

Morfologische ontwikkeling Noord-Beveland en Breezand

Regio advies kusterosie Banjaardstrand en Breezand



Morfologische ontwikkeling Noord-Beveland en Breezand
Regio advies kusterosie Banjaardstrand en Breezand

Auteur(s)

Edwin Elias

Ellen Quataert

Morfologische ontwikkeling Noord-Beveland en Breezand

Regio advies kusterosie Banjaardstrand en Breezand




Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Stefan Pluis
Referenties	
Trefwoorden	Oosterscheldemonding, Noord-Beveland, Banjaardstrand, Breezand, stranderosie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	22-03-2021
Projectnummer	11206794-001
Document ID	11206794-001-ZKS-0002
Pagina's	82
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Edwin Elias	
	Ellen Quataert	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Edwin Elias 	Marcel Taal 	Toon Segeren 	
	Ellen Quataert			

Samenvatting

Rijkswaterstaat heeft Deltares advies gevraagd over de morfologische veranderingen van de kust bij het Banjaardstrand (Noord-Beveland) en nabij Breezand (Walcheren). Beide stranden zijn aan erosie onderhevig en de strandbreedte is minimaal. Een goede verklaring van de morfologische veranderingen en inzicht in de onderliggende processen is nodig voor het kustbeheer en –onderhoud ter plekke.

De erosie van **het Banjaardstrand** wordt veroorzaakt door de voorliggende geul 'Schaar van Onrust'. Deze geul is na aanleg van de Stormvloedkering zuidelijk verplaatst en grenst direct aan het Banjaardstrand. Dit zorgt ervoor dat zand vanaf het strand via de geul afgevoerd kan worden, waardoor de afvoer groter is dan de aanvoer van sediment en er structurele erosie van het strand optreedt. Alleen door frequent suppleren kan hier een (smal) strand behouden blijven. De geulwandsuppletie in 2013 heeft het doorstroomoppervlak van de geul verkleind, maar de geul is nog steeds aanwezig, daarom is er nog steeds erosie van de kustlijn. Deze kustlijnerosie zal zich ook in de toekomst voorzetten.

De noordzijde van Walcheren grenst aan de grote getijgeul Roompot Zuid, waardoor grote stroomsnelheden en langstransporten optreden. De knik in de kustlijn net ten oosten van Breezand zorgt ervoor dat **Breezand** uitsteekt ten opzichte van de omliggende kust. Het uitstekende bolwerk veroorzaakt hier gradiënten in de stromingen en de transporten, wat leidt tot erosie van het strand. Dit proces zal zich voortzetten tot de kustlijn een evenwichtspositie bereikt. De evenwichtskustlijn kan worden bereikt door erosie van de uitstekende kustlijn, maar ook het aanbod van zand speelt een belangrijke rol in de kustlijnligging. Langs de westkust van Walcheren treedt een noordelijk gericht langstransport op. Dit langstransport zorgt ervoor dat er ter hoogte van Oranjezon, waar de kust een west-oost oriëntatie krijgt, grote banken worden gevormd. Deze banken landen periodiek aan op de noordkust van Walcheren. Na zo'n bankaanlanding bevat het kustvak tijdelijk meer zand en zijn de stranden breder. In de periode 2007-2010 werden deze aanlandingsbanken slecht beperkt gevormd, waardoor het zandaanbod voor de noordkust van Walcheren tijdelijk stakte. Het resultaat van het beperkte sediment aanbod sinds 2007 is nu terug te zien aan het smalle, eroderende strand van Breezand. Een nieuwe aanlandingsbank is in de meest recente LiDAR data al te onderscheiden. De verwachting is dat deze bank in de nabije toekomst het strand van Breezand (tijdelijk) zal verbreden.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Introductie	7
1.1	Probleem- en vraagstelling	7
1.2	Aanpak	7
1.3	Leeswijzer	8
2	Grootschalige analyse Oosterscheldemonding	9
2.1	Een overzicht van de geulen en platen	9
2.2	Morfologische veranderingen in de monding	10
2.3	Ontwikkeling van het drempelgebied tussen Oude Roompot en Roompot Zuid	14
2.3.1	Morfologische ontwikkeling	14
2.3.2	Een overzicht van de waterbeweging	16
2.3.3	Een evaluatie van morfologisch baggeren van de Hompels	17
3	Ontwikkeling van de kustlijn	18
3.1	Overzicht	18
3.2	De evaluatie van de geulwand- en strandsuppletie uit 2013	19
3.3	Morfologische veranderingen van de kustzone	20
3.4	Analyse van de kustlijnindicatoren	23
3.5	Analyse van de individuele kustlijnprofielen: Noord-Beveland	26
3.5.1	Ontwikkeling van deelgebied I (raai 120 – 180)	27
3.5.2	Ontwikkeling van deelgebied II (raai 200 - 380)	29
3.5.3	Ontwikkeling van deelgebied III (raai 380 - 540)	32
3.6	Analyse van de individuele kustlijnprofielen: Breezand	33
3.6.1	Ontwikkeling van deelgebied I (raai 540 – 560)	34
3.6.2	Ontwikkeling van deelgebied II (raai 580 - 700)	35
3.6.3	Ontwikkeling van deelgebied III (raai 700 - 800)	37
3.7	Duin en droge strandontwikkeling in detail	38
3.7.1	Ontwikkeling strand Noord-Beveland	39
3.7.2	Voet van de stormvloedkering	41
3.7.3	Erosie bij Breezand	42
4	Samenvatting en conclusies	44
	Literatuur	47
A	LiDAR Walcheren Noord	48
B	Jarkus Profielen	53
B.1	Noord-Beveland	53
B.1.1	Overzicht van de Jarkus profielen (1965-2020)	53

B.1.2	Overzicht van de MKL per Jarkus raai	64
B.2	Walcheren (Breezand)	69
B.2.1	Overzicht van de Jarkus profielen (1965-2020)	69
B.2.2	Overzicht van de MKL per Jarkus raai	77

1 Introductie

1.1 Probleem- en vraagstelling

Rijkswaterstaat heeft regionaal advies gevraagd over de kustontwikkeling van Noord-Beveland en de kust nabij Breezand (Walcheren). Het Banjaardstrand op Noord-Beveland is al lange tijd aan stranderosie onderhevig met als gevolg overschrijdingen van de BasisKustLijn (BKL). Dit leidt ertoe dat er gemiddeld elke vier tot vijf jaar gesuppleerd moet worden. Daarnaast is de strandbreedte op het Banjaardstrand, dat van groot recreatief belang is, in een aantal raaien relatief klein. Strandbreedte is echter geen directe aanleiding om te suppleren. Het criterium is overschrijding van de Basiskustlijn. Gemeente Noord-Beveland heeft RWS, vanuit oogpunt recreatiebelang vragen gesteld over de Banjaard-strandontwikkelingen. Voor goede beantwoording van die vragen, is een goed inzicht in de oorzaken van de morfologische veranderingen van het strand en aangrenzende vooroever nodig.

RWS heeft zes onderzoeksvragen geformuleerd waarop zij antwoord wil:

1. Waarom is de kust van Noord-Beveland (het Banjaardstrand) in de laatste jaren smaller en steiler geworden?
 - a. Is dit een lokale vervorming of onderdeel van een grootschalige verandering in de voorliggende geulen en platen van de buitendelta?
 - b. Wat zijn hier de drijvende processen?
 - c. Zijn de onderliggende processen structureel (doorgaand) of incidenteel?
2. Wat is de verwachting voor de strandontwikkeling ter hoogte van Jarkusraai 260 en 280 (Noord-Beveland)?
3. Wat is de verwachting van de strand/vooroever ontwikkeling ter hoogte van Breezand (Walcheren)?
4. Wat is de bijdrage van de geulwandsuppletie uit 2013 aan de strandontwikkeling van Noord-Beveland en Breezand? Hieraan gerelateerd: Krijgt de getijstrooming een nieuwe verdeling/oriëntatie, waardoor de lokale, strand/vooroeverontwikkelingen beïnvloedt worden (bijv. steiler en smaller)?
5. Welke andere morfologische ontwikkelingen zijn te verwachten door de nieuwe verdeling van de getijstrooming?
6. Wordt de verdieping van de voormalige ebschaar voortgezet? Kan dat leiden tot een actieve verbinding tussen de Roompot en de Oude Roompot in de Oosterscheldemonding?

1.2 Aanpak

Het onderzoek is aangepakt door meerdere bronnen van meetdata te analyseren. De veranderingen van de voorliggende Oosterscheldemonding zijn in kaart gebracht door analyse van de Vaklodingen. Dit zijn gebiedsdekkende metingen in 20m resolutie die ongeveer elke 3 jaar worden opgenomen. Deze data, tot 2010, zijn gebruikt in de studie van Elias en Van der Spek (2015), welke hier gebruikt is als basis en aangevuld met de meest recente vaklodingen (tot en met 2019). Voor analyse van de ontwikkeling van de kustlijn zijn de Jaarlijkse Kustmetingen (Jarkus) en de LiDAR (kusthoogte) metingen gebruikt. De Jarkusdata worden sinds 1965 ingewonnen. Ze vormen de basis van de berekening van de volumeverandering van de kustzone en kustindicatoren zoals GLW (Gemiddeld LaagWater), GHW (Gemiddeld HoogWater), DV (Duinvoet) en MKL (Momentane KustLijn). Detailanalyses van de individuele raaien verschaft extra inzicht. Voor het droogvallende strand worden ook LiDAR metingen gebruikt. Deze metingen zijn vanaf 1998 beschikbaar. De LiDAR opnames geven ook een gedetailleerd beeld van de morfologische veranderingen van het strand en de eerste duinenrij.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het grootschalige systeem waar de kust van Noord-Beveland onderdeel van is. Hierbinnen wordt in detail gekeken naar het drempelgebied tussen de Oude Roompot en de Roompot Zuid. Hoofdstuk 3 rapporteert over de analyse van de kustlijnontwikkeling tussen raai 120 en raai 800. Dit hoofdstuk vat ook de resultaten van de 2013 geulwandsuppletie samen. Hoofdstuk 4 geeft een gedetailleerde beschrijving van de ontwikkeling van het strand aan de hand van de LiDAR metingen. De conclusies staan in Hoofdstuk 5 in de vorm van een beantwoording van de zes onderzoeksvragen.

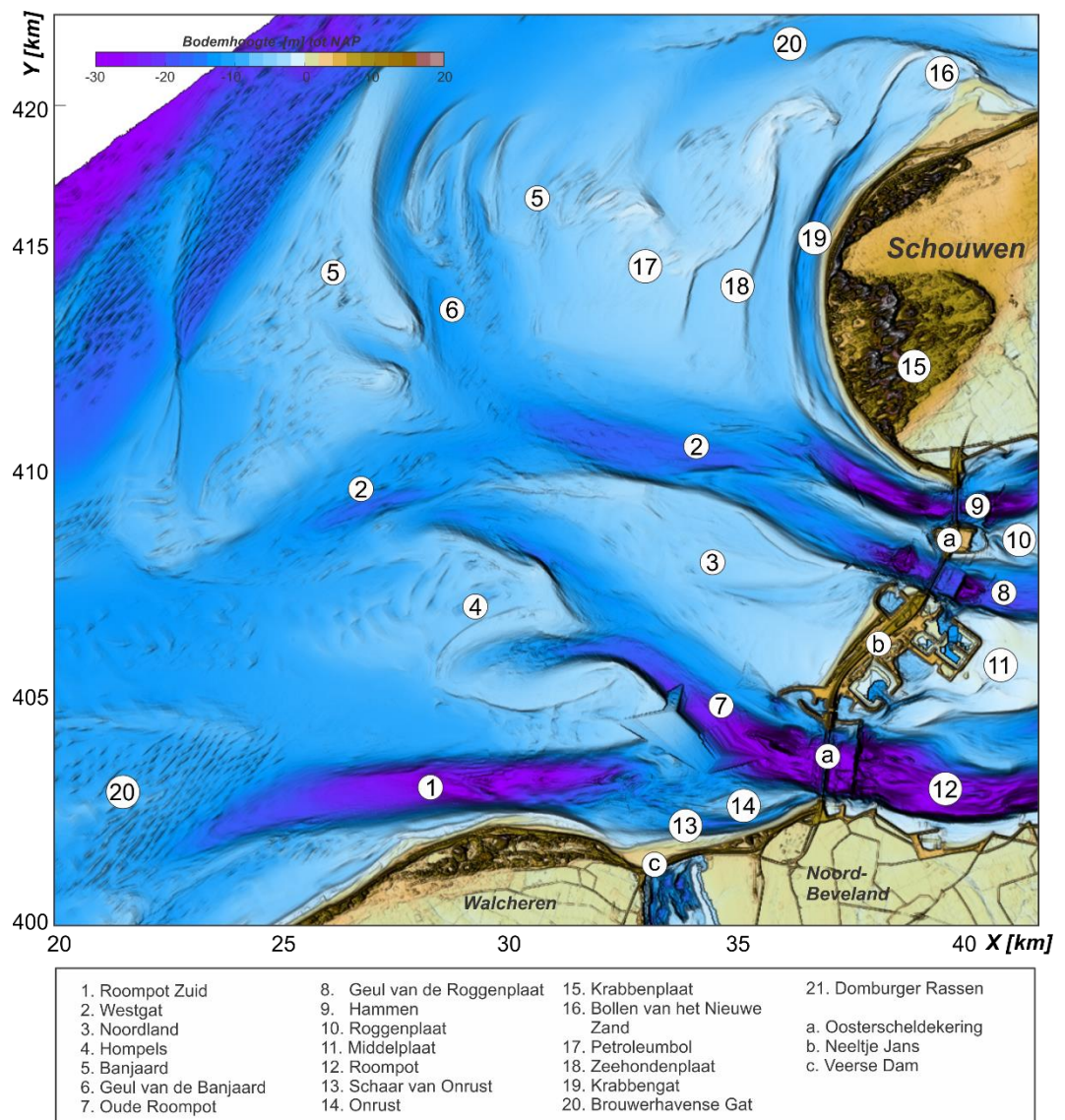
In de rapportage zijn de benodigde figuren al direct verwerkt in de hoofdstukken. Voor de volledigheid worden in de Appendix aanvullende figuren weergegeven van o.a. LiDAR opnamen en de Jarkus metingen. Deze figuren worden verder niet direct in de rapportage gebruikt, maar het mogelijk ook de morfologische ontwikkelingen van andere dwarsprofielen te bekijken.

2 Grootschalige analyse Oosterscheldemonding

Na voltooiing van de Stormvloedkering in 1986 deden zich grote veranderingen voor in de Oosterscheldemonding. Dit hoofdstuk geeft een beknopt overzicht van de grootschalige morfologische ontwikkelingen en de invloed hiervan op de kust van Noord-Beveland en de noordzijde van Walcheren.

2.1 Een overzicht van de geulen en platen

De Oosterscheldemonding strekt zich uit tussen de eilanden Walcheren - Noord-Beveland en Schouwen (Figuur 2-1). Op de buitendelta bevinden zich meerdere grote geulen die zich ver zeewaarts uitstrekken. Lokaal hebben deze geulen dieptes van meer dan 20 m. De ontgrondingskuilen nabij de Oosterscheldekering hebben een diepte van meer dan 50 m.



Figuur 2-1: Overzicht van de Oosterscheldemonding gebaseerd op de 2019 Vakloding. De eilanden zijn opgevuld met het AHN bestand.

In de monding vormt het eiland Neeltje Jans en de aansluitende Middelploot een duidelijke scheiding tussen de noordelijke en zuidelijke geulen. Ten noorden van Neeltje Jans liggen de twee geulen Geul van Roggenplaat en Hammen. Deze twee geulen gaan op de buitendelta over in het Westgat. Het zeewaartse deel van het Westgat buigt af naar het zuidwesten.

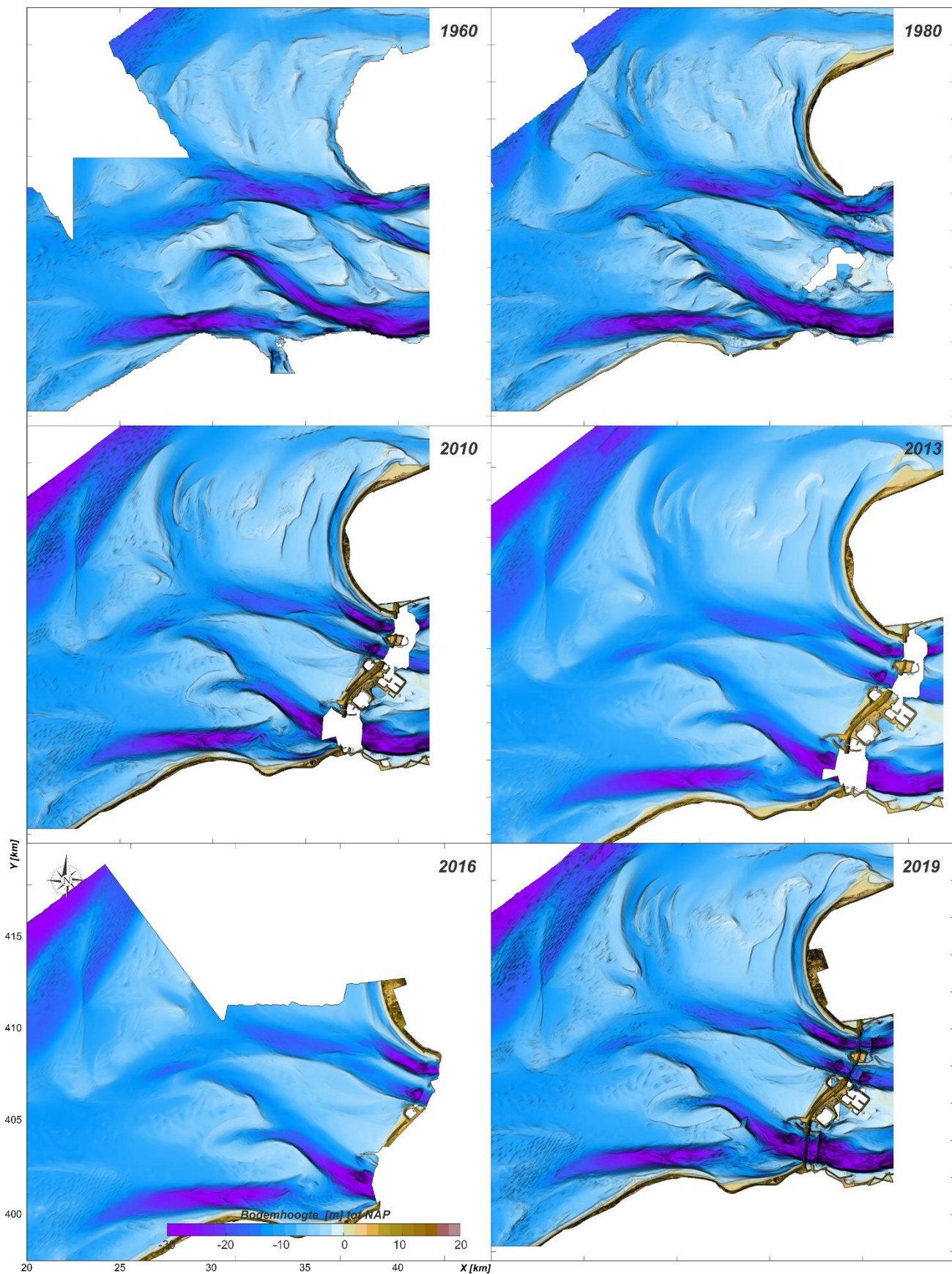
Voor de kust van Noord-Beveland zijn de geulen ten zuiden van Neeltje Jans van belang. Aan de zijde van de Oosterschelde is daar een enkele hoofdgeul: de Roompot. Deze geul splitst aan de zeewaartse zijde van de stormvloedkering in twee takken. Westnoordwestelijk gericht is er de 'Oude Roompot' en in westzuidwestelijke richting loopt de 'Roompot Zuid'. De verbinding van de Roompot Zuid met de Roompot loopt via een ondiep drempelgebied. Het bankengebied Hompels scheidt de Oude Roompot en de Roompot Zuid. Ingeklemd tussen de Roompot Zuid en de kust van Noord-Beveland bevindt zich nog een smalle, maar diepe, geul: de Schaar van Onrust. Aan de noordzijde hiervan ligt de bank Onrust. Een zuidelijke verplaatsing of verdieping van de Schaar van Onrust heeft een direct effect op de naastgelegen kust van Noord-Beveland.

2.2 Morfologische veranderingen in de monding

Het geulen- en platenpatroon in de bodems van 1960 en 2019 is in hoofdlijnen gelijk (Figuur 2-2), maar er hebben zich wel grote veranderingen in de bodem voorgedaan (Figuur 2-3). In de studies van Elias en van der Spek (2015) en Elias et al. (2016) zijn deze veranderingen samengevat. Voor een gedetailleerde uitwerking van de sedimentvolumebalans wordt naar deze twee studies verwezen. Hieronder staan de belangrijkste ontwikkelingen.

Elias en van der Spek (2015) concluderen dat de veranderingen in de monding sterk beïnvloed zijn door de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde in 1986, maar ook de voorafgaande afsluiting van de Grevelingen (1971). Ook de aanleg van dammen aan de binnenkant van het estuarium (de Philipsdam in de Krammer en de Oesterdam bij het Zoommeer) hebben invloed gehad. Tussen 1960 en 1980 vond er op de buitendelta netto aanzanding plaats (Figuur 2-3, boven). In deze periode fungeerde de monding van de Oosterschelde nog als een actieve buitendelta. Aanvoer van sediment vanuit de Oosterschelde deed in deze periode het volume van de buitendelta toenemen. Voor het getoonde gebied in Figuur 2-3 (boven) ligt deze toename op 70 miljoen m³. Als verklaring voor deze toename geven Van den Berg (1984) en Eelkema (2013) dat er tussen 1965 en 1985 een toename van de sedimentexport optrad ten gevolge van de afsluitingen in het estuarium en van de Grevelingen. De grote veranderingen die in het geulenstelsel plaats vonden laten al zien dat in aanloop naar de aanleg van de stormvloedkering de invloed van menselijk ingrijpen al groot was (Figuur 2-2). Door aanleg van het werkeiland Neeltje Jans werd de 'Geul', de verbindingsgeul tussen Roompot en Westgat, afgedamd waarna deze volledig verzandde (+19 miljoen m³, zie 1 in Figuur 2-3). Grote morfologische veranderingen vonden ook plaats in de Geul van de Banjaard en de Hammen. Het kleinere werkeiland tussen de Geul van de Roggen en de Hammen zorgt dat deze twee geulen verder gescheiden werden. Hierdoor zijn deze lokaal sterk verdiept door uitschuring.

De ontwikkeling van het zuidelijke gedeelte van de monding wordt gedomineerd door de veranderingen rond de geul Roompot. De karakteristieke ebschild en ebschaartjes op de Hompels geven aan dat de Oude Roompot een eb-gedomineerde geul is. De ebschaartjes leken vóór de afsluiting een patroon te volgen: Ze ontstonden landwaarts, migreerden zeewaarts, waarna er landwaarts weer een nieuwe ebschaar vormde. Dit patroon blijft tot 1985 duidelijk zichtbaar (zie bijvoorbeeld de 1980 bodem in Figuur 2-2).



Figuur 2-2: Overzicht van de bodemligging in de Oosterscheldemonding in de jaren 1960, 1970, 2010 en 2019.

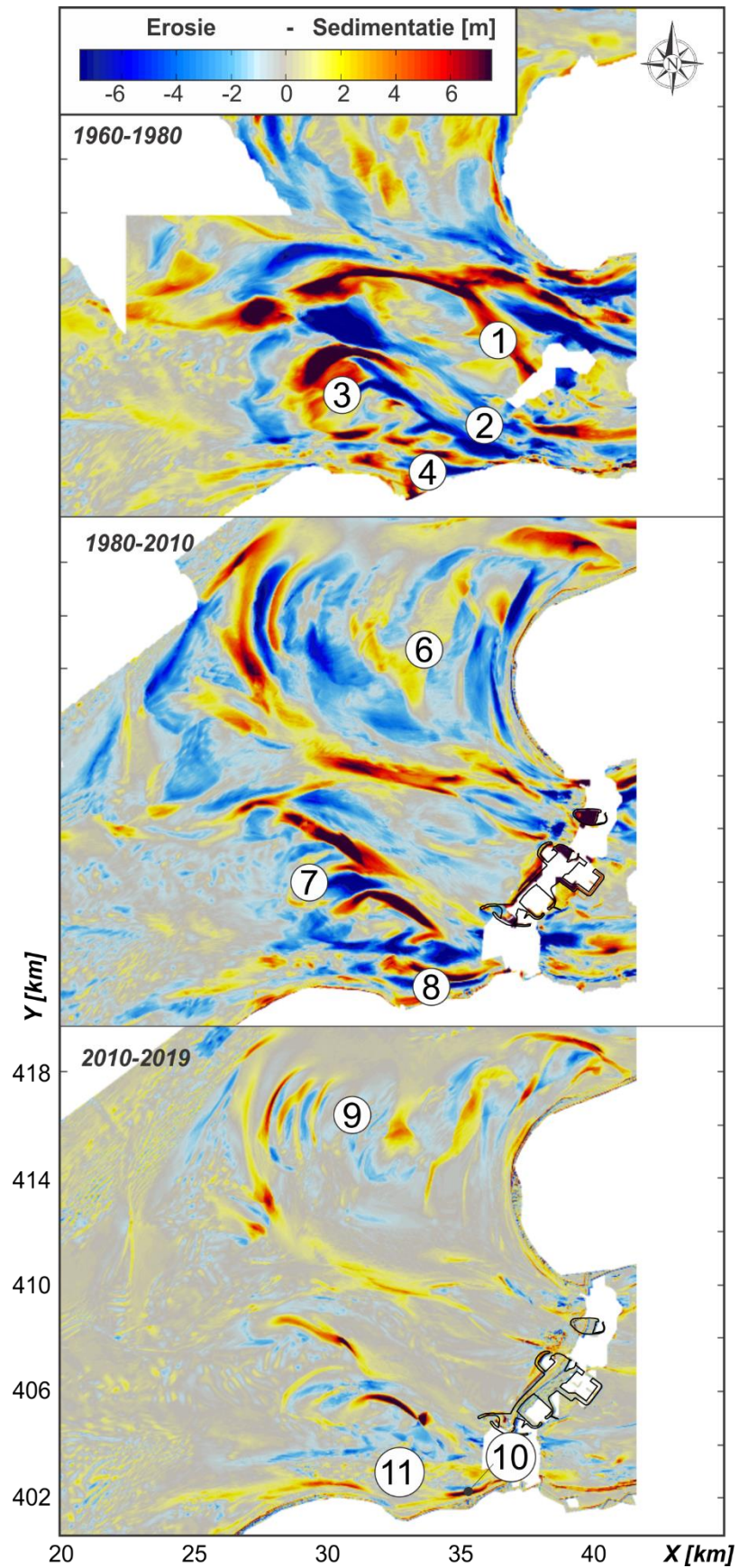
De Oude Roompot verruimde richting het Westgat, waarbij het ebschild verder opgeruimd werd. De vergrote getijprisma's in de Oosterscheldemonding, door aanleg van de Grevelingen- en Volkerakdam, zouden hier mogelijk de oorzaak van kunnen zijn. In totaal verloor het geulensysteem Roompot ~40 miljoen m³ aan sediment (2 in Figuur 2-3), terwijl de naastliggende Hompels met 40 miljoen m³ in volume toenam (3). Voor de kust van Noord-Beveland is vooral de bijna 10 miljoen m³ erosie van de geul van de Onrust van belang (4).

In vergelijking met de grote veranderingen in de Haringvliet en Grevelingen zijn de veranderingen in de Oosterscheldemonding door de aanleg van de Oosterscheldekering beperkt (Figuur 2-2 1980-2010, Figuur 2-3, midden). Dit komt omdat er na aanleg nog een verbinding met het estuarium blijft. Dit houdt zowel het noordelijk als zuidelijk geulensysteem op hoofdlijnen in stand. Wel is de sedimenttoevoer duidelijk gereduceerd. De volumeverandering van de monding over de periode 1980-2010 vertoont dan ook een tegengesteld beeld met de periode 1960-1980 (Figuur 2-3, midden). Over het totale gebied is er een afname in sedimentvolume van bijna -150 miljoen m³. Het van de afname, ~90 miljoen m³, vond plaats op de Banjaard (6) en de Hompels (7). In de periode 1960-1980 was het noordelijke gedeelte van de Banjaard nog vooral aanzandend, maar sinds 1980 vindt hier vooral een herverdeling van sediment plaats.

Langs de kust van Noord-Beveland blijft de erosie van Schaar van Onrust domineren (- 8 miljoen m³, zie 8 in Figuur 2-3). De afwisselende patronen van erosie, sedimentatie en erosie laten zien dat deze erosie samenhangt met het zuidelijk verplaatsen van zowel de geul en naastliggende bank. Dit wordt in hoofdstuk 2.3 in meer detail beschouwd.

De morfologische veranderingen over de periode 2010-2019 lijken beperkt. In tegenstelling tot voorgaande periode nemen nu de volumes toe; in totaal met bijna 40 miljoen m³ (Figuur 2-3c). De grootse toename treedt op in het Westgat en de geul van de Banjaard. Op het bankengebied van de Banjaard (9) is vooral een landwaartse verplaatsing van de banken en geulen te zien. Dit resulteert in elkaar afwisselende gebieden van sedimentatie en erosie.

Nabij Noord-Beveland is een grote aanzanding zichtbaar in de Schaar van Onrust (10). Deze aanzanding komt door de in 2013 aangelegde geulwandsuppletie. Ook langs de noordkust van Walcheren (11) is over het algemeen aanzanding te zien. De voorliggende Roompot Zuid wordt aan de landzijde ondieper. Alleen ter plaatse van Breezand is een klein gebied van lokale erosie zichtbaar.

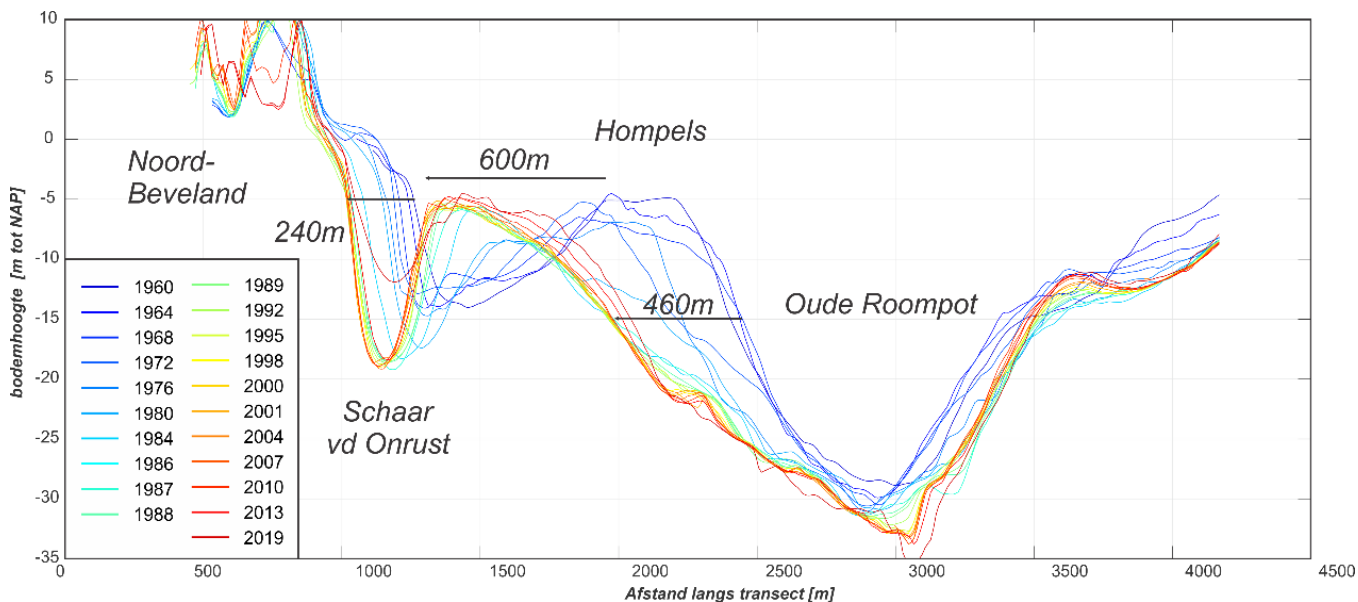


Figuur 2-3: Overzicht van de grootschalige morfologische veranderingen 1960-1980, 1980-2010, 2010-2019 en 1960-2019.

2.3 Ontwikkeling van het drempelgebied tussen Oude Roompot en Roompot Zuid

2.3.1 Morfologische ontwikkeling

De kustlijn van Noord-Beveland wordt vooral beïnvloed door de morfologische ontwikkeling van de voorliggende Onrust en Schaar van Onrust. De Schaar van Onrust vormt een kortsluitgeul tussen de Roompot Zuid en de Oude Roompot. Onder invloed van het zuidelijke deel van de Hompels (Onrust) wordt deze zuidwaarts, de kust ingedrukt (Figuur 2-4 en Figuur 2-5).

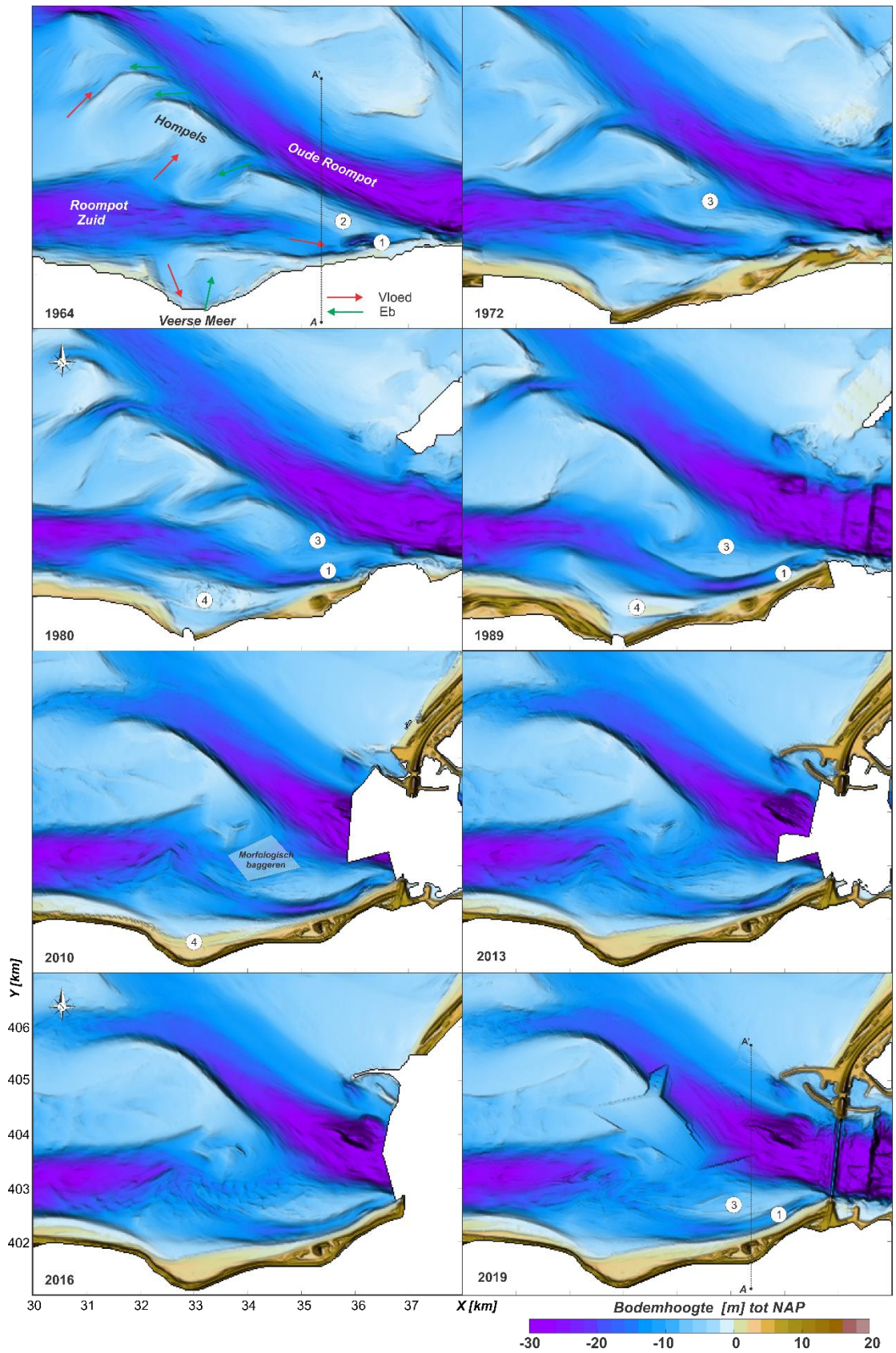


Figuur 2-4: Overzicht van de bodemligging in de Oosterscheldemonding in de jaren 1964 -2019 voor raai A-A' (zie Figuur 2-5 voor ligging).

De dwarsdoorsnede A-A' getrokken vanaf de kust van Noord-Beveland tot op de bank Noordland geeft een goed overzicht van de verplaatsingen en diepte ontwikkeling van de Schaar van Onrust en de Onrust (Figuur 2-4).

In 1964 vormt de Hompels een langgerekte ondiepe bank langs de zuidzijde van de Oude Roompot. Op de bank zijn diverse schaaftjes te onderscheiden. Sommige van deze schaaftjes zijn duidelijk eb- of vloeddominant. Zeewaarts is Hompels breed en relatief ondiep, richting de Oosterscheldemonding wordt de bank de bank smaller en vormt hier een drempel, scheiding, tussen de Oude Roompot en de Roompot Zuid. Tussen de zuidelijke punt van de Hompels (Figuur 2-5, [2]) en de kust van Noord-Beveland bevindt zich een nog kleine geul, met lokaal waarschijnlijk een ontgrondingskuil (1). Dit geultje is vloedgedomineerd en ontstaat doordat een deel van het getij tussen de zuidelijke punt van de Hompels en de kust van Noord-Beveland wordt gedrukt.

De ontwikkeling van de kust van Noord-Beveland wordt sterk gestuurd door de vorming van een ebschaar op de zuidelijke punt van de Hompels (3). Deze ebschaar ontstaat tussen 1972 en 1989. De bijbehorende bank (Onrust) verplaatst zich, onder druk van deze ebschaar, langzaam zuidelijk. De Schaar van Onrust wordt daardoor steeds smaller en dieper. Een diepe, langgerekte geul vormt zich langs de kust van Noord-Beveland. Deze geul is een belangrijke oorzaak van het smalle strand en de optredende erosie. In 2019 ligt de geulbodem van de Schaar van Onrust hoger dan in de 2013. Dit is het gevolg van de geulwandsuppletie die in 2013 is uitgevoerd. De geulwandsuppletie uitgevoerd in 2013 verkleint dan de geuldiepte tot -12m in de 2019 bodemopname.

