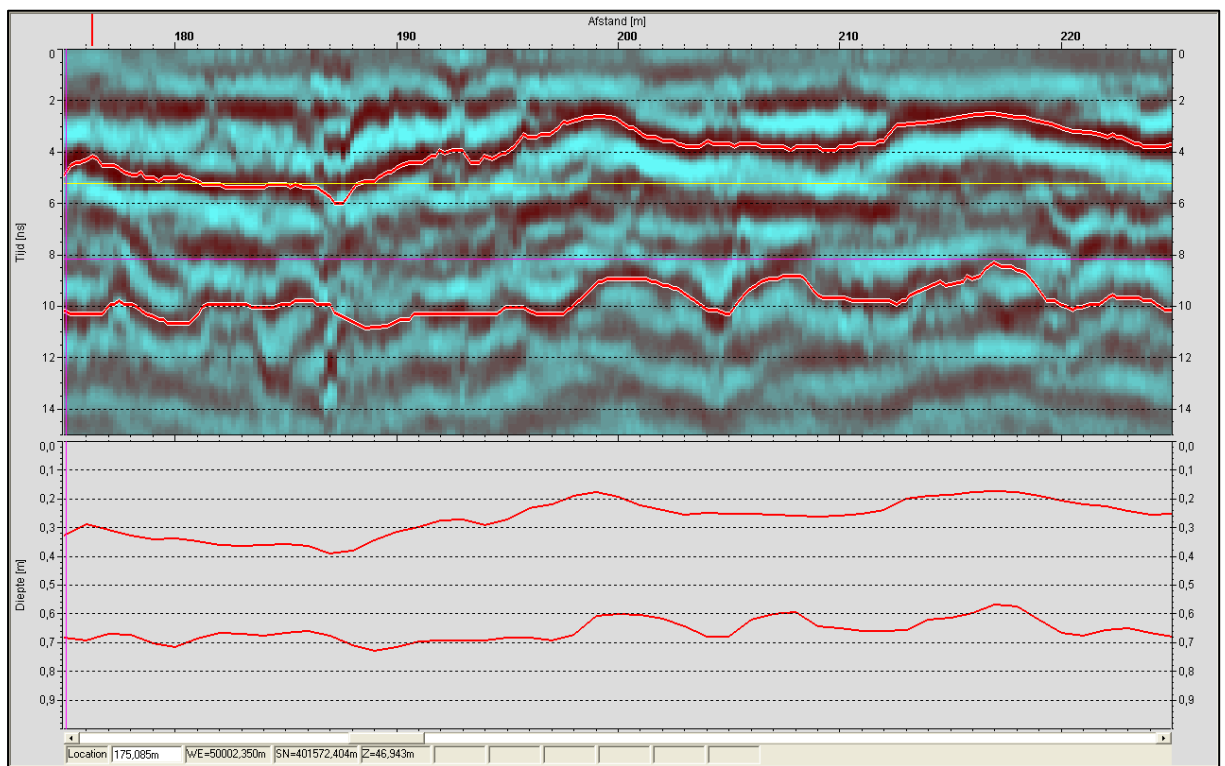
Er is een maximaal dieptebereik van naar schatting circa 1.00 meter behaald. De omrekening van reflectietijd naar diepte is gedaan op basis van ervaringsgetallen, het dient aanbeveling om de 3d-radar te kalibreren aan de hand van referentiegegevens, daar de radarsnelheid, in met name de hydraulische fosforslakken, een onzekere factor is. De opgeleverde resultaten dienen dan ook voornamelijk gebruikt te worden om de relatieve verschillen in laagdiktes te beoordelen. Indien referentiegegevens (bv. boringen) beschikbaar worden gesteld, is het mogelijk nauwkeuriger de diepteligging van de laagscheidingen te bepalen.

De uitgewerkte radardata, welke is opgenomen in bijlage 1, bestaat uit segmenten van 200 meter. In figuur 3-1 is een sectie van een radargram gepresenteerd ter illustratie. Op de horizontale as van het radargram is de afstand zichtbaar. De verticale schaal geeft de reflectietijd weer van het radarsignaal. Dit zou na kalibratie omgerekend kunnen worden naar diepteligging. Deze kalibratie is in dit onderzoek niet uitgevoerd, de omrekening heeft plaatsgevonden aan de hand van ervaringsgetallen.

De data ter plaatse van het asfalt is significant afwijkend ten opzichte van de data ter plaatse van de tegels. Wij vermoeden dat de opbouw afwijkend is ter plaatse van de tegels. Aanvullende referentiegegevens ter plaatse van deze tegels zouden zeer welkom zijn om de data te verklaren.

Ter plaatse van het asfalt zijn twee laagscheidingen geïnterpreteerd. Wij nemen aan dat de eerste de overgang betreft van asfalt naar fundering. De tweede laagscheiding betreft vermoedelijk de overgang van fundering naar klei. De overgang van klei naar zand is in de data helaas niet tot uiting gekomen, om deze reden is het helaas ook niet mogelijk om aan te geven in hoeverre de 3d-radar in het kleipakket penetreert. Naar verwachting zal bij een relatief dun kleipakket de onderkant van de klei zichtbaar worden. Dit is echter in dit onderzoek niet waargenomen.

Ter plaatse van de tegels zijn eveneens twee laagscheidingen geïnterpreteerd. Wij nemen aan dat de eerste de overgang betreft naar fundering. De tweede laagscheiding betreft vermoedelijk de overgang naar klei. De overgang van klei naar zand is in de data niet zichtbaar. De data alhier is minder van kwaliteit dan ter plaatse van het asfalt.



**Figuur 3-1: Voorbeeld radarinterpretatie ter hoogte van de schouwpad raai**

### 3.2 Resultaten 3d-radarmeting ter hoogte van het 'droge' talud raai

Volgens de gegevens die door opdrachtgever beschikbaar zijn gesteld bestaat de dijk ter plaatse van het 'droge' talud raai uit een zanddijk, met hierop een kleipakket, vervolgens een filter van hydraulische fosforslakken en tenslotte betonzuilen.

Er is een maximaal dieptebereik van naar schatting circa 0.60 meter behaald. De omrekening van reflectietijd naar diepte is gedaan op basis van ervaringsgetallen, het dient aanbeveling om de 3d-radar te kalibreren aan de hand van referentiegegevens daar de radarsnelheid, in met name de hydraulische fosforslakken, een onzekere factor is. De opgeleverde resultaten dienen dan ook met name gebruikt te worden om de relatieve verschillen in laagdiktes te beoordelen. Indien

