

Analyse serie suppleties Schouwen, Julianadorp en Texel

Analyse serie suppleties Schouwen, Julianadorp en Texel

Auteur(s)

Bas Knaake

Tommer Vermaas

Analyse serie suppleties Schouwen, Julianadorp en Texel

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	mevrouw E Brand

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	18-04-2023
Projectnummer	11208035-003
Document ID	11208035-003-ZKS-0005
Pagina's	72
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Bas Knaake	
	Tommer Vermaas	

Samenvatting

In afgelopen jaren is in het kader van KPP B&O Kust regelmatig onderzoek gedaan naar het morfologische gedrag van suppleties. Hierbij werd doorgaans gekeken naar één specifieke suppletie die afwijkend was, bijvoorbeeld door de manier van aanleggen. Op basis van gedetailleerde bathymetrische metingen werden hiermee meerdere waardevolle inzichten verkregen zoals het effect op geulverlegging of brekerbanken en de relevantie van het gefaseerd aanleggen van suppleties. Voorgaand onderzoek betrof met name geulwand- en vooroeversuppleties maar voor strandsuppleties was er relatief weinig onderzoek uitgevoerd.

Om meer inzicht te krijgen in het gedrag van strandsuppleties, maar ook suppleties in het algemeen, is er door Rijkswaterstaat en Deltares samen besloten om een hele serie strand-, vooroever- en geulwandsuppleties op dezelfde locatie te analyseren op basis van de regulier ingemeten bathymetrische data. Hiervoor zijn drie locaties gekozen: Schouwen, Julianadorp en Texel midden. De belangrijkste onderzoeksvraag was het vaststellen van factoren die samenhangen met de snelheid van de volumeafname. Daarnaast zijn er locatie-specifieke vragen onderzocht.

Het gedrag van suppleties is geanalyseerd door de volumeverandering van de suppleties te bepalen op basis van bathymetrische data. Hierbij is gekeken naar het effect van de grootte van de suppleties op de snelheid van volumeverandering, verschillen tussen de locaties, verschillen per locatie door de tijd en het effect van de vooroeversuppleties op de ontwikkeling van het strand.

Bij het merendeel van de suppleties is de waargenomen volumeafname tussen de 10 en 30% van het aanlegvolume per jaar, wat betekent dat het sediment van veel suppleties na een periode van ongeveer 5 jaar is verspreid of naar de kust is getransporteerd. De onderzochte suppleties van alle drie de gebieden laten zien dat een groter aanlegvolume (in m^3/m) leidt tot een in absolute hoeveelheden grotere jaarlijkse volumeafname. De volumeafname neemt echter niet evenredig toe: bij een twee keer zo groot aanlegvolume is de volumeafname minder dan twee keer zo groot. Vermoedelijk zijn lokale condities de oorzaak van afwijkende trends, zoals een naar verhouding snelle volumeafname op de kop van Schouwen waar relatief sterke golfwerking leidt tot hogere erosiesnelheden van de suppleties. Nader onderzoek waarbij naar meer factoren wordt gekeken is nodig om niet alleen de gemiddelde ontwikkeling maar ook de geobserveerde verschillen tussen suppletielocaties (beter) te kunnen verklaren.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
1.1	Introductie	6
1.2	Doel en vragen	6
1.3	Leeswijzer	7
2	Data en methoden	8
2.1	Data	8
2.2	Methode	8
2.2.1	Intekenen suppletiegrenzen en bepalen van volumevakken	9
2.2.2	Volumeberekeningen	9
2.2.3	Trend bepaling	9
2.2.4	Aanleghoogte Schouwen	9
2.3	Overzicht suppleties	10
3	Resultaten	12
3.1	Schouwen	12
3.2	Julianadorp	16
3.2.1	Gedrag strandsuppleties	20
3.2.2	Gedrag geulwandsuppletie	21
3.3	Texel	22
3.4	Vergelijking locaties	27
4	Conclusies	29
5	Aanbevelingen	30
	Referenties	31
A	Kaarten	32
A.1	Schouwen	32
A.2	Julianadorp	40
A.3	Texel	49
B	Grafieken	59
B.1	Schouwen	59
B.2	Julianadorp	64
B.3	Texel	68

1 Inleiding

1.1 Introductie

In afgelopen jaren is in het kader van KPP B&O Kust regelmatig onderzoek gedaan naar het morfologische gedrag van suppleties. Hierbij werd doorgaans gekeken naar één specifieke suppletie die afwijkend was, bijvoorbeeld door de manier van aanleggen. Op basis van gedetailleerde bathymetrische metingen werden hiermee meerdere waardevolle inzichten verkregen, zoals het effect op geulverlegging (Deltares, 2014) of brekerbanken (Deltares 2017, Grunnet & Ruessink 2005, Ojeda et al. 2008, Ruessink & Kroon 1994) en de relevantie van het gefaseerd aanleggen van suppleties (Deltares, 2013). Voorgaand onderzoek betrof met name geulwand- en vooroeversuppleties maar op het gebied van strandsuppleties was er relatief weinig onderzoek uitgevoerd.

Om meer inzicht te krijgen in het gedrag van strandsuppleties, maar ook suppleties in het algemeen, is er door Rijkswaterstaat en Deltares samen besloten om een pilotstudie te doen waarin een hele serie strand-, vooroever- en geulwandsuppleties op dezelfde locatie wordt geanalyseerd op basis van de regulier ingemeten bathymetrische data. Hiervoor zijn drie locaties gekozen: Schouwen, Julianadorp en Texel midden.

De drie locaties hebben een andere suppletie geschiedenis en zijn daarom relevant voor deze studie. Op Schouwen is een groot aantal strandsuppleties uitgevoerd over een lange tijdsperiode. Texel midden is beheerd door middel van eerst een serie strandsuppleties en daarna een serie vooroeversuppleties. Bij Julianadorp zijn in combinatie meerdere strandsuppleties, vooroeversuppleties en een aantal geulwandsuppleties uitgevoerd.

In voorliggende rapportage wordt er beknopt verslag gedaan van de bevindingen van deze analyses.

1.2 Doel en vragen

Voor efficiëntere uitvoering en planning van suppleties aan de kust is algemeen inzicht nodig in het gedrag van suppleties. Om tot dit inzicht te komen zijn in samenspraak met Rijkswaterstaat verschillende onderzoeksvragen gesteld. De focus ligt hierbij op de snelheid van de volumeafname van suppleties en de factoren die daarmee verband houden. Hiervoor zijn de onderzoeksvragen opgedeeld in een aantal algemene vragen die betrekking hebben op alle gebieden en meer specifieke vragen per gebied:

Algemene vragen voor alle drie de locaties:

- Is er een effect van de grootte van de suppletie (volume per strekkende meter) op de mate van afname van het suppletievolume?
- Is de levensduur van de strandsuppleties veranderd door de jaren heen?
- Hebben vooroever- en geulwandsuppleties invloed op de snelheid van volumeafname van strandsuppleties?
- Hoe verschilt de snelheid van volumeafname van suppleties tussen Schouwen, Texel en Julianadorp?

Daarnaast zijn specifieke vragen voor Schouwen:

- Is er een effect van de aanleghoogte op de volumeafname van een strandsuppletie?

Specifieke vragen voor Texel (raai 18-21); hier is eerst een periode geweest waarin alleen strandsuppleties zijn aangelegd, daarna zijn er alleen vooroeversuppleties uitgevoerd:

- Wat doen (de volumes van) het strand en de duinen in beide periodes?
- Wat doen de banken in beide periodes, zien we een relatie met de ontwikkeling van de volumes op het strand?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de gebruikte data en methoden beschreven, waarna de resultaten per locaties en voor de drie locaties samen worden gepresenteerd in hoofdstuk 3. De belangrijkste conclusies zijn te vinden in hoofdstuk 4. In de appendices zijn aanvullende figuren per locatie geplaatst.

2 Data en methoden

2.1 Data

De te onderzoeken suppleties zijn beschikbaar in een database van Rijkswaterstaat (conform Tabel 2.1). Hierin zijn gegevens beschikbaar van het type suppletie (strand, vooroever of geulwand), jaar en de maand waarin de suppletie is aangelegd (begin + eind), locatie en volume. De locatie van elke suppletie is gegeven door middel van raainummers, van beginraai tot eindraai, die overeen komen met Jarkus raainummers (zie volgende alinea).

Voor de analyse van de suppleties is gebruik gemaakt van raster data bestaande uit een combinatie van bathymetrie en hoogtegegevens afkomstig van respectievelijk Jarkus en lidar data. Jarkus (i.e. jaarlijkse kustprofielen) is samengestelde data uit bathymetrie en laseraltimetrie gegevens die doorgaans beschikbaar is vanaf de eerste duinenrij (ca. +3 m NAP) tot en met ongeveer -13 m NAP. Deze data wordt ingewonnen langs standaard raaien die loodrecht op de kust zijn georiënteerd en die vervolgens naar een 20x20 m grid worden geïnterpoleerd. Voor de drie onderzoeksgebieden zijn deze Jarkus grids in principe voor elk jaar beschikbaar vanaf 1964. Meer recent zijn sinds 1997 lidar gegevens beschikbaar die meer detail geven van het gebied dat zich boven water bevindt: dus met name de duinen en het strand. De lidar data is beschikbaar als 5x5 m grid. Voor de jaren vanaf 1997 zijn de Jarkus en lidar data samengevoegd tot jaarlijkse 5x5 m grids van de onderzoeksgebieden. Dit betekent dat op de plekken waar lidar data beschikbaar is, deze gebruikt is en de rest van de grids zijn gevuld met de Jarkus data. Suppleties van voor 1997 zijn dus alleen op basis van de Jarkus grids geanalyseerd.

De Jarkus raaien zijn ook als data beschikbaar in het programma MorphAn. Met dit programma kunnen analyses van kustmorfologie worden gedaan op basis van profielen en rastermetingen wat normaal gesproken gebruikt wordt voor onder andere beheer van duinen, strand en onderwateroever. Met MorphAn kunnen de suppleties worden bekeken, hoe ze zijn aangelegd en trends worden bepaald na het aanleggen.

2.2 Methode

Voor de analyse is gebruikt gemaakt van de software pakketten Matlab en ArcMap. In eerste instantie zijn van de beschikbare raster data verschillende producten afgeleid op basis waarvan het gedrag van de suppleties is geanalyseerd. De afgeleide producten zijn:

1. Jaarlijkse verschilkaarten
2. Verschil van elk jaar ten opzichte van het meest recente jaar beschikbaar
3. Contouren van de jaarlijkse verschilkaarten (1)
4. Diepte contouren van de raster data

2.2.1 Intekenen suppletiegrenzen en bepalen van volumevakken

Per suppletie uit de database is gekeken of deze duidelijk was waar te nemen in de verschilkaart (1) van het betreffende jaar. Indien waarneembaar en daarmee goed de grenzen van de suppletie waren afgebakend, zijn in ArcMap polygonen (i.e. grenzen) van de suppleties ingetekend op basis van de 0-contour van de contouren van de verschilkaarten (3). In het geval dat de grens van de suppletie hiermee niet goed was afgebakend is vervolgens gebruik gemaakt van de diepte contouren (4). Bijvoorbeeld in het geval van een strandsuppletie: wanneer langs de duinenrij of aan de zeezijde de grens van de suppletie in 0-contour niet duidelijk waarneembaar was, is gebruik gemaakt van respectievelijk de +3 m en -3 m NAP contour. Dit probleem speelde uitsluitend een rol bij strandsuppleties waardoor voor geulwand- en vooroeversuppleties geen extra definitie nodig is gebleken. De getekende polygonen zijn vervolgens ingedeeld in volumevakken. Deze vakken zijn kustlangs bepaald op basis van morfologie, dekking van data en het voorkomen van suppleties op dezelfde plek uit verschillende jaren.

2.2.2 Volumeberekeningen

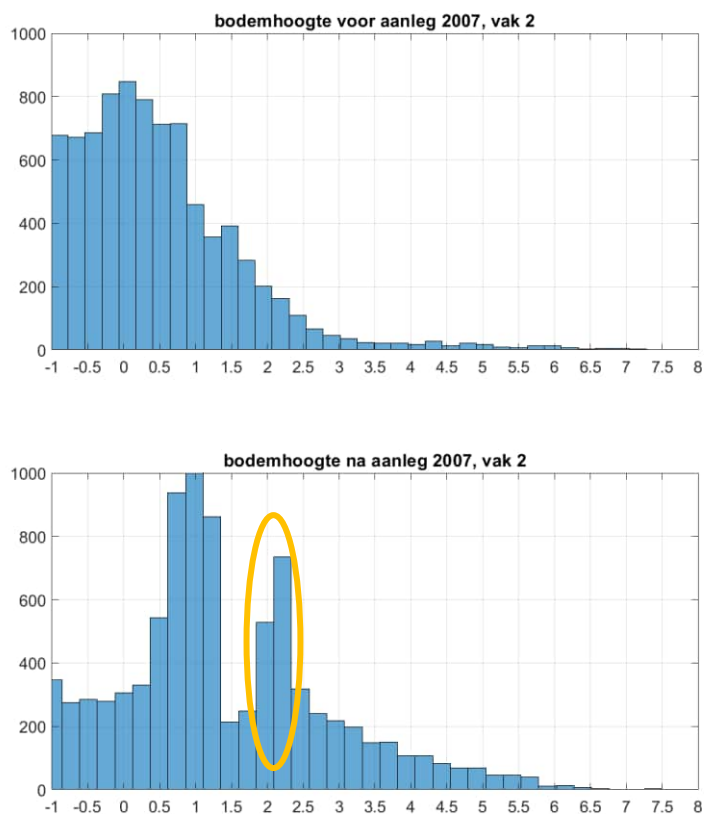
Om een trend te kunnen bepalen is voor alle suppleties gekeken hoeveel jaar na aanleg de suppletie nog te volgen is in de data. Bijvoorbeeld: een strandsuppletie aangelegd in 2007 in volumevak A is te volgen in de data tot dat in 2013 een volgende strandsuppletie wordt aangelegd in hetzelfde vak. Vervolgens is voor alle jaren waarin een suppletie te volgen is, per vak het volume berekend op basis van de verschilkaart ten opzichte van het meest recente jaar (2). Deze kaarten zijn gebruikt omdat het meest recente jaar de beste data is (o.a. door betere meetapparatuur) en daarmee de meest betrouwbare volumes worden berekend. Per suppletie is voor elk volumevak de kustlangse afstand in meters bepaald zodat per vak het volume berekend kon worden in m^3/m .

2.2.3 Trend bepaling

De verwachting is dat na aanleg, het zand van een suppletie wordt herverdeeld over verschillende gebieden en dus gedurende de tijd wordt geërodeerd. Om dit gedrag te toetsen zijn eerst per suppletie de berekende volumes per jaar geplot. Hiermee is bekeken hoe de suppletie wordt geërodeerd en of deze uiteindelijk bruikbaar is voor verdere analyse. Wanneer het volume binnen een vak toeneemt na aanleg is de suppletie niet geschikt voor verdere analyse. In dit geval is namelijk niet te bepalen welke volumeverandering toe te schrijven is aan de suppletie en aan natuurlijke processen. Van de suppleties die bruikbaar waren voor verdere analyse is vervolgens een lineaire trend bepaald over de periode waarin ze te volgen waren. De periode waarover de trend kon worden bepaald was dus verschillend per suppletie. Van de gebieden Schouwen, Julianadorp en Texel zijn de trends per soort suppletie (bijv. strand, vooroever) met elkaar vergeleken.

2.2.4 Aanleghoogte Schouwen

Bij de suppleties op Schouwen is er nog specifiek gekeken of de aanleghoogte effect had op de volumeafname in het aanleggebied. Hiervoor is bij elke suppletie de aanleghoogte bepaald op basis van de hoogteprofielen in MorphAn en histogrammen van de bodemhoogte in de volumevakken van vóór en ná de aanleg (Figuur 2.1).



Figuur 2.1 Histogram van de bodemhoogte in suppletievak 2 vóór (boven) en ná (onder) de aanleg van de 2007 suppletie. De oranje ellips geeft aan op welke hoogte het plateau van de suppletie zichtbaar is in de data.

2.3 Overzicht suppleties

In Tabel 2.1 op de volgende pagina is een overzicht gegeven van de suppleties die zijn aangelegd in de gebieden Julianadorp, Schouwen en Texel. In de tabel is aangegeven of de trend van de suppletie verder is geanalyseerd (zie 2.2.3).

Bij Julianadorp zijn de strandsuppletie in 1993 en de vooroeversuppletie in 2003 niet geanalyseerd, omdat er onvoldoende data was. Voor deze suppleties waren ofwel geen bruikbare bathymetrie gegevens beschikbaar in het jaar na aanleg, of de suppleties waren te recent aangelegd om een trend over meerdere jaren te kunnen bepalen. Van de strandsuppletie van 1993 was geen betrouwbare trend te bepalen omdat 2 jaar na aanleg sedimentatie te zien was en de vooroever suppletie van 2003 was niet zichtbaar in de data.

Van de suppleties bij Schouwen is alleen de strandsuppletie van 1975 niet geanalyseerd omdat deze niet goed zichtbaar was in de data. Bij Texel waren alle suppleties geschikt voor verdere analyse.

Tabel 2.1 Gegevens van de suppleties voor de gebieden Julianadorp, Schouwen en Texel en of de suppletie is meegenomen in de analyse.

Gebied	Jaar aanleg	Startraai	Eindraai	Lengte (m)	Type suppletie	Volume (m3)	Volume (m3/m)	Geanalyseerd
Julianadorp	1993	1	7,5	6500	strand	615.527	95	ja
Julianadorp	1993	3,28	5,68	2400	strand	280.000	117	nee
Julianadorp	1996	1,5	7,5	6000	strand	400.000	67	ja
Julianadorp	1999	3,95	6,28	2330	strand	287.480	123	nee
Julianadorp	2001	1,5	5,68	4180	strand	1.290.240	309	nee
Julianadorp	2003	1,5	5,88	4380	strand	1.305.458	298	ja
Julianadorp	2003	9,13	9,43	300	vooroever	12.243	41	nee
Julianadorp	2007	0	2	2000	geulwand	1.782.263	891	ja
Julianadorp	2007	2	7,1	5100	vooroever	3.239.103	635	ja
Julianadorp	2007	1,5	5,9	4400	strand	1.350.448	307	ja
Julianadorp	2009	7	10	3000	vooroever	1.301.565	434	ja
Julianadorp	2011	2,89	6,28	3390	strand	652.020	192	ja
Julianadorp	2013	0,2	2,3	2100	geulwand	3.500.000	1667	ja
Julianadorp	2015	1,5	6,28	4780	strand	1.000.000	209	ja
Julianadorp	2020	3,28	7,08	3800	vooroever	1.800.000	474	nee
Julianadorp	2020	0,2	3,08	2880	geulwand	3.500.000	1215	nee
Schouwen	1975	17	17,41	410	strand	112.000	273	nee
Schouwen	1987	13,2	15,6	2400	strand	1.974.000	823	ja
Schouwen	1991	11,84	17,27	5430	strand-duin	2.672.983	492	ja
Schouwen	1996	11,58	17,32	5740	strand	733.000	128	ja
Schouwen	1999	16,2	17,2	1000	strand	105.000	105	ja
Schouwen	2003	15,98	17,28	1300	strand	125.220	96	ja
Schouwen	2003	9,94	15,33	5390	strand	870.237	161	ja
Schouwen	2007	10,241	17,418	7177	strand	994.023	139	ja
Schouwen	2012	10,44	17,19	6750	strand	1.824.901	270	ja
Schouwen	2017	10,44	12,28	1840	strand	370.000	201	ja
Schouwen	2017	13,75	17,19	3440	strand	800.000	233	ja
Texel	1984	18,13	24	5870	strand	3.021.115	515	ja
Texel	1991	18,13	23,4	5270	strand	2.008.898	381	ja
Texel	1996	15,26	18,73	3470	strand	1.490.561	430	ja
Texel	1996	22,11	23,4	1290	strand	493.317	382	ja
Texel	1997	18,78	20,91	2130	strand	658.846	309	ja
Texel	2000	17,03	18,33	1300	strand	245.223	189	ja
Texel	2002	17	23	6000	vooroever	4.593.493	766	ja
Texel	2006	17	23	6000	vooroever	1.500.335	250	ja
Texel	2011	14,1	17,63	3530	strand	713.256	202	ja
Texel	2012	13,32	17,78	4460	vooroever	1.800.000	404	ja
Texel	2012	17,93	21,11	3180	vooroever	1.350.000	425	ja
Texel	2016	12,1	21,11	9010	vooroever	4.004.000	444	ja
Texel	2018	14,9	21,31	6410	strand	1.000.000	156	ja

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden eerst per locatie de resultaten gepresenteerd, en daarna worden de drie locaties met elkaar vergeleken.

3.1 Schouwen

Voor de locatie Schouwen is alleen naar de ontwikkeling van strandsuppleties gekeken. In dit kustvak zijn ook een aantal geulwandsuppleties (in de database zijn deze samen met de gelijktijdige strandsuppletie opgenomen en alleen als strandsuppletie aangemerkt) aangelegd, maar geen vooroever-suppleties. De volumes zoals berekend op basis van de data liggen voor een aantal suppleties aanzienlijk lager (zie Tabel 3.1). Dit komt grotendeels doordat het volume dat op de geulwand is aangebracht in de database wordt meegerekend bij de strandsuppletie, terwijl in deze studie niet het gehele gesuppleerde gebied wordt meegenomen in de berekening (de grens is op ongeveer dezelfde positie gelegd als bij de andere suppleties).

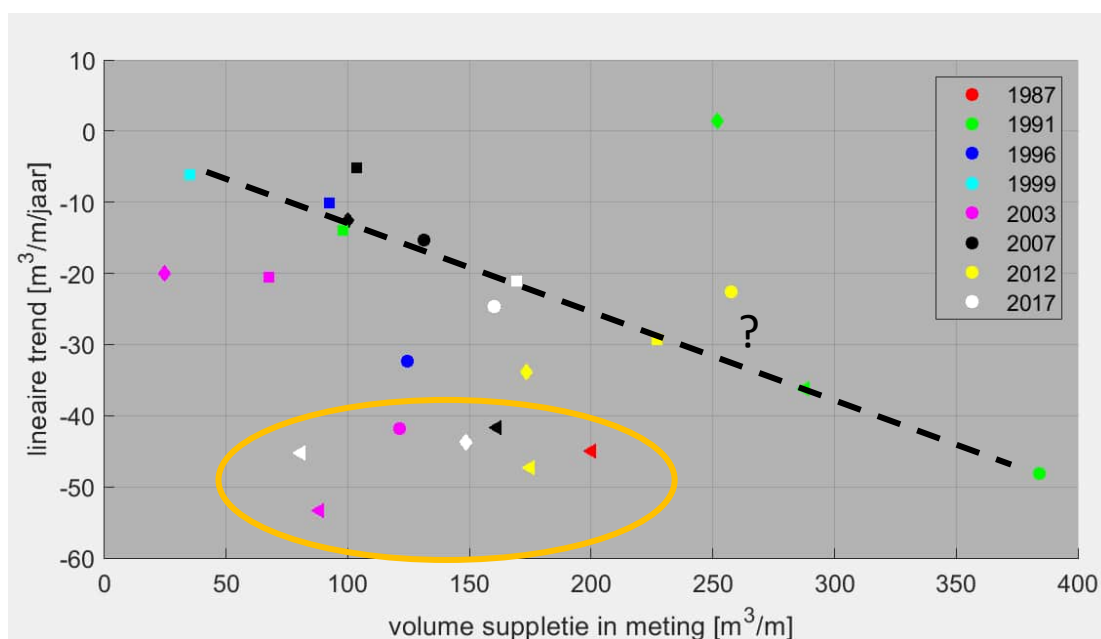
De strandsuppleties zijn ingedeeld in vier kustlangse vakken, waarbij vak 1 in het noorden ligt en vak 4 in het zuiden (zie Appendix A voor details per suppletie). De berekende trends laten een duidelijk lineair verloop zien (zie voor grafieken per suppletie Appendix B).

Er lijkt een relatie te zijn tussen de lineaire trend in volumeafname en het gemeten suppletievolume per strekkende meter (Figuur 3.1), hoewel vak 2 hier een uitzondering op vormt. Hier is de volumeafname sneller dan bij suppleties met vergelijkbaar aanlegvolume als in de andere vakken. Mogelijk komt dit doordat Vak 2 helemaal op de kop ligt en hierdoor de grootste golfimpact zal hebben ten opzichte van de andere vakken. Ook liggen er direct achter vak 2 open, dynamische duinen waar mogelijk meer sediment naar toe wordt getransporteerd dan in andere vakken het geval is.

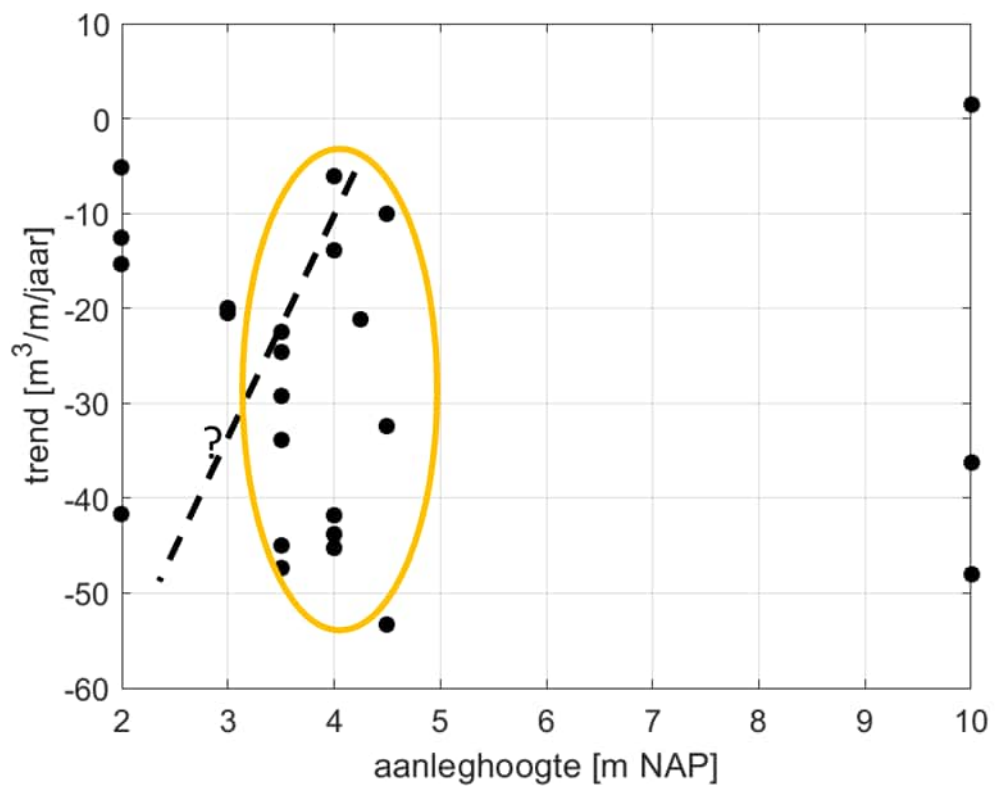
De relatie tussen de volumeafname en aanleghoogte die zou worden verwacht – een grotere volumeafname bij een lagere aanleghoogte – is niet duidelijk zichtbaar (Figuur 3.2). De aanleghoogtes liggen ook dicht bij elkaar en de bepaling ervan is niet voor elke suppletie even zeker, bijvoorbeeld doordat de suppletie al deels is geërodeerd wanneer de eerstvolgende meting is uitgevoerd. Mede hierdoor is de vorm die in de metingen zichtbaar is niet altijd gelijk – soms is er een duidelijk plateau tegen de duinen aan, soms is het verloop gelijkmatiger.

Tabel 3.1 Suppletievolume volgens de database en zoals berekend op basis van de meetdata

Jaar aanleg	Lengte (m)	Volume (m3/m)	Volume obv meting (m3/m)	Reden verschil
1987	2400	823	200	Een deel is geulwand en eerder aangelegd
1991	5430	492	256	Een deel is geulwand (raai 1164-1335 en 1505-1706) + deel voor meting
1996	5740	128	109	Ter hoogte van vak 1 is er ook een geulwandsuppletie aangelegd
1999	1000	105	35	Wellicht door kleine lengte?
2003	1300	96	46	Deel voor meting 2003 gesuppleerd
	5390	161	105	
2007	7177	139	124	
2012	6750	270	208	
2017	1840	201	160	
	3440	233	133	



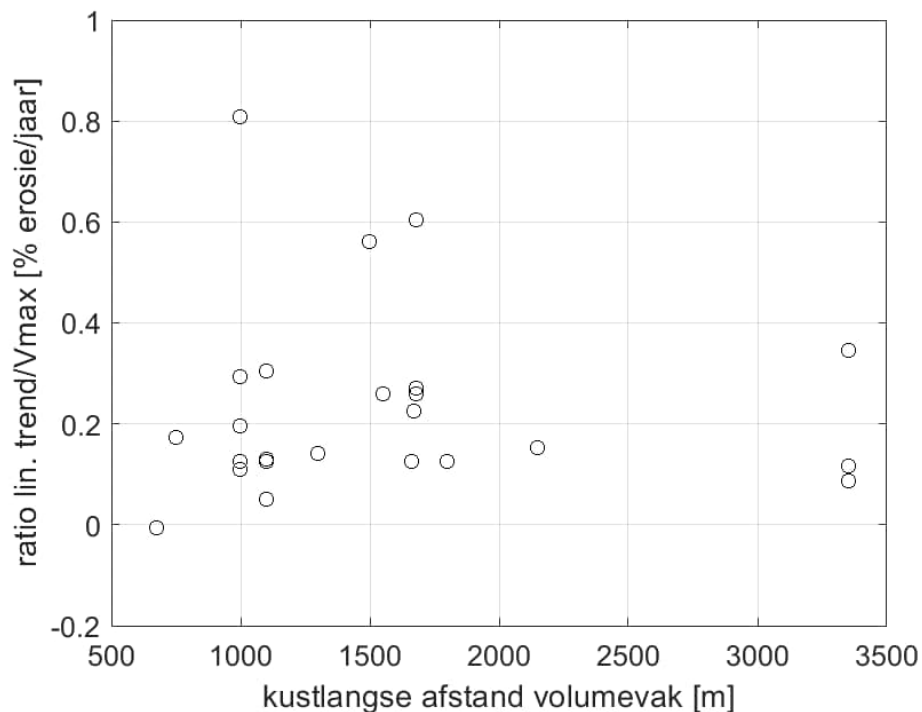
Figuur 3.1 Relatie tussen de lineaire trend en het gemeten suppletievolume voor de geanalyseerde strandsuppleties op Schouwen. Gestreepte lijn geeft een mogelijk verband aan maar is niet gebaseerd op een lineaire regressie analyse. Oranje ellips geeft afwijkende vakken aan, vooral uit vak 2. Cirkel=vak 1; driehoek=vak 2; ruit=vak 3; vierkant=vak 4.



