



Vlaanderen
is wetenschap



21_002_1
WL rapporten

Wachtsteiger Ketelplaat

Deelrapport 1
Morfologische ontwikkelingen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Wachtsteiger Ketelplaat

Deelrapport 1 – Morfologische ontwikkelingen

Plancke, Y.; De Maerschallck, B.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2021
D/2021/3241/210

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; De Maerschalc, B.; Mostaert, F. (2021). Wachtsteiger Ketelplaat: Deelrapport 1 – Morfologische ontwikkelingen. Versie 3.0. WL Rapporten, 21_002_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Oprichtgever:	GNA	Ref.:	WL2021R21_002_1
Trefwoorden (3-5):	Morfologie, Zeeschelde, meerpalen		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Morfologie. > Erosie/sedimentatie> Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	17	Bijlagen (p.):	3
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Maerschalc, B.	Getekend door: Bart De Maerschalc (Sig) Getekend op: 2021-09-03 10:25:10 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschalc</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2021-09-16 08:31:15 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F. Voor het afdelingshoofd, afwezig Patrik Peeters, Ingenieur, belast met de leiding van de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium	Digitaal ondertekend door Patrik Peeters (Signature) Datum: 2021.09.02 18:18:27 +02'00'
-----------------	---	---



Abstract

In dit onderzoek is een analyse uitgevoerd van de recente morfologische ontwikkelingen nabij de wachtsteiger ter hoogte van de Ketelplaat in de Beneden-Zeeschelde. De aanleiding van de analyse is de vastgestelde verondieping opwaarts van de wachtsteiger en de vraag in welke mate deze gerelateerd is aan de aanwezigheid van de wachtsteiger. Een analyse van de morfologie op basis van beschikbare peilingen, zowel op grote schaal als lokaal, toont dat dit gebied ook voor de bouw van de wachtsteiger gekenmerkt werd door sedimentatie en erosie. Sinds de plaatsing van de meerpalen, treedt er echter een sterke erosie op rond deze meerpalen, die deels bijdraagt aan de opwaarts vastgestelde sedimentatie. Een theoretische inschatting werd gemaakt van de te verwachte diepte van de erosiekuil. Hieruit blijkt dat de huidige toestand reeds neigt naar de verwachte diepte, doch dat bijkomende erosie in het opwaartse deel mag verwacht worden. Om de toekomstige ontwikkelingen op te volgen wordt tenslotte een voorstel van monitoring gedaan.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
1.2 Doelstelling.....	1
2 Studiegebied en beschikbare gegevens	2
2.1 Studiegebied.....	2
2.2 Bathymetrische data	3
2.2.1 Beschikbare data	3
2.2.2 Bathymetrische analyse.....	3
2.2.3 Raaien	4
2.3 Stortactiviteiten.....	5
3 Wachtsteiger Ketelplaat	6
3.1 Bouwtechnisch ontwerp.....	6
3.2 Theoretische inschatting mogelijke erosiekuilen	7
4 Grootschalige morfologie	8
5 Lokale morfologie	11
5.1 Bathymetrie.....	11
5.2 Raaien	14
6 Conclusies en aanbevelingen	16
6.1 Conclusies.....	16
6.2 Aanbevelingen	16
7 Referenties	17
Bijlage 1 Ontwikkelingen op lange termijn	B1
Bijlage 2 Dwarsprofielen	B3

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht gebruikte bathymetrische opnames..... 3

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Studiegebied	2
Figuur 2 – Ligging raaien (1-8) en volume-berekeningspolygoon in studiegebied	4
Figuur 3 – Maandelijkse storthoeveelheden voor stortzone Ketelputten	5
Figuur 4 – 3D-beeld van een individuele meerpaal (links) en dwarsdoorsnede (rechts).....	6
Figuur 5 – Grootschalig morfologische evolutie studiegebied – periode 2015-2017	9
Figuur 6 – Grootschalig morfologische evolutie studiegebied – periode 2018-2020	10
Figuur 7 – Lokale erosie in de zone van de wachtsteiger	11
Figuur 8 – Lokale (detail wachtsteiger) morfologische evolutie studiegebied – periode 2019-2020.....	12
Figuur 9 – Lokale (detail wachtsteiger) morfologische evolutie studiegebied – periode 2020-2021	13
Figuur 10 – Morfologische evolutie ter hoogte van langsraai 1 (periode 2018-2021).....	14
Figuur 11 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 2 (periode 2018-2021)	15
Figuur 12 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 3 (periode 2018-2021)	15
Figuur 13 – Ligging dwarsraaien in studiegebied	1
Figuur 14 – Morfologische evolutie ter hoogte van raaien (periode 2010-2020).....	2
Figuur 15 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 4 (periode 2018-2020)	3
Figuur 16 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 5 (periode 2018-2020)	3

1 Inleiding

1.1 Situering

In december 2020 werd het Waterbouwkundig laboratorium gecontacteerd naar aanleiding van een vastgestelde verondieping ter hoogte van boei 87, net opwaarts van de wachtsteiger op de Ketelplaat. De vraag werd gesteld in welke mate de verondieping gerelateerd was aan de aanwezigheid van de meerpalen van de wachtsteiger, welke in de loop van 2019 werden geplaatst.

1.2 Doelstelling

In voorliggend rapport wordt een morfologische analyse beschreven van de zone nabij de wachtsteiger van de Ketelplaat. De analyse heeft tot doel (1) na te gaan of en zo ja, in welke mate de verondieping kan gerelateerd worden aan de aanwezigheid van de wachtsteiger en (2) een inschatting te maken in welke mate dit proces zich in de toekomst zal manifesteren.

Om bovenstaande onderzoeksvragen te beantwoorden zal gebruik gemaakt worden van de reguliere peilingen (sectiekaarten) die jaarlijks door Vlaamse Hydrografie worden ingewonnen. Op basis hiervan zullen de grootschalige morfologische veranderingen in het gebied in beeld gebracht worden (hoofdstuk 4). Tevens zullen de extra detailpeilingen beschouwd worden in een detailanalyse rond de wachtsteiger (hoofdstuk 5). De vastgestelde erosie rond de meerpalen zal vergeleken worden met een theoretische inschatting van de verwachte erosiekuil (hoofdstuk 3), om op deze manier een inschatting te maken van de toekomstige ontwikkelingen (hoofdstuk 6).

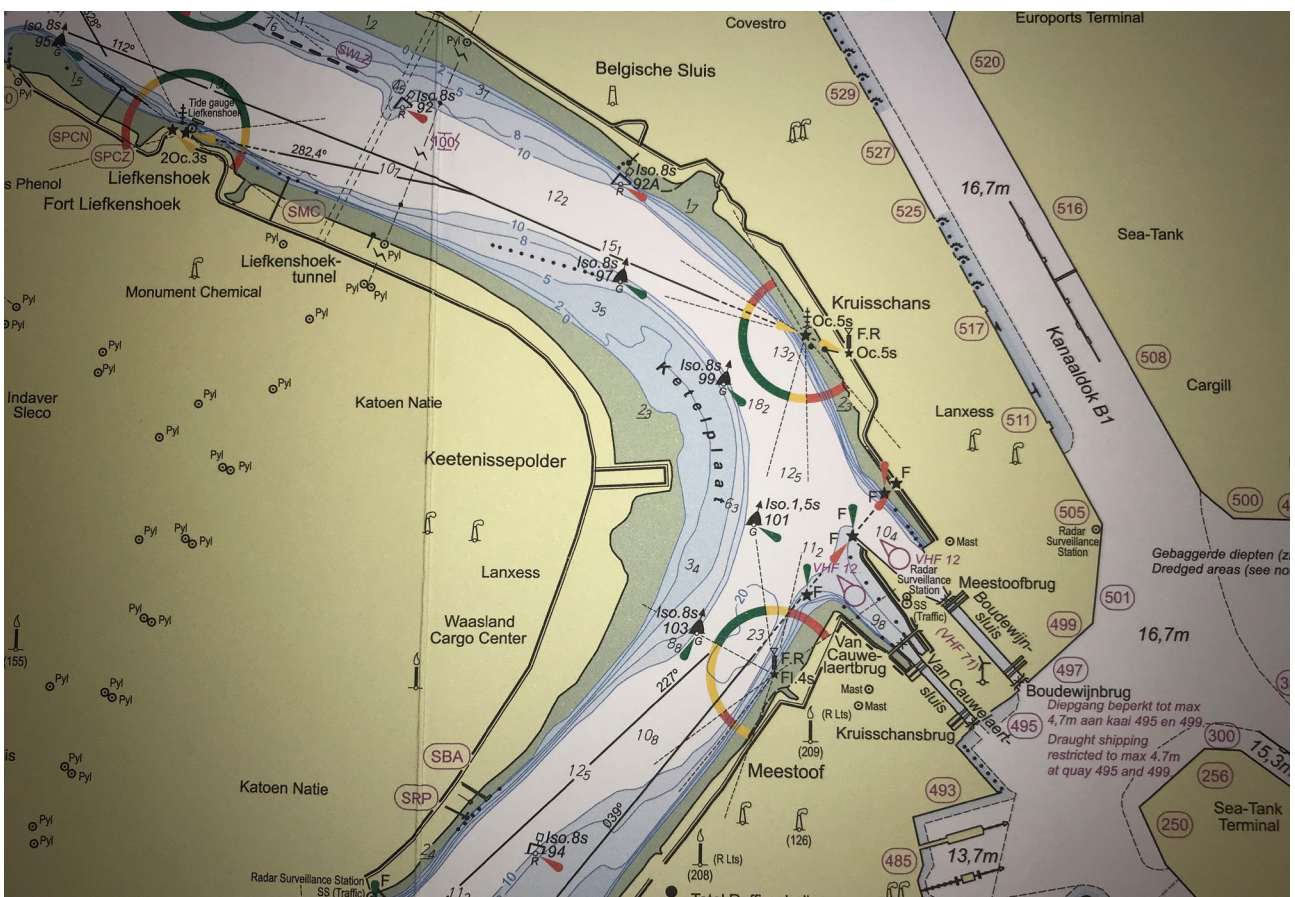
2 Studiegebied en beschikbare gegevens

2.1 Studiegebied

De wachtsteigers bevinden zich in de Beneden-Zeeschelde ter hoogte van de Ketelplaat. Deze plaat is gelegen in de binnenbocht tegenover de toegangsgemaal van het Boudewijn en Van Cauwelaert-sluizencomplex (Figuur 1). De meerpalen werden geplaatst net buiten de betonde vaargeul, afwaarts van boei 97, in een gebied met initiële bodemdpte tussen -7 en -8 mTAW¹.

