

Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering

Een verkenning naar meerwaarde bij laagwater op de IJssel



Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering

Een verkenning naar meerwaarde bij laagwater op de IJssel

Auteur(s)

Rolien van der Mark

Lex de Boom

Fleur van Alphen

Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering

Een verkenning naar meerwaarde bij laagwater op de IJssel

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Verkeer- en Watermanagement
Contactpersoon	de heer J. de Lange
Referenties	
Trefwoorden	Markering, boeien, bebakening, betonning, vaarweg, Boven-IJssel, scheepvaart, ondieptes, CoVadem

Documentgegevens

Versie	0.2
Datum	22-01-2024
Projectnummer	11209221-010
Document ID	11209221-010-BGS-0006
Pagina's	36
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Rolien van der Mark	
	Lex de Boom	
	Fleur van Alphen	

Samenvatting

Op de Nederlandse rivieren zijn boeien of bakens aanwezig om aan te geven waar kan worden gevaren. De boeien liggen met name in bochttrajecten om de ondiepe binnenbocht af te bakenen. Het verre toekomstbeeld van Rijkswaterstaat, mits het de veiligheid niet reduceert, is dat er alleen virtuele boeien in de vaarwegen worden aangeboden, geen fysieke. Het voordeel van digitaal aanbieden is dat het systeem continu kan meebewegen met de actuele wisselende waterstanden, de vaarwegmarkering is dan tevens dynamisch. In de voorliggende studie richten we ons op de uitwerking van het concept Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering tijdens laagwater in de Geldersche Boven-IJssel. Meer specifiek wordt gekeken of er meer ruimte benut kan worden door toepassing van het concept, wat ten goede komt aan de nautische veiligheid. Hiertoe worden verschillende databronnen geanalyseerd en gecombineerd, waaronder informatie over de ligging van de fysieke markeringen, waterdieptes en AIS-data.

We concluderen dat de data (verleggingen) van de locaties van de boeien foutgevoelig zijn en niet altijd lijken te kloppen. De kwaliteit van de gegevens over de locaties van de boeien kan worden verbeterd door het proces te standaardiseren en de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van de boeien te vergroten.

We hebben laten zien dat we technisch in staat zijn om dagelijkse actuele waterdiepte kaarten te construeren en daarmee aan te geven wat het bevaarbare deel van de rivier is (oftewel, waar de virtuele markering zich op iedere dag zou moeten bevinden). CoVadem data zijn eigenlijk onmisbaar bij het maken van een actuele kaart; in deze studie hebben we die niet toegepast door beperking in dekking. Bij grotere dekking van CoVadem data kunnen deze data meegenomen worden (zoals ook in Van der Mark (2021) werd gedaan) en zullen de kwaliteit en waarde van de bevaarbaarheidskaarten verder verbeteren.

Schippers zijn zich goed bewust van de locaties van knelpunten en wachten op elkaar boven- of benedenstrooms van de knelpunten. De AIS-data suggereren dat schippers de ondiepe binnenbochten ontwijken bij MGD's kleiner dan 2 m, terwijl dat niet nodig lijkt. Betere benutting van de beschikbare ruimte lijkt daarmee mogelijk, waardoor bij ontmoetingen meer marge ontstaat tussen de oever van de buitenbocht en tussen de schepen onderling.

De studie, met name de AIS-visualisatie, levert nuttige inzichten op over het vaargedrag bij laagwater op de Geldersche IJssel. Nieuwe inzichten voor het concept van Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering zijn echter helaas beperkt. Dit komt doordat het lastig blijkt om aan te tonen (het doel van deze studie) dat met het DVV-concept in plaats van fysieke markering, er bij laagwater meer vaarruimte beschikbaar komt en daarmee de nautische veiligheid vergroot.

Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering wordt wel als kansrijk gezien. Daarom is aanbevolen om bij een eventueel vervolg de scope te verleggen. Tot nu toe richtten de studies zich vooral op het technische/rivierkundige aspect van het onderwerp en (in deze studie) de potentiële meerwaarde van betere vaarwegbenutting door een potentieel grotere vaarbreedte bij laagwater. Vervolgonderzoeken zouden zich kunnen richten op praktijktesten met synthetische vaarwegmarkering of een nadere analyse naar de eerder benoemde meerwaarden van de innovatie voor Rijkswaterstaat en de schippers (kostenbesparing, wegnemen druk bij personeel, actuelere/betere informatie voor de schipper).

Tot slot moet ook genoemd worden dat het DVV-concept zoals beoogd in grote mate afhankelijk is van CoVadem-data, aangezien dit de enige bestaande bron is van dagelijkse bodem-data. Het is nodig om dit mee te nemen bij het uitwerken van de ambities en transitie op dit dossier.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
1.1	De innovatie Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering	7
1.2	Scope tot heden	8
1.3	Doel en aanpak 2023	8
1.4	Organisatie	9
2	Methodiek dataverwerking	10
2.1	Inleiding	10
2.2	Gebruikte data	10
2.3	Bepaling van de waterdiepte	11
2.3.1	Bodemgeometrie	11
2.3.2	Rivierkilometers	11
2.3.3	Waterstanden	12
2.3.4	Waterdiepte	12
2.4	Bevaarbaarheid	12
2.5	Vaarweg en markeringen	13
2.6	Schepen en bepalen van ontmoetingen	13
3	Resultaten	14
3.1	Bevaarbare breedte van de IJssel	14
3.2	Vaarwegmarkeringen	17
3.3	Vaargedrag en passages/ontmoetingen	19
3.3.1	Algemeen beeld	19
3.3.2	MGD's groter dan 2 m	20
3.3.3	MGD's kleiner dan 2 m	23
3.3.4	Discussie	26
4	Conclusies en aanbevelingen	27
4.1	Conclusies	27
4.2	Aanbevelingen	28
5	Referenties	30
A	CoVadem	31

1 Inleiding

1.1 De innovatie Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering

Afvoeren, waterstanden en bodemhoogtes variëren regelmatig en kunnen het bevaarbare deel van de rivier beperken of verruimen. Vaarwegmarkering wordt gebruikt om het bevaarbare deel te markeren (Figuur 1-1); de boeien worden verlegd bij veranderende waterstand en/of waterdiepte. Het verleggen van fysieke markeringen is kostbaar, arbeidsintensief en tijdrovend, en daardoor stemt de positie van de markering soms niet overeen met de gewenste positie. Ook het onderhoud van de boeien is kostbaar.

Tegelijkertijd gaat de digitalisering, ook in de binnenvaart en de logistieke keten daaromheen, steeds verder. Het concept Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering (DVV) gaat uit van een toekomstige situatie waarin fysieke markering is vervangen door digitale markering, beschikbaar in de stuurhut. Dit biedt de mogelijkheid deze continu aan te passen aan de actuele waterstand.

Het eindbeeld is een virtueel dynamisch vaarwegmarkeer-systeem voor de scheepvaart, waarmee Rijkswaterstaat de digitale markeringen kan aanpassen aan de waterdiepte en de vaarweggebruiker deze informatie actueel aan boord kan zien. Het plaatsen van fysieke markeringen zou dan overbodig worden, er is immers virtuele markering. Bovendien kan dit digitale systeem continu meebewegen met wisselende waterstanden/waterdieptes, wat de nautische veiligheid ten goede komt.

Op dit moment is nog niet helder hoe de transitie richting dit eindbeeld eruit ziet, en wat de exacte ambities en het bijbehorende tijdspad zijn ten aanzien van virtuele vaarwegmarkering. Het onderwerp past binnen de visie Scheepvaart van Rijkswaterstaat en heeft potentie. Deze en de eerdere studies uit 2021 en 2022 starten de dialoog over het onderwerp en dragen bij aan de visievorming op dit dossier. De volgende aandachtspunten spelen een belangrijke rol bij die visievorming en bepalen mede de transitie en de snelheid ervan:

- Niet iedereen op het water heeft de beschikking over een digitale navigatiekaart, denk bijvoorbeeld aan de recreatievaart. Het beschikken hierover is ook niet verplicht. Vanwege nautische veiligheid zullen fysieke boeien daarom voorlopig aanwezig moeten blijven.
- Het is onwenselijk dat de posities van fysieke boeien ongelijk zijn aan de posities op een digitale kaart. Strijdige informatie dient ten allen tijde te worden voorkomen.
- CoVadem biedt momenteel al een actuele waterdieptekaart, waarmee voor de schipper inzichtelijk wordt welk deel van de rivier (voor zijn schip) bevaarbaar is. In theorie zou je dus kunnen stellen dat vaarwegmarkering die gebieden met te kleine waterdieptes afbakent (zowel digitaal als fysiek) overbodig wordt als CoVadem zich verder doorontwikkelt, opschaalt, en bij iedere vaarweggebruiker beschikbaar komt. Incidentele betoning in andere gevallen (ongevallen, tijdelijke afzettingen, bijzondere condities, enz.) wordt niet via CoVadem geboden.



Figuur 1-1 Voorbeeld boeien op de IJssel; groene boeien bevinden zich aan de linkerzijde, rode aan de rechterzijde. Bron links: Wim Eikelboom, LinkedIn, 20 januari 2024; bron rechts: verkeersleider Jos, X, 2 maart 2021.

1.2 Scope tot heden

Tot nu toe, inclusief voorliggende rapportage, hebben we ons enkel nog gericht op de technische (rivierkundige) vraag of het mogelijk is om aan de hand van beschikbare data over waterstanden en bodemliggingen en tools een model te maken voor dynamische vaarwegmarkering, en hoe zich deze informatie verhoudt tot de bestaande fysieke markering. Hoe de informatie over vaarwegmarkering in de stuurhut terecht komt en andere (juridische, data-technische, communicatieve, enz.) aspecten zijn nog niet aan bod gekomen. Ook alternatieven of oplossingen die bijvoorbeeld in het buitenland worden toegepast zijn niet verkend.

In 2021 is voor de Waal een eerste verkenning gedaan of het mogelijk is om aan de hand van dynamische data (waterstand en bodemligging) een model te maken voor de dynamische positionering van vaarwegmarkering (zie Van der Mark, 2021). Het model geeft aan waar de bebakening zou moeten liggen op basis van de op dat moment heersende waterdieptes, en geeft iedere dag een nieuwe uitvoer.

In 2022 richtten we ons op het benedenrivierengebied (Dordtsche Kil), omdat met name in rivieren met snel en sterk variërende waterstanden (door getij) het bevaarbare deel van de rivier beperkt kan worden (zie Van der Mark, 2022). Het verplaatsen van markeringen die de actuele vaarweg markeren is dan niet haalbaar. Met name grote zeeschepen, door hun diepgang beperkt manoeuvreerbaar, hebben baat bij een actuele markering van de vaarweg, zodat zij het maximaal beschikbare deel van de rivier kunnen benutten. Het bleek dat de DVV-oplossing op de Dordtsche Kil betrekkelijk weinig meerwaarde biedt doordat er weinig variatie is in beschikbare bevaarbare breedte over de tijd (door het bakvormige dwarsprofiel).

1.3 Doel en aanpak 2023

In de voorliggende studie richten we ons op het laagwater van 2022 in de Geldersche Boven-IJssel. Tijdens laagwater vinden meer scheepsbewegingen plaats doordat schepen minder lading kunnen meenemen; tegelijkertijd is de beschikbare vaarbreedte kleiner. De druk op de beschikbare vaarruimte neemt dan toe. Er vinden meer scheepsontmoetingen plaats, terwijl de breedte om te passeren beperkt is bij laagwater, en schippers zo veel mogelijk in het diepste deel willen blijven varen. Onder dergelijke omstandigheden is een optimale benutting van de vaarwegbreedte omwille van nautische veiligheid belangrijk. In de toekomst wordt het waarschijnlijk steeds drukker op de vaarwegen, ten eerste doordat het vaker laagwater is door klimaatverandering, en ten tweede door de gewenste modal shift (EC, 2020).