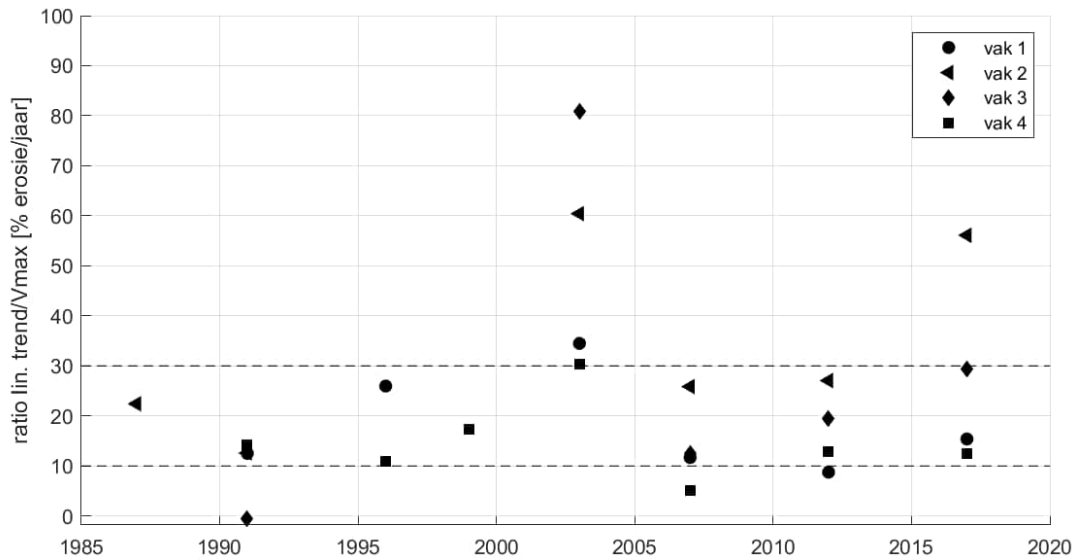
Figuur 3.2 Relatie tussen de lineaire trend en de aanleghoogte voor de geanalyseerde strandsuppleties op Schouwen. Gestreepte lijn geeft hypothetisch verband, wat niet goed te zien is in de data.

De volumeafname in het aanleggebied is vergeleken met de kustlangse lengte van de suppletievakken (Figuur 3.3). Duidelijk is dat dit een zwakke relatie is. Deze vergelijking is niet helemaal correct, omdat veel vakken aangesloten gesuppleerd zijn. De totale lengte van de aansluitende vakken gebruiken is echter ook niet juist, aangezien er dan gebieden met verschillend morfologisch gedrag worden samengenomen, terwijl daar juist sterke verschillen in te zien zijn (zie Figuur 3.1). Uit andere studies is gebleken dat er een effect is aan het uiteinde van een suppletie, waardoor bij (hele) korte suppleties een relatief grote teruggang in volume te zien is (Huisman et al., 2019).

In de grafiek in Figuur 3.4 is duidelijk te zien dat de teruggang in volume niet afhankelijk is van het jaar van aanleg van de suppleties op Schouwen. Deze ligt in de hele periode voor vrijwel alle suppleties tussen de 10% en 30% jaarlijkse afname van het gesuppleerde volume (ten opzichte van het aanlegvolume) in het aanleggebied. De volumeafname voor de 2003-suppletie is erg afwijkend, de reden daarvan is niet helemaal duidelijk. Hiervoor kunnen meerdere redenen mogelijk zijn. Bijvoorbeeld: de condities die hebben opgetreden (bijv. stormen), de vorm en het volume of het gebruikte sediment voor de suppletie zijn. Dit dient echter nader onderzocht te worden.



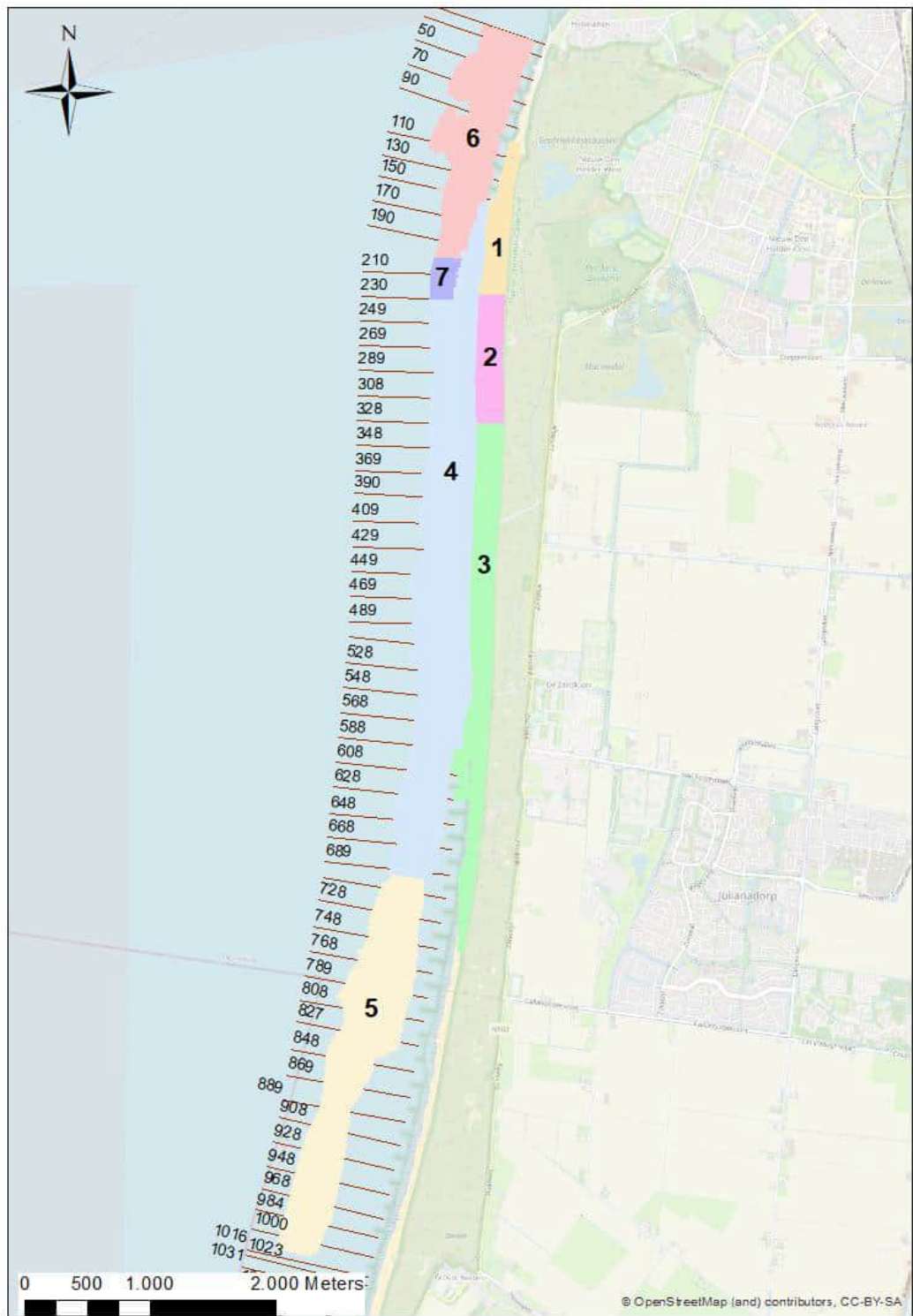
Figuur 3.3 Relatie tussen de waargenomen jaargemiddelde volumeafname (in percentage per jaar t.o.v. het aanlegvolume) en de kustlangse afstand van het volumevak



Figuur 3.4 Relatie tussen de waargenomen jaargemiddelde volumeafname (in percentage t.o.v. het aanlegvolume) en het jaar van suppleren

3.2 Julianadorp

Bij de locatie Julianadorp is naar de ontwikkeling van strand-, vooroever- en geulwandsuppleties gekeken. Een overzicht van de gebruikte volumevakken bij Julianadorp is gegeven in Figuur 3.5. De strandsuppleties zijn opgedeeld in 3 vakken (1 t/m 3), de vooroeversuppleties in 2 vakken (4 en 5) en resterende vakken (6 en 7) horen bij de geulwandsuppleties.



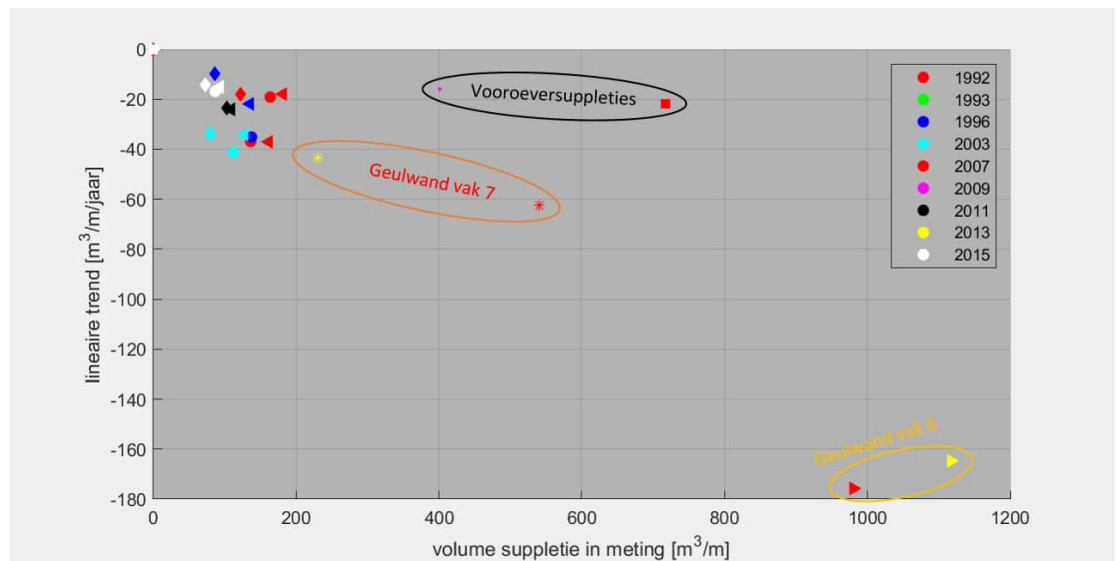
Figuur 3.5 Locaties van de gebruikte volumevakken voor de suppleties bij Julianadorp.

Figuur 3.6 laat van alle suppleties bij Julianadorp de lineaire trend in volumeafname tegen het volume per strekkende meter – gemeten in de eerste meting na aanleg – zien. Kaarten van alle suppleties met de getekende volumevakken zijn te vinden in appendix 5A.2. De grafieken op basis waarvan de trends zijn bepaald zijn te vinden in appendix 5B.2. Hieruit wordt duidelijk dat de volumeafname sterk kan verschillen voor strandsuppleties, vooroeversuppleties en geulwandsuppleties.

Van het aangelegde zand bij het overgrote deel van de volumevakken is minder dan 200 m³/m zichtbaar in de eerste meting na aanleg. Dit zijn (relatief kleine) strandsuppleties waar gemiddeld een volumeafname van 10 tot 40 m³/m/jaar wordt waargenomen. Bij de meeste strandsuppleties is in de periode tussen de aanleg en de eerste meting na aanleg al ongeveer de helft van het suppletievak verdwenen.

De hoogste volumeafnames zijn te zien bij de geulwandsuppleties in volumevak 6 nabij het Marsdiep (Figuur 3.5). Dit is waar de geulwandsuppleties voornamelijk zijn neergelegd. Hier is de gemiddelde volumeafname tussen de 160 en 180 m³/m.

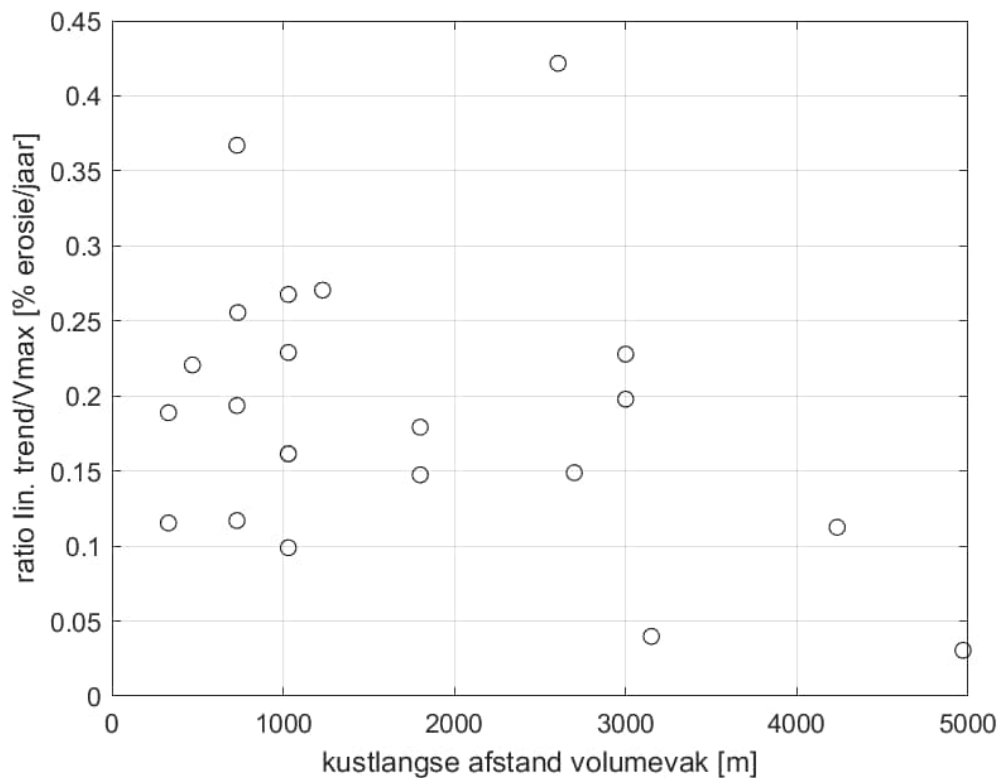
Het meest opvallend zijn de vooroeversuppleties die relatief stabiel lijken en ondanks een relatief groot volume (ca. 400 en 710 m³/m) slechts verantwoordelijk zijn voor een volumeafname van circa 20 m³/m of minder per jaar in het suppletievak waarin ze zijn geplaatst. Dit is eerder ook waargenomen door Elias et al. (2013) die dit toeschreven aan een beperkte transportcapaciteit van de stroming; de vooroever ligt te diep voor golfgedreven transport en de maximale stroming ligt zeewaarts in de geul Nieuwe Schulpengat. Op basis van Figuur 3.6 lijkt er wel een verband te zijn tussen de grootte van een suppletie en de snelheid waarmee het sedimentvolume van strand- en geulwandsuppleties afneemt: hoe groter het aanleg volume, hoe hoger de volumeteruggang. Echter is het aantal suppleties op de geulwand te laag (n=2) om hierover met zekerheid conclusies te trekken.



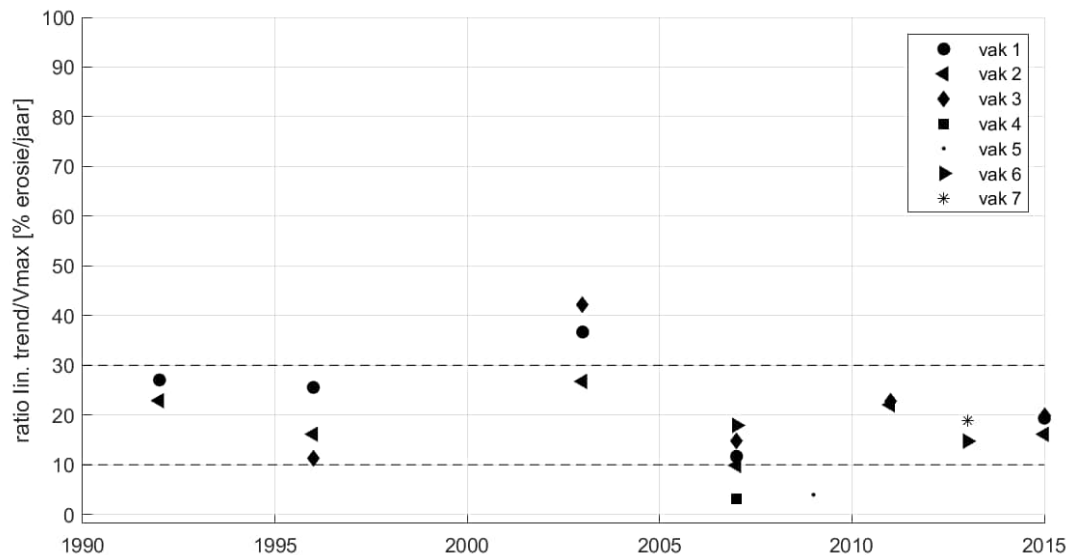
Figuur 3.6 Volumeverandering in de volumevakken van de suppleties bij Julianadorp geplot tegen het volume van de suppletie in de vakken in de eerste meting na aanleg. Met de ellipsen zijn de geulwand- en vooroeversuppleties aangegeven. De symbolen komen overeen met de volumevakken, zie Figuur 3.8 voor de legenda.

Ook is gekeken of er een verband is tussen de jaargemiddelde volumeafname (ten opzichte van het aangelegde volume) en lengte van de suppletie (i.e. kustlangse afstand). Figuur 3.7 laat zien dat hier geen duidelijk verband in lijkt te zijn. Het merendeel van de suppleties heeft een lengte minder dan 3000 meter maar hierbij wordt per jaar een zeer variabel percentage van het origineel aangelegde volume geërodeerd. De langste suppleties lijken wel relatief stabiel te zijn. Deze hebben een jaargemiddelde volumeafname in het suppletievak van minder dan 10% van het aanlegvolume, maar twee hiervan zijn de eerder genoemde vooroever-suppleties. Het is niet duidelijk te zeggen of deze stabiel zijn omdat ze over een grote lengte zijn aangelegd.

De meeste suppleties bij Julianadorp hebben een jaargemiddelde volumeafname van tenminste 10% van het aanlegvolume (Figuur 3.8). De vooroever-suppleties lijken hierop een uitzondering te zijn met 5% of minder per jaar maar bij strand- en geulwandsuppleties lijkt dit onafhankelijk te zijn van het type suppletie. Door de jaren heen is geen duidelijke trend zichtbaar wat aangeeft dat de suppleties zich niet specifiek anders gaan gedragen met de tijd. Dit lijkt aan te geven dat de processen die lokaal van invloed zijn op het gedrag van de suppletie weinig lijken te veranderen door de tijd.



Figuur 3.7 Waargenomen jaargemiddelde volumeafname van suppleties (in percentage van het aangelegde volume) geplot tegen de kustlangse afstand van de suppletie.

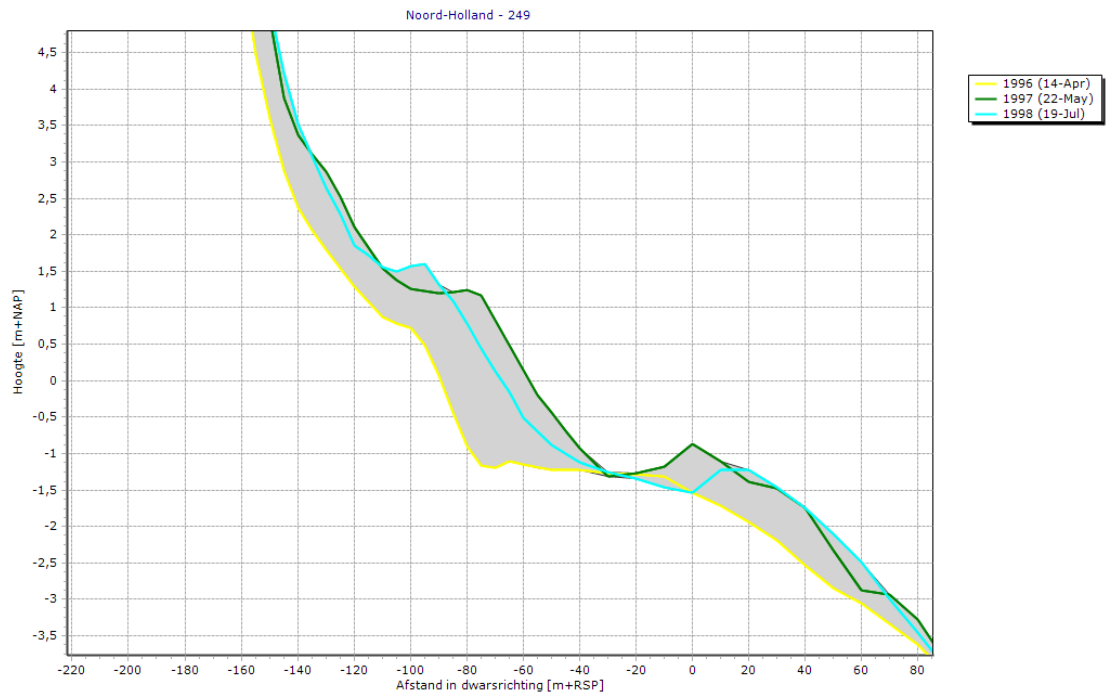


Figuur 3.8 Waargenomen jaargemiddelde volumeafname in vakken met suppleties (in percentage van het aangelegde volume) door de tijd bij Julianadorp. Vakken 1 t/m 3 zijn strandsuppleties, vakken 4 en 5 zijn vooroeversuppleties en vakken 6 en 7 zijn geulwandsuppleties (zie Figuur 3.5 voor locaties).

3.2.1 Gedrag strandsuppleties

Nadere inspectie van het gedrag van de strandsuppleties in Julianadorp laat zien dat na aanleg, vooral het lager gelegen deel richting de vooroever lijkt te zakken. Figuur 3.9 laat hiervan een voorbeeld zien bij de strandsuppletie van 1996. Het verschil tussen de profielen 1996 en 1997 laat duidelijk de aangelegde strandsuppletie zien. Echter, in het midden gedeelte bij -1 m NAP is er geen verschil tussen de metingen terwijl rechts hiervan (tussen ca. -10 en 60 in horizontale afstand) aanzanding heeft plaatsgevonden. Dit is ook bij de strandsuppleties van 1993, 2007, 2011 en 2015 waargenomen en de aanzanding lijkt verklaard te kunnen worden door een kustwaards transport van zand vanaf de vooroever.

Na aanleg lijkt de volumeafname van strandsuppleties in eerste instantie ook vooral plaats te vinden in het lager gelegen deel in de buurt van de waterlijn waar de zee vanzelfsprekend het meeste invloed heeft. In het voorbeeld in Figuur 3.9 is het gedeelte hoger dan +1 m NAP het eerste jaar na aanleg relatief stabiel en erodeert met name het gedeelte tussen +1 m en -1 m NAP. Dit is eerder ook waargenomen in een detail analyse van de suppletie bij Julianadorp van 2007 (Elias et al., 2013).



Figuur 3.9 Voorbeeld van de strandsuppletie bij Julianadorp in 1996 waarbij de suppletie aan de voet richting de vooroever lijkt te zakken. De strandsuppletie is duidelijk zichtbaar tussen -140 tot -30 m afstand (x-as; links van -140 ligt de duingrens) en +3 tot ca. -1 m NAP (y-as). Vanaf 20 tot 80 m afstand lijkt een deel van de suppletie richting de vooroever gezakt.

3.2.2 Gedrag geulwandsuppletie

De geulwandsuppleties van 2007 en 2013 (Tabel 3.2) hebben een vergelijkbaar volume per strekkende meter in de eerste meting na aanleg, terwijl dit voor de suppletie van 2013 volgens de officiële volumes eigenlijk twee keer zo groot zou moeten zijn. De tijd die tussen het einde van beide suppleties en de eerste meting daarna zit is ook vergelijkbaar wat zou suggereren dat de suppletie van 2007 in de periode tussen de aanleg en de eerste meting opvallend stabielier lijkt dan die van 2013. De volumeafname van beide suppleties (Figuur 3.6) is in dezelfde periode (4 jaar) van dezelfde orde grootte. Qua periode verschilt het wel dat de suppletie van 2007 in het najaar is aangelegd en die van 2013 in de zomer, maar omdat de suppleties op diepte in een geul – dieper dan 6 m diepte op basis van de Jarkus gegevens – worden aangelegd is de verwachting dat seizoenseffecten (bijv. stormen) minder van belang zijn. Dat er veel meer volumeteruggang heeft plaatsgevonden bij de suppletie van 2013 zou er mogelijk dus op kunnen wijzen dat het voor een geulwandsuppletie bij Julianadorp niet uitmaakt om meer zand te suppleren of dat het volume gegeven in de suppletie database niet correct is.

Tabel 3.2 Vergelijking van de verwachte en geobserveerde volumes van de geulwandsuppleties en tijd tussen het eind van aanleg en eerste meting na aanleg.

Begin	Eind	Volume (situ)	V/m verwacht	V/m (1emeting)	%	Maanden tussen eind supp. en 1e meting
aug-07	dec-07	1.782.263	891	922	103	4
mei-13	jul-13	3.500.000	1667	970	58	5

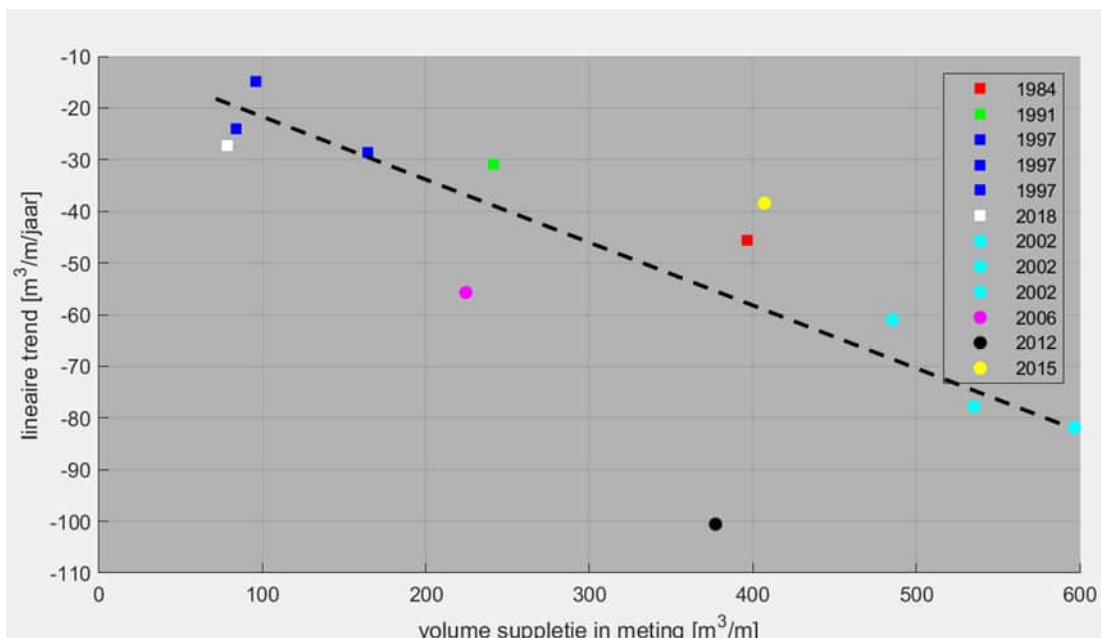
3.3 Texel

Op Texel midden – raai 18 tot en met 24 – is in de jaren '90 vooral op het strand gesuppleerd, waarna er tot 2018 vier vooroeversuppleties zijn aangelegd en in 2018 weer een strandsuppletie.