De vaargeul kent hier een diepteligging van ca. -13 mTAW, met ondiepere zone ter hoogte van de drempels en diepere zones in de buitenbocht. Deze diepere delen worden ook de 'Ketelputten' genoemd.

Ter hoogte van de linkeroever ligt het Ketenisseschor, een slik- en schorgebied dat begin van de 21^e eeuw door afgraving van sediment opnieuw onderhevig aan het getij kwam (Verbessem *et al.*, 2007).



Figuur 1 – Studiegebied

¹ In het studiegebied ligt het 0 mTAW-vlak ca. 75 cm boven het 0 mLAT-vlak. Deze diepten komen overeen met -6,25 en -7,25 mLAT.

2.2 Bathymetrische data

2.2.1 Beschikbare data

In het kader van het MONEOS-programma (Plancke *et al.*, 2012) wordt sinds 2008 de bathymetrie van de Beneden-Zeeschelde jaarlijks opgemeten door de Vlaamse Hydrografie. Hiervoor wordt met behulp van een multibeam echo-sounder (MBES) een gebiedsdekkende bodemligging opgemeten, met een ruimtelijke resolutie van 1x1 m. Deze peilingen zijn gekend onder de vakterm “sectiekaarten”. In het kader van voorliggend onderzoek wordt gebruik gemaakt van de metingen sinds 2015.

Naar aanleiding van de vaststelling van de erosie rond de meerpalen, werden bijkomende MBES-uitgevoerd. Deze metingen bestrijken slechts een kleiner gebied nabij de meerpalen, en werden tot op heden 4 maal uitgevoerd sinds december 2020. Tabel 1 geeft een overzicht van de verschillende peilingen die binnen dit onderzoek worden gebruikt.

Tabel 1 – Overzicht gebruikte bathymetrische opnames

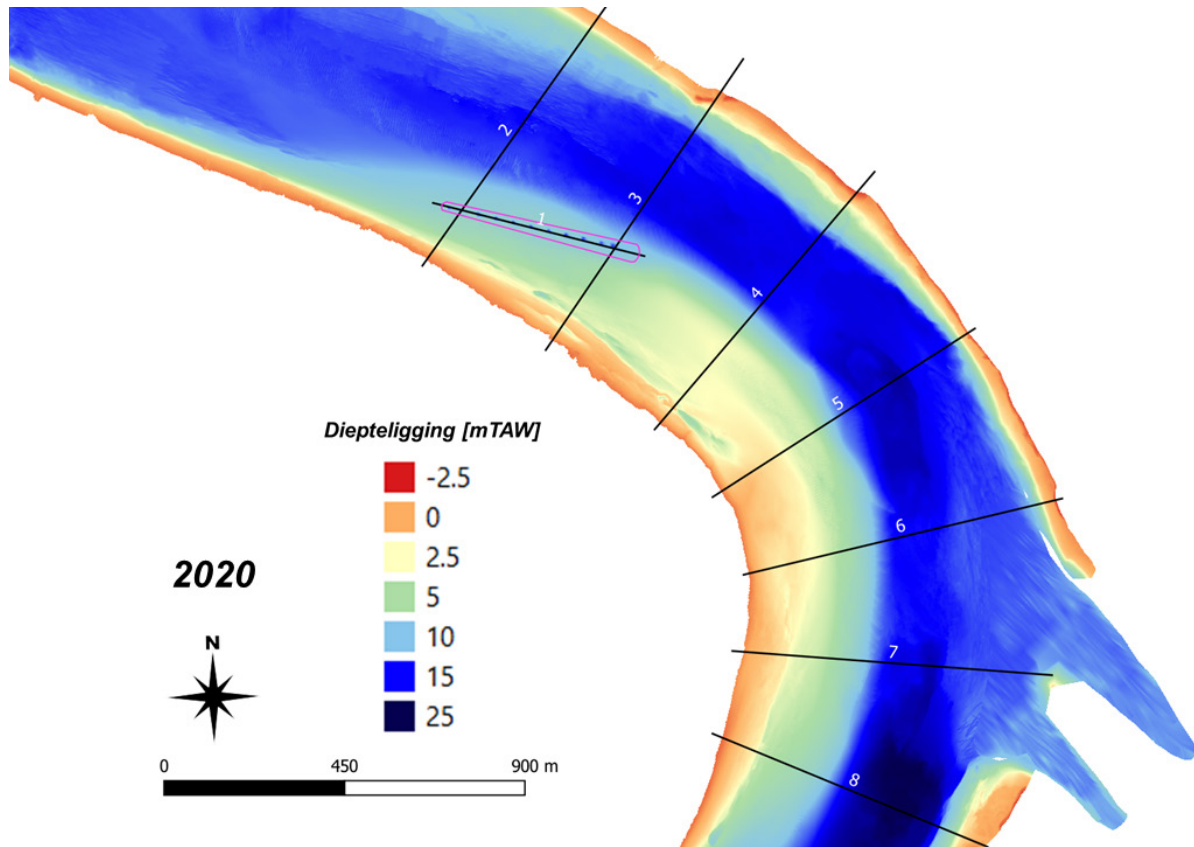
Moment van opname	Gebied
2014	Sectiekaart Doel - Filip
2015	Sectiekaart Doel - Filip
2016	Sectiekaart Doel - Filip
2017	Sectiekaart Doel - Filip
2018 (maart)	Sectiekaart Doel - Filip
2019 (juni)	Sectiekaart Doel - Filip
2020 (februari)	Sectiekaart Doel - Filip
21/12/2020	Detail wachtsteiger
20/01/2021	Detail wachtsteiger
11/03/2021	Detail wachtsteiger
25/03/2021	Detail wachtsteiger

2.2.2 Bathymetrische analyse

In de volgende hoofdstukken worden zowel de grootschalige (H4) als de gedetailleerde (H5) morfologische ontwikkelingen in het studiegebied beschreven. Hiervoor wordt enerzijds de absolute diepteligging geanalyseerd als de morfologische evoluties aan de hand van verschilkaarten. Daar waar de sectiekaarten jaarlijks worden opgemeten, werden de aanvullende peilingen met een onregelmatige tussentijd opgemeten. Daarom wordt ervoor gekozen de diepteveranderingen bij de gedetailleerde analyse uit te drukken in m/jaar, om de verschilkaarten onderling vergelijkbaar te maken. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat, omwille van korte tussentijd, kleine verandering op deze manier uitvergroot worden. Deze verschilkaarten dienen met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd.

2.2.3 Raaien

Naast de grootschalige en gedetailleerde morfologische analyse, is ervoor gekozen een bijkomende analyse uit te voeren aan de hand van een aantal raaien Figuur 2. Eén raai (raai 1) werd getekend over de wachtsteiger (“langsraai”), de overige raaien werden dwars over de vaargeul gelegd. Voor de gedetailleerde analyse werden enkel de langsraai en de 2 dwarsraaien nabij de wachtsteiger beschouwd, dit omwille van de kleinere ruimtelijke afbakening van de extra peilingen.

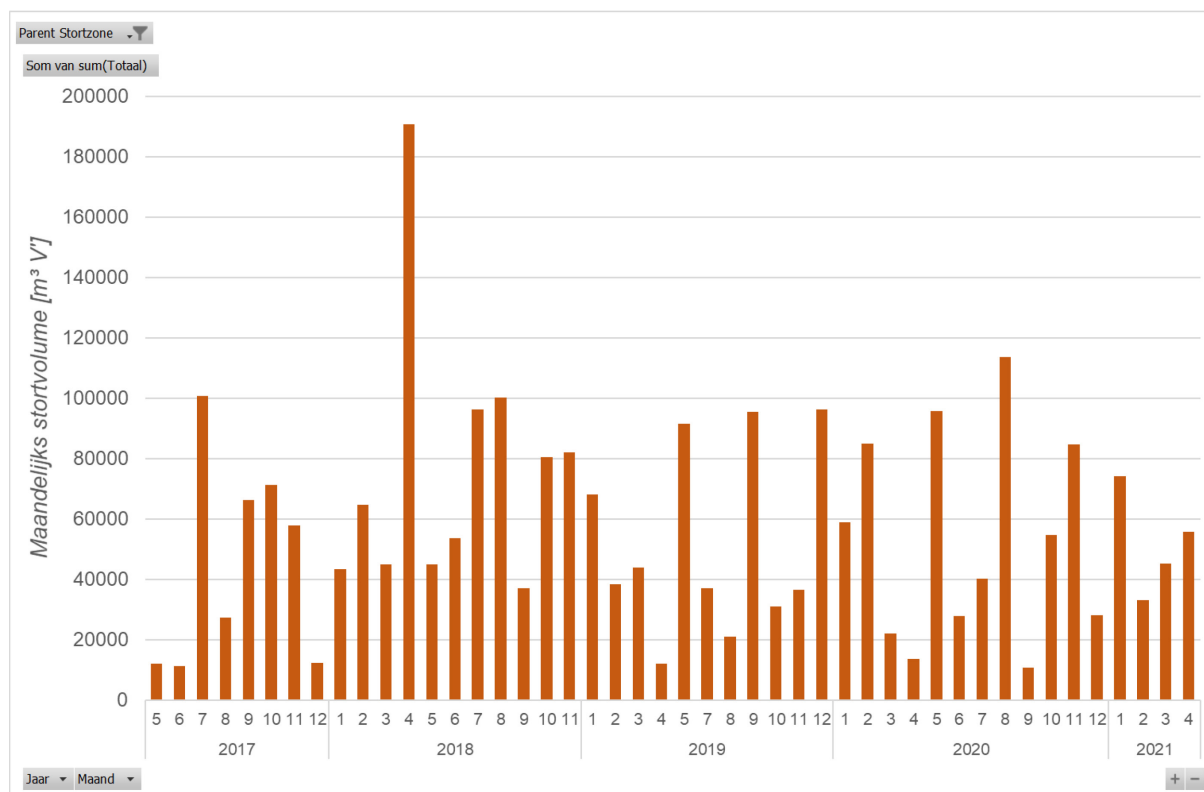


Figuur 2 – Ligging raaien (1-8) en volume-berekeningspolygoon in studiegebied

2.3 Stortactiviteiten

Om de toegankelijkheid tot de haven van Antwerpen te garanderen worden er quasi continu onderhoudsbaggerwerken, zowel op de drempel in de vaargeul als in de toegangseulen tot de sluisen en het Deurganckdok. In de Beneden-Zeeschelde wordt deze specie teruggestort afhankelijk van het type specie. Zanderige specie wordt teruggestort in de Schaar van Ouden Doel en de Parelputten, slibrijke specie wordt teruggestort ter hoogte van Oosterweel (eb) en Punt van Melsele en Ketelputten (vloed). De locatie nabij de Ketelputten is relatief nieuw en wordt; in tegenstelling tot de andere locaties, pas sinds mei 2017 ingezet als stortlocatie. Aangezien deze locatie binnen het studiegebied is gelegen, wordt hier dieper op ingegaan.