In 2023 is het doel om de volgende hypothese te toetsen: *“Door het concept van dynamische virtuele vaarwegmarkering tijdens laagwater toe te passen, wordt de ruimte beter benut, wat ten goede komt aan de veiligheid.”*

Onderzoeksvragen:

- Wat is volgens het DVV-concept de beschikbare breedte om te varen (hoe zou het kunnen zijn)?
- Wat was het markeringsplan (hoe zou het moeten zijn)?
- Hoe lag de fysieke markering in werkelijkheid (hoe ging het werkelijk t.a.v. markeringen)?
- Welke breedte werd in werkelijkheid benut (hoe ging het werkelijk t.a.v. scheepvaart)?

Aanpak: hindcast met een focus op de laagwaterperiode in 2022 (ongeveer half juli tot half september) en de Boven-IJssel:

- We analyseren en combineren verschillende databronnen, waaronder:
 - Informatie met betrekking tot de positionering van de fysieke drijvende markering in de laagwaterperiode 2022,
 - Geanonimiseerde AIS-data: AIS-data van de IJssel laten zien waar schepen daadwerkelijk gevaren hebben,
 - CoVadem-data van de IJssel laten zien wat overal op iedere dag de waterdiepte is geweest.
- Door de verschillende bronnen van informatie te vergelijken en combineren, proberen we de onderzoeksvragen te beantwoorden en de hypothese te toetsen.

Er is in overleg gekozen voor een uitwerking voor de Geldersche IJssel om een paar redenen:

- De IJssel is zeer smal bij laagwater, hierdoor is navigatie op de IJssel snel problematisch bij laagwater. Juist hier heeft optimale benutting dan vermoedelijk meerwaarde, zowel qua nautische veiligheid als ook impact.
- Op de IJssel is beperkt fysieke vaarwegmarkering aanwezig. Bij een eventueel vervolg kan de innovatie eenvoudiger getest en geïntroduceerd worden op vaarwegen waar geen of beperkte vaarwegmarkering is zoals de IJssel, zodat geen inconsistente informatie wordt gedeeld.
- Eerder is al een verkenning uitgevoerd op de Waal, daarom is nu voor een ander toepassingsgebied gekozen.
- We richten ons op de Boven-IJssel (van IJsselkop tot Twentekanaal, rkm 879-931), omdat dit het drukst bevaren deel van de IJssel is (nautische aspecten het meest relevant, meeste CoVadem data beschikbaar).

1.4 Organisatie

De werkzaamheden binnen dit project zijn uitgevoerd door Rolien van der Mark (PL) en Fedor Baart (beiden Deltares), Lex de Boom en Fleur van Alphen (beiden Witteveen+Bos). Vanuit Rijkswaterstaat is het project begeleid door Jelmer de Lange en Jan de Leeuw van Weenen, beiden van RWS-VWM. CoVadem Services BV heeft gegevens aangeleverd. Voor het opvragen van gegevens en uitwisselen van informatie is daarnaast contact geweest met verschillende personen binnen Rijkswaterstaat.

2 Methodiek dataverwerking

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze waarop de beschikbare gegevens zijn verwerkt binnen dit onderzoek. We focussen zowel op de gebruikte data, als de methodes om deze data samen te voegen. De eerste paragraaf (§2.2) beschrijft alle gebruikte databronnen. In paragraaf 2.3 is te lezen hoe de waterdiepte op de rivier is bepaald. Paragraaf 2.4 focust op de bevaarbaarheid van de IJssel, en paragraaf 2.5 beschrijft de gebruikte vaarwegmarkeringen. In paragraaf 2.6 beschrijven we hoe data van scheepslocaties is gebruikt in dit onderzoek.

2.2 Gebruikte data

Voor het visualiseren en analyseren van de waterdiepte, vaarwegmarkeringen en het vaargedrag hebben we meerdere datasets gebruikt. Hieronder staan de gebruikte datasets met het type inhoud:

- **Multibeam data**
Tussen 3 en 14 oktober 2022 is een multibeam survey gedaan. Hierbij is de bodemdiepte t.o.v. NAP gemeten tussen de normaallijnen en geprojecteerd op een 1x1 m raster. Wij hebben de gemeten bodemdiepte gebruikt om de bodemgeometrie te bepalen.
- **CoVadem data**
Meerdere schepen uitgerust met een CoVadem box hebben op de IJssel gevaren. Deze data bevatten waterdiepte en bodemliggingen, afgeleid van de gemeten kielspeling onder de schepen. In tegenstelling tot het aanvankelijke plan, hebben we na beknopte analyse van de data besloten om de data niet te gebruiken aangezien er te weinig data waren om een gedetailleerde bodemkaart te maken. Dit wordt nader toegelicht in Appendix A. Deze keuze heeft gevolgen voor de conclusies. Er zijn vooral weinig data beschikbaar wat dichters langs de oevers (of beter, buiten de vaargeul), omdat de CoVadem schepen vooral het midden van de rivier aanhouden en in de bochten de diepere buitenbocht opzoeken (de officiële vaargeul die onderhouden wordt volgt de diepste delen, dit is niet perse het midden). Aangezien we in deze studie willen bekijken welke breedte van de rivier bevaren kan worden, hebben we gegevens over de gehele rivierbreedte nodig.
- **Waterstanden**
We hebben data opgehaald via RWS-waterinfo van waterstandsreeksen bij de relevante meetstations langs de IJssel: de IJsselkop, de Hondsbroekse Pleij West, Westervoort (IJsseldijkerwaard), de haven van De Steeg, de brug bij Doesburg, Zutphen Noord en Deventer. De waterstand is elke tien minuten gemeten tussen 30-06-2022 en 30-12-2022.
- **MGD data**
De MGD (minst gepeilde diepte) data is opgevraagd en ontvangen via de RWS data servicedesk en bevat de dagelijkse MGD op 3 trajecten: traject IJsselkop - Monding Twentekanaal, traject Monding Twentekanaal - Monding Zwolle-IJsselkanaal, traject Monding Zwolle-IJsselkanaal – Keteldiep. Wij hebben alleen gebruik gemaakt van de MGD in het eerstgenoemde traject (Boven-IJssel). De locatie van de MGD is niet bekend, enkel dat deze ergens in het traject is gemeten.
- **Rivierkilometers**
Om x-y en lat-lon coördinaten aan rivierkilometers te koppelen, hebben wij gebruik gemaakt van vastgestelde rivierkilometer nummering per locatie. Het bestand bevat de locatie in (x, y)-coördinaten per 0.1 rivierkilometer.

- Locaties vaarwegmarkeringen en vaargeul
De locaties van de vaarwegmarkeringen en van de vaargeul zijn in eerste instantie van pdok gedownload op 21 november 2023. We hebben daarnaast al de berichtgevingen met betrekking tot de verleggingen op de Geldersche IJssel van 2022 ontvangen. Hiermee kunnen van een aantal boeien de locatiegegevens ten tijde van het laagwater afgeleid worden.
- AIS-data
De AIS-data bevatten uitgezonden locaties met tijdstempels van schepen. Ook gegevens van de schepen staan in de dataset. Hieronder vallen de afstand van de transponder tot de voorkant, achterkant en zijkanten van schip.
- Locaties verbod ontmoeten en voorbijlopen
Van Rijkswaterstaat hebben we informatie ontvangen waar ongeacht de waterstand ontmoeten en voorbijlopen verboden is voor schepen langer dan 80 m en breder dan 9,50 m:
 - Velp, tussen 883,500 en 884,335
 - Koppenwaard, tussen 886,000 en 886,700
 - De Steeg, tussen 890,050 en 891,165
 - Olburgen, tussen 905,185 en 911,155
 - Brummen, tussen 919,400 en 921,500

2.3 Bepaling van de waterdiepte

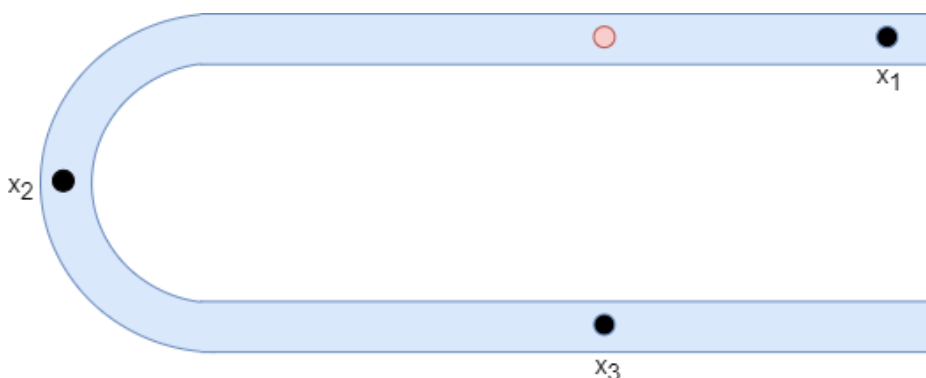
De waterdiepte kan worden bepaald door de bodemhoogte af te trekken van de waterstand. Deze berekening is alleen mogelijk als zowel de bodemhoogte als de waterstand op exact dezelfde locaties zijn gespecificeerd. We berekenen daarom de waterstand op locaties waar de bodemhoogte bekend is. Dit doen we door interpolatie op basis van rivierkilometers.

2.3.1 Bodemgeometrie

Voor het bepalen van de bodemgeometrie hebben we de multibeam data gebruikt. Deze data kunnen gelijk worden omgezet in een bodemkaart. De (x, y) -coördinaten die in de bodemgeometrie worden gebruikt (1x1 m raster), zijn ook de punten waarop we de waterstanden en de waterdiepte bepalen. Deze punten noemen we vanaf nu de gridpunten.

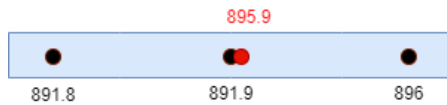
2.3.2 Rivierkilometers

De IJssel heeft veel bochten. Hierdoor is de waterstand op twee punten die dicht bij elkaar liggen op basis van (x,y) -coördinaten niet per se vergelijkbaar. Een betere maatstaf om de waterstand te bepalen zijn de rivierkilometers (zie Figuur 2-1). Daarom hebben wij de rivierkilometers toegevoegd aan de gridpunten.



Figuur 2-1 Als de waterstand bekend is op punten x_1 , x_2 en x_3 , bereken je de waterstand op het rode punt als een gewogen gemiddelde tussen x_1 en x_2 (interpolatie op basis van rivierkilometers). Zou je interpoleren op basis van (x,y) -coördinaten, dan weegt x_3 zwaarder dan x_2 .

Om de rivierkilometers toe te voegen aan de gridpunten, is de data van rivierkilometers gebruikt. Op sommige stukken rivier zit een sprong in de rivierkilometers door bochtafsnijdingen. Om later geen last te hebben van een sprong tussen punten rkm1 en rkm2, hebben we een datapunt toegevoegd vlakbij rkm1, met waarde van (rkm2-0.1), zie Figuur 2-2. Hierna hebben we de rivierkilometer data nog verder uitgebreid door lineaire interpolatie op elke 0.01 rivierkilometer.



Figuur 2-2 Bij een sprong in rivierkilometers wordt een datapunt toegevoegd zoals het rode punt in de afbeelding.

Vervolgens zijn de rivierkilometers toegevoegd aan de gridpunten door interpolatie op basis van (x,y)-coördinaten.

2.3.3 Waterstanden

De waterstanden zijn gegeven op 7 verschillende locaties in de IJssel. Om de waterstanden van een bepaalde dag te bepalen op de gridpunten, is het nodig om de waterstanden te interpoleren op basis van rivierkilometers. Daarom voegen we eerst rivierkilometers toe aan de waterstanden. Dit gebeurt door interpolatie op basis van (x,y) coördinaten. Vervolgens kunnen we de waterstand bepalen op de gridpunten door interpolatie op basis van rivierkilometers.

2.3.4 Waterdiepte

Er is nu een grid met (x,y)-coördinaten, waarop zowel de bodemgeometrie als de waterstand zijn gedefinieerd. Om de waterdiepte te bepalen, is de bodemgeometrie van de waterstand afgetrokken.

