

## Verificatie van WAQBANK / D-FAST Bank Erosion

Analyse van de ontwikkeling van negen KRW-Maasoevers



**Verificatie van WAQBANK / D-FAST Bank Erosion**  
Analyse van de ontwikkeling van negen KRW-Maasoevers

**Auteur(s)**

Eveline van der Deijl

## Verificatie van WAQBANK / D-FAST Bank Erosion

Analyse van de ontwikkeling van negen KRW-Maasoeveren

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat
<b>Contactpersoon</b>	Arjan Sieben
<b>Referenties</b>	KPP
<b>Trefwoorden</b>	WAQBANK, oevererosie, oeverkanten, analyse meetgegevens

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	11-04-2023
<b>Projectnummer</b>	11208033-005
<b>Document ID</b>	11208033-005-ZWS-0003
<b>Pagina's</b>	140
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Eveline van der Deijl	

# Samenvatting

WAQBANK is een oevererosiemodule voor het berekenen van lokale erosiegevoeligheid door (scheeps)golven en stroming. WAQBANK berekent en visualiseert de maximale oeverterugtrekking en geeft een schatting van de hoeveelheid vrijgekomen oevermateriaal op basis van vuistregels die bepalen welk stuk van het oeverprofiel onderhevig is aan erosie, een evenwichtsoevertalud en sedimenteigenschappen van de oever. WAQBANK gebruikt daarnaast de stroomsnelheden, waterstanden en waterdieptes uit een aantal steady-state WAQUA-modelsimulaties voor verschillende afvoeren en de opgegeven lokale informatie van de hoogte van de oeverbescherming, het type oevermateriaal en de hoeveelheid en het type schepen dat langs de oever vaart.

Vanaf 2010 is op basis van de toen beschikbare literatuur en bekende eigenschappen van natuurlijke oevers gewerkt aan vuistregels en het opstellen van de oevererosiemodule WAQBANK. Vanwege het gebrek aan data voor verdere vergelijking is er indertijd geen kwaliteitscheck uitgevoerd om te zien of de resultaten vanuit WAQBANK kloppen. WAQBANK wordt momenteel omgezet naar D-FAST Bank Erosion (D-FAST BE). WAQBANK gebruikt namelijk de vijfde-modelgeneratie-resultaten van WAQUA en is niet in staat de outputbestanden in te lezen van de zesde-generatie-riviermodellen welke worden ontwikkeld in de D-HYDRO-software. D-FAST BE gebruikt dezelfde vuistregels als WAQBANK. Dit betekent dat deze rapportage ook op D-FAST BE van toepassing is.

In 2015 is een aantal oevers langs de Maas (deels) weer natuurlijk gemaakt door de oeverbescherming te verwijderen tot verschillende niveaus. Van negen van deze oevers is de bodemligging zowel boven als onder water jaarlijks ingemeten. Rijkswaterstaat heeft gevraagd om deze data van 2016 tot en met 2021 te gebruiken om de vuistregels, werking en kentallen van WAQBANK te verifiëren en daarbij specifiek ook de variatie langs een oever te bepalen en zo nodig deze toe te voegen aan de voorspelling van WAQBANK.

De negen Maasoevers zijn opgedeeld in secties van 100 m. Van der Deijl (2022b) heeft de secties gekarakteriseerd en de oevers onderverdeeld in deeltrajecten op basis van de historische situatie, het oevermateriaal, de aanwezigheid van grind op het oeverstrand, restanten steenbestorting en brokken erosieproducten.

Voor de validatie van de kentallen van WAQBANK worden zowel voor de individuele secties als voor de oeverdeeltrajecten de volgende oeverkentallen bepaald: basis van het oeverstrand, basis van de steilrand, top van de steilrand en het talud van het oeverstrand. De gevonden basis van het oeverstrand heeft een grote onnauwkeurigheid door het ontbreken van data in de zone net rondom de waterspiegel, aangezien noch de meetmethode voor meten boven water, noch die voor meten onder water goed in staat is dit gebied in te meten. Verder blijkt er een grote variatie in ruimte en tijd te zijn in de gevonden basis van de steilrand, doordat deze door erosie van de steilrand en het hierdoor gesedimenteerde materiaal op het oeverstrand vaak tijdelijk hoger ligt. Dit is de reden dat het berekende talud voor met name de snel eroderende zandoevers een grote variatie vertoont en vaak relatief groot uitvalt in vergelijking met het talud van grind- en of kleioevers.



De vergelijking van de oeverkenticallen van de verschillende typen Maasoeveren toont aan dat:

- Er lokaal, zelfs binnen de geanalyseerde secties van 100 m lengte, een grote variatie is binnen de oevereigenschappen. Met name de historie van de oevers is van invloed omdat er regelmatig resten steenbestorting, voormalige kribben, en bakenbomen langs de oevers aanwezig zijn die het patroon van de erosie en ook de snelheid sterk beïnvloeden.
- Zandoevers gemiddeld een hogere erosiesnelheid hebben dan klei- of grindoevers. Echter was de grootste erosie gevonden bij een gelaagde oever met zand en kleilagen. Ook is de variatie van de erosiesnelheid langs kleioevers het grootst.
- De oevers waar de oeverbescherming compleet of tot 0,5 m onder de ontwerpwaterstand is verwijderd de grootste erosiesnelheden hebben.
- Het talud van het oeverstrand bij de hoge oevers minder steil is dan dat van de lage oevers.
- Het initieel afgraven van oevers ervoor zorgt dat de oevers minder snel eroderen dan de niet afgegraven oevers en dat ook de variatie in de erosie minder groot is langs de oever.
- De beschermde oevers geen of een zeer kort en steil oeverstrand hebben.

De oeverkenticallen van de negen oevers zijn niet in strijd met de uitgangspunten van WAQBANK, of er is een te grote onnauwkeurigheid waardoor de variatie langs de individuele oevers vaak groter is dan het gemiddelde verschil tussen de verschillende typen oevers. Daarom wordt aanbevolen om op basis van de huidige literatuur en de analyse van de negen Maasoeveren geen aanpassing door te voeren in de uitgangspunten van WAQBANK.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1	Aanleiding	8
1.2	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>Oevererosie in WAQBANK</b>	<b>10</b>
2.1	Algemene werking	10
2.2	Potentiële oevererosie door scheepsgolven en stroming	10
2.3	Evenwichtsoever	12
<b>3</b>	<b>Aanpak</b>	<b>14</b>
3.1	Data	14
3.1.1	Bekende oevereigenschappen	14
3.1.2	Metingen (LIDAR en lodingen)	14
3.1.3	Studiegebieden	14
3.2	Methode	15
3.2.1	Hoogteverschil	15
3.2.2	Oeverkentalen	15
3.2.2.1	Afleiding van de oeverkentalen	16
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>20</b>
4.1	Invloedgebied van de golven	20
4.2	Erosiesnelheid van de steilrandtop	25
4.2.1	Grootste erosiesnelheid: oevers 8B en 1A	26
4.2.1.1	Oever 8B: Oeffelt	26
4.2.1.2	Oever 1A: Buggenum	32
4.2.2	Oever 4 Beesel: kleinste erosiesnelheid	35
4.2.3	Parameters van invloed	42
4.3	Talud van het oeverstrand	46
4.3.1	Parameters van invloed	46
<b>5</b>	<b>Discussie en conclusie</b>	<b>48</b>
5.1	Data en methode	48
5.2	Oeverkentalen en uitgangspunten van WAQBANK	48
5.2.1	Erosiesnelheid van de oever	49
5.2.2	Variatie in erosiesnelheden van een oever	49
5.2.3	Evenwichtsoeverligging	50
<b>6</b>	<b>Aanbevelingen</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>54</b>

<b>A</b>	<b>Mogelijke methodes voor oeveranalyse</b>	<b>55</b>
A.1	Bank characterisation (Chavarrias, 2019)	55
<b>B</b>	<b>Oeveranalyse</b>	<b>57</b>
B.1	Oever 1: Buggenum	57
B.2	Oever 2: Hansumerweerd	58
B.3	Oever 3: Rijkelse Bemden	61
B.4	Oever 5: Niftrikse Waarden	64
B.5	Oever 6: De Waarden	68
B.6	Oever 7: Heerewaarden	71
B.7	Oever 9: Neerloon	74
<b>C</b>	<b>Dwarsprofielen per oeversectie</b>	<b>78</b>
<b>D</b>	<b>Oeverkentallen (ook opgeleverd als .csv)</b>	<b>134</b>
D.1	Per oevertype	134
D.1.1	Gemiddelde	134
D.1.2	Minimum	135
D.1.3	Maximum	136
D.2	Per parameter van invloed	137
D.2.1	Variatie in Erosiesnelheid	137
D.2.2	Gemiddelde hoogte steilrandvoet	138
D.2.3	Gemiddelde oeverstrandtalud	139

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

WAQBANK is een oevererosiemodule voor het berekenen van lokale erosiegevoeligheid door (scheeps)golven en stroming. Vanaf 2010 is op basis van de toen beschikbare literatuur en bekende eigenschappen van natuurlijke oevers gewerkt aan vuistregels en het opstellen van de oevererosiemodule WAQBANK. WAQBANK visualiseert de maximale oeverterugtrekking en geeft een schatting van de hoeveelheid vrijgekomen oevermateriaal op basis van:

- Stroomsnelheden, waterdieptes en waterstanden uit modelberekeningen
- Vuistregels die bepalen welk stuk van het oeverprofiel onderhevig is aan erosie
- Een evenwichtsoevertalud van 1:20
- Een erosiesnelheid die bepaald wordt door de sedimenteigenschappen van de oever.

Destijds is er na het opbouwen van WAQBANK een functietoets uitgevoerd, maar vanwege het gebrek aan data voor verdere vergelijking is er nooit een kwaliteitscheck uitgevoerd om te zien of de resultaten van WAQBANK kloppen. In 2015 is een aantal oevers langs de Maas (deels) weer natuurlijk gemaakt door de oeverbescherming te verwijderen tot verschillende niveaus. Van negen van deze oevers is sinds 2016 de bodemligging zowel boven als onder water jaarlijks ingemeten. Rijkswaterstaat heeft gevraagd om deze data te gebruiken om de vuistregels en werking van WAQBANK te verifiëren en eventueel te verbeteren. Daarbij is specifiek de vraag gesteld om behalve een beeld van de nu door WAQBANK afgeleide overgemiddelde erosie, ook een beeld te krijgen van de variatie langs een oever en zo nodig deze toe te voegen aan de voorspelling van WAQBANK. Er is echter nog geen methode beschikbaar om uit de oeverhoogtemetingen van de Maasoevers de erosiesnelheden en oeverkentalen te bepalen die gebruikt worden in WAQBANK. In overleg met Rijkswaterstaat is besloten om verschillende methodes van oeverclassificatie of -analyse vanuit andere projecten toe te passen op deze data en een nieuwe methode te ontwikkelen die uit deze verschillende methodes is opgebouwd.

Uit recent onderzoek van Duró et al. (2020) is gebleken dat door retourstroming de stabiele rand van de onderwateroever lager kan liggen dan tot nu toe werd gesteld en dan nu in WAQBANK is aangenomen als vuistregel. Verder worden in het onderzoek van Mosselman et. al. (2021) op basis van het ondergrondtype van de oevers verschillende waarden aan het talud van de evenwichtsoever toegekend terwijl WAQBANK uitgaat van één vast evenwichtstalud van 1:20 voor alle typen oevers. Rijkswaterstaat heeft gevraagd of deze recente onderzoeken worden onderbouwd door de resultaten van de analyse van de Maasoevers en daarmee reden geven tot aanpassing van de huidige vuistregels van WAQBANK.

WAQBANK wordt momenteel omgezet naar D-FAST Bank Erosion (D-FAST BE). WAQBANK gebruikt namelijk de vijfde-modelgeneratie-resultaten van WAQUA en is niet in staat de outputbestanden in te lezen van de zesde-generatie-riviermodellen welke worden ontwikkeld in de D-HYDRO software. D-FAST BE gebruikt dezelfde vuistregels als WAQBANK. Dit betekent dat deze rapportage ook op D-FAST BE van toepassing is.

De te beantwoorden vragen zijn als volgt:

- 1) Komen de in WAQBANK gebruikte erosiesnelheden voor zand-, klei-, begroeide en verdedigde oevers overeen met de erosiesnelheden van ditzelfde type Maasoever die sinds 2016 zijn gemonitord?
- 2) Wat is de variatie rondom de gemiddelde erosiesnelheden van de verschillende typen oevers?
- 3) Komen de in WAQBANK gebruikte vuistregels voor de onderstaande oeverkentallen overeen met de oeverkentallen van de negen Maasoeveren die sinds 2016 zijn gemonitord:
  - a) Hoogte en positie van oeverstrandbasis
  - b) Hoogte en positie van de steilrandvoet
  - c) Oeverstrandtalud
- 4) Tonen de erosiesnelheden en oeverkentallen van de 9 Maasoeveren samen met het recente onderzoek van Duró et al. (2020) en Mosselman et al. (2021) aan dat aanpassing van de vuistregels in WAQBANK noodzakelijk is?
- 5) Op welke punten moet de handleiding van WAQBANK verbeterd en geactualiseerd worden?

## 1.2 Leeswijzer

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen worden als eerste in hoofdstuk 2 de variabelen en de vuistregels van WAQBANK besproken. Voor de exacte formules en aanpak wordt echter verwezen naar de handleiding van WAQBANK (Deltares, 2014). Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens hoe de negen Maasoeveren die sinds 2016 zijn gemonitord, zijn geanalyseerd om oeverkentallen te bepalen. De resultaten en kentallen worden besproken in hoofdstuk 4 en dit wordt in de discussie van hoofdstuk 5 vergeleken met de uitgangspunten van WAQBANK en met recente nieuwe inzichten rondom oevererosie om te komen tot de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 6.

## 2 Oevererosie in WAQBANK

### 2.1 Algemene werking

WAQBANK is een postprocessing oevererosiemodule voor het berekenen van lokale erosiegevoeligheid door (scheeps)golven en stroming. Voordat WAQBANK kan worden gebruikt moeten er steady-state WAQUA-berekeningen worden uitgevoerd voor verschillende afvoerniveaus. Dit betekent dat de hydrograaf van de afvoer moet worden omgezet naar tenminste 10 afvoerniveaus met een bijbehorende frequentie van voorkomen. Eén van deze WAQUA-afvoerniveaus wordt door de gebruiker aangemerkt als referentieniveau. Dit referentieniveau is meestal de gemiddelde afvoer welke vervolgens door WAQBANK wordt gebruikt voor het bepalen van de initiële oeverlijn. WAQBANK gebruikt verder de stroomsnelheden, waterstanden en waterdieptes uit alle modelresultaten samen met de opgegeven informatie van de scheepvaart. WAQBANK bepaalt hieruit de hoogte van scheepsgolven bij de oever en berekent de maximale oeverterugtrekking door deze golven en stroming en geeft een schatting van de hoeveelheid vrijgekomen oevermateriaal voor de opgegeven periode ten opzichte van de initiële oeverlijn. Dit wordt uitgebreider beschreven in de volgende paragraaf. Naast deze potentiële oevererosie voor de gevraagde periode bepaalt WAQBANK ook de oevererosie voor de evenwichtsligging van de oever op basis van een aantal vuistregels en de referentiewaterstand. Dit wordt beschreven in paragraaf 2.3. In deze paragrafen worden met name de variabelen van WAQBANK en de uitgangspunten besproken. Voor de exacte formules en aanpak kan de handleiding van WAQBANK worden nageslagen (Deltares, 2014).

### 2.2 Potentiële oevererosie door scheepsgolven en stroming

Scheepsgolven zijn volgens Verheij (2000) een van de belangrijkste factoren voor oeverafslag. WAQBANK gebruikt de erosieformulering voor scheepsgolven uit de BEM-module (Verheij, 2000; Stolker & Verheij, 2001) voor het bepalen van de verplaatsing van de top van de oever uit een logaritmische functie van het aantal scheepspassages en het effect van deze passages. Eigenlijk wordt alleen de verplaatsing van de top van de oever berekend, omdat het profiel van de oever vooraf al is opgegeven in de uitgangspunten van BEM waarbij de top van de oever direct boven de voet van de steilrand op de initiële oeverlijn ligt. De verplaatsing van de top van de oever door golven wordt door de volgende drie invoerparameters bepaald:

- $H$ : hoogte van de secundaire scheepsgolven. Dit wordt in WAQBANK berekend aan de hand van het type maatgevende schepen, hun vaarsnelheid en diepgang, de afstand tussen de vaargeul en de oever, en de waterdiepte. De meeste van deze eigenschappen worden als variabelen opgegeven in WAQBANK, maar de waterdiepte volgt uit de WAQUA-modelresultaten.
- $\mu$ : coëfficiënt voor golfdemping over het oeverterras. Deze parameter bepaalt hoever de initiële secundaire scheepsgolven aan het begin van de vooroever zijn gedempt wanneer ze aankomen bij de oeverrand. Deze parameter brengt de invloed in rekening van de vorm van de vooroever op de golfdemping, maar ook het dempende effect van vooroeverconstructies, vegetaties, en afzettingen van oevermateriaal.
- $C_E$ : coëfficiënt voor de erodeerbaarheid van het oevermateriaal. De mogelijke klassen die nu als standaard zijn opgenomen in WAQBANK zijn weergegeven in Tabel 2-1.



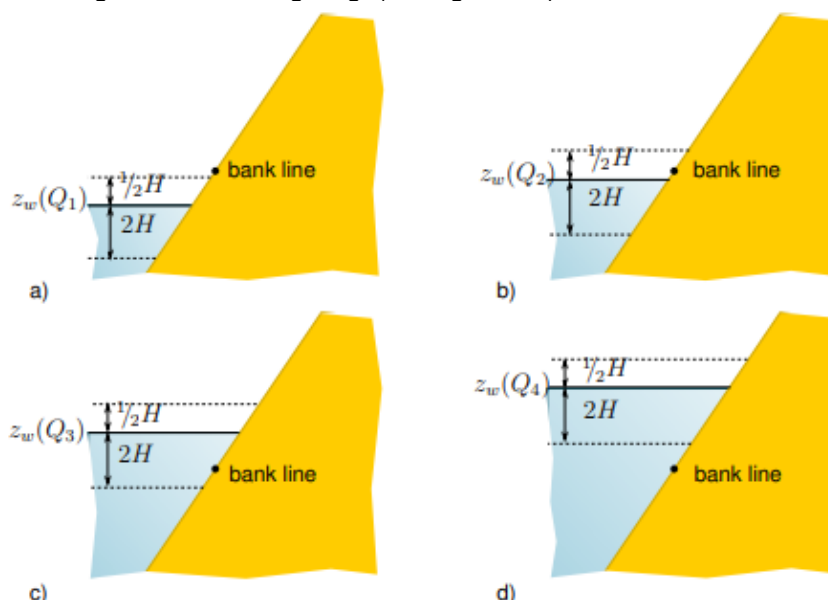
Tabel 2-1 Klassenindeling grondsoorten oevererosiemodule (Deltares, 2014)

Klasse	Grond	$c_E$ ( $m^{-1}s^{-1}$ )	$\tau_c$ (Pa)
0	Beschermde oeverlijn	0	$\infty$
1	Begroeide oeverlijn	$0,02 \cdot 10^{-4}$	95
2	Goede klei	$0,6 \cdot 10^{-4}$	3
3	Matig / slechte klei	$2 \cdot 10^{-4}$	0,95
4	Zand	$12,5 \cdot 10^{-4}$	0,15

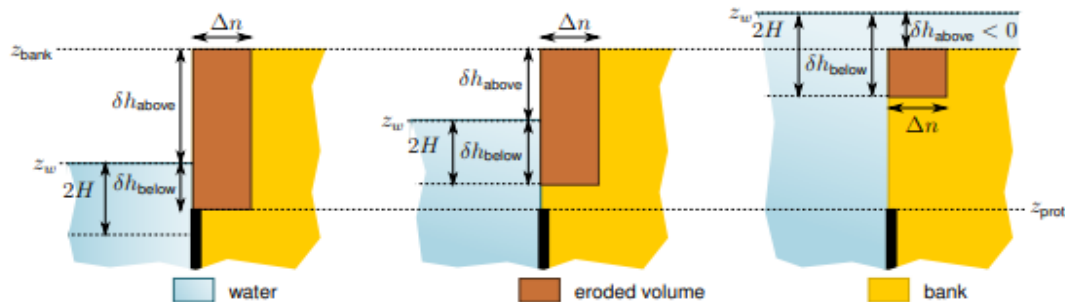
WAQBANK neemt het effect van de stroming van de rivier op de oevererosie uitgebreider mee dan BEM, omdat WAQBANK ook rekening houdt met de ruimtelijke variabiliteit in stroomsnelheden langs de oever. De oevererosie door stroming is in WAQBANK gebaseerd op een formule van het type Krone-Partheniades en wordt bepaald aan de hand van:

- $U_b$ : De stroomsnelheid langs de oever, welke volgt uit de WAQUA-modelresultaten
- $\tau_c$ : De kritische schuifspanning voor erosie welke is gerelateerd aan de sterktecoëfficiënt van het oevermateriaal (zie Tabel 2-1)

WAQBANK bepaalt de verplaatsing van de oeverlijn als som van de erosie door scheepsgolven en erosie door stroming voor de individuele met WAQUA doorgerekende afvoerniveaus met elk hun eigen waterdieptes op de vooroever, golfhoogtes en stroomsnelheden langs de oever. Hierbij is het uitgangspunt van WAQBANK dat alle erosie plaatsvindt langs de initiële oeverlijn welke bepaald is voor de referentieafvoer. De hoeveelheid erosie varieert met de afvoer of de waterstand en golfrosie kan alleen plaatsvinden als de initiële oeverlijn zich binnen het invloedsgebied van de golven bevindt (zie Figuur 2.1). Vervolgens wordt de totale verschuiving van de oeverlijn berekend door de oeverlijnverschuivingen bij de verschillende afvoeren gewogen te sommeren over alle afvoerniveaus. Het totale geërodeerde volume wordt vervolgens berekend uit de totale verplaatsing van de oeverlijn. Hierbij is het uitgangspunt dat de gehele oever als 1 blok erodeert vanaf de ondergrens van het invloedsgebied van de golven of de bovengrens van de oeverbescherming indien deze hoger ligt (zie Figuur 2.2).



Figuur 2.1 Erosie van de initiële oeverlijn (stip met "bank line") door (scheeps)golven voor verschillende afvoerniveaus: a) geen erosie, want de initiële oeverlijn ligt te hoog, namelijk boven het invloedsgebied van de golven b) erosie, c) erosie, d) geen erosie want de initiële oeverlijn ligt te laag, onder het invloedsgebied van de golven (uit D-FAST Bank Erosion, user manual-v02-2022)



Figuur 2.2 Geërodeerde volume voor verschillende waterstanden (afvoerniveaus). Figuur afkomstig uit D-FAST Bank Erosion, user manual-v02-2022.

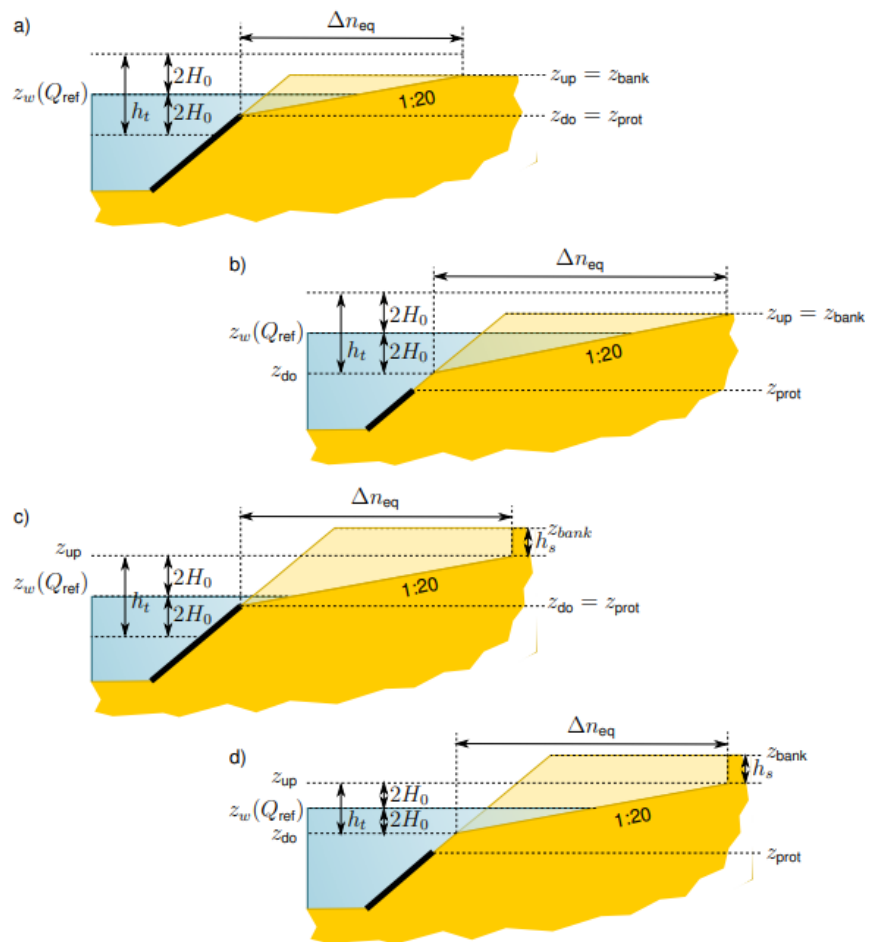
## 2.3 Evenwichtsoever

In de vorige paragraaf is beschreven hoe WAQBANK aan de hand van een aantal afvoerscenario's en hun kans van voorkomen de totale verplaatsing van de oeverlijn berekent voor een opgegeven periode. WAQBANK geeft echter naast deze potentiële oeververplaatsing ook de totale verplaatsing voor de evenwichtsoever aan. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van één van de WAQUA afvoerniveaus dat door de gebruiker is aangemerkt als referentieniveau ( $Q_{ref}$ ). Dit referentieniveau wordt door WAQBANK gebruikt voor het berekenen van zowel de initiële oeverlijn als de golfhoogte bij de oever ( $H_0$ ).

De evenwichtssituatie van de oever wordt in WAQBANK bepaald aan de hand van 3 uitgangspunten, namelijk:

- De hoogte van de steilrandvoet ligt op  $z_{up} = \min(z_{bank}, z(Q_{ref}) + 2H_0)$ .
  - Bij hoge oevers ligt de steilrandvoet dus op de bovengrens van het invloedgebied van golven met golfhoogte  $H_0$  [m] op de oever, bij een referentieafvoer  $Q_{ref}$  en waterstand  $z(Q_{ref})$  (zie bovenste horizontale stippellijn in Figuur 2.3c en Figuur 2.3d)
  - Bij lage oevers is de hoogte van de oever ( $z_{bank}$ ) gelijk aan de hoogte van de steilrandvoet ( $z_{up}$ ). Er zal dan geen echte steilrand aanwezig zijn (zie Figuur 2.3a en Figuur 2.3b)
- Tussen de stabiele rand van de onderwateroever en de steilrandvoet ligt een 1:20 talud
- De stabiele rand van de onderwateroever is gedefinieerd op:  $z_{do} = \max(z_{ss}, z(Q_{ref}) - 2H_0)$ 
  - De stabiele rand ( $z_{do}$ ) ligt dus op de ondergrens van het invloedgebied van de golven, gedefinieerd als  $2H_0$  onder waterstand  $z(Q_{ref})$  (zie Figuur 2.3b en Figuur 2.3d)
  - Als de bovengrens van de aanwezige oeverbestorting ( $z_{ss}$ ) gelijk is aan of hoger ligt dan de ondergrens van het invloedgebied van de golven, dan vormt deze bovenkant van de aanwezige oeverbestorting de stabiele rand van de oever (zie Figuur 2.3a en Figuur 2.3c).

De 4 mogelijke profielen voor de evenwichtsoeverligging die op basis van de combinaties van  $z_{up}$  en  $z_{do}$  kunnen worden opgesteld zijn zichtbaar in Figuur 2.3.



Figuur 2.3 De 4 mogelijke evenwichtposities voor het profiel van de evenwichtsoever met de 3 uitgangspunten 1)  $z_{up} = \min(z_{bank}, z(Q_{ref}) + 2H_0)$ , 2) oeverstrandtalud = 1:20 en C)  $z_{do} = \max(z_{ss}, z(Q_{ref}) - 2H_0)$  (uit D-FAST Bank Erosion, user manual-v02-2022)

## 3 Aanpak

### 3.1 Data

De 9 Maasoevers zijn sinds 2016 jaarlijks ingemeten door Shore Monitoring & Research BV (Shore). In totaal zijn negen stukken oever gemonitord. Sommige oevers zijn onderverdeeld in deeltrajecten. In 2016 is door Shore een uitgebreide levering opgesteld met daarin de hoogtedata van de Maasoevers, shapefiles met de locatie van de top en de teen van de aangetroffen steilranden, een hoogtemodel met 0,5 m resolutie, een overzichtskaart, en foto- en filmmateriaal voorzien van commentaar. Deze collectie van meetgegevens is aangevuld met per oever een rapportage met de afbeeldingen van de metingen, observaties en foto's. Het aangeleverde materiaal dateert van 2016 (Shore, 2016).

Sinds 2017 wordt er steeds 1 rapport bij de meetproducten opgeleverd. Dat rapport beschrijft de meetmethodiek en opgeleverde data. Ook zijn er voor de jaren 2017 tot en met 2019 een online viewer en orthofoto's met hoog detail van de gehele oever. Vanaf 2020 zijn er 360-graden-droneopnames als filmpjes van de oevers beschikbaar (Shore, 2020 en 2021).

#### 3.1.1 Bekende oevereigenschappen

Van der Deijl (2022b) heeft de negen Maasoevers gekarakteriseerd op basis van historische kaarten en het foto- en filmmateriaal van zowel de situatie in 2016 (Shore, 2016) als die in 2021 (Shore, 2021). Hierbij is specifiek gelet op de historische situatie, het oevermateriaal, de aanwezigheid van grind op het oeverstrand, restanten steenbestorting en brokken erosieproducten. De oevereigenschappen zijn op kaartbeelden van de oevers aangegeven. Daarnaast zijn de oevers onderverdeeld in deeltrajecten. De oevereigenschappen zijn per deeltraject opgenomen in Tabel 3-1. Ook is een aantal vergelijkingen opgesteld voor het bepalen van het effect van verschillen in de oevereigenschappen op de erosie van de oevers. Deze vergelijkingen zijn opgenomen in Tabel 3-2. Deze vergelijkingen worden gebruikt om zowel de in WAQBANK gebruikte erosiesnelheden voor verschillende oevertypes als de vuistregels voor het evenwichtsoeverprofiel te valideren.

#### 3.1.2 Metingen (LIDAR en lodingen)

Voor de droge delen van de negen Maasoevers zijn LIDAR-data beschikbaar. Deze data zijn aangeleverd als .tif- of .pts-bestand met een rooster van 50 cm resolutie voor 2016 en 10 cm resolutie voor de jaren 2017 tot en met 2021.

Voor de natte delen van de oevers en voor het zomerbed zijn multibeamlodingen beschikbaar. Deze lodingen zijn verkregen van andere projecten waarvoor ze al zijn omgezet naar .tif-roosters per jaar met een resolutie van 1 m. Voor de periode na het hoogwater van 2021 is de hoogte van het zomerbed verkregen van het project Basis Rivierbodempligging (Van der Deijl, 2021). Voor de jaren 2016 tot en met 2019 is het rooster van het zomerbed verkregen van het project Beheer van Dynamische oevers (Mosselman et al., 2021).

#### 3.1.3 Studiegebieden

Voor dit project is het shapebestand met de lijn van de rivieras en het tekstbestand met hectometerpunten met stuwpeil langs de rivieras (maas-rivierascoördinaten met stuwpeil.txt) verkregen vanuit het project Bank characterisation (Chavarrias, 2019).

De lijn van de rivieras is door middel van de hectometerpunten opgeknipt in secties van 100 m. Verder is het stuwpeil van de hectometerpunten toegekend aan de secties.

Met behulp van de rivierkilometers per sectie uit de tabel van Rijkswaterstaat zijn de rivierassecties langs de negen Maasoeveren geselecteerd. Deze zijn elk van het desbetreffende oevernummer en een sectienummer voorzien waarbij de nummering van de oevers is overgenomen van Rijkswaterstaat en de nummering van de secties oploopt in benedenstroomse richting. Elke sectie is gebufferd met 150 tot 200 m richting de desbetreffende oevers en is eventueel handmatig bijgesneden zodat achterliggende plassen of geulen niet mee worden genomen in de analyse van de oevers.

## 3.2 Methode

### 3.2.1 Hoogteverschil

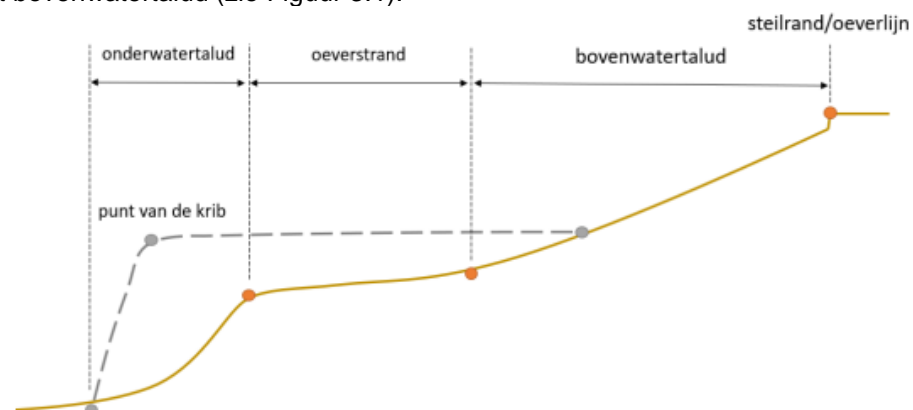
Voor de periode tussen 2016 en 2021 zijn met behulp van ArcGIS hoogteverschilkaarten gemaakt. Deze kaarten zijn gemaakt voor de aparte datasets van LIDAR en lodingen zodat de hoogste resolutie behouden blijft. De berekening 2021–2016 resulteert dan in een hoogteverschilrooster met een resolutie van 0,5 m voor de droge delen van de oevers (LIDAR) en een resolutie van 1 m voor de natte delen van de oevers (lodingen).

### 3.2.2 Oeverkentalen

Er was nog geen direct bruikbare methode beschikbaar om uit oeverhoogtemetingen van de negen Maasoeveren de erosiesnelheden en oeverkentalen te bepalen die gebruikt worden in WAQBANK. Om deze reden zijn verschillende methodes van oeverclassificatie of -analyse vanuit andere projecten toegepast en is uiteindelijk een nieuwe methode ontwikkeld, die uit deze verschillende methodes is opgebouwd.

Rijkswaterstaat had gevraagd om de oevers te classificeren volgens de methode uit het project Bank characterisation (Chavarrias, 2019). In dat project wordt per hoogteklasse gekeken naar de gemiddelde afstand van alle punten tot de rivieras. Wanneer deze afstanden samen met de standaarddeviatie worden geplot voor elke hoogteklasse ontstaat een dwarsprofiel welke voor de oeverclassificatie kan worden gebruikt. De toepassing van deze methode is beschreven in Appendix A.1. Aangezien de negen oevers langs de Maas geen homogene toename in hoogte met afstand van de rivieras vertonen bleek deze methode niet bruikbaar.

Recent heeft Witteveen+Bos in opdracht van Rijkswaterstaat Programma's, Projecten en Onderhoud de morfologische ontwikkeling van Natuurvriendelijke oevers langs de IJssel in kaart gebracht (Duró en Schippers, 2021). Dit is gedaan door analyse en interpretatie van dwarsdoorsnedes van de oevers. In deze dwarsdoorsnedes zijn 3 zones gedefinieerd: het onderwatertalud, het oeverstrand en het bovenwatertalud waarbij de steilrand onderdeel is van het bovenwatertalud (zie Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Zones in de doorsnede van een typisch oeverprofiel (bruine lijn) en krib (grijze lijn) (uit: Duró en Schippers, 2021)

De methode van Witteveen+Bos is toegepast op de dwarsprofielen van de oeversecties langs de Maas. Echter bleek vaak dat de bepaling van de basis van het oeverstrand en de basis van het bovenwatertalud niet goed ging door missende data. Dit verschoof de gemiddelde hoogtes per afstandklasse voor de gebieden rondom de waterlijn. Om deze reden is voor het bepalen van de basis van het oeverstrand en het oeverstrandtalud afgeweken van de methode van Witteveen+Bos. Voor de overige oeverkentalen is wel dezelfde methode gebruikt.

### 3.2.2.1 Afleiding van de oeverkentalen

Vanwege de aanbevelingen vanuit het project Bank characterisation (Chavarrias, 2019) is besloten om de hoogtepunten binnen de 100-m-oeversecties te classificeren op afstand van de rivieras. De punten zijn ingedeeld in afstandklassen van 0,5 m en voor elke klasse is de gemiddelde hoogte ten opzichte van het stuwpeil bepaald. Op deze wijze is voor elke oeversectie een dwarsprofiel samengesteld.

Voor elk dwarsprofiel wordt vervolgens de top van de steilrand, de basis van het bovenwatertalud, het oeverstrand en het onderwatertalud gedefinieerd aan de hand van de helling en hellingtoename in de gladgestreken oeverprofielen. De top van de steilrand en de basis van het onderwatertalud worden gedefinieerd in een profiel dat gladgestreken is door de voortschrijdende mediaan te nemen over een afstand van 15 punten aan beide zijden. Door deze middeling worden outliers beter gefilterd. De basis van het oeverstrand en bovenwatertalud worden gedefinieerd in een profiel dat gladgestreken is door het voortschrijdend Gaussisch gewogen gemiddelde over een afstand van 5 punten aan beide zijden. In dit profiel zijn veranderingen in helling meer uitgevlakt (Duró en Schippers, 2021).

De **top van de steilrand** wordt bepaald in het door de voortschrijdende mediaan gladgestreken oeverprofiel als het eerste punt vanaf de uiterwaardkant waar:

- De bodemligging minder dan 2 m onder het gemiddelde niveau van de uiterwaard ligt
- De hoogte afneemt met een helling van minstens 0,09 over 3 opeenvolgende punten

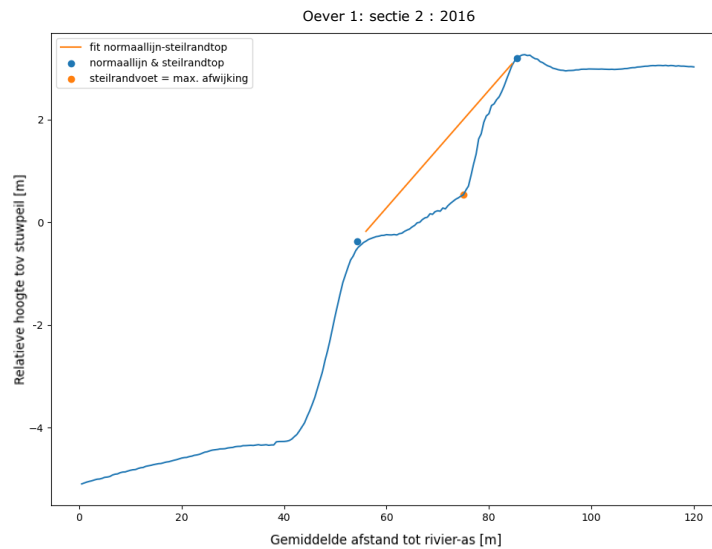
De **basis van het onderwatertalud** wordt ook bepaald in het door de voortschrijdende mediaan gladgestreken oeverprofiel als het eerste punt vanaf de rivieras waar:

- De hoogte toeneemt met een helling van minstens 0,09 over 3 opeenvolgende punten
- De bodemligging lager ligt dan 2 m boven de gemiddelde bodemligging van het zomerbed, welk bepaald wordt als de gemiddelde bodemligging van de eerste 30 m vanaf de rivieras.

De **basis van het oeverstrand** ligt volgens WAQBANK op de hoogte van de eventueel aanwezige oeververdediging, of op de rand van het invloedgebied van de golven (2x de golfhoogte onder het stuwpeil). Net onder de waterstand zijn echter weinig meetdata aanwezig waardoor de basis van het oeverstrand zeer moeilijk uit de meetdata gehaald kan worden en sterk wordt beïnvloed door de wel aanwezige hoogtes die net wel door LIDAR (de hoogste punten) of lodingen (de net diepste punten) zijn bepaald. Om deze reden is gekozen voor een beter te vergelijken aanpak, namelijk om voor elke oeversectie de hoogte en positie van de basis van het oeverstrand te bepalen op de locatie van de zomerbedbegrenzing welke in deze rapportage de oeverreferentielijn genoemd wordt. In enkele figuren van de Appendix kan echter ook nog in de legenda de term normaallijn zijn gebruikt. Deze begrenzing van het zomerbed is uit Baseline verkregen als de grens van sectie 1. De minimale afstand van de oeverreferentielijn tot aan de rivieras wordt berekend en de gemiddelde hoogte wordt bepaald uit alle hoogtemetingen die liggen binnen 20 cm rondom de oeverreferentielijn.



De locatie van de **steilrandvoet** wordt vervolgens bepaald als het punt in het oeverprofiel tussen de basis van het oeverstrand en de steilrandtop dat de grootste verticale afwijking vertoont van de rechte lijn tussen deze 2 punten. Dit is zichtbaar in Figuur 3.2.



*Figuur 3.2 Bepaling van de steilrandvoet (oranje) voor oever 1 sectie 2 in 2016 als de maximale afwijking tussen de lijn tussen de oeverreferentielijn (blauw) en de steilrandtop (blauw).*

Het talud van het oeverstrand wordt met onderstaande formule bepaald indien de relatieve hoogte van de oeverreferentielijn (basis van het oeverstrand) hoger ligt dan 1 m onder het stuwpeil:

$$talud = \frac{dy}{dn} = \frac{rel.hoogte\ basis\ steilrandvoet - rel.hoogte\ basis\ oeverstrand}{afstand\ basis\ steilrandvoet - afstand\ hoogte\ basis\ oeverstrand} * 100\%$$

Het talud wordt voor elk jaar voor elke 100-m-sectie bepaald, maar voor de analyse van de verandering in het talud wordt gebruik gemaakt van een starttalud, namelijk per sectie het gemiddelde talud van 2016 en 2017; en het huidige talud (het gemiddelde van 2020 en 2021).

De erosiesnelheid van de top van de oeversecties ( $dn/dt$ ) is bepaald met een lineaire fit door de gevonden afstanden van de steilrandtop voor de jaren 2017 tot en met 2021. In deze rapportage wordt de erosiesnelheid van de top van de oever vergeleken met de gebruikte erosiesnelheden in WAQBANK, omdat WAQBANK het uitgangspunt heeft dat de gehele oever als 1 blok erodeert vanaf de ondergrens van het invloedgebied van de golven of de bovengrens van de oeverbescherming tot aan de top van de oever.

Voor alle oevers worden per 100-m-oeversectie dwarsprofielen gemaakt met daarin de gemiddelde relatieve hoogte voor elke afstandklasse van 0,5 m. Per sectie is vervolgens uit deze gemiddelde profielen voor elke afstandklasse de minimale, gemiddelde en maximale gemiddelde relatieve hoogte van de individuele secties bepaald. Verder is voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte bepaald. In deze figuren worden de gemiddelde oeverprofielen samen met de standaardafwijking van de hoogte per afstandklasse weergegeven. De in deze paragraaf beschreven oeverkentallen worden echter alleen voor het gemiddelde profiel bepaald.

Voor de oeverkentallen van de oeverdeeltrajecten wordt gebruik gemaakt van het gemiddelde van de oeverkentallen van de individuele secties binnen dat oevertraject. De totale variatie binnen een oeverdeeltraject wordt aangeduid met boxplots.

Tabel 3-1 Eigenschappen van de 9 geselecteerde oevers

naam	Km	Lengte [m]	Positie	Ontwerp	Oevertalud	Bodemtype en oorsp.hoogte tov ontwerpwaterstand	Waterstandsdynamiek (gemiddelde over 11 mnd)
<b>1a</b> Buggenum	85,830 - 86,1	470	binnenbocht	NVO+	afgegraven	hoge zandige klei oever (3 m)	dynamisch (1,4 m)
<b>1b</b>	86,1 - 86,300		binnenbocht	NVO+	afgegraven	hoge zandoever met klei (3 m)	dynamisch (1,4 m)
<b>2a</b> Biesweerd/ <b>2b</b> Hansumerweerd	88,654 - 88,75 88,75 - 88,974	110 210	buitenbocht buitenbocht	Beschermd NO	niet afgegraven niet afgegraven	lage kleioever (<2 m) lage kleioever (<2 m)	dynamisch (1,1 m) dynamisch (1,1 m)
<b>3a</b> Rijkelse Bemden	90,00 - 90,2	200	binnenbocht,	NO	afgegraven (5 m)	lage kleioever met zand en grindlagen (<1,5 m)	dynamisch (1,0 m)
<b>3b</b>	90,2 - 90,55	320	binnenbocht	NO	afgegraven (5 m)	lage zandoever met grind (<1,5 m)	dynamisch (1,0 m)
<b>4a</b> Beesel	92,700 - 93,100	400	binnenbocht	NVO	afgegraven	hoge grindoever met klei en grof zand 1,7 – 3 m	dynamisch (0,8 m)
<b>4b</b>	93,100 - 93,985	885	recht	NO	afgegraven	hoge klei oever met lagen grind 1,7 – 3 m	dynamisch (0,8 m)
<b>5a</b> Niftrikse Waarden	183,05 - 183,57	520	binnenbocht	NVO	niet afgegraven	lage klei-oever	dynamisch (0,8 m)
<b>5b</b>	183,57 - 184,20	650	recht	NO	afgegraven	lage klei-oever met zand en grind bij waterlijn	dynamisch (0,8 m)
<b>6</b> De Waarden	192,50 - 193,10	600	buitenbocht	NVO	niet afgegraven	lage klei-oever met zand en grind bij waterlijn (<1,5 m)	laag-dynamisch (0,2 m)
<b>7</b> Buitenpolder Heerewaarden	207,7 - 208,9	1200	Recht	NVO+	niet afgegraven	hoge zandoever (2 m)	dynamisch (1,5 m)
<b>8a</b> Oeffelt	156,8 - 156,93	130	binnenbocht	NO	niet afgegraven	lage zandoever (1 m)	laagdynamisch (0,3 m)
<b>8b</b>	157,180 - 157,392	212	binnenbocht	NO	niet afgegraven	hoge gelaagde zandoever met klei en grind	
<b>8c</b>	157,675 - 158,550	875	binnenbocht	NVO+	niet afgegraven	hoge gelaagde oever met klei op grind en zand	
<b>8d</b>	158,550 - 159,210	660	recht	NVO+	niet afgegraven	hoge kleioever met een zandlaagje, grind en stenen	
<b>8e</b>	159,362 - 160,052	690	recht	NO	niet afgegraven	hoge kleioever met een zandlaagje, grind en stenen	
<b>8f</b>	160,158 - 161,045	887	buitenbocht linkeroever	NO	niet afgegraven	kleioever met grind aan de waterlijn	
<b>9a</b> Neerloon	179,7 - 180,35	650	binnenbocht	NO	niet afgegraven	hoge kleioever op zand	dynamisch (0,8 m)
<b>9b</b>	180,350 - 180,950	600	binnenbocht	NVO+	niet afgegraven	hoge kleioever op zand	
<b>NO : natuurlijke oever; alle oeverbescherming verwijderd</b>					laagdynamisch : gemiddeld 11 maanden per jaar waterstandsvariatie van minder dan 0,5 m		
<b>NVO : oeverbescherming van de droge oever verwijderd tot ontwerpwaterstand</b>					dynamisch : gemiddeld 11 maanden per jaar waterstandsvariatie tussen 0,5 m en 1,5 m		
<b>NVO+ : oeverbescherming van de droge oever verwijderd tot 0,5 m onder ontwerpwaterstand</b>					hoogdynamisch : gemiddeld 11 maanden per jaar waterstandsvariatie van meer dan 1,5 m		

Tabel 3-2 Vergelijking van oevereigenschappen voor de 9 oevers

<b>invloed oevertype</b>	<b>zand</b>	<b>klei of grind</b>
<b>afgegraven oever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 3b (zand met grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)
<b>niet afgegraven rechte hoge oever</b>	Nr 7 (zand, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	Nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)
<b>invloed relatieve oeverhoogte</b>	<b>hoge oever</b>	<b>lage oever</b>
<b>niet-afgegraven kleioever dynamisch</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)  nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)
<b>invloed afgraven</b>	<b>wel afgegraven</b>	<b>niet afgegraven</b>
<b>hoge zandoever sterk-dynamisch, NVO+</b>	nr 1b (zand met klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	nr 7 (zand, NVO+, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)
<b>hogere kleioever dynamisch, NO</b>	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)
<b>lagere kleioever, dynamisch</b>	nr 3a (klei met zand en grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)  nr 1b (zandige klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)
<b>invloed binnenbocht-buitenbocht</b>	<b>binnenbocht</b>	<b>Buitenbocht</b>
<b>lage kleioever, niet afgegraven, NVO</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	nr 6 (klei met zand en grind, NVO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)
<b>hoge kleioever, NO</b>	Nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, niet afgegraven)  nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	Nr 8f (klei met grind, NO, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)
<b>niet afgegraven lage oever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)
<b>invloed ontwerp</b>	<b>NVO-peil</b>	<b>NO-peil</b>
<b>afgegraven hoge zandoever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 4a (grind met klei, NVO, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)
<b>niet afgegraven hoge kleioever</b>	nr 9b (klei op zand, NVO+, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)
<b>niet afgegraven hoge kleioever met zand en grind</b>	nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	nr 8e (klei met zand en grind, NO, recht, hoge oever, niet afgegraven)
<b>niet afgegraven lage kleioever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)

## 4 Resultaten

Voor de verificatie van WAQBANK zijn specifiek de hoogte en positie van de basis van het oeverstrand, de basis van de steilrand en het talud tussen deze twee locaties van belang. Deze oeverkentalen zijn voor elke oeversectie bepaald. De erosiesnelheid is bepaald uit een lineaire fit door de gevonden afstanden van de steilrandtop voor de jaren 2017 tot en met 2021. Verder is de gemiddelde hoogte van de oeverreferentielijn, steilrandvoet en steilrandtop bepaald over dezelfde periode. Voor de hoogteligging van de oeverreferentielijn en steilrandvoet en voor het talud van het oeverstrand is het talud zowel net na de oplevering van de oevers als aan het eind van de meetperiode weergegeven. Dit om te kijken of het talud zich ontwikkelt richting een talud van 1:20, zoals wordt verondersteld in WAQBANK. Figuur 4.1 toont met boxplots de variatie van de kentallen binnen de oeverdeeltrajecten. Rondjes tonen outliers die buiten het bereik liggen van  $1,5 \cdot$  de kwartielafstand (aangegeven met de whiskers). De randen van de blauwe dozen tonen de Q1- en Q3-kwartielen en de groene lijnen tonen per oeverdeeltraject de mediaan.

### 4.1 Invloedgebied van de golven

In WAQBANK wordt gesteld dat het invloedgebied van de golven (de zone van hydraulische belasting) bepaalt welk deel van de oever kan eroderen. Dit invloedgebied is voor alle oevers gelijk aan een bereik van 2 keer de golfhoogte bij de vooroever onder de waterstand tot  $0,5x$  de golfhoogte boven de waterstand. Voor de evenwichtssituatie is het specifiek tussen  $2x$  de golfhoogte onder en  $2x$  de golfhoogte boven de referentiewaterstand. De hoogte van scheepsgolven is voor de Maas in de orde van 0,3 m met een maximum van 0,4 m (Duró et al., 2020). Dit betekent dat de zone van de hydraulische belasting op 0,6 tot 0,8 m onder het stuwpeil begint. Echter wanneer er oeververdediging aanwezig is en deze hoger ligt dan de ondergrens van de golven dan bepaalt de top van de oeververdediging de ondergrens van het invloedgebied.

Om te onderzoeken hoe de basis van de oever zich gedraagt, wordt in deze analyse de hoogte ter plekke van de oeverreferentielijn (de zomerbedbegrenzing) gebruikt als basis van het oeverstrand en daarmee de ondergrens van het invloedgebied van de golven. De relatieve bodemhoogte op de oeverreferentielijn varieert sterk voor de oeverdeeltrajecten (zie Figuur 4.1). In de figuur valt vooral op dat de oeverreferentielijn van een aantal oeversecties meer dan 3 tot 4 m onder het stuwpeil ligt. Deze uitschieters liggen in secties van oevers 8A en 8B, namelijk in de binnenbocht van de niet afgegraven NO-oever van Oeffelt. Het is niet realistisch dat het oeverstrand zover onder het stuwpeil begint. Verder ligt ook de hoogte van de steilrandvoet bij deze oeversecties tussen de 3 en 3,5 m onder het stuwpeil. Daarnaast stellen de uitgangspunten van WAQBANK dat de zone van hydraulische belasting slechts tussen 0,6 tot max 0,8 m onder en boven het stuwpeil ligt. De keuze voor het gebruik van de zomerbedbegrenzing als oeverreferentielijn blijkt voor deze oevers dan ook niet geschikt als indicatie van de basis van het oeverstrand. Daarom zijn deze secties weggelaten in de volgende figuren en is ook het oeverstrandtalud alleen geanalyseerd voor de oevers met een oeverreferentielijn die hoger ligt dan 1 m onder het stuwpeil.

Figuur 4.2 toont voor de verschillende oeverparameters de relatieve hoogte van de oeverreferentielijn ten opzichte van het stuwpeil. Voor deze figuur zijn de individuele oeversecties gegroepeerd op basis van de oeverkarakterisatie uit van der Deijl (2022b). Boxplots tonen variatie van de hoogte van de oeverreferentielijn voor de per parameter gegroepeerde oeversecties. Outliers (rondjes) liggen buiten het bereik van  $1,5 \cdot$  de kwartielafstand (whiskers).

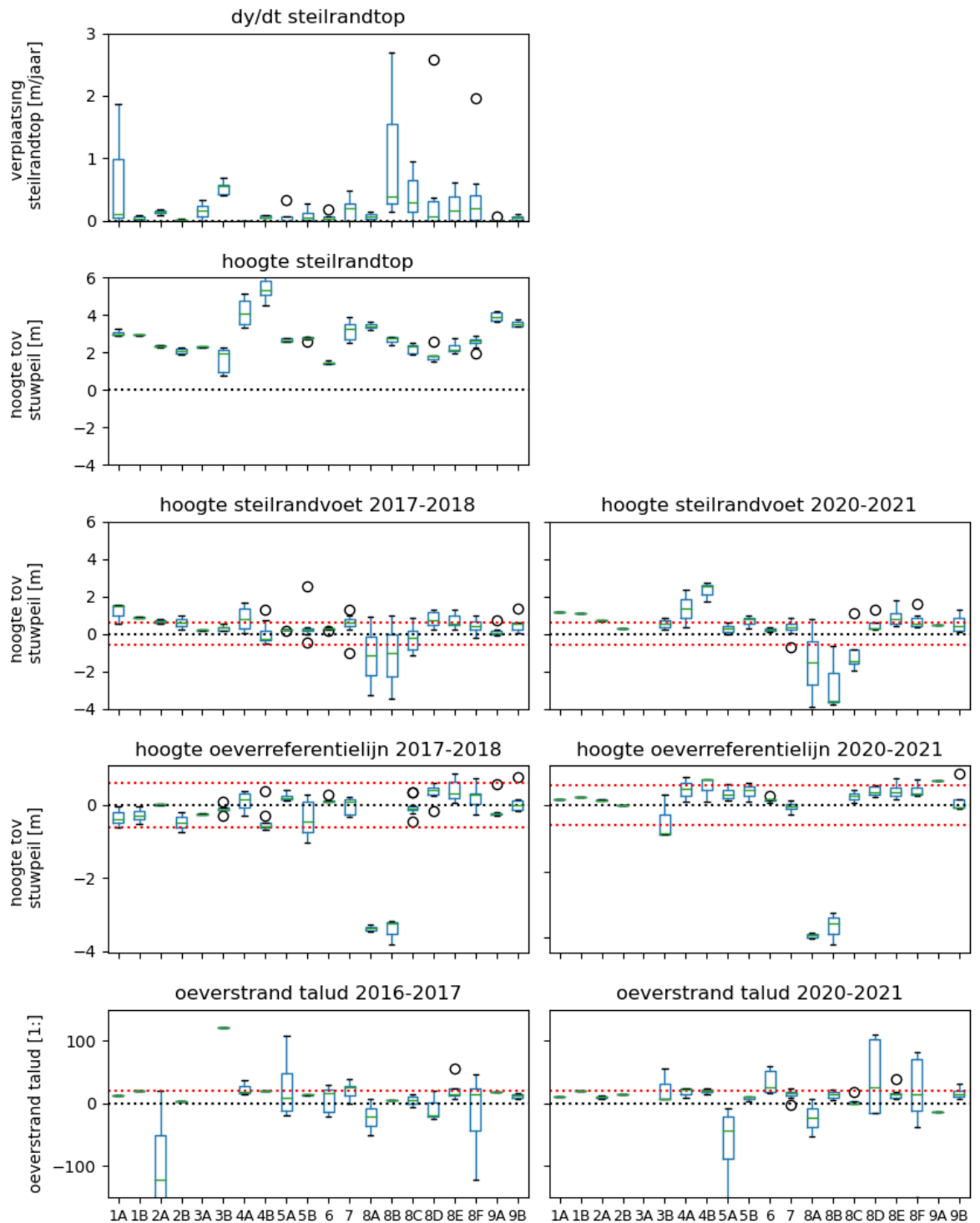
De rand van de blauwe doos toont de Q1- en Q3-kwartielen en de groene lijn geeft de mediaan. De rode stippellijnen tonen de begrenzing van de zone van de hydraulische belasting en het evenwichtstalud van 1:20 zoals verondersteld in WAQBANK.

Figuur 4.2 toont dat:

- De oeverreferentielijn en daarmee de basis van het oeverstrand over het algemeen lager ligt voor oevers met onder andere zand in het bodemmateriaal en dat de lijn hoger ligt wanneer er ook klei in het bodemmateriaal aanwezig is.
- De oeverreferentielijn en daarmee de basis van het oeverstrand over het algemeen lager ligt voor de door Rijkswaterstaat geclassificeerde lagere oevers
- De oeverreferentielijn hoger ligt bij afgegraven oevers.
- De relatieve hoogte van de oeverreferentielijn het laagst is voor de NVO+-oevers met bescherming tot slechts 0,5 m onder het stuwpeil. Bij enkele van deze oevers ligt de oeverreferentielijn lager dan het stuwpeil. Opvallend is dat de oeverreferentielijn het hoogst ligt voor de onbeschermden NO-oevers.
- De oeverreferentielijn significant hoger ligt langs rechte stukken rivier dan in de bochten. De lijn ligt het laagst in de buitenbochten.

Figuur 4.3 toont vervolgens voor de verschillende oeverparameters de relatieve hoogte van de steilrandvoet t.o.v. het stuwpeil. De steilrandvoet is het einde van het oeverstrand. Wanneer deze steilrandvoet ligt binnen het invloedsgebied van de golven en het oeverstrand een talud heeft dat steiler is dan 1:20 veronderstelt WAQBANK dat de oever instabiel is en zal eroderen. In Figuur 4.3 zijn de individuele oeversecties weer gegroepeerd op basis van de oeverkarakterisatie uit van der Deijl (2022b) en geven de rode stippellijnen de begrenzing van het invloedsgebied van de golven en het evenwichtstalud van 1:20. De figuur toont dat:

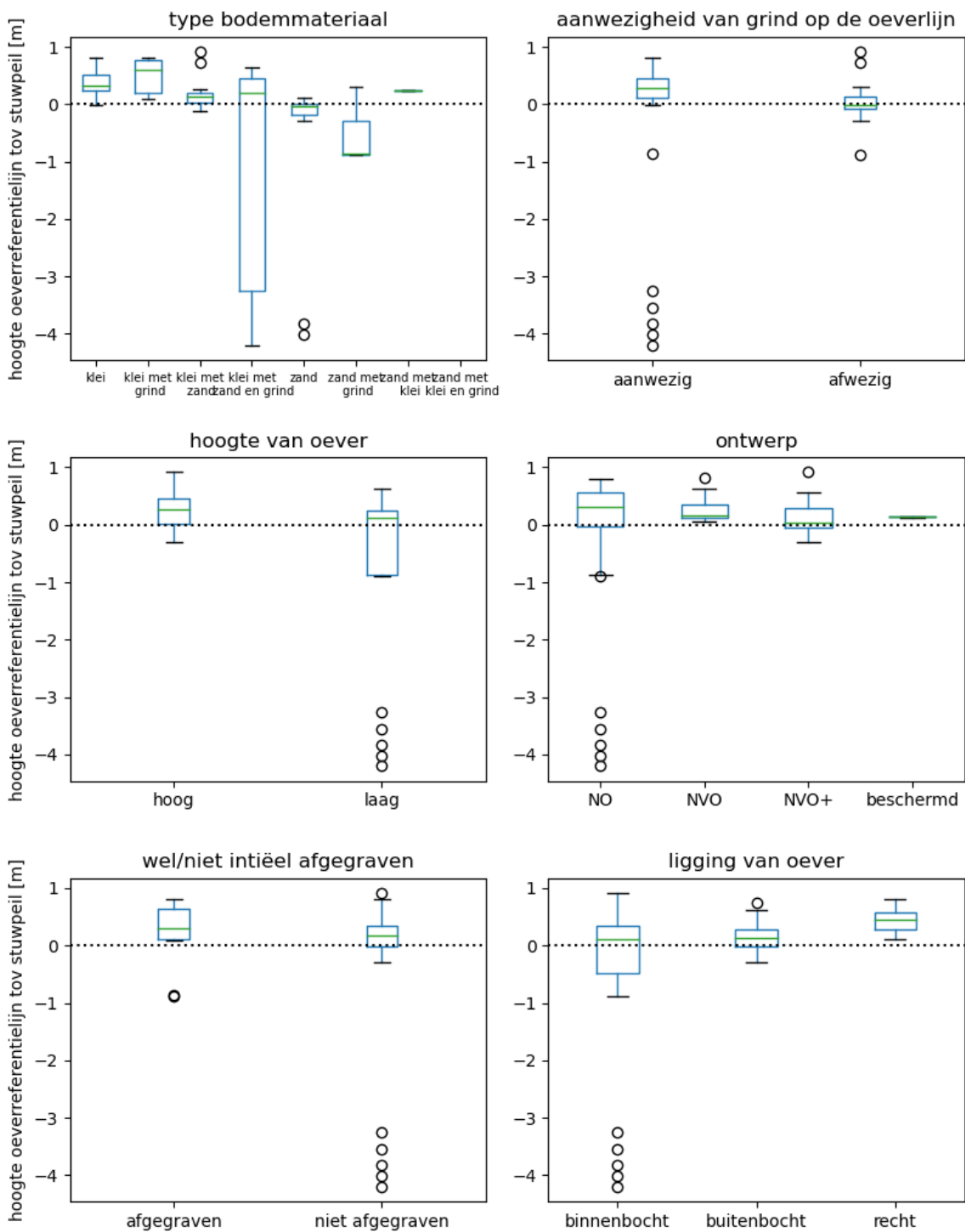
- Het grootste deel van de oeversecties een steilrandvoet heeft welke ligt binnen de zone van de hydraulische belasting en volgens het uitgangspunt van WAQBANK dan instabiel is en dus verder zal eroderen. Alleen oevers die uit klei met grind bestaan zouden stabiel zijn aangezien hun steilrandvoet over het algemeen hoger ligt dan de zone van de hydraulische belasting.
- De steilrandvoet hoger ligt voor oevers die door Rijkswaterstaat zijn geclassificeerd als hoge oevers.
- De steilrandvoet over het algemeen het hoogst ligt voor de NO-oevers en de beschermde oevers.
- De steilrandvoet significant hoger ligt voor de afgegraven oevers.
- De steilrandvoet significant hoger ligt langs rechte stukken rivier dan in de bochten.