Figuur 3 geeft een overzicht van de maandelijkse gestorte hoeveelheden (in $\text{m}^3 \text{V}'^2$) van slibrijke onderhoudsbagger-specie. Sinds mei 2017 werd ca. $2,6 \text{ Mm}^3 \text{V}'$ slibrijke onderhoudsspecie gestort in deze stortzone. Er is een aanzienlijke variatie doorheen de tijd, waarbij er maanden zijn zonder stortingen, en de spreiding (P10-P90) varieert tussen 12915 m^3 en $96274 \text{ m}^3 \text{V}'$ en een mediaan (P50) van bijna $50000 \text{ m}^3 \text{V}'$. Hoewel deze stortingen zorgen voor een extra aanbod van sediment, wordt ervan uitgegaan dat de stabiliteit van de gestorte specie (slib) zeer beperkt is, naar analogie met de ervaring ter hoogte van de klassieke stortzones nabij Oosterweel. De slibrijke specie zal door de stroming geërodeerd worden en over een groot deel (ca. 15 km over één getijfase, i.e. eb of vloed) van de Beneden-Zeeschelde verspreid worden.



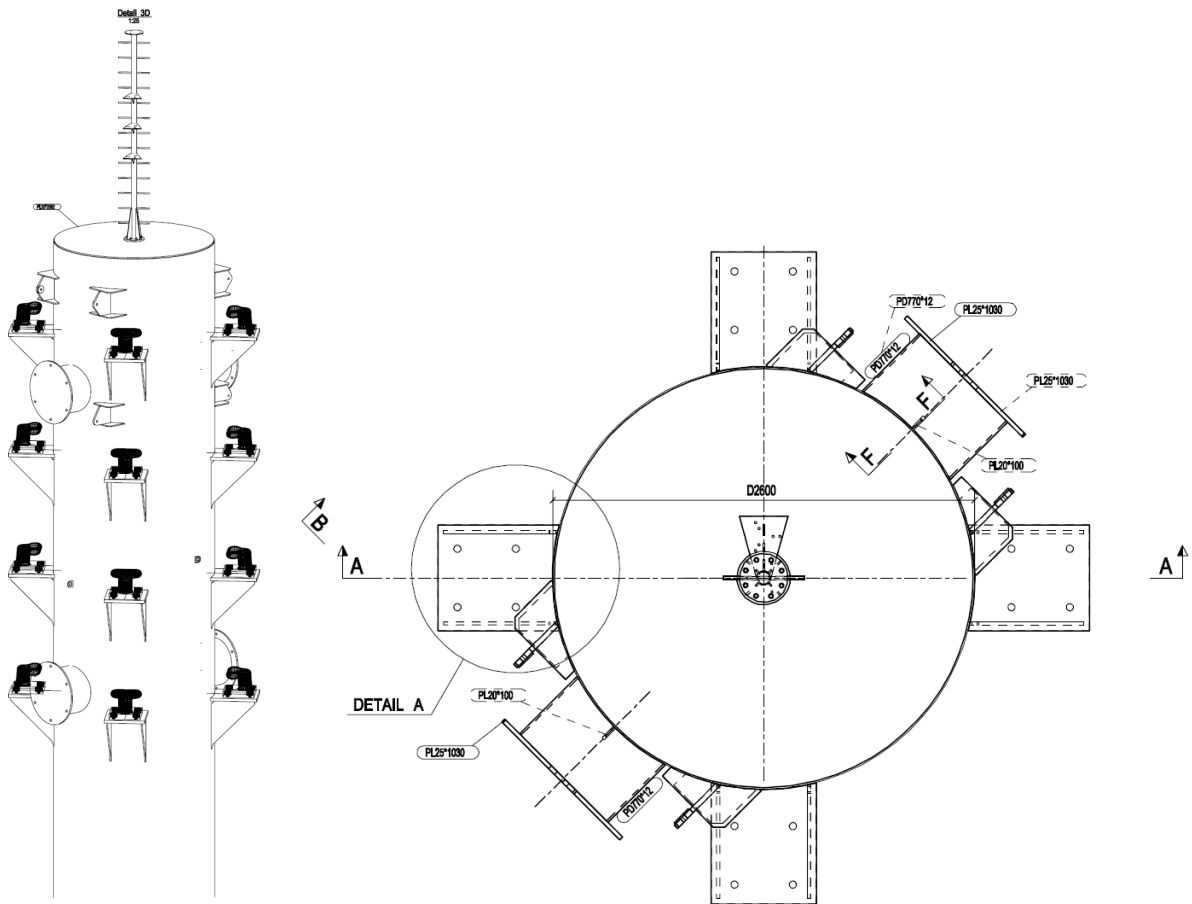
Figuur 3 – Maandelijkse storthoeveelheden voor stortzone Ketelputten

² V' – gereduceerd volume: dit is het volume dat de specie zou aannemen bij een dichtheid van 2 ton/m^3

3 Wachtsteiger Ketelplaat

3.1 Bouwtechnisch ontwerp

De wachtsteigers bestaan uit 11 meerpalen met een tussenafstand van 45 m, m.u.v. de 2 buitenste palen die op 30 m van hun buurpaal staan. De meerpalen zijn cilindrische en hebben een buitendiameter van 2,6 m en zijn 41,5 m lang (Figuur 4). De onderkant van de meerpalen bevindt zich op -32,5 m TAW. Ze werden geplaatst (heien) in de periode van 26 augustus t.e.m. 9 september 2019. De meerpalen zijn in de getijdzone uitgerust met bolders (16) en fenders (2).



Figuur 4 – 3D-beeld van een individuele meerpaal (links) en dwarsdoorsnede (rechts)

3.2 Theoretische inschatting mogelijke erosiekuilen

Het ontstaan van erosiekuilen is een gekend fenomeen dat veelvuldig is beschreven voor brugpijlers. De Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18) (Arneson *et al.*, 2012) beschrijft uitgebreid de onderliggende processen en geeft een aantal formules voor het inschatten van de potentiële erosie. Voor locaties met een Froude-getal kleiner dan 0,8 (zoals hier het geval), geeft men volgende vuistregel:

$$y_s = 2,4 \times D$$

met y_s de diepte van de erosiekuil [m] en D de diameter van de pijler [m].

Op basis van deze vuistregel en de buitendiameter van de meerpalen van 2,6 m, wordt een indicatieve diepte van de erosiekuil bekomen van 6,24 m.

Daarnaast geeft HEC-18 een uitgebreidere formule voor een gedetailleerde berekening:

$$\frac{y_s}{y_1} = 2.0 K_1 K_2 K_3 \left(\frac{a}{y_1} \right)^{0.65} Fr_1^{0.43}$$

Met y_s de diepte van de erosiekuil [m], y_1 de waterdiepte opwaarts van de pijler [m], K_i correctiefactoren [-], a de diameter van de pijler [m] en Fr het Froudegetal [-]. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar (Arneson *et al.*, 2012).

Voor deze uitgebreide berekening dienen een aantal omgevingscondities gekozen te worden. Aangezien de meerpalen in een getijdeomgeving staan, zal de waterdiepte en de stroomsnelheid variëren doorheen de tijd. Om rekening te houden met de situatie die aanleiding geeft tot de grootste diepte van de erosiekuil, zullen de parameters gekozen worden overeenstemmend met de situatie optredend voor maximale vloed bij een springtij: $v = 2$ m/s en $y_1 = 13$ m (initiële bodemdiepte van -9m TAW + 4m waterhoogte t.g.v. getij). Bovenstaande formule resulteert also in een diepte van de erosiekuil van 4,77 m, ca. 25% minder dan op basis van de vuistregel.

Er dient opgemerkt worden dat bovenstaande formules geldig zijn voor individuele pijlers. Wanneer de pijlers voorkomen in rijen/matrices van meerdere pijlers, zoals hier het geval bij de wachtsteiger, zal het potentiële effect groter worden. De exacte waarde hangt af van o.a. de tussenafstand tussen de pijlers en de oriëntatie ten opzichte van de stroming. De waarden geldig voor de configuratie van de wachtsteiger vallen buiten de getabuleerde waarden in HEC-18, maar een verhoging met een factor 2 lijkt gerechtvaardigd. Hierdoor verhoogt de potentiële diepte van de erosiekuil, berekend met de uitgebreide formule, tot 9,55 m.

4 Grootschalige morfologie

Figuur 5 en Figuur 6 geven de grootschalige morfologische veranderingen weer in het studiegebied over de periode 2015-2020. Het grootste deel van het gebied is relatief stabiel, zonder sterke erosie of sedimentatie. Een uitzondering hierop is de rand van de Ketelplaat nabij boei 99, gelegen opwaarts van de wachtsteiger en grenzend aan de diepere delen van de vaargeul. Op alle verschilkaarten kan in deze zone een afwisselend patroon van erosie en sedimentatie worden vastgesteld. Dit is het meest uitgesproken in de periode 2016-2017 en 2019-2020.