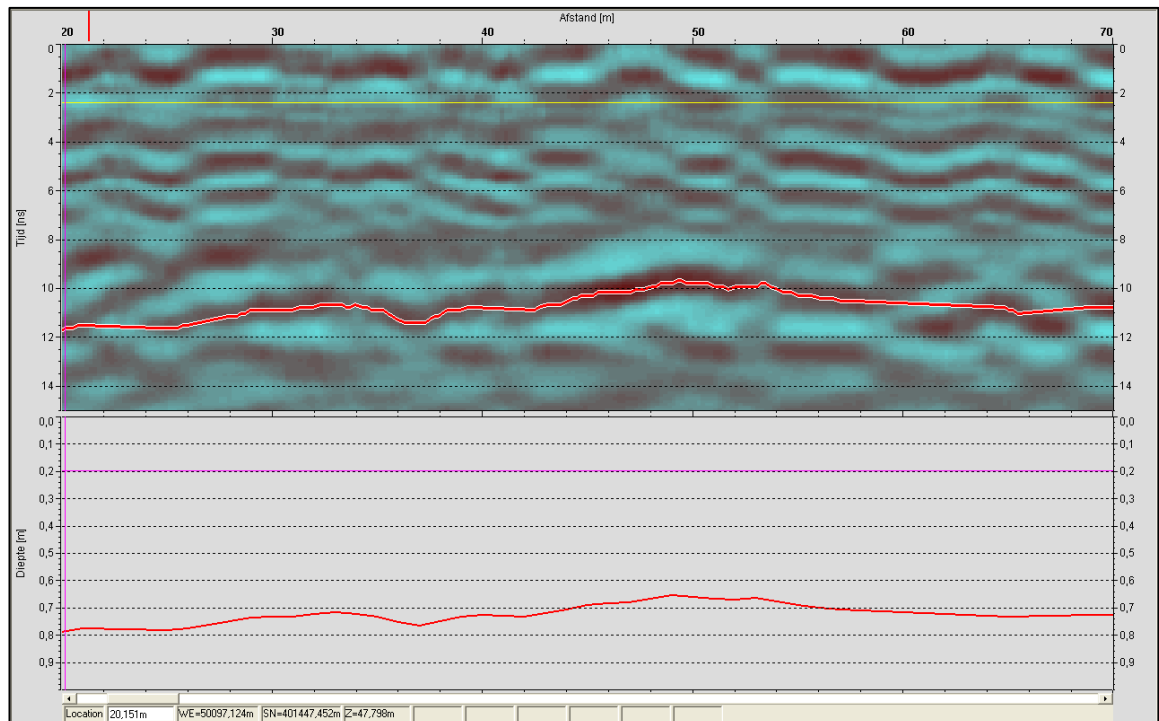




Er is een maximaal dieptebereik van naar schatting circa 0.80 meter behaald. De omrekening van reflectietijd naar diepte is gedaan op basis van ervaringsgetallen, het dient aanbeveling om de 3d-radar te kalibreren aan de hand van referentiegegevens daar de radarsnelheid, in met name de hydraulische fosforslakken, een onzekere factor is. De opgeleverde resultaten dienen dan ook met name gebruikt te worden om de relatieve verschillen in laagdiktes te beoordelen. Indien referentiegegevens (bv. boringen) beschikbaar worden gesteld is het mogelijk nauwkeuriger de diepteligging van de laagscheidingen te bepalen.

De uitgewerkte radardata, welke is opgenomen in bijlage 1, bestaat uit segmenten van 200 meter. In figuur 3-3 is een sectie van een radargram gepresenteerd ter illustratie. Op de horizontale as van het radargram is de afstand zichtbaar. De verticale schaal geeft de reflectietijd weer van het radarsignaal. Dit zou na kalibratie omgerekend kunnen worden naar diepteligging. Deze kalibratie is in dit onderzoek niet uitgevoerd, de omrekening heeft plaatsgevonden aan de hand van ervaringsgetallen.

Er is één laagscheiding geïnterpreteerd. Wij nemen aan dat deze laagscheiding de overgang van hydraulische fosforslakken naar klei betreft. Deze laagscheiding bevindt zich op een grotere diepte dan bij de meting ter hoogte van het 'droge' talud raai. De data van deze raai is minder goed interpreteerbaar dan de data van de 'droge' raai, de signaal-ruis verhouding is aanzienlijk kleiner. De overgang van klei naar zand is ook in de data van deze raai helaas niet tot uiting gekomen, om deze reden is het helaas ook niet mogelijk om aan te geven in hoeverre de 3d-radar in het kleipakket penetreert. Naar verwachting zal bij een relatief dun kleipakket de onderkant van de klei zichtbaar worden. Dit is echter in dit onderzoek niet waargenomen.



**Figuur 3-3: Voorbeeld radarinterpretatie ter hoogte van het 'natte' talud raai**

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Uit de interpretatie van de radarbeelden kan het volgende worden geconcludeerd:

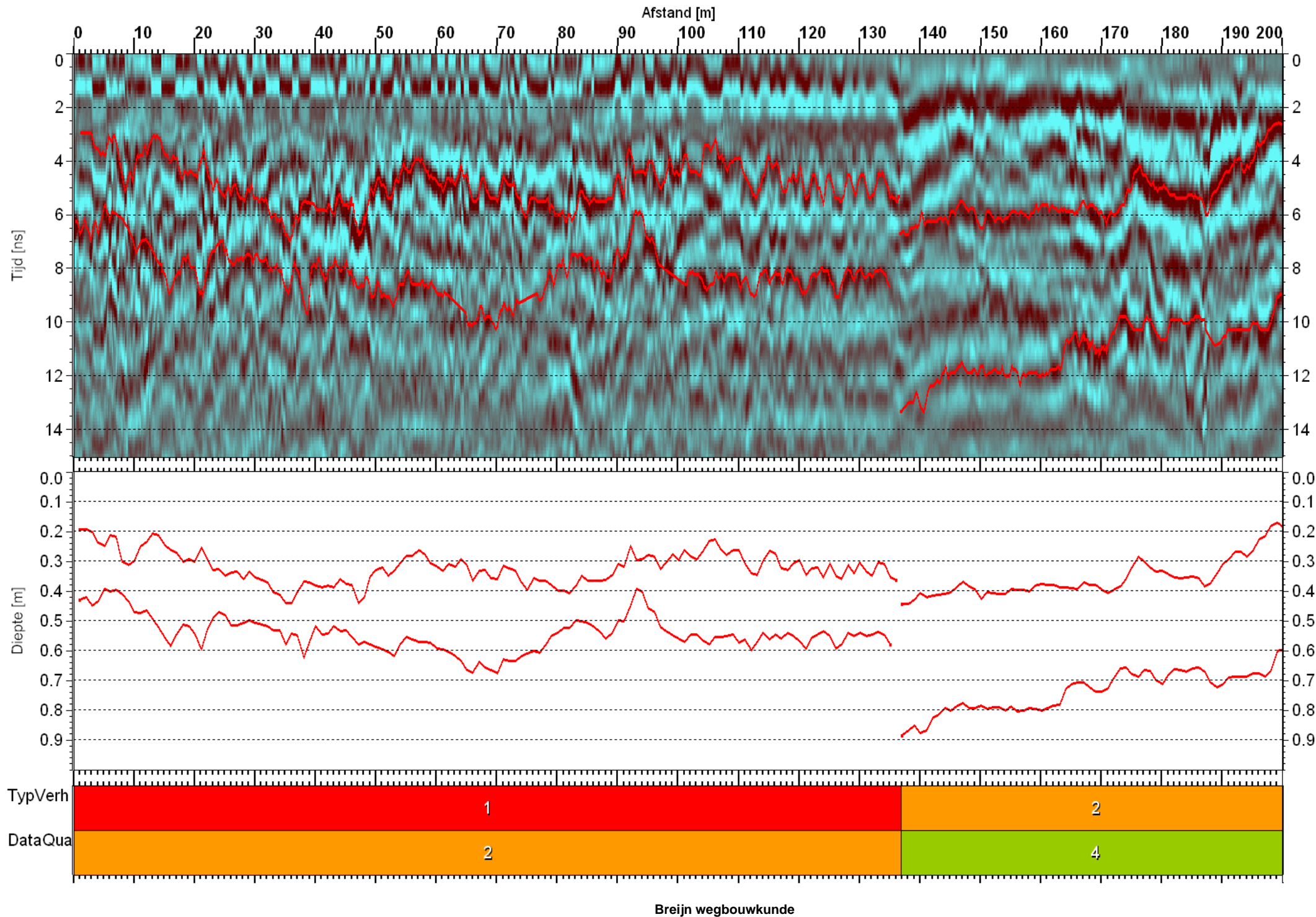
- De geologische opbouw tot aan de bovenkant van het aanwezige kleipakket kan inzichtelijk gemaakt worden met behulp van 3d-radar metingen.
- De data op het schouwpad is van prima kwaliteit ter plaatse van het asfalt. Ter plaatse van de tegels is de data wat minder duidelijk. Hier zouden referentiegegevens met betrekking tot de opbouw van de ondiepe ondergrond meer inzicht in de data kunnen leveren. Op beide verhardingstypen zijn twee laagscheidingen geïnterpreteerd, waarvan de diepste waarschijnlijk de overgang naar het kleipakket voorstelt.
- Op het talud is de signaal-ruis verhouding van de data van het 'droge' talud raai groter dan die van het 'natte' talud raai. Op beide datasets is een laagscheiding geïnterpreteerd die de vermoedelijke bovenkant van het kleipakket voorstelt. Deze laagscheiding is dieper gelegen in het 'natte' talud raai dan in het 'droge' talud raai.
- De onderkant van het aanwezige kleipakket is middels de 3d-radar in dit onderzoeksgebied niet vastgesteld.
- Vermoedelijk, echter niet aangetoond, zal bij een (lokaal) dun kleipakket de 3d-radar deze penetreren en kan de onderkant van dit kleipakket geïnterpreteerd worden.