Figuur 4.1 Boxplots met voor elk oeverdeel het gemiddelde en de spreiding in de erosiesnelheid [m/jaar], de relatieve hoogte van de oeverreferentielijn, de steilrandvoet en steilrandtop ten opzichte van het stuwpeil [m] en het talud van het oeverstrand voor alle oeversecties van 100 m. Rondjes tonen outliers buiten  $1,5 \cdot$  de kwartielafstand (de whiskers). De dozen tonen de Q1- en Q3-kwartielen en de groene lijn de mediaan. De rode stippellijnen tonen het invloedgebied van de golven en het talud van 1:20 zoals verondersteld wordt in WAQBANK.

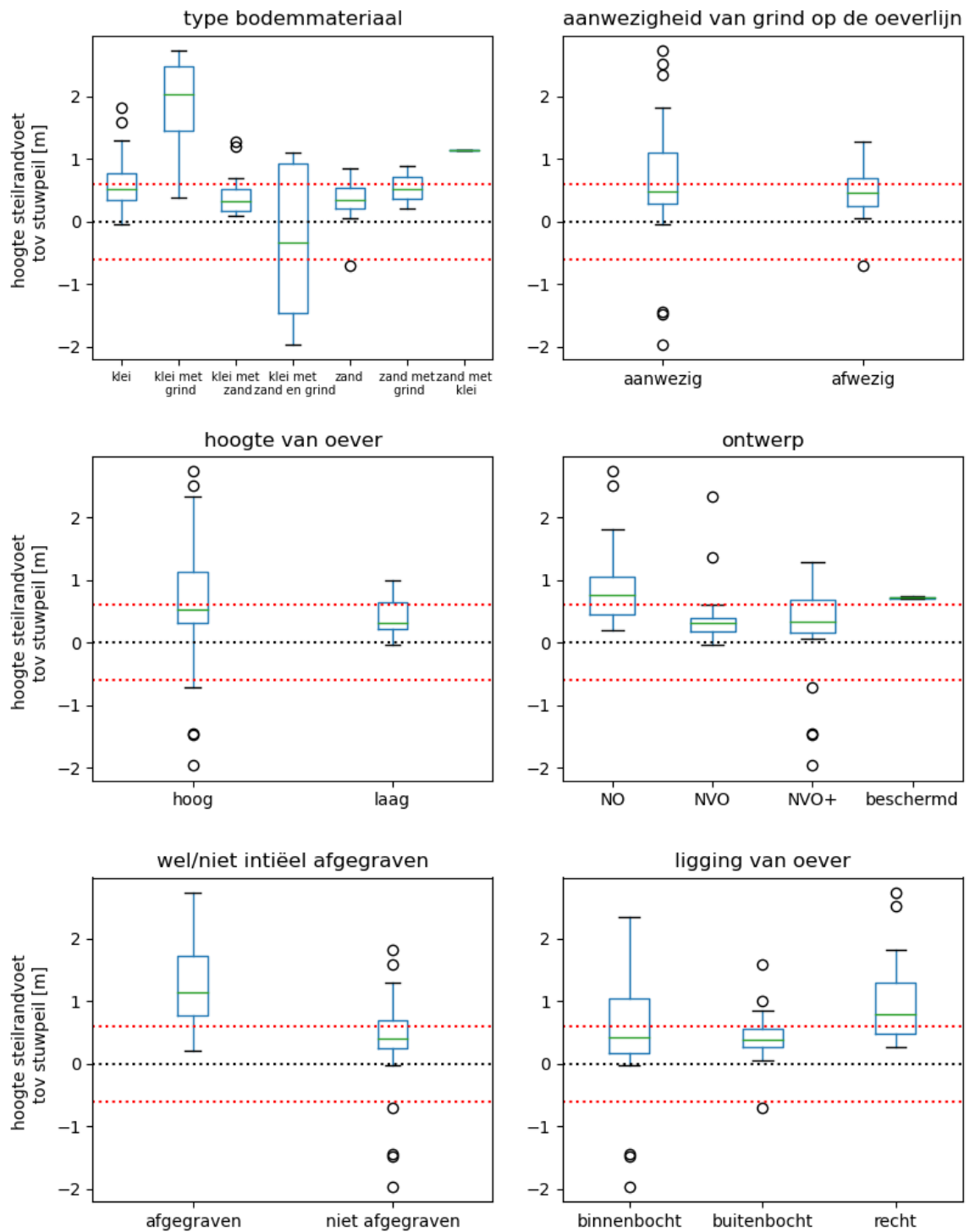


hoogte oeverreferentielijn tov stuwpeil [m]



Figuur 4.2 Boxplots met de mediaan en de spreiding van de hoogte van de oeverreferentielijn (de basis van het oeverstrand) voor de periode 2019-2021 voor al de secties gegroepeerd op het type bodemmateriaal, de aanwezigheid van grind op de oeverlijn, de hoogte van de oever, het ontwerp, het wel/niet afgraven en de ligging van de oever. Rondjes tonen outliers buiten  $1,5 \cdot$  de kwartielafstand (de whiskers). De dozen tonen de Q1- en Q3-kwartielen en de groene lijn de mediaan. De rode stippellijnen tonen het invloedgebied van de golven zoals verondersteld wordt in WAQBANK.

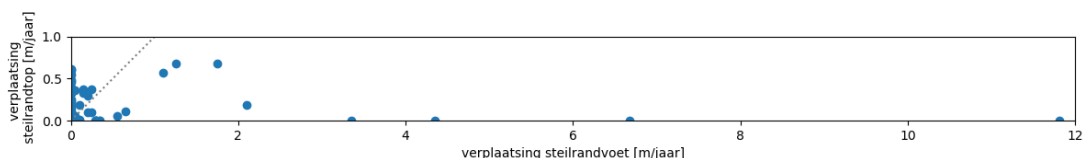
## hoogte steilrandvoet tov stuwpeil [m]



Figuur 4.3 Boxplots met de mediaan en de spreiding van de hoogte van de steilrandvoet (einde van het oeverstrand) voor de periode 2019-2021 voor al de secties gegroepeerd op het type bodemmateriaal, de aanwezigheid van grind op de oeverlijn, de hoogte van de oever, het ontwerp, het wel/niet afgraven en de ligging van de oever. Rondjes tonen outliers buiten  $1,5 \cdot$  de kwartielafstand (de whiskers). De dozen tonen de Q1- en Q3-kwartielen en de groene lijn de mediaan. De rode stippellijnen tonen het invloedgebied van de golven zoals verondersteld wordt in WAQBANK.

## 4.2 Erosiesnelheid van de steilrandtop

De erosiesnelheid van de steilrandtop is belangrijk voor de validatie van WAQBANK, omdat WAQBANK als uitgangspunt heeft dat de gehele oever als 1 blok erodeert vanaf de ondergrens van het invloedgebied van de golven, of de bovengrens van de oeverbescherming indien deze hoger ligt, tot aan de bovengrens van het invloedgebied van de golven of de top van de oever, indien deze lager ligt. De erosiesnelheid van de steilrandtop geeft dus een indicatie van de totale erosiesnelheid zoals in WAQBANK bepaald. In werkelijkheid komt het geërodeerde materiaal van de steilrand eerst als erosieproduct op het oeverstrand onderaan de steilrandvoet terecht. In Figuur 4.4 is dit effect zichtbaar aangezien hier veel secties een steilrandvoet hebben die stabiel ligt, terwijl de steilrandtop wel verplaatst. Er zijn echter ook duidelijk secties waar de steilrandvoet al meerdere meters erodeert, maar de top van de oever stabiel ligt. Deze figuur toont aan dat de oever dus niet als 1 blok erodeert en dat deze oevers ook ver zijn van een evenwichtsprofiel met een oeverstrandtalud van 1:20 dat eindigt onder een verticale steilrand die tot de top van de oever loopt, zoals verondersteld wordt in WAQBANK.



Figuur 4.4 De verplaatsing van de steilrandtop en de steilrandvoet in m/jaar. De stippellijn toont de gelijke erosiesnelheid zoals wordt verondersteld in WAQBANK.

Het bovenste paneel van Figuur 4.1 geeft per oeverdeel de verplaatsing van de steilrandtop (of top van de oever) in m per jaar weer. In de figuur is zichtbaar dat vanuit de sterkste erosie van de top van de oever van gemiddeld 1,08 m per jaar plaatsvindt bij oever 8B, gevolgd door oever 1A welke gemiddeld iets meer dan 0,66 m per jaar erodeert. Bij oever 4A vond geen erosie plaats en lag de top van de oever stabiel tussen 2016 en 2021.

Oever 8B en oever 1A tonen niet alleen de grootste gemiddelde erosiesnelheid voor de top van de oever, maar dit zijn ook de oevers met de grootste variatie in erosiesnelheid langs de oever. Het is sectie 5 van oever 8B waar de top van de oever 2,7 m per jaar is teruggetrokken, terwijl de verplaatsing in sectie 3 van deze oever slechts 13 cm per jaar betrof. Bij oever 1A is de steilrand van sectie 2 het verst teruggetrokken met 1,9 m per jaar, terwijl de rand in sectie 3 stabiel lag en in sectie 1 slechts 11 cm per jaar erodeerde.

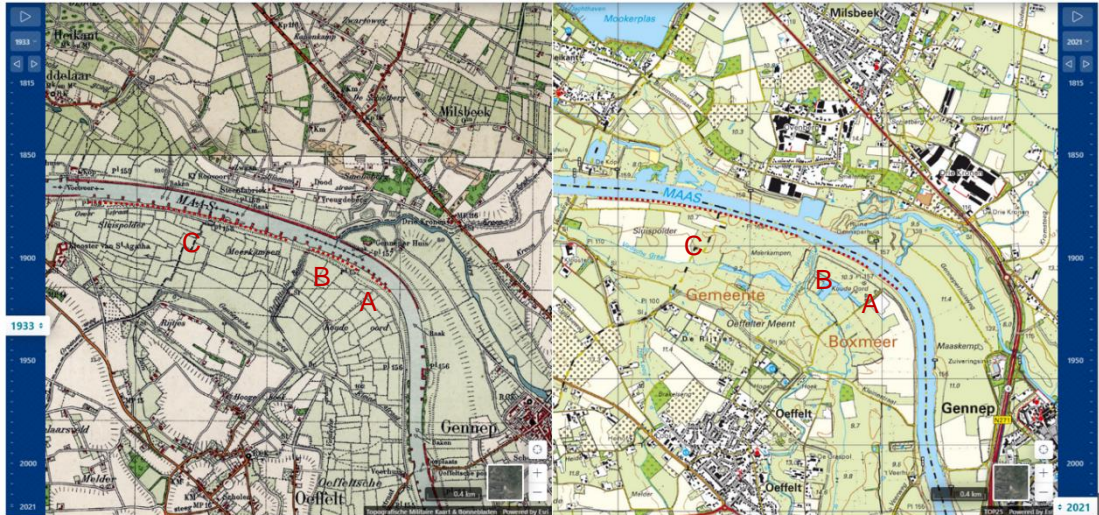
Omdat langs oevers 8B en 1A zowel de grootste erosiesnelheid als de grootste variatie in de erosiesnelheid van de top van de oever zichtbaar is, worden deze oevers in de volgende paragrafen verder besproken.

De stabielste oever is oever 4A. Hier is in alle 4 de secties de top van de oever niet verplaatst. Ook het tweede deel van oever 4, namelijk oever 4B, is redelijk stabiel met een maximale verplaatsing van 10 cm per jaar. Omdat deze oever het meest stabiel is, wordt deze oever verder besproken in paragraaf 4.2.2. De ontwikkeling van de overige oevers is te lezen in Appendix B.

## 4.2.1 Grootste erosiesnelheid: oevers 8B en 1A

### 4.2.1.1 Oever 8B: Oeffelt

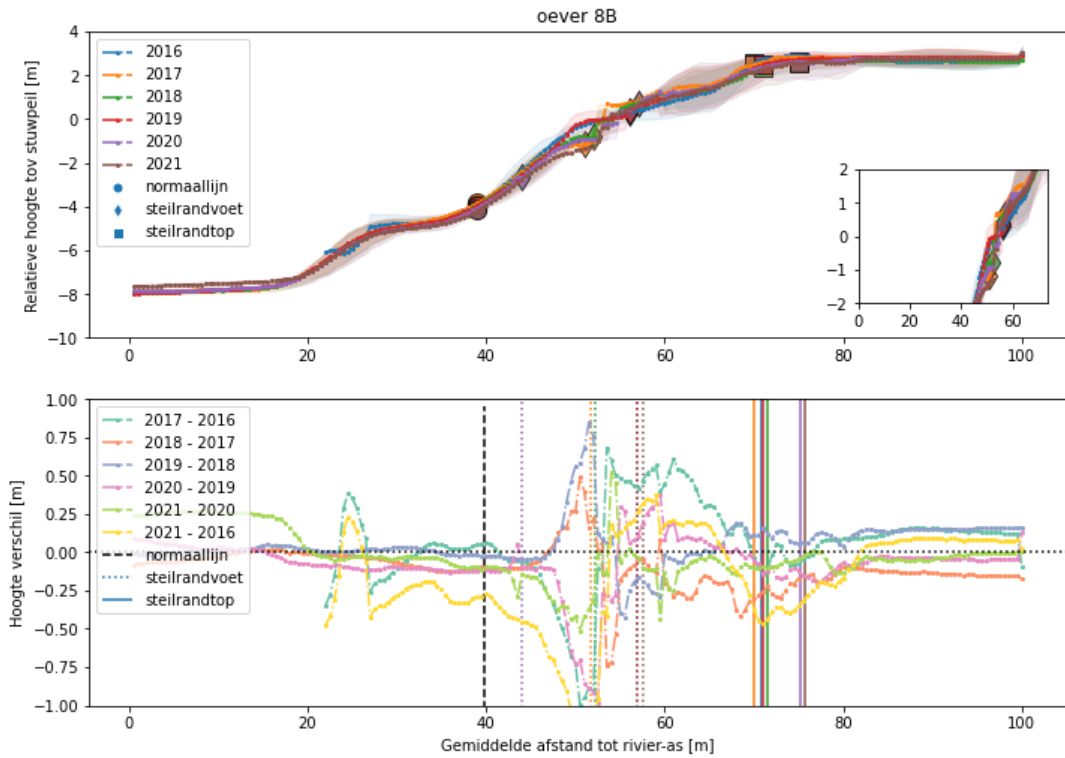
Oever 8 bij Oeffelt is een langgerekt stuk lage zandoever aan de linkerkant van de rivier. De oever is ingedeeld in 6 delen waarvan delen A, B en C (rkm. 156,8 – 156,9 ; 157,2-157,4 ; 157,6-158,6) in een flauwe binnenbocht liggen. Dit wordt opgevolgd door een recht stuk oever (deel D, rkm. 158,6-159,2) en een flauwe buitenbocht met delen E en F (rkm. 159,3-160 en 160,1-161,1). Langs delen A tot en met C waren in het verleden kribben aanwezig (zie Figuur 4.5), maar deze zijn verwijderd.



Figuur 4.5 Kaarten ter hoogte van delen A tot en met C (rode stippellijnen) van de linkeroever bij Oeffelt (rechts, Topotijdreis 2021). Ter hoogte van deze oeverdelen waren kribben aanwezig (links, Topotijdreis 1933).

In november 2015 is de KRW-oever van Oeffelt opgeleverd. Hiervoor is bij deel A en B de oeverbescherming geheel verwijderd. De top van de oever 8B is tussen 2016 en 2021 gemiddeld 1,4 m per jaar geërodeerd (zie Figuur 4.6). Deze figuur toont het gemiddelde oeverprofiel met de minimale, gemiddelde en maximale gemiddelde relatieve hoogte voor elke afstandsklasse en het hoogteverschil van oever 8B. In de onderste grafiek met het hoogteverschil is verplaatsing van de steilrandtop goed zichtbaar in het negatieve hoogteverschil tussen 70 en 80 m. De sedimentatie op het oeverstrand is ook duidelijk uit de toename in hoogte tussen 30 en 70 m vanaf de rivieras.

Er had echter direct tussen de oplevering in november 2015 en de eerste inmeting in 2016 ook al sterke erosie plaatsgevonden, waarbij de steilrand is gevormd en er al diverse erosieproducten op het oeverstrand zijn achtergebleven (zie Figuur 4.8), want deze oever was niet initieel door Rijkswaterstaat afgegraven. Figuur 4.8 toont ook goed aan dat oever 8B gelaagd is. Het oevermateriaal varieert langs de oever. Er zijn steilranden met lagen zwarte klei en lagen zand. De voet van deze randen ligt in het water of er is een oeverstrand aanwezig.

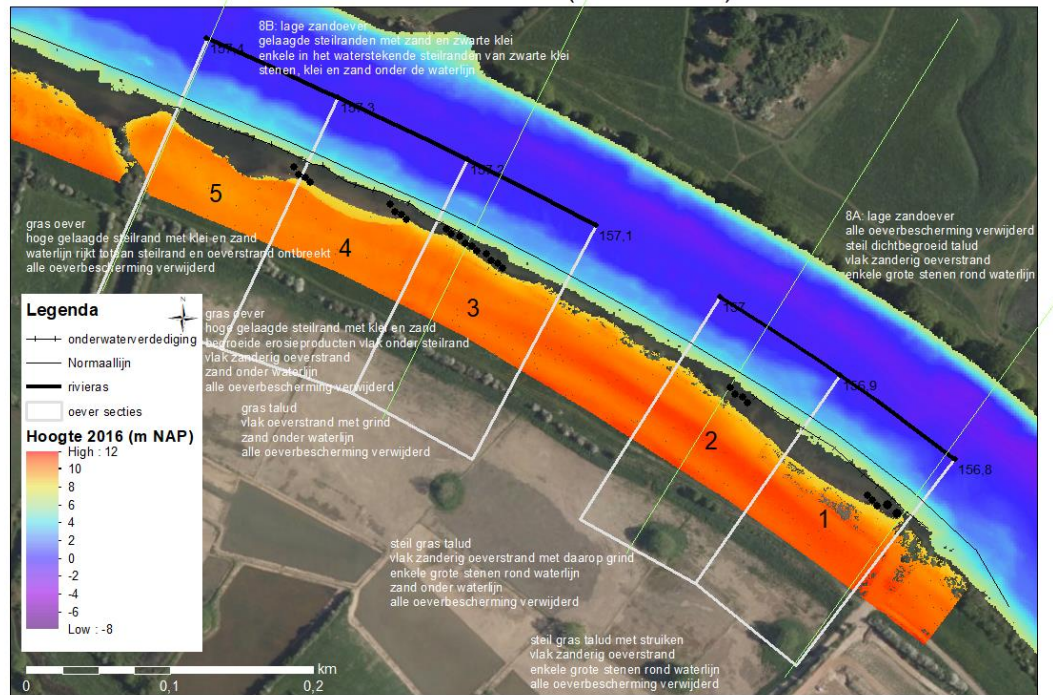


*Figuur 4.6 Voor oever 8B de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)*

In sectie 4 ligt er voornamelijk grind en stenen op het oeverstrand met zand onder de waterlijn. De erosie van sectie 4 betrof in deze periode 0,4 m per jaar. In sectie 5 is een breder en vlakker zanderig oeverstrand met wat grind en enkele stenen (zie Figuur 4.7). Onder de waterlijn zijn stenen, kleilagen en zand aanwezig. Er is in sectie 5 een grote erosiekom gevormd (zie Figuur 4.7, Figuur 4.8 en Figuur 4.9). Hier is een hoge steilrand met aan de voet begroeide brokken erosieproduct. Aan het begin en eind van de kom is grind aanwezig en de kom begint en eindigt bij de bakens waar zelfs een restant oeverbescherming of een restant van de voormalige kribben ligt. De oever van sectie 5 is in deze kom tussen 2016 en 2021 het sterkst geërodeerd met een snelheid van 2,6 m per jaar.



## Oever 8: Oeffelt (sectie A & B)



**Figuur 4.7** De bodem- en oeverhoogte [m NAP], top van de oeverbescherming, locatie van de onderwaterverdediging en de oeverreferentielijn voor de oever Oeffelt deel A en B. De aanwezigheid van steenbestorting is aangeduid met grote bollen en grind met kleine bolletjes.



**Figuur 4.8** Foto van de gelaagde steilrand in een erosiekom langs oever 8B. Op het zandige oeverstrand zijn lagen klei, stenen en brokken begroeid erosieproduct zichtbaar (Shore, 2016).

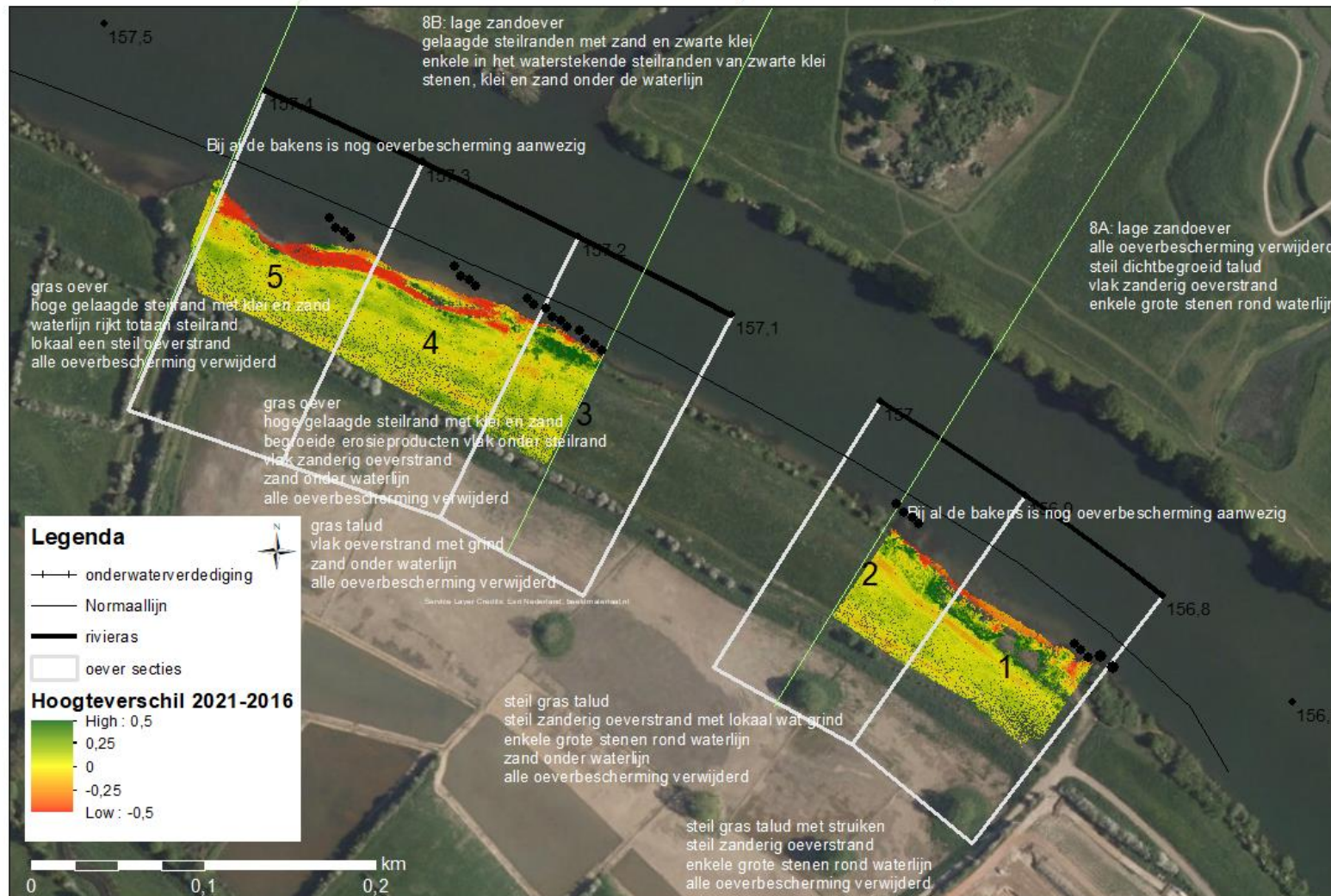




*Figuur 4.9 Screenshots, zowel in benedenstroomse (boven) als bovenstroomse richting (beneden) van de erosiekommen in secties 4 en 5 van oever 8B. Zichtbaar zijn het brede geleidelijke zandige oeverstrand in de erosiekommen, de begroeide, afgegleden erosieproducten en de lokaal aanwezige steenbestorting ter hoogte van het baken bij rkm. 157,2 ; 157,3 en 157,4 (Shore, 2021).*

Ook de overige delen van oever 8 hebben een relatief grote erosiesnelheid vergeleken met alle andere oevers. De erosiesnelheid is met 22 cm per jaar het laagst in deel 8E en bedraagt respectievelijk 38, 40, en 52 cm voor de secties 8F, 8C en 8D. Het hoogteverschil voor oevers 8D en E is zichtbaar in Figuur 4.11. Deze figuur omschrijft dat er ook hier lokaal resten steenbestorting (mogelijk van de voormalige kribben) aanwezig zijn en dat de erosie van de oevers sterk is en er bressen in de oever zijn ontstaan tussen de aanwezige bakenbomen. Deze bakenbomen worden ondergraven en ook de resten steenbestorting zijn vanaf de zijkant onderhevig aan erosie, maar zowel de bakenbomen als de steenbestorting houden lokaal de oever vast, waardoor de gemiddelde erosiesnelheid van de oever minder groot is.

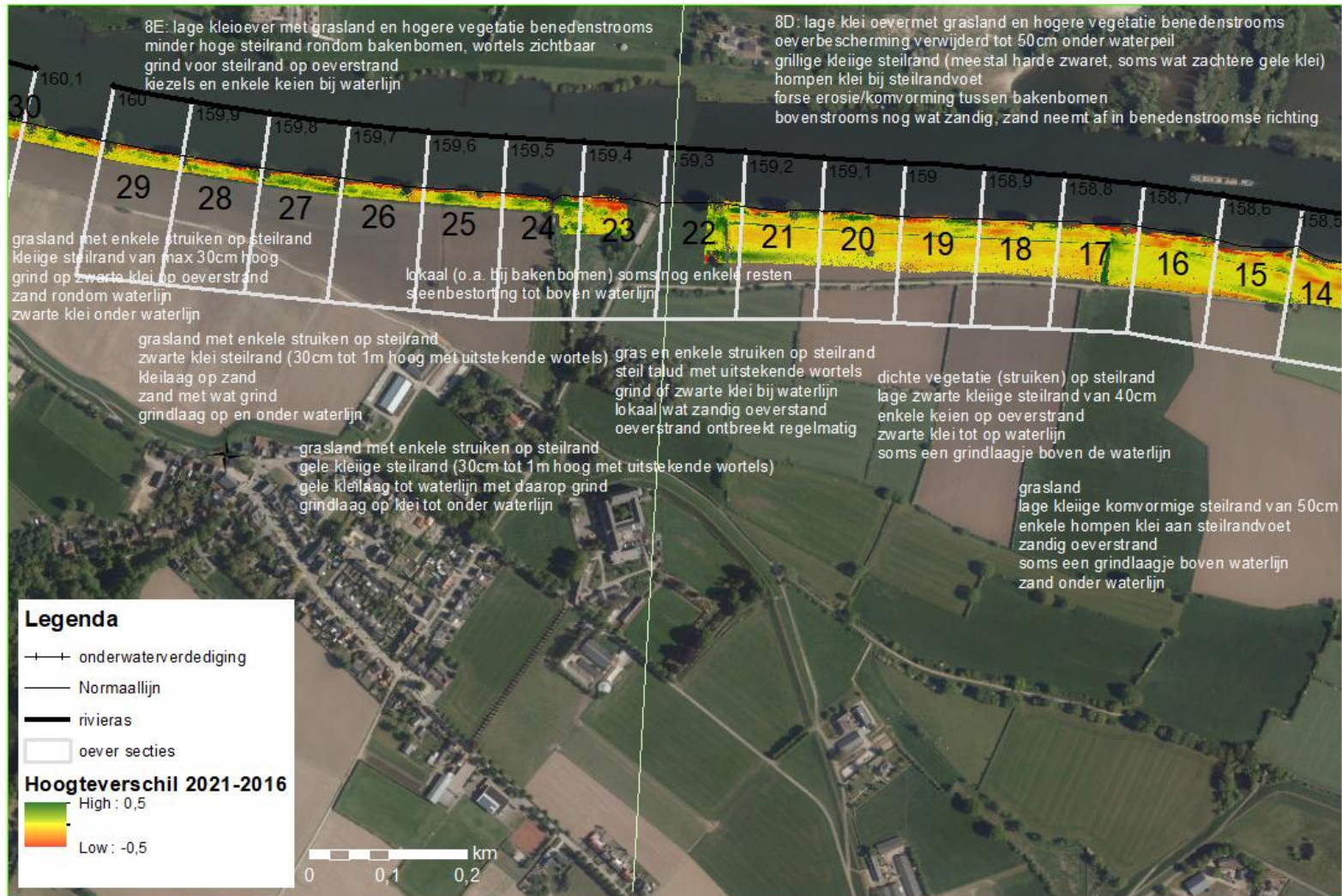
## Oever 8: Oeffelt (sectie A & B)



Figuur 4.10 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2021 en 2016 voor het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van Oeffelt deel A en B



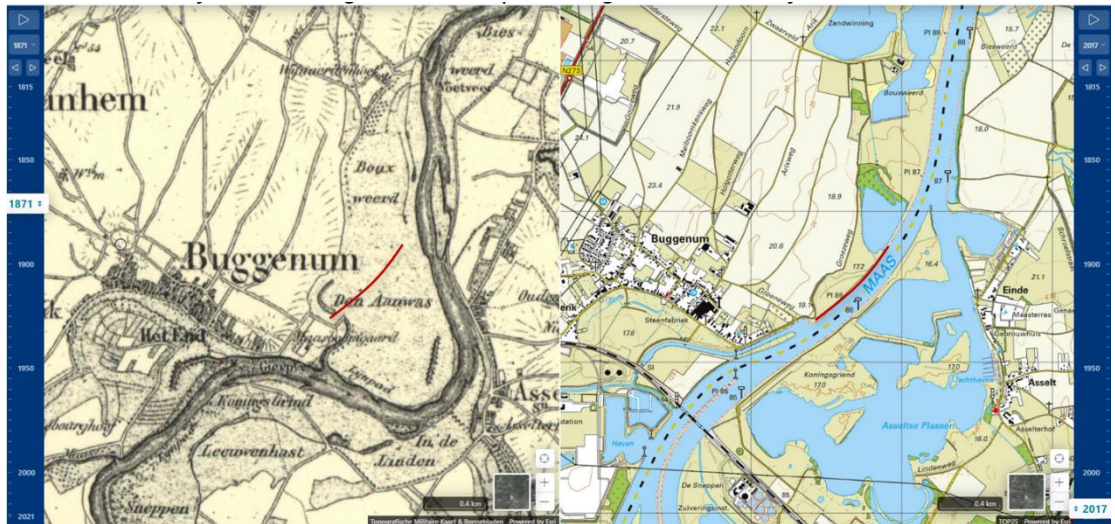
## Oever 8: Oeffelt (sectie D & E)



Figuur 4.11 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2021 en 2016 voor het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van Oeffelt deel D en E

#### 4.2.1.2 Oever 1A: Buggenum

De oever van Buggenum ligt in een flauwe binnenbocht tussen rkm. 85,8 en 86,3 aan de linkerkzijde van de rivier. Het is een afgegraven hoge kleioever welke ligt langs een bochtafsnijding die in de jaren '50 dwars door een voormalige aanwas is aangelegd. De oude topografische kaarten (zie Figuur 4.12) tonen aan dat bij deze aanleg ook enkele plassen of geulrestanten zijn doorgekruist.

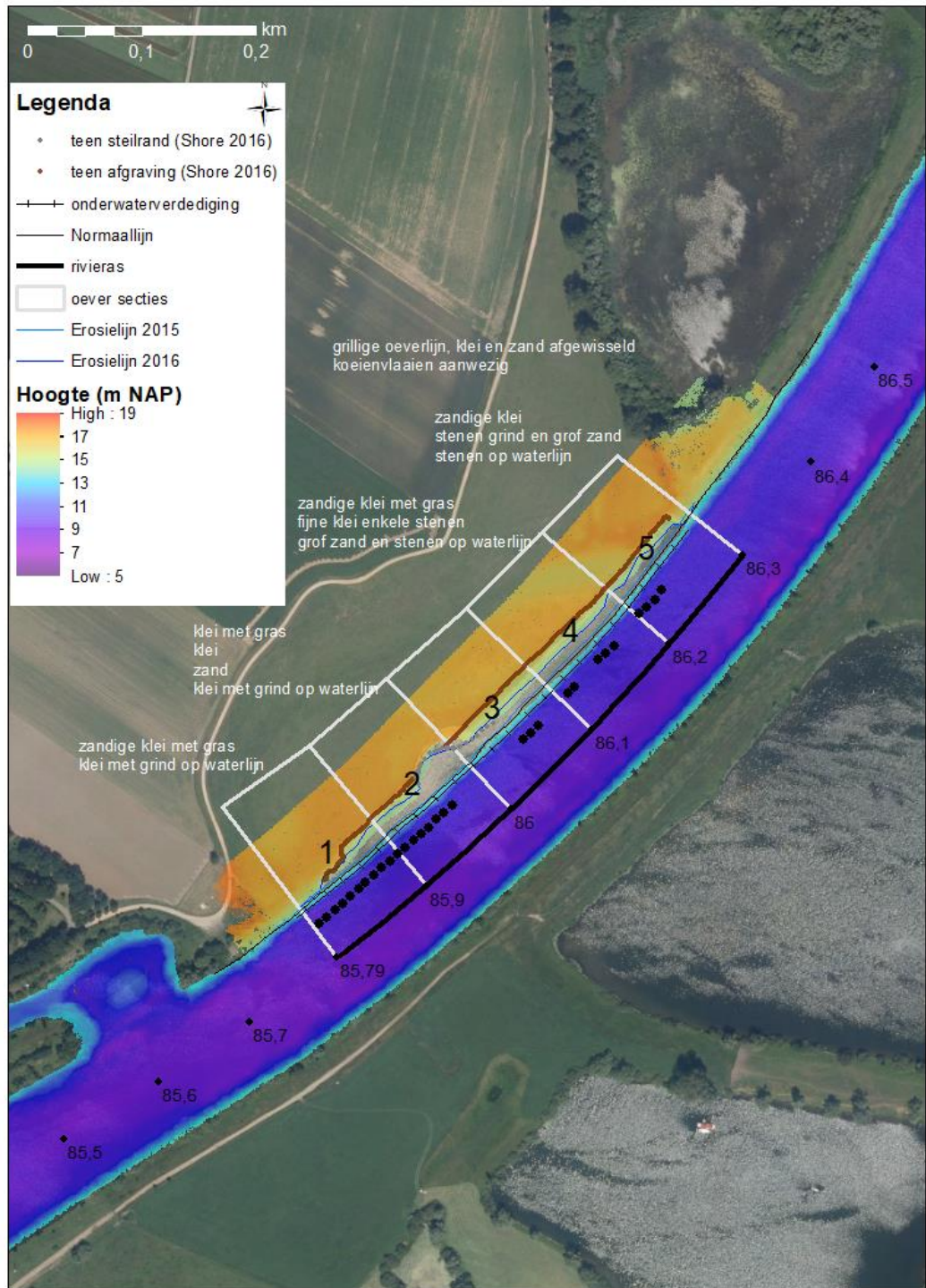


Figuur 4.12 Kaarten van de linkeroever bij Buggenum (rode lijn) welke ligt van rkm. 85,8 tot 86,3 (rechts, Topotijdreis 2021) waar in de jaren '50 de rivierbocht is afgesneden (links, Topotijdreis 1871).

Na het ontstemen en afgraven van de oever dat gereed was in november 2015, is in sectie 2 van de oever van Buggenum in het najaar van 2016 al een duidelijke bres met steilrand aanwezig (zie Figuur 4.13). In de steilrand van de bres is de gelaagdheid van de oever goed zichtbaar met bovenop een kleilaag begroeid met gras, daaronder klei, gevolgd door zand en bij de waterlijn klei met grind (van der Deijl, 2022b).



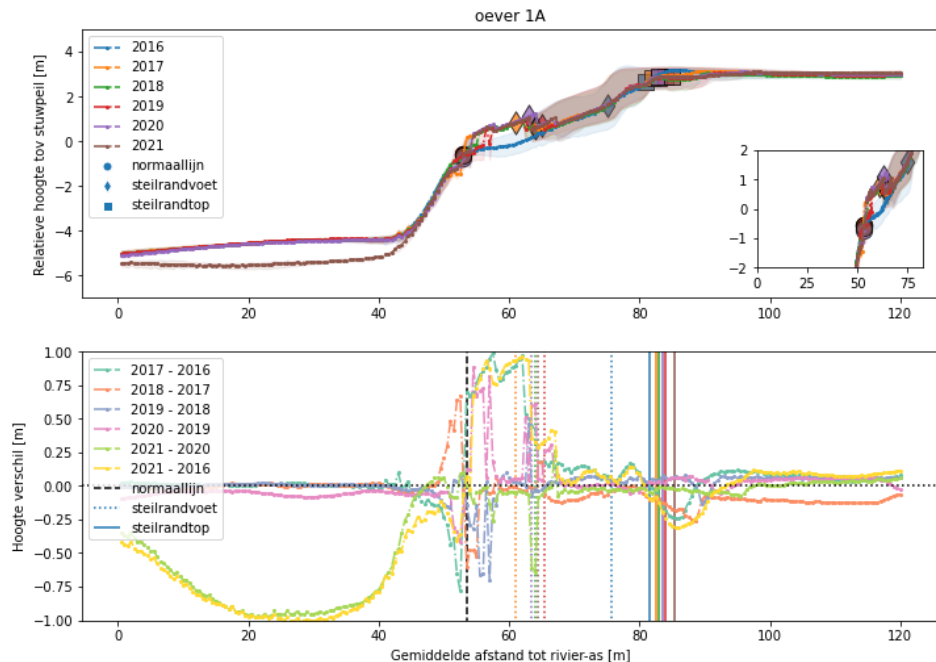
## Oever 1: Buggenum



Figuur 4.13 De bodem- en oeverhoogte [m NAP], locatie van de onderwatervedigging, oeverreferentielijn en erosielijnen van 2015 en 2016 voor de oever van Buggenum. De aanwezigheid van grind op de waterlijn is aangeduid met de zwarte bolletjes langs de oever.

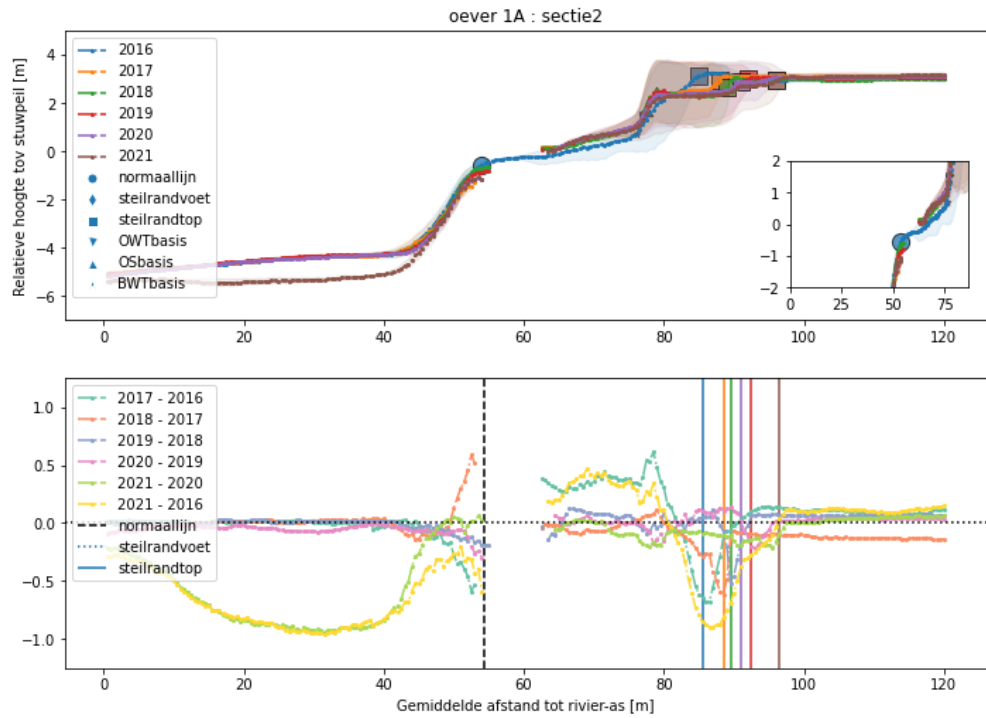
Ook voor oever 1A is per sectie een dwarsprofiel gemaakt met daarin de minimale, de gemiddelde en de maximale relatieve hoogte voor elke afstandklasse van 0,5 m. Daarnaast is voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte bepaald. Deze gegevens zijn voor Oever 1: Buggenum zichtbaar in Figuur 4.14.

In deze figuur is zichtbaar dat de oever dicht op de rivieras ligt en er relatief weinig variatie is in de hoogte en positie van het onderwatertalud. Echter neemt vanaf de oeverreferentielijn (ongeveer 54 m vanaf de rivieras) de variatie in hoogte en afstand langs de oever toe. Met name op het bovenstroomse deel van het oevertalud is er een grote variatie in gemiddelde hoogte voor de afstand tot de rivieras. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van de steilrand welke zich vooral door de bres in sectie 2 op verschillende afstanden van de rivieras bevindt.



*Figuur 4.14 De minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandklasse vanaf de rivieras voor oever 1A gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)*

De gemiddelde hoogte per afstandklasse varieert niet alleen over de secties langs de oever, maar ook over de tijd. Op het onderste deel van het oeverstrand vindt sedimentatie plaats, met een oeverwal die zich vormt direct landwaarts van de oeverreferentielijn, terwijl de oever hogerop erodeert. De grootste verschillen in hoogte ontstaan in sectie 2. In Figuur 4.13 is duidelijk zichtbaar dat hier in 2016 al een bres is gevormd. Het is specifiek op deze locatie bij de al aanwezige bres, dat ook tussen 2016 en 2021 de grootste erosie van de oever heeft plaatsgevonden. De steilrand is hier gemiddeld 1,9 m per jaar teruggetrokken, maar Figuur 4.14 toont dat deze erosie ook een aanzienlijke temporele variatie heeft, met de grootste terugtrekking van de steilrandtop tussen 2020 en 2021 (waarschijnlijk veroorzaakt door het hoogwater van juli 2021). Deze locatie van de bres lijkt goed overeen te komen met de oude plassen of geulrestanten die in de topografische kaarten aanwezig zijn. Dit zou kunnen verklaren dat hier meer zand in de oever aanwezig is, terwijl de rest van de oever voornamelijk uit zandige klei met grind bestaat. Daarnaast moet worden opgemerkt dat in 2021 het gehele oeverstrand van de eerste en laatste secties begroeid was met gras en andere lage vegetatie, maar dat deze vegetatie ontbreekt op het oeverstrand van sectie 2. Dit is zichtbaar in Figuur 4.16.



Figuur 4.15 Voor oever 1 sectie 2 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.



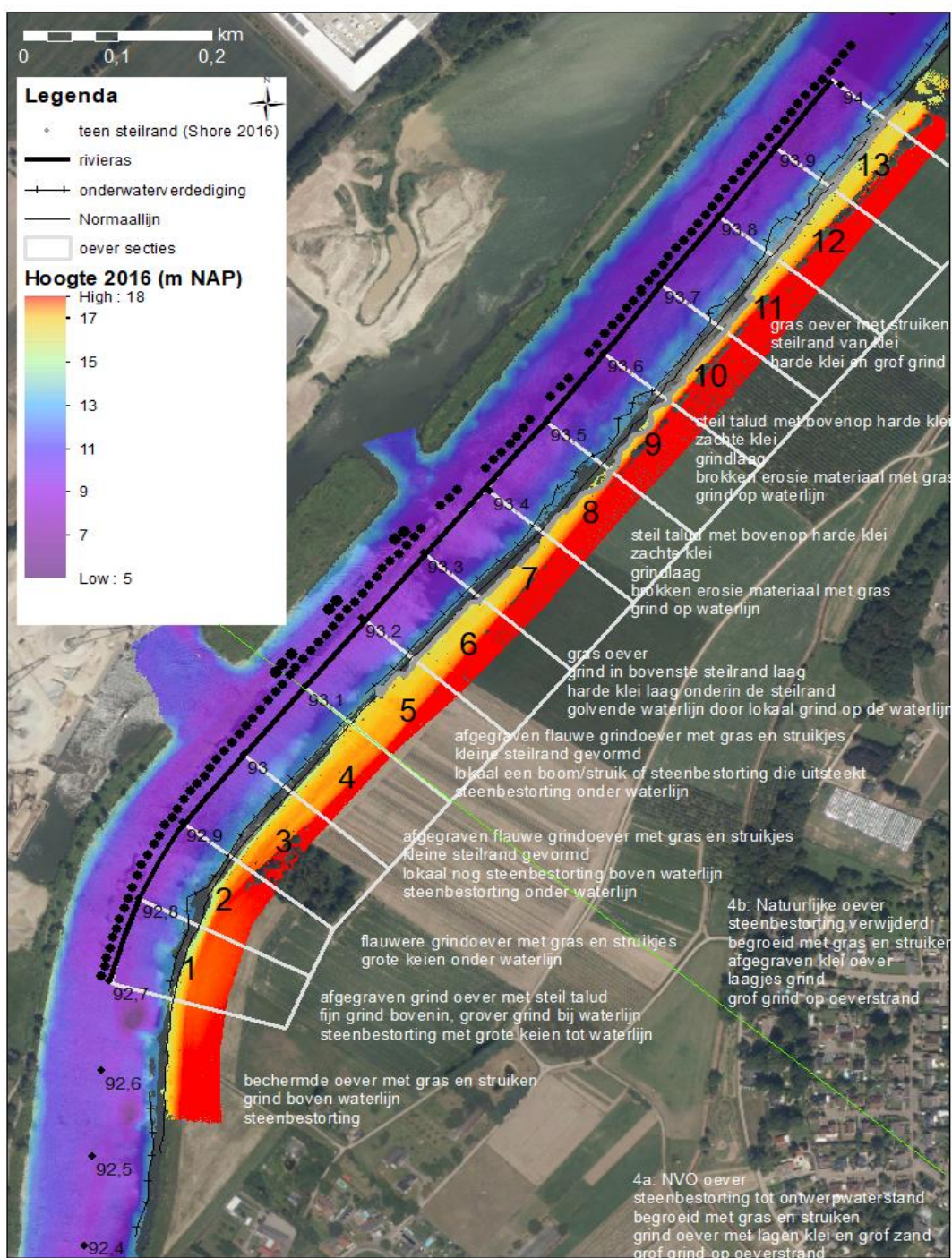
Figuur 4.16 Screenshot in benedenstroomse richting van de erosiekom in sectie 2 van oever 1A. Ook zichtbaar is het bakken van rkm 86, het brede geleidelijke en begroeide oeverstrand met grindlaag aan de waterlijn in sectie 1 en het kale oeverstrand zonder grind aan de voet van de steilrand in de erosiekom van sectie 2.

#### 4.2.2 Oever 4 Beesel: kleinste erosiesnelheid

Oever 4A is de oever van Beesel welke loopt van rkm. 92,7 tot 93,1. Er is in 2015 bij deze oever 1,7 tot 3 m afgegraven en de oeverbescherming is verwijderd tot de ontwerpwaterstand (NVO-oever). Het is een hoge grindoever met klei en grof zand welke ligt in een flauwe binnenbocht van de rivier (zie Figuur 4.17). De afgraving van oever 4A heeft geresulteerd in een steil onbegroeid oeverstrand dat voornamelijk uit grind bestaat. Dit oeverstrand gaat over in een steil begroeid talud met zeer lokaal een echt stukje steilrand (zie Figuur 4.18).



## Oever 4: Beesel



Figuur 4.17 De bodem- en oeverhoogte [m NAP], top van de oeverbescherming, locatie van de onderwatervedigging en de oeverreferentielijn voor de oever van Beesel. De aanwezigheid van grind op de waterlijn is aangeduid met de zwarte bolletjes langs de oever en de grotere bollen geven de lokaal aanwezige steenbestorting aan.



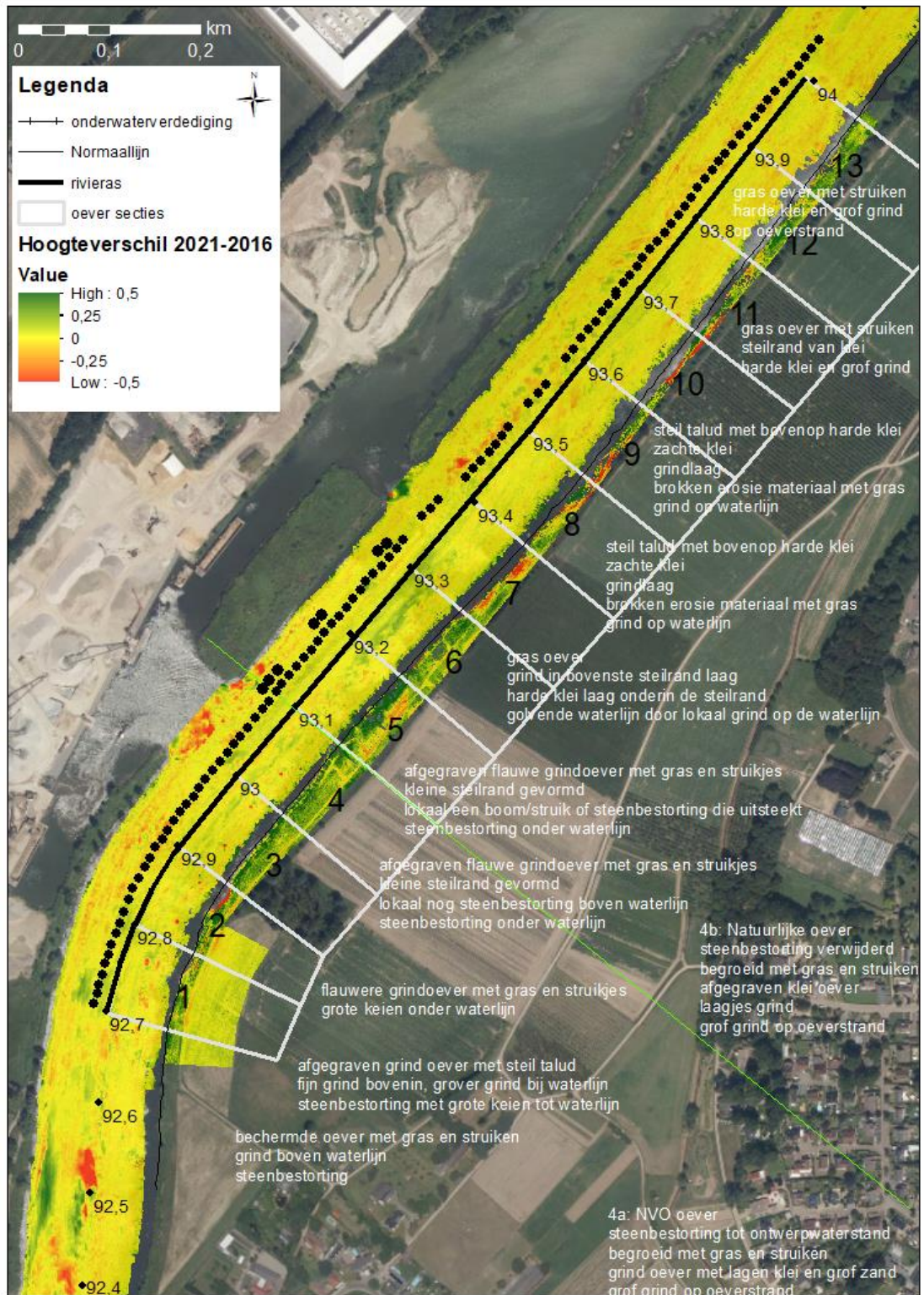
*Figuur 4.18 Foto van oever 4A bij Beesel. Oeverbescherming is tot onder de waterlijn aanwezig. Er liggen stenen en grind op het oeverstrand en er is een begroeid steil talud tussen de top van het oeverstrand en de top van de oever (Shore, 2016).*

Langs deze oever zijn er voor het jaar 2016 vaak maar tot ongeveer 110 m vanaf de rivieras data beschikbaar. Dit betekent dat de top van het hoogste oeverterras niet is ingemeten. Om deze reden is het jaar 2016 niet gebruikt voor het bepalen van de oeverkentallen van deze oever en zijn de genoemde patronen van erosie en sedimentatie slechts beperkt zichtbaar in Figuur 4.19.

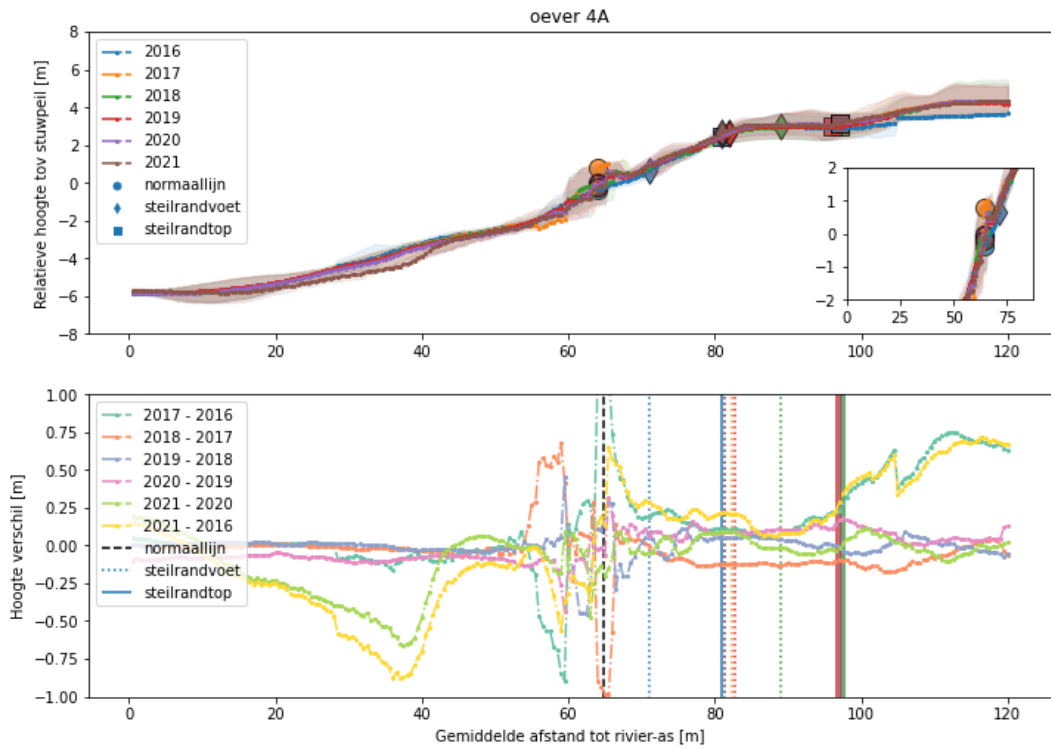
Figuur 4.20 toont het gemiddelde oeverprofiel met de minimale, gemiddelde en maximale gemiddelde relatieve hoogte voor elke afstandsklasse en het hoogteverschil van oever 4A. Deze figuur toont dat de variatie in hoogte per afstandsklasse groot is voor de secties langs deze oever. Dit komt vooral doordat de top van de oever in de eerste 2 secties op ongeveer 85 m vanaf de rivieras ligt (zie Figuur 4.21), terwijl deze in de latere secties op ongeveer 110 m afstand ligt (zie Figuur 4.22). In deze figuren is ook weer duidelijk zichtbaar dat in de secties voornamelijk sedimentatie plaatsvindt op het oeverstrand. Vooral in sectie 3 van oever 4A (Figuur 4.22) is dit duidelijk zichtbaar.



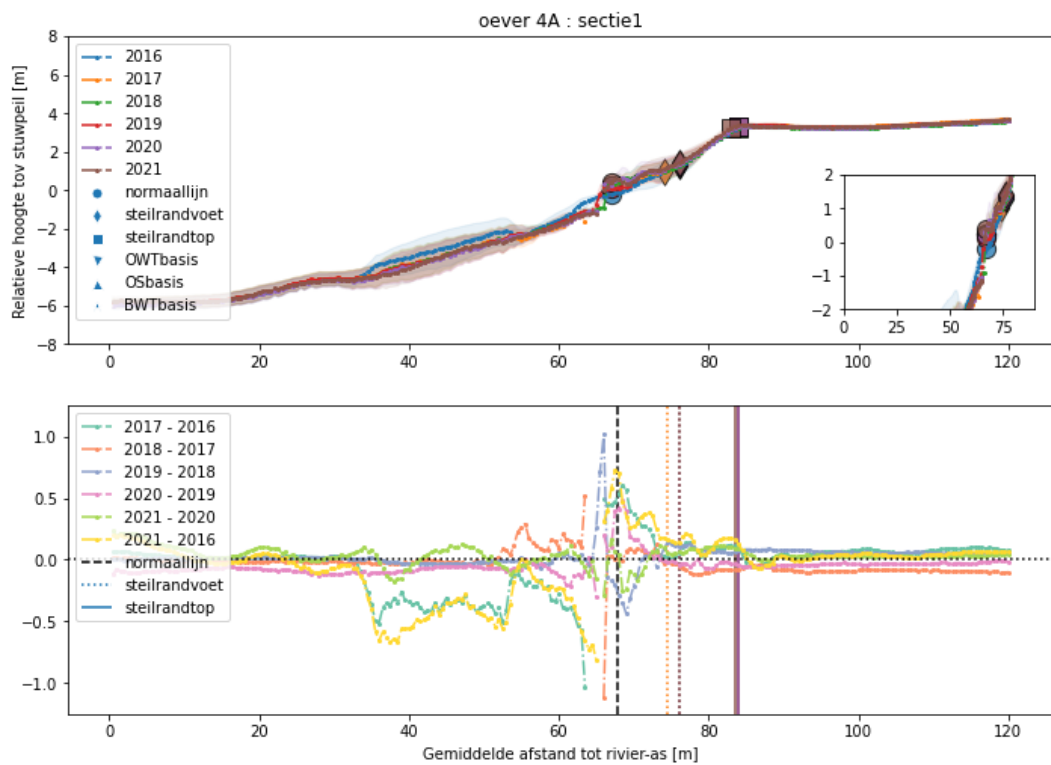
## Oever 4: Beesel



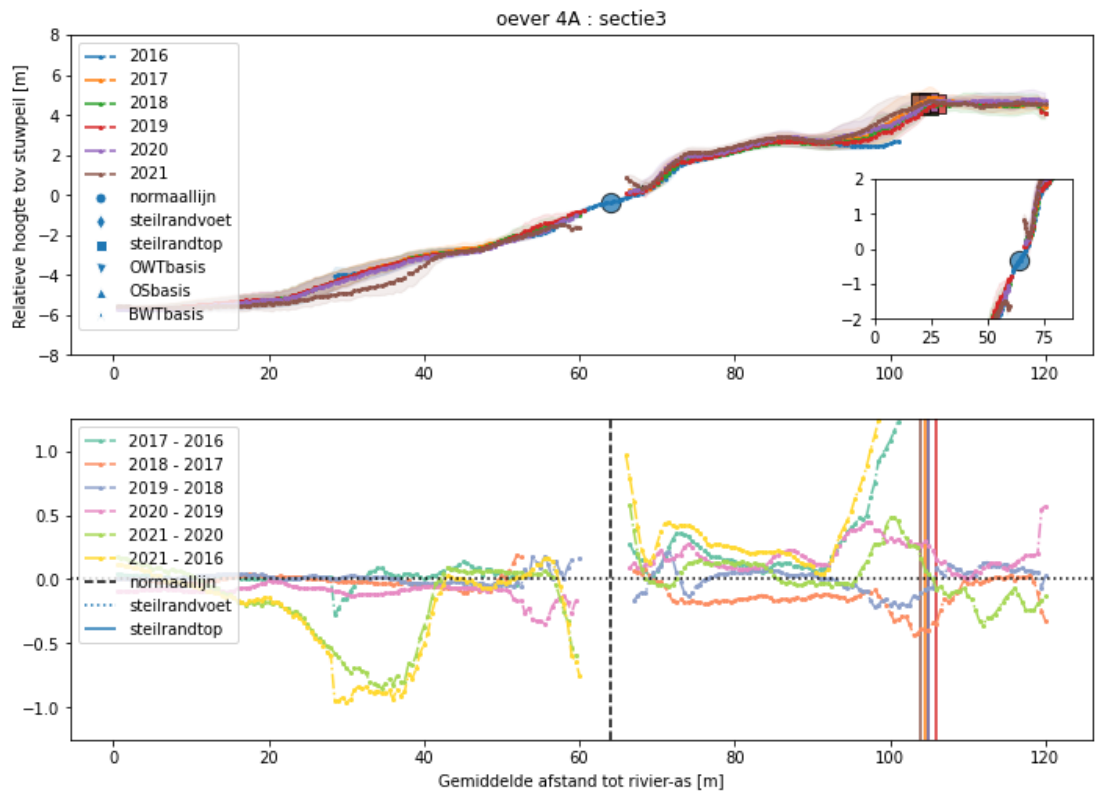
Figuur 4.19 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2019 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van Beesel.