In aanvulling aan de erosie-sedimentatie patronen, worden in bijlage de hoogteveranderingen getoond ter hoogte van een aantal dwarsraaien in het studiegebied.

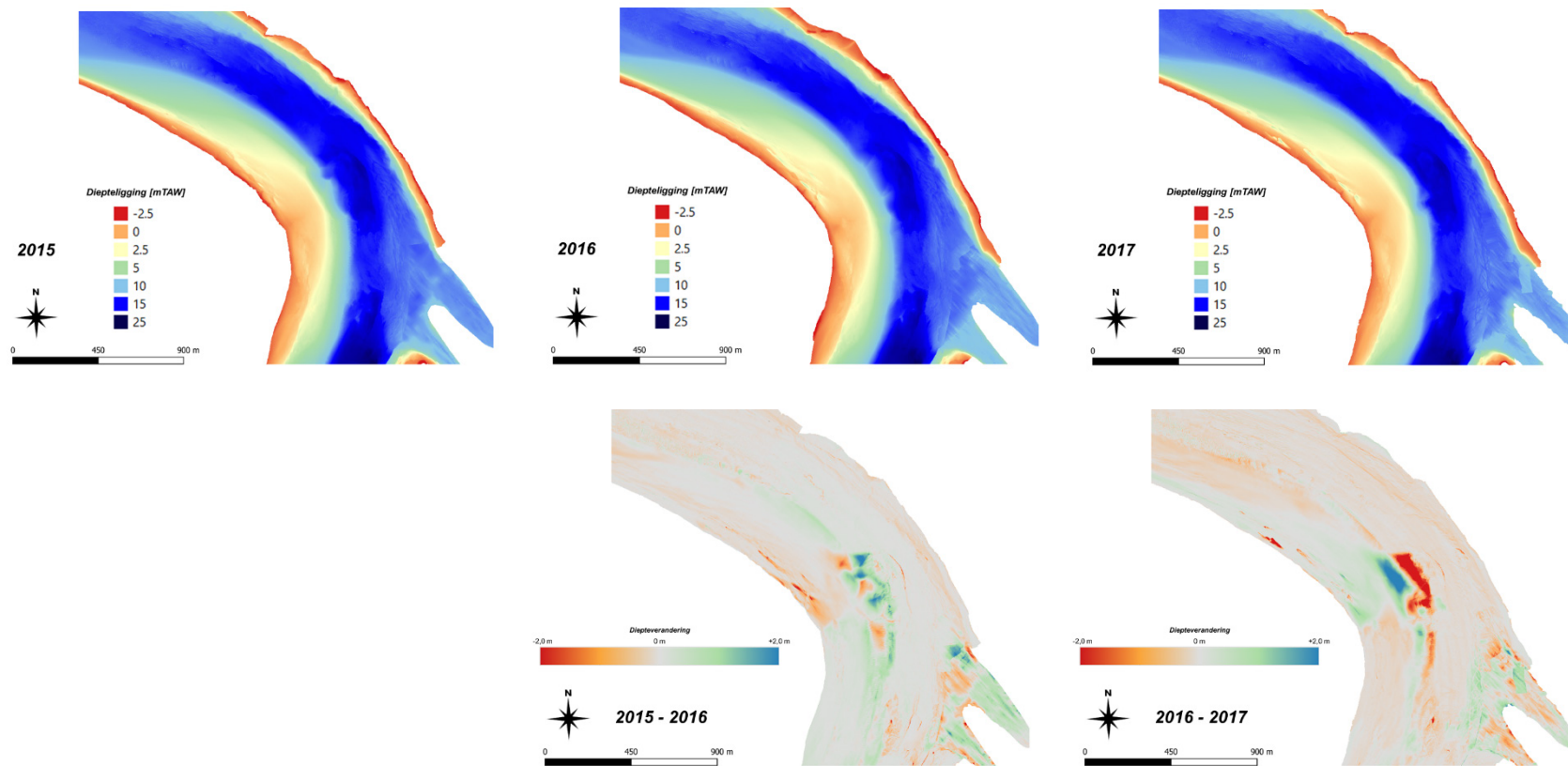
De oorzaak van deze morfologische ontwikkelingen kan vermoedelijk toegeschreven worden aan de beperkte stabiliteit van het onderwatertalud, waardoor zich hier plaatvallen kunnen voordoen. De tussentijd van 1 jaar tussen 2 sectiekaarten is echter te lang om hierover uitsluitsel te bieden.

De rol van de stortingen van onderhoudsspecie is vermoedelijk eerder beperkt, aangezien de patronen voor en na 2017 (i.e. moment dat stortingen gestart zijn) niet fundamenteel verschillen. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat de aanwezigheid van een aandeel zand in de slibrijke specie, wel een invloed zou kunnen hebben op de morfologische ontwikkelingen. Zanderige specie is aanzienlijk stabielere dan slib, en de locatie van de stortzone in de bocht zorgt ervoor dat de specie onder invloed van helicoïdale bochtstroming van de buitenkant naar de binnenkant van de bocht kan worden getransporteerd. Op deze manier kunnen de zanderige fractie uit de stortingen bijdragen aan de versteiling van het onderwatertalud, en alzo aanleiding geven tot het frequenter optreden van plaatvallen. De huidige beschikbare peilingen laten echter niet toe dit te bevestigen, noch te ontcrachten. Bovendien dient men hierbij op te merken dat de gestorte specie op deze locatie slechts een beperkt aandeel zandfractie zal bevatten.

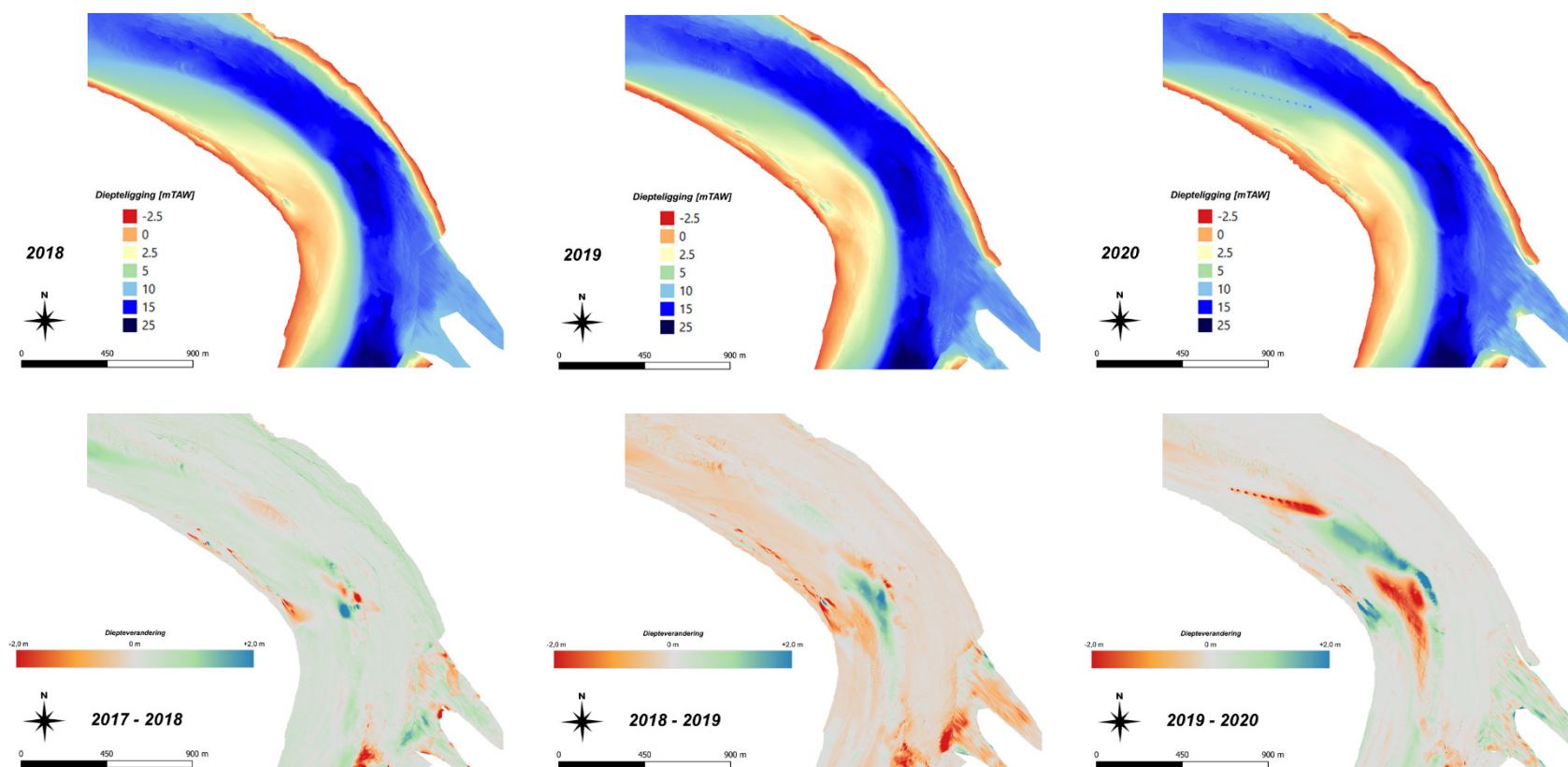
Voor de periode 2019-2020 wordt een afwijkend patroon teruggevonden, waar de bouw van de meerpalen medio 2019 een verklaring in vormt. Op de verschilkaart 2019-2020 kunnen 3 grootschalige morfologisch dynamische zones teruggevonden:

- Zone rond de meerpalen, gekenmerkt door erosie (42 000 m³)
- Zone opwaarts van de meerpalen, tussen boei 97 en 99, gekenmerkt door sedimentatie (110 000 m³)
- Zone op de Ketelplaat, ter hoogte van boei 99, gekenmerkt door erosie (87 000 m³)

Uit de volumeberekening voor bovenstaande deelzones blijkt dat de sedimentatie opwaarts van de wachtsteiger niet één op één overeenkomt met de erosie rond de meerpalen. De hoeveelheid sediment aanwezig in de zone met sedimentatie is aanzienlijk hoger (bijna factor 3) dan het geërodeerde volume rond de meerpalen. Wanneer de 3 zones samen beschouwd worden, blijkt de volumebalans wel bijna sluitend te zijn. De sedimentatie in de zone opwaarts de wachtsteiger kent dus een bijdrage (1/3) vanuit de erosie rond de meerpalen, maar evenzeer een bijdrage (2/3) van de erosie op de Ketelplaat. Het uitgesproken erosie-sedimentatie patroon ter hoogte van boei 99, zou hier ook weer het gevolg kunnen zijn van een plaatval op deze locatie.



