



# Geofysisch waterbodemonderzoek Anloërddiepje

Vershil in samenstelling sediment en  
diepteligging 2019-2021

Mede mogelijk gemaakt door:

*provincie* **D**renthe



Europees Landbouwfonds voor  
Plattelandsontwikkeling: Europa  
investeert in zijn platteland



<b>Verantwoording</b>	
<b>Algemene informatie</b>	
Titel	Waterbodemonderzoek Anloërdiepje – Verschil in samenstelling sediment en diepteligging 2019-2021
Medusa Project	2021-P-714
Opdrachtgever	Waterschap Hunze en Aa's
Medusa Rapport/Versie	2021-P-714 v2
Opdracht	Onderzoek naar de verschillen in fysische samenstelling en diepteligging van de waterbodem van het Anloërdiepje na suppletie.
Medusa Projectleider	S. de Vries
Rapportage	S. Ceulemans, S. de Vries
Operators Medusa	J. van der Velde, W. Rooke, J. de Wit
Collegiale toetsing	S. de Vries
Eindredactie	R. Koomans
Datum uitvoering	13 en 26 november 2019, 26 juli 2021 en 3 augustus 2021
<b>Locatie informatie</b>	
Locatie	Anloërdiepje nabij Anloo, Provincie Drenthe
Bodemtype	Zand\veen
Weersomstandigheden veldwerk	Droog en bewolkt
Verstorende elementen tijdens veldwerk	Overhangende takken, ondieptes, bruggen/duikers
<b>Techniek</b>	
Gebruikte sensoren	Gammaspectrometer, Grondradar
Instellingen sensoren	Grondradar: 200 ns/100 ns
Lijn/raai interval	Ca. 1-2 lengte lijnen
Positionering	RTK-GPS
Positienauwkeurigheid	RTK-GPS (< 0.05 m)

<b>Medusa Explorations BV</b>	
Skagerrak 26 9723 JR Groningen	Telefoon: 050- 5770280 Email: info@medusa-online.com www.medusa-online.com

---

## Inhoud

---

Inhoud .....	3
1    Introductie .....	4
1.1    Kader .....	4
1.2    Vraag .....	4
2    Basisgegevens .....	6
2.1    Gebied .....	6
2.2    Geologische opbouw en historische ontwikkeling .....	6
2.3    Strategie .....	6
3    Veldwerk .....	8
3.1    Uitvoering van het veldwerk .....	8
3.2    Gebruikte meetsystemen .....	10
3.2.1.    Gammaspectrometer .....	10
3.2.2.    Grondradar .....	11
3.3    Monstername .....	11
3.4    Correctie GPS .....	12
4    Monsteranalyses en ijkingen .....	13
4.1    Monsteranalyses .....	13
4.2    Kalibratie van de Medusa metingen .....	13
4.2.1.    Gehalte organische stof .....	14
4.2.2.    Mediane korrelgrootte .....	15
5    Resultaten .....	16
5.1    Interpolatie en kaartmateriaal .....	16
5.2    Diepte waterbodem .....	16
5.3    Slibdikte .....	19
5.4    Mediane korrelgrootte .....	20
6    Conclusies .....	21
Bijlagen .....	22

---

# 1 Introductie

---

## 1.1 Kader

In het kader van de Natura-2000-, PAS- en Kaderrichtlijn Water (KRW)-opgaven, heeft waterschap Hunze en Aa de inrichting van het Anloërdiepje aangepast. De maatregelen betreffen de realisatie van een verhoging van de beekbodem over een traject van ca. 2,0 km aan de benedenstrooms kant van het Anloërdiepje. Hiermee wordt ervaring opgedaan met een kosteneffectieve en duurzame beekverhoging voor de Drentsche Aa.

Het traject waar de beekverhoging wordt doorgevoerd betreft het traject vanaf de monding in het Oudemolense Diep tot ca. 400 m stroomopwaarts van het landgoed Schipborg. Op dit traject is beoogd om de beekbodem op te hogen door zand in de beek te suppleren. Zie ook de kaart op Figuur 1. Aan de bovenstroomse en aan de benedenstroomse kant wordt een geleidelijke overgang naar de bestaande beekbodem bewerkstelligd. De beekbodemverhoging wordt uitgevoerd door het inbrengen van zand en houtige materialen, zoals takken. Vergravingen aan de beekbodem en oevers vinden niet plaats en de beek blijft haar huidige slingerende loop behouden. Het plan is voorbereid en uitgevoerd in de periode december 2020 – maart 2022.

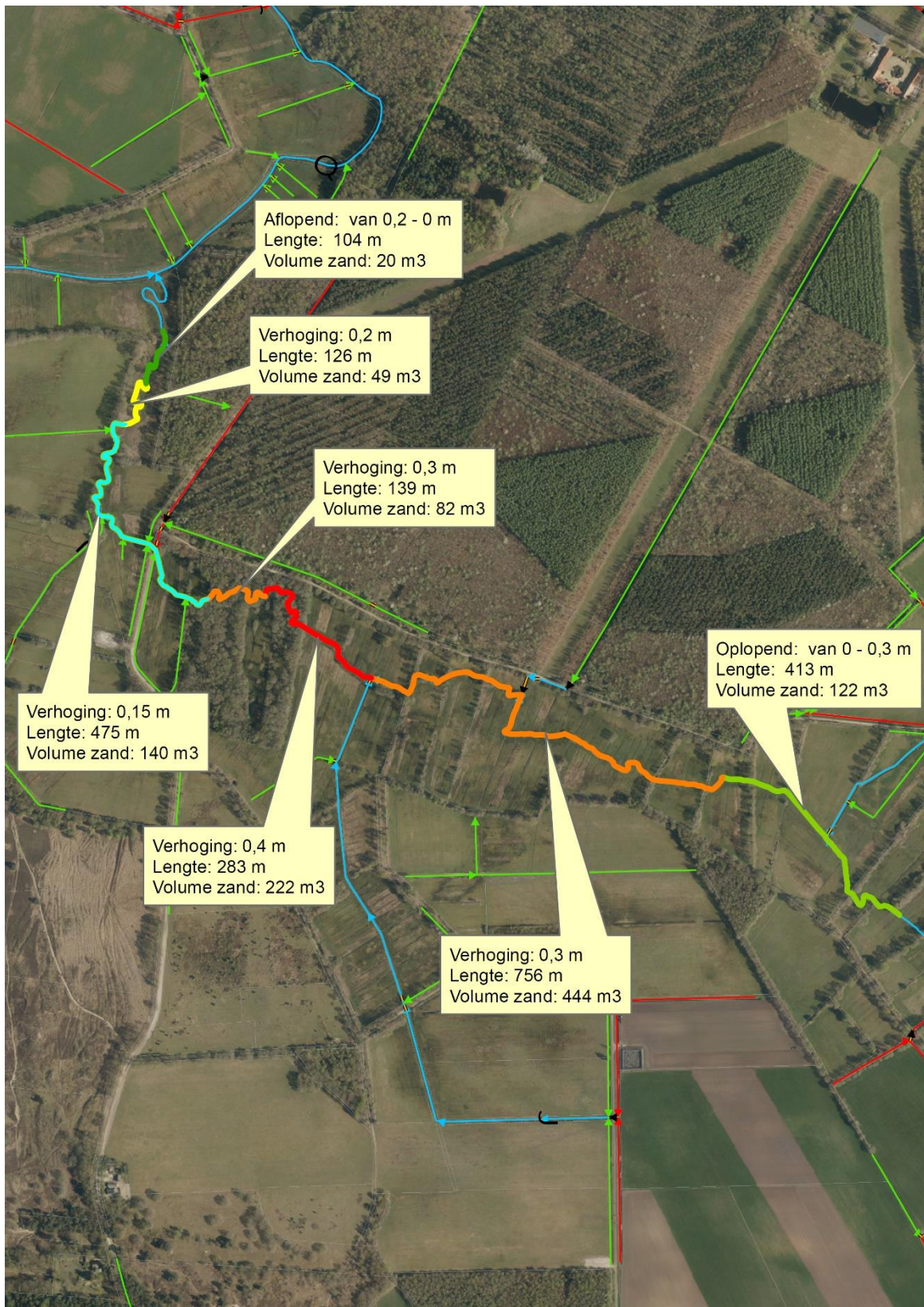
Het is belangrijk de effecten van de beekverhoging te monitoren en te evalueren. Hiervoor is een afzonderlijk meetplan opgesteld. Het voorliggende onderzoek m.b.t. de beekbodemhoogte en samenstelling van het sediment vormt een van de onderdelen binnen dit integrale meetplan.

## 1.2 Vraag

In 2019 is de bodemhoogte en bodemsamenstelling van het Anloërdiepje gebiedsdekkend gemeten. Deze meting noemen we de 'nulmeting' – de staat van de beek vóór de suppletie. Het doel van de meting in 2021 is om de situatie na de suppletie in beeld te brengen. Dit rapport geeft verslag van deze nieuwe metingen en beoogt deze metingen te vergelijken met de nulmeting.

De volgende datasets zijn verzameld en vergeleken met de gegevens van 2019:

- De ligging van de bovenkant van de waterbodem in NAP
- De variatie in de waterdiepte
- Het slibgehalte van de waterbodem (minerale fractie < 63 µm)
- De mediane korrelgrootte van de waterbodem



Figuur 1: Plankaart Hunze en Aas, geplande ophoging per deeltraject van het Anloërdiepje.

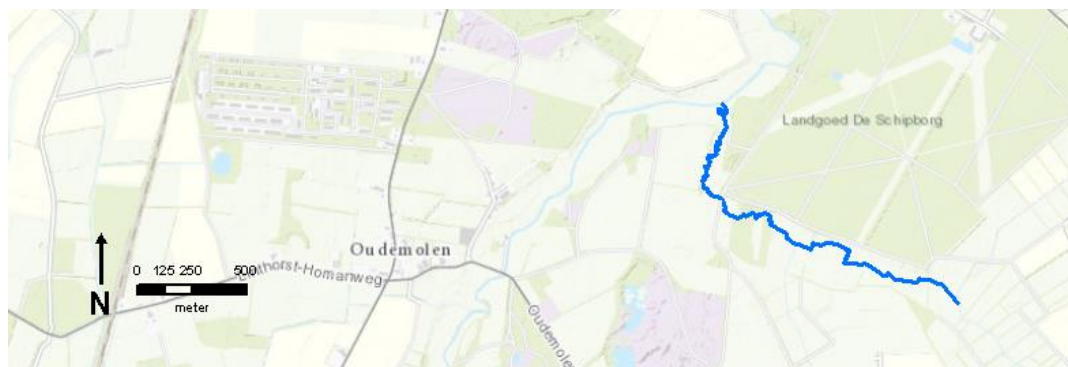
---

## 2 Basisgegevens

---

### 2.1 Gebied

De waterloop maakt deel uit van het Drentse Aa beekstelsel. Ten westen van Anloo is het te onderzoeken gedeelte van het Anloërdiepje terug te vinden. Het betreft het laatste stuk van ca. 2 km met de aansluiting op het Oudemolensche Diep.



**Figuur 2: Locatie van het onderzoeksgebied in het Drentse Aa-gebied. In het blauw het Anloërdiepje. In het noordwesten sluit deze aan op het Oudemolensche Diep.**

### 2.2 Geologische opbouw en historische ontwikkeling

Het Anloërdiepje maakt deel uit van het beekstelsel van de Drentse Aa. Het dal van het beekstelsel is grotendeels gevormd door smeltwater aan het eind van de voorlaatste ijstijd (Saalien). Tijdens deze ijstijd zijn grote gletsjers en ijsmassa's vanuit Scandinavië over Noord-Nederland geschoven. Het aardkundige landschap bestaat uit een landschap van grondmorene (keileemplateau), met hoogveengebieden en gebieden waar dekzand en stuifzand is afgezet. Vanaf de hoger liggende delen (keileemruggen en evt zandruggen) zijn smeltwatererosiegeulen gevormd die later weer gebruikt zijn door de huidige beekdalen van het Drentse Aa systeem. De geologische opbouw in het beekdalsysteem heeft een belangrijke invloed op de grond- en oppervlakte waterhuishouding. Het water wat in de hoger gelegen zandgronden infiltreert komt in de beekdalen als kwelwater weer naar boven, waar veenvorming kan optreden. Ondiep aanwezige waterkerende lagen zoals keileem (Saalien) en potklei (Elsterien) kunnen deze grondwaterstromingen lokaal op uitgebreid beïnvloeden.

Dit plateau werd doorsneden met flink diepe smeltwatergeulen, waaronder het dal van het hoofdstromen van het Drentse Aa systeem zoals het Oudemolensche diep. Na het afsmelten van het ijs tegen het einde van het Saalien, zijn sedimenten in de dalen afgezet, en zijn de dalen weer opgevuld. Echter bleven de dalen als waterafvoer gebruikt. Ook in de daaropvolgende perioden en tijdens de laatste ijstijd (Weichselein) zijn de dalen gebruikt als water- en sedimentafvoer. Tijdens deze fase is de Formatie van Boxtel, bestaande uit fluvioperiglaciale zanden en door de wind afgezette dekzanden gevormd. Door de lage ligging en het aanwezige water, kon tijdens het laatste (warmere) fase in het Holoceen enige veenvorming optreden. Het Anloërdiepje is een fraai voorbeeld van een authentiek kronkelende beek in een verder goed bewaard gebleven natuurlijk landschap.

### 2.3 Strategie

Voor het vastleggen van de nulsituatie van bodemsamenstelling en bodemligging zijn metingen met een onderwater gammaspectrometer gebruikt om de samenstelling van de waterbodem te meten. Om de diepteligging van de waterbodem te meten is een grondradar gebruikt. Het voordeel van een grondradar is dat zelfs bij zeer geringe waterdiepte deze methode nog gebruikt kan worden in tegenstelling tot b.v. een

---

echolood, die een zekere waterdiepte (ca. 50 cm) nodig heeft. Daarnaast geeft de grondradar ook informatie over de bodemopbouw.

Bij het veldonderzoek is de gamma spectrometer over de bodem gesleept.

De metingen van de waterdiepte zijn geijkt en gekalibreerd (zie hoofdstuk 4) door steekproefsgewijs peilingen uit te voeren met een standaard slibbaak (met geperforeerde voetplaat van 15 bij 15 cm) voor de diepteligging van de waterbodem (overgang water naar waterbodem). Ook zijn door het Waterschap peilgegevens van 3 automatische peilschalen in het Anloërdiepje aangeleverd.

Daarnaast zijn 6 waterbodem-monsters genomen. De monsters zijn genomen met een schepje. De monsters zijn geanalyseerd op korrelgrootte en slibgehalte. Deze gegevens zijn gebruikt voor de ijking van de metingen met de gammaspectrometer.

De metingen met de gammaspectrometer en grondradar zijn gedaan langs een lengteraai, waarbij de punt dichtheid langs de meetlijn groot is (gammaspectrometer elke 2 seconden een meetpunt). Hiermee wordt de bodem langs de meetlijn in groot detail in kaart gebracht.

Voor plaatsbepaling en hoogtemeting is gebruik gemaakt van een RTK-GPS met 06-GPS-correctie.



---

## 3 Veldwerk

---

### 3.1 Uitvoering van het veldwerk

Het veldwerk met de grondradar is uitgevoerd op 21 en 22 juli 2021. Tijdens dit veldwerk is er een meting uitgevoerd met een grondradar naar de diepteligging van de waterbodem. De uitvoering van de meting met kano en grondradar kostte enige moeite. Soms moest er redelijk wat gemanoeuvreed worden om de kano door de smalle loop heen te krijgen.

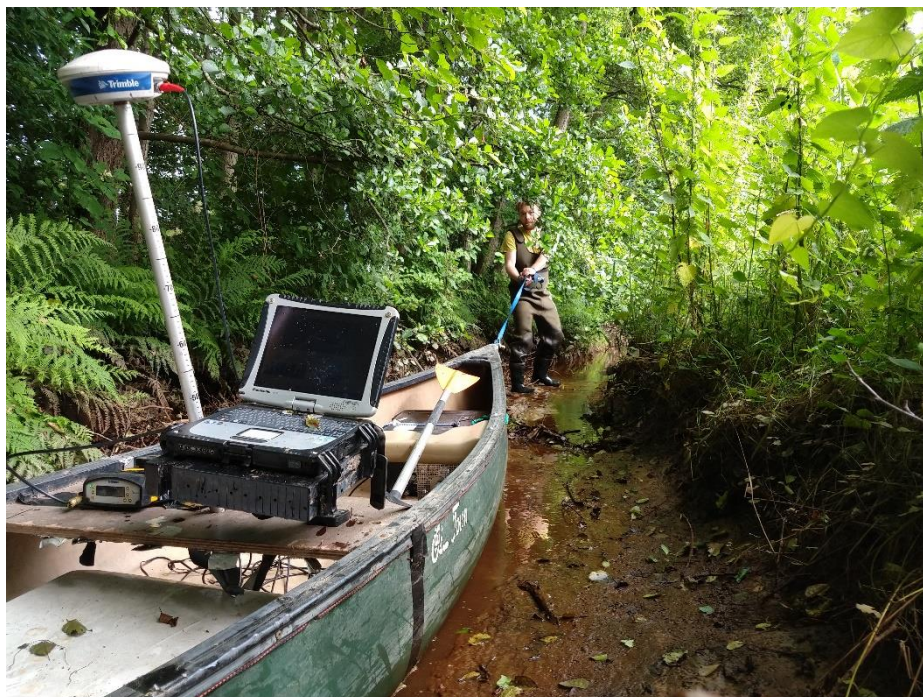
Na het uitvoeren van de meting met de kano voor de waterdiepte is op 27 juli 2021 alles ingemeten met gammaspectrometer. Er werd net zoals vorige keer lopend gemeten, want het water is te ondiep en te smal om met een gemotoriseerde boot door het loopje heen te gaan.

Er is met drie personen gemeten. Een persoon droeg de GPS, voor de plaatsbepaling, en de meetcomputer. De twee anderen zijn door de beek heen gewaad, met de medusa-sensor achter zich.

Op 16 september 2021 zijn bodemonsters verzameld. Vanwege de geringe waterdiepte was het mogelijk om de monsters met een schep te verzamelen. De monsters zijn uit de toplaag, ongeveer 0-30 cm-mv, genomen.

Tabel 1: uitvoering van de metingen

	Meting 2019	Meting 2021
Gammaspectrometer	26 november 2019	27 juli 2021
Grondradar	16 november 2019	21/22 juli 2021
Monsternamen	18 december 2019	16 september 2021



Figuur 3: impressie van de metingen met de grondradar in de kano. Dit geeft weer hoe ondiep het water soms was tijdens de meting.



**Figuur 4: Meetwerk met de grondradar: dichte planten rondom het diepje.**



**Figuur 5 impressie van de meetopstelling en meting met de gammaspectrometer die op de bodem ligt en wordt voortgesleept in het Anloërdiepje**

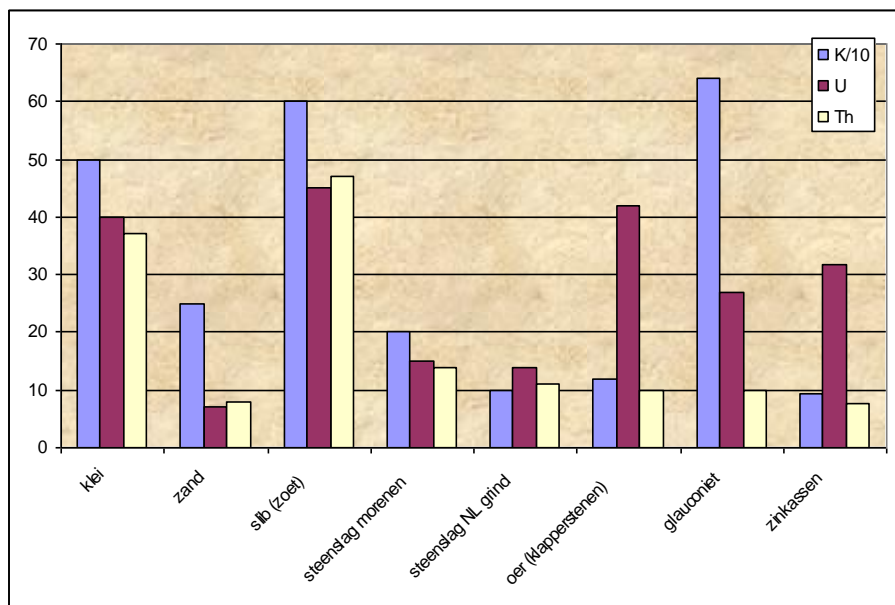
## 3.2 Gebruikte meetsystemen

### 3.2.1. Gammaspectrometer

Het Medusa systeem of gammaspectrometer is een geofysisch meetsysteem ontwikkeld voor de bepaling van textuur, korrelgrootte en chemische samenstelling van de toplaag (bovenste 0.50 meter) van de waterbodem. De gamma-spectrometer meet de van nature voorkomende radioactieve straling uit de grond. Deze straling is afkomstig van langlevende isotopen van kalium ( $^{40}\text{K}$ ), uranium ( $^{238}\text{U}$ ) en thorium ( $^{232}\text{Th}$ ). Daarnaast zijn er zeer lage concentraties cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ) in de grond aanwezig, uit de fall-out ten gevolge van het ongeluk met de nucleaire reactor in Chernobyl (1986) en de bovengrondse kernproeven in de vroege jaren '60 van de vorige eeuw. Al deze radioactieve stoffen komen in zeer lage concentraties voor in de (water)bodem, en vormen qua straling geen gevaar voor de volksgezondheid.

De door Medusa gebruikte methode wordt ook wel spectraal gamma genoemd en wordt veel gebruikt in boorgatmetingen en geologische exploratie vanuit de lucht.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat verschillende mineralen en bodemtypen kunnen worden onderscheiden doordat ze verschillen in concentraties  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  en  $^{232}\text{Th}$ . Dit verschijnsel noemt men de 'radiometrische vingerafdruk'<sup>1</sup> van een mineraal. De mate waarin de mineralen verschillen is afhankelijk van het soort mineraal (kleimineralen zijn anders kwarts of veldspaten), van de afkomst (graniet uit de Alpen is anders dan Schots graniet) en van de ouderdom (erosie van mineralen leidt onder meer tot het uitwassen van radioactieve isotopen).



**Figuur 6: voorbeeld van de fingerprint van veel voorkomende gesteenten en mineralen in Nederland.**

De fingerprint van een mineraal kan in het lab worden bepaald door onder gecontroleerde omstandigheden in een slibmonster de concentraties  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  en  $^{232}\text{Th}$  te bepalen. Tegelijk kunnen van hetzelfde monster ook andere eigenschappen worden bepaald (bijvoorbeeld de zware-metaalconcentratie, de textuur, de mineraalsamenstelling, etc. ). In veel gevallen blijkt er een relatie te bestaan tussen één of meer van de radioactieve stofconcentraties en één (of meer) van de textuur- of chemische eigenschappen van het monster.

<sup>1</sup> De "fingerprint" van een mineraal is de concentratievector  $[C_K, C_U, C_{Th}]$ , waarbij de concentraties C gegeven zijn in Bq/kg DS (Bequerel per kilogram drogestof), waarbij de Bequerel de eenheid van straling is.

---

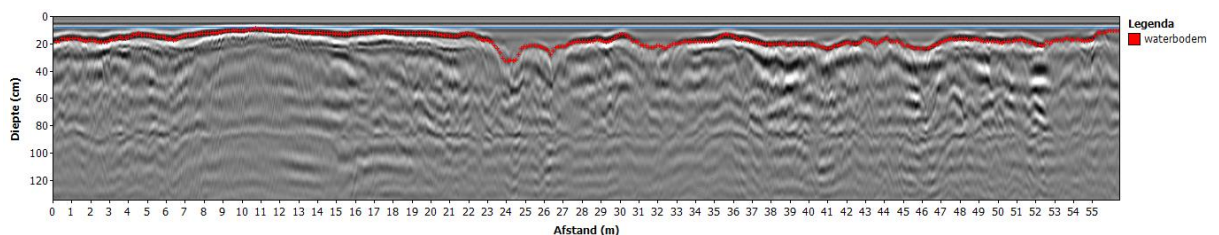
Als zo'n relatie ook bestaat voor een *verzameling* monsters uit een gebied, kan een ijklijn worden bepaald. Zo'n ijklijn beschrijft dan de vertaling van de radiometrische data naar de gewenste bodemeigenschap (textuur of chemie).

### 3.2.2. Grondradar

Een grondradarsysteem bestaat uit een combinatie van een elektromagnetische zender en ontvanger. Bij het meten wordt een hoogfrequente radiopuls door de zendspoel uitgezonden en gereflecteerd op bepaalde lagen of objecten in de bodem, die andere elektromagnetische eigenschappen hebben dan de bodem eromheen. De meting legt de looptijd van de radiopuls vast tussen het moment van uitzenden en het moment van ontvangst van een reflectie. De looptijd wordt bepaald door de diepte van het object waarop de reflectie plaatsvindt, waarbij de voortplantingssnelheid van de radargolf in de grond of in water afhangt van de diëlectrische constante van de bodem of het water. De methode is enigszins vergelijkbaar met seismische metingen, waarbij een uitgezonden geluidsgolf weerkaatst op bodemlagen of objecten met verschillende dichtheden.