Figuur 4.20 Voor oever 4A de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)



Figuur 4.21 Voor oever 4 sectie 1 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandklasse.



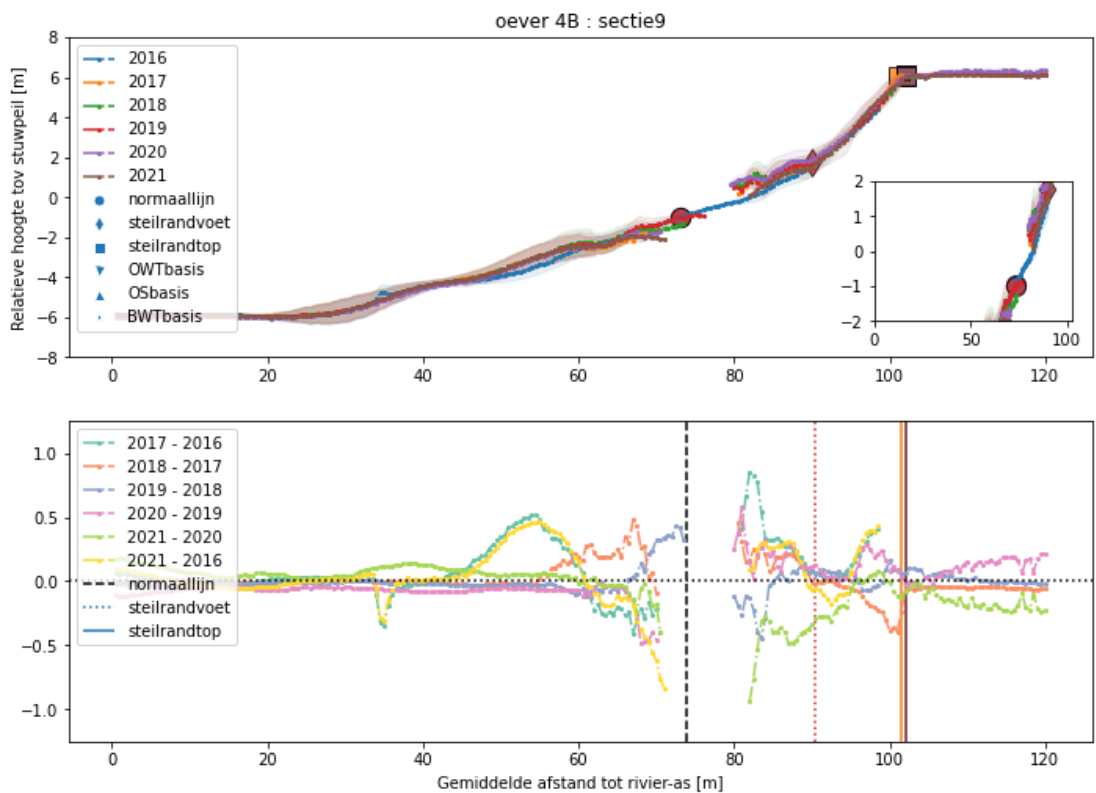
*Figuur 4.22 Voor oever 3 sectie 3 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.*

Oever 4B is een hoge kleioever met lagen grind. Deze oever ligt langs een recht stuk rivier en is net zoals oever 4A afgegraven. In tegenstelling tot deel 4A is bij deze oever wel alle oeverbescherming verwijderd. Opvallend is dat in secties 5 en 7 langs de rand van het droge deel van de oever de hoogte met meer dan 1 m is toegenomen, terwijl de hoogte iets verder landwaarts in sectie 5 juist met 0,3 m afneemt. In secties 6, 8 en 9 tot en met 11 neemt de hoogte langs het droge deel van de oever juist af (zie Figuur 4.19). Langs dit stuk van de oever is de steilrand duidelijker aanwezig dan dat het geval was in deel 4A. In tegenstelling tot het oeverstrand bestaat de steilrand voornamelijk uit klei. De top van de steilrand is met 5 tot 10 cm per jaar verplaatst. Het erosieproduct van de steilrand is echter op het foto- en filmmateriaal van 2020 duidelijk aanwezig als brokken voor de steilrand (zie Figuur 4.23) en is ook goed zichtbaar als een toename van hoogte voor de steilrandtop in Figuur 4.24.





Figuur 4.23 luchtfoto van de steilrand met in het rode kader de (afgeschoven) brokken erosieproduct bij oever 4B (Shore, 2020).



Figuur 4.24 Voor oever 4B sectie 9 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.

### 4.2.3 Parameters van invloed

In de vorige 2 paragrafen werd al duidelijk dat de top van oever 8B van Oeffelt de grootste erosiesnelheid had. Dit is een oever met een gelaagde steilrand van zand met klei- en grindlagen op een zandig oeverstrand en onderwatertalud. Ook bij oever 1A was vooral een bres met grote erosiesnelheden zichtbaar op de locatie met relatief veel zand tussen de kleilagen. Daarentegen erodeerde de top van de hoge grindoever met klei en grof zand van Beesel (oever 4A) niet. En de top van de hoge kleioever met lagen grind (oever 4B) had ook een minieme erosiesnelheid.

Het is echter niet alleen het type sediment dat tussen deze oevers verschilt. Om het effect te bepalen van zowel de waterstandsdynamiek, het oevertype, de relatieve oeverhoogte, wel of niet afgraven, de binnen en buitenbocht en van het oeverontwerp is gebruik gemaakt van de oeverkarakterisatie die van der Deijl (2022b) op basis van de door Rijkswaterstaat opgegeven oevereigenschappen en foto- en filmmateriaal van de oevers per oeversectie van 100 m heeft opgesteld. Op basis van deze oeverkarakterisatie is een schema opgesteld met steeds 2 oevers waarvoor maar 1 of maximaal 2 oevereigenschappen verschillen (zie Tabel 3-2). Doordat er steeds maar 1 of 2 oevereigenschappen verschillen is het mogelijk om de relatieve invloed van de oevereigenschappen aan te geven. Zo wordt er in de tabel bijvoorbeeld eerst een vergelijking gemaakt tussen oevers met voornamelijk zandig oevermateriaal en oevers met klei of grind. Hiervoor worden de erosiesnelheden van zowel twee afgegraven oevers in een binnenbocht (zand met grind versus klei met grind) met elkaar vergeleken, als 2 hoge niet afgegraven rechte oevers (zand versus klei met zand).

Tabel 4-1 toont de gemiddelde erosiesnelheden voor de oeverstukken van het schema. Een soortgelijke tabel met de variatie in de erosiesnelheid is opgenomen in Appendix D.2.1 . In de tabel zijn echter geen duidelijke relaties zichtbaar voor de invloed van het oevertype, de relatieve oeverhoogte, het afgraven, de binnenbocht-buitenbocht en het ontwerp op de erosiesnelheid. De tabel toont aan dat de relatieve invloed van de verschillende parameters verschilt. Zo is voor het bovenstaande voorbeeld van de invloed van het oevermateriaal zichtbaar dat de zandige afgegraven oever in de binnenbocht een hogere erosiesnelheid heeft dan de afgegraven oever in de binnenbocht die uit klei met grind bestaat. Echter heeft de zandige niet afgegraven hoge rechte oever een veel lagere erosiesnelheid dan de niet afgegraven rechte hoge oever die uit klei met zand en grind bestaat. Er kan dus niet worden verondersteld dat zandige oevers altijd een hogere erosiesnelheid hebben dan klei- of grindoevers en dat ook de andere parameters van invloed zijn.

Ook laat de tabel zien dat de oevers in de binnenbocht sneller eroderen dan de oevers in de buitenbocht. De hoge oever met klei, zand en grind in de binnenbocht (oever 8B) erodeert het snelst met gemiddeld 1,8 m per jaar terwijl de soortgelijke hoge kleioever met grind (oever 8F) die in de buitenbocht ligt, maar met 38 cm per jaar erodeert. Deze erosie is echter wel weer veel hoger dan de 1 cm erosie bij de hoge oever in de binnenbocht die uit klei op zand bestaat (oever 9A).



Tabel 4-1 De gemiddelde erosiesnelheid [m/jaar] voor de verschillende oevers, welke variëren qua type waterstandsdynamiek, oevermateriaal, wel/niet afgraven, binnen-buitenbocht en hoogte van ontstening. De kleurenschaal geeft van rood-geel-groen de totale variatie tussen het laagste en hoogste erosiesnelheid aan.

<u>invloed oevertype</u>	Zand	m/jaar	klei of grind	m/jaar
<b>afgegraven oever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 3b (zand met grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,53	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,06
<b>niet afgegraven rechte hoge oever</b>	Nr 7( zand, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,18	Nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,52
<u>invloed relatieve oeverhoogte</u>	hoge oever	m/jaar	lage oever	m/jaar
<b>niet afgegraven kleioever dynamisch</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	1,08	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,02
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,01		
<u>invloed afgraven</u>	wel afgegraven	m/jaar	niet afgegraven	m/jaar
<b>hoge zandoever sterk-dynamisch, NVO+</b>	nr 1b (zand met klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,04	nr 7 (zand, NVO+, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,18
<b>hogere kleioever dynamisch, NO</b>	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,06	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,01
<b>lagere kleioever, dynamisch</b>	nr 3a (klei met zand en grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,16	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,02
	nr 1b (zandige klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,04		
<u>invloed binnenbocht-buitenbocht</u>	binnenbocht	m/jaar	buitenbocht	m/jaar
<b>lage kleioever, niet afgegraven, NVO</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,08	nr 6 (klei met zand en grind, NVO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,06
<b>hoge kleioever</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	1,08	Nr 8f (klei met grind, NO, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,38
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,01		
<b>niet afgegraven lage oever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,08	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,02
<u>invloed ontwerp</u>	NVO-peil	m/jaar	NO-peil	m/jaar
<b>afgegraven hoge zandoever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 4a (grind met klei, NVO, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,00	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,06
<b>niet afgegraven hoge kleioever</b>	nr 9b (klei op zand, NVO+, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,05	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,01
<b>niet afgegraven hoge kleioever met zand en grind</b>	nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,52	nr 8e (klei met zand en grind, NO, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,22
<b>niet afgegraven lage kleioever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,08	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,02

Het blijkt moeilijk om met behulp van de gemiddelde erosiesnelheid per oeverdeel uit Tabel 4-1 de invloed van de verschillende oevereigenschappen te bepalen. Deze oevereigenschappen zijn bij de oeverkarakterisatie voor elke sectie genoteerd, waardoor in Figuur 4.25 per oevereigenschap de variatie van de erosiesnelheid voor de 100-m-secties met deze eigenschap wordt aangegeven.

Het eerste kader van Figuur 4.25 toont dat oevers met zandig oevermateriaal gemiddeld de grootste erosiesnelheden vertonen. Er is echter ook goed zichtbaar dat de spreiding en de maximale erosiesnelheden van de oevers met klei ook erg groot zijn en er is geen overduidelijke relatie tussen alleen het oevermateriaal en de erosiesnelheid zichtbaar.

Het is de hypothese dat ook de aanwezigheid van grind op de waterlijn van invloed is op de erosiesnelheid van de oevers. De golven breken immers op het grind en de energie van de golven neemt hierdoor af. Het tweede kader in Figuur 4.25 laat echter zien dat er voor de 100-m-secties van de negen Maasoevers juist gemiddeld een hogere erosiesnelheid is bij de oevers met grind op de oeverlijn. Er is geen duidelijk verband tussen de aanwezigheid van grind op de oeverlijn en de erosiesnelheid van de top van de oever. Wel moet worden opgemerkt dat er ook veel meer oeversecties zijn geïnclassificeerd in de klasse "grind aanwezig" dan onder "grind afwezig". Dit komt doordat de secties ook zijn geïnclassificeerd onder "grind aanwezig" als dit slechts alleen lokaal aanwezig was, bijvoorbeeld aan het begin of einde van een erosiekom.

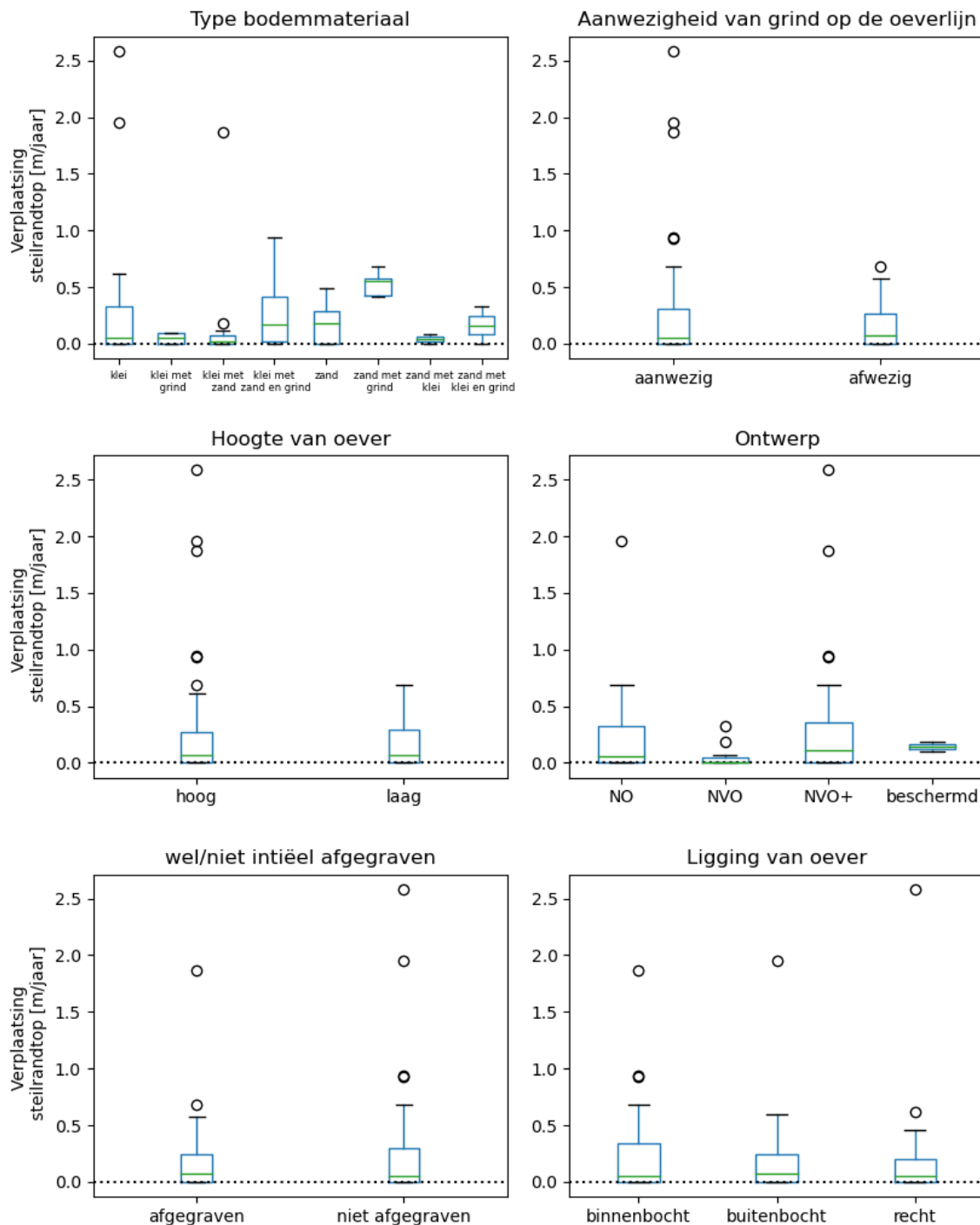
Het derde kader in Figuur 4.25 toont dat er geen significant verschil is tussen de gemiddelde erosiesnelheid van hoge en lage oevers, welke allebei gemiddeld 23 cm per jaar eroderen.

Het vierde kader in Figuur 4.25 toont de invloed van het oeverontwerp op de erosiesnelheid van de steilrand. De stukken oever waar de oeverbescherming is verwijderd tot 0,5 m onder de ontwerpwaterstand (NVO+), hebben gemiddeld de grootste erosiesnelheid van 30 cm per jaar. Dit wordt gevolgd door de natuurlijke oevers (NO), waar alle oeverbescherming is verwijderd. De oevers waar de oeverbescherming tot de ontwerpwaterstand (NVO) is verwijderd, hebben gemiddeld de laagste erosiesnelheid, zelfs lager dan de beschermde oevers. Wel moet worden opgemerkt dat alleen de 2 secties van oever 2A beschermd zijn.

Een aantal van de oevers is in 2015 afgegraven. Er is bij deze oevers een steilrand met aan de voet een vlak oeverstrand gecreëerd. De hypothese is dat de afgegraven oevers een lagere erosiesnelheid zullen hebben, omdat hun oeverprofiel door het afgraven al meer op het evenwichtsoeverprofiel lijkt. Het vijfde kader in Figuur 4.25 toont dat de gemiddelde erosiesnelheid van afgegraven oevers met 20 cm per jaar inderdaad lager is dan die van de niet afgegraven oevers die gemiddeld 25 cm per jaar eroderen. Verder is ook de spreiding en de maximale erosiesnelheid van de afgegraven oevers lager dan die van de niet afgegraven oevers.

Vanwege de variatie in stroomsnelheden en waterdiepte langs het onderwatertalud is ook de hypothese dat de ligging van de oever van invloed is op de erosiesnelheid. Daarom toont het laatste kader in Figuur 4.25 de invloed van de ligging van de oeversecties. Er is slechts een klein verschil in de gemiddelde erosiesnelheid waarbij de oevers in de binnenbocht gemiddeld 27 cm per jaar eroderen en oevers in de buitenbocht of langs rechte stukken rivier elk gemiddeld 21 cm per jaar.

### Verplaatsing steilrandtop [m/jaar]



Figuur 4.25 Boxplots met de mediaan en de spreiding in de erosiesnelheid [m/jaar] voor de secties gegroepeerd naar het type bodemmateriaal, de aanwezigheid van grind op de oeverlijn, de hoogte van de oever, het ontwerp, het wel of niet afgraven en de ligging van de oever

## 4.3 Talud van het oeverstrand

In Figuur 4.1 was niet alleen de gemiddelde, minimale en maximale erosiesnelheid van de steilrand zichtbaar, maar ook het talud van het oeverstrand in de eerste jaren na oplevering (gemiddelde van 2016-2017) en het huidige talud, namelijk het gemiddelde van de laatste jaren 2020-2021. In de figuur is zichtbaar dat het gemiddelde talud van het oeverstrand niet alleen sterk varieert (initieel van -1:263 bij oever 6 tot 1:122 bij oever 3B tot -1:64 bij oever 5A en 1:87 voor oever 6) voor de verschillende oevers, maar dat ook langs oever 2A, 5A, 8A en 8F variatie tussen de secties binnen de oever groot is. De grote variatie komt met name doordat het bepalen van de start van het oeverstrand erg moeilijk is met de beschikbare data. Daarnaast vindt er bij de verschillende secties sedimentatie plaats rondom de basis van het oeverstrand. Hierdoor ontstaat er een sterk negatief talud, wat het gemiddelde talud van de oever sterk beïnvloedt. De overige oevers hebben echter een kleinere variatie langs de oever waarbij het talud varieert tussen 1:3 en 1:15.

In Figuur 4.1 is geen algemene trend zichtbaar in de ontwikkeling van het talud van het oeverstrand. Wel is zichtbaar dat tussen 2016 en 2021 de spreiding van het talud binnen de meeste oevers afneemt en dat er minder negatieve taluds voorkomen. De figuur laat echter niet zien dat al de oevers zich aanpassen richting een oeverstand met evenwichtstalud van 1:20 zoals in WAQBANK wordt gesteld als vuistregel.

### 4.3.1 Parameters van invloed

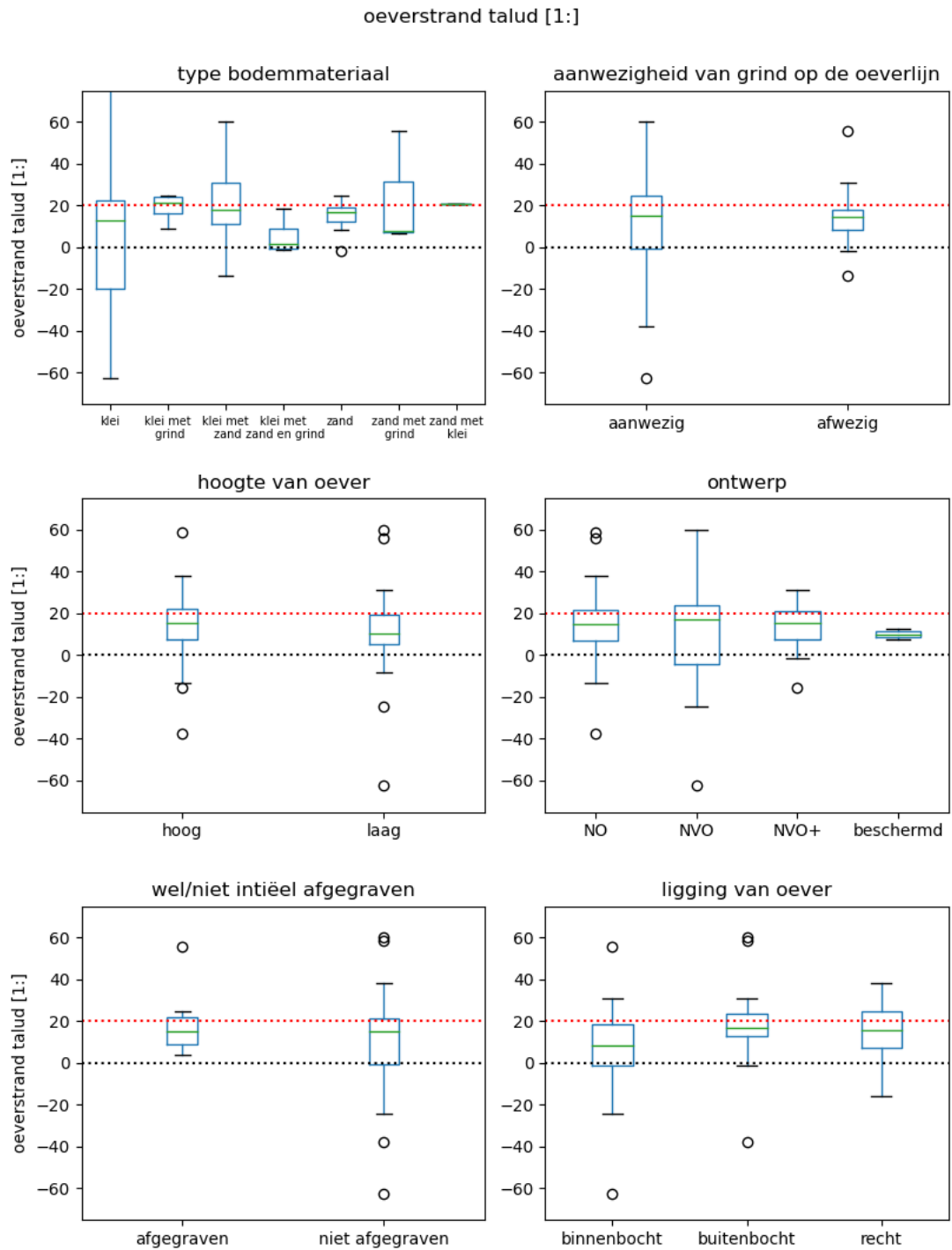
In paragraaf 4.1 werd genoemd dat voor sommige oeversecties de oeverreferentielijn meer dan 3 m onder het stuwpeil ligt. Deze uitschieters liggen met name in de 100-m-secties in binnenbochten van de niet afgegraven NO-oevers. Binnen deze analyse wordt de oeverreferentielijn gebruikt als basis van het oeverstrand. Het is niet realistisch dat het oeverstrand zover onder het stuwpeil begint. Om deze reden is het oeverstrandtalud alleen bepaald voor de oeversecties met een oeverreferentielijn hoger dan 1 m onder het stuwpeil. In Figuur 4.26 zijn de verbanden tussen het talud van het oeverstrand en de parameters van invloed weergegeven.

In het eerste kader van Figuur 4.26 is zichtbaar dat de grootste spreiding en met name de vele negatieve taluds voornamelijk worden veroorzaakt door de aanwezigheid van klei in de oevers. Het zijn namelijk de kleioevers waar de grote negatieve taluds van het oeverstrand voorkomen. Dit zijn echter ook de oevers waarvan steilranden in 2021 vaak met hun voet in het water staan, waar lagen klei uitsteken, waar erosieproduct op het oeverstrand ligt, of waar de oevers ondergraven worden. Dit is waarschijnlijk de reden dat het talud van het oeverstrand niet goed bepaald kan worden en negatief lijkt te zijn voor oevers met klei als oevermateriaal. Het eerste kader toont ook dat het talud gemiddeld het vlakst is (1:19) voor kleioevers met grind en gemiddeld het steilst voor kleioevers met zand en grind (1:5). Het tweede kader geeft ook aan dat de oevers met grind op de oeverlijn gemiddeld een vlakker talud hebben dan de oevers zonder grind op de waterlijn.

In het derde kader van Figuur 4.26 is zichtbaar dat hoge oevers gemiddeld een steiler talud hebben (1:8) dan de lage oevers (1:20) en dat het initieel afgraven van de oevers ervoor zorgt dat deze oevers ook in 2021 gemiddeld een vlakker (1:18) talud hebben dan de niet afgegraven oevers (1:10).

Het vierde kader van Figuur 4.26 toont dat beschermde oevers en de oevers met oeverbescherming tot 0,5 m onder de ontwerpwaterstand het steilst zijn (1:3 en 1:10). De natuurlijke oevers (NO) en oevers met oeverbescherming tot op de ontwerpwaterstand (NVO) hebben de grootste variatie in het talud langs de oever, maar zijn gemiddeld het vlakst (1:14 en 1:24).

Het meest opvallend in Figuur 4.26 is dat het talud van de oevers in de buitenbochten gemiddeld het vlakst is en dat het talud in de binnenbocht juist het steilste is. De rivier is immers meestal dieper in buitenbochten waardoor sowieso het onderwatertalud van de oevers in buitenbochten steiler is.



*Figuur 4.26 Boxplots met de mediaan en de spreiding in het huidige talud van het oeverstrand (gemiddelde talud van de periode 2020-2021) voor de 100-m-secties gegroepeerd naar het type bodemmateriaal, de aanwezigheid van grind op de oeverlijn, de hoogte van de oever, het ontwerp, het wel of niet afgraven en de ligging van de oever*

## 5 Discussie en conclusie

### 5.1 Data en methode

De gebieden die met name in de initiële fase na het verwijderen van de oeverbescherming aan erosie onderhevig zijn liggen meestal op een hoogte net rondom de waterspiegel. Deze gebieden worden echter niet ingemeten, omdat noch de methode voor meten boven water, noch de methode voor meten onder water deze gebieden accuraat kan inmeten. In deze analyse is gebleken dat voor het bepalen van goede oeverkentalen deze gebieden toch apart moeten worden ingemeten, bijvoorbeeld met een peilstok of met een actieve glasvezelkabel waarmee uit variaties in de temperatuur de dikte van het sediment boven de kabel bepaald kan worden. Een andere optie is dat er vooraf een dekkend rooster gemaakt moet worden door punten van 1 jaar op een consistente wijze te interpoleren. Met name de bepaling van de locatie en hoogte van de oeverreferentielijn en daarmee de basis van het oeverstrandtalud wordt sterk beïnvloed door de beperkte data rondom de waterspiegel.

De data die voor dit project zijn aangeleverd variëren qua dekking en roostergrootte voor de verschillende jaren. Zo werd voor het initiële jaar 2016 een geïnterpoleerd 0,5x0,5 m<sup>2</sup> rooster aangeleverd. Uit de resultaten bleek dat dit profiel met name vanaf de oeverreferentielijn tot aan de steilrandtop lager ligt dan de niet geïnterpoleerde roosters van de jaren 2017 tot en met 2021. Dit maakte dat er in deze analyse meer sedimentatie rondom de oeverreferentielijn en op het oeverstrand werd gesignaleerd dan waarschijnlijk het geval is. Ook werden de trends van de steilrandverplaatsing en het oevertalud hierdoor beïnvloed.

Wanneer er geen duidelijk oeverstrand en steilrand aanwezig waren in het profiel, was de methode voor het bepalen van de oeverkentalen uiteraard minder goed in staat om een locatie voor de steilrandvoet en steilrandtop te bepalen. Een aantal foutief gevonden locaties waarbij de steilrandtop te ver rivierwaarts lag door tijdelijke sedimentatie of andere vegetatie lager op de oever, is op basis van de figuren met de dwarsprofielen en gevonden oeverkentalen handmatig verwijderd voordat de verdere berekeningen van de taluds en erosiesnelheden plaatsvonden. Daarnaast bleek ook dat bij oevers 8A en 8B in enkele secties de oeverreferentielijn en de gevonden steilrandvoet erg laag lagen ten opzichte van het stuwpeil. Voor deze locaties is het gebruik van de oeverreferentielijn en de automatische bepaling van de oeverkentalen voor de voet van het oeverstrand, de voet van de steilrand en het oeverstrandtalud niet geschikt. Daarom zijn deze oeversecties niet meegenomen in de analyse van het oeverstrand en de steilrandvoet. De automatische bepaling van de positie van de steilrandtop was voor deze secties wel goed, aangezien deze vanaf de landwaardse zijde en niet vanaf de oeverreferentielijn wordt bepaald.

### 5.2 Oeverkentalen en uitgangspunten van WAQBANK

Ondanks de in de vorige paragraaf genoemde onzekerheden rondom de bepaling van de basis van het oeverstrand en het talud van het oeverstrand hebben de oeverkentalen van de negen Maasoeveren aangetoond dat:

- De top van zandoevers gemiddeld een hogere erosiesnelheid heeft dan klei- of grindoevers. Echter was de grootste erosie gevonden bij een gelaagde oever met zand- en kleilagen. Ook is de variatie van de erosiesnelheid langs kleioevers het grootst.
- De top van de oevers waar de oeverbescherming compleet of tot 0,5 m onder de ontwerpwatervlucht is verwijderd de grootste erosiesnelheden hebben.

- Het talud van het oeverstrand bij de hoge oevers minder steil is dan dat van de lage oevers
- Het initieel afgraven ervoor zorgt dat de top van de oevers minder snel erodeert dan de top van de niet afgegraven oevers en ook dat de variatie in de erosie er minder groot is. Daarnaast hebben deze oevers ook na 5 jaar een vlakker oeverstrand dan de niet afgegraven oevers
- De beschermde oevers geen of een zeer kort en steil oeverstrand hebben.
- Er lokaal, zelfs binnen de nu geanalyseerde secties van 100 m lengte, een grote variatie is binnen de oevereigenschappen. Met name de historie van de oevers is van invloed omdat er regelmatig resten steenbestorting, voormalige kribben, en bakenbomen langs de oevers aanwezig zijn die het patroon en de snelheid van de erosie sterk beïnvloeden.

### 5.2.1 Erosiesnelheid van de oever

Gevraagd is om de oeverkentalen en uitgangspunten van WAQBANK te verifiëren. In WAQBANK wordt de potentiële oevererosie door scheepsgolven en stroming onder andere bepaald door de variabelen  $C_E$  en  $\tau_c$ .  $C_E$  is een coëfficiënt voor de erodeerbaarheid van het oevermateriaal en  $\tau_c$  is de waarde voor de kritische schuifspanning voor erosie welke is gerelateerd aan de sterkte van het oevermateriaal. Voor beide variabelen zijn momenteel 5 klassen opgenomen in WAQBANK.  $\tau_c$  en  $C_E$  zijn aan elkaar gerelateerd. De erosiesnelheid van de oevers neemt toe wanneer de kritische schuifspanning  $\tau_c$  afneemt. Beschermde oevers hebben als het ware een oneindige  $\tau_c$  en vertonen geen erosie, terwijl zanderige oevers de laagste  $\tau_c$  hebben en het snelst eroderen. Tussen beschermde oevers en zandoevers zijn in WAQBANK ook de klassen voor begroeide oevers, goede klei en matig/slechte klei opgenomen. Grindoevers zijn niet als aparte klasse opgenomen, maar worden door de gebruiker vaak ingeschaald als verdedigde oevers waar geen erosie kan plaatsvinden (persoonlijke communicatie Arjan Sieben).

Uit de oeverkentalen van de negen Maasoevers is gebleken dat zanderige oevers inderdaad de grootste gemiddelde erosiesnelheden vertonen. De gemiddelde erosiesnelheid van klei- en grindoevers ligt veel lager en deze oevers zijn grotendeels stabiel. Echter was het wel een kleioever waar de grootste erosie heeft plaatsgevonden en zijn het de gelaagde oevers met klei waar de grootste variaties in erosiesnelheden zichtbaar zijn langs de oever. Ook bleek dat voornamelijk de aanwezigheid van resten oeverbescherming, resten van voormalige kribben, bakenbomen en andere lokale variaties in bijvoorbeeld het oevermateriaal of de hoogte een grote invloed hadden op de patronen van erosie.

De oeverdelen van Rijkse Benden (oever 3A en B) en Beesel (4A en 4B) bevatten grind of grindlagen. Sommige van deze oeversecties liggen stabiel, maar langs een aantal secties heeft wel erosie plaatsgevonden, terwijl grindoevers tot nu toe vaak werden gezien als beschermde oevers welke niet kunnen eroderen. Dit is niet een uitgangspunt van WAQBANK zelf, aangezien grindoevers niet apart zijn opgenomen. Daarom wordt voor de toepassing van WAQBANK op grindoevers geadviseerd om grindoevers voortaan in te delen onder de oevers met goede klei of om na verder onderzoek ook voor grindoevers een eigen klasse met erosiesnelheid in WAQBANK op te nemen.

### 5.2.2 Variatie in erosiesnelheden van een oever

WAQBANK maakt gebruik van 1 waarde voor de erodeerbaarheid van een oevertype. Verdere parameters van invloed op de potentiële oevererosie zijn onder andere de historie van de oever, de stroomsnelheden langs de oever, de vegetatie op de vooroever, de waterdiepte op de vooroever, de afstand tot de vaarweg, het aantal en type schepen en de hoogte van de onderwatervediging.



Uit de erosiekentallen bleek dat zandoevers weliswaar gemiddeld het snelst eroderen, maar dat de grootste erosie plaatsvond bij een kleioever en dat kleioevers ook de grootste variaties in erosiesnelheid vertonen. Dit komt onder andere doordat de oevers niet homogeen zijn qua materiaal, ligging, hoogte en begroeiing. Daarnaast bleek uit het foto- en filmmateriaal van de oevers dat er vaak restanten oeverbescherming, restanten kribben, bakenbomen en andere lokale variaties langs de oever aanwezig zijn. Deze zorgen allemaal dat de oever minder snel erodeert of in beperkte kommen erodeert. Dit zou niet het geval zijn wanneer de oever geheel kaal en zanderig zou zijn.

In WAQBANK is het niet mogelijk om rekening te houden met alle lokale factoren die de oevererosie beïnvloeden. In WAQBANK wordt gekozen voor 1 type oevermateriaal met 1 erosiesnelheid voor een stuk oever. Zo wordt in WAQBANK bijvoorbeeld voor de klasse zandoever verondersteld dat dat gehele stuk recht (afhankelijk van de roostergrootte) en kaal is en alleen uit zand bestaat. Daarnaast is WAQBANK afhankelijk van de gebruikte roostergrootte in het model en de resolutie van de input voor de overige invoer voor de bepaling en het detail van de initiële oeverlijn. Om deze reden heeft Rijkswaterstaat gevraagd om rondom de gemiddelde oevererosie die WAQBANK voorspelt ook de variatie aan te geven.

Uit de analyse van de negen Maasoevers bleek dat de oevers in de buitenbocht iets minder snel eroderen dan de oevers in de binnenbochten. Dit is gezien de hogere stroomsnelheden in de buitenbocht onverwacht. Het verschil tussen de erosie van binnen- en buitenbochten is in WAQBANK impliciet opgenomen doordat WAQBANK gebruik maakt van waterstanden, waterdieptes en stroomsnelheden van modelscenario's. De over het algemeen hogere stroomsnelheden in de buitenbochten zorgen voor een grotere potentiële oevererosie in WAQBANK. Verder zal de grotere waterdiepte bij de vooroevers en ook de kortere afstand tussen de oever en de vaarweg van buitenbochten ervoor zorgen dat de demping van de scheepsgolven op de vooroever van buitenbochten kleiner is dan het geval is voor binnenbochten. Doordat er op de vooroever van buitenbochten in WAQBANK minder golfdemping plaatsvindt dan op de vooroever van binnenbochten zal de erosie door golven voor de buitenbochten groter zijn dan voor binnenbochten.

WAQBANK gebruikt weliswaar al deze variabelen voor het inschatten van de potentiële erosie, maar voor het bepalen van de evenwichtsoeverligging wordt geen gebruik gemaakt van de gegevens van de stroming, maar alleen van de referentiewaterstand en de uiteindelijke golfhoogte bij de oever samen met een drietal uitgangspunten welke in de volgende secties worden besproken. Dit betekent echter dat er in WAQBANK voor de evenwichtsligging van de oever geen rekening wordt gehouden met verschillen in oevererosie door verschillen in stroming van de buiten- en binnenbocht.

### 5.2.3 Evenwichtsoeverligging

De evenwichtsoeverligging van WAQBANK wordt bepaald door 3 uitgangspunten, namelijk (A) voor de basis van de steilrand, (B) de basis van het oeverstrand en (C) het talud van het oeverstrand.

#### **Basis van de steilrand**

Volgens uitgangspunt A ligt de basis van de steilrand of op de bovengrens van het invloedsgebied van de golven, of op de bovenkant van de oever. De bovengrens van het invloedsgebied van de golven ligt op een hoogte van  $2H_0$  boven de referentiewaterstand.

De hoogte en positie van de steilrandvoet blijkt voor de negen Maasoevers vaak lastig te bepalen.

Dit omdat, in tegenstelling tot de erosie in WAQBANK, in werkelijkheid het materiaal van de eroderende steilrand niet allemaal tegelijk wordt weggevoerd, maar aan de voet van de steilrand blijft liggen. Dit maakt het vooral moeilijker om de positie van de steilrandvoet goed te bepalen bij de sneller eroderende zandoevers. De gevonden steilrandvoet van deze zandoevers ligt vaak niet op dezelfde afstand van de rivieras, maar ligt ook regelmatig hoger door deze sedimentatie op het oeverstrand. De tijdelijke variatie in de hoogte en locatie van de gevonden steilrandvoet binnen de meeste oeversecties geeft aan dat de negen Maasoevers over het algemeen niet hun evenwicht hebben bereikt. Met name het uitgangspunt van de hoogte van de steilrandbasis in WAQBANK is hierdoor niet te valideren met de data van de negen Maasoevers.

#### Evenwichtstalud oeverstrand

Uitgangspunt B van WAQBANK gaat uit van één vast evenwichtstalud van 1:20 voor alle oevertypes. De analyse van de 9 Maasoevers heeft aangetoond dat het talud van bijna alle oevers steiler is dan 1:20. Dat de taluds kleiner zijn dan 1:20 betekent dat WAQBANK, die met dit uitgangspunt de totale verplaatsing voor de evenwichtsoeverlijn bepaalt, in ieder geval niet de erosie voor de evenwichtsoeverligging onderschat op basis van het evenwichtstalud.

In het recente onderzoek van Mosselman et al. (2021) worden op basis van het ondergrondtype van de oevers verschillende waarden aan het talud van de evenwichtsoever toegekend (zie Tabel 5-1). De analyse van de 9 Maasoevers heeft aangetoond dat het talud binnen de oevers sterk varieert. De negen geanalyseerde oevers hebben echter niet hun evenwichtspositie bereikt en ook blijkt het talud van het oeverstrand sterk bepaald door trends van sedimentatie en erosie op het oeverstrand zelf. Door de snellere erosie van de steilrand en de daarmee (tijdelijk) grotere sedimentatie op het oeverstrand van zandoevers is de exacte hoogte en positie van de basis van de steilrand moeilijk te bepalen en ligt deze vaak tijdelijk hoger dan bij grind- en kleioevers. Dit resulteert direct in een steiler talud van het oeverstrand. Daarnaast is niet alleen de positie en hoogte van de steilrandvoet moeilijk te bepalen, maar ook de positie en hoogte van de basis van het oeverstrand. Deze basis ligt meestal in de zone waar noch lodingen, noch LIDAR-data beschikbaar zijn. De exacte positie en hoogte zijn hierdoor onzeker en erg variabel wanneer deze toch uit de data gehaald worden. Dit maakt dat de huidige dataset en analyse van de negen Maasoevers niet geschikt is om het overtalud voor verschillende oevertypes goed te bepalen en om daarmee dit uitgangspunt van WAQBANK goed te valideren.

Tabel 5-1 Long-term bank retreat (terrace length) estimated by EquiBank for three dominant soil classes (uit Mosselman et al., 2021)

EquiBank	Impounded reaches			Tidal reaches		
	Hard loam	Soft loam	Sand	Hard loam	Soft loam	Sand
Dominant soil type						
Terrace slope (-)	0.05	0.03	0.020 – 0.025	0.05	0.03	0.020 – 0.025
Water depth at terrace toe (m)	0.8 - 1.0	1.0 - 1.2	1.2	1.1 - 1.3	1.3 - 1.5	1.5
Upper bank erosion height (m)	0 - 0.3	0 - 0.3	0 - 0.5	0 - 0.3	0 - 0.3	0 - 0.5
Terrace length (m)	16 - 26	33 - 50	48 - 85	22 - 32	43 - 59	60 - 100

#### Basis van het oeverstrand

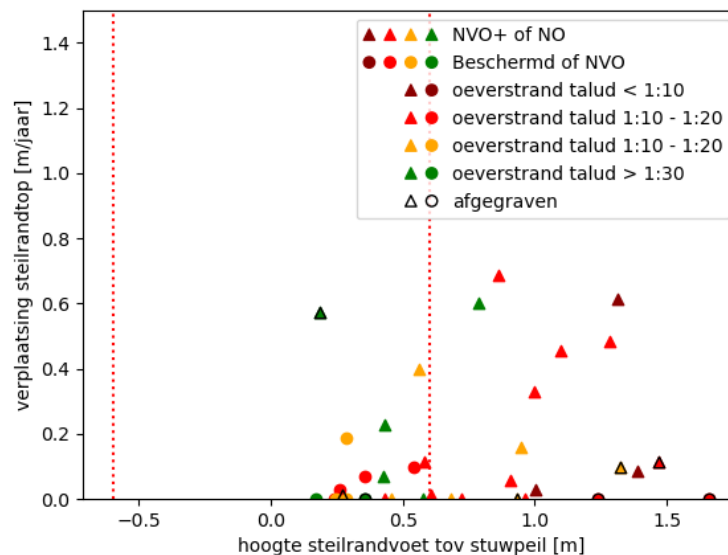
Het uitgangspunt C van WAQBANK geeft aan dat de ondergrens van het invloedsgebied van de golven ligt op de maximale waarde van of  $2H_0$  onder de referentiewaterstand of de bovenkant van de oeverbescherming. Uit het onderzoek van Duró et al. (2020) blijkt dat door retourstroming de stabiele rand van de onderwateroever lager kan liggen dan nu wordt gesteld met uitgangspunt C in WAQBANK.

Nergens in het onderzoek van Duró et al. wordt gespecificeerd op welke hoogte de stabiele rand van de oever dan wel zou moeten komen te liggen.

De analyse van de negen Maasoeveren maakt het niet mogelijk om het uitgangspunt C van WAQBANK goed te valideren of zelfs aan te passen naar een nieuwe locatie op basis van het onderzoek van Duró et al. (2020). Dit komt door het ontbreken van data rondom de waterspiegel, waardoor er een grote onzekerheid is in de gevonden locatie en hoogte van de stabiele rand van de onderwateroever. In deze rapportage is getracht om met de vaste positie van de grens van het zomerbed (de oeverreferentielijn) toch de ontwikkeling van de basis van het oeverstrand in kaart te brengen.

### Stabiele oevers

WAQBANK stelt dat een oever niet in evenwicht is als niet aan alle drie hierboven genoemde uitgangspunten wordt voldaan. Dit impliceert dat oevers zullen eroderen zolang de steilrandvoet binnen de zone van de hydraulische belasting ligt of zolang het talud van het oeverstrand steiler is dan 1:20. In Figuur 5.1 is voor alle oeversecties de erosiesnelheid van de top van de steilrand uitgezet tegen de gemiddelde hoogte van de steilrandvoet in de periode 2016-2019. De rondjes tonen de beschermde oevers en NVO-oevers en driehoekjes de NVO+ of onbeschermden NO-oevers. Daarnaast geven kleuren aan of een sectie instabiel is omdat het talud steiler is dan 1:10 (donkerrood), ligt tussen 1:10 en 1:20 (rood), redelijk stabiel is met een talud tussen de 1:20 en 1:30, of stabiel is met een talud flauwer dan 1:30. De figuur toont dat de steilrandvoet van de meeste oeversecties binnen de zone van de hydraulische belasting ligt. Dit impliceert dat de oeverligging van deze secties instabiel is. Voor ongeveer de helft van deze secties is de steilrandtop verplaatst. Er is voor deze secties geen duidelijk verband zichtbaar tussen de erosiesnelheid, het talud van het oeverstrand en de hoogte van de steilrandvoet. De figuur toont ook dat secties met een steilrandvoet boven de zone van de hydraulische belasting ook erosie hebben vertoond. Dit zijn echter, op 1 sectie na, allemaal secties waar het oeverstrand een talud heeft dat steiler is dan 1:20 en die dus ook instabiel zijn. De figuur toont ook dat beschermde oevers en NVO-oevers met de bescherming tot op de ontwerpwaterstand lagere erosiesnelheden hebben ter plekke van de steilrandtop dan de onbeschermden en NVO+ oevers waar de bescherming tot 0,5 m onder de ontwerpwaterstand is verwijderd. Het zijn met name de onbeschermden oevers met een steil talud die erosie vertonen.



Figuur 5.1 De erosiesnelheid van de steilrandtop versus de gemiddelde hoogte van de steilrandvoet in de periode 2016-2019 voor zowel beschermde en NVO- (rondjes) of NVO+ en onbeschermden NO-oevers (driehoekjes). Een zwarte rand geeft aan of een oever is afgegraven en de kleuren tonen of een oever op basis van het talud stabiel is (groen en oranje), of instabiel (rood en donkerrood). De stippellijnen tonen de zone van de hydraulische belasting.

## 6 Aanbevelingen

Aanbevelingen met betrekking tot data-analyse van oevers zijn:

- Te zorgen voor een gedegen interpolatie van de data of een gelijke dekking in data wanneer oevers over verschillende jaren worden geanalyseerd
- Te zorgen voor een automatische selectie van de gevonden oeverkentallen aan de hand van een minimale datadekking rondom de basis van het oeverstrand
- Te zorgen voor een andere meetmethode waarbij op een aantal locaties het gehele oeverprofiel wordt ingemeten. Bijvoorbeeld door het inmeten van een aantal raaien of via een actieve glasvezelkabel waarmee uit de variaties in temperatuur de laagdikte van het sediment bovenop de kabel kan worden bepaald
- De oevers te blijven monitoren en de gegevens over een aantal jaren nogmaals te analyseren om te kijken of de oevers dan wel hun evenwichtssituatie hebben bereikt. Indien dit het geval is kan WAQBANK ook toegepast worden op deze oevers en kan het resultaat van de evenwichtsligging beter worden vergeleken

Aanbevelingen met betrekking tot aanpassing van de handleiding van WAQBANK zijn:

- Het samenvoegen van de beschrijvingen van de methodes voor het bepalen van de oevererosie door scheepsgolven en stroming in één hoofdstuk. Nu staan deze namelijk verdeeld over verschillende hoofdstukken en appendixes en zijn deze incompleet.
- Aanpassen van de figuur van de evenwichtsoeverligging en uitgangspunten. Deze figuur is onduidelijk, niet alle labels en variabelen zijn aanwezig, en de naam klopt niet altijd met de naam van de variabelen die wordt gebruikt in de handleiding. De voor deze rapportage gebruikte figuur van het evenwichtsprofiel is alvast gemaakt ter vervanging en voor opname in de handleiding.

## 7 Referenties

- Chavarrias, V., 2019. Bank Characterization. Deltares memo: 06-12-2019
- Deltares, 2014. WAQBANK User manual. Version3, May 2014
- Duró, G., Schippers, M.M.A., 2021. Studie Natuurvriendelijke Oevers IJssel. Witteveen+Bos: 124989/21-012.487
- Duró, G., Crosato, A., Kleinhans, M.G., Roelvink, D., Uijttewaal, W.S.J., 2020. Bank Erosion Processes in Regulated Navigable Rivers. JGR Earth Surface Volume125, Issue7  
<https://doi.org/10.1029/2019JF005441>
- Mosselman, E., Duró, G., van der Deijl, E.C., Eijlsberg – Bak, C., Buijse, T., 2021. Beheer van dynamische oevers. Deltares rapport 11205234-012-ZWS-0001-v0.2: 17-03-2021
- Shore, 2016. Data van maasoevers. Collectie van meetgegevens, hoogteliggingen, foto's en films met bijbehorende rapportages voor 2016, Shore Monitoring & Research, Den Haag.
- Shore, 2018. Data van maasoevers. Collectie van meetgegevens, hoogteliggingen, foto's en films met bijbehorende rapportage voor 2018, Shore Monitoring & Research, Den Haag.
- Shore, 2020. Data van maasoevers. Collectie van meetgegevens, hoogteliggingen, dronebeelden, foto's en films met bijbehorende rapportage voor 2020, Shore Monitoring & Research, Den Haag.
- Shore, 2021. Data van maasoevers. Collectie van meetgegevens, hoogteliggingen, dronebeelden, foto's en films met bijbehorende rapportage voor 2021, Shore Monitoring & Research, Den Haag.
- Stolker, C. and H. J. Verheij, 2001. Calibratie van een oeverafslagmodel voor de Zandmaas. Tech. Rep. rapport Q3060, WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands
- Van der Deijl, E.C., 2022a. Basisrivierbodempligging analyse Grensmaas hoogwater juli 2021. Deltares rapport 11206792-009-ZWS-0002: definitief 20-07-2022
- Van der Deijl, E.C., 2022b. Karakterisatie van negen KRW Maasoevers. Deltares rapport 11208033-005-ZWS-0003: definitief 16-12-2022
- Verheij, H. J., 2000. Samenwerkingsproject Modelling Afslagoevers. Tech. Rep. Q2529, WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands. In Dutch.

# A Mogelijke methodes voor oeveranalyse

## A.1 Bank characterisation (Chavarrias, 2019)

Rijkswaterstaat had gevraagd om de negen Maasoevers te classificeren volgens de methode uit het project Bank characterisation (Chavarrias, 2019). In dat project werd per hoogteklaas gekeken naar de gemiddelde afstand van alle punten tot de rivieras. Wanneer deze afstanden samen met de standaarddeviatie worden geplot voor elke hoogteklaas ontstaat een dwarsprofiel dat voor de oeverclassificatie kan worden gebruikt. In het project Bank characterisation werd deze methode toegepast op gehele oevers en werden hoogteklassen van 1 m gebruikt. Binnen dit project werd geconstateerd dat deze methode niet goed geschikt is om oevers te analyseren voor validatie van WAQBANK, omdat:

- De methode met classificeren per hoogte eigenlijk alleen geschikt is wanneer oevers een monotone toename in hoogte met afstand van de rivieras vertonen. Dit is niet het geval voor de geanalyseerde oevers. Hierdoor worden punten met gelijke hoogte zowel ver als dichtbij de rivieras gevonden en samen gecombineerd in 1 hoogteklaas. Hierdoor worden de lokale oevereigenschappen niet goed weergegeven in de gevonden statistieken.
- De gebieden die met name in de initiële fase na het verwijderen van oeverbescherming aan erosie onderhevig zijn liggen meestal op een hoogte vlak rondom de waterspiegel. Deze gebieden worden echter niet ingemeten, omdat noch de methode voor meten boven water, noch de methode voor meten onder water deze gebieden accuraat kan inmeten. Voor het bepalen van goede oeverkentallen moeten deze gebieden apart worden ingemeten.

Aanbevelingen vanuit het project Bank characterisation:

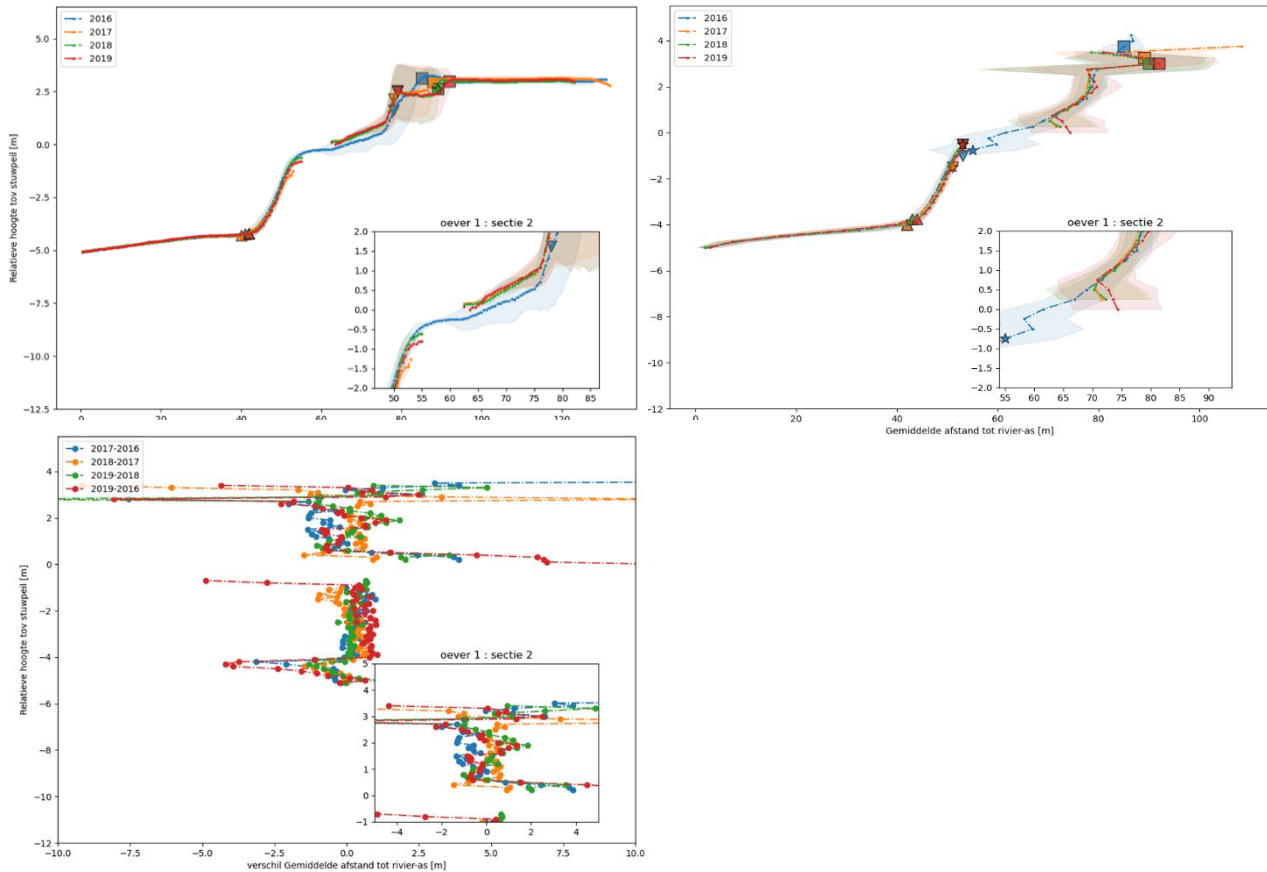
- Gebruik een andere methode waarbij geclassificeerd wordt op basis van de afstand tot de rivieras in plaats van op hoogte zodat de analyse over een homogener gebied plaatsvindt dat beter de lokale oevereigenschappen weergeeft.
- Analyseer isolijnen

De methode vanuit het project Bank characterisation is toegepast. De .tif- en .pts-bestanden van droge en natte metingen zijn ingelezen als punten met Python en voor elke oeversectiepolygoon (zie paragraaf 3.1.3) zijn de daarin liggende punten geselecteerd. Voor deze punten is de kortste afstand tot aan de rivieras bepaald en is de relatieve hoogte ten opzichte van het stuwpeil berekend. Vervolgens is voor verschillende hoogteklassen (0,1; 0,25 en 1 m) de gemiddelde afstand tot de rivieras bepaald. Figuur A.1.1 toont voor oever 1 sectie 2 de gemiddelde afstand vanaf de rivieras voor een hoogteklaas van 0,1 en 1 m. De vraag van Rijkswaterstaat was om met deze figuren en de verandering over de tijd van de afstand voor elke hoogteklaas kentallen voor de oevers te bepalen en de uitgangspunten van WAQBANK te verifiëren. Echter bleek dat de negen Maasoevers van dit project geen homogene toename in hoogte met afstand tot de rivieras vertonen. Dit is goed zichtbaar in de grote standaarddeviatie voor hoogtes boven 2 m. Ook is in deze figuur zichtbaar dat er waarschijnlijk een oeverwal bovenop de steilrand ligt, want de gemiddelde afstand van de hoogste hoogteklaas is lager dan die van een aantal hoogteklassen daaronder. In de figuur is ook zichtbaar dat er veel data rondom de waterspiegel missen.



Dit resulteert in wegbuigende gemiddelde afstanden. Voor de lagere hoogteklassen rondom de waterspiegel worden namelijk vooral de natte punten het dichtst bij de rivieras gevonden, terwijl voor de hogere klassen rondom de waterspiegel juist in de droge metingen de punten het verst van de rivieras worden gevonden.

Verder laat de grafiek met het verschil in de gemiddelde afstand tot de rivieras voor de verschillende jaren (onderin in Figuur A.1.1) zien dat er geen consistente trend is in de gemiddelde afstand per hoogteklasse. Om deze reden bleek de door Rijkswaterstaat voorgestelde methode niet geschikt voor het bepalen van oeverkentalen en de verificatie van WAQBANK.



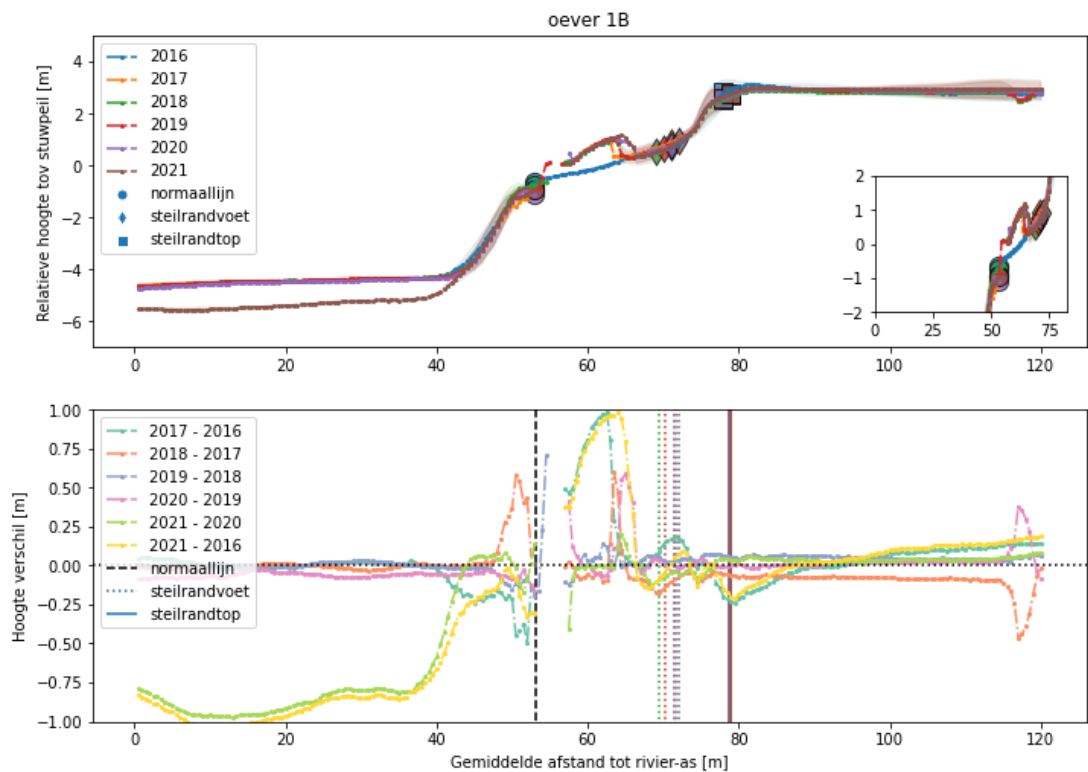
Figuur A.1.1 De gemiddelde afstand per hoogteklasse van 0,1 m (links) en 1 m (rechts) en het verschil in de gemiddelde afstand tot de rivieras voor de verschillende jaren (onder). Markers geven oeverzones aan zoals bepaald met de methode zoals toegepast bij de IJssel.