Figuur 5 – Grootschalig morfologische evolutie studiegebied – periode 2015-2017
 Boven: absolute diepteligging | onder: diepteverandering



Figuur 6 – Grootschalig morfologische evolutie studiegebied – periode 2018-2020
Boven: absolute diepteligging | onder: dieptevarandering

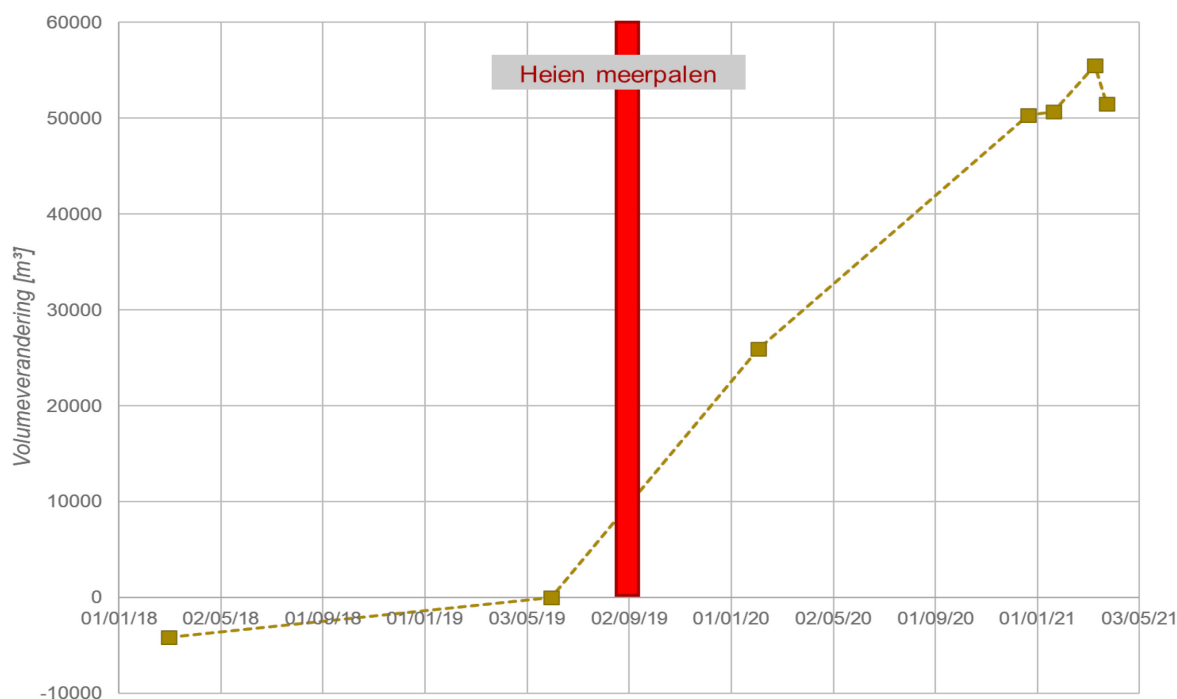
5 Lokale morfologie

5.1 Bathymetrie

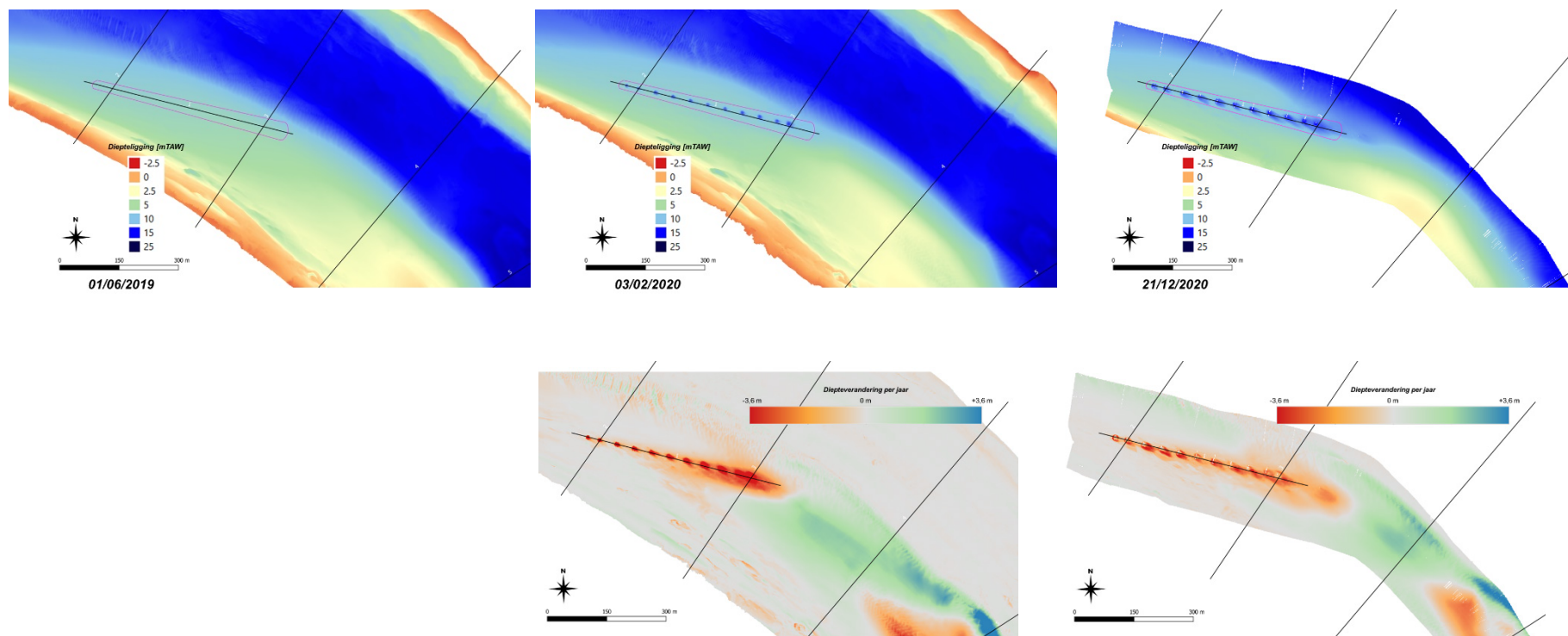
Figuur 8 en Figuur 9 geven de lokale morfologische veranderingen weer in de zone rond de wachtsteiger over de periode 2019-2021. Het patroon dat in de grootschalige morfologie werd vastgesteld over de periode 2019-2020 wordt hier ook in de later peilingen teruggevonden. In de verschilkaarten is zichtbaar dat ook in de periode na de laatste sectiekaart (2/3/2020) de erosie rond de meerpalen zich verderzet. Door de korte tussentijd voor de laatste peilingen en het herleiden van de verschillen naar jaarlijkse veranderingen, worden de erosie-sedimentatiepatronen op de extra peilingen versterkt, waardoor deze met de nodige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd.

Om een inschatting te maken van de erosiesnelheid rond de meerpalen, werd een contour rond de erosieve zone rond de meerpalen gedefinieerd (Figuur 2), waarbinnen volumeberekeningen werden uitgevoerd. De volumeveranderingen worden gerelateerd aan het volume bepaald in de laatste peiling voor de plaatsing van de meerpalen (zomer 2019) en worden getoond in Figuur 7. Hieruit blijkt dat de erosie zich manifesteert na het heien van de meerpalen en dat deze zich in 2020 doorzet. De recente peilingen (2021) tonen een variabelere verloop, waarbij de periode januari – begin maart 2021 erosie toont, doch de periode maart 2021 sedimentatie toont. Door de korte tijd tussen de peilingen, is het moeilijk hier een conclusies uit te trekken.

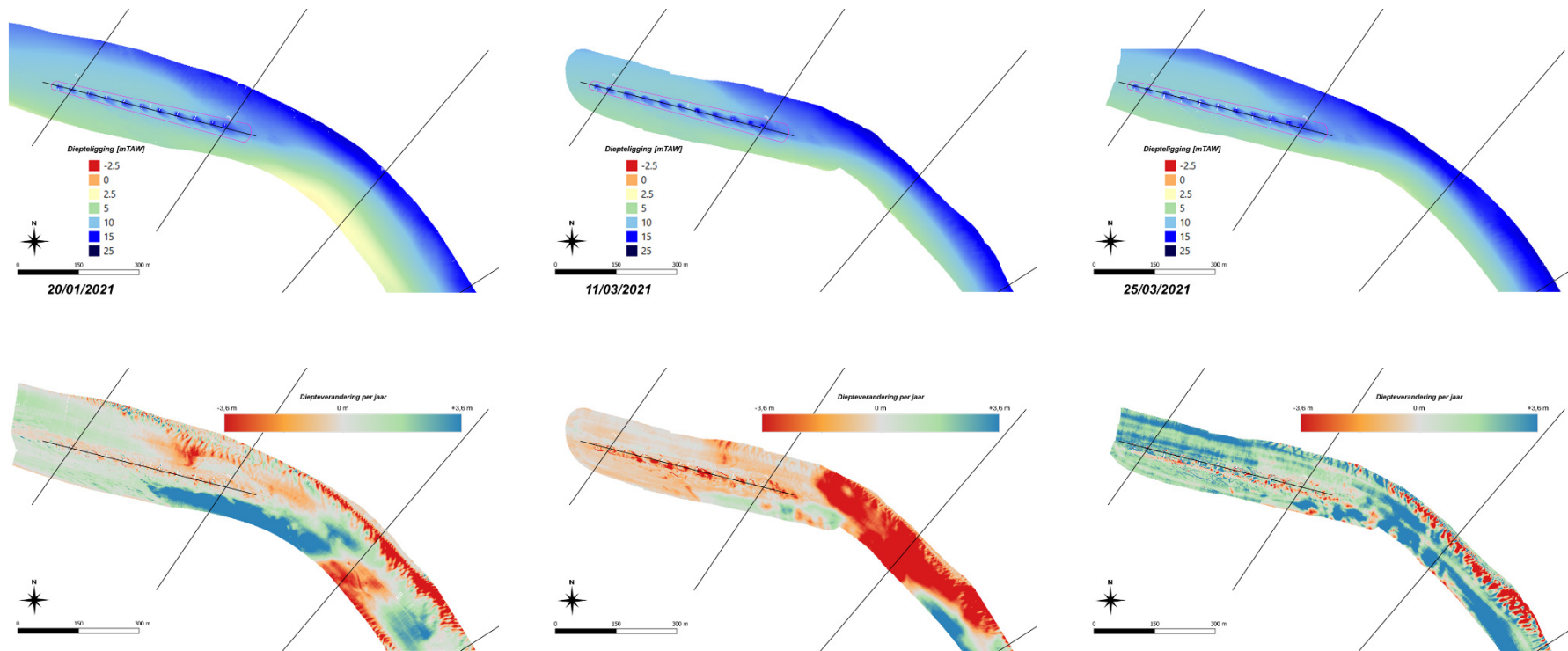
Wanneer de berekende volumeverandering worden omgerekend naar hoogteveranderingen, en er tevens verondersteld wordt dat de erosie pas optreedt na het plaatsen van de meerpalen, wordt een erosiesnelheid bekomen van 30 cm/maand over de eerste 6 maanden (september 2019-februari 2020) na de plaatsing, terwijl deze afneemt tot 13 cm/maand in de daaropvolgende maanden (maart-december 2020). Over de laatste 3 maanden (januari-maart 2021) daalt de erosiesnelheid verder tot 2 cm/maand, doch met aanzienlijke variatie binnen deze periode.