In de praktijk wordt met het grondradarsysteem bewegend, een semicontinue meting uitgevoerd: tientallen keren per seconde wordt een puls uitgezonden en wordt de looptijd van de reflecties (en daarmee de diepte van de reflector) geregistreerd. Tegelijkertijd wordt de positie van het systeem vastgelegd met een RTK-GPS systeem. De metingen worden al varend uitgevoerd.

De grondradar is geen standaard hydrografisch systeem en wordt in het algemeen vooral gebruikt voor de opbouw (bijvoorbeeld laagdiktes) van de bodem. Vanwege de ondiepte en om een goed beeld te krijgen van de ligging van de echte bodem is ervoor gekozen om voor de meting van waterdiepte grondradar te gebruiken. Het elektromagnetische signaal wordt weerkaatst op laagovergangen. Het eerste duidelijke reflectieniveau bij metingen vanaf het water is de waterbodem. De snelheid van het signaal in de waterkolom is bekend. Door de meting te koppelen aan een RTK-GPS en het inmeten van het wateroppervlak, kan de ligging van de waterbodem nauwkeurig worden vastgesteld.



**Figuur 7: voorbeeld radarprofiel. De dunne blauwe lijn is wateroppervlak. De vette rode lijn is de ligging van de waterbodem.**

## 3.3 Monstername

Na de eerste analyse van de data zijn de locaties voor de monstername bepaald. Hierbij is gekozen voor gevarieerde locaties, waar er net hoge of lage waarden bij de gammaspectrometer werden gemeten. Drie van de monsterpunten zijn ter vergelijking op ongeveer dezelfde locatie genomen als in 2019.

De monsters konden door de geringe diepte met een schopje worden genomen. Nabij de monding in het Oudemolensche diep was de bodem erg slibrijk. Op de andere locaties was de bodem stevig, zandig en weinig slib. Over het gehele traject waren er weinig waterplanten aanwezig. Een groot verschil met de nulmeting in 2019.

**Figuur 8: locaties van de monstername 2019 en 2021 in het Anloërdiepje.**

---

### **3.4 Correctie GPS**

Over het grootste deel van het gebied was het GPS-bereik erg goed, en is RTK-sigitaal ontvangen. Op een aantal plaatsen was het GPS-bereik slecht. Wanneer we kijken naar de resultaten zien we dat de meetlijnen daardoor op sommige plaatsen kriskras door elkaar lopen. Om hiervoor te corrigeren zijn de meetpunten handmatig gecontroleerd en geprojecteerd naar een gecorrigeerde meetlijn.

Tijdens het meten met gammaspectrometer is er met de GPS op de oever gelopen parallel aan de gammaspectrometerbuis. Omdat het GPS hoger stond was de kwaliteit over het algemeen beter dan tijdens de meting met grondradar. Op sommige plaatsen was de plaatsbepaling nog steeds niet geheel correct. Daarom is er, zoals bij de grondradardata, eerst manueel gecorrigeerd en daarna geprojecteerd. De ruwe en gecorrigeerde meetlijnen zijn zichtbaar in de kaart bijlage 8.

---

## 4 Monsteranalyses en ijkingen

---

### 4.1 Monsteranalyses

Na monsternamen zijn de sedimentmonsters in het veld gehomogeniseerd in een emmer en opgesplitst in twee delen. Een van deze delen is in het laboratorium van Medusa gemeten op de concentraties van de van nature voorkomen radionucliden. Het andere deel is aangeboden aan het laboratorium van Wietsema & Partners. Zij deden textuuranalyses op de monsters: korrelgrootteverdeling, lutumgehalte, slibgehalte, organische stofgehalte.

De resultaten van de metingen van de radionucliden concentratie zijn zichtbaar in Tabel 2. De resultaten van de textuuranalyse zijn zichtbaar in Tabel 3 en in bijlage 9.

**Tabel 2: Resultaten laboratoriumanalyse Medusa – radiometrie.**

Monsternr.	naam	40-K	238-U	232-Th	137-Cs
M001	Anl21_01	267	7.3	8.1	0.5
M002	Anl21_07	169	9.3	6.4	1.6
M003	Anl21_03	313	28.5	27.3	5.7
M004	Anl21_04	286	8.1	8.7	0.8
M006	Anl21_06	220	5.9	6.6	0.6
M005	Anl21_05	242	8.2	8.1	0.6

**Tabel 3: Resultaten laboratoriumanalyse korrelgrootte en slibgehalte.**

Monsternr.		D50 (mm)	D50 (µm)	Slibfractie (%)
M001	Anl21_01	0.208	208	1.2
M002	Anl21_07	0.200	200	7.4
M003	Anl21_03	0.091	91	40.7
M004	Anl21_04	0.159	159	4.2
M006	Anl21_06	0.227	227	0.6

De metingen aan de textuur van het sediment laat zien dat een van de monsters een vrij hoog slibgehalte heeft. Een ander monster heeft een matige hoeveelheid slib. De rest van de monsters bevatten weinig organisch materiaal bevatten.

### 4.2 Kalibratie van de Medusa metingen

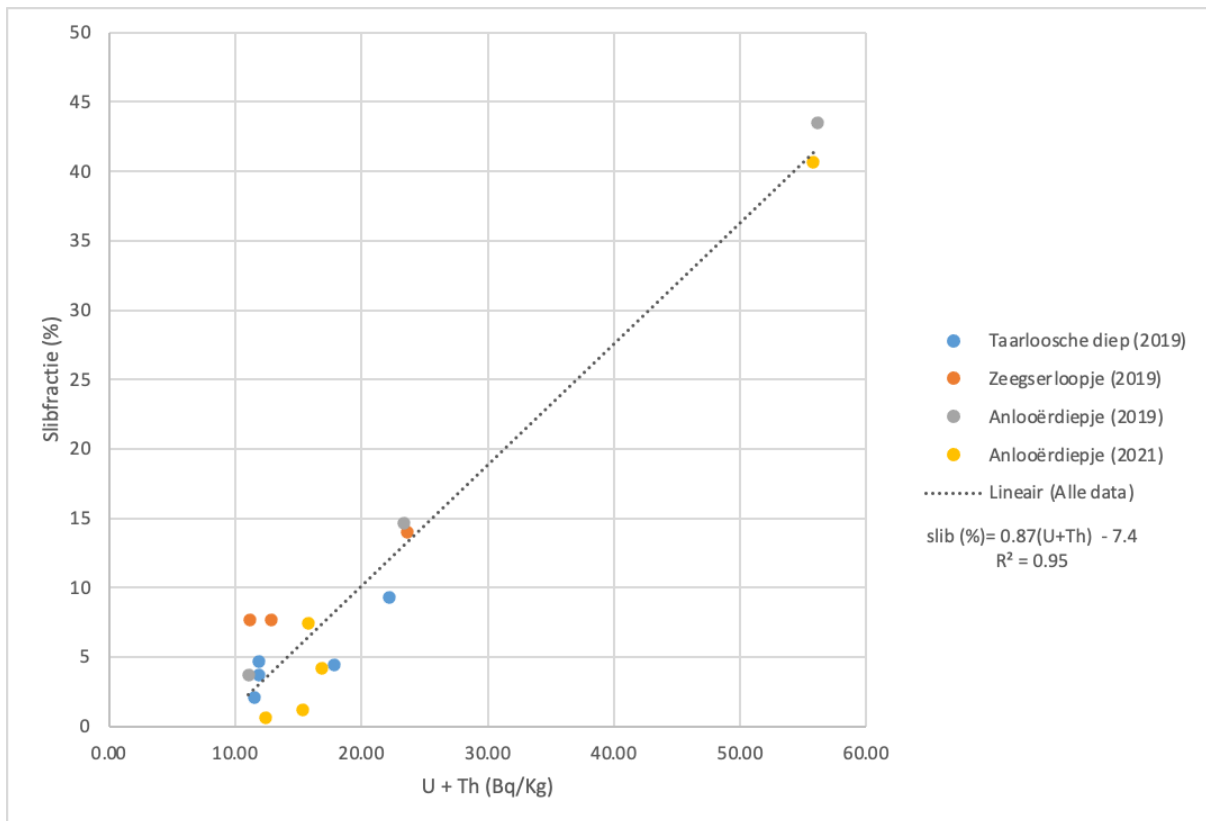
Op basis van de radionuclideconcentraties van de monsters en de resultaten van de textuuranalyse kan een ijklijn worden opgesteld. Deze ijklijn beschrijft de vertaling van de radiometrische data naar de bodemeigenschap (textuur) en kan worden gebruikt om de veldmetingen om te zetten naar textuur eigenschappen.

Uit eerder onderzoek (van Wijngaarden, Venema et al. 2002) is gebleken dat de concentraties kalium, uranium en thorium bepaald worden door het klei- en zandgehalte (Medusa 2003) in de waterbodembodem. De ijklijnen zijn karakteristiek voor de herkomst van het materiaal en hoewel in grote lijnen bekend is hoe deze ijklijnen lopen voor Nederlandse (water)bodems moeten deze wel per project opnieuw geijkt of getoetst worden. Voor de ijklijnen in dit project zijn de monsters van het Anloërdiepje uit 2019 en 2021 gebruikt, en ook aanvullend de monsters van Zeegseloope en Taarloosche Diep 2019.

---

### Slibfractie:

Onder slibfractie wordt verstaan de minerale korrelgrootte fractie kleiner dan 63  $\mu\text{m}$ . In het laboratorium is het aandeel aan water en organisch materiaal uit het monstermateriaal verwijderd. Wat overblijft is een minerale fractie bestaande uit kleideeltjes, en zand. Het deel dat op de zeef met diameter van 63  $\mu\text{m}$  achterblijft is de zandfractie, wat door de zeef heengaat wordt de slibfractie genoemd. In de kalibratie van de medusametingen en op de kaarten wordt stevast de slibfractie, dus alleen de minerale delen gebruikt.



**Figuur 9: IJklijn op basis van de relatie tussen de gemeten radionucliden (Uranium+Thorium) en de slibfractie (< 63  $\mu\text{m}$ ).**

De gevonden correlatie tussen het slibgehalte en de uranium en thorium concentraties afkomstig uit het Anlooërdiepje zijn vergeleken met die van monsters genomen in andere wateren (Figuur 9). In Figuur 9 is de correlatie tussen de concentraties radionucliden en de slibfractie weergegeven. Een lineaire fit door de grafieken geeft een correlatiecoëfficiënt ( $R^2$ ) van 0.95, en geeft als vergelijking:

$$f_{<63\mu\text{m}} = 0.87 \times (Th + U) - 7.4$$

met  $f_{<63\mu\text{m}}$  de fractie < 63  $\mu\text{m}$  in %, en de waarden van de radionucliden in Bq/kg.

#### 4.2.1. Gehalte organische stof

De concentraties van het organische stof in de monsters zijn erg klein en vertonen weinig spreiding. Deze variatie is te klein om een nauwkeurige ijlijn te bepalen. Naar verwachting zullen de gehalten organisch stof in het veld weinig variëren.

#### 4.2.2. Mediane korrelgrootte

De monsters zijn ook geanalyseerd op de mediane korrelgrootte (D50).

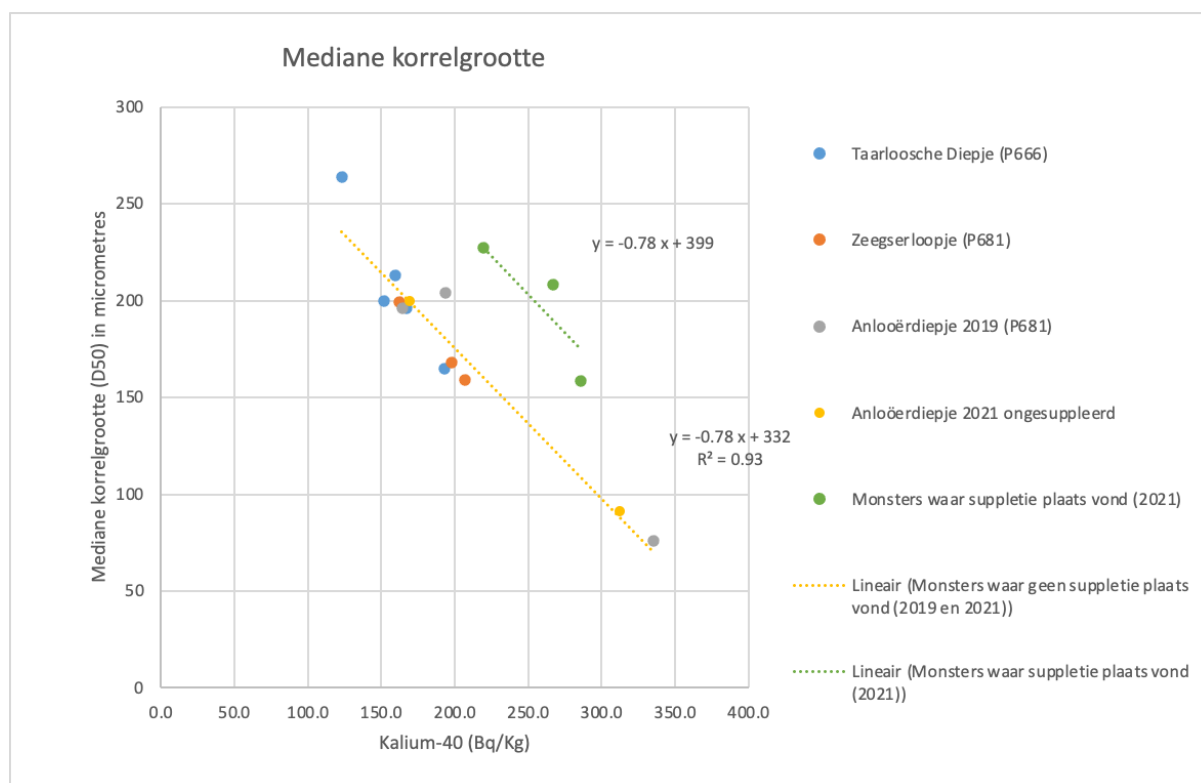
Uit eerder onderzoek blijkt dat er vaak een goede correlatie bestaat tussen het kaliumgehalte en de korrelgrootte van sediment. In de eerste meting van het Anloërdiepje is de correlatie tussen het kaliumgehalte en de mediane korrelgrootte (Figuur 10) gebruikt om een korrelgroottekaart op te maken. In Figuur 10 zijn ook de monsters uit het gesuppleerde gebied geplott (als groene punten). Deze punten tonen dezelfde trend als de andere monsters, maar ze liggen iets hoger. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat het gesuppleerde zand waarschijnlijk een andere samenstelling (herkomst) heeft. Dit gesuppleerde zand heeft vermoedelijk iets meer kaliumveldspaat ten opzichte van het gehalte kwarts.

Daarom zijn er twee ijklijnen opgesteld: een voor het ongesuppleerd gebied (voor 2019 en voor een gedeelte van het meetgebied in 2021) en voor het gesuppleerd gebied (alleen 2021). Deze ijklijnen zijn gebruikt als basis om de veldmetingen om te zetten naar een D50-kaart. Voor de gebieden uit 2019 en 2021, zonder suppletie:

$$f_{D50} = y = -0.78x + 332$$

In het gesuppleerde gebied:

$$f_{D50} = y = -0.78x + 399$$



Figuur 10: Correlatie tussen het Kaliumgehalte van de monsters en hun mediane korrelgrootte.



---

## 5 Resultaten

---

### 5.1 Interpolatie en kaartmateriaal

De meetresultaten zijn met behulp van het softwarepakket Surfer (Golden Software) geïnterpoleerd tot gebiedsdekkende *grids*. Als interpolatiemethode zijn 2 verschillende interpolatiemethoden gebruikt, kriging en inverse distance.

Voor de waterdiepte is maximaal 2 meter vanaf de meetpunten door geïnterpoleerd, binnen de oeverlijn van het gemeten gebied, met behulp van kriging. Voor de kaarten van D50, slib en trilling is een zoekcirkel van 3 meter gebruikt (weighting power 1, smoothing 3)

De resulterende kaarten, waarnaar in de hoofdstukken wordt verwezen, zijn bijgevoegd in de bijlage.

### 5.2 Diepte waterbodem

Op de kaart in bijlage 1 zijn de resultaten van de bodemligging van het Anloërdiepje geplot.

Per kaartvak worden rechtsboven de resultaten van de meest recente meting weergegeven: waterdiepte ten opzichte van het waterpeil op de meetdag (3 augustus 2021). De peilgegevens zijn door het waterschap doorgegeven en komen van 3 meetpunten in het onderzoeksgebied.

Linksboven staat het verschil in bodemhoogte ten opzichte van de meting in 2019. Om deze dataset te maken is de diepte ten opzichte van NAP in 2019 afgetrokken van de diepte ten opzichte van NAP in 2021. We zien weinig positieve waarden, wat betekent dat bijna hele stroompje hoger is komen te liggen. Daar waar de dataset meer blauw vertoont, en dus lagere waarden heeft, heeft er een sterkere verontdieping plaatsgevonden. Waar de kaart rood is bleven de bodemhoogtes ongeveer gelijk.

Onderin wordt een grafiek geplot met de ligging van de waterbodem in 2019 en 2021. Het gedeelte van het Anloërdiepje dat zichtbaar is op de bovenstaande kaart wordt steeds geplot. Op de y-as staat de geschatte afstand tot het Oudemolense Diep.

We zien dat op de eerste kaartvakken (0 – 450 m tot Oudemolense Diep) het diepteverschil beperkt is. Dit komt overeen met de suppletie strategie: in dit gedeelte is er niet of beperkt gesuppleerd. Op enkele locaties is de waterbodem echter toch hoger. Mogelijk is op deze locaties al wat suppletie materiaal vervoerd naar deze kant. In de volgende kaarten en in het veld was het ook duidelijk dat in dit gebied veel slib lag. Dit fijne sediment is makkelijk te transporteren in het water en draagt mogelijk bij tot de hogere waterbodem. In 2019 is er in november gemeten, in 2021 in augustus. De afwateringssituatie in de periode voor de meting kan sterk verschillend geweest zijn, wat tot een andere retentie van slib kan zorgen.

Vanaf kaartvak 10 (1200 m tot Oudemolense diep) is het verschil tussen de bodemhoogtes gemiddeld 40 cm. De bodemhoogte van de 2021 meting is iets vlakker (toont minder kleinschalige variatie), op locaties waar in 2019 een stevige verdieping aanwezig was (bijvoorbeeld op kaartvak 15, 1825m tot Oudemolense Diep) is deze verdieping ook in 2021 nog aanwezig (**Figuur 11**). Dit is vooral het geval bij de bruggen of duikers.



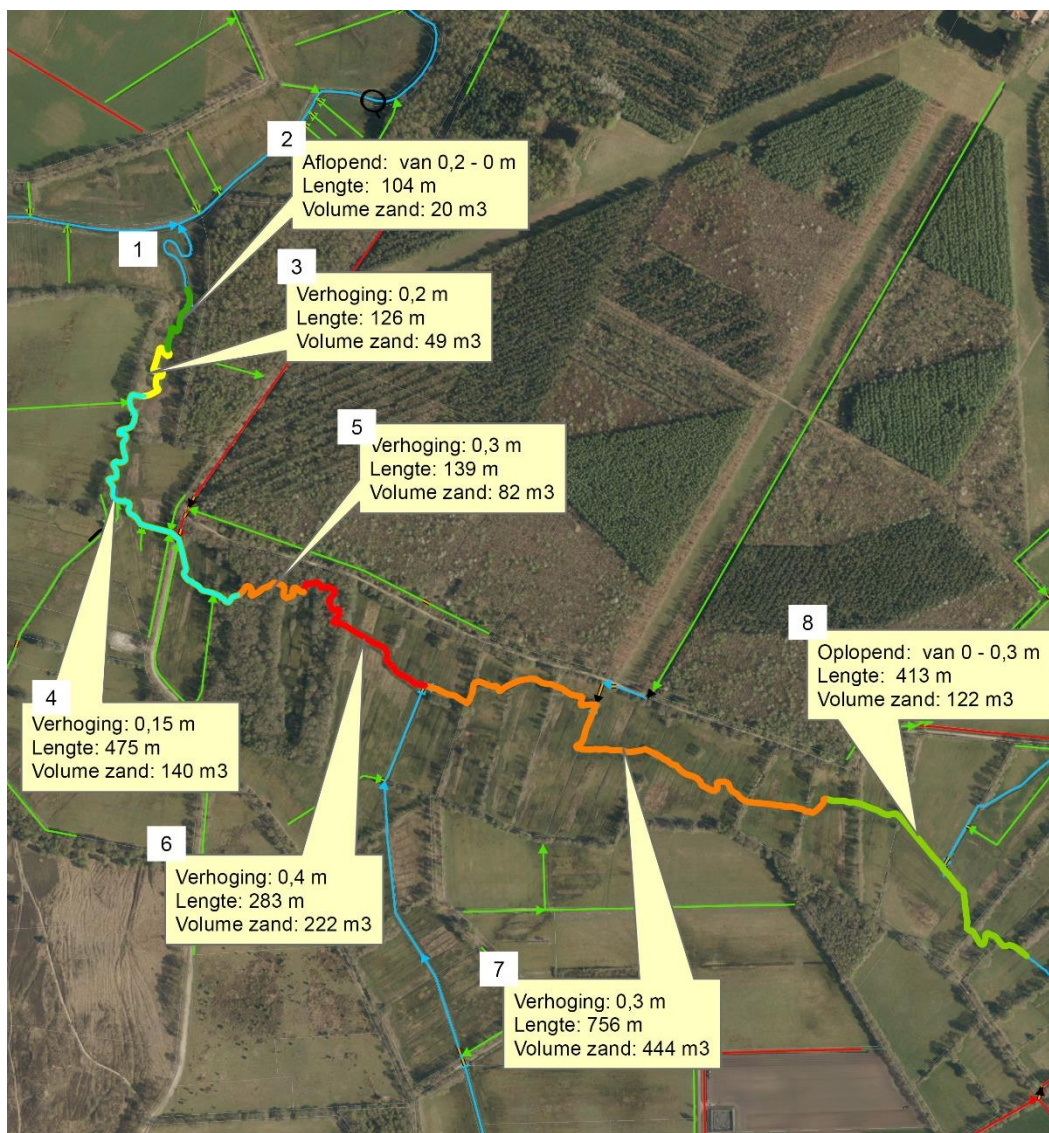
**Figuur 11: detailopname van de waterdiepte van het Anloërdiepje, 1750 tot 1950 m tot Oudemolense Diep). Beide kaarten tonen de ligging van de waterbodem ten opzichte van NAP, bovenstaand in 2019 en onder in 2021. De kleurschalen zijn anders verdeeld, om vooral de variatie in waterbodemdiepte goed te kunnen vergelijken tussen de twee metingen. We zien dezelfde extreme diepte achter de duiker in het midden van de afbeelding (rode vlek). We zien ook aan de rechterkant wat ondieper gebied, linkerkant een dieper gebied.**

Bij de vergelijking is het van belang om te realiseren dat er twee meetlijnen zijn gemeten. Deze geven een goede representatie van de situatie, maar er kan niet gegarandeerd worden dat erop exact dezelfde breedteligging in het diepje is gemeten. Vermoedelijk is vooral het diepste gedeelte van het profiel van het diepje gemeten, en zijn de oevers minder meegenomen.

In de onderstaande tabel is de gemiddelde verhoging per deeltraject aangemerkt. De ligging van de deeltrajecten is zichtbaar in Figuur 12.

Deeltraject	Gemiddeld verschil in bodemligging tussen meting in 2019 en 2021 (m)
1	-0.14
2	-0.10
3	-0.10
4	-0.31
5	-0.37
6	-0.50
7	-0.54
8	-0.47

Tabel 4: Gemiddeld verschil in bodemligging tussen meting in 2019 en 2021 (m), gebaseerd op de geïnterpoleerde dieptemetingen.



Figuur 12: Plankaart Anloërdiepje. Nummering van de deeltrajecten aangemerkt met witte vierkanten.

---

### 5.3 Slibdikte

De kaart in bijlage 2 toont de variatie in D50 in het Anloërdiepje in 2019 en 2021. De kaart linksonder geeft D50 in 2019 weer, rechts in 2021.

We zien in 2021 heel wat meer slib 0 tot 300 meter van het Oudemolense Diep. Verder in het diepje zien we gemiddeld gezien iets minder slib in 2021 dan 2019. Mogelijk zijn de kleinste korrelgroottes nog niet aangevuld na de suppletie, iets wat we ook zien in de mediane korrelgrootte histogrammen. Maar ook dit kan afhangen van hoe veel en snel er water door het beekje heeft gestroomd in de periode voor de meting en geeft niet perse een permanent verschil weer

---

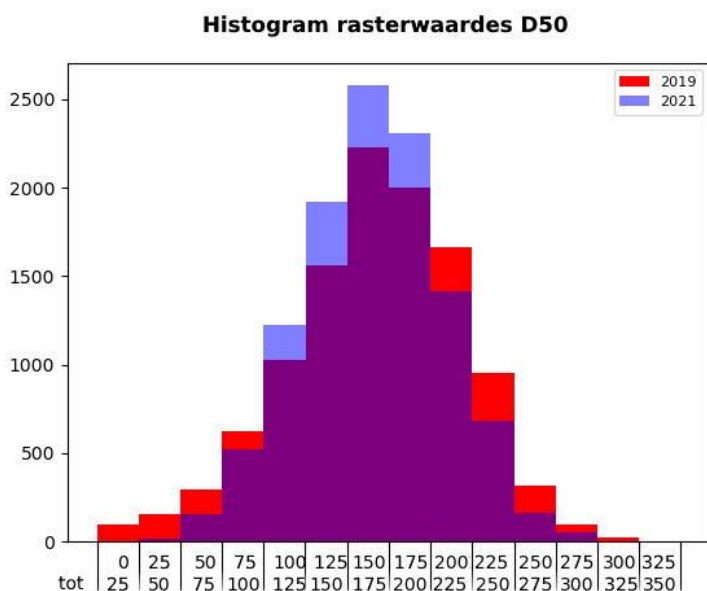
## 5.4 Mediane korrelgrootte

De kaart in bijlage 2 toont de variatie in mediane korrelgrootte (D50) in het Anloërdiepje in 2019 en 2021. De kaart linksonder geeft D50 in 2019 weer, rechts in 2021.