# B Oeveranalyse

## B.1 Oever 1: Buggenum

De ontwikkeling van oever 1A is al in paragraaf 4.2.1.2 besproken. Om deze reden volgt hier alleen de ontwikkeling van oever 1B.

De gemiddelde steilrandverplaatsing langs oever 1B is slechts 4 cm per jaar. In het oeverprofiel van Figuur B.1.1 zijn duidelijk meerdere oeverterrassen zichtbaar. Door de erosie in het bovenste deel van het oeverprofiel en de sedimentatie op het oeverstrand verandert het talud van het oeverstrand dat zich tussen de oeverreferentielijn en de steilrandvoet bevindt.

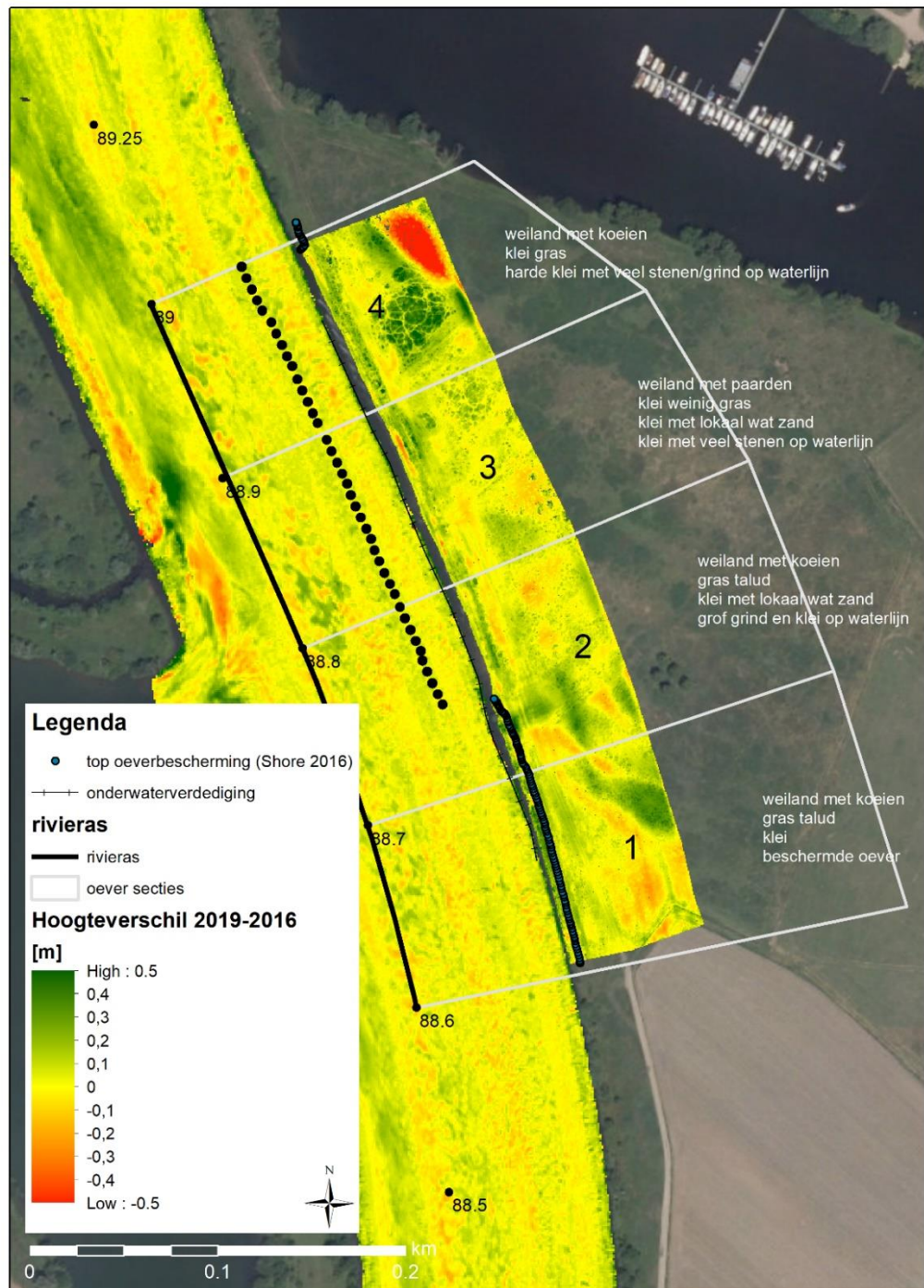


Figuur B.1.1 De minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras voor oever 1B gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)

## B.2 Oever 2: Hansumerweerd

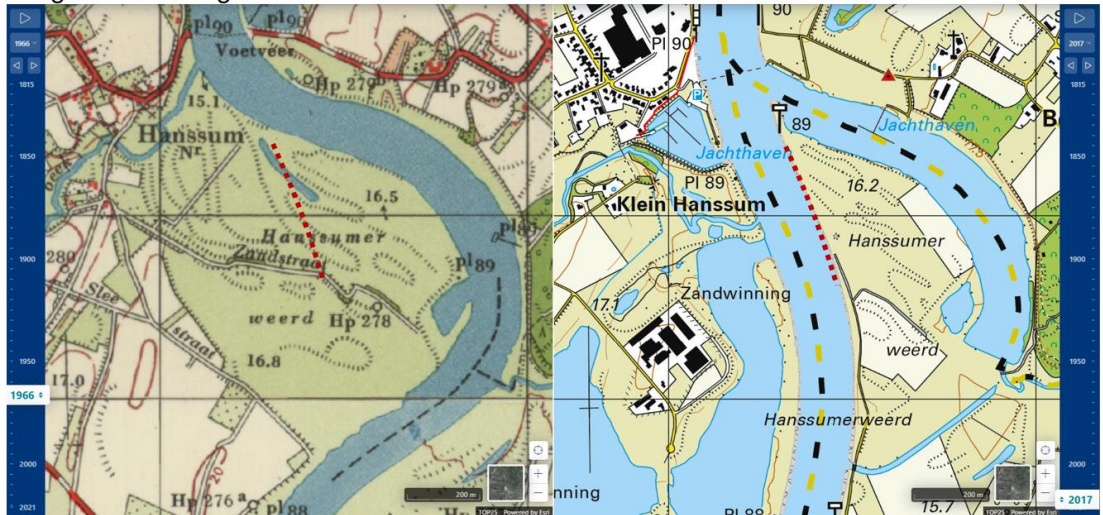
Oever 2 is de rechteroever in de buitenbocht bij Hansumerweerd tussen rkm. 88,5 en 88,9. Het betreft een NO-oever waar behalve in de 1<sup>e</sup> sectie van de oever (zie Figuur B.2.1) de oeverbescherming tot minimaal 1 m onder het stuwpeil is verwijderd. De oever is om deze reden ingedeeld in deel 2A (sectie 1) en deel 2B (sectie 2 t/m 4).

### Oever 2: Hansumerweerd



Figuur B.2.1 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2019 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) bij Hansumerweerd..

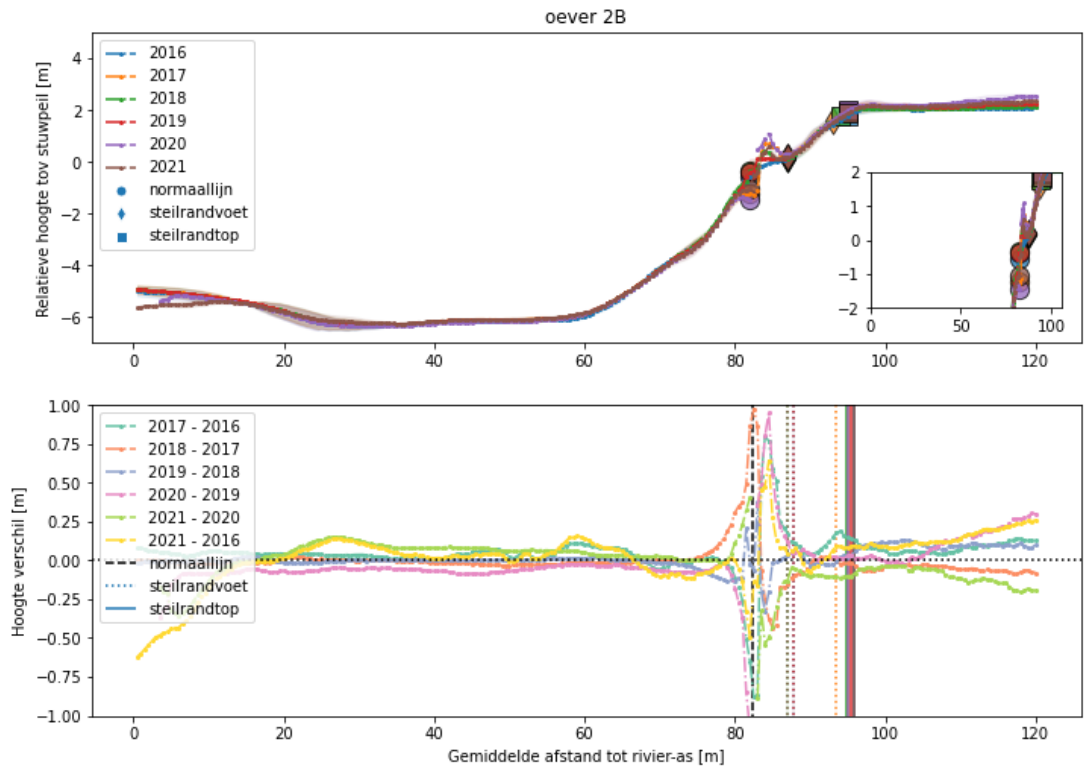
Langs de oever van Hansumerweerd zijn de verschillen in hoogte tussen 2016 en 2019 minder groot dan het geval was bij de oever van Buggenum. In Figuur B.2.1 is lokaal in de onbeschermde delen van secties 2 en 3 een kort stuk droge oever zichtbaar waar de hoogte direct langs de rand van het droge deel van de oever afneemt. In deze secties was er in 2020 en 2021 weinig begroeiing langs de waterlijn aanwezig. Echter is langs het grootste deel van de waterlijn van deze oever na de ontstening van 2016 het kale oevertalud begroeid. De hoogte van de vegetatie is met name op de waterlijn sterk toegenomen en hierdoor nam ook in de LIDAR-beelden de hoogte met 0,3 tot 1 m toe in de eerste 10 droge meters van de oever. Verder landwaarts is er in sectie 2 en 3 een langere strook oever van ongeveer 100 m waar de hoogte afneemt. Verder valt duidelijk op in de figuur dat er in sectie 4 grote hoogteverschillen ontstaan aan de landwaartse zijde van de uiterwaard, waarschijnlijk veroorzaakt doordat dit stuk van de oever lager ligt en ook in het verleden al lager lag of zelfs onderdeel uitmaakte van een voormalig geultje (zie Figuur B.2.2).



*Figuur B.2.2 Kaarten van de rechter oever bij Hansumerweerd (rode stippellijn) welke ligt van rkm. 88,6 tot 88,9 (rechts, Topotijdreis 2021) waar in de jaren '60 de rivierbocht is afgesneden (links, Topotijdreis 1966).*

Het gemiddelde oeverprofiel met de minimale, gemiddelde en maximale gemiddelde relatieve hoogte voor elke afstandsklasse en het hoogteverschil van de oever bij Hansumerweerd is zichtbaar in Figuur B.2.3. In deze figuur is zichtbaar dat de variatie in hoogte voor de afstandsklassen langs de secties van deze oever veel kleiner is dan bij oever 1. Dit komt doordat zowel de oeverreferentielijn als de hoge oever langs gehele oever van Hansumerweerd ongeveer op dezelfde afstand van de rivieras liggen. De top van de oever erodeert met een gemiddelde snelheid van 2 cm per jaar. Doordat er voornamelijk sedimentatie optreedt en vegetatie groeit aan de voet van het oeverstrand en de hoge oever weinig erodeert, vlakkt het talud van het oeverstrand van deze oever af van 1:4 naar 1:15.





*Figuur B.2.3 Voor oever 2 de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)*



## B.3 Oever 3: Rijkelse Bemden

Oever 3 is de oever van Rijkelse Bemden. Het betreft een afgegraven oever in de binnenbocht tussen de rivier en een achtergelegen plas tussen rkm. 90 en 90,55 (zie Figuur B.3.2). Doordat deze oever in de binnenbocht ligt is de afstand van de oever tot aan de rivieras relatief groot.

In 2015 is de bescherming van de oever bij Rijkelse Bemden verwijderd en is 5 m van de oever afgegraven. De natuurvriendelijke oever is eind november 2015 opgeleverd. In secties 1 en 2 van de oever begint het afgegraven deel met een flauw zanderig talud met daarboven een grindlaag welke loopt tot aan een vaak grillige steilrand van harde klei. Op sommige plekken is ook een laag zand onder de kleilaag aanwezig. Deze zandlaag is in 2016 al op diverse plekken uitgespoeld. Dit resulteert in lokaal overhangende kleilagen, waarvan er een zichtbaar is in Figuur B.3.1.

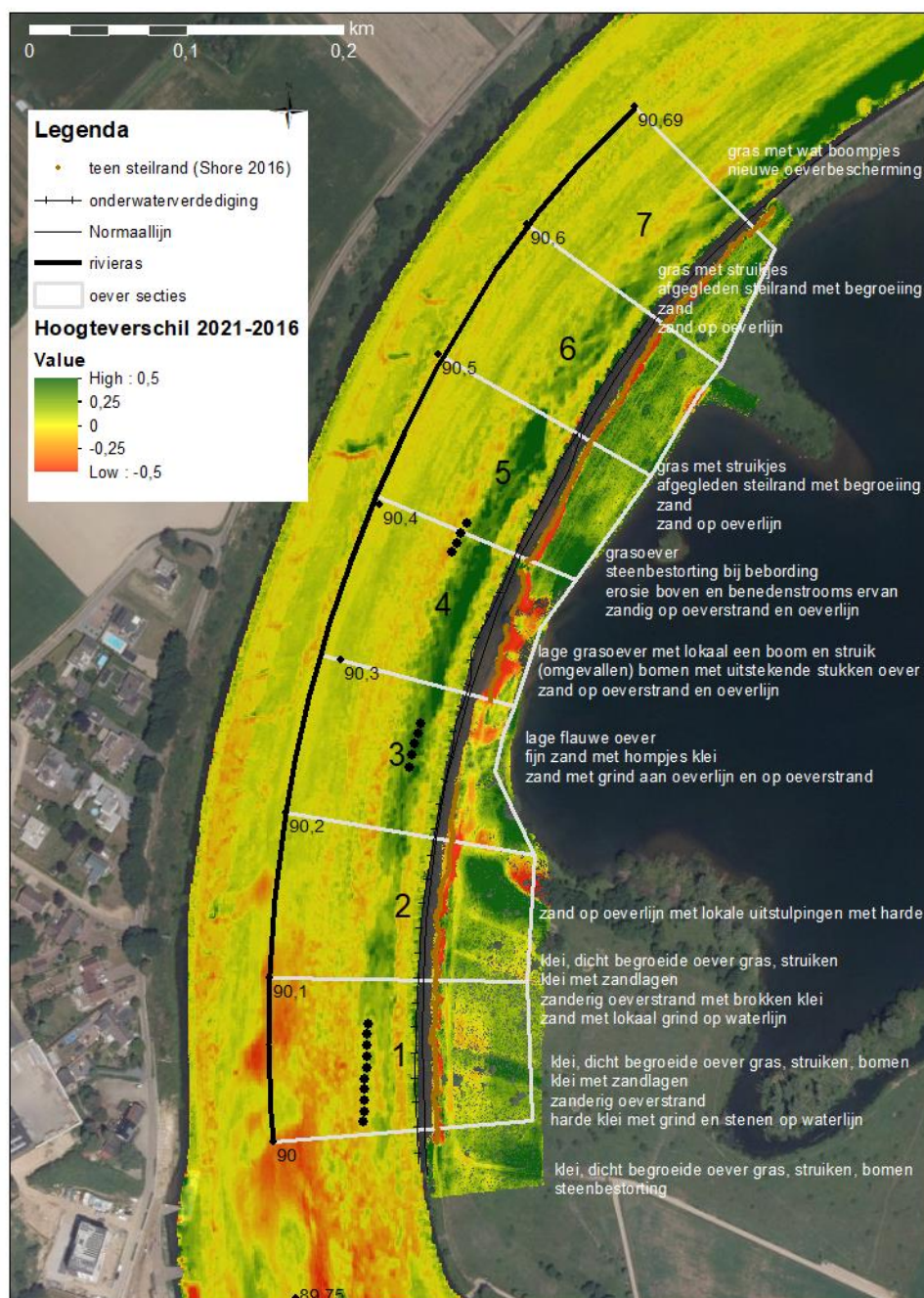


*Figuur B.3.1 Foto van een weggespoelde zandlaag en overhangende kleilaag langs de oever van Rijkelse Bemden (Shore, 2016).*

Het tweede deel van de oever (secties 3 tot en met 7) is veel zandiger met af en toe wat klei en zeer lokaal veel grind bij de waterlijn. Deze aanwezigheid van grind is met de zwarte bolletjes aangegeven in Figuur B.3.2. Ook is de steenbestorting bij de bebording van rkm. 90,4 gehandhaafd. Het lijkt dat de kleilagen bovenop het zand in de eerste 2 secties zijn aangebracht door de drooglegging en ophoging van de voormalige plas tussen rkm. 90 en 90,2 (zie Figuur B.3.2)

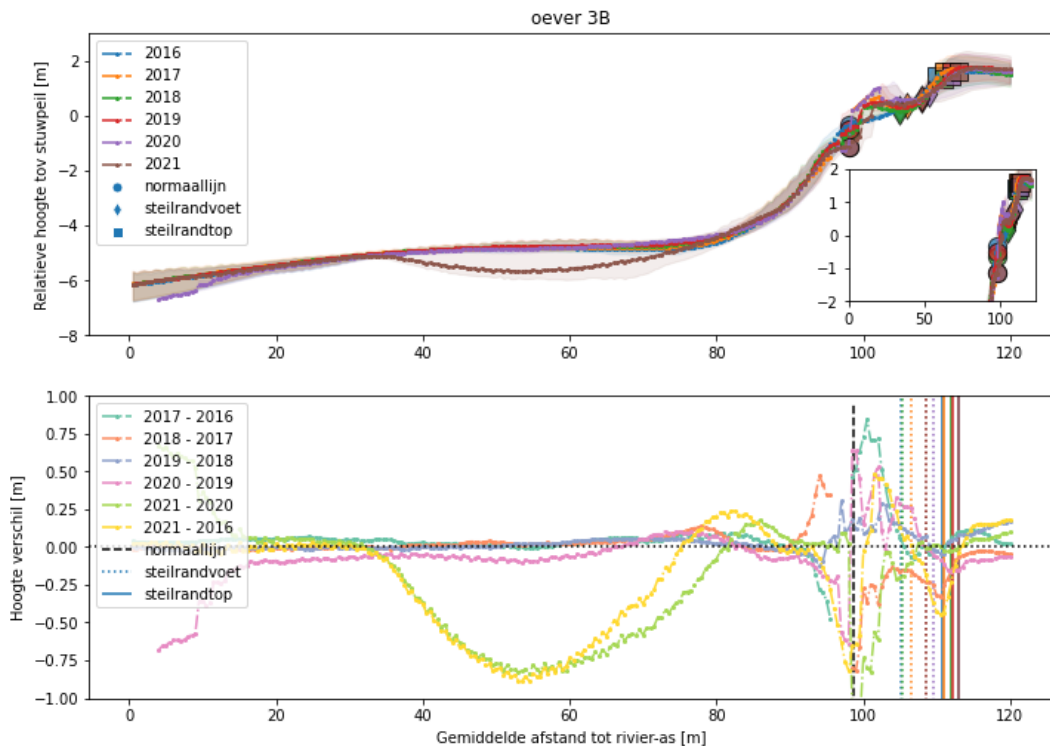
De variatie in erosiesnelheid langs deze oever is klein. Secties 2 tot en met 8 eroderen allemaal met ongeveer 33 tot 70 cm per jaar. Alleen sectie 1 wijkt af. De steilrandtop van de beschermde en hoge oeversectie 1 ligt namelijk stabiel.

## Oever 3: Rijkelse Bemden

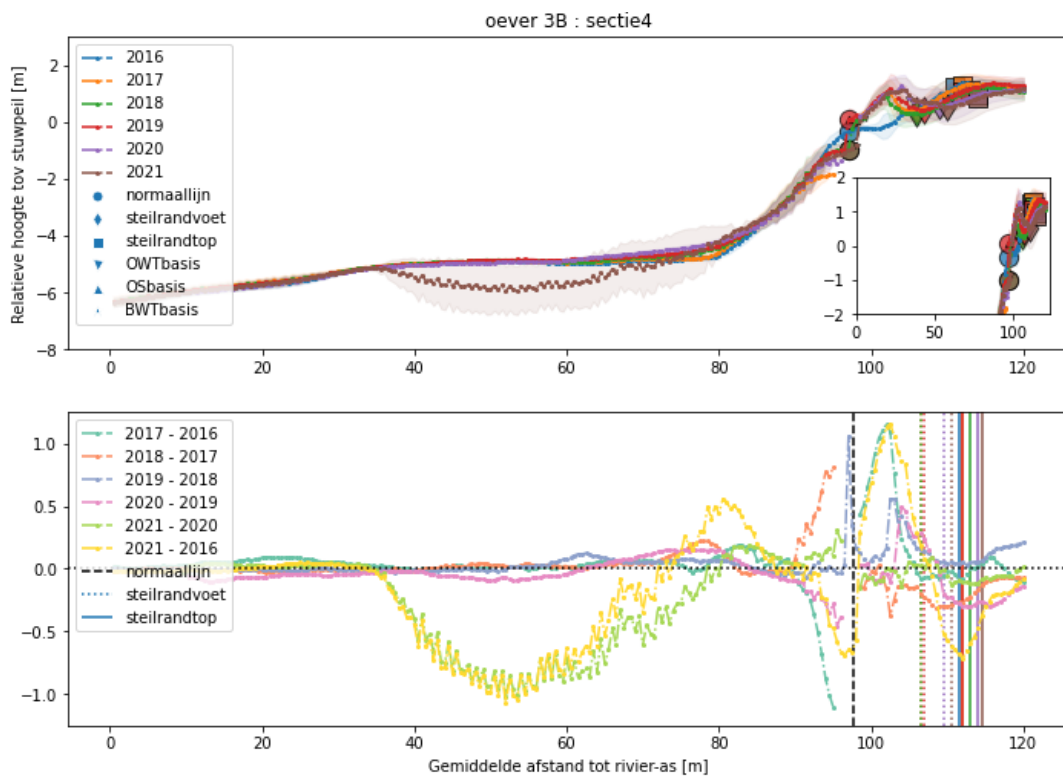


Figuur B.3.2 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2021 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van Rijkelse Bemden.

Figuur B.3.3 laat zien dat de top van de oever op 2 m boven stuwpeil ligt. Er is een relatief grote variatie in de gemiddelde hoogte per afstandklasse voor de verschillende secties langs de oever. Dit komt vooral doordat de top van de oever van secties 3 en 4 bijna 1 m lager ligt dan die van de overige secties van deze oever (zie Figuur B.3.2 en Figuur B.3.4). Langs bijna alle secties is een afname in de hoogte langs de rand van het eerste droge deel van de oever zichtbaar. Deze afname loopt op tot 0,5 m en vindt plaats over een strook van ongeveer 5 tot 10 m breed (zie Figuur B.3.2). Opvallend is dat deze erosie niet zichtbaar is langs de rand van secties 1 en 3. Verder valt op dat er met name in sectie 4 ook aan de landwaartse kant van de oever grote afnames in hoogte ontstaan langs de oever van de daarachter liggende plas.



Figuur B.3.3 Voor oever 3B de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)



Figuur B.3.4 Voor oever 3 sectie 4 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandklasse.



## B.4 Oever 5: Niftrikse Waarden

Oever 5 is de oever van Niftrikse Waarden. Het eerste stuk van deze oever ligt in een binnenbocht van de rivier. De oude topografische kaart in Figuur B.4.1 geeft aan dat begin jaren '50 kribben aanwezig waren langs deze oever.



Figuur B.4.1 Kaarten van de oever van Niftrikse Waarden (rode stippellijn) welke ligt van rkm. 183 tot 184,2 aan de rechterzijde van de rivier (rechts, Topotijdreis 2021) waar begin jaren '50 kribben aanwezig waren (links, Topotijdreis 1954).

De gehele oever is door Rijkswaterstaat getypeerd als een lage kleioever en is op basis van het ontwerp al in twee delen verdeeld. Langs deel A van deze oever (rkm. 183,0 – 183,5) is de oeverbescherming verwijderd boven het stuwpeil (NVO-oever). De steenbestorting is echter duidelijk op de waterlijn zichtbaar en boven de waterlijn heeft de oever een steil talud dat begroeid is met gras, riet en struiken. Soms is er een kleine steilrand aanwezig voor de oever overgaat in grasland.

Deel B van de oever is afgegraven en hier is de steenbestorting geheel verwijderd (NO-oever). Deel B van de oever bevat door de afgraving en het verwijderen van de oeverbescherming minder vegetatie. Het oeverstrand is zandig met soms enkele stenen rondom de waterlijn. Het oeverstrand eindigt langs een groot stuk van deze oever onderaan de voet van een kleiige steilrand. De steilrand erodeerde al meteen na afronding van de werkzaamheden in november 2015, want in secties 9 tot en met 12 zijn er in 2016 al diverse kommen in de oeverlijn gevormd. Deze kommen bevinden zich vooral tussen de bakenbomen welke dicht langs de rand van de oever staan. Rondom de bakenbomen is soms riet aanwezig maar bij enkele bakenbomen is in 2016 al zichtbaar dat ze worden ondergraven. Een van de eroderende stukken oever tussen 2 bakenbomen is zichtbaar in Figuur B.4.2 en Figuur B.4.3.

Langs oever 5A zijn de hoogteverschillen op het droge deel van de oever met name positief door sedimentatie. Deze sedimentatie loopt op van 0,5 tot 1 m langs de rand van de droge oever. Langs de rand van het natte deel van de oever neemt de hoogte licht af met ongeveer 0,2 m (zie Figuur B.4.3).

De oever van Niftrikse Waarden is met 20 m een relatief smalle oever met een basis op ongeveer 60 m en een top op 85 tot 100 m vanaf de rivieras. Hierdoor lijkt het profiel van de oever relatief vlak zonder duidelijk oeverstrand (zie Figuur B.4.4). Het oeverstrand ontbreekt in de eerste secties en hier is ook geen duidelijke steilrand aanwezig.

Er is echter langs oever 5B vanaf sectie 7 wel een oeverstrand en ook een steilrand aanwezig (zie Figuur B.4.5). Dit is ook de reden dat er vanaf deze sectie landwaarts van de oeverreferentielijn over een relatief grote afstand, namelijk 5 tot 10 m, data ontbreken.

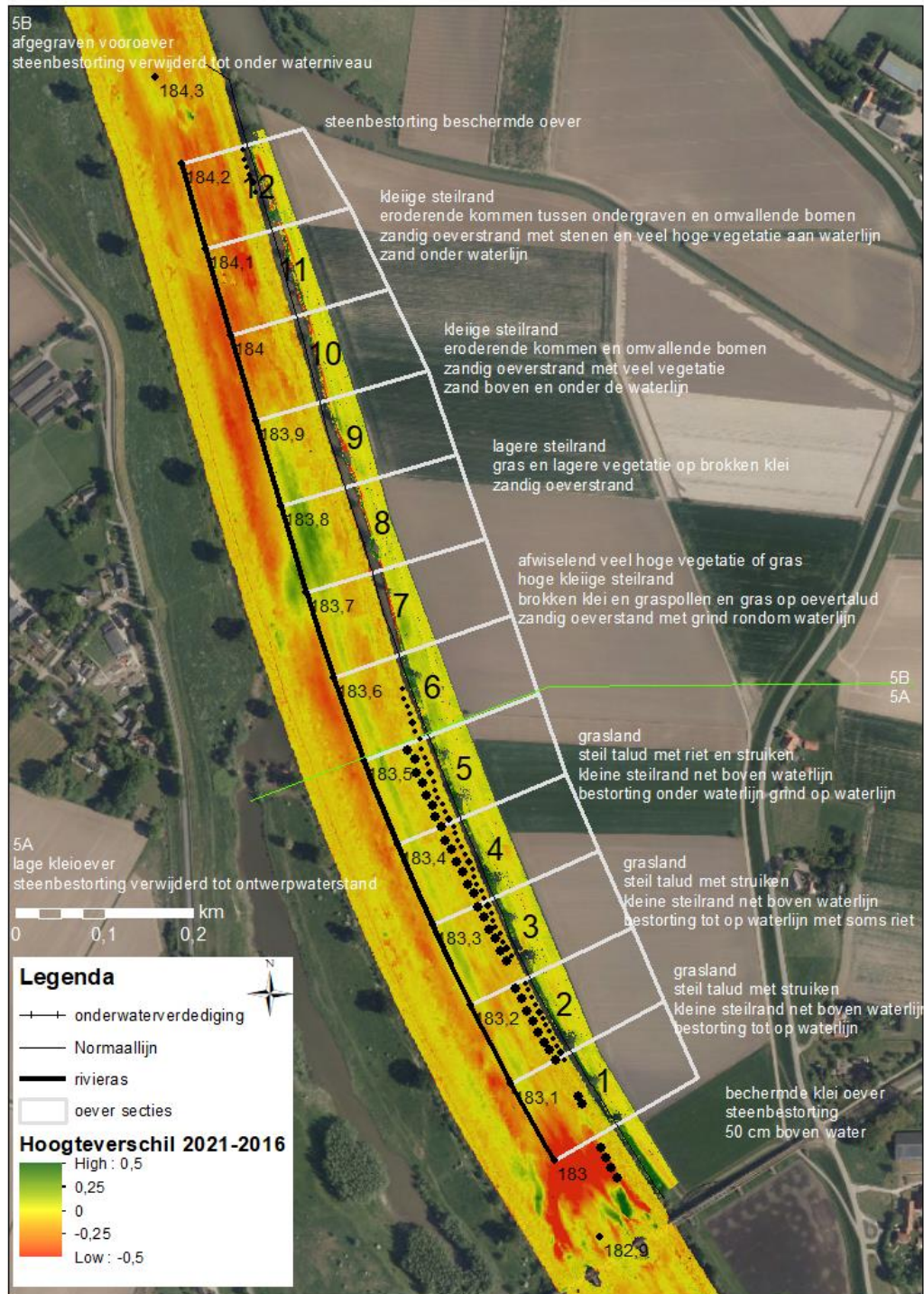
De top van de gehele oever ligt ongeveer op 2,5 m boven stuwpeil en er vindt met name sedimentatie plaats rondom de oeverreferentielijn en op het oeverstrand. Dit is waarschijnlijk materiaal dat is vrijgekomen van de erosie van de steilrand die vanaf secties 8 tot en met 12 aanwezig is en lokaal erodeert. De gemiddelde erosie van de gehele oever is 8 cm per jaar, met maximaal 33 cm per jaar in sectie 3.



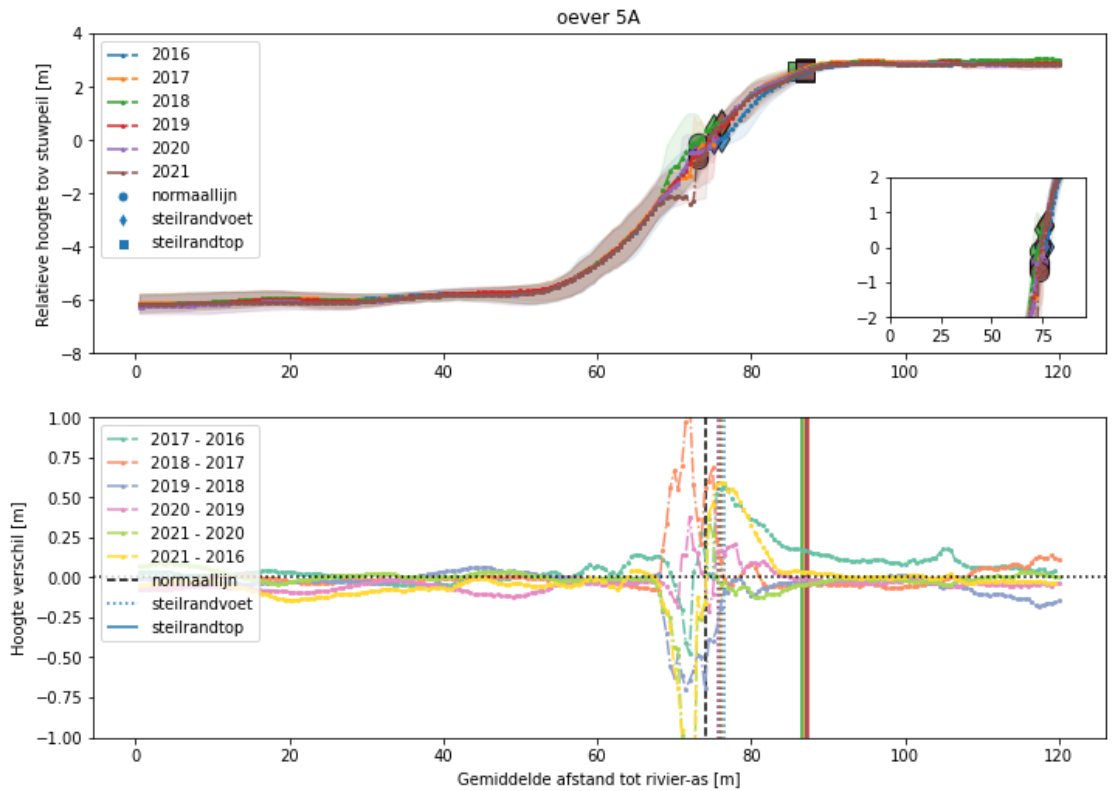
*Figuur B.4.2 Foto van de komvormige oever tussen twee bakenbomen met voor de bomen kleiige grond, stenen en riet en in de kom zelf een zandig oeverstrand met grind en brokken begroeide klei aan de voet van de kleiige steilrand (Shore, 2016).*



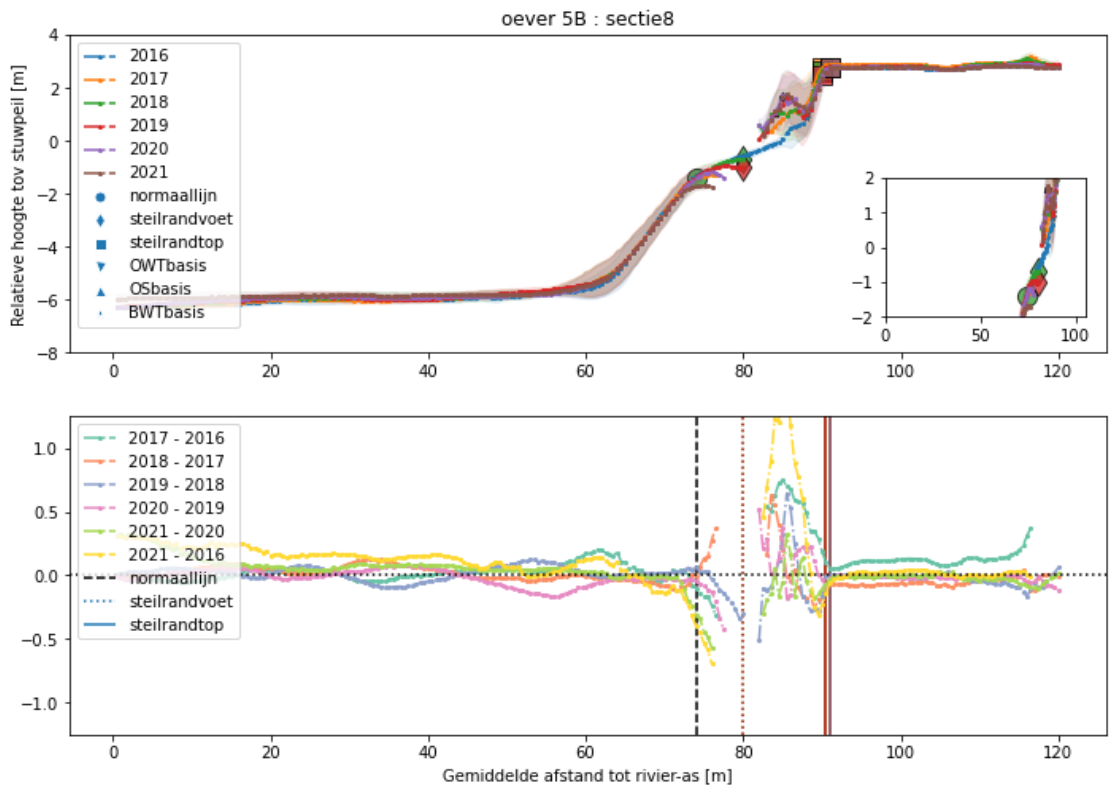
## Oever 5: Niftrikse waarden



Figuur B.4.3 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2021 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van Niftrikse Waarden..



Figuur B.4.4 Voor oever 5A de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)

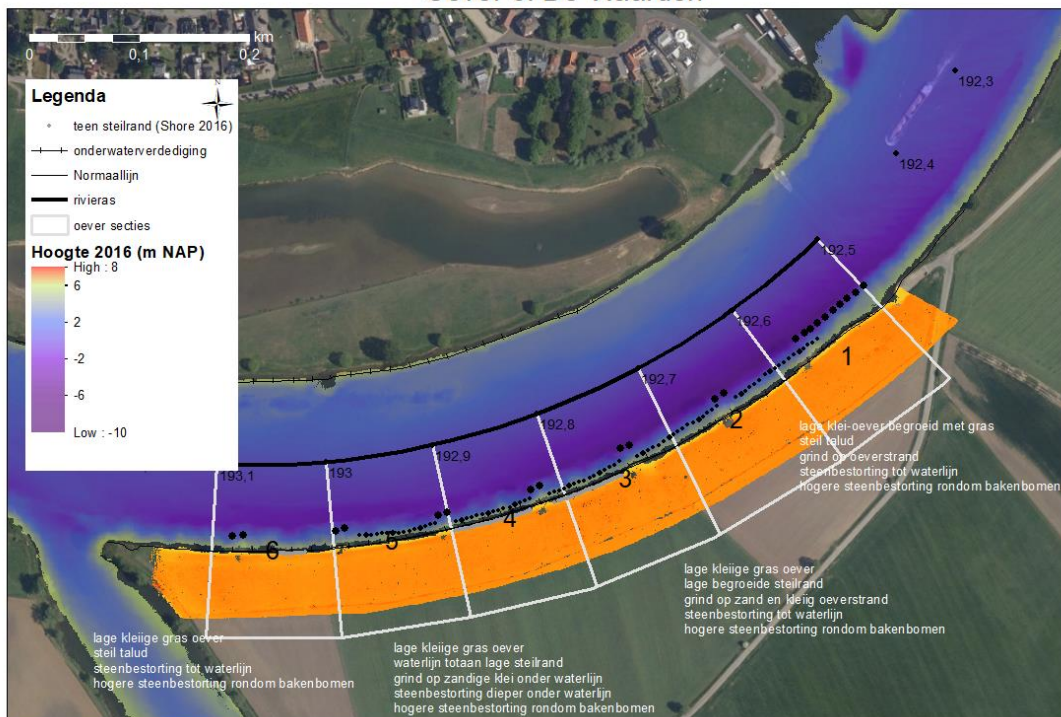


Figuur B.4.5 Voor oever 5B sectie 8 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandklasse.

## B.5 Oever 6: De Waarden

De oever van De Waarden is een lage kleioever in een buitenbocht van de rivier tussen rkm. 192,50 en 193,10. De oever is begroeid met gras en de bakenbomen zijn op de oever aanwezig. De oever is ontworpen als NVO en de steenbestorting is tot op de waterlijn aanwezig, behalve rondom de bakenbomen waar de bestorting is gehandhaafd tot op de oever (zie Figuur B.5.1 en Figuur B.5.2). In secties 3, 4 en 5 zijn door erosie al komvormige oeverlijnen tussen de bakenbomen zichtbaar. Ook is hier een lage begroeide steilrand aanwezig met een kort oeverstrandje dat voornamelijk uit zandige klei met grind bestaat.

Oever 6: De Waarden



Figuur B.5.1 De bodem- en oeverhoogte [m NAP], top van de oeverbescherming, locatie van de onderwaterverdediging en de oeverreferentielijn voor de oever van De Waarden. De aanwezigheid van grind op de waterlijn is aangeduid met de kleine zwarte bolletjes langs de oever en de steenbestorting met grote bollen.

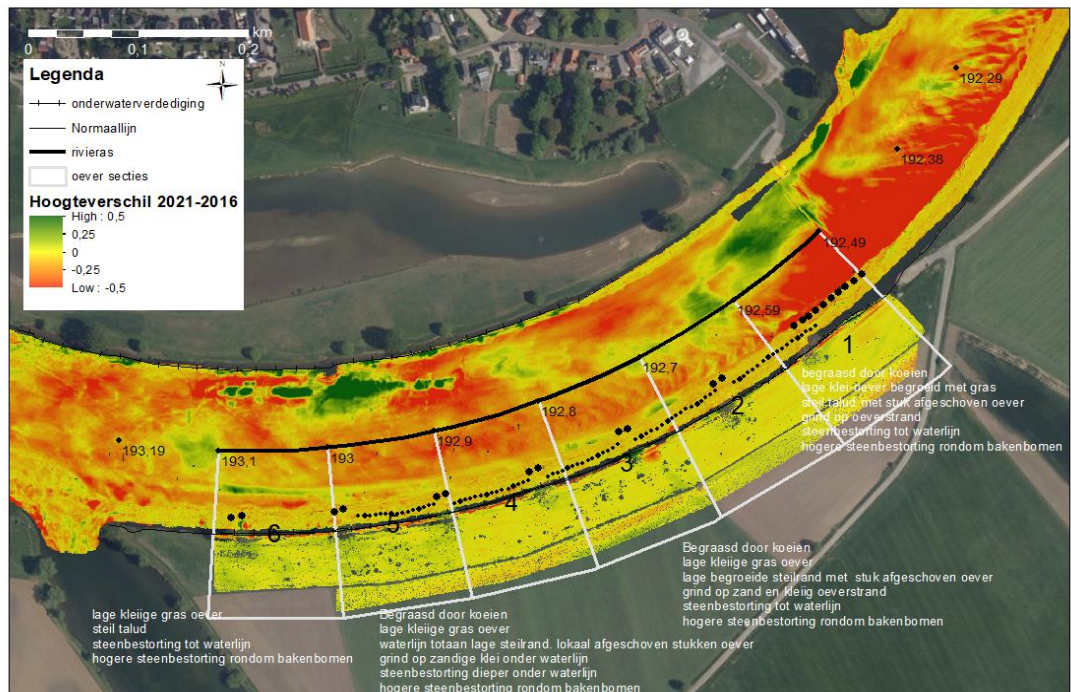




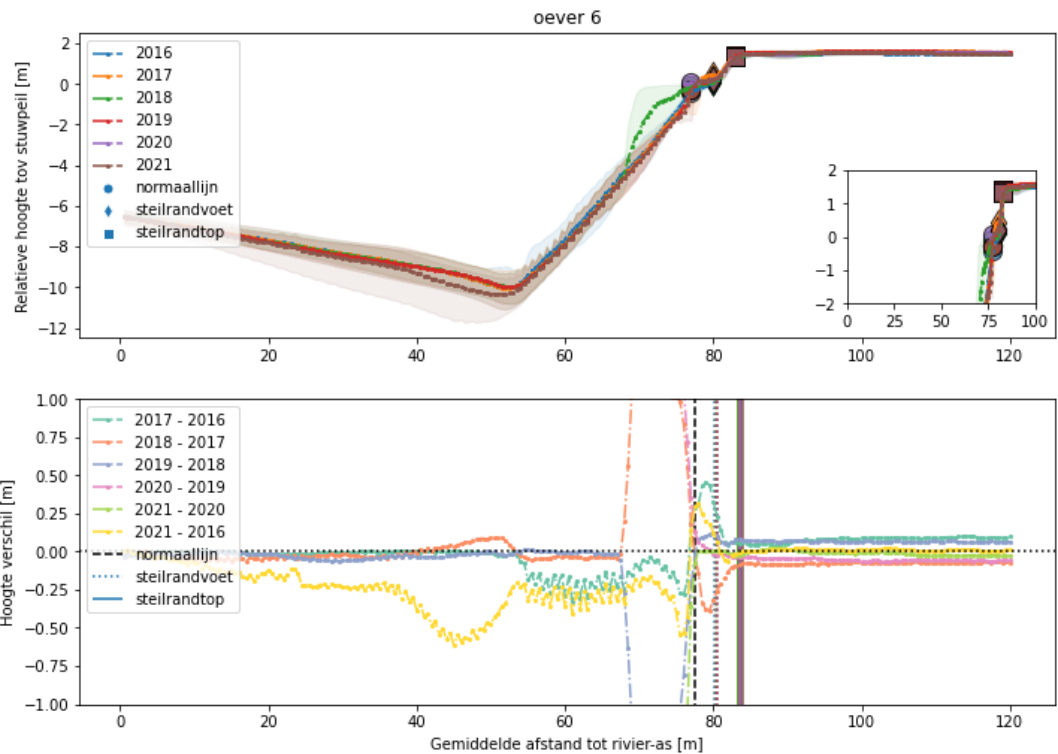
Figuur B.5.2 Foto van de komvormige oever tussen twee bakenbomen waarbij de steenbestorting voor de bomen is gehandhaafd tot op de oever (Shore, 2016).

De basis van het onderwatertalud van de oever (zie Figuur B.5.2) ligt op 58 m vanaf de rivieras op 11 m onder stuwpeil. De oeverbescherming is verwijderd tot op het stuwpeil, tot de oeverreferentielijn, welke ligt op ongeveer 78 m van de rivieras. De top van de oever op ligt op ongeveer 1 m boven stuwpeil. Hiermee is deze oever relatief steil, ontbreekt er over slechts een klein stuk van het oeverprofiel data en is er relatief weinig variatie langs de oever. Gemiddeld erodeert de oever met 5 cm per jaar. Op het hoge droge deel van de oever vindt met name sedimentatie plaats. De trend varieert echter met de jaren, waarschijnlijk door de verandering in datadekking en het steile talud. In Figuur B.5.3 valt verder vooral op dat de oever lokaal in sectie 3 tot een grotere afstand landinwaarts is geërodeerd. Deze erosie van 18 cm per jaar is ook zichtbaar in de doorsnede en kentallen van sectie 3 (Figuur B.5.4).

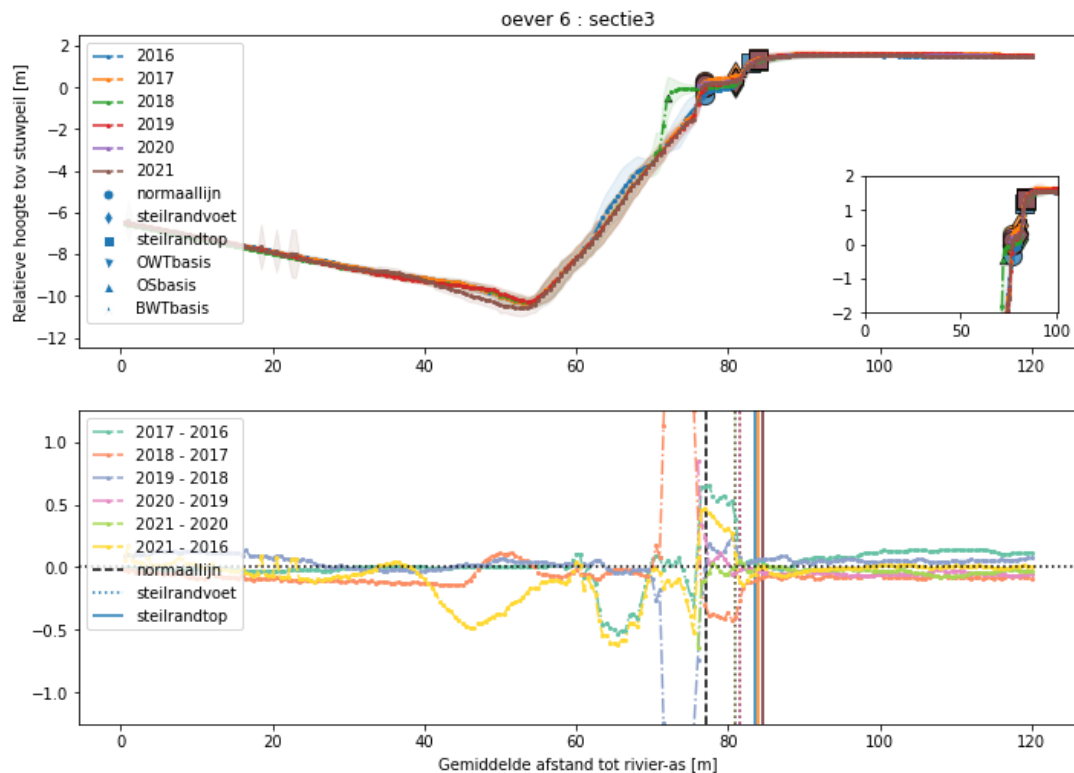
#### Oever 6: De Waarden



Figuur Figuur B.5.2 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2021 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van De Waarden.



Figuur B.5.3 Voor oever 6 de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)

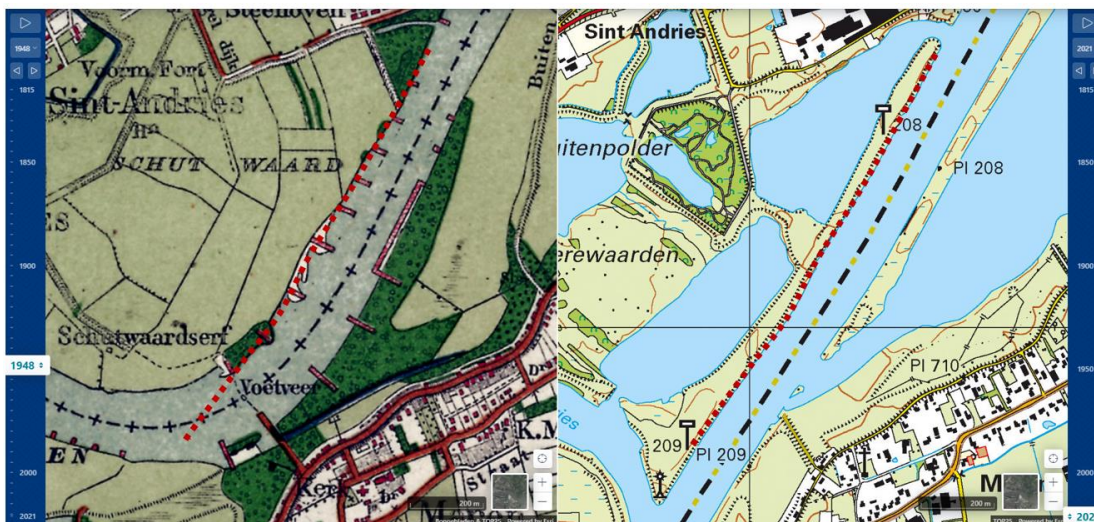


Figuur B.5.4 Voor oever 6 sectie 3 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.



## B.6 Oever 7: Heerewaarden

De oever van Heerewaarden (oever 7) is de rechteroever tussen rkm. 207,7 en 208,9 in de buurt van Buitenpolder/Heerewaarden. Het gebied is door Rijkswaterstaat getypeerd als een hoge zandoever. Het is een NVO+-oever waar de oeverbescherming is verwijderd tot 0,5 m onder de ontwerpwaterstand. De oever ligt tussen een recht stuk van de rivier en twee achtergelegen plassen. Deze plassen zijn in de jaren '70 gegraven. In het jaar 1955 lag de oever echter in een binnenbocht en waren er zelfs kribben ter hoogte van de huidige oever aanwezig (links in Figuur B.6.1). De kribben zijn niet meer aanwezig, maar de bakenbomen wel en deze zijn in 2016 lokaal beschermd met steenbestorting.



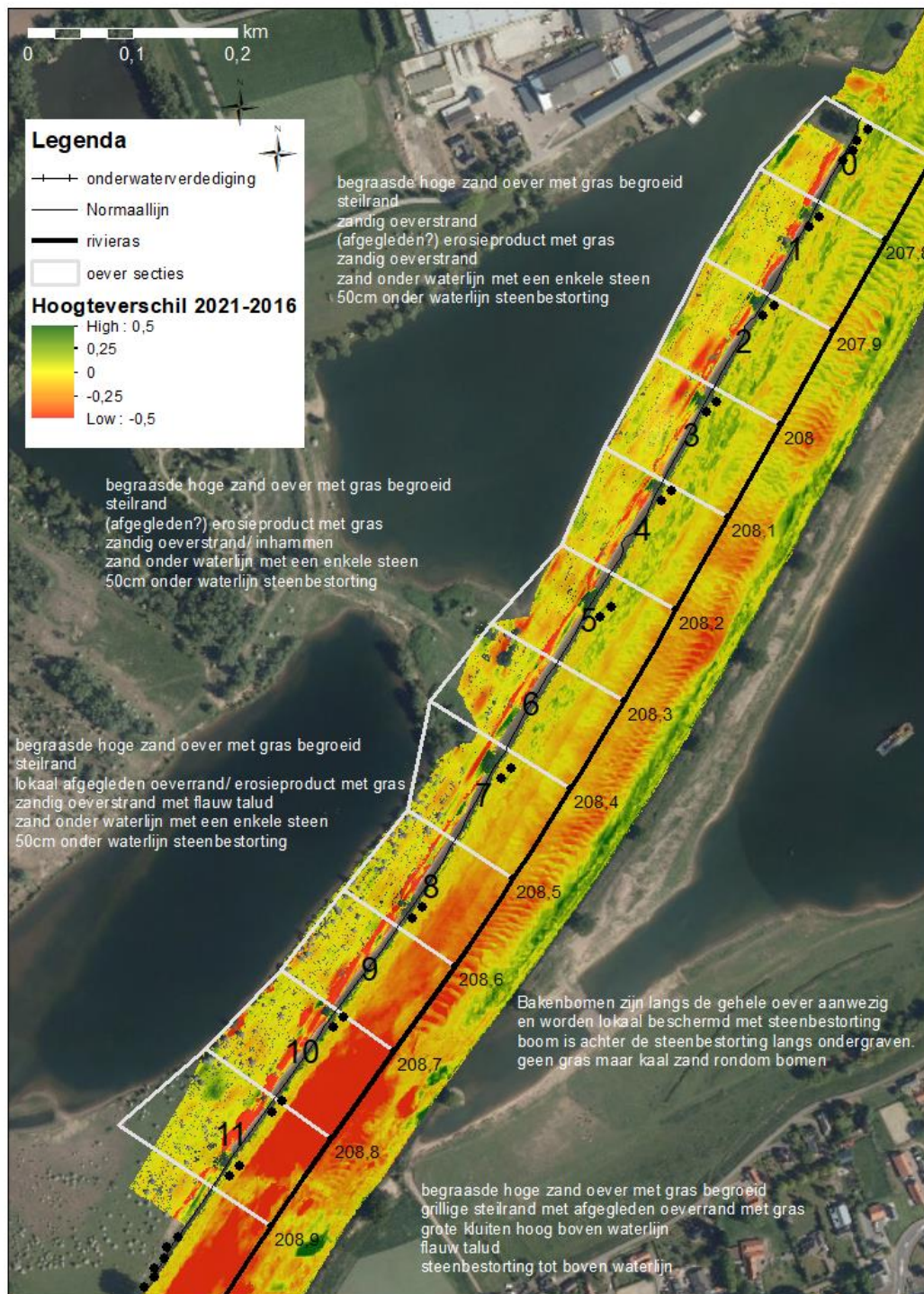
Figuur B.6.1 Kaarten van de oever van Heerewaarden (rode stippellijn) welke ligt aan de rechterzijde van de rivier waar ter hoogte van de huidige oever in het verleden kribben aanwezig waren (links, Topotijdreis 1955). Later zijn de achterliggende plassen gegraven (rechts, Topotijdreis 2021).

Figuur B.6.2 toont in alle oeversecties zowel aan de zijde van de rivier als aan de rand van de plassen regelmatig een afname in hoogte. De oever erodeert gemiddeld met 18 cm per jaar. Opvallend zijn sectie 2 (erosie van 19 cm per jaar) en 3 (7 cm per jaar) waar de hoogte tot over de helft van de droge oever is afgenomen. Ook in secties 9 tot en met 11 zijn grote afnames in hoogte zichtbaar. De steilrand van sectie 11 heeft de grootste erosiesnelheid van 49 cm per jaar. Hier is ook zichtbaar dat in het zomerbed zelf veel erosie heeft plaatsgevonden. Alleen langs de rand van het natte deel van deze oever is de verandering in hoogte minimaal, waarschijnlijk omdat dit deel van de oever tot aan 0,5 m onder het stuwpeil met stortsteen is beschermd.

De erosie van de oever vindt plaats in erosiekommen, welke zich tussen de voormalige bakenbomen bevinden. Voor de bakenbomen is steenbestorting aanwezig waardoor de oever op deze locaties beter beschermd is en minder hard erodeert dan in de onbeschermden stukken tussen de bomen.

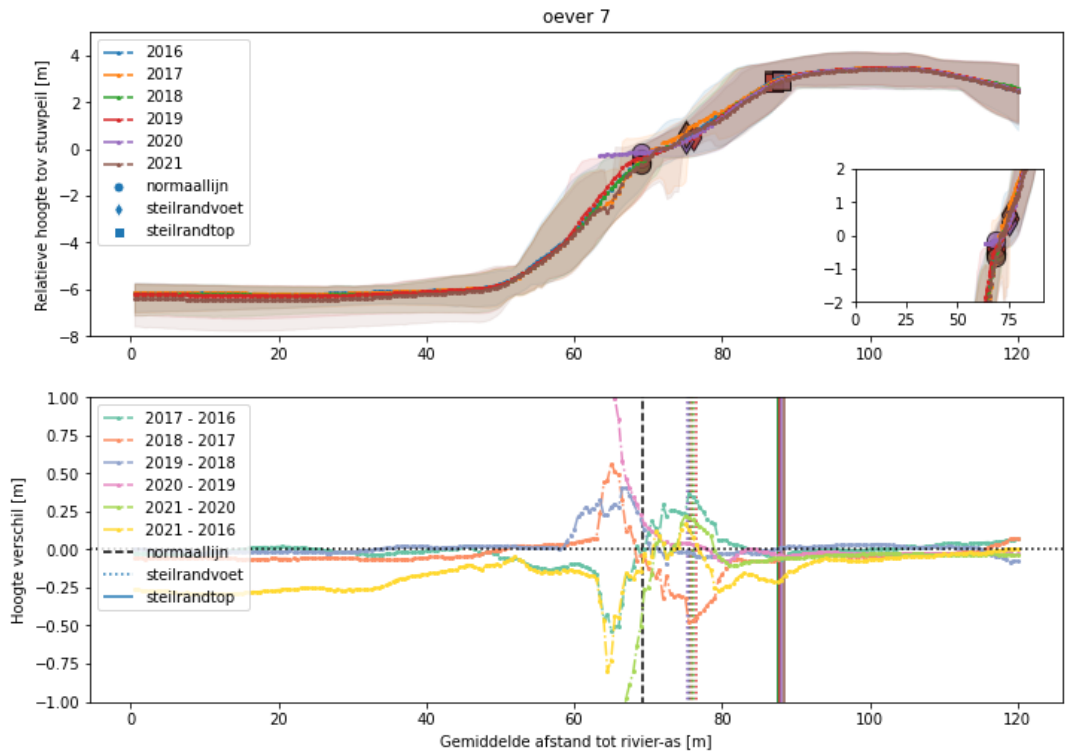
Langs de oever van Heerewaarden is er een relatief grote variatie in hoogte voor de afstand vanaf de rivieras (zie Figuur B.6.3). Dit wordt veroorzaakt door secties 5 tot en met 7 waar de oever doorloopt in een hogere landtong tussen de plassen. De top van de oever van deze secties ligt op ongeveer 90 tot 95 m vanaf de rivieras (zie Figuur B.6.4) terwijl deze in sectie 1 tot en met 4 tussen de 85 en 90 m ligt en afneemt van 90 tot 80 m voor secties 8 tot en met 12 (zie Figuur B.6.5). De hoogte van de oevertop is wel overal ongeveer 2,7 m boven stuwpeil.