Het is belangrijk op te merken dat de waterdiepte bepaald wordt met waterstandsdata van juni tot december en met de bodemgeometrie van begin oktober. De bodemligging kan zijn veranderd gedurende deze periode, waardoor de waterdiepte niet accuraat is. In de toekomst zouden dagelijkse bodemkaarten kunnen worden gemaakt met de CoVadem data. Hiervoor is op dit moment nog niet voldoende data in de IJssel, en dan vooral buiten de vaargeul.

2.4 Bevaarbaarheid

We hebben een onderscheid gemaakt in “bevaarbare delen” en “onbevaarbare delen” van de rivier. Hierbij gaan we uit van de MGD op een bepaalde dag. Als een schip is afgeladen tot de MGD, kan hij op delen ondieper dan de MGD niet varen. Alle andere delen van de rivier hebben wij gedefinieerd als bevaarbaar. Voor lege schepen geldt dat het bevaarbare deel van de rivier groter is dan weergegeven in de bevaarbaarheidskaart. Dat het gros van de schepen afluist op de MGD bij laagwater is een goede aanname, zie ook De Jong (2020) waarin wordt gesteld dat bij een zeer geringe waterdiepte (MGD kleiner dan 2 m) voor droge bulk de kielspeling verminderd wordt tot 0,0 m t.o.v. de MGD-waarde, voor natte bulk tot 0,1 m, en voor containers tot 0,3 m. Anderzijds is ook bekend dat sommige schippers, die goed bekend zijn op Rijntakken soms dieper afladen dan de MGD (bijv. De Jong & Van der Mark, 2021).

In theorie is het ook mogelijk om het bevaarbare deel van de rivier afhankelijk te maken van de daadwerkelijke diepgang van het schip. De bevaarbaarheidskaart toont dan het gedeelte van de rivier dat dat specifieke schip op die specifieke dag kan bevaren. Dit is ook één van de beoogde doorontwikkelingen van CoVadem.

2.5 Vaarweg en markeringen

Op de IJssel is een gedefinieerde vaargeul, waarbinnen de MGD bepaald wordt. De vaarweg van de IJssel hebben wij ingelezen als shapefile en is te zien in de gemaakte afbeeldingen.

Voor de schippers zijn kribbakens (vaste markering) en drijvende vaarwegmarkeringen, oftewel boeien, beschikbaar. Deze boeien kunnen worden verlegd zodra de waterstand verandert. Als startpunt voor de locatie van de boeien nemen wij de beschikbare informatie van pdok op 21 november 2023.

Verder hebben wij bestanden ontvangen met de verleggingen van boeien in 2022. Hieruit hebben wij een 5-tal gebieden met verleggingen meegenomen om te analyseren. Dit zijn de gebieden:

- Nabij rivierkilometer 896, boeien GIJ 60E, GIJ 60F, GIJ 60G
- Nabij rivierkilometer 898, boeien GIJ 69G, GIJ 69H, GIJ 69I
- Nabij rivierkilometer 900, boeien GIJ 69C, GIJ 69D, GIJ 69E, GIJ 69F
- Nabij rivierkilometer 903, boeien GIJ 60B, GIJ 60C, GIJ 60D
- Nabij rivierkilometer 918,5, boeien GIJ 60, GIJ 60A.

Volgens de ontvangen informatie zijn al deze genoemde boeien verlegd in maart/april/mei, en daarna pas weer in november/december. We gaan er dus vanuit dat ze de gehele tussenliggende periode (en dus tijdens de laagwaterperiode) op de locaties hebben gelegen waarnaar ze in maart/april/mei zijn verlegd.

2.6 Schepen en bepalen van ontmoetingen

Het doel van dit onderzoek is om te kijken of virtuele boeien kunnen helpen bij het inzichtelijk maken van de beschikbare bevaarbare breedte van de vaargeul. Hiervoor is het nodig om het huidige vaargedrag van schepen op de IJssel te analyseren. Wij hebben AIS-data gebruikt om per dag te laten zien waar schepen hebben gevaren. In de AIS-data zitten zowel de afstand tot de zijkanten van het schip verwerkt als de vaarrichting. Met deze informatie hebben wij de afmetingen van de schepen kunnen bepalen, en kunnen weergeven waar en hoe deze schepen hebben gevaren.

Over het algemeen is er op de IJssel genoeg ruimte voor een schip om te varen. Om de nautisch lastige situaties op te zoeken in de vaarweg, hebben we ook ontmoetingen van schepen onderzocht. Tijdens een ontmoeting moeten schepen uitwijken, waardoor ze dicht bij de onbevaarbare delen kunnen komen. Ook zouden ze weinig afstand kunnen nemen uit angst voor ondiepe delen aan de rand van de vaargeul. De ontmoetingen hebben we opgezocht, door te kijken of schepen op een bepaalde dag binnen 50 meter van elkaar zijn geweest, en hieruit de daadwerkelijke ontmoetingen te filteren.

3 Resultaten

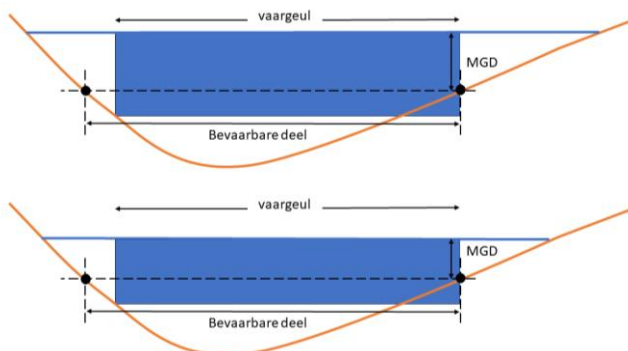
Dit hoofdstuk bevat de resultaten van het onderzoek naar Digitale Virtuele Vaarwegmarkering op de IJssel. In de eerste paragraaf (§3.1) is beschreven wat de beschikbare breedte van de vaarweg is. In paragraaf 3.2 is aangegeven waar de vaarwegmarkeringen gelegen hebben ten tijde van de laagwaterperiode in 2022. Tenslotte is in paragraaf 3.3 het vaargedrag en de passages en ontmoetingen geanalyseerd.

Wellicht ten overvloede, het is goed om te benoemen dat er heel veel figuren gemaakt zijn (honderden afbeeldingen, iedere dag van de beschouwde periode is er een andere waterstand en soms ook andere MGD, en dus een andere waterdiepte- en bevaarbaarheidskaart). Hieronder is een selectie van figuren weergegeven die ofwel de methodiek in beeld brengen ofwel naar onze interpretatie interessant zijn.

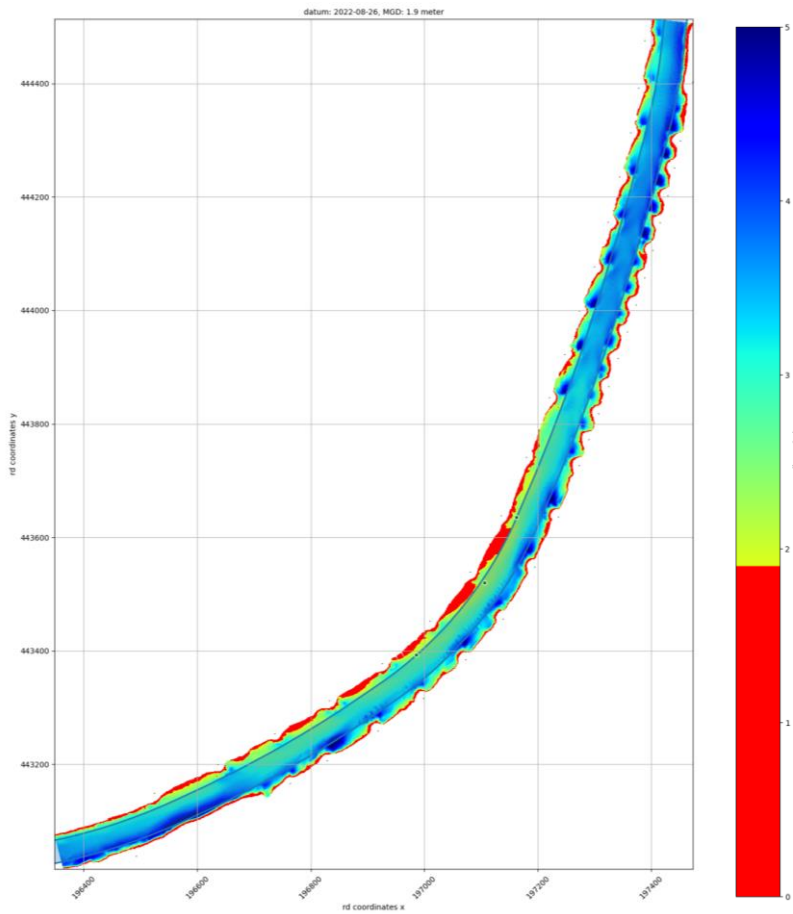
3.1 Bevaarbare breedte van de IJssel

De bevaarbare breedte van de IJssel is bepaald op basis van de bathymetrische survey van oktober 2022 gecombineerd met de berekende waterstanden en de MGD per dag. In de onderstaande figuren (Figuur 3-2 t/m Figuur 3-6) is voor de locaties waar ontmoeten en voorbijlopen is verboden weergegeven welk deel van de IJssel een waterdiepte heeft groter dan de op dat moment geldende MGD (in groen en blauw). De delen van de IJssel waar de waterdiepte kleiner is dan de MGD zijn rood gemarkeerd. De gedefinieerde vaargeul is weergegeven in blauwe lijnen over de waterdiepte kaart heen.

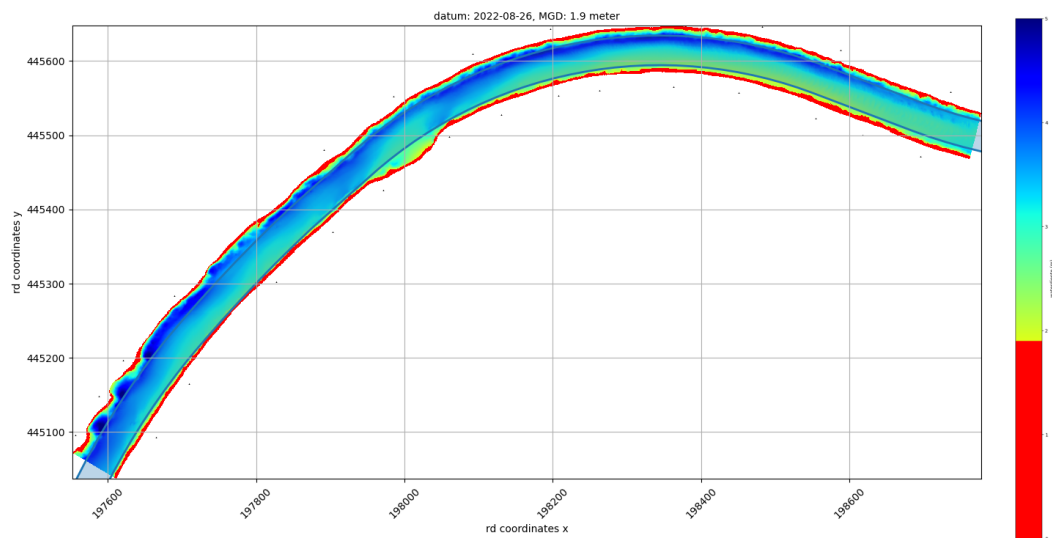
De figuren tonen het bevaarbare deel van de IJssel op 26 augustus 2022, toen de MGD 1,9 m was. Ook voor alle andere dagen in de laagwaterperiode van 2022 zijn dergelijke kaarten gemaakt. In de figuren van het bevaarbare deel van de vaarweg op de verschillende dagen is de breedte logischerwijs steeds vergelijkbaar, aangezien de MGD meebeweegt met de variaties in de waterstanden (zie ter illustratie Figuur 3-1; de waterstand daalt, maar de bevaarbare breedte t.o.v. MGD blijft hetzelfde omdat de MGD evenveel afneemt). Het beeld is dat de gedefinieerde vaargeul over het algemeen goed overeenkomt met het bevaarbare deel van de rivier. In sommige binnenbochten zien we echter onbevaarbare (rode) stukken binnen de gedefinieerde vaargeul. Volgens de gekozen definitie van bevaarbaarheid zou dit niet moeten voorkomen; het is immers overal in de vaargeul dieper dan de MGD. Dit kan waarschijnlijk worden verklaard doordat we gebruik maken van de multibeam bodemligging in plaats van de werkelijke bodemligging van deze specifieke dag.