Figuur 7 – Lokale erosie in de zone van de wachtsteiger



Figuur 8 – Lokale (detail wachtsteiger) morfologische evolutie studiegebied – periode 2019-2020
Boven: absolute diepteligging | onder: dieptevarandering (herleid naar m/jaar)



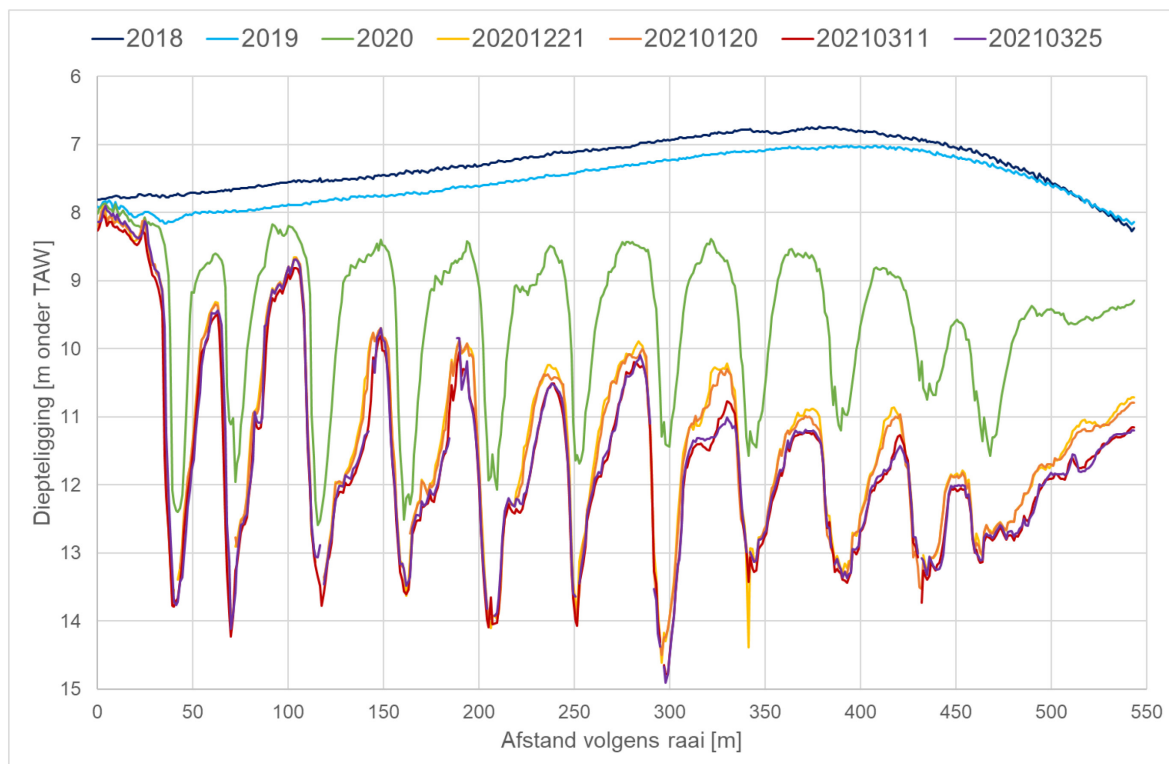
Figuur 9 – Lokale (detail wachtsteiger) morfologische evolutie studiegebied – periode 2020-2021
 Boven: absolute diepteligging | onder: dieptevarandering (herleid naar m/jaar)

5.2 Raaien

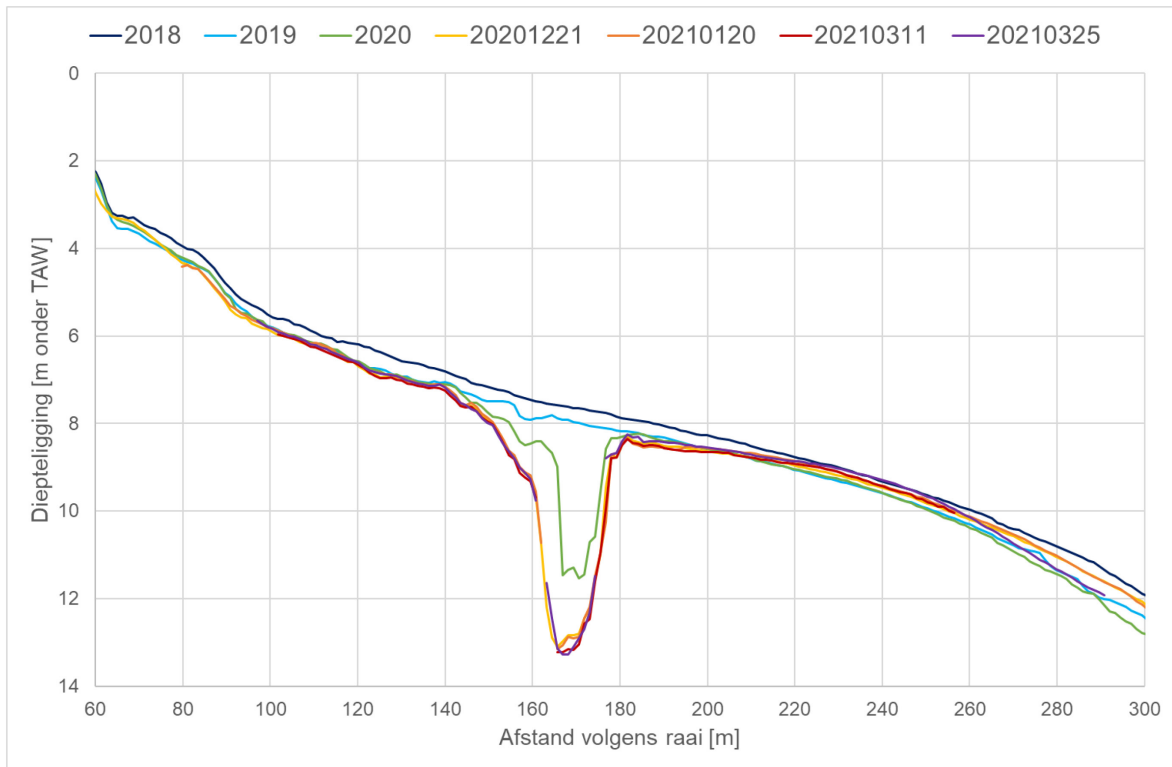
In aanvulling op de lokale morfologische evolutie en bijbehorende volumeveranderingen, tonen volgende figuren de veranderingen op een aantal geselecteerde raaien (voor ligging zie Figuur 2).

De langsraai doorheen de locatie van de wachtsteiger toont het eroderende patroon (Figuur 10) dat ook eerder was beschreven. In de periode voor de bouw van de wachtsteiger is er reeds een beperkte (enkele dm) erosie aanwezig op deze raai. Na de plaatsing van de meerpalen kan er in het eerste jaar (09/2019 - 02/2020) een erosie vastgesteld worden die ter hoogte van de meerpalen oploopt tot 4 m (tot diepte van ca. -12 mTAW), en tussen de meerpalen varieert van minder dan 1 m aan de afwaartse kant (0-100 m) tot meer dan 2 m aan de opwaartse kant (400-500 m). In de periode februari-december 2020 zet deze erosie zich verder, waarbij de diepteligging rond de palen toeneemt tot lokaal -15 mTAW (extra verdieping met 2 à 3 m), terwijl de diepteligging tussen de palen eveneens met 1 à 2 m toeneemt. De recente ontwikkelingen (sinds december 2020) zijn minder uitgesproken, waarbij het erop lijkt dat in het afwaartse deel (0-250 m) de erosie stagneert, terwijl in het opwaartse deel (250-500 m) nog wel verdere erosie optreedt.