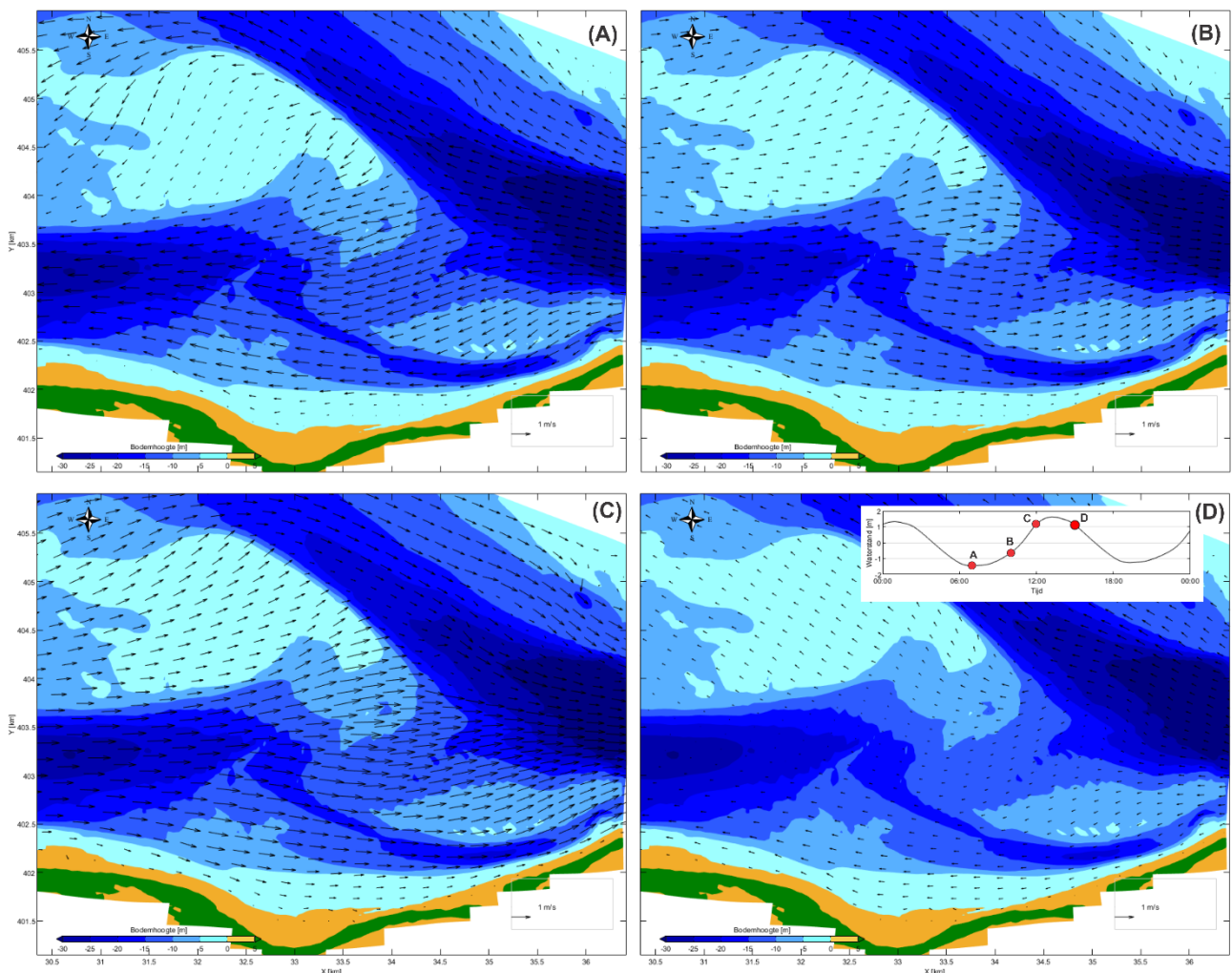


Figuur 2-5: Overzicht van de bodemligging in de Oosterscheldedemoning in de jaren 1964 -2019.

2.3.2 Een overzicht van de waterbeweging

Figuur 2 6 geeft een overzicht van de waterbeweging in het drempelgebied tussen de Oude Roompot en de Roompot Zuid en langs de kust van Noord-Beveland. De onderliggende modelresultaten zijn afkomstig van modellering die is uitgevoerd ter evaluatie van suppletie-strategieën in dit gebied (Van der Werf et al., 2010). In de figuur zijn 4 momentopnamen van de dieptegemiddelde stroming zichtbaar. Tijdens maximale eb (A) is er een sterke zeewaartse stroming zichtbaar in zowel de Oude Roompot en over het drempelgebied de Roompot Zuid in. De hoogste stroomsnelheden (> 1.5 m/s) treden in het drempelgebied op. In de Schaar van Onrust en in de Roompot Zuid liggen de stromingen dan rond de 0.9 m/s. De maximale vloedstromingen (C) zijn hoger dan de maximale ebstromingen. In het drempelgebied tussen de Hompels en de Onrust worden stroomsnelheden van rond de 1.6 m/s bereikt en in de Schaar van Onrust bedragen de stroomsnelheden 1.2 m/s. Het geselecteerde getij geeft een beeld van een gemiddeld getij. Zowel de eb- als vloedstromingen variëren sterk over de springtij-doodtij cyclus. In de Schaar van Onrust varieert de maximale ebstroming tussen de 0.55 en 1.0 m/s en de maximale vloedstroming tussen de 0.7 en 1.2 m/s.

De conclusie op basis van de stromingen is dat de Schaar van Onrust vloedgedomineerd is. Ook debietmetingen uitgevoerd tussen 2004 en 2009 (Dekker, 2006, 2009, 2010) geven deze vloeddominantie aan. De vloeddebieten zijn met 81-84 miljoen m^3 /getij veel groter dan de ebdebieten (43-50 miljoen m^3 /getij).



Figuur 2-6: Een overzicht van de stroombeelden langs de kust van Noord-Beveland op basis van de modellering gepresenteerd in Van der Werf et al. (2010).

2.3.3 Een evaluatie van morfologisch baggeren van de Hompels

In de periode 1993-2008 is door morfologisch baggeren getracht de erosieve druk op de kust van Noord-Beveland te verminderen. Morfologisch baggeren houdt in essentie in dat er niet alleen zand wordt aangebracht ter plaatse van de optredende erosie, maar dat er ook lokaal zand gewonnen wordt met als doel de optredende (getijde)stromingen te beïnvloeden. Er wordt dus geen zand van buiten het kustfundament aangevoerd. RWS Zeeland heeft een afspraak gemaakt met het bestuurlijke ZOW (Zeeuws Overleg Waterkeringen), om tussen 2000 - 2010 het morfologisch baggeren Roompot-Hompels samen met strandsuppleties voort te zetten, gevolgd door evaluatie.

Het baggeren vond plaats op de voorliggende Hompels, in het drempelgebied tussen de Roompot Zuid en Roompot (zie Figuur 2-5, 2000 voor ligging). Een evaluatie van dit morfologisch baggeren is uitgevoerd door De Groot (2002) en samengevat in Van der Werf et al. (2012). Belangrijke conclusies zijn:

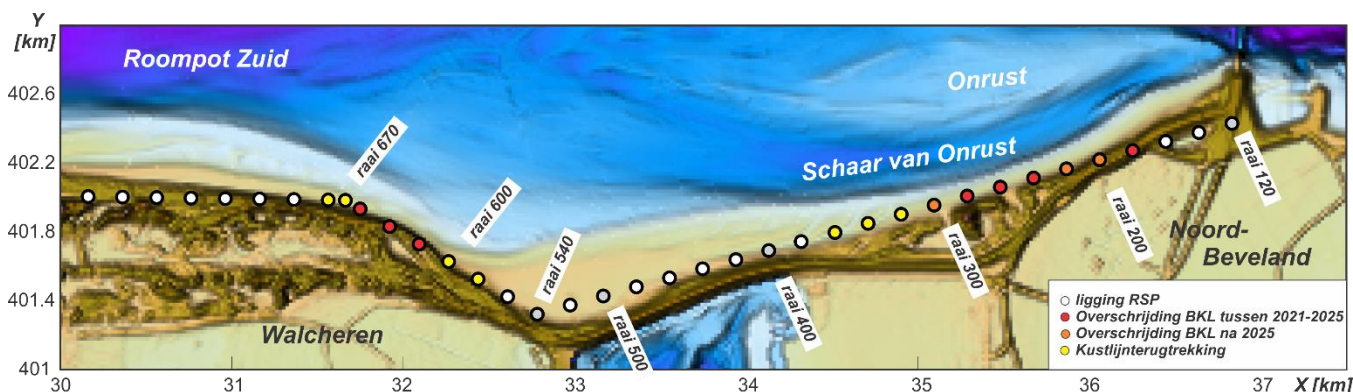
- Het morfologisch baggeren heeft de Roompot-Hompels dieper en meer ebgedomineerd gemaakt, met een uitbouwend ebschild. Dit is mede veroorzaakt door het baggeren vanuit de ebkant (kant van de Oude Roompot).
- De verwachte doorbraak van het ebschild tussen de Roompot Zuid en de Oude Roompot is uitgebleven.
- De effectiviteit van het verdiepen van het ebschild neemt toe met de grootte van het baggeren en naarmate meer “de gewenste morfologie gemaakt wordt”. De totale hoeveelheid aan baggervolume, ongeveer 3 miljoen m³, is echter niet voldoende geweest om een kortsluitgeul te maken. Het resultaat is een sterker gescheiden eb- en vloedsysteem met meer water door de Schaar van Onrust tijdens vloed en meer water door de Roompot-Hompels gedurende de ebfase van het getij.
- Het doorstroomoppervlak van de Schaar van Onrust is gemiddeld 8% kleiner geworden na 1986, wat veel minder is dan de 29% debietafname als gevolg van de aanleg van de Oosterschelde. Deze afname is waarschijnlijk alleen veroorzaakt door morfologische aanpassing aan het afgenomen getijdeprisma dat de Oosterschelde instroomt en niet door het morfologisch baggeren. Het ebdebiet in de Schaar van Onrust is afgenomen, waardoor deze geul meer vloeddominant is geworden.

In de studie van Van der Werf et al. (2012) wordt tevens geconcludeerd, dat er geen vermindering waarneembaar is van de kusterosie door de Schaar van Onrust na 1993. Het oostelijke deel van het kustvak aan (raaien 120 t/m 180) groeit aan. Het middendeel (raaien 200 t/m 260) erodeert sterk, zowel het strand als de geulwand, zodat de kustlijn met de BKL als referentie niet te handhaven is. Tussen raaien 280 t/m 400 is het strand te behouden met suppleties. Een deel van het suppletiezand wordt via kustlangs transport in het oostelijke gedeelte van het kustvak opgeslagen, de rest verdwijnt grotendeels van het strand waar het als slijtlaag heeft gediend. De strandsuppleties komen niet (meetbaar) ten goede aan de eroderende stukken geulwand.

3 Ontwikkeling van de kustlijn

3.1 Overzicht

Figuur 3-1 geeft een gedetailleerd beeld van de kustlijn en vooroever van Noord-Beveland en de noordzijde van Walcheren. Centraal in het kustvak ligt de Veerse Dam (tussen raaien 400 en 540). De afsluiting van het Veerse Meer werd voltooid in 1961. Vóór afsluiting was er bodem nog een kleine buitendelta (Figuur 2-5, 1964). Na afsluiting, met het wegvallen van de in- en uitstroming richting het Veerse meer, hebben zich grote veranderingen in de vooroever voorgedaan. De voorliggende ondiepe banken werden landwaarts verplaatst, waardoor de strandzone hier sterk uitbouwde (zie Figuur 2-5, 1972-2010).



Figuur 3-1: Een overzicht van de kust van Noord-Beveland (raai 120-500) en Walcheren (raai 540 – 570). Overschrijding op basis van de kustlijnbeoordeling 1-1-2021. Niet alle getoonde raaien zijn toetsraaien.

Ten noorden van de Veerse Dam ligt de kustlijn van Walcheren, beginnend bij raai 540. Hier ligt ter hoogte van Breezand een knikpunt in de kustlijn. In dit knikpunt, tussen raai 600 en 670, is het strand smal en dreigt overschrijding van de BKL.

De kustlijn van Noord-Beveland strekt zich uit vanaf de Veerse Dam tot de Oosterscheldekering. Het strand tussen raai 200 en raai 300 is smal en hier grenst de Schaar van Onrust direct aan de kust. Het stuk strand tussen raai 130 en 400 wordt sinds 1973 gesuppleerd. In totaal is hier 4.4 miljoen m³ zand toegevoegd (Tabel 3-1). Met uitzondering van de geulwandsuppletie in 2013 zijn deze suppleties uitgevoerd op het strand. De gesuppleerde volumes liggen over het algemeen tussen de 400.000 en 500.000 m³. Een volgende suppletie is al ingepland.

Tabel 3-1: Een overzicht van uitgevoerde suppleties in het kustvak Noord-Beveland.

Locatie	Datum	Begin raai	Eind raai	Type	Volume (situ) [m ³]	Volume [m ³ /m]
Onrustpolder	01-Jan-73	180	220	strandsuppletie	210.000	525
Onrustpolder	01-May-93	220	365	strandsuppletie	411.000	283
Onrustpolder	01-Jan-96	210	380	strandsuppletie	435.000	256
Onrustpolder	01-Jan-00	200	360	Strandsuppletie	524.000	328
N-Beveland	01-Apr-04	135	405	Strandsuppletie	502.000	186
Onrustpolder	01-Oct-08	140	400	Strandsuppletie	461.000	177
Onrustpolder	01-Apr-13	160	340	Geulwandsuppletie	1.500.000	833
Onrustpolder	01-Apr-13	180	320	strandsuppletie	360.000	257
Onrustpolder	01-Sept-18	160	320	strandsuppletie	-	400
Totaal					4.403.000	

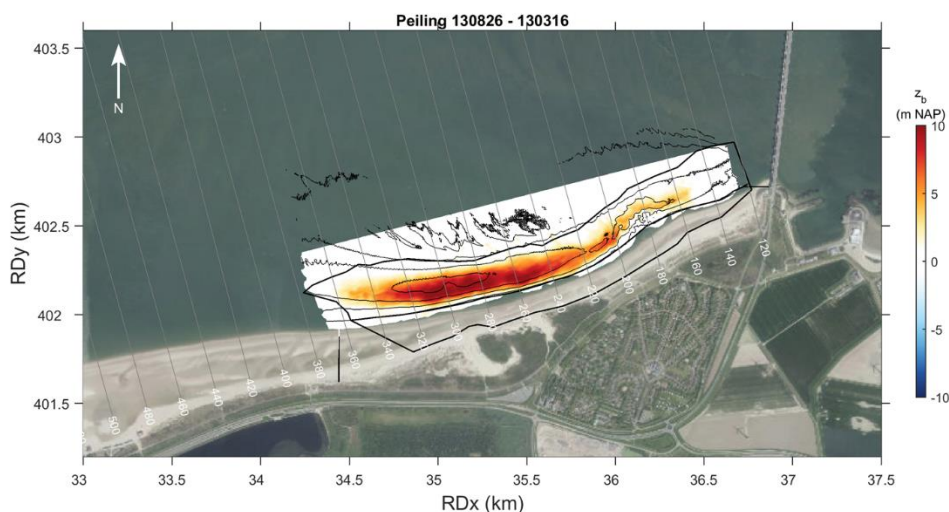
3.2 De evaluatie van de geulwand- en strandsuppletie uit 2013

Naast de frequent terugkerende strandsuppleties is in 2013 een geulwandsuppletie uitgevoerd. Een uitgebreide evaluatie van deze suppletie ná aanleg is uitgevoerd door Schrijvershof (2017). Ondersteunend onderzoek ter voorbereiding van de suppletie is gerapporteerd in Van der Werf (2012). Dit hoofdstuk vat de belangrijkste resultaten uit deze twee studies.

In Van der Werf (2012) zijn twee hypothesen opgesteld over het mogelijke effect van de geulwandsuppletie, op basis van de geulwandsuppleties bij Walcheren en Oost-Vlieland:

1. De suppletie fungeert als erosiebuffer; de eroderende processen worden vertraagd en dit heeft een positief effect op de MKL.
2. De suppletie blokkeert de stroming door de geul; er kan een nieuwe geul ontstaan en dit heeft een negatief effect op de MKL. Dit is niet het geval als er een andere, bestaande geul, de debietafname opvangt.

De uitgevoerde geulwandsuppletie blokkeert de getijstroming, waardoor de stroomsnelheid in de geul naar verwachting afneemt. Dit is in lijn met de modelvoorspellingen van Van der Werf (2010) waar 12% (vloed) en 18% (eb) afname in getijdebiet werd voorspeld. Er is echter geen nieuwe geul ontstaan, de debietafname is waarschijnlijk opgevangen door de Roompot-Hompels geul ten noorden van de plaat Onrust. De ontwikkeling en het effect van de geulwandsuppletie komt goed overeen met bovengenoemde hypothese 2.



Figuur 3-2: Vershilkaart van de in- en uitpeiling van de geulwandsuppletie Schaar van Onrust in 2013. Zwarte contourlijnen geven de bathymetrische situatie van de inpeiling weer, grijze lijnen geven de ligging van de JARKUS raaien (uit Schrijvershof, 2017).

De geulwandsuppletie van 1,5 miljoen m^3 is in april en mei 2013 aangelegd tussen de raaien 160 – 340 (Figuur 3-2). Gelijktijdig is er een strandsuppletie van 0,41 miljoen m^3 uitgevoerd tussen dezelfde raaien. Het centrale gedeelte van de suppletie (rond raai 280) is zo aangelegd dat de helling van het kustprofiel is afgenomen van ongeveer 1:7 tot ongeveer 1:13. De geulwandsuppletie is daarbij niet alleen tegen de landwaartse (zuidelijke) geulwand neergelegd maar ook voor een gedeelte tegen de zeewaartse (noordelijke) geulwand. De Schaar van Onrust is door de manier waarop de suppletie is aangebracht voor een groot gedeelte opgevuld (geulopvulling). Dit verminderde het doorstroomoppervlak van de geul aanzienlijk. Ter plaatse van raai 280 is het doorstroomoppervlak afgenomen van $\sim 3000 m^2$ naar $\sim 1600 m^2$ onder NAP -5 m (indicatie op basis van de diepte en breedte van de geul), een afname van bijna 50%.

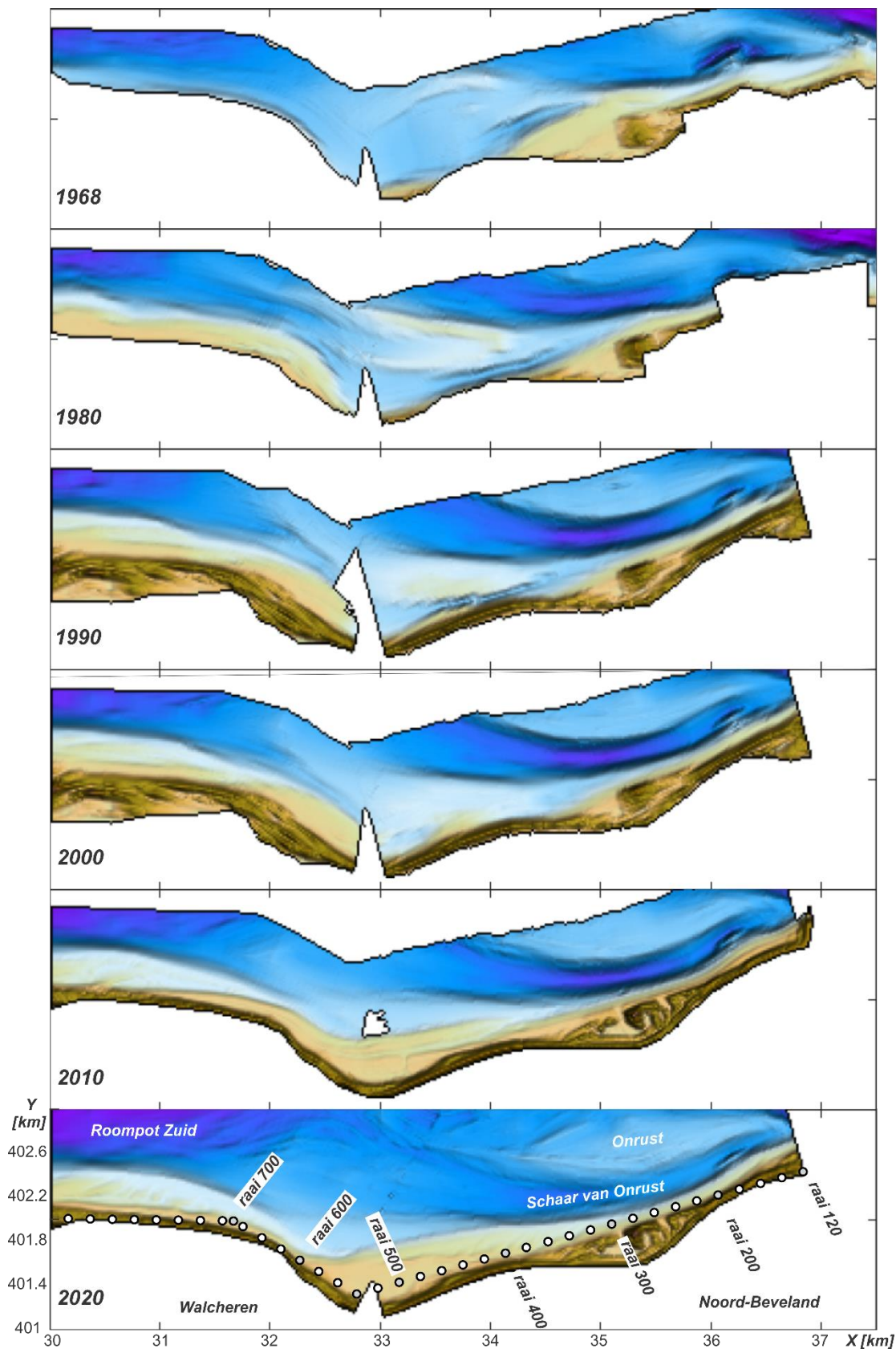
Geconstateerd wordt dat zeer weinig erosie van de geulwandsuppletie optreedt, dus deze is tot nog toe stabiel. Deze conclusie werd in de rapportage van Schrijvershof (2017) getrokken, maar lijkt ook in de meest recente (2019) opname nog toepasbaar. Na aanleg van de suppletie is de geul verder aangezand. De lokale kustlijnerosie wordt door de strandsuppletie gecompenseerd. De geulwand- en strand-suppletie hebben er echter niet voor gezorgd dat de structurele kustlijnerosie van het strand en de landwaartse verplaatsing van de MKL veranderd zijn. De MKL is door de strand-suppletie zeewaarts verschoven, maar de MKL-trend bleef landwaarts gericht. Dit komt doordat er nog steeds erosie in het bovenste gedeelte van het kustprofiel (het strand) plaatsvindt.

De volumeontwikkeling van het strand in de periode 2009-2013 is gelijk aan de volumeontwikkeling in de periode 2014-2016. De erosie van het strand zet dus met eenzelfde trend door. De levensduur van de strandsuppleties bij Noord-Beveland zal op de korte termijn waarschijnlijk gelijk zijn aan de levensduur van voorgaande suppleties. Bij Noord-Beveland is er in de afgelopen twee decennia ongeveer elke 4-5 jaar een strandsuppletie uitgevoerd.

3.3 Morfologische veranderingen van de kustzone

Figuur 3-3 geeft de morfologische veranderingen van de kustzone aan de hand van een aantal geselecteerde Jarkusgrids. De Jarkus-zone strekt zich uit van ruwweg de duinvoet tot een kleine kilometer zeewaarts. De metingen zijn vrijwel jaarlijks beschikbaar sinds 1964, alhoewel de oudere datasets (1964-1990) niet altijd geheel dekkend gemeten zijn. De morfologische veranderingen bevestigen het beeld dat ook al vanuit de analyse van de Vaklodingen ontstaat. De erosie van de kustzone concentreert zich tussen raai 200 en 400 doordat hier de Onrust en de geul van de Onrust zuidelijk verplaatsen.

Analyse van deze jaarlijkse metingen geeft een gedetailleerd beeld van de volumeverandering van de kustzone. Hiervoor is de kustzone onderverdeeld in 4 deelgebieden (Walcheren Noord, Breezand, Veerse Dam en Noord-Beveland); zie Figuur 3-4. Voor ieder deelgebied is de volumeverandering van de strandzone en van de vooroever bepaald tussen 1970 en 2020. De strandzone is hierbij gedefinieerd als de zone tussen de -1.1 m NAP en de duinvoet (+3 m NAP). De vooroever is de kustzone dieper dan -1.1 m tot de zeewaartse grens van het profiel. Zoals te zien in Figuur 3-3 zijn niet alle Jarkusgrids met gelijke dekking opgenomen. Een gelijkwaardige dekking is echter wel essentieel voor het berekenen van de volumeveranderingen. Per jaar zijn de missende data punten daarom ingevuld met de gegevens van het eerstvolgende jaar waarin deze data beschikbaar is. Jaren waarin een te kleine dekking aanwezig is of jaren met onrealistische bodemveranderingen zijn niet meegenomen in de analyse, dit betreft met name de oudere jaren 1971, 1973, 1974, 1976, 1977, 1981, 1985. Ook data voor het jaar 2006 is niet aanwezig in de dataset.



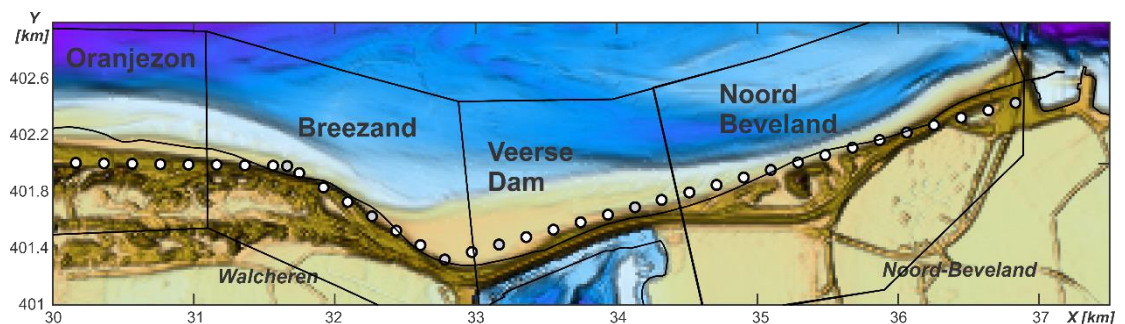
Figuur 3-3: Ontwikkeling van de kustzone tussen raai 120 en raai 800.

Volumeontwikkeling strand

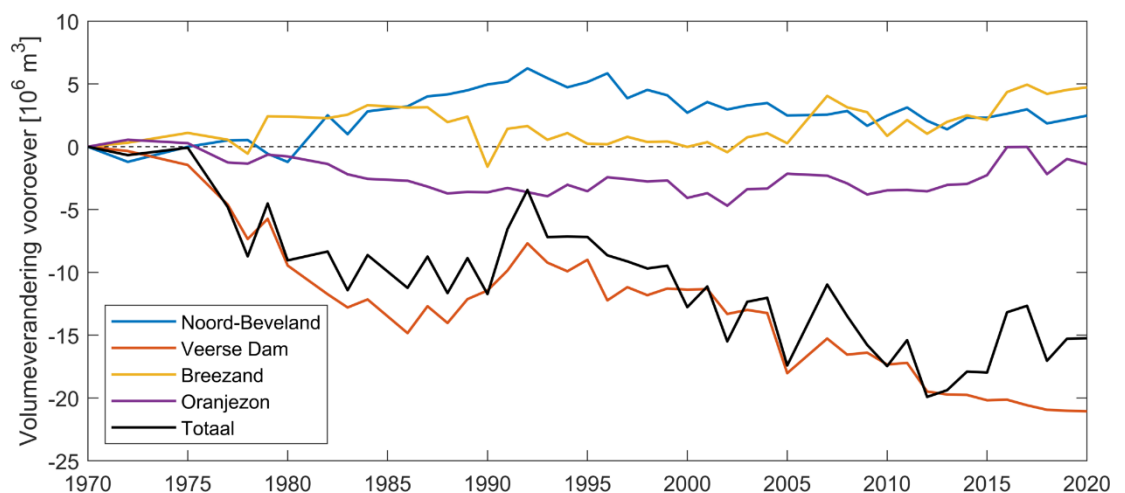
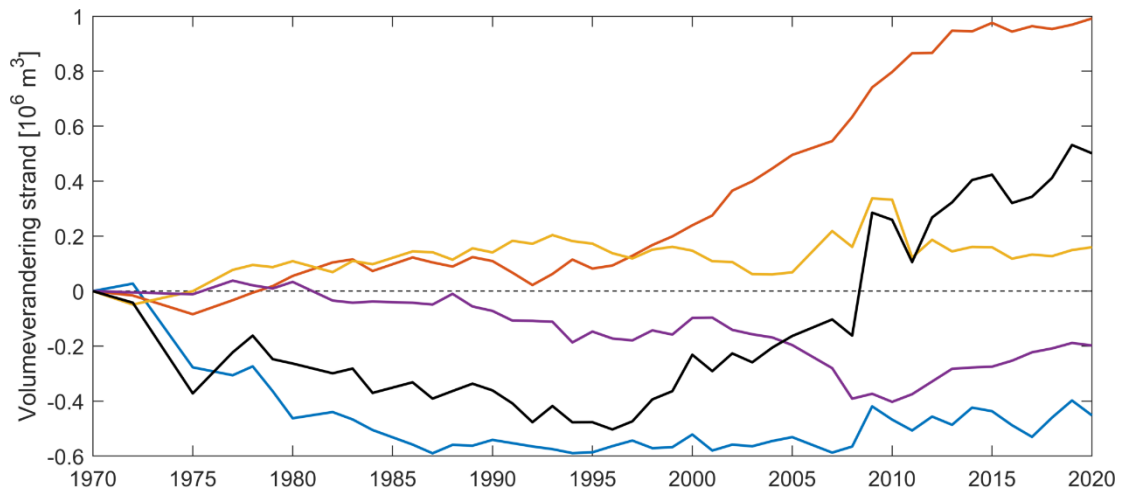
Tot 1995 neemt het volume van de strandzone af (Figuur 3-5, boven), maar sinds 1995 stijgen de volumes. Over de gehele periode resulteert dit in een volumetoename van +0.5 miljoen m³. Deze toename is vrijwel geheel te danken aan de strandzone bij de Veerse Dam (+0.99 miljoen m³). Hier verplaatst het zand van de vooroever landwaarts. De strandzone van Walcheren (-0.2 miljoen m³) en van Noord-Beveland (-0.45 miljoen m³) zijn juist in volume afgenomen. De afname in volume van Noord-Beveland vindt vooral plaats in de periode voor 1987. Sinds 1987 blijven de volumes stabiel en na 2007 lijken ze zelf iets toe te nemen. De stabilisatie is gerelateerd aan de vele suppleties die uitgevoerd worden. De strandzone rond Breezand neemt eerst iets in volume toe en blijft dan vrijwel constant (+0.16 miljoen m³).

De vooroever vertoont een tegenovergesteld beeld. De vooroever neemt juist met -1.5 miljoen m³ in volume af. Deze afname treedt vooral op in de Veerse Dam polygoon. De oude buitendelta behorende bij het Veerse meer wordt hier langzaam opgeruimd. Ongeveer 30% van het materiaal komt ten goede van het strand, het overige volume is waarschijnlijk kustlangs afgevoerd. Ook de kustzone van Walcheren Noord vertoont een klein volumeverlies. Dit verlies is opgetreden in de periode voor 2000. Sinds 2000 nemen de volumes weer langzaam toe. En vanaf 2015 ligt het volume dan weer tot het 1970 niveau.

De vooroever van Noord-Beveland en van Breezand nemen beide iets in volume toe (2.5 en 4.7 miljoen m³). Bij Noord-Beveland komt deze volumetoename voornamelijk door het landwaarts migreren van de plaat Onrust. Een maximaal volume wordt dan bereikt rond 1990. Sindsdien nemen de volumes weer geleidelijk af. De 2013 vooroeversuppletie is niet direct zichtbaar in de volumeveranderingen. De toename in de volumes na suppletie is van gelijke grootte aan de natuurlijke fluctuaties.



Figuur 3-4: Overzicht van de polygoon ter bepaling van de volumeveranderingen.



Figuur 3-5: Berekende volumeveranderingen op basis van de Jarkusgrids. De kust is onderverdeeld in vijf deelgebieden. Voor ieder deelgebied is het sedimentvolume bepaald van de strandzone (-1.1 m NAP – Duinvoet) en vooroever (< -1.1 m NAP). De ligging van de 5 deelpolygonen is weergegeven in Figuur 3-4.

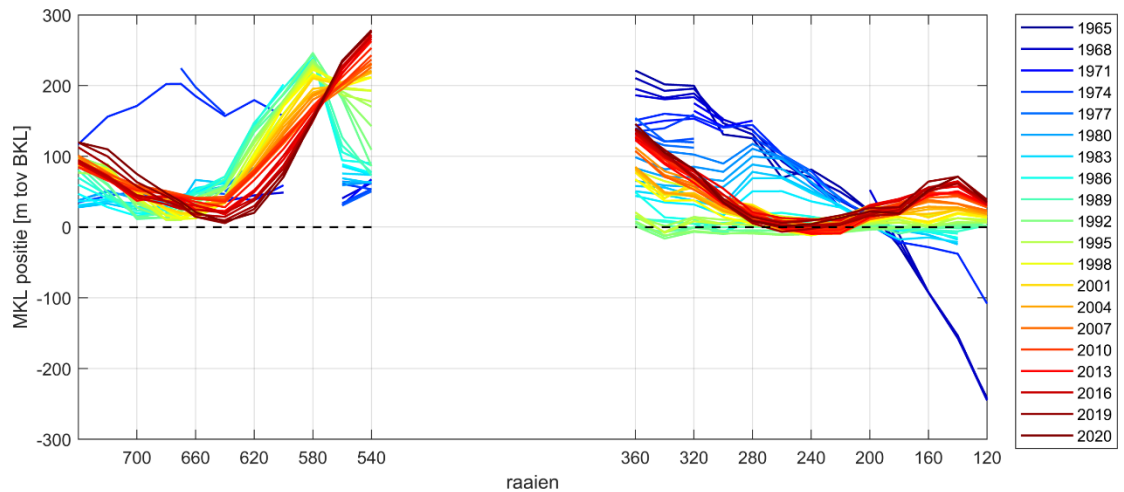
3.4 Analyse van de kustlijnindicatoren

De ontwikkeling van de kustlijn wordt ook uitgedrukt via de kustindicatoren MKL - Momentane KustLijn (Figuur 3-6), GLW - Gemiddeld LaagWaterlijn (Figuur 3-7), GHW - Gemiddeld HoogWaterlijn (Figuur 3-8) en de Droge Strandbreedte – DV minus GHW (Figuur 3-7).

De ligging van de MKL is gebaseerd op het zandvolume in de zogenaamde “BKL rekenschijf”. De BKL rekenschijf beslaat het strand en het bovenste gedeelte van de onderwateroever. De schijf wordt landwaarts begrensd door de duinvoetpositie (+3 m NAP) en zeewaarts begrensd door de Schaar van Onrust en de Roompot Zuid. De bovengrens volgt de duinvoetpositie en ligt vast op +3 m NAP de ondergrens bedraagt -5,9 m NAP, namelijk tweemaal de afstand tussen de bovengrens en de GLW. In de raaien 360-540 is de BKL niet gedefinieerd en kunnen daarom geen MKL posities worden bepaald.

Resultaten van de MKL posities staan in Figuur 3-6. In de oostelijke raaien (120-180) bouwt de kust geleidelijk uit. Een MKL terugtrekking vindt plaats in raaien 180 tot 360. Deze terugtrekking vindt plaats in de periode 1965-1990. In raaien 280-360 vindt sindsdien weer een zeewaartse verplaatsing plaats. In het gebied tussen raaien 180 en 280 blijft de MKL binnen een bandbreedte van ongeveer 20m fluctueren. Na suppletie neemt de MKL positie toe (ongeveer 15 m), waarna deze weer terug landwaarts verplaatst.

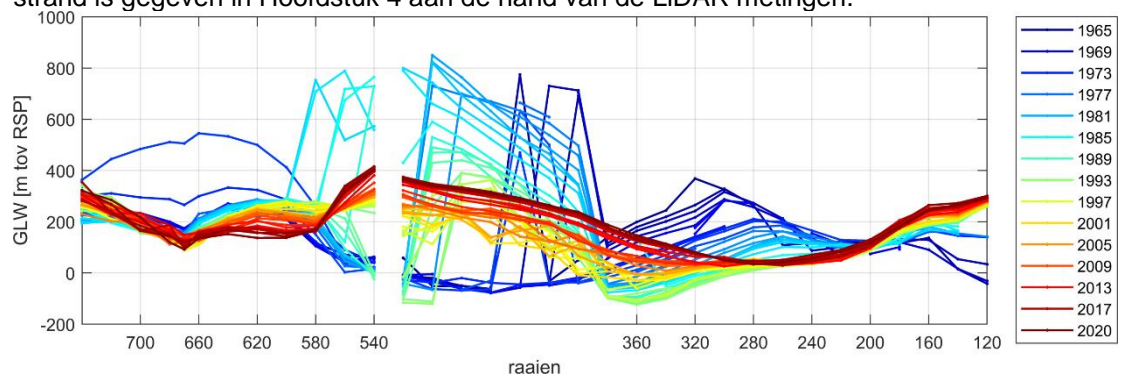
De GLW (Figuur 3-7) en GHW (Figuur 3-8) en geven een overeenkomstig beeld. Wat in deze profielen opvalt is dat zowel de GLW en GHW tussen raai 300 en 360 een maximale landwaartse verplaatsing vertoonden. Sindsdien liggen deze lijnen hier weer ver zeewaarts en is het Banjaardsduin verder uitgebouwd.



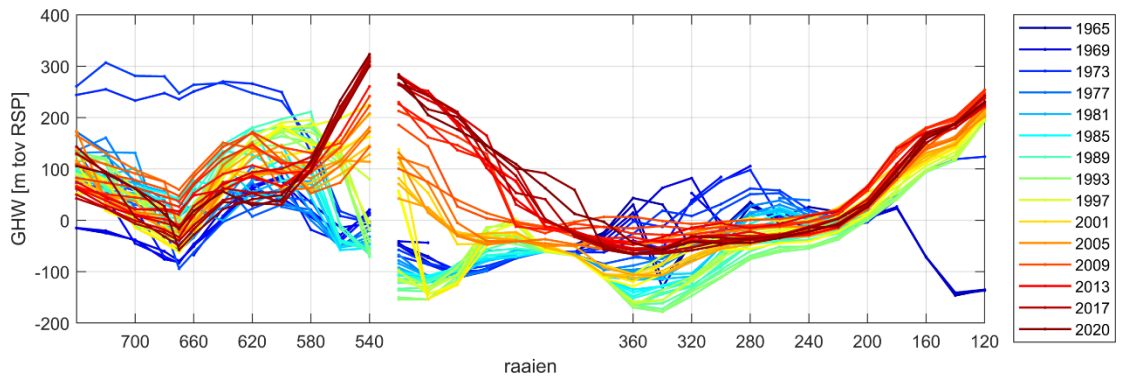
Figuur 3-6: Ligging van de MKL van 1965 tot 2020.

De droge strandbreedte (Figuur 3-9), berekend als de afstand tussen de GHW en de DV, vertoont een grote variatie. Na suppletie is de strandbreedte veel groter dan na suppletie. De strandbreedte tussen raai 240-300 was maximaal (130 m) na de 2008 suppletie. Rond 2019 is de strandbreedte hier dan afgenomen tot 20 m. Zo'n minimale strandbreedte werd ook voor de suppletie in 2000 geobserveerd.

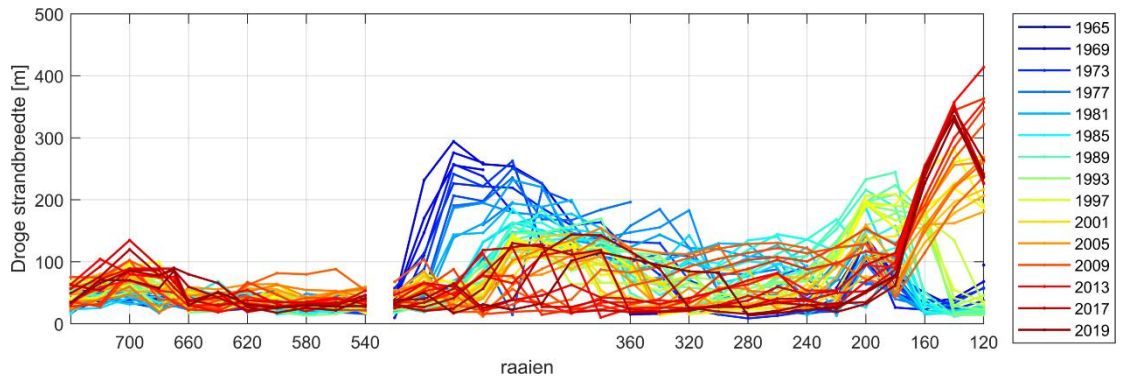
De strandbreedte bij Breezand vertoont veel minder variatie. Tussen 2000 en 2020 ligt het strandbreedte hier tussen de 20 en 50 m. Een uitgebreide analyse van het droogvallende strand is gegeven in Hoofdstuk 4 aan de hand van de LiDAR metingen.