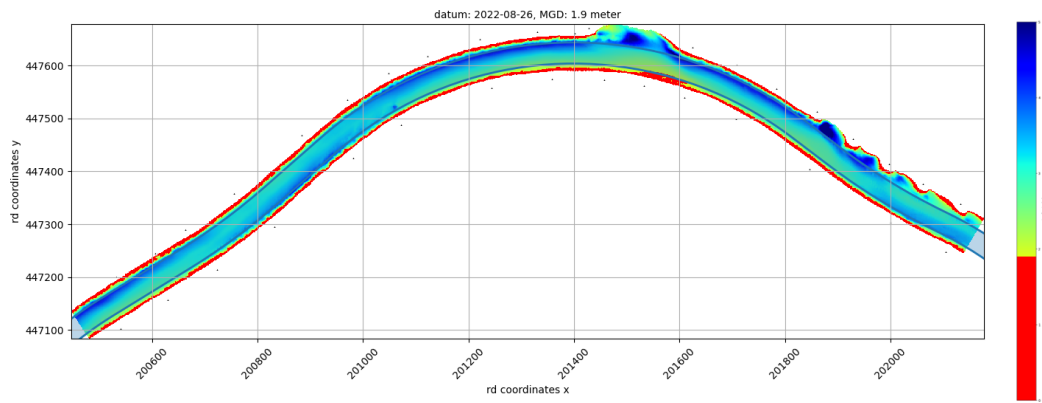
Figuur 3-1 Definitie bevaarbare deel. In de schets boven is de waterstand en dus MGD hoger dan in de schets beneden, maar het bevaarbare deel blijft onveranderd, aangezien deze t.o.v. de MGD wordt gedefinieerd.



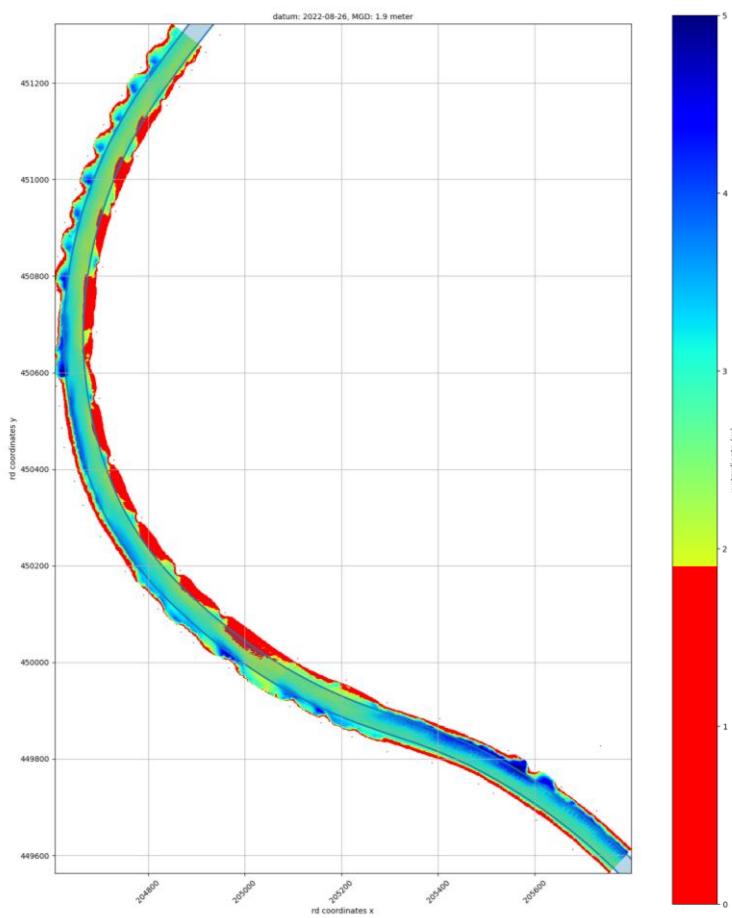
Figur 3-2 Bevaarbaar deel Velp



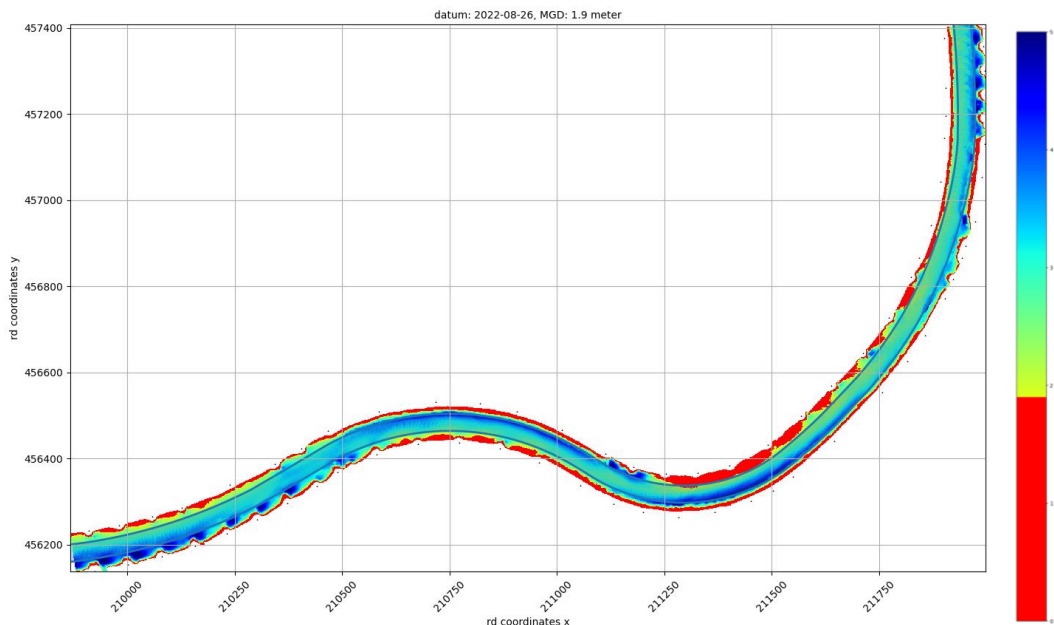
Figur 3-3 Bevaarbaar deel Koppenwaard



Figuur 3-4 Bevaarbaar deel De Steeg



Figuur 3-5 Bevaarbaar deel Olburgen



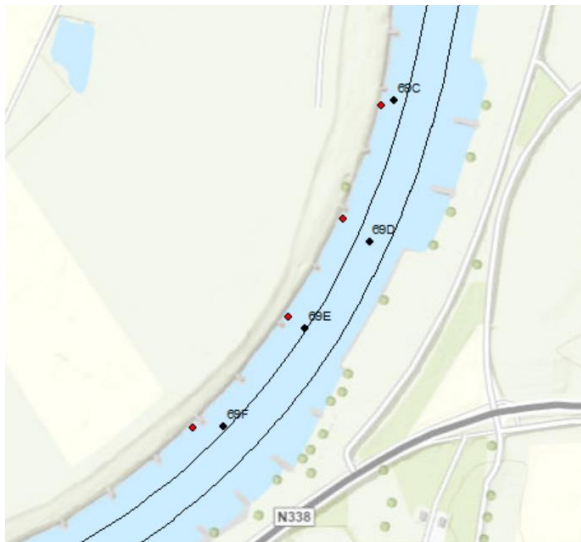
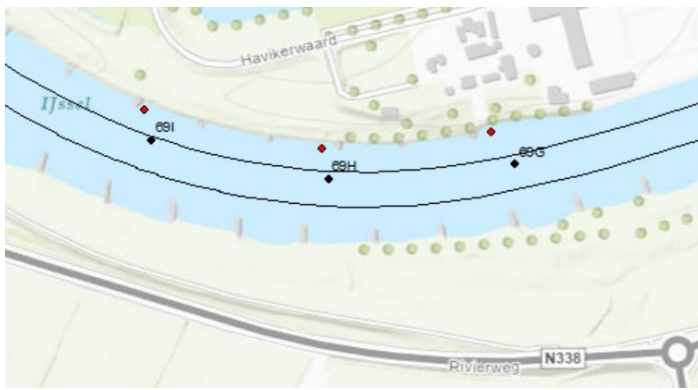
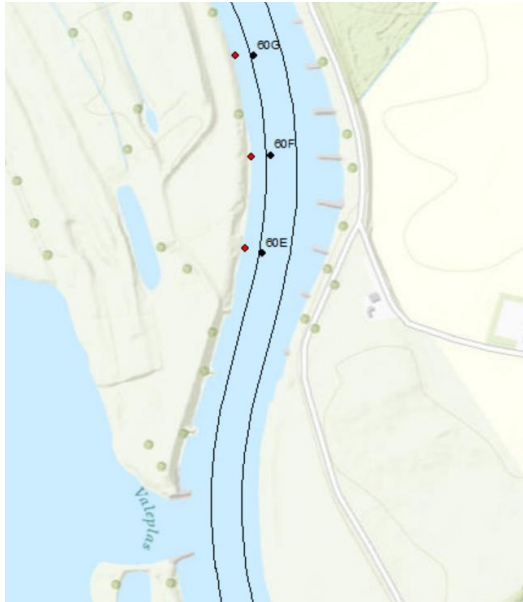
Figuur 3-6 Bevaarbaar deel bij Brummen

3.2 Vaarwegmarkeringen

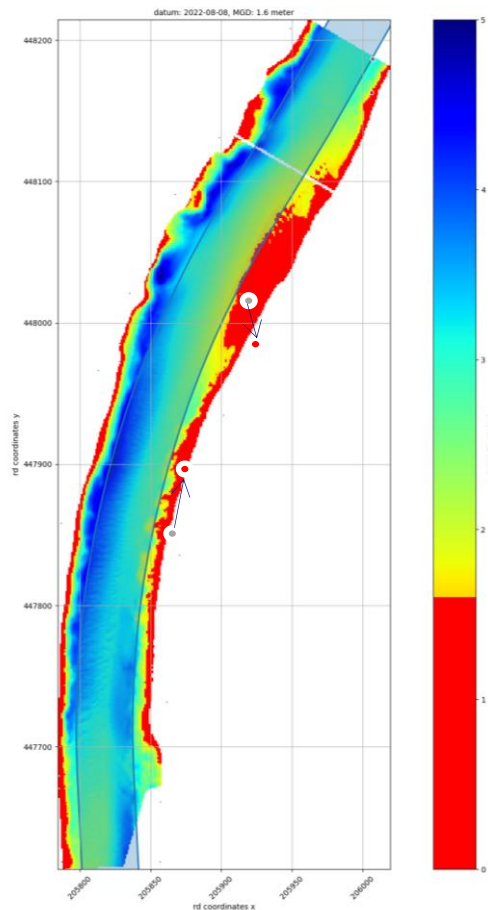
Op een aantal locaties langs de Boven-IJssel liggen drijvende vaarwegmarkeringen. Deze boeien worden verlegd op basis van de lokale waterdiepte. De beschikbare gegevens over de verleggingen van de boeien lijken niet volledig, omdat er weinig informatie beschikbaar is in de periode maart tot december terwijl er wel flinke waterstandsvariaties zijn in deze periode. Daarnaast zijn er twijfels over de posities van de boeien, aangezien sommige boeien midden in de vaargeul lijken te liggen terwijl daar geen noodzaak voor lijkt te zijn, zie bijvoorbeeld boei 69D in Figuur 3-7. Mogelijk dat het aantal cijfers achter de komma dat gerapporteerd is nog een rol speelt. Tot slot zagen we dat er enkele typfoutjes in de verleggingsbestanden stonden. Het is wellicht goed om dit proces met handmatige acties te evalueren en waar mogelijk te automatiseren. Figuur 3-8 toont de ligging volgens het PDOK bestand, maar welke datum of periode bij deze posities hoort is onbekend.