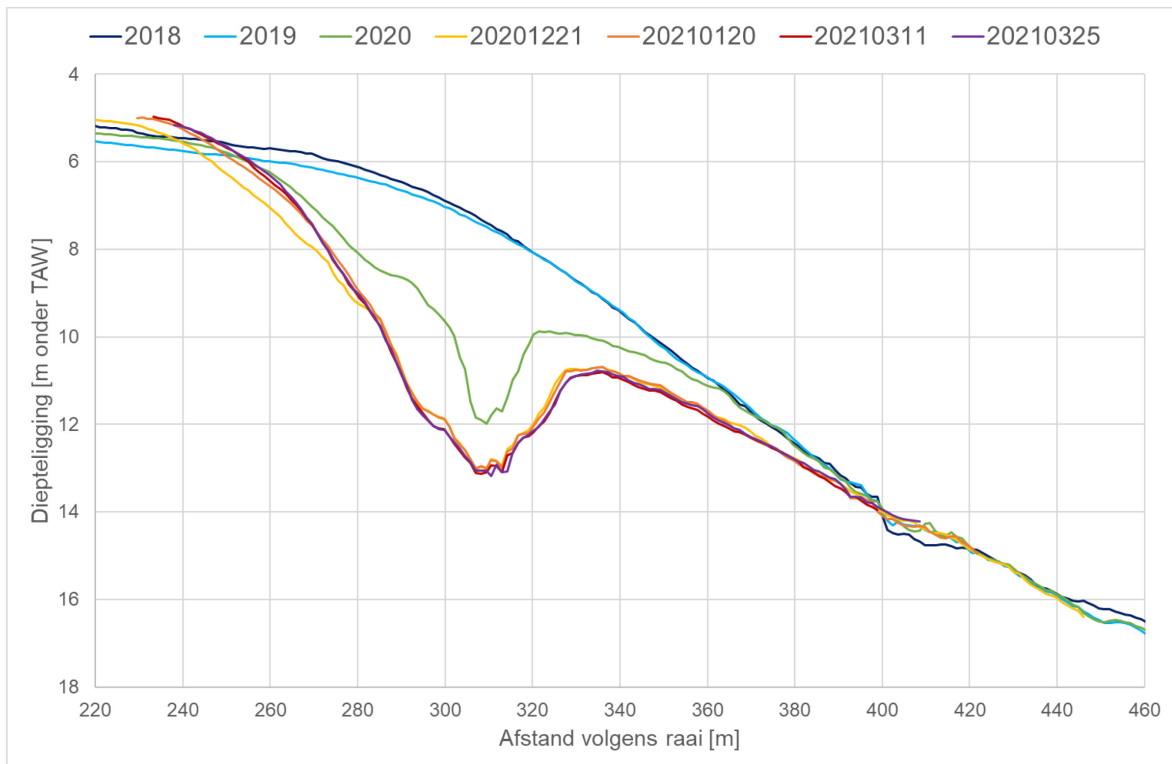
Figuur 11 (raai 2, afwaarts) en Figuur 12 (raai 3, opwaarts) tonen de morfologische ontwikkelingen ter hoogte van 2 dwarsraaien. Deze tonen logischerwijs een identiek patroon, waarbij het opvalt dat in het afwaartse deel de breedte waar de verdieping zich voordoet beperkt blijft tot ca. 30 m, terwijl dit in het opwaartse deel aanzienlijk breder is (ca. 100 m). De overige dwarsraaien worden getoond in bijlage, waarbij de dekking in de bijkomende detailpeilingen voor de zone beperkt is.



Figuur 10 – Morfologische evolutie ter hoogte van langsraai 1 (periode 2018-2021)



Figuur 11 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 2 (periode 2018-2021)



Figuur 12 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 3 (periode 2018-2021)

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In voorliggend rapport is een morfologische analyse uitgevoerd van het gebied rond de wachtsteigers ter hoogte van de Ketelplaat, gebruik makend van beschikbare bathymetrische gegevens. De eerste onderzoeksvraag betreft de potentiële relatie tussen de bouw/aanwezigheid van de meerpalen van de wachtsteiger en de vastgestelde verondieping opwaarts van de wachtsteiger. Uit de analyse blijkt dat het volume sediment verantwoordelijk voor de verondieping aanzienlijk groter is dan het geërodeerde sedimentvolume rond de meerpalen. De erosie rond de meerpalen draagt bij aan de verondieping, maar is slechts verantwoordelijk voor een beperkt (1/3) aandeel. De grootste bijdrage in de verondieping wordt geleverd door de morfologische ontwikkelingen op de Ketelplaat. In de laatste 5 jaar worden in dit gebied de grootste morfologische veranderingen teruggevonden ter hoogte van de overgang tussen de plaat en de vaargeul, ter hoogte van boei 99. Als potentiële oorzaak van deze morfologische veranderingen wordt de steilheid van het onderwatertalud geïdentificeerd, wat aanleiding kan geven tot plaatvallen met bijbehorende uitgesproken erosie-sedimentatie patronen.

De tweede onderzoeksvraag beoogde een inschatting te maken in welke mate de erosie rond de meerpalen zich in de toekomst zal blijven manifesteren. Op basis van de gangbare theoretische formules wordt ingeschat dat de diepte van de erosiekuilen rond de meerpalen tussen 5 en 10 m kan bedragen. Op basis van de meest recente peiling bedraagt de erosiediepte tussen 6 en 8 m. De analyse in de tijd laat uitschijnen dat er snelheid van erosie afgenomen is doorheen de maanden, waarbij voor het afwaartse deel van de wachtsteiger de erosie gestagneerd lijkt te zijn, terwijl deze in het opwaartse deel nog steeds doorgaat. Op basis van deze vaststellingen en de theoretische berekende diepte van de erosiekuil, is de inschatting de erosie in het afwaartse deel zich in de komende maanden nog verder kan manifesteren, maar dat dit op een termijn van 12-24 maanden eveneens zal stagneren.

6.2 Aanbevelingen

Aangezien op basis van de huidige peilingen er nog steeds een eroderende trend in het opwaartse deel van de wachtsteiger aanwezig is, wordt voorgesteld de morfologische ontwikkelingen in de zone rond de wachtsteiger verder op te volgen in de komende maanden. Gelet op variabiliteit in de sedimentatie-erosie patronen op de korte termijn, wordt aanbevolen om de peilingen uit te voeren met een tussentijd van 2 of 3 maanden.

Aangezien de morfologische processen verantwoordelijk voor de verondieping opwaarts de wachtsteiger niet louter gerelateerd zijn aan de erosie rond de meerpalen, verdient het de aanbeveling om de morfologische veranderingen op te volgen in een groter gebied dan momenteel beschouwd wordt in de detailpeilingen. Hierbij is het aangewezen een groter deel van de Ketelplaat mee op te nemen in de peilingen, terwijl de grens van de peilzone in de vaargeul behouden kan blijven, evenals de op- en afwaartse grenzen. Als frequentie van opname wordt voorgesteld dit af te stemmen met de zone rond de wachtsteiger (i.e. eens per 2 of 3 maanden), met daarbij de mogelijkheid de meetfrequentie te verhogen wanneer zich een plaatval zou voordoen.

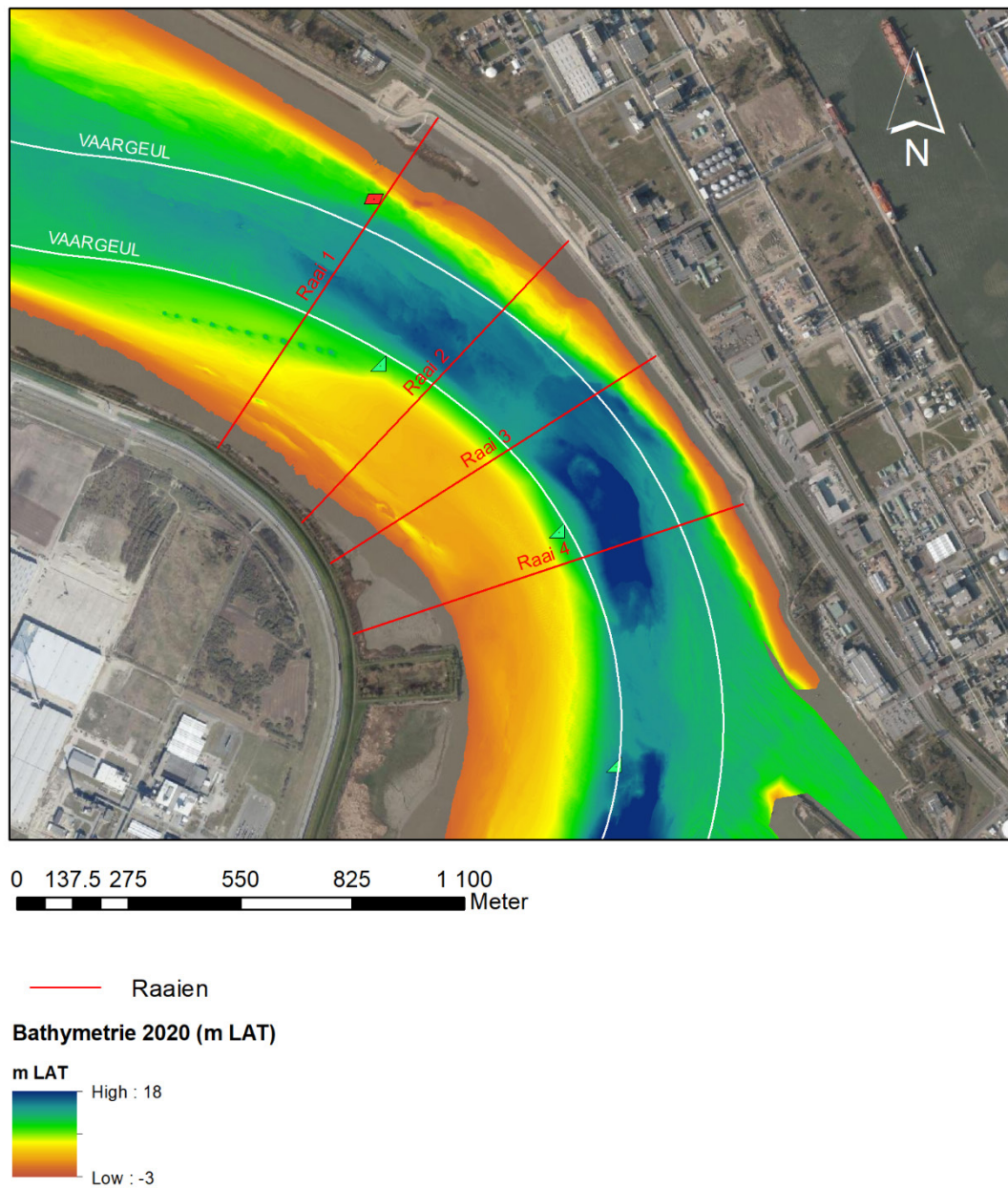
7 Referenties

Arneson, L.A.; Zevenbergen, L.W.; Lagasse, P.F.; Clopper, P.E. (2012). EVALUATING SCOUR AT BRIDGES (HEC-18). 340 pp.