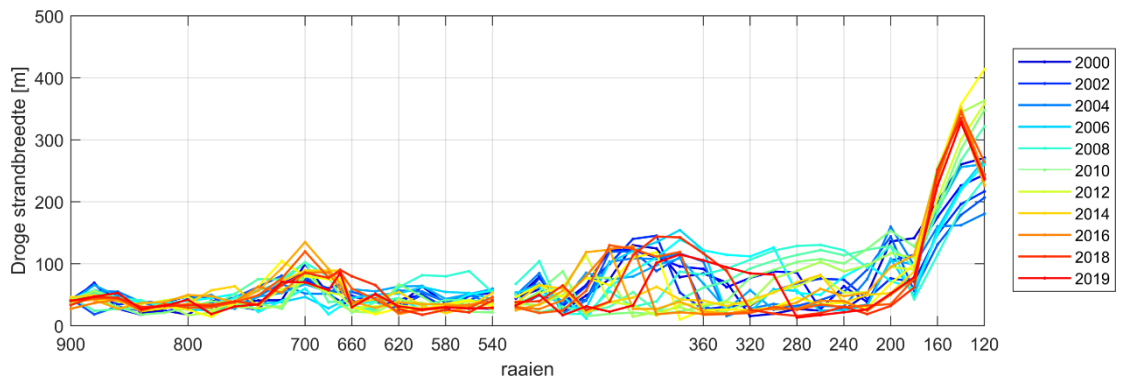
Figuur 3-7: Ligging van de Gemiddeld Laag Waterlijn (GLW) over de periode 1965-2020



Figuur 3-8: Ligging van de Gemiddeld Hoog Waterlijn (GHW) over de periode 1965-2020



Figuur 3-9: Droge strandbreedte over de periode 1965-2020

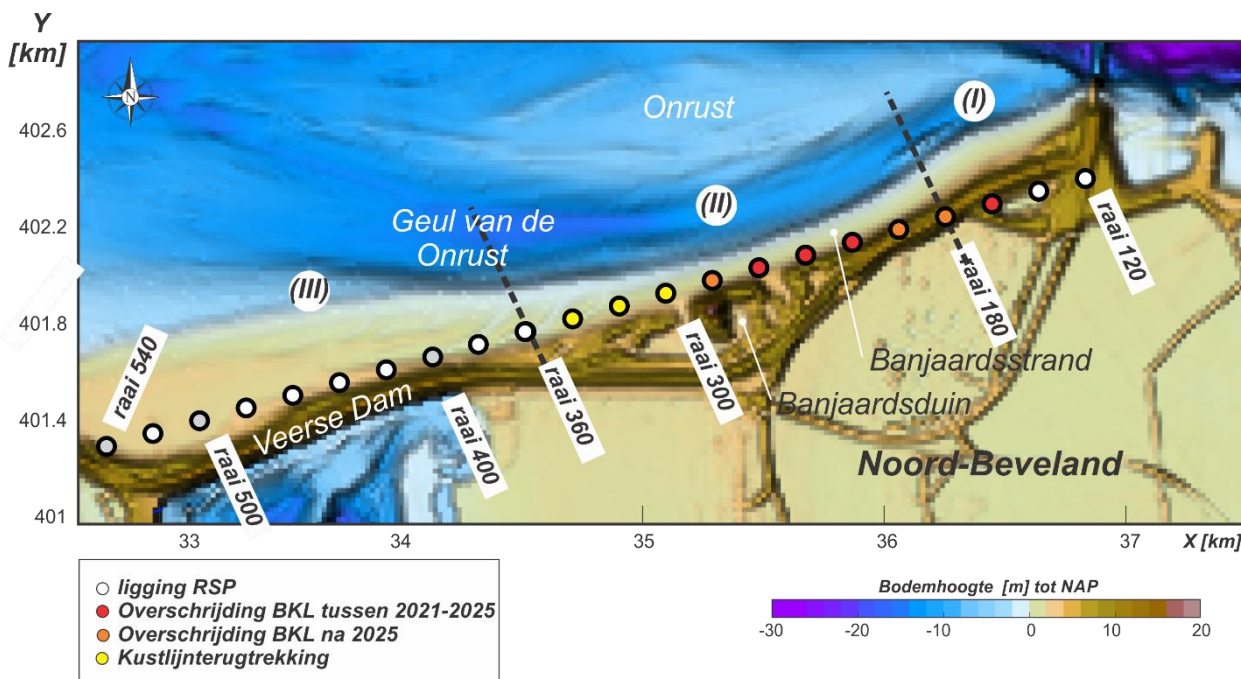


Figuur 3-10: Droge strandbreedte over de periode 2000-2020

3.5 Analyse van de individuele kustlijnprofielen: Noord-Beveland

Het kustvak Noord-Beveland strekt zich uit vanaf de Oosterscheldekering, raai 120, tot en met raai 520 bij de Veerse Dam (Figuur 3-11). De Schaar van Onrust ligt dicht op de kust en zorgt voor een minimale strandbreedte tussen raai 180 en 360. Op basis van de MKL (Figuur 3-12) kan de kustzone in een drietal zones onderverdeeld worden:

- Zone I (raai 120-180): overgang naar de Oosterscheldekering. Hier ligt de geul iets verder uit de kust en is het strand breder. In dit gebied zand de kust aan.
- Zone II (raai 180-360): hier ligt de geul dicht op de kust waardoor het strand zeer small is. In dit gebied vindt het merendeel van de suppleties plaatst.
- Zone III (raai 360-540): uitbouwende strandvlakte van de Veerse Dam.



Figuur 3-11: Overzicht van de kust van Noord-Beveland (raai 120-500). Alleen raaien 120-360 zijn toetsraaien.

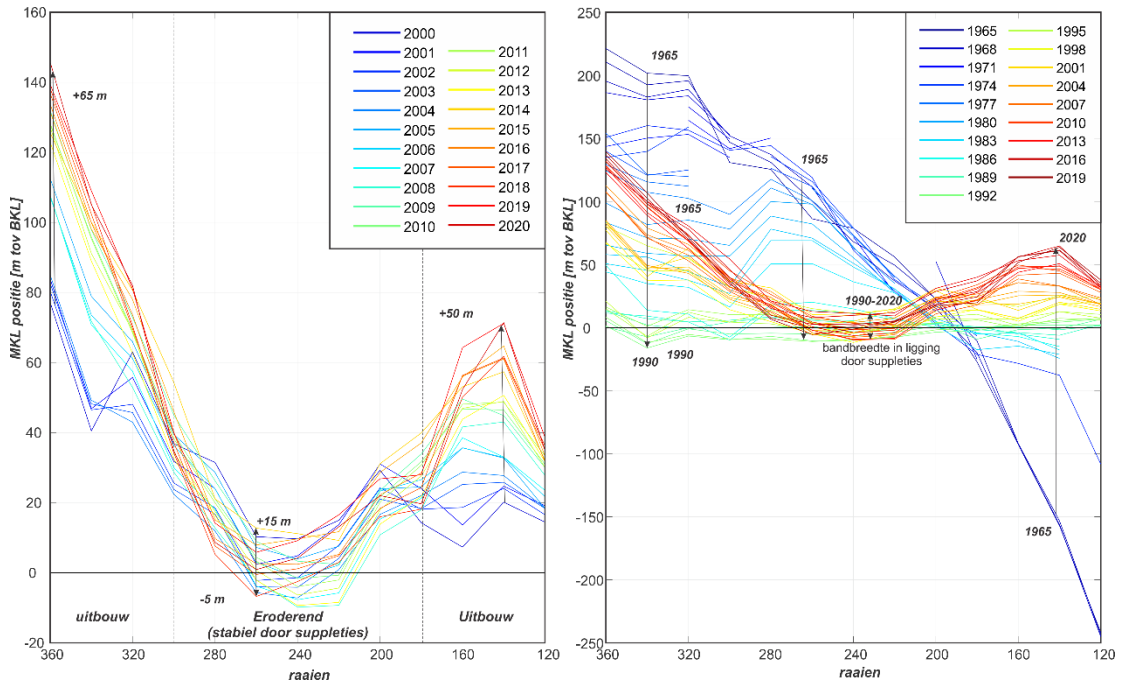
Dicht bij de Oosterschelde kering bouwt het volume in de MKL rekenschijf uit (deelgebied I). Deze uitbouw is een continu proces en zet zich ook in de recente metingen door (Figuur 3-12, links). Sinds 2000 is de MKL hier nog met 50 m zeewaarts verplaatst. Het lijkt hier waarschijnlijk dat de overgang van de Oosterscheldekering naar de kust van Noord-Beveland hier voor een blokkade van de langstransporten zorgt. Eigenlijk fundeert de Oosterscheldekering hier als een strekdam. Aan de zeewaartse zijde vult de ruimte dan langzaam op met zand. Dit opvullen vindt plaats tot het einde van de blokkade bereikt wordt, daarna kan het zand de blokkade weer passeren en zal de kustlijn stabiliseren.

Vanaf raai 180 tot raai 360 (deelgebied II) is het strand small en vindt er (in de toekomst) een overschrijding van de BKL plaats. Vanaf 1965 tot 1990 is de MKL hier sterk teruggetrokken tot ongeveer de BKL positie (Figuur 3-12, rechts). Zonder suppleties zou deze terugtrekking zich doorgezet hebben, maar door intensief suppleren blijft de MKL binnen een bandbreedte van ongeveer 20 m rond de BKL positie behouden (Figuur 3-12, links).

Westelijk van raai 360 vindt een tegenovergesteld gedrag plaats (deelgebied III). Hier ligt de Schaar van Onrust al iets verder zeewaarts en kan het strand sterk uitbouwen. De aanleg van de Veerse Dam maakt deze uitbouw mogelijk. De voorliggende banken migreren landwaarts

en worden tegen de dam aangedrukt. Hierdoor neemt het strand sterk in breedte toe. Sinds 2000 is de MKL hier met bijna 65m zeewaarts verplaatst.

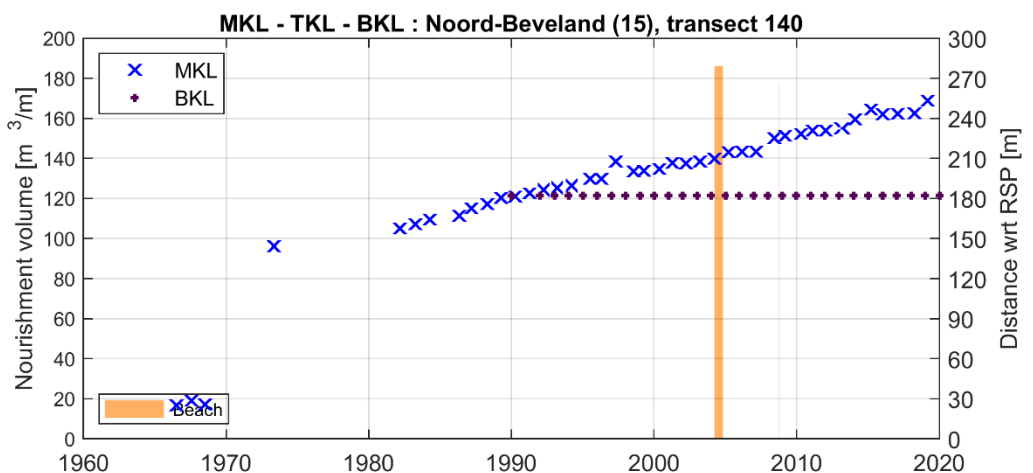
In de volgende hoofdstukken wordt het gedrag in ieder van de zones in meer detail uitgewerkt aan de hand van geselecteerde raaien.



Figuur 3-12: Een overzicht van de ontwikkeling van de MKL tussen raai 360 en 120 voor de periode 2000-2020 (links) en 1965-2020 (rechts).

3.5.1 Ontwikkeling van deelgebied I (raai 120 – 180)

Het stukje strand gelegen tussen raai 120 en 200 vertoont een toename van de volumes in de kustzone. Deze trend wordt duidelijk geïllustreerd door de MKL ontwikkeling van raai 140 (Figuur 3-13). De MKL neemt hier sinds 1960 toe en de metingen vanaf 1982 geven een vrijwel lineaire stijging van de volumes. In 2020 ligt de MKL dan meer dan 70 m zeewaarts van de BKL. Een respons op de uitgevoerde suppleties, de meeste net ten westen van deze raai, is eigenlijk niet te onderscheiden.



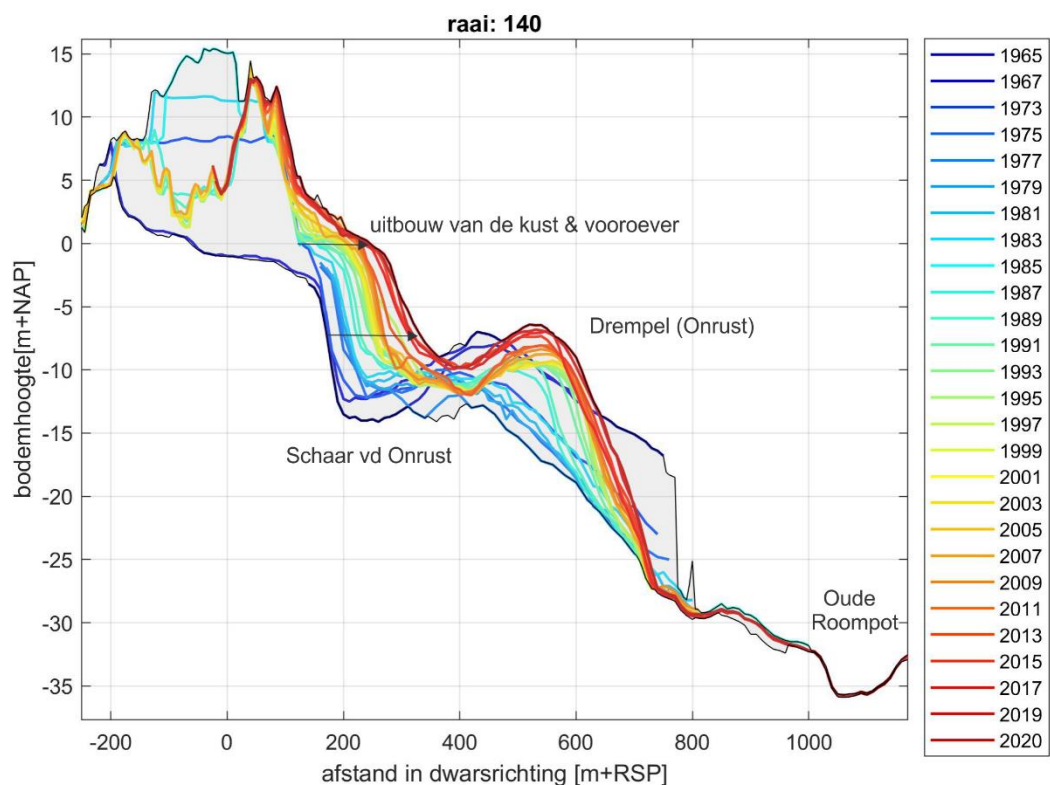
Figuur 3-13: Ontwikkeling van de MKL van raai 140.

Deze uitbouwende kust is duidelijk terug te zien in de profielontwikkeling (Figuur 3-14). Het dwarsprofiel bestaat hier eigenlijk uit twee delen. Het eerste, ondiepe, deel wordt gevormd door de overgang van de kust naar de geul Schaar van Onrust. Het zeewaartse, diepe, deel doorsnijdt de geul Roompot. Als een scheiding tussen deze twee systemen is een drempel zichtbaar (onderdeel van de plaat Onrust).

De Oude Roompot vertoont, in het beperkt aantal metingen dat in dit deel beschikbaar is, vrijwel geen verandering beneden de -25m NAP. In de Schaar van Onrust zijn juist grote veranderingen zichtbaar. Het gehele profiel, vanaf de duinvoet tot de -10 m NAP verplaatst zeewaarts. Ook de geul en de drempel verplaatsen mee. De verplaatsing van de landwaartse geulwand is vrijwel constant door de tijd.

De verplaatsing van de drempel vertoont perioden met grotere en kleinere verplaatsingen. Met name in de periode 1980-1990 bouwt de drempel sterk uit. Sinds 1990 is de zeewaartse verplaatsing kleiner en neemt vooral de hoogte toe tot -6m NAP. De zeewaartse verplaatsing van de drempel heeft tot gevolg dat een steile geulwand vormt tussen de -10 en -25 m NAP.

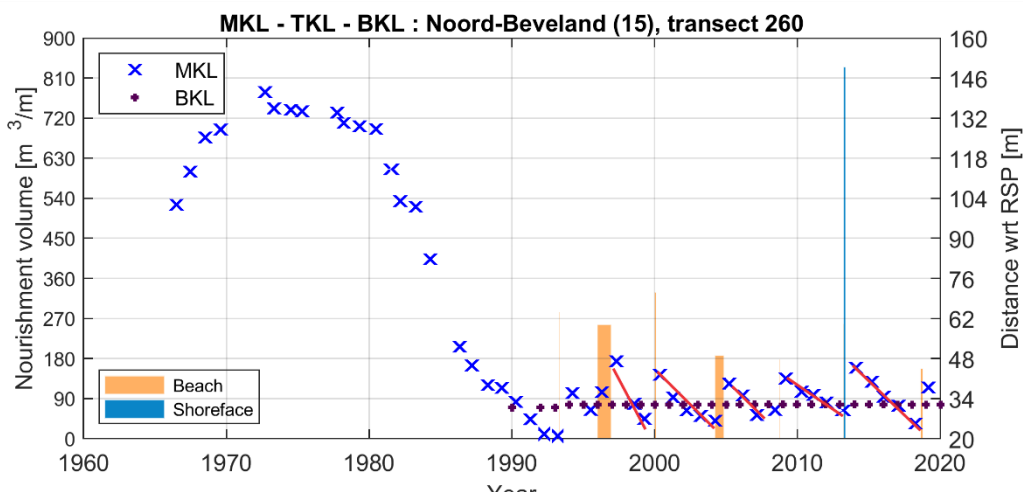
Met zeewaartse verplaatsing neemt ook de diepte van de Schaar van Onrust af, van -14m in 1965 tot -10m in 2017-2020. De diepte was in de periode 2005-2013 vrij stabiel op -12 m NAP, maar na de geulwandsuppletie in 2013 werd een diepte van -10 m NAP bereikt. Na aanleg van de suppletie, verandert de diepte hier nauwelijks, wel blijft het gehele profiel in deze periode zeewaarts opschuiven.



Figuur 3-14: Ontwikkeling van het dwarsprofiel van raai 140 tussen 1965 en 2020. Grijs vlak geeft de omhullende van de minimum en maximum ligging.

3.5.2 Ontwikkeling van deelgebied II (raai 200 - 380)

Tussen raaien 160 en 200 vindt de overgang plaats van een uitbouwende kust naar een eroderende kust. De kust veert hier terug ter plekke, omdat de Schaar van Onrust hier in de kust snijdt. De terugtrekking van de MKL vindt vooral plaats in de periode tot 1993 (Figuur 3-15). Met behulp van strandsuppleties lukt het de MKL-positie te handhaven ten opzichte van de BKL-positie. Westelijk van raai 280 verplaatst de MKL weer zeewaarts. Dit vormt het overgangsgedrag naar het uitbouwende strand voor de Veerse Dam.



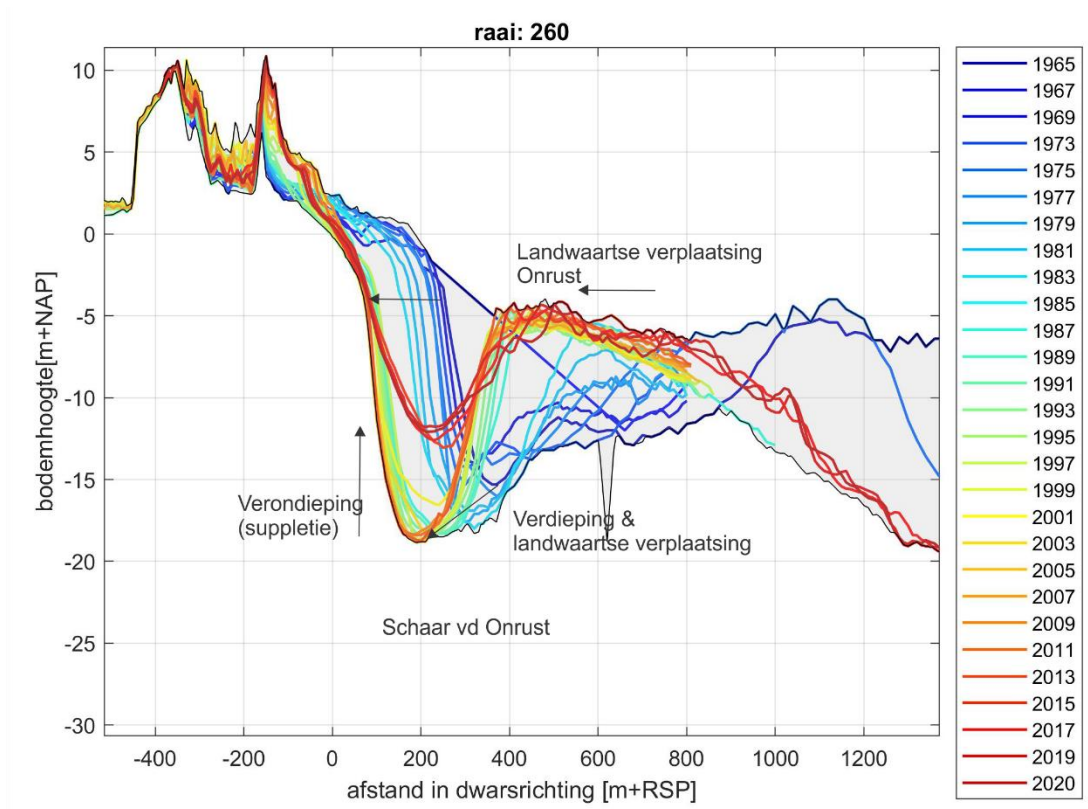
Figuur 3-15: Ontwikkeling van de MKL van raai 260.

Raai 260 geeft een representatief beeld van de MKL ontwikkeling tussen raaien 220-280. Vanaf 1980 is hier een grote teruggang van de MKL te zien. Na 1993 blijft de MKL dan behouden rond de BKL positie, maar hiervoor zijn wel met regelmaat terugkerende suppleties nodig. Na iedere suppletie wordt de MKL zeewaarts verlegt naar een positie tussen de 45 en 48 m tot de RSP. Dit is ongeveer 15 m zeewaarts van de BKL positie. Het duurt dan gemiddeld 3 jaar tot de kustlijn terug op of landwaarts van de BKL ligt. De geulwandsuppletie uitgevoerd in 2013 verandert dit beeld niet. Ook na deze suppletie vindt de erosie van de strandzone nog onverminderd plaats. De suppletie zelf vertoont slechts kleine verliezen (H.3.1.2).

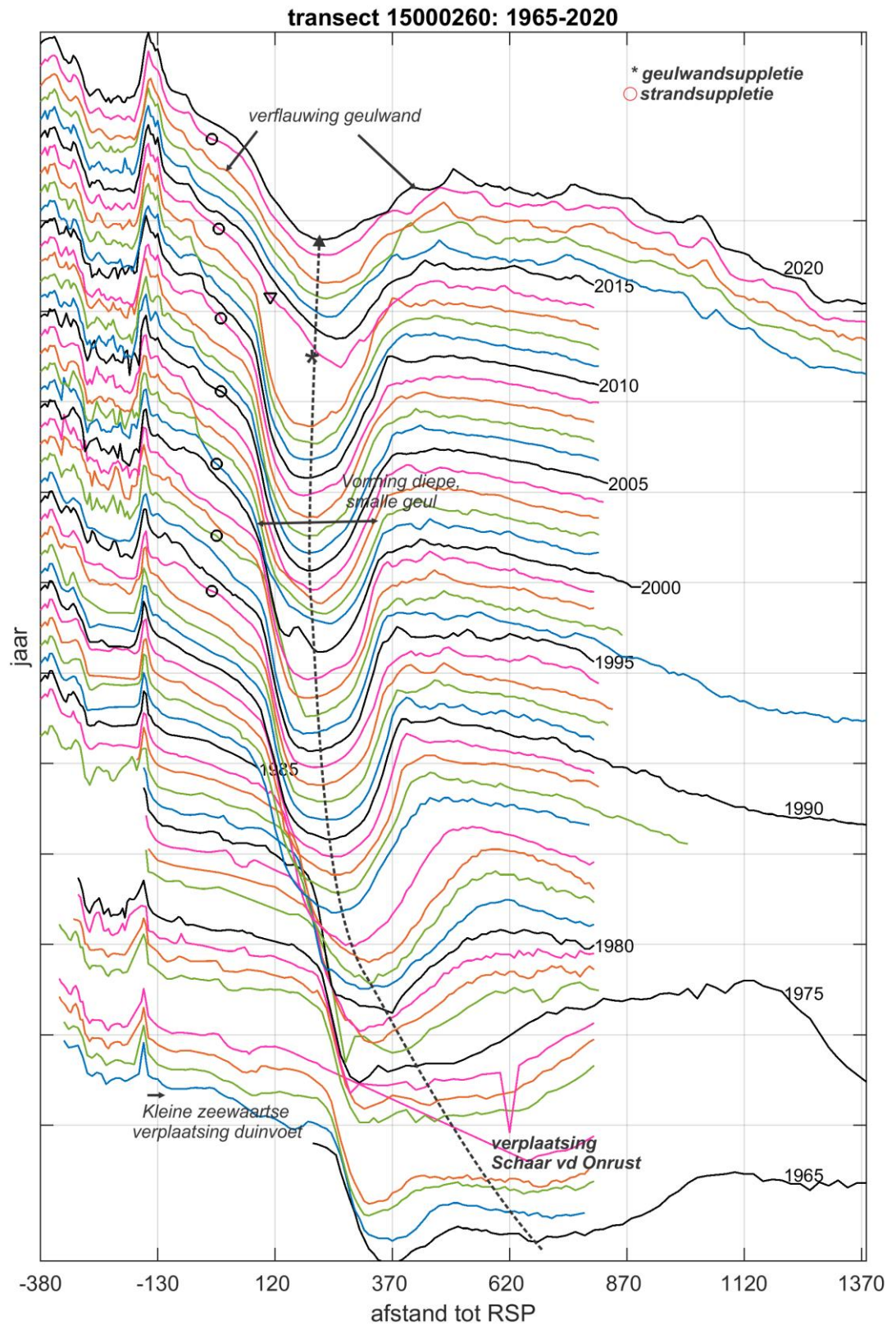
De profielontwikkeling laat een aantal verschillende trends zien (Figuur 3-16 en Figuur 3-17). In 1969 was de Schaar van Onrust nog een brede geul met een maximale diepte van -15 m NAP. De Onrust ligt nog ver zeewaarts (meer dan 1000m tot de RSP). In de periode 1969 tot ongeveer 1990 verplaatst de Onrust snel landwaarts, in totaal zo'n 600m. Ook de landwaartse zijde van de geul verplaatst landwaarts, maar deze verplaatsing is veel kleiner 200m. De geul wordt dan niet alleen smaller maar ook dieper (tot -19 m NAP). Aan weerszijden van de geul ontstaan steile geulwanden. Het steiler worden van de geulwanden en een kleine landwaartse verplaatsing zet zich door tot het jaar 2000. Vanaf 2000, tot de aanleg van de geulwandsuppletie in 2013, blijft het profiel dan redelijk behouden. Met de aanleg van de geulwandsuppletie neemt de diepte van de Schaar van Onrust met 5 m af. Ook na aanleg blijft de diepte hier iets afnemen tot -12 m in 2020. Het benodigde zand hiervoor wordt waarschijnlijk geleverd door de geulwanden. Een tweede verandering die optreedt is namelijk een verflauwing van de geulwanden. Deze verflauwing treedt aan beide zijden op, maar is het grootst op de Onrust. De verflauwing van de geulwand is een mogelijke oorzaak dat MKL zich ook na aanleg van de suppletie blijft terugtrekken.

Samenvattend, in de periode 1990-2013 zijn de grote getijstromingen door de Schaar van Onrust de oorzaak van de kusterosie. Deze getijstromingen kunnen het sediment efficiënt afvoeren. Met het aanbrengen van de geulwandsuppletie wordt de geul gedeeltelijk gevuld. Hierdoor nemen de getijstromingen af. Dat zou de gerelateerde erosie moeten doen afnemen. Dit gebeurt echter nog niet. De kustafslag blijft zich doorzetten omdat de geulwand flauwer

wordt. Het verflauwen van de geulwand door afname van de stromingen is ook in andere gebieden te zien. Een duidelijk voorbeeld is het Molengat bij Texel (Elias en van der Spek, 2019).



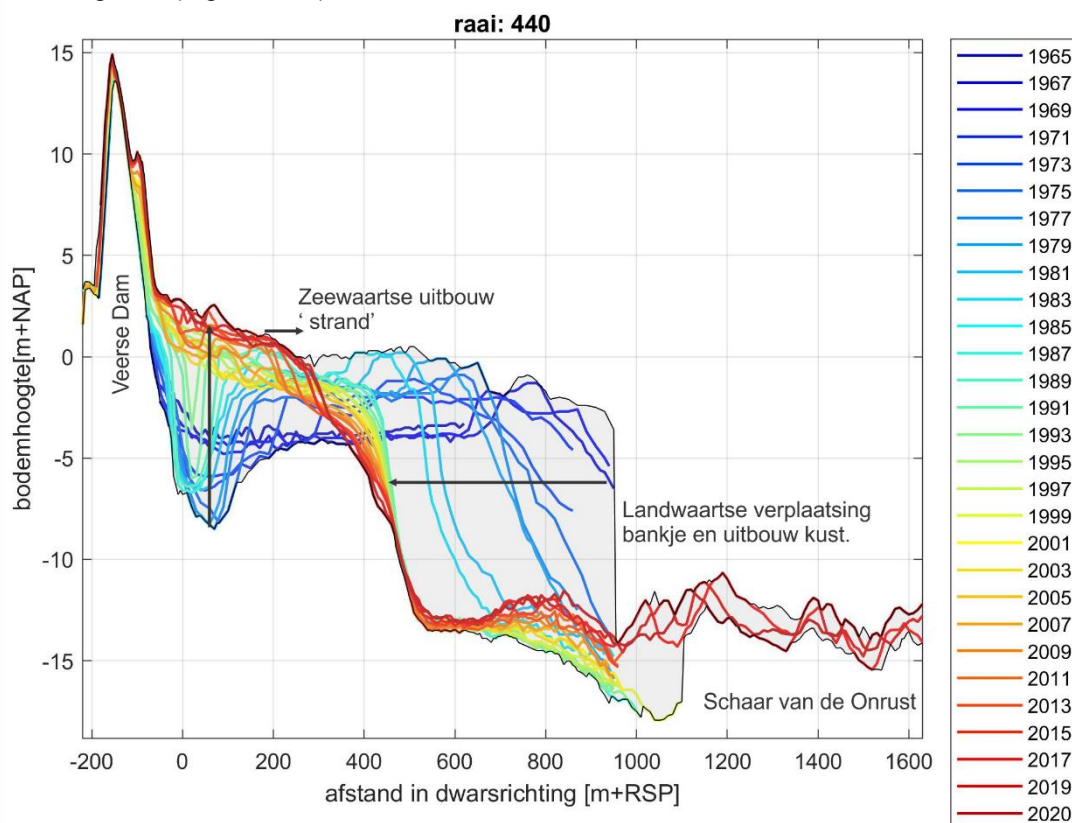
Figuur 3-16: Ontwikkeling van het dwarsprofiel van raai 260 tussen 1965 en 2020.



Figuur 3-17: Ontwikkeling van het dwarsprofiel met behulp van een timestack voor raai van 260 tussen 1965 en 2020. De timestack geeft in principe dezelfde data weer als Figuur 3-16, alleen zijn alle profielen iets in de verticaal opgeschoven zodat ze boven elkaar komen te liggen. Deze weergave maakt het mogelijk de verplaatsingen veel beter te volgen dan in een normale weergave van het dwarsprofiel.

3.5.3 Ontwikkeling van deelgebied III (raai 380 - 540)

Een BKL is niet gedefinieerd voor het gebied tussen raaien 380 en 540, wel doen zich hier grote morfologische veranderingen voor. Deze veranderingen zijn samengevat door raai 440 weer te geven (Figuur 3-18).



Figuur 3-18: Ontwikkeling van het dwarsprofiel van raai 440 tussen 1965 en 2020.

Er zijn een aantal trends te zien. In 1969 ligt er een klein geultje (-7 m NAP) vlak langs het strand. Zeewaarts hiervan bevindt zich een bank met een kruinhoogte van -4 m NAP. De Schaar van Onrust ligt hier weer zeewaarts van (> 1000 m tot de RSP). De bank verplaatst tussen 1969 en 1990 landwaarts. De geulwand bevindt zich in 1965 op meer dan 1000 m tot de RSP, in 1990 ligt deze al op 450 m tot de RSP. Landwaarts hiervan is de kustzone sterk in hoogte toegenomen. De toename in hoogte zet zich ook na 1990 door tot ongeveer 2015. Naast een toename van de hoogte neemt ook de breedte van het strand toe. Het strand, gedefinieerd als het gebied tussen de +3 m en de -1.1 m, bouwt zich zeewaarts uit. Op dit moment is er nog een kleine knik zichtbaar tussen de geulwand en het strand (ongeveer op 300m tot de RSP), maar het is de verwachting dat deze knik langzaam verdwijnt.

De opbouw van het strand wordt enerzijds gevoed door de hier in het verleden aanwezige buitendelta banken van het Veerse Gat. Deze verplaatsen landwaarts (zie 4 in Figuur 2-5). Daarnaast is er netto zandtransport van west naar oost langs de kust van Walcheren. In de knik in de kustlijn bij Breezand ontstaat een luwtegebied waar aanzanding kan optreden (zie volgende hoofdstuk).

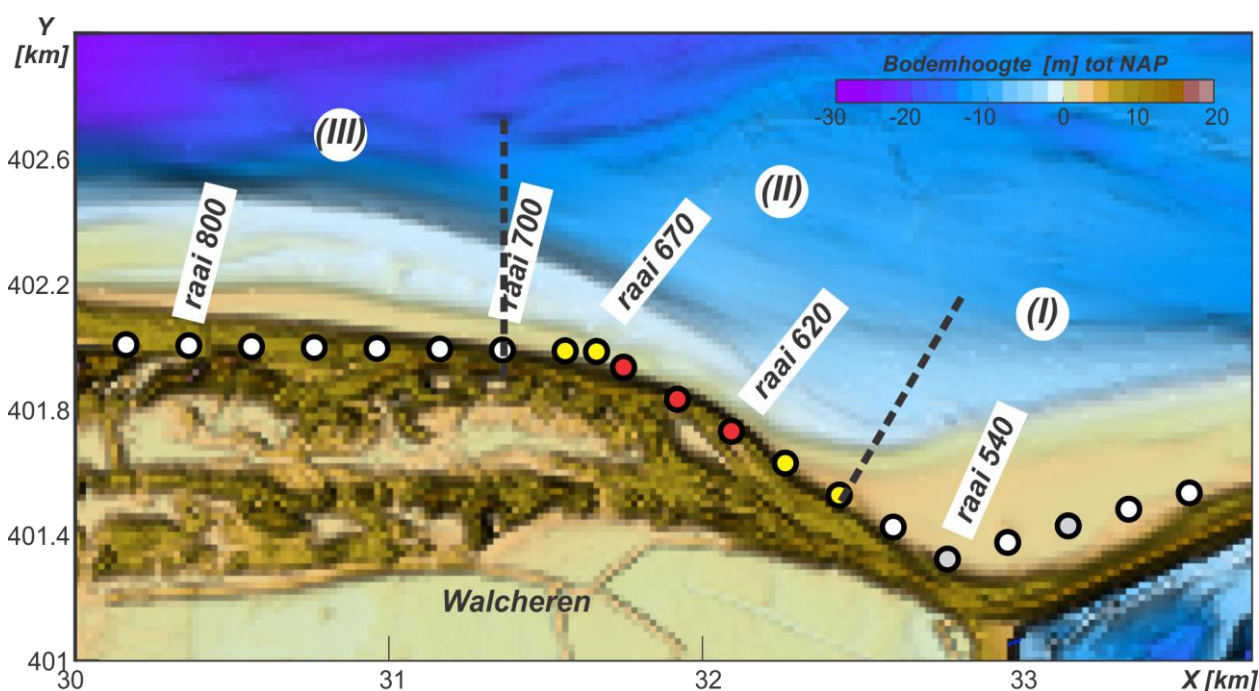
3.6 Analyse van de individuele kustlijnprofielen: Breezand

Naast de structurele erosie van Noord-Beveland tussen raai 200-380 vindt er bij de kust van Walcheren ook erosie plaats tussen raai 580 en 640 (Figuur 3-19). Dat zich hier de erosie concentreert is begrijpelijk en hangt samen met de vrij abrupte sprong in kustlijnligging. De kust gaat hier over, middels twee knikpunten, van de eilandkop van Walcheren naar de Veerse Dam. Abrupte overgangen in kustlijn oriëntatie zorgen voor versnelling en vertraging in de (getij)stromingen en daaraan gerelateerde gradiënten in de sedimenttransporten. Deze gradiënten zorgen ervoor dat het bolwerk erodeert en er weer een vloeiende kustlijn ontstaat. Om zo'n vloeiende kustlijn te bereiken moet de kust nabij raai 640 zich nog verder terugtrekken. In het knikpunt nabij raai 540 vindt dan eigenlijk het tegenovergestelde proces plaats. Hier ligt de kust te ver landwaarts en moet juist aanzanden om evenwicht te bereiken. Deze aanzanding is duidelijk terug te zien in de bodemontwikkeling.

Op basis van de MKL-ontwikkeling kan ook dit kustvak in drie zones met verschillend gedrag worden onderverdeeld.

- Zone I (raai 540-560): Uitbouwend strand Veerse Dam. MKL ver zeewaarts van de BKL.
- Zone II (raai 580-700): Terugtrekkende kust. Eilandkust krap in het zand, minimale strandbreedte.
- Zone III (raai 700-800): Stabiele eilandkop Walcheren (Noord)

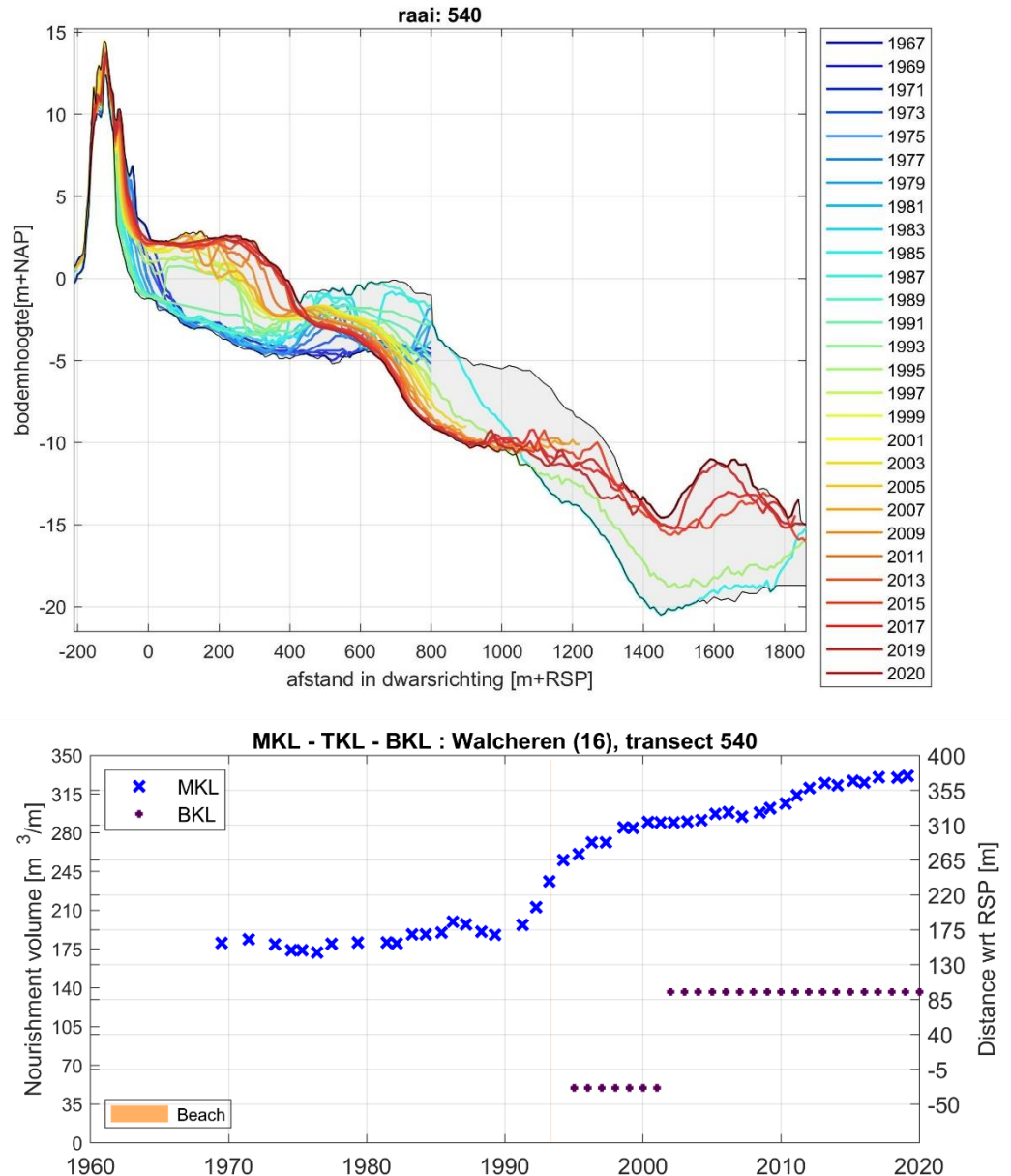
De drie zones worden in de onderstaande hoofdstukken in meer detail beschouwd aan de hand van representatieve profielen.