Op basis van dit onderzoek doet Breijn de volgende aanbevelingen om inzichtelijk te krijgen waar potentiële zwakke plekken van een dijklichaam zich bevinden.

- Breijn stelt voor om de te onderzoeken dijklichamen in te meten met 3d-radar om een goed inzicht te verkrijgen in de geologische opbouw tot aan de bovenkant van het aanwezige kleipakket. Vermoedelijk kunnen locaties aangewezen worden waar het aanwezige kleipakket relatief dun is.
- De 3d-radarmetingen kunnen aangevuld en direct gekoppeld worden aan videobeelden. Ook kan een koppeling plaatsvinden met andere metingen zoals, bijvoorbeeld golfklap-simulatie met behulp van valgewichtdeflectiometingen.
- Referentiegegevens zijn benodigd voor kalibratie van de 3d-radargegevens. Alternatief wordt gebruik gemaakt van ervaringsgetallen. In dit geval dienen de gepresenteerde dieptes enkel ter indicatie.
- Breijn stelt voor om dezelfde raaien in te meten met behulp van een (laagfrequente) traditionele grondradar. Mogelijk penetreert deze tot de onderkant van het kleipakket. Dit om zeker te weten dat het 'onderste uit de kan' is gehaald met betrekking tot de te behalen resultaten met behulp van radartechniek.

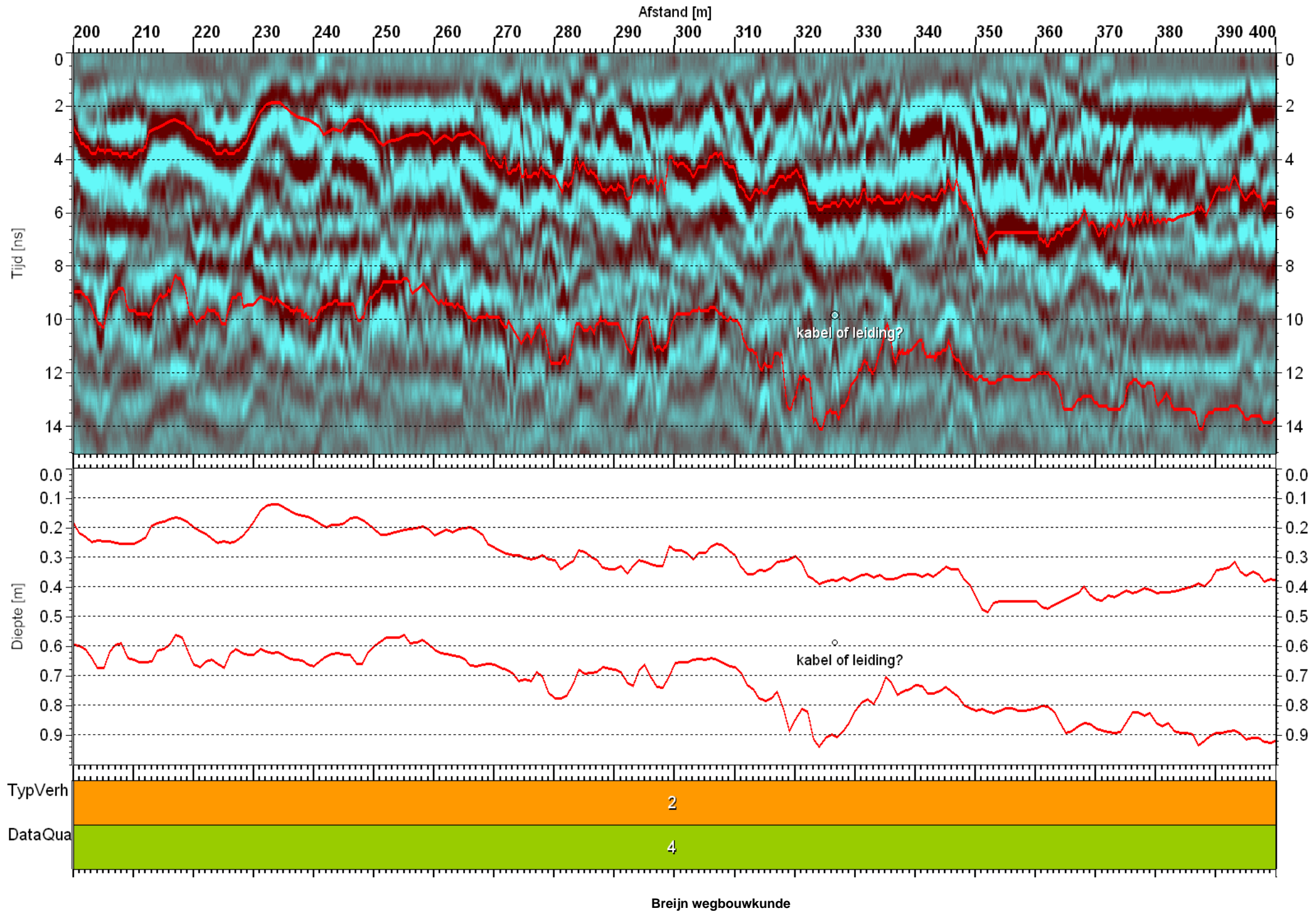
## **Bijlage 1 Radar interpretatie schouwpad raai**