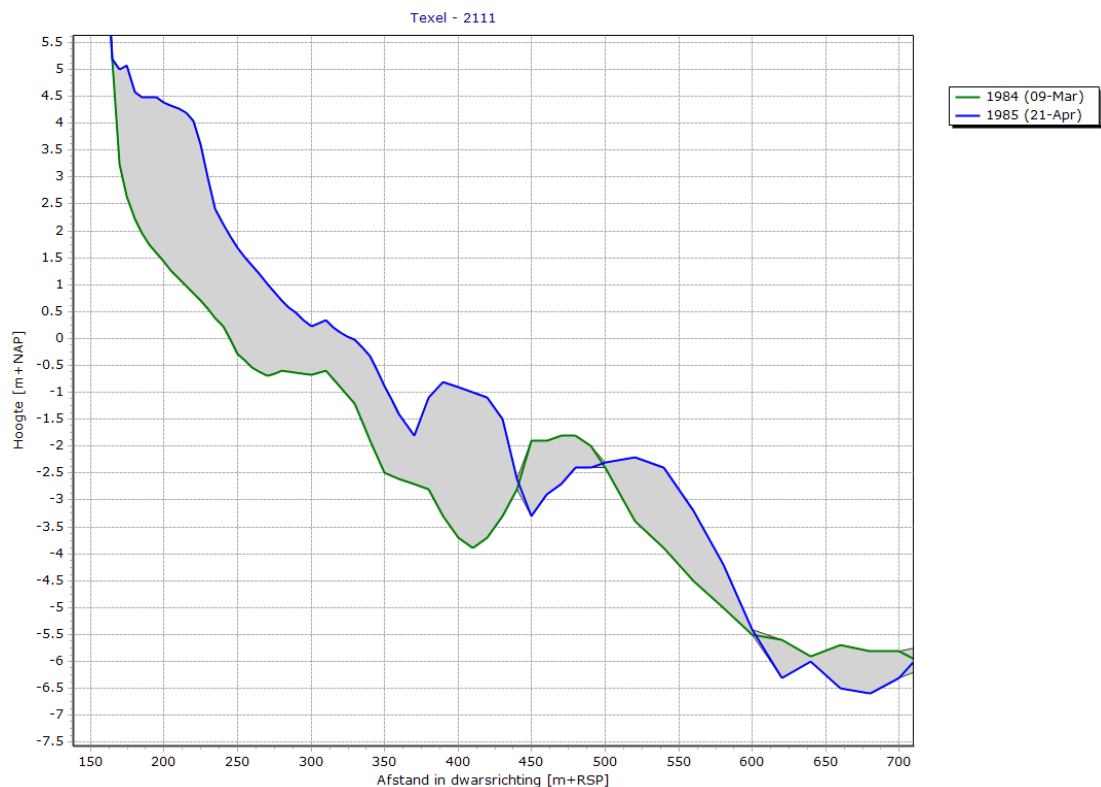
De strandsuppleties laten een relatie zien tussen het volume per strekkende meter en de volumeafname (Figuur 3.10). Hierbij is er een grotere teruggang van het volume bij grotere suppleties. Opvallend is het grotere volume per strekkende meter van de strandsuppleties uit 1984 en 1991 ten opzichte van de suppleties uit 1997 en 2018. De grotere suppleties lijken tot op grotere diepte aangelegd, ca. NAP -5m (Figuur 3.11), dan de recentere, die rond NAP -2m hun onderkant hebben (Figuur 3.12) – en daardoor een groter volume te hebben.

Ook de vooroeversuppleties laten eenzelfde relatie zien: een snellere afname van het sedimentvolume voor de grotere suppleties. Bij vooroeversuppleties, met uitzondering van 2015, zijn de volumeafnames meer dan 50 m³/m/jaar. Met name de vooroeversuppletie van 2012 is relatief snel afgenomen in volume. Hiervoor dienen bij de bepaling van de trend een aantal opmerkingen gemaakt te worden. In 2012 en 2015 is de suppletie verder naar het zuiden toe aangelegd dan het geanalyseerde vak. In 2007 is verder naar het zuiden, maar niet aansluitend op het onderzochte vak van 2006, ook een vooroeversuppletie aangelegd. In de verschilkaart 2006-2007 lijkt de suppletie echter wel door te lopen richting het zuiden. Daarnaast is de suppletie van 2002 in drie vakken onderzocht doordat de suppletie gedeeltelijk was aangelegd vóór de meting van 2003. Het volumeverloop is daardoor niet helemaal constant voor elk van de vakken. Mogelijk dat hierdoor de suppletie van 2002 eigenlijk een veel grotere volumeafname heeft dan uit de berekeningen blijkt.

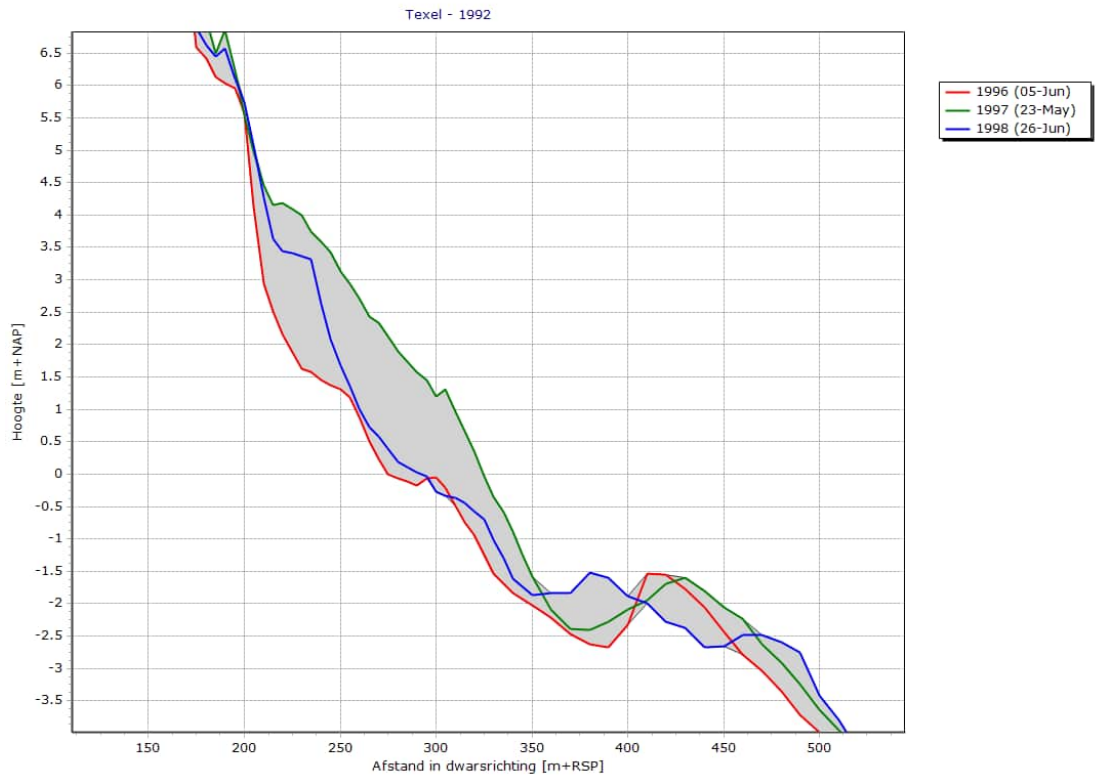
De jaargemiddelde volumeafname (ten opzichte van het aanlegvolume) van de suppleties bij Texel midden ligt voor vrijwel alle suppleties tussen de 10 en 30% per jaar (Figuur 3.13). Alleen de strandsuppletie uit 2018 laat een grotere teruggang van het sedimentvolume zien.



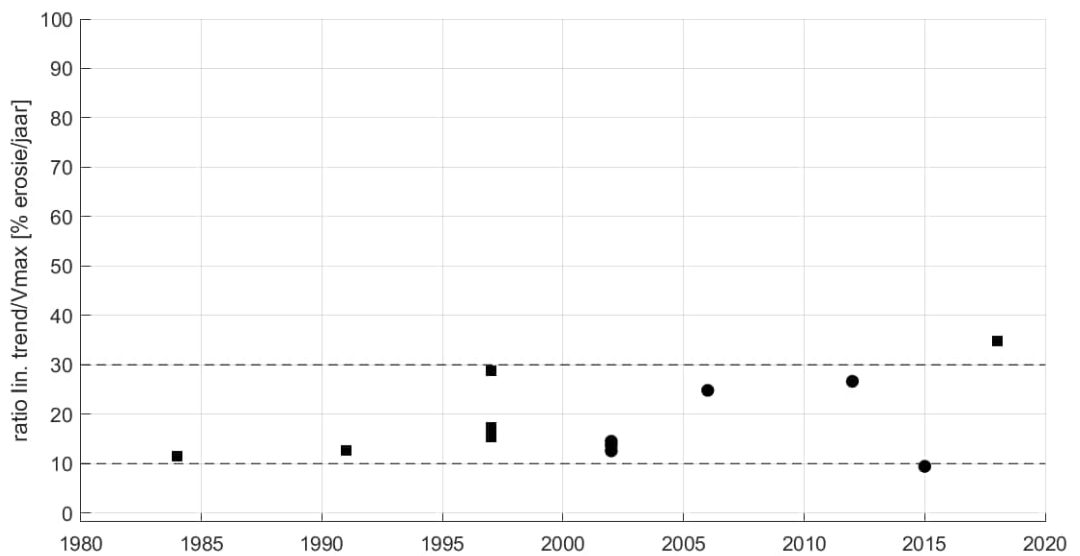
Figuur 3.10 Relatie tussen de lineaire trend en het gemeten suppletievolume voor de geanalyseerde strandsuppleties op Texel. Gestreepte lijn geeft een mogelijk verband aan maar is niet gebaseerd op een lineaire regressie analyse. Vierkanten zijn strandsuppleties, cirkels zijn vooroever-suppleties.



Figuur 3.11 Profiel van raai 2111 waarin de aanleg van de strandsuppletie uit 1984 zichtbaar is tot aan ca. NAP -5.



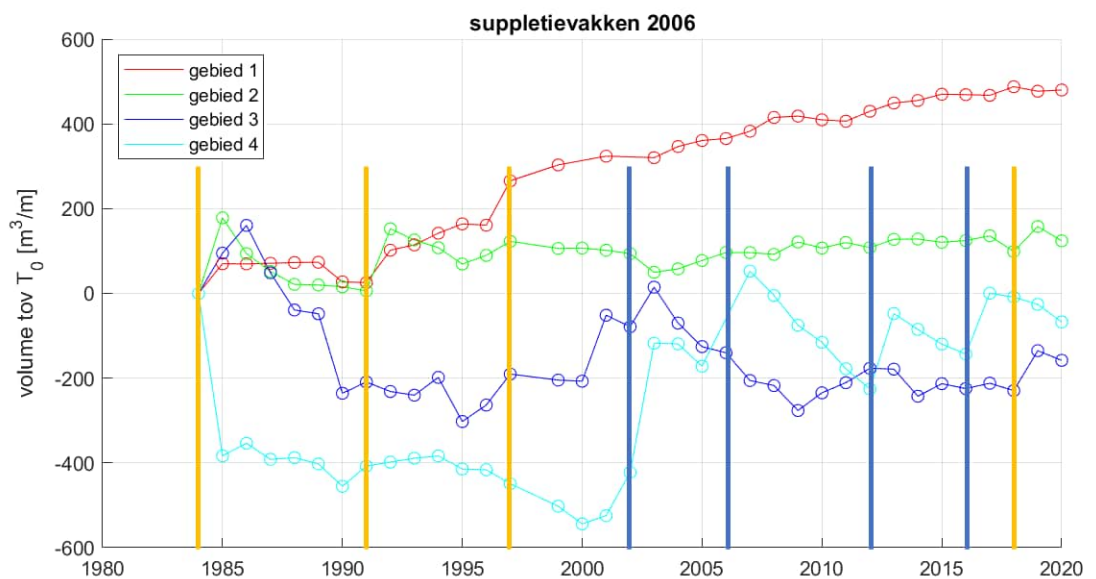
Figuur 3.12 Profiel van raai 1992 waarin de aanleg van de strandsuppletie uit 1997 zichtbaar is tot aan ca. NAP -2.



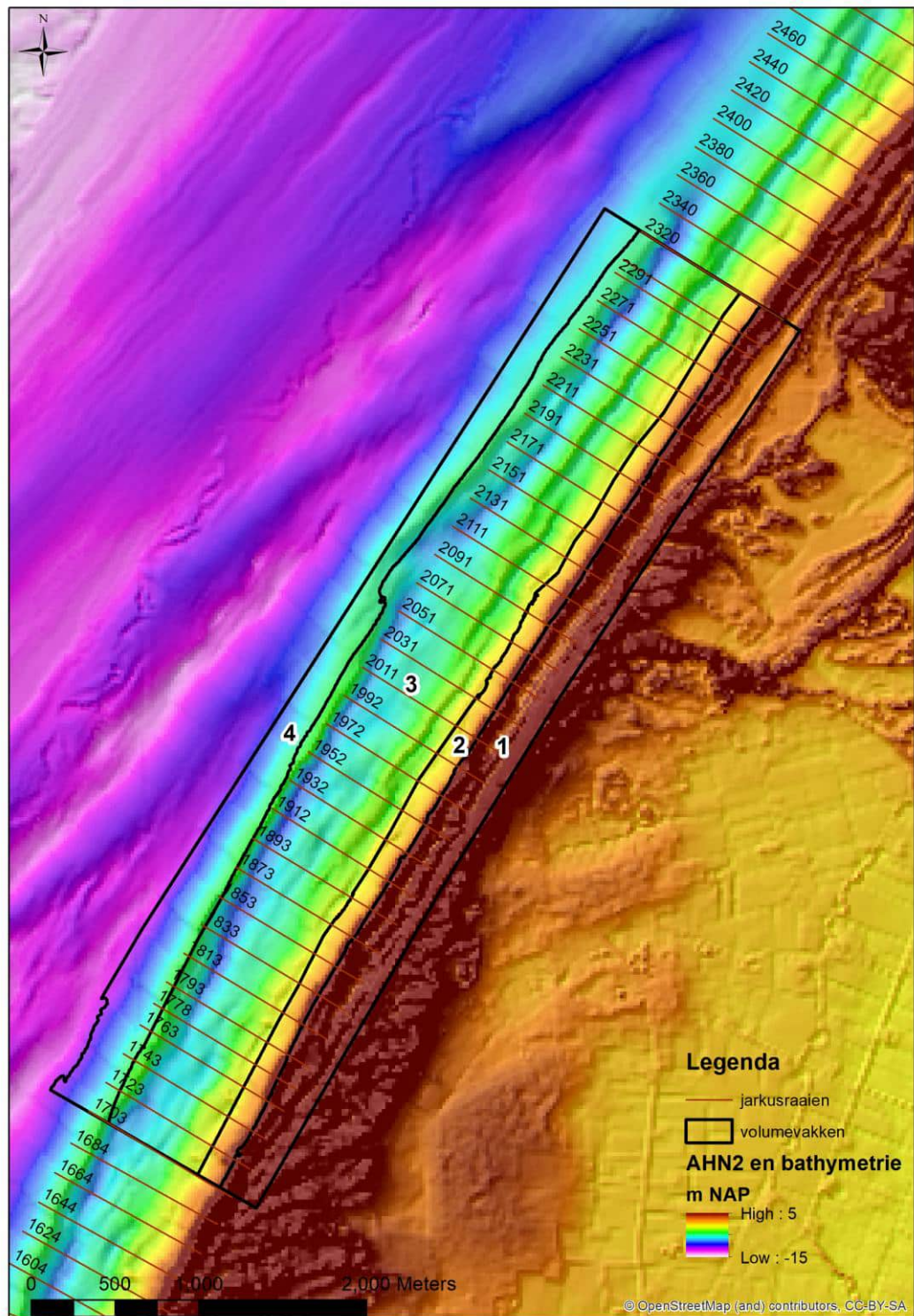
Figuur 3.13 Relatie tussen de waargenomen jaargemiddelde volumeafname van suppleties (in percentage van het aanlegvolume) en het jaar van suppleren

Gebaseerd op de volumevakken van de 2006-suppletie zijn volumeveranderingen tussen 1984 en 2020 bepaald (Figuur 3.14, zie Figuur 3.15 voor kaart met ligging vakken). Voor de verschillende gebieden levert dit een aantal inzichten op.

Het duingebied (gebied 1) neemt over de hele periode toe in volume met circa 10 tot 12 m³/m/jaar. In de periode 1984 tot 1996 is de trend vergelijkbaar met die voor de periode 1997 tot 2020. Opgemerkt moet worden dat de sprong in het duinvolume rond 1997 samenvalt met de overgang van JARKUS-grids naar lidar data. In het strand (gebied 2) zijn vooral de suppleties van 1984 en 1991 duidelijk te zien. Ook tijdens de periode met vooroeversuppleties blijft het volume op het strand redelijk constant, hoewel er geen relatie met deze suppleties lijkt te zijn. De vooroeversuppleties zorgen voor een duidelijk 'zaagtand' patroon in het 'suppletievak' (gebied 4). Het sediment dat uit dit volumevak verdwijnt is echter niet terug te zien in de volumeontwikkeling van het gebied tussen de suppleties en het strand (gebied 3). In de duinen is circa 1 miljoen m³ toename te zien sinds 2006. Dit is slechts een gedeelte van het gesuppleerde volume. Verondersteld wordt dat de vooroeversuppleties zorgen voor compensatie van autonome erosie in de ondiepe kustzone die anders zonder deze ingreep zou hebben plaatsgevonden.



Figuur 3.14 Lange termijn ontwikkeling van volumes gebaseerd op de vakken van de 2006 suppletie. Oranje verticale lijnen geven strandsuppleties aan, blauwe verticale lijnen vooroeversuppleties. Gebied 1=duinen, gebied 2=strand, gebied 3=bankengebied en gebied 4=gebied vooroeversuppleties; zie Figuur 3.15 voor kaart met de exacte ligging van de volumevakken. NB: voor de duinen is vanaf 1997 lidar data beschikbaar, daarvoor zijn volumes op de voor de duinen minder betrouwbare JARKUS-grids gebaseerd.



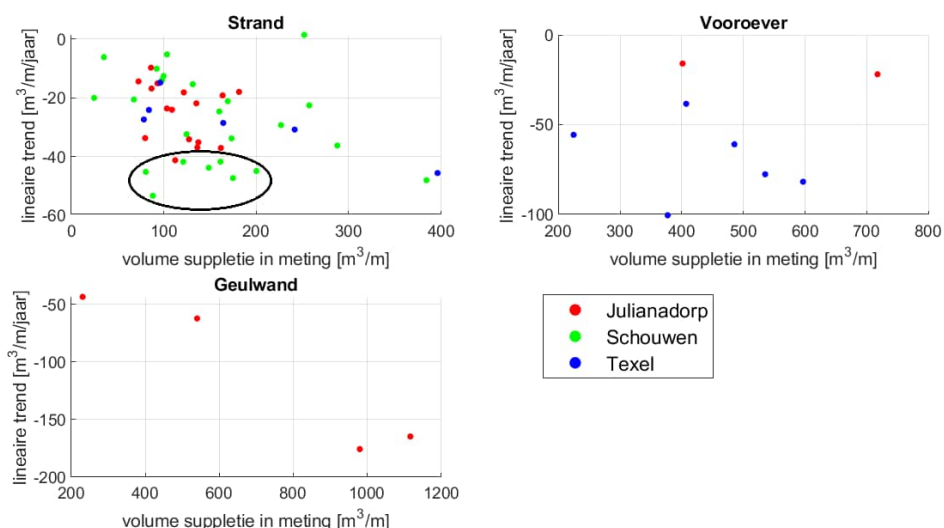
Figuur 3.15 Kaart met samengestelde hoogte gebaseerd op AHN2, kusthoogte en vaklodingen waarop de ligging van de 2006 volumevakken is aangegeven.

3.4 Vergelijking locaties

Bij de drie locaties is het alleen mogelijk om het gedrag van de strand- en vooroeversuppleties met elkaar te vergelijken omdat de onderzochte geulwandsuppleties alleen bij Julianadorp zijn neergelegd.

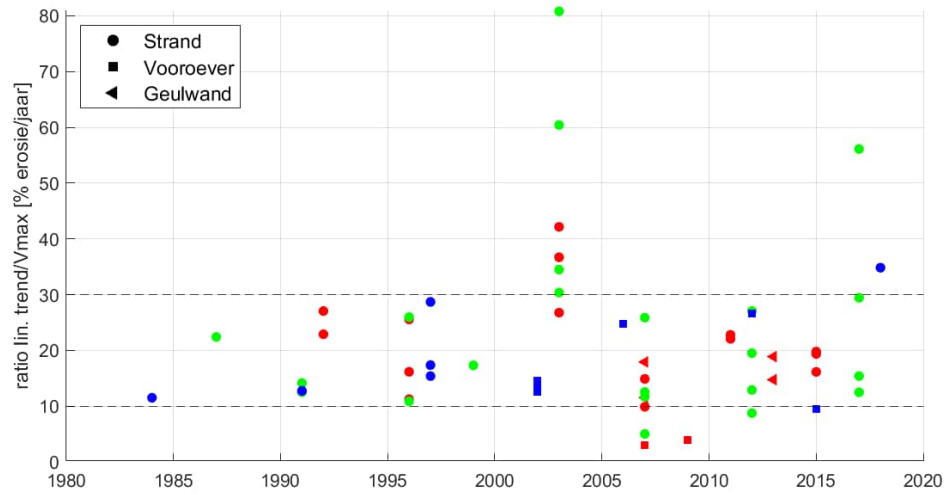
Met name bij de strandsuppleties is een redelijk lineaire trend te zien is tussen de waargenomen volumeafname van de suppleties en het aanlegvolume (Figuur 3.16). Bij de strandsuppleties van Julianadorp lijkt ten opzichte van de andere locaties het minst sprake te zijn van een lineaire trend. Mogelijk dat deze trend minder sterk is omdat hier geen grotere strandsuppleties dan 200 m³/m in de metingen voor komen. Wanneer er duidelijke afwijkende morfologische condities zijn lijkt het gedrag af te wijken van een lineaire afname van het suppletievolume. Dit is het geval bij de eerder genoemde strandsuppleties op de kop van Schouwen (blauwe ellips Figuur 3.16) waar grotere golfimpact verwacht is en dynamische duinen in het achterland liggen (zie 3.1).

Bij de vooroeversuppleties lijkt een verschil in stabiliteit te zijn tussen Texel en Julianadorp, er zijn geen vooroeversuppleties uitgevoerd bij Schouwen. De vooroeversuppleties bij Julianadorp zijn veel stabielere dan bij Texel. Bij Julianadorp is er weinig invloed te zien van het initiele aanlegvolume op de volumeafname in het suppletievak. De volumeafname is relatief beperkt (ca. 20 m³/m/jaar). Bij de vooroeversuppleties van Texel zijn deze snelheden 2 á 3 keer zo hoog.



Figuur 3.16 Vergelijking van de suppleties bij de locaties Schouwen, Julianadorp en Texel per type suppletie. De ellips geeft de afwijkende vakken aan bij de strandsuppleties van Schouwen.

Bij het merendeel van de volumevakken van de suppleties is in het suppletievak een jaargemiddelde volumeafname van tussen 10 en 30% per jaar waargenomen (Figuur 3.17). De voornaamste suppleties die meer of minder teruggaan in volume zijn respectievelijk de strandsuppleties in volumevak 2 op de kop van Schouwen en de vooroeversuppleties bij Julianadorp. De strandsuppleties in 2003 op Schouwen laten een sterk afwijkend gedrag zien ten opzichte van alle andere strandsuppleties, het is niet duidelijk waar dit door komt.



Figuur 3.17 Vergelijking van de relatie tussen waargenomen jaargemiddelde volumeafname van suppleties (in percentage van het aanlegvolume) en het jaar van suppleren voor de gebieden Schouwen (groen), Julianadorp (rood) en Texel (blauw). Zie Figuur 3.16 voor de kleurenlegenda.

4 Conclusies

Bij drie locaties langs de Nederlandse kust (Schouwen, Julianadorp en Texel) is het gedrag van suppleties geanalyseerd. Hierbij is gekeken naar het effect van de grootte van de suppleties op de volumeverandering, verschillen tussen de locaties, verschillen door de tijd en het effect van vooroeversuppleties op het strand.

Over het algemeen is er een lineair verband tussen de waargenomen volumeafname in het suppletievak en het aanlegvolume per stekkende meter (in m^3/m) van een suppletie, hoewel de volumeafname in het suppletievak relatief minder dan evenredig is voor grotere suppleties. Grotere suppleties hebben dus in principe een langere levensduur. Dit verband is het sterkste te zien bij strandsuppleties. Bij vooroeversuppleties verschilt dit enigszins tussen de onderzoek locaties: de onderzochte vooroeversuppleties bij Julianadorp zijn relatief stabiel ten opzichte van de vooroeversuppleties bij Texel. Hierbij dient genoteerd te worden dat het aantal vooroeversuppleties dat vergeleken kon worden te laag is om een algemene conclusie te kunnen trekken.

Bij het merendeel van de suppleties is sprake van een waargenomen volumeafname (ten opzichte van het aanlegvolume) van 10 tot 30% van het aanlegvolume per jaar, wat betekent dat het sediment van veel suppleties na een periode van ongeveer 5 jaar is verspreid naar omliggende gebieden. Er zijn echter ook uitzonderingen waar een volumeafname van slechts enkele procenten per jaar werd gevonden, of juist hele snelle volumeafnames tot 80% van het initiële volume in een enkel jaar. Over de beschouwde periode lijkt de snelheid van volumeafname in de beschouwde suppletievakken niet wezenlijk te zijn veranderd.

Bij Schouwen is er ook gekeken of er een effect van het ontwerp van een suppletie is op de volumeafname in het suppletievak, maar dit kon niet worden aangetoond. Mogelijk dat er wel een effect is, maar dat het op basis van de beschikbare data niet goed te onderzoeken is.

Bij Texel is ook gekeken naar de lange-termijn effecten van de suppleties voor omliggende delen van de kust. De beschikbare sedimentvolume op het strand zijn redelijk constant gebleven in de beschouwde periode, terwijl het volume in de duinen is toegenomen. De toename van het duinvolume is echter minder dan het aangebrachte sedimentvolume. De vooroeversuppleties zorgen waarschijnlijk ook voor compensatie van de autonome erosie in de ondiepe kustzone die anders zonder deze ingreep zou hebben plaatsgevonden, wat echter niet expliciet is onderzocht in deze studie. Een effect op de volumeontwikkeling in de aanliggende gebieden is opvallend genoeg niet te zien. Ook is er geen toename te zien van het volume in het bankengebied landwaarts van de suppleties zoals in andere gebieden soms het geval is.

5 Aanbevelingen

Het onderzoek dat is beschreven in dit rapport is in samenspraak met Rijkswaterstaat gedaan als een pilot studie waarin generieke analyses van een hele serie suppleties zijn gedaan. Dit zodat er op grotere schaal – in plaats van voor één suppletie in detail – geleerd kan worden over het gedrag na aanleg. Vanwege de grotere schaal diende ook gebruik gemaakt van te worden van meer generieke (bathymetrische) data en zijn bepaalde aspecten, welke van belang zijn voor het gedrag van suppleties, in deze studie buiten beschouwing gelaten. Belangrijk voor het gedrag van suppleties zijn bijvoorbeeld golf- en stromingscondities en de eigenschappen (bijv. gerelateerd aan het ontwerp) van de suppletie. Dit leidt tot enkele aanbevelingen die gedaan kunnen worden voor toekomstige studies ter verbetering van de inzichten. Hieronder wordt kort ingegaan op deze aanbevelingen.

Om met meer betrouwbaarheid uitspraken te doen over het gedrag van de suppleties en eventueel meer duidelijke trends af te kunnen leiden dienen fysische condities meegenomen te worden. Belangrijke condities als typische golf- en stromingscondities per suppletie. Wat is de getijslag per locatie? Hoe kan je de golven karakteriseren? Verschilt dit per locatie? Hoe is dit door de tijd? Deze aspecten zijn zeer van belang voor de transportcapaciteit en daarmee voor de capaciteit om de suppleties te eroderen. Vooral voor het duiden van verschillen in gedrag van suppleties tussen locaties zijn deze factoren van belang. Mogelijk kan met de gecombineerde informatie uit verschillende bronnen (metingen en modellen) een verklaring gegeven worden voor de veranderingen bij suppleties.

Ook van belang zijn de aspecten van het ontwerp van de suppleties zelf. Hierbij is van belang over welk dieptebereik (onder- tot bovenkant t.o.v. NAP) de suppletie is aangelegd. Hoe komt dit overeen met de diepte tot waar eerder genoemde fysische aspecten invloed hebben? De vorm van de suppletie: is binnen het dieptebereik het zand egaal verdeeld of is de bulk in een bepaald gebied aangelegd? Wat is de initiële volumeafname in het suppletievak direct na aanleg die net voor de eerste bathymetriemeting heeft plaatsgevonden? Verder van belang is ook de gemiddelde korrelgrootte (D_{50}), en eventueel het type (afzettingsmilieu), van het zand dat invloed heeft op de erodeerbaarheid van de suppletie. Deze eigenschappen zijn echter voor oudere (strand) suppleties vaak moeilijk te achterhalen, maar zouden indien mogelijk meer onderzoeksmogelijkheden bieden.

Ten slotte zou de locatie van de suppletie ten opzichte van de grootschalige morfologie van het gebied in beschouwing kunnen worden genomen. Bijvoorbeeld de locatie van een vooroever- en geulwand suppletie ten opzichte van de zandbanken.

Bij het opzetten van het onderzoek zouden bovenstaande aspecten gebruikt kunnen worden voor een meer strategische indeling van volumevakken van de suppleties. Dit kan leiden tot een meer objectieve vergelijking van de suppleties. Mogelijk dat met bovenstaande kennis ook afwijkende mate van volumeafname beter verklaard kunnen worden. Bijvoorbeeld beter begrip van waarom de vooroeversuppleties bij Julianadorp relatief stabiel lijken te zijn. Ook zou dit tot een betere verklaring kunnen leiden waarom op een bepaalde locatie een suppletie in een specifiek jaar afwijkend gedrag vertoont waardoor dit eventueel mee kan worden gewogen in het bepalen van trends.

Referenties

Deltares, 2013. Ontwikkeling gefaseerde suppletie Ameland 2010-2011, rapport 1207724-002-ZKS-0010

Deltares, 2014. Evaluatie verlegging Krabbengat 1987/1991/1996, rapport 1209381-008-ZKS-0005

Deltares, 2017. Ontwikkeling suppletie Heemskerk 2011-2016, rapport 1230043-001-ZKS-0016

Elias, E., Vonhögen – Peeters, L., en Bruens, A. (2013) Ontwikkeling suppletie tussen Den Helder en Julianadorp 2007

Grunnet, N.M. and Ruessink, B.G., 2005. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 52(2): 119-137.