In beide jaren zien we variatie in de D50: vaak wisselt hij tussen de 100 en 300  $\mu\text{m}$  over de lengte van 100 meter. We zien niet echt dezelfde D50 op exact dezelfde locaties, maar de variatie in D50 lijkt op eenzelfde schaal voor te komen.

Er zijn ook histogrammen gemaakt, om iets meer inzicht te krijgen in het verschil tussen de twee meetmomenten.

Een histogram laat zien hoe vaak een bepaalde waarde in een dataset voorkomt. Dit is een krachtige visuele methode om de spreiding van meetdata te laten zien. In Figuur 13 staat het histogram van de hele dataset van de mediane korrelgrootte van de meting uit 2019 en 2021. Op de x-as staat de mediane korrelgrootte (D50,  $\mu\text{m}$ ), op de y-as het aantal keer dat die waarde voorkomt. Deze grafiek laat zien dat voor het gehele gebied, de korrelgrootte gemiddeld weinig veranderd is. In de 2019 meting komen er echter meer lagere waarden (D50 tussen 0-60  $\mu\text{m}$ ) voor. Na de suppletie komt er kennelijk minder punten waar het sediment erg fijn is voor in het gebied.



**Figuur 13: histogram van de mediane korrelgrootte van de meting uit 2019 en 2021. Op de x-as staat de mediane korrelgrootte (D50,  $\mu\text{m}$ ), op de y-as het aantal keer dat die waarde voorkomt.**

---

## 6 Conclusies

---

De volgende conclusies kunnen worden gemaakt bij het vergelijken van de datasets voor en na suppletie (resp. meting van 2019 en 2021) in het Anloërdiepje.

### **De ligging van de bovenkant van de waterbodem in NAP**

De ligging van de waterbodem is bijna overal gelijk of hoger dan voor de suppletie. We zien een significante stijging (>20 cm) in de waterbodem in het Anloërdiepje in de gesuppleerde gebieden.

### **De variatie in de waterdiepte**

De variatie is iets geringer na de suppletie, maar we zien deels op gelijkaardige plaatsen dieptes in hoogtes in de waterbodem verschijnen.

### **Het slibgehalte van de waterbodem (minerale fractie < 63 µm)**

Na de suppletie is het slibgehalte afgenomen. Bij de suppletie is een mengsel gebruikt met zeer weinig kleine fractie. Aan de hand van de meetgegevens zien we al wel op bepaalde plaatsen fijne fracties in het diepje opduiken – deze worden dus wel aangevuld. In het gedeelte het dichtste tegen het Oudemolense Diep zien we wel hogere slibgehaltenes dan in 2019. Er is op een ander moment in het jaar ingemeten, dat kan zorgen voor een ander slibregime.

### **De mediane korrelgrootte van de waterbodem**

De gemiddelde korrelgrootte is niet veranderd. We zien wel minder plaatsen met gemiddeld zeer lage of gemiddeld zeer hoge korrelgroottes: de “range” van de korrelgroottes is na de suppletie meer beperkt.

We zien wel een andere verdeling over het diepje: op andere plaatsen zien we hoogtes of laagtes. Mogelijk is dit een effect van de ingebrachte houtpakketten. We zien een gelijkaardige soort variatie in de korrelgrootte: de afwisseling van hoger naar lager lijkt ongeveer met dezelfde frequentie te gaan als voor de suppletie.

De kaarten en data kunnen gebruikt worden om de effecten van de suppletie verder te bestuderen. Voor verdere monitoring van de effecten kan over een bepaalde tijd dezelfde meting opnieuw worden uitgevoerd.

---

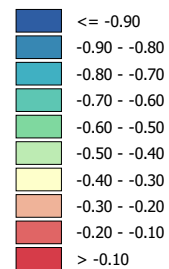
## Bijlagen

---

<b>Kaarten</b>	<b>Bijlage</b>
Anloërdiepje verschil in waterdiepte en diepte 2021	1
Anloërdiepje Slib en D50 2019 en 2021	2
Analyseresultaten Wiertsema & Partners	3
Meettechnieken toelichting	4

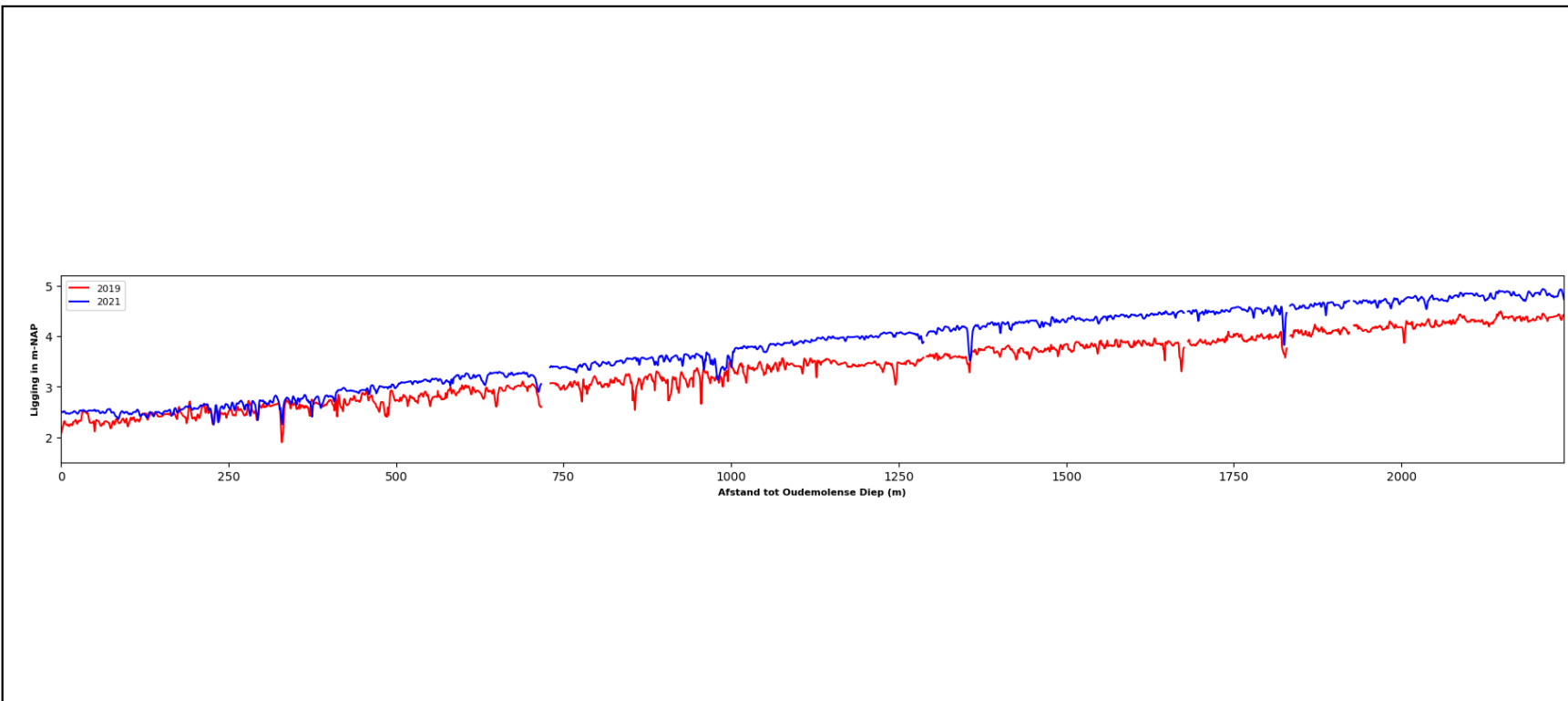
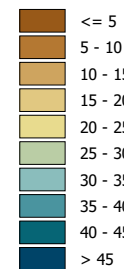


Verskil in ligging waterbodem 2019 ten opzichte van 2021 (m)



Diepte waterbodem 2021 (cm - peil)

peil van 3 aug 2021



**Anlooërdiepje**

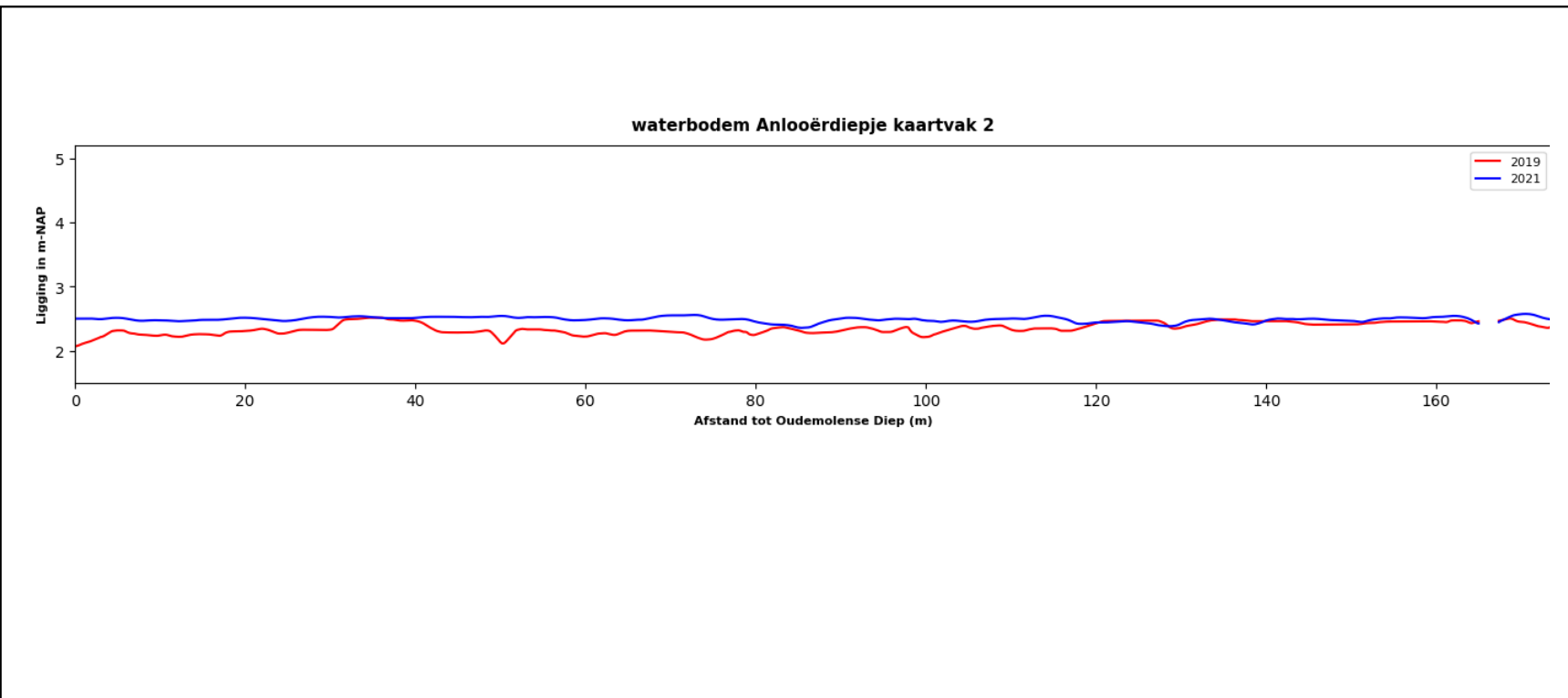
0 200 400 m

0000 m		
<b>Opdrachtgever</b> Waterschap Hunze en Aas		
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**

[www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)





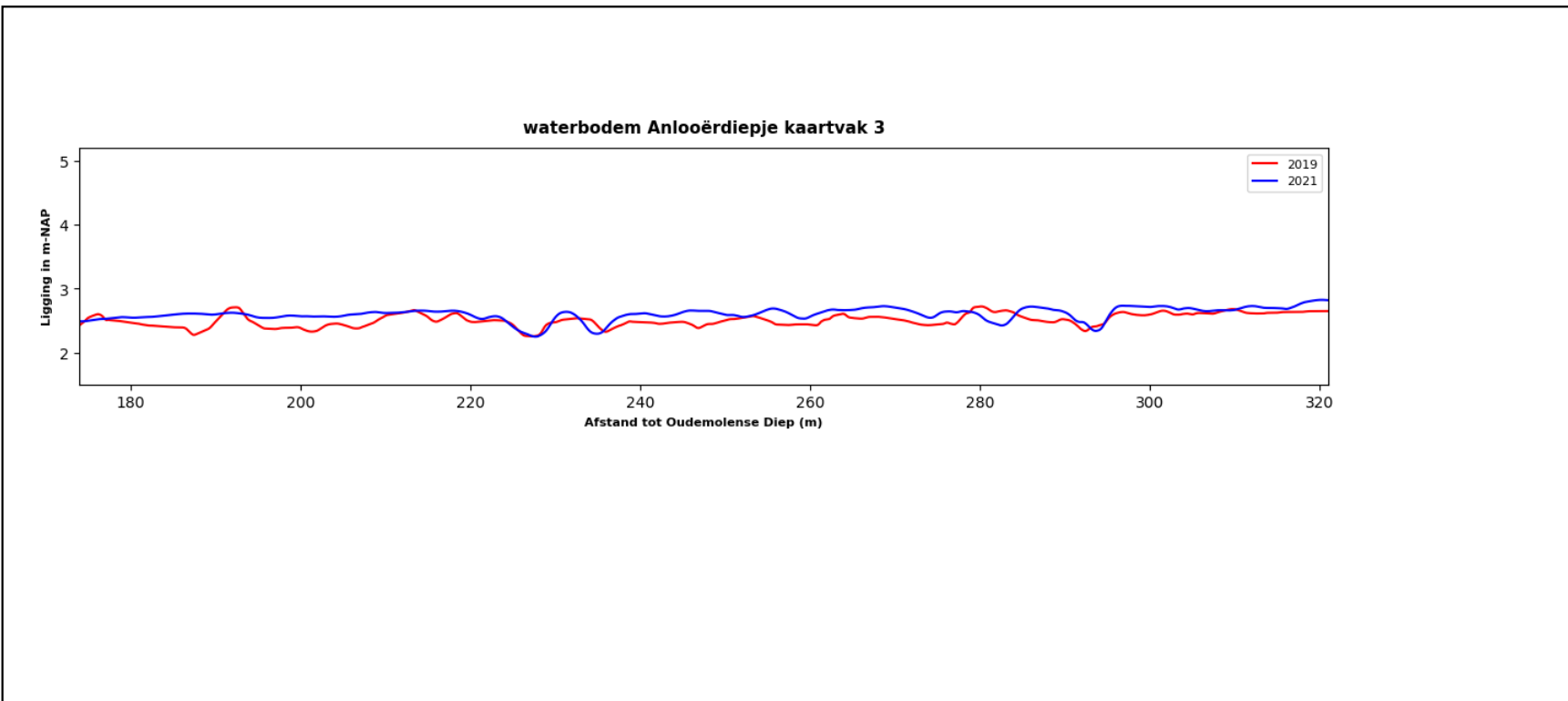
**Anlooërdiepje**

**Scale:** 0 200 400 m

**Opdrachtgever:** Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



**Anlooërdiepe**

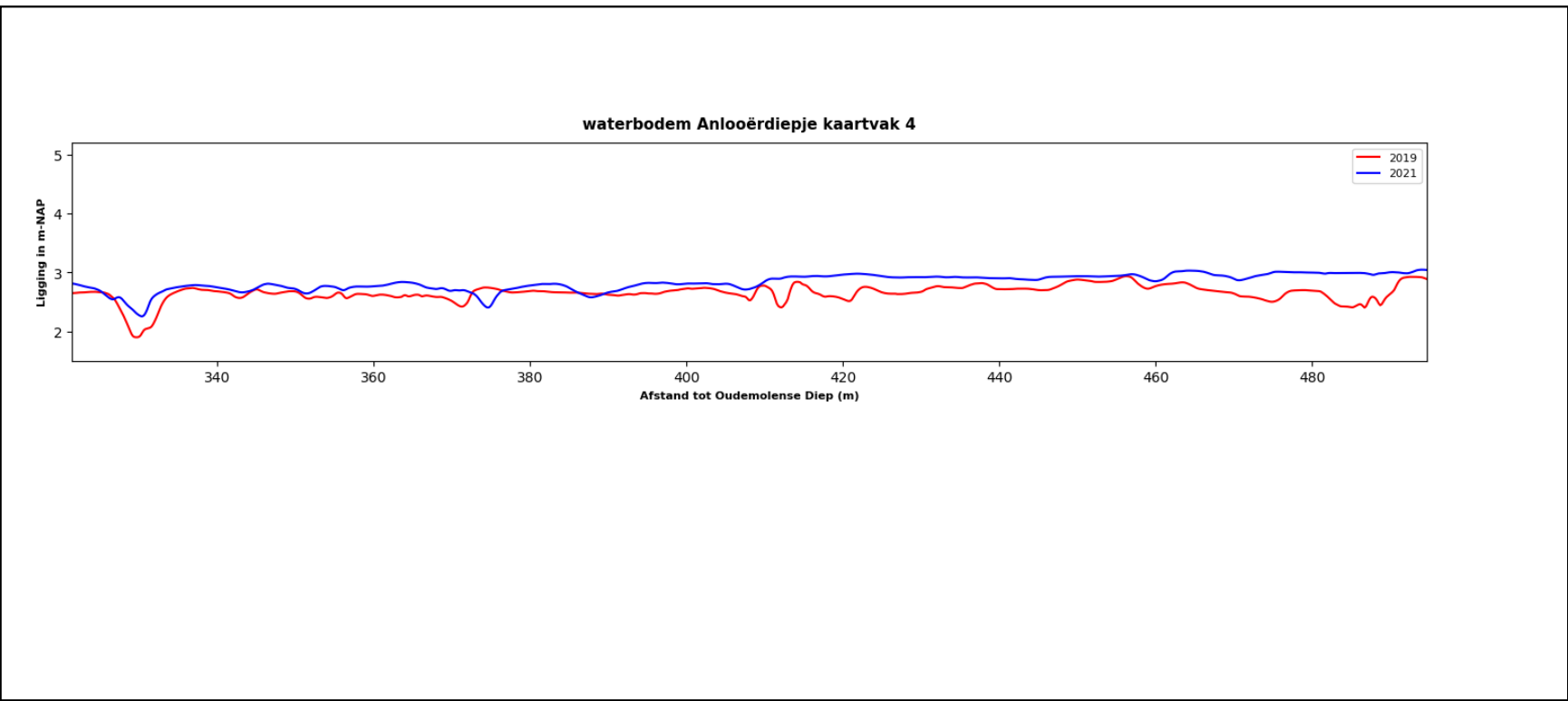
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



Anlooërdiepje

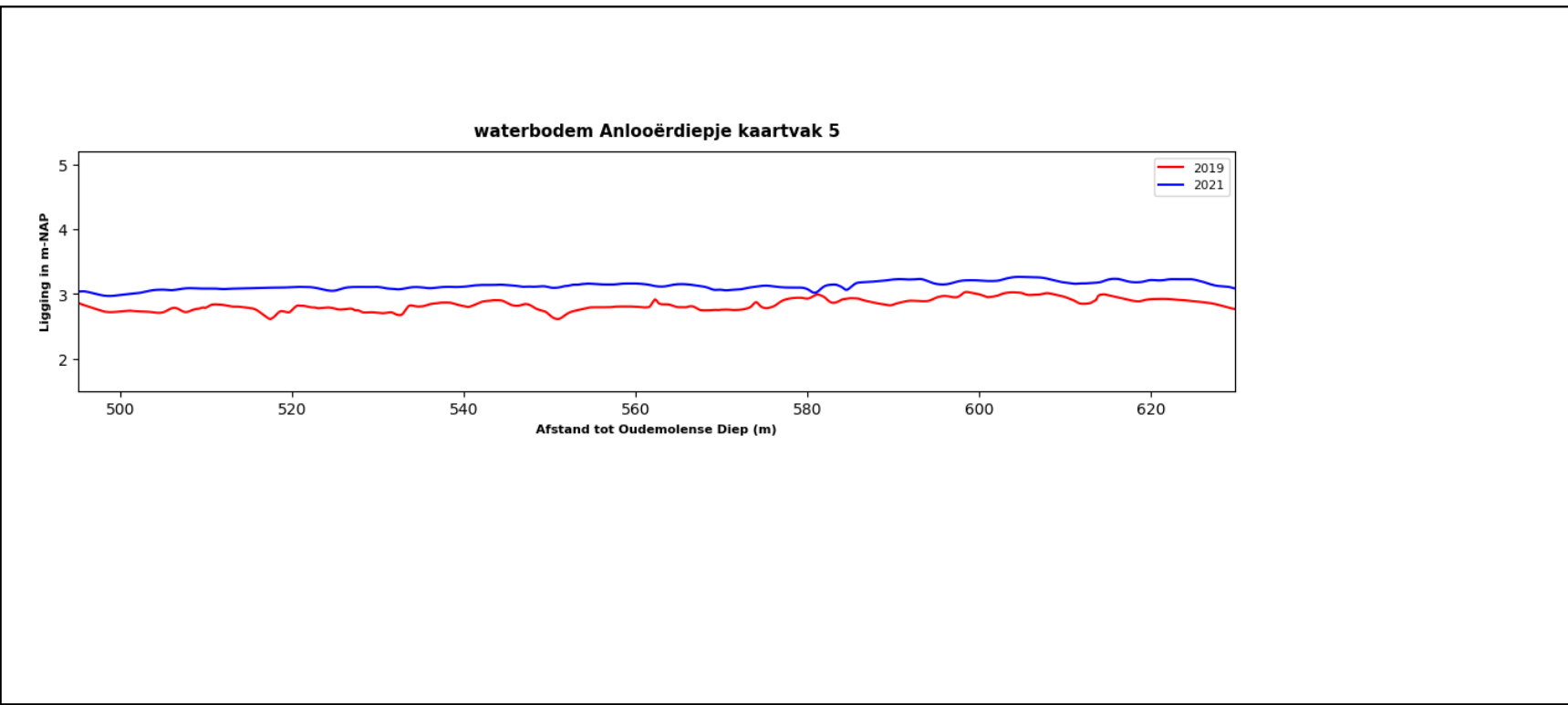
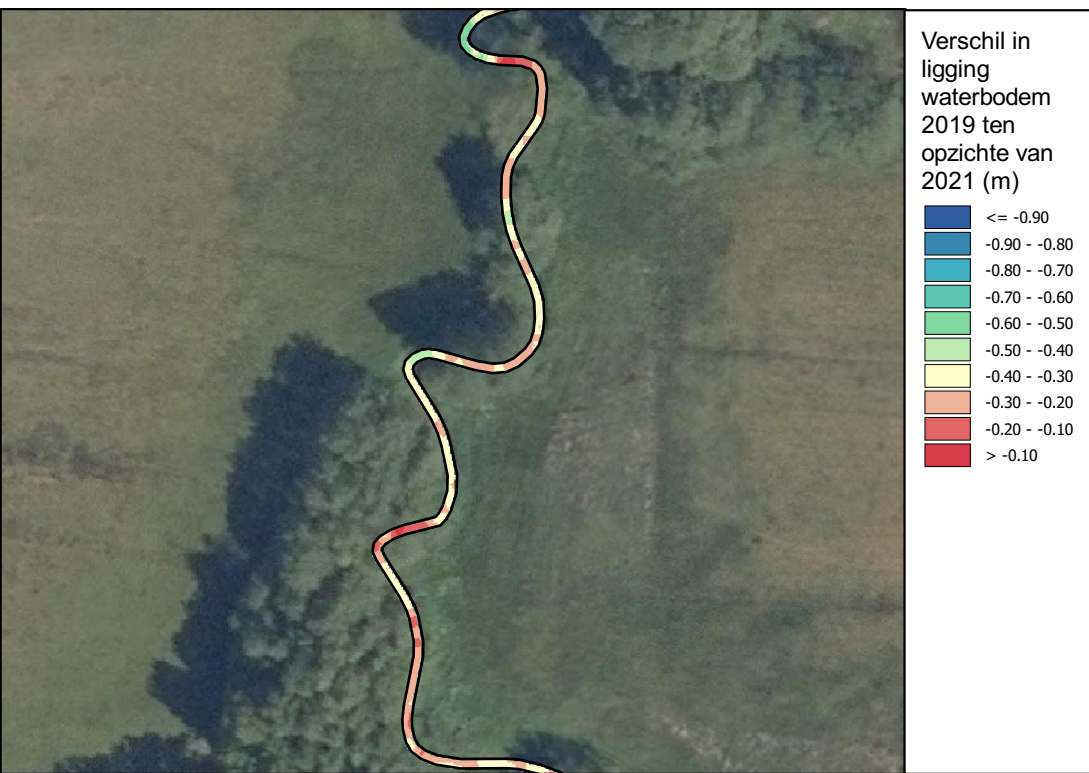
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