# Schouwpad Raai

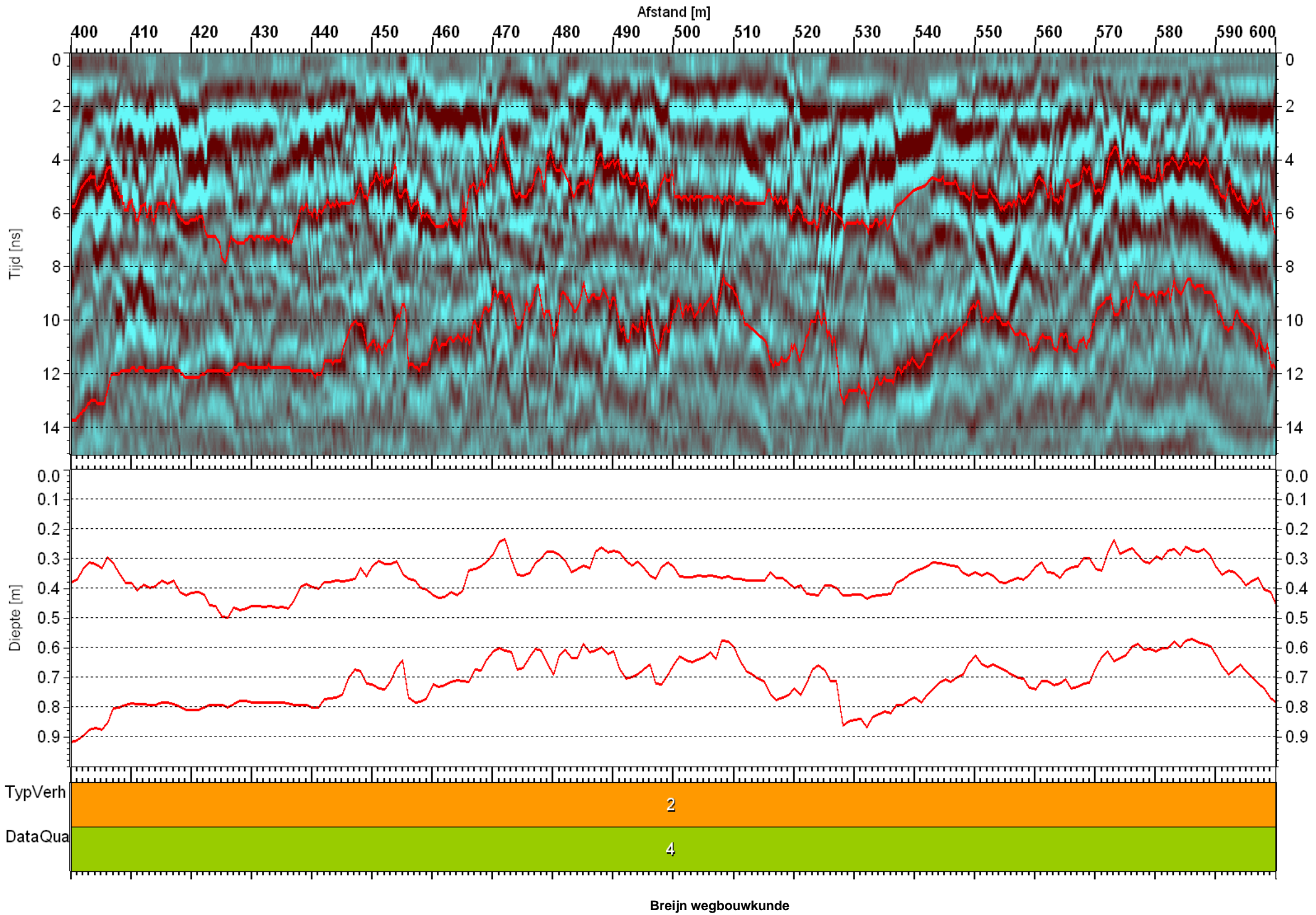


Analysis

# Schouwpad Raai

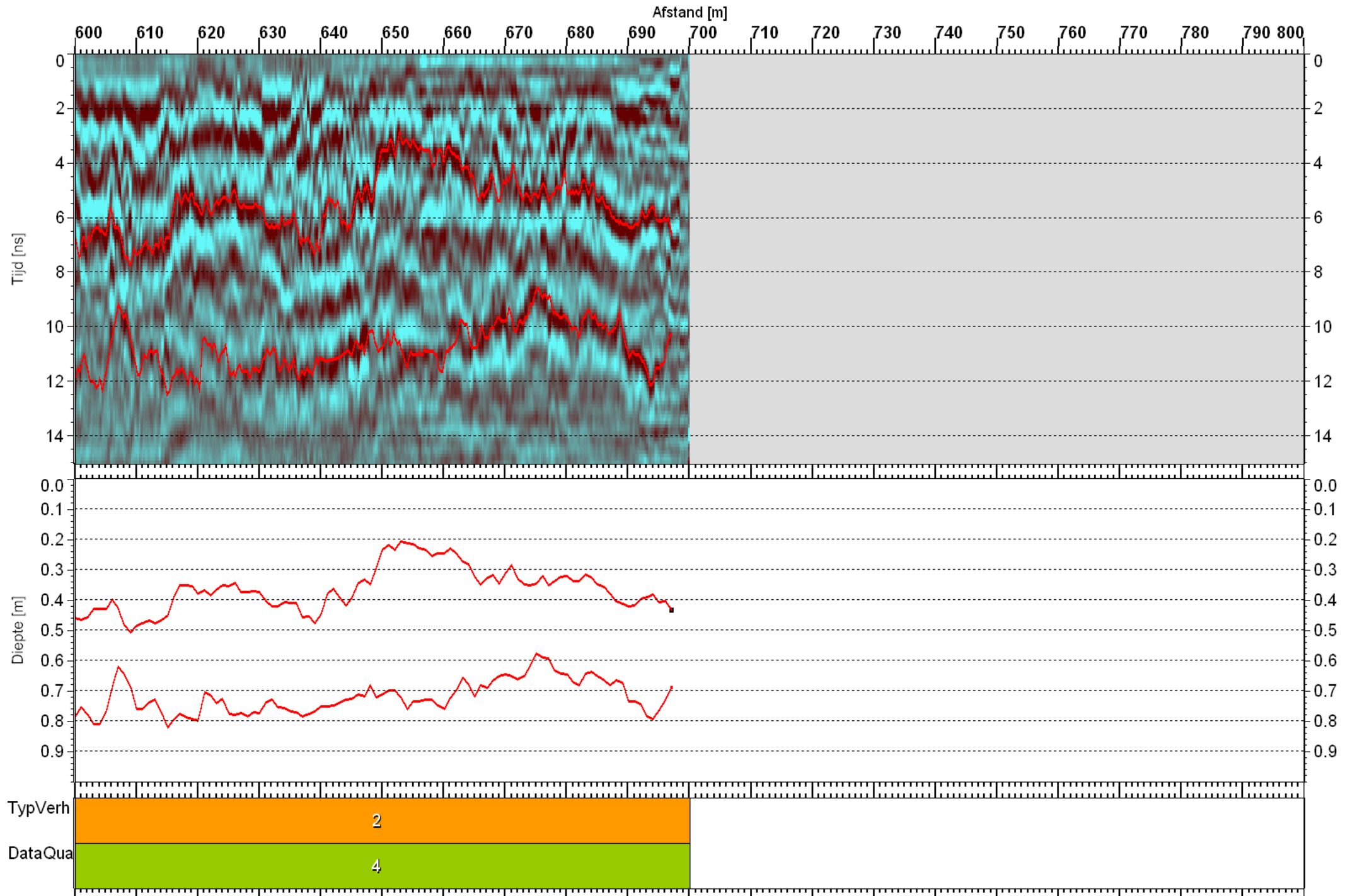


# Schouwpad Raai



Analysis

# Schouwpad Raai



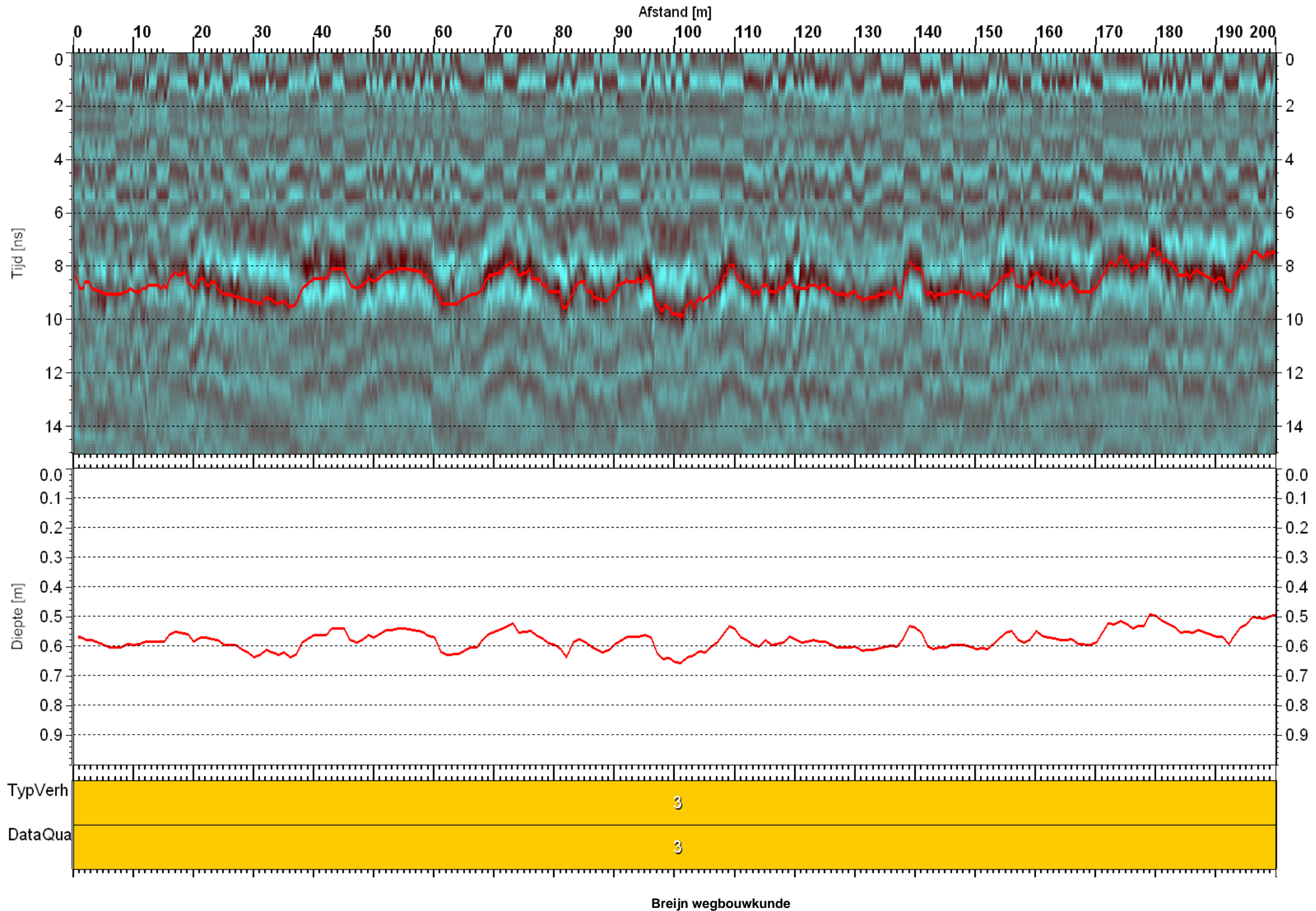