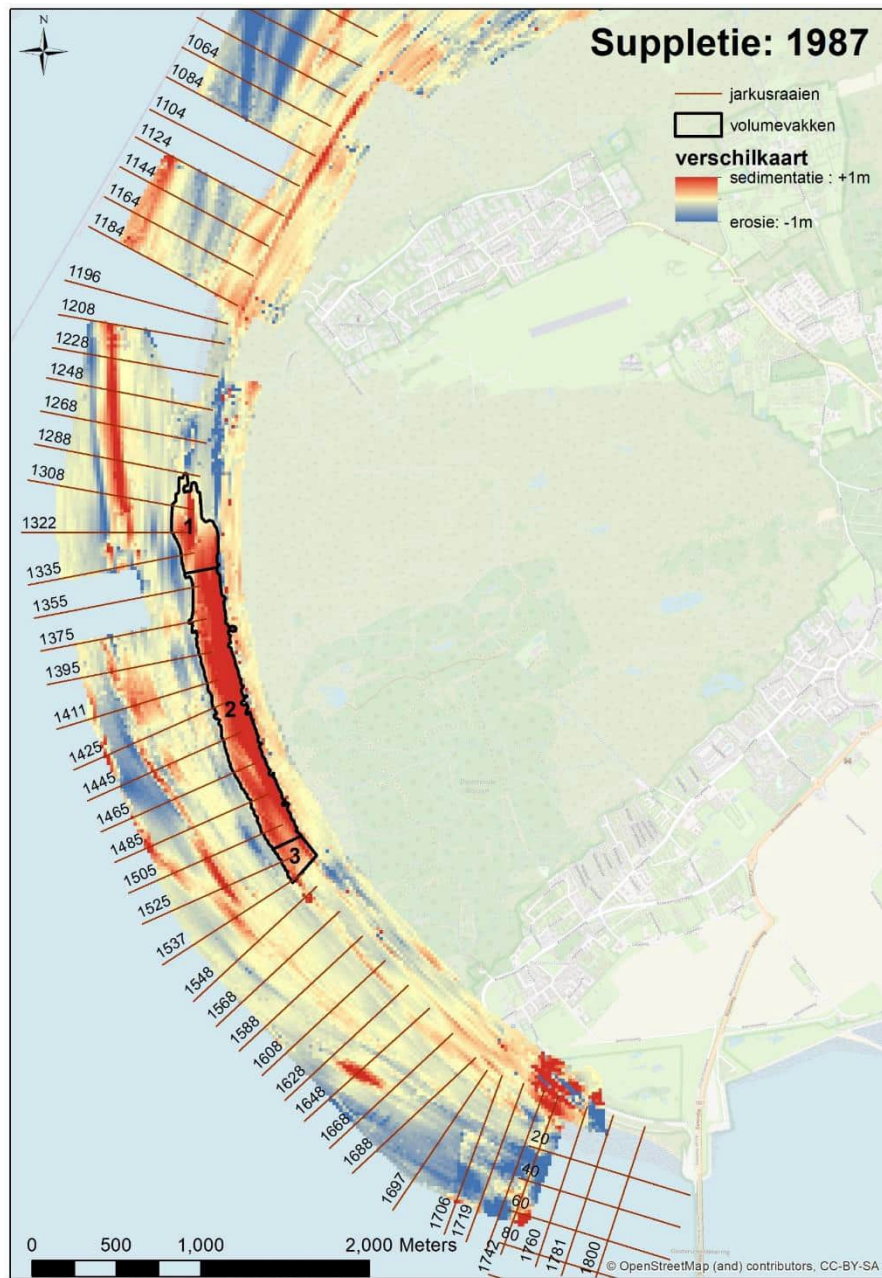
Huisman B.J.A., Walstra D.J.R., Radermacher M, de Schipper M.A., Ruessink B.G., 2019. Observations and Modelling of Shoreface Nourishment Behaviour. *Journal of Marine Science and Engineering*; 7(3):59.

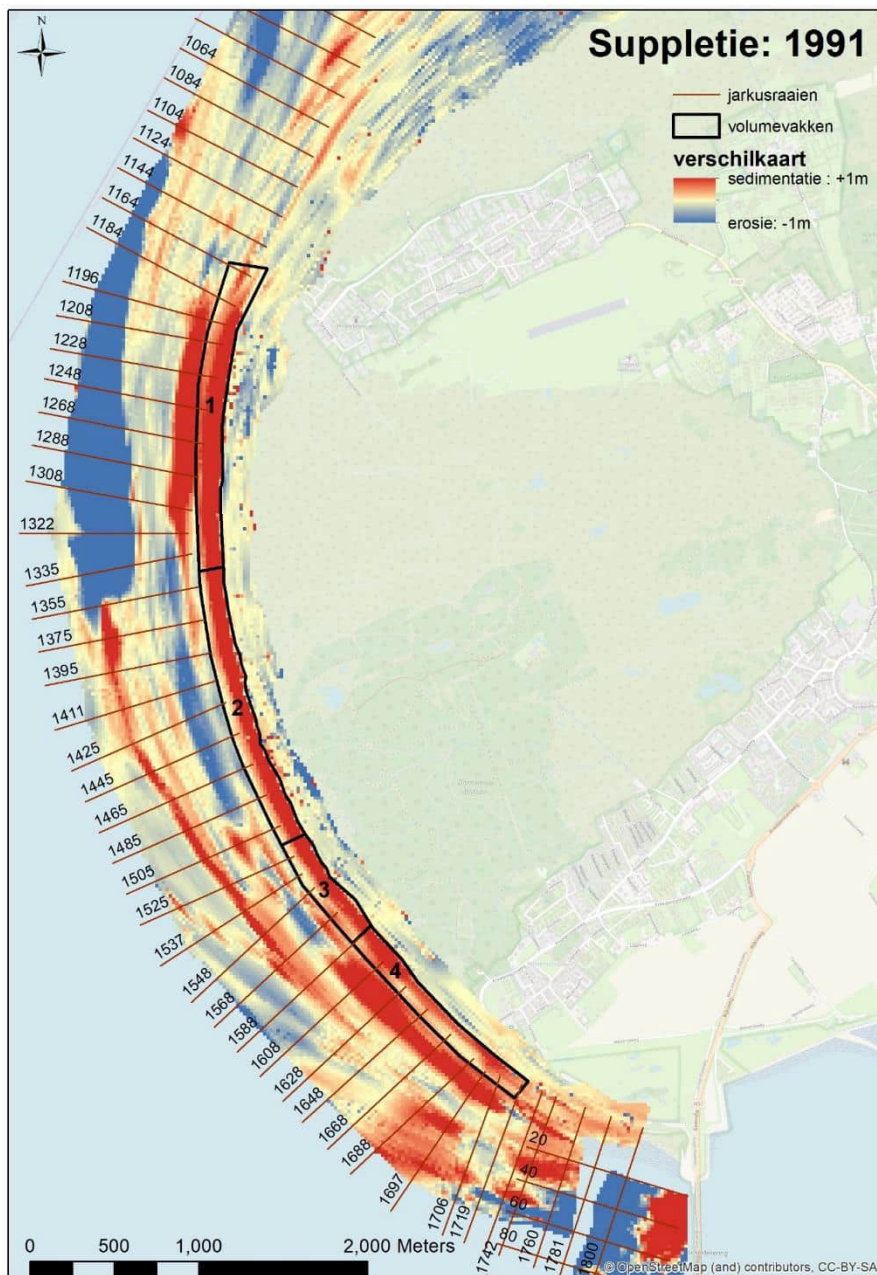
Ojeda, E., Ruessink, B. G., & Guillen, J., 2008. Morphodynamic response of a two-barred beach to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 55(12): 1185-1196.

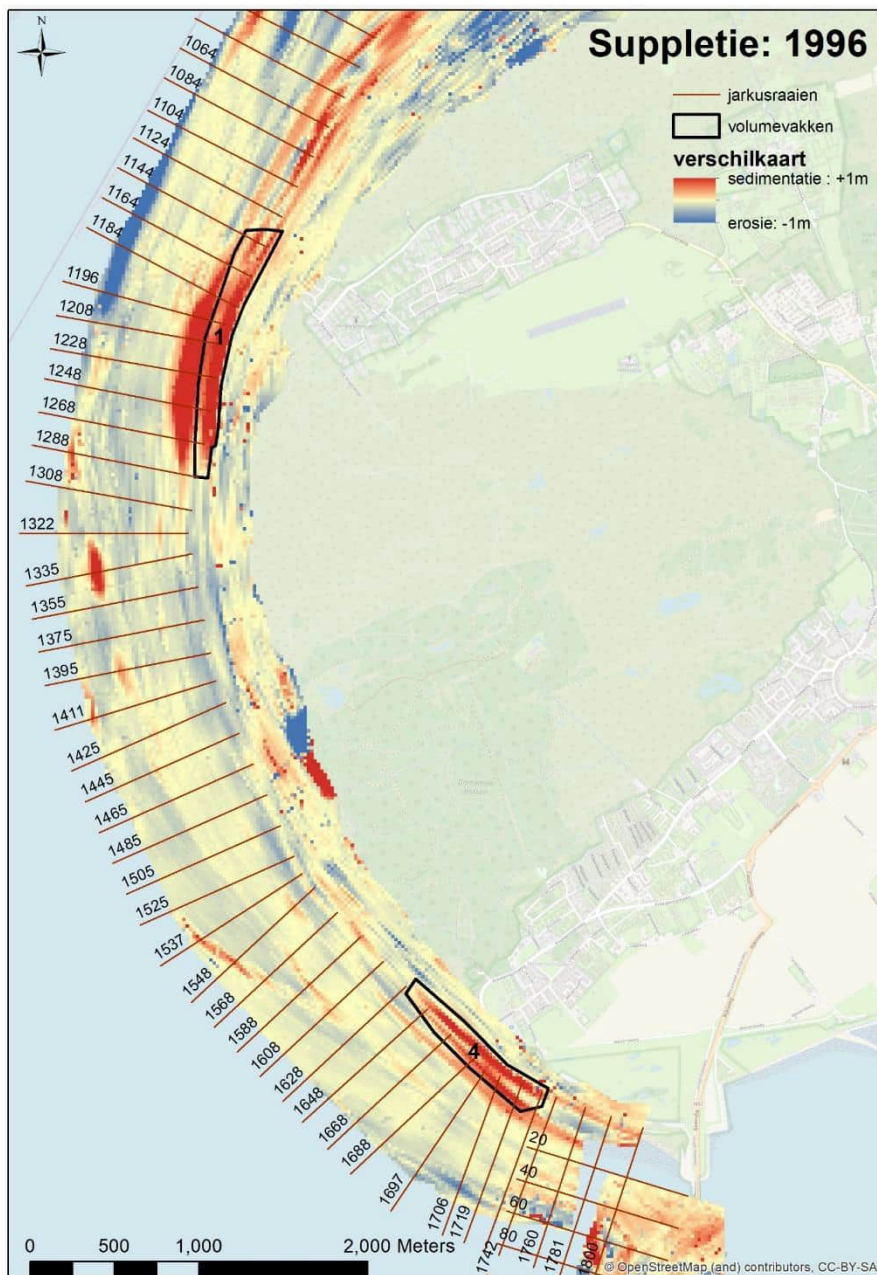
Ruessink, B.G., and Kroon, A., 1994. The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, the Netherlands: 1965–1993. *Marine Geology*, 121(3): 187-197.