[www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)



**Anlooërdiepje**

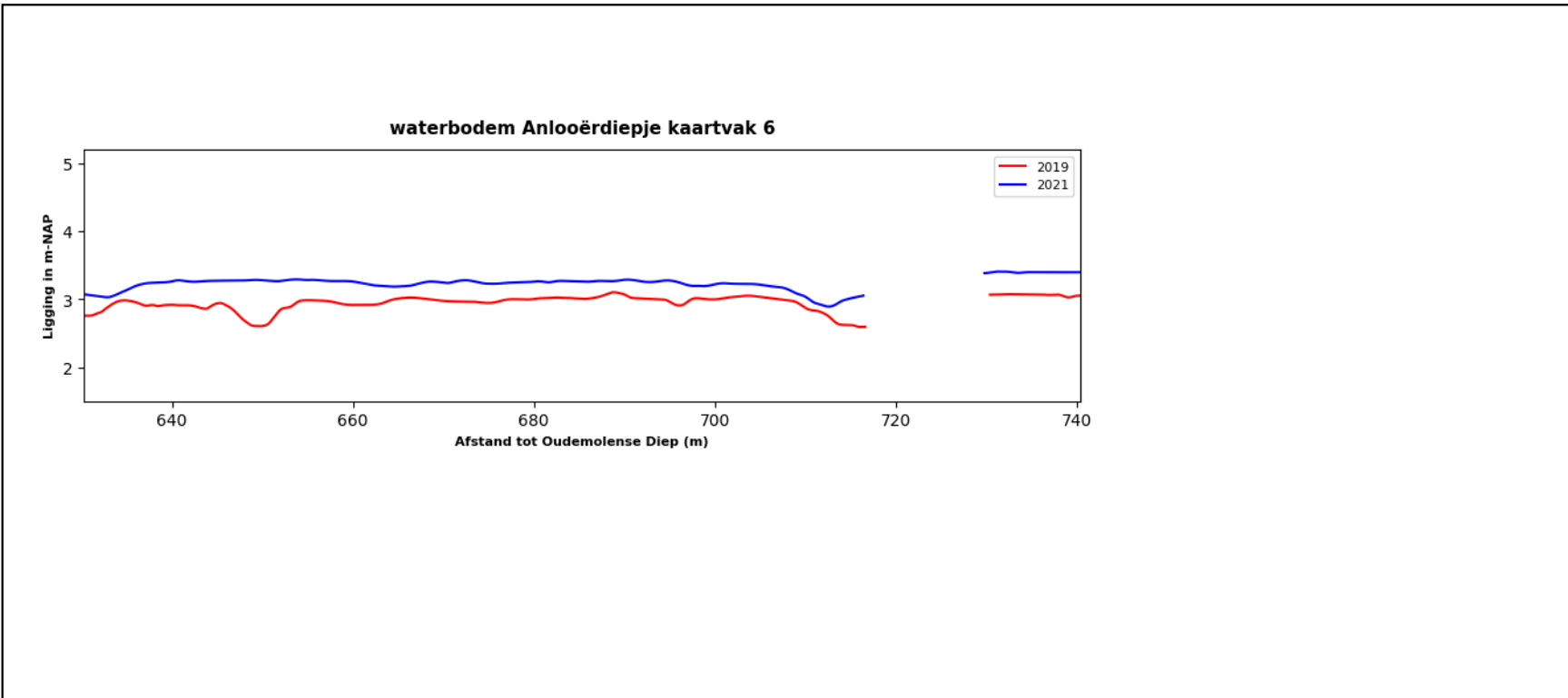
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



**Anlooërdiepje**

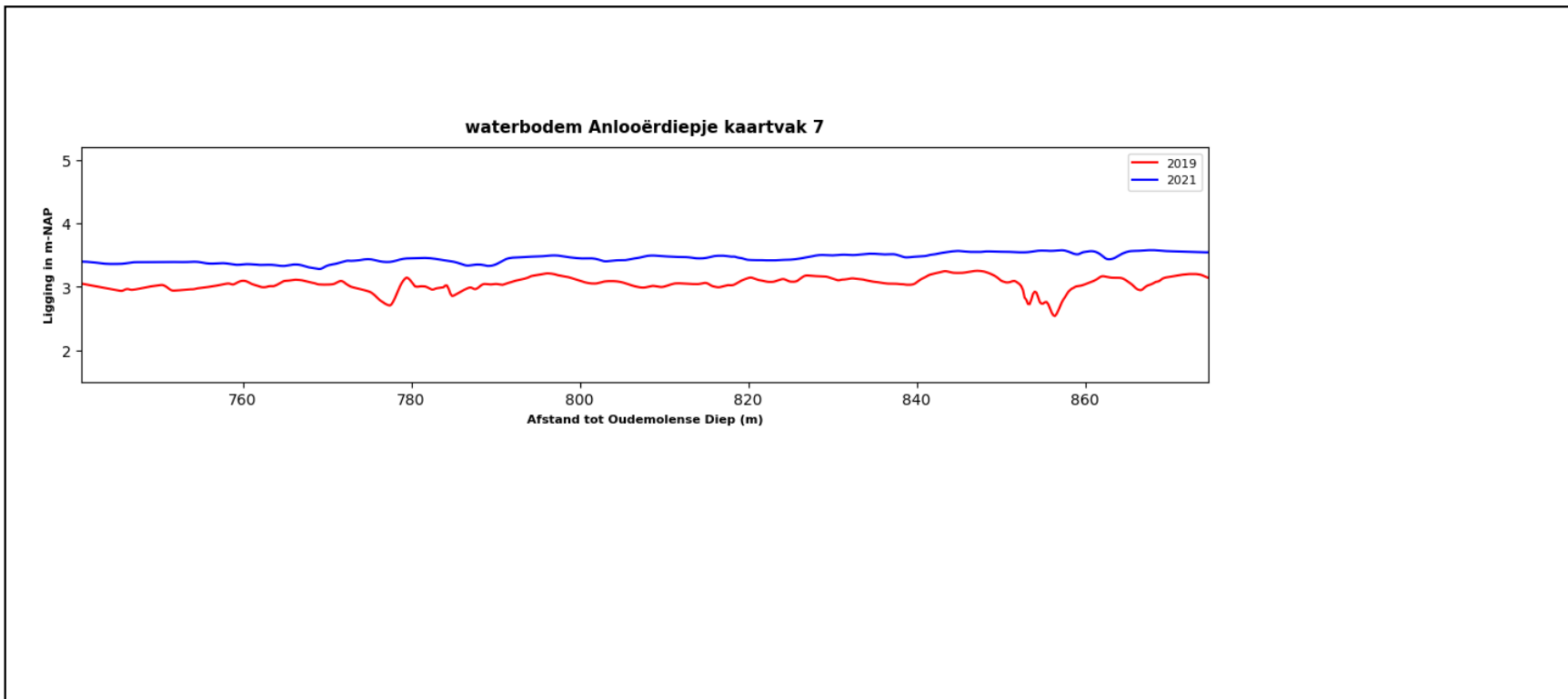
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



**Anlooërdiepje**

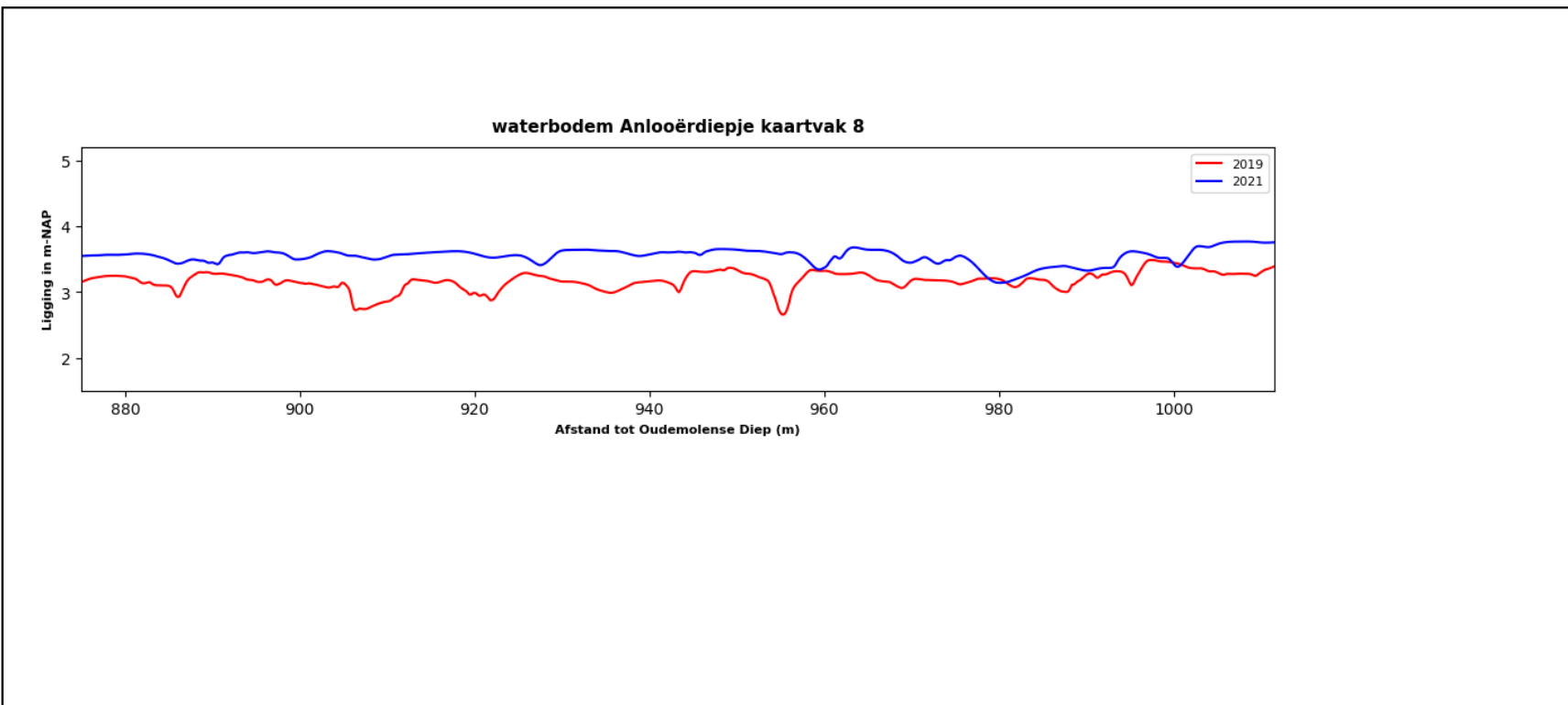
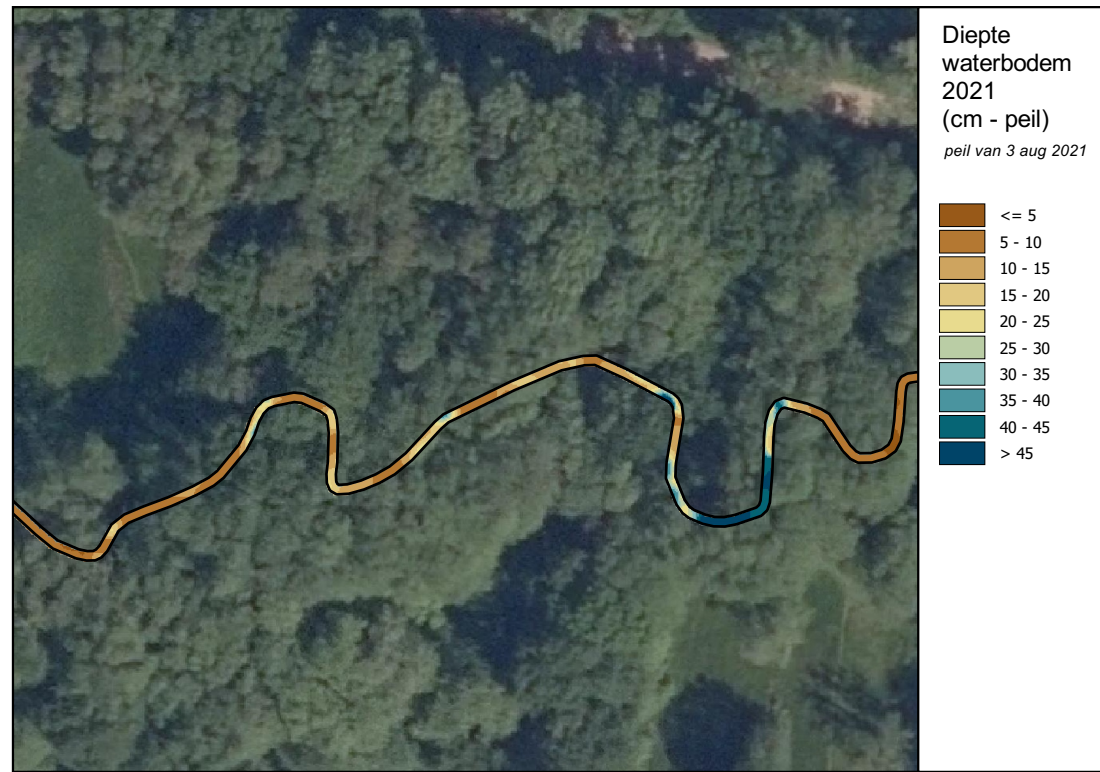
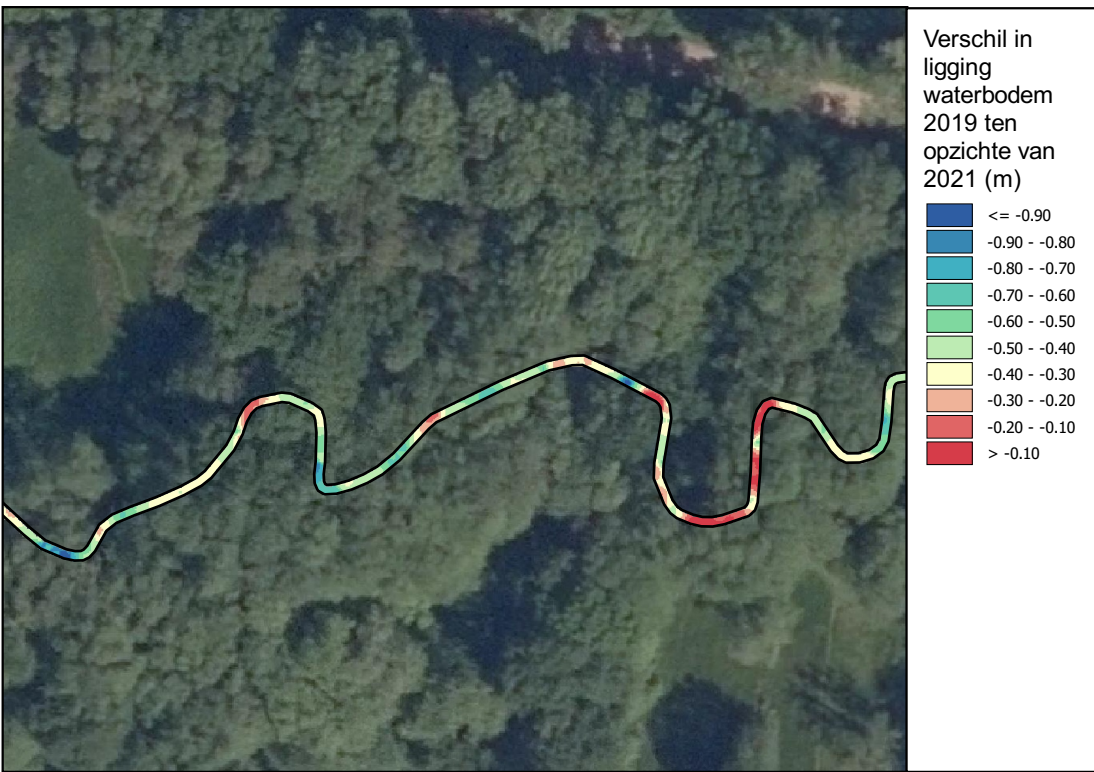
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



**Anlooërdiepje**

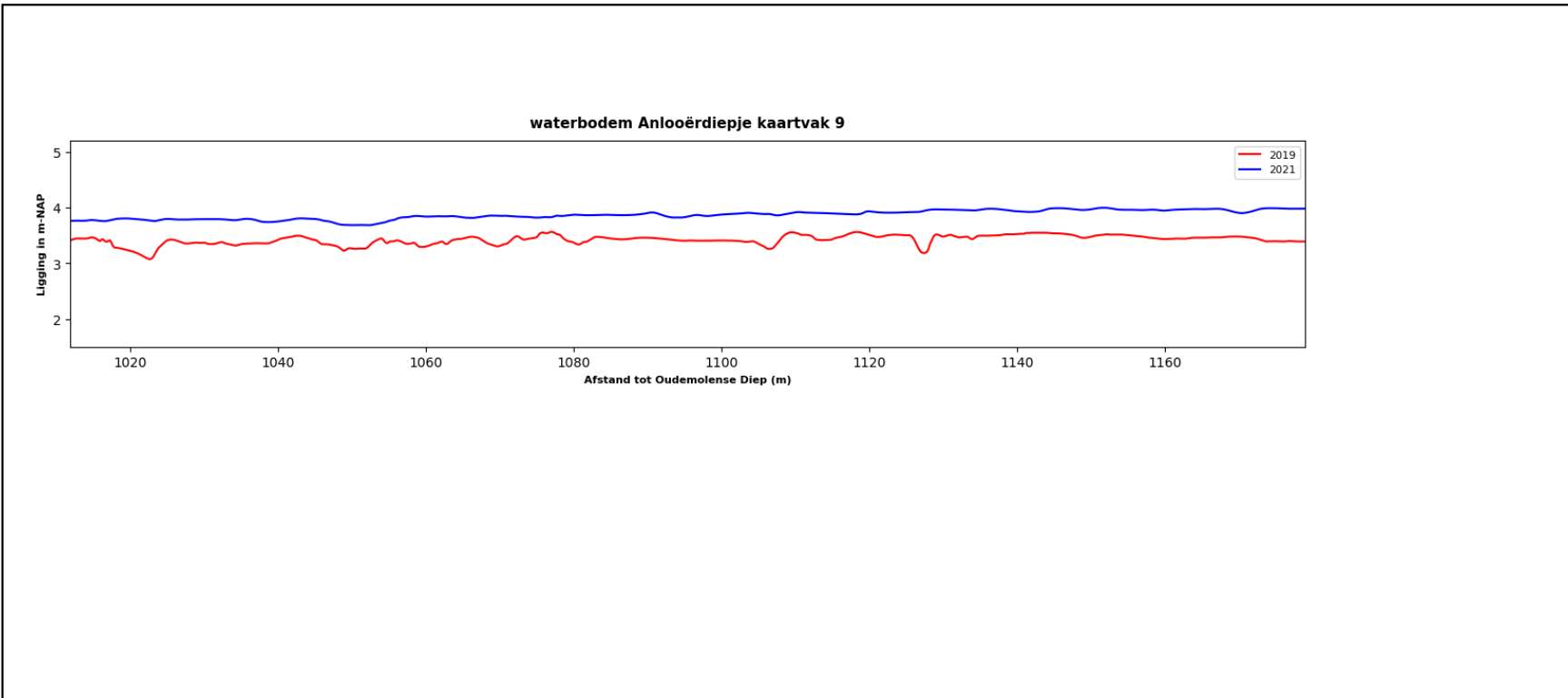
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



**Anlooërdiepje**

0 200 400 m

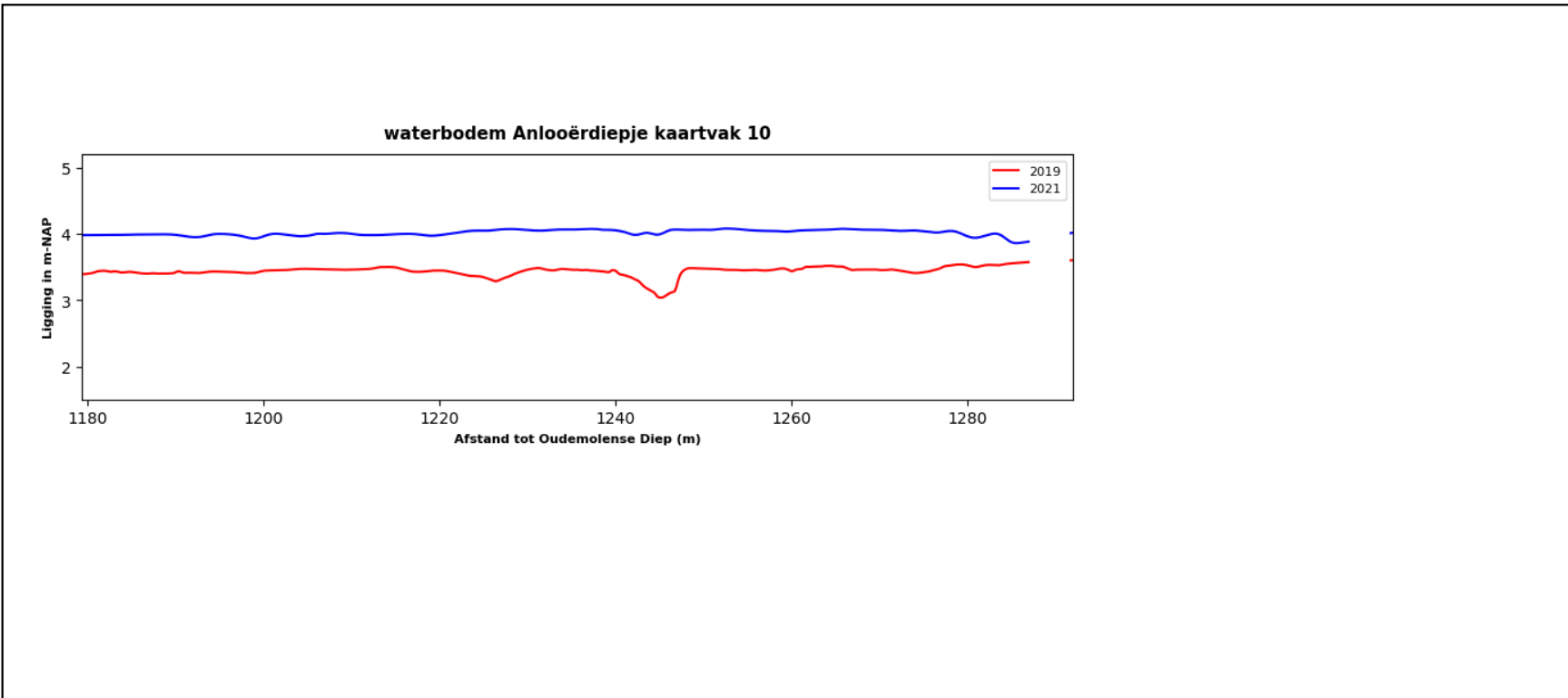
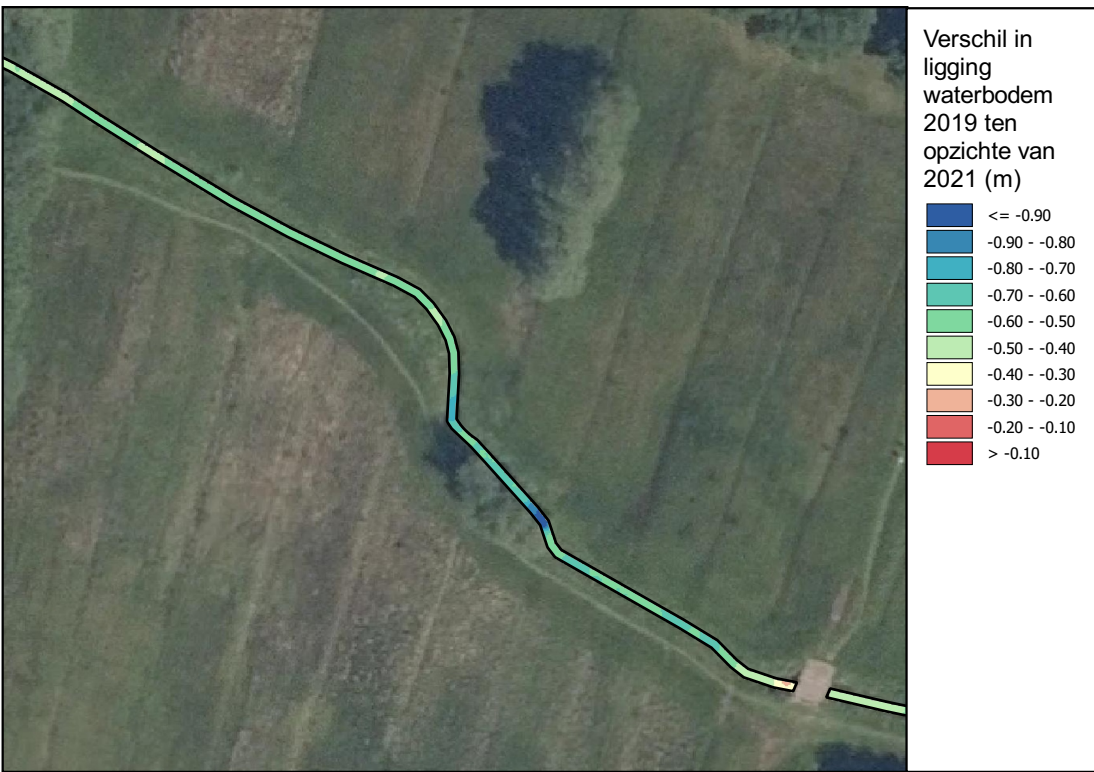
0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com