Breijn wegbouwkunde

Analysis

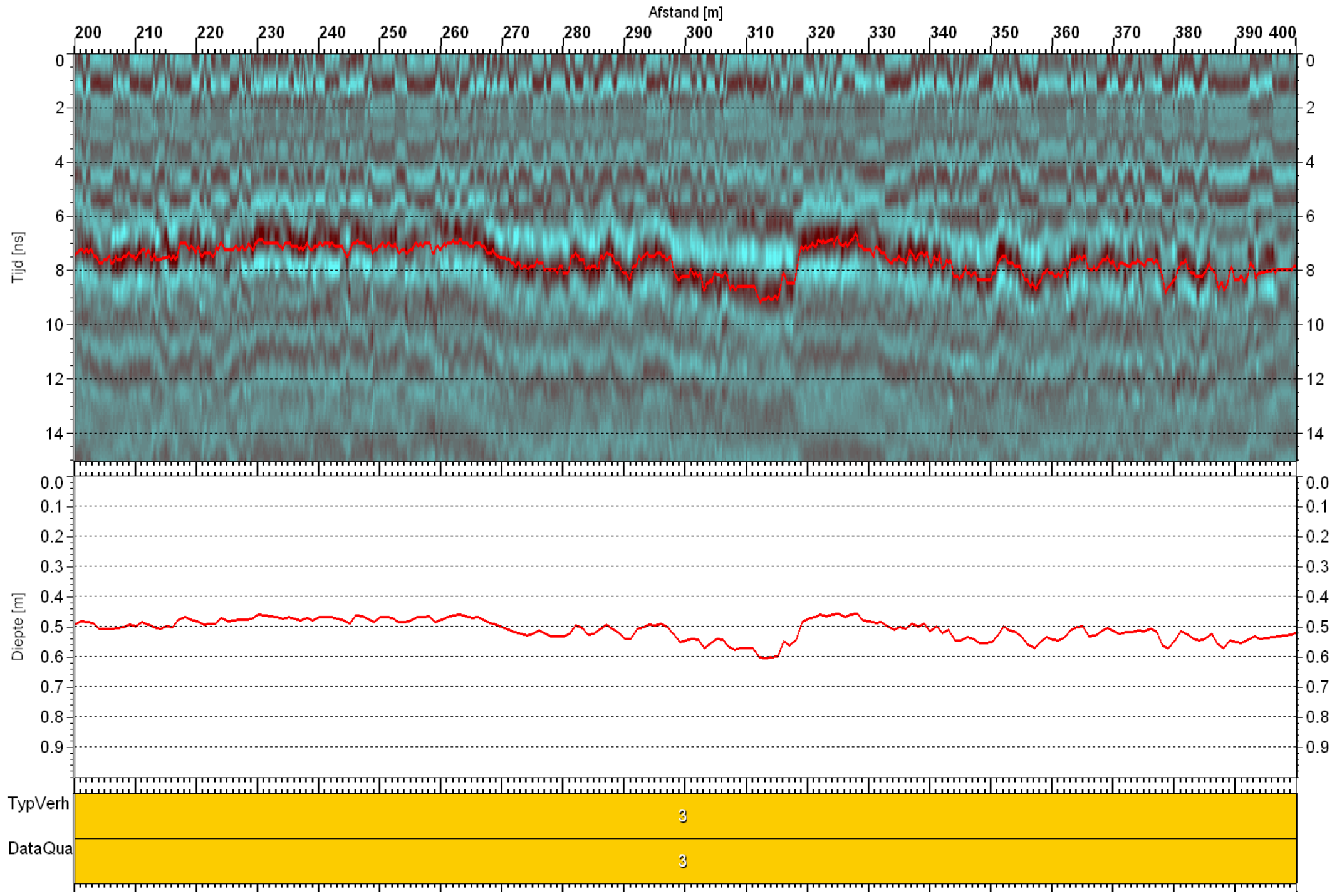
## **Bijlage 2 Radar interpretatie 'droge' talud raai**



# Talud 'Droge' Raai



# Talud 'Droge' Raai



Afstand [m]

Tijd [ns]

Diepte [m]