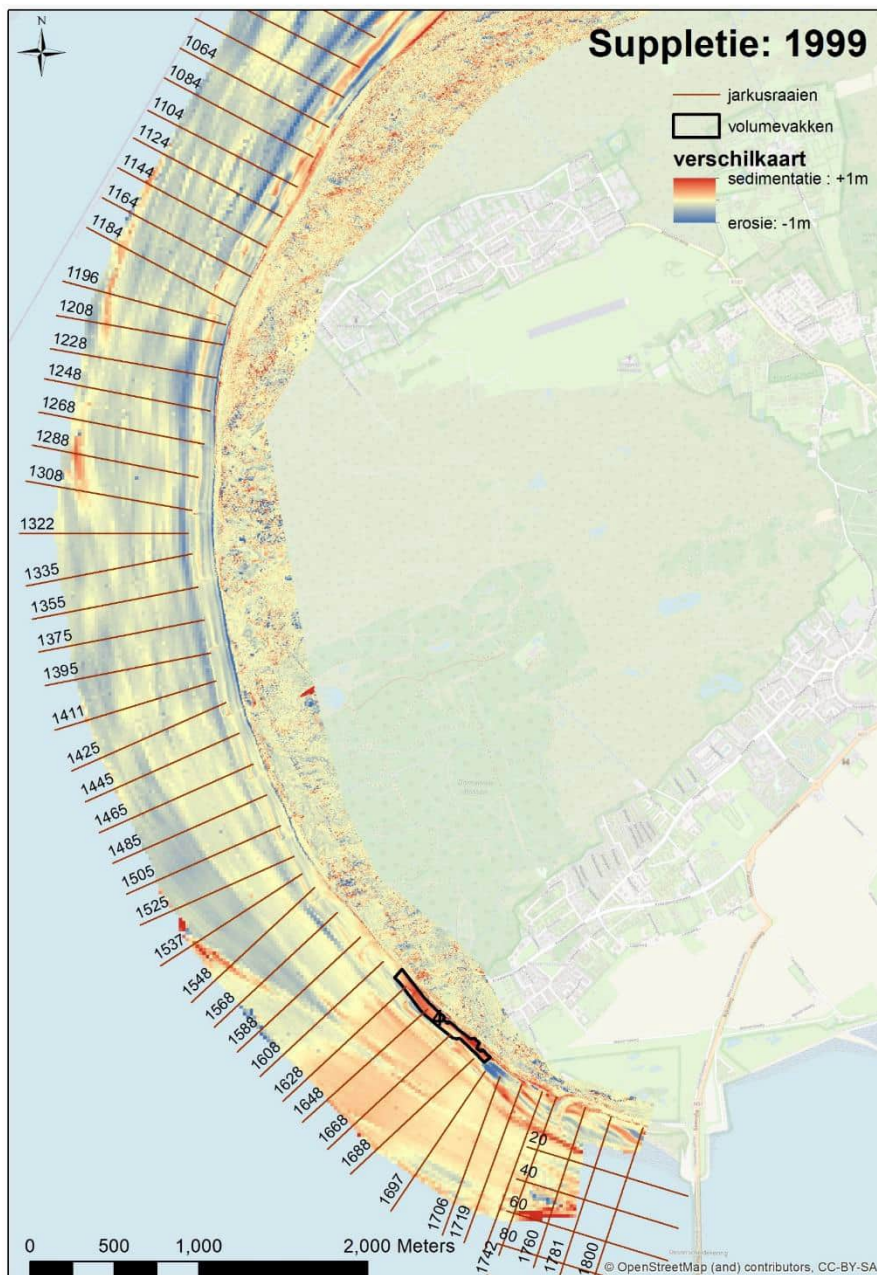
A Kaarten

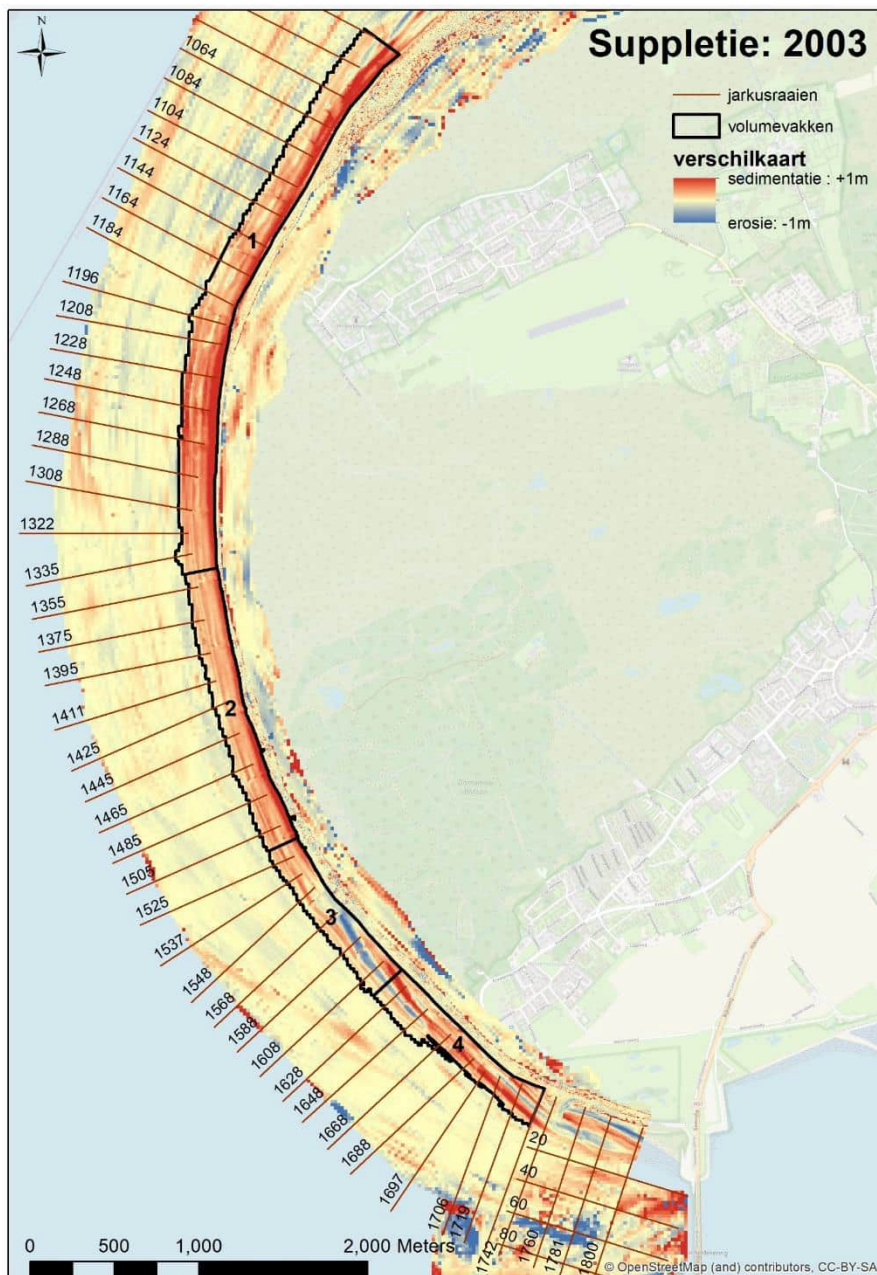
A.1 Schouwen

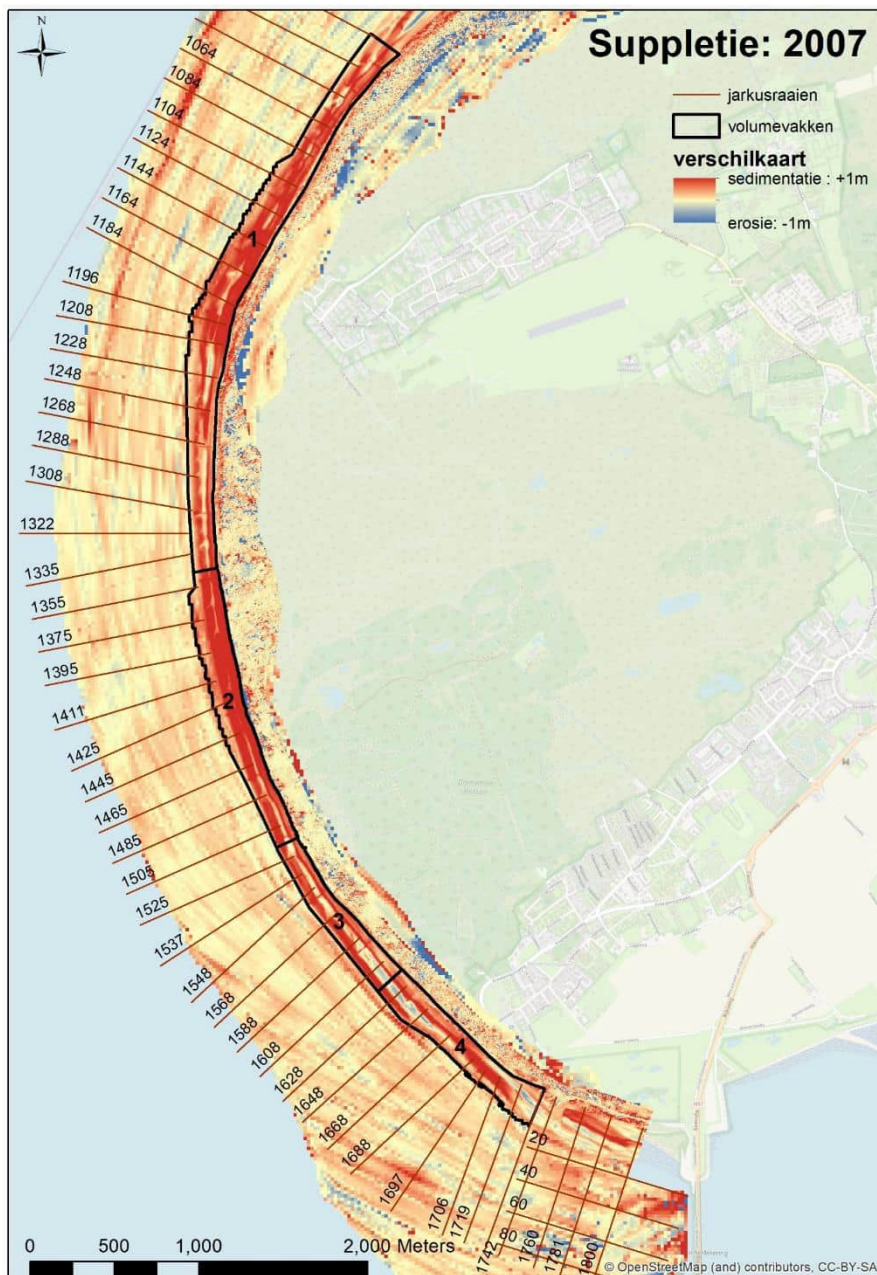








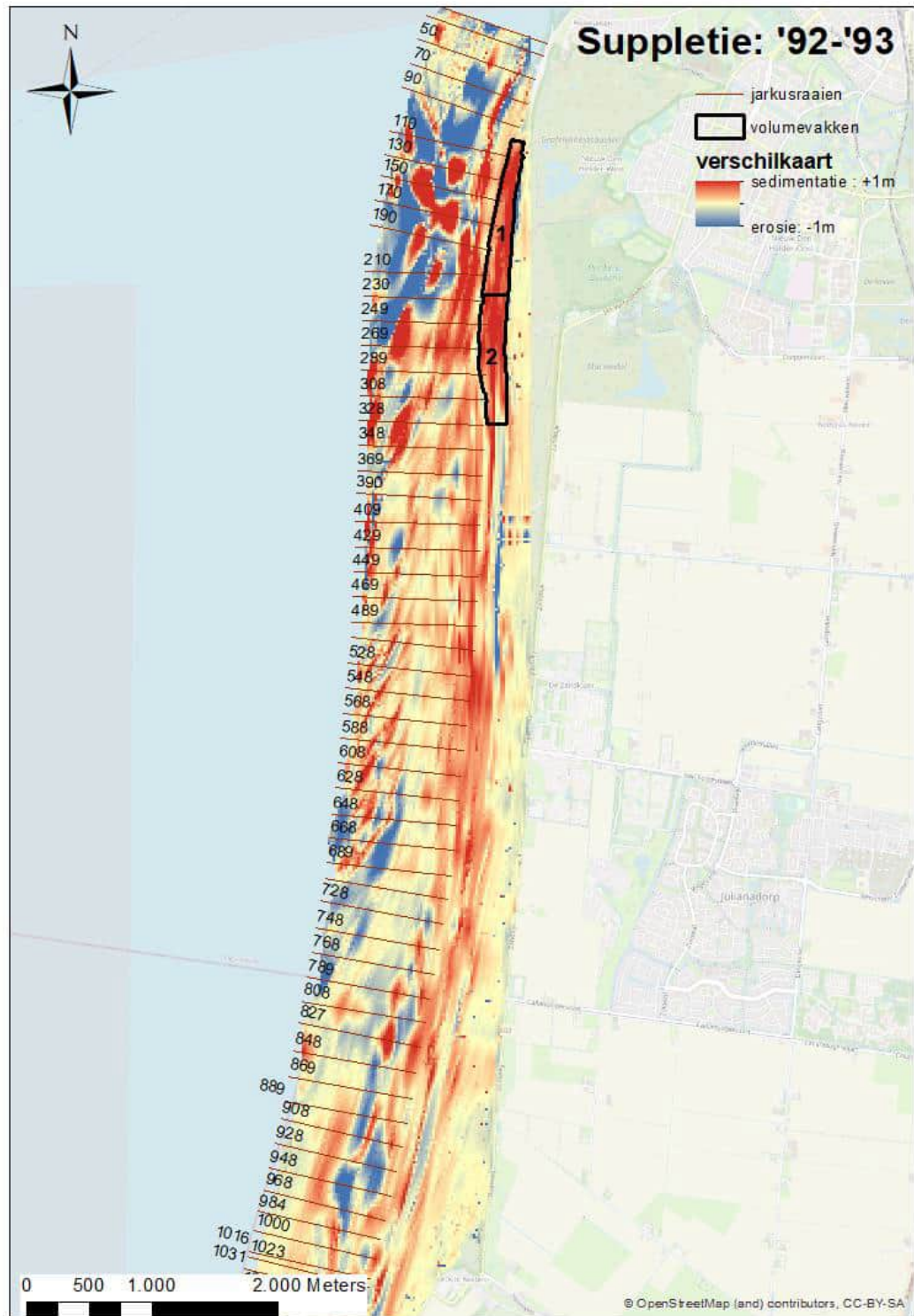


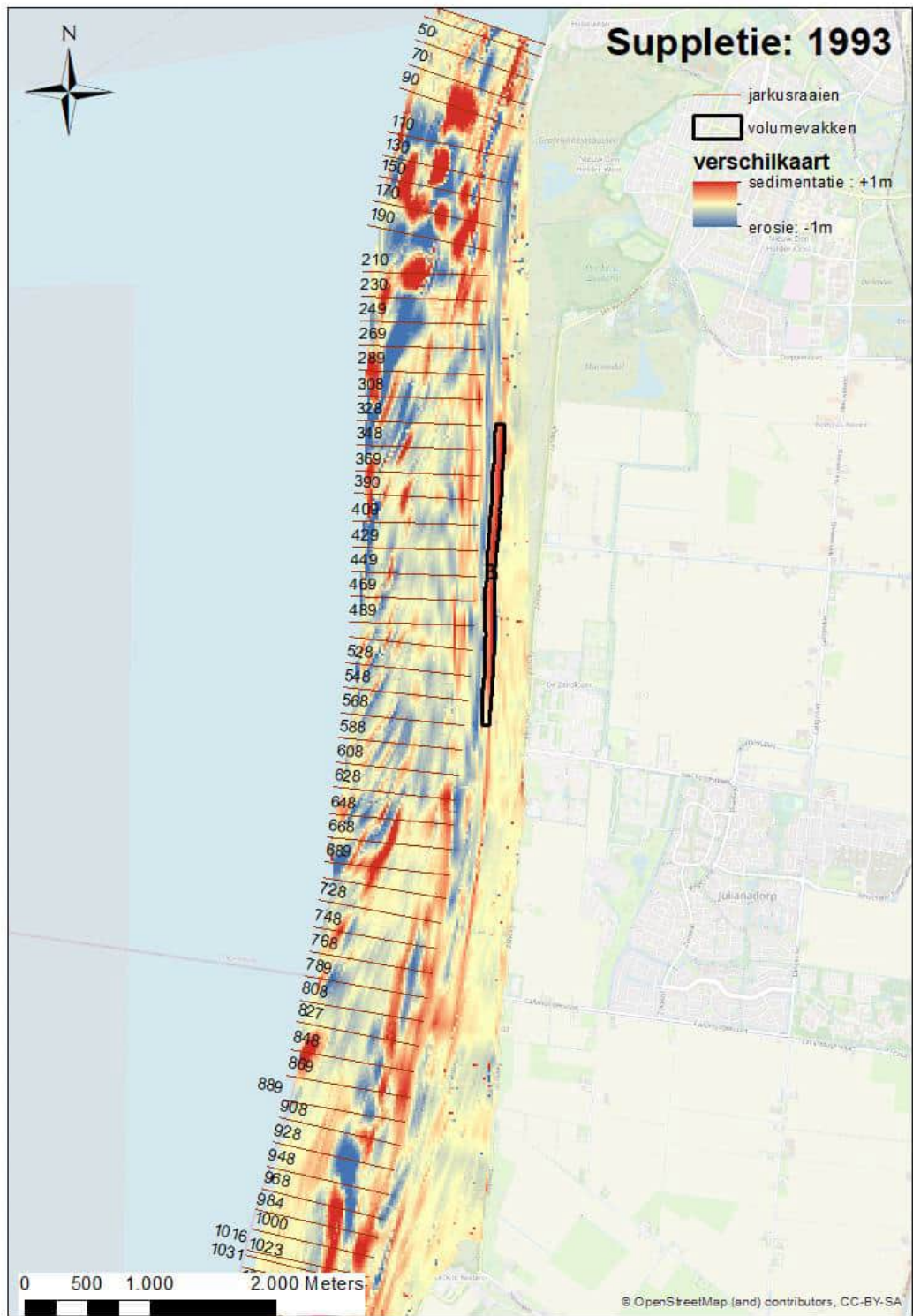


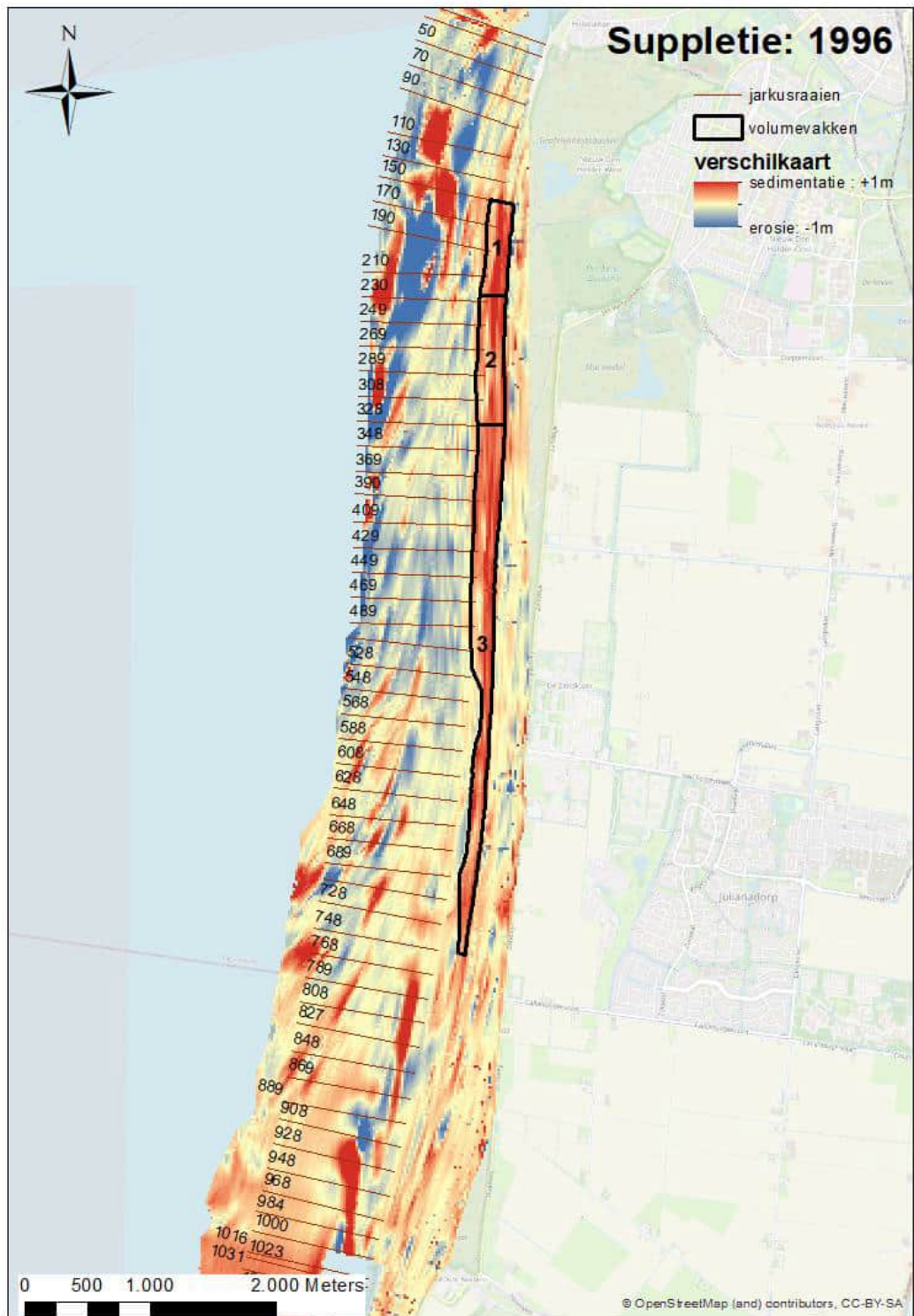


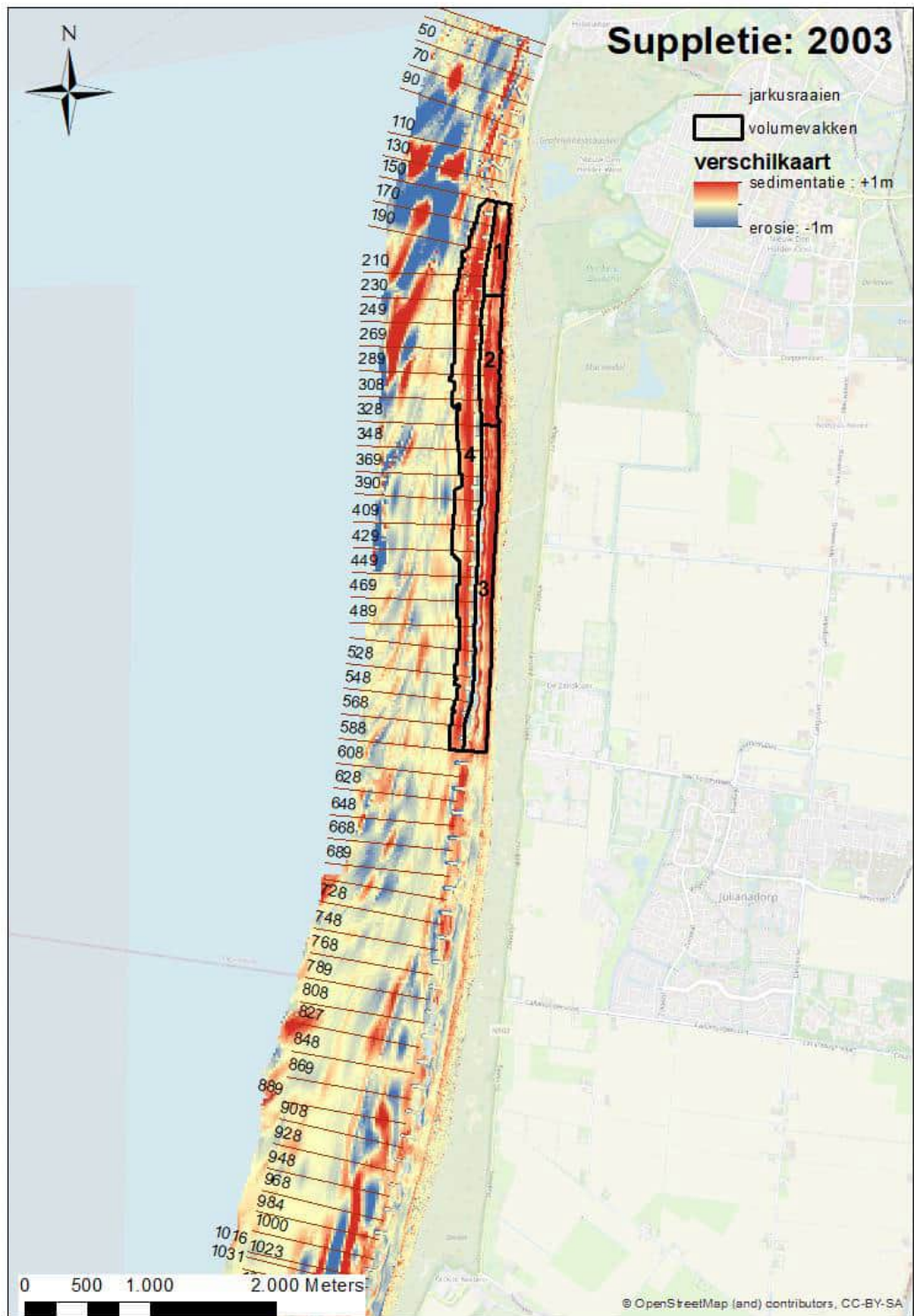


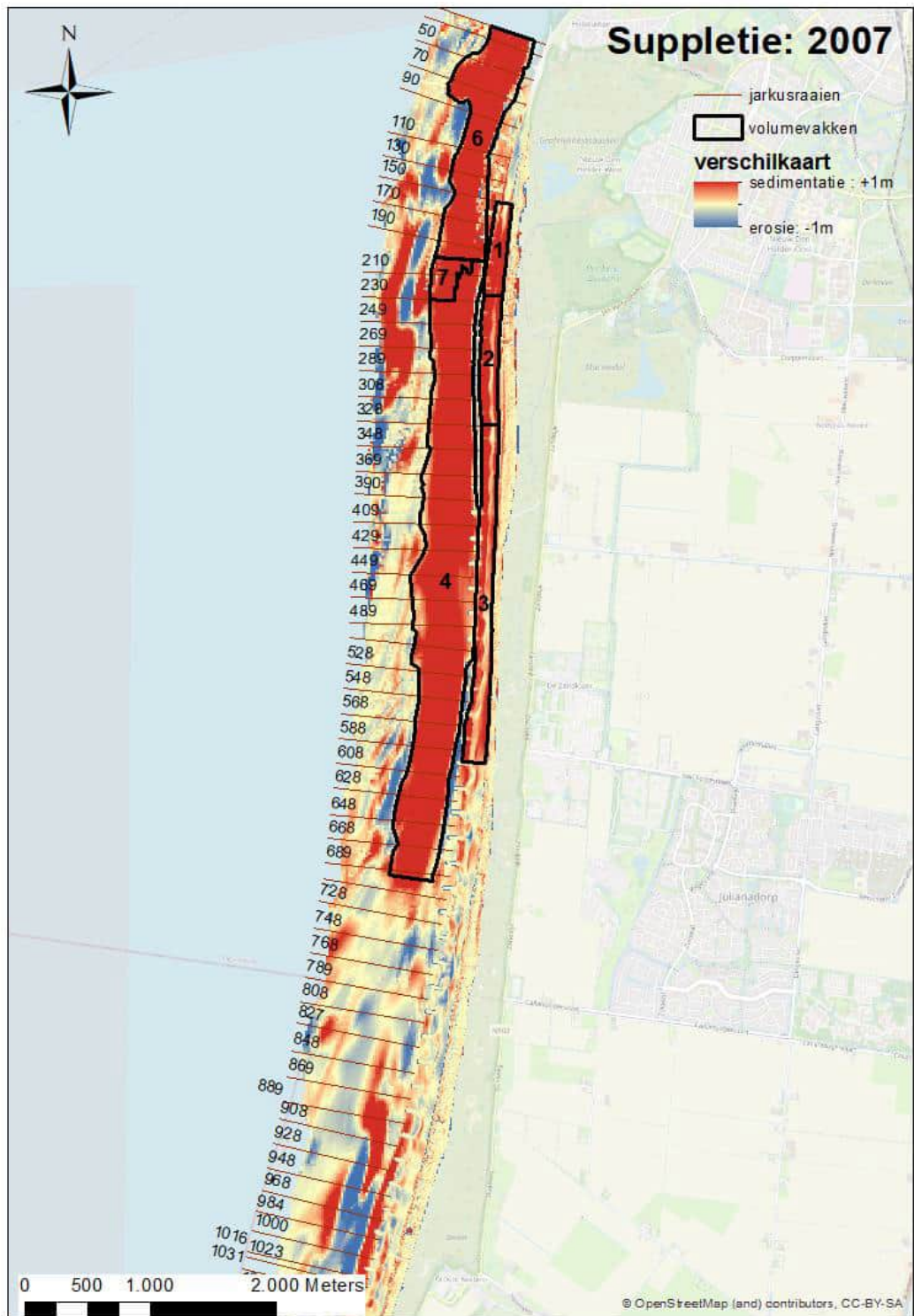
A.2 Julianadorp

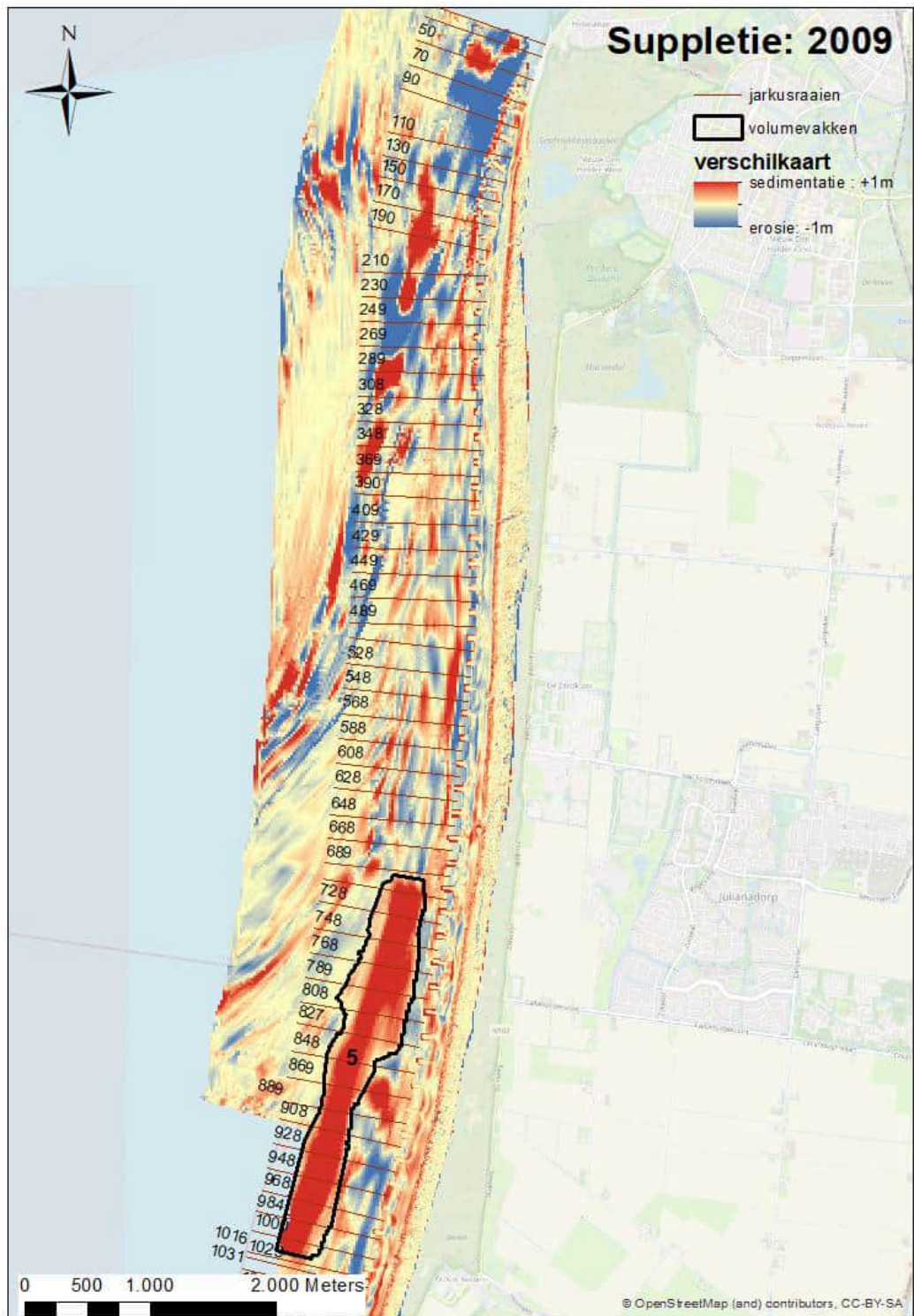


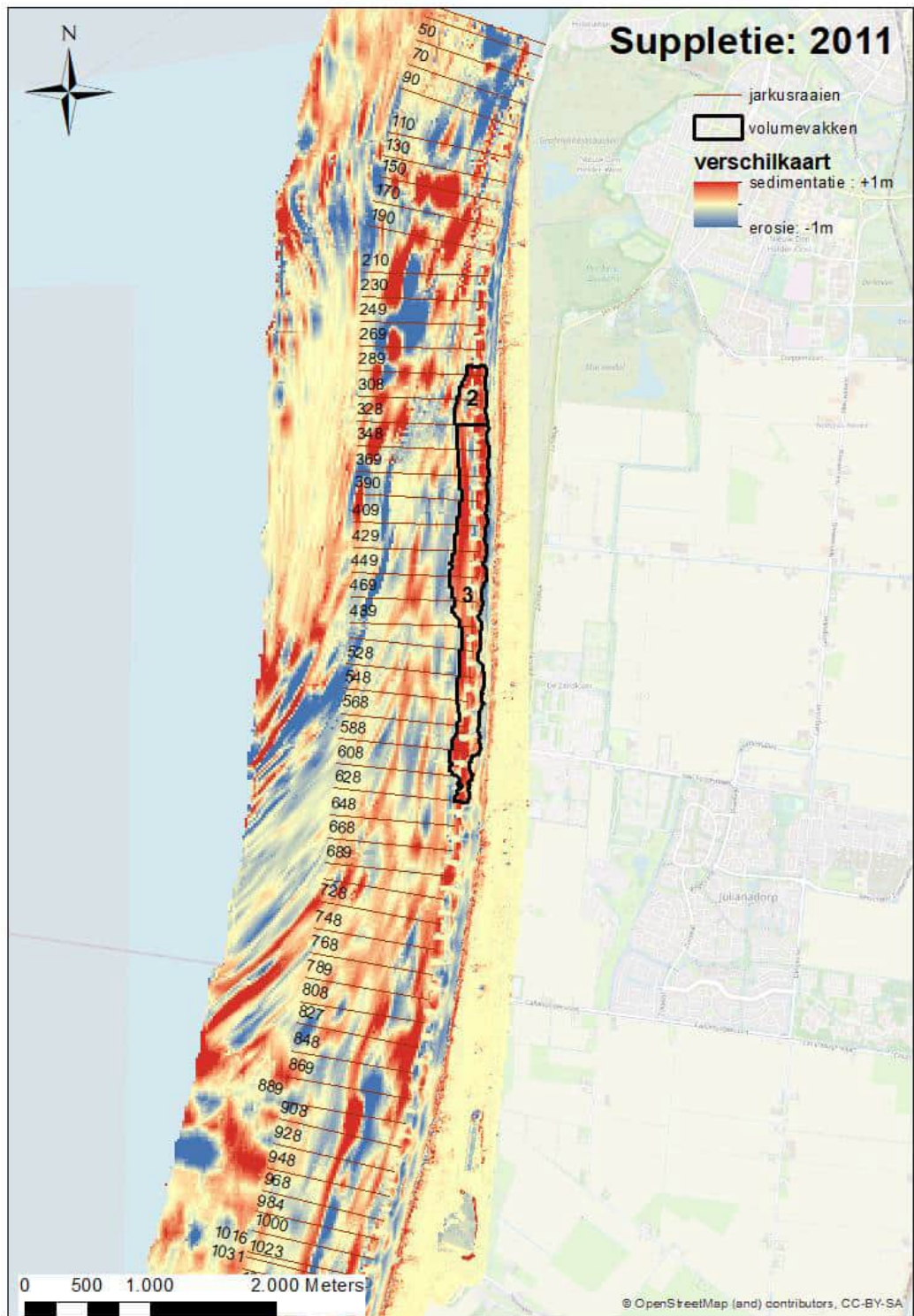


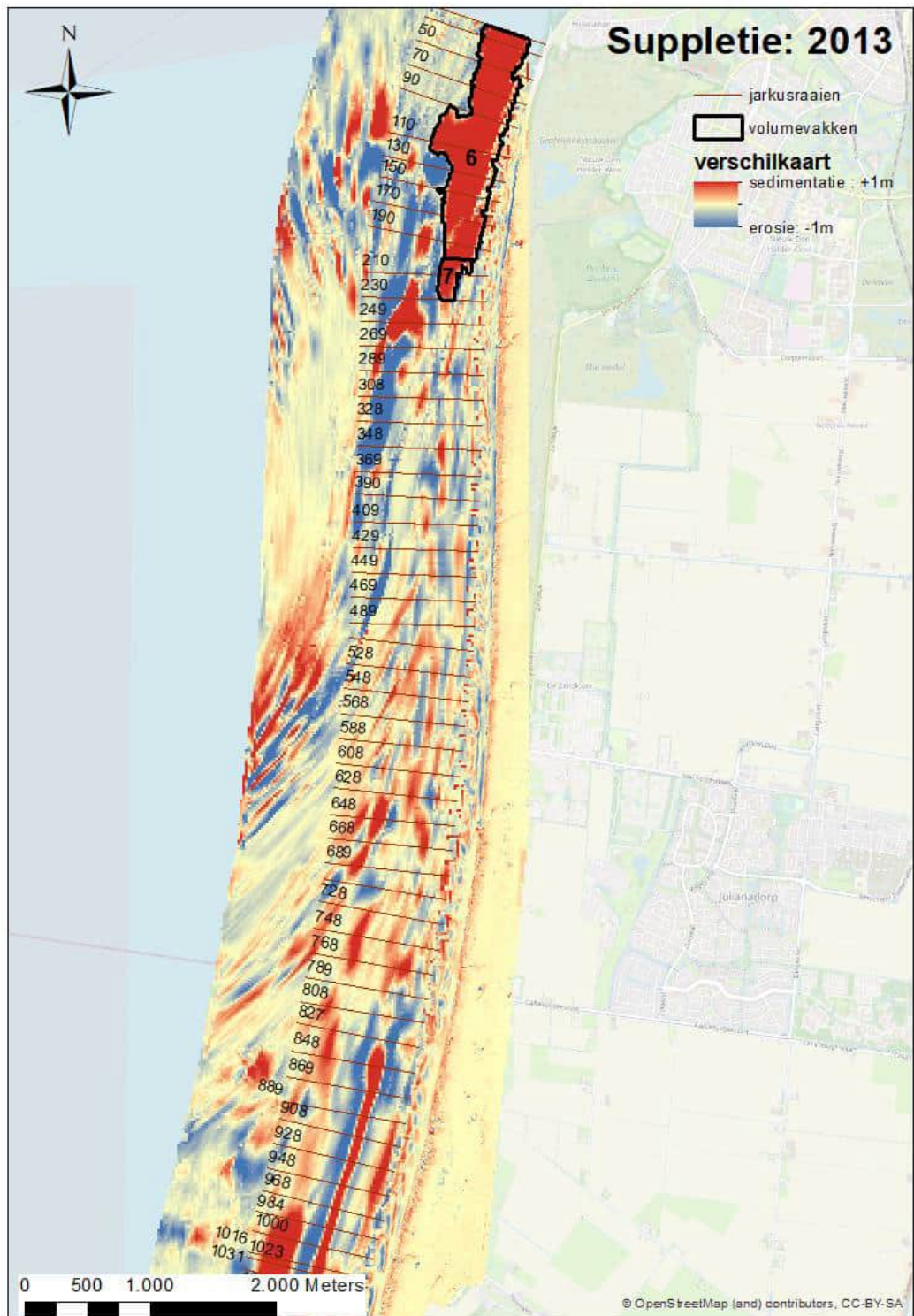