## Oever 7: Heerewaarden

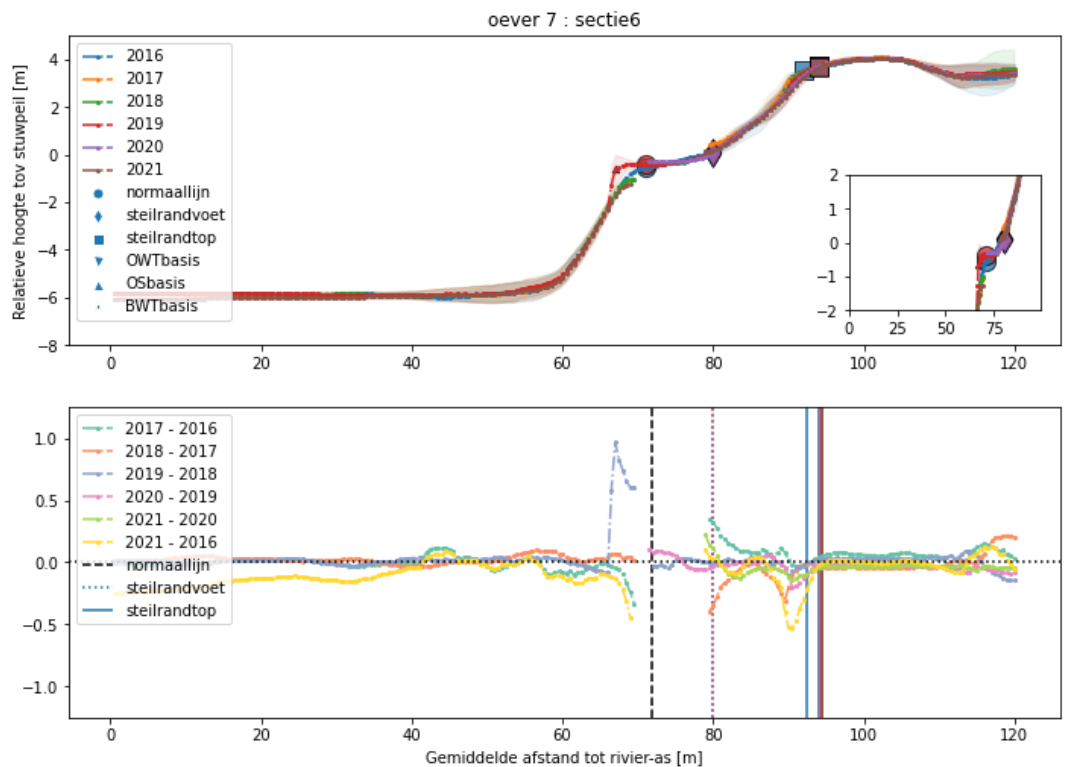


Figuur B.6.2 hoogteverschil [m] tussen 2019 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) van Heerewaarden.

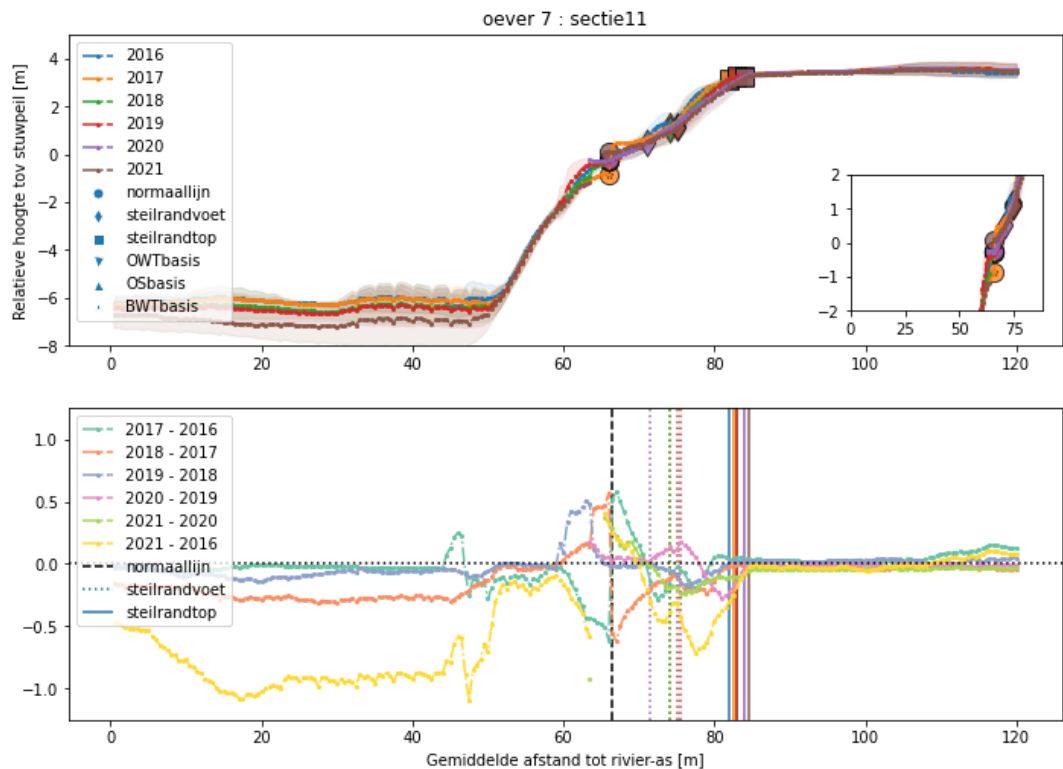




Figuur B.6.3 Voor oever 7 de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)



Figuur B.6.4 Voor oever 7 sectie 6 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.



Figuur B.6.5 Voor oever 7 sectie 11 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.

## B.7 Oever 9: Neerloon

Oever 9 is de linkeroever bij Neerloon. De oever ligt in de binnenbocht van een bochtafsnijding uit de jaren '50. Langs de oever zijn bakenbomen aanwezig, maar deze staan relatief ver van de oeverlijn. De KRW-oever van Neerloon is in november 2015 opgeleverd en is op basis van het ontwerp ingedeeld in 2 delen. Deel A loopt van rkm. 179,7 tot 180,35. Langs dit deel van de oever is alle oeverbescherming verwijderd. In deel B van de oever (rkm. 180,35 tot 180,95) is de oeverbescherming verwijderd tot 50 cm onder de ontwerpwaterstand.

Deze oever kan beste worden geclassificeerd als een gelaagde oever waarbij de hoge delen bestaan uit klei en het onderwatertalud en oeverstrand uit zand. De oever heeft een hoog en vrij steil en dichtbegroeid talud. Bovenop de oever staan struiken met hoog gras welke reiken tot aan de steilrand van gele klei (zie Figuur B.7.1). Het eerste deel van de oever vertoont in 2016 al een hoge grillige kleiige steilrand met grote hompen erosieproduct aan de voet. Dit zijn kluiten klei met gras en mos en ook zijn er enkele losse stenen aanwezig op een meestal zandig oeverstrandje. Het onderwatertalud loopt steil af en bestaat voornamelijk uit zand. Op enkele stukken langs de oever is geen zandig oeverstrand aanwezig, maar ligt de voet van de kleiige steilrand in het water (zie Figuur B.7.1).



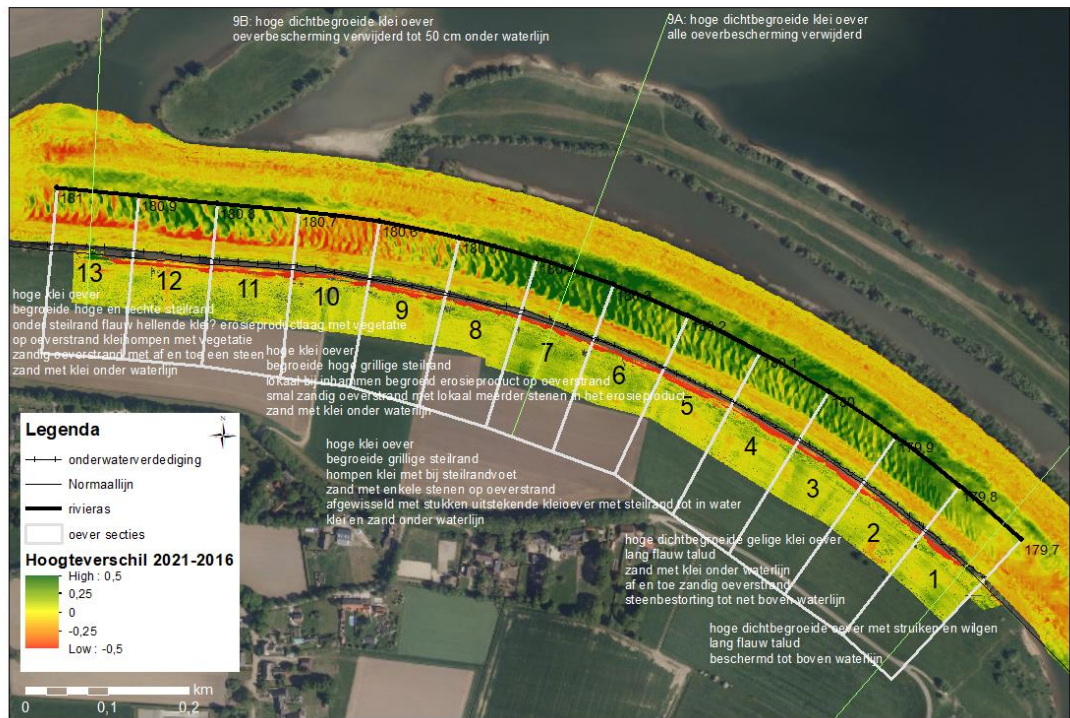
*Figuur B.7.1 Foto langs deel A van de oever bij Neerloon waar de voet van de kleiige steilrand in het water ligt (Shore, 2016).*

Deel B van de oever ligt iets lager dan deel A, maar ook oever 9B betreft steeds een hoge dichtbegroeide oever waar in 2016 al een hoge kleiige steilrand aanwezig is. Deel B van de oever lijkt tot aan sectie 9 heel erg op deel A. Er is echter langs het laatste deel van de oever een breder oeverstrand aanwezig. Op dit oeverstrand liggen weer grote hompen klei en stenen welke net zoals een groot deel van het oeverstrand met mos en gras zijn begroeid.

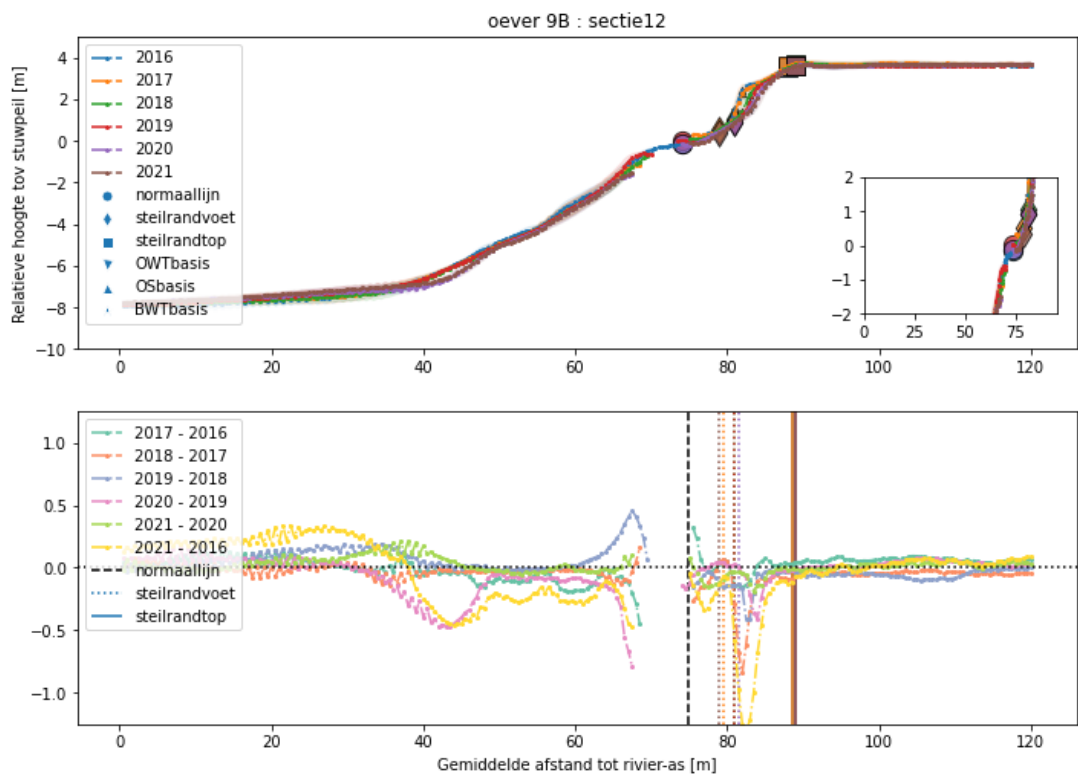
Figuur B.7.2 toont dat de rand van het droge deel van deze oever over grote lengtes erodeert. De oever erodeert gemiddeld 1 cm per jaar langs deel A en 5 cm per jaar langs deel B. De erosie is maximaal 11 cm per jaar in sectie 12 (zie Figuur B.7.3). Langs de gehele rand van het natte deel van de oever vindt ongeveer 0,5 m sedimentatie plaats. Ook valt op dat over een afstand van ongeveer 50 m ook in het droge deel van de oever een grote toename in hoogte zichtbaar is. Deze sedimentatie vindt plaats op het oeverstrand aan de basis van de steilrand (zie Figuur B.7.4). In de figuur is goed zichtbaar dat de aanwezige steilrand erodeert. De top van de oever ligt volgens de erosiekentallen op een gemiddelde hoogte van 3,7 m boven stuwpeil op ongeveer 87 m vanaf de rivieras. Echter vindt er alleen erosie plaats tussen de top van de oeverbescherming (verwijderd tot 1 m onder stuwpeil) tot op een hoogte van ongeveer 2,5 m boven stuwpeil. Er ontstaat dus ondergraving van de oever met een steilrand in het onderste deel van het bovenwaterlud. Dit is beter zichtbaar in de eerdere secties (zie Figuur B.7.5) van deze oever waar de top van de oever hoger ligt.



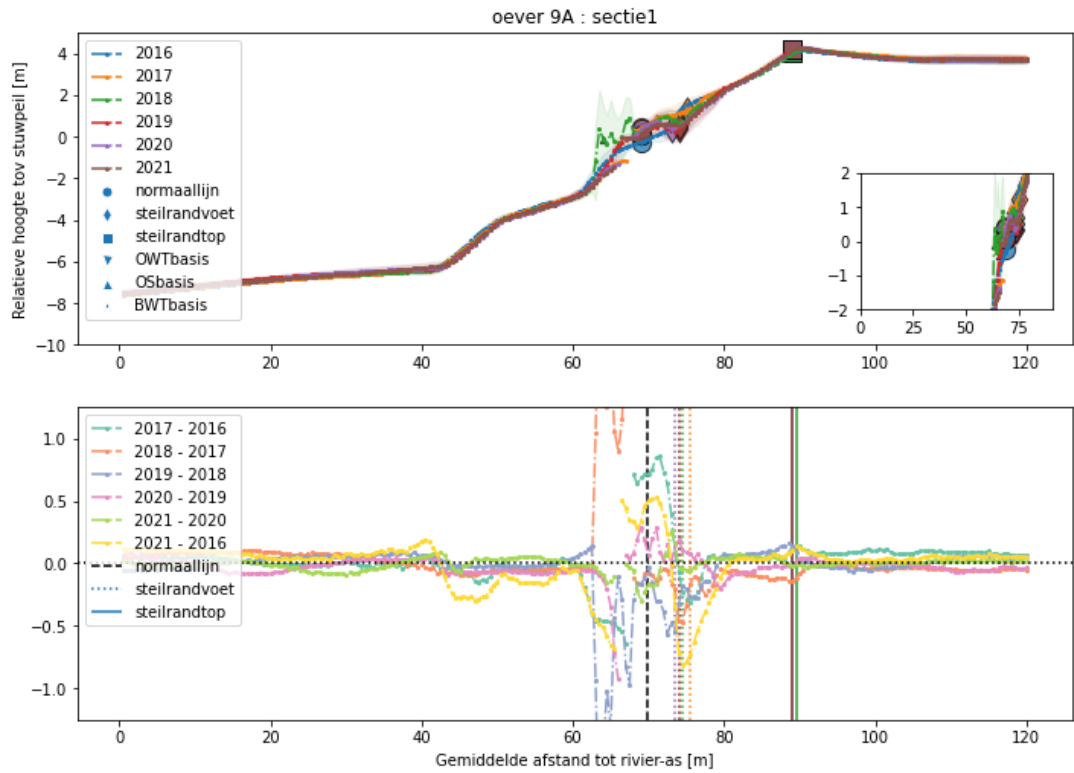
## Oever 9: Neerloon



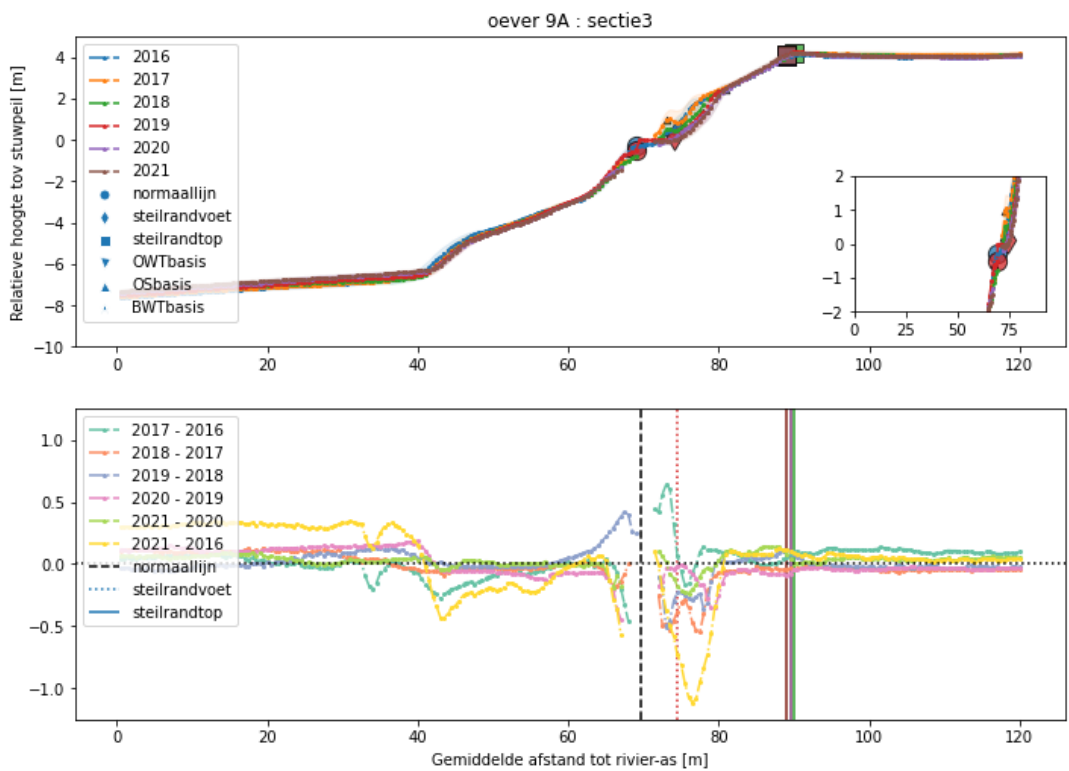
Figuur B.7.2 Gemeten hoogteverschil [m] tussen 2019 en 2016 voor zowel het zomerbed (rooster van 1 m) als het droge deel van de oever (rooster van 0,5 m) bij Neerloon.



Figuur B.7.3 Voor oever 9 sectie 12 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.



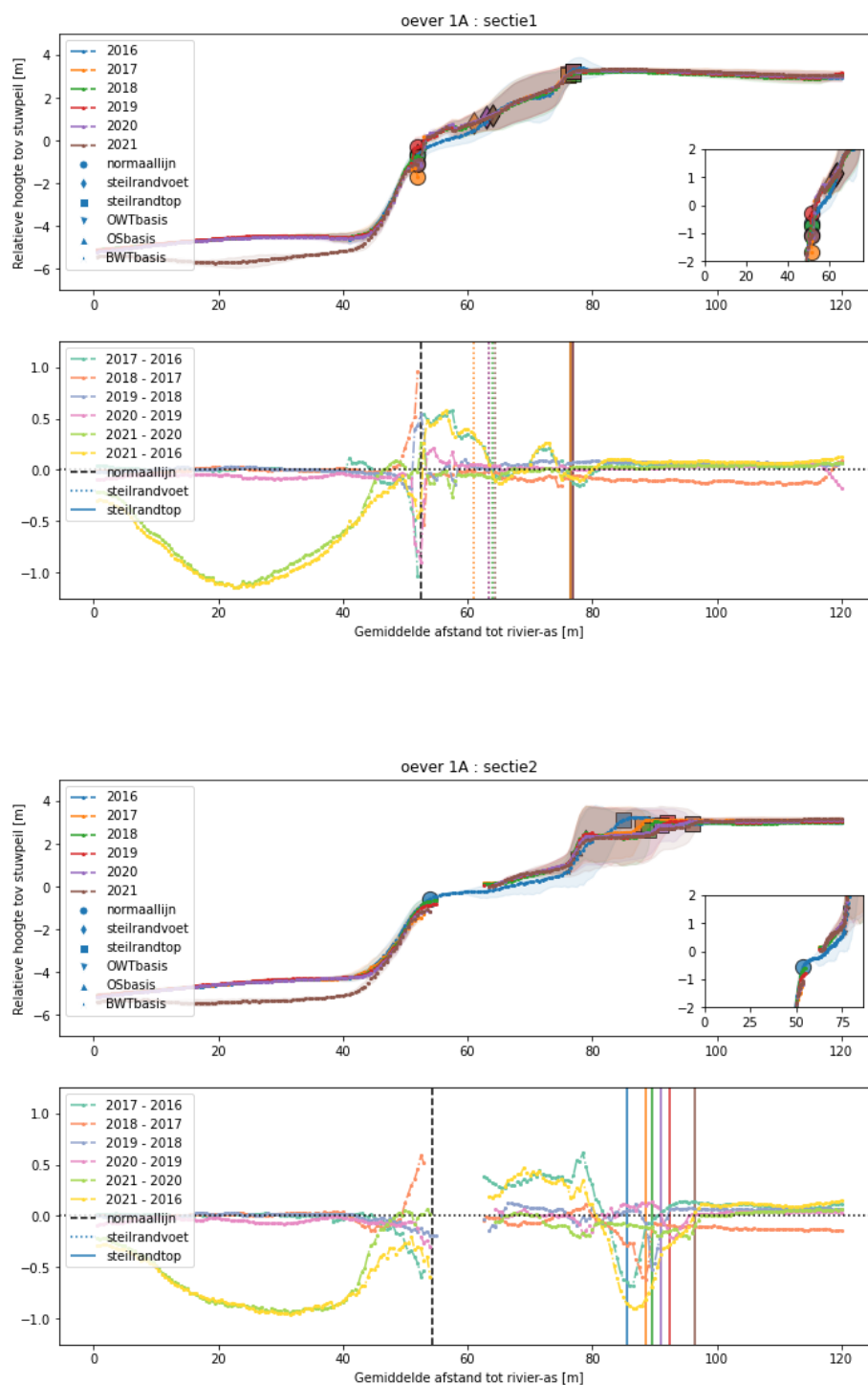
Figuur B.7.4 Voor oever 9 sectie 1 de gemiddelde relatieve hoogte en standaarddeviatie voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder) voor elke afstandsklasse.

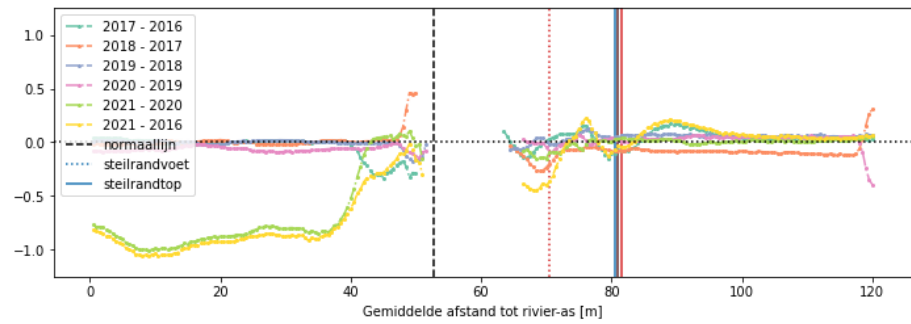
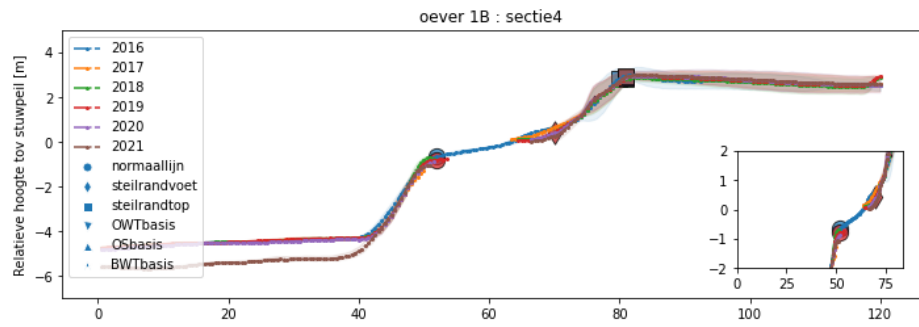
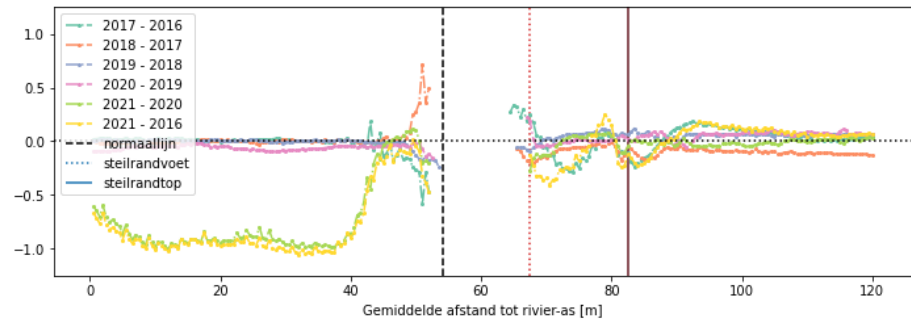
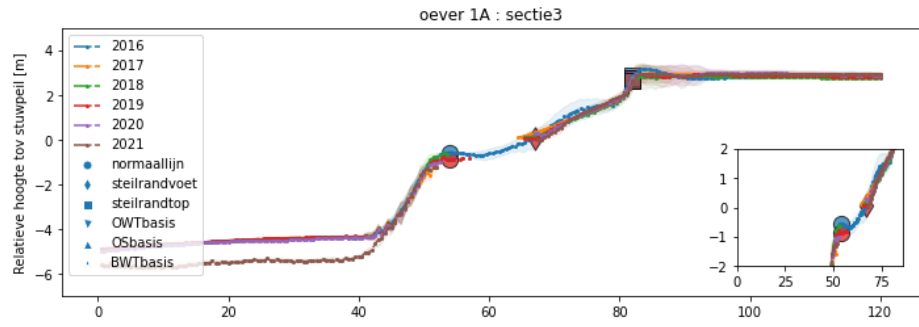


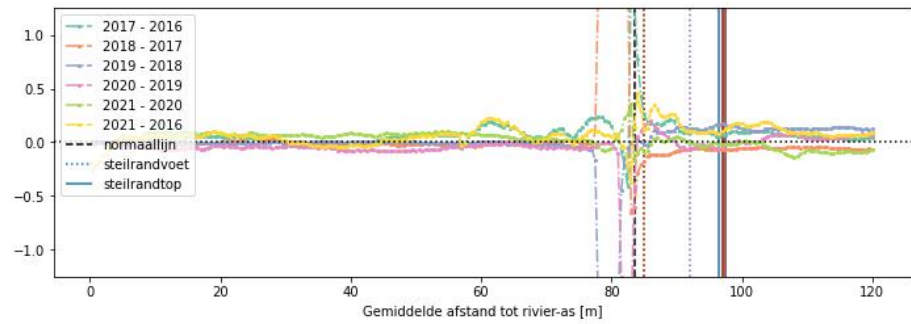
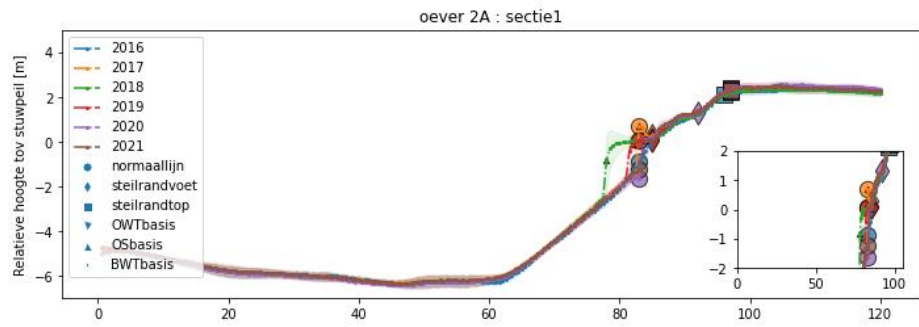
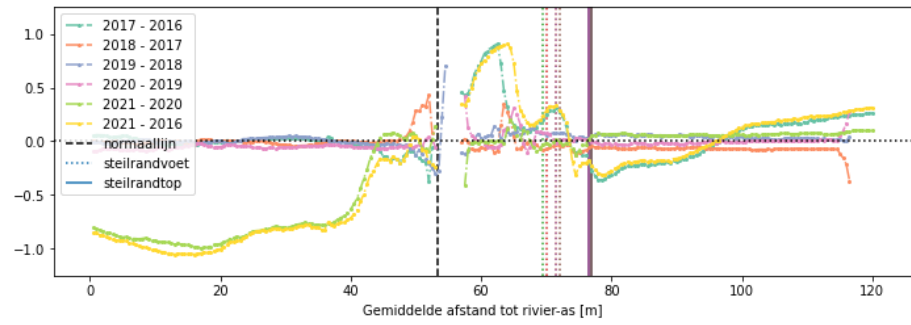
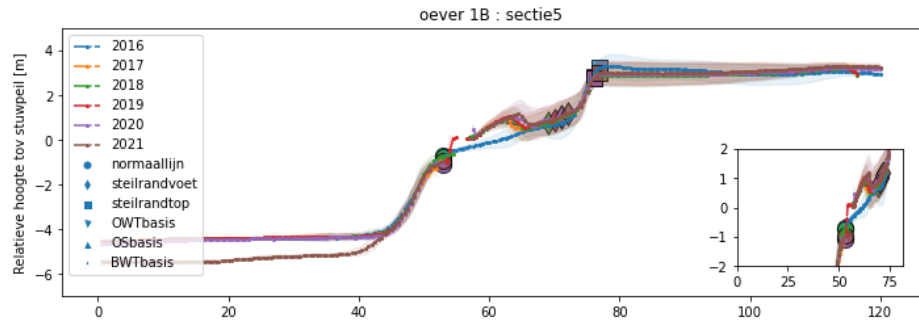
Figuur B.7.5 Voor oever 9 sectie 3 de minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras gebaseerd op alle individuele oeversecties van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder)

## C Dwarsprofielen per oeversectie

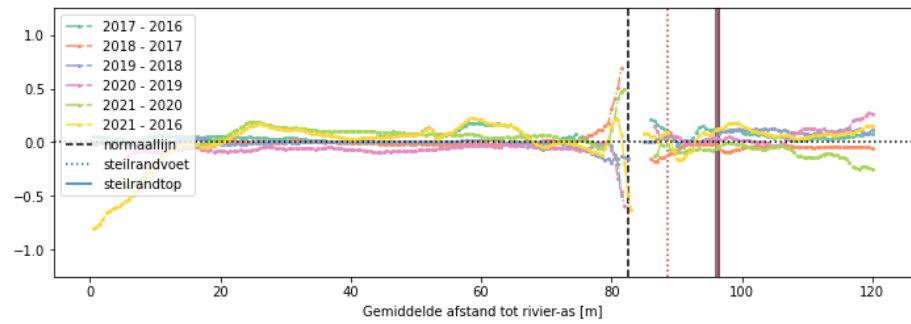
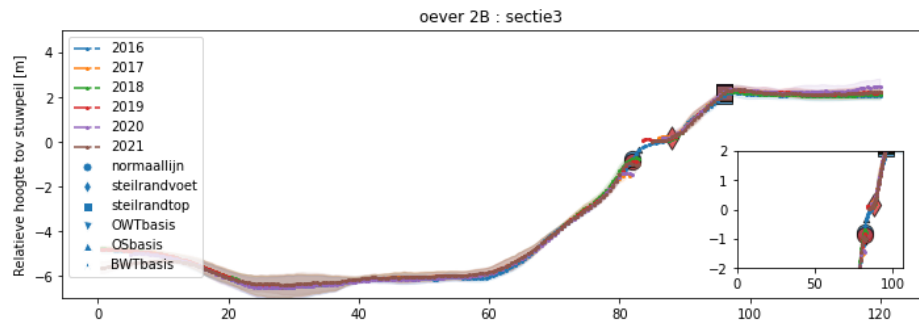
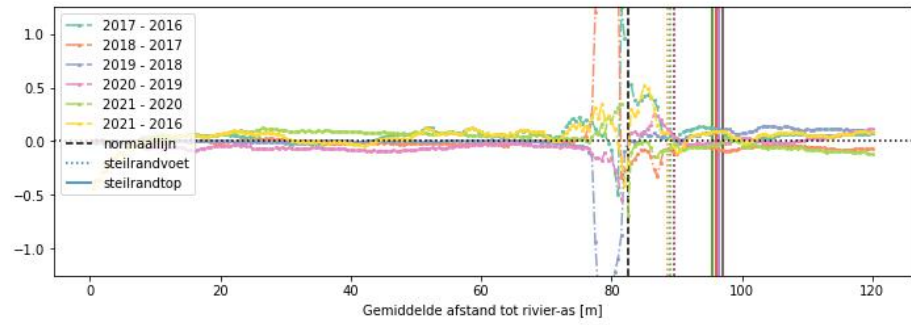
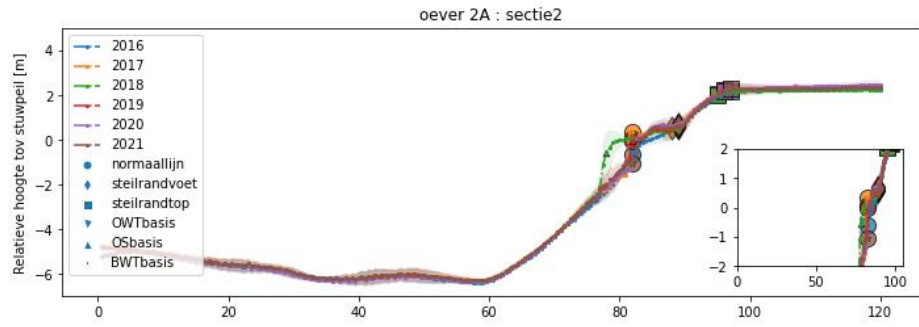
De minimale, gemiddelde en maximale relatieve hoogte voor elke afstandsklasse vanaf de rivieras voor elke oeversectie van 100 m (boven) en voor elk opeenvolgend jaar en de gehele periode het verschil in hoogte (onder).

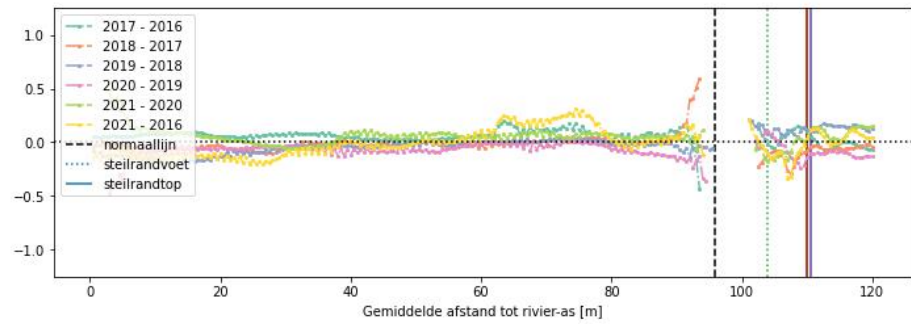
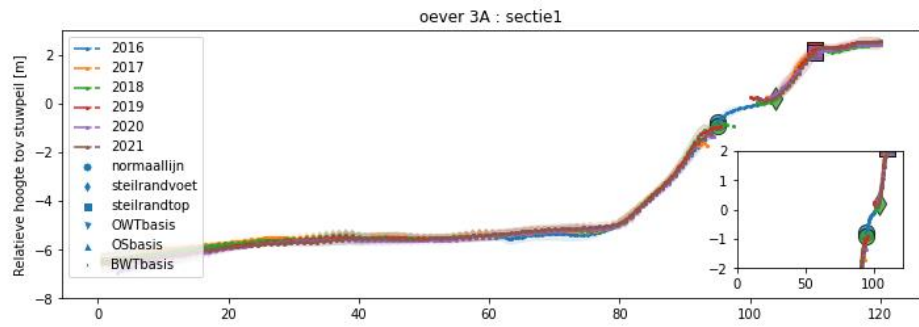
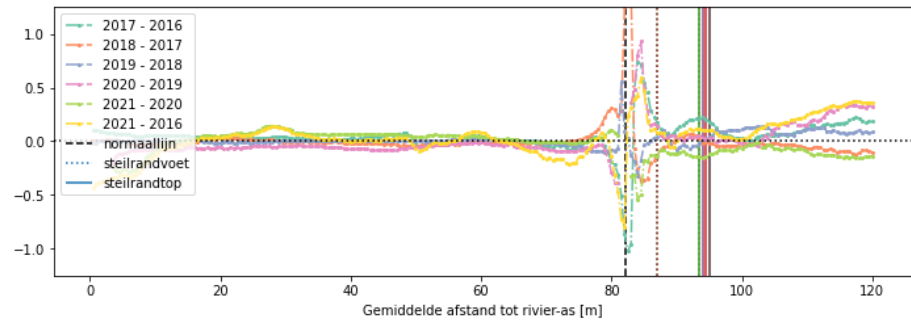
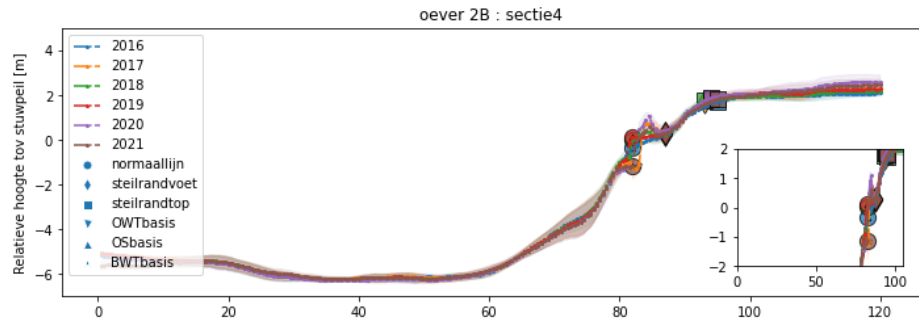


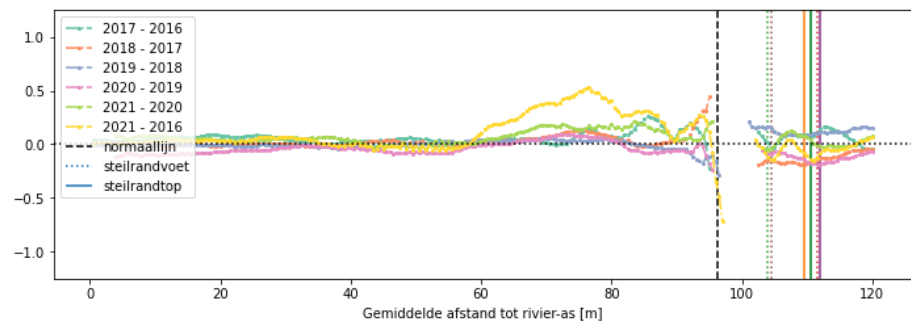
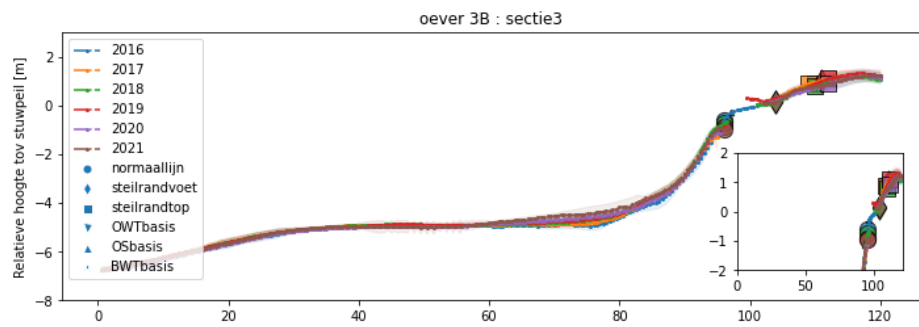
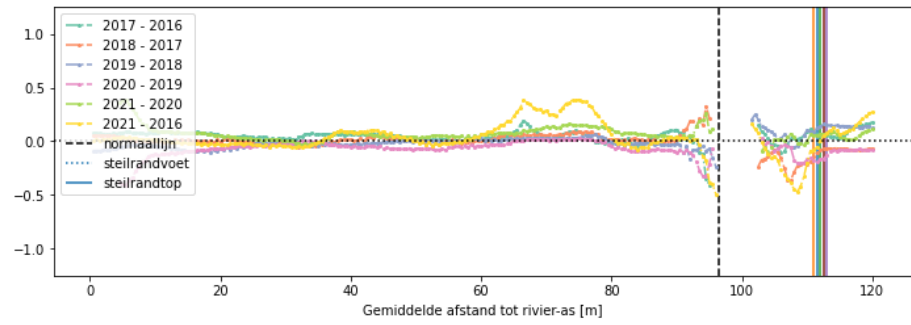
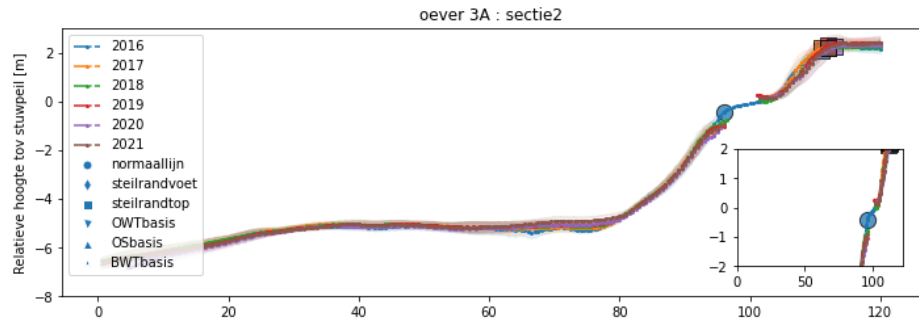


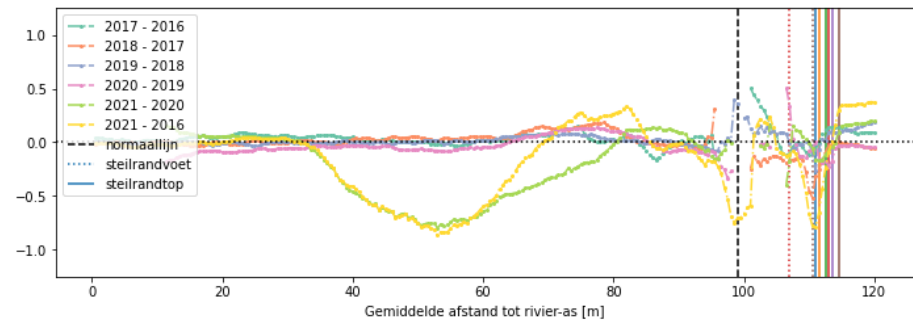
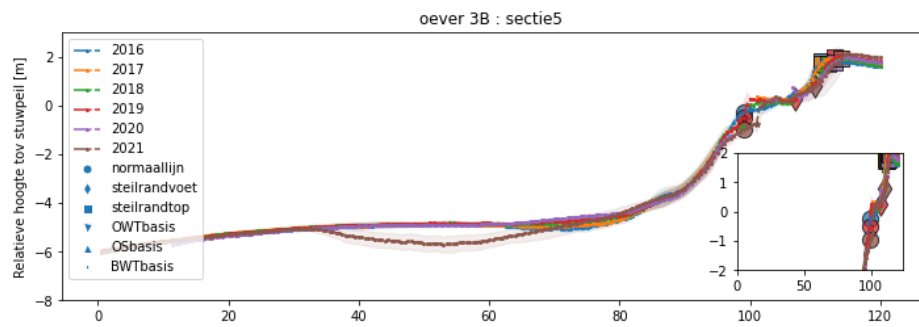
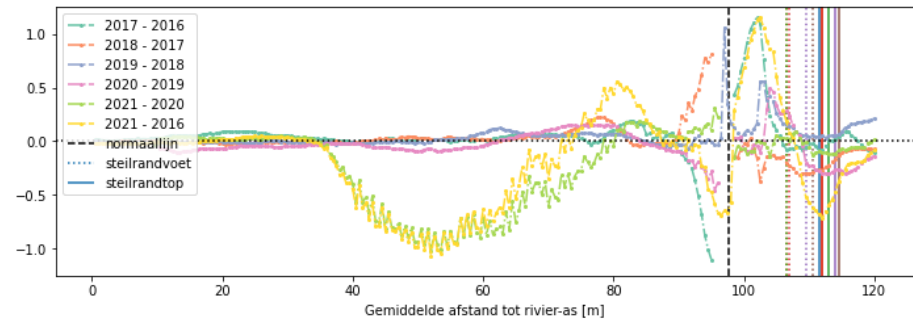
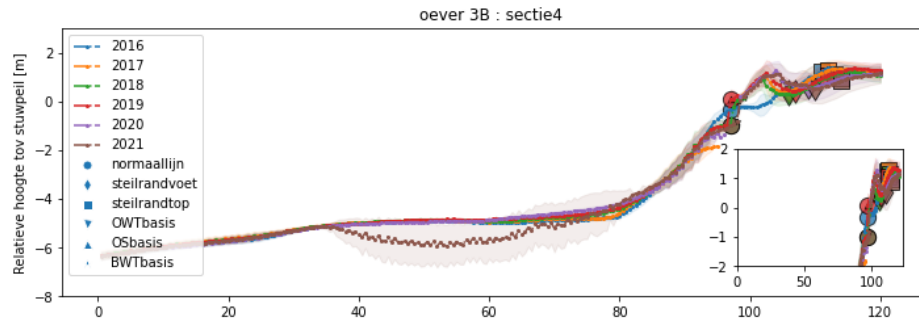




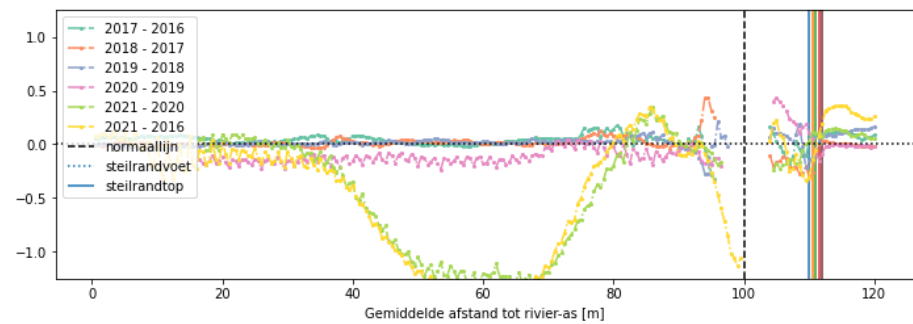
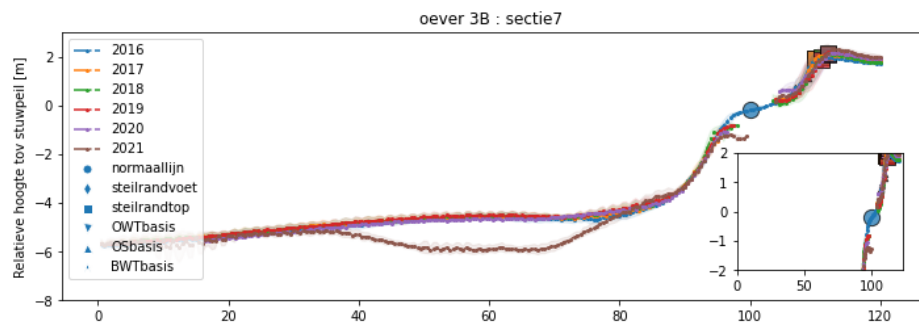
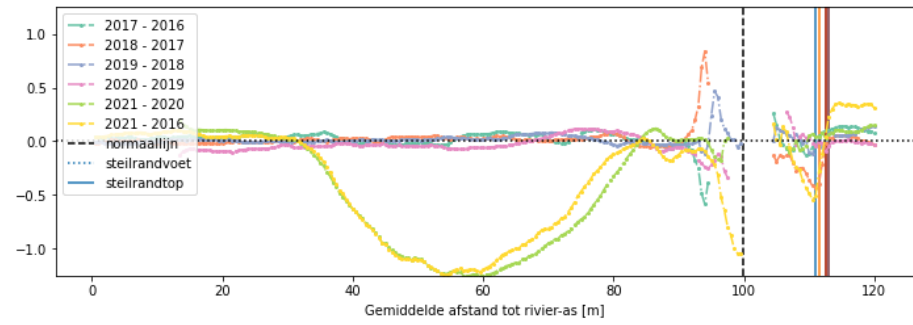
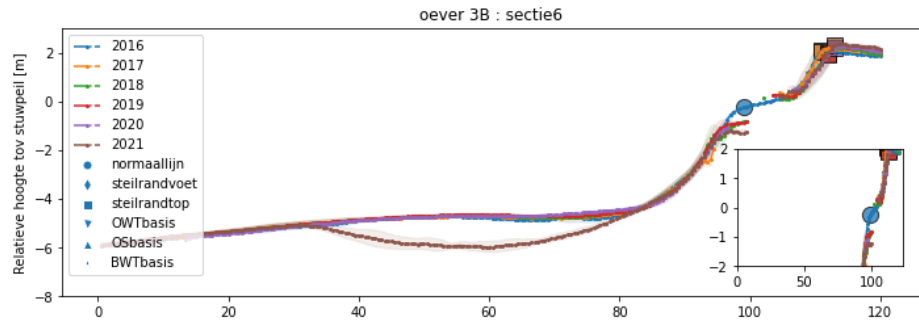


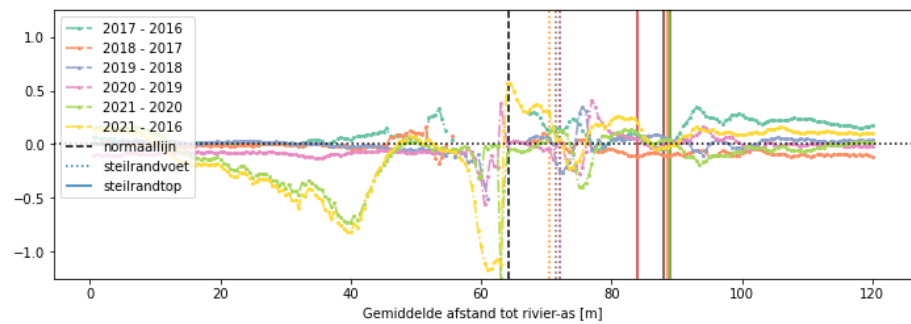
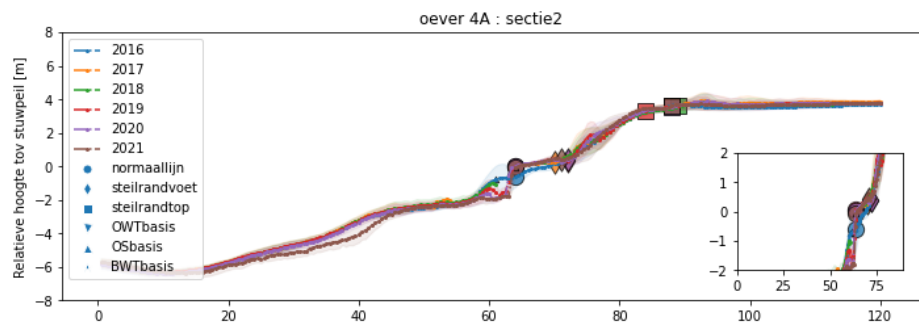
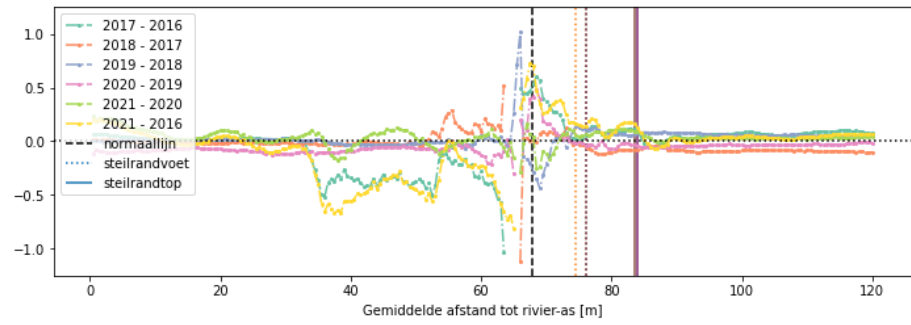
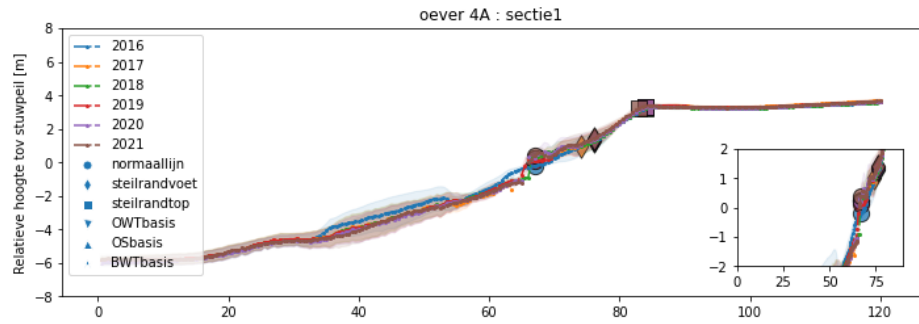


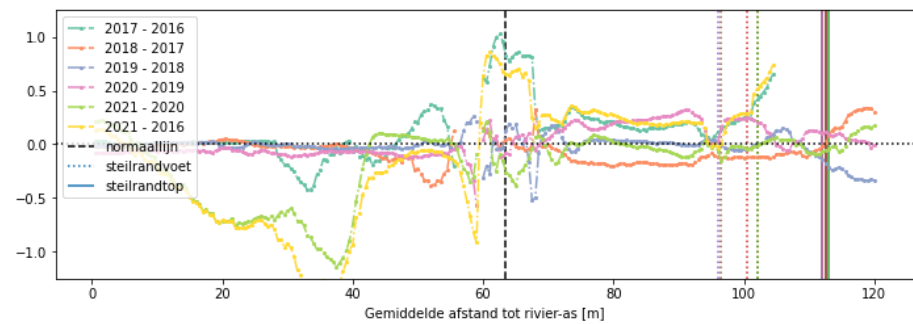
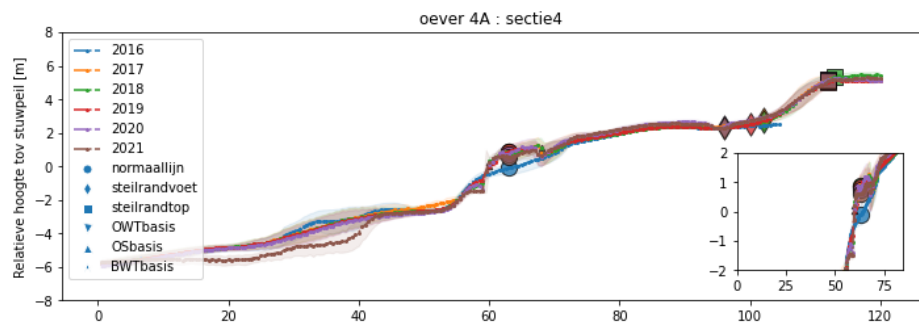
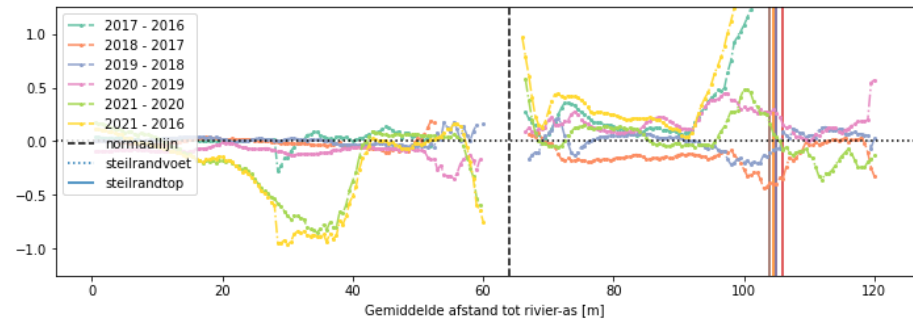
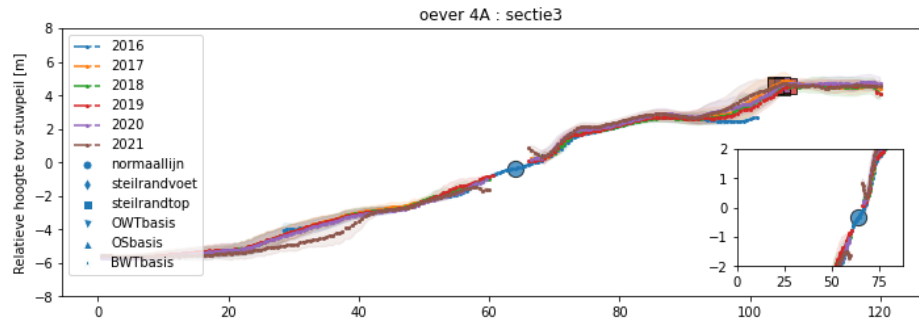


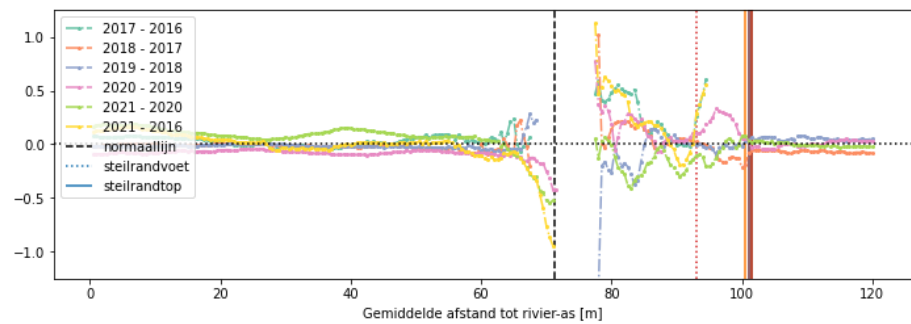
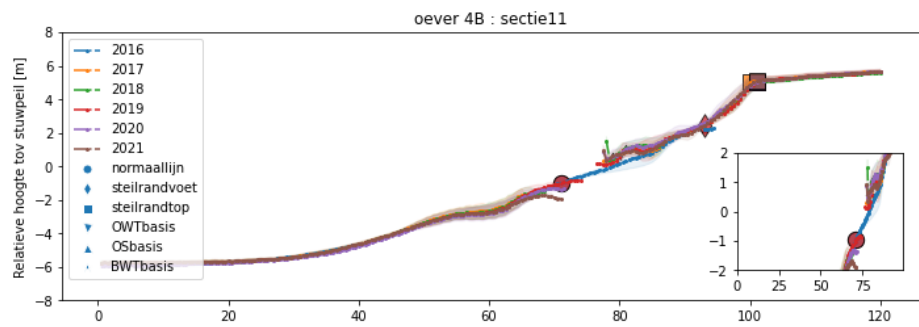
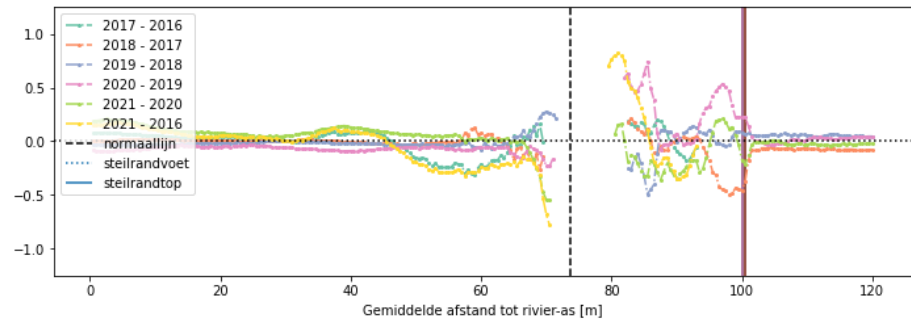
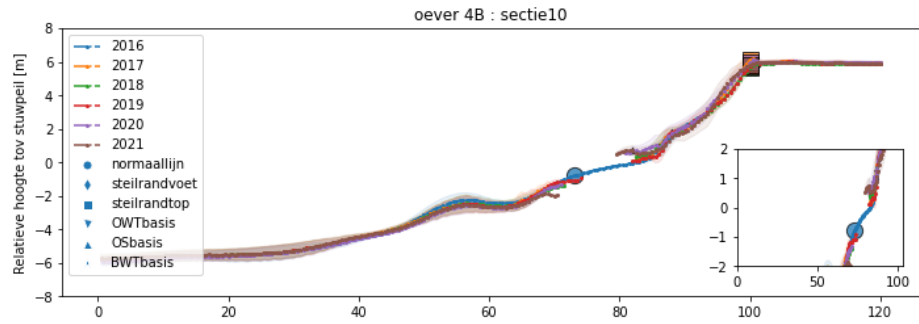