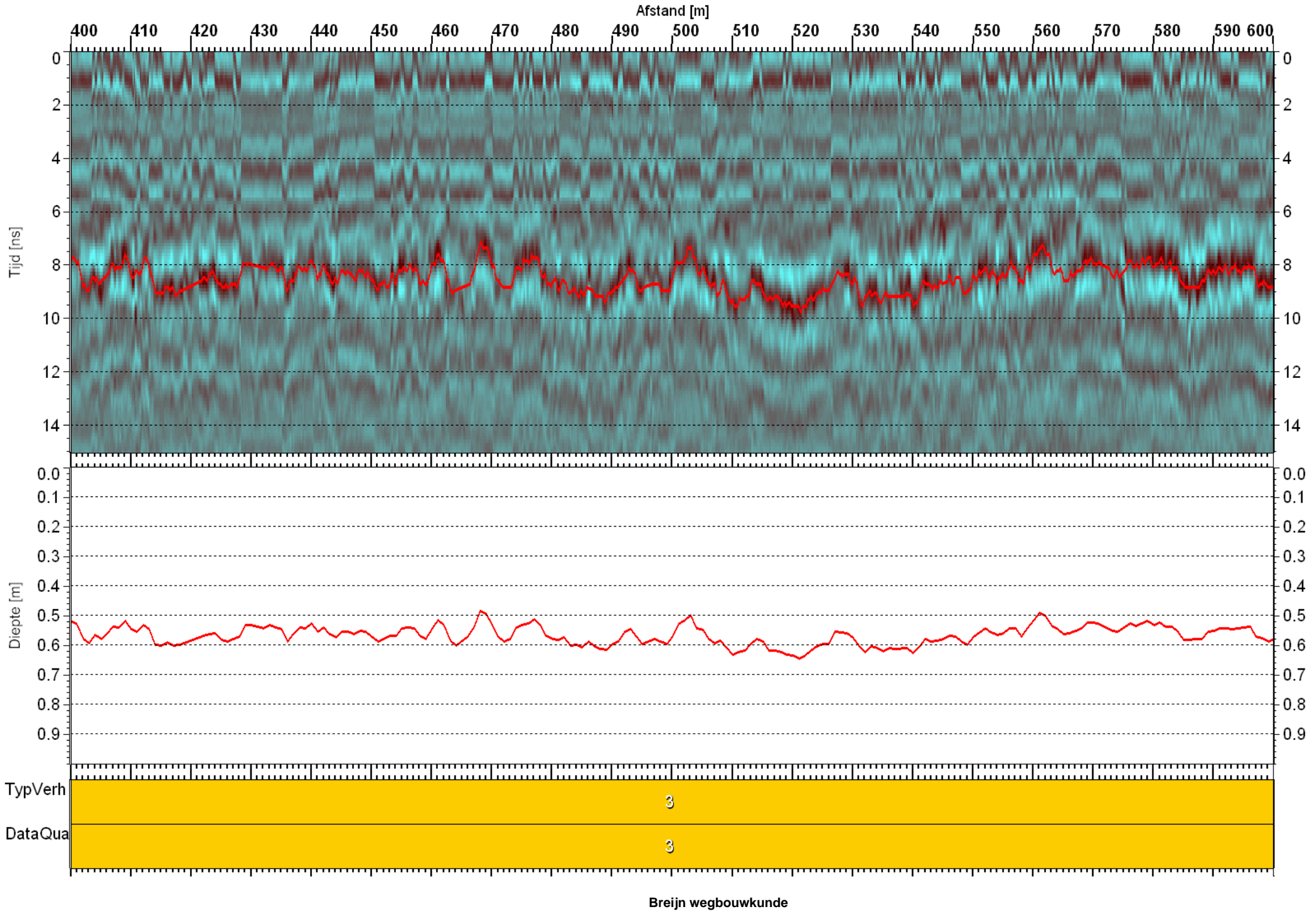
TypVerh

DataQua

Breijn wegbouwkunde

Analysis

Talud 'Droge' Raai



Afstand [m]

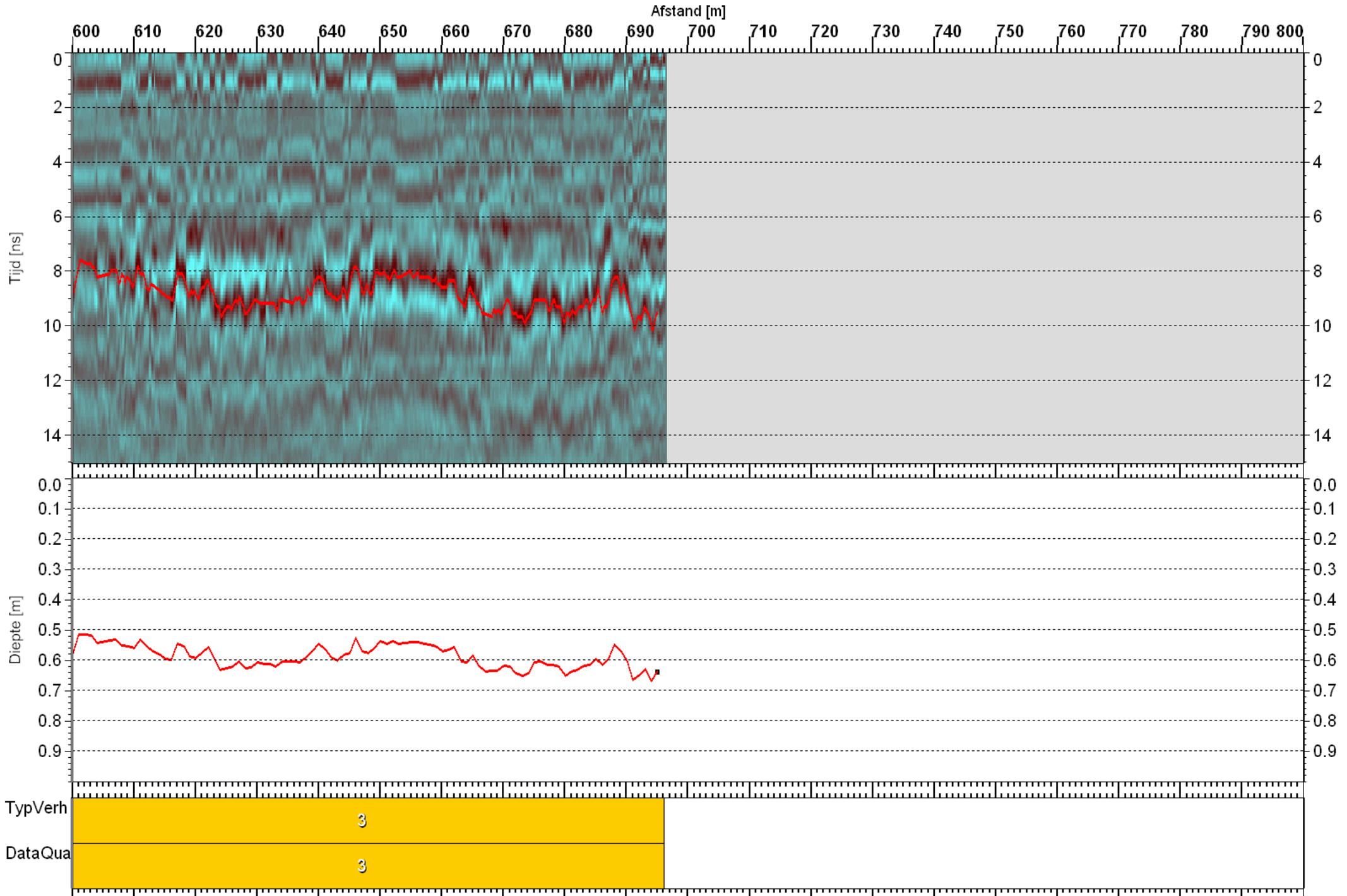
Tijd [ns]

Diepte [m]