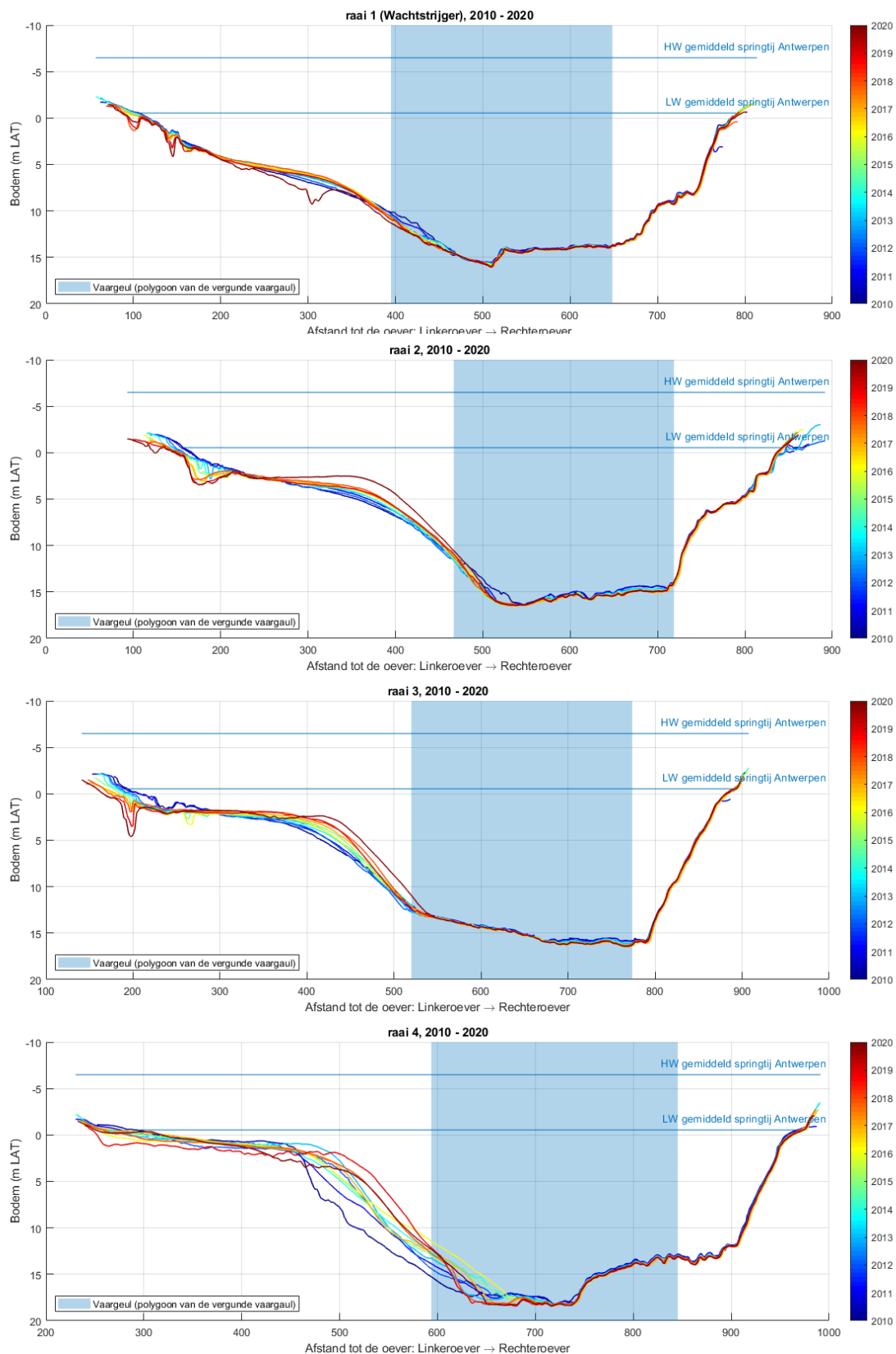
Plancke, Y.; Vanlierde, E.; Taverniers, E. (2012). Monitoring of physical parameters within the scope of the Dutch-Flemish integrated monitoring program, *in*: Mostaert, F. (Ed.) (2012). *Hydraulic Measurements and Experimental Methods 2012 Conference (HMEM 2012), Snowbird, Utah, August 12-15, 2012*. American Society of Civil Engineers (ASCE). pp.[1-6]

Verbessem, I.; Van den Bergh, E.; De Regge, N.; Soors, J.; De Belder, W.; De Groot, R. (2007). Sediment characteristics and sedimentation-erosion processes on Ketenisse polder one year after levelling. *Aquat. Ecosyst. Health Manag.* 10(1): 87–92. doi:10.1080/14634980701194027

Bijlage 1 Ontwikkelingen op lange termijn

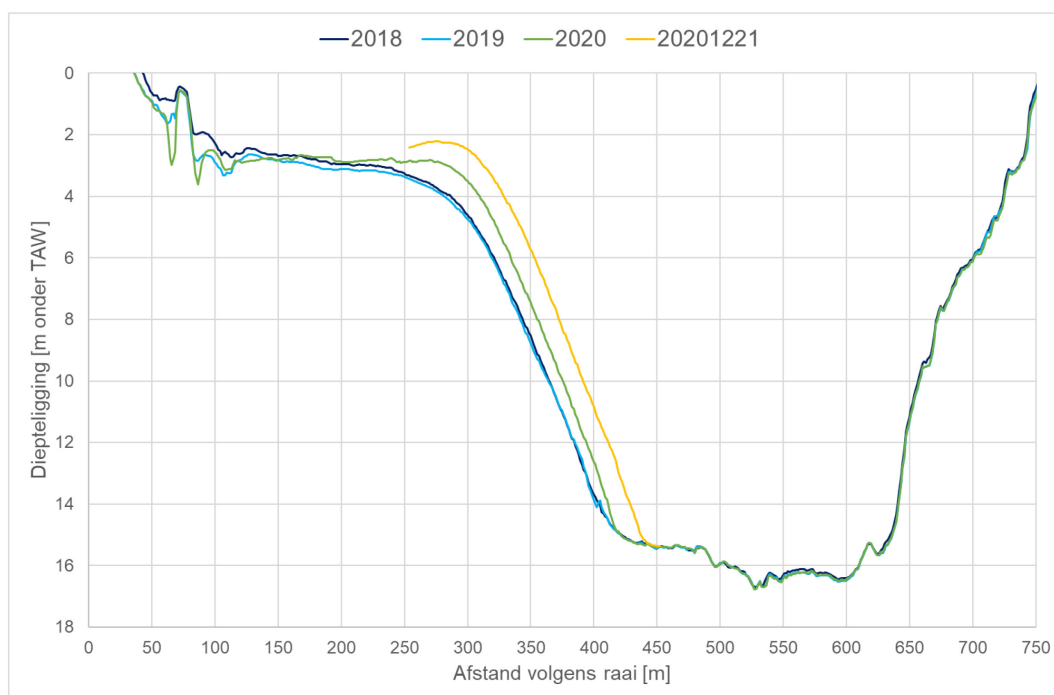


Figuur 13 – Ligging dwarsraaien in studiegebied

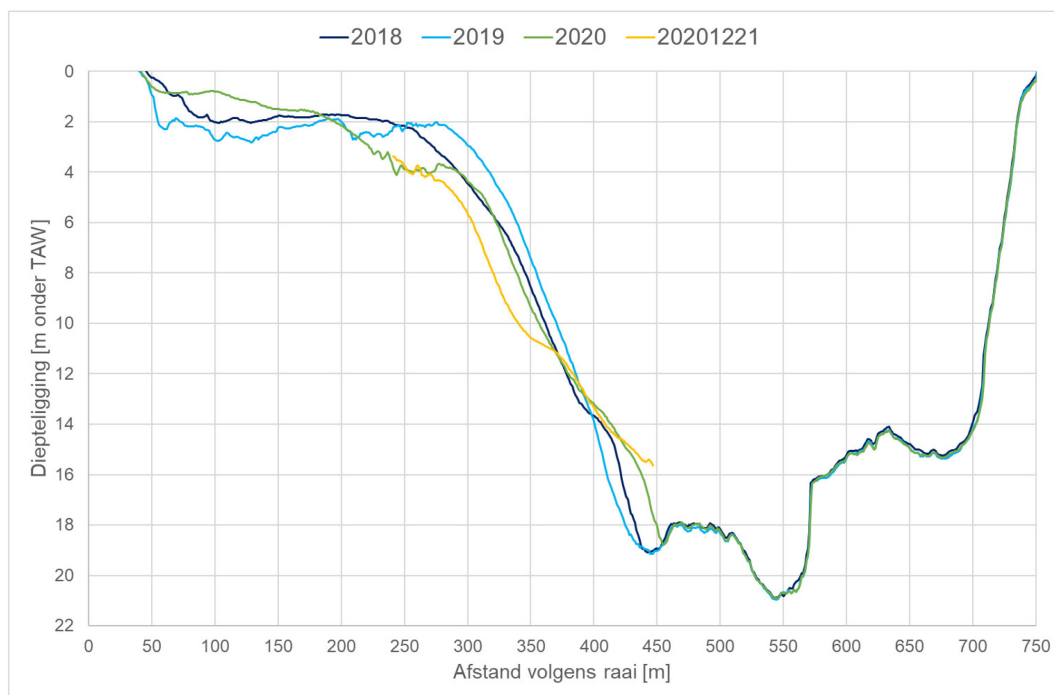


Figuur 14 – Morfologische evolutie ter hoogte van raaien (periode 2010-2020)

Bijlage 2 Dwarsprofielen



Figuur 15 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 4 (periode 2018-2020)



Figuur 16 – Morfologische evolutie ter hoogte van dwarsraai 5 (periode 2018-2020)

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be