Het is niet met zekerheid vast te stellen wat de locaties van de boeien waren gedurende de laagwaterperiode van juli en augustus 2022. Het verleggen van de boeien is maatwerk. Er is geen protocol zoals dat op de Waal aanwezig is¹. De onderzoeksvragen over het markeringsplan en de werkelijke ligging van de fysieke markering zijn dan ook niet goed te beantwoorden.

¹ Op de Waal zijn zogenaamde stationaire en hoogwaterposities vastgelegd; als de waterstand bij Lobith lager is dan 10,5 m+NAP liggen de boeien in de stationaire posities, en daarboven in de hoogwaterposities.



Figuur 3-7 Voorbeeld locaties boeien (zwart = positie vanaf voorjaar 2022 en rood = positie vanaf december 2022).



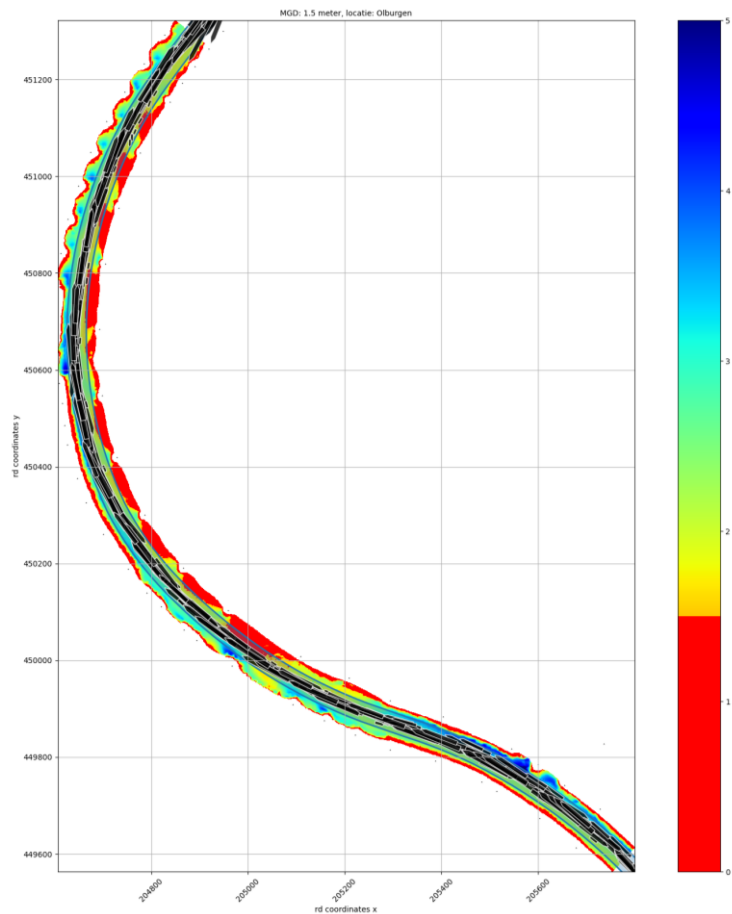
Figuur 3-8 Locaties boeien bij Doesburg (rood is locatie in juli-augustus 2022 en grijs is locatie volgens PDOK bestand).

3.3 Vaargedrag en passages/ontmoetingen

In deze paragraaf is het vaargedrag van het scheepvaartverkeer geanalyseerd op basis van AIS-data waarbij onderscheid is gemaakt tussen MGD's groter dan 2 m en MGD's kleiner dan 2 m. Dit onderscheid komt voort uit verschillend gedrag dat waargenomen is. De grens van een MGD van 2 m is pragmatisch gekozen en is gebaseerd op engineering judgement.

3.3.1 Algemeen beeld

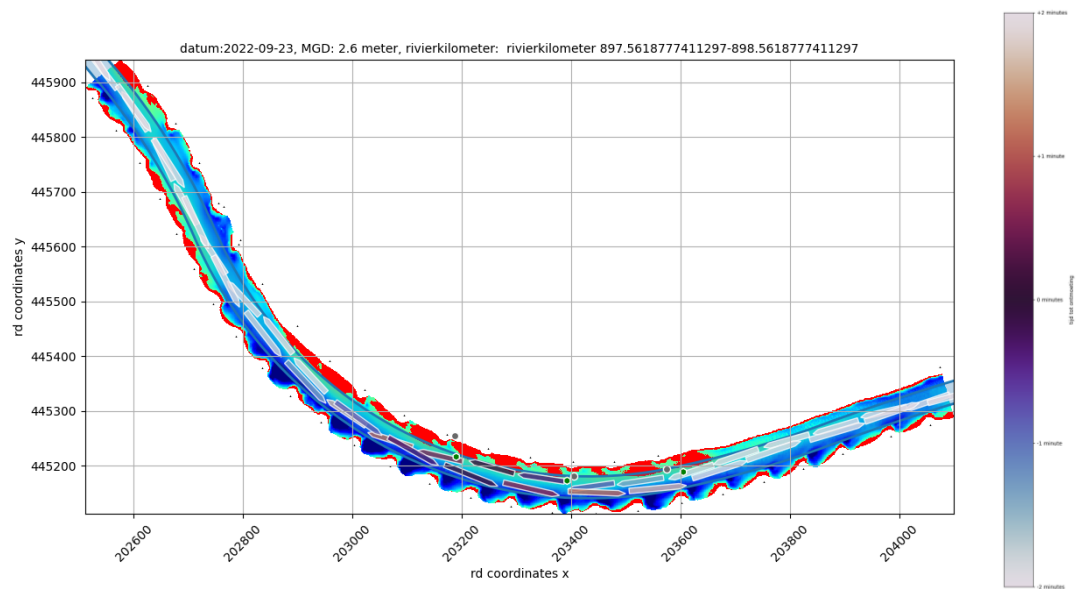
Het algemene beeld is dat de scheepvaartintensiteit op de IJssel (in verhouding tot de Waal) beperkt is. Schepen varen over het algemeen in het midden of de buitenbocht en maken zo maximaal gebruik van de beschikbare breedte en waterdiepte, zie bijvoorbeeld Figuur 3-9. Op het moment dat schepen elkaar tegemoet komen of willen passeren maken ze ruimte voor het andere schip door meer de randen van het bevaarbare deel van de vaarweg op te zoeken.



Figuur 3-9 Algemeen beeld vaargedrag bij MGD van 1,5 m.

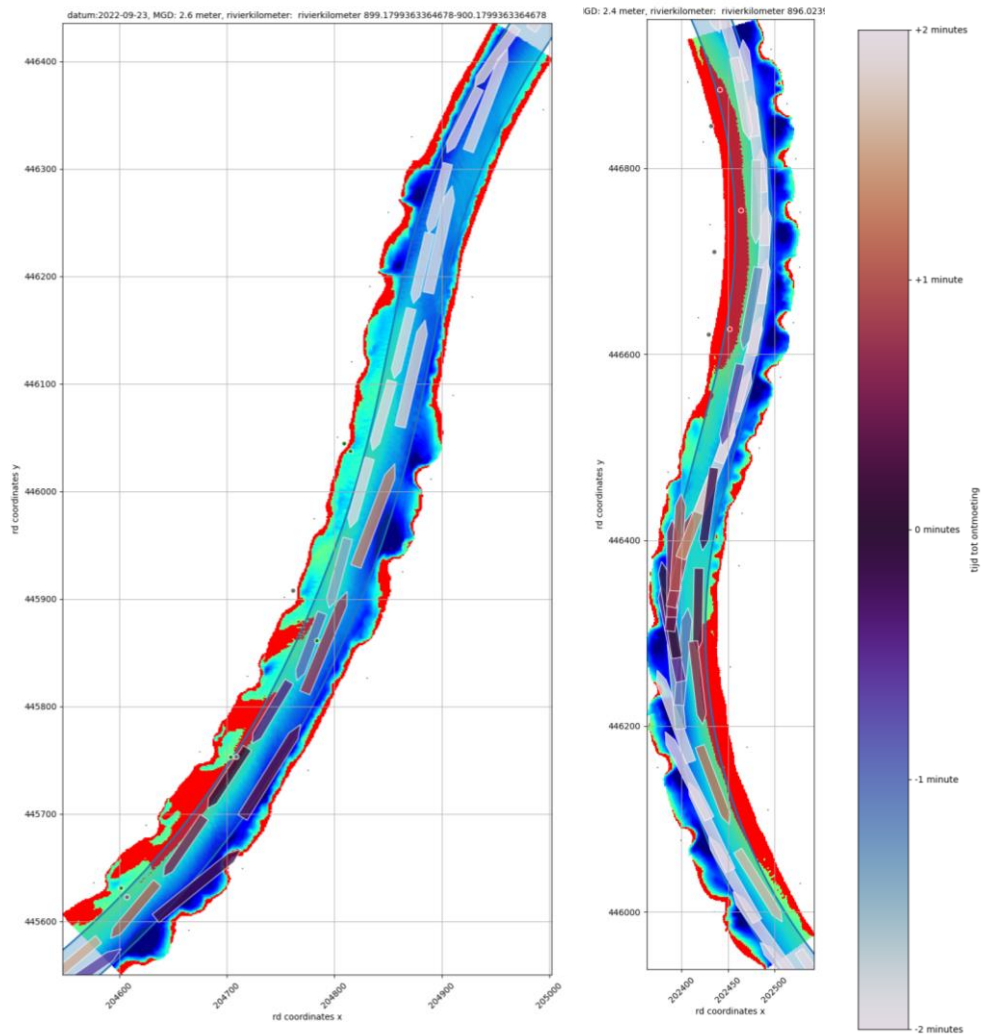
3.3.2 MGD's groter dan 2 m

Bij MGD's groter dan 2 m passeren schepen elkaar over vrijwel de gehele lengte van de vaarweg. Dus meestal ook in bochten. Schepen varen zowel in de binnenbocht als in de buitenbocht tegen de fictieve grens van de vaarweg aan, zoals is te zien in de onderstaande figuren. Steeds zijn de vaarpaden van de beide schepen weergegeven en hoe donkerder de schepen zijn ingekleurd hoe dichterbij het moment van ontmoeten/passeren.



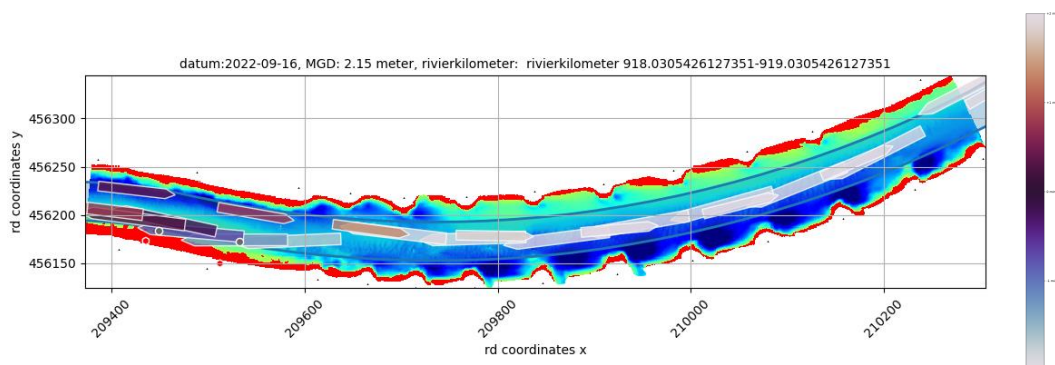
Figuur 3-10 Ontmoeting bij MGD van 2,6 m in een bocht.

In Figuur 3-10 is te zien dat de schepen elkaar ontmoeten in de bocht en beide schepen houden de randen van de vaarweg aan. De boeien uit de berichtgevingen van verleggingen (aangegeven in groen) lijken niet op een logische plek te liggen. De schepen lijken er overheen te varen.



Figuur 3-11 Ontmoeting bij MGD van 2,6 m (links) en 2,4 m (rechts) in een bocht.