Figuur 3-19: Een overzicht van de noordzijde van Walcheren tussen raai 540 en raai 800.

3.6.1 Ontwikkeling van deelgebied I (raai 540 – 560)

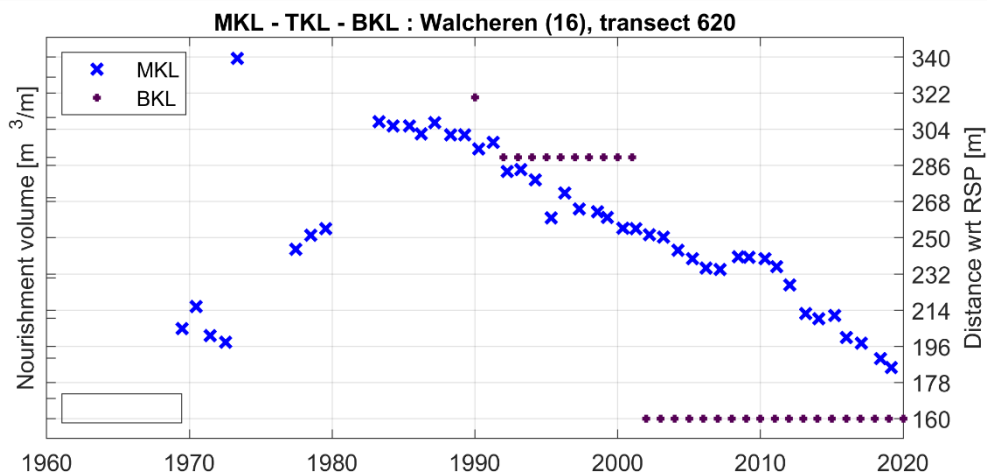
Beide raaien liggen nog in de directe invloedssfeer van de Veerse Dam. Hier bouwt de ondiepe kustzone (boven de -3 m NAP) sterk zeewaarts uit (Figuur 3-20). In de beginbodem (1967) ligt er een bank ver zeewaarts. In de bodem van 1983 is er een kleine bank zichtbaar (op 750 m tot RSP). Deze bank groeit en migreert landwaarts. Tot 1991 blijft het profiel landwaarts van deze bank eigenlijk heel stabiel liggen. Vanaf 1991 neemt dan de hoogte sterk toe en ontstaat er een breed en hoog strand. Deze ontwikkeling is in de MKL volume duidelijk terug te zien. Tussen 1990 en 1996 vindt er een sprong in MKL volume plaats. Sindsdien blijft het volume groeien maar in een geleidelijk tempo. In 2020 ligt de MKL zo'n 300m zeewaarts van de BKL.



Figuur 3-20: Ontwikkeling dwarsprofiel (boven) en de MKL positie van raai 540.

3.6.2 Ontwikkeling van deelgebied II (raai 580 - 700)

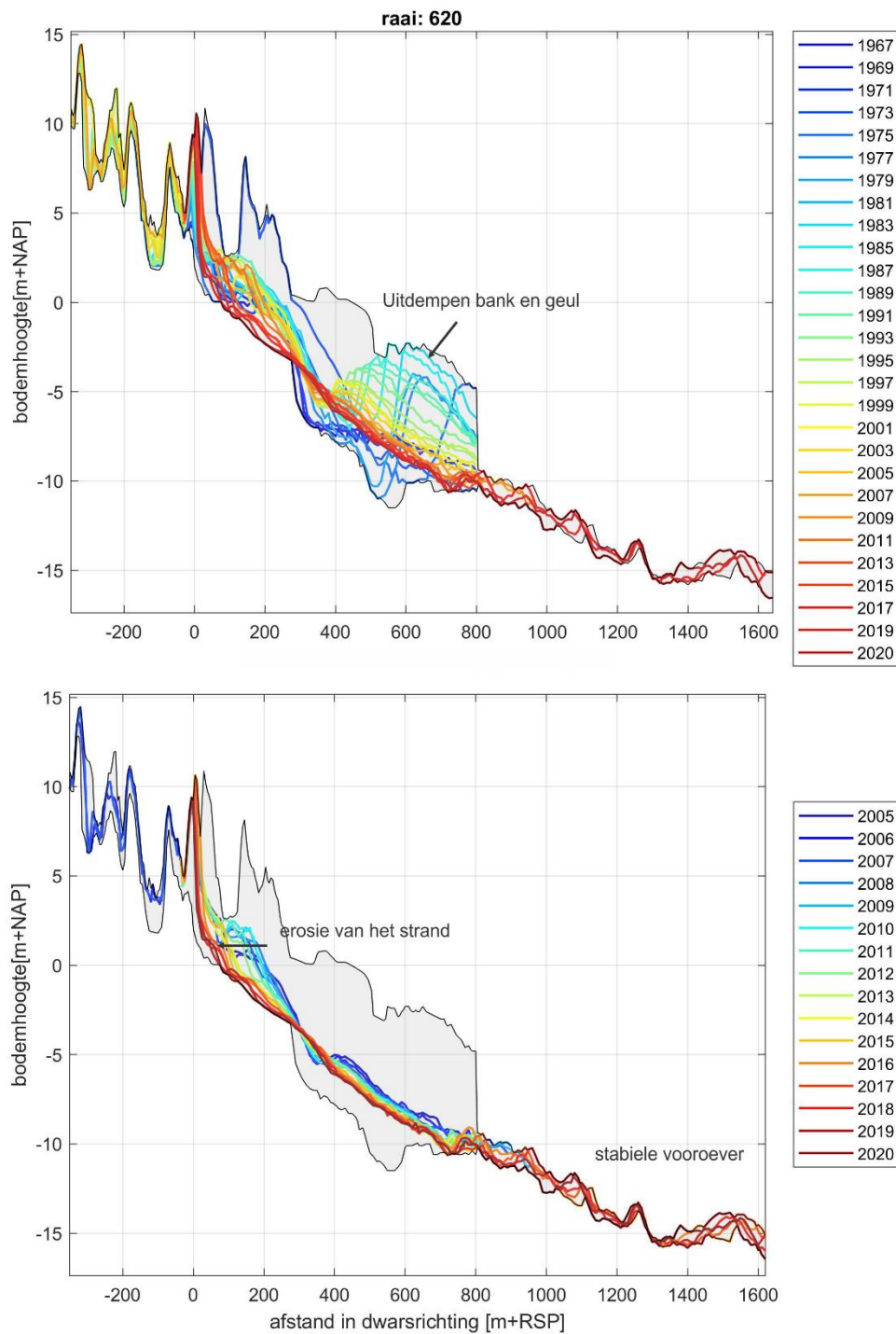
Raai 620 geeft een representatief beeld van het gebied tussen raaien 580 en 640. Sinds 1983 is hier een continue terugtrekking van de MKL te onderscheiden (- 30m). De MKL positie bevindt zich nog wel zeewaarts van de huidige MKL. Dit komt echter wel omdat de MKL in 2002 hier landwaarts is verlegd.



Figuur 3-21: Ontwikkeling van de MKL van raai 620.

Het dwarsprofiel van raai 620 (Figuur 3-22) vertoont een tweedeling in gedrag. In 1967 was er in het profiel nog een kleine geul en bank zichtbaar (ongeveer 500m tot RSP). Deze bank en geul waren onderdeel van de voormalige buitendelta van het Veerse Gat die na afsluiting dan snel worden geërodeerd. In 2000 zijn deze dan al bijna niet meer te onderscheiden en is er een doorgaand profiel gevormd. Het diepe deel van dit profiel, onder de -10m NAP, blijft stabiel liggen. Tussen de -5m en de -1m NAP vindt een kleine verdieping plaats (Figuur 3-22 onder). Het bovenste deel van het profiel, tussen de +5m en -5m NAP vertoont een grotere terugtrekking en erosie van het strand en de duinvoet.

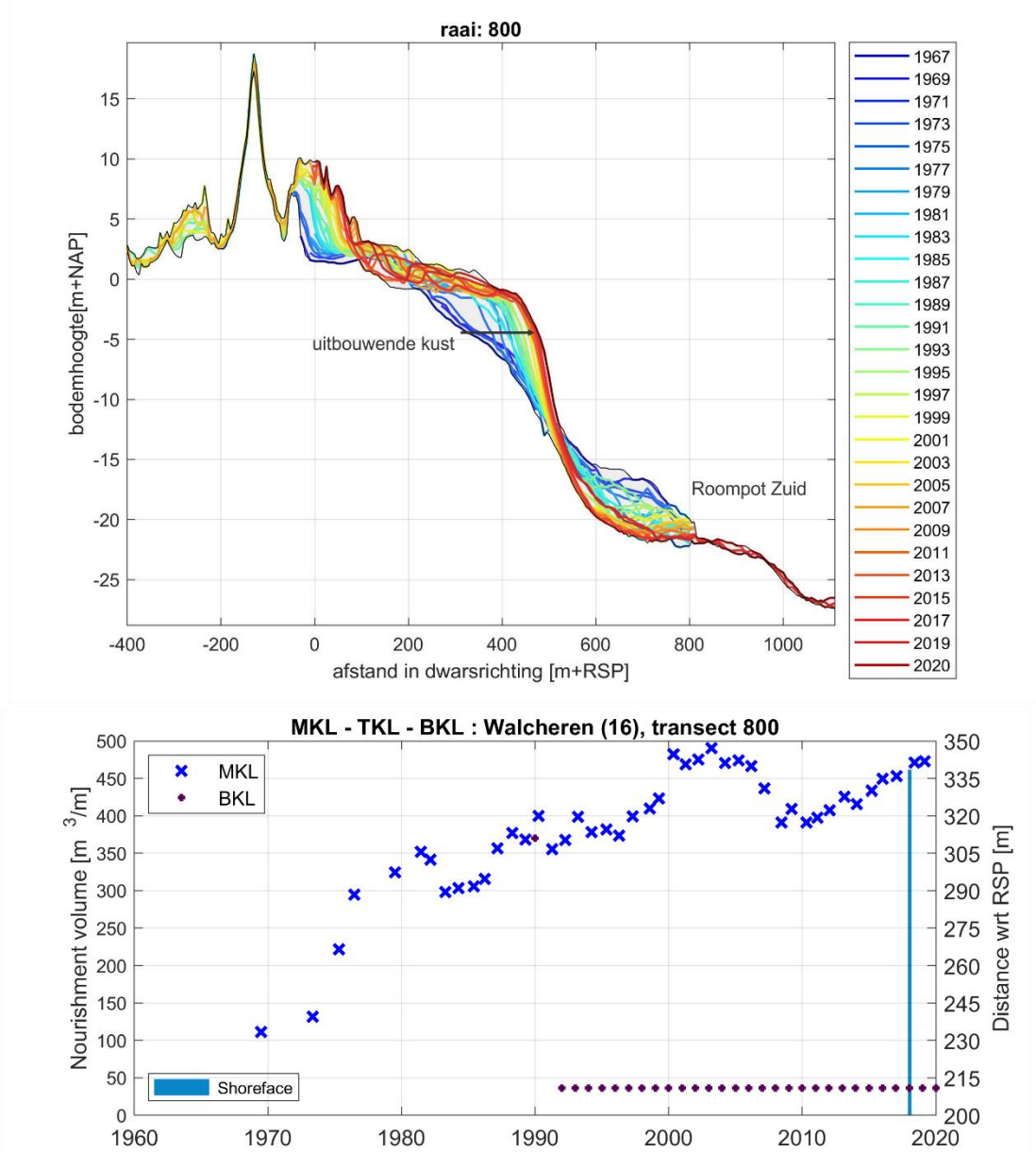
Eén van de onderzoeksvragen was of de geulwandsuppletie een invloed gehad kan hebben op de geobserveerde erosie die hier optreedt. Zowel de profielontwikkeling als het verloop van de MKL vertonen geen significant verschil in gedrag in de periode vóór en ná 2013. Deze erosie is een doorgaand proces dat al sinds 1983 zichtbaar is.



Figuur 3-22: Ontwikkeling van het dwarsprofiel van raai 620 over de periode 1965-2020 (boven) en 2005-2020 (onder).

3.6.3 Ontwikkeling van deelgebied III (raai 700 - 800)

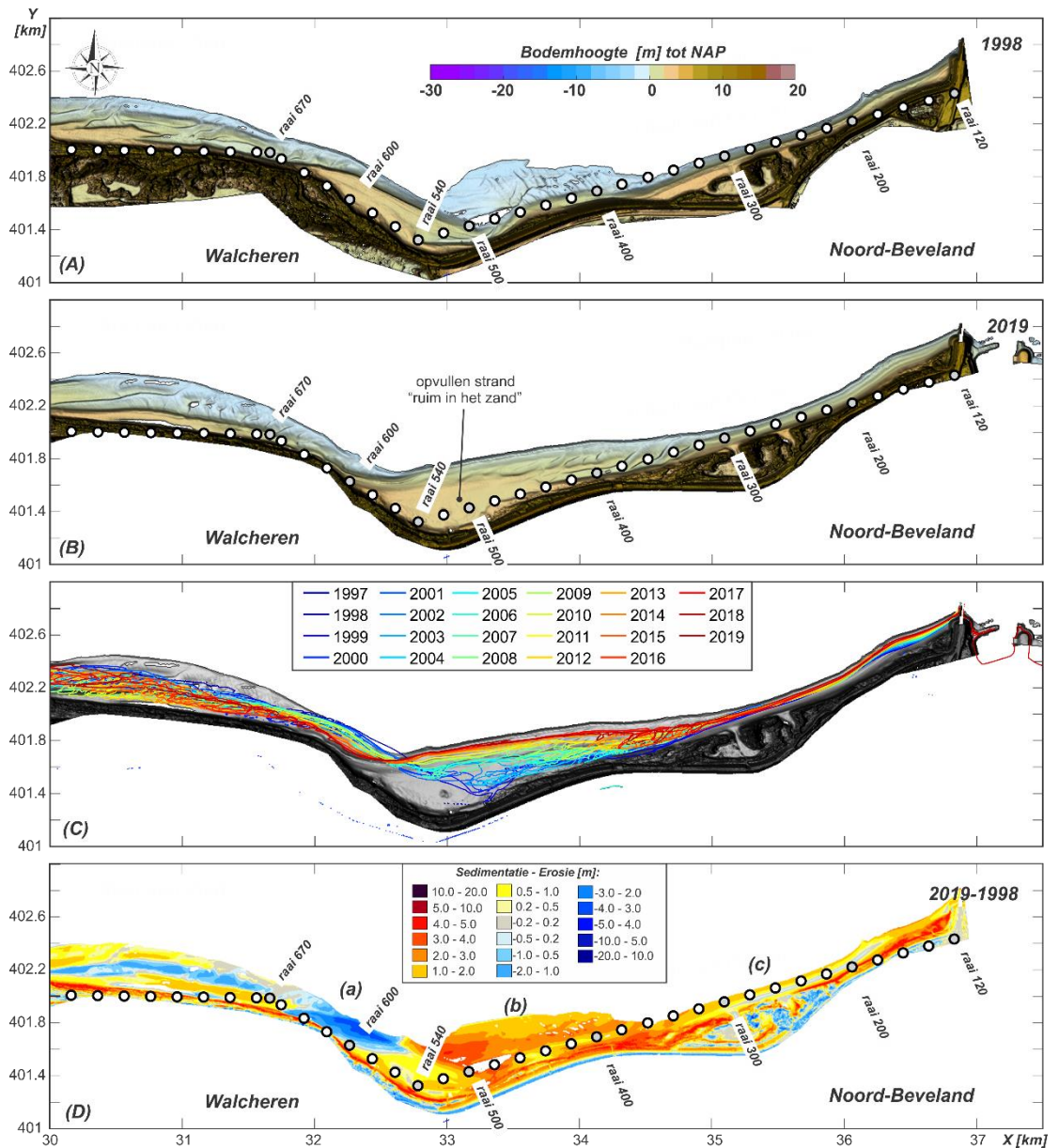
Vanaf raai 700 ligt de MKL dan ver zeewaarts van de BKL (Figuur 3-23). In deze profielen is een relatief brede zone ontstaan vanaf de duinvoet tot de -1m NAP. Deze zone was in de oudere metingen (tot 1970) niet zichtbaar, maar werd vooral gevormd tussen 1970 en 1980. Vanaf 1980 gaat de kust dan nog steeds vooruit, maar met lagere snelheid. Op het droogvallende platform zijn banken en fluctuaties in hoogte te onderscheiden. Deze banken zorgen voor fluctuaties in MKL ligging. In Hoofdstuk 3.7 worden deze ontwikkelingen in detail beschreven.



Figuur 3-23: Ontwikkeling van het dwarsprofiel van raai 800 tussen 1965 en 2020 (boven) en de MKL (onder)

3.7 Duin en droge strandontwikkeling in detail

Een gedetailleerd beeld van de recente ontwikkeling van de kustlijn kan worden verkregen met behulp van de Kusthoogte (LIDAR) datasets. Als onderdeel van de Jarkus metingen, worden de hoogtewaarnemingen van het strand en de duinen sinds 1996 opgenomen met een laserscanner (LIDAR) aan boord van een vliegtuig. Na analyse van de resultaten wordt een Digitaal Terrein Model (DTM) verkregen. De DTM wordt verwerkt in de Jarkus metingen, maar wordt ook in 5 m rasterresolutie gearchiveerd. Deze 5 m resolutie maakt het mogelijk een gedetailleerde weergave van het droogvallende strand en de duinen te maken



Figuur 3-24: Een overzicht van de LiDAR meting voor de bodems (A) 1998 en (B) 2019. (C) De ontwikkeling van de 0 m contourlijn tussen 1998 en 2019. (D) Het verschil in bodemhoogte tussen 1998 en 2019.

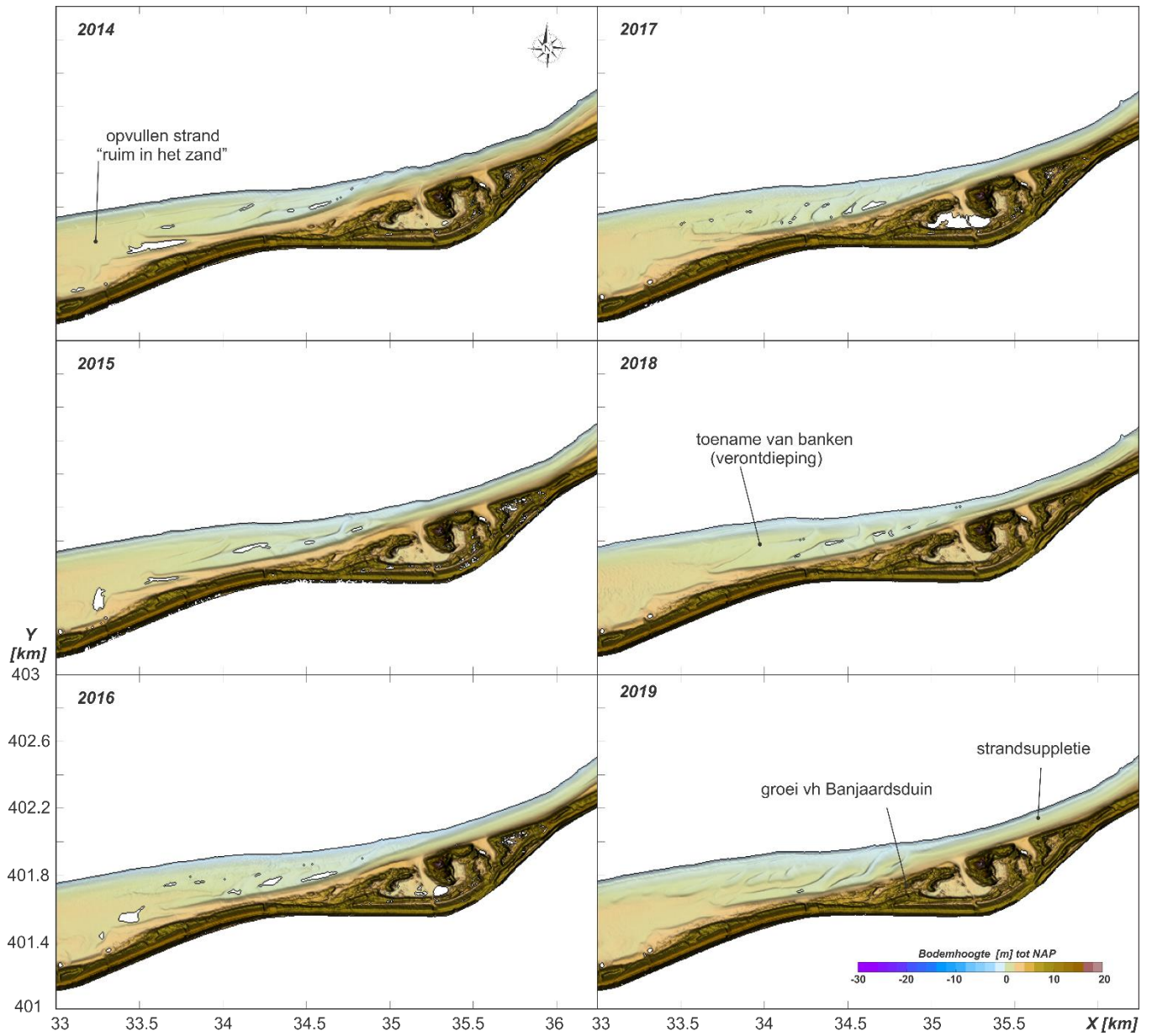
Voor dit deel van de kustlijn zijn er 23 DTM's beschikbaar voor de periode 1998 – 2019. Iedere DTM bevat ten minste de eerste duinerij en het droogvallende strand tot een diepte van ongeveer -1.5 m NAP. In Figuur 3-24 is de gehele kustzone vanaf raai 120 tot raai 800

weergegeven. Deze metingen geven een goed overzicht van de recente kustlijnontwikkeling en de karakteristieken van het droogvallende strand.

3.7.1 **Ontwikkeling strand Noord-Beveland**

Zowel de 1998 en de 2019 opname laten een smalle strandzone bij Noord-Beveland zien (Figuur 3-24). In 1998 is alleen tussen raai 540-600 is een uitbouw te onderscheiden. Bij de Veerse Dam, raai 400-540, is de strandbreedte nog beperkt. De voorliggende bank is hier nog niet duidelijk zichtbaar. Tussen raai 300 en 400 is het strand dan iets breder. Dit komt vooral doordat het Banjaardsduin nog iets teruggetrokken ligt. Doordat het duin verder landwaarts ligt, is hier lokaal een wat breder strand aanwezig. De strandbreedte is minimaal tussen raai 200 en 300. Richting de voet van de Oosterscheldekering neemt de strandbreedte dan weer toe (zie Hoofdstuk 3.7.2 voor details).

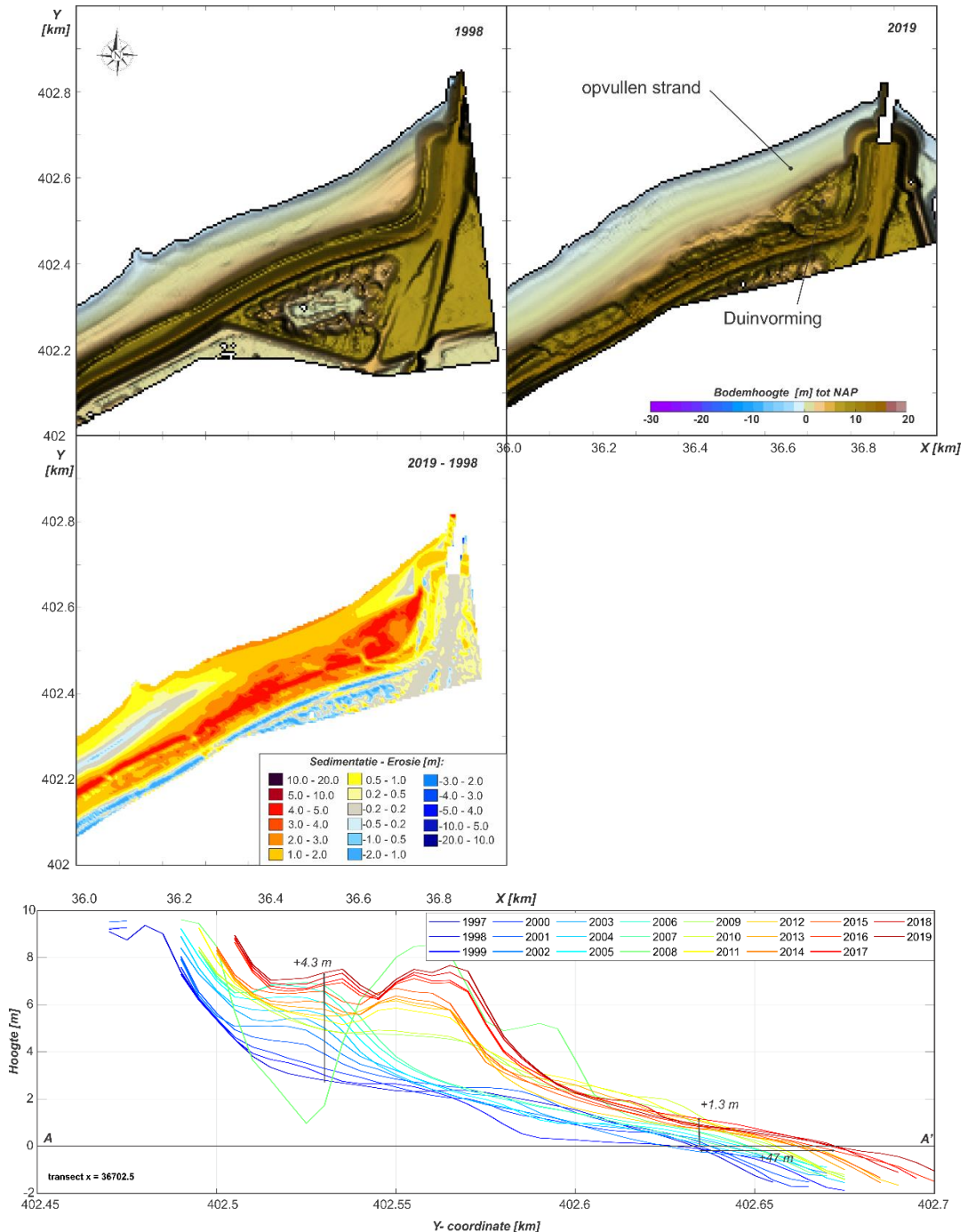
De verplaatsing van de 0 m contour (Figuur 3-24 C) illustreert de toename van de strandbreedte voor de Veerse dam (raai 360-540) tussen 1998 en 2019. De strandbreedte nabij raai 300 neemt juist sterk af. Deze afname komt niet alleen omdat de kustlijn zich terugtrekt, maar juist door het uitbouwende Banjaardsduin. Deze uitbouw vindt met name na 2017 plaats (Figuur 3-25). Deze recente LiDAR metingen laten zien dat het strand tussen raai 200 en 300 weliswaar weinig verandering toont, maar er wel grote veranderingen ten zuiden van raai 300 optreden. De uitgevoerde zandsuppleties dragen bij aan de aanzanding en groei van de Slufter (Banjaardsduin). Ook is er in de vooroever een toename van de sedimentvolumes te zien. Naarmate de vooroever aan de westzijde, voor de Veerse Dam, opvult en ondieper wordt, verplaatst er ook meer zand oostelijk. Deze zandverplaatsing is te zien de vorm van banken die ontstaan bij de Veerse Dam en dan oostelijk verplaatsen onder invloed van zowel getij als golven. In de recente bodem van 2019 is ook de in 2018 uitgevoerde strandsuppletie te onderscheiden.



Figuur 3-25: Een overzicht van de recente LiDAR metingen (2015-2019) van het Banjaardstrand en -duin.

3.7.2 Voet van de stormvloedkering

Een gedetailleerd beeld van de strandontwikkeling westelijk van de voet van de stormvloedkering wordt getoond in Figuur 3-26. De voet van de stormvloedkering staat hier als een obstakel dwars op de kust en steekt zo'n 200m zeewaarts uit t.o.v. de kustlijn. Sediment beweegt hier van west naar oost en vult dan de ruimte tussen de stormvloedkering en de kustlijn. In 1998 heeft zich zo al een breed strand gevormd. In de periode 1998-2019 vindt dan nog een verdere uitgroei plaats. De 0m NAP contour verplaatst zich een kleine 50 m zeewaarts en het strand wordt 1.3 m hoger. Tegen de zeewering is de groei nog sterker. Hier vormen duinen en neemt de hoogte met meer dan 4m toe.



Figuur 3-26: Een overzicht van de LiDAR meting voor de bodems 1998, 2019 en het verschil (2019-1998) ten westen van de voet van de Stormvloedkering. De onderste figuur toont de hoogteontwikkeling van het dwarsprofiel A-A'.

3.7.3 Erosie bij Breezand

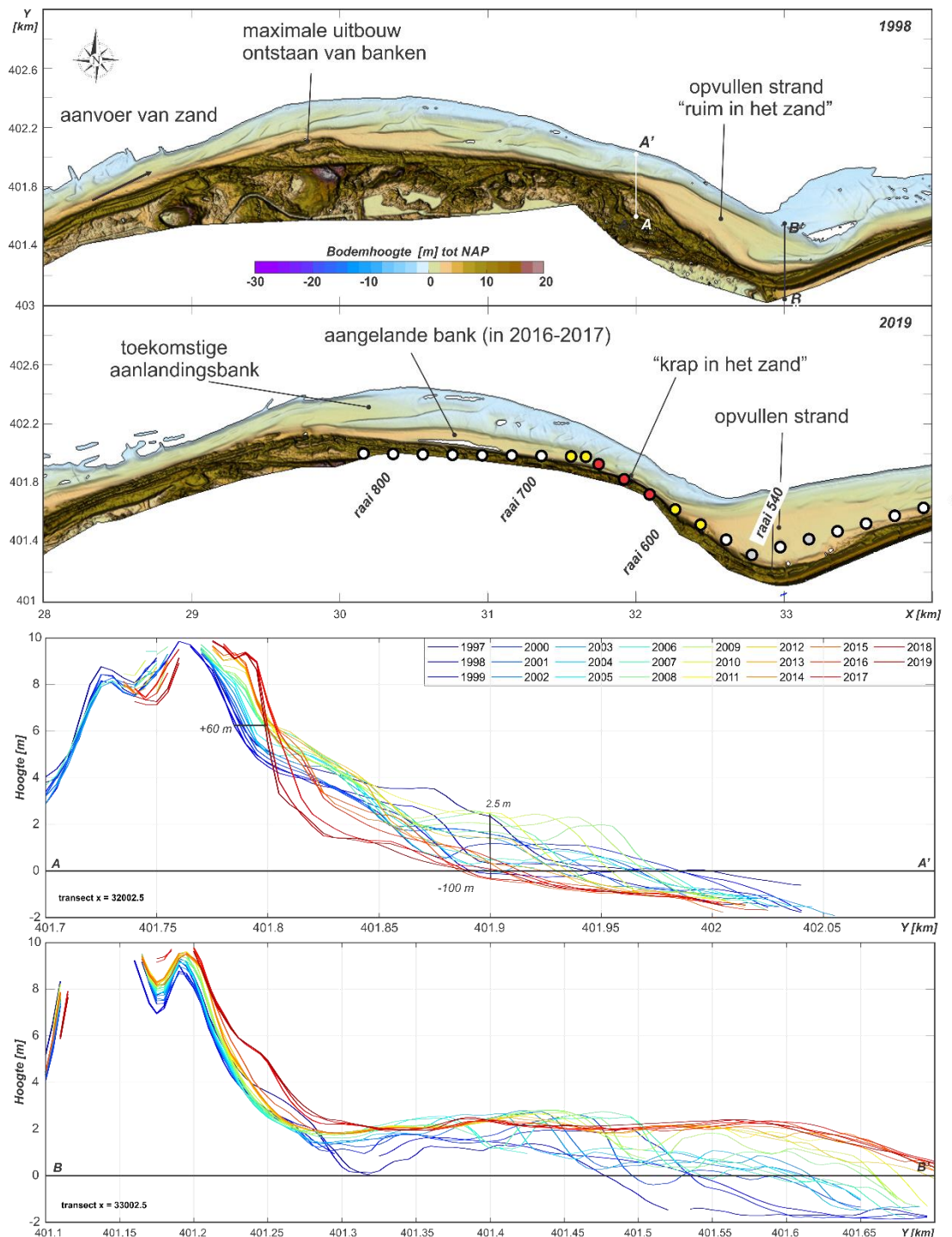
De LiDAR opnamen geven een goed beeld van de erosieproblematiek rond Breezand (Figuur 3-27). De sedimenthuishouding wordt hier bepaald door het zandaanbod vanaf de westkust van Walcheren. Golven spelen hier waarschijnlijk een belangrijke rol. Golfbreking in de surfzone zorgt voor een langtransport dat richting de Oosterscheldemonding is gericht. Aan de noordzijde van Walcheren spelen dan de getijstromingen door de voorliggende geul Roompot Zuid een grote rol. Deze getijstromingen zorgen dan voor een verdere kustlangse verspreiding van het sediment. De grote getijstromingen zijn er ook de oorzaak van dat de strandzone, tussen raai 600 en 800 small is. Het strand is op zijn smalst tussen raai 600 en 700. Dit komt mede doordat er hier een knikpunt in de kustlijn aanwezig is waardoor de stroming door de geul (Roompot Zuid) hier het meeste effect geeft.

Zowel duingroei aan de landzijde en een variërend zandaanbod aan de zeezijde zorgen ervoor dat de strandzone fluctueert in breedte. Net ten westen van raai 800 verandert de kustlijn van Walcheren van een Zuidwest-Noordoost oriëntatie naar een West-Oost richting. Zand aanvoer vanaf Walcheren vormt hier een aanzandingsgebied en een zeewaarts uitstekende kustlijn. Deze zandtoevoer is in het verleden beschreven als een zandgolf die langs de kust propageert (Verhagen en Maranus, 1987). In de vooroever zijn langgerekte banken (vliegende spitten) zichtbaar die zich ver oostelijk uitstrekken. Deze banken migreren langzaam oostelijk en richting de kust (zie Appendix A voor alle jaren). Als deze banken aan de kust aanlanden, dan bouwt de kustlijn uit. In de 1998, is er tussen raai 660 en 760 slechts een smal strand zichtbaar. In 2000 (zie Appendix) is er juist een bank aangeland en is het strand weer breder. Dit migreren en aanlanden van banken zorgt ervoor dat de strandbreedte aan de Noordzijde van Walcheren (raaien 700-800) periodiek groter en kleiner wordt. In de periode 1998-2007 is de zandtoevoer voldoende om zo de strandzone te behouden.

De zandtoevoer lijkt rond 2007 tijdelijk af te nemen. In de bodems van 2008-2010 is er een duidelijke verdieping van de vooroever tussen raai 700-800 te onderscheiden. In deze periode is er geen grote bankvorming zichtbaar. Er ontstaan wel enkele kleinere banken (2012-2014), maar de strandbreedte is in deze periode waarneembaar smaller geworden. Vanaf 2014 lijkt de zandtoevoer zich te herstellen, er dan weer de vorming van een grotere bank zichtbaar. Deze bank land rond 2018 aan, waardoor het strand tussen raai 700 en 800 weer in breedte toeneemt. Dit zand heeft echter de raaien oostelijk hiervan nog niet bereikt. In deze raaien is het zandtekort nog aanwezig en is de strandzone vrijwel verdwenen.

Naast variaties in de zandtoevoer spelen de morfologische veranderingen bij de Veerse Dam ook een rol in de erosie nabij raai 620-640. Voor 1998 resulteerde de grote zandtoevoer in bankvorming ten oosten van raai 600; door de sterke draaiing van de kust ontstaat een luwte gebied waar bankvorming mogelijk is. Het stukje kust tussen raai 540 en 620 zit dan ruim in het zand. Deze bank wordt echter in de loop van de tijd geërodeerd en er ontstaat lokale erosie op het knikpunt van de kust (raai 620-640). Het strand voor de Veerse Dam is in deze periode sterk uitgebouwd. Deze uitbouw is al sinds afsluiting van de Veerse Dam zichtbaar. De banken die zeewaarts liggen worden daarbij opgeruimd (zie Hoofdstuk 2.2). In de 2019 bodem is de uitbouw van het Veerse Dam strand duidelijk terug te zien. Deze bank heeft zich tot ongeveer raai 600 uitgebouwd, maar nog niet tot de raaien 620-660.

Of de erosie rond raaien 620-670 zich in de toekomst doorzet is afhankelijk van twee factoren. Ten eerste het zandaanbod dat vanaf de kust van Walcheren beschikbaar is. In 2019 zijn al grote banken aanwezig. Het is mogelijk dat aanlanden van deze banken voor voldoende zandaanbod zorgt zodat de kust weer uitbouwt. Daarnaast is het doorzetten van de groei van het Veerse Dam strand van belang. Met doorgaande groei wordt het erosiegebied ingepakt met zand en verdwijnt het knikpunt (Bolwerk). Het verdwijnen van het knikpunt zal de erosie die hier optreedt verkleinen, zodat de kustlijn beter behouden blijft. De veranderingen gaan echter zeer geleidelijk waardoor er op korte termijn (5 jaar) nog wel erosie te verwachten is.



Figuur 3-27: Een overzicht van de LiDAR meting voor de bodems 1998, 2019 (boven), De onderste twee figuren tonen de hoogteontwikkeling van dwarsprofielen A-A' en B-B'.

4 Samenvatting en conclusies

Deze rapportage beoogt een gefundeerde onderbouwing te geven van oorzaken van de morfologische veranderingen van het strand en de aangrenzende vooroever van het Banjaardstrand en Breezand. Hiervoor zijn door RWS zes onderzoeksvragen opgesteld. Beantwoording van deze vragen is de basis van de samenvatting en de conclusies.

1. *Waarom is het strand Noord-Beveland in de laatste jaren smaller en steiler geworden?*
 - a. *Is dit een lokale vervorming of onderdeel van een grootschalige verandering in de voorliggende geulen en platen van de buitendelta?*
 - b. *Wat zijn hier de drijvende processen?*
 - c. *Zijn de onderliggende processen structureel (doorgaand) of incidenteel?*

De kust van Noord-Beveland, het Banjaardstrand, gelegen tussen raai 180 en 300, vertoont structurele erosie. Deze erosie vindt zijn oorsprong in het zuidelijk migreren van de bank Onrust en de geul Schaar van Onrust. Deze geul is tussen 1960 en 1990 sterk landwaarts verplaatst, waardoor zowel de vooroever en het strand sterk in volume afnamen. Zandsuppleties zorgen ervoor dat het smalle strand sindsdien behouden blijft. Zonder deze suppleties zou de geulverplaatsing zich waarschijnlijk verder doorgezet hebben.

Het landwaarts verplaatsen van Onrust is waarschijnlijk gerelateerd aan de aanleg van de Stormvloedkering. Dit zette grote veranderingen in de monding in gang. Het getij is hierbij het drijvende mechanisme. De getijstromingen zijn ook verantwoordelijk voor de erosie van het strand van Noord-Beveland, met name ter hoogte van raaien 180-300. Daar ligt de Schaar van Onrust dicht tegen de kust aan. Met elk getij wordt zand kustlangs afgevoerd. Een deel van dit zand wordt westelijk neergelegd (rond raaien 100 - 140), hierdoor bouwt de kust aan de voet van de Stormvloedkering uit.

2. *Wat is de verwachting voor de strandontwikkeling t.h.v. Jarkusraai 260 en 280?*

Een gedetailleerde analyse van de dwarsprofielen laat zien dat de strandontwikkeling zich zal doorzetten. Een aanname hierbij is dat ook het tot nu toe gevoerde suppletiebeleid wordt doorgezet. Suppleties zijn nodig om de kustlijn hier in stand te houden. Zonder suppletie zou hier geen strand aanwezig zijn. Door de geulpositie is het strand (de vooroever) smal en kan er slecht een beperkte hoeveelheid zand effectief in het profiel worden aangebracht. Suppleties moeten hier daarom regelmatig herhaald worden. De frequentie van suppleren is afhankelijk van de grootte van de suppletie, maar ook natuurlijke variatie speelt een rol. In een relatief stormachtig jaar zullen de verliezen groter zijn dan in een rustig jaar. Op basis van de uitgevoerde suppleties wordt geconcludeerd dat de MKL na suppletie gemiddeld 15 m zeewaarts verplaatst. Daarna vindt een jaarlijkse terugtrekking van de MKL plaats van 5 m/jaar.

De recente bodemopnamen, vanaf 2014, laten een verflauwing van de geulwand zien. Deze verflauwing zal er niet voor zorgen dat de erosie van het strand op korte termijn reduceert. Wel kan dit een indicatie zijn dat de geul langzaam iets in belang afneemt. Op langere termijn kan dit de erosie iets reduceren, maar zolang een geul aanwezig is zal deze niet geheel verdwijnen.

3. *Wat is de verwachting van de strand/vooroever ontwikkeling t.h.v. Breezand?*

Voor het stukje kust nabij Breezand zijn twee zaken van belang. Ten eerste is er structurele erosie door de vorm van de kustlijn (bolwerk). Ten tweede zijn er perioden van groei en terugtrekking die gerelateerd zijn aan de sedimenttoevoer vanaf de westzijde van Walcheren.

De structurele erosie hangt samen met de vrij abrupte sprong in kustlijnligging tussen de kust van Walcheren en de kust van Noord-Beveland. Ter hoogte van raai 640 en raai 540 bevindt zich een knikpunt in de kust. Abrupte overgangen in kustlijnoriëntatie, zoals een bolwerk, zorgen voor een versnelling (of een vertraging) in de (getij)stromingen en, daaraan gerelateerd, gradiënten in de sedimenttransporten. Deze gradiënten zorgen ervoor dat een uitstekende kust (bij Breezand) erodeert zodat een vloeiende kustlijn ontstaat. Voor zo'n vloeiende kustlijn moet de kust nabij raai 640 zich nog verder terugtrekken. Vanuit dit oogpunt zal de erosie zich hier ook in de toekomst nog wel voortzetten. In het knikpunt nabij raai 540 vindt eigenlijk het tegenovergestelde proces plaats. Hier ligt de kust te ver landwaarts en moet juist aanzanden om evenwicht te bereiken. Deze aanzanding is duidelijk terug te zien in de bodemontwikkeling. Bij voldoende zandaanbod zal ook dit zich in de toekomst doorzetten. De kustlijn hier ook een evenwicht bereiken als de kustvoortgang zich voldoende doorzet. Dit proces zal echter niet op korte termijn de erosie nabij raai 640 al reduceren. Op korte termijn (5-10 jaar) zal het strand t.h.v. Breezand wel gevoelig blijven voor erosie.

Dat het strand gevoelig is voor erosie wil niet zeggen dat er voortdurend erosie plaats zal vinden. Naast de hierboven geschetste morfologische aanpassing speelt ook het sedimentaanbod een belangrijke rol. De noordzijde van Walcheren wordt gekenmerkt door perioden van groei en aanzanding die samenhangen met de vorming en de verhelving van zandbanken (vliegende spitten). Deze banken vormen aan de noordwestzijde van de kust en vouwen zich om het bestaande bolwerk in de kust westelijk van raai 800 heen, waardoor banken op de vooroever staan meer westelijk. Deze banken landen onder invloed van de getijstrooming en golfprocessen verder oostelijk aan, ruwweg in het gebied tussen raai 700 en 800. Na grote bankaanlandingen kan veel zand kustlangs worden verspreid. Er zullen dus perioden zijn waarbij het zandaanbod groter is en Breezand ruimer in het zand zit en perioden waarin minder zand beschikbaar is.

De huidige minimale ligging lijkt gerelateerd aan een periode rond 2007 waarin zandtoevoer vanaf de westzijde van Walcheren tijdelijk kleiner was. Een nieuwe bankaanlanding (rond 2018) heeft ervoor gezorgd dat het strand tussen raai 700 en 800 al weer uitgebouwd is, maar heeft Breezand nog niet bereikt. Behalve de huidige bank is in de bodem van 2019 ook een nieuwe grote aanlandingsbank te onderscheiden. Het is mogelijk dat deze bank na aanlanding ook de kustzone nabij Breezand tijdelijk van meer zandvolume voorziet.

4. *Wat is de bijdrage van de geulwandsuppletie uit 2013 aan de strandontwikkeling Noord-Beveland en Breezand? en hieraan gerelateerd: Krijgt de getijstrooming een nieuwe verdeling/oriëntatie, waardoor de lokale, strand/vooroeverontwikkelingen (steiler en smaller)?*

Uitgedrukt in termen van een kustindicator of de strandlijnen is er geen duidelijke bijdrage van de geulwandsuppletie te onderscheiden. Dit is op zich logisch, de suppletie is immers buiten de MKL-rekenschijf aangebracht.

De naam geulwandsuppletie is hier eigenlijk misleidend. De suppletie is vooral aangebracht als een geulopvulling. In raai 260 neemt de geuldiepte na aanleg met 5 m af. Dit geeft een significante verkleining van de doorstroomoppervlakte. Deze verdringt gedeeltelijk het getij en heeft als doel een verkleining van de getijgedreven erosie. Vanuit dit perspectief lijkt de suppletie succesvol. De geulopvulling blijft ook in de jaren na aanleg aanwezig. De geuldiepte neemt na 2013 zelfs iets verder af. De suppletie blijft in staat een deel van het debiet door de Schaar van Onrust te verdringen. Als dit niet het geval was, dan was de suppletie immers snel weer geërodeerd.

Een indicatie dat de debieten door de geul zijn afgenomen volgt ook uit de ontwikkeling van de geulwanden. In de periode 1990-2013 is een evenwichtsgeulprofiel ontwikkeld dat gekenmerkt

wordt door een steile zeewaartse en landwaartse geulwand. Hierdoor grenst de diepe geul vrijwel direct aan het strand en vindt de afvoer van sediment efficiënt plaats. Na de geulwandsuppletie in 2013 lijkt het geulprofiel te verflauwen. Door de afgenomen debieten kunnen de steile geulwanden niet meer worden gehandhaafd. Ze zakken uit en de geul wordt ondieper. Dit uitzakken is een aanwijzing dat de getijgedreven erosie (langstransport) is gereduceerd. Op korte termijn geeft dit echter nog geen verkleining van de stranderosie, omdat de verliezen in dwarsrichting juist iets toenemen. Deze dwarsverliezen zullen plaatsvinden tot een nieuw geulevenwicht wordt bereikt. Op lange termijn zal de erosie wel afnemen, maar niet helemaal verdwijnen. Zolang er een geul aanwezig is die direct grenst aan de strandzone zullen strandsuppleties hier nodig blijven om het strand en de MKL te handhaven. Wel zou met een afname van de debieten, dus transportcapaciteit van de geul, de omvang of frequentie van de suppleties kunnen afnemen.

5. *Welke andere morfologische ontwikkelingen zijn te verwachten door de nieuwe verdeling van de getijstroming?*

De analyses geven geen grootschalige verbanden tussen de geulwandsuppletie en de omliggende morfologische elementen. De lokale effecten zullen vooral een aanpassing van de Schaar van Onrust inhouden zoals beschreven in de beantwoording van vraag 4.

6. *Wordt de verdieping van de voormalige ebschaar voortgezet? Kan dat leiden tot een actieve verbinding tussen de Roompot Zuid en de Oude Roompot?*

Deze vraag is met de uitgevoerde analyse niet sluitend te beantwoorden. De verdieping van de voormalige ebschaar in het drempelgebied tussen de Oude Roompot en de Roompot Zuid is in de 2019 bodemopname niet duidelijk te onderscheiden van de variabiliteit in bodemligging in de voorgaande jaren.

Aanbevelingen

Deze studie wijst uit dat de kustlijnontwikkeling nabij Breezand afhankelijk is van de toevoer van zand vanaf de noordwestkust van Walcheren. Perioden met erosie en sedimentatie hangen samen met de vorming van banken (vliegende spits) die gevoed worden vanaf de westzijde van Walcheren. Deze sedimentaanvoer fluctueert in grootte, in het verleden al beschreven als zandgolven. Met behulp van de langere meetreeksen (Jarkus datasets), nieuwe data (LiDAR) en verbeterde analysetechnieken kan meer inzicht worden verkregen in deze toevoer. Dit helpt om de kustontwikkeling van Walcheren beter te begrijpen.

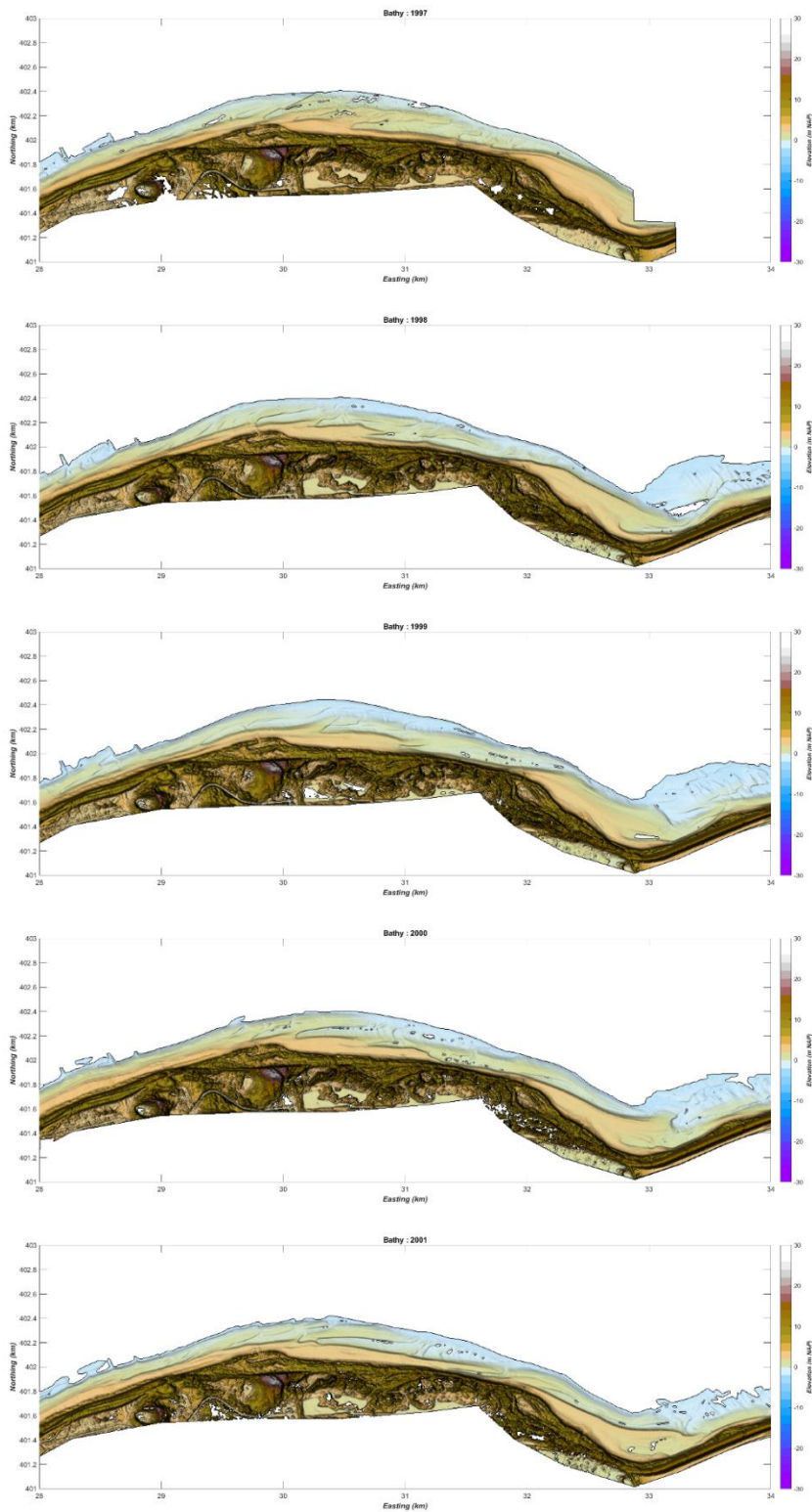
Op basis van de bodemontwikkeling kan de erosie van de kust van Noord-Beveland goed worden verklaard. Door de landwaartse verplaatsing van de Onrust wordt de Schaar van Onrust de kust ingeduwd, waardoor de kustlijn structureel zand verliest. De ontwikkelingen worden gestuurd door grootschalige veranderingen in het morfologische systeem die waarschijnlijk samenhangen met de aanleg van de Oosterscheldekering. Hoe dit precies te werk gaat en welke processen hier maatgevend zijn is niet bekend. Met behulp van modellering (bijv. SedTRAILS) kan meer inzicht in de onderliggende processen worden verkregen. Dit helpt om de in het verleden opgetreden veranderingen beter te begrijpen en toekomstig gedrag beter te voorspellen.

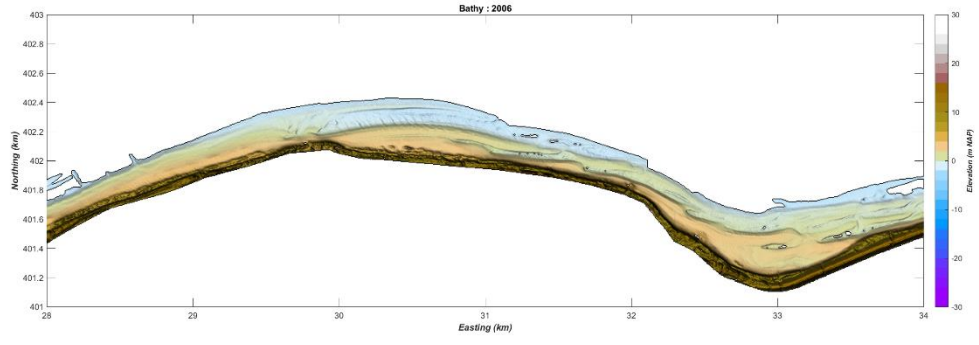
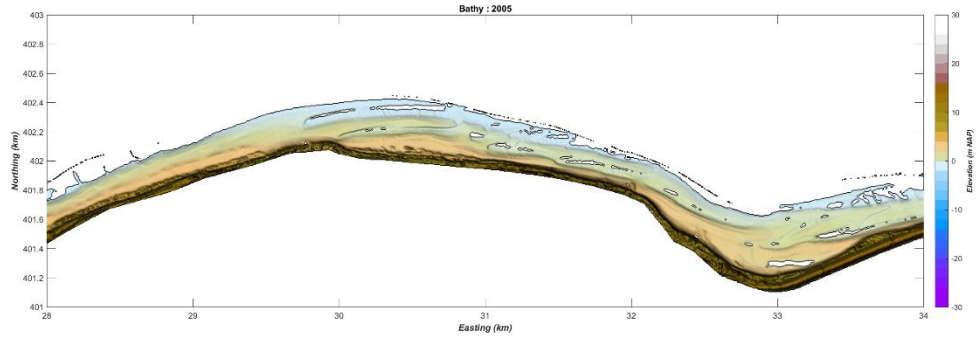
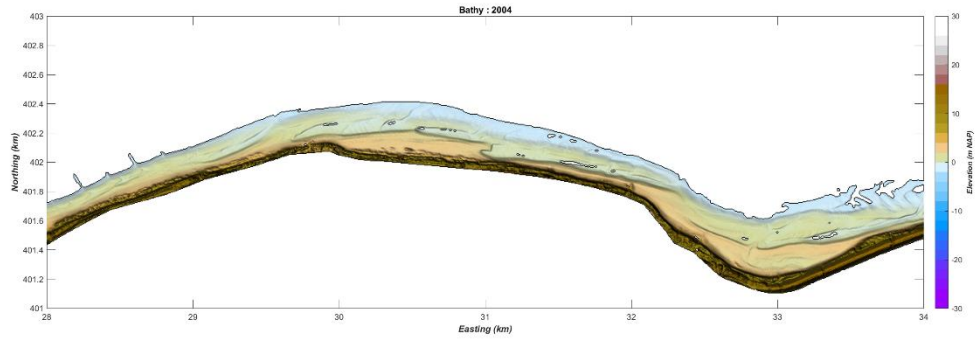
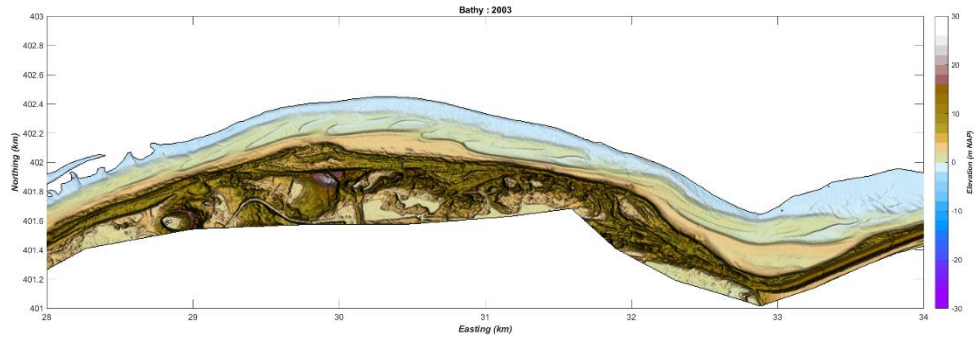
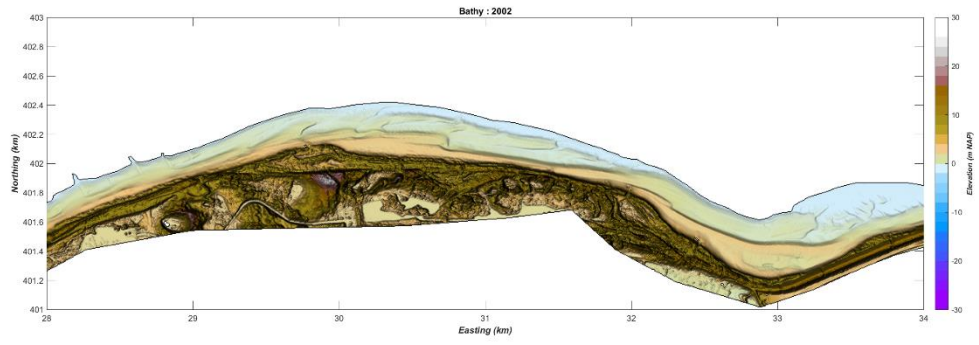
Literatuur

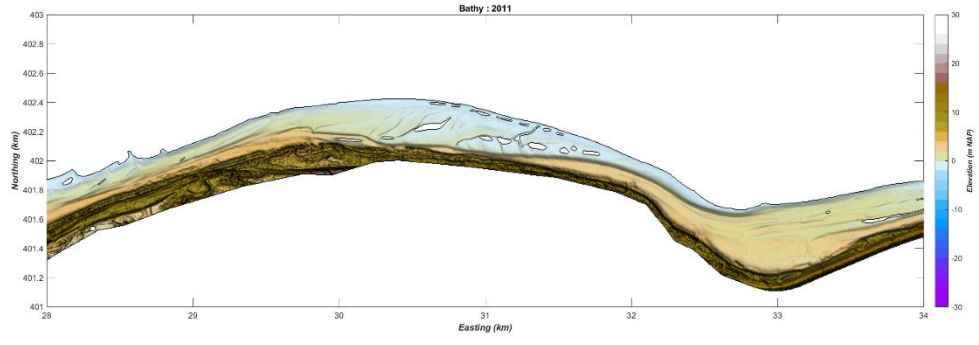
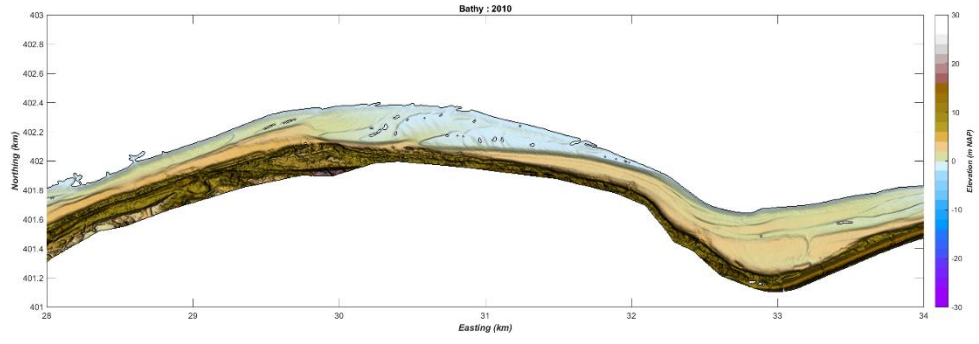
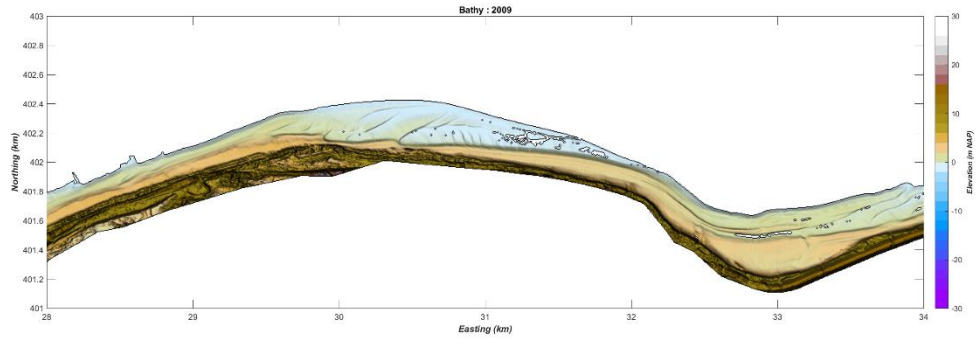
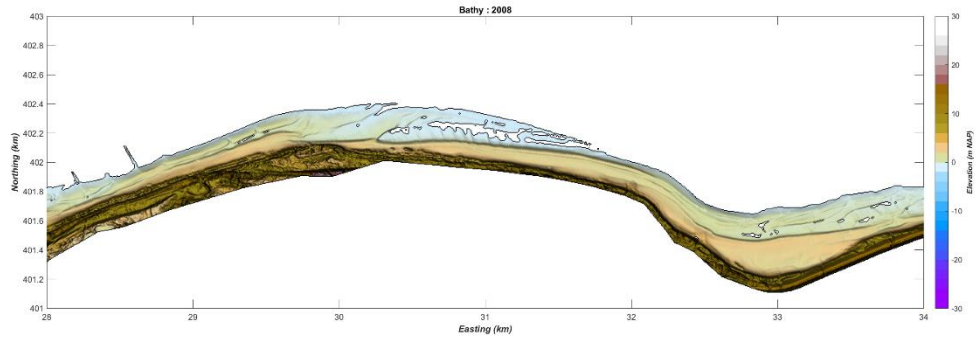
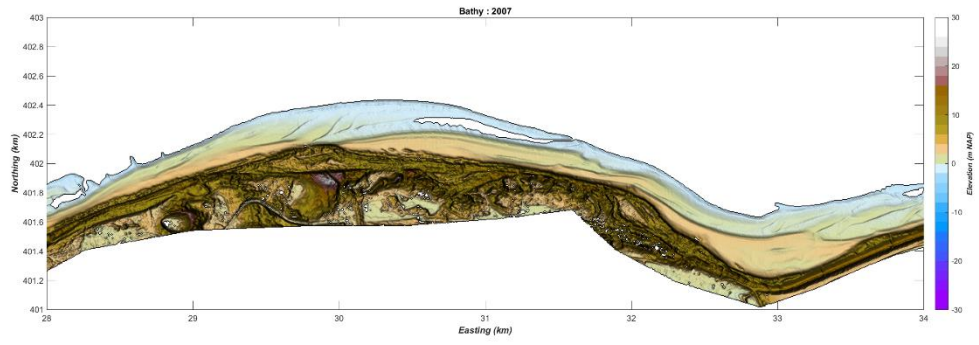
- De Groot, A.V. (2002). Kustlijnhandhaving Onrustpolder, Evaluatie van de effecten van morfologisch baggeren en strandsuppleties. Stageverslag, Universiteit Utrecht, Nederland.
- Dekker, L. (2006). Getijvolumes Roompot-Hompels (concept). Memo, Rijkswaterstaat Dienst Zeeland.
- Dekker, L. (2009). Monitoring morfologisch baggeren Roompot Hompels 2008. Memo, Rijkswaterstaat Dienst Zeeland.
- Dekker, L. (2010). Monitoring morfologisch baggeren Roompot Hompels 2008. Memo, Rijkswaterstaat Dienst Zeeland.
- Eelkema, M., (2013). Eastern Scheldt Inlet Morphodynamics. Proefschrift TU Delft.
- Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F., (2015). Grootschalige morfologische veranderingen in de Voordelta 1964 – 2013, WERKDOCUMENT. Report 1207724-001, Deltares, Delft. (in Dutch).
- Elias, E.P.L., van der Spek, A.J.F. van der, Lazar, M., (2016), The 'Voordelta', the contiguous ebb-tidal deltas in the SW Netherlands: large-scale morphological changes and sediment budget 1965–2013; impacts of large-scale engineering, Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw <https://doi.org/10.1017/njg.2016.37>
- Elias, E.P.L., Van der Spek, (2017). Dynamic preservation of Texel Inlet, the Netherlands: understanding the interaction of an ebb-tidal delta with its adjacent coast. Netherlands Journal of Geosciences, 96 (4), p. 293-317.
- Schrijvershof, R. (2017). Evaluatie geulwandsuppletie Onrust. Memo 11200538-004-ZKS-0004, Deltares, Delft.
- Van den Berg, J.H., (1984). Morphological changes of the ebb-tidal delta of the Eastern Scheldt during recent decades. Geologie en Mijnbouw, 63: 363-375.
- Van der Werf, J.J., Doornenbal, P.J., McCall, R.T., 2010. Verkenning van strategieën voor het kustonderhoud bij de Onrustpolder, Zeeland. Rapport 1202349-000, Deltares, Nederland.
- Verhagen, H.J., Maranus, J.W., (1987). Zandgolven en kustverdediging in Zeeland, PT/Civiele techniek, 42 (2), 1987.

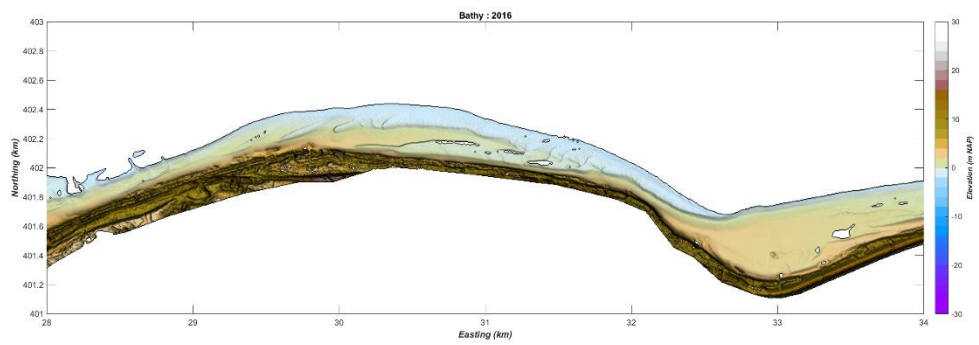
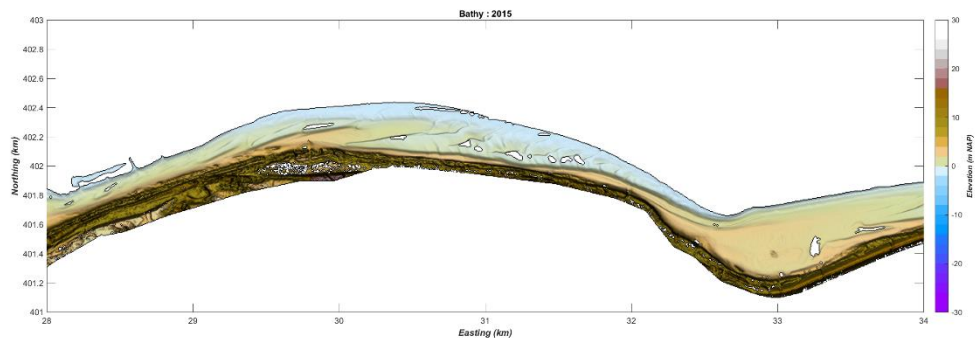
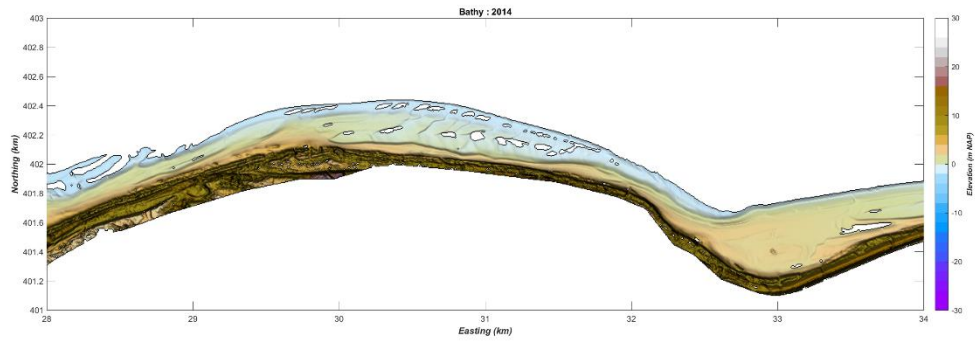
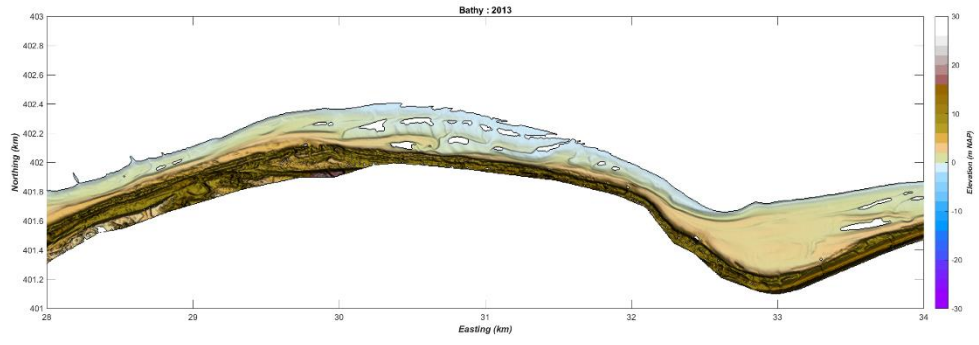
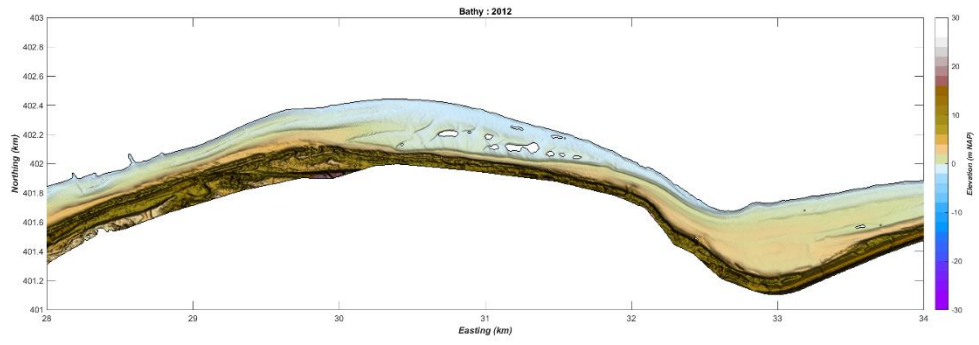
A LiDAR Walcheren Noord

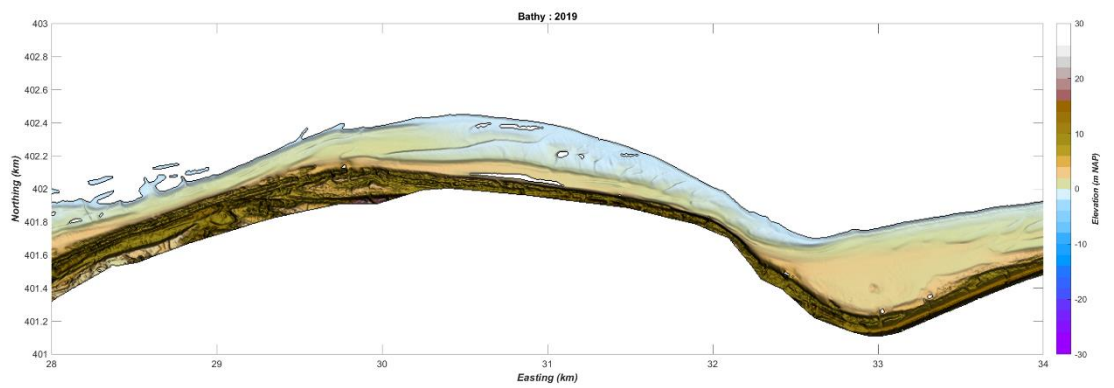
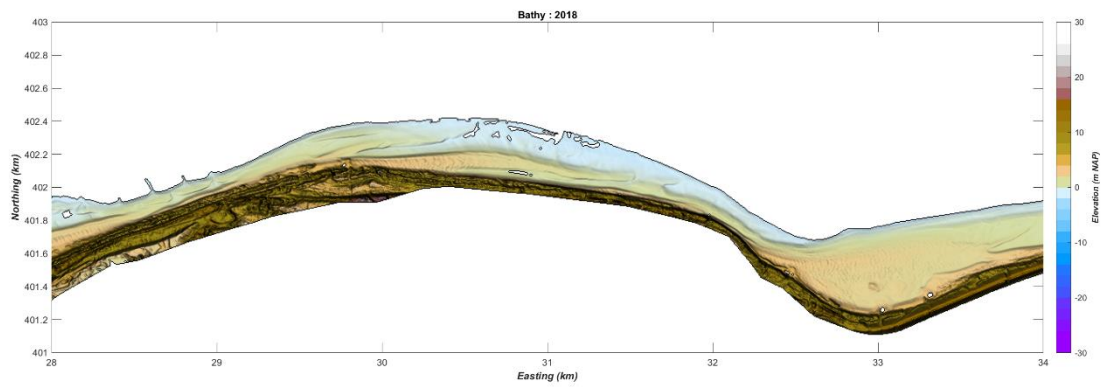
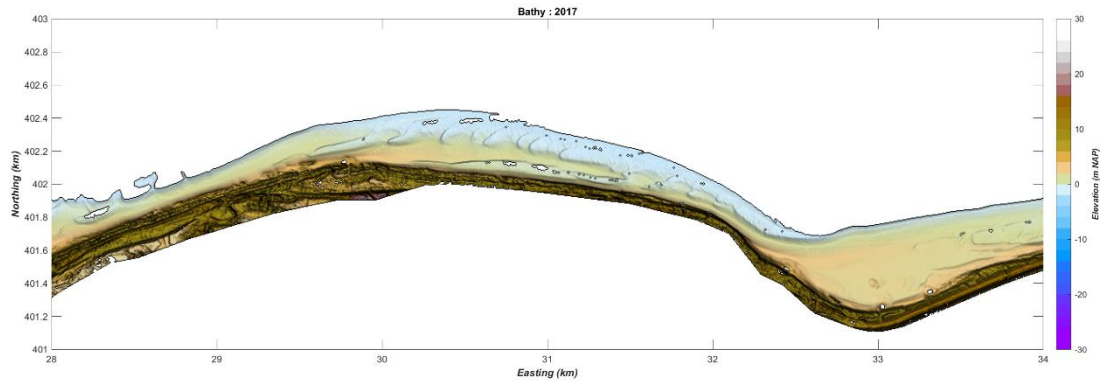
In onderstaande figuren worden de beschikbare LiDAR opnamen voor Breezand getoond. Het jaartal wordt weergegeven in de titel. De figuren zijn hierbij verder niet van onderschrift voorzien.









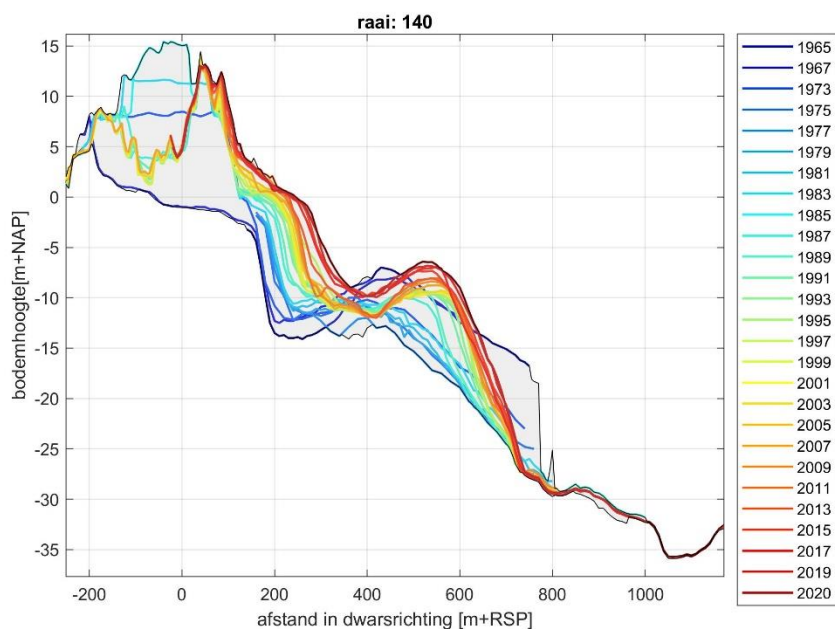
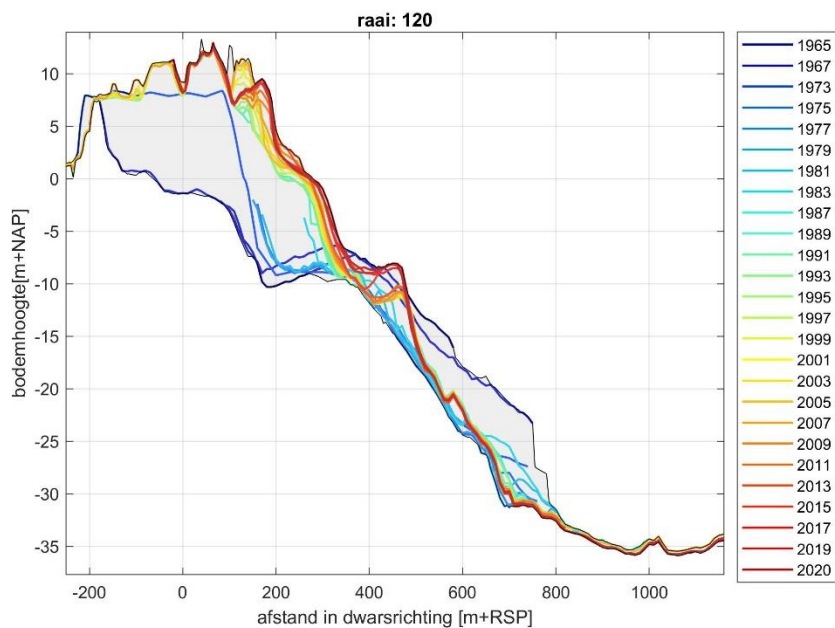


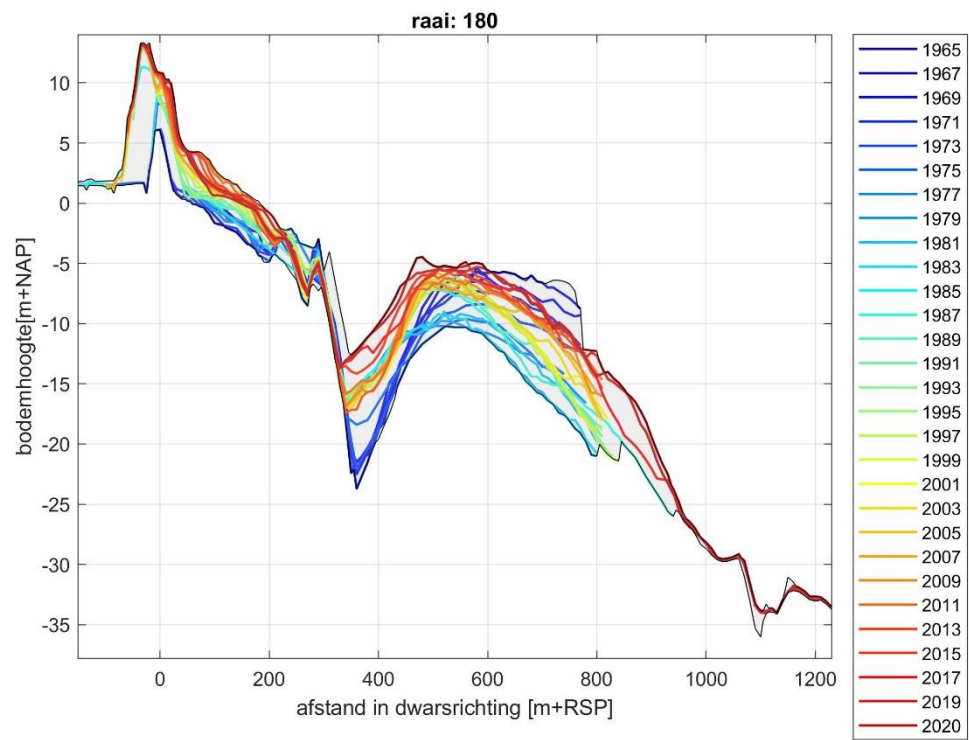
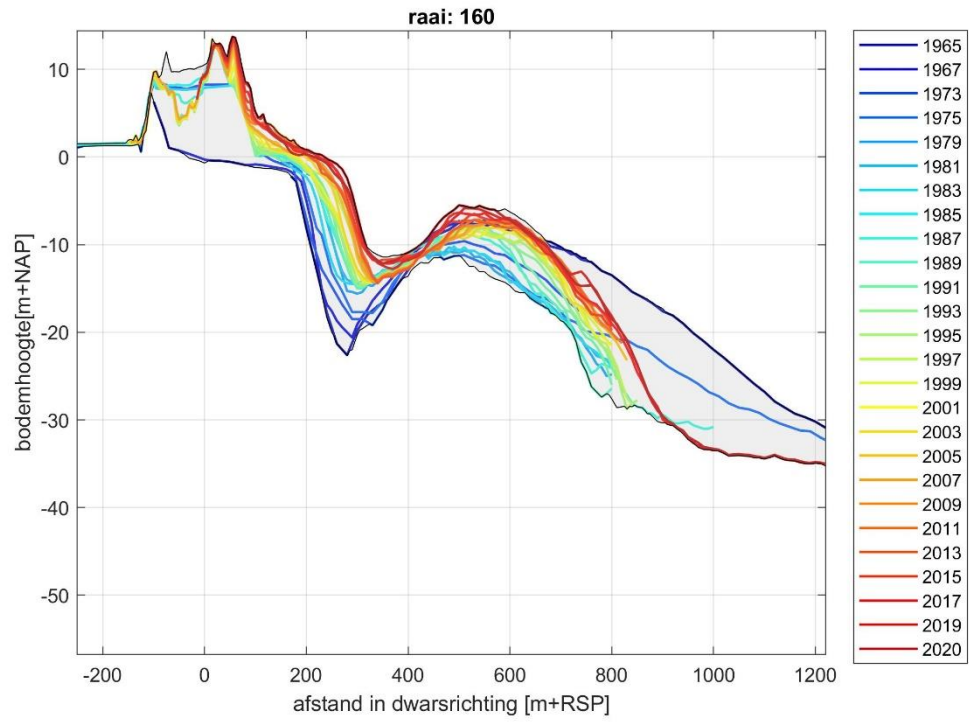
B Jarkus Profielen

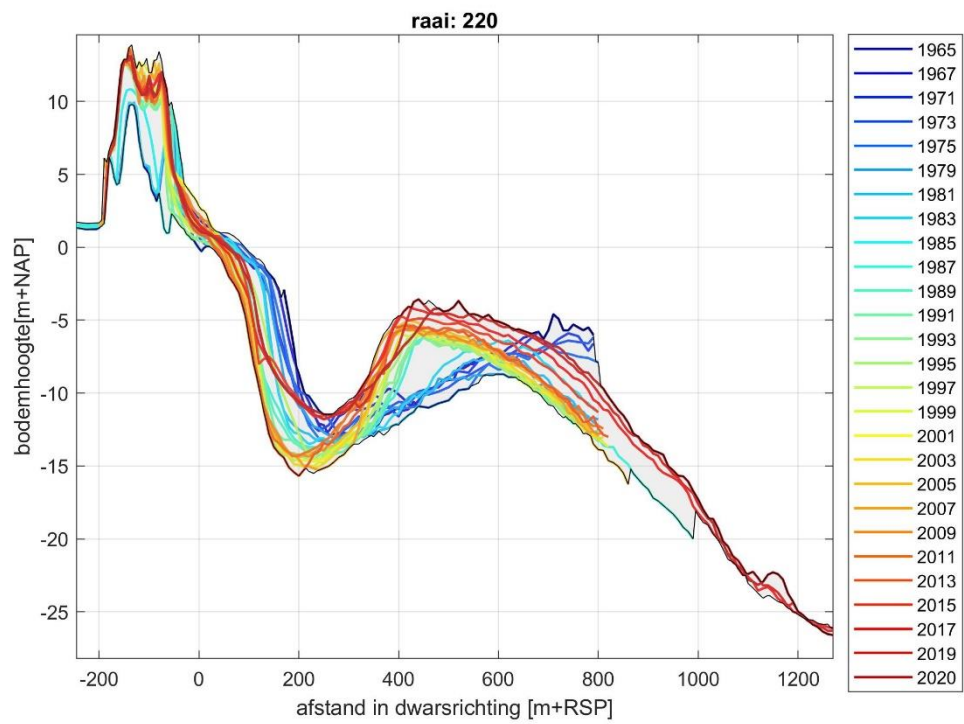
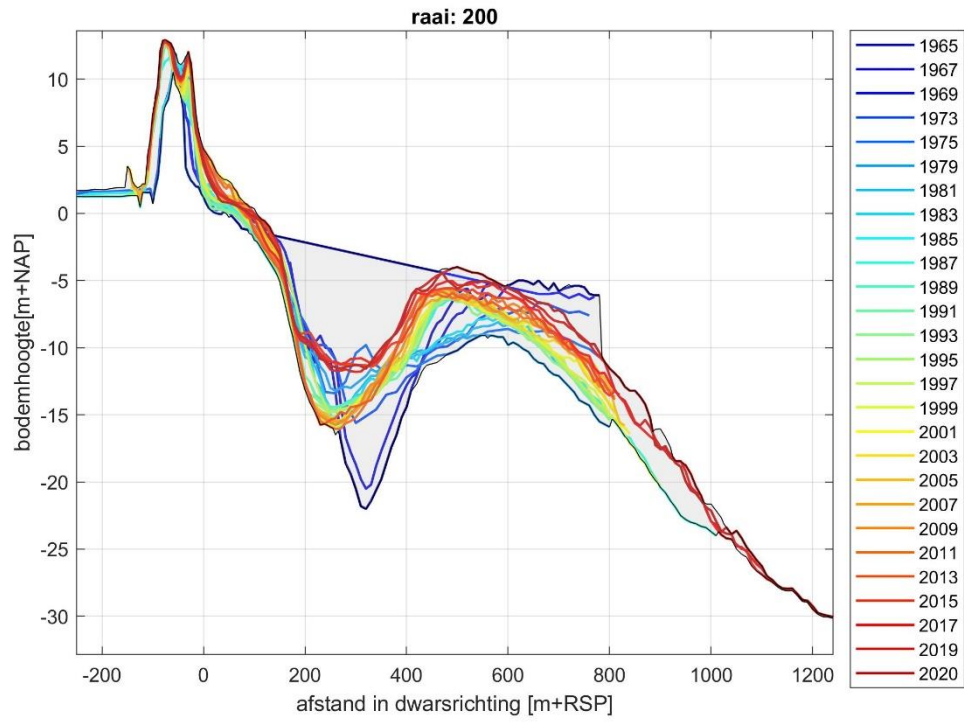
B.1 Noord-Beveland

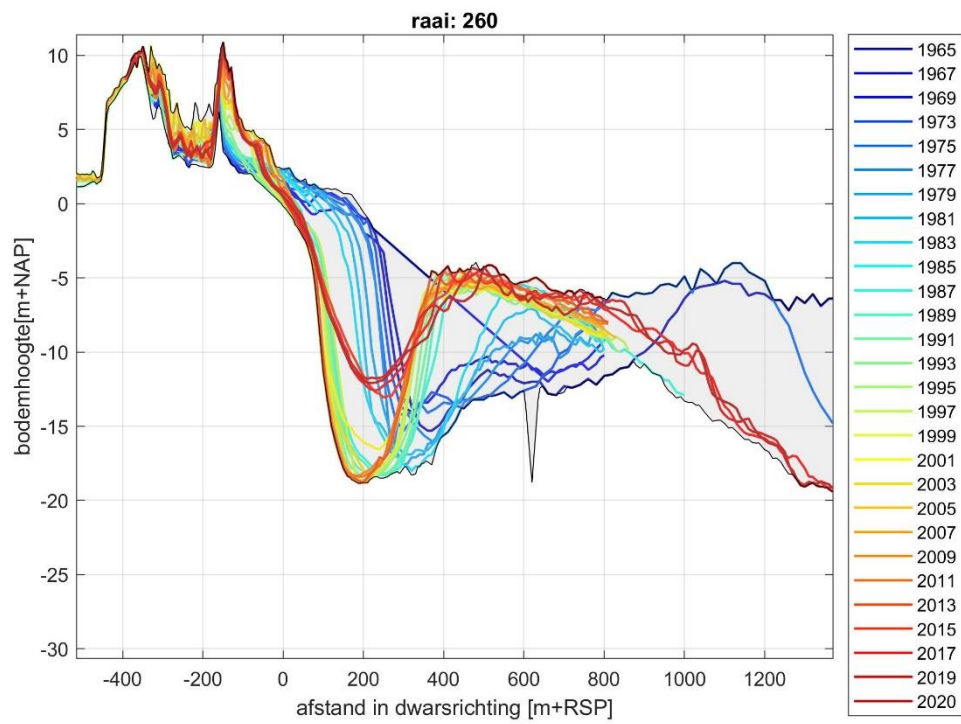
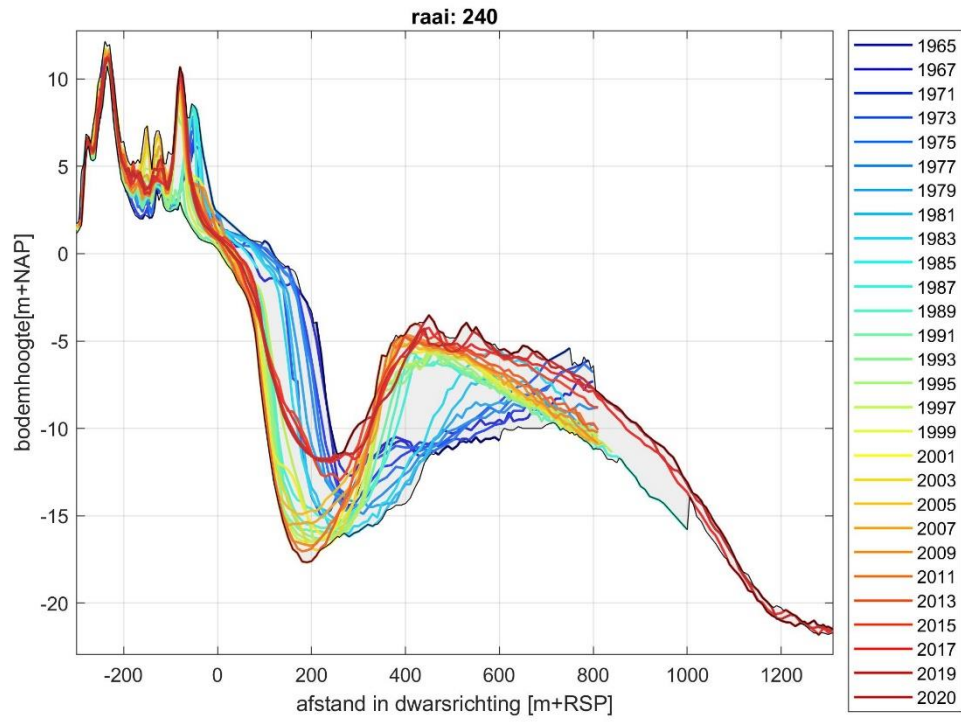
B.1.1 Overzicht van de Jarkus profielen (1965-2020)

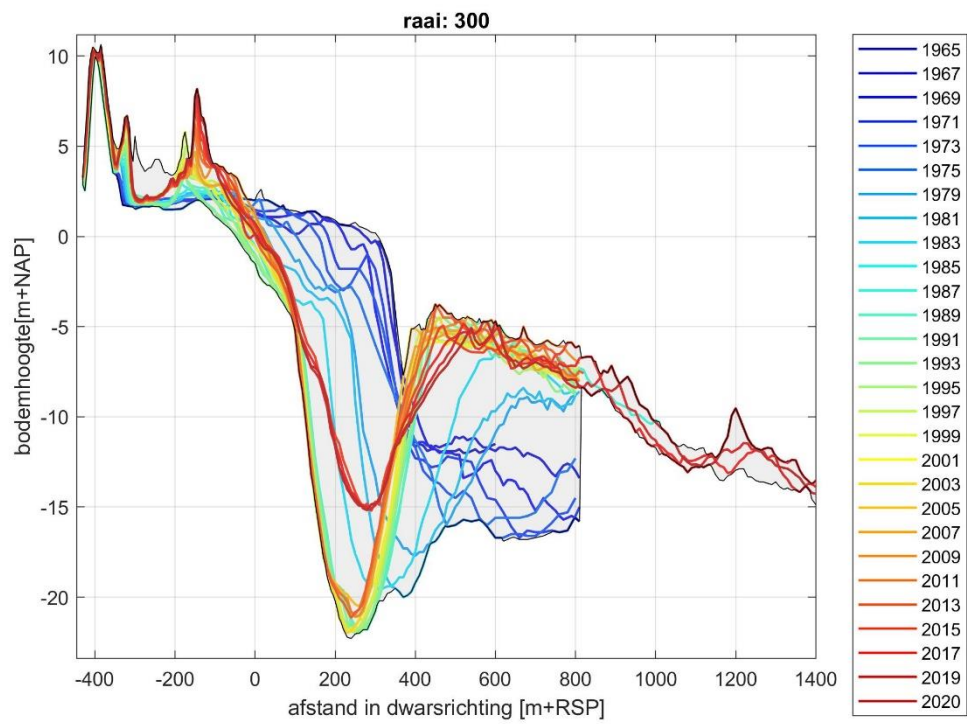
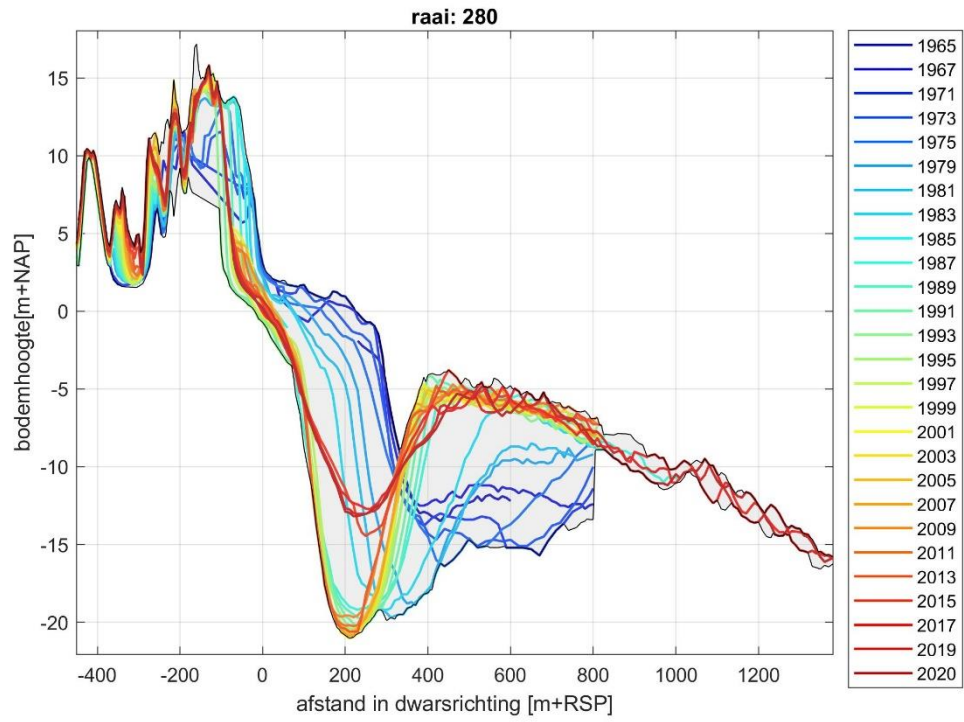
In onderstaande figuren is de profielontwikkeling in 2-jaarlijks interval te volgen voor raaien 120 tot en met 520. De raainummering is boven de figuur aangegeven. De figuren zijn hierbij verder niet van onderschrift voorzien.

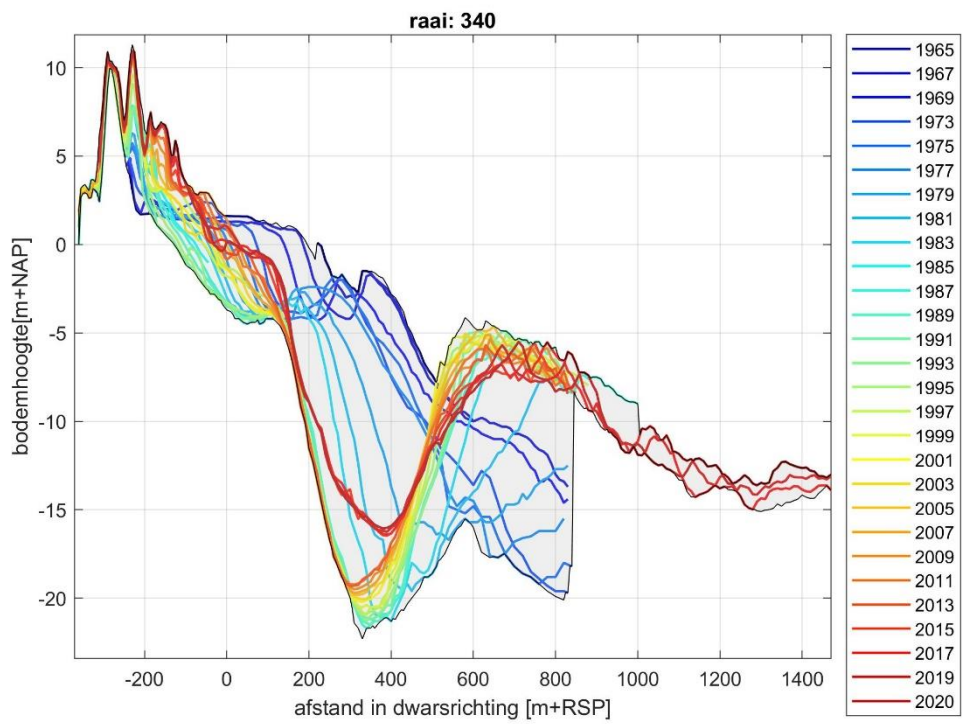
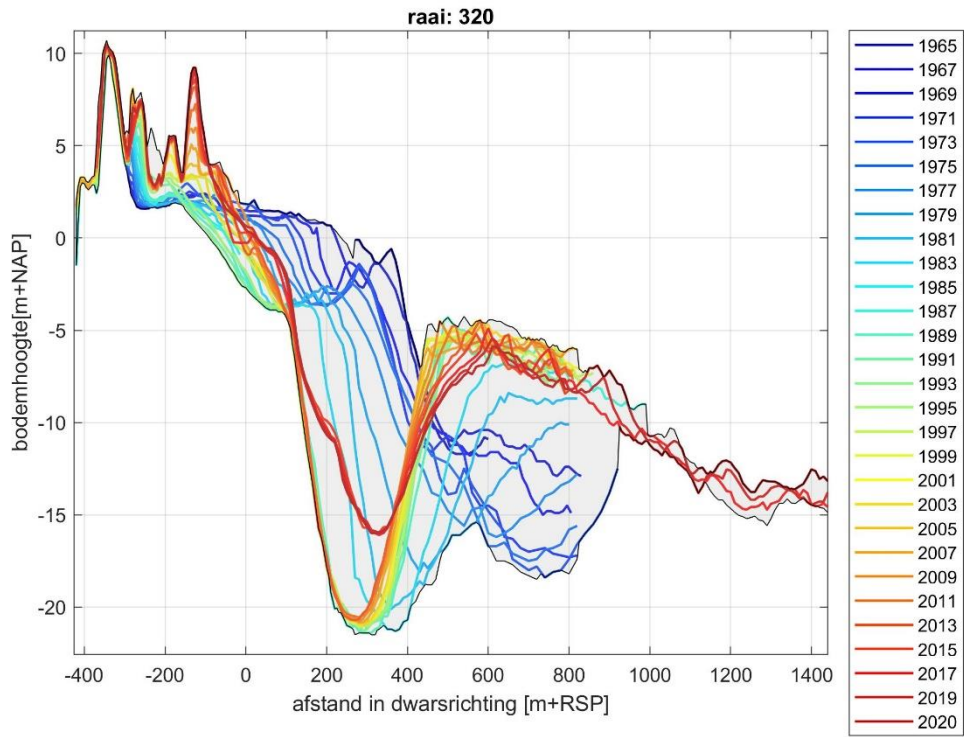


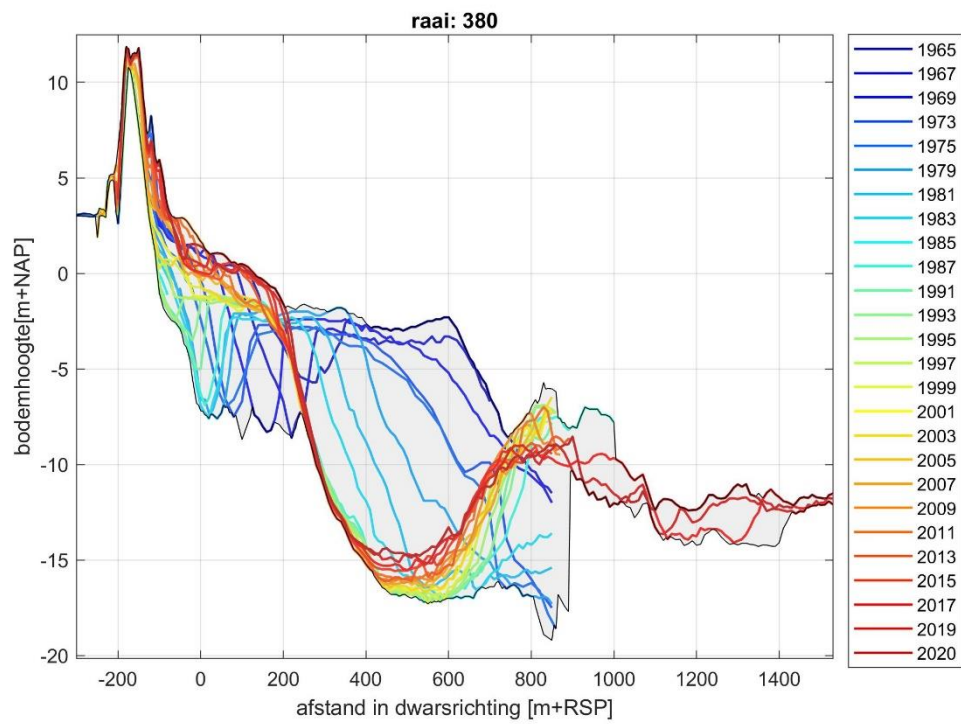
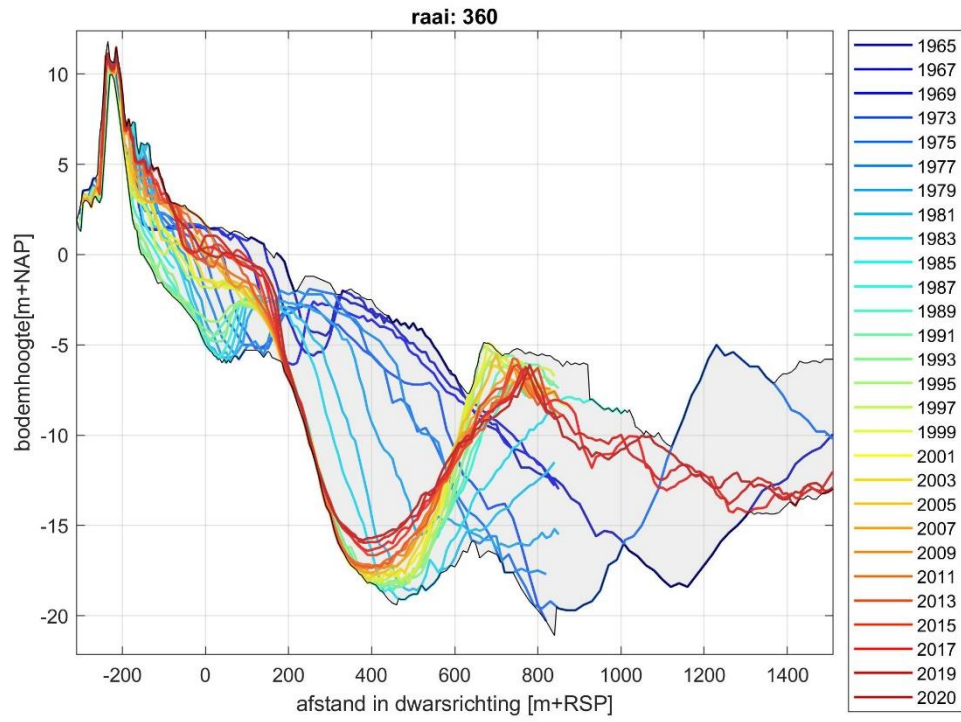


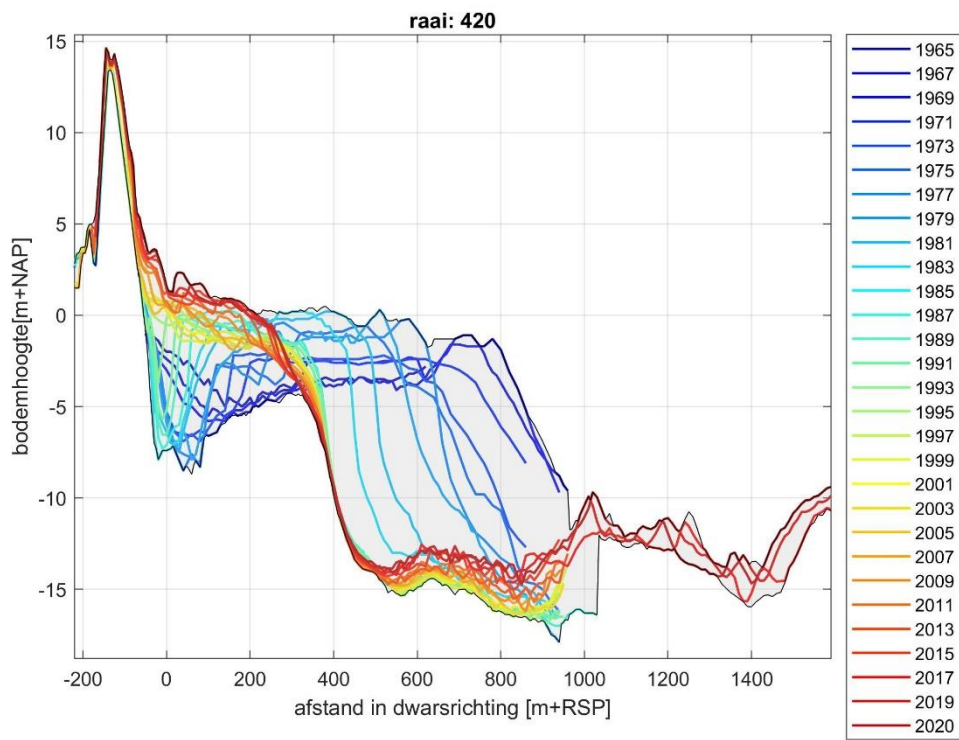
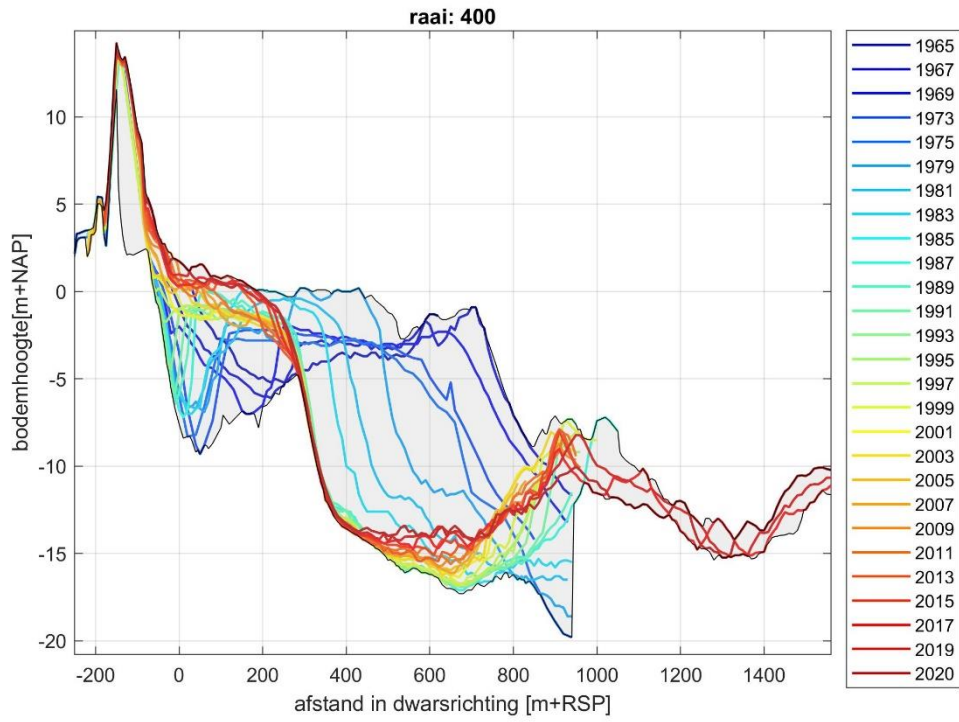


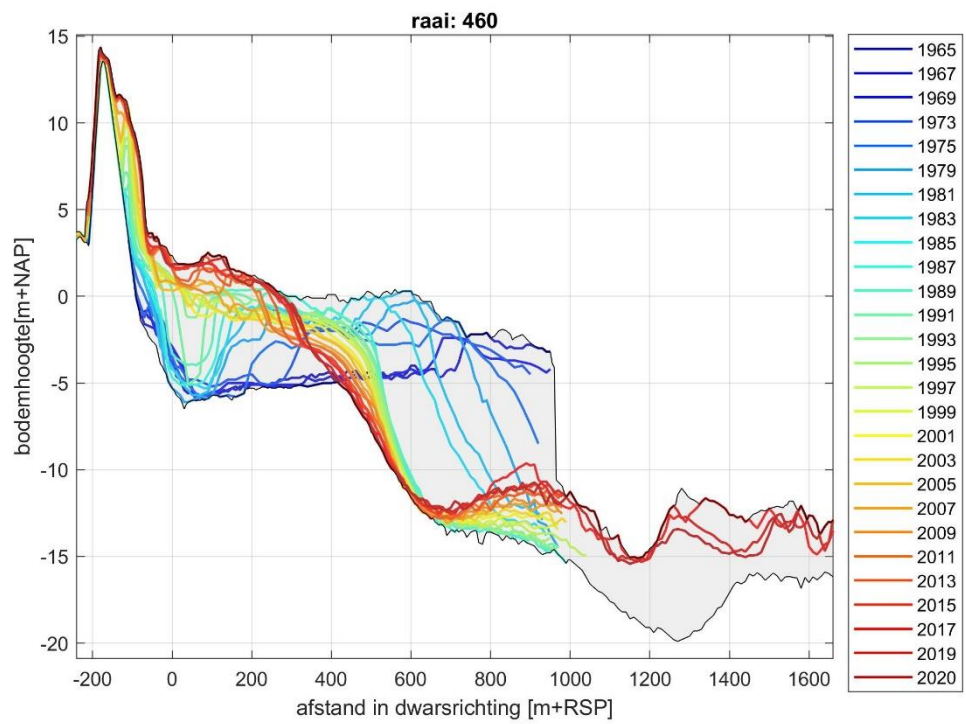
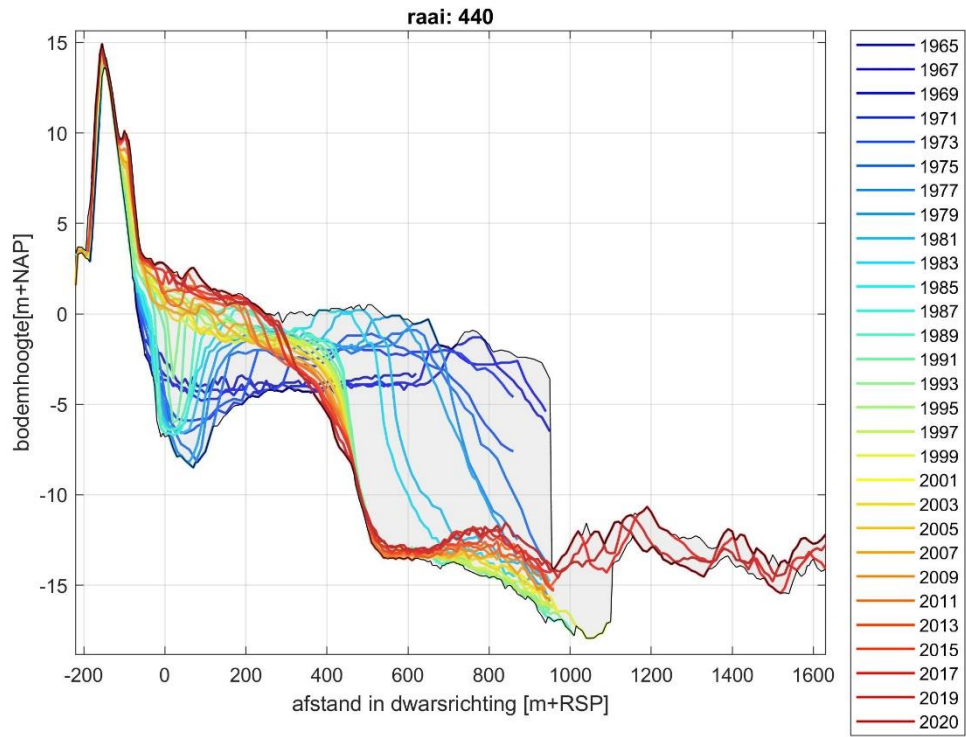


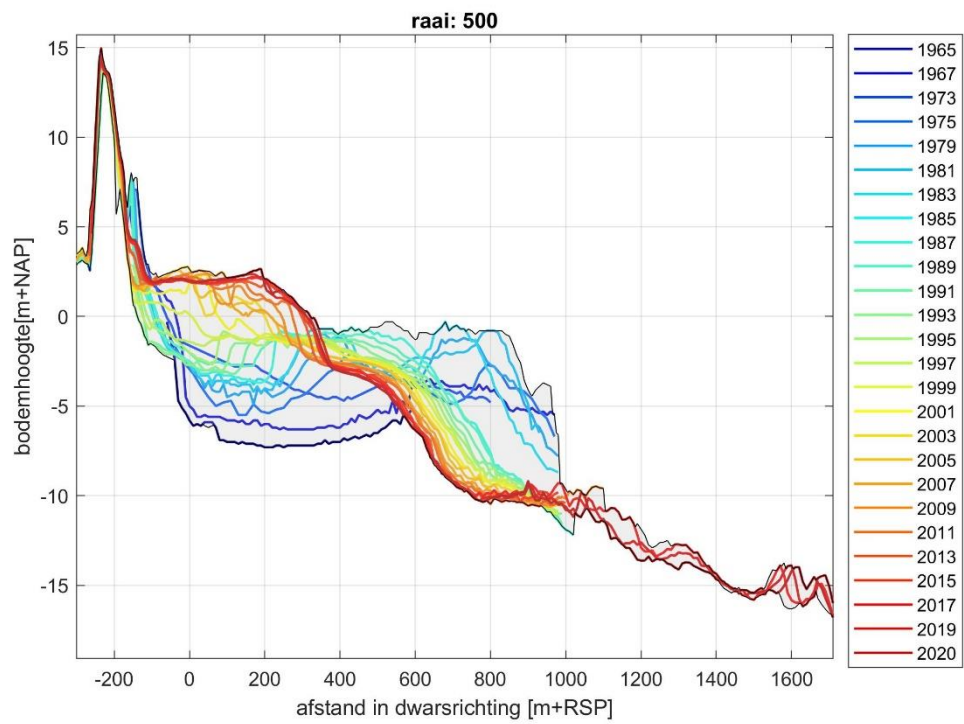
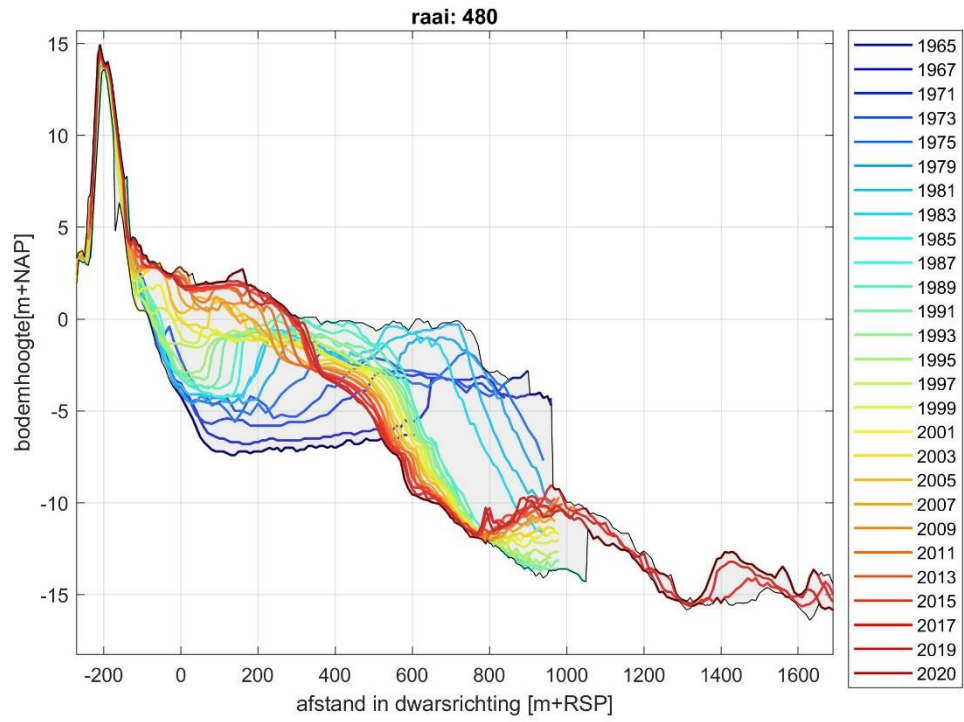


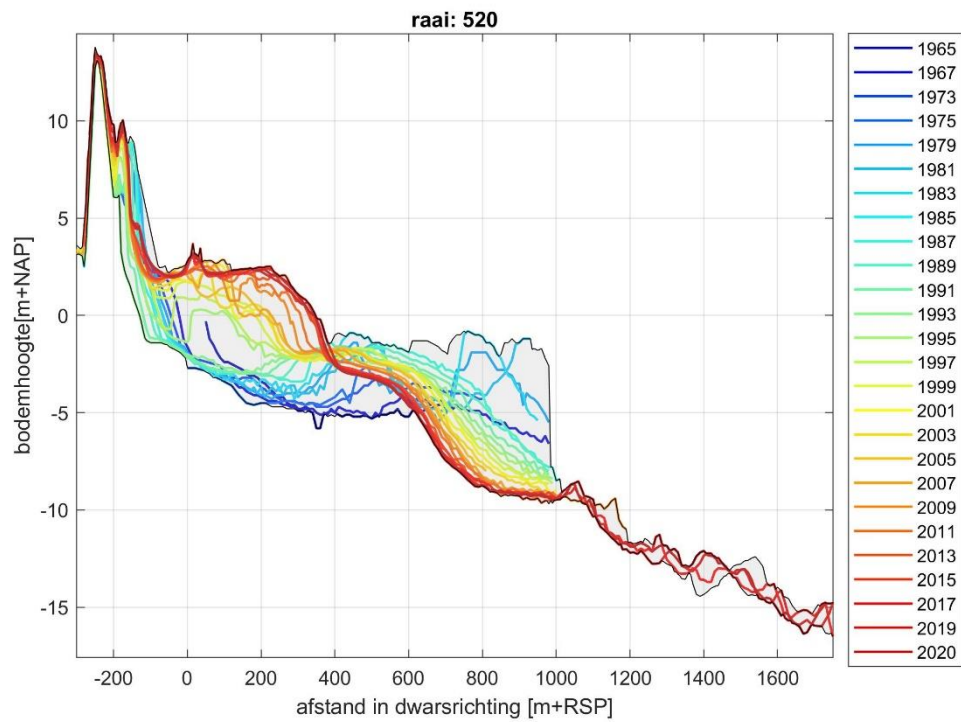






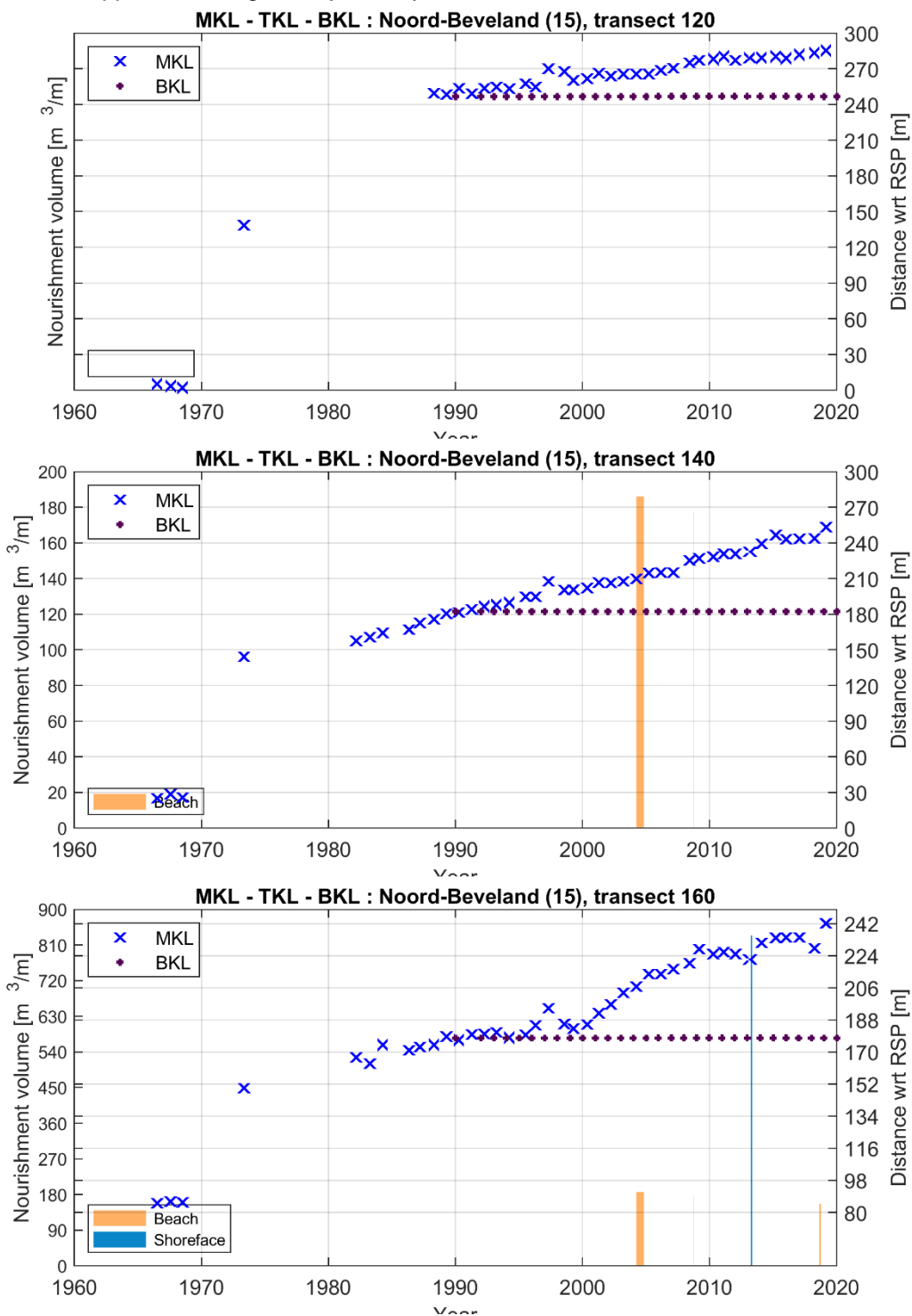


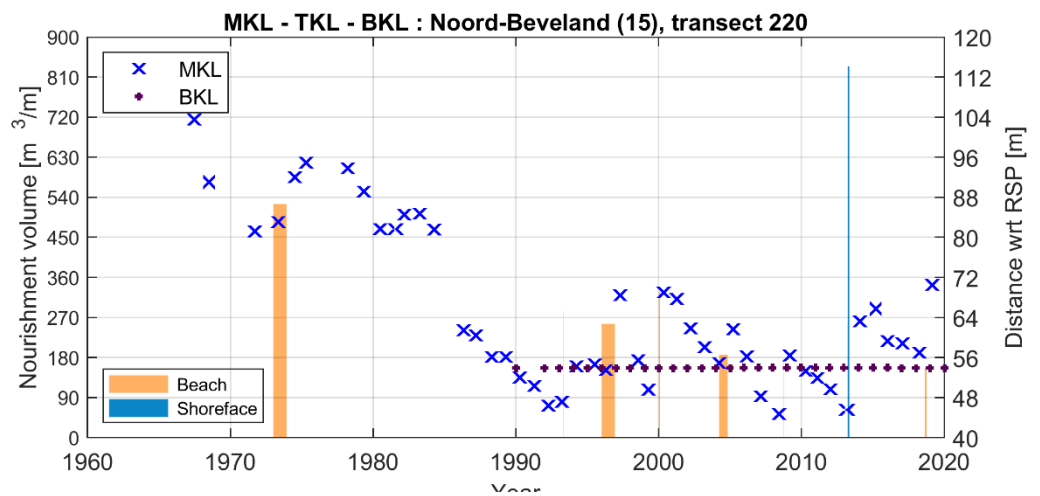
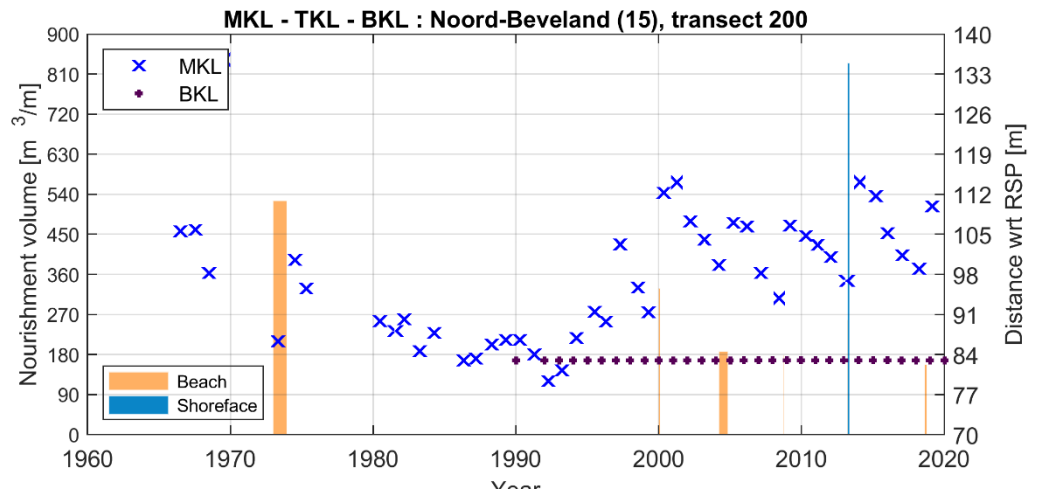
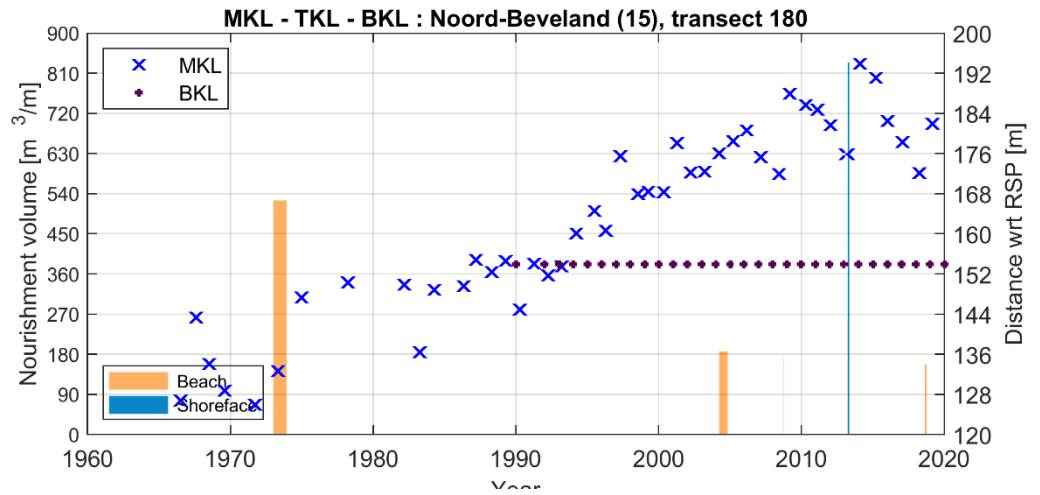


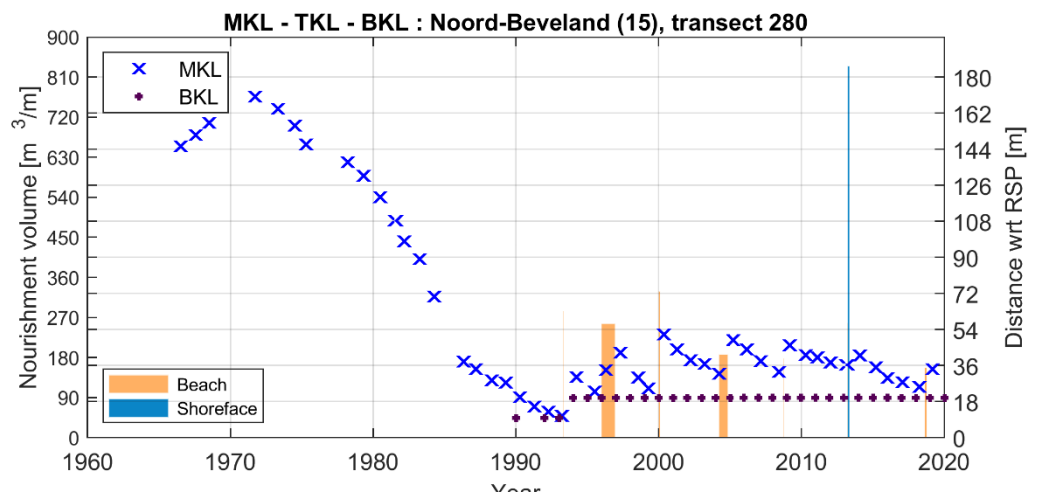
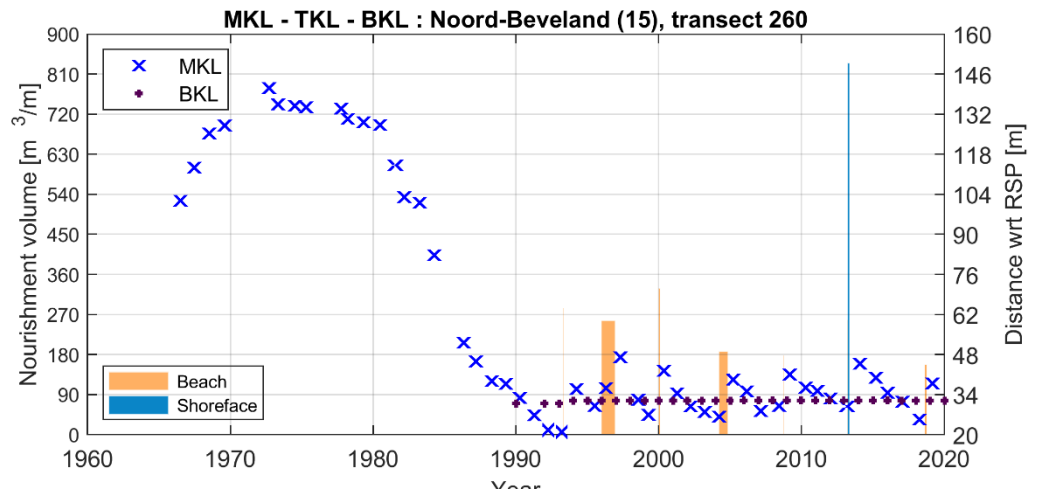
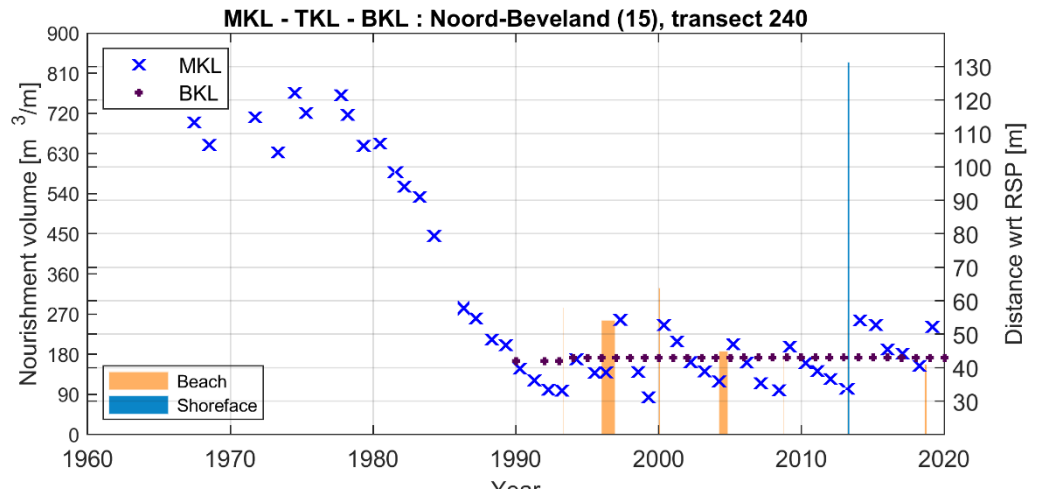


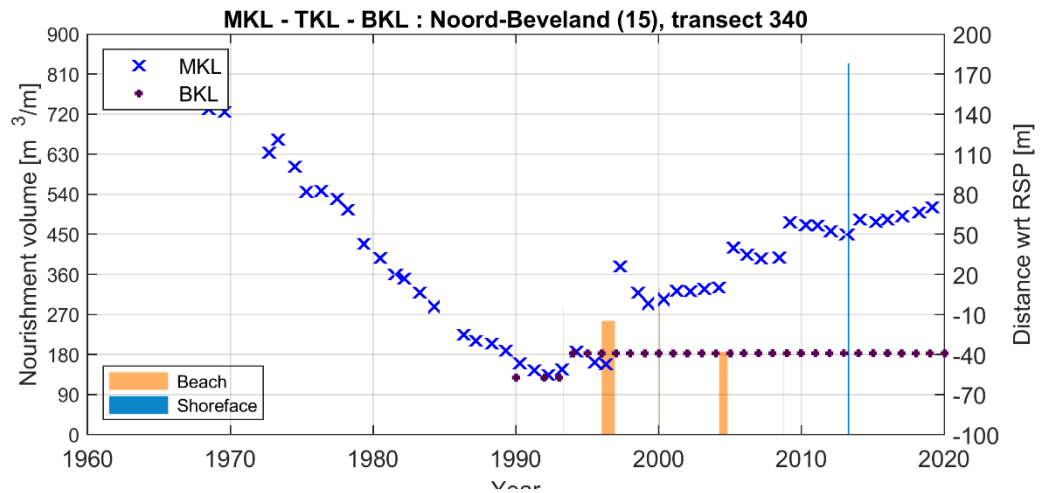
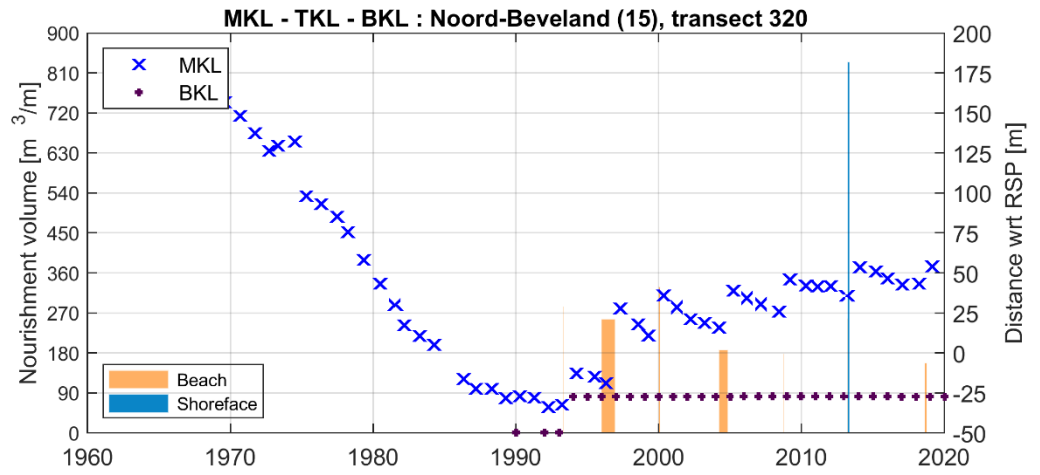
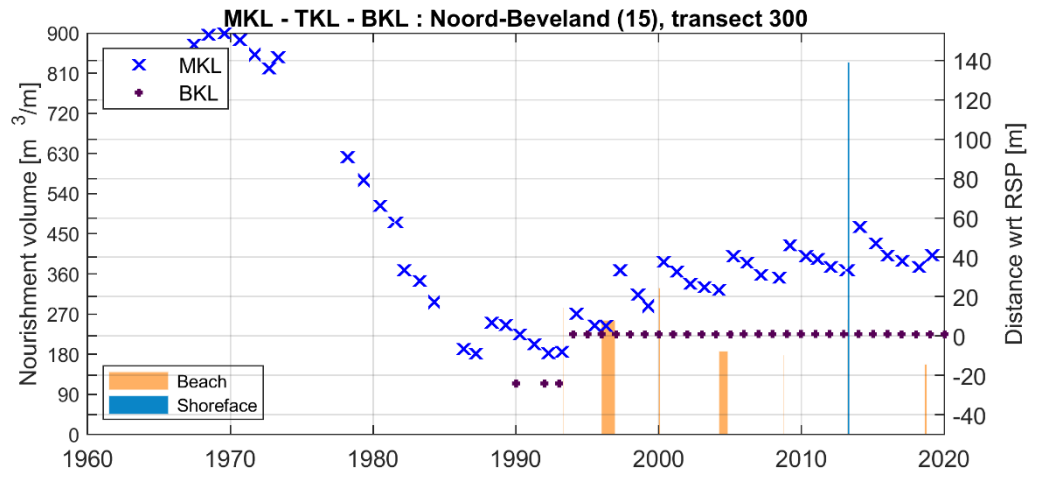
B.1.2 Overzicht van de MKL per Jarkus raai

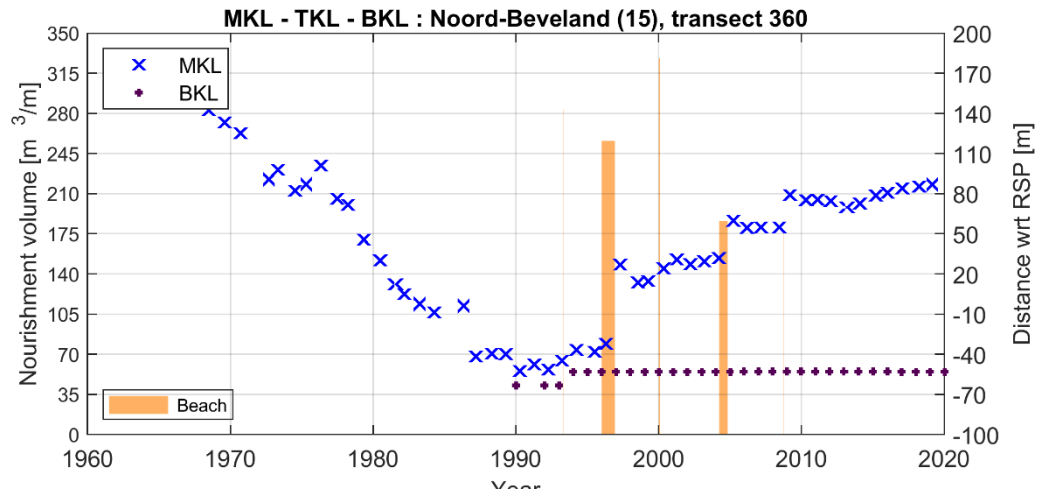
In onderstaande figuren is per raai de ontwikkeling van de MKL weergegeven. De raainummering is boven de figuur aangegeven. De verticale lijnen representeren de uitgevoerde suppleties. De figuren zijn hierbij verder niet van onderschrift voorzien.







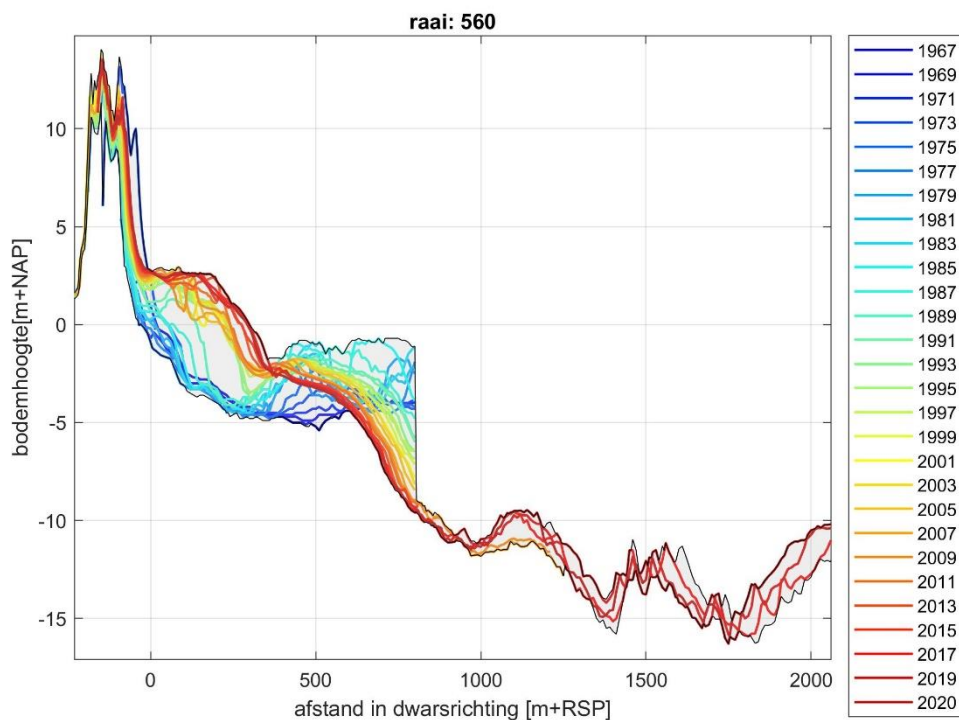
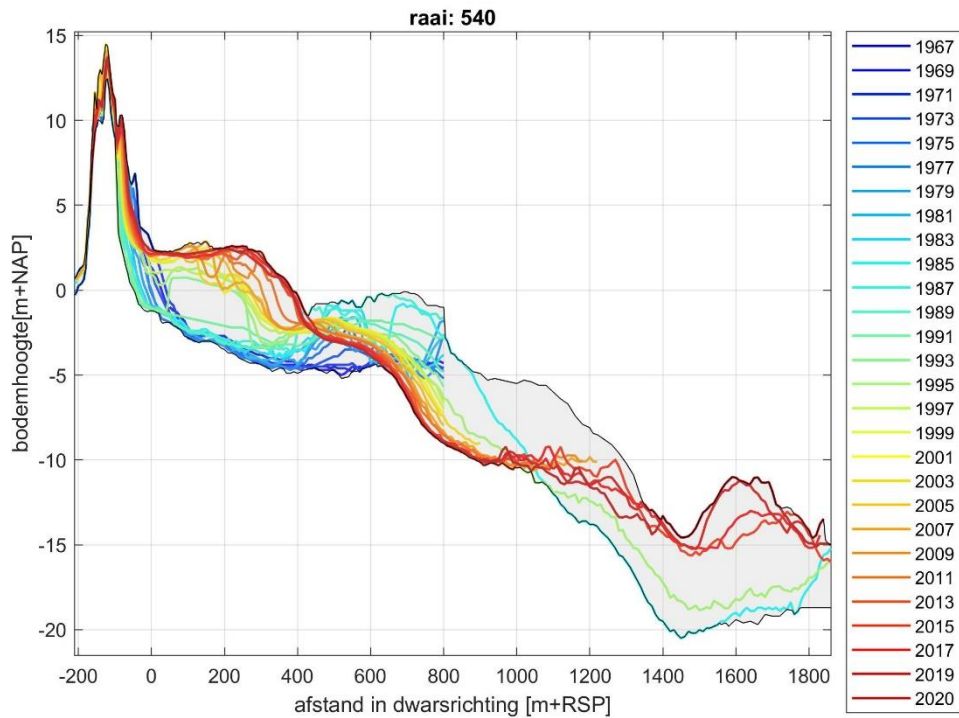


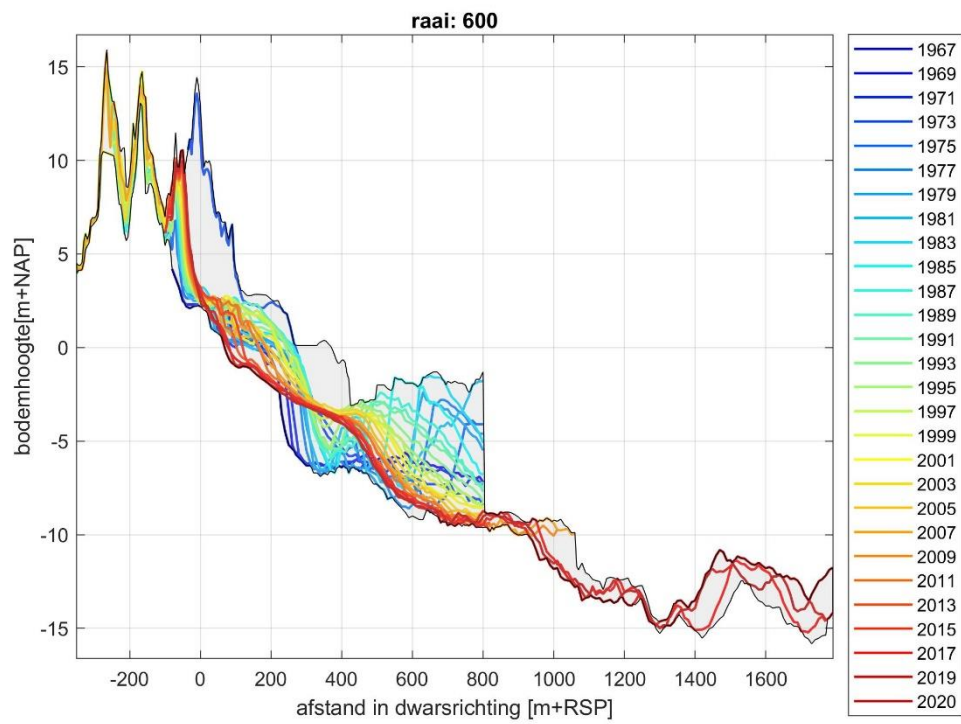
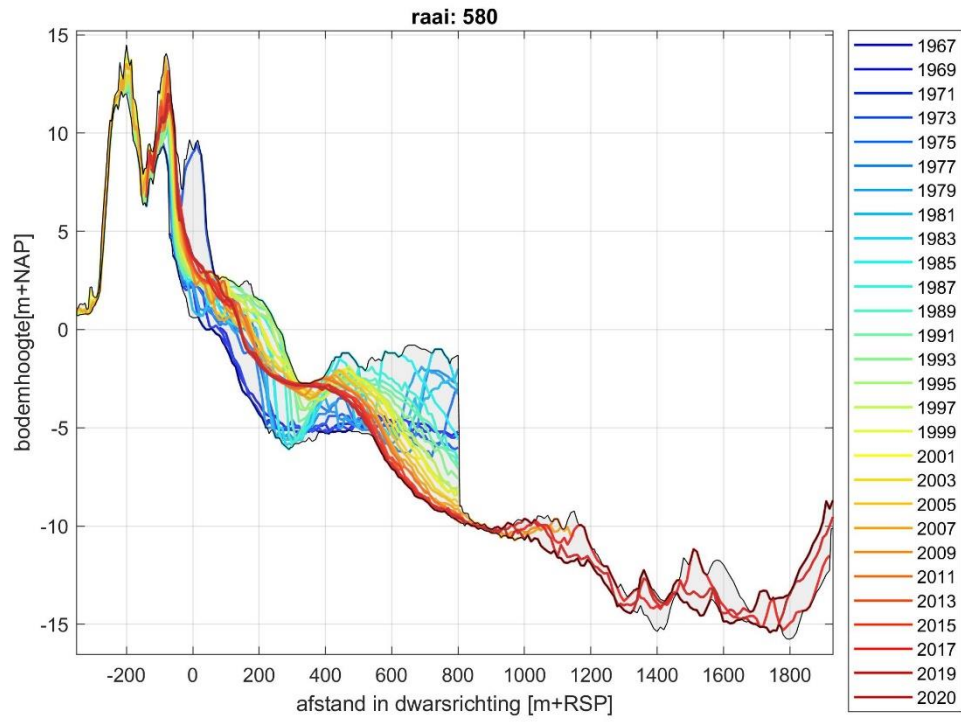


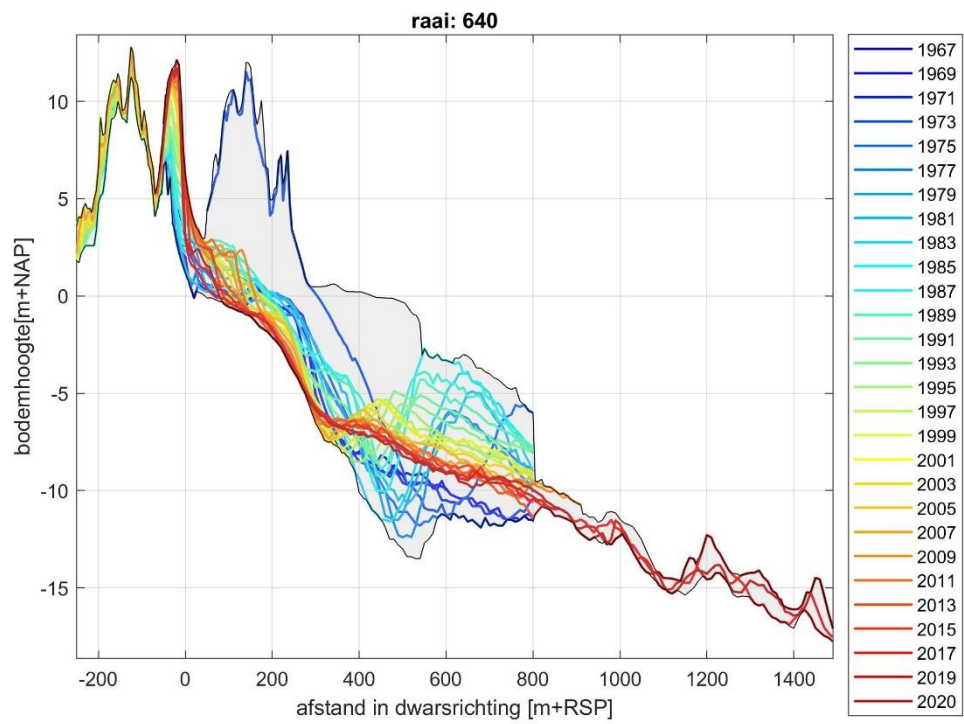
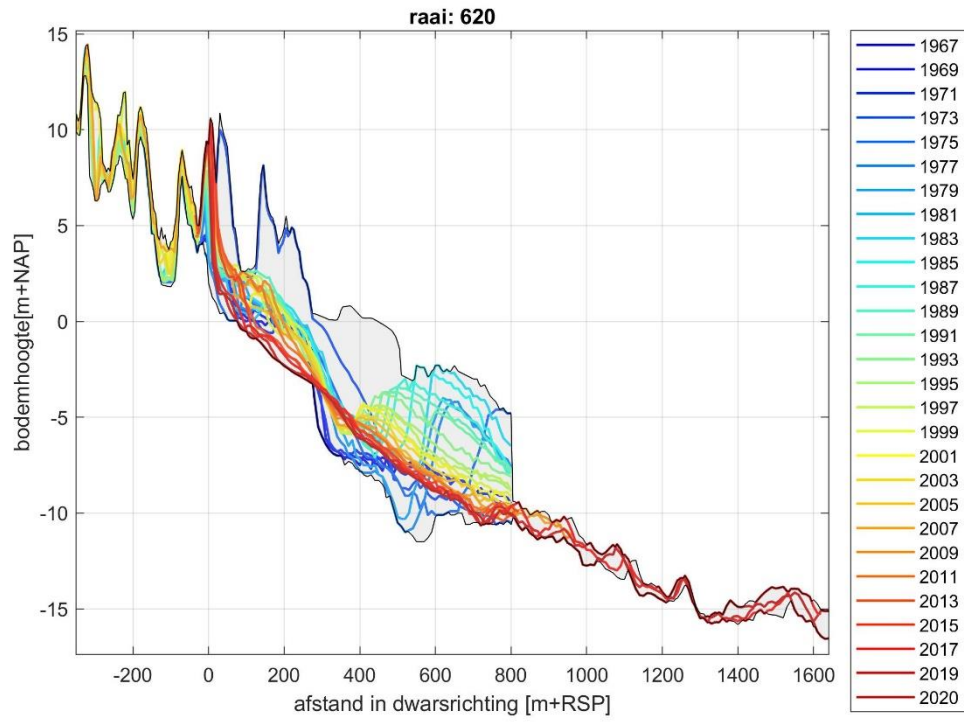
B.2 Walcheren (Breezand)

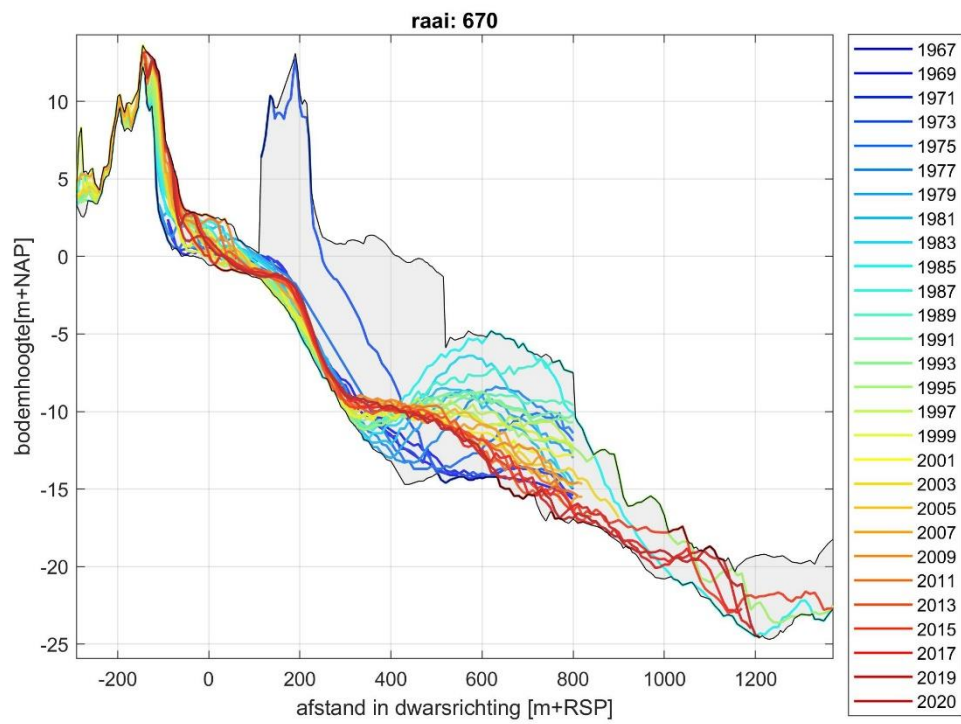
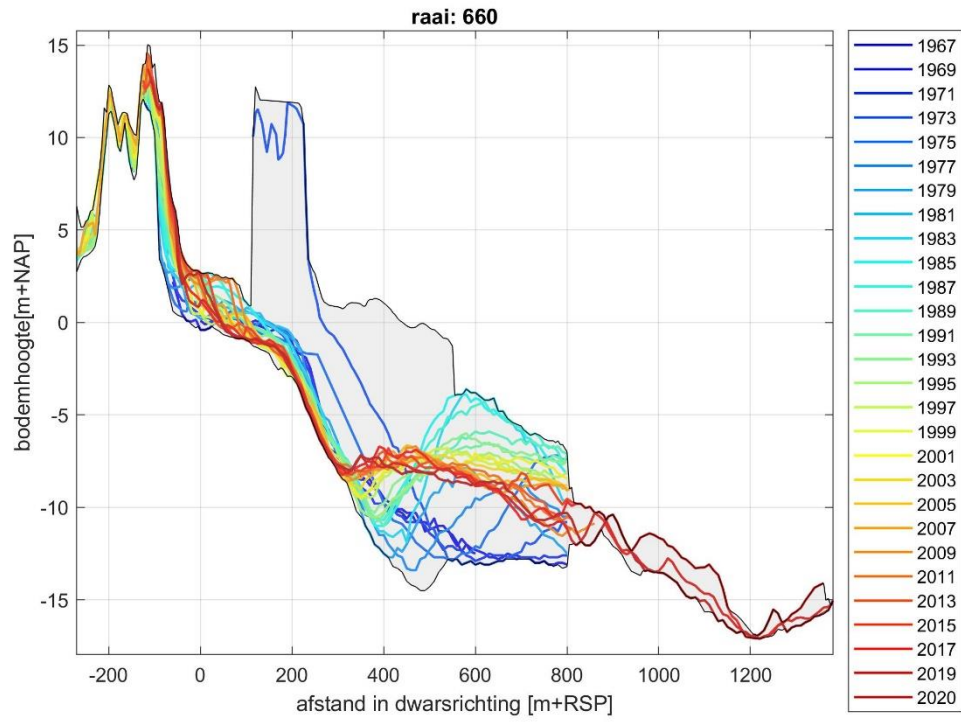
B.2.1 Overzicht van de Jarkus profielen (1965-2020)

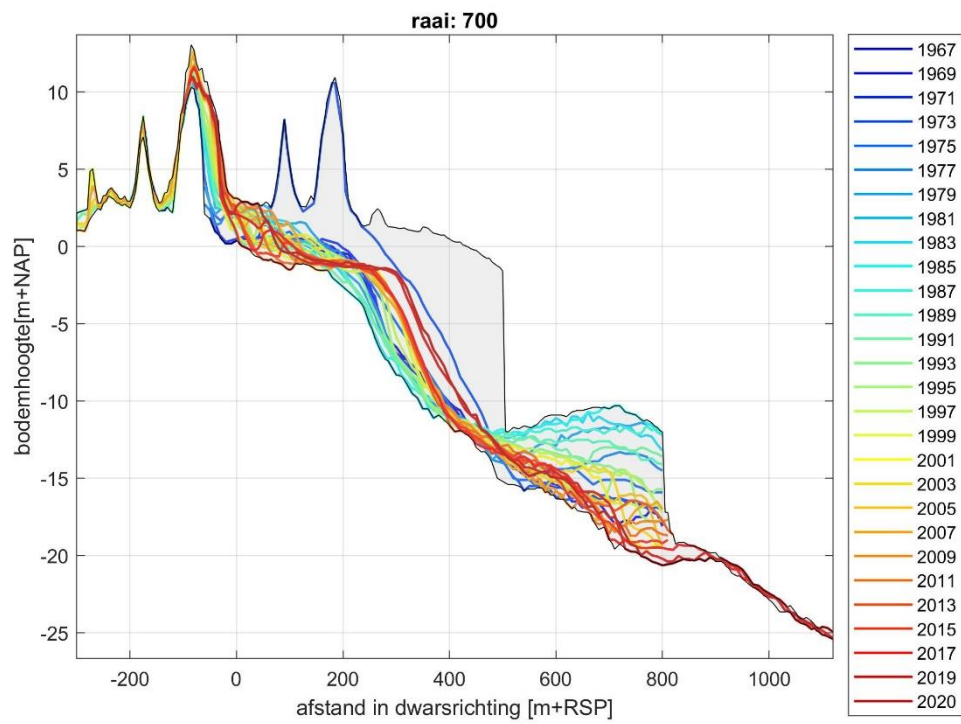
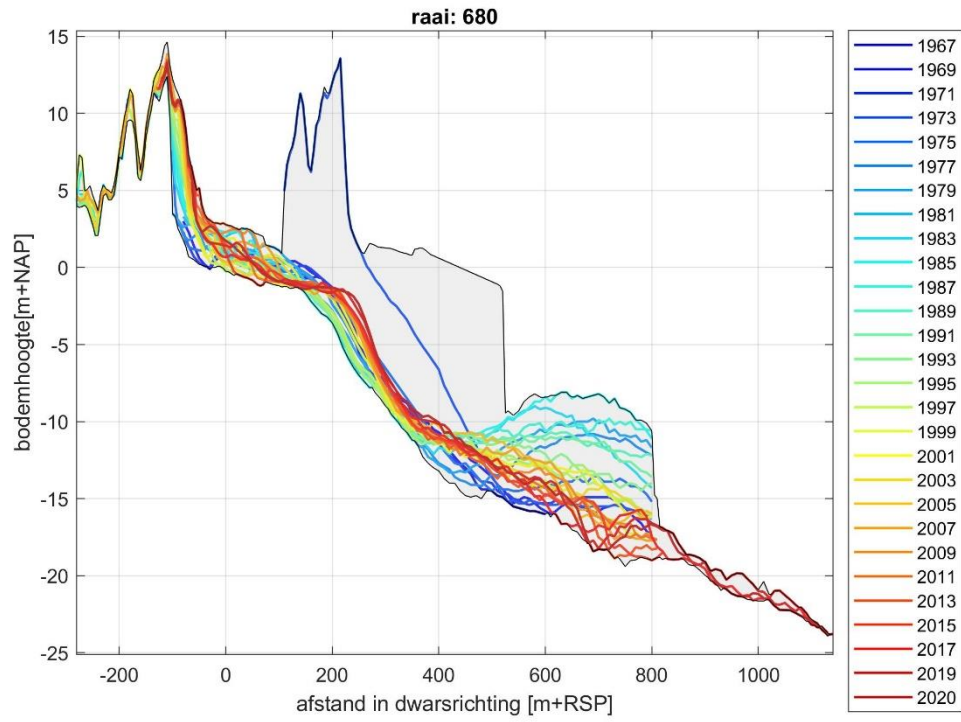
In onderstaande figuren is de profielontwikkeling in 2-jaarlijks interval te volgen voor raaien 540 tot en met 800. Let op dat de profielen voor het jaar 1967 niet in alle raaien juist lijkt te zijn. De figuren zijn hierbij verder niet van onderschrijft voorzien.

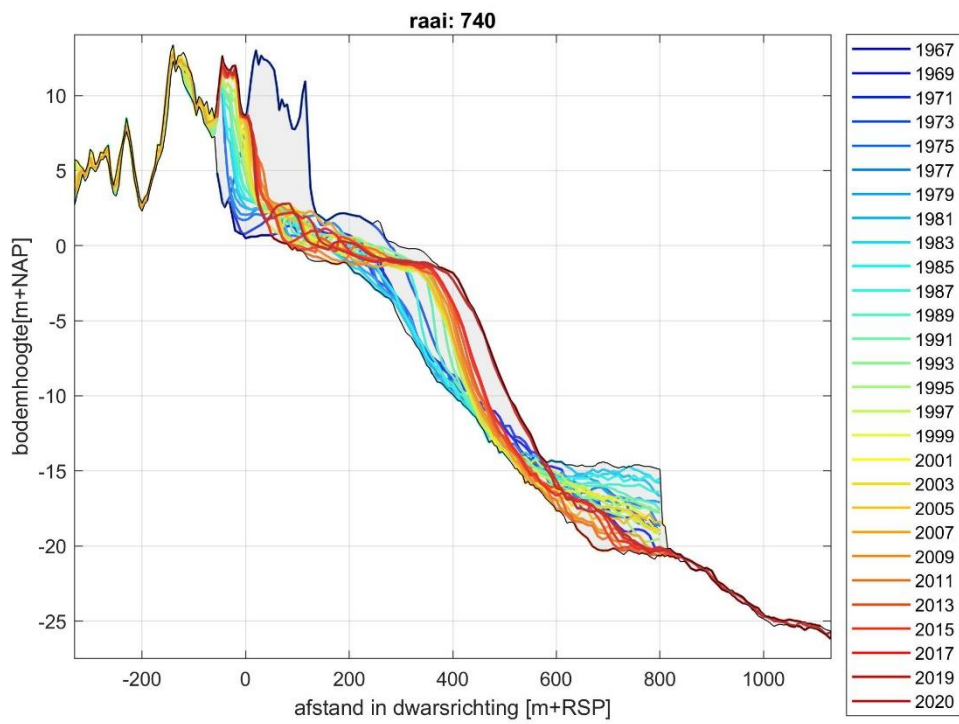
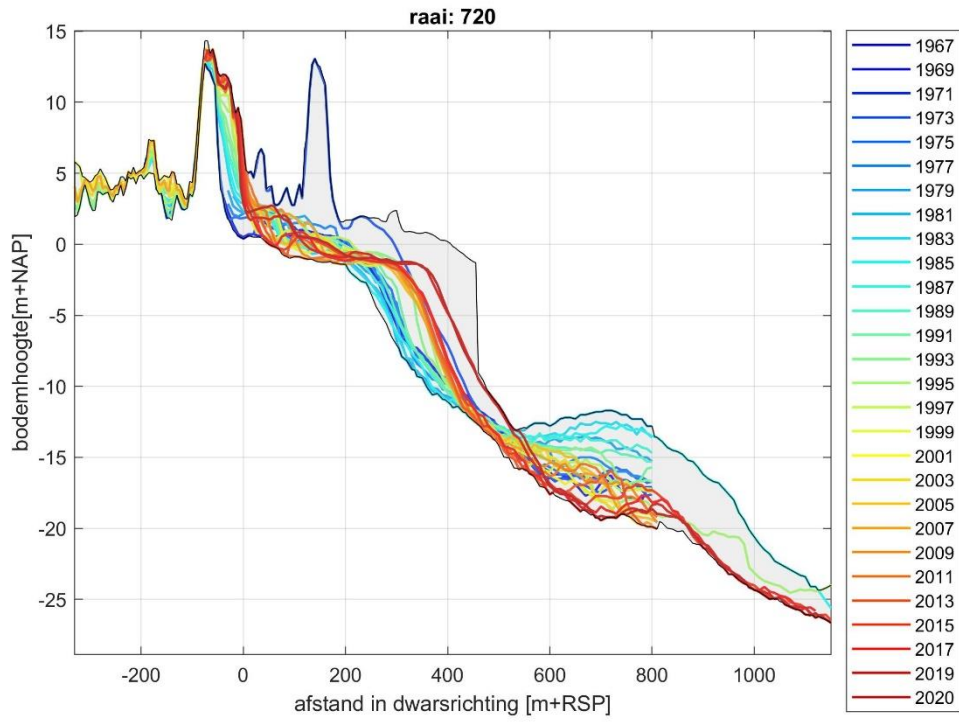


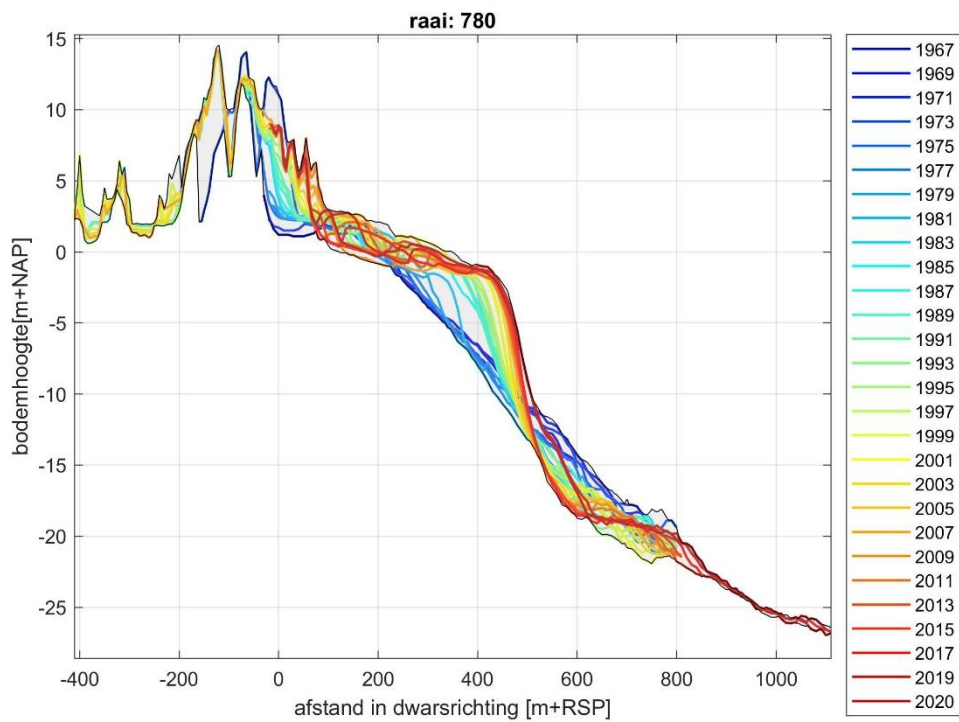
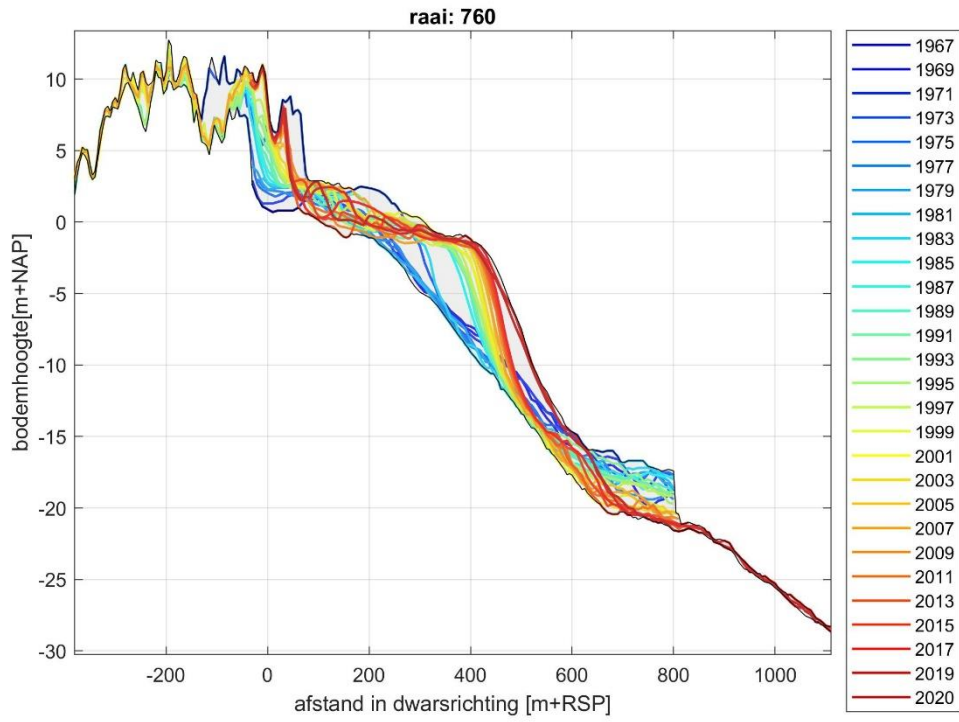


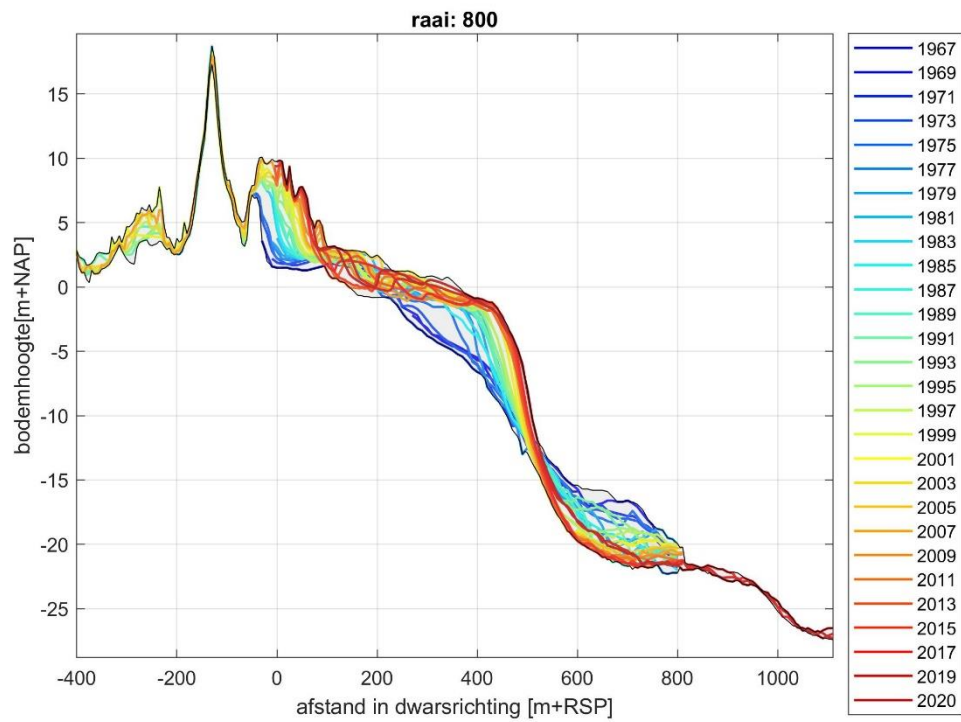






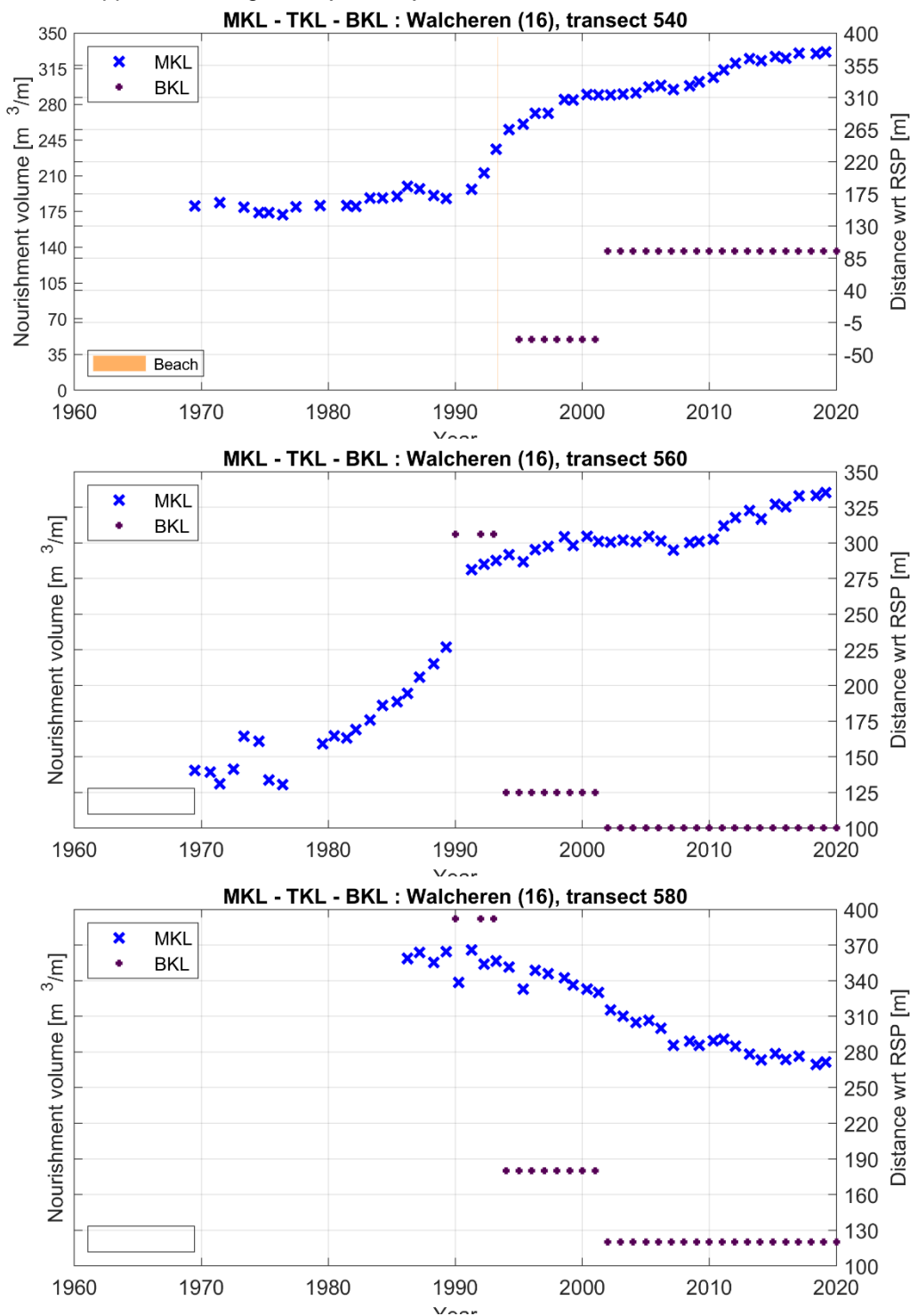


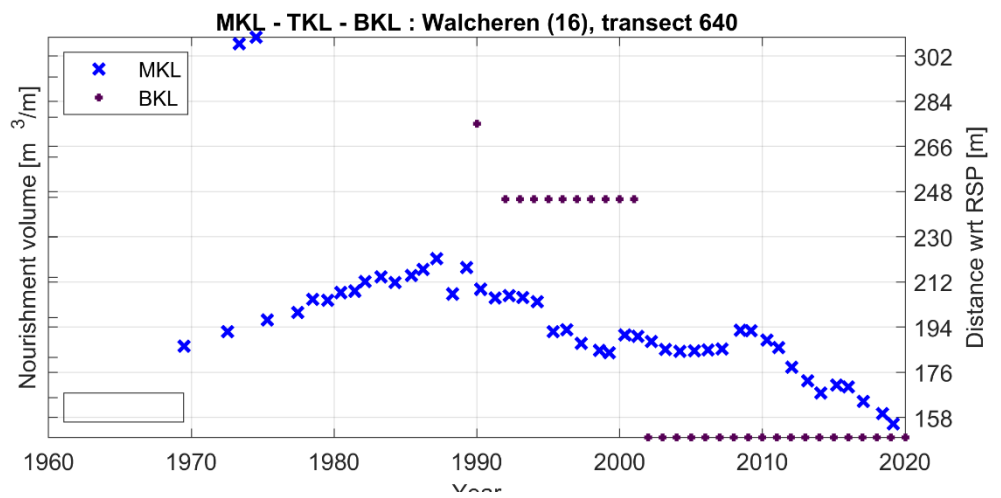
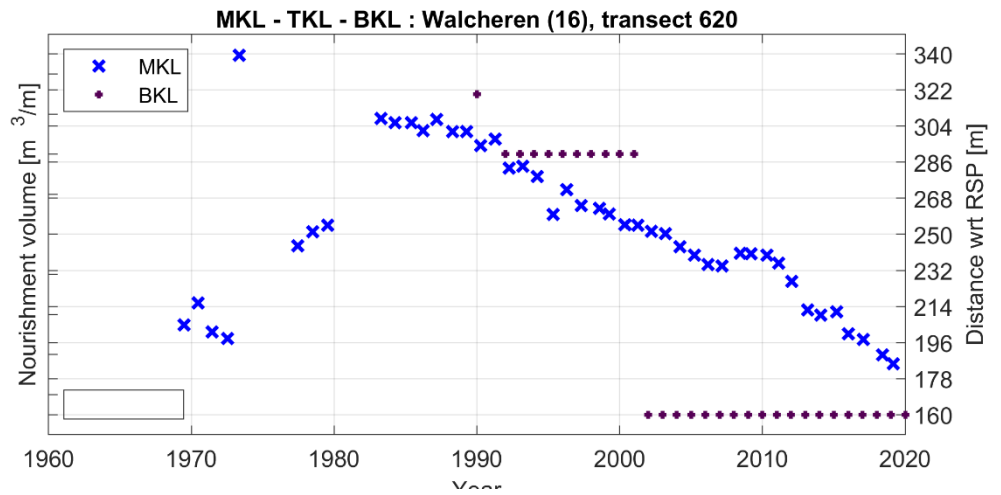
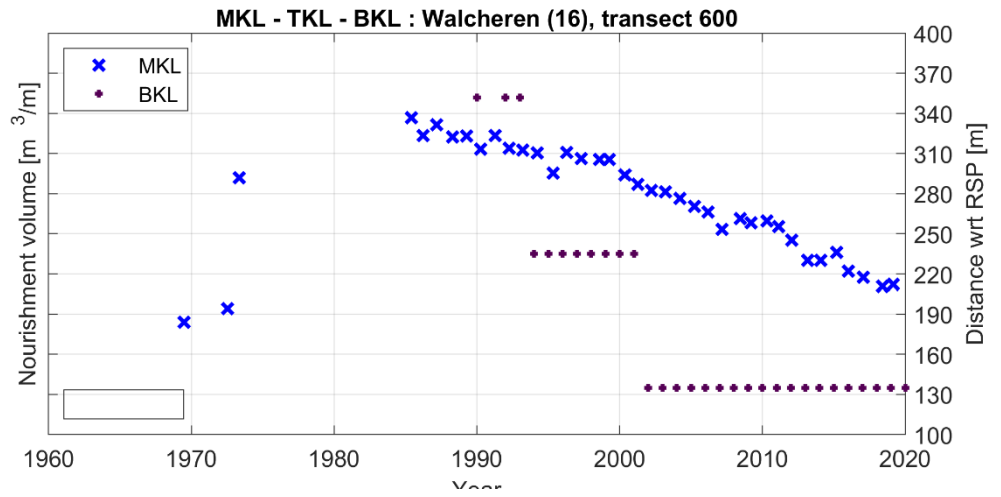


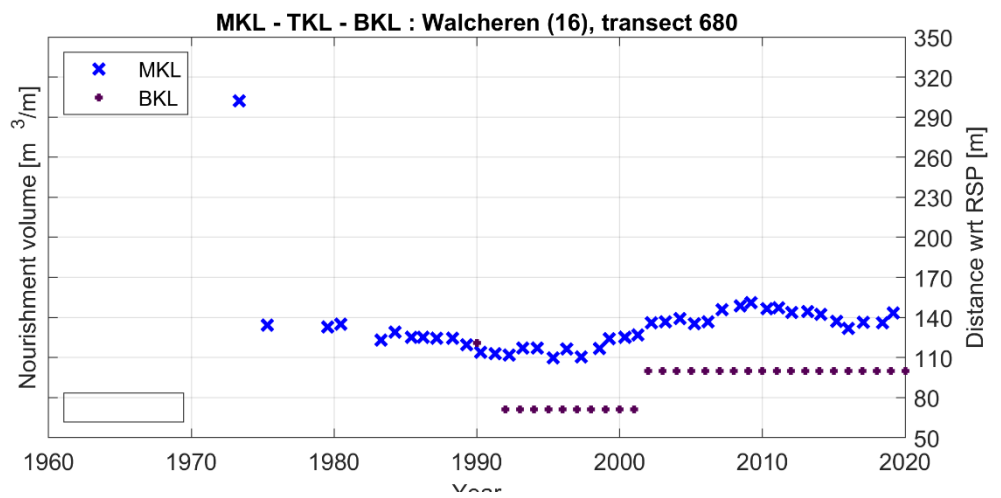
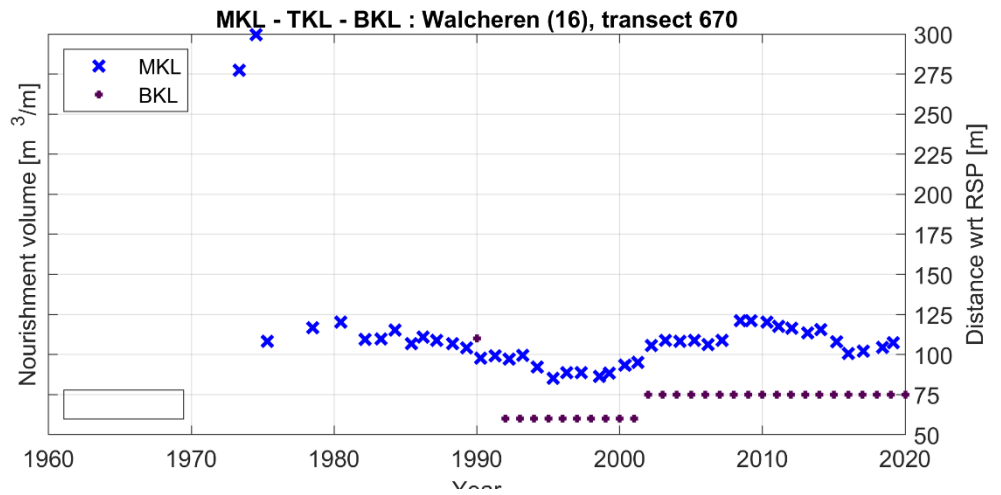
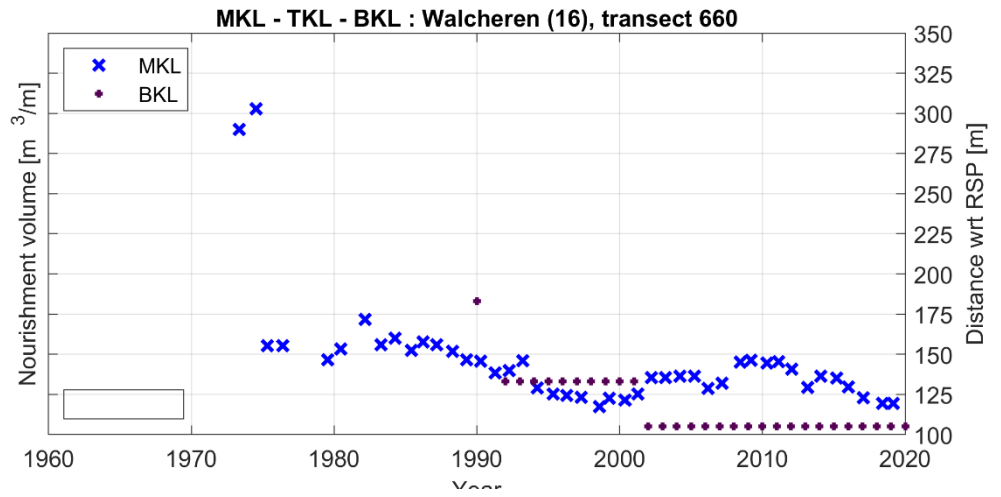


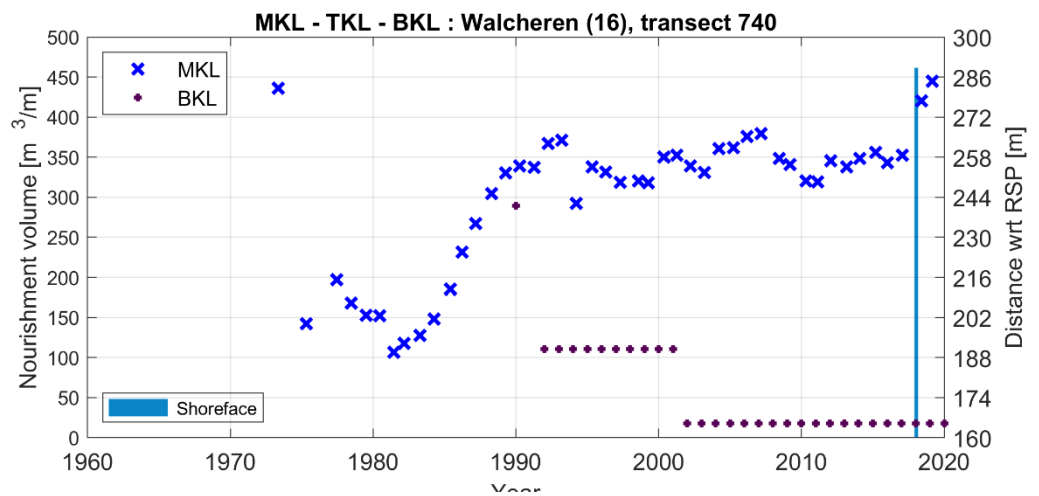
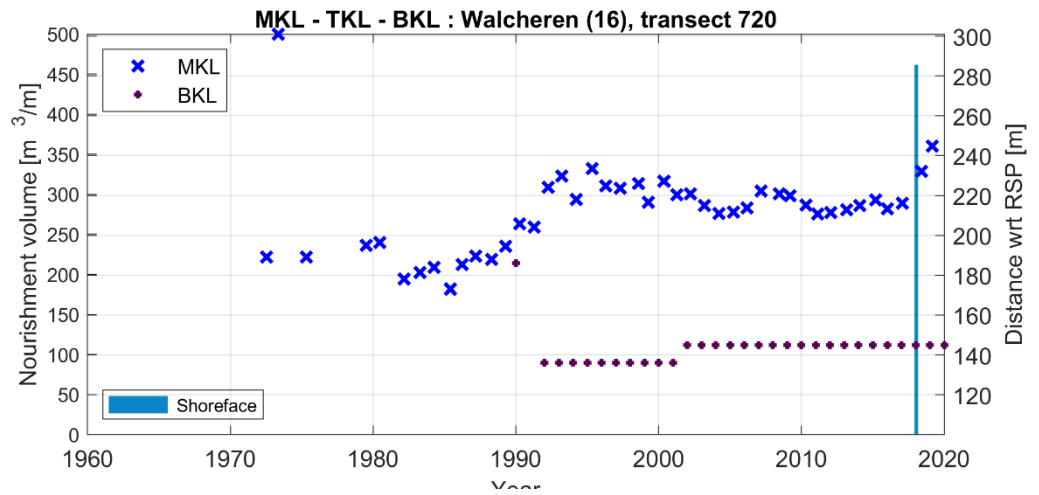
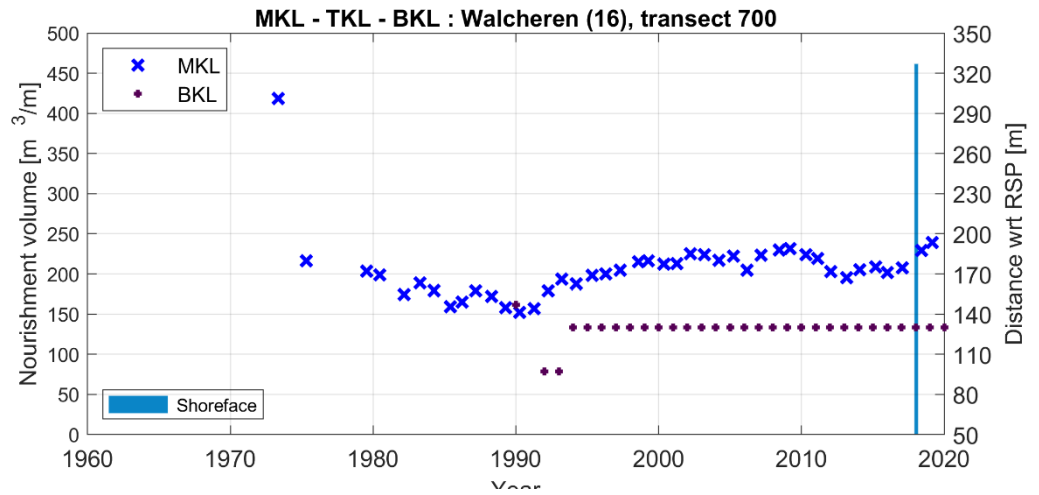
B.2.2 Overzicht van de MKL per Jarkus raai

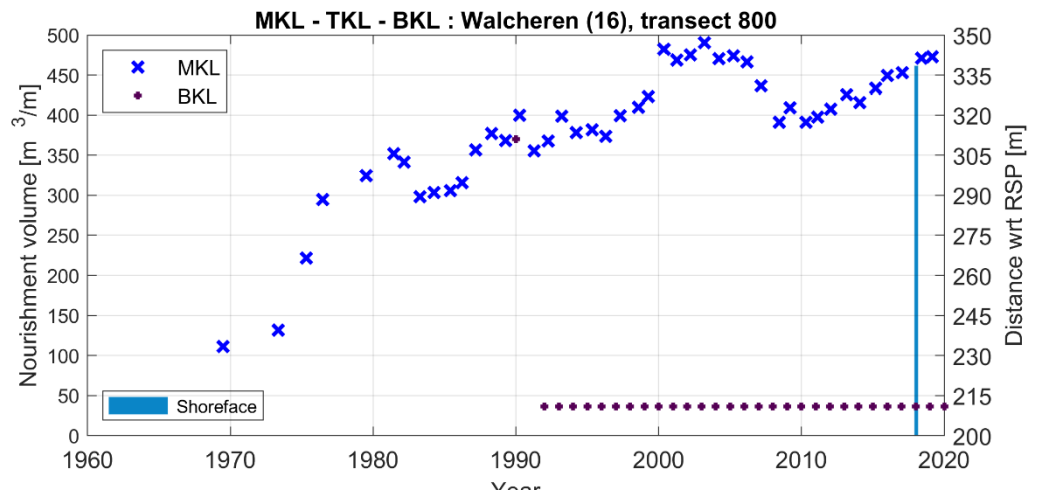
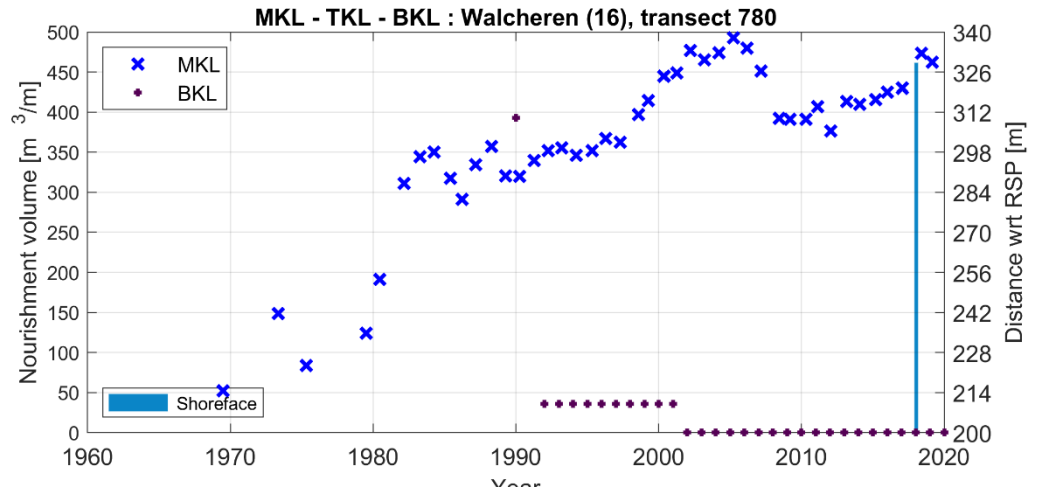
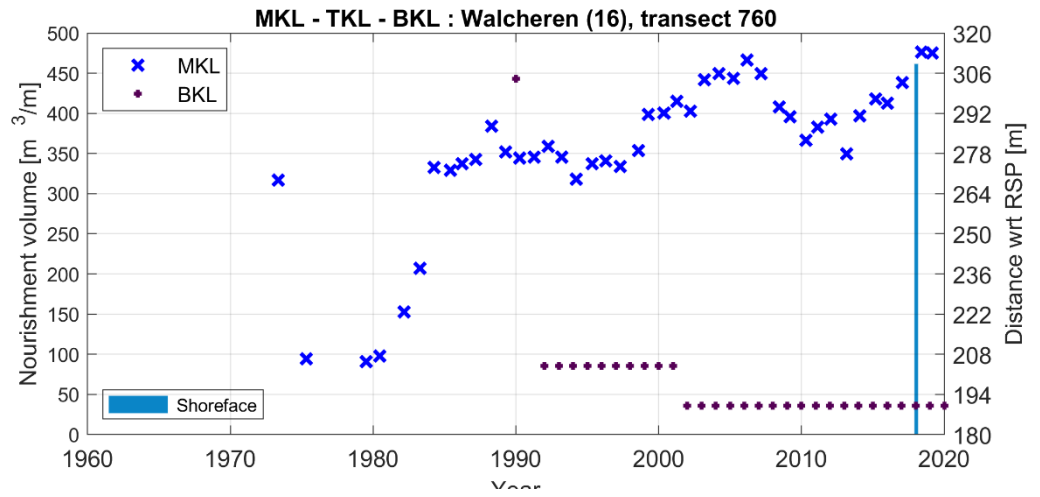
In onderstaande figuren is per raai de ontwikkeling van de MKL weergegeven. De raainummering is boven de figuur aangegeven. De verticale lijnen representeren de uitgeoefende suppleties. De figuren zijn hierbij verder niet van onderschrift voorzien.











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