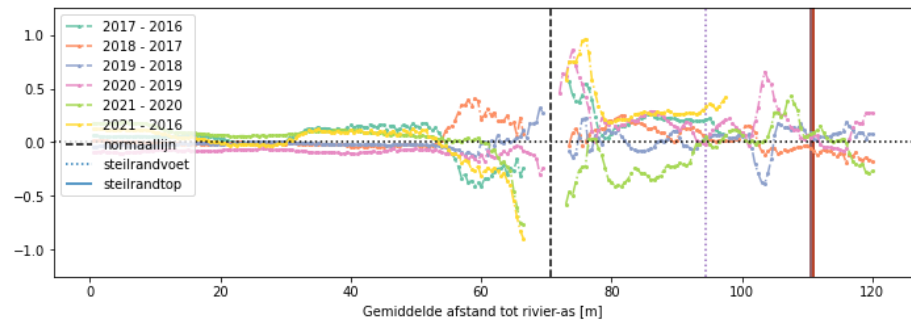
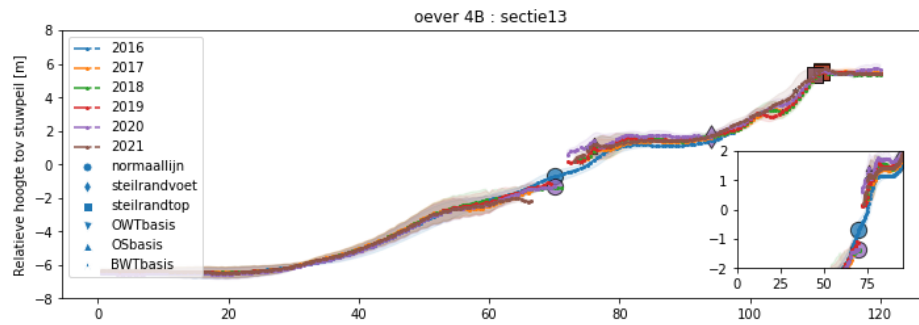
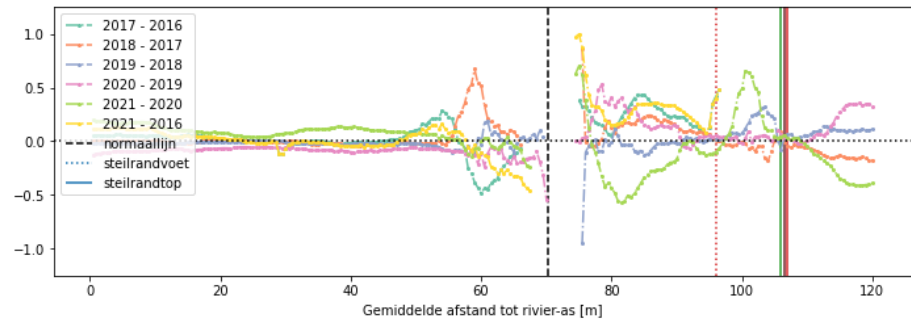
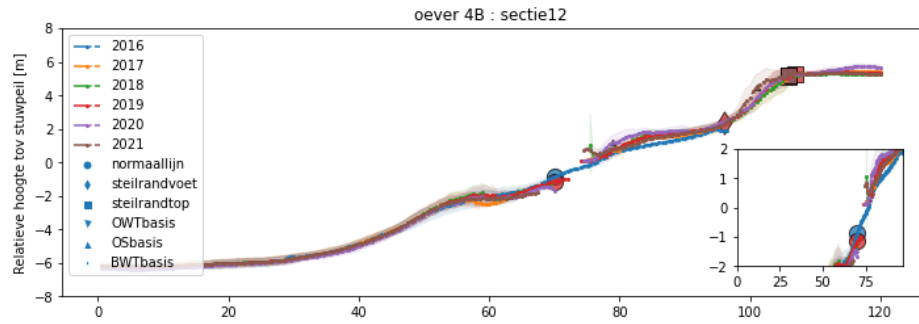


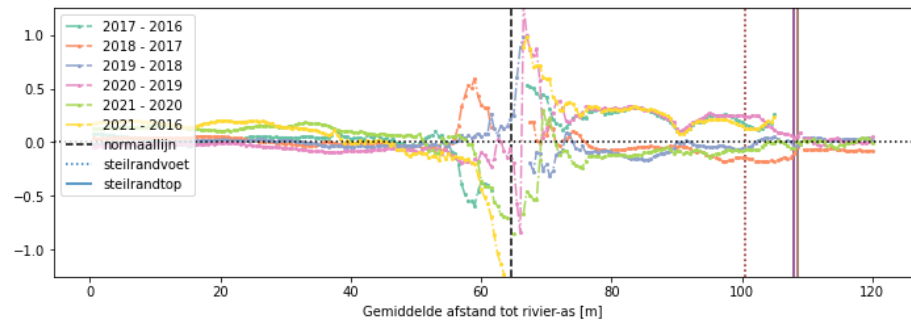
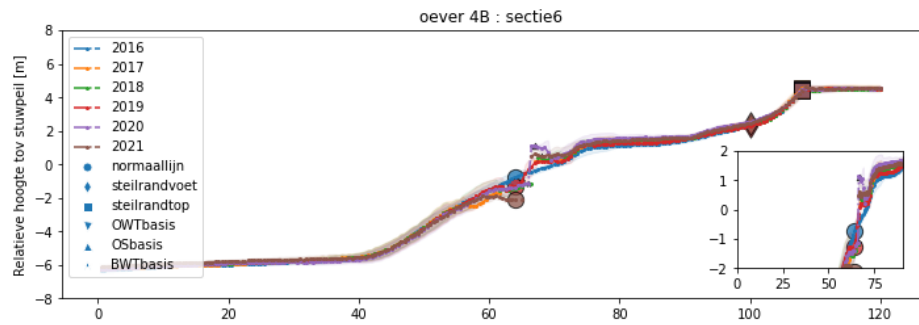
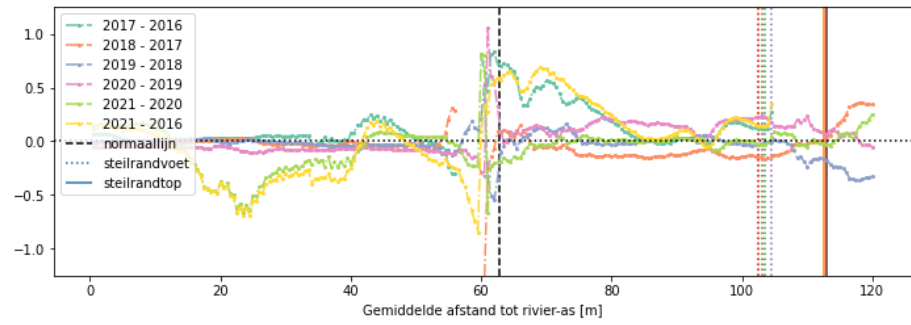
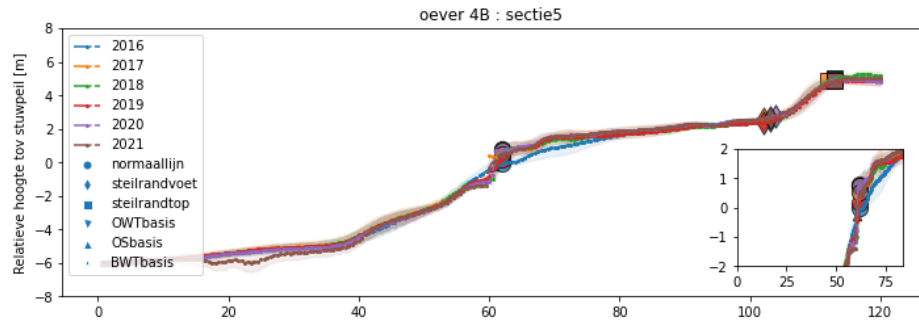


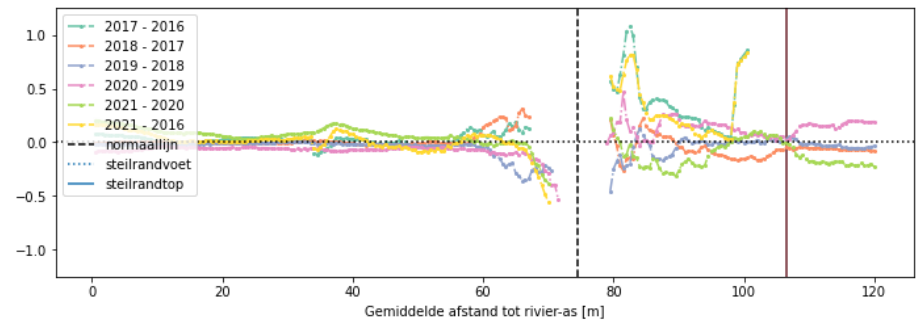
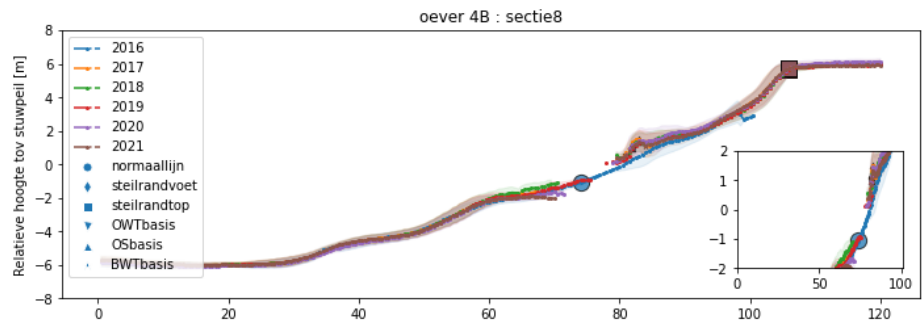
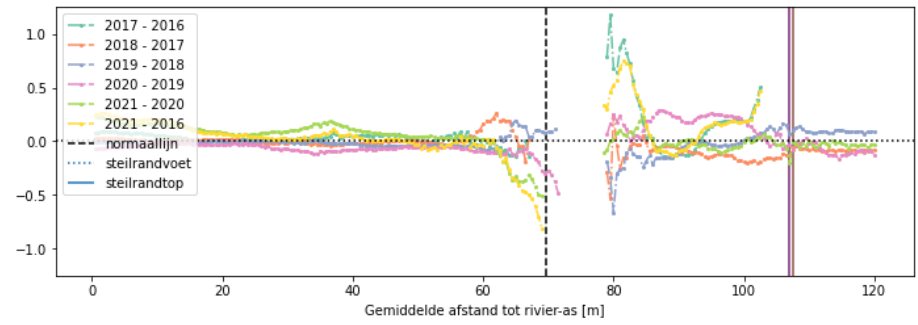
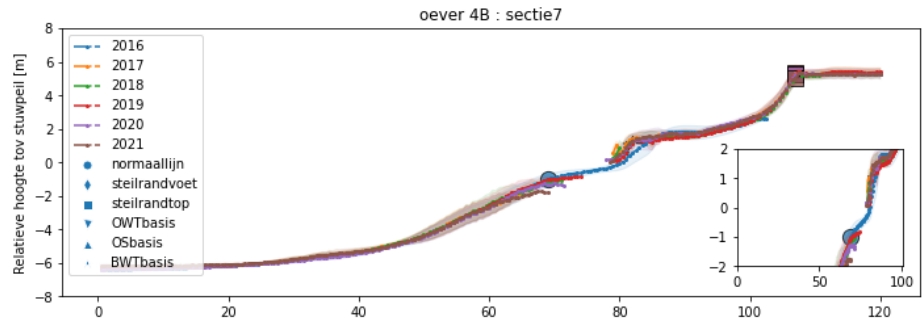


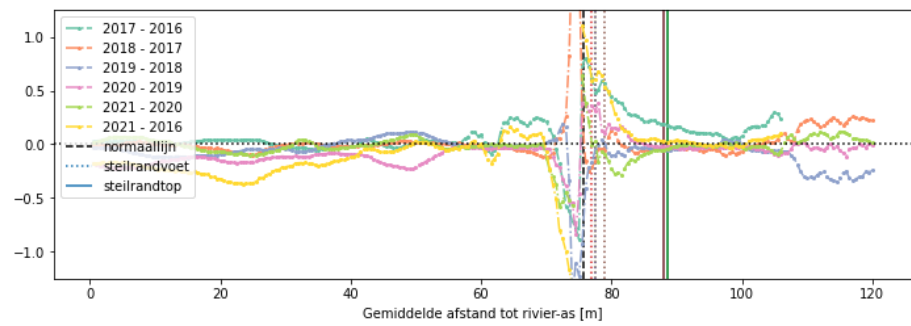
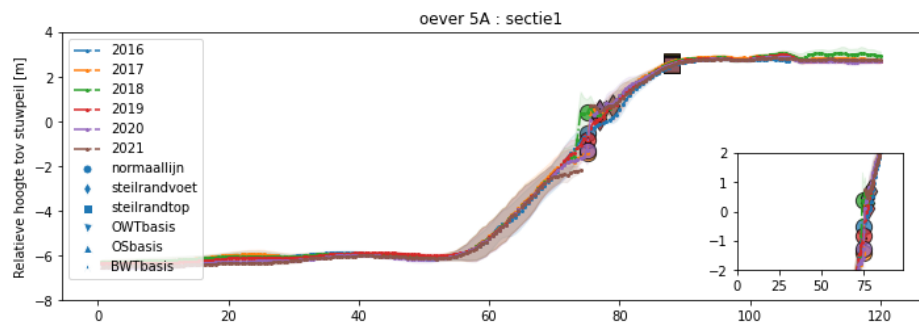
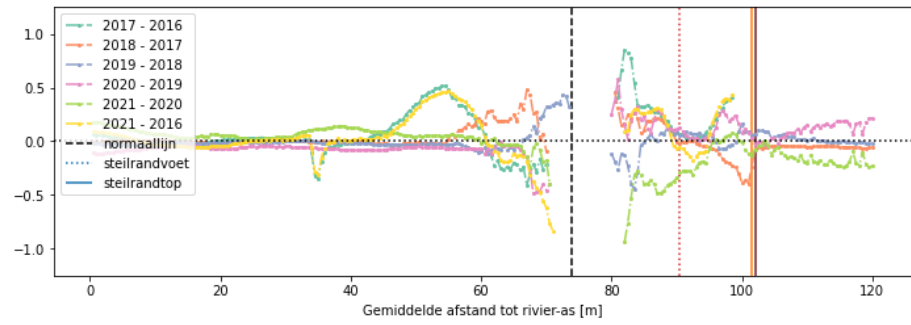
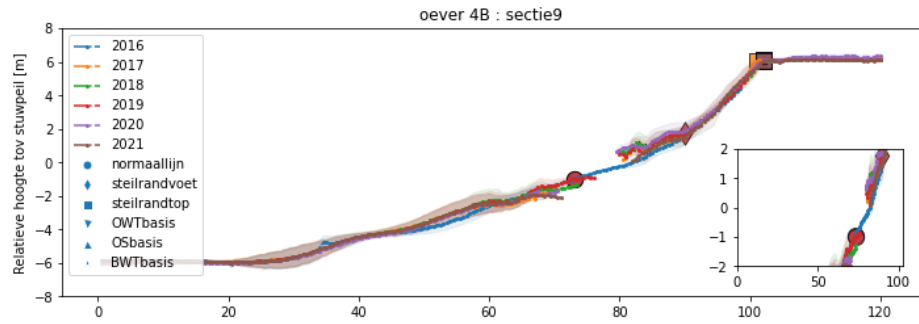




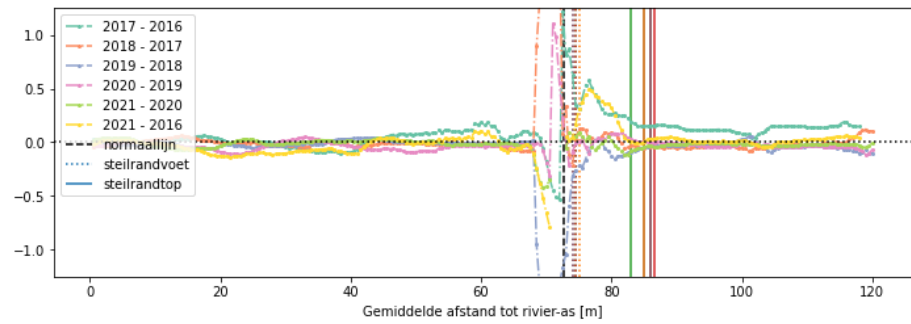
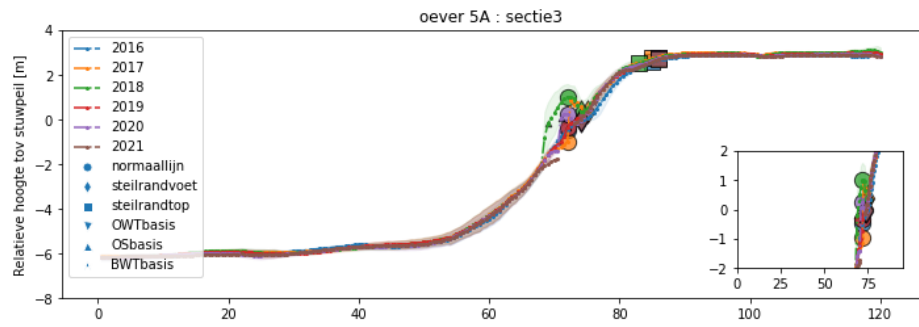
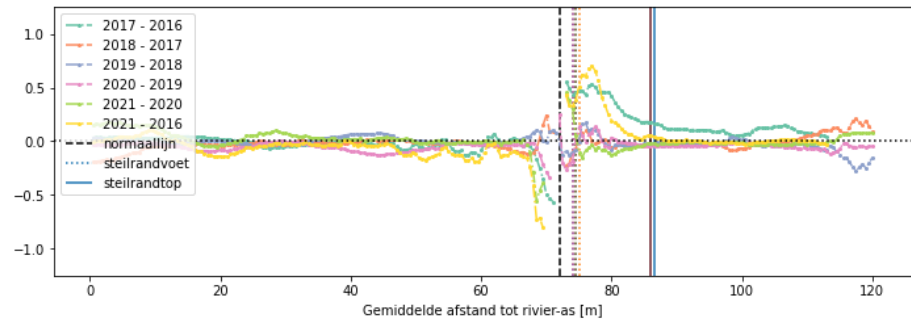
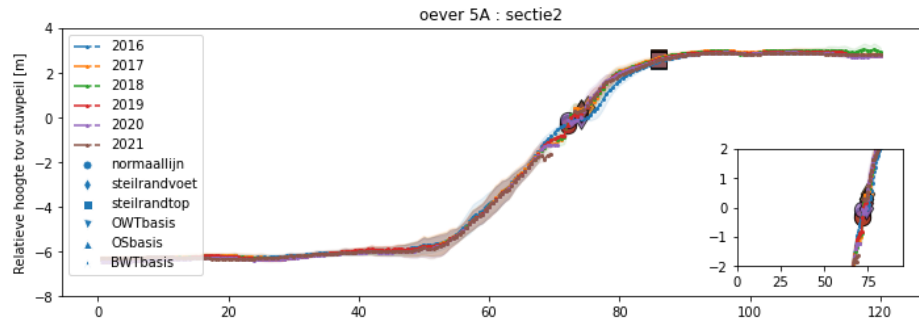


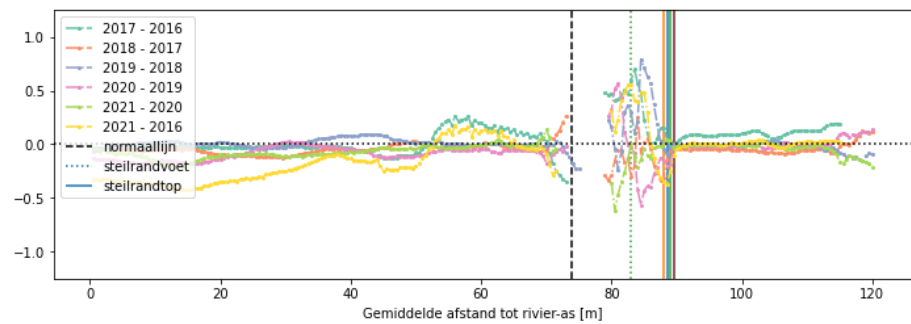
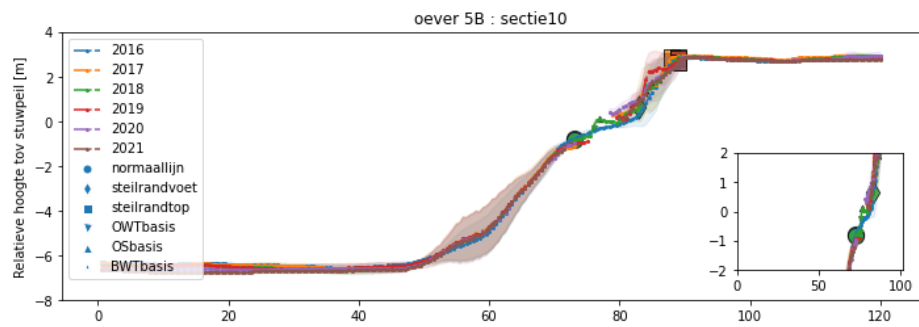
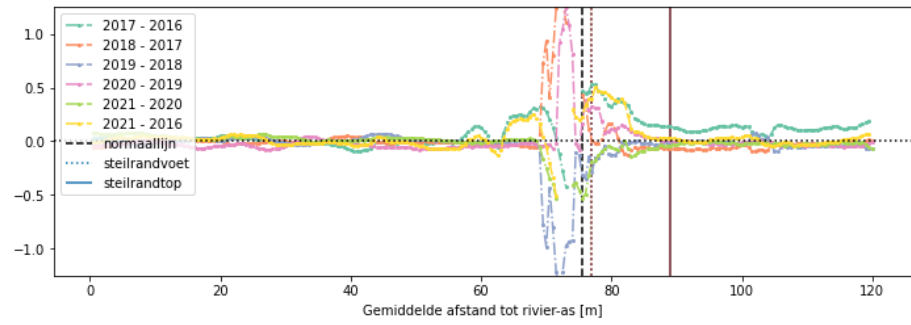
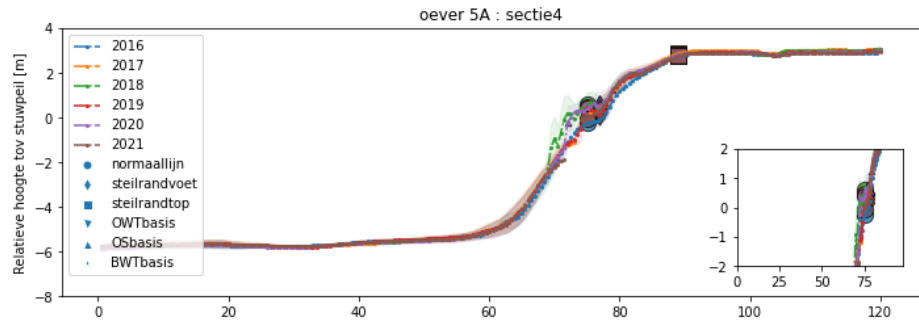


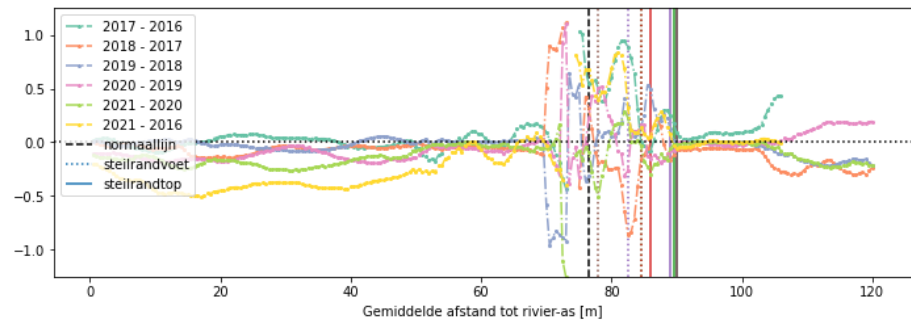
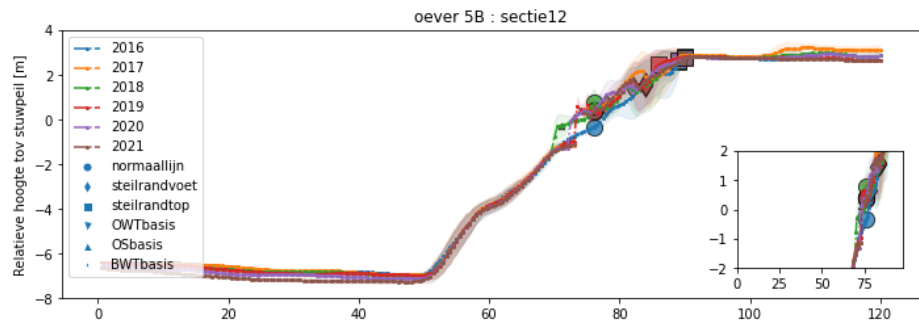
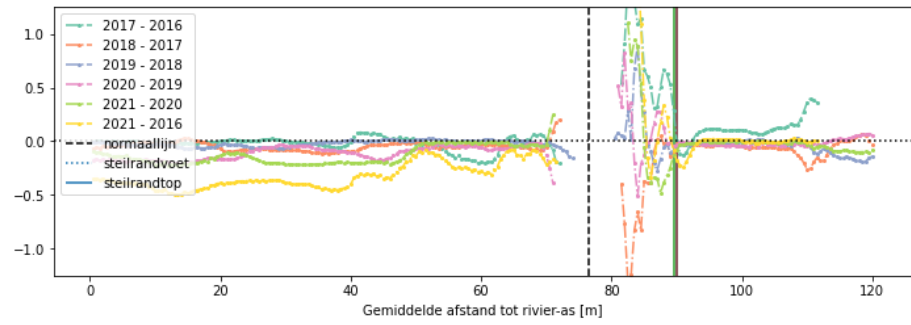
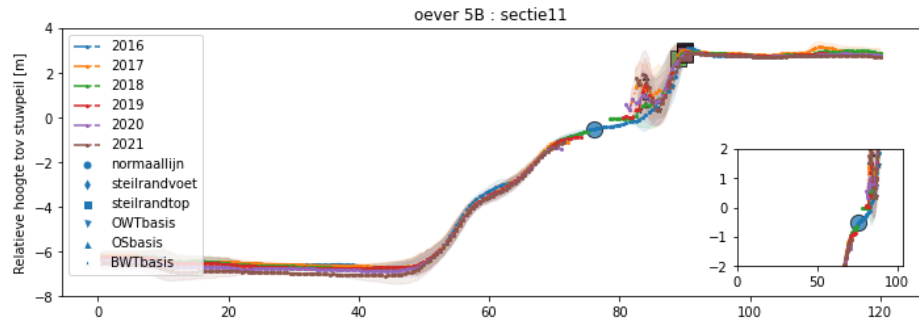


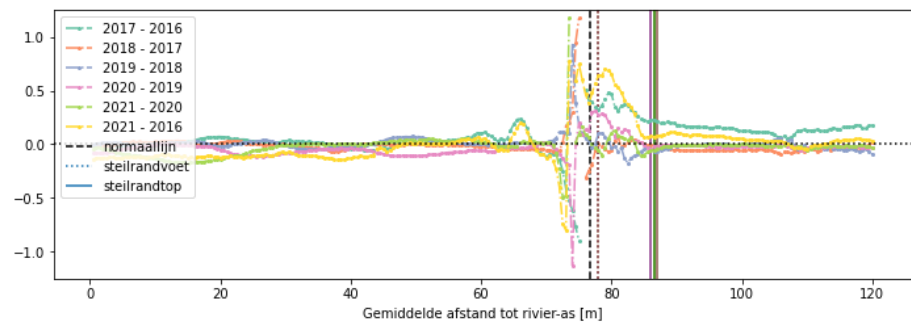
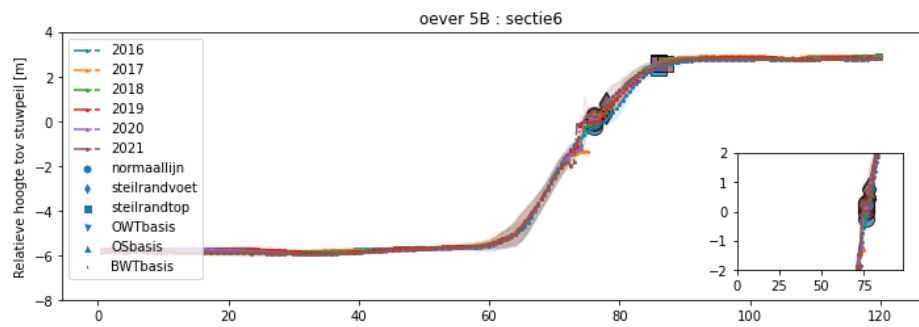
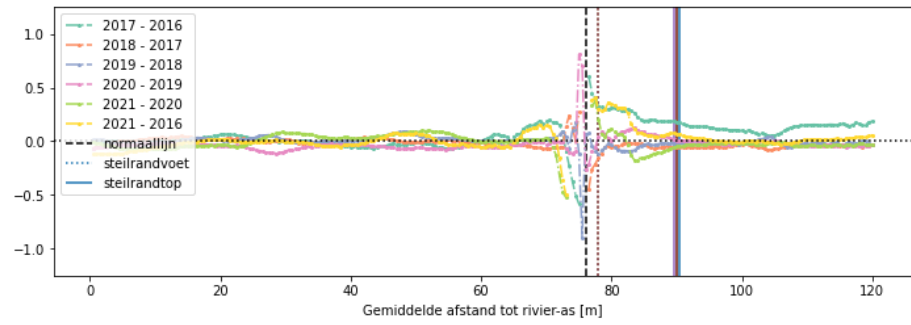
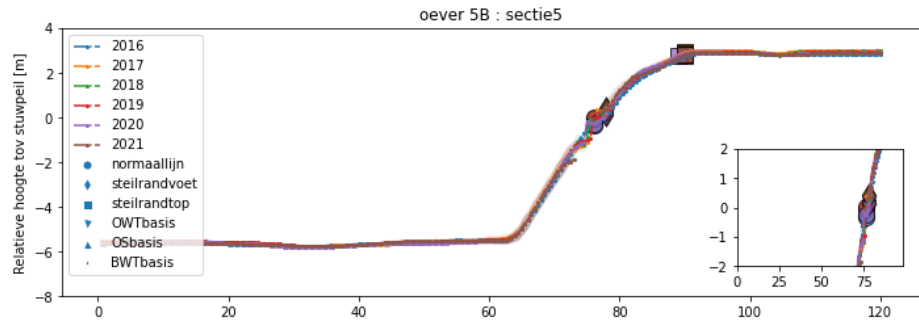


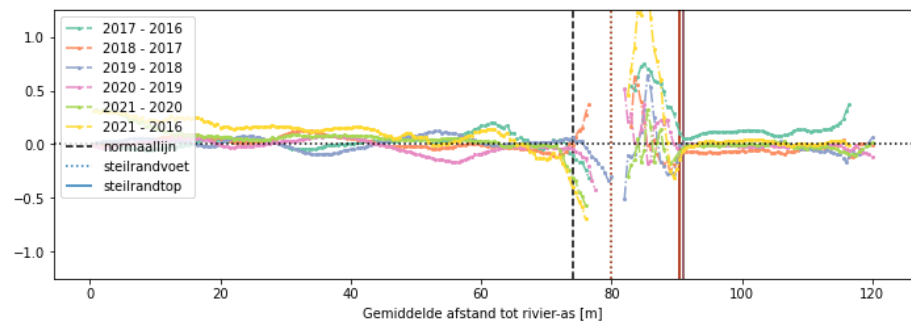
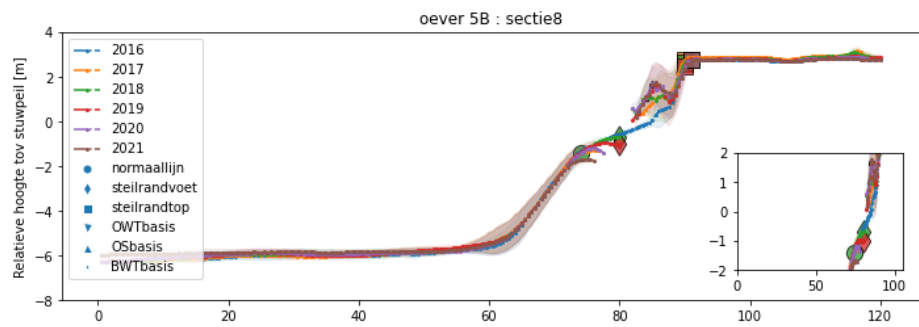
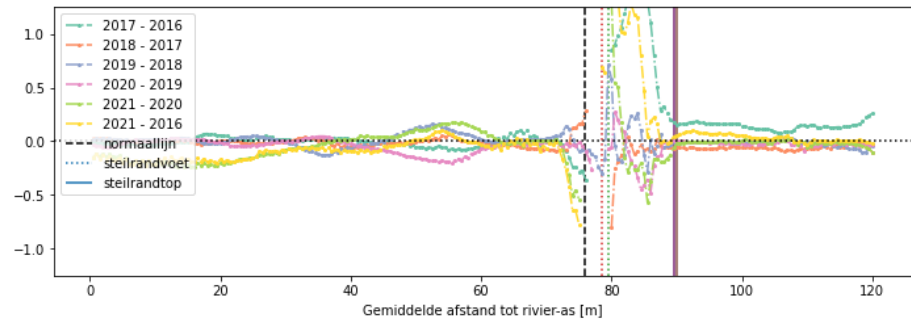
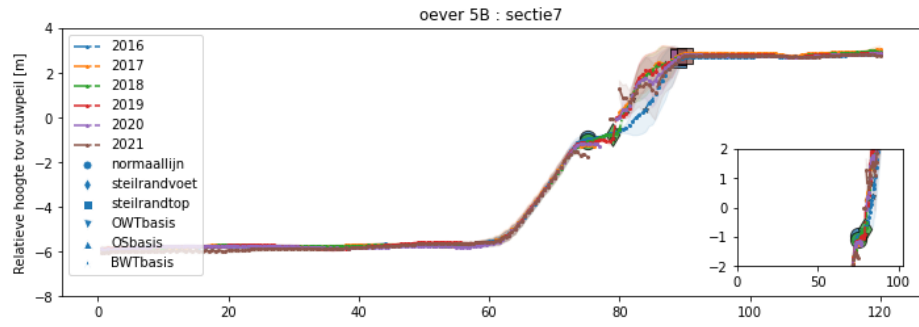




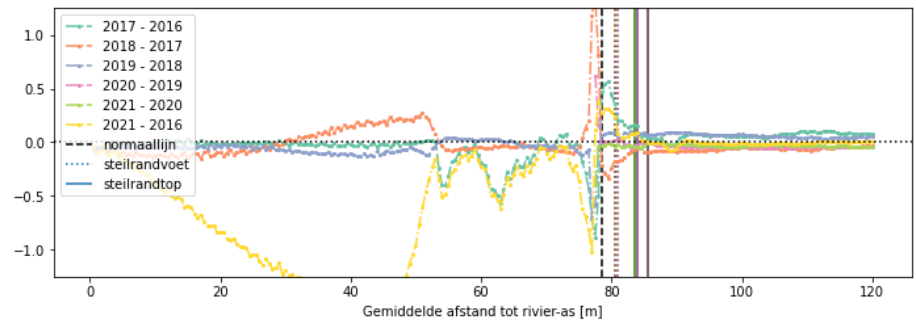
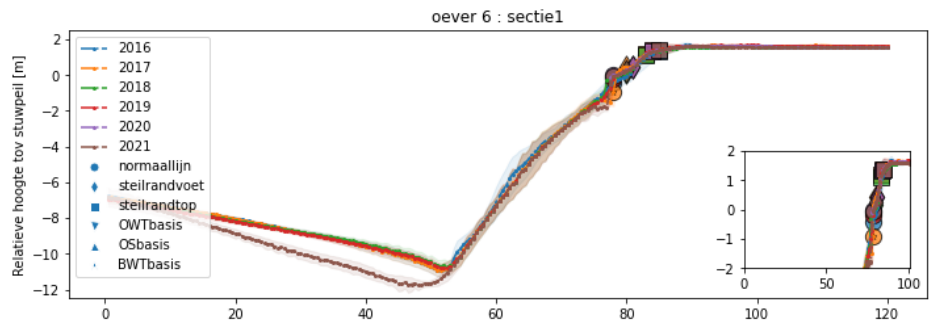
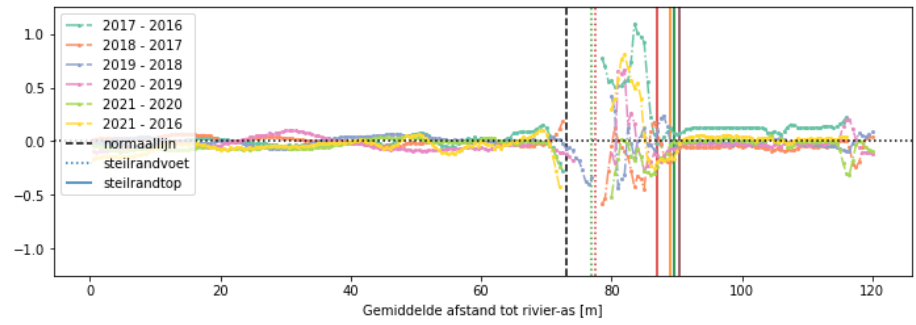
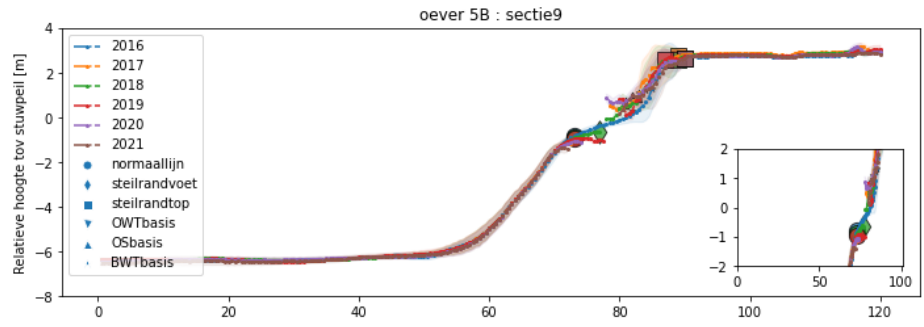


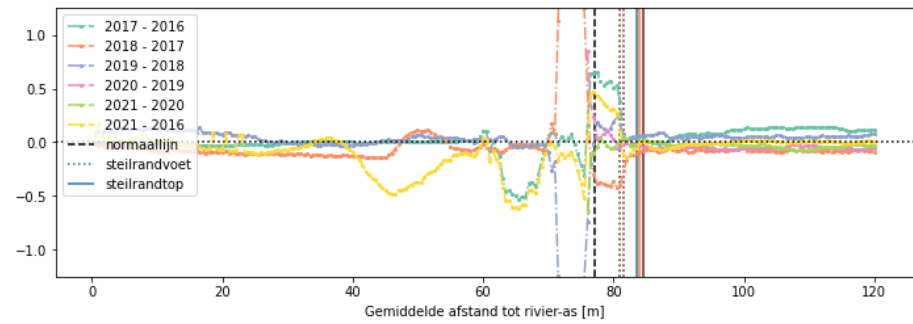
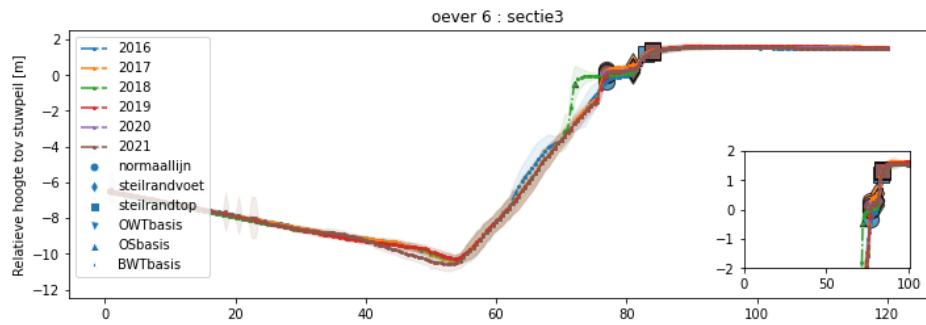
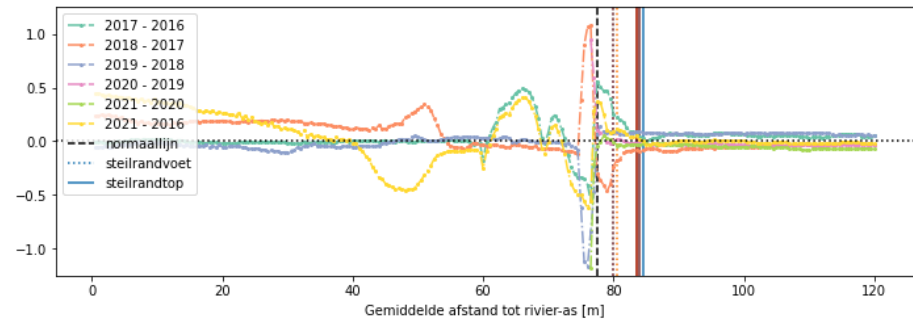
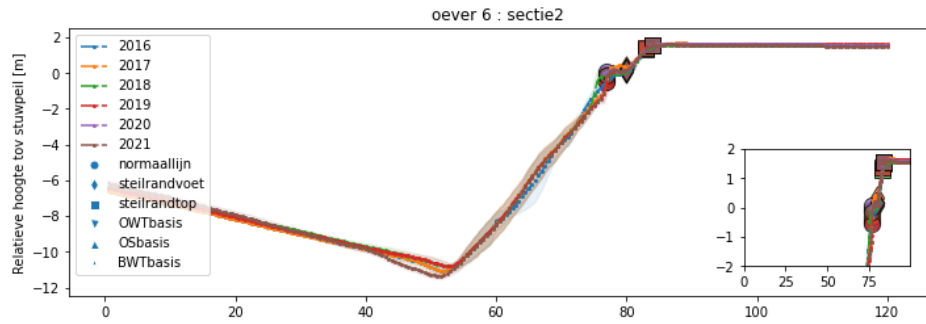


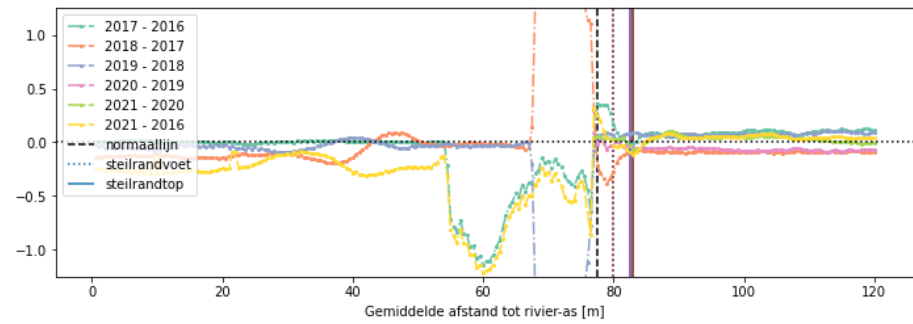
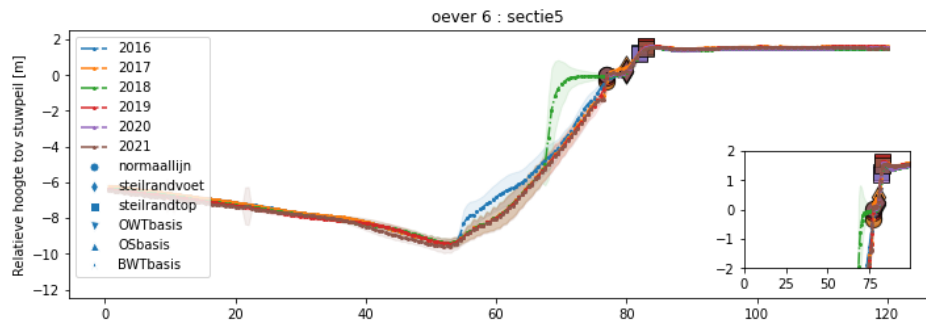
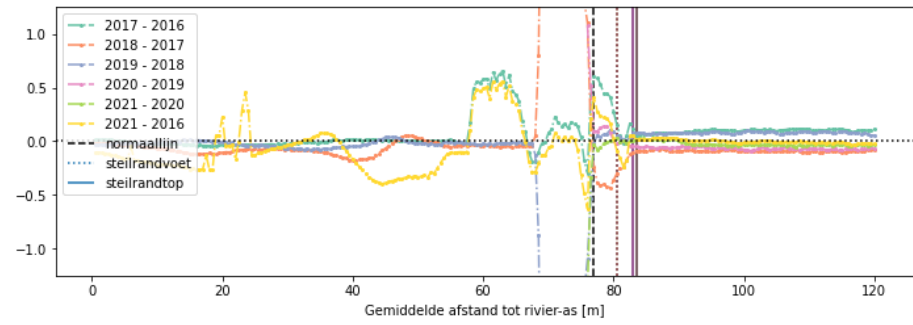
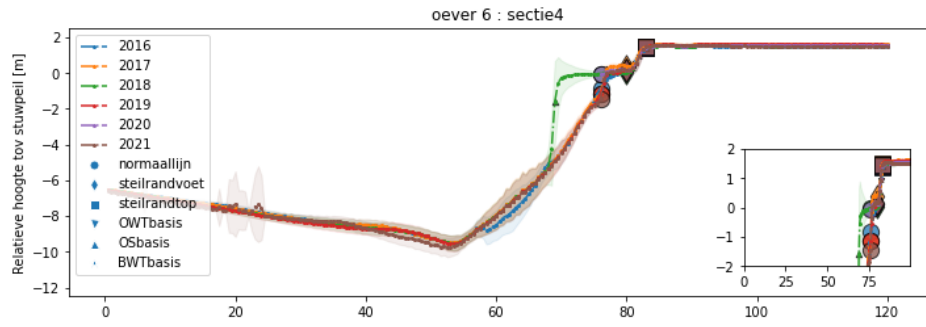


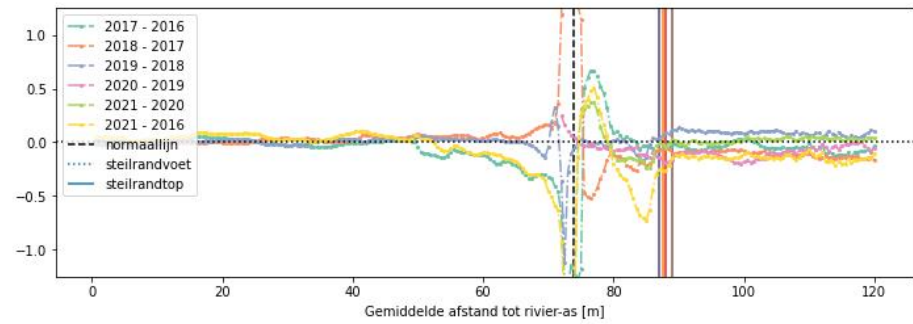
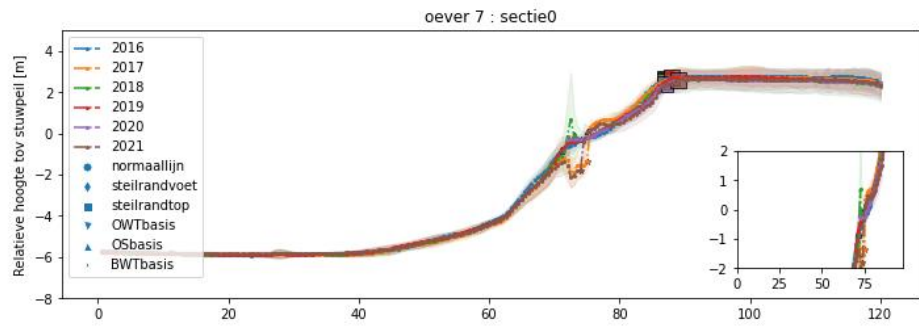
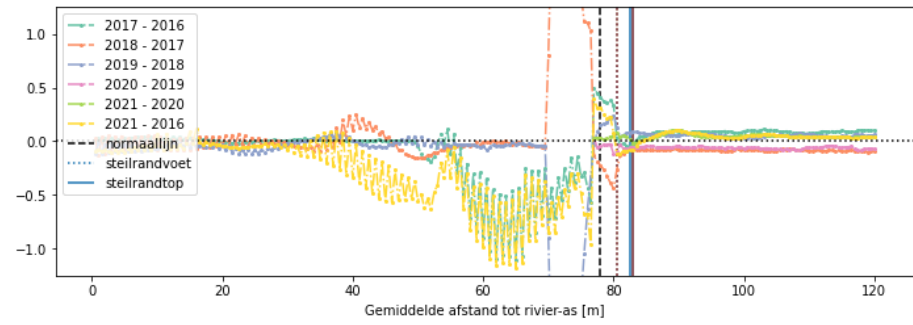
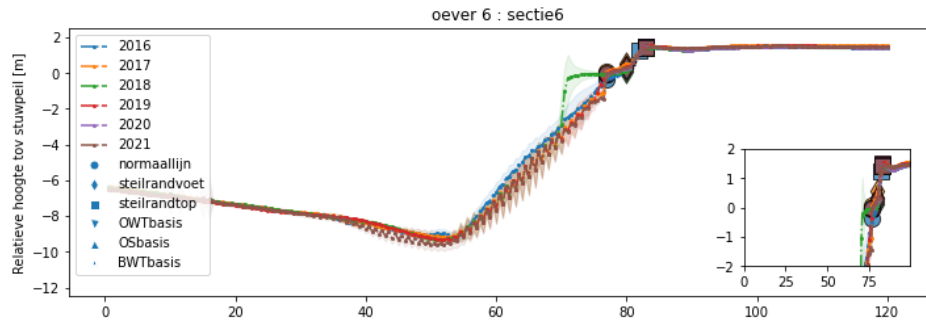


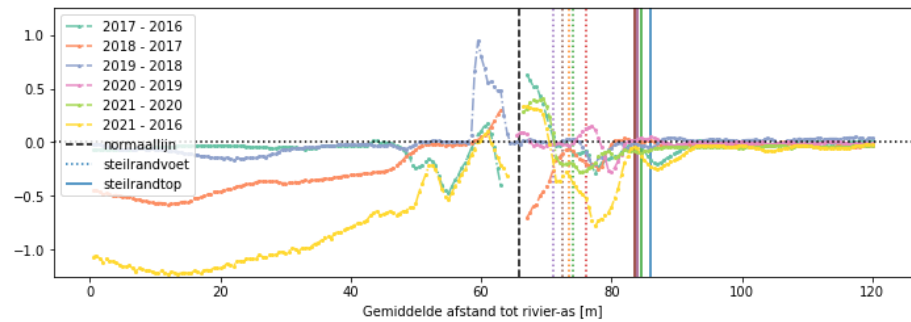
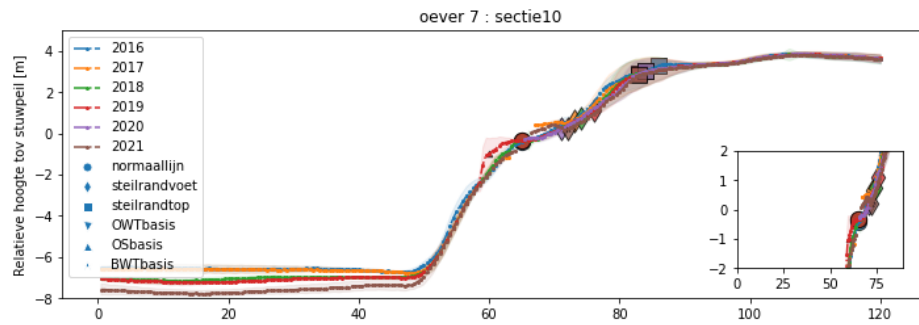
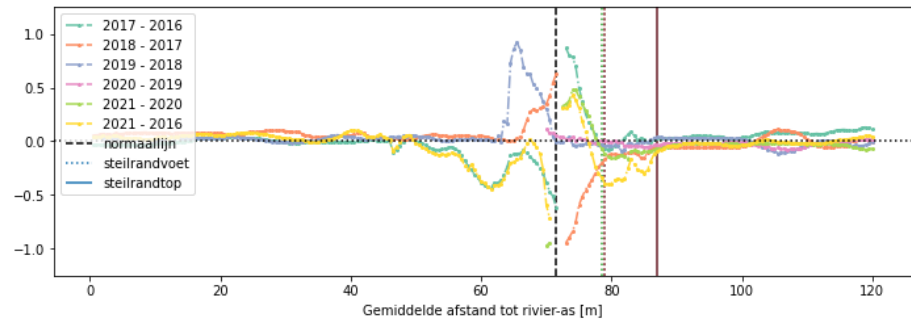
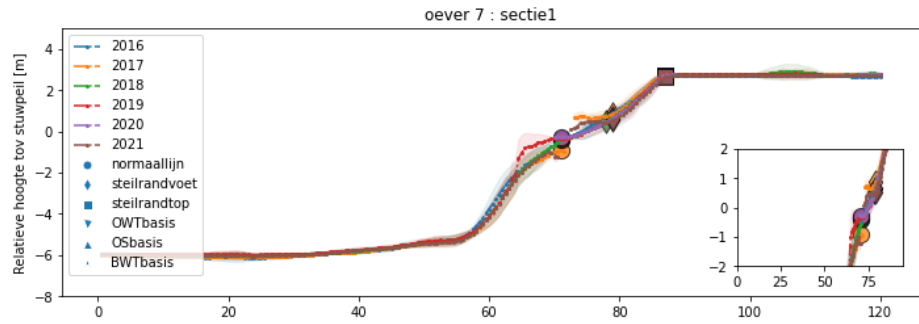




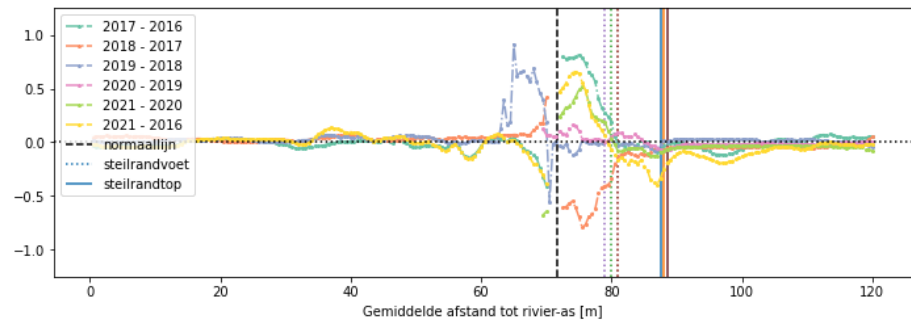
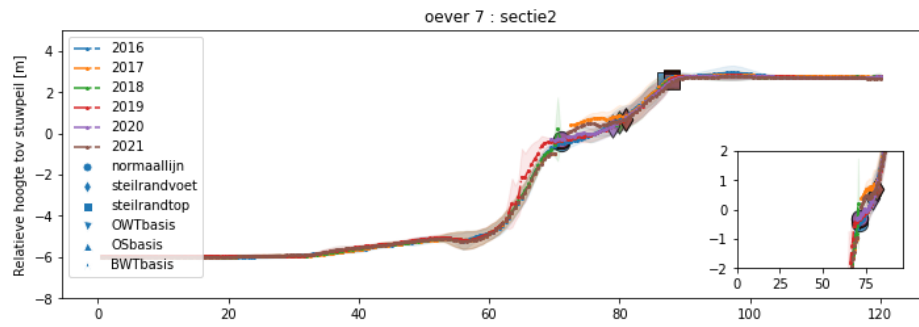
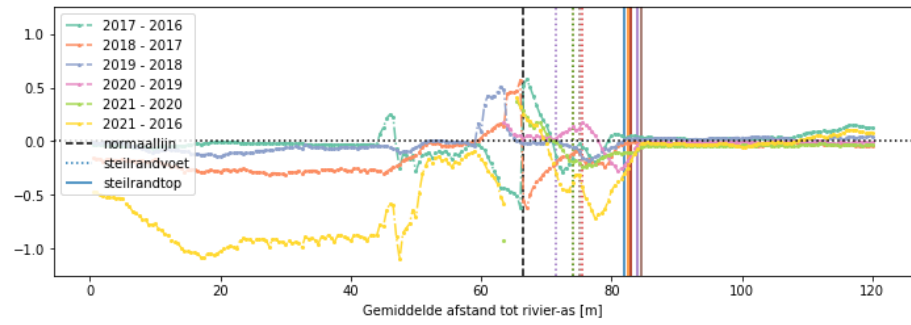
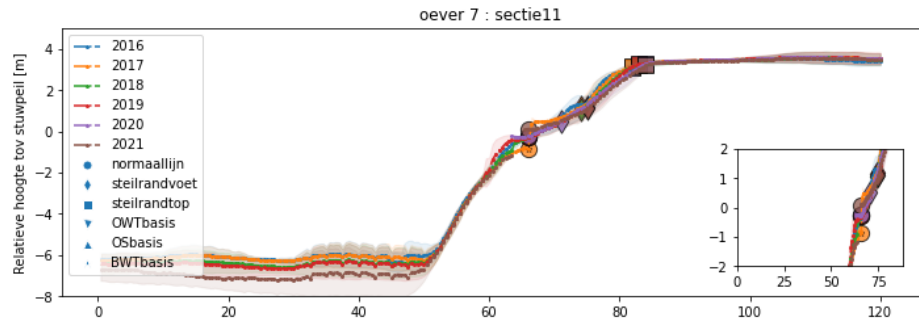


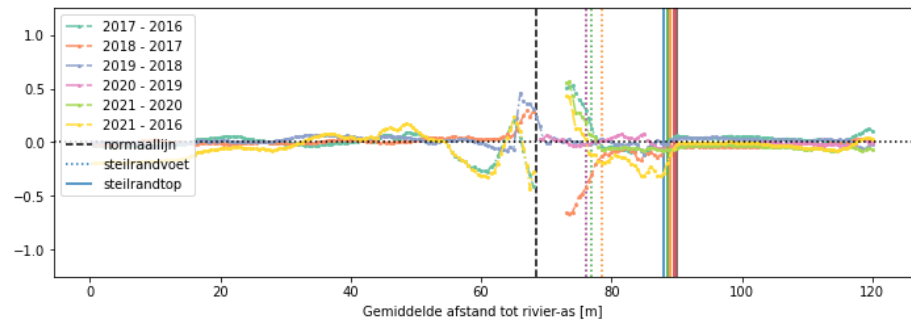
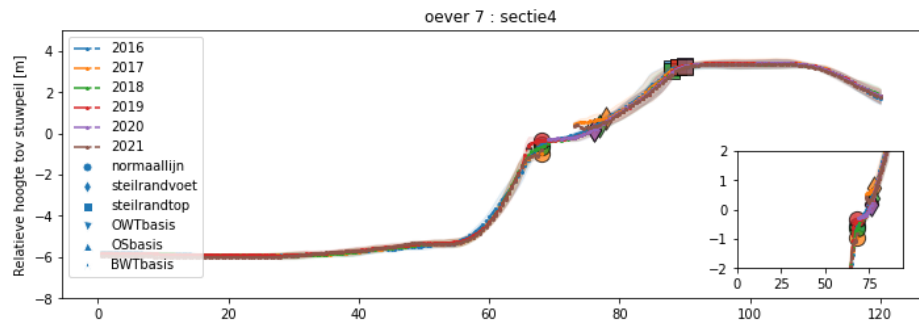
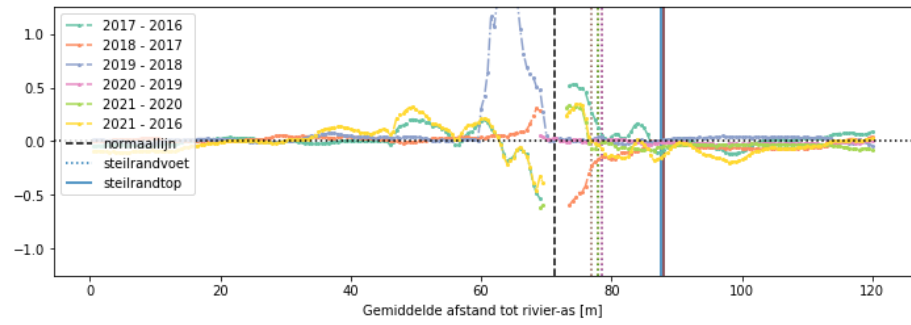
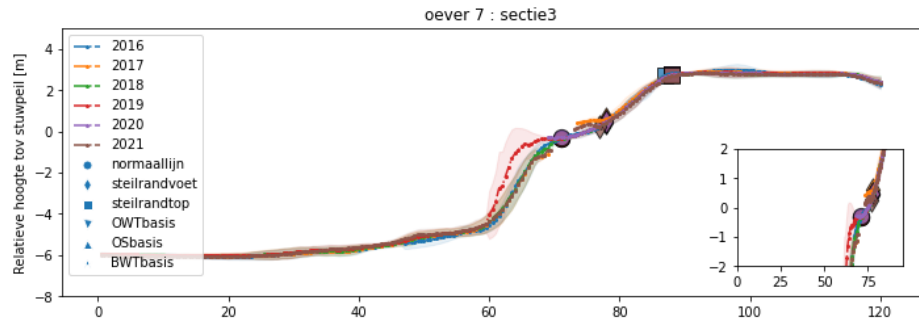


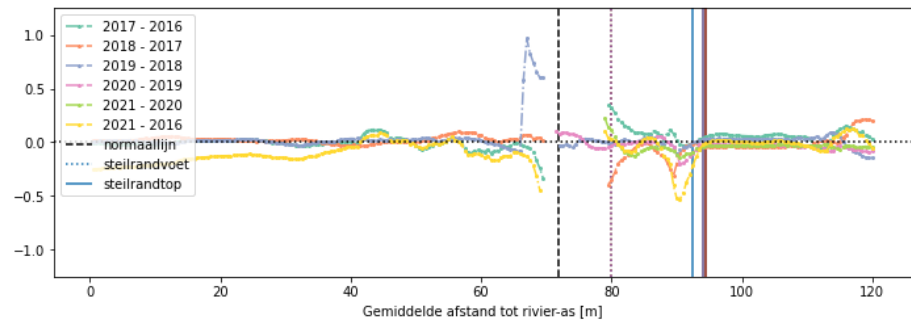
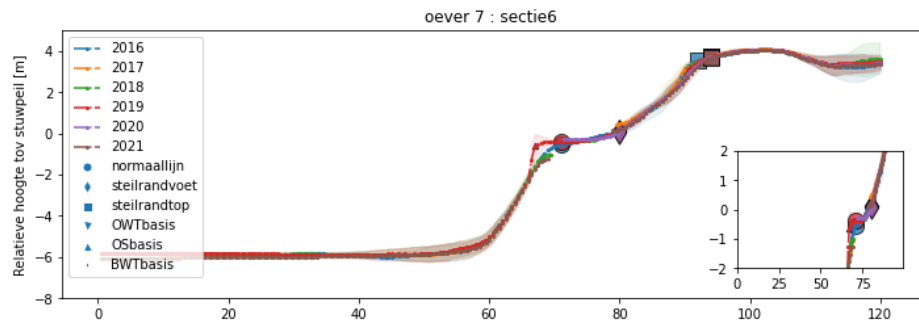
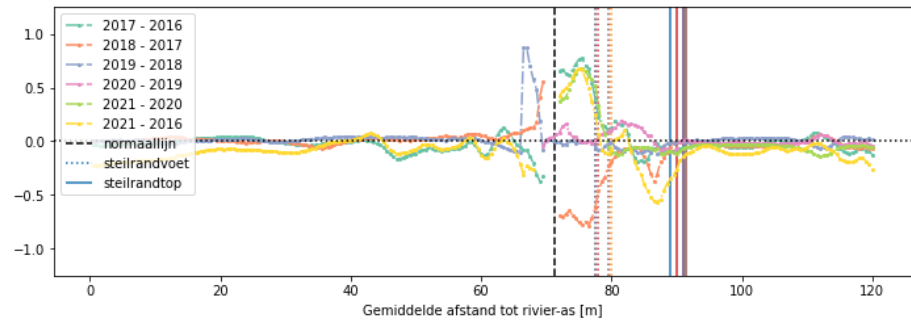
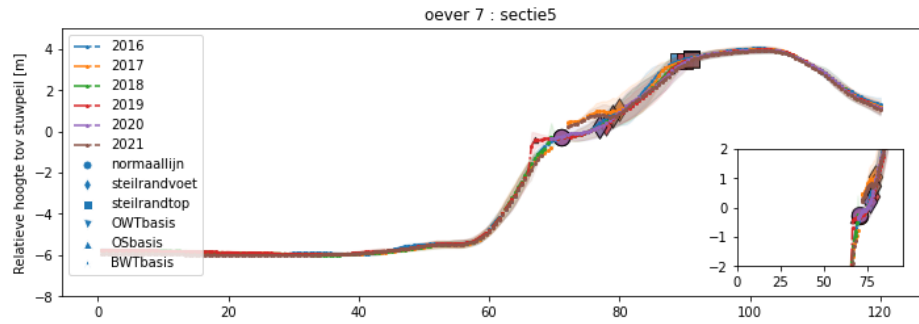


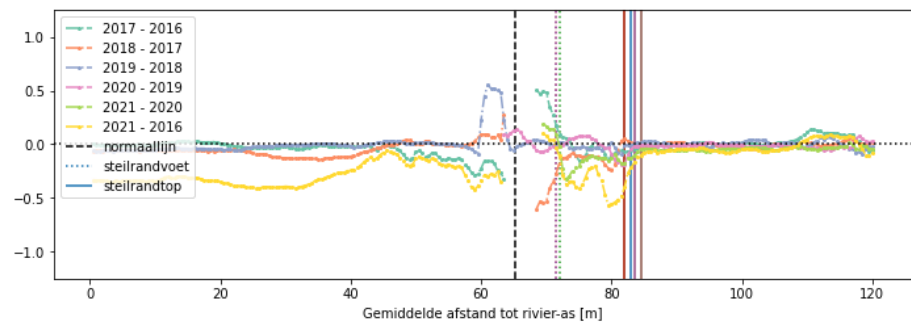
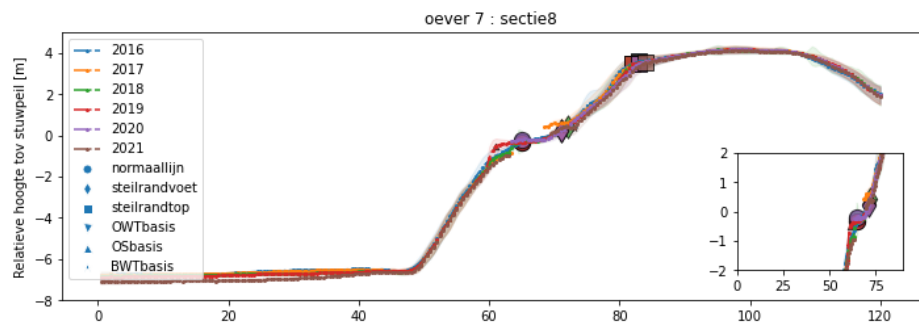
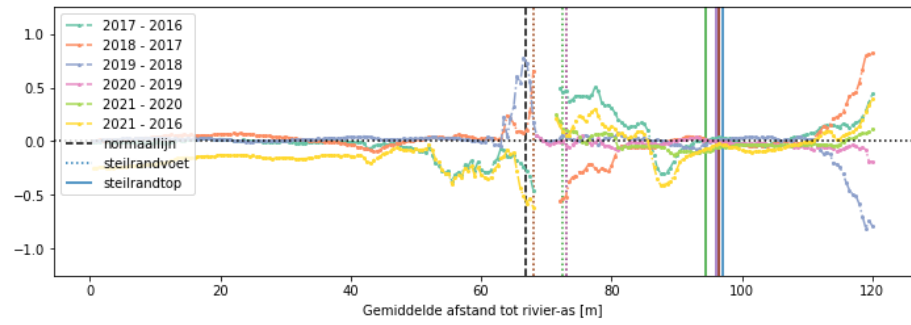
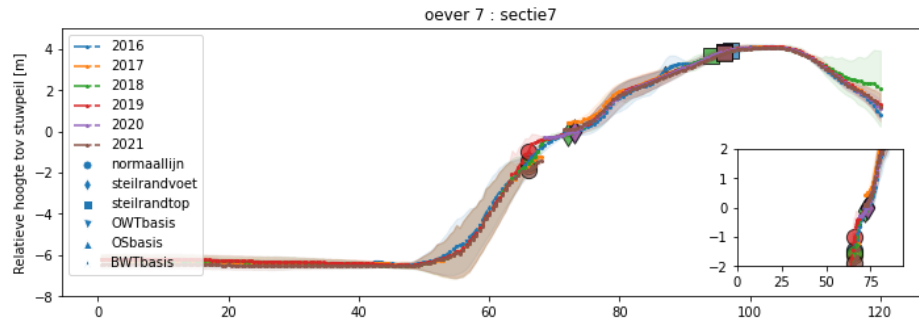


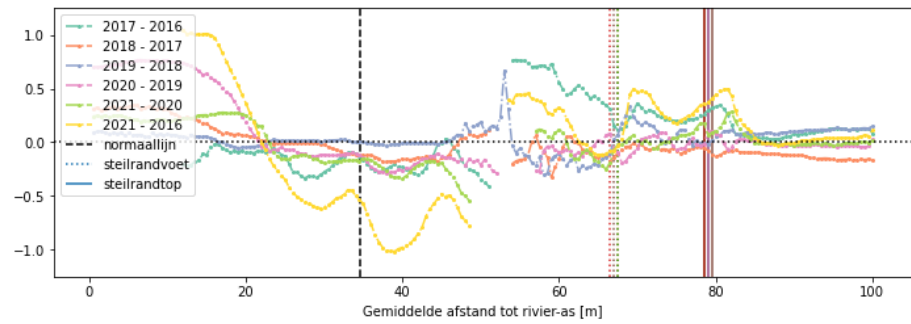
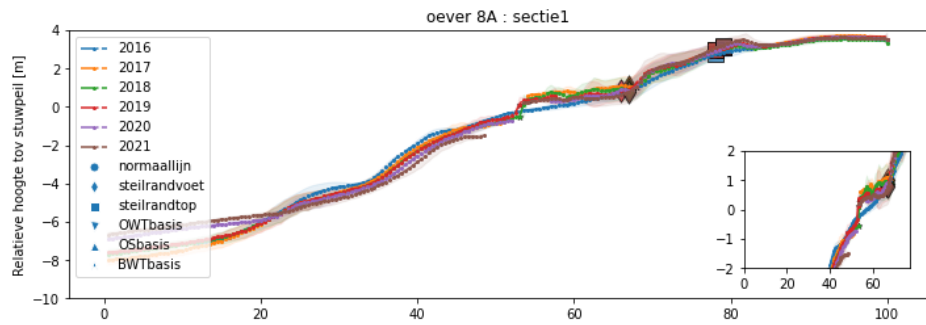
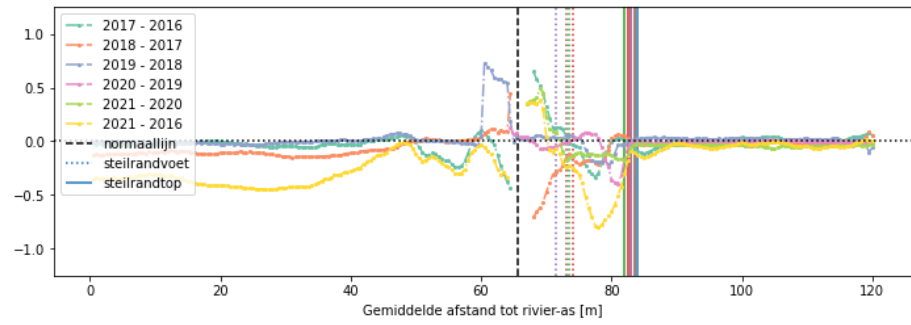
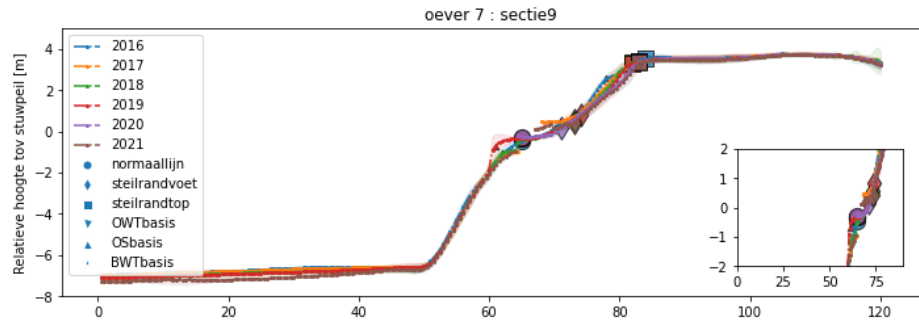




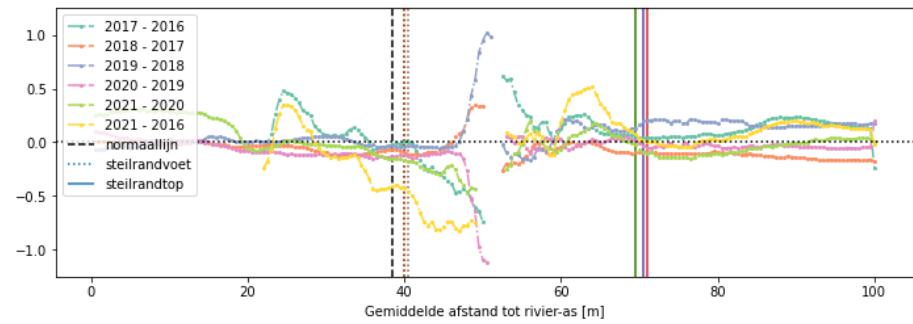
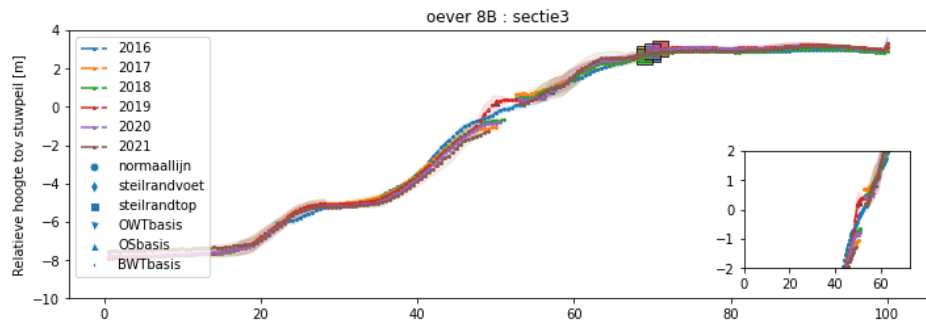
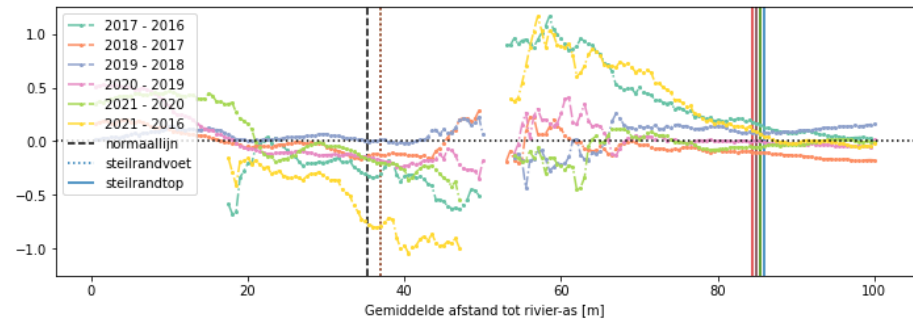
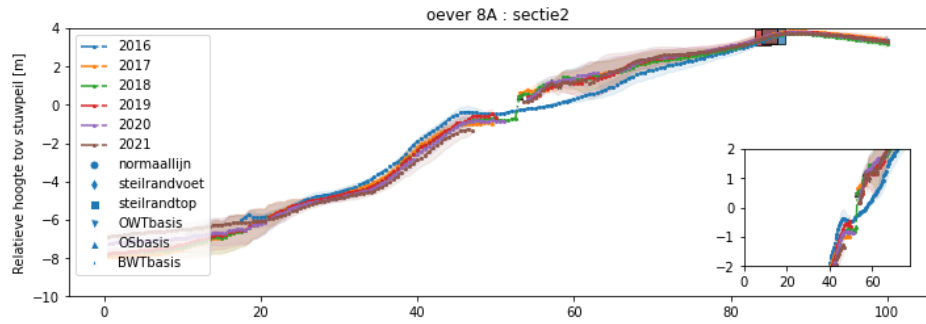


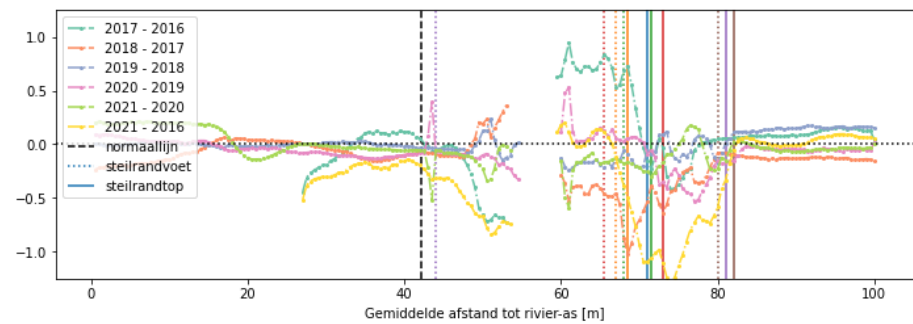
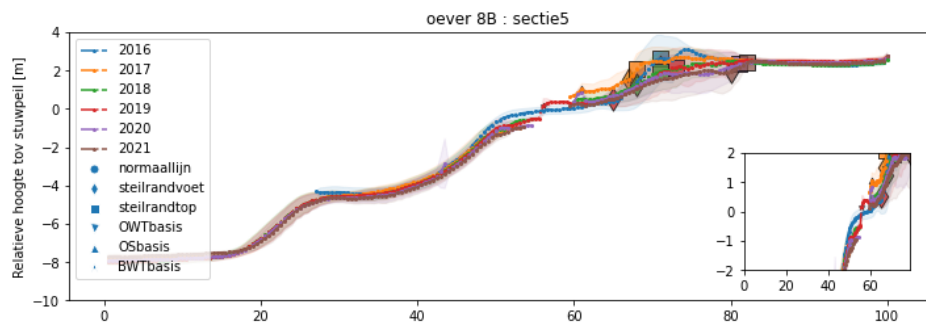
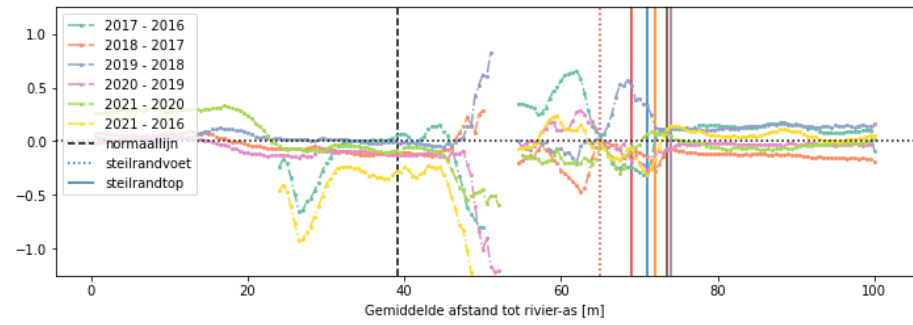
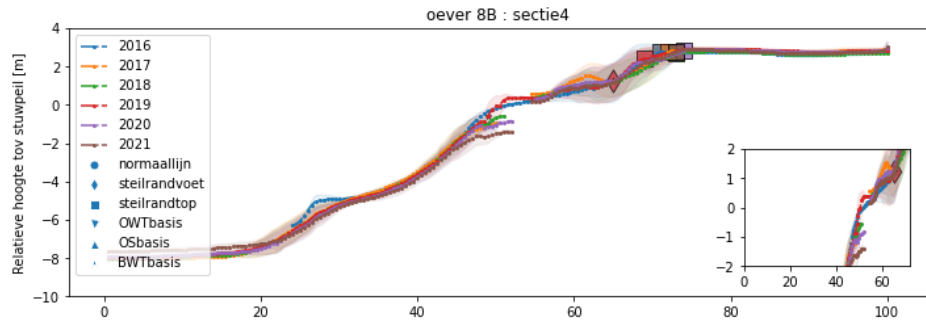


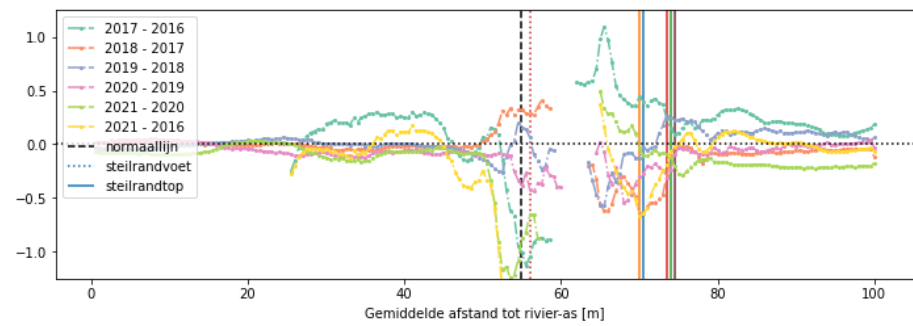
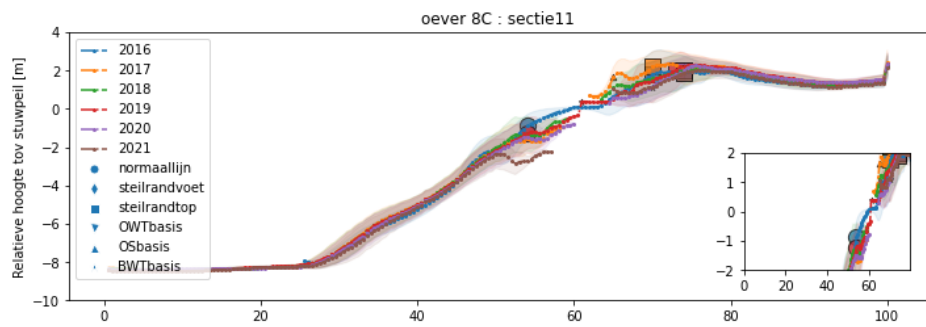
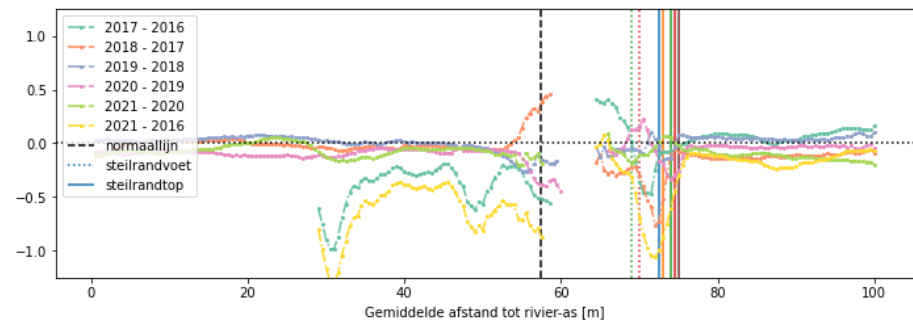
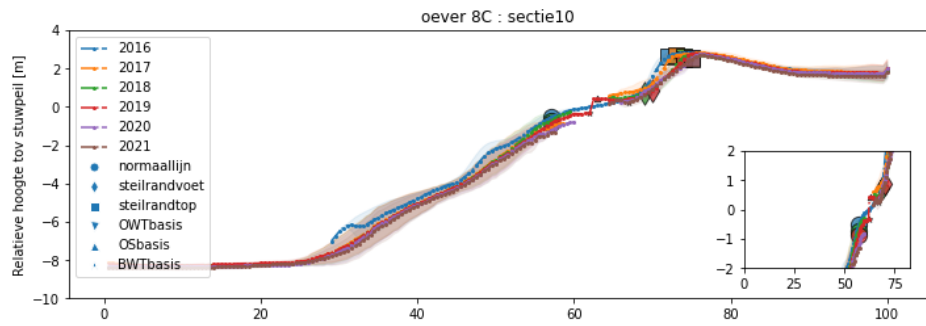


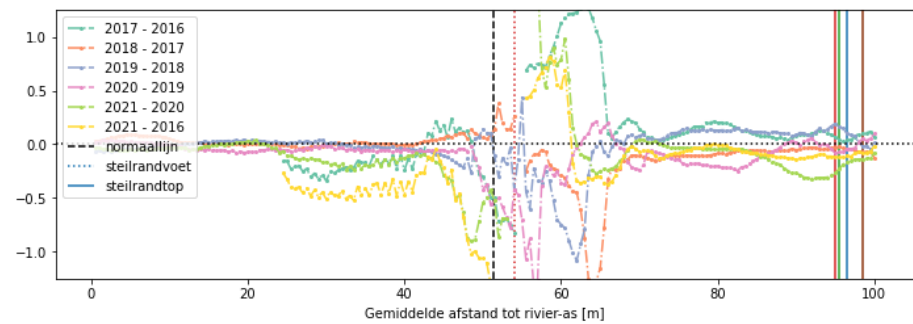
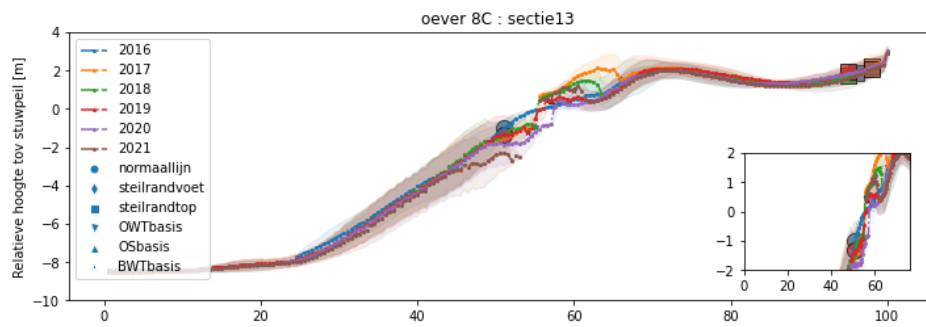
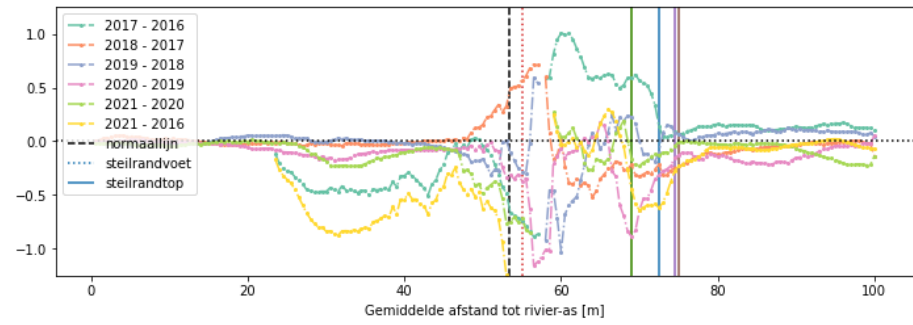
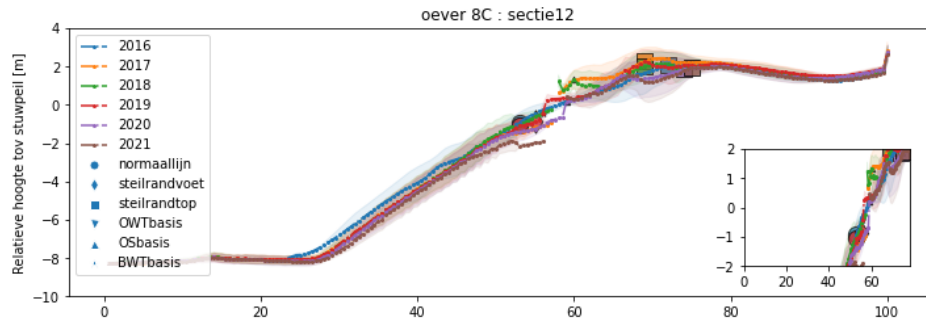


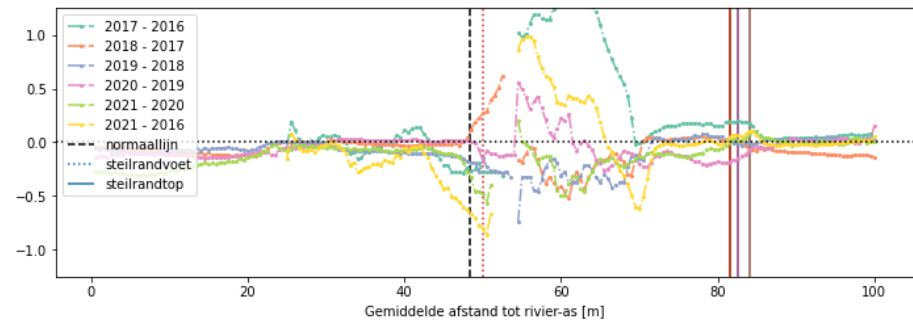
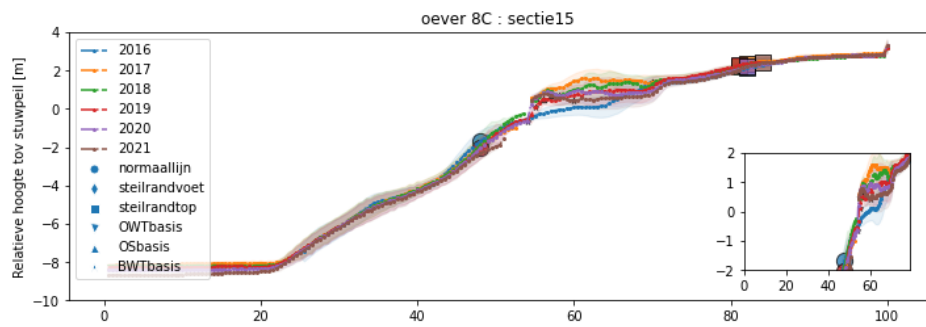
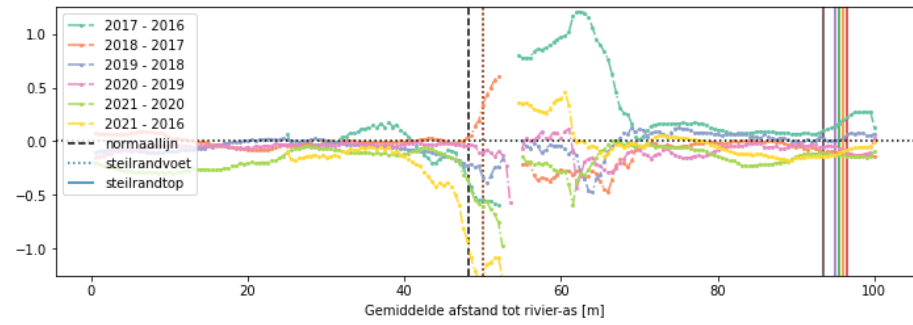
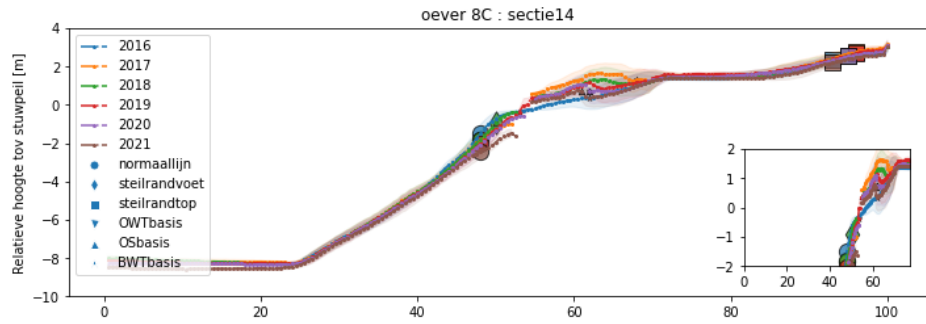




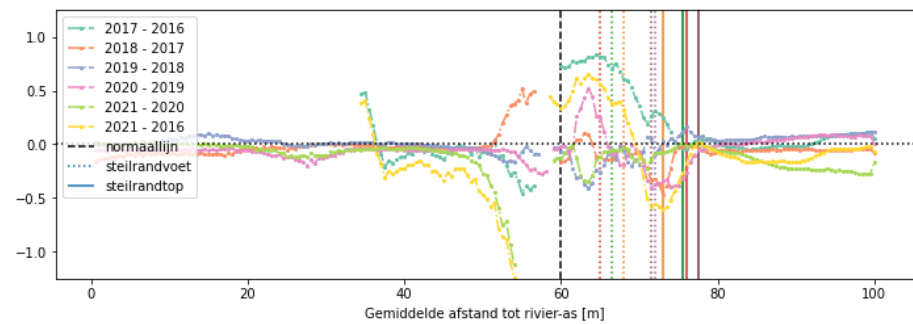
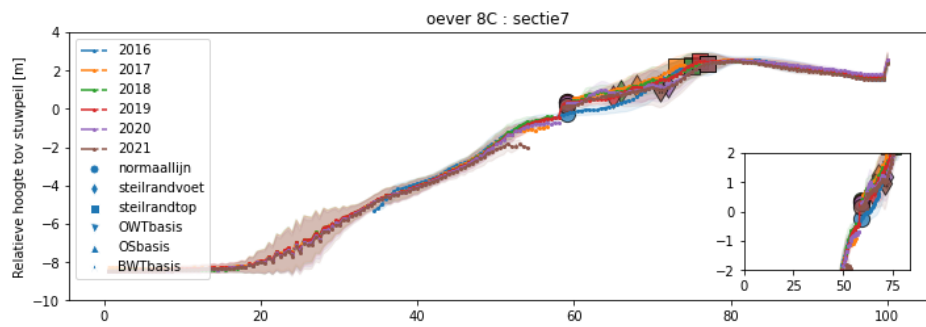
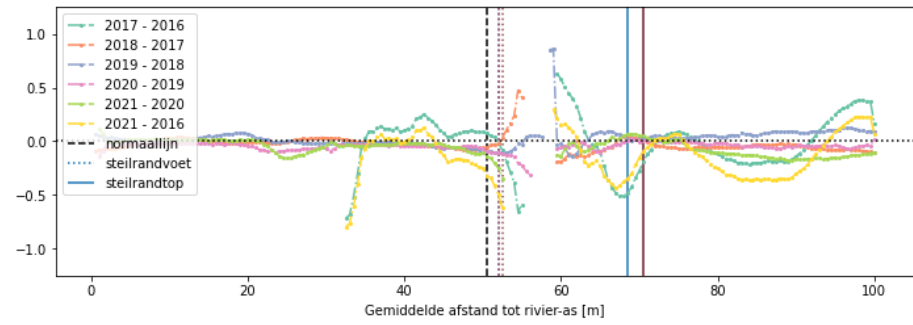
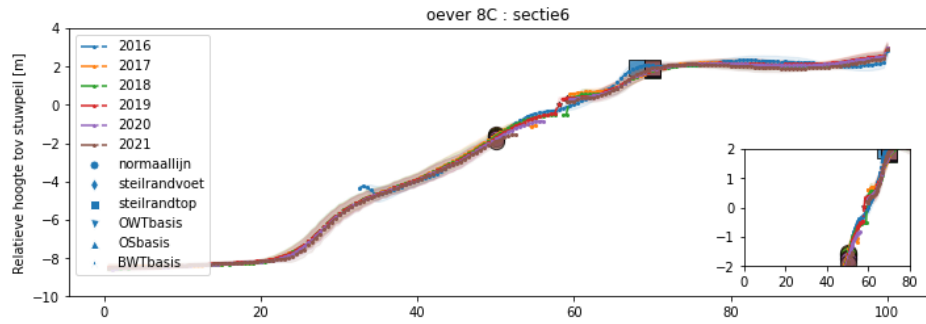


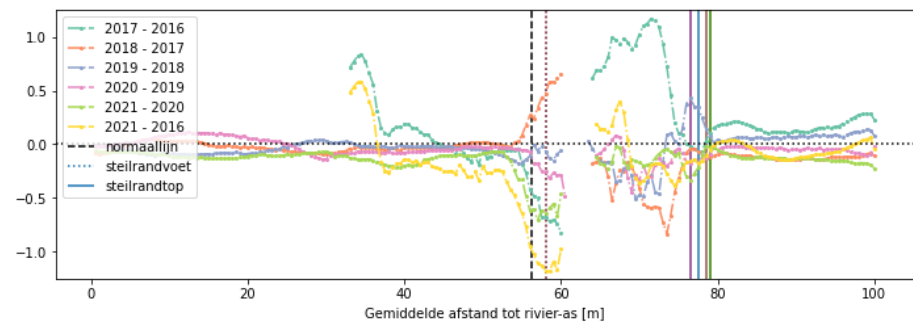
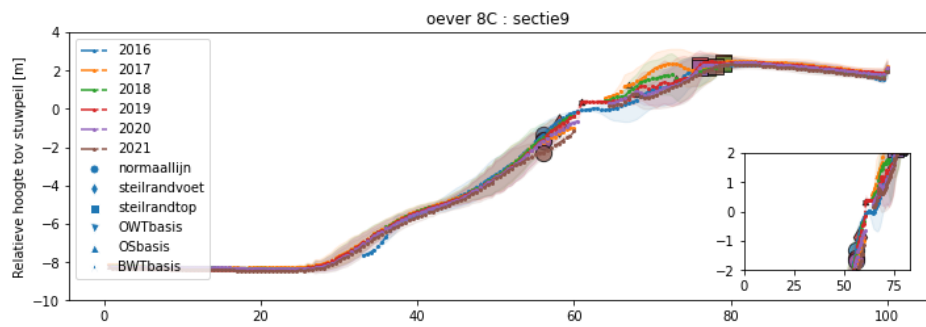
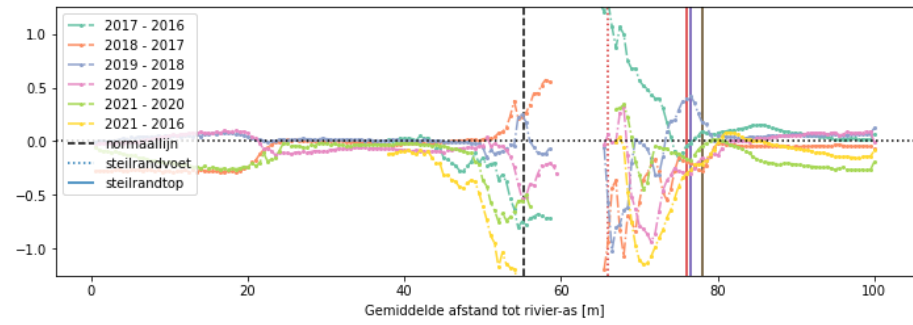
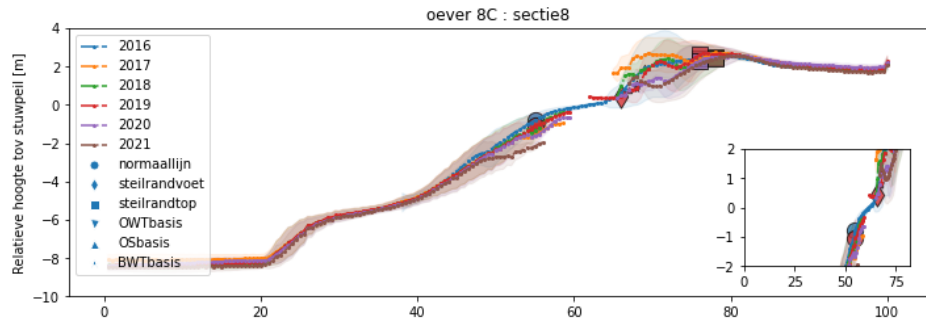


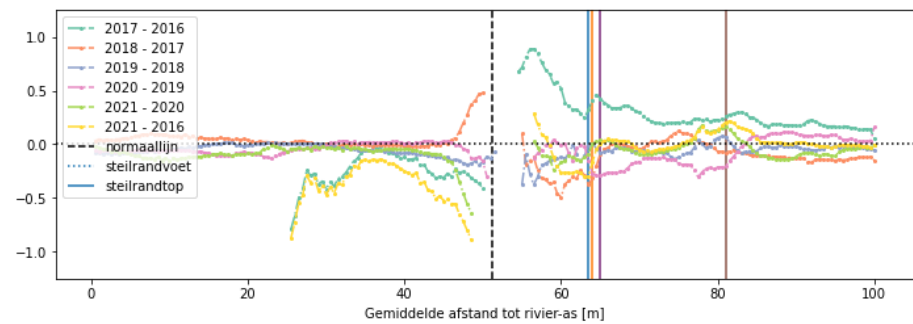
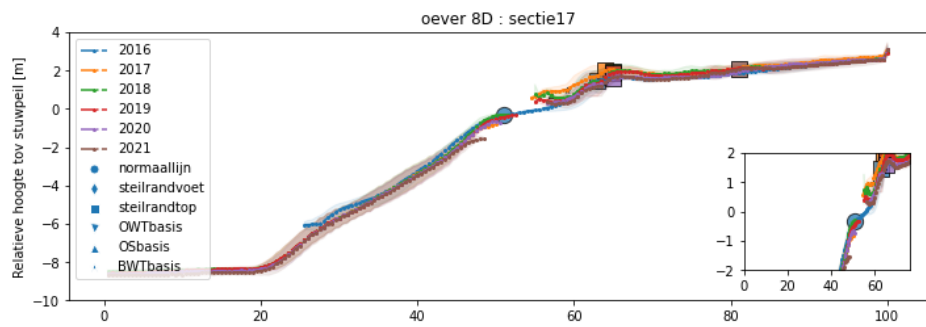
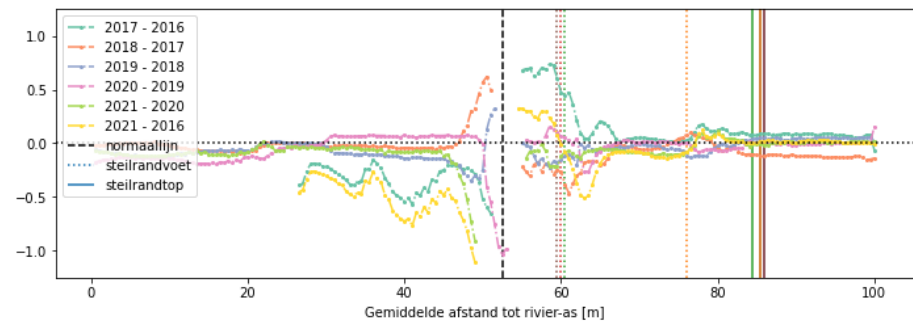
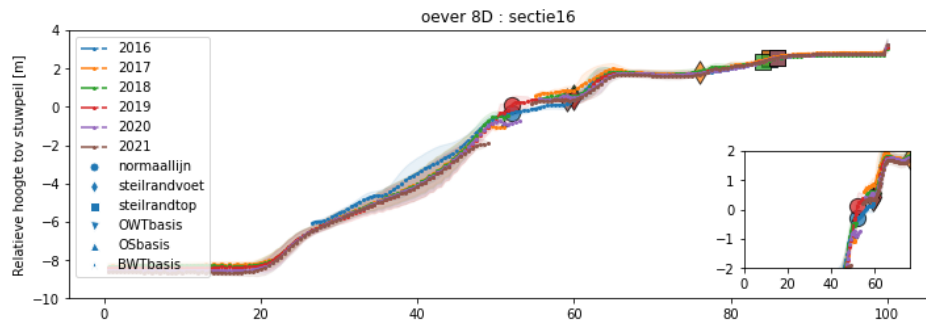


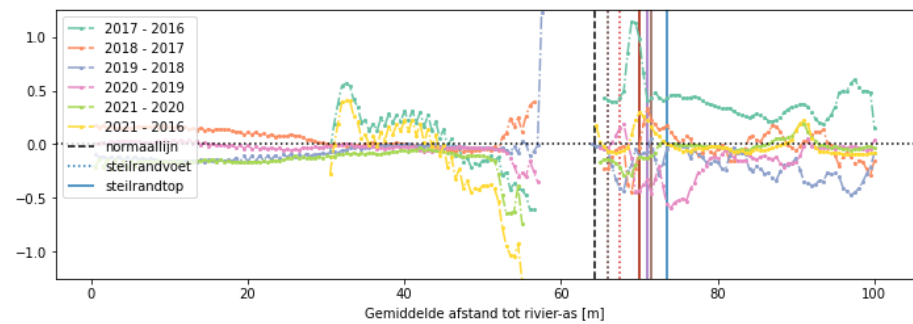
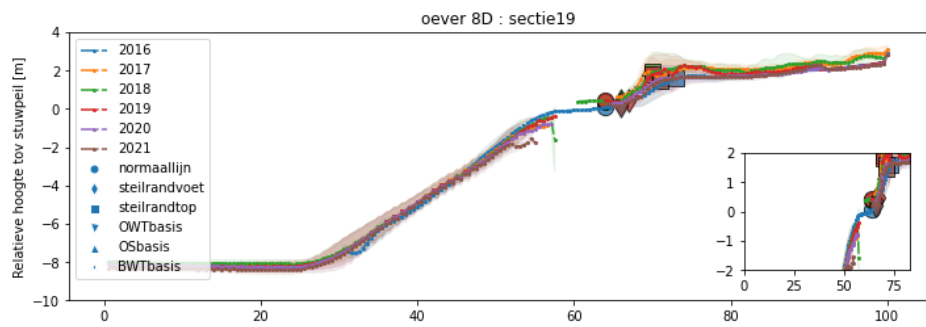
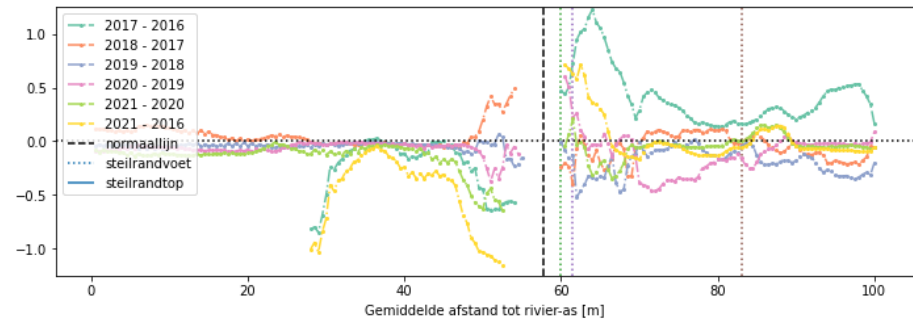
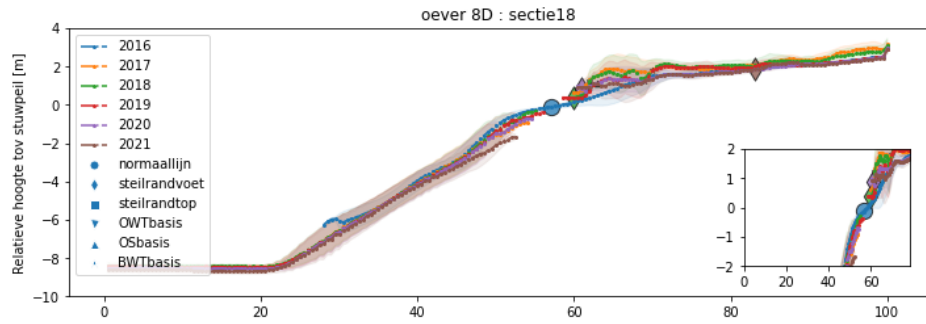


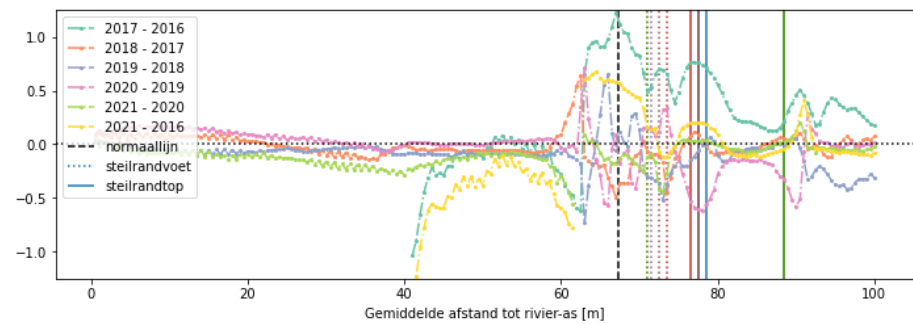
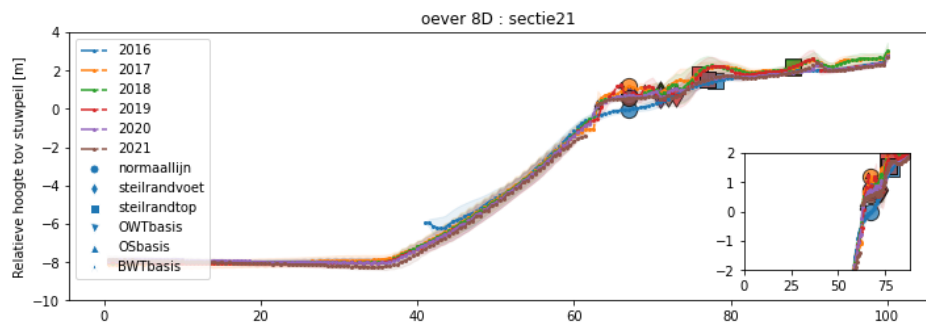
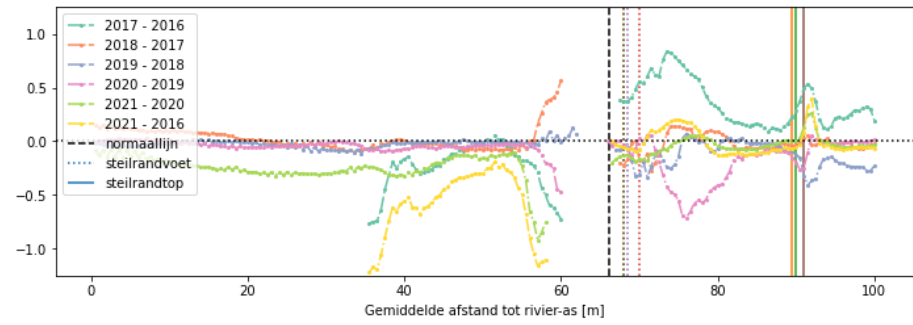
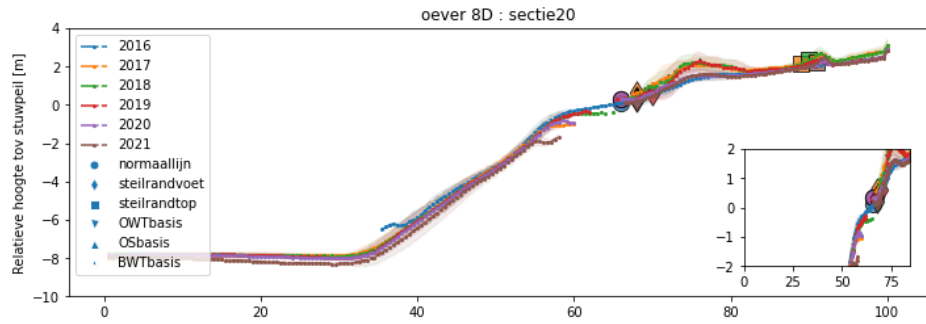




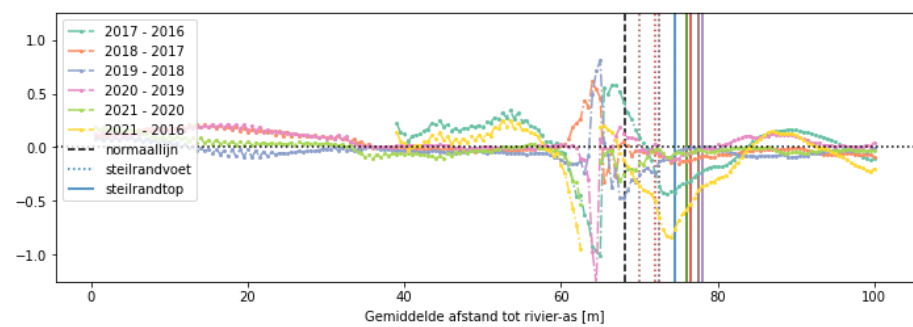
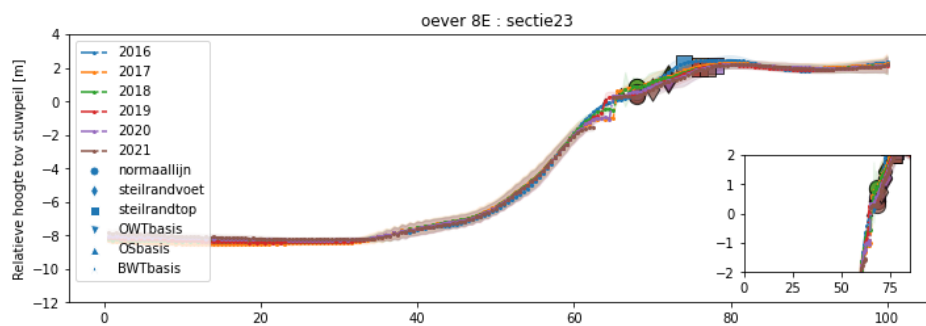
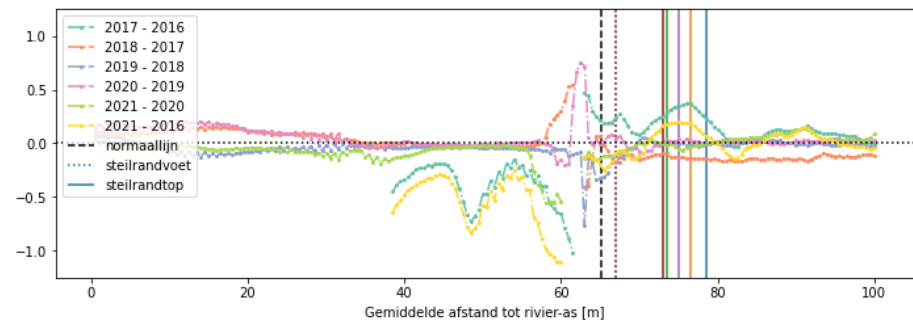
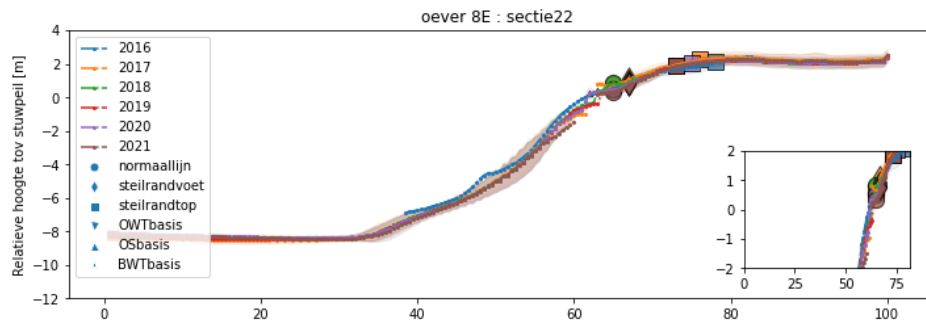


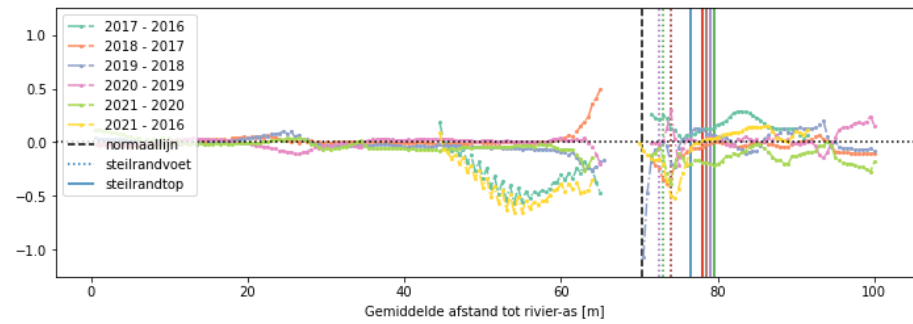
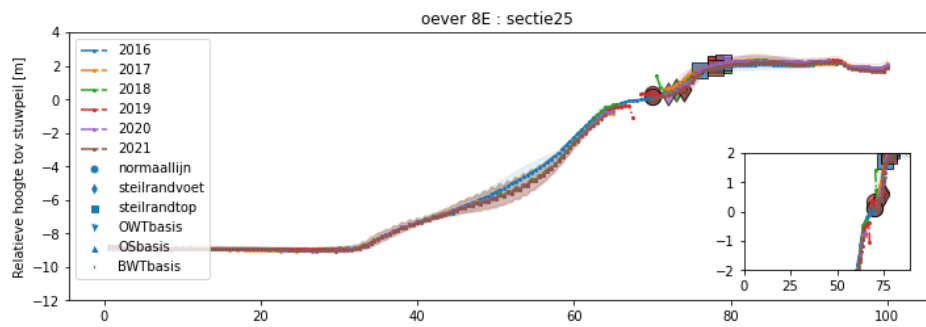
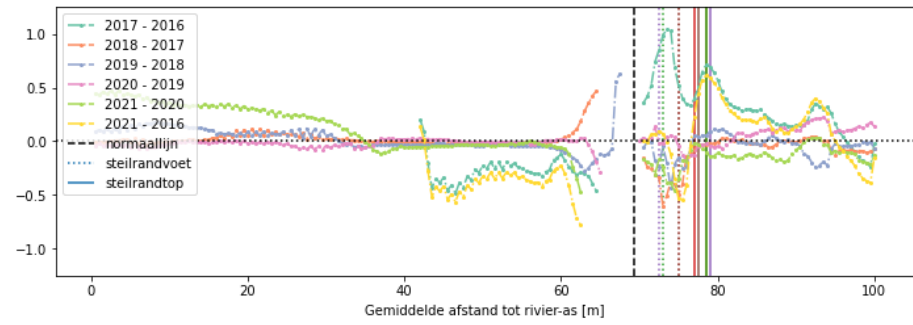
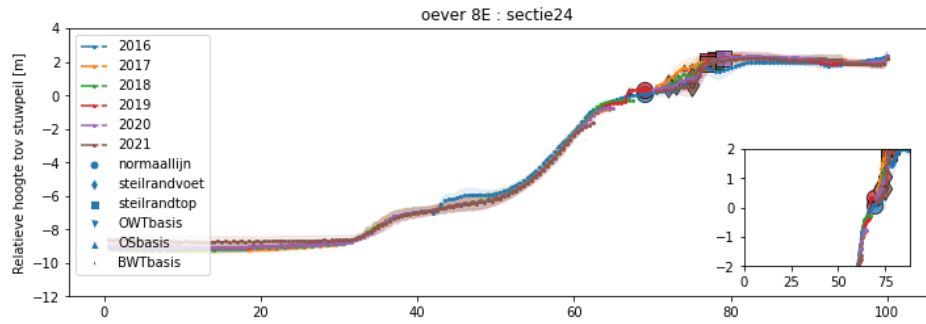


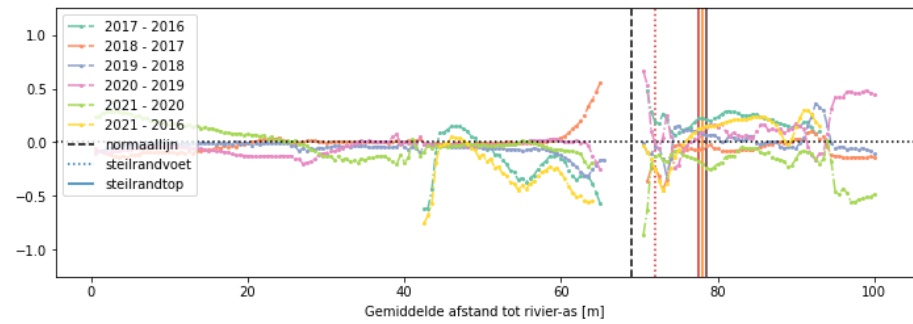
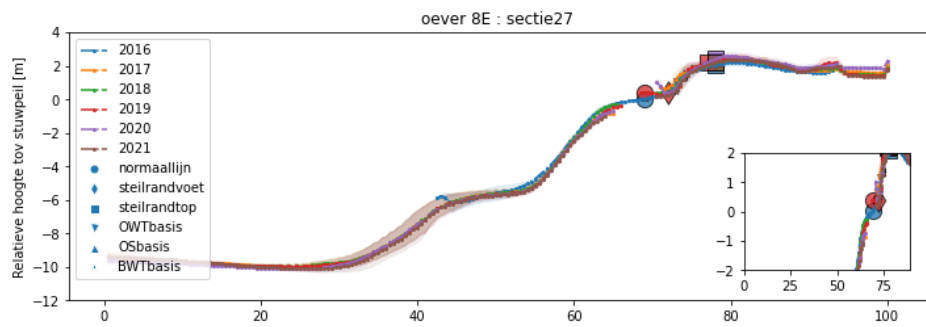
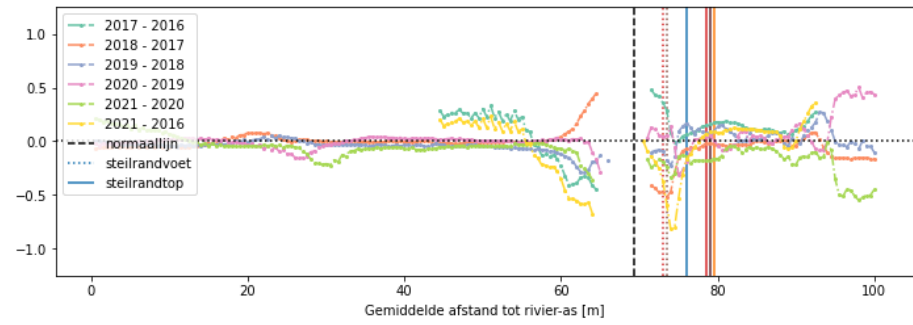
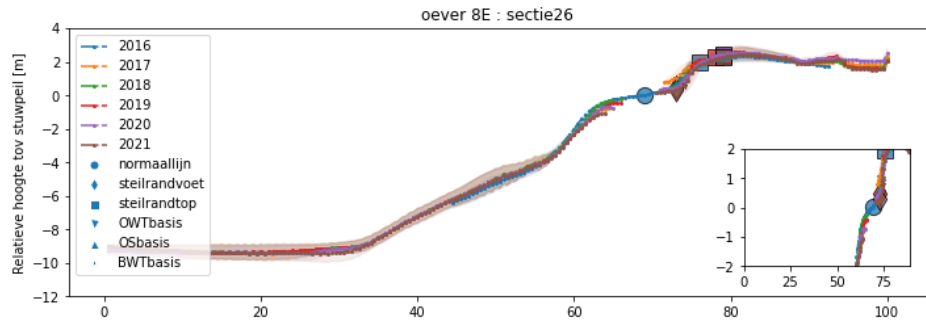