Breijn wegbouwkunde

Analysis

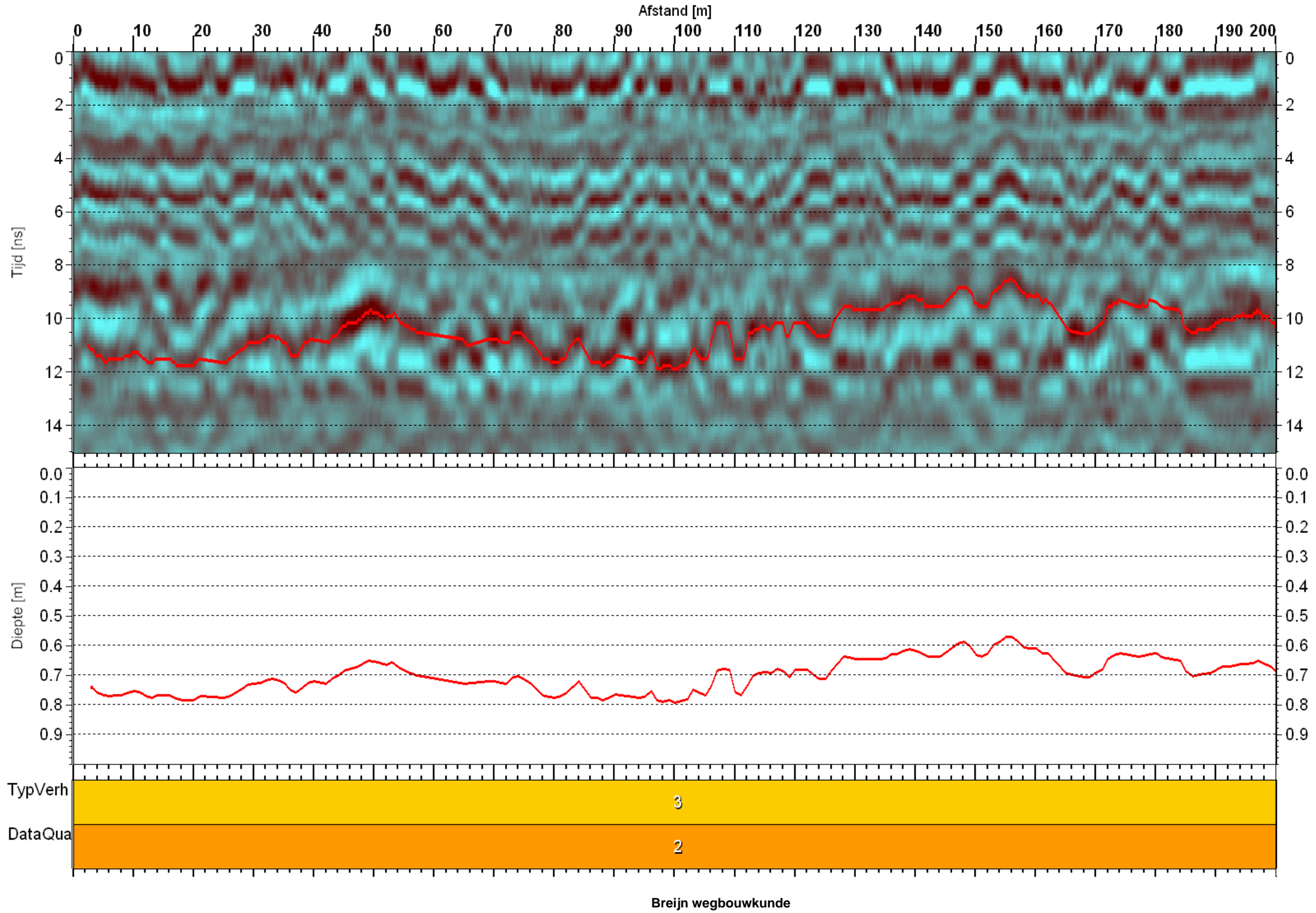
Talud 'Droge' Raai



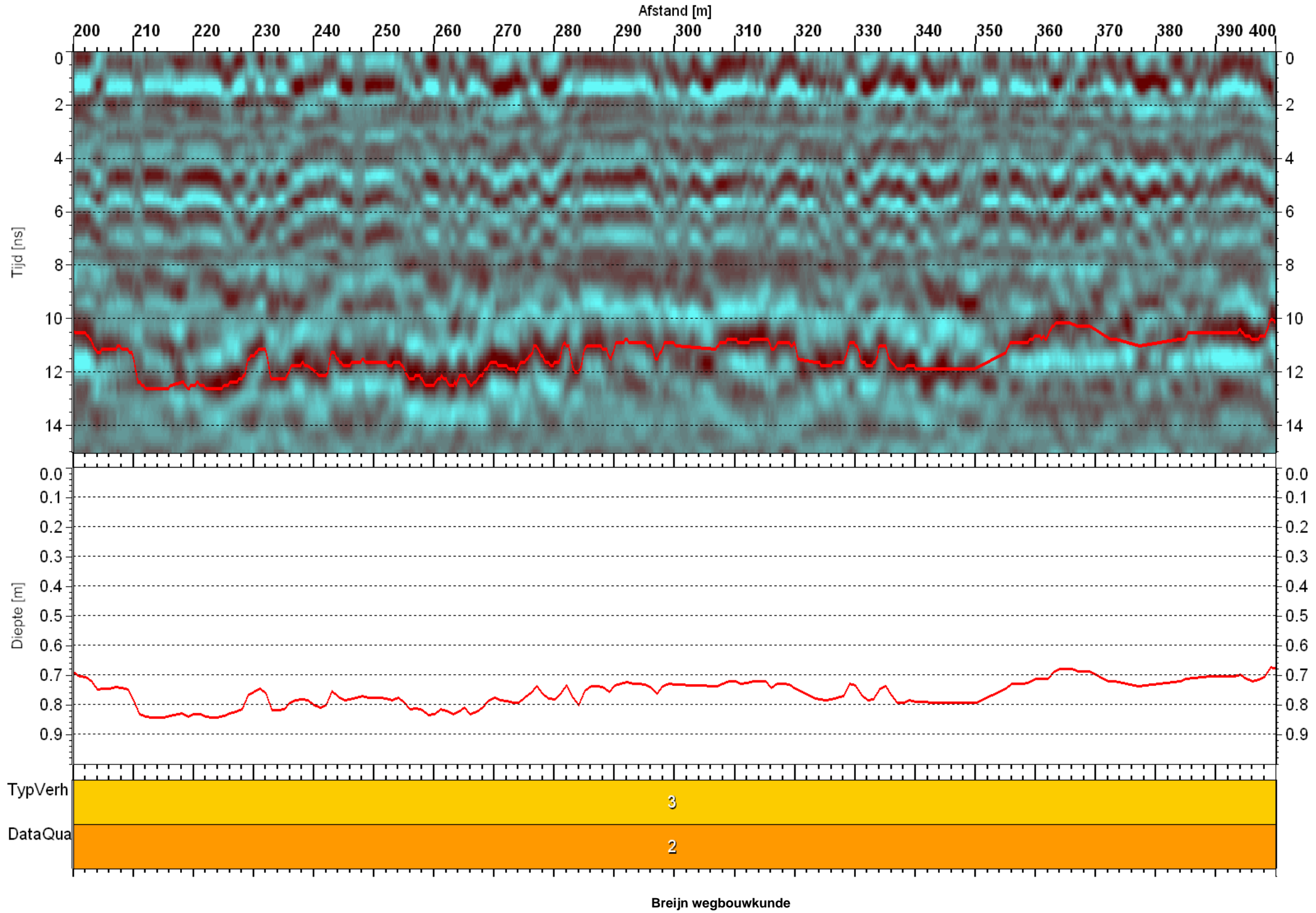
Datum 4 juni 2009  
Kenmerk 1509544  
Pagina 13 van 13