In Figuur 3-11 zijn twee situaties te zien. In de linker afbeelding ontmoeten de schepen elkaar in een bocht en zoeken ze beiden de randen van de vaarweg op. In de rechter afbeelding passeren de schepen elkaar tussen twee bochten die beide aan de binnenbocht een ondiepte tonen. Het schip dat richting het noorden vaart wacht in het diepe deel aan het einde van de bocht.

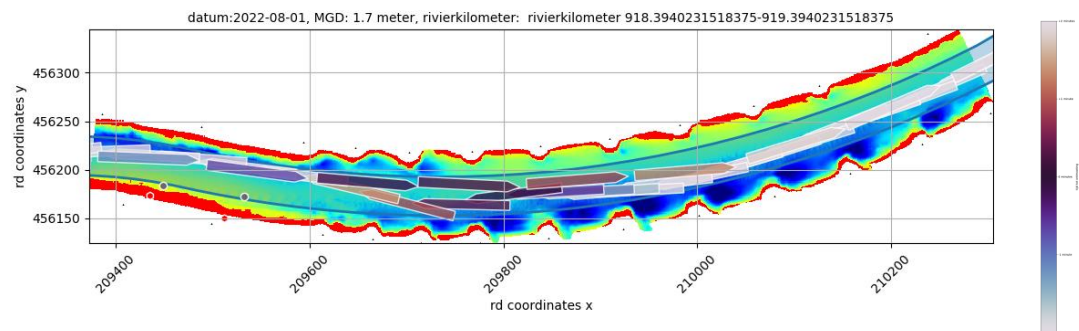


Figuur 3-12 Ontmoeting in een bocht bij MGD van 2,15 m.

Figuur 3-12 laat ook zien dat schepen op elkaar wachten. Stroomopwaarts (links) van deze afbeelding zit een scherpe bocht. De schippers voorkomen dat ze elkaar daar moeten passeren. Ze gebruiken de volledige breedte van de vaarweg tijdens het passeren.

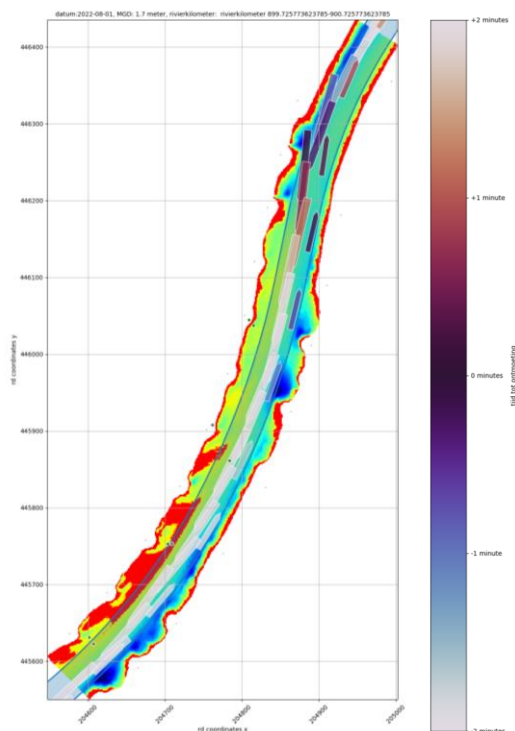
3.3.3 MGD's kleiner dan 2 m

Bij MGD's kleiner dan 2 m valt op (in vergelijking tot het gedrag bij grotere diepte) dat schepen elkaar veel minder vaak ontmoeten of passeren in bochten. Daarnaast is het opvallend dat de schepen aan de binnenbocht meer marge houden tot de rand van de vaarweg dan bij MGD's van groter dan 2 m. Steeds zijn de vaarpaden van de beide schepen weergegeven en hoe donkerder de schepen zijn ingekleurd hoe dicht bij het moment van ontmoeten/passeren.



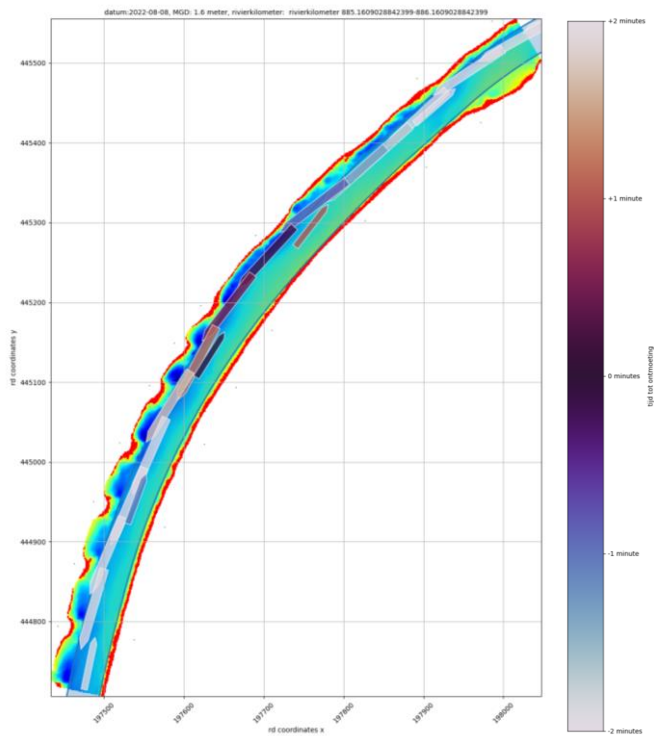
Figuur 3-13 Ontmoeting bij een MGD van 1,7 m.

In Figuur 3-13 is te zien dat de twee schepen elkaar ontmoeten tussen de twee bochten in en dat ze daarna elk het diepere deel van de vaarweg opzoeken. Gedurende het ontmoeten zoeken beide schepen de randen van de vaarweg op.



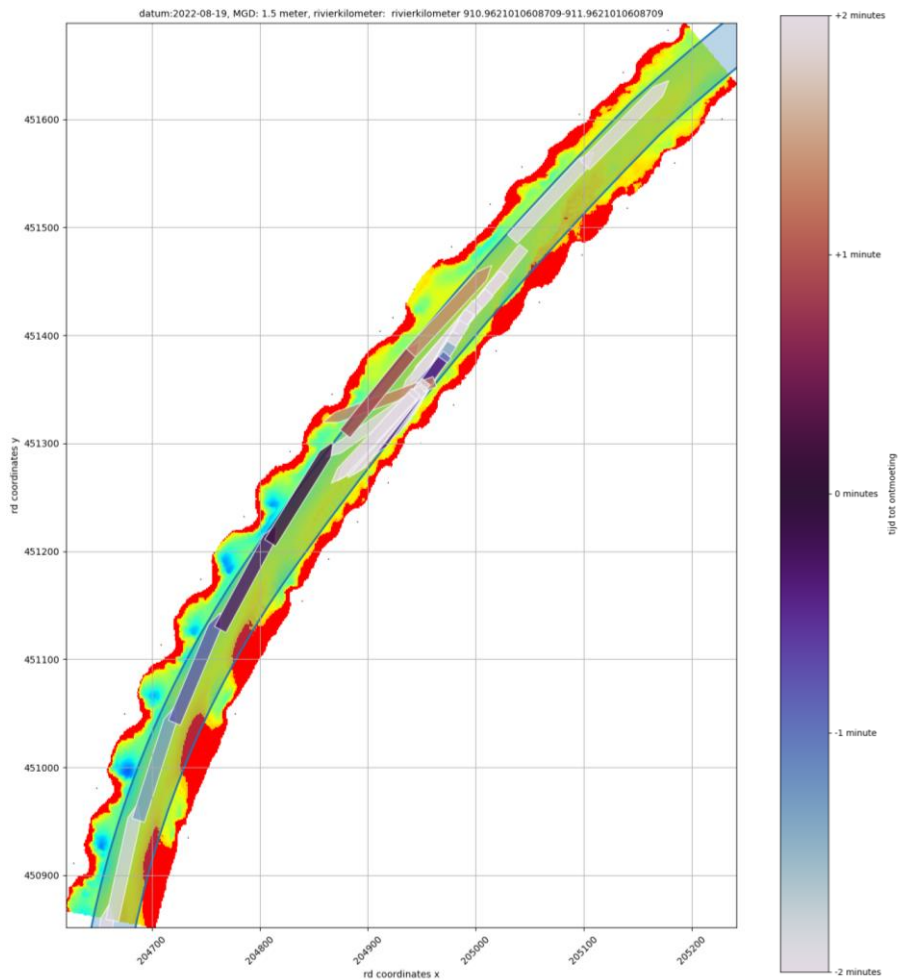
Figuur 3-14 Ontmoeting bij een MGD van 1,7 m.

In Figuur 3-14 is een vergelijkbaar beeld te zien als in Figuur 3-13.



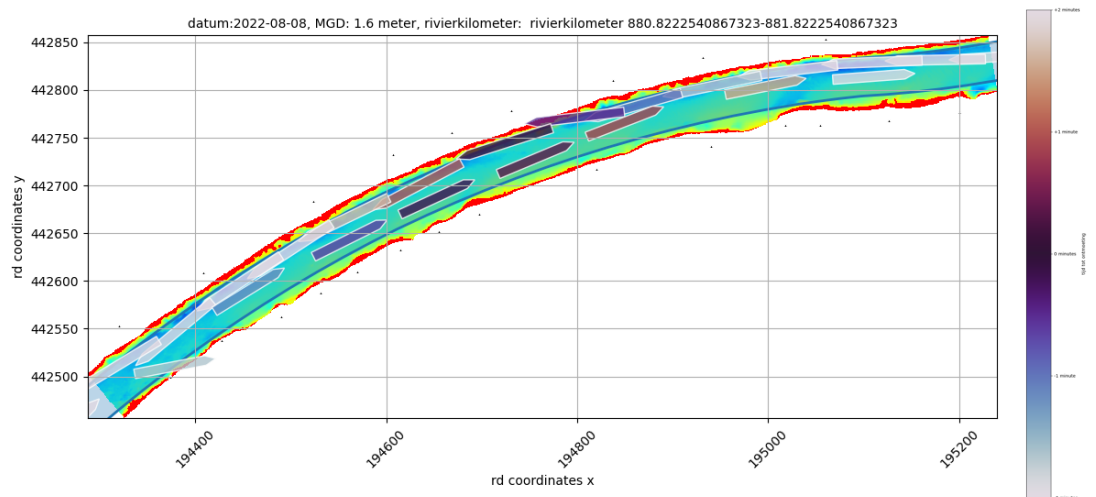
Figuur 3-15 Ontmoeting bij een MGD van 1,4 m.

De ontmoeting in Figuur 3-15 vindt wel plaats in een (flauwe) bocht. Het kleinste schip, aan de binnenbocht, houdt duidelijk een ruime afstand tot de rand van de vaarweg terwijl dat op basis van de bathymetrische survey niet nodig lijkt. Het grote schip, aan de buitenbocht, wordt daardoor gedwongen om dicht langs de oever te varen.



Figuur 3-16 Ontmoeting bij MGD van 1,5 m.

Figuur 3-16 laat zien dat een opvarend schip aan de overzijde wacht op een afvarend schip zodat de schepen elkaar niet ontmoeten in een bocht waarbij de bevaarbare breedte klein is.



Figuur 3-17 Ontmoeting bij MGD van 1,6 m.

Figuur 3-17 is een voorbeeld van een ontmoeting tussen twee schepen in een bocht waarbij het afvarende schip (varend in oostelijke richting) een marge houdt ten opzichte van de rand van de vaarweg. Het opvarende schip wordt daardoor gedwongen om dicht langs de oever te varen. De bathymetrische survey suggereert dat er aan de binnenbocht voldoende waterdiepte beschikbaar was voor het afvarende schip om dicht langs de oever te varen.