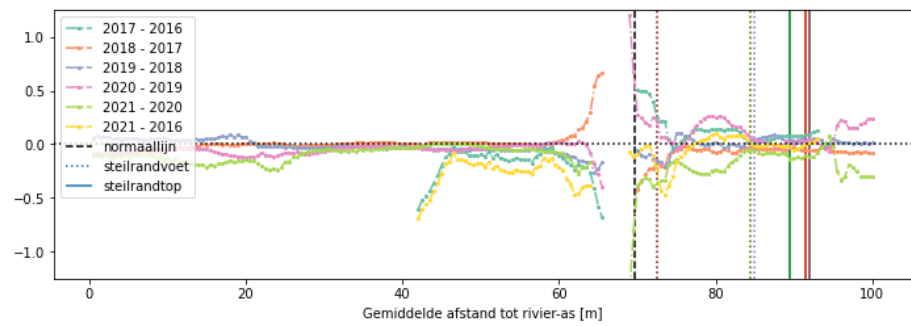
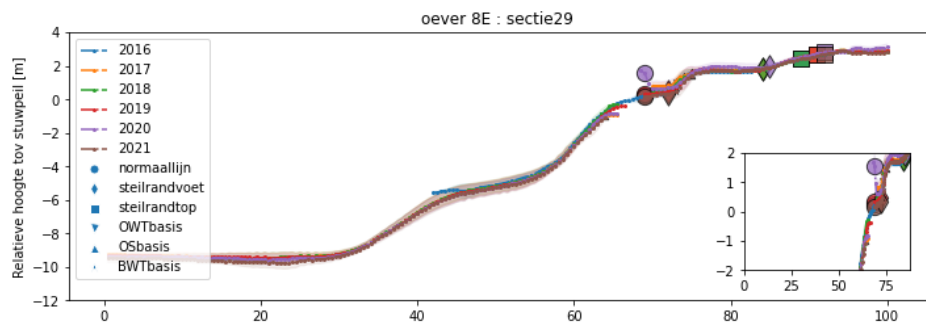
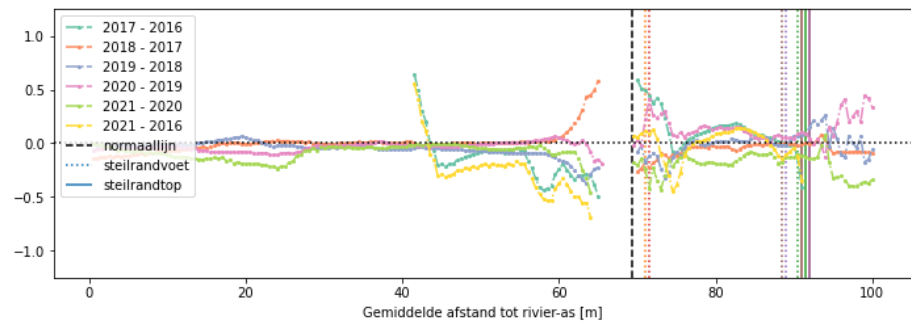
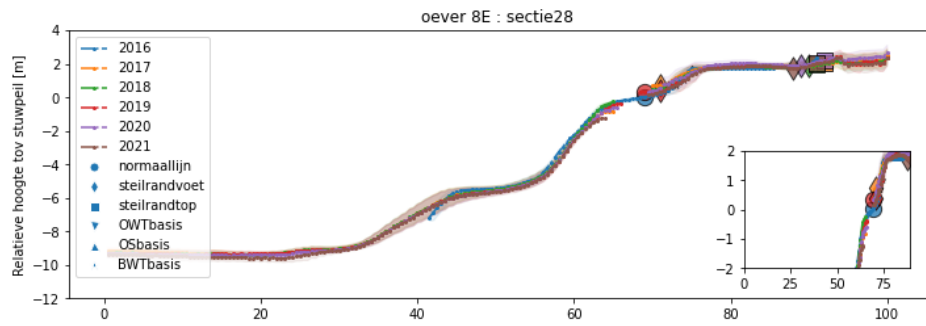


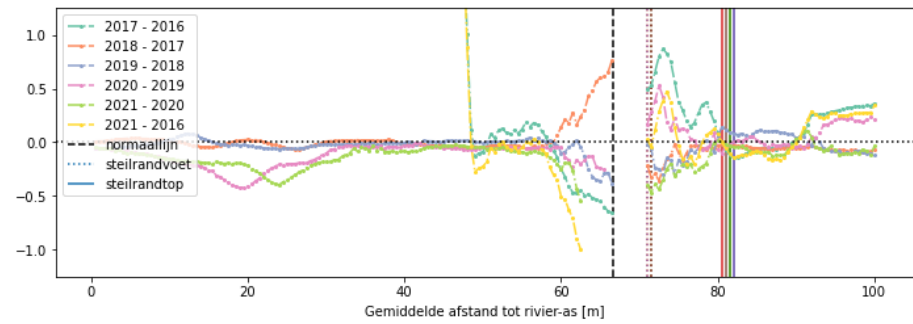
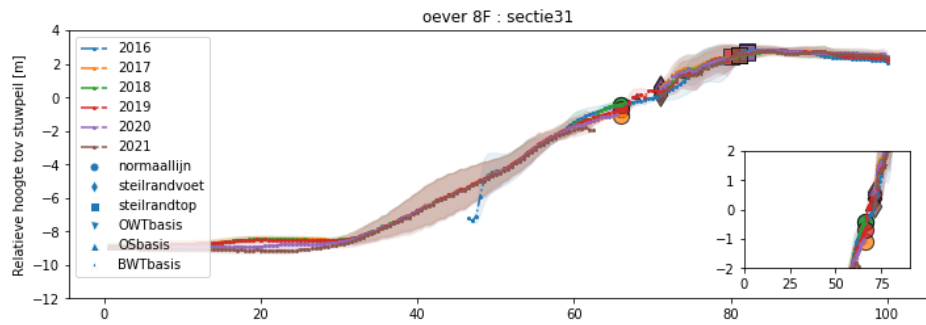
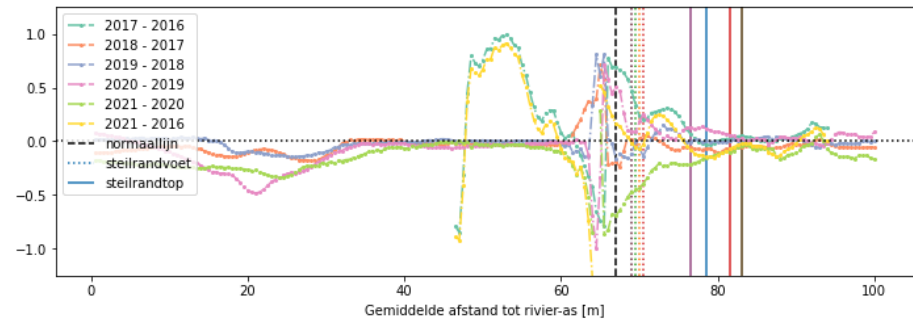
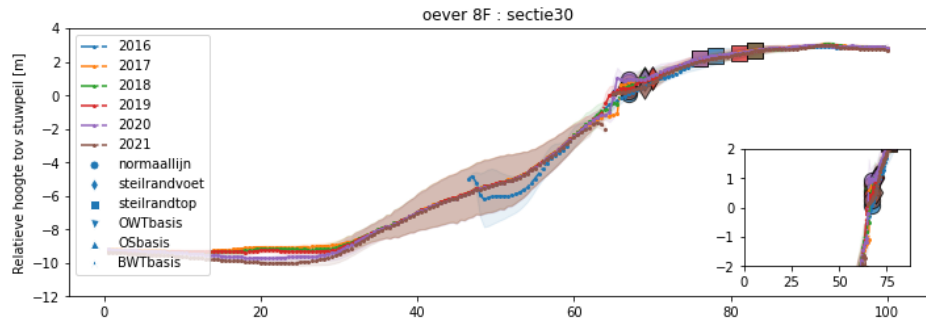




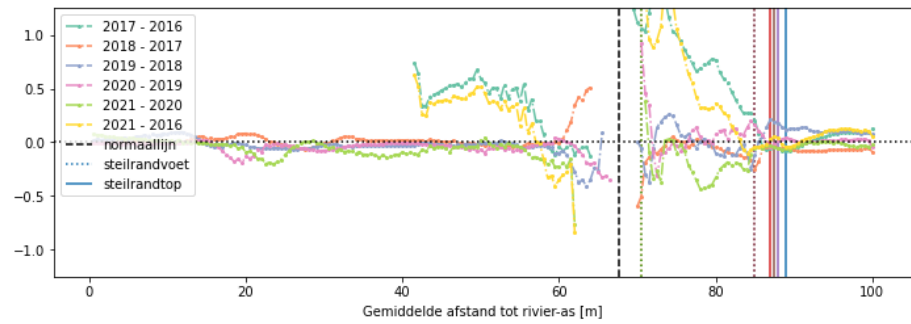
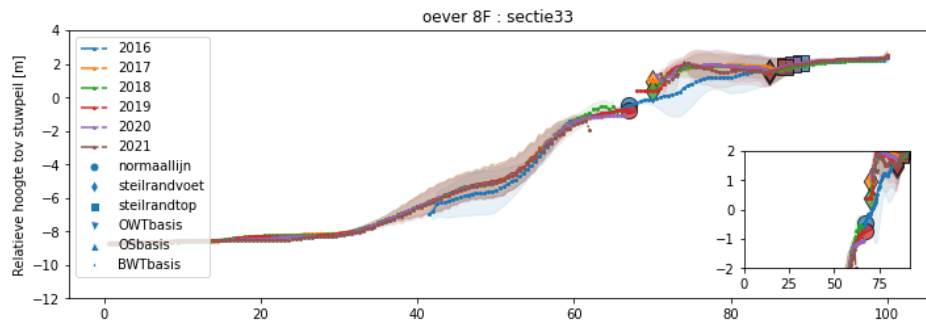
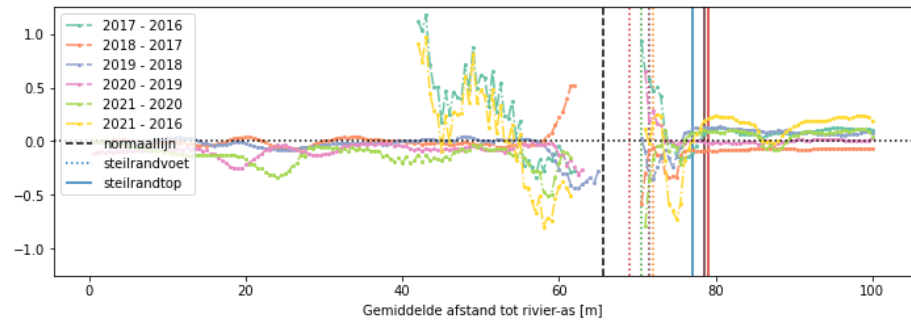
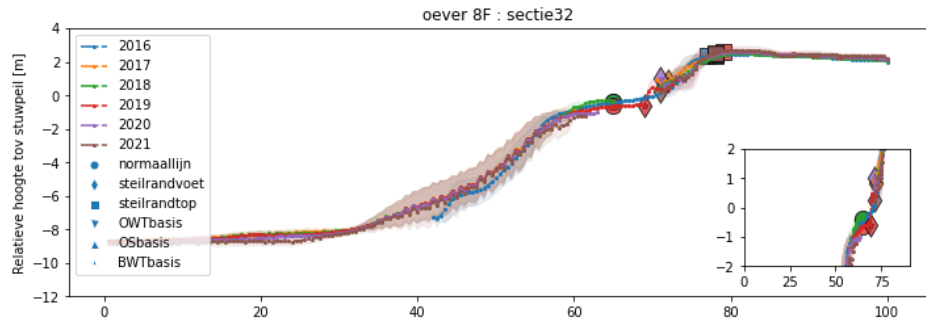


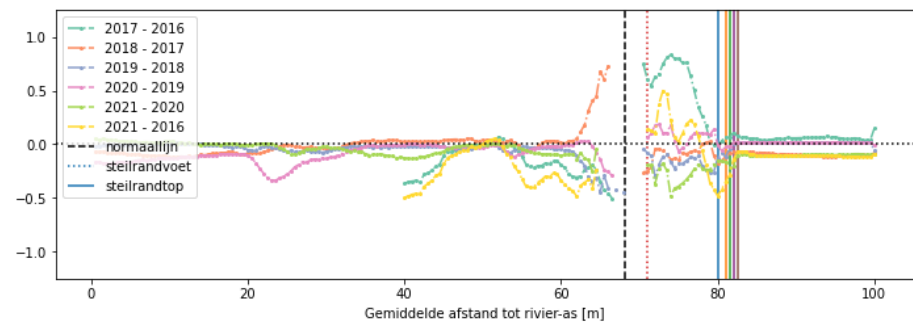
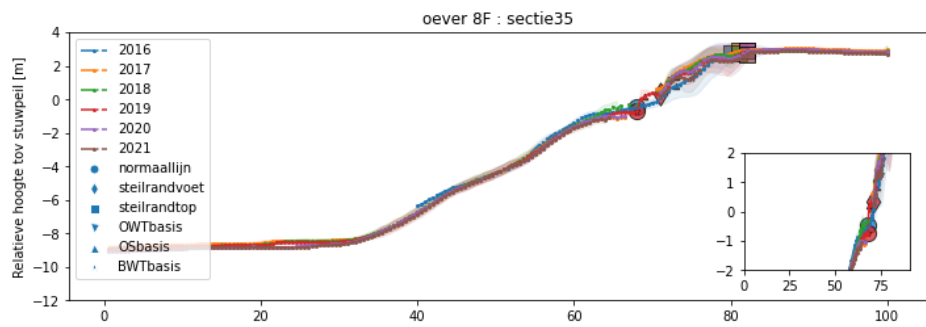
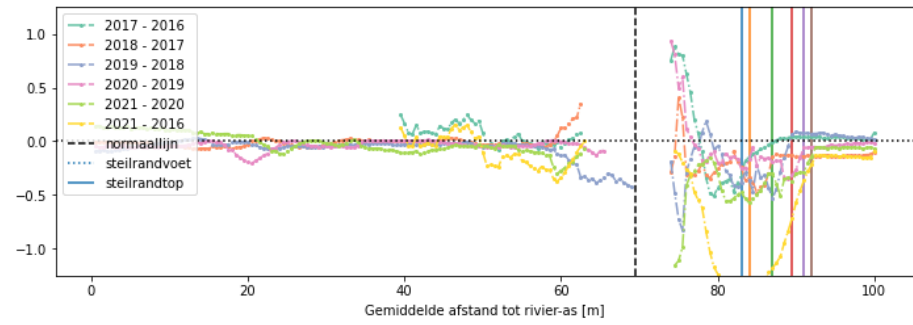
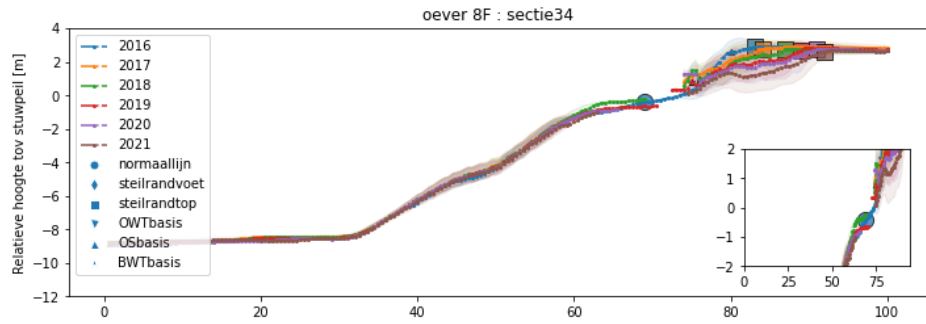


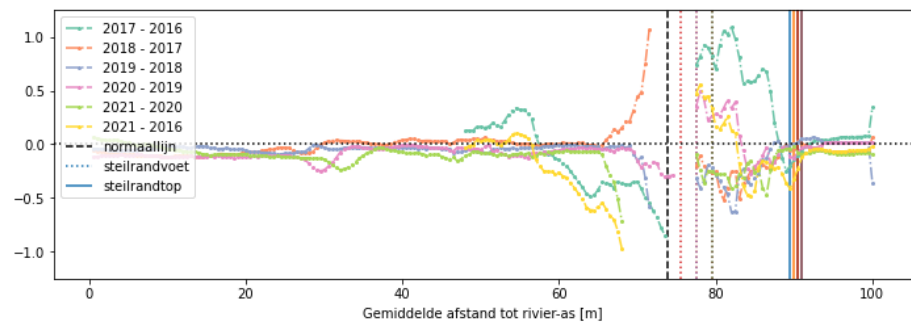
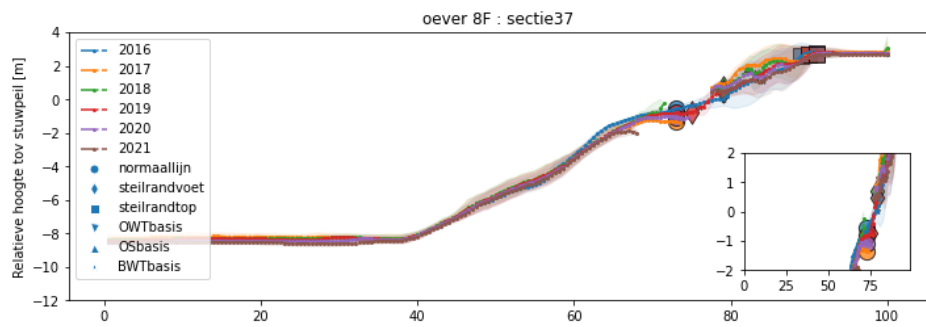
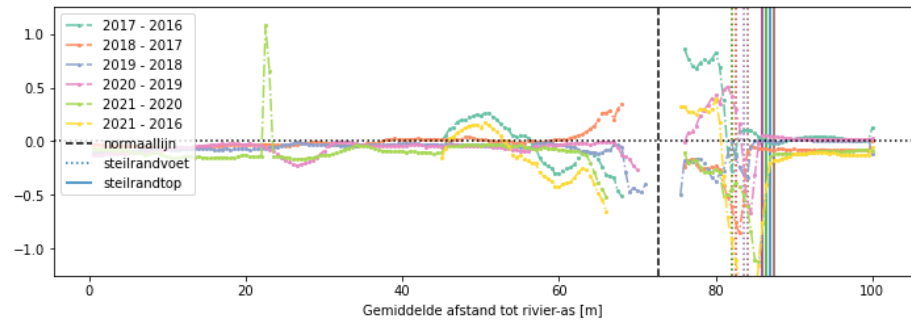
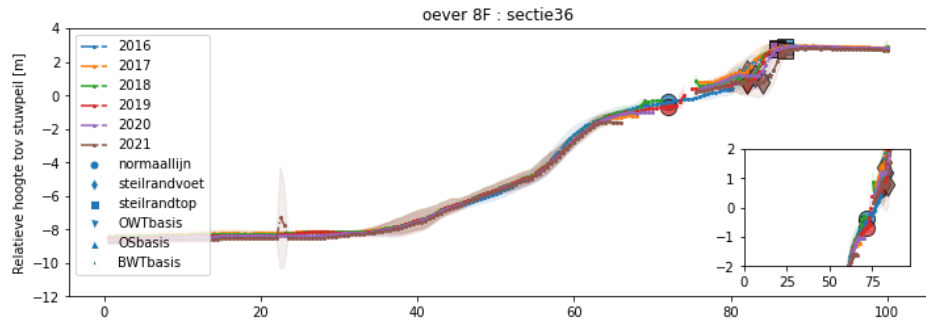


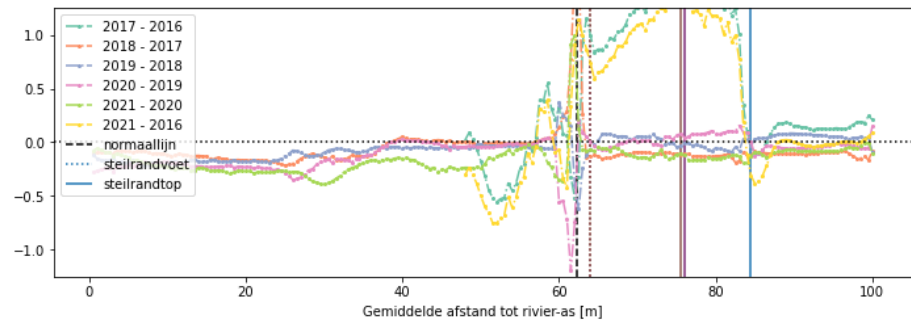
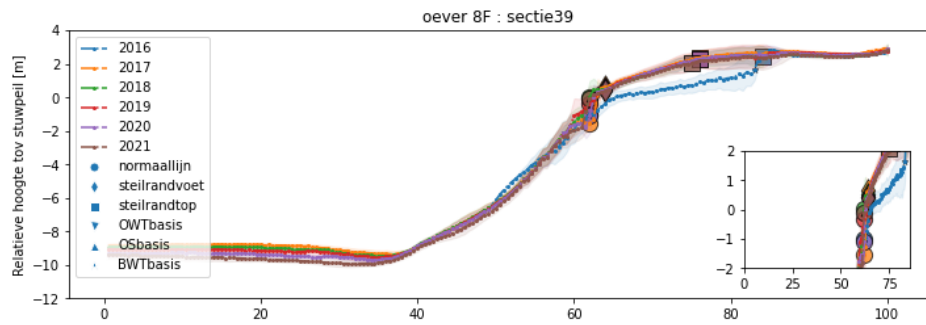
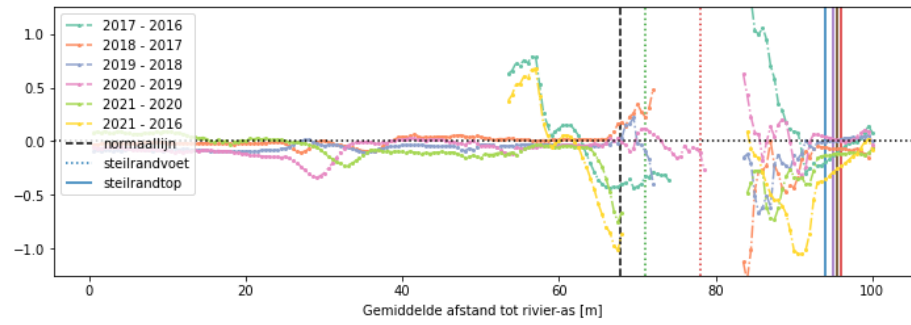
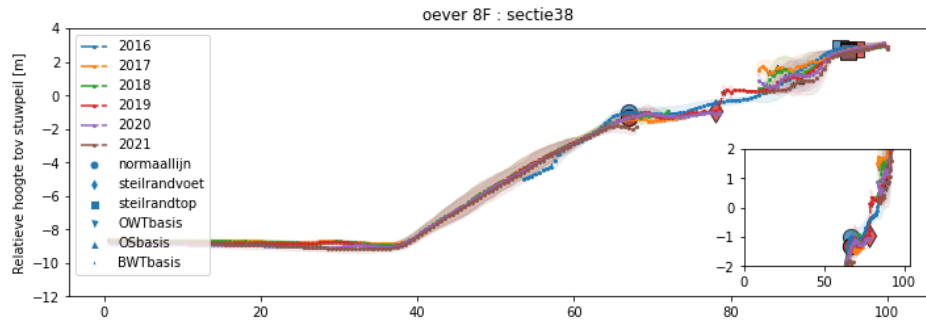


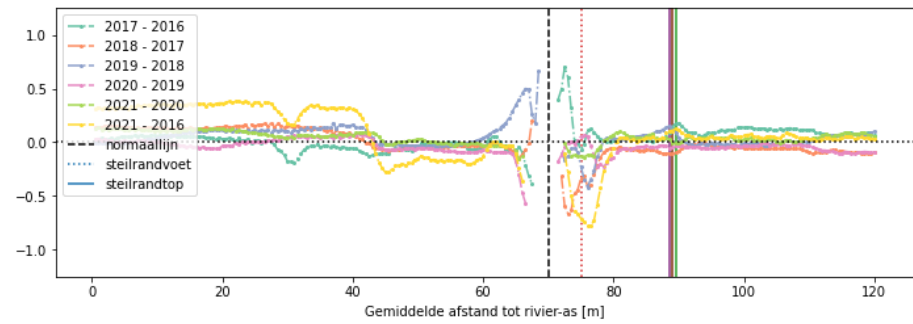
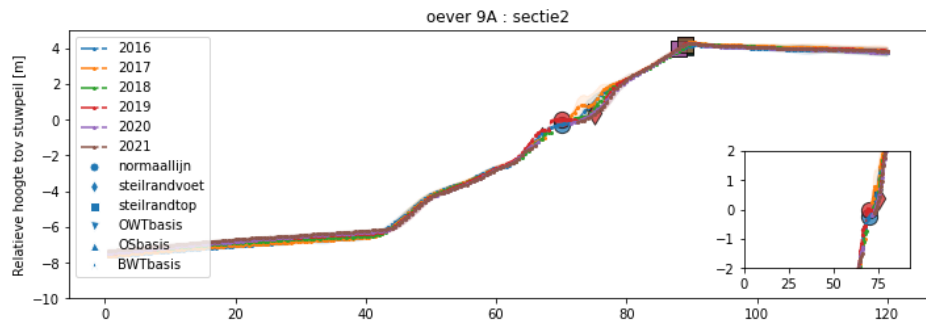
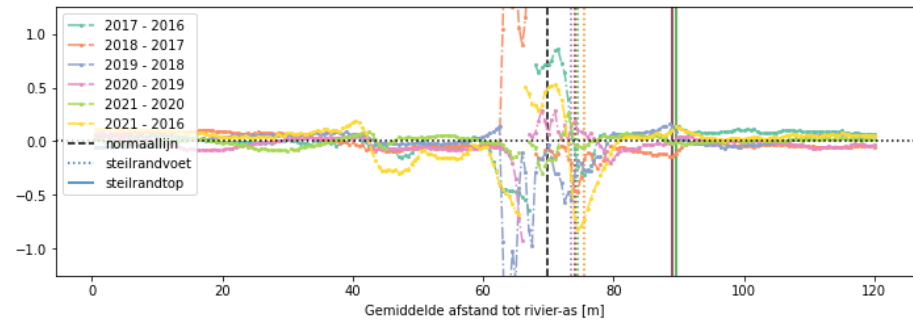
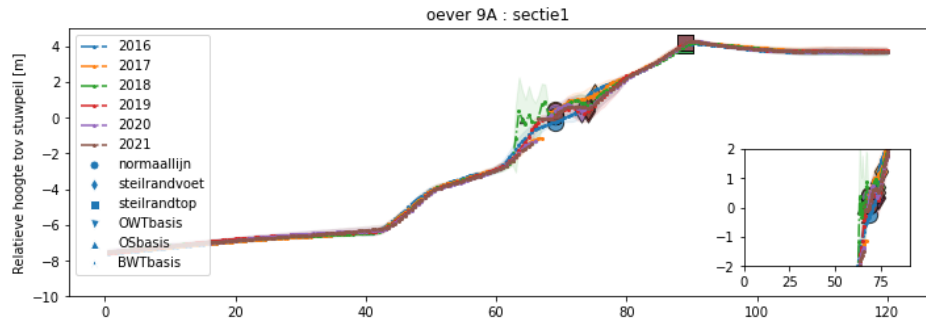




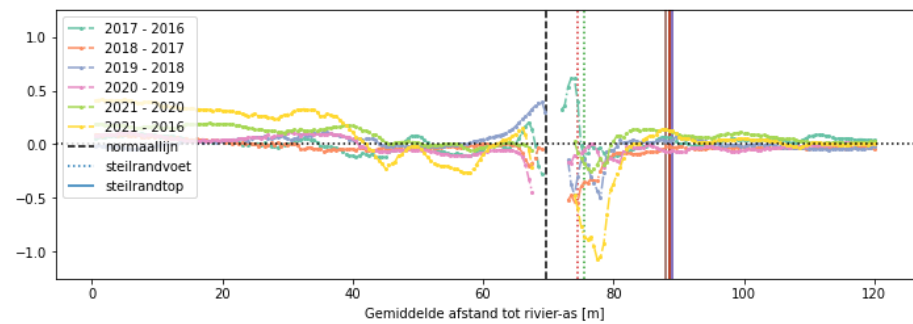
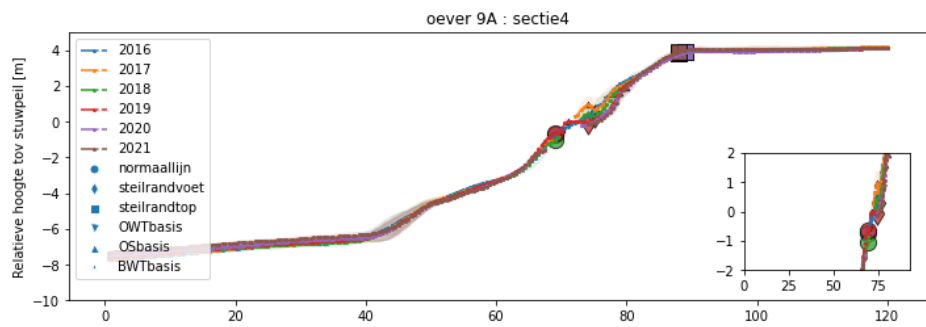
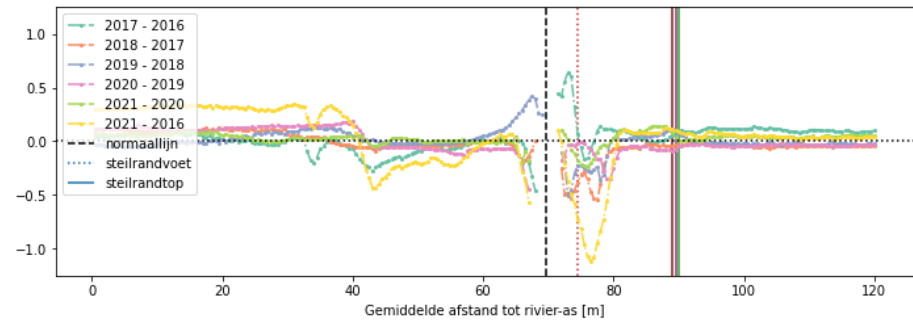
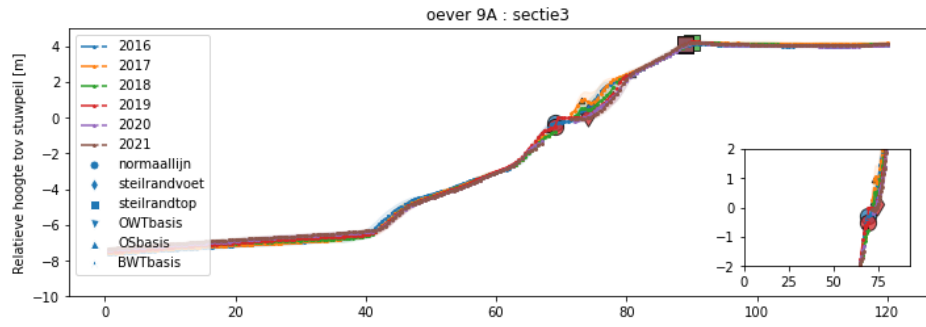


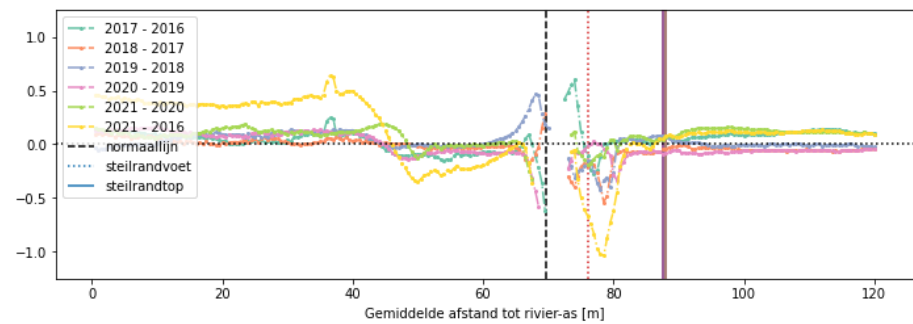
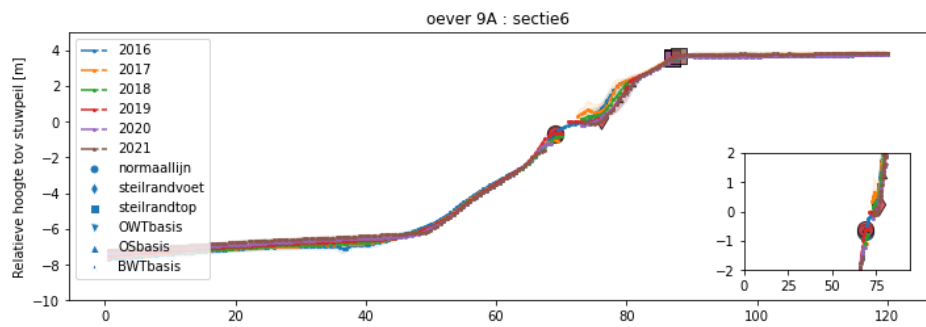
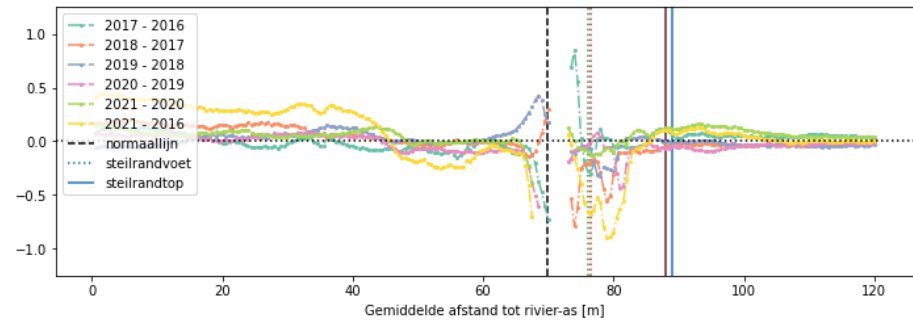
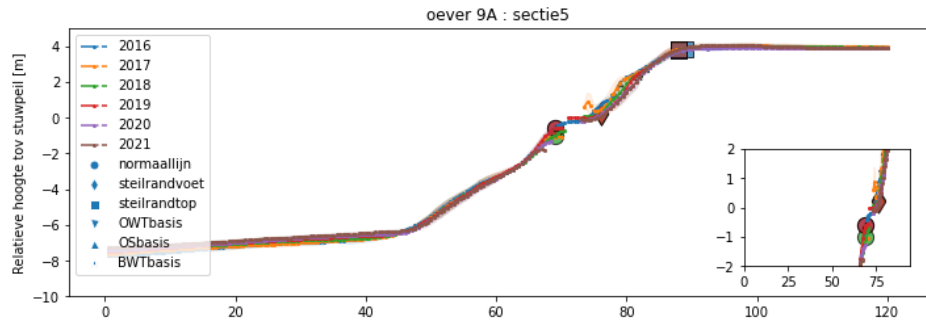


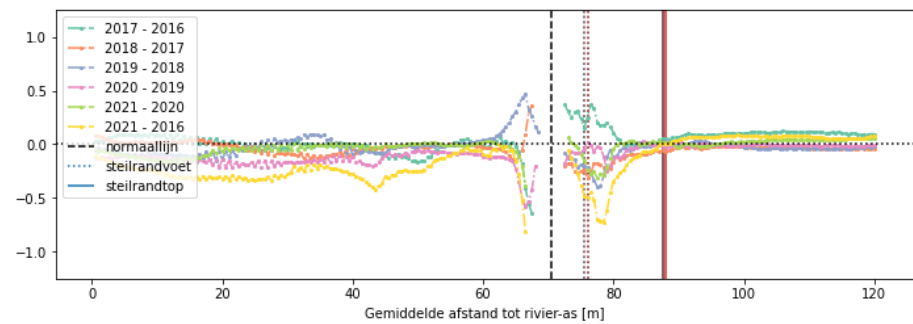
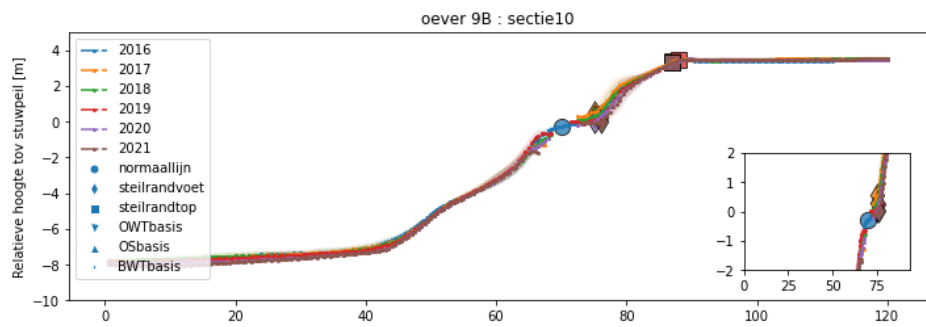
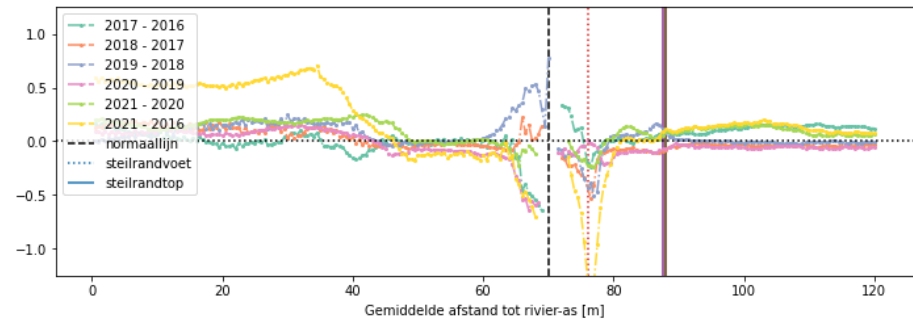
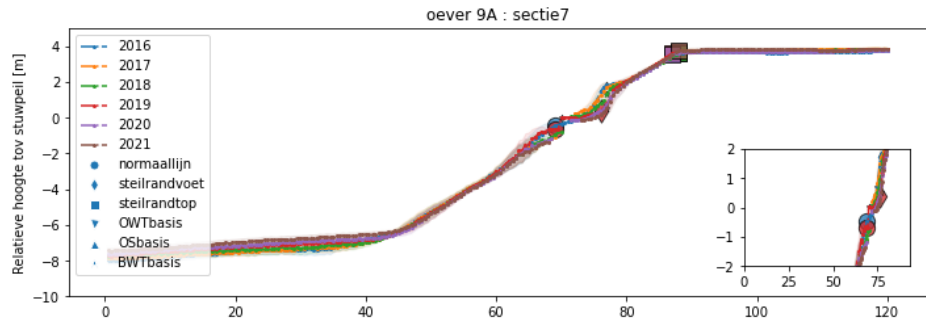


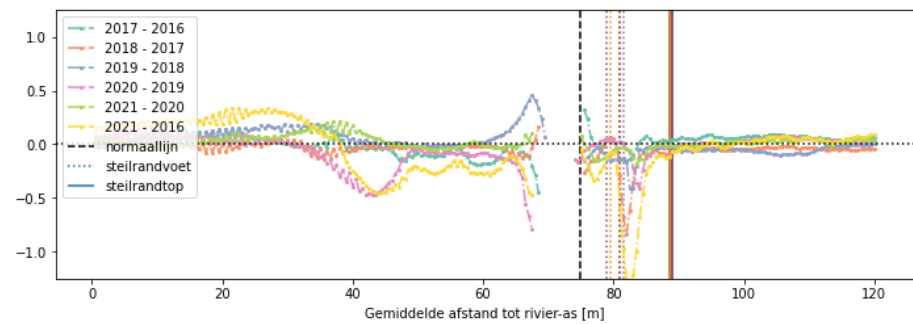
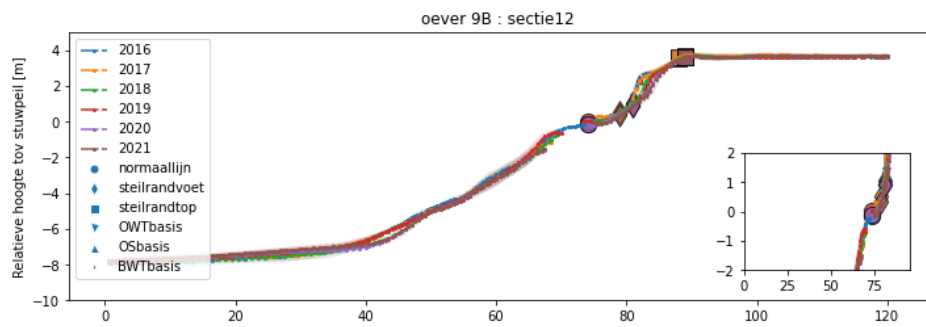
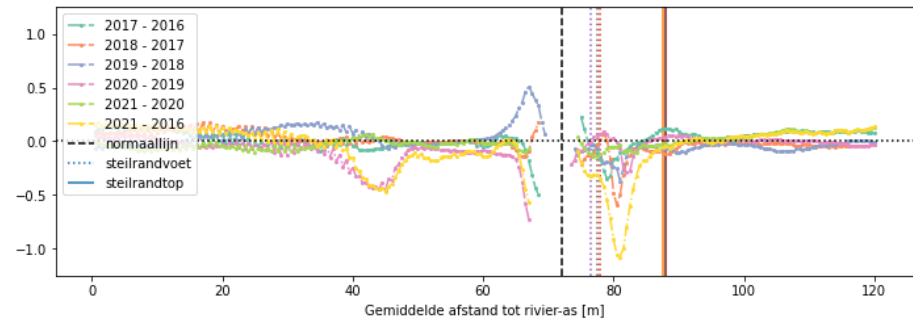
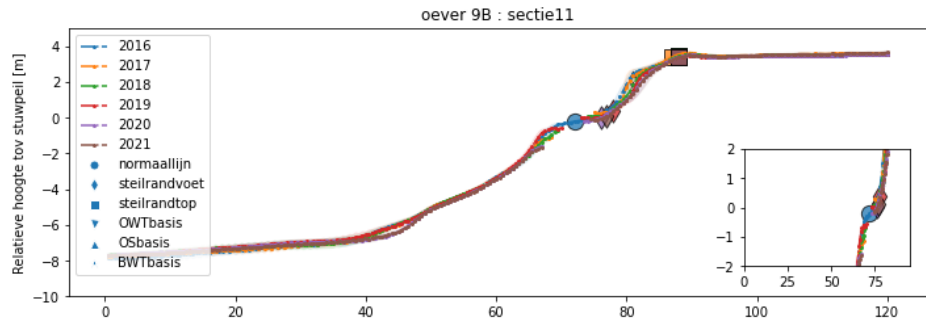


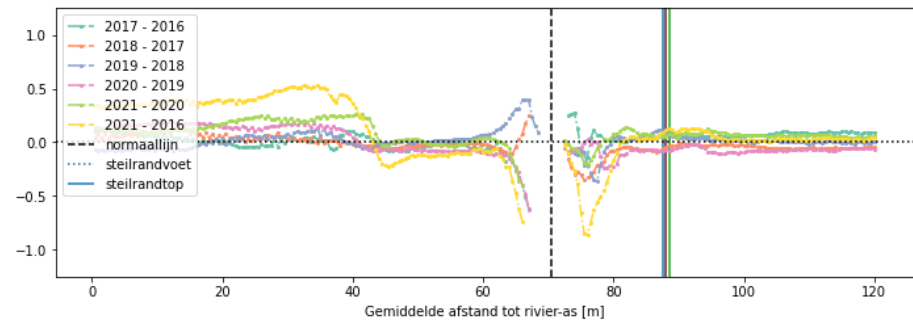
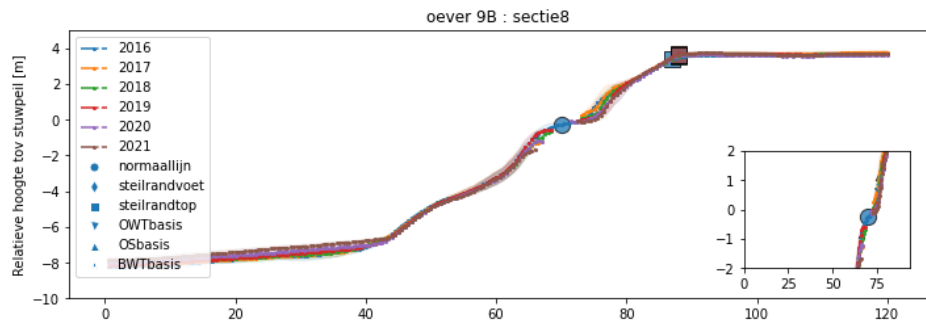
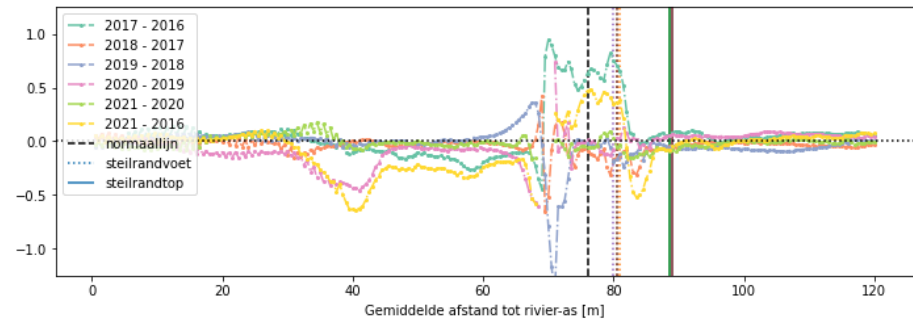
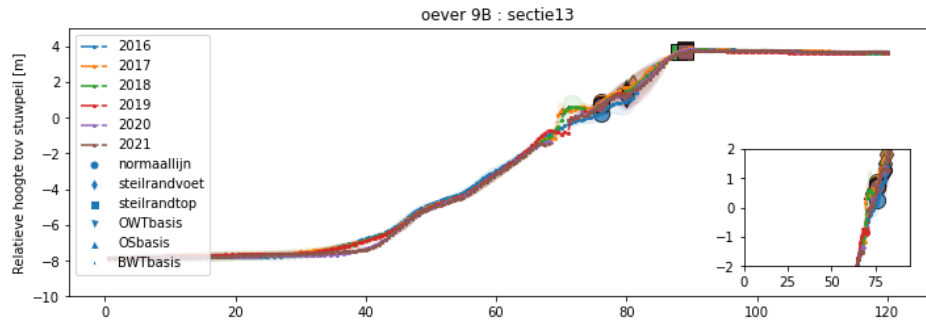




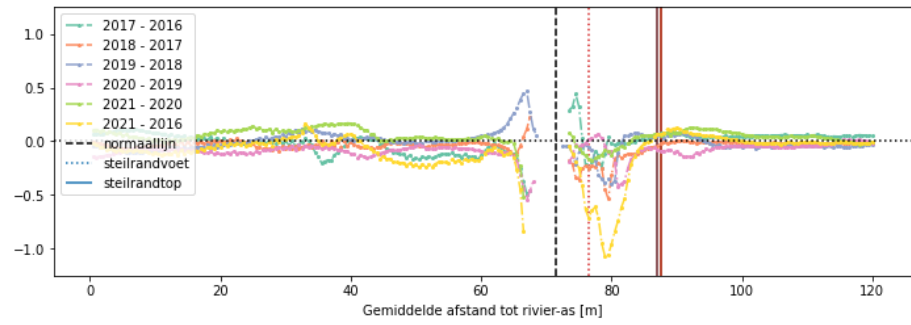
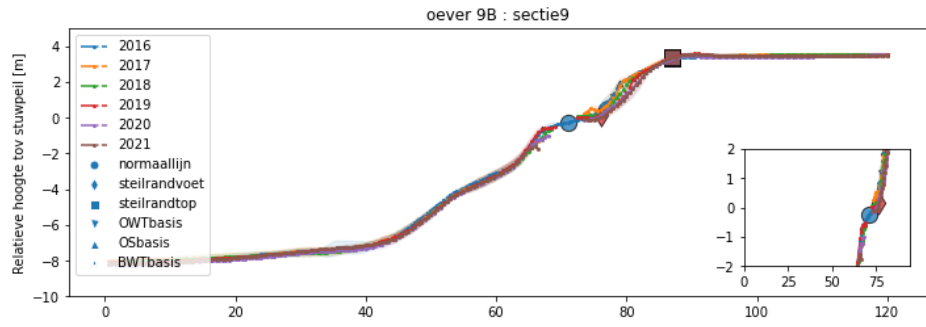












# D Oeverkentallen (ook opgeleverd als .csv)

## D.1 Per oevertype

### D.1.1 Gemiddelde

oever	dy/dt steilrandtop		Steilrandtop hoogte tov stuwpeil		Steilrandvoet hoogte tov stuwpeil		Oeverstrand Talud start		Oeverstrand Talud eind		Oever-referentielijn hoogte tov stuwpeil [m]
	[m/jaar]	std	[m]	std	[m]	std	[1:]	[1:]	std		
oever1A	0,66	1,05	3,03	0,18	1,19		13	11		-0,34	
oever1B	0,04	0,06	2,94	0,04	1,14		21	21		-0,28	
oever2A	0,14	0,06	2,33	0,09	0,72	0,03	43	9	26	0,08	
oever2B	0,02	0,01	2,07	0,30	0,30		4	15		-0,15	
oever3A	0,16	0,23	2,29	0,03						-0,41	
oever3B	0,53	0,11	1,61	0,70	0,54	0,34	122	10	14	-0,20	
oever4A	0,00	0,00	4,16	0,86	1,37	0,97	20	15	25	0,21	
oever4B	0,06	0,04	5,38	0,51	2,32	0,54	21	19	73	-0,36	
oever5A	0,08	0,16	2,66	0,11	0,28	0,28	-37	-22	20	0,32	
oever5B	0,09	0,11	2,76	0,08	0,68	0,36	14	7	11	-0,37	
oever6	0,06	0,07	1,44	0,06	0,25	0,10	40	28	43	0,12	
oever7	0,18	0,17	3,17	0,47	0,30	0,40	-6	322	5	-0,10	
								6			
oever8A	0,07	0,10	3,41	0,28	-1,54	3,29				-3,56	
oever8B	1,08	1,40	2,65	0,25	-2,63	1,76				-3,50	
oever8C	0,40	0,36	2,22	0,24	-0,94	1,38	-15	-1	2	0,00	
oever8D	0,52	1,02	1,88	0,37	0,55	0,44	-67	-	27	0,36	
								504			
oever8E	0,22	0,25	2,23	0,26	0,89	0,49	14	17	22	0,44	
oever8F	0,38	0,59	2,55	0,27	0,72	0,44	85	51	27	0,35	
oever9A	0,01	0,03	3,91	0,24	0,46		19	-13		-0,07	
oever9B	0,05	0,04	3,52	0,16	0,56	0,56	11	13	22	0,10	

**D.1.2 Minimum**

oever	sectie	dy/dt [m/jaar] steilrandtop	Steilrandtop hoogte tov stuwpeil [m]	Steilrandvoet hoogte tov stuwpeil [m]	Oeverstrand Talud start [1:]	Oeverstrand Talud eind [1:]	Oever- referentie- lijn hoogte tov stuwpeil [m]
oever1A	sectie1	0	2,91	1,19	13	11	-1
oever1B	sectie4	0	2,91	1,14	21	21	-1
oever2A	sectie1	0,1	2,26	0,69	-263	12	0
oever2B	sectie3	0,01	1,86	0,30	4	15	0
oever3A	sectie1	0	2,27				-1
oever3B	sectie3	0,41	0,77	0,21	122	56	-1
oever4A	sectie1	0	3,29	0,39	38	25	0
oever4B	sectie10	0	4,53	1,72	21	25	-1
oever5A	sectie1	0	2,57	-0,04	-10	-9	0
oever5B	sectie10	0	2,59	0,28	15	10	-1
oever6	sectie1	0	1,37	0,13	-22	378	0
oever7	sectie0	0	2,50	-0,71	-1	-2	0
oever8A	sectie1	0	3,21	-3,86			-4
oever8B	sectie3	0,15	2,37	-3,76			-4
oever8C	sectie10	0	1,91	-1,96	-5	-1	0
oever8D	sectie16	0	1,54	0,26	-19	-16	0
oever8E	sectie22	0	1,96	0,40	56	-160	0
oever8F	sectie30	0	1,95	0,36	-12	-38	0
oever9A	sectie1	0	3,63	0,46	19	-13	0
oever9B	sectie10	0	3,36	0,09	16	31	0

D.1.3 Maximum

oever	sectie	dy/dt [m/jaar] steilrandtop	Steilrandtop hoogte tov stuwpeil [m]	Steilrandvoet hoogte tov stuwpeil [m]	Oeverstrand Talud start [1:]	Oeverstrand Talud eind [1:]	Oever- referentie- lijn hoogte tov stuwpeil [m]
oever1A	sectie3	1,87	3,24	1,19	13	11	0,08
oever1B	sectie5	0,09	2,96	1,14	21	21	0,12
oever2A	sectie2	0,19	2,39	0,74	20	7	0,08
oever2B	sectie4	0,03	2,28	0,30	4	15	-0,04
oever3A	sectie2	0,33	2,32				-0,24
oever3B	sectie7	0,69	2,24	0,88	122	6	0,22
oever4A	sectie4	0,00	5,15	2,33	14	9	0,70
oever4B	sectie9	0,10	6,06	2,73	21	15	0,65
oever5A	sectie4	0,33	2,78	0,61	29	-164	0,51
oever5B	sectie9	0,29	2,85	0,99	13	4	0,47
oever6	sectie6	0,19	1,55	0,38	15	16	0,28
oever7	sectie9	0,49	3,87	0,85	11	8	0,04
oever8A	sectie2	0,14	3,61	0,79			-3,46
oever8B	sectie5	2,69	2,85	-0,61			-3,23
oever8C	sectie9	0,94	2,53	1,10	15	18	0,44
oever8D	sectie21	2,59	2,59	1,29	20	27	0,64
oever8E	sectie29	0,61	2,76	1,81	8	7	0,82
oever8F	sectie39	1,96	2,86	1,58	15	14	0,82
oever9A	sectie7	0,07	4,18	0,46	19	-13	0,70
oever9B	sectie9	0,11	3,75	1,28	7	7	0,88

## D.2 Per parameter van invloed

### D.2.1 Variatie in Erosiesnelheid

<u>invloed oevertype</u>	Zand	m/jaar	klei of grind	m/jaar
<b>afgegraven oever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 3b (zand met grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,27	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,10
<b>niet afgegraven rechte hoge oever</b>	Nr 7( zand, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,49	Nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	2,59
<u>invloed relatieve oeverhoogte</u>	hoge oever	m/jaar	lage oever	m/jaar
<b>niet afgegraven kleioever dynamisch</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	2,54	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,01
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,07		
<u>invloed afgraven</u>	wel afgegraven	m/jaar	niet afgegraven	m/jaar
<b>hoge zandoever sterk-dynamisch, NVO+</b>	nr 1b (zand met klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,09	nr 7 (zand, NVO+, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,49
<b>hogere kleioever dynamisch, NO</b>	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,10	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,07
<b>lagere kleioever, dynamisch</b>	nr 3a (klei met zand en grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,33	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,01
	nr 1b (zandige klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,09		
<u>invloed binnenbocht-buitenbocht</u>	binnenbocht	m/jaar	buitenbocht	m/jaar
<b>lage kleioever, niet afgegraven, NVO</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,33	nr 6 (klei met zand en grind, NVO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,06
<b>hoge kleioever</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	2,54	Nr 8f (klei met grind, NO, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	1,96
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,07		
<b>niet afgegraven lage oever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,33	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,01
<u>invloed ontwerp</u>	NVO-peil	m/jaar	NO-peil	m/jaar
<b>afgegraven hoge zandoever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 4a (grind met klei, NVO, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,00	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,10
<b>niet afgegraven hoge kleioever</b>	nr 9b (klei op zand, NVO+, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,11	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,07
<b>niet afgegraven hoge kleioever met zand en grind</b>	nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	2,59	nr 8e (klei met zand en grind, NO, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,61
<b>niet afgegraven lage kleioever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,33	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,01



D.2.2 Gemiddelde hoogte steilrandvoet

<u>invloed oevertype</u>	Zand	m/jaar	klei of grind	m/jaar
afgegraven oever in binnenbocht met dynamiek	nr 3b (zand met grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,34	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,54
niet afgegraven rechte hoge oever	Nr 7( zand, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,40	Nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,44
<u>invloed relatieve oeverhoogte</u>	hoge oever	m/jaar	lage oever	m/jaar
niet afgegraven kleioever dynamisch	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	1,76	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,00
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,00		
<u>invloed afgraven</u>	wel afgegraven	m/jaar	niet afgegraven	m/jaar
hoge zandoever sterk-dynamisch, NVO+	nr 1b (zand met klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,00	nr 7 (zand, NVO+, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,40
hogere kleioever dynamisch, NO	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,54	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,00
lagere kleioever, dynamisch	nr 3a (klei met zand en grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,00	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,00
	nr 1b (zandige klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,00		
<u>invloed binnenbocht-buitenbocht</u>	binnenbocht	m/jaar	buitenbocht	m/jaar
lage kleioever, niet afgegraven, NVO	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,28	nr 6 (klei met zand en grind, NVO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,10
hoge kleioever	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	1,76	Nr 8f (klei met grind, NO, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,44
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,00		
niet afgegraven lage oever dynamisch	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,28	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,00
<u>invloed ontwerp</u>	NVO-peil	m/jaar	NO-peil	m/jaar
afgegraven hoge zandoever in binnenbocht met dynamiek	nr 4a (grind met klei, NVO, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	0,97	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	0,54
niet afgegraven hoge kleioever	nr 9b (klei op zand, NVO+, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,56	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,00
niet afgegraven hoge kleioever met zand en grind	nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,44	nr 8e (klei met zand en grind, NO, recht, hoge oever, niet afgegraven)	0,49
niet afgegraven lage kleioever dynamisch	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,28	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	0,00

D.2.3 Gemiddelde oeverstrandtalud

<u>invloed oevertype</u>	Zand	1:	klei of grind	1:
<b>afgegraven oever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 3b (zand met grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	9,84	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	19,23
<b>niet afgegraven rechte hoge oever</b>	Nr 7( zand, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	3225,59	Nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	-503,82
<u>invloed relatieve oeverhoogte</u>	hoge oever	1:	lage oever	1:
<b>niet afgegraven kleioever dynamisch</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,00	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	15,40
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	-13,47		
<u>invloed afgraven</u>	wel afgegraven	1:	niet afgegraven	1:
<b>hoge zandoever sterk-dynamisch, NVO+</b>	nr 1b (zand met klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	20,59	nr 7 (zand, NVO+, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	3225,59
<b>hogere kleioever dynamisch, NO</b>	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	19,23	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	-13,47
<b>lagere kleioever, dynamisch</b>	nr 3a (klei met zand en grind, NO, binnenbocht, lage oever, afgegraven)	0,00	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	15,40
	nr 1b (zandige klei, NVO+, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	20,59		
<u>invloed binnenbocht-buitenbocht</u>	binnenbocht	1:	buitenbocht	1:
<b>lage kleioever, niet afgegraven, NVO</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	-22,17	nr 6 (klei met zand en grind, NVO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	27,60
<b>hoge kleioever</b>	nr 8b (zand met klei en grind, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	0,00	Nr 8f (klei met grind, NO, buitenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	50,78
	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	-13,47		
<b>niet afgegraven lage oever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	-22,17	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	15,40
<u>invloed ontwerp</u>	NVO-peil	1:	NO-peil	1:
<b>afgegraven hoge zandoever in binnenbocht met dynamiek</b>	nr 4a (grind met klei, NVO, binnenbocht, hoge oever, afgegraven)	15,16	nr 4b (klei met grind, NO, recht, hoge oever, afgegraven)	19,23
<b>niet afgegraven hoge kleioever</b>	nr 9b (klei op zand, NVO+, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	12,79	nr 9a (klei op zand, NO, binnenbocht, hoge oever, niet afgegraven)	-13,47
<b>niet afgegraven hoge kleioever met zand en grind</b>	nr 8d (klei met zand en grind, NVO+, recht, hoge oever, niet afgegraven)	-503,82	nr 8e (klei met zand en grind, NO, recht, hoge oever, niet afgegraven)	16,52
<b>niet afgegraven lage kleioever dynamisch</b>	nr 5a (klei, NVO, binnenbocht, lage oever, niet afgegraven)	-22,17	nr 2b (klei, NO, buitenbocht, lage oever, niet afgegraven)	15,40

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](http://www.deltares.nl)