## **Bijlage 3 Radar interpretatie 'natte' talud raai**

Talud 'Natte' Raai



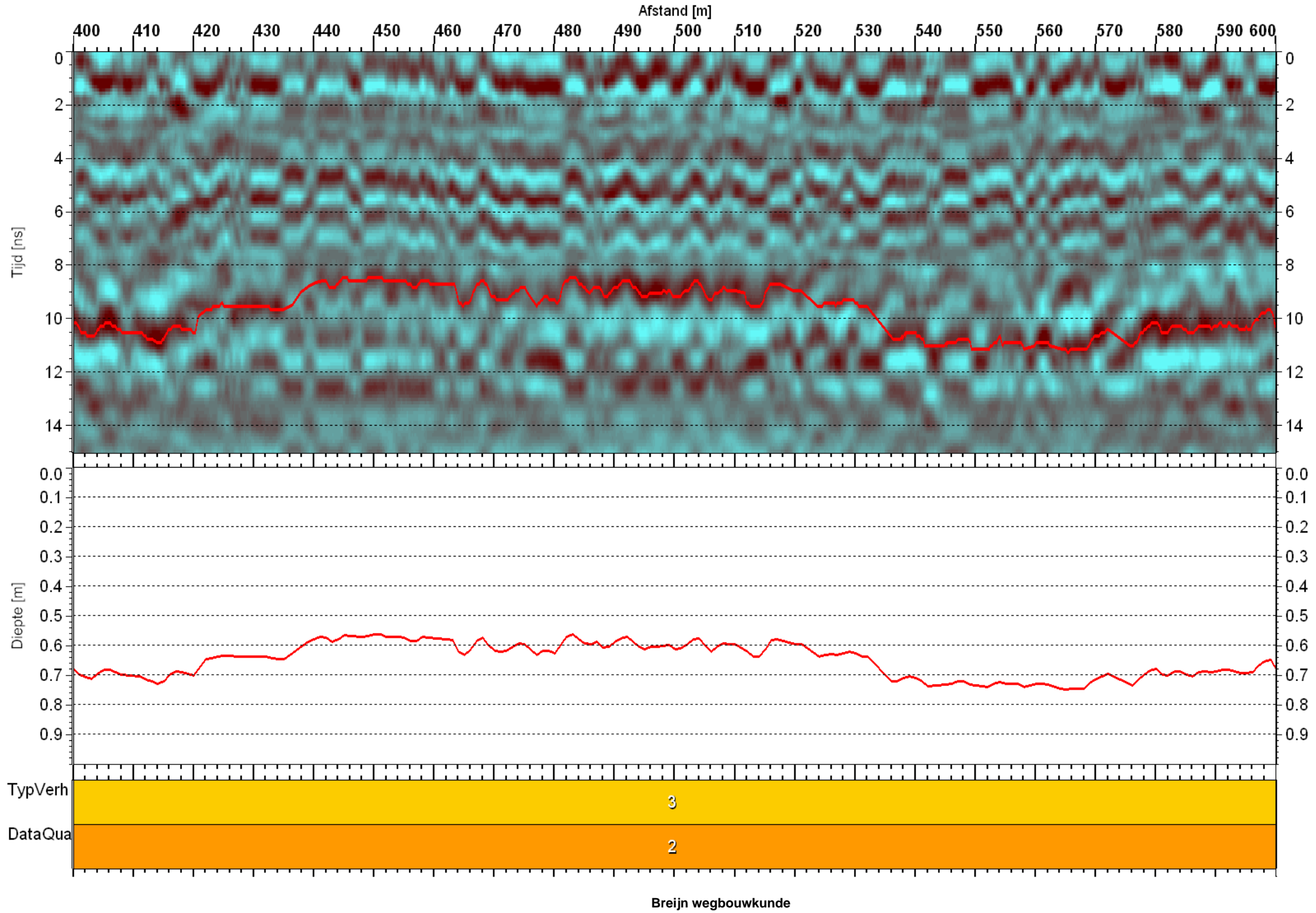
# Talud 'Natte' Raai



Analysis

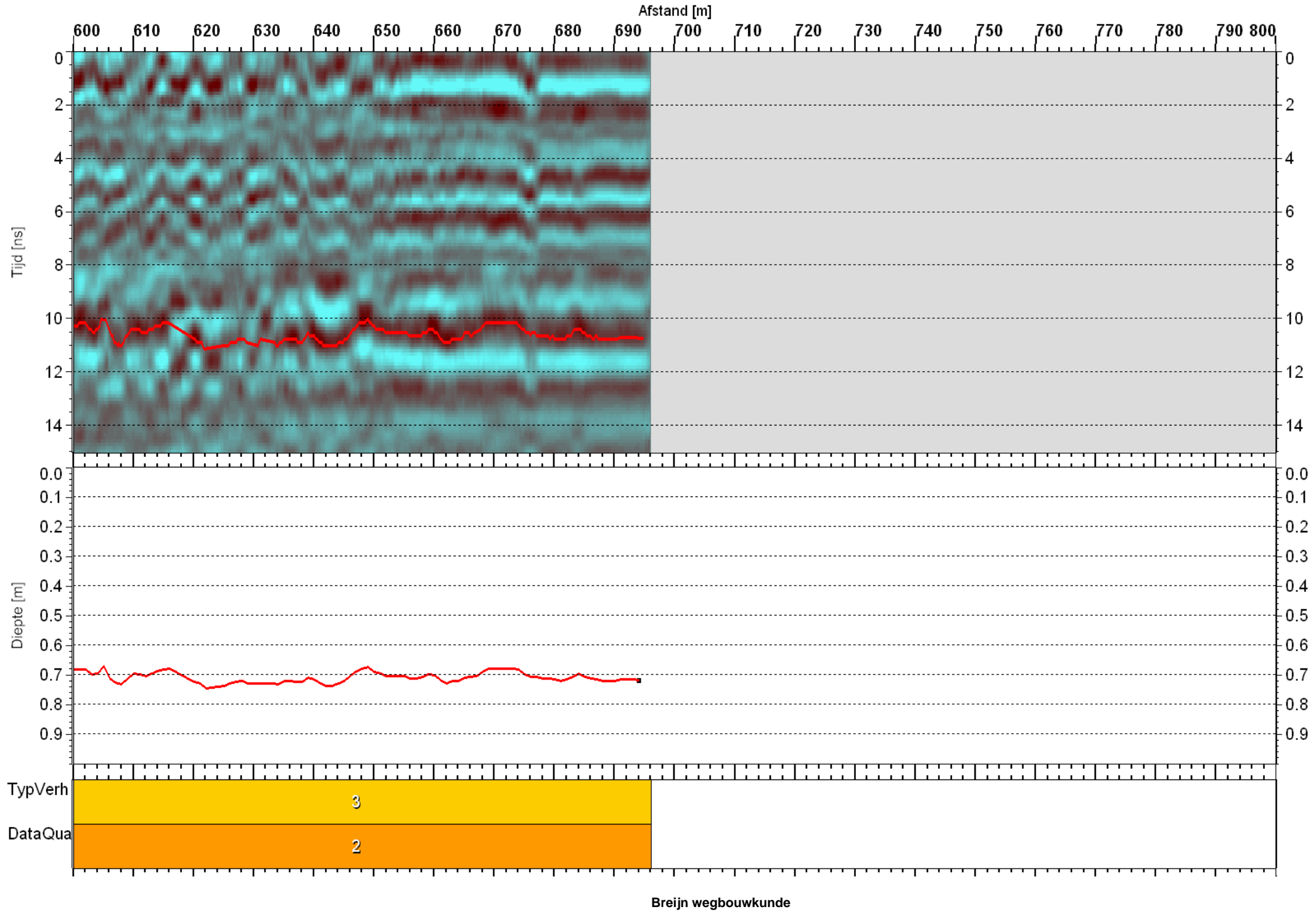


# Talud 'Natte' Raai





# Talud 'Natte' Raai



Breijn wegbouwkunde