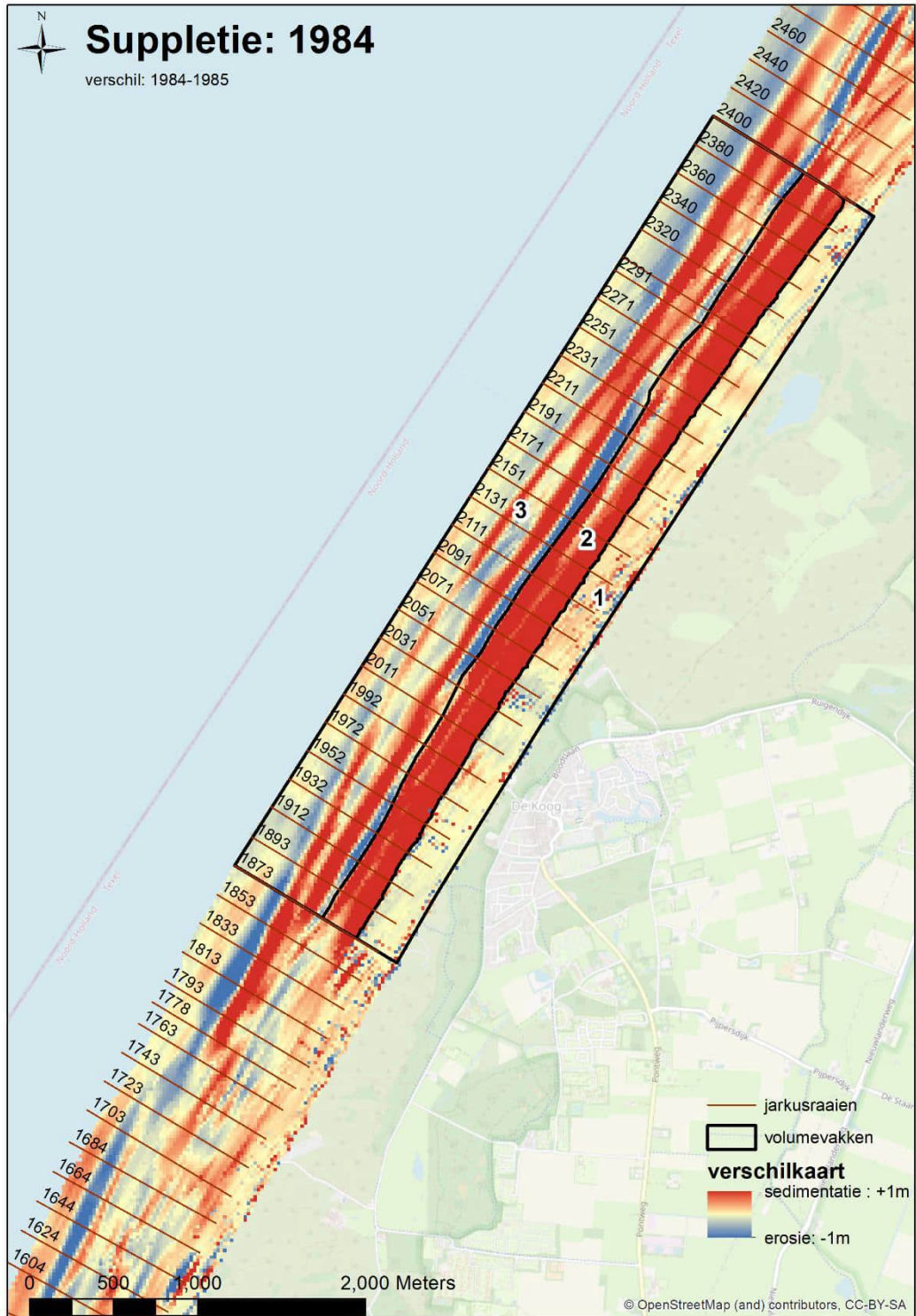


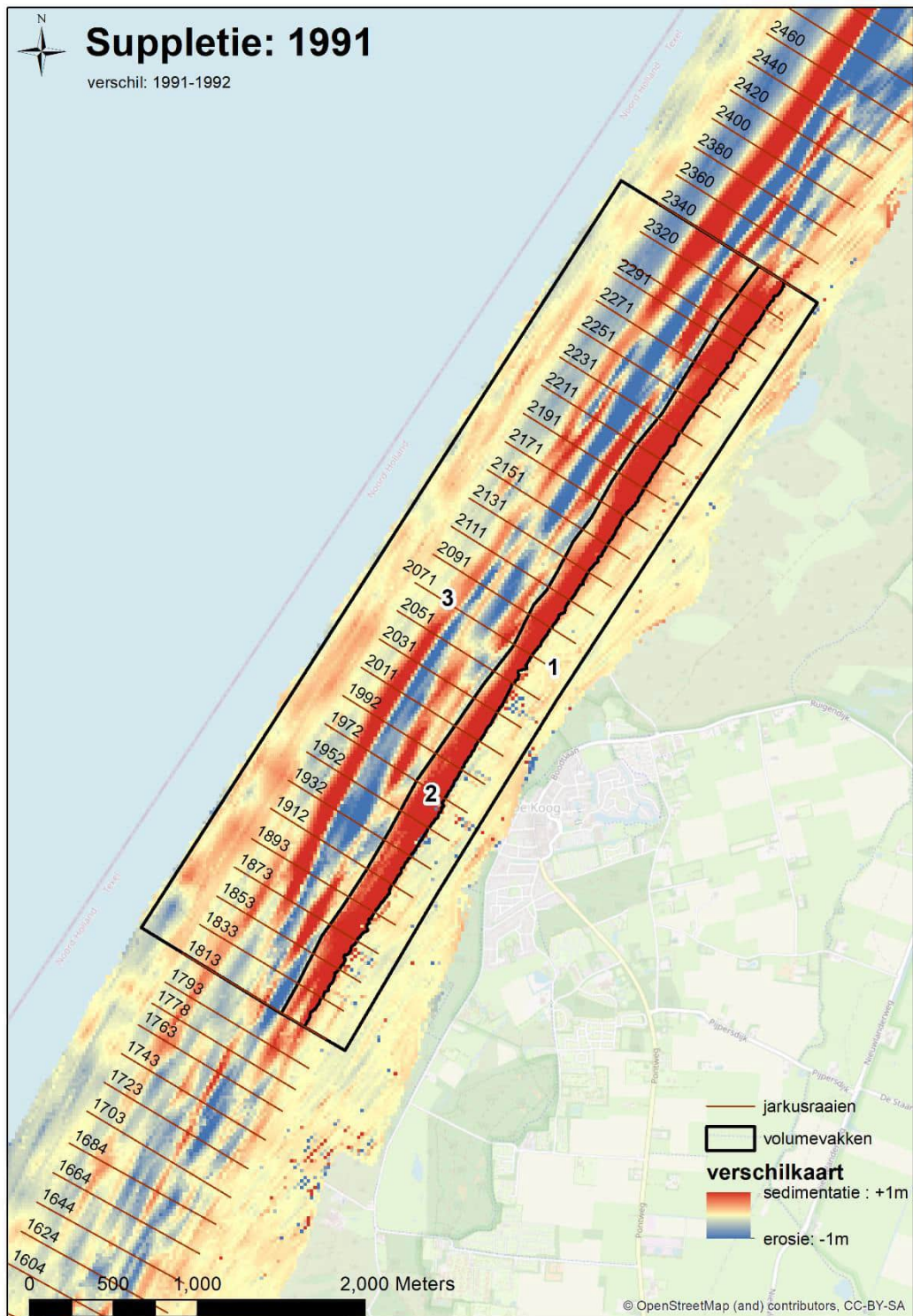


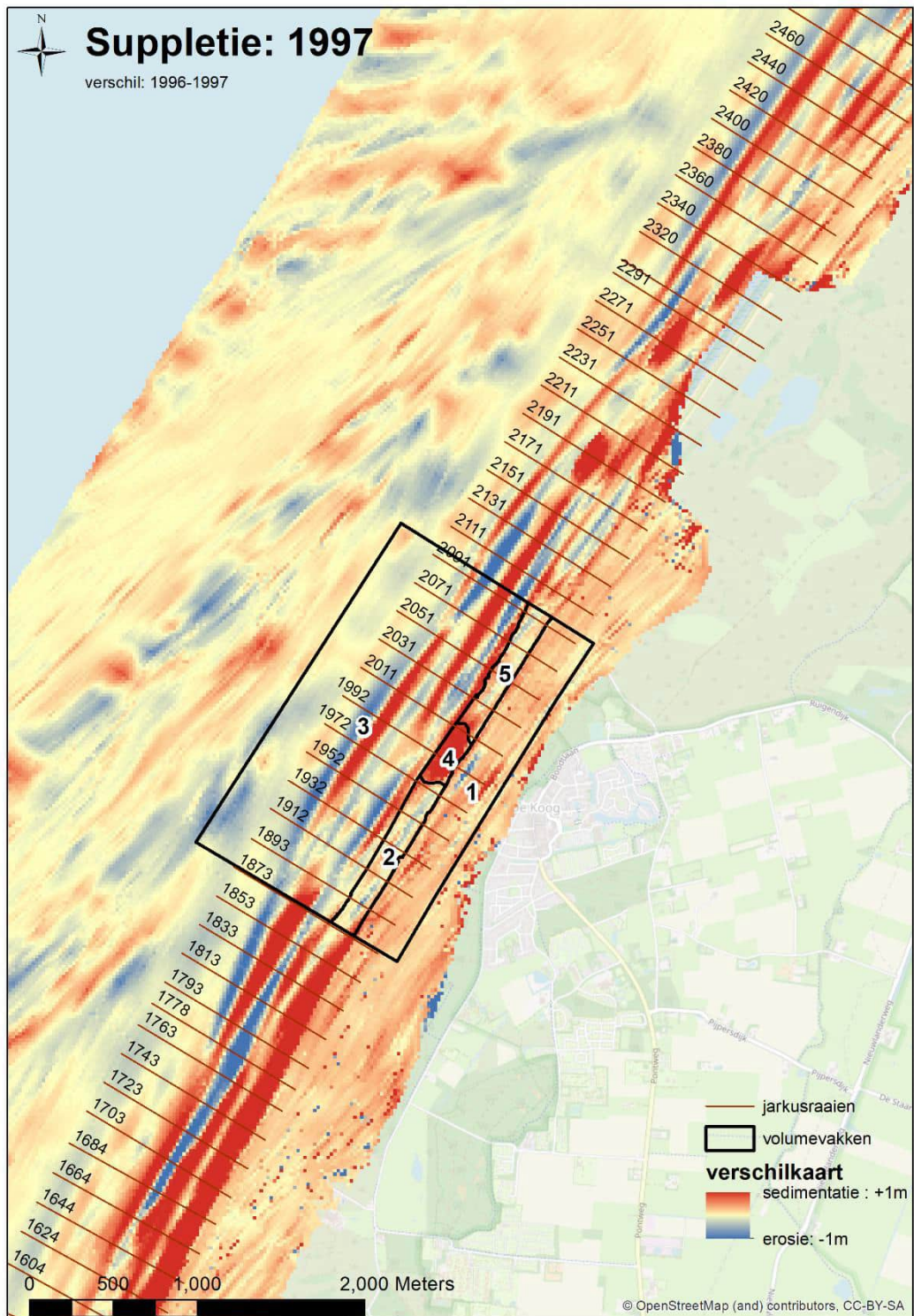


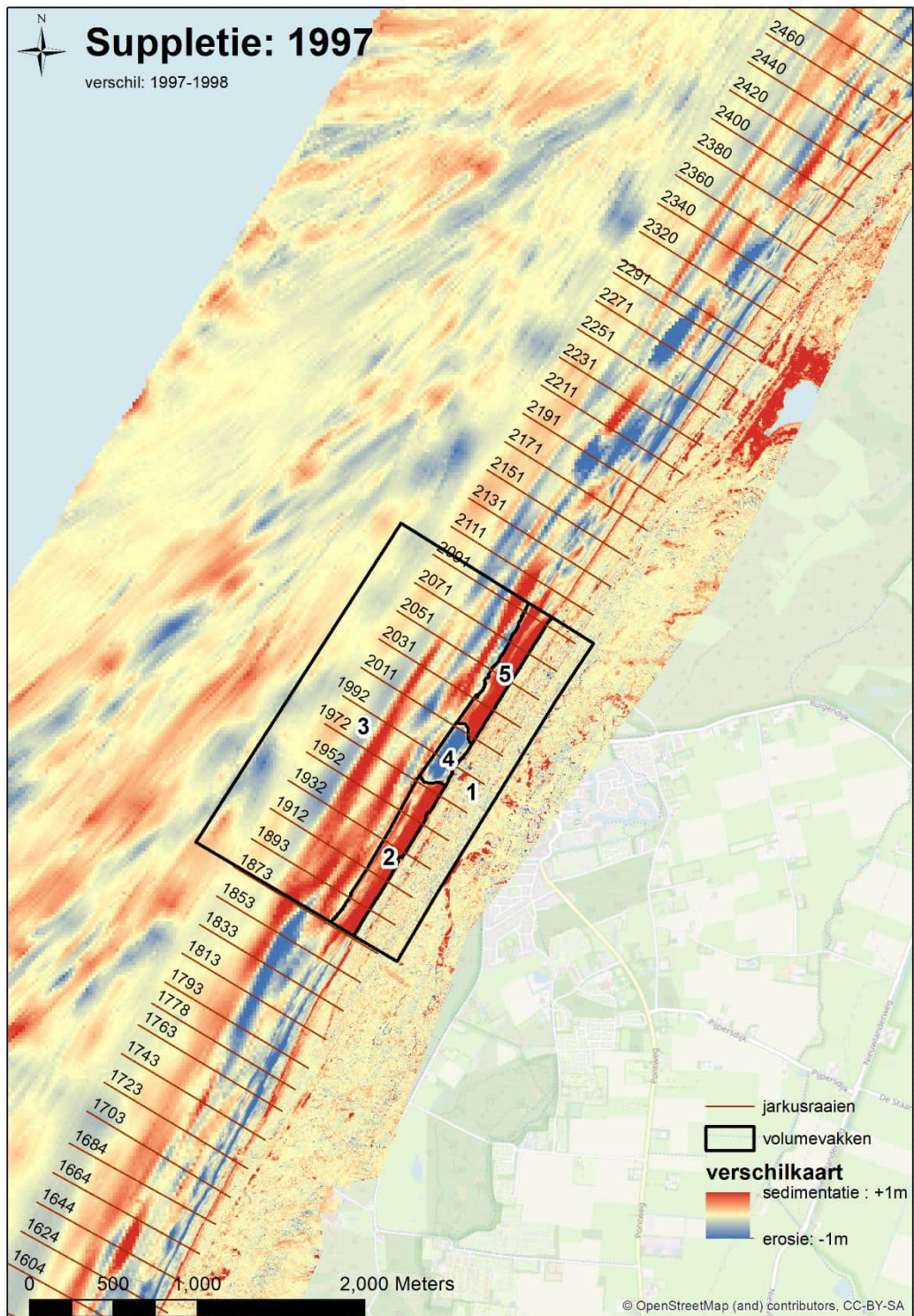


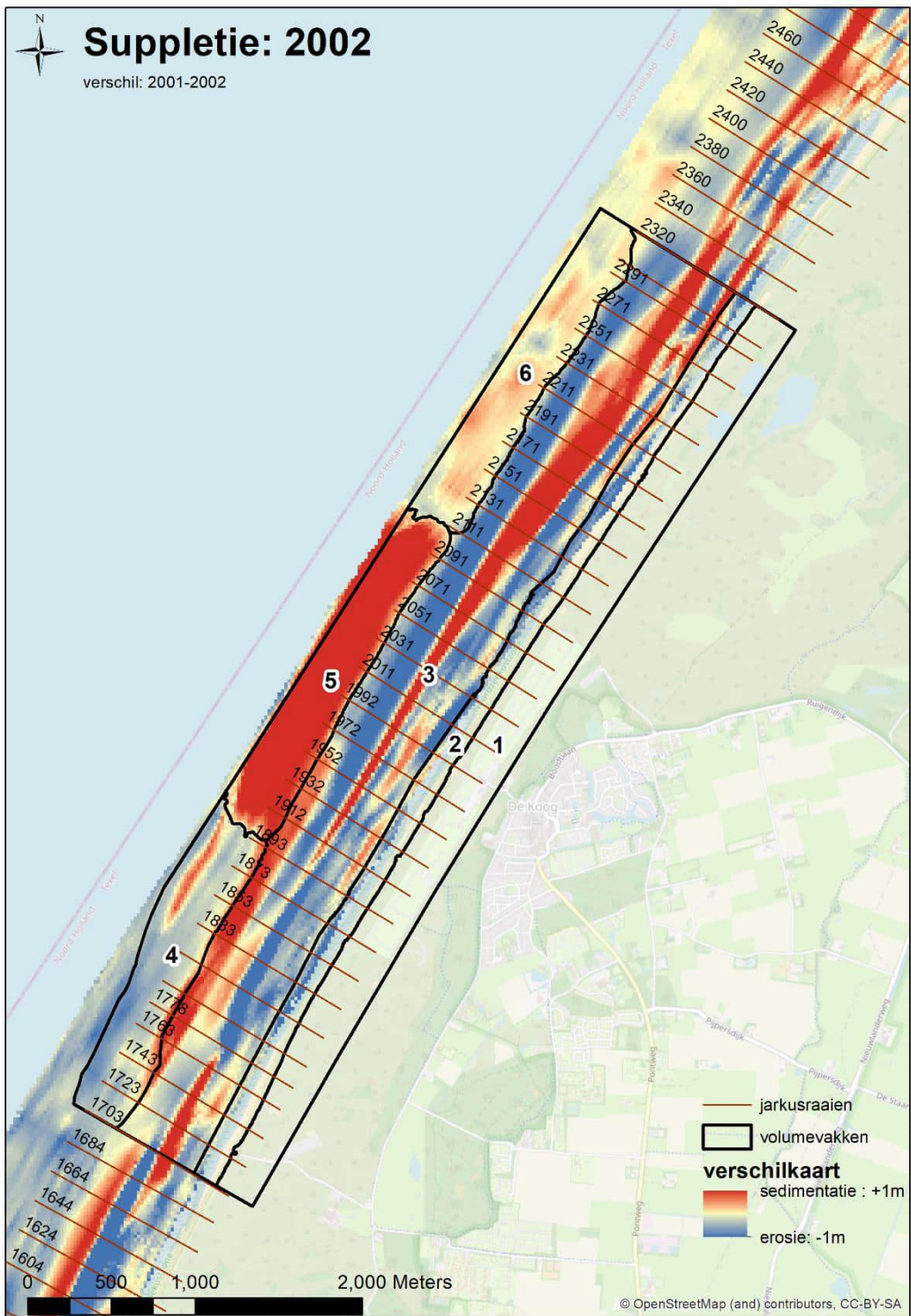
A.3 Texel

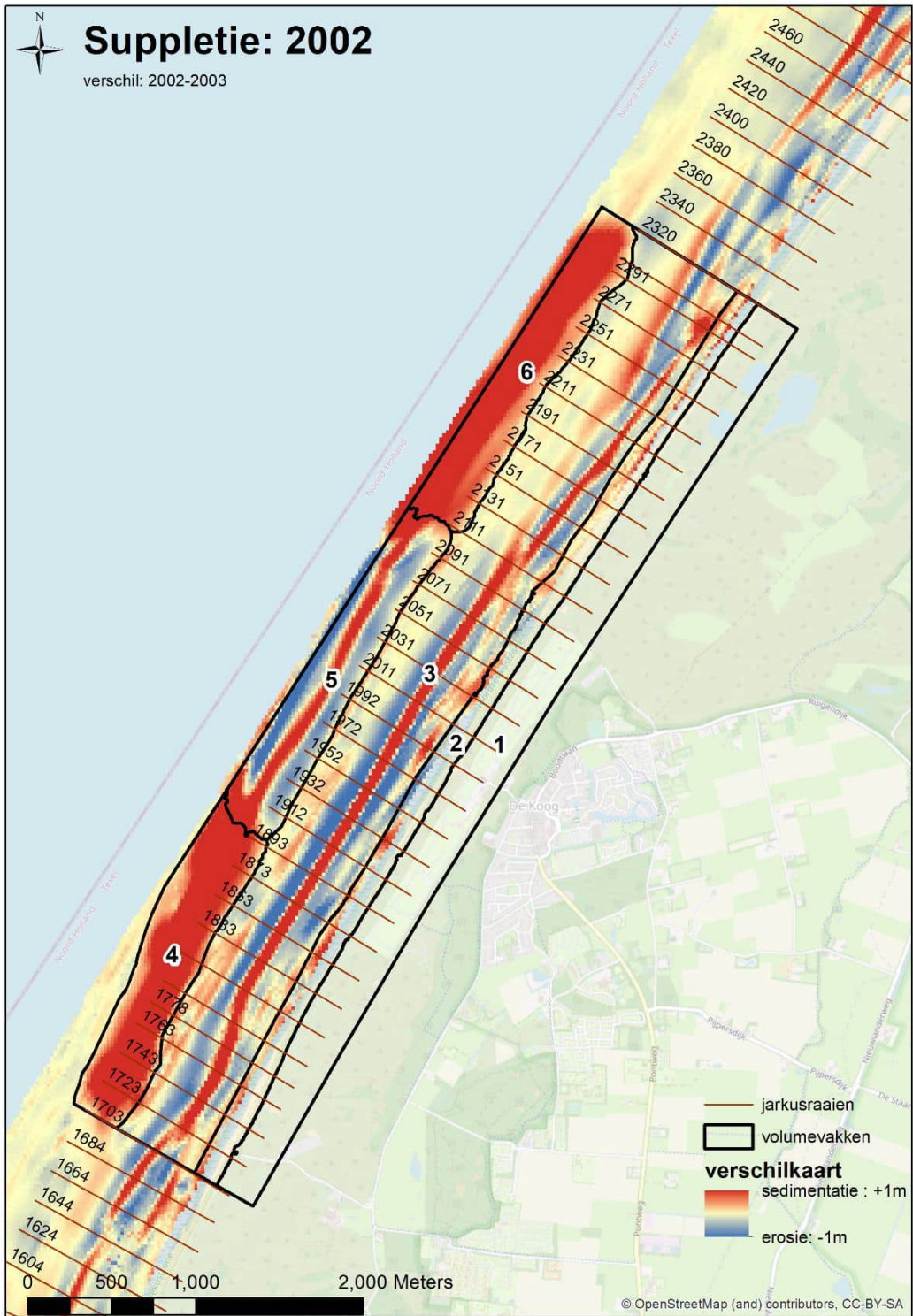


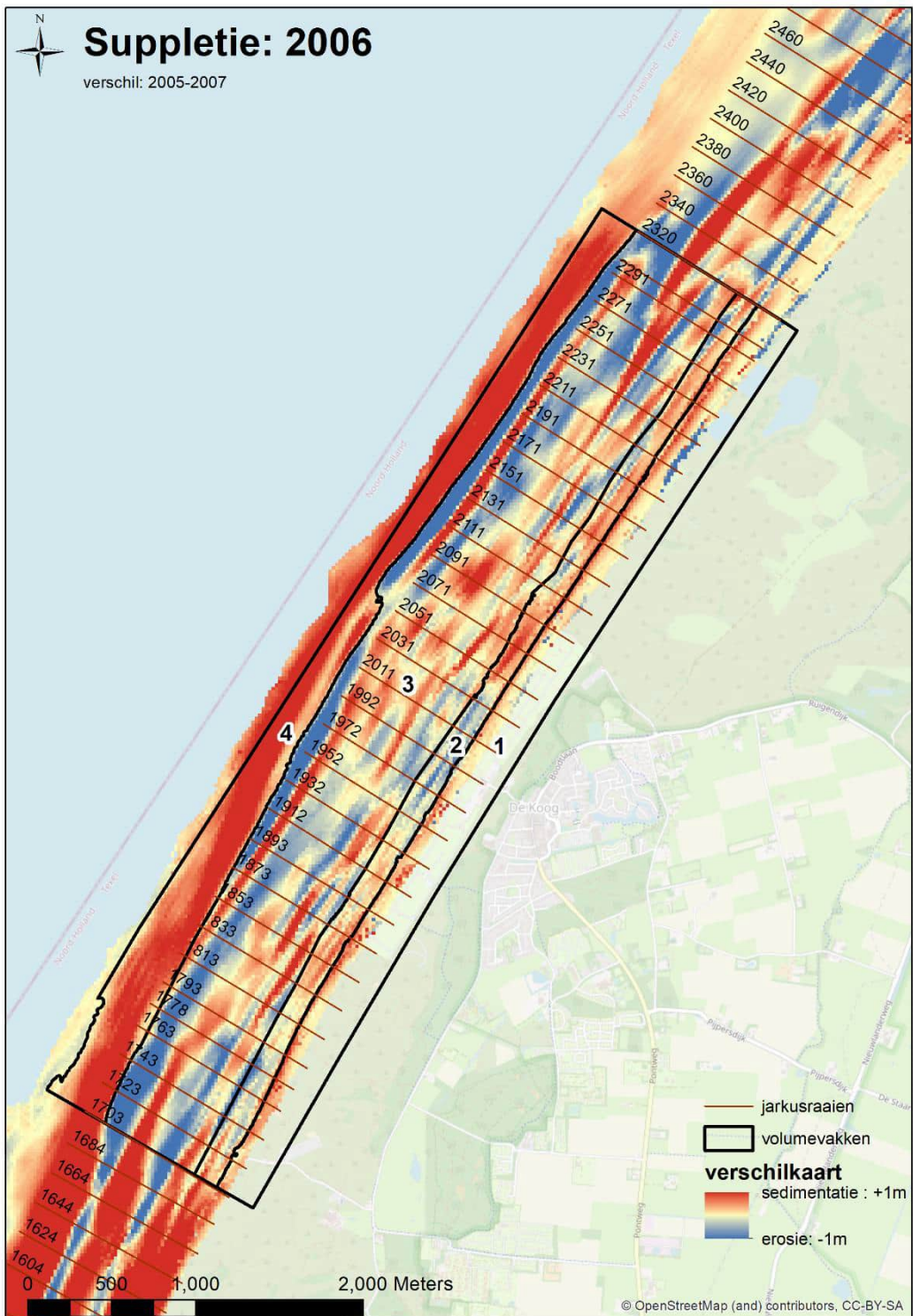


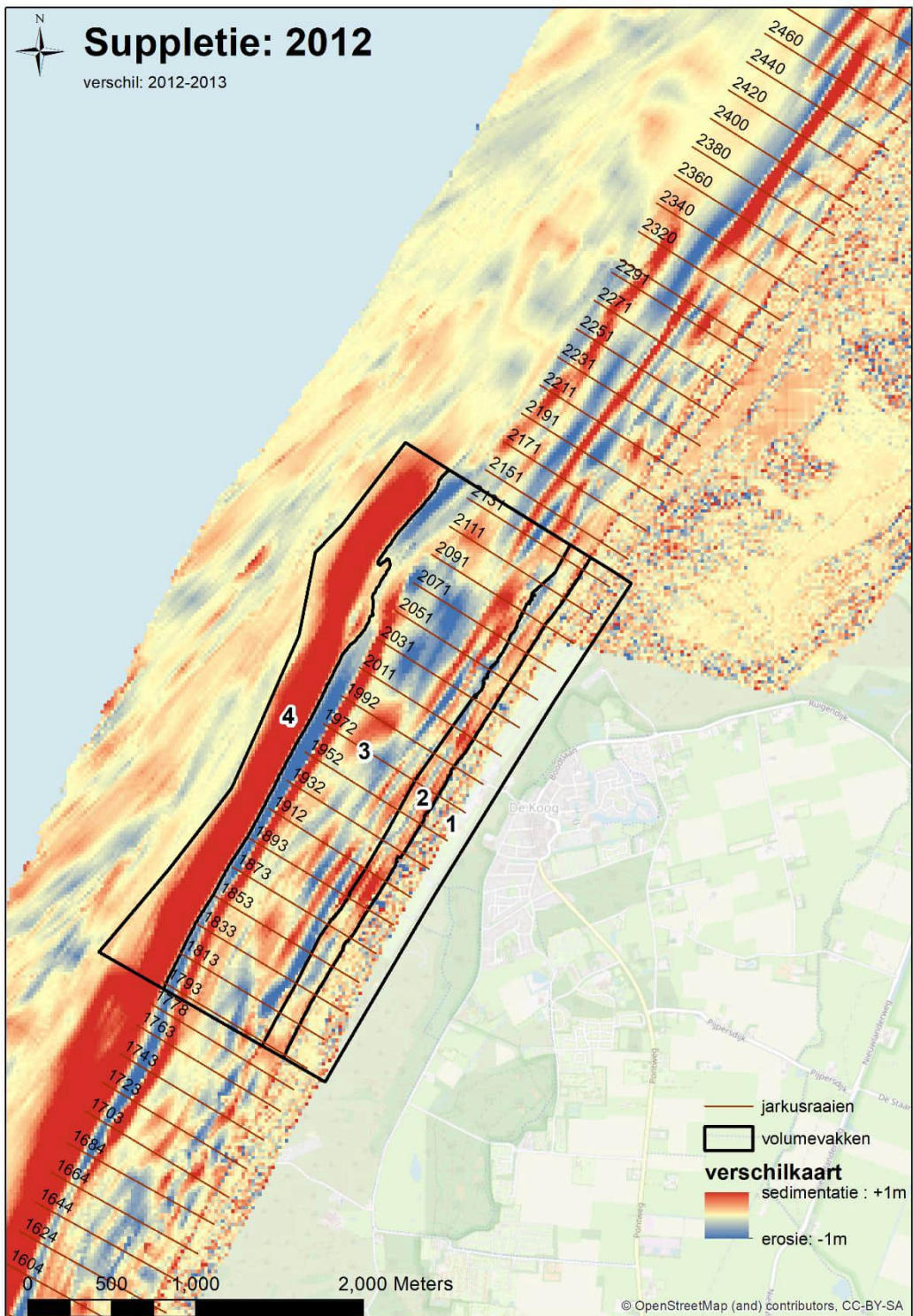


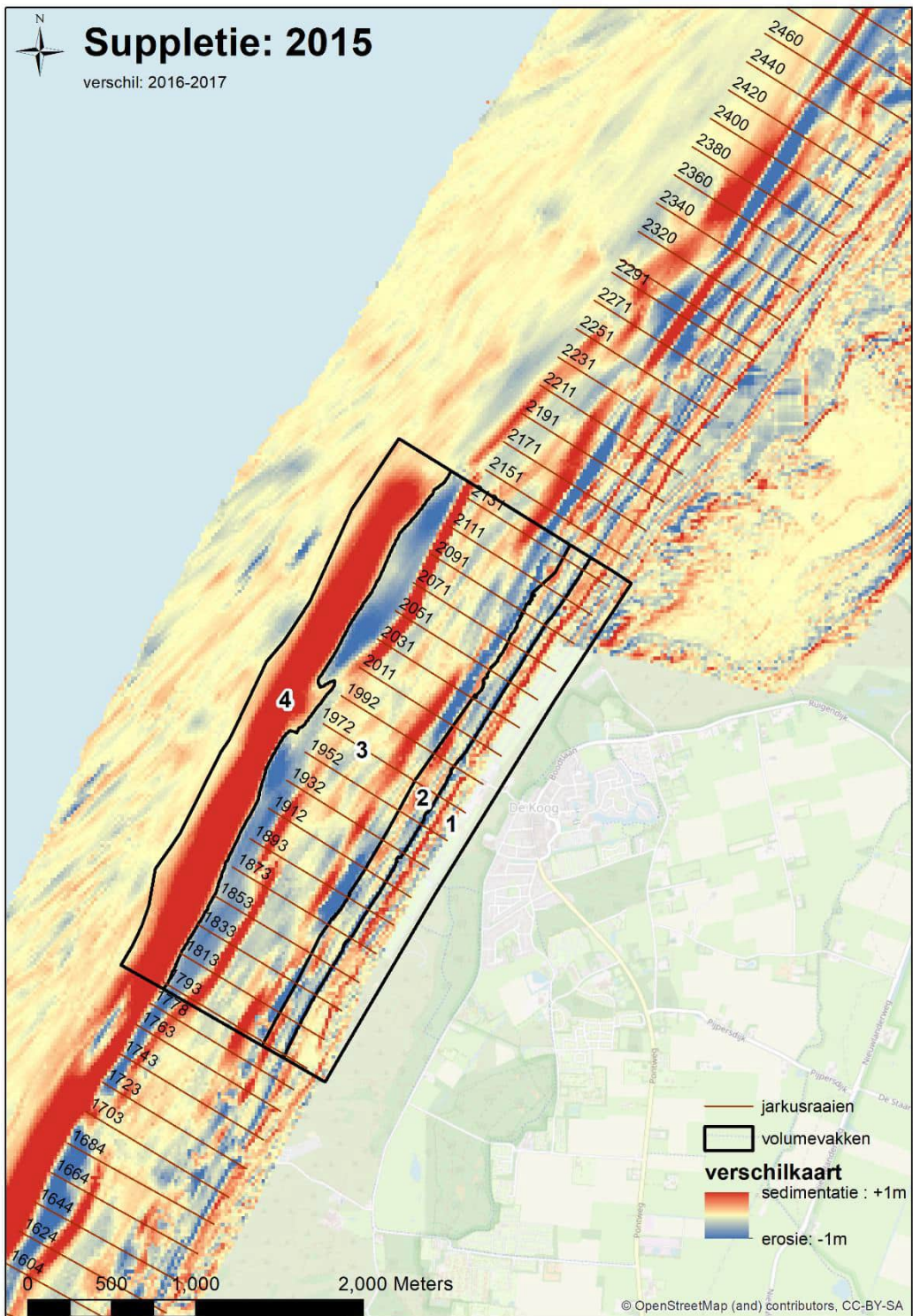


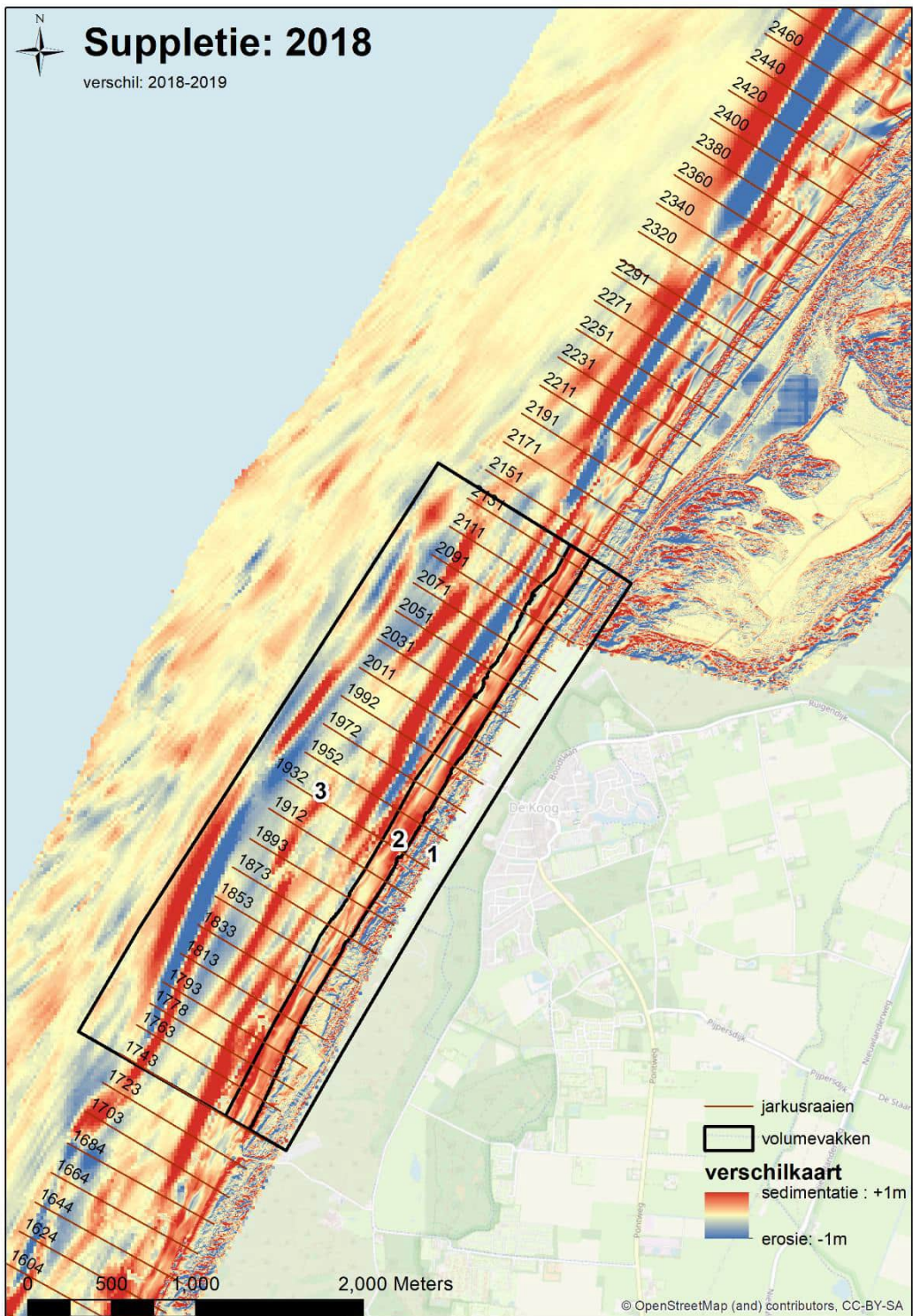






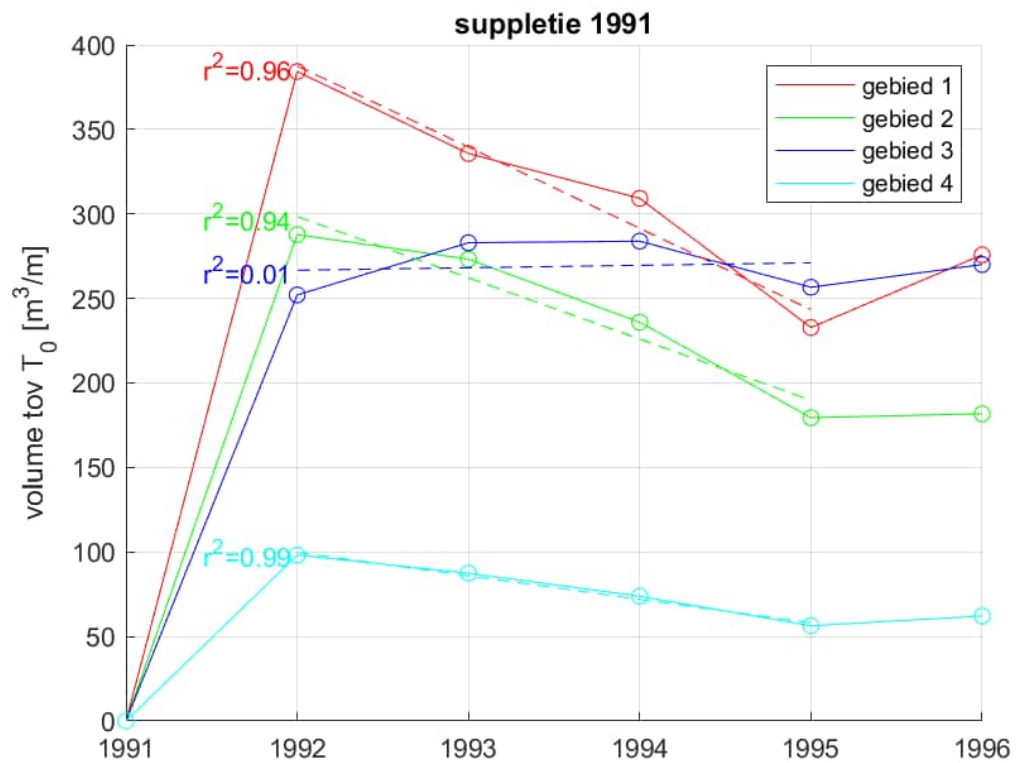