**Anlooërdiepje**

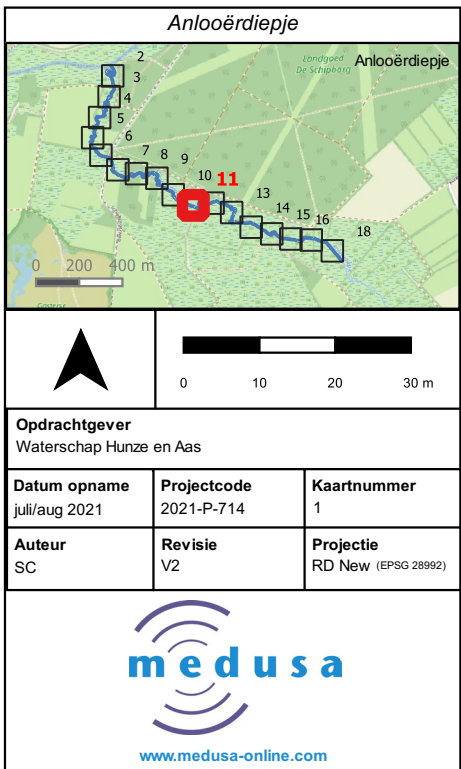
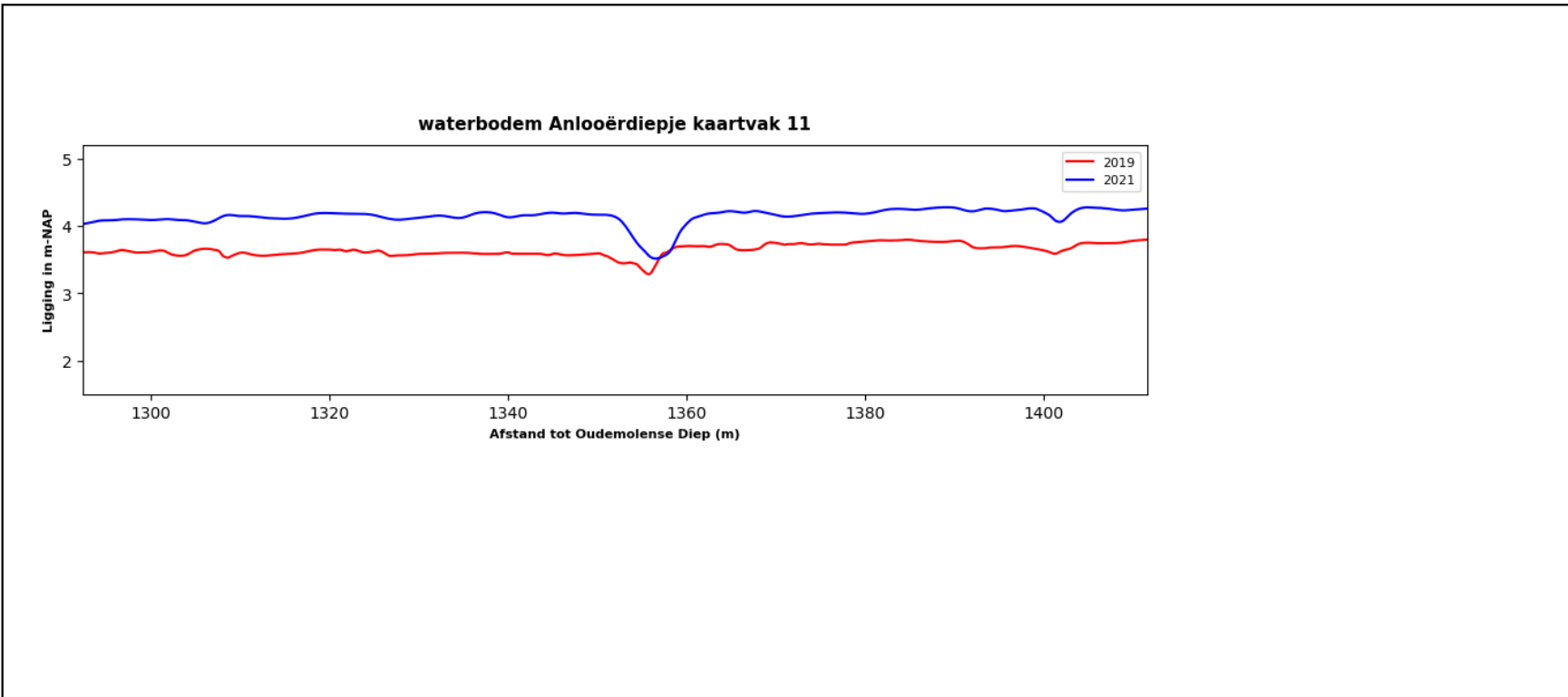
0 200 400 m

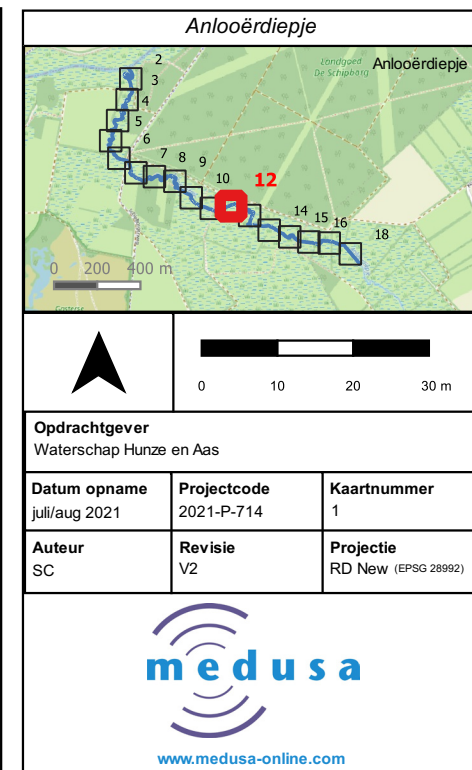
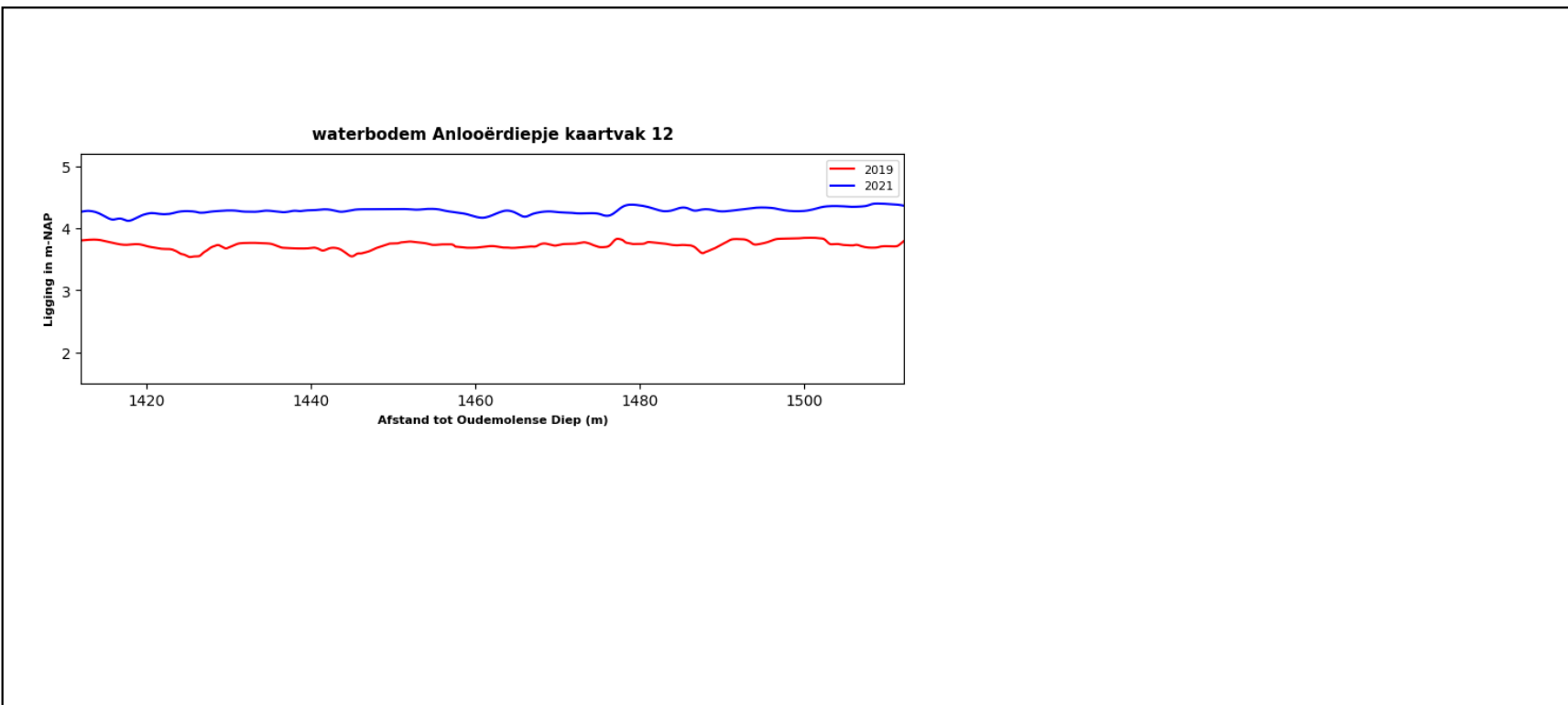
0 10 20 30 m

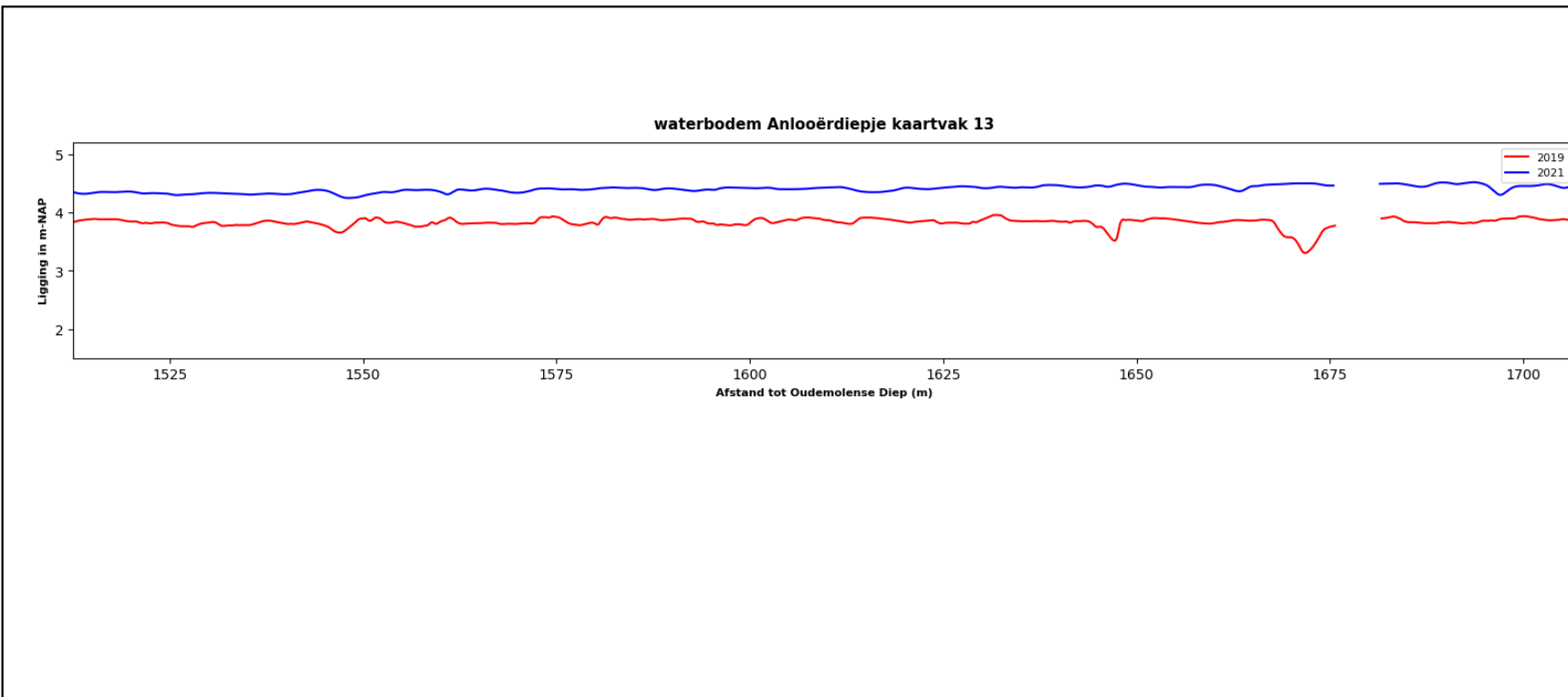
**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com







**Anlooërdiepje**

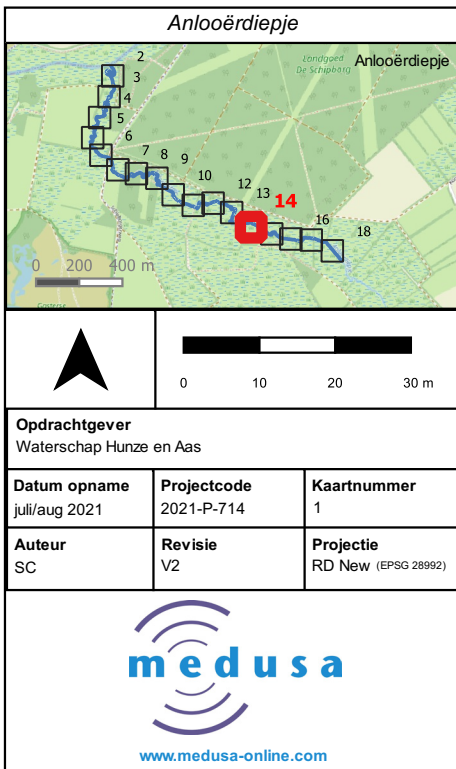
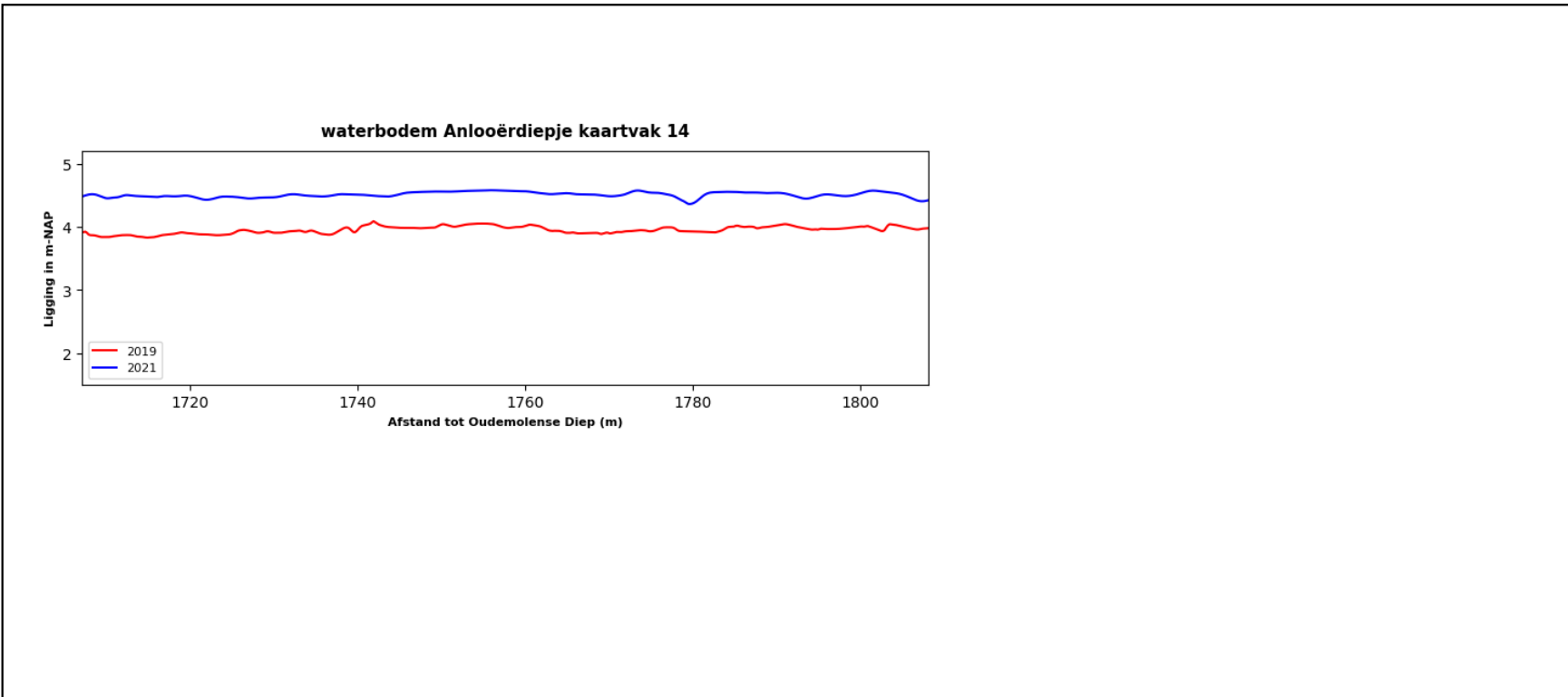
0 200 400 m

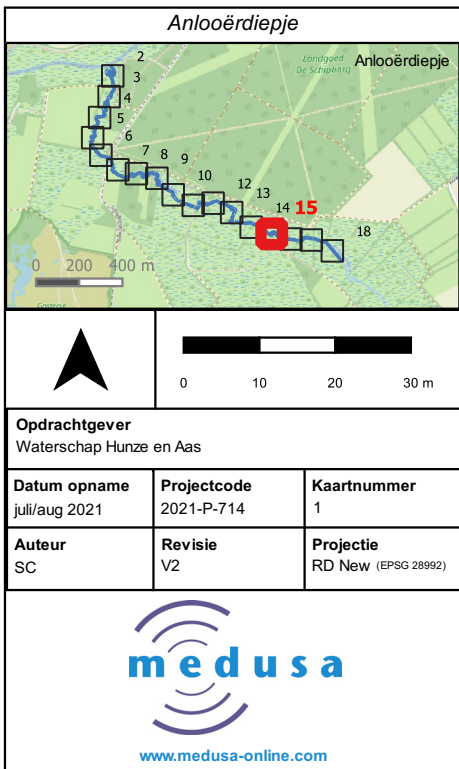
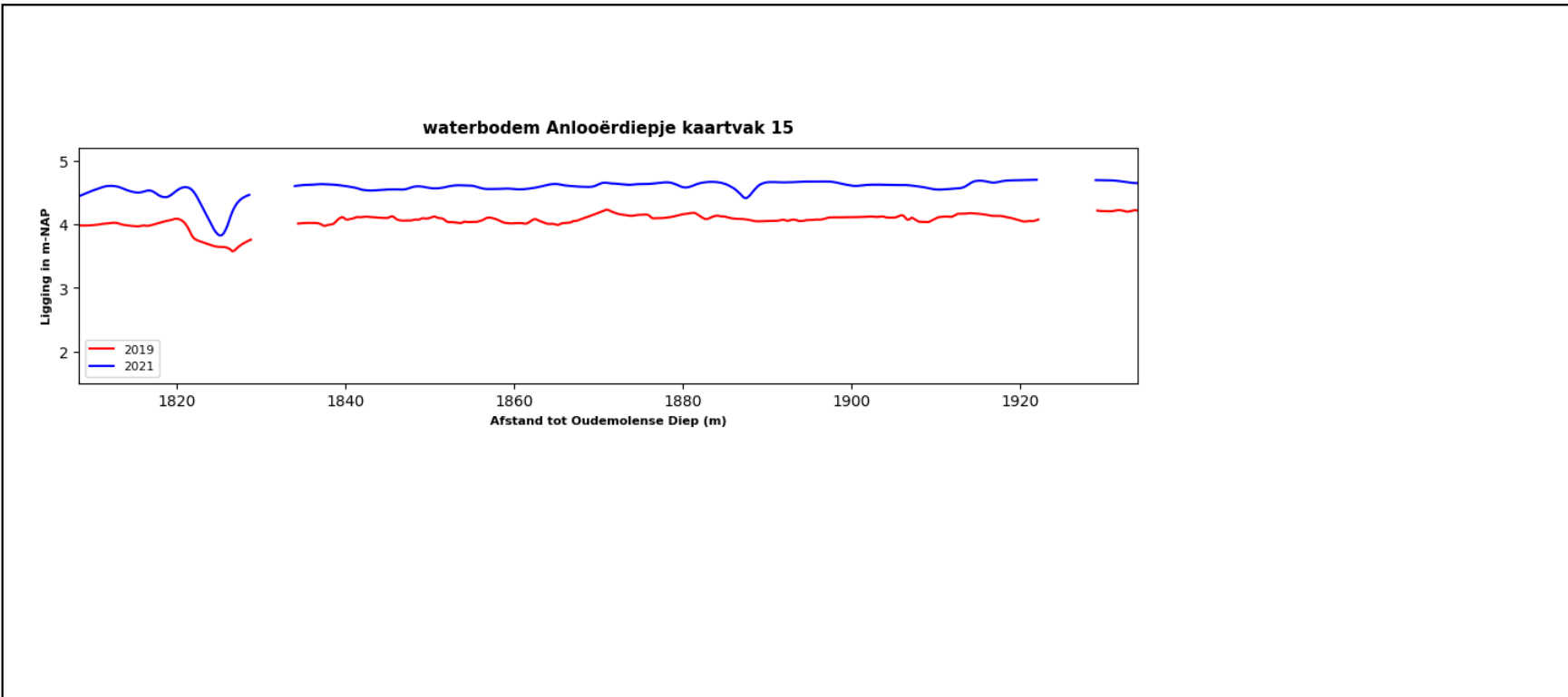
0 10 20 30 m

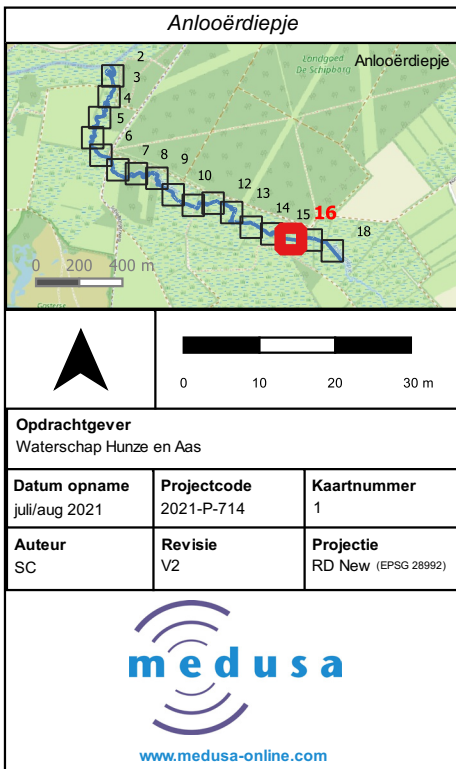
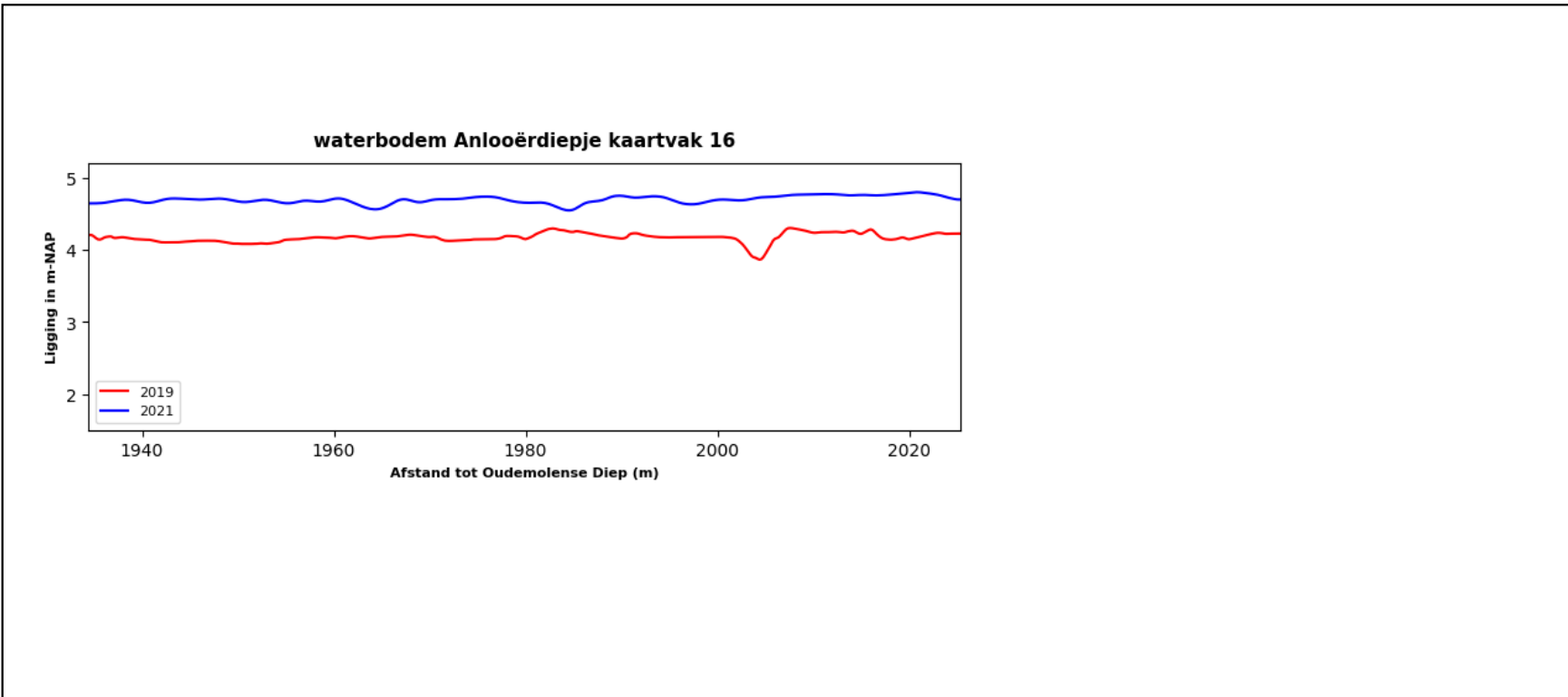
**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

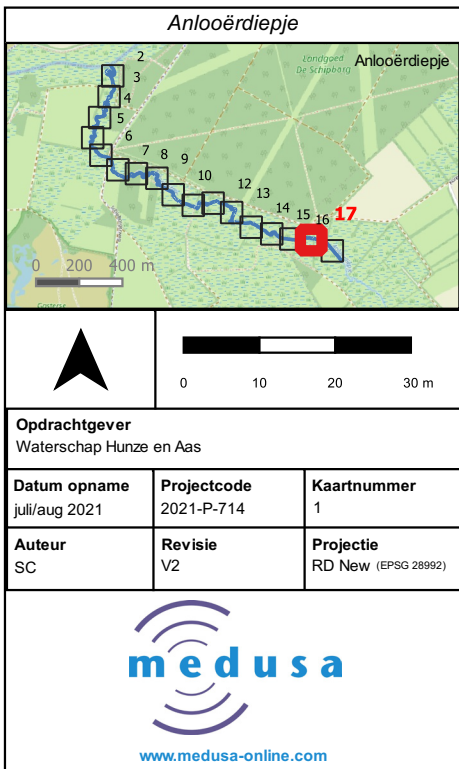
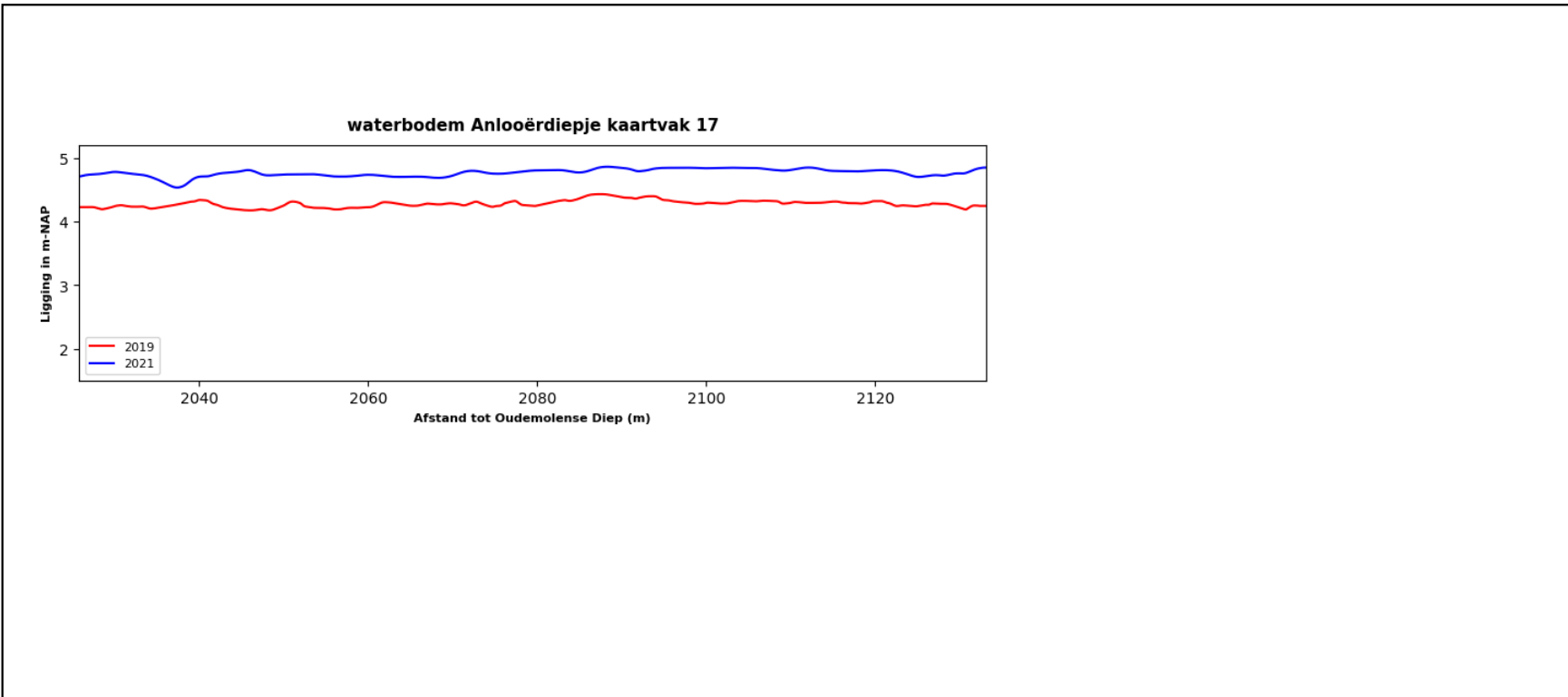
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

[www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)

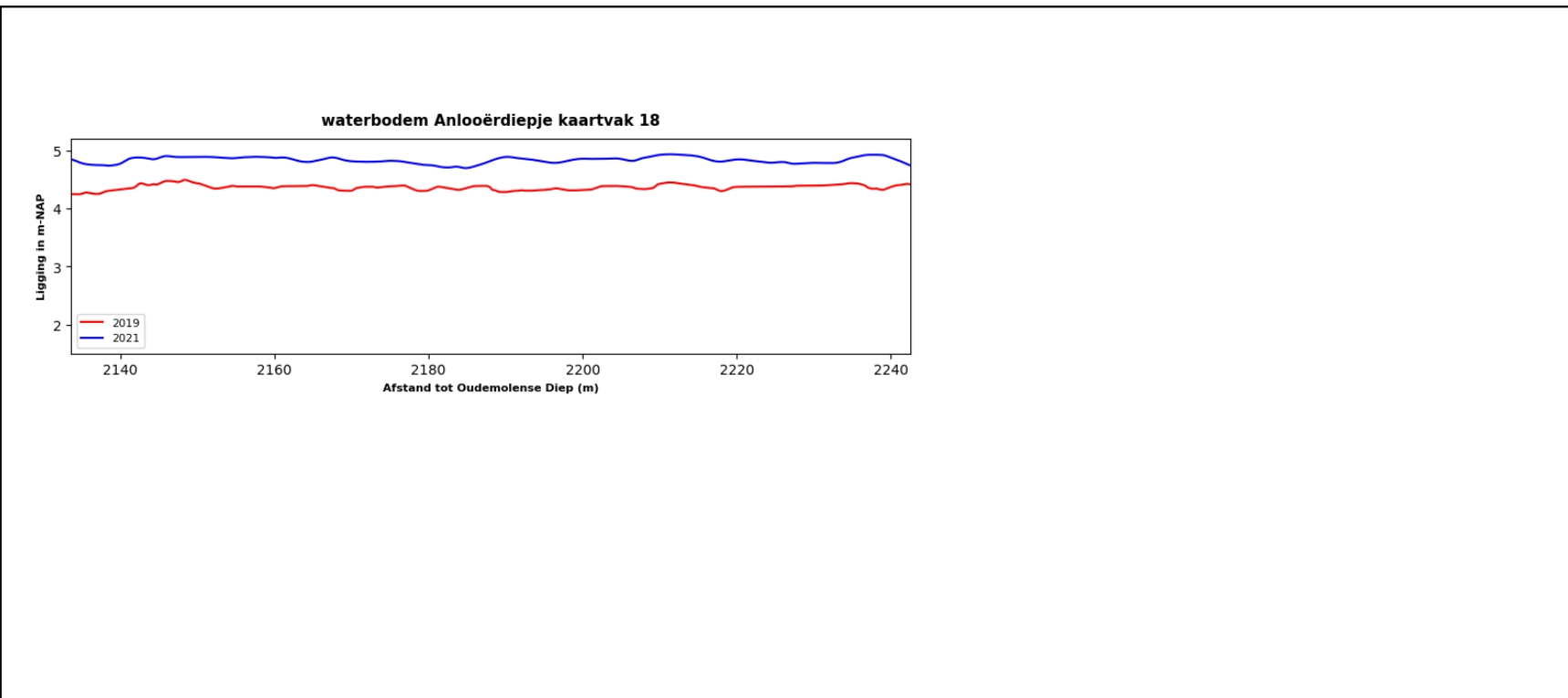












**Anlooërdiepje**

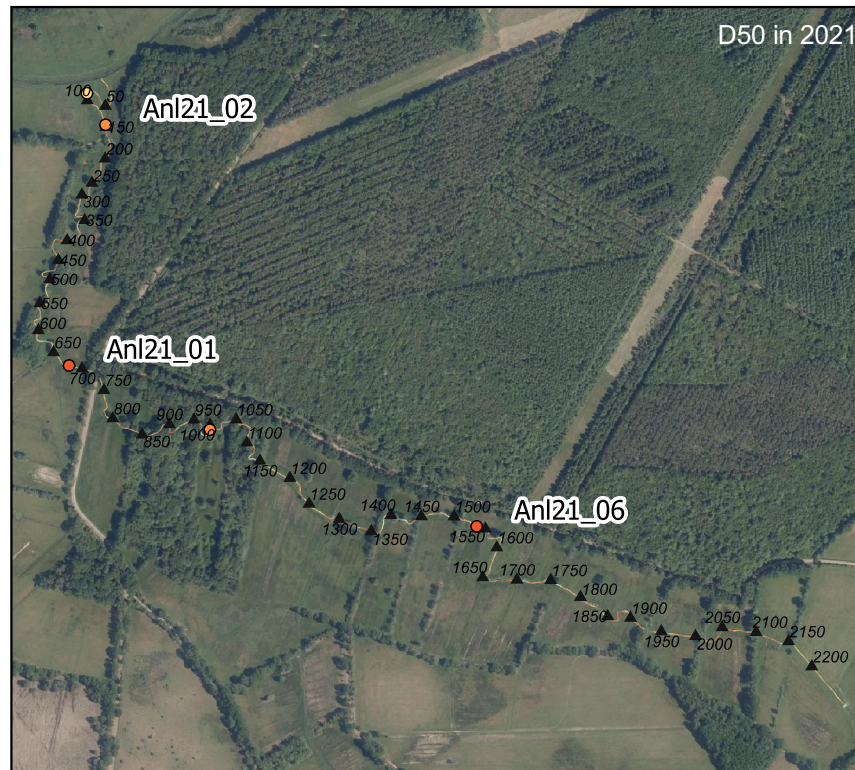
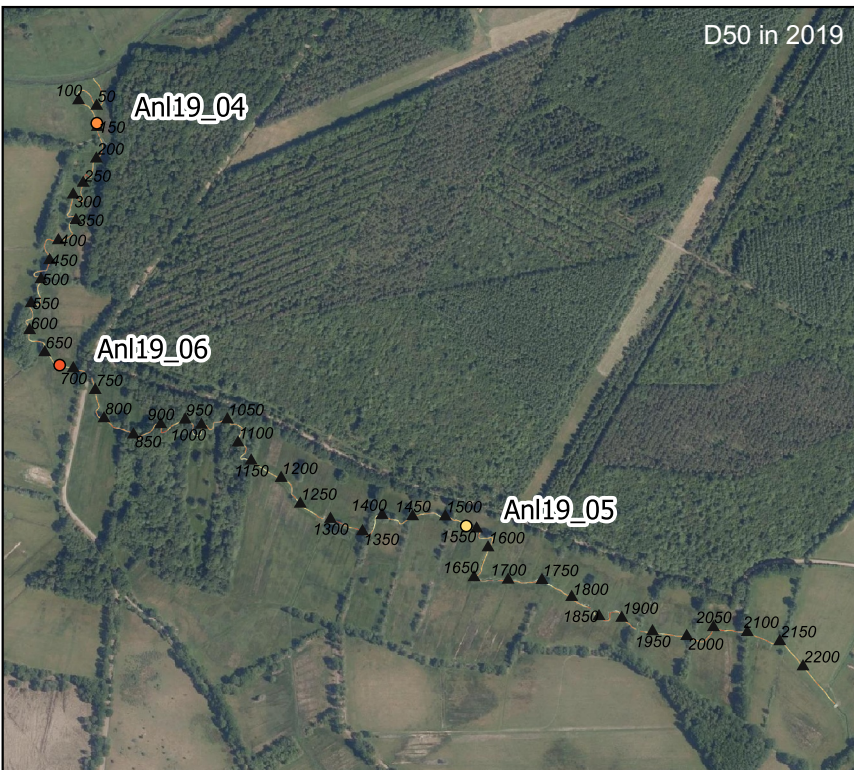
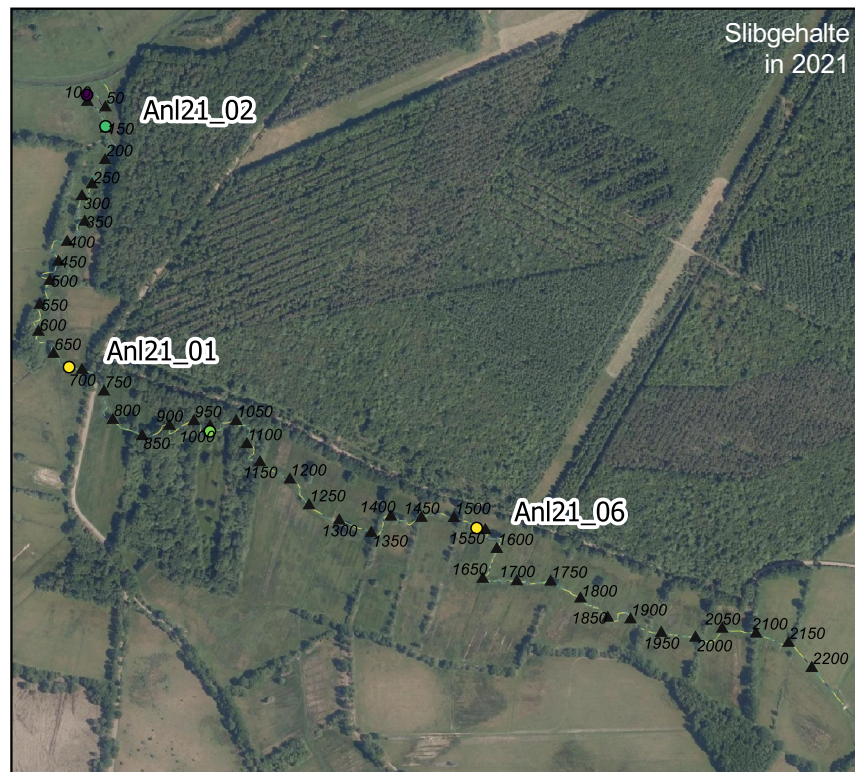
0 200 400 m

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 1
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**  
www.medusa-online.com



*Anloërdiepje*  
Verschil in slib en D50 2019-2020

**Slibgehalte (%)**

	<= 2		14 - 16
	2 - 4		16 - 18
	4 - 6		18 - 20
	6 - 8		20 - 22
	8 - 10		> 22
	10 - 12		
	12 - 14		

○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

**D50 (µm)**

	50		250
	100		300
	150		350
	200		

○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

0 200 m

<b>Opdrachtgever</b> Waterschap Hunze en Aas		
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

[www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)

Slibgehalte  
in 2019



Slibgehalte  
in 2021



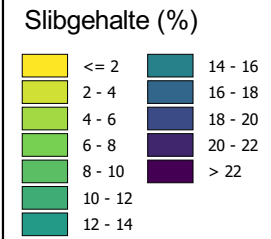
D50 in 2019



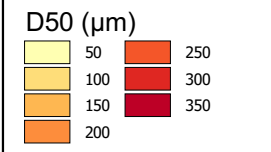
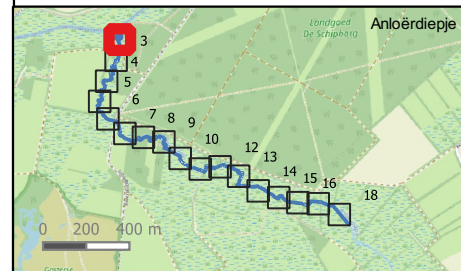
D50 in 2021



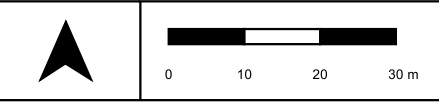
Anloërdiep  
Verschil in slib en D50 2019-2020



- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal
- Afstand tot Oudemolense Diep



- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal
- Afstand tot Oudemolense Diep



**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

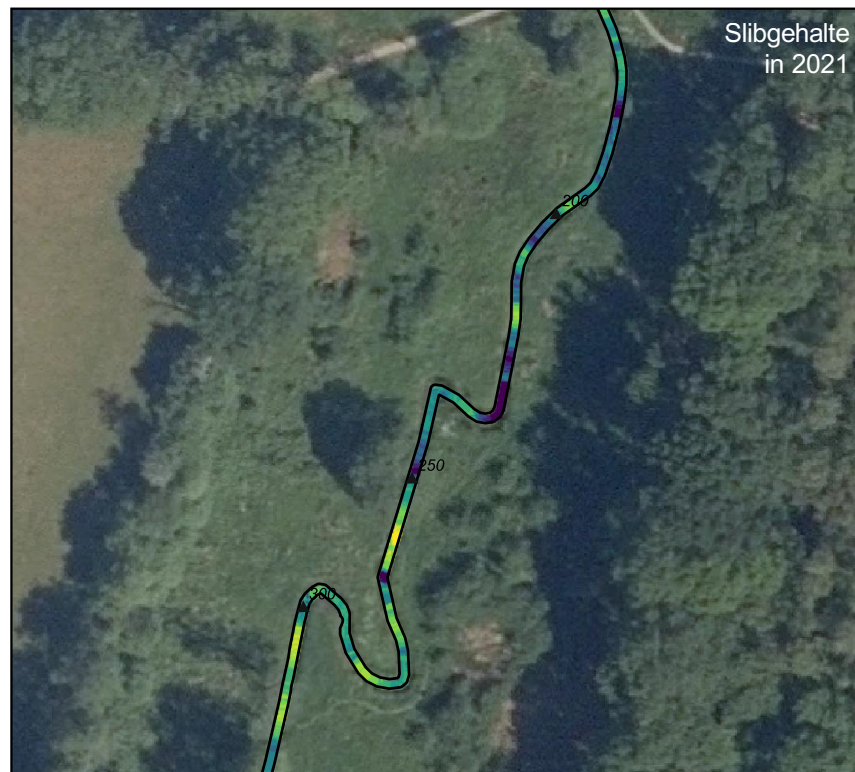
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)



Slibgehalte  
in 2019



Slibgehalte  
in 2021



D50 in 2019

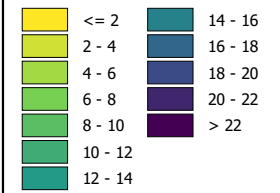


D50 in 2021



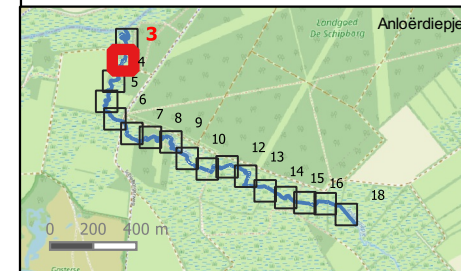
Anloërdiep  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)

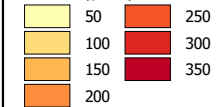


○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

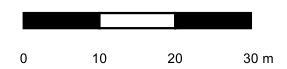


D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



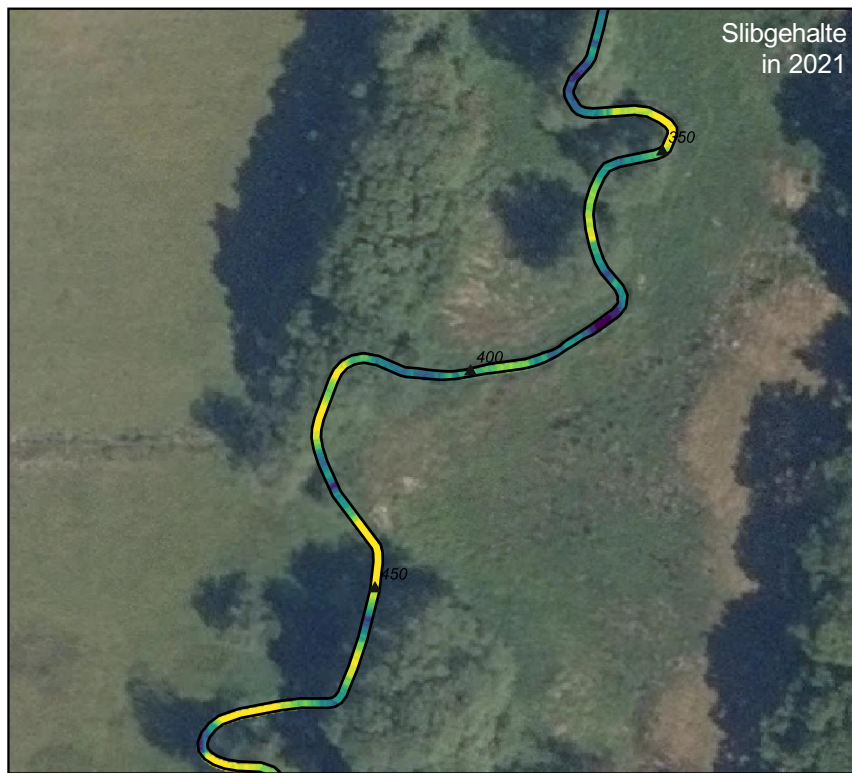
Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

Slibgehalte  
in 2019



Slibgehalte  
in 2021



D50 in 2019

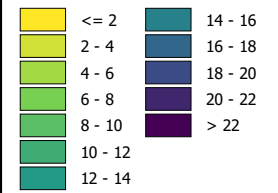


D50 in 2021



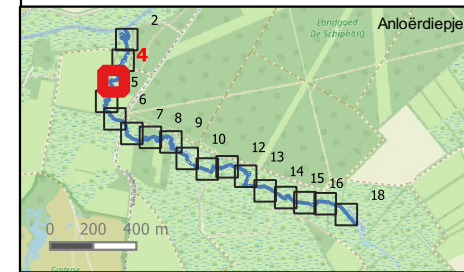
Anloërdiep  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)

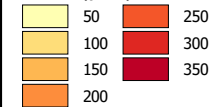


○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

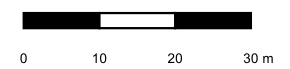


D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

Slibgehalte  
in 2019



Slibgehalte  
in 2021



D50 in 2019

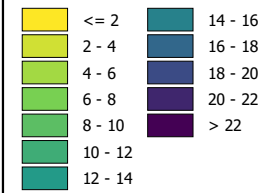


D50 in 2021



Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)

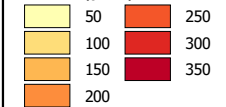


○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
juli/aug 2021	2021-P-714	2

Auteur	Revisie	Projectie
SC	V2	RD New (EPSG 28992)



*Anloërdiepje*  
Verschil in slib en D50 2019-2020

**Slibgehalte (%)**

	<= 2		14 - 16
	2 - 4		16 - 18
	4 - 6		18 - 20
	6 - 8		20 - 22
	8 - 10		> 22
	10 - 12		
	12 - 14		

○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

**D50 (µm)**

	50		250
	100		300
	150		350
	200		

○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**

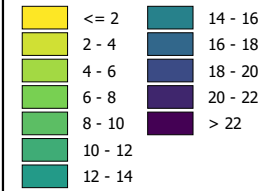
[www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)

Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

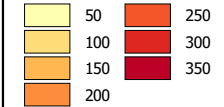
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

Datum opname juli/aug 2021	Projectcode 2021-P-714	Kaartnummer 2
Auteur SC	Revisie V2	Projectie RD New (EPSG 28992)