3.3.4 Discussie

Aan de hand van enkele voorbeelden hebben we hierboven vastgesteld dat het vaargedrag bij kleinere waterdiepte wat afwijkt van het gedrag bij grotere diepte. We hebben daarbij meerdere ontmoetingen bekeken dan hier in de rapportage zijn opgenomen. Er zijn wel enkele opmerkingen te plaatsen bij het geconstateerde vaargedrag. Zo hebben we in de afbeeldingen niet aangemerkt of een schip leeg of geladen is. Dit heeft vanzelfsprekend invloed op het vaargedrag. We stelden vast dat schepen bij ontmoetingen dicht op de oever lijken te kunnen varen dan ze daadwerkelijk doen. Kanttekeningen daarbij zijn dat we dit (i) niet met zekerheid kunnen stellen omdat de werkelijke bodemligging op de beschouwde dag kan afwijken van de multibeam bodemligging, en (ii) schippers bij ontmoetingen soms juist wat naar elkaar toe sturen om te compenseren voor waterspiegeldaling en zuiging. Wat een veilige, benodigde afstand tot de oever is bij laagwatercondities en passages en daarbij behorende zuiging, inzinking, waterspiegeldaling en stroming is niet goed bekend. Desalniettemin zien we in de AIS-data wel degelijk verschil tussen kleinere en grotere waterdiepte.

4 Conclusies en aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de conclusies en aanbevelingen op basis van de in dit rapport gepresenteerde resultaten en een reflectie/doorkijk naar eventueel vervolgonderzoek op dit onderwerp.

4.1 Conclusies

De volgende conclusies kunnen direct worden getrokken uit de uitgevoerde analyses:

- Het is goed gelukt om diverse databronnen met elkaar te combineren en dit levert waardevolle inzichten op.
- De data van de locaties van de boeien zijn foutgevoelig en lijken niet altijd te kloppen. Het is daardoor niet goed mogelijk om op een betrouwbare manier te concluderen wat het markeringsplan was en hoe de boeien in werkelijkheid lagen.
- De multibeam data waren noodzakelijk om voldoende inzicht te krijgen in de bevaarbare breedte van de vaarweg. De CoVadem data op de IJssel hebben onvoldoende dekking aan de randen van de vaarweg. Op de Waal zijn de dekking over de breedte van de rivier en de aantallen scheepstracks per dag van de CoVadem-data beduidend groter, zodat we in die studie wel gebruik maakten van de data en aantoonde dat het concept bij voldoende data werkt. In de toekomst kan de multibeam door CoVadem data worden vervangen.
- Er zijn verschillen tussen CoVadem en multibeam bodemligging, wat ook de verwachting is omdat de bodem continu in beweging is (aannemende dat verschillen ontstaan door bodemontwikkeling en niet door foutieve CoVadem metingen). Als de bodem significant verandert in de tijd, betekent dit dat voor een actueel beeld van de waterdiepte een achterhaalde multibeam niet geschikt is.
- De beschikbare breedte komt over het algemeen goed overeen met de gedefinieerde vaargeul. In sommige binnenbochten in de vaargeul zijn ondieptes ("niet-bevaarbare delen") aanwezig, waarschijnlijk komt dit doordat we gebruik maken van een multibeam bodemligging die niet gelijktijdig met de MGD is ingewonnen.
- Schippers houden het midden van de vaargeul of de diepere buitenbocht aan als er geen andere schepen in de buurt zijn.
- Bij MGD's groter dan 2 m vinden ontmoetingen plaats in bochten en tussen de bochten in. Bij MGD's kleiner dan 2 m vinden veel minder ontmoetingen plaats in bochten.
- Schippers zijn zich heel goed bewust van de locaties van knelpunten en wachten op elkaar boven- of benedenstrooms van die knelpunten.
- De AIS-data suggereren dat schippers de ondiepe binnenbochten ontwijken bij MGD's kleiner dan 2 m, terwijl dat niet nodig lijkt. Beter benutting van de beschikbare ruimte lijkt daarmee mogelijk, waardoor bij ontmoetingen meer marge ontstaat tussen de oever van de buitenbocht en tussen de schepen onderling.

Hieronder reflecteren we aan de hand van de uitgevoerde analyses en getrokken conclusies op het concept van Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering (DVV).

Voor het DVV-concept geven de bovenstaande conclusies slechts beperkt toegevoegde inzichten. Naar verwachting levert het concept een kostenbesparing op, neemt het druk weg bij personeel, en sluit de locatie van de markering beter aan op de actuele werkelijkheid (fysieke markering ligt niet altijd op de juiste positie en/of wordt te laat verlegd). Naast deze al eerder geïdentificeerde meerwaarden wilden we in de huidige studie onderzoeken of er aanvullende meerwaarde is op het gebied van nautische veiligheid.

Als de veiligheid verbetert is dit een sterke motivatie om op de innovatie door te pakken. Het is lastig gebleken om aan te tonen dat met het DVV-concept in plaats van fysieke markering, er bij laagwater meer vaarruimte beschikbaar komt en daarmee de nautische veiligheid vergroot:

- Aantonen dat er meer ruimte beschikbaar is, kan bijvoorbeeld door te laten zien dat de fysieke boeien te conservatief gepositioneerd zijn en verder richting oever hadden kunnen liggen. Dit is lastig aan te tonen doordat de actuele bodemligging langs de randen van de vaargeul niet bekend is en doordat er twijfels ontstonden over de werkelijke ligging van de fysieke boeien.
- Aantonen dat er meer ruimte beschikbaar is, kan bijvoorbeeld door te bekijken waar schepen daadwerkelijk hebben gevaren in relatie tot de ligging van de fysieke boeien en de actuele waterdiepte. Ook hier bleek aantonen lastig door genoemde beperkingen en omdat schepen vooral in het midden varen als er geen ander verkeer in de buurt is.
- Op basis van de uitgevoerde analyse hebben we wel de indruk gekregen dat een betere benutting van de beschikbare ruimte mogelijk lijkt, al is het de vraag of schippers daar behoefte aan hebben en dus of het de veiligheid doet toenemen.

Tot slot moet ook geconcludeerd worden dat het DVV-concept zoals beoogd (i.e., het dagelijks produceren van een actuele waterdieptekaart en daarvan afleiden wat het bevaarbare/te markeren deel van de rivier is voor vloot of specifiek schip) in grote mate afhankelijk is van CoVadem-data, aangezien dit de enige bestaande bron is van dagelijkse bodem-data. Tegelijkertijd komt dan de vraag op of op lange termijn vaarwegmarkering nog nodig is wanneer de dichtheid en betrouwbaarheid van CoVadem verder is toegenomen in de toekomst. De waterdieptekaart die CoVadem levert, biedt dan namelijk al de informatie die nodig is om te navigeren.

4.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen zijn gemaakt aan de hand van de uitgevoerde data-analyses:

- Dit soort onderzoeken zijn gebaat bij kwalitatief goede databronnen. De kwaliteit van de gegevens over de locaties van de boeien kan worden verbeterd door het proces te standaardiseren en de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van de boeien te vergroten.
- Meer CoVadem data of regelmatigere peilen met multibeam zou de kwaliteit van de analyse vergroten.
- In dit onderzoek is geen onderscheid gemaakt in de diepgang van de schepen. Door dit toe te voegen kan het scheepsgedrag beter begrepen worden.

Reflecterend op het DVV-concept doen we de onderstaande aanbevelingen. Dit onderzoek levert nuttige inzichten op over het vaargedrag bij laagwater op de Geldersche IJssel. Zoals gesteld zijn de nieuwe inzichten voor het concept van Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering beperkt. Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering wordt wel als kansrijk gezien. Tot nu toe richtte de studies zich vooral op het technische/rivierkundige deel van het onderwerp. Andere aspecten rondom het onderwerp zijn nog niet verkend. We zien bijvoorbeeld de volgende mogelijkheden voor vervolg:

- Vervolgonderzoeken zouden zich kunnen richten op praktijktesten met synthetische vaarwegmarkering (combinatie van fysieke en virtuele markering) om zo praktijkervaring op te doen over de virtuele kant van de vaarwegmarkeringen, zowel bij de vaarwegbeheerder als bij de gebruiker.
- Er zou een inventarisatie naar (buitenlandse) ontwikkelingen gedaan kunnen worden, om te kijken of alternatieven of andere slimme oplossingen denkbaar zijn.

- De benoemde meerwaarden (kostenbesparing, wegnemen druk op personeel, actuelere/betere informatie) zouden nader gekwantificeerd kunnen worden.
- Uitwerken van ambities en een roadmap op het dossier.

Tenslotte, het werd duidelijk tijdens de studie dat de AIS-analyse nuttige inzichten geeft over het vaargedrag. Los van het DVV-concept kan het waardevol zijn om de resultaten met andere partijen te delen (MARIN voert bijvoorbeeld een studie uit naar nautische veiligheid op de IJssel), en wellicht de analyse uit te breiden.

5 Referenties

- Europese Commissie (2020). Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. Brussels, 9.12.2020 COM (2020) 789 final.
- Jong, J.S. de (2020). KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Impact op de scheepvaart. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0009, d.d. 14 december 2020.
- Jong, J.S. de & R. van der Mark (2021). Toestand van het Systeem en Kwetsbaarheid gebruiksfunctie; KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0022, 7 mei 2021
- Mark, R. van der (2021). Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering; een eerste verkenning. Deltares-rapport met kenmerk 11206800-014-BGS-0008, d.d. 22 december 2021.
- Mark, R. van der (2022). Dynamische Virtuele Vaarwegmarkering op getijderivier. Deltares-memo met kenmerk 1208041-017-BGS-0001, d.d. 23 december 2022.

A CoVadem

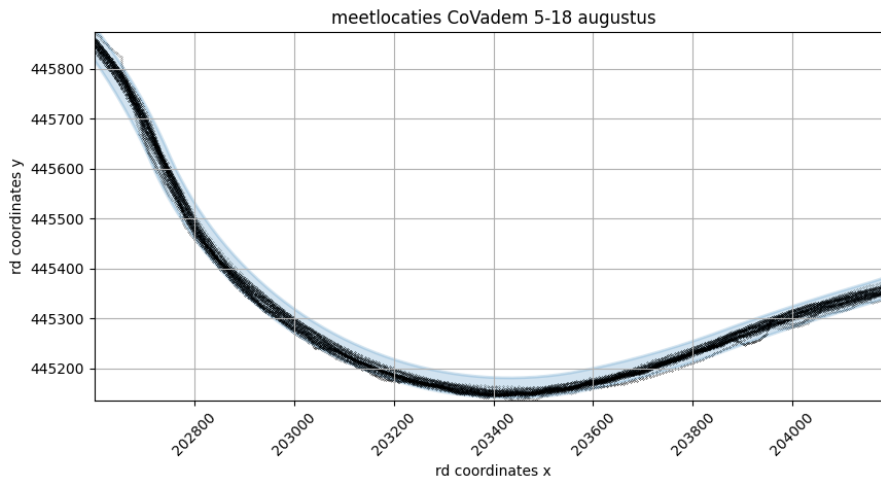
Op de IJssel hebben meerdere schepen gevaren die zijn uitgerust met een CoVadem box. Deze data bevatten waterdiepte en bodemliggingen, afgeleid van de gemeten kielspeling onder de schepen. In principe is deze dataset dus bij uitstek geschikt om een dagelijkse bodemkaart te maken. Er is echter dusdanig weinig data, dat de bodemkaart dan details zou missen. Daarom is in dit onderzoek gekozen voor een statische bodemkaart van een multibeam survey opgenomen tussen 3 en 14 oktober 2022.

Om te bepalen wat de afwijking is van de bodemligging op een dag ten opzichte van begin oktober, is de multibeam data naast de CoVadem data gelegd. Er is gekeken hoe de waterdiepte op een datum afwijkt van de waterdiepte die wij hebben bepaald met multibeam data. We laten hier de resultaten zien voor de bocht bij Doesburg in drie periodes: juli t/m september, oktober, en november t/m december.

Data beschikbaarheid CoVadem

Voor dit onderzoek is een uitgebreide bodemkaart met genoeg dekking over de breedte nodig. Deze bodemkaart moet in ieder geval de gehele vaargeul bedekken. Zonder deze informatie is het niet mogelijk te zeggen waar gevaren kan worden. Daarnaast heeft informatie over de bodemligging buiten de vaargeul ook een enorme meerwaarde. Deze informatie kan bijvoorbeeld worden gebruikt om in te schatten of de vaargeul dagelijks logisch is gedefinieerd, of eventueel verbreed kan worden.