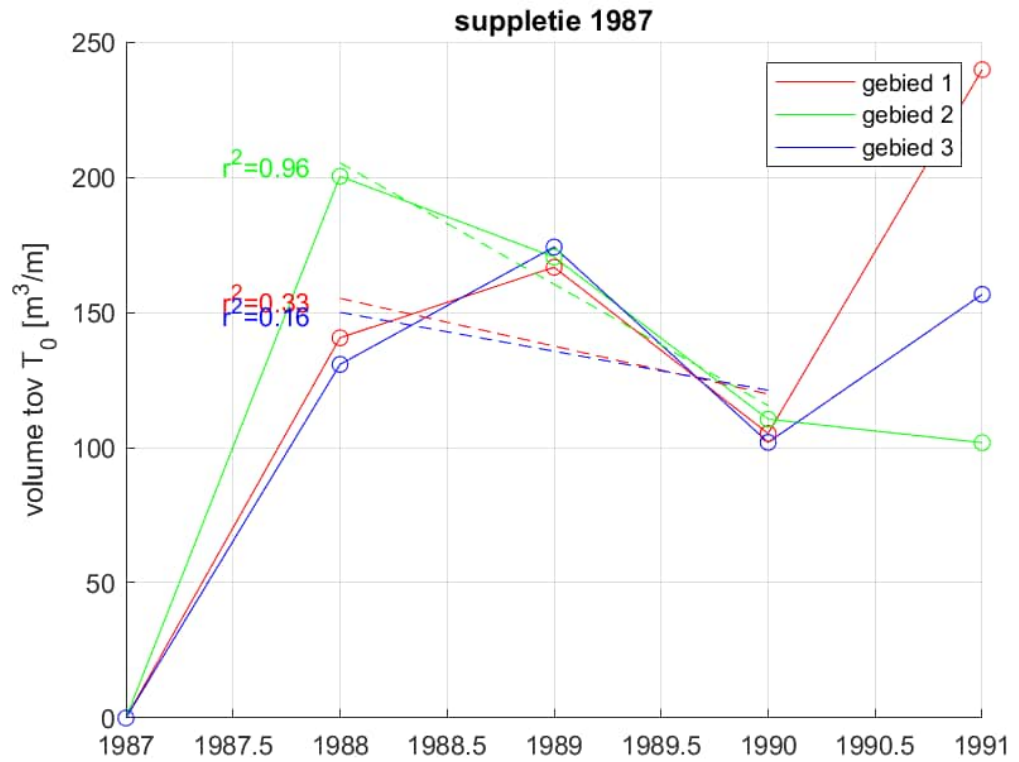


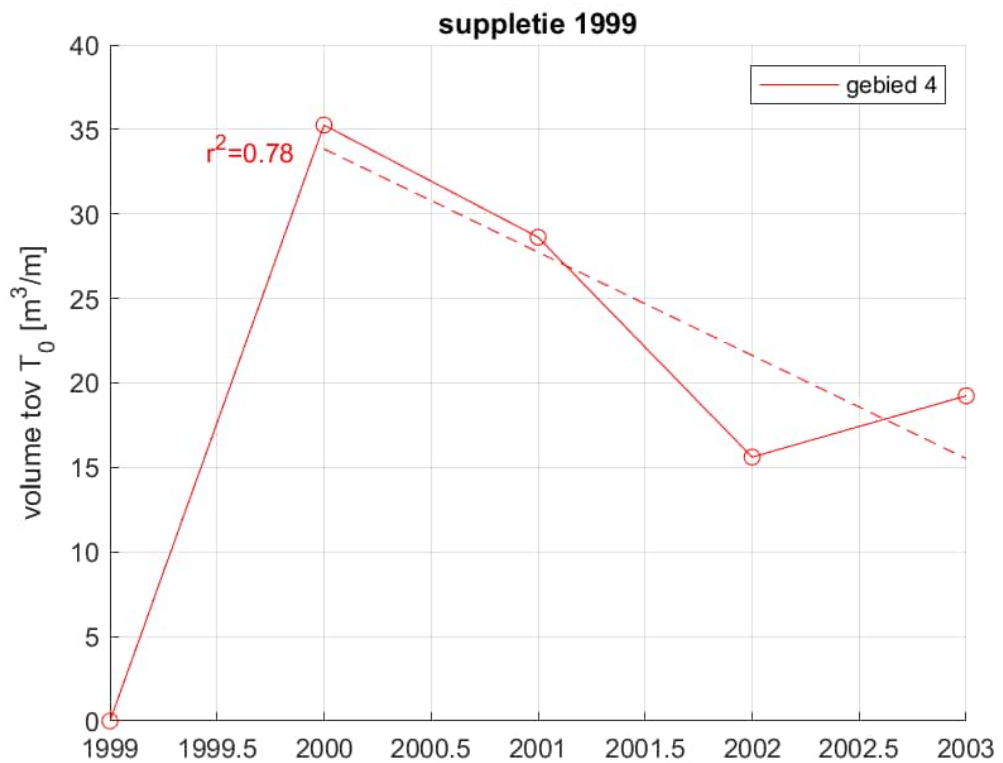
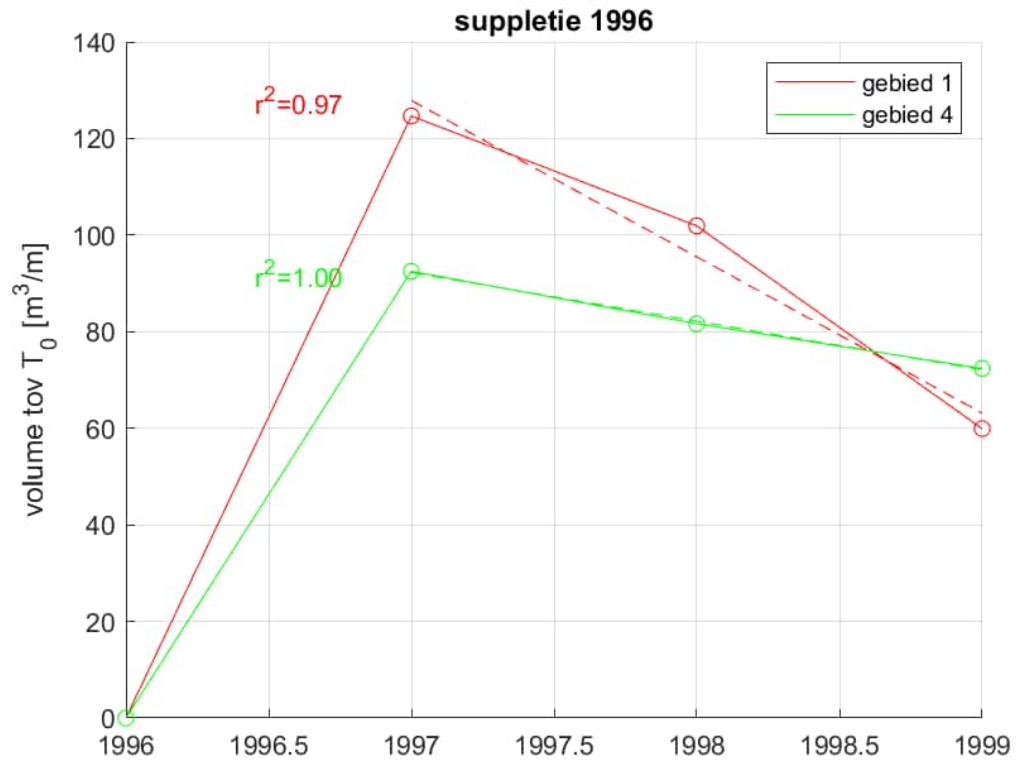


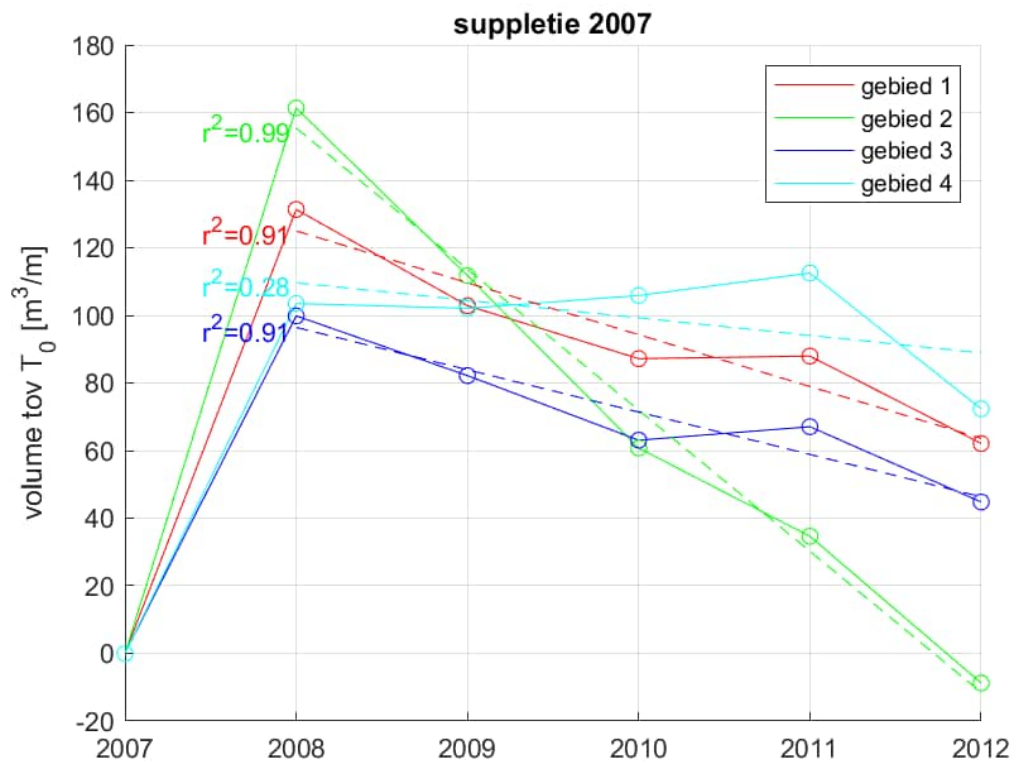
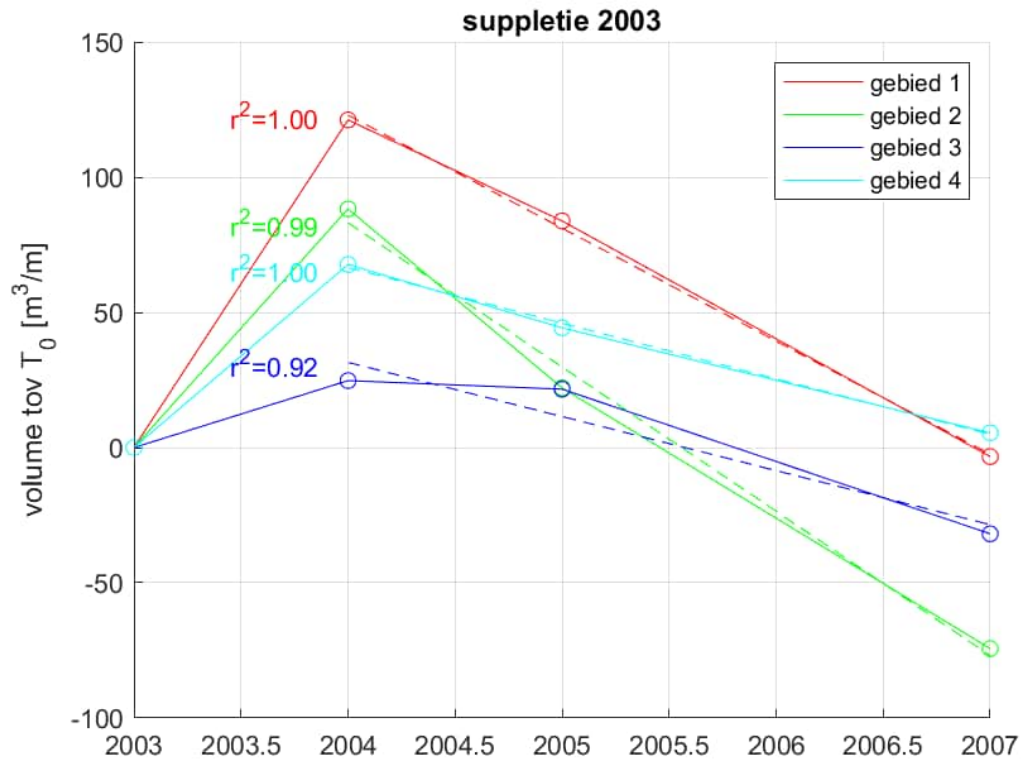


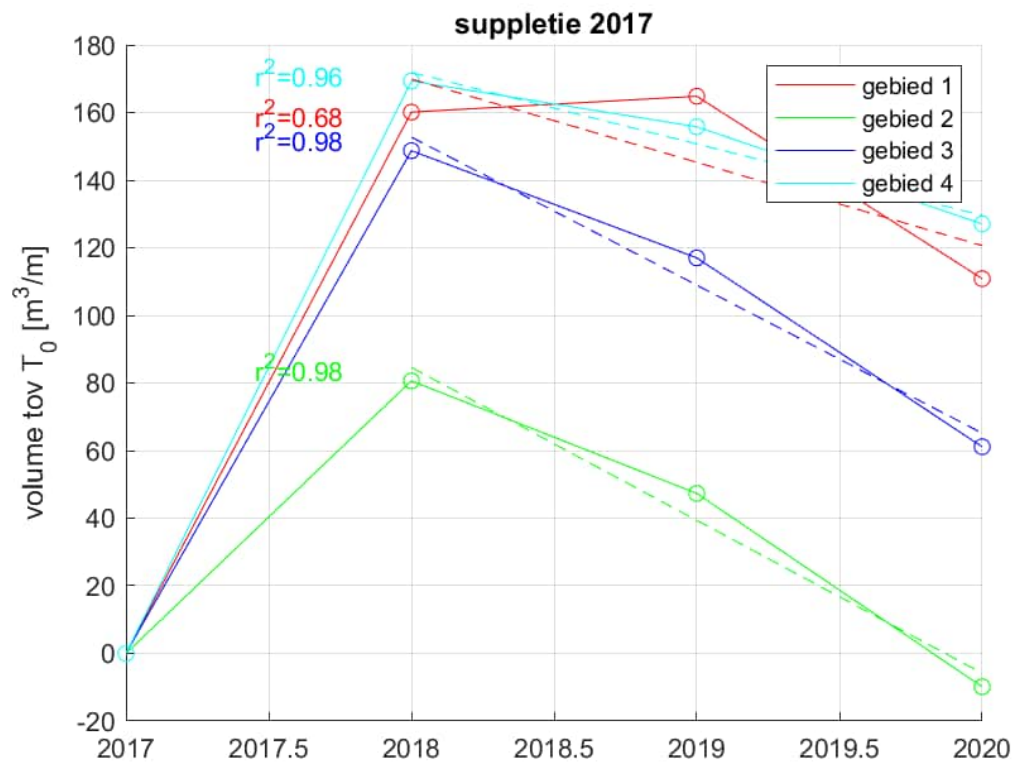
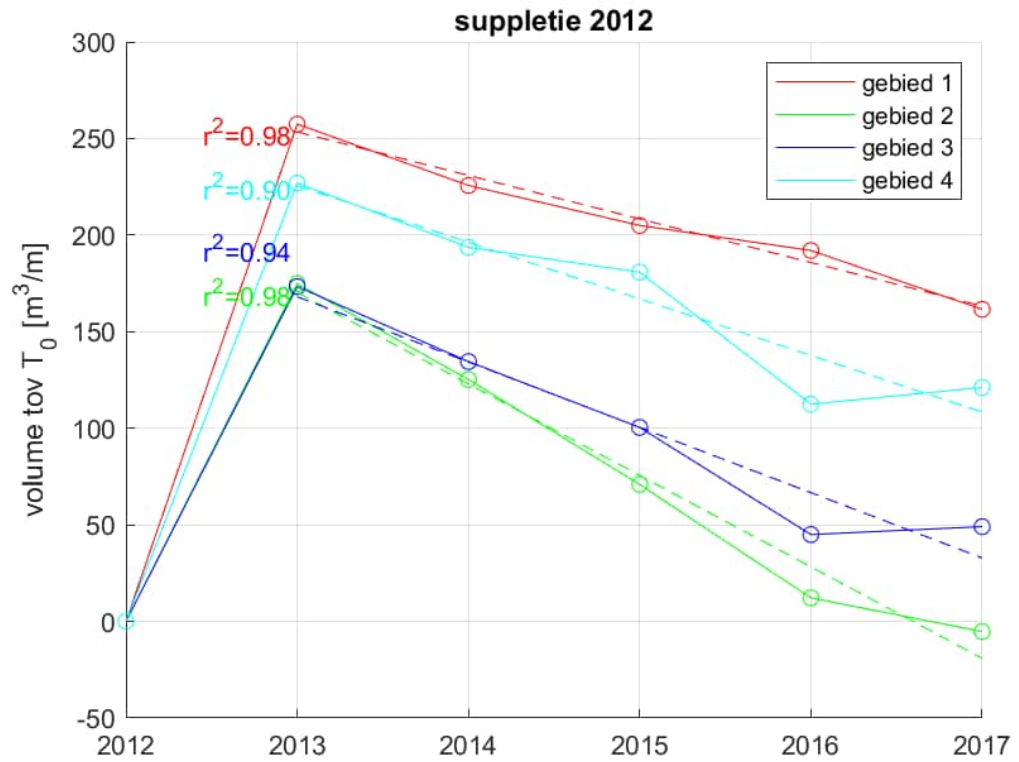
B Grafieken

B.1 Schouwen

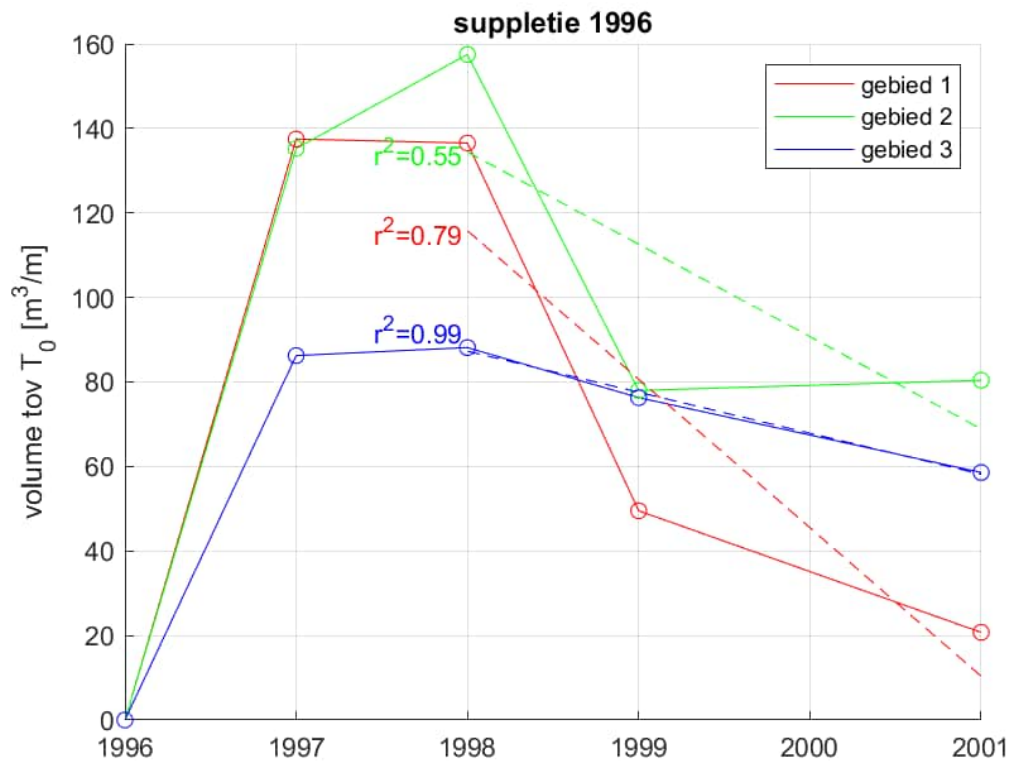
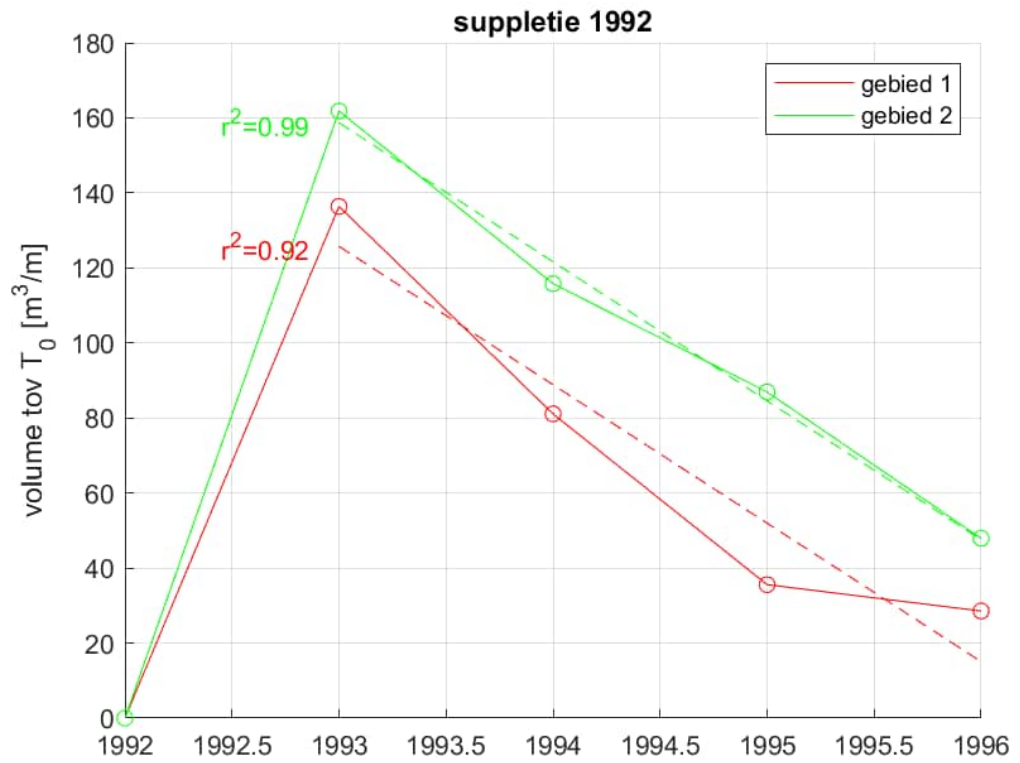


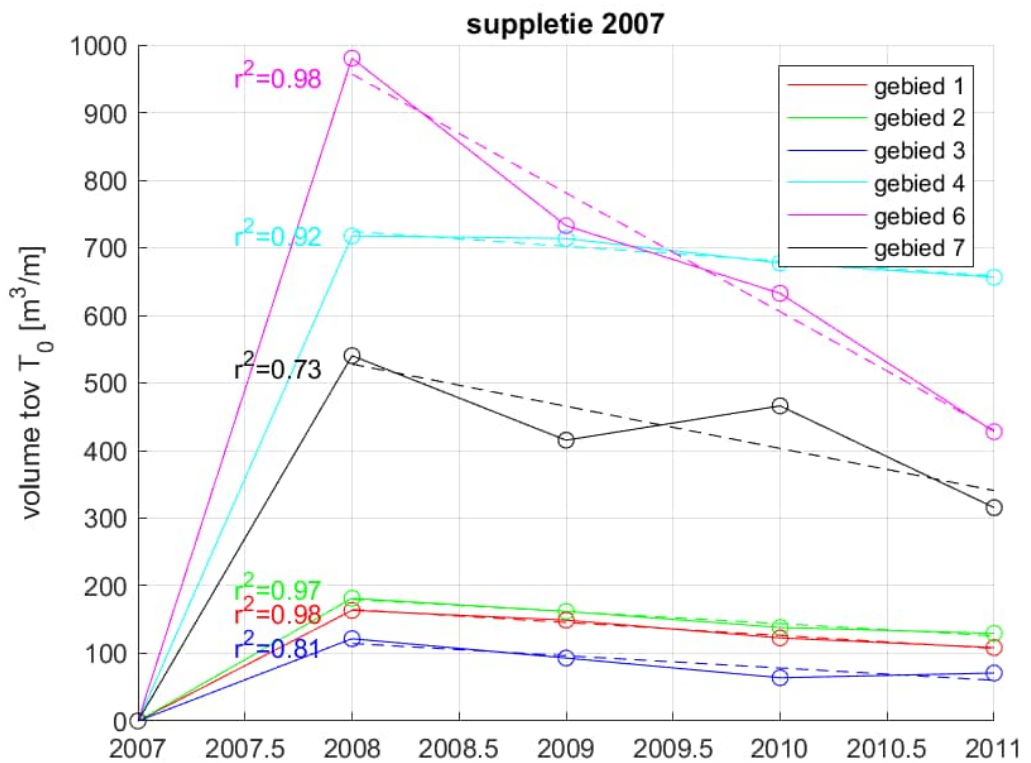
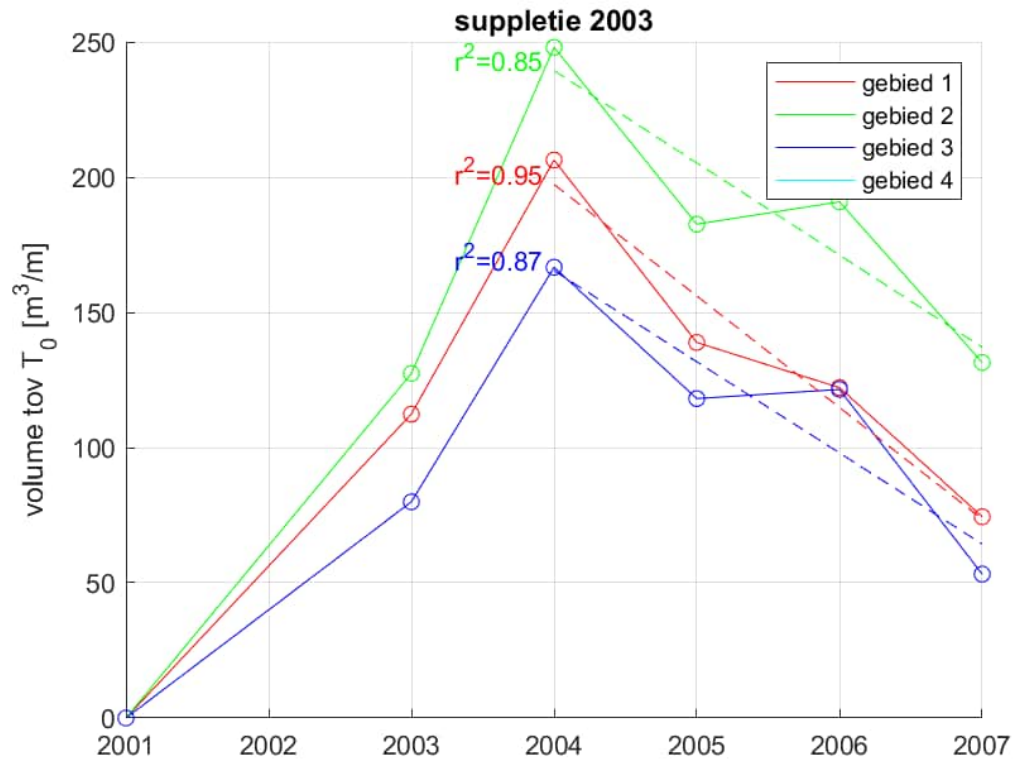


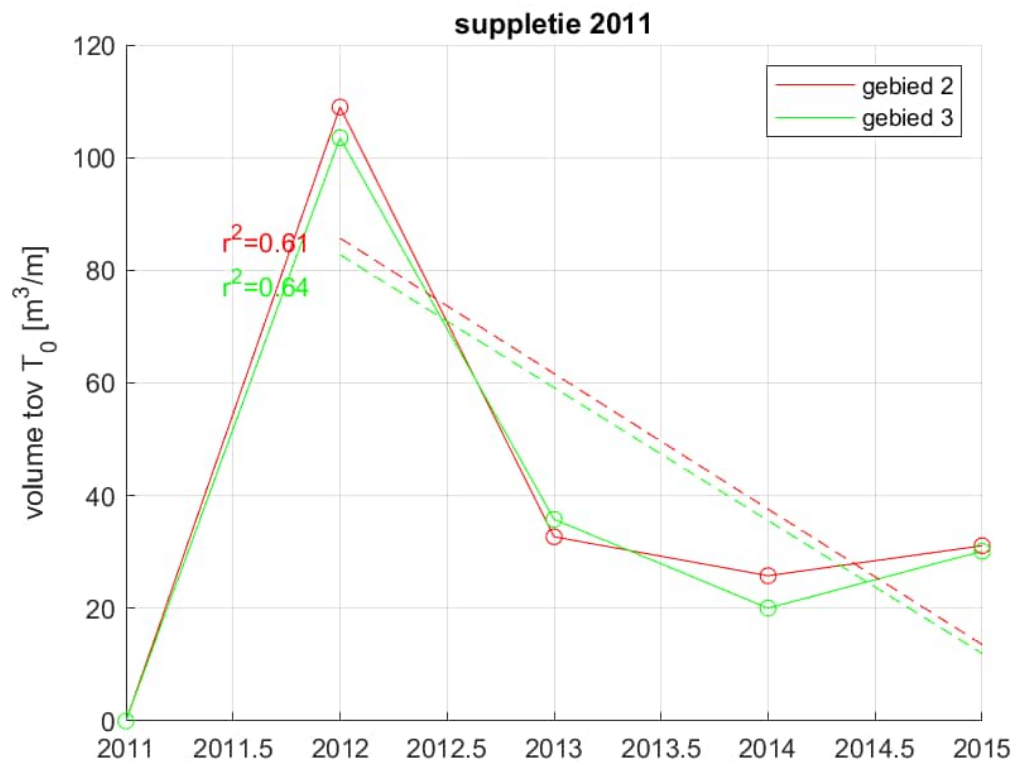
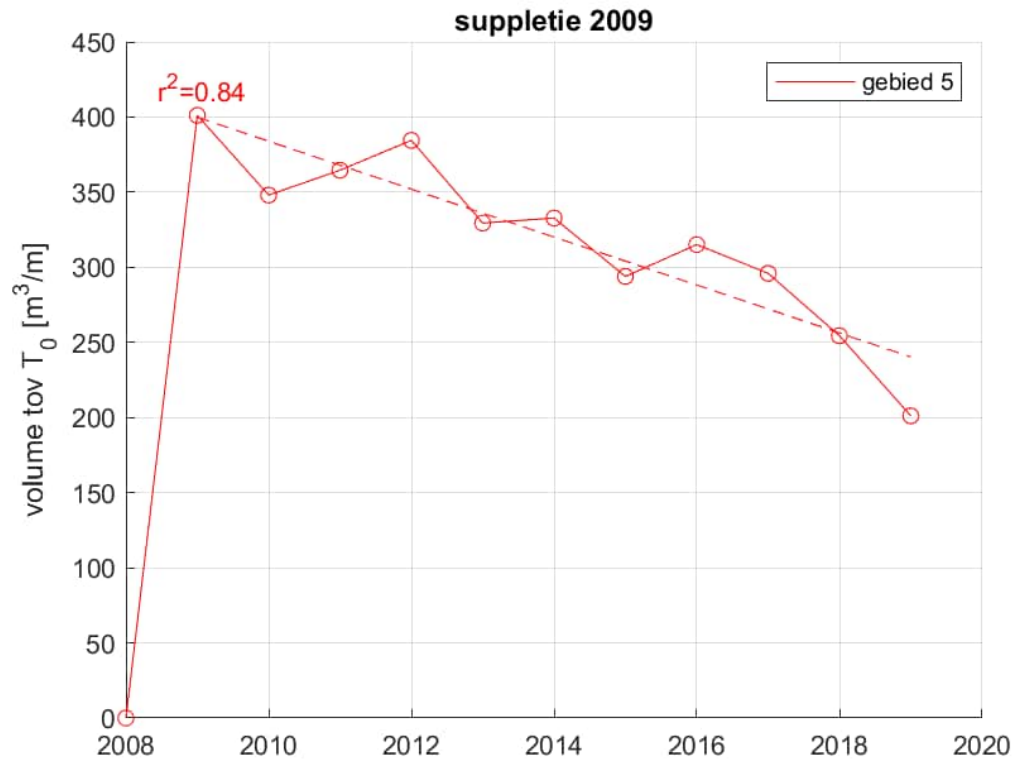


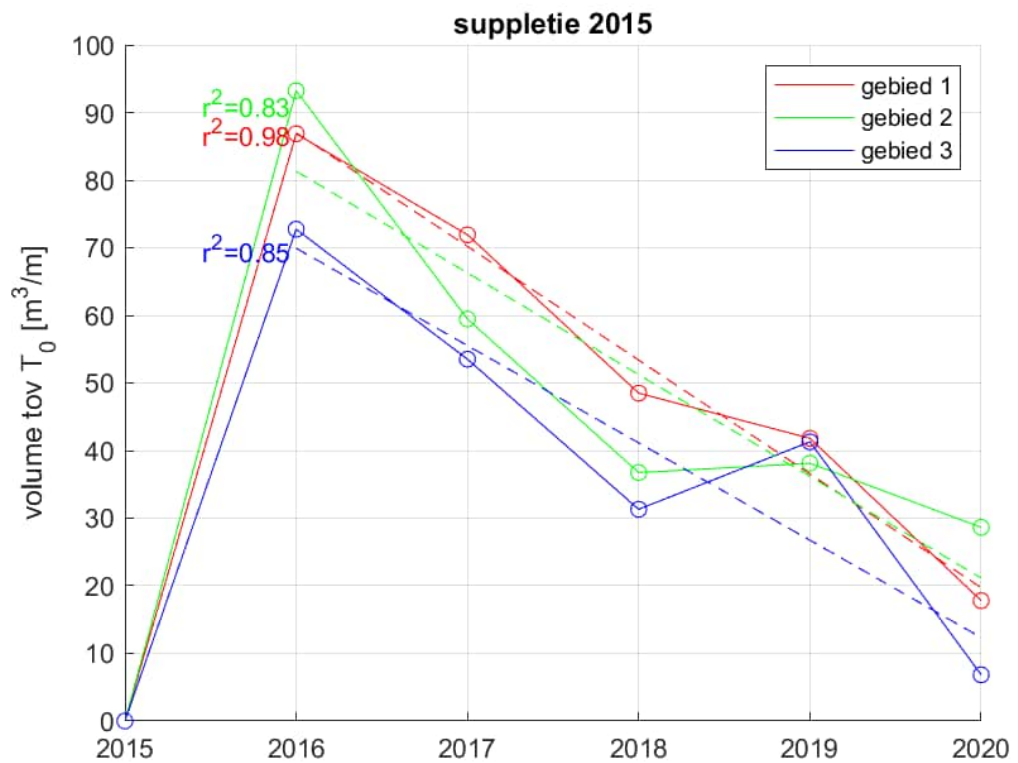
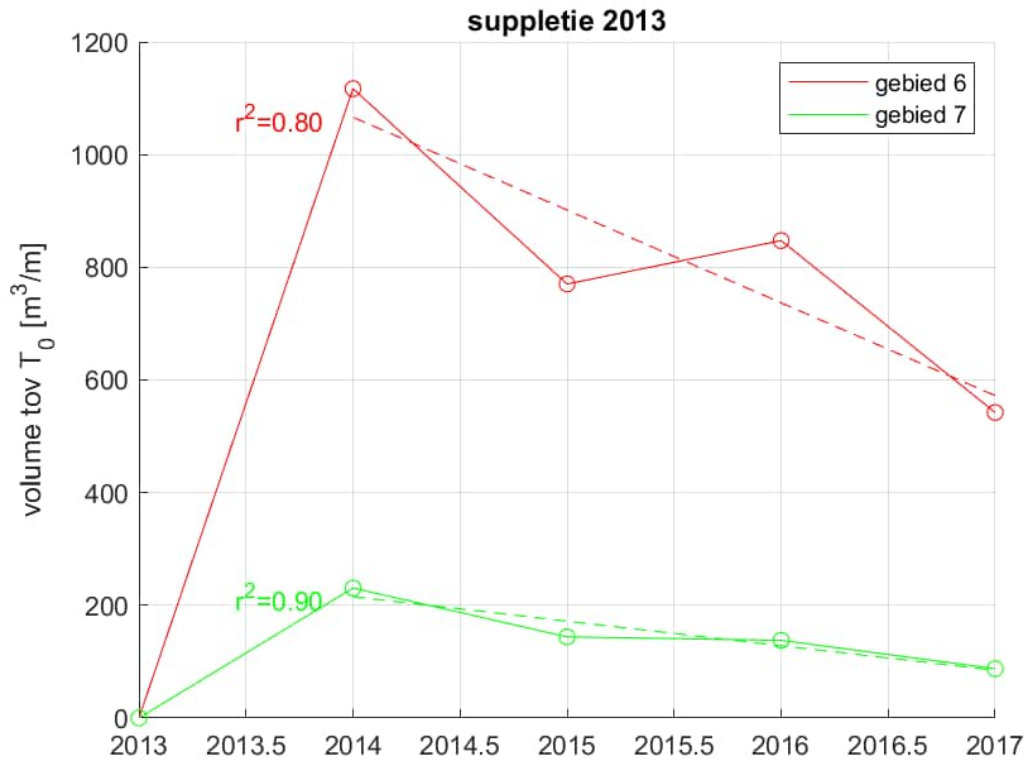


B.2 Julianadorp

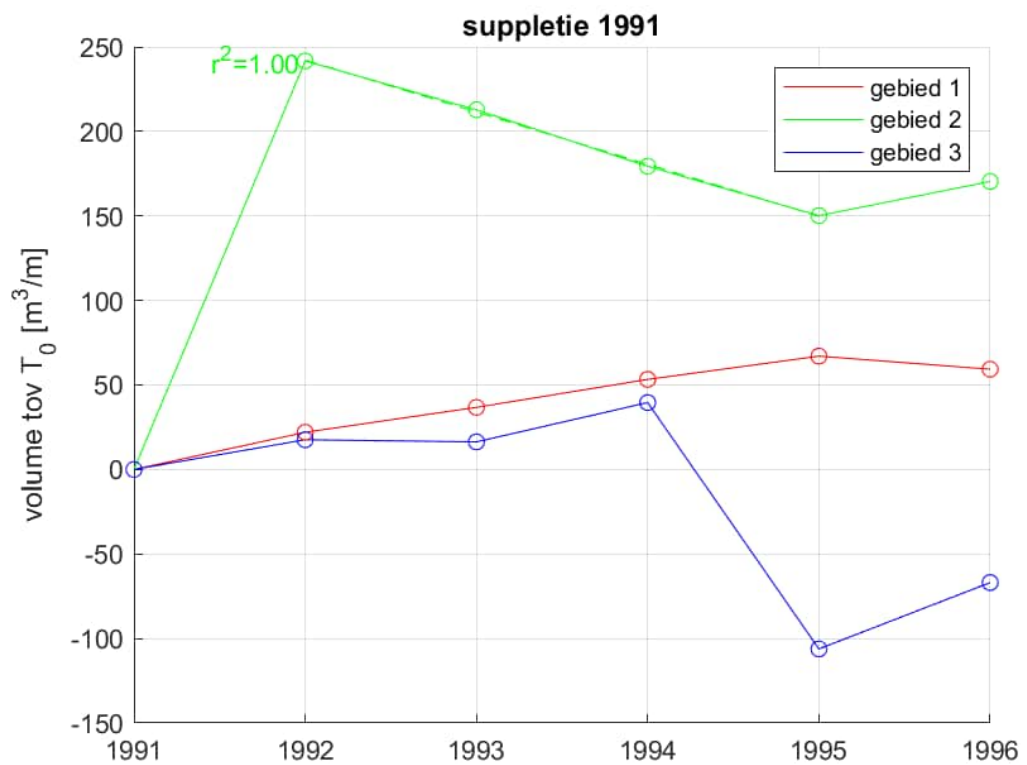
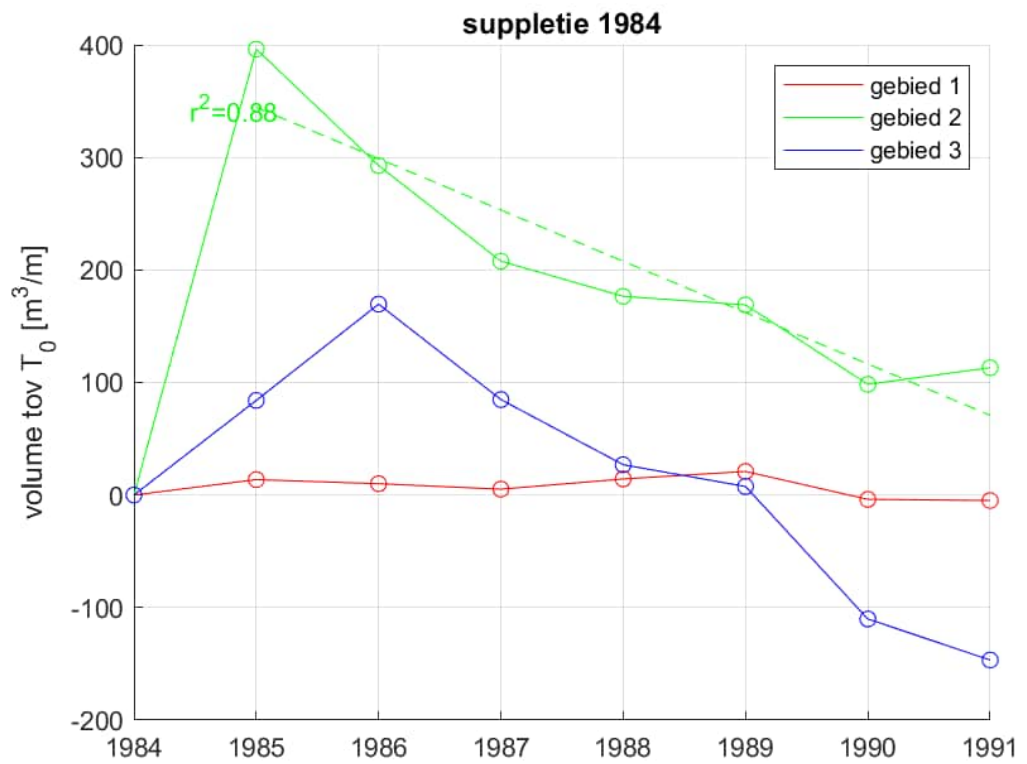


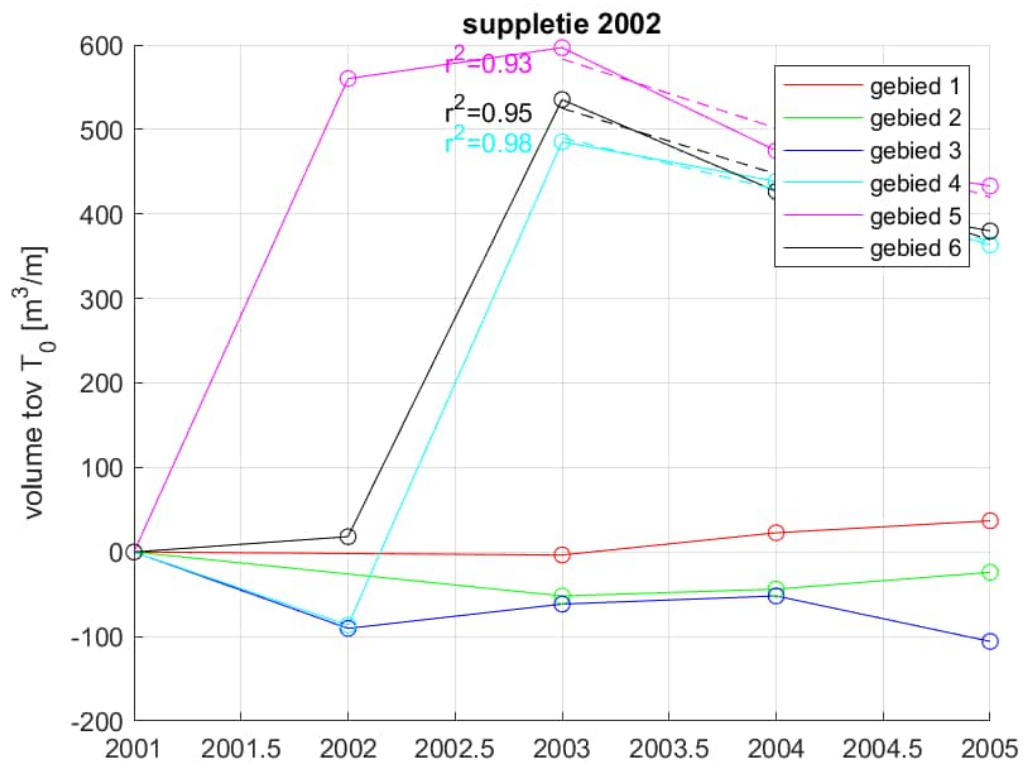
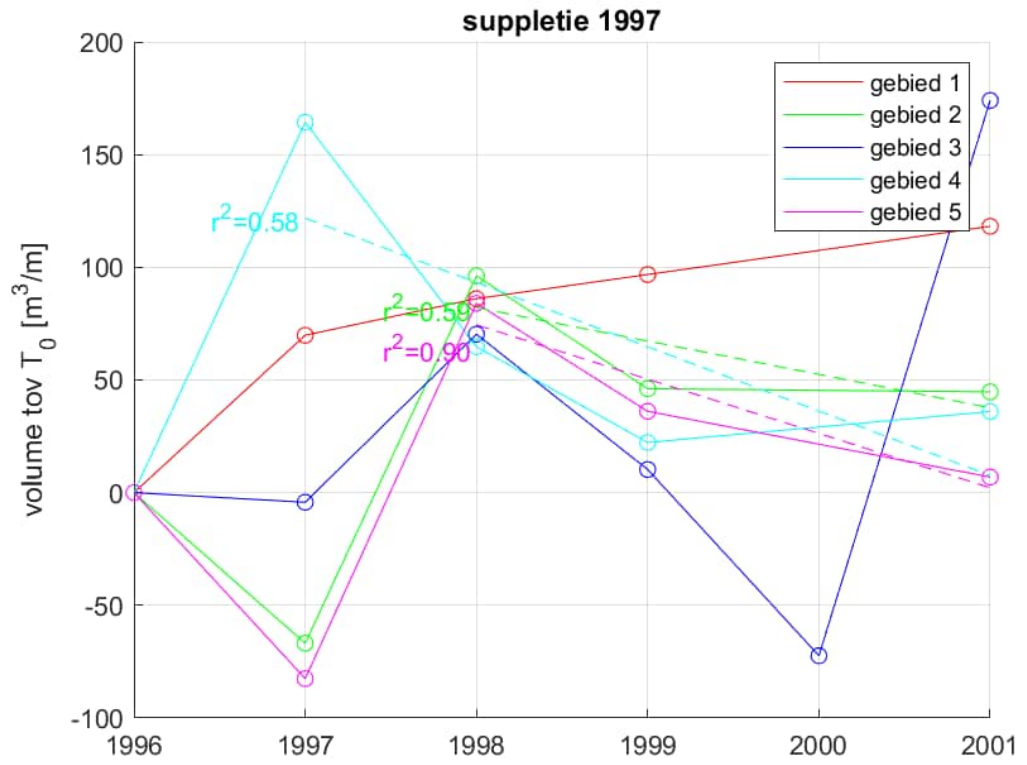


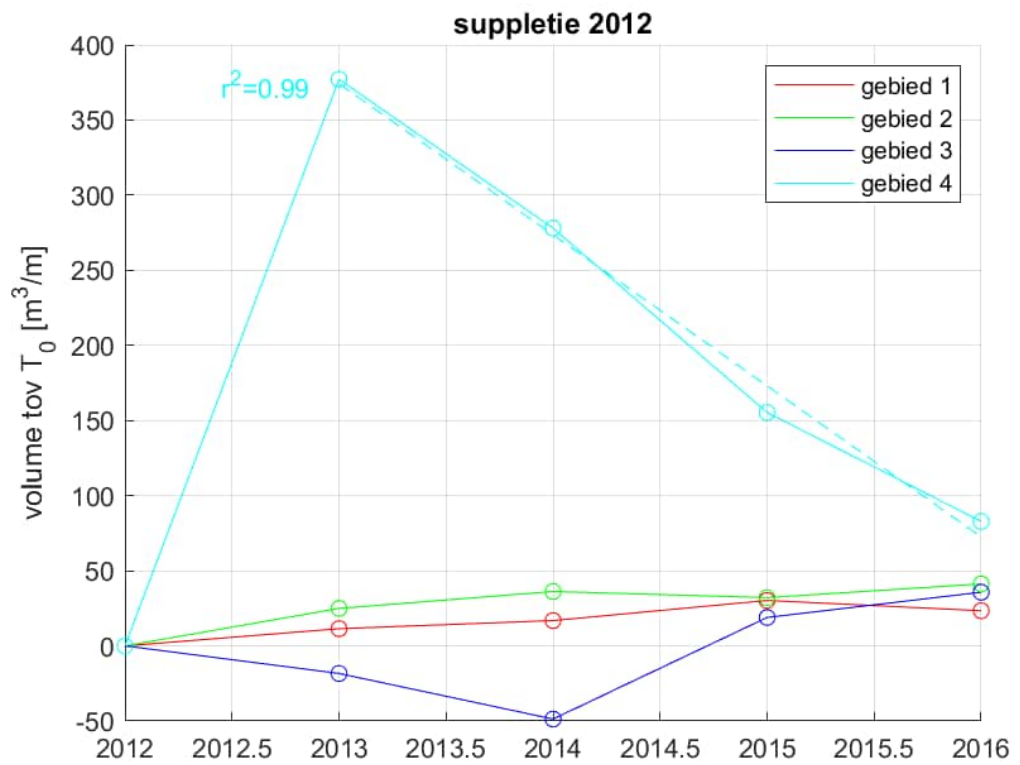
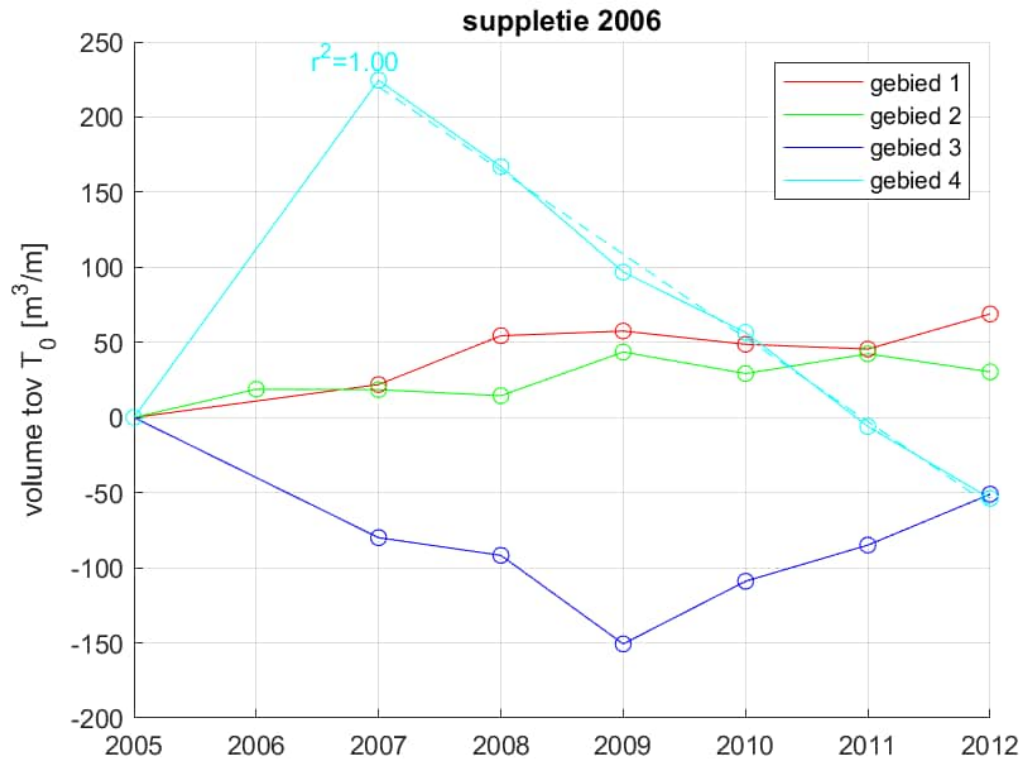


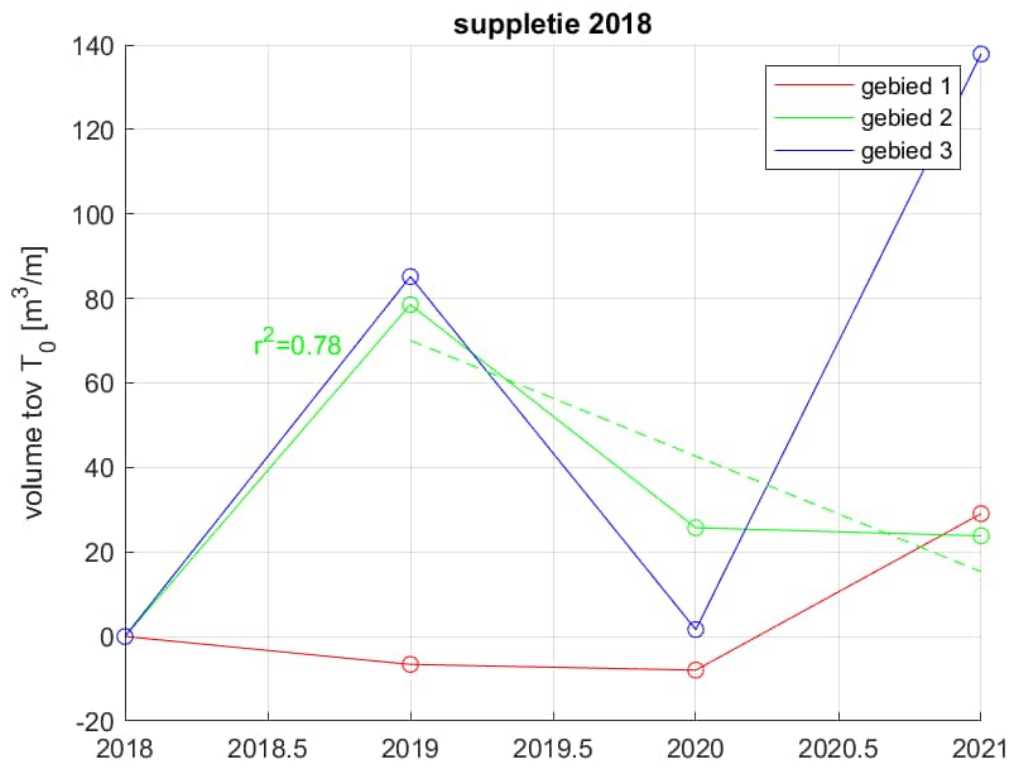
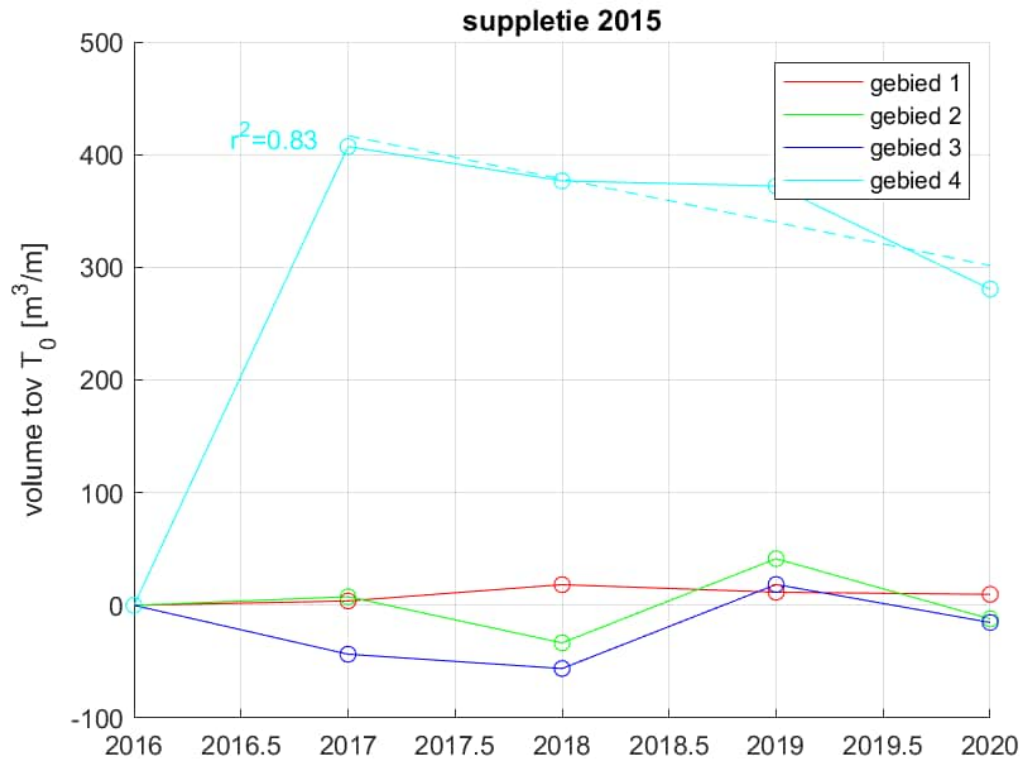


B.3 Texel









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