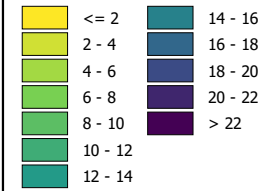


Slibgehalte  
in 2019

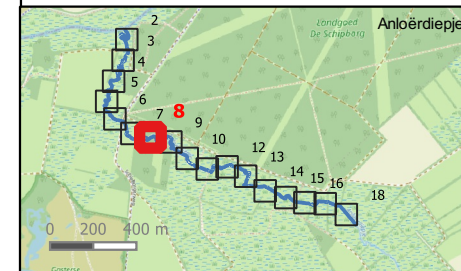
Slibgehalte  
in 2021

Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



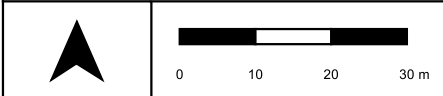
- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal
- ▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 (µm)



- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal
- ▲ Afstand tot Oudemolense Diep



<b>Opdrachtgever</b> Waterschap Hunze en Aas		
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

D50 in 2019

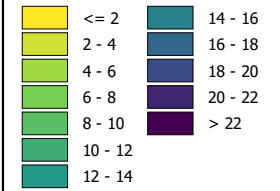
D50 in 2021

Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

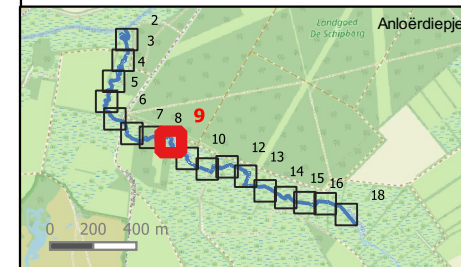
Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

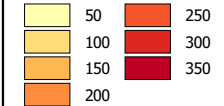
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

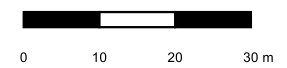
D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
juli/aug 2021	2021-P-714	2

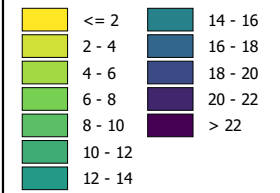
Auteur	Revisie	Projectie
SC	V2	RD New (EPSG 28992)

Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

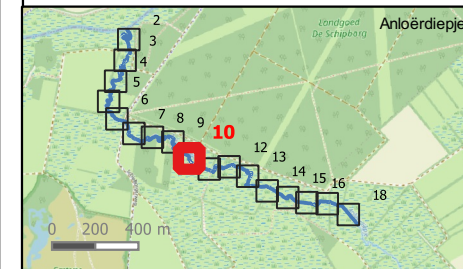
Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

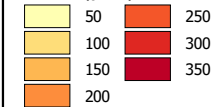
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
juli/aug 2021	2021-P-714	2

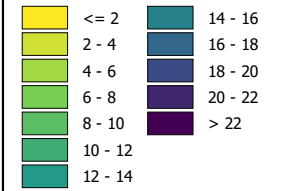
Auteur	Revisie	Projectie
SC	V2	RD New (EPSG 28992)

Slibgehalte  
in 2019

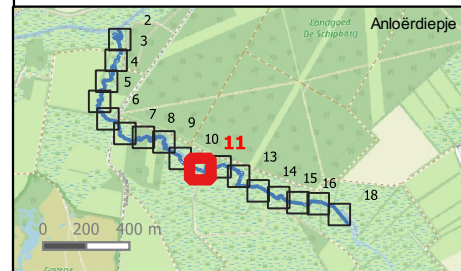
Slibgehalte  
in 2021

Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

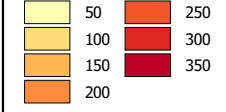
Slibgehalte (%)



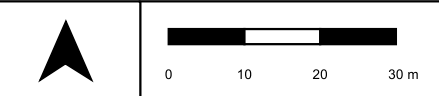
- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal
- ▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 (µm)



- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal
- ▲ Afstand tot Oudemolense Diep



<b>Opdrachtgever</b> Waterschap Hunze en Aas		
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

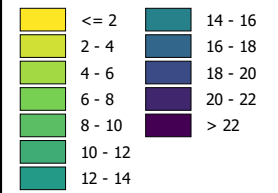


Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

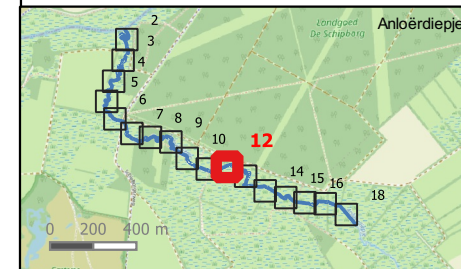
Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

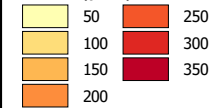
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

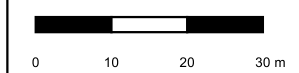
D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



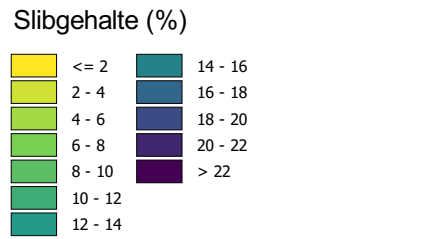
Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
juli/aug 2021	2021-P-714	2

Auteur	Revisie	Projectie
SC	V2	RD New (EPSG 28992)

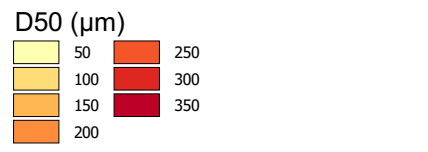
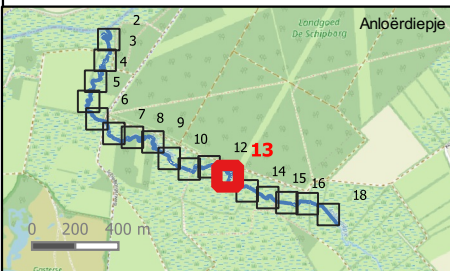


Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

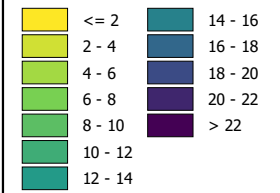


Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

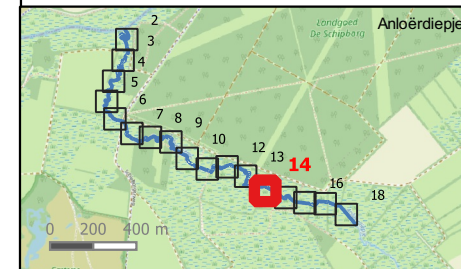
Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

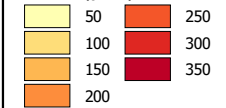
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

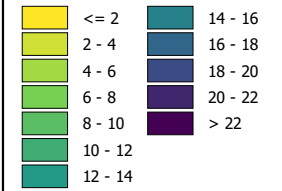
Datum opname juli/aug 2021	Projectcode 2021-P-714	Kaartnummer 2
Auteur SC	Revisie V2	Projectie RD New (EPSG 28992)

Slibgehalte  
in 2019

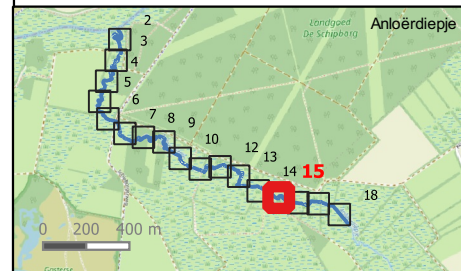
Slibgehalte  
in 2021

Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



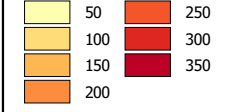
- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal
- ▲ Afstand tot Oudemolense Diep



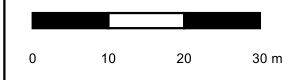
D50 in 2019

D50 in 2021

D50 (µm)



- Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal
- ▲ Afstand tot Oudemolense Diep



**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)



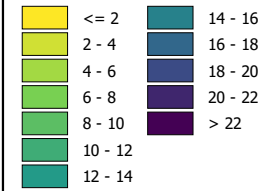


Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

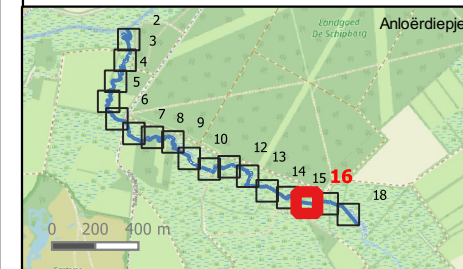
Anloërdiepie  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

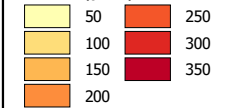
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

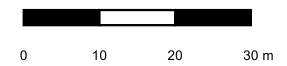
D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

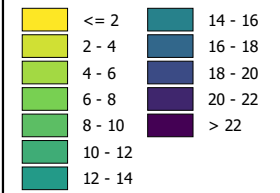
<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

Slibgehalte  
in 2019

Slibgehalte  
in 2021

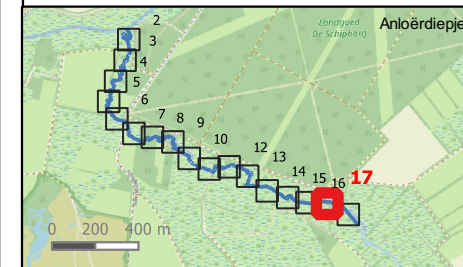
Anloërdiepje  
Verschil in slib en D50 2019-2020

Slibgehalte (%)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

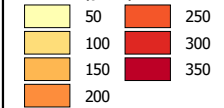
▲ Afstand tot Oudemolense Diep



D50 in 2019

D50 in 2021

D50 (µm)



○ Locaties monsters  
Kleur geeft slibgehalte monster  
weer met bovenstaande schaal

▲ Afstand tot Oudemolense Diep



Opdrachtgever  
Waterschap Hunze en Aas

Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
juli/aug 2021	2021-P-714	2

Auteur	Revisie	Projectie
SC	V2	RD New (EPSG 28992)



*Anloërdiepje*  
**Vershil in slib en D50 2019-2020**

**Slibgehalte (%)**

	<= 2		14 - 16
	2 - 4		16 - 18
	4 - 6		18 - 20
	6 - 8		20 - 22
	8 - 10		> 22
	10 - 12		
	12 - 14		

○ Locaties monsters  
*Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal*

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

**D50 (µm)**

	50		250
	100		300
	150		350
	200		

○ Locaties monsters  
*Kleur geeft slibgehalte monster weer met bovenstaande schaal*

▲ Afstand tot Oudemolense Diep

0 10 20 30 m

**Opdrachtgever**  
Waterschap Hunze en Aas

<b>Datum opname</b> juli/aug 2021	<b>Projectcode</b> 2021-P-714	<b>Kaartnummer</b> 2
<b>Auteur</b> SC	<b>Revisie</b> V2	<b>Projectie</b> RD New (EPSG 28992)

**medusa**

[www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)

# Geotechnisch laboratoriumonderzoek

Anloerdiep te Anloo

VN-79858-1 | 30 september 2021




# Wiertsema & Partners

RAADGEVEND INGENIEURS

Raadgevend Ingenieursbureau  
Wiertsema & Partners B.V.  
Feithspark 6, 9356 BZ Tolbert  
Postbus 27, 9356 ZG Tolbert  
Tel.: 0594 51 68 64  
Fax: 0594 51 64 79  
E-mail: info@wiertsema.nl  
Internet: www.wiertsema.nl

Onderwerp: Anloerdiep te Anloo  
Projectnummer: VN-79858-1  
Opdrachtgever: Medusa Explorations b.v.  
Postbus 623  
9700 AP Groningen  
Nr. opdrachtgever: 2021P714  
Datum: 30 september 2021

Versie	Datum	Omschrijving wijziging
1	30 september 2021	

Opgesteld door:	D. Bergsma
Handtekening:	 i.o.
Documentnummer:	R79209
Status:	definitief
Vrijgegeven door:	J.W. van der Kaap



**Wiertsema & Partners**  
RAADGEVEND INGENIEURS

## Inhoudsopgave

blad

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding en doel .....	4
1.2	Kwaliteitswaarborging .....	4
1.3	Acceptatie grondmonsters .....	4
1.4	Openen ongeroerde grondmonsters.....	4
1.5	Leeswijzer.....	4
<b>2</b>	<b>Geotechnisch laboratoriumonderzoek.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Toelichting geotechnisch laboratoriumonderzoek.....</b>	<b>5</b>
3.1	Organische stof (gloeiverlies) .....	5

### Bijlage:

1	Organische stof (gloeiverlies)
---	--------------------------------



**Wiertsema & Partners**  
RAADGEVEND INGENIEURS

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en doel

In opdracht van Medusa Explorations b.v. te Groningen heeft Raadgevend Ingenieursbureau Wiertsema & Partners B.V. een geotechnisch laboratoriumonderzoek uitgevoerd ten behoeve van het Anloerdiep te Anloo.

## 1.2 Kwaliteitswaarborging

Het laboratoriumonderzoek is verricht onder ons kwaliteitssysteem NEN-EN-ISO-9001 en ons milieumanagementsysteem NEN-EN-ISO-14001. Wiertsema & Partners B.V. is in het bezit van een V&G-beheersysteem VCA\*\*.

## 1.3 Acceptatie grondmonsters

Binnengekomen ongeroerde grondmonsters worden gecontroleerd op visuele beschadigingen en op de juiste wijze van identificatie (label). Na inname worden de ongeroerde grondmonsters ingewogen en wordt de lengte van de inhoud bepaald (indicatief nat volumegewicht bepaling). Na deze handelingen worden de ongeroerde monsters in een geconditioneerde ruimte opgeslagen. Geroerde monsters worden gecontroleerd op de juiste wijze van opslag (luchtdicht). De monsters voor dit project zijn aangeleverd door de opdrachtgever.

## 1.4 Openen ongeroerde grondmonsters

Nadat de laboratoriumspecificaties bekend zijn, worden de monsters hetzij uitgedrukt dan wel opengesneden. Monsters in een Ackermann steekbus worden met behulp van een hydraulische pers langzaam uitgedrukt en op een steunend ondervlak gelegd. Liners worden met behulp van een speciaal ontwikkelde 'liner cutter' opengesneden.

## 1.5 Leeswijzer

Na de inleiding in dit eerste hoofdstuk volgt in het tweede hoofdstuk het geotechnisch laboratoriumonderzoek. Tot slot staat in hoofdstuk 3 de toelichting op het geotechnisch laboratoriumonderzoek.

In de bijlage zijn de resultaten van de organische stofgehaltenes opgenomen.



## 2 Geotechnisch laboratoriumonderzoek

Het geotechnisch laboratoriumonderzoek heeft bestaan uit:

- ▲ Classificatieproeven:
  - 5 maal organische stof (gloeiverlies).

## 3 Toelichting geotechnisch laboratoriumonderzoek

### 3.1 Organische stof (gloeiverlies)

Het organische stofgehalte kan op verschillende manieren worden bepaald. De methode welke wordt gebruikt is afhankelijk van de grondsoort. De methoden, welke worden gehanteerd, zijn de gloeiverlies methode en een methode waarbij door toevoeging van waterstofperoxide ( $H_2O_2$ ) het aanwezige organische stof wordt geoxideerd.

Bij de gloeiverlies methode wordt eerst een grondmonster bij een temperatuur van  $105^{\circ}C$  gedroogd. Van het droge monster wordt een deel afgewogen en in een oven gedurende 4 uur bij een temperatuur van  $550^{\circ}C$  verwarmd. Door terug weging wordt het massaverlies bepaald. Na correctie voor het lutumgehalte kan het organische stofgehalte worden berekend. Voor de resultaten, zie bijlage 1.





# Bijlage 1



  
**Wiertsema & Partners**  
RAADGEVEND INGENIEURS

Monster	Identificatie Grondsoort	Gloeimethode Gloeiverlies [%]	Fractieverdeling				
			Grind [%]	Zand [%]	Silt [%]	Lutum [%]	Fijne delen [%]
M001	zand	0,3	0,0	98,8	1,2	0,0	1,2
M002	zand	1,9	1,8	90,8	6,9	0,5	7,4
M003	zand	10,1	0,0	59,3	34,6	6,1	40,7
M004	zand	1,4	0,2	95,7	3,8	0,3	4,2
M006	zand	0,2	0,0	99,4	0,6	0,0	0,6



**Wiertsema & Partners**  
RAADGEVEND INGENIEURS

# Meettechnieken voor bodemonderzoek

---

## 1 Meetsystemen

### 1.1 Grondradar

#### 1.1.1 Techniek

Een grondradarsysteem is een geofysisch meetinstrument dat in staat is om objecten en grote textuurverschillen in de bodem gedetailleerd en met diepte-indicatie in kaart te brengen. Het bereik van de grondradar is afhankelijk van de textuur van de bodem. Op zware klei zal het signaal naar verwachting niet verder doordringen dan 1-2 m-mv. Op de zandige en lichtere gedeeltes kan een diepte tot 3 à 4 m-mv worden gehaald.

Een grondradarsysteem bestaat uit een combinatie van een elektromagnetische zender en ontvanger. Bij het meten wordt een hoogfrequente radiopuls door de zendspoel uitgezonden en gereflecteerd op bepaalde lagen of objecten in de bodem, die andere elektromagnetische eigenschappen hebben dan de bodem eromheen. De meting legt de looptijd van de radiopuls vast tussen het moment van uitzenden en het moment van ontvangst van een reflectie. De looptijd wordt bepaald door de diepte van het object waarop de reflectie plaatsvindt, waarbij de voortplantingssnelheid van de radargolf in de grond afhangt van de diëlectrische constante van de bodem. De methode is enigszins vergelijkbaar met seismische metingen, waarbij een uitgezonden geluidsgolf weerkaatst op bodemlagen of objecten met verschillende dichtheden.

In de praktijk wordt met het grondradarsysteem bewegend, een semi-continue meting uitgevoerd: tientallen keren per seconde wordt een puls uitgezonden en wordt de looptijd van de reflecties (en daarmee de diepte van de reflector) geregistreerd. Tegelijkertijd wordt de positie van het systeem vastgelegd met een RTK-GPS systeem. De metingen worden al rijdend uitgevoerd.

De kwaliteit van metingen met een grondradar wordt vooral bepaald door de geleidbaarheid van de bodem: in een ondergrond met een relatief hoge geleidbaarheid zal het signaal snel afzwakken met de diepte, waardoor er minder sterke reflecties worden waargenomen bij de ontvanger aan de oppervlakte.

Ook de keuze van het radarsysteem speelt een belangrijke rol in de kwaliteit van metingen: de amplitude van een signaal met een relatief hoge frequentie (750-2000 MHz) neemt eerder af met de diepte dan de amplitude van een relatief lage frequentie (300 MHz). Dit betekent dat een hoogfrequent signaal een beter onderscheidend vermogen heeft in de bovenste lagen, maar dat de penetratiediepte een stuk minder is dan bij een systeem met een laagfrequent signaal.



Figuur 1: een grondradar (gele doos in slede) kan achter een quad over een perceel heen worden gereden. De blauw-witte buis achterop de quad is een gammaspectrometer.

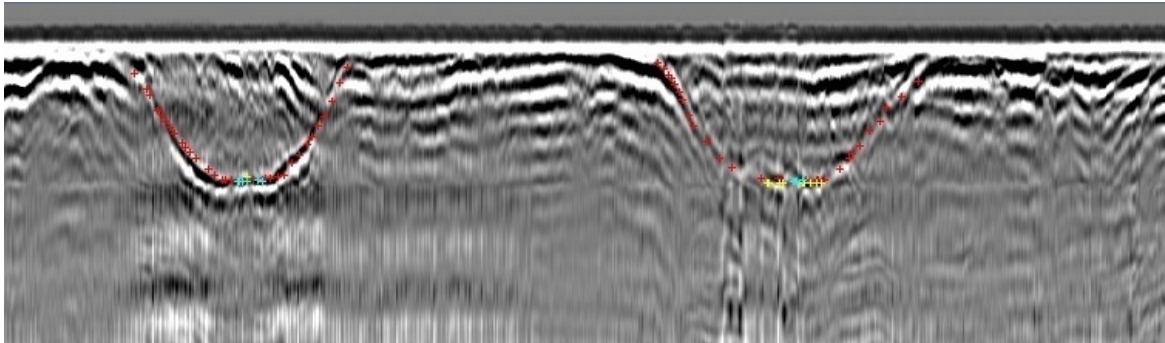


Figuur 2: Met een grondradar in een karretje kan ook worden gelopen over kleine percelen.

### 1.1.2 toepassing

Grondradar is goed in staat om *textuurverschillen* in de bodem te meten.

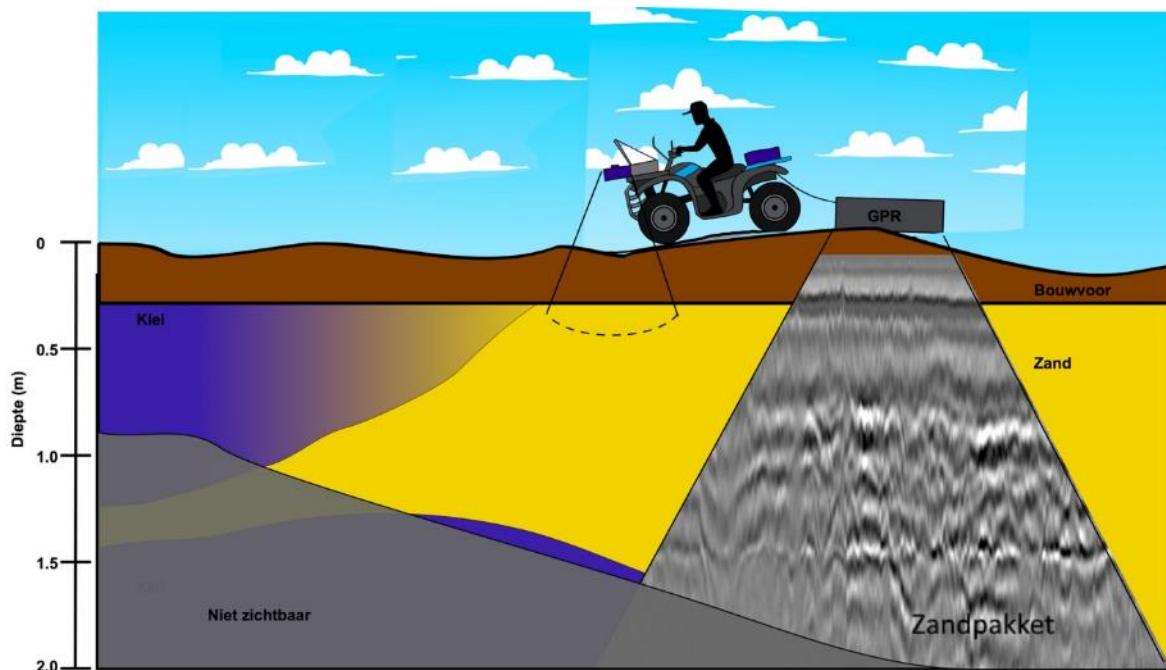
Daarbij geeft grondradar een nauwkeurige dieptebeplating en is uitermate geschikt om verschillende relatief dunne lagen (20 cm) in de bodem te meten. In deze bodem zal het dieptebereik van de voorgestelde 300 MHz grondradar ongeveer 1.5 meter zijn.



Figuur 3: voorbeeld van een grondradarbeeld met daarin gedempte sloten zichtbaar.

De grondradar heeft geen last van verstoring door kabels/leidingen, hekwerk en hoogspanning. Hierdoor worden op locaties naast deze objecten wel zinvolle metingen uitgevoerd.

De zichtdiepte van de grondradar is sterk afhankelijk van de samenstelling van de bodem (Figuur 4). Als de toplaag uit meer dan ca. 1.5 – 2 meter klei bestaat is het met de grondradar niet meer mogelijk om informatie uit de onderliggende lagen te interpreteren. In deze gebieden wordt de EM-meting gebruikt om de dikte van het kleipakket te bepalen. Het voordeel van grondradar boven de EM-meting is de hoge resolutie (en daarmee de grotere precisie van de laagdiepte). Bij oplevering zullen wij de zichtdiepte aangegeven op kaart.



Figuur 4: Schematische weergaven van de relatie tussen zichtdiepte van de grondradar en bodemsamenstelling.

## 1.2 EM

EMI (Electromagnetische inductie) is in staat om verschillen in textuur te zien. Afhankelijk van de gekozen variant kan van verschillende diepte-intervallen de meetwaarde worden bepaald. Hierbij geldt dat hoe meer spoelen de detector heeft, hoe meer diepte intervallen gemeten kunnen worden. Bij een grotere afstand tussen de spoelen kan dieper in de bodem worden gemeten.

De EM sensor wordt gebruikt om het geleidingsvermogen van de bodem te meten. Het apparaat is uitgerust met meerdere spoelen, steeds een zender en een ontvanger. Met behulp van de eerste spoel wordt een primair magneetveld gecreëerd dat in de bodem een stroom opwekt. Deze stroom veroorzaakt een secundair magnetisch veld dat met de tweede spoel wordt gemeten. Het quotiënt van beide magneetvelden geeft het soortelijk geleidingsvermogen weer. Dit geleidingsvermogen is omgekeerd evenredig met de soortelijke weerstand. Het elektrisch geleidingsvermogen ECa wordt beïnvloed door geleidende elementen in de bodem zoals de hoeveelheid klei, leem, vocht, zouten en als gevolg daarvan de porositeit van de bodem. Wanneer meer klei, vocht of zouten in een bodem aanwezig zijn zal de ECa hoger zijn.

De EM sensor heeft last van verstoring door kabels/leidingen, hekwerk en hoogspanning. Op locaties waar dit optreedt zal de afstand tot deze objecten worden vergroot. De grondradar heeft geen last van verstoring door kabels/leidingen, hekwerk en hoogspanning. Hierdoor worden op locaties naast deze objecten wel zinvolle metingen uitgevoerd.



Figuur 5: Met een EM systeem (de oranje buis) wordt vaak lopend gemeten.

## 1.3 Gammaspectrometer

De gammaspectrometer van Medusa is een geofysisch meetsysteem ontwikkeld voor de bepaling van textuur, korrelgrootte en chemische samenstelling van de toplaag (bovenste 30 cm) van de bodem. De Medusa sensor meet de (van nature voorkomende) radioactieve straling uit de grond. Deze straling is afkomstig van langlevende isotopen van kalium ( $^{40}\text{K}$ ), uranium ( $^{238}\text{U}$ ) en thorium ( $^{232}\text{Th}$ ). Daarnaast zijn er zeer lage concentraties cesium ( $^{137}\text{Cs}$ ) in de grond aanwezig, uit de fall-out ten gevolge van het ongeluk met de nucleaire reactor in Chernobyl (1986) en de bovengrondse kernproeven in de vroege jaren '60 van de vorige eeuw. Al deze radioactieve stoffen komen in zeer lage concentraties voor in de bodem en vormen qua straling geen gevaar voor de volksgezondheid.

De door Medusa gebruikte methode wordt ook wel gammaspectrometrie genoemd en wordt naast op land ook veel gebruikt in boorgatmetingen en geologische exploratie vanuit de lucht.

Er is een verband tussen de kleifractie en de bovengenoemde concentratie aan radionucliden<sup>1</sup>. Op basis van een standaardijking gebaseerd op eerder verzamelde data uit heel Nederland kan een kaart worden gemaakt van het indicatieve kleigehalte. Dit betekent dat de precieze kleigehaltes in het veld misschien iets af kunnen wijken van de kaart, maar de trend en de variatie in het klei/lutumgehalte zullen zeker hetzelfde zijn.

## 2 Nauwkeurigheid van technieken

Voor het onderzoek gebruiken wij non-destructieve metingen. Voor deze metingen wordt bijvoorbeeld een grondradar, gammaspectrometer of EM gebruikt. Deze sensoren geven heel veel informatie, maar leveren niet direct een waarde voor bijvoorbeeld de dikte van een kleilaag. Om van de meetgegevens informatie over de bodem te leveren moeten de metingen eerst worden geïnterpreteerd en gekalibreerd.

- Interpretatie gaat over het aangeven van de juiste laag.
- Kalibratie gaat over het vertalen van de meting naar diepte.

### 2.1 Interpretatie

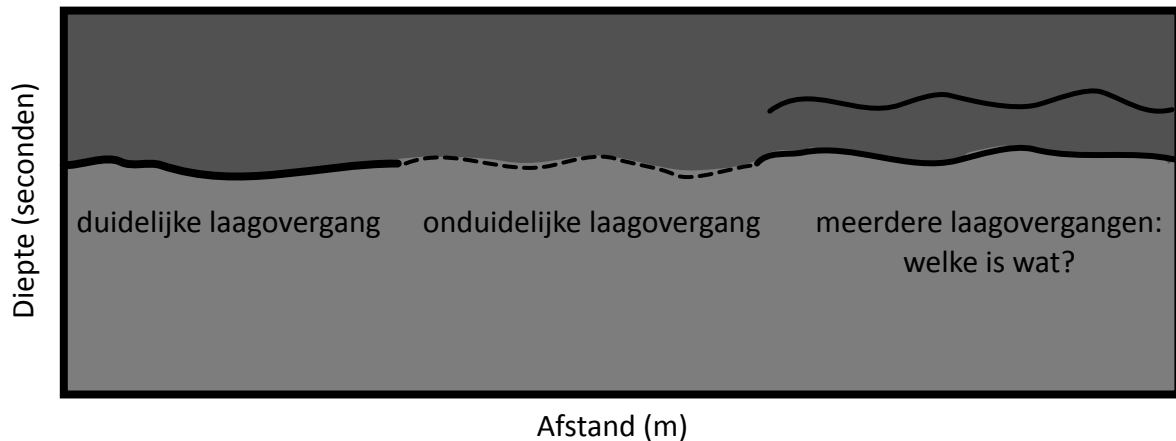
Interpretatie gaat over het aangeven van de juiste laag. Een grondradar zendt een elektromagnetisch signaal in de bodem en wanneer dit signaal reflecteert op een laag of een object wordt dat zichtbaar in het beeld van de grondradar. Tijdens de interpretatie wordt bepaald waardoor iedere reflectie wordt veroorzaakt: bijvoorbeeld of de reflectie het gevolg is van de overgang van klei naar zand, of doordat twee zand op elkaar liggen. Deze interpretatie vindt plaats op basis van algemene kennis over het gedrag van grondradarsystemen, kennis van de bodem, ervaring en (indien voorhanden) bestaande informatie over de gebiedsopbouw.

Hoe complex deze interpretatie is, is afhankelijk van verschillende factoren. In veel gevallen is de data erg duidelijk en zijn de resultaten zonder aanvullend onderzoek van goede kwaliteit. Het kan ook voorkomen dat extra informatie nodig is. De bodem zelf kan bijvoorbeeld erg complex zijn opgebouwd.

De interpretatie kunnen we in bovenstaande gevallen controleren met **validatieboringen**

---

<sup>1</sup> Van Der Klooster, E., Van Egmond, F. M., & Sonneveld, M. P. W. (2011). Mapping soil clay contents in Dutch marine districts using gamma-ray spectrometry. *European Journal of Soil Science*, 62(5), 743–753. doi:10.1111/j.1365-2389.2011.01381.x

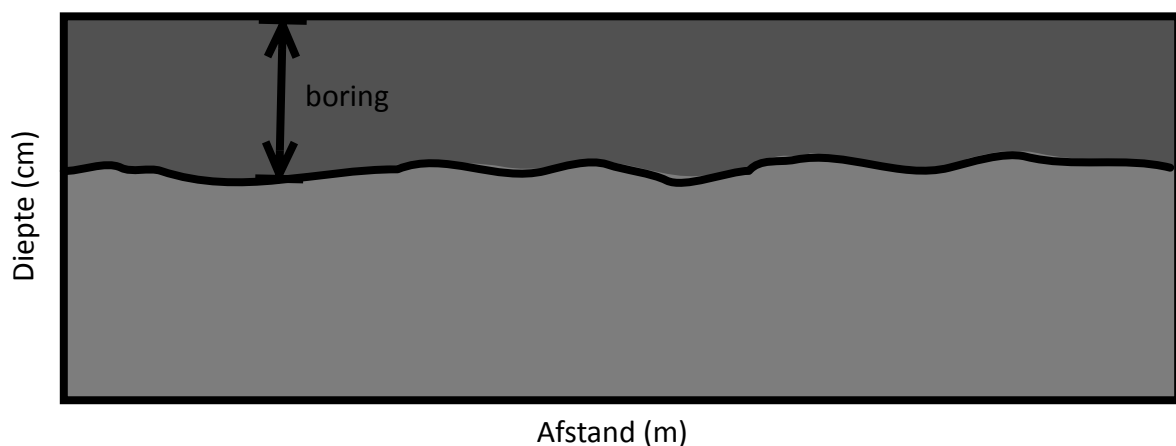


Figuur 6: in de grondradarbeelden zijn verschillende lagen te herkennen. Welke laag wat is, bepalen we met behulp van algemene kennis over het gedrag van grondradarsystemen, ervaring en (indien voorhanden) bestaande informatie over de opbouw van de weg.

## 2.2 Kalibratie

Kalibratie gaat over het ijken van de meting naar diepte. De grondradar meet de reflectie van de elektromagnetische straling in de bodem. De meting legt de looptijd (in seconden) van de radiopuls vast tussen het moment van uitzenden en het moment van ontvangst van een reflectie. Deze looptijd hangt af van de voortplantingsnelheid van de radargolf in de bodem.

Om de dikte (in cm) te kunnen berekenen is informatie nodig over de snelheid van het radarsignaal in de bodem. De gemiddelde snelheid voor bodems in Nederlands is bekend doordat er al veel boringen zijn gezet. Voor specifieke projecten kan de ijking nog beter worden gedaan door boringen te gebruiken.



Figuur 7: De dikte van de (duidelijke) laagovergang wordt gemeten in tijd. Door de snelheid van de elektromagnetische golf in de bodem te berekenen kan de dikte in cm worden berekend. Hiervoor wordt de meting gekalibreerd.

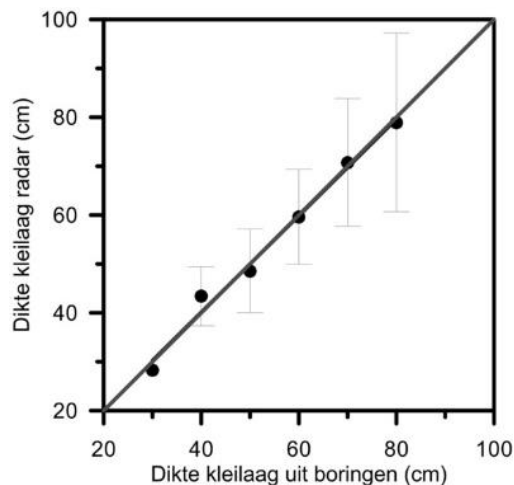
Waterschap Vallei en Veluwe heeft in samenwerking met Arcadis een proeftuin opgezet in het projectgebied van de hoogwatergeul Veessen-Wapenveld. In deze proeftuin zijn door Arcadis in een 5 bij 5 meter grid 256 boringen geplaatst. Van de aanwezige zandlaag(en) is de



korrelgrootteverdeling bepaald om de ruimtelijke variatie in de D70 (en kengetal uit korrelgrootte analyses) in beeld te brengen.

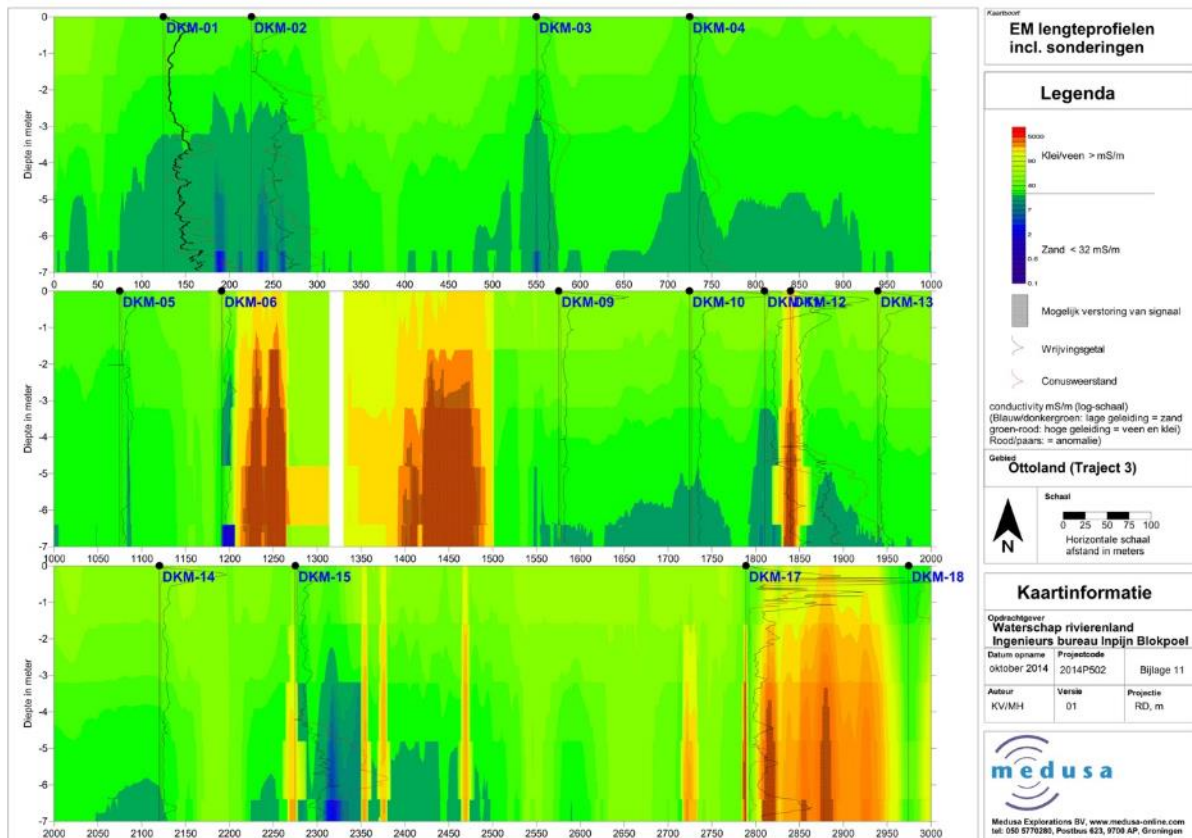
Door de grote hoeveelheid boringen biedt deze proeftuin een goede mogelijkheid om de nauwkeurigheid van de grondradar aanpak te toetsen. Het onderzoeksgebied is een deel van een weiland vlakbij een lage dijk. De grootte van het onderzochte gebied is ruim een halve hectare.

Ter validatie van de grondradarmetingen zijn de kleilaagdiktes op de punten van de boringen uit de grondradark kaart afgelezen en vergeleken met de waarden uit de boringen (figuur 8). De diktes van de boringen zijn gerapporteerd in eenheden van 10 cm, terwijl de diktes uit de grondradarmetingen met een resolutie van 1 cm zijn gerapporteerd. Om de waarden te kunnen vergelijken zijn voor elke 10 cm de waarden uit de grondradarmetingen gemiddeld en is de spreiding in deze waarden bepaald (weergegeven als spreidingsbalken in Figuur 8). Een lineaire regressie door deze punten valt op de lijn  $y=x$  en de correlatie tussen de punten is hoog:  $R^2=99\%$ . Deze resultaten laten zien dat, binnen het bereik van de diktes in de proeftuin, de diktebepaling met grondradar net zo goed is als diktebepaling met boringen. De precisie van deze metingen is in de orde van enkele cm.



**Figuur 8:** scatterplot van de dikte gemeten met grondradar en dikte gemeten met boringen. Een lineaire fit en de lijn  $y=x$  vallen over elkaar heen.

In bovenstaande voorbeeld staat de nauwkeurigheid van de grondradar weergegeven. Dit geeft een nauwkeurig beeld van de bovenste 1-1.5 meter. De metingen met de CMD-Explorer leveren de conductiviteit of elektrische geleidbaarheid in de bodem. Verschillende grond- of bodemsoorten geven verschil in elektrische geleidbaarheid. De elektrische geleidbaarheid, beter gezegd elektromagnetische inductie (EM) kan bij benadering (ECa= apparent electrical conductivity) gemeten worden en daarmee kan men op verschillende dieptes bodemeigenschappen als de aanwezigheid van zand of klei/veen bepalen.



Figuur 9: met het EM systeem kan tot 7 m diepte de dikte van de afdekkende kleilaag in beeld worden gebracht. In deze dwarsdoorsnedes zijn de metingen vergeleken met sonderingen. De variatie in dikte is zichtbaar in stapjes van minimaal 25 cm.

### 3 Interpretatie van de metingen

#### 3.1 Proces

Het correct uitvoeren van geofysisch onderzoek is veel meer dan alleen toepassen van een meetsysteem. Een heel belangrijk onderdeel vormt de interpretatie. Onze specialisten hebben kennis van de techniek, en nog belangrijker, kennis van geologie en de ondergrond. Met onze ervaring in onderzoeksprojecten naar dijken brengen wij de ondergrond tot leven.

Als eerste wordt een conceptueel model van de bodemopbouw gemaakt op basis van de beschikbare informatie als literatuur, boringen en geologische en geomorfologische kaarten. De opbouw van de ondergrond, en het voorkomen van specifieke afzettingen wordt bepaald door de sedimentologische processen die hier een rol hebben gespeeld. Hierdoor kunnen bepaalde afzettingen of bodemtypen worden voorspeld, of juist uitgesloten. Vervolgens wordt gekeken hoe de geofysische metingen hierbinnen passen.

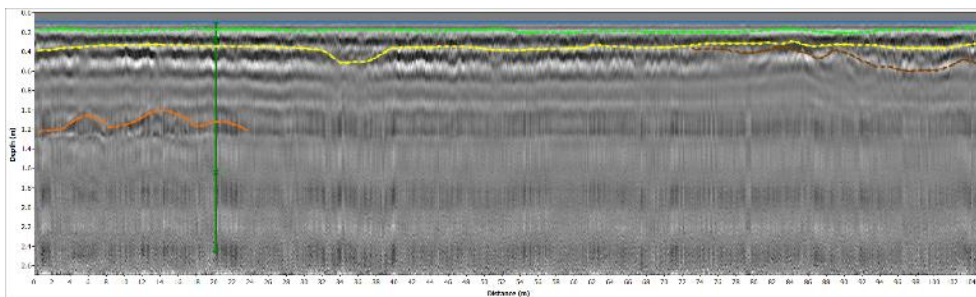
De meetsystemen die gebruikt worden zijn geen sensor voor “de dikte van de kleilaag” of voor “de stenen fundering”. Deze geofysische meetsystemen meten een fysische grootheid van de bodem die vertaald of geïnterpreteerd moet worden naar de eigenschappen die we zoeken. Hiervoor is aanvullende informatie (bijvoorbeeld boringen) nodig voor duiding en voor ijking van de metingen.

### 3.1.1 Duiding van de meetgegevens

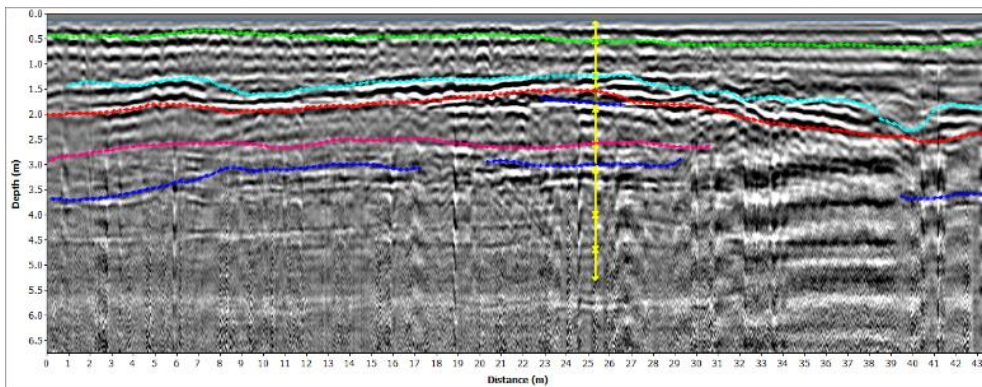
Bij duiding proberen we te begrijpen wat we zien. In de radarprofielen zijn de laagovergangen in de ondergrond en structuren in de bodemopbouw zichtbaar. Wanneer klei aanwezig is, is in het beeld bijna geen structuur te herkennen (figuur 10). Wanneer zand in bodem aanwezig is, laat het grondradarbeeld structuren en laagovergangen zien (figuur 11).

In figuur 12 is een voorbeeld van interpretatie gegeven. In dit geval worden boringen gebruikt om de afzonderlijke lagen te duiden: welke laag is klei en welke laag is zand.

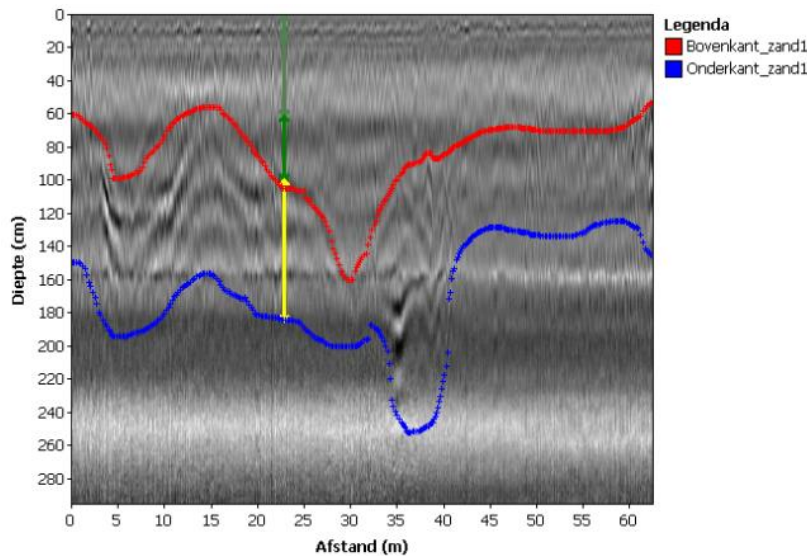
De rode lijn is de onderkant van de kleilaag (en bovenkant van het zand), de blauwe lijn is de onderkant van de zandlaag. De groene en gele verticale lijn geeft een boring weer. Hierbij duidt de groene pijl op klei, de gele pijl op zand.



**Figuur 10:** Grondradarprofiel van een locatie waar klei voorkomt. Dit wordt gekenmerkt door de afwezigheid van structuren. De verticale schaal is de diepte, de horizontale schaal de afstand.

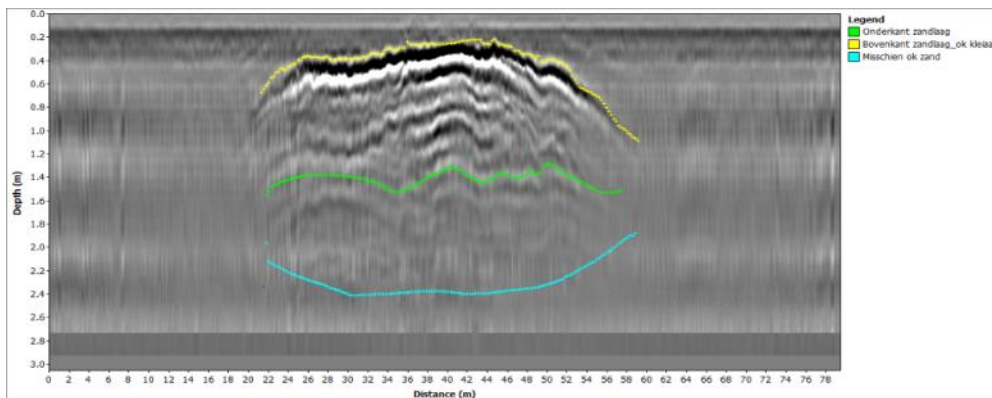


**Figuur 11:** Grondradarprofiel van een locatie waar zand voorkomt. Dit wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van structuren en laagovergangen. De verticale schaal is de diepte, de horizontale schaal de afstand.



Figuur 12: Voorbeeld profiel van grondradar met interpretatie in de Lobberdensewaard. De verticale schaal is de diepte, de horizontale schaal de afstand. De pijlen geven de boring weer: gele pijl is zand, groene is klei.

Figuur 8 laat een zandlichaam zien van ca. 50 meter breed in een gebied waar de bodemopbouw overwegend uit klei bestaat. Met boringen om de 100 meter kan deze zandbaan makkelijk worden gemist.



Figuur 13: Voorbeeld profiel van een zandbaan van ca. 20 meter breed in een gebied met overwegend kleiopbouw (langs Pannerdens Kanaal).

### 3.1.2 Duiding in overleg

Bij onderzoek aan de bodem kan een geulopvulling worden gemeten die bestaat uit een “fining-upward” sequentie waarbij de sterk zandige bodem van de geul langzaam overgaat naar een kleilaag. In deze gevallen is de overgang niet discreet. Om in een boring te bepalen of het zandige klei of kleig zand is, is subjectief en door verschillende veldwerkers kunnen verschillende benaming worden gegeven.

Zo kan het voorkomen dat in “zandige klei” (behorend tot de klasse klei) in een boring geclassificeerd is, terwijl uit de radarbeelden blijkt dat dit een kleiige zandlaag is.

Een grote bron van onzekerheid in het resultaat is wanneer de resultaten op een verschillende manier worden geïnterpreteerd. Het is daarom van belang om goed van elkaar te weten wat wordt opgeleverd en hoe dit moet worden “gelezen”. Daarom worden de validatieboringen en

metingen in een werksessie met de opdrachtgever worden besproken zodat de keuzes die gemaakt worden helder zijn.

### **3.1.3 Ijking van de meetgegevens**

De grondradar meet dieptes in tijd en om naar diepte in meters te komen is een ijking nodig. De EM meet elektrische eigenschappen van de bodem en om naar bodemsoort te komen moeten deze waarden worden geijkt. De gemeten waarden van de EM of de dieptes van de lagen van de grondradar worden vervolgens met boringen geijkt tot een werkelijke grootte (diepte in het geval van de grondradar, bodemsoort in het geval van de EM).

**Medusa Explorations BV**

Verlengde Bremenweg 4, 9723 JV Groningen  
P.O. Box 623, 9700 AP Groningen  
The Netherlands

**t** +31(0)50-577 02 80  
**f** +31(0)50-579 23 45  
**i** [www.medusa-online.com](http://www.medusa-online.com)