Helaas is er niet genoeg gemeten met CoVadem om zo'n complete bodemkaart te maken. Op dagbasis zijn er vaak maar 2 tot 4 sloopstracks aan informatie beschikbaar, soms minder. Om CoVadem data te gebruiken voor een bodemkaart, is het nodig om data van meerdere dagen te combineren. In Van der Mark (2021) combineerden we bijvoorbeeld 7 dagen aan data voor het maken van een kaart. In Figuur A-1 is zijn de meetpunten van 5 tot 18 augustus van CoVadem te zien. Een smalle strook op de IJssel bevat veel CoVadem meetgegevens. Deze strook bedekt vooral het midden en de buitenbocht van de vaargeul. Er is te zien dat in de binnenbocht van de vaargeul vrijwel geen meetgegevens beschikbaar zijn. Ook zijn er vrijwel geen gegevens van de bodemligging buiten de vaargeul. NB: de officiële vaargeul (blauw) is 40 m breed, de normaalbreedte (tussen de kribkoppen) waar ook mag worden gevaren is circa 2 keer zo groot.



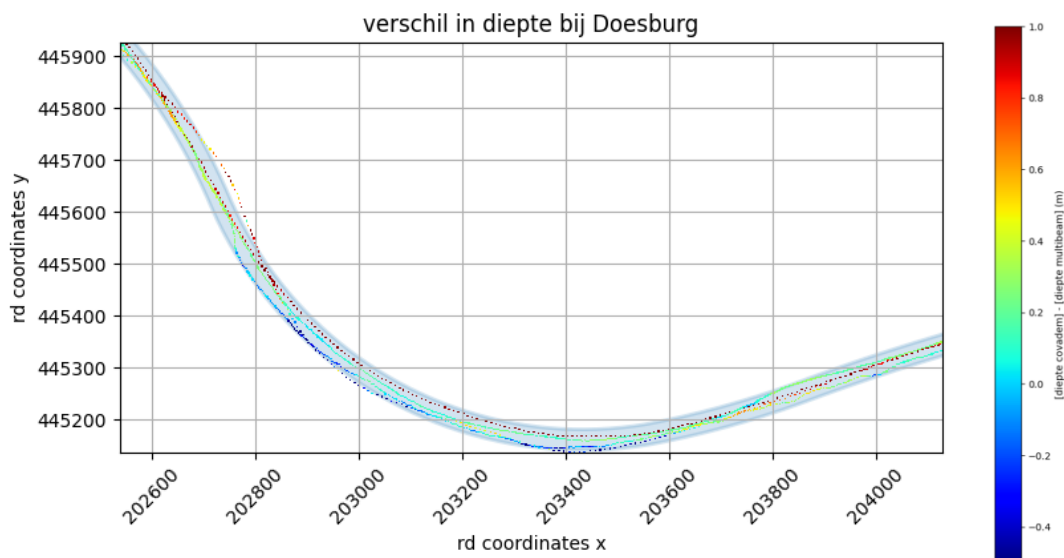
Figuur A-1 Voorbeeld van dekking van CoVadem. In de afbeelding is de vaargeul te zien (blauw) en beschikbare meetpunten van CoVadem in de periode 5-18 augustus (zwart). Te zien is dat meetgegevens ontbreken in de binnenbocht en buiten de vaargeul.

Periode juli t/m september 2022

In de periode juli tot en met september, dus in de maanden voorafgaand aan de multibeam inwinning, zien we over het algemeen dat de binnenbocht bij Doesburg volgens CoVadem dieper is dan wij hebben bepaald aan de hand van de multibeam. Dit betekent dat er meer ruimte in de binnenbocht zou kunnen zijn dan de figuren in het resultaten-hoofdstuk (Figuur 3-2 t/m Figuur 3-17) laten zien. Als een gebied in de binnenbocht als onbevaarbaar wordt gemarkeerd, zou het dus toch bevaarbaar kunnen zijn.

De diepte in de buitenbocht van de vaargeul is soms ondieper in de multibeam data dan in de CoVadem data. Dit betekent dat de buitenbocht van de vaargeul eigenlijk ondieper is dan wij hebben laten zien in de resultaten (Figuur 3-2 t/m Figuur 3-17). In de buitenbochten zou het onbevaarbare gebied mogelijk dus moeten worden uitgebreid.

In Figuur A-2 is een voorbeeld van de afwijking op 1 juli te zien. Een rode stip betekent dat het water mogelijk dieper was dan wij hebben laten zien in de resultaten. Een donkerblauwe stip indiceert dat het water mogelijk ondieper was dan wij hebben getoond in de resultaten.

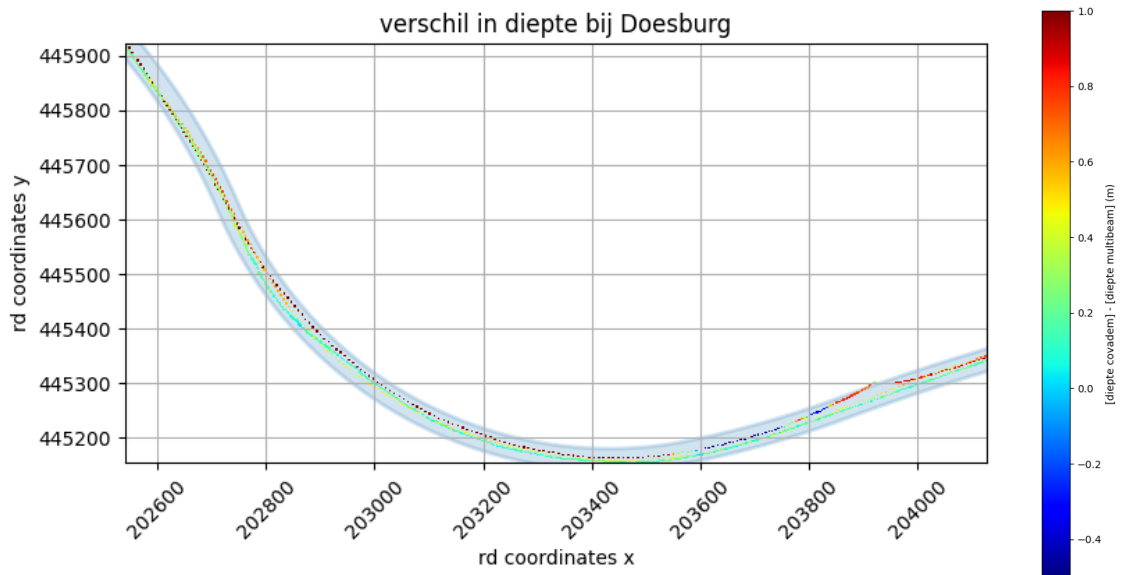


Figuur A-2 Verschil (in meter) tussen diepte gemeten door CoVadem op 1 juli, en diepte berekend met multibeam data van 3/14 oktober. De ligging van de vaargeul is weergegeven als blauwe achtergrond.

Oktober

Zowel de multibeam data als CoVadem data zijn ingewonnen in oktober. We verwachten dat de meetresultaten tussen CoVadem en multibeam goed overeenkomen in deze maand. Toch zien we deze maand nog verschillen in de diepte gemeten door CoVadem en de diepte berekend met de multibeam data. Dit kan komen door meetfouten (het is bekend dat af en toe een schip in de CoVadem vloot een structurele afwijking vertoont, vaak kan die weggefilterd worden) of door kleinschalige morfologische patronen in de rivierbodem die vrij snel verplaatsen. Een rivierduin kan meters per dag verplaatsen, en dus kan een grote afwijking (orde duinhoogte) ontstaan als de twee databronnen een dag na elkaar zijn ingewonnen en op microschaal worden vergeleken.

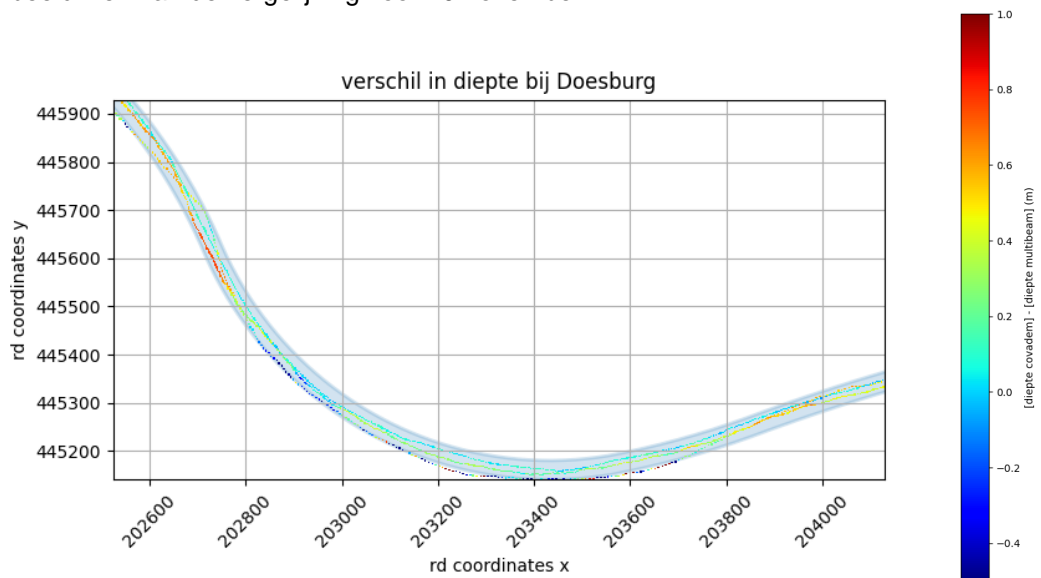
In Figuur A-3 is te zien dat de waterdiepte in de binnenbocht van de vaargeul door CoVadem groter is gemeten dan de diepte berekend met multibeam data. Dit zou kunnen betekenen dat de resultaten (Figuur 3-2 t/m Figuur 3-17) een conservatieve waterdiepte laten zien in de binnenbocht.



Figuur A-3 Verschil (in meter) tussen diepte gemeten door CoVadem op 10 oktober, en diepte berekend met multibeam data van 3/14 oktober. De ligging van de vaargeul is weergegeven als blauwe achtergrond.

Periode november - december

In de maanden november en december lijken de metingen van CoVadem het best overeen te komen met de berekende waterdieptes op basis van multibeam data. Figuur A-4 laat een voorbeeld zien van de vergelijking voor 10 november.



Figuur A-4 Verschil (in meter) tussen diepte gemeten door CoVadem op 10 november, en diepte berekend met multibeam data van 3/14 oktober. De ligging van de vaargeul is weergegeven als blauwe achtergrond.

Belangrijke toevoeging

Om wat gevoel te krijgen hoeveel afwijking in bodemligging ten opzichte van de multibeam er kan zijn (hoeveel bodemontwikkeling er is over een paar maanden tijd) is de bovenstaande vergelijking toegevoegd. Voor een gedegen inzicht in bodemontwikkeling is echter een omvangrijker analyse benodigd.

Hierboven is op één locatie voor enkele dagen binnen de drie genoemde periodes een vergelijking gemaakt tussen multibeam en CoVadem waterdiepte.

Het is belangrijk om hierbij te vermelden dat de constatering niet generiek voor de gehele periode en de gehele Boven-IJssel hoeven te gelden. Het kan zijn dat er toevallig net één schip uit de CoVadem vloot op die dag een foute meting vertoont (lokaal door een storing of structureel over de hele reis). Normaalgesproken worden foutieve data (door CoVadem of ook in Van der Mark, 2021) weggefilterd, bijvoorbeeld middels vergelijking met andere tracks rondom diezelfde dag. Daarnaast worden CoVadem data vaak op een raster geprojecteerd om bij een vergelijking geen last te hebben van kleinschalige morfologische fenomenen die zo een afwijking van een meter (duinhoogte) kunnen leveren.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl