

Werkdocument

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Lange Termijn ontwikkeling Oostgat



Copyright: Topografische Dienst, Emmen

P. Roelse
Werkdocument RIKZ\AB-2002.830x

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

Op 20 minuten loopafstand vanaf station Middelburg richting industriegebied Arnestein of met treintaxi bereikbaar

Inhoud

1. Inleiding	1
2. Beschikbare meetgegevens	2
3. Aanpak	3
3.1 Afbakening	3
3.2 Werkwijze	3
3.3 Bruikbaarheid van de data	3
3.4 parameters	3
4. Geulontwikkeling	5
4.1 Omgevingsfactoren/ingrepen	5
4.2 Algemene ontwikkeling	5
4.3 Geulas	5
4.4 Geuldiepte	6
4.5 Geulbreedte	6
4.6 Geuldoorsnede	7
5. Ontwikkeling oevers	8
5.1 De kustoever	8
5.2 De plaatoever	8
5.3 Plaathoogte	9
6. Synthese	10
7. Conclusies en aanbevelingen	12
 Figuren	 2
Bijlagen	2
Literatuur	2

Figuren

1. Profielligging volgens Van Veen e.a.
2. Profiel 11. Vergelijking dieptelijnen NAP -5 m en -15 m volgens Van Veen e.a. en oeverpeilingen.
3. Stapelgrafieken ontwikkeling geulassen
4. Geulassen gemiddeld over traject
5. Ontwikkeling geuldiepte en plaathoogte in lengterichting geul
6. Ontwikkeling geuldoorsnede in lengterichting geul
7. Stapelgrafiek ontwikkeling kustoever
8. Verplaatsingssnelheden kustoever in tijd en ruimte
9. Stapelgrafiek ontwikkeling plaatoever
10. Ontwikkeling oeverlijnen in lengterichting
11. Verplaatsingssnelheden plaatoever in tijd en ruimte

Bijlagen

1. Historische opnemingen omgeving Oostgat
2. Geulprofielen
3. Tijdreeksen parameters geul, oevers, plaat

Literatuur

Van Veen, dr. Ir. Joh. Van en Morra, R., 1943/1949
Verdieping Scheldemondd van 1823- 1931/1949
RWS, Dir. Benedenrivieren, nota C515.

Wilderom, M.H., 1968
De ontwikkeling van de Noordzeekust van Walcheren tussen 1882 en 1968.
RWS, Studiedienst Vlissingen, nota 68.3

Agema, J., e.a., 1980
Veranderingen van de Zeeuwse kusten door mens en natuur.
RWS, Studiedienst Vlissingen, nota WWKZ-80.V024.

Aan
RWS-Dir. ZLD
t.a.v. Dr. B. de Winder

Contactpersoon
P. Roelse
Datum
25 september 2002
Nummer
RIKZ/AB-2002.830x
Onderwerp
Lange termijn ontwikkeling Oostgat

Doorkiesnummer
0118-672300
Bijlage(n)
3
Product
ZEELAND*ADVIES-ZWWalcheren

1. Inleiding

Met strandsuppleties wordt de structurele erosie van de zuidwestkust van Walcheren bestreden. Afgemeten aan de BKL-zone lukt dat prima, er is zelfs enige vooruitgang. Uit de JARKUS-metingen blijkt echter dat in ca. 40% van de raaivakken de erosie van de diepere onderwateroever doorgaat. Om ondermijning van de BKL-zone en het strand te voorkomen zal de diepere erosie mettertijd gestopt moeten worden.

Naast reactieve maatregelen, zoals suppleties op de diepere onderwateroever of een harde verdediging, zijn ook pro-actieve maatregelen denkbaar, zoals het verruimen van de geul in zeewaartse richting, of het ontlasten van het Oostgat door geulverruiming elders. De ervaringen met zandwinning aan de plaatoever geven hoop dat door geulverbreeding de stroomdruk op de oever vermindert en de erosie kan worden gereduceerd of geheel kan worden gestopt.

In opdracht van de directie Zeeland voert RIKZ een onderzoek uit naar de mogelijkheden om de kusterosie te verminderen. In dit kader zijn twee onderzoeksvragen geformuleerd (J. de Jong, memo van 23 juli 2001):

1. Is er sprake van zandgolfgedrag bij het Bankje van Zoutelande en welk effect heeft dit op de vooroever van de zuidwestkust van Walcheren?
2. In hoeverre is het mogelijk door zandwinning van het Bankje van Zoutelande de erosie van de vooroever te verminderen of zelfs op te heffen?

Het onderzoek wordt uitgevoerd door P. Roelse. Van de zijde van de opdrachtgever wordt het onderzoek begeleid door G.R. Termaat en J.W. Maranus. Afgesproken is om voorlopig alleen vraag 1 aan te pakken en de aanpak van vraag 2 hiervan te laten afhangen.

Het onderzoek is aanvullend ten opzichte van de onderzoekprogramma's KUST*2000 en Kust*2005 in de monding van de Westerschelde en in het bijzonder in het Oostgat.

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 0118 672200
Telefax 0118 651046

2. Beschikbare meetgegevens

Er zijn diverse bronnen die zowel de plaatsoever als de kustsoever beslaan:

- a. Oude hydrografische kaarten, periode 1823-1949, 8 opnamen, 13 raaien. Deze zijn t.b.v. inhoudsveranderingen tot profieltekeningen verwerkt door Van Veen/Morra/Haring.
- b. Doorlodingen, periode 1903-1962, 12 opnamen, 8 raaien. Hiervan zijn de raaistaten en de profieltekeningen beschikbaar.
- c. Vaklodingen, 1953-heden, ca. 12 opnamen, in bodemgrids beschikbaar.
- d. Jaarlijkse kustmetingen (JARKUS).

De vroegere strandmetingen en oeverpeilingen (ca. 1870-1965) geven geen informatie over de plaatsoever. De sedert 1965 uitgevoerde JARKUS-metingen geven slechts op enkele plaatsen informatie over de plaatsoever.

3. Aanpak

3.1 Afbakening

Gezien de doelstelling (lange termijn) en de beschikbare capaciteit is in overleg met de begeleiders besloten voorlopig de profieltekeningen van Van Veen e.a. te verwerken, aangevuld met de grid-informatie van de vaklodingen.

3.2 Werkwijze

De profielen uit de periode 1823-1931 zijn met behulp van een elektronische coördinatentafel gedigitaliseerd. Hierbij is alleen het traject Westkapelle-Vlissingen (profielen 7 t/m 19) verwerkt. De profielengte neemt in richting Westkapelle sterk toe (zie figuur 1). De plaatselijk te lange profielen zijn toch over de volle lengte gedigitaliseerd. Met PROFIELGIS zijn op de overeenkomstige plaatsen de profielen uit de vaklodingen gehaald.

De bewerkingen met de profielen zijn uitgevoerd in MATLAB. De profielgegevens en de bewerkingsresultaten zijn verzameld in EXCEL-bestanden.

3.3 Bruikbaarheid van de data

De nauwkeurigheid van de oude gegevens is beperkt. De profielen zijn gebaseerd op hydrografische opnemingen van verschillende herkomst. De plaatsbepaling met sextant zal vooral dicht onder de kust problematisch zijn geweest in verband met slecht zicht op de richtpunten door de hoge duinen. De correctie voor de waterstand zal met name verder uit de kust een beperkte nauwkeurigheid hebben gehad door het ontbreken van waterstandsmetingen.

Ter controle zijn van profiel 11 de dieptelijnen van NAP -5 m en -15 m vergeleken met de posities volgens de -zeer waarschijnlijk nauwkeurigere- oeverpeilingen (figuur 2). Hieruit blijkt :

- De grote fluctuaties die uit de profielen van Van Veen volgen (grootte-orde 100 m) zijn in werkelijkheid waarschijnlijk niet opgetreden.
- De gemiddelde positie en trend van de NAP -5 m lijn komen redelijk overeen.
- De kustoever volgens Van Veen is niet steil genoeg geschat. Daardoor ligt de NAP -15 m tot 200 m te ver zeewaarts.

De positie van de plaatoever is kennelijk nauwkeuriger dan die van de kustoever. Als de afwijkingen van de NAP -5 m lijn aan de kust worden toegepast als correctie voor de plaatoeverpositie (figuur 2) dan krijgt deze een onlogisch verloop in de tijd.

3.4 parameters

Om de bewegingen van het Oostgat te kunnen volgen zijn voor diverse onderdelen parameters berekend.

Uit de profielen zijn bepaald:

MOLK = momentane oeverlijn kust

(bovengrens = NAP -5 m; ondergrens = NAP -15 m)

MOLP = momentane oeverlijn plaat

(bovengrens = NAP -5 m; ondergrens = NAP -15 m)

DMAX = maximale geuldiepte

BGEU = geulbreedte op bovengrens NOPP

NOPP = natte oppervlakte geulprofiel (bovengrens = NAP-2m; als HOPL < NAP -2m grens zeezijde kiezen)

HOPL = Maximale plaathoogte Bankje van Zoutelande, Nolleplaat en deels de Rassen

ASDM = Positie geulas volgens maximale geuldiepte

Uit bovenstaande parameters zijn voorts berekend:

BDIE = breedte dieper geuldeel = MOLP - MOLK

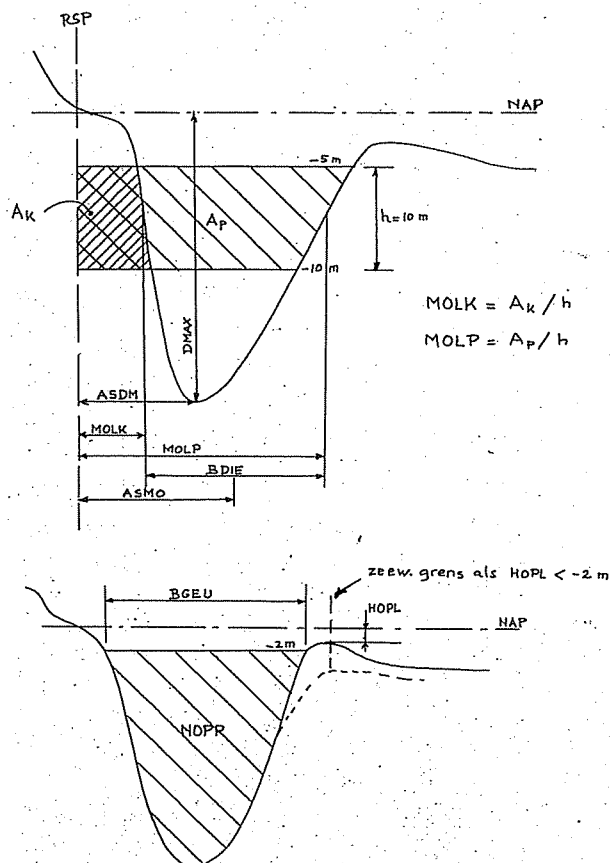
BGEM = gemiddelde breedte = NOPP / DMAX

DGEM = gemiddelde geuldiepte = NOPP / BGEU + bovengrens

ASMO = geulas midden tussen de oeverlijnen = (MOLP + MOLK)/2

In onderstaande schets zijn de uit de dwarsprofielen afgeleide parameters aangegeven. De meeste parameters zijn gebaseerd op een groot aantal meetpunten en zijn daardoor minder gevoelig voor lokale profielveranderingen. DMAX, BGEU en HOPL zijn slechts gebaseerd op één of twee meetpunten en zijn daardoor veel gevoeliger voor lokale profielveranderingen.

De berekende parameters zijn per profiel als tijdreeksen weergegeven in Bijlage 3.



4. Geulontwikkeling

4.1 Omgevingsfactoren/ingrepen

Het Oostgat is een kortsluitgeul, die voornamelijk onder invloed staat van de getijverschillen in de Westerschelde en op de Noordzee. Daarnaast speelt de wateruitwisseling met de geulen en platen van de Raan een rol. In de aansturing van het Oostgat zijn in de afgelopen eeuwen veranderingen opgetreden, zowel van natuurlijke aard als onder invloed van menselijke ingrepen. Natuurlijke veranderingen zijn zeespiegelstijging en getijslagvergroting. Menselijke ingrepen in de omgeving zijn inpolderingen in Ooster- en Westerschelde, de verdieping van de vaarweg in de Westerschelde en de Deltawerken.

In het Oostgat hebben de eeuwenoude oeververdedigingen bij Westkapelle en Vlissingen en de aanleg van strandhoofden (2^e helft 19^e eeuw) mede de vorm bepaald. De grote stroomkoppen van de huidige strandhoofden zijn overwegend na 1950 aangelegd.

De bodemgesteldheid speelt een duidelijke rol bij de geulontwikkeling. In de omgeving van Vlissingen en tussen Westkapelle en Zoutelande bestaat de ondergrond uit stroomresistente oude afzettingen (Calais). Deze kustvakken steken enigszins naar voren en hebben een zeer steile onderwateroever.

In de Sardijngeul en langs de Nolleplaat is na 1950 diverse keren gebaggerd voor vaargeulonderhoud en zandwinning. In de jaren tachtig van de vorige eeuw is voorts zand gewonnen van het Bankje van Zoutelande en in de noordwestelijke inloop. Een deel hiervan werd als strandsuppletie in het Oostgat systeem teruggebracht.

4.2 Algemene ontwikkeling

De kaartfragmenten uit de periode 1823 – 1967 zijn samengevoegd tot 5 situatietekeningen met dieptelijnen (Wilderom, 1968). Deze zijn gebundeld in bijlage 1.

De belangrijkste ontwikkelingen zijn:

- De Rassen verplaatsen oostwaarts; het Oostgat bij Westkapelle versmalt.
- De noordkant van het Bankje van Zoutelande en de Rassen groeien eerst aaneen en worden in de 20^e eeuw weer gescheiden door de Kil van Westkapelle (thans Geul van de Rassen genoemd).
- De oostelijke inloop van de Deurloo verzandt.
- Eind 19^e eeuw is de Elleboog verheeld met de Nolleplaat en vormt de smalle Sardijngeul via de Galgeput de verbinding van het Oostgat met de Westerschelde.

De hierna beschreven parameters zijn berekend aan de hand van de gedigitaliseerde geulprofielen. De profieltekeningen zijn gebundeld in bijlage 2.

4.3 Geulas

Voor de positie van de geulas zijn 2 parameters gedefinieerd:

ASDM = Positie geulas volgens maximale geuldiepte

ASMO = Momentane as van de geul als het midden tussen de oeverlijnen MOLP en MOLK.

De ASDM kan als aanvulling worden gezien van de soms te korte tijdreeksen van ASMO. Waar beide parameters duidelijk van positie verschillen is er iets aan de hand met de profielvorm. Dit kan zijn een asymmetrisch profiel, waar de geul tegen een verdedigde

oever ligt en een turbulentieput is ontstaan. Bij de overgang van Galgeput naar Oostgat verspringt het diepste punt soms naar de andere kan van de drempel.

In bijlage 3 zijn de geulassen in de tijdreeksen opgenomen. Figuur 3 geeft de tijdreeksen in stapelgrafieken weer.

Zoals verwacht geeft het verloop van ASMO een rustiger beeld te zien dan ASDM. Het algemene beeld is dat het Oostgat ter hoogte van Westkapelle raaien 7 en 8) een grotere verplaatsing heeft ondergaan dan tussen Westkapelle en Valkenisse (raaien 9 t/m 15). De ontwikkelingen bij de oostelijke inloop van de Deurloo en de vorming van Galgeput/Sardijngeul hebben in de 19^e eeuw een grote landwaartse verplaatsing tot gevolg gehad.

In figuur 4 is de verplaatsing van de geulassen weergegeven aan de hand van de gemiddelde positie. De reeksen van de geulassen volgens de maximale diepte (ASDM) zijn compleet en kunnen zo worden gemiddeld. De reeksen van de oevers zijn echter niet compleet. Om voor de gehele periode een gemiddelde te kunnen berekenen zijn de hiaten in de reeksen van ASMO door interpolatie opgevuld. Om dit nog enigszins verantwoord te kunnen doen is de Sardijngeul (raaien 18 en 19) buiten beschouwing gelaten.

Uit het verschil tussen 4a en 4b blijkt dat de grootste diepten verder verplaatst zijn dan de gemiddelde oeververplaatsing. Dit wijst op een toenemende weerstand van de Walcherse oever (strandhoofden, geologie). De diepste punten vindt men immers dicht bij weerstandselementen.

Figuur 4b geeft aan dat de as van het Oostgat sinds 1880 niet meer in oostwaartse richting is opgeschoven. De sterke fluctuaties na 1970 zijn vooral veroorzaakt door ontwikkelingen bij de drempel aan de zuidzijde (Galgeput) en voor Westkapelle (o.a. Geul van de Rassen). Daarom is tevens gemiddeld over de raaien 9 t/m 15 (figuur 4c). Hieruit blijkt dat het Oostgat tussen Westkapelle en Valkenisse in de afgelopen 100 jaar niet is gemigreerd.

4.4 Geuldiepte

Uit bijlage 3 blijkt dat de gemiddelde geuldiepte DGEM van het Oostgat (raaien 7 t/m 15) met enkele meters is toegenomen. Galgeput en Sardijngeul zijn daarentegen verondiept. De grootste geuldiepten DMAX geven hetzelfde beeld te zien. Het verloop van DMAX is wat onrustiger dan van DGEM en de verdiepingen zijn groter. Dit kan wijzen op een toegenomen weerstand, bijvoorbeeld het effect van de koppen van de in de strandhoofden. Figuur 5 illustreert de ontwikkeling van DMAX in lengterichting.

4.5 Geulbreedte

De breedte is op verschillende wijzen bepaald: op laagwater niveau (BGEU), als afstand tussen de oeverlijnen (BDIE= MOLP-MOLK) en als gemiddelde (BGEM = NOPP/DMAX). Tussen Westkapelle en Valkenisse (bijlage 3, raaien 9 t/m 15) geeft het Oostgat een eenduidig beeld te zien; de geulbreedte neemt bij alle parameters toe. BDIE en BGEM nemen meer toe dan BGEU. Dit wijst op een versteiling van één of beide oevers. Voor Westkapelle is onder invloed van de Geul van de Rassen en het uitbouwende Bankje van Zoutelande het Oostgat versmald.

In Galgeput/Sardijngeul is de breedte-ontwikkeling minder eenduidig. Opvallend is dat de breedte op laagwaterniveau vrijwel gelijk is gebleven, terwijl de oeverlijnen dichter bij elkaar zijn komen te liggen. Dit duidt op een verflauwing van een of beide oevers. BGEM geeft een wisselend verloop te zien.

4.6 Geuldoorsnede

De verdieping en verbreding van het Oostgat uit zich in een toename van de geuldoorsnede (NOPP). De ontwikkeling geeft vrij grote fluctuaties te zien, met name in de omgeving van Westkapelle (raaien 7 t/m 10).

Samenhangend met het ontstaan en de ontwikkeling van de Nolleplaat en met de teloorgang van de Deurloo zijn de doorsneden van Galgeput/Sardijngeul afgenomen. Figuur 6 geeft de ontwikkeling in lengterichting. De grotere doorsneden in noordwestelijke richting duiden op een zijdelingse aan/afvoer van water. De gradiënt in het doorsnedeverloop is iets minder geworden. De grote sprong in de grafiek bij de raaien 15 en 16 zijn een gevolg van het samenvloeien van Oostgat en Deurloo in de Galgeput. Door de verzanding van de Deurloo is dit verschil afgenomen.

5. Ontwikkeling oevers

5.1 De kustoever

Zoals figuur 2 aangeeft is de nauwkeurigheid van de oude profielen niet groot. De oevergrafieken van bijlage 3 geven daarom slechts een grove indicatie van de oeververplaatsingen.

In figuur 7 zijn de oevergrafieken gestapeld. Grootchalig gezien is er alleen in de 19^e eeuw sprake van een significante ontwikkeling. Voor zover de incomplete grafieken dat toelaten kan worden geconcludeerd dat er geen opvallende verschillen zijn. Het beeld geeft ook geen blijk van een zandgolfbeweging in lengterichting van de kust.

Figuur 8 geeft de verplaatsingssnelheden van de kustoever weer in tijd en ruimte. Hiertoe is "op het oog" een vloeiend verloop getrokken door de grafieken van figuur 7 (bewerking door Jan Maranus). Fluctuaties van ca. 10 jaar en minder zijn hierbij genegeerd. Als langs een kustvak sprake is van migrerende zandgolven komt dat tot uiting in schuin lopende isolijnen van verplaatsingssnelheden.

In de figuur zijn ingrepen aangegeven die de oeverontwikkeling wellicht direct hebben beïnvloed. Dit zijn aanleg van strandhoofden en de stroomgaten voor de inundatie van Walcheren in 1944. Veranderingen op grote afstand van het Oostgat, die de ontwikkeling indirect kunnen hebben beïnvloed, zoals de afsluitingen van het Sloe (1871), de Braakman (1952) en het Veerse Gat (1961) en de verdieping van de Westerschelde, zijn niet aangegeven.

In de figuur is een schuine strook met positieve verplaatsingen (zeewaarts) te herkennen die tussen ca 1890 en 1970 van Vlissingen tot Westkapelle loopt. De verplaatsingen zijn te onregelmatig en te gering en de omgeving te onregelmatig om van een echte zandgolf te kunnen spreken. Meeton nauwkeurigheden (figuur 2) maken het beeld ook minder betrouwbaar. Niet duidelijk is of de tijdelijke kustvoortgang na ca 1870 het gevolg is van de hoofdenaanleg. De kopverdediging stak waarschijnlijk niet diep genoeg om de diepere onderwateroever te beschermen. Een verklaring is wellicht te vinden in de stroomresistente lagen in de ondergrond.

5.2 De plaatoever

De plaatoever (figuur 9) geeft opvallende verschillen per geulgedeelte te zien:

- *Westkapelle (raaien 7 en 8)*

Er is een landwaartse verplaatsing van ruim 0,5 km tussen 1823 en ca. 1950. De vaklodingen na 1960 geven alleen voor raai 7 een significante landwaartse verplaatsing.

- *Westkapelle-Valkenisse (raaien 9 t/m 15)*

Voor zover aanwezig duiden de metingen tot 1860 op een bescheiden landwaartse verplaatsing. Daarna is er gemiddeld genomen sprake van een zeewaartse verschuiving. Het lijkt niet waarschijnlijk dat de trendverandering het gevolg is van hoofdenaanleg. Hoewel er in de tweede helft van de 19^e eeuw al bodembeschermingen aan de zeeëinden van de hoofden waren aangebracht, was pas in de 20^e eeuw sprake van duidelijk uit de oever stekende stroomkoppen en een tot grote diepte reikende bodembescherming. In de raaien 12 t/m 14 is het effect van de zandwinning in de tachtiger jaren te zien. De oever is hierdoor zeewaarts opgeschoven.

- *Valkenisse-Vlissingen (raaien 16 t/m 19)*

De ontwikkelingen bij de splitsing Deurloo/Galgeput/Oostgat en de vorming van Elleboog/Nolleplaat hebben in de 19^e eeuw tot een landwaartse plaatoeverschuiving van ca. 1 km geleid. Daarna is de plaatoeverligging vrij stabiel.

In figuur 10 is de ontwikkeling in lengterichting weergegeven. Figuur 10a met de lange termijn laat zien dat tussen Westkapelle en Zoutelande (raaien 8 – 12) de kustoever per saldo meer landwaarts is opgeschoven dan de plaatoever. Verder duidt niets op een langstreckende zandgolf.

Figuur 10b is gebaseerd op de recentere vaklodingen (sinds 1965) en geeft aan dat in het traject Westkapelle - Valkenisse (raaien 10 – 15) tussen 1965 en 1980 sprake was van een geringe netto geulwandachteruitgang. Volgens figuur 4c betreft het echter een plotselinge teruggang voor 1980. Tussen 1980 en 2000 komt de geulwand -mede door de strandsuppleties- gemiddeld weer op zijn oude positie (uit de JARKUS-metingen blijkt dat lokaal, m.n. omgeving raaien 10 en 11, de geulwanderosie is doorgegaan).

Aan de plaatoever is in de raaien 11 t/m 14 duidelijk de zeewaartse verplaatsing waar te nemen als gevolg van de zandwinning in de tachtiger jaren.

Evenals voor de kustoever zijn ook voor de plaatoever de verplaatsingssnelheden weergegeven in tijd en ruimte (figuur 11). Hieruit blijkt dat de landwaartse verplaatsingen bij Westkapelle en Vlissingen langer aanhielden dan in het middelste traject. Hier komt wel duidelijk de zeewaartse verplaatsing naar voren door de Zandwinning langs het Bankje van Zoutelande. Er blijkt geen zandgolfeffect op te treden.

5.3 Plaathoogte

De hoogste delen van het Bankje van Zoutelande en de Nolleplaat (figuur 5) zijn over 2 eeuwen gezien opvallend stabiel. Slechts bij de splitsing met de Deurloo is een verlaging waar te nemen.

6. Synthese

Doel en mogelijkheden

Het doel van het onderzoek is inzicht krijgen in de lange termijnontwikkelingen van het Oostgat en zijn omgeving, om mettertijd een verantwoorde keuze van kustverdedigingsmaatregelen te kunnen maken. Hiervoor zijn gegevens van de afgelopen 180 jaar gebruikt. Door de beperkte nauwkeurigheid van de beschikbare gegevens is slechts een grove schets van de grootschalige veranderingen mogelijk. De onnauwkeurigheid van de gebruikte oude hydrografische opnemingen is groter dan de kustachteruitgang van de afgelopen 50 jaar.

Morfologische ontwikkelingen

Het geul/plaat systeem van Oostgat, Galgeput, Sardijngeul, Bankje van Zoutelande, Elleboog en Nolleplaat is in de 19^e eeuw in noord-oostelijke richting verplaatst. De beweging van het middengedeelte van het Oostgat (tussen Westkapelle en Valkenisse) is in de 2^e helft van de 19^e eeuw gekeerd door de Walcherse kust met zijn deels stroomresistente ondergrond en de daar aanwezige en verbeterde strandhoofden. De aanvankelijk vrij grote geulbreedten bij Vlissingen en Westkapelle lieten een verdere opschuiving van de platen toe tot in de 1^e helft van de 20^e eeuw. Bij het bolwerk Westkapelle leidde dit tot een aanzienlijke verdieping van de geul. Ten noordwesten van Vlissingen trad sterke kusterosie op, terwijl de geuldoorsnede afnam in samenhang met de afnemende invloed van de Deurloo. Hierdoor is het verschil in doorstroomprofiel van het Oostgat en van de Galgeput minder geworden.

De in grootte toenemende geuldoorsneden richting Westkapelle duiden op een grote zijdelingse watertoevoer/-afvoer over het Bankje van Zoutelande. Deze bank is in de beschouwde periode nauwelijks in hoogte veranderd.

Als de toename in de tijd van de geuldoorsnede het gevolg is van een groter debiet, dan heeft dit niet tot een versnelde oevererosie geleid. De erosie is juist minder geworden. De verruiming heeft meer aan de plaatszijde plaatsgevonden. Dit en het feit dat de grootste diepten dicht onder de Walcherse oever zijn komen te liggen wijzen op een aanzienlijke en waarschijnlijk toegenomen weerstand aan de Walcherse kant. De in de tweede helft van de 19^e eeuw aangelegde strandhoofden kunnen hier de oorzaak van zijn. Ook kan hebben meegespeeld dat een groter deel van de resistente lagen in de ondergrond deel is gaan uitmaken van de geulwand.

De plaatsoever vertoont geen zandgolfgedrag. Aan de plaatszijde is duidelijk het effect van de zandwinning waarneembaar.

Zeegatconcept

De gevonden morfologische lange termijnontwikkeling lijkt in strijd met het door Agema e.a. (1980) geschetste beeld van de zandstromen in de monding van een estuarium. Hierbij zou de geul en de kustoever landwaarts moeten verplaatsen onder invloed van een uitbouwende plaatsoever door zandtransport over de banken. Deze strijdigheid hoeft er niet te zijn. Als de geuldoorsnede toeneemt door een groter debiet en de kustoever biedt veel weerstand, dan kan ruimte worden gevonden door verdieping en/of door erosie aan de plaatszijde. Als het eroderend vermogen langs de plaat groter is dan de zandtoevoer over de plaat zal de plaatsoever zeewaarts verschuiven. Dit kan gepaard gaan met een landwaartse verplaatsing van de grootste diepte en voortgaande langzame achteruitgang van de kustoever. Dus: alleen het doorstroomprofiel wordt groter en die verandering kan de plaatsoever beter verwerken dan de meer resistente kustoever.

Mogelijkheden kustverdediging

Uit het onderzoek komt een beeld naar voren van een in principe landwaarts migrerende geul, die hierbij grote weerstand ondervindt. Denkend vanuit het zeegatconcept zal de drijvende kracht achter de migratie niet kunnen worden weggenomen met behoud van een natuurlijk geulen- en platensysteem. De stroomdruk op de Walcherse oever kan wellicht worden verlicht door vermindering van het debiet. Dit vergt echter forse ingrepen in het geulensysteem. Een combinatie met maatregelen voor de scheepvaart, zoals een nieuwe centrale geul door Spleet en Deurlo-west, biedt wellicht mogelijkheden. De stroomdruk kan ook worden verminderd door de geul te verbreden aan de plaatszijde. Verkennend onderzoek door de afdeling AXL gaf voor de wat zachtere oever bij Valkenisse aan dat na de verbreding door zandwinning in de tachtiger jaren de kustachteruitgang stopte. Niet zeker is of dit ook bij de hardere oever tussen Westkapelle en Zoutelande bereikt kan worden. Voorts is de vraag voor hoe lang de stroomdruk dan wordt verminderd. Hoewel op de zandwinplaats na ca. 15 jaar nog geen sprake is van een sterke aanzanding van de geulwand kan deze op langere termijn wel significant opschuiven, als hiervoor ruimte ontstaat door debietvermindering. Bij aanzanding neemt het doorstroomprofiel weer af en nemen de stroomsnelheden toe.

Het verdedigen van de diepe onderwateroever met zandsuppleties zal zeker bij de diepe, steile oever tussen Westkapelle en Zoutelande tot een aanzienlijke profielvernauwing leiden (10 à 15 %). Om de zandverliezen binnen de perken te houden zal de stroomdruk op zo'n nieuwe zachte onderwateroever niet te groot mogen zijn. Hiervoor zullen vrij forse ingrepen aan het Bankje van Zoutelande en/of het aangrenzende geulensysteem nodig zijn.

7. Conclusies en aanbevelingen

Met betrekking tot de concrete onderzoeksvraag kan worden geconstateerd dat er geen grootschalig zandgolfgedrag langs de plaatsoever is aangetroffen, waarmee met de kustsuppleties rekening moet worden gehouden. Ook aan de kustsoever kan niet van een zandgolfgedrag worden gesproken.

De toename van de stroomvoerende doorsnede van het Oostgat heeft niet tot een versnelde erosie van de kustsoever geleid, maar tot een geulverbreding aan de zijde van het Bankje van Zoutelande. Dit lijkt meer het gevolg van de grote (toegenomen?) weerstand aan Walcherse zijde dan van een afgenomen stroomdruk op de kustsoever. De aanpassing heeft plaatsgevonden aan de plaatszijde, waar de weerstand minder is.

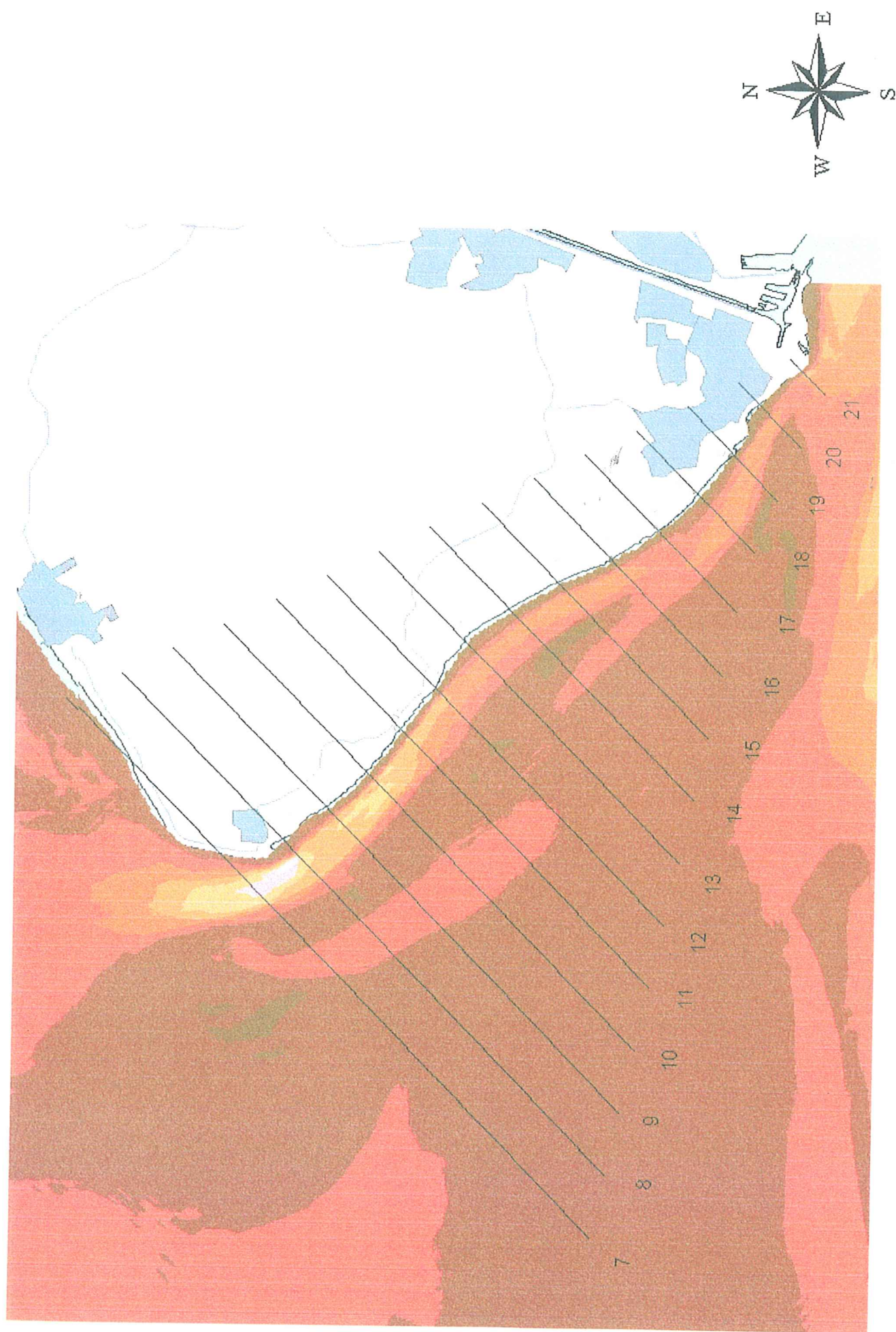
Op basis van de gebruikte data is geen uitspraak te doen over het effect van een kunstmatige geulverbreding aan de plaatszijde op de kustsoever. Aanbevolen wordt hiernaar een gedetailleerder onderzoek te doen aan de hand van de betrouwbaardere JARKUS-metingen en de vaklodingen.

Over het erosieproces van harde onderwateroevers in relatie tot de getijstroom is weinig bekend. Een literatuuronderzoek naar dit fenomeen verdient aanbeveling.

Met het oog op een mogelijke verdediging met onderwatersuppleties wordt onderzoek aanbevolen naar het effect op de Q/A relatie (debiet/doorstroomprofiel) en naar de te verwachten zandstromen (eb/vloed dominantie) langs de Walcherse oever.

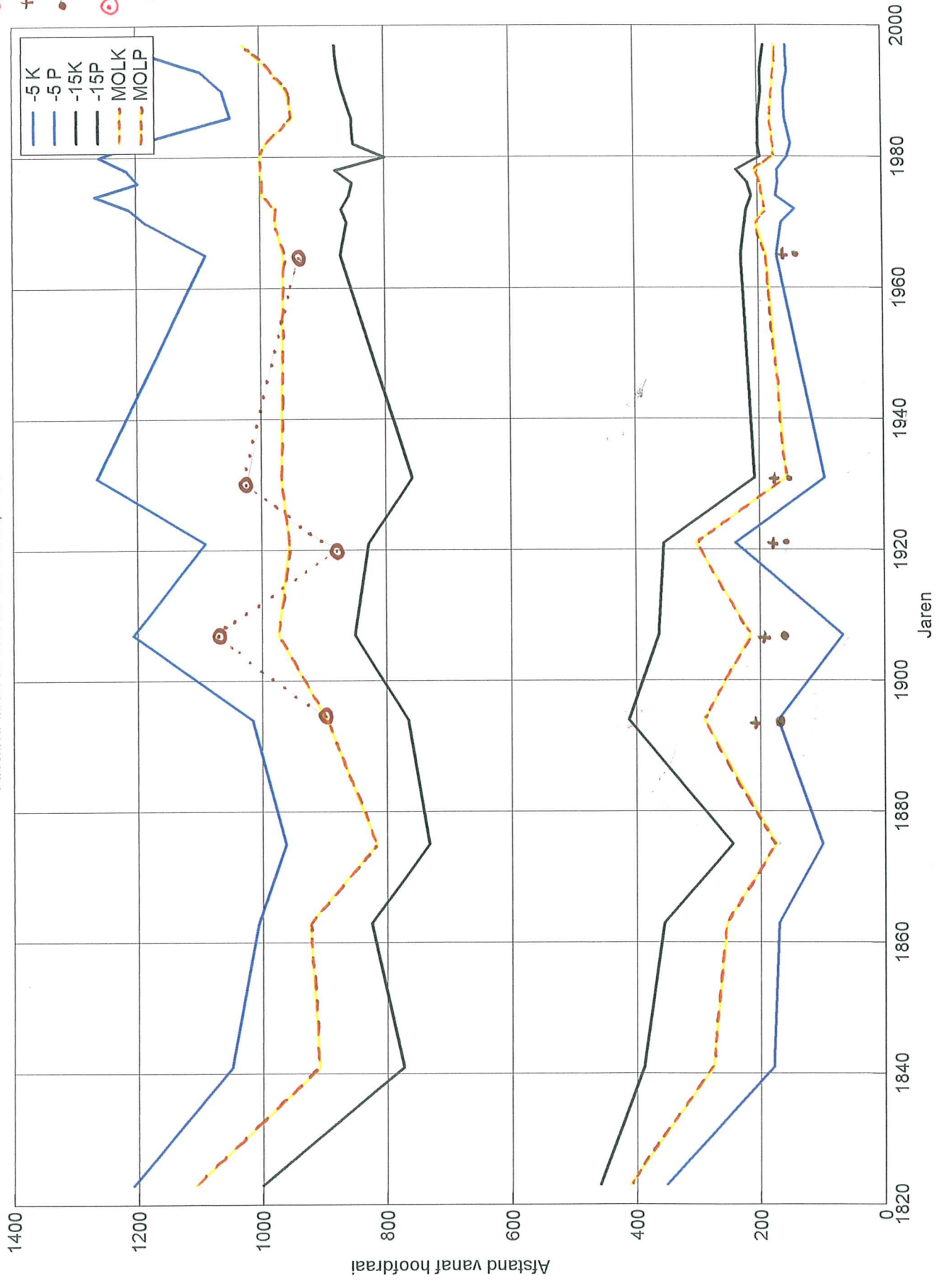
De studies zijn tot dusver verkennend en hebben zich voornamelijk gericht op de oorzaken van de kusterosie. Voor een beeld van de kennisbehoefte is het aan te bevelen om een verkennend onderzoek te doen naar oplossingsmogelijkheden. Een brainstorm kan hierbij snel een overzicht opleveren.

Maatregelen voor de Walcherse kust worden beïnvloed door ingrepen in de omgeving. Bij de verkenning van oplossingen zullen combinaties van werken, zoals verdieping en onderhoud van de vaargeul in de Westerschelde en geulaanleg door de Raan, moeten worden meegenomen.

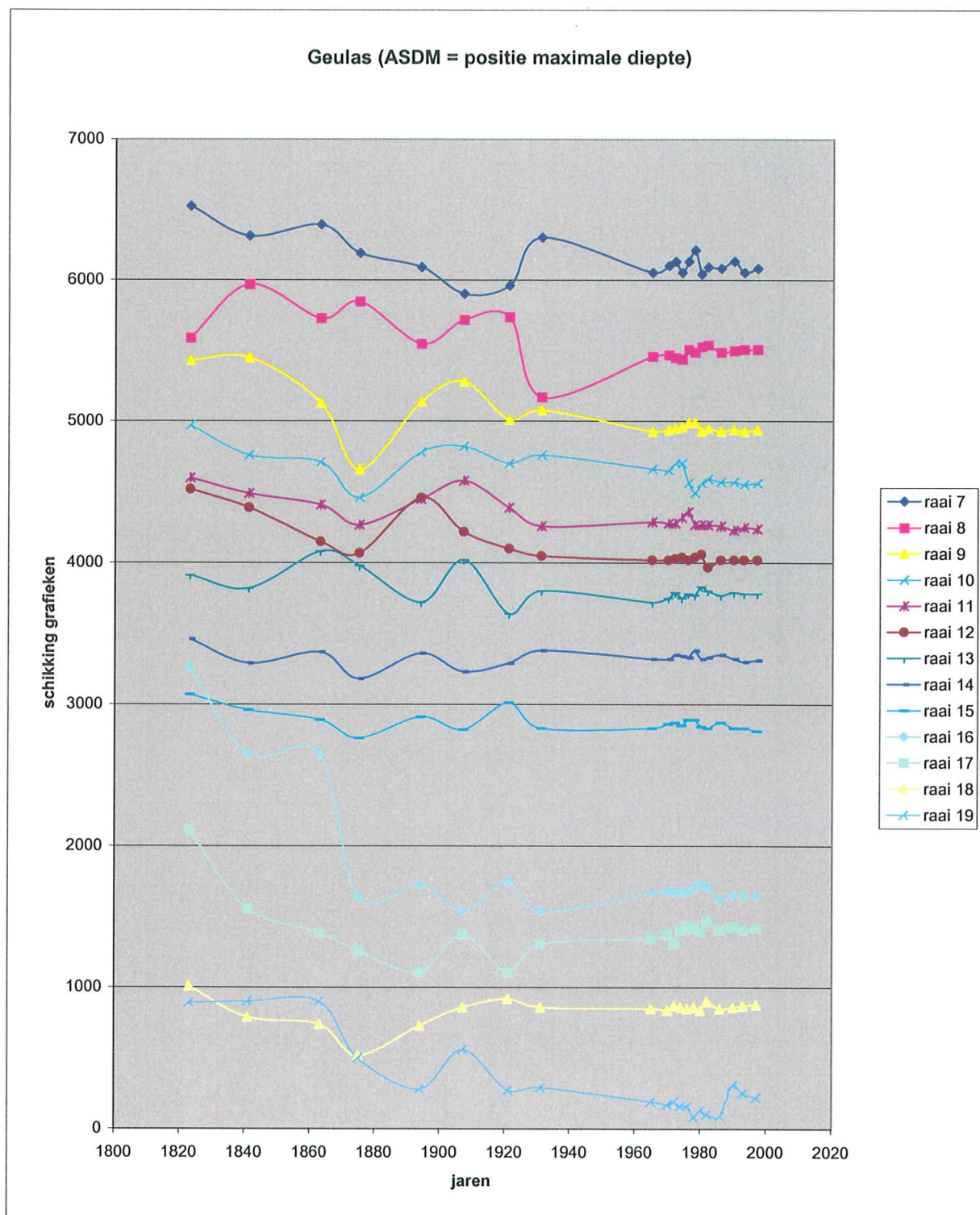


Figuur 1. Profielligging volgens Van Veen e.a.

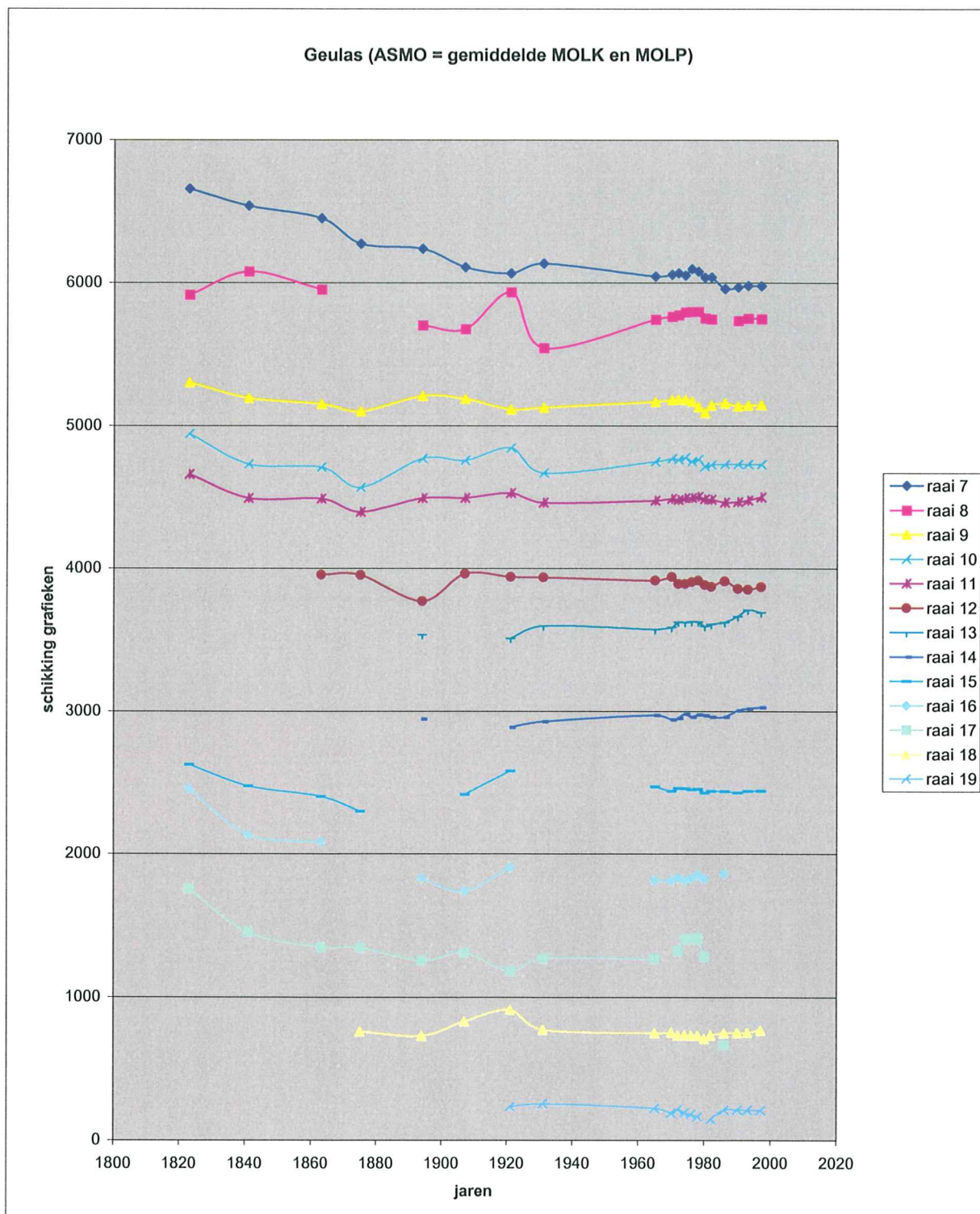
Afstand t.o.v. hoofd-raai vs. Jaren, Raai 11



Figuur 2. Profiel 11. Vergelijking dieptelijnen NAP -5 m en -15 m volgens Van Veen e.a. en oeverpeilingen

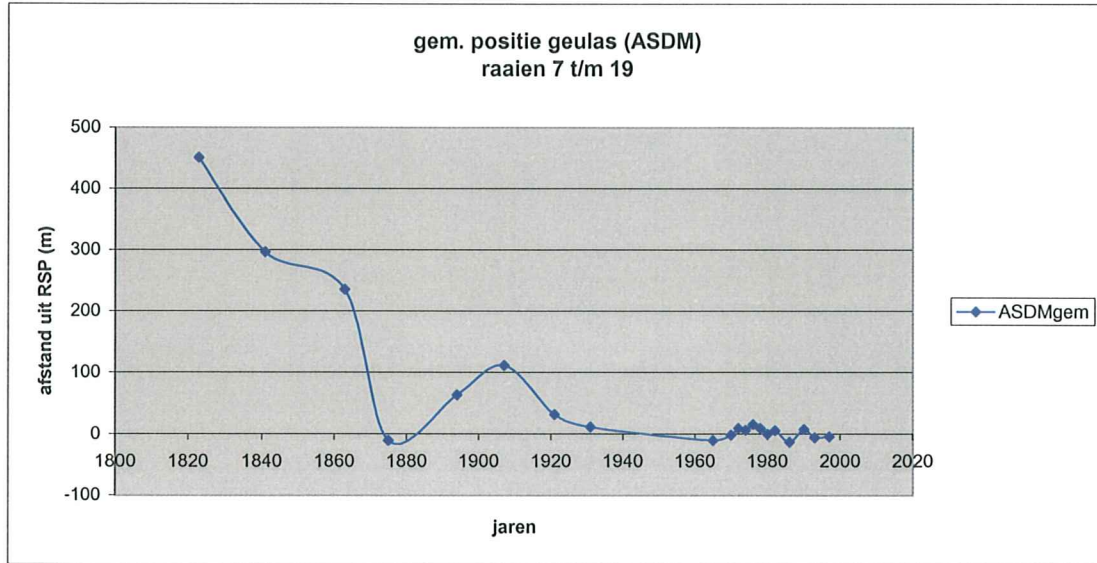


Figuur 3a

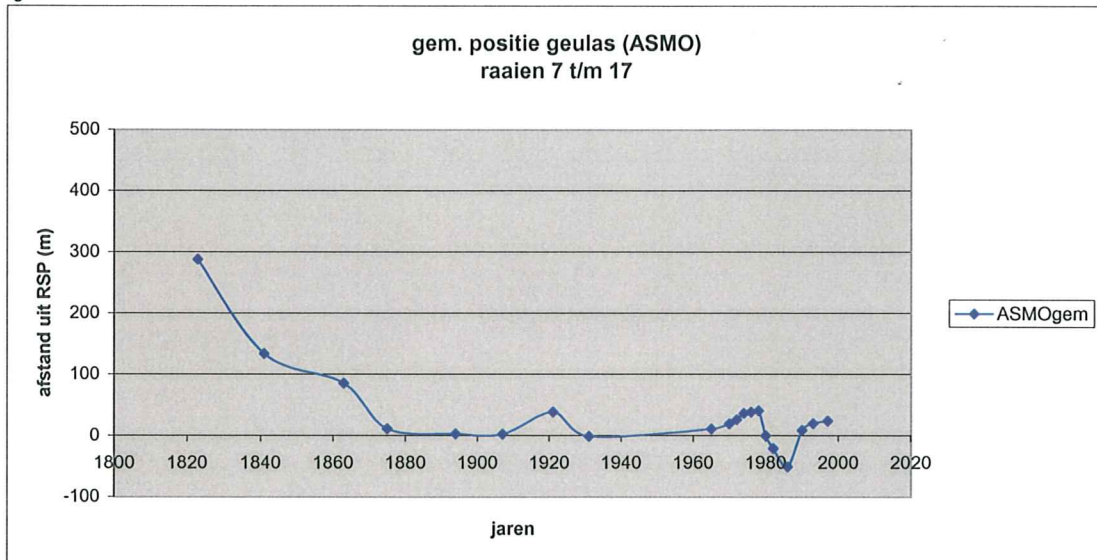


Figuur 3b

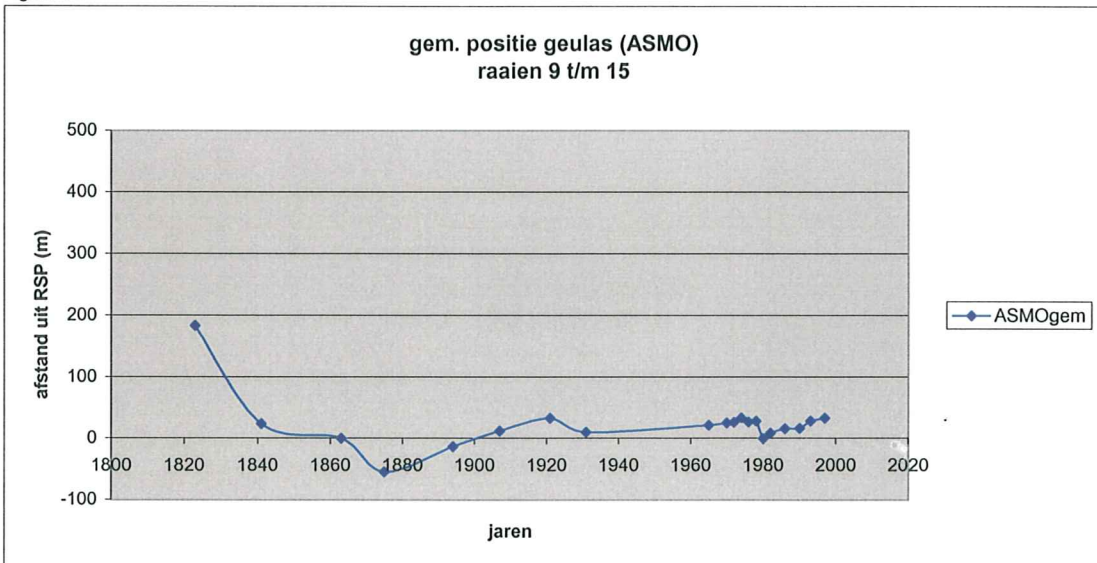
figuur 4 a



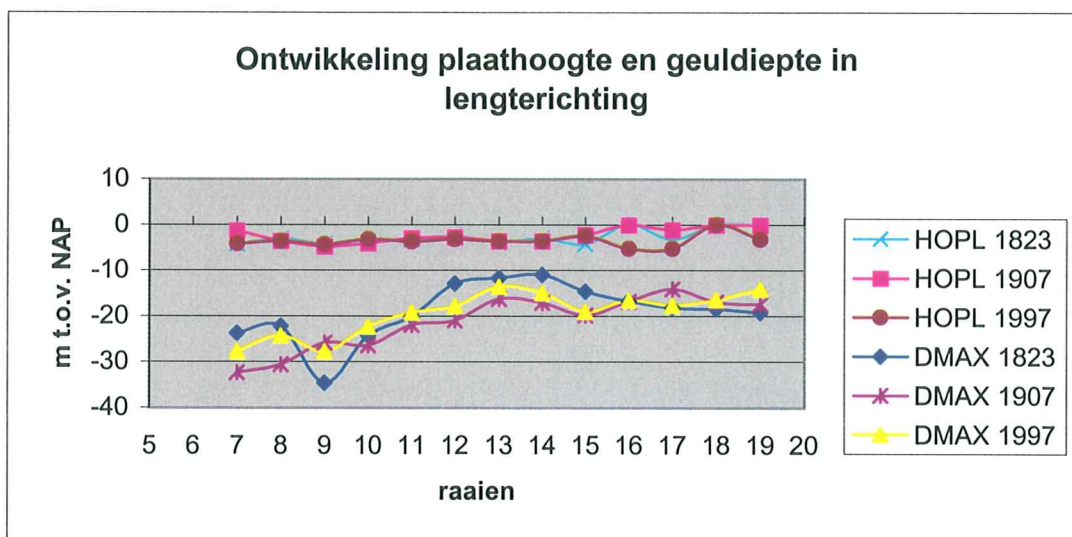
figuur 4 b



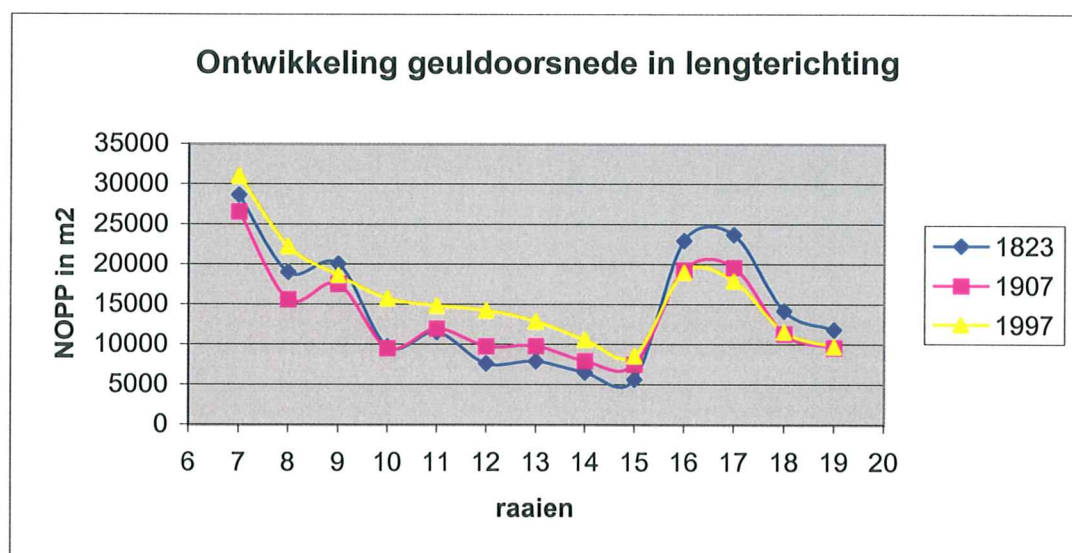
Figuur 4 c



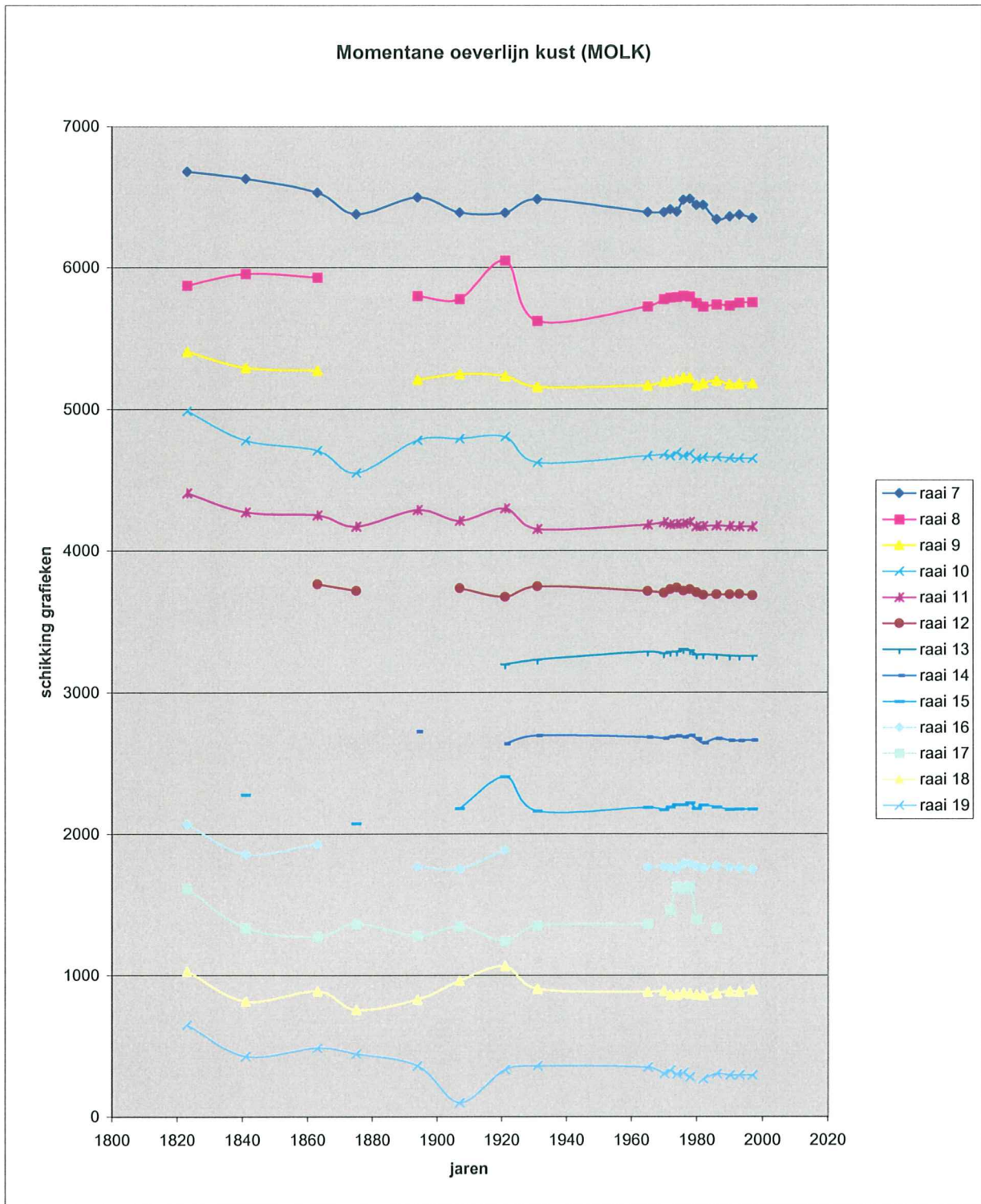
Figuur 4. Verloop geulassen, gemiddeld over geullengte



figuur 5



figuur 6

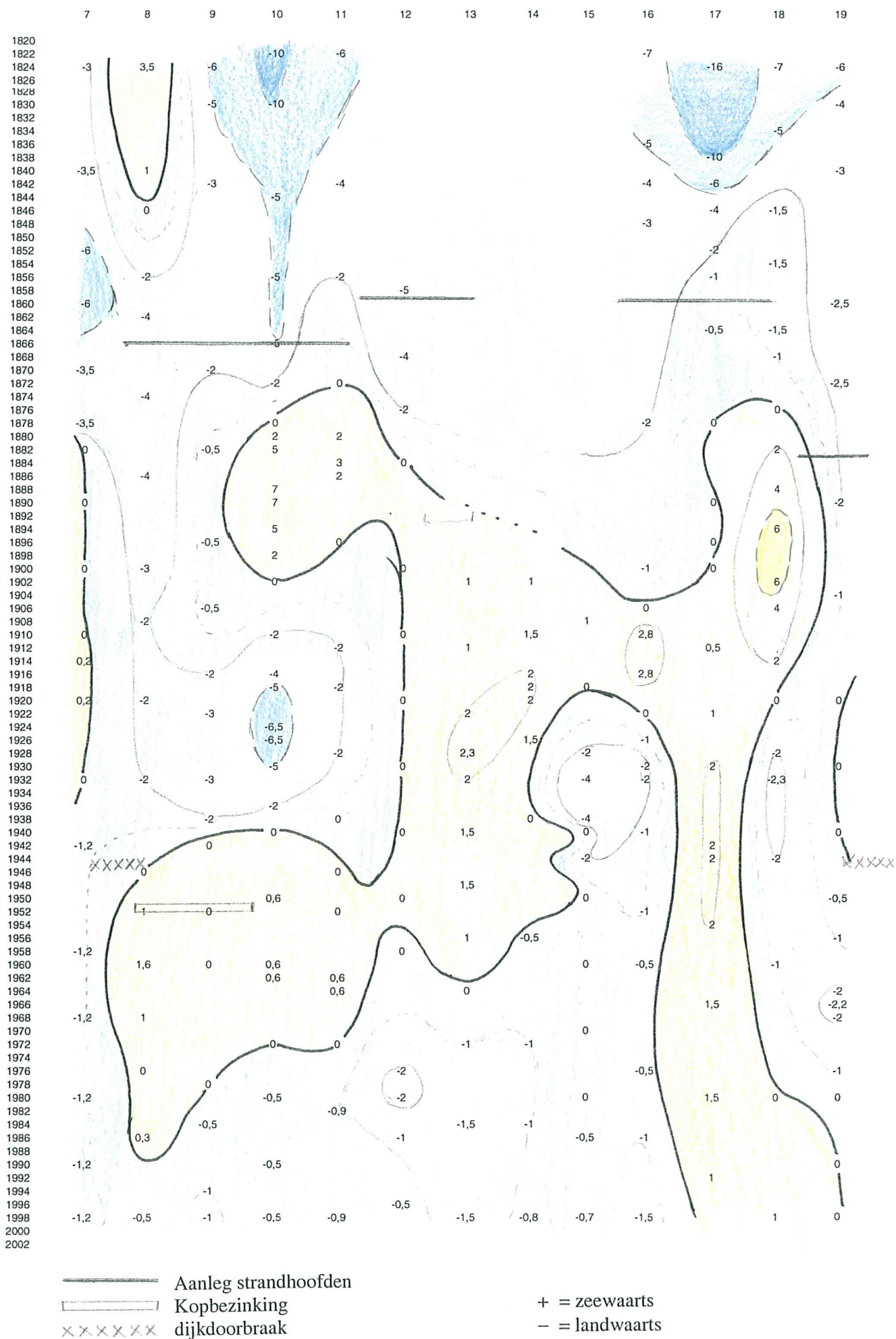


Figuur 7

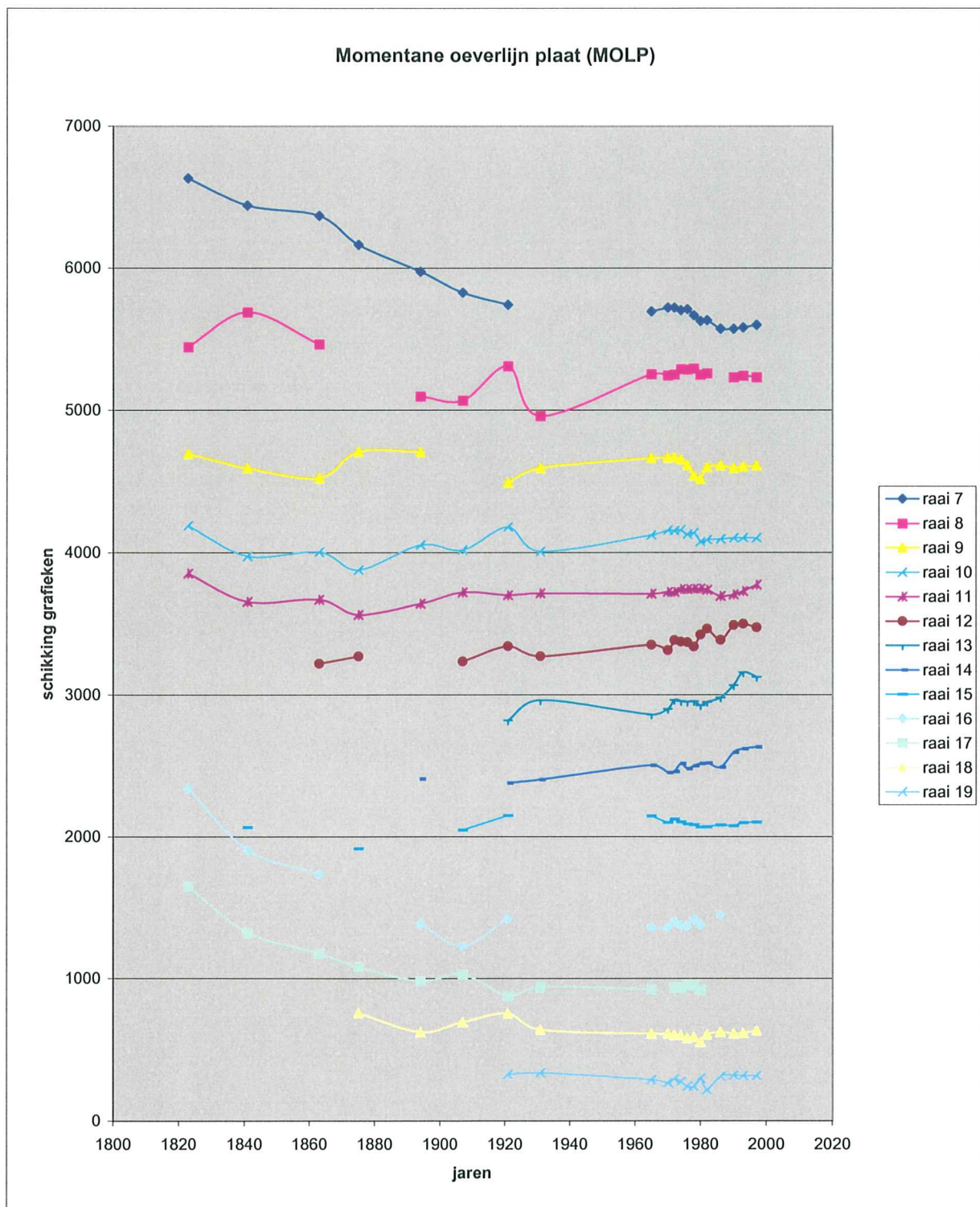
Westkapelle

Zoutelande

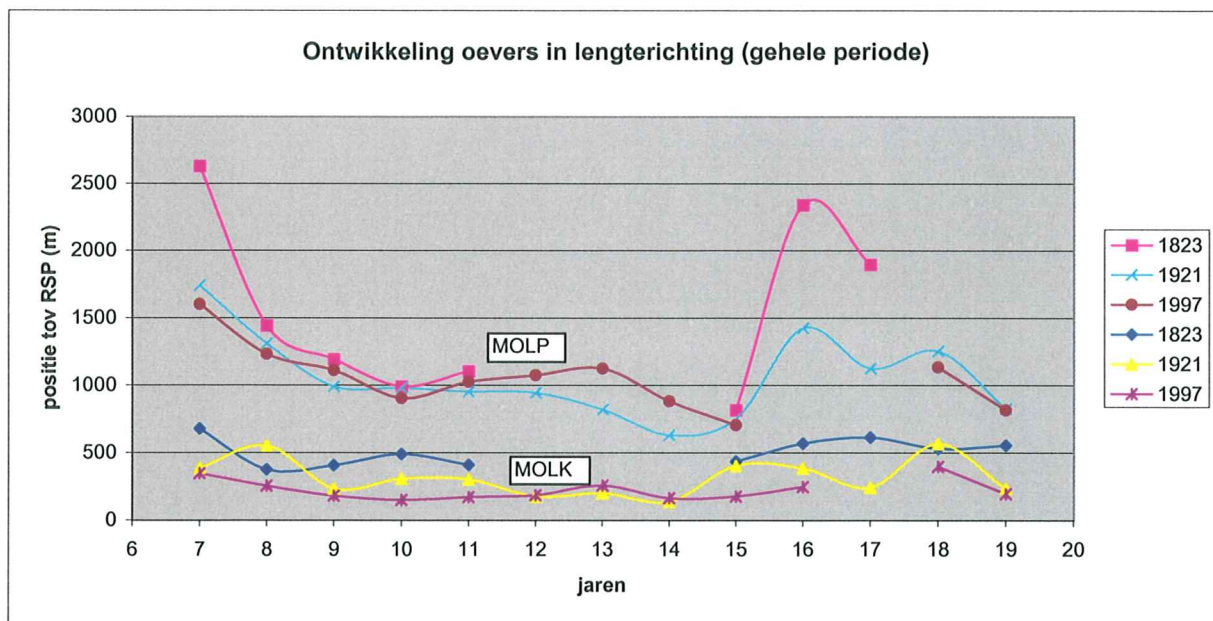
Vlissingen



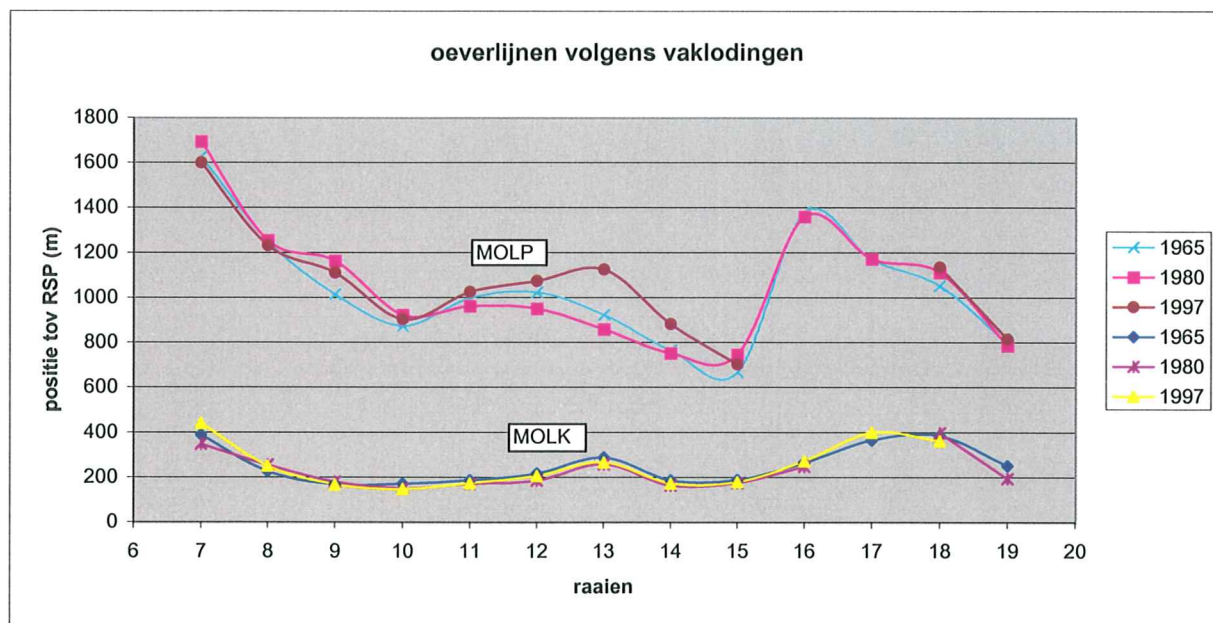
Figuur 8 verplaatsingssnelheden kustoever



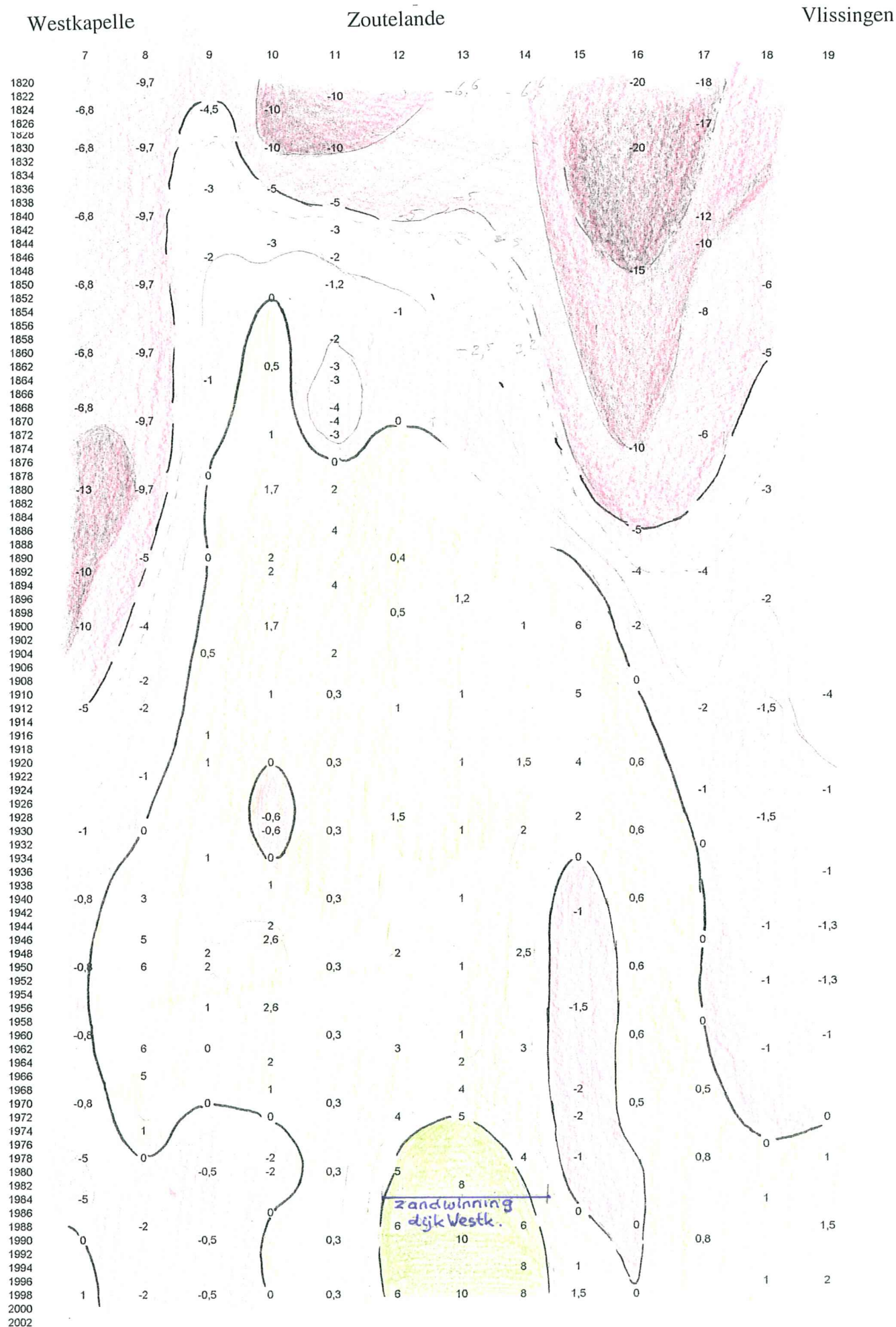
Figuur 9



figuur 10a



figuur 10b



Figuur 11 verplaatsingssnelheden plaatsoever

+ = zeewaarts
- = landwaarts

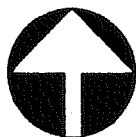
Bijlage 1

Historische opnemingen Oostgat

1823 - 1825

ZUID STEENBANK

HET STEENDIEP



-60000

KUEERENS OF

DOMBURGER

RASSEN

LANDSDIEP

CALOO

© H.K. DOMBURG

DE RASSEN

VUURTOREN
© WESTKAPELLE

W A L

-70000

DE DEURLOO

S T
BANKJE VAN ZOUTELANDE

© H.K. ZOUTELANDE

DE RAAN

DISHOEK

DE SPLEET

DE WALVISCHSTAART

DE ELBOOG

-80000

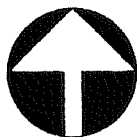
DE HOMPEL

WIELINGEN

1894/95 - 1898/99

STEENBANK

STEENDIEP



-60 000

ROOMPOT

OKUEERENS OF

DOMBURGER

RASSEN

H.K. DOMBURG

KALOO

BOTKIL

VUURTOREN
O WESTKAPELLE

W A L

R A S S E N

BANKJE

V A Y

ZOUTELANDE

GALGEPUT

ELLEBOOG

DISHOEK

SARDUNGEUL

NOLLEPLAAT

R A A N

WALVISCHSTAART

SPLEET

HOMPELS

WIELINGEN

-70 000

-80 000

1931/32 - 1933

STEENBANK

STEENDIEP



130 000

ROOMPOT

-60 000

KUEERENS OF

DOMBURGER

RASSEN

HK DOMBURG

BOTKIL

RASSEN

VUURTOREN
WESTKAPELLE

W A L

-70 000

DEURLOO

BANKJE VAN ZOUTELANDE
HK ZOUTELANDE

RAAN

WALVISCHSTAART

ELLEBOOG

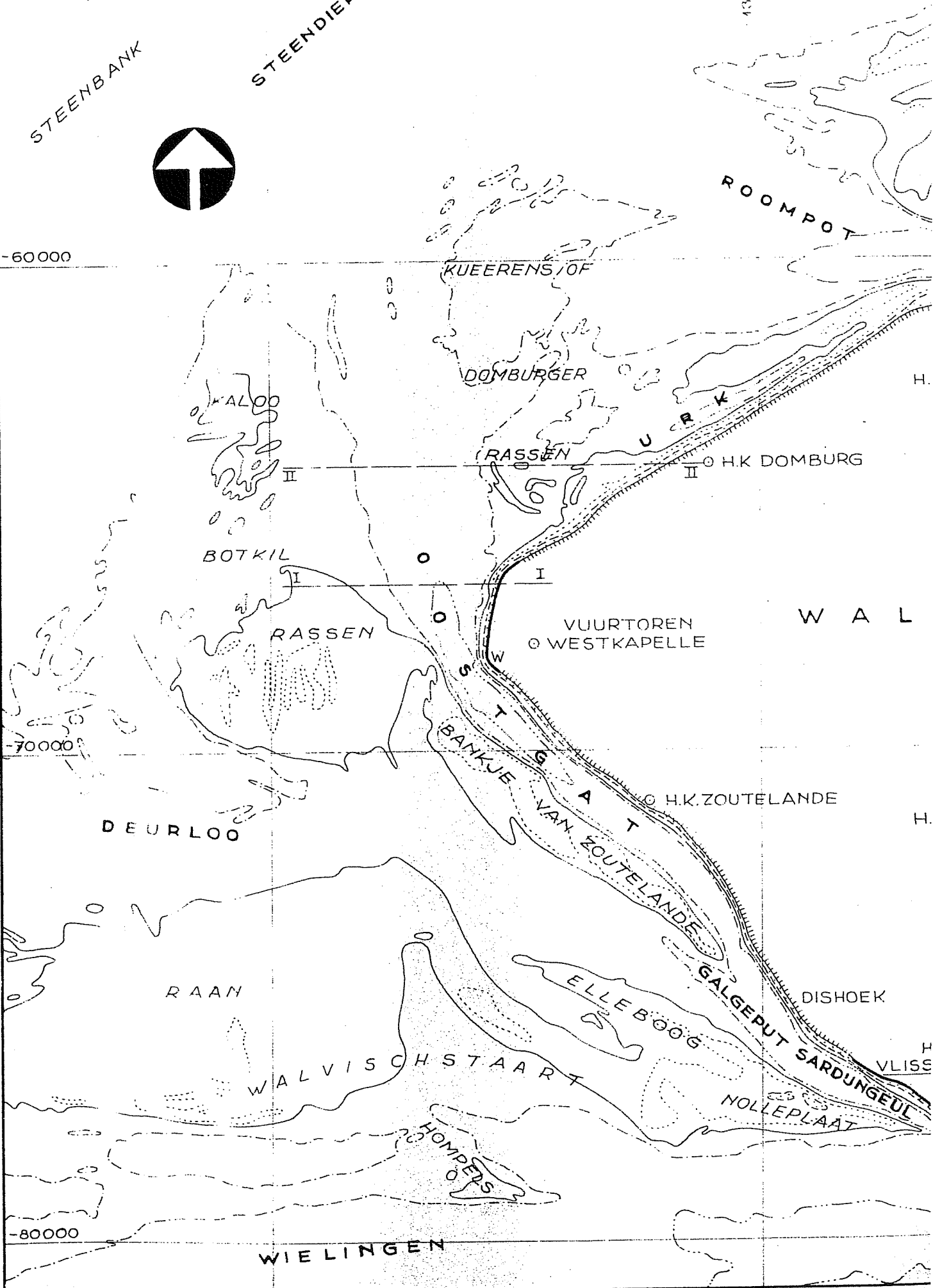
DISHOEK

GALGEPUT SARDUNGEUL

-80 000

WIELINGEN

HOMPERS



1967

STEENBANKEN

STEENDIEP



-130000

-60000

ROOMPO

KALOO

KUEERENS OF

DOMBURGER

H.

II

RASSEN

HK DOMBURG

BOTKYL

RASSEN

VUURTOREN

WESTKAPELLE

W A L

-70000

DEURLOO

KIE VAN

WESTKAPELLE

BANKJE VAN

ZOUTELANDE

ST

W

S

T

G

A

T

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

S

H.K. ZOUTELANDE

H.

RAAN

WALVISCHSTAART

U

J

E

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

L

DISHOEK

P

V

L

I

S

NOLLEPLAAT

R

I

HOMPELS

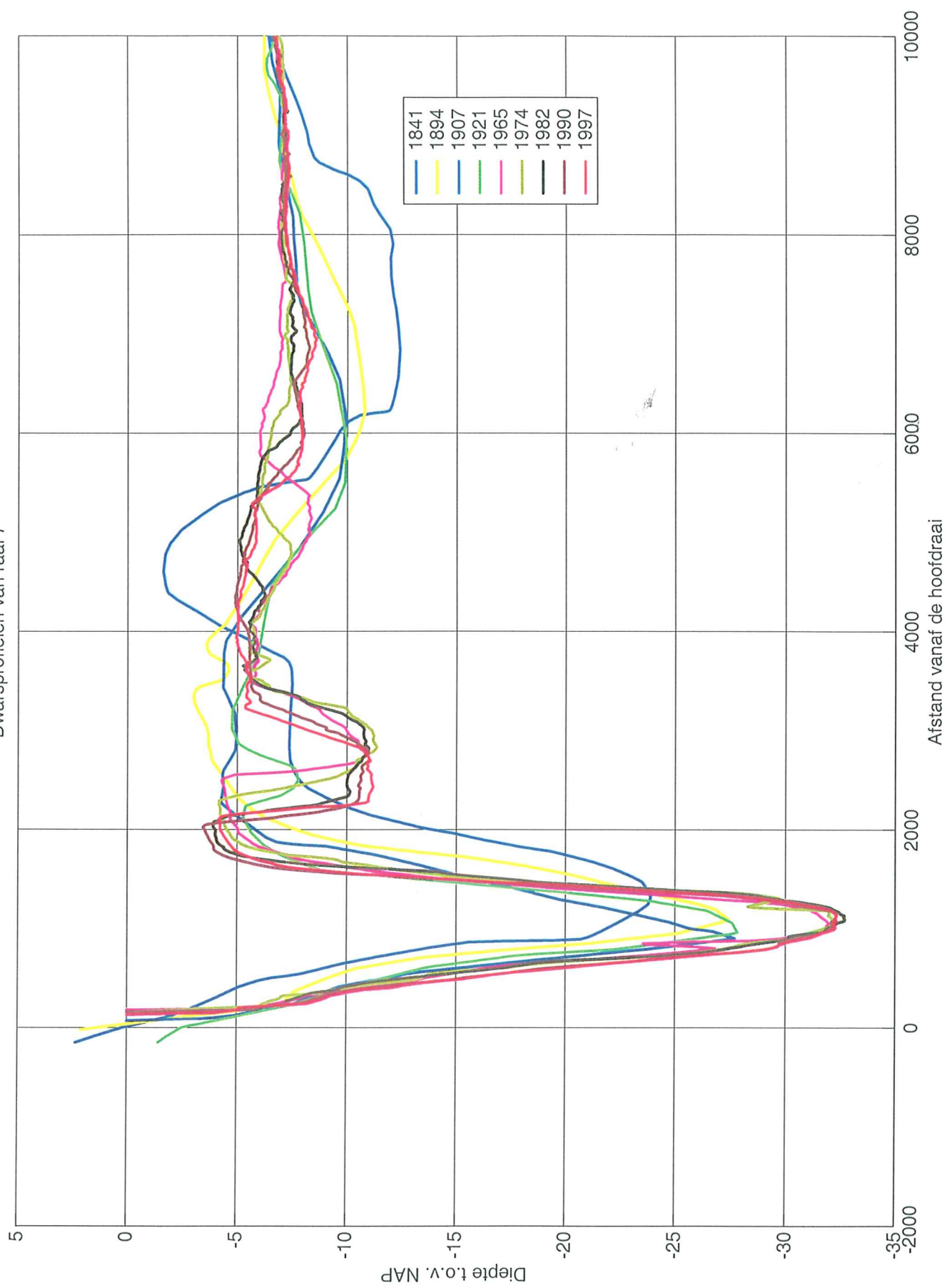
-80000

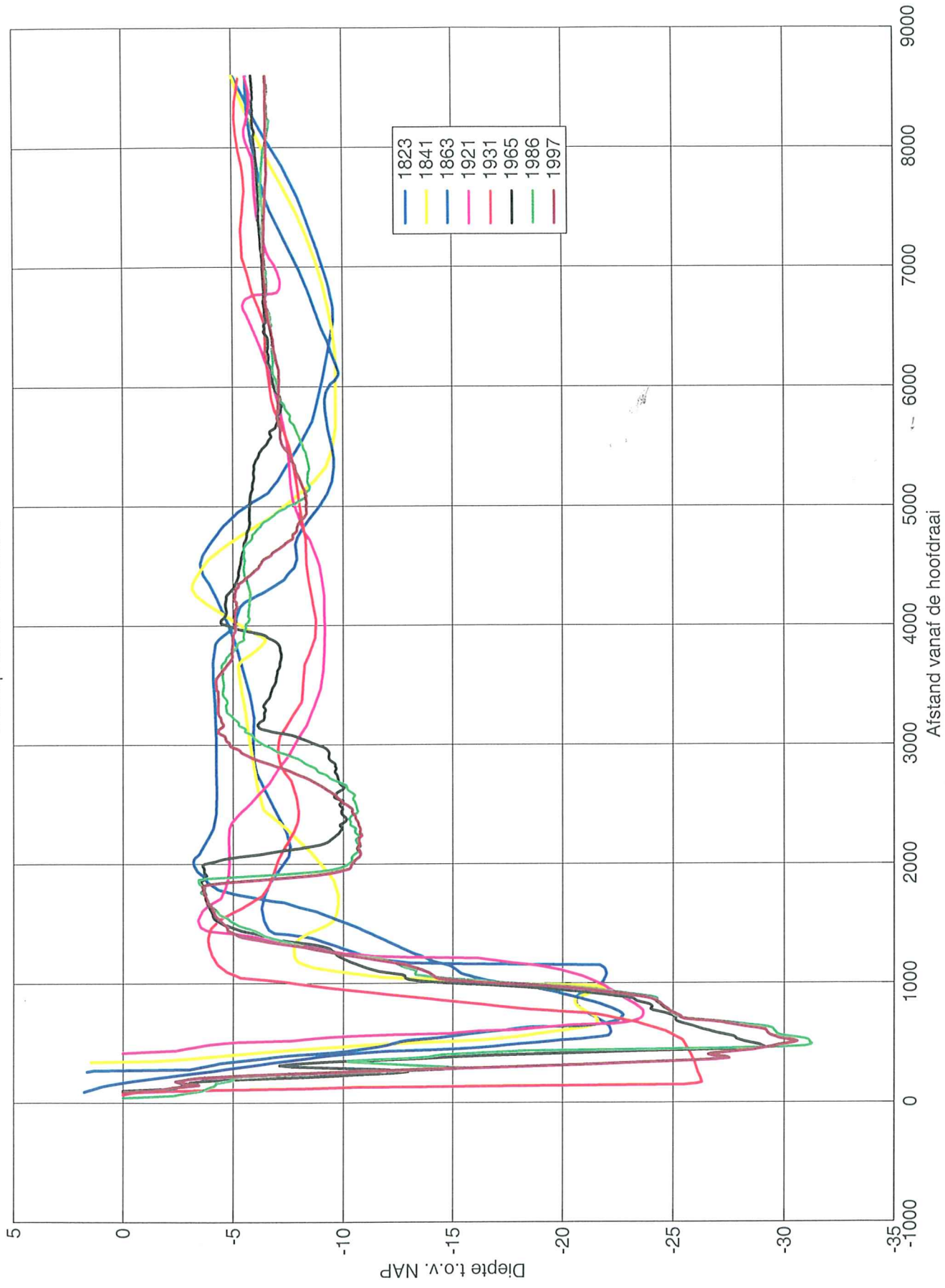
WIELINGEN

Bijlage 2

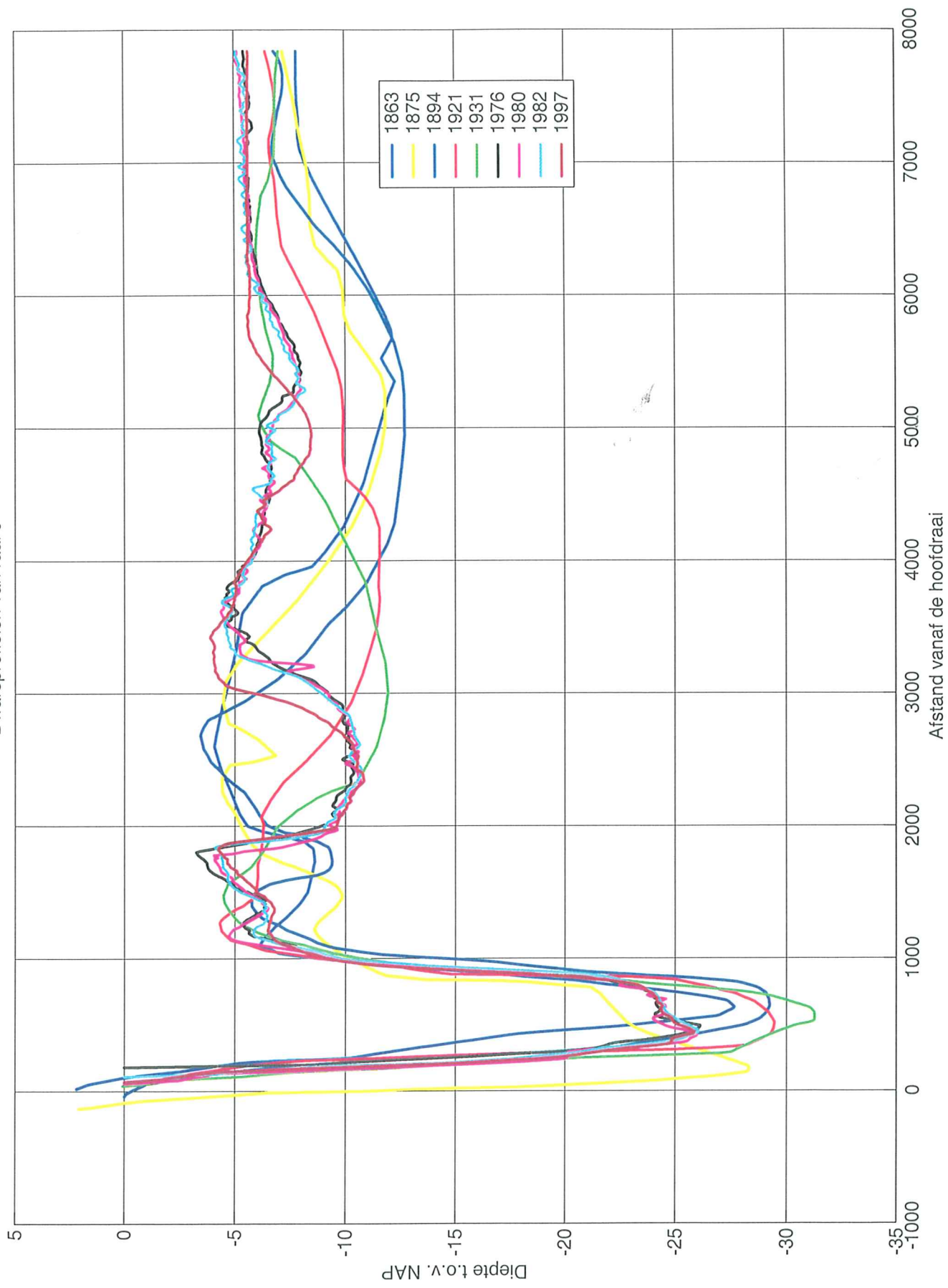
Geulprofielen Oostgat

Dwarsprofielen van raai 7

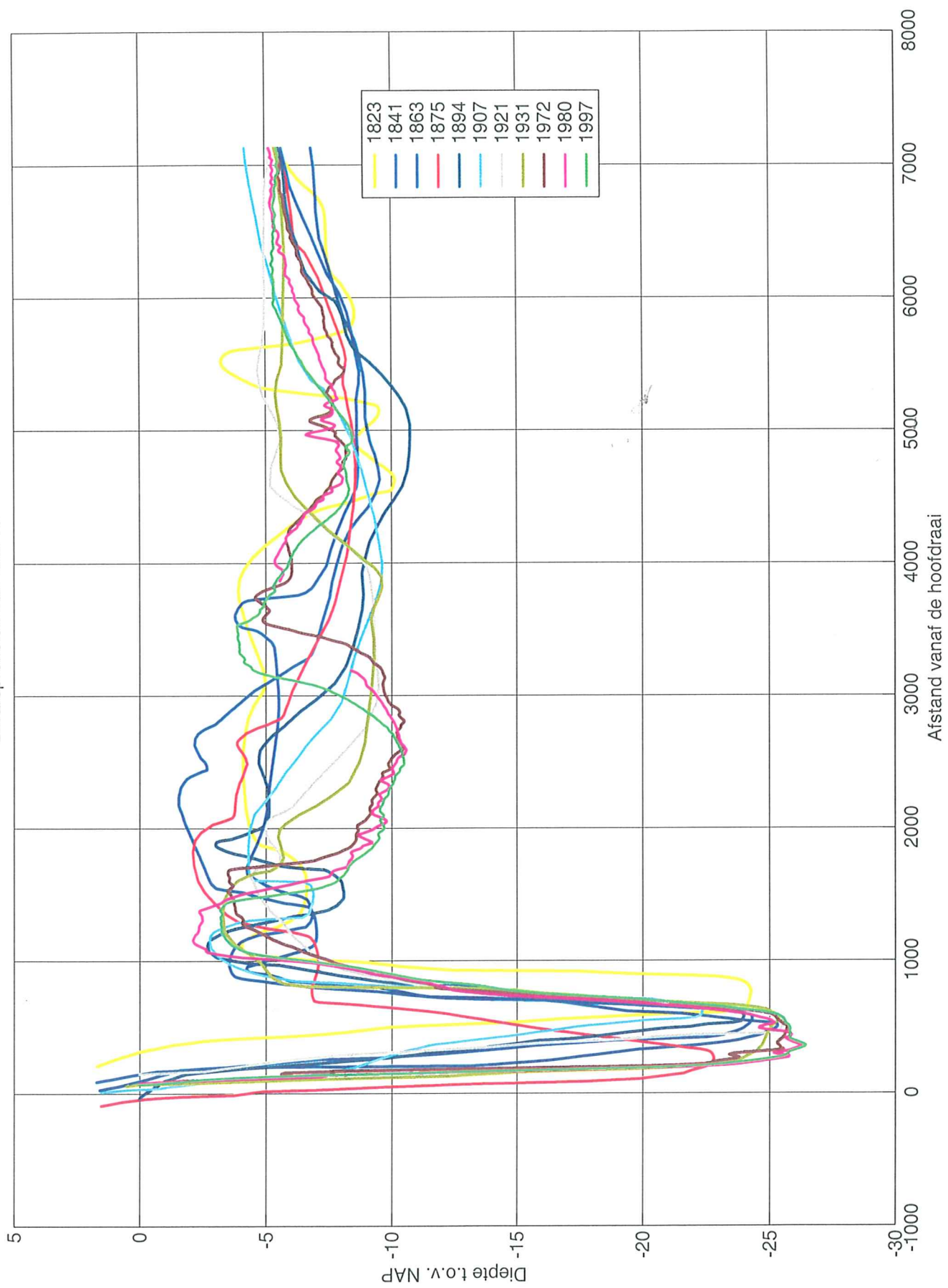




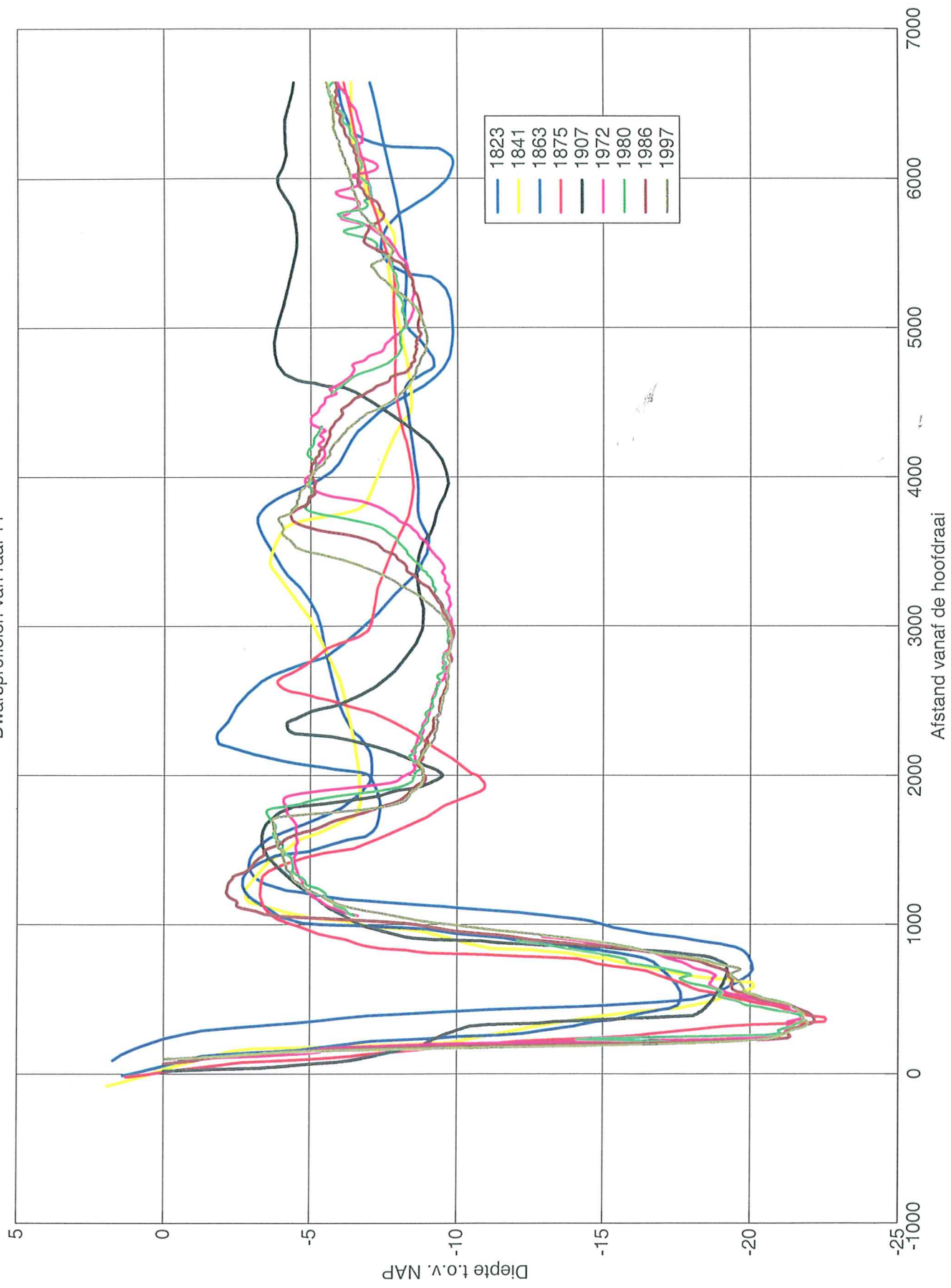
Dwarsprofielen van raai 9



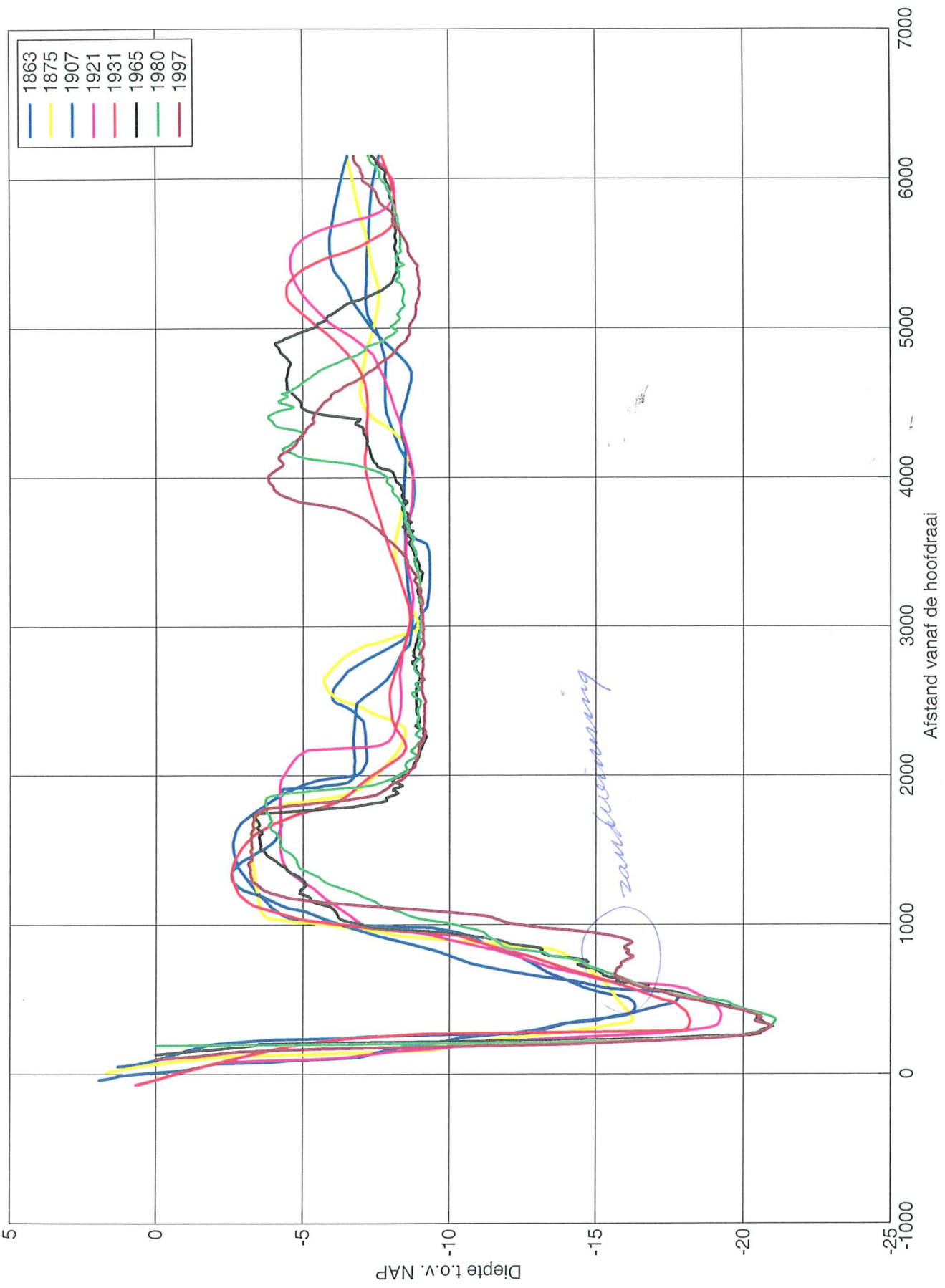
Dwarsprofielen van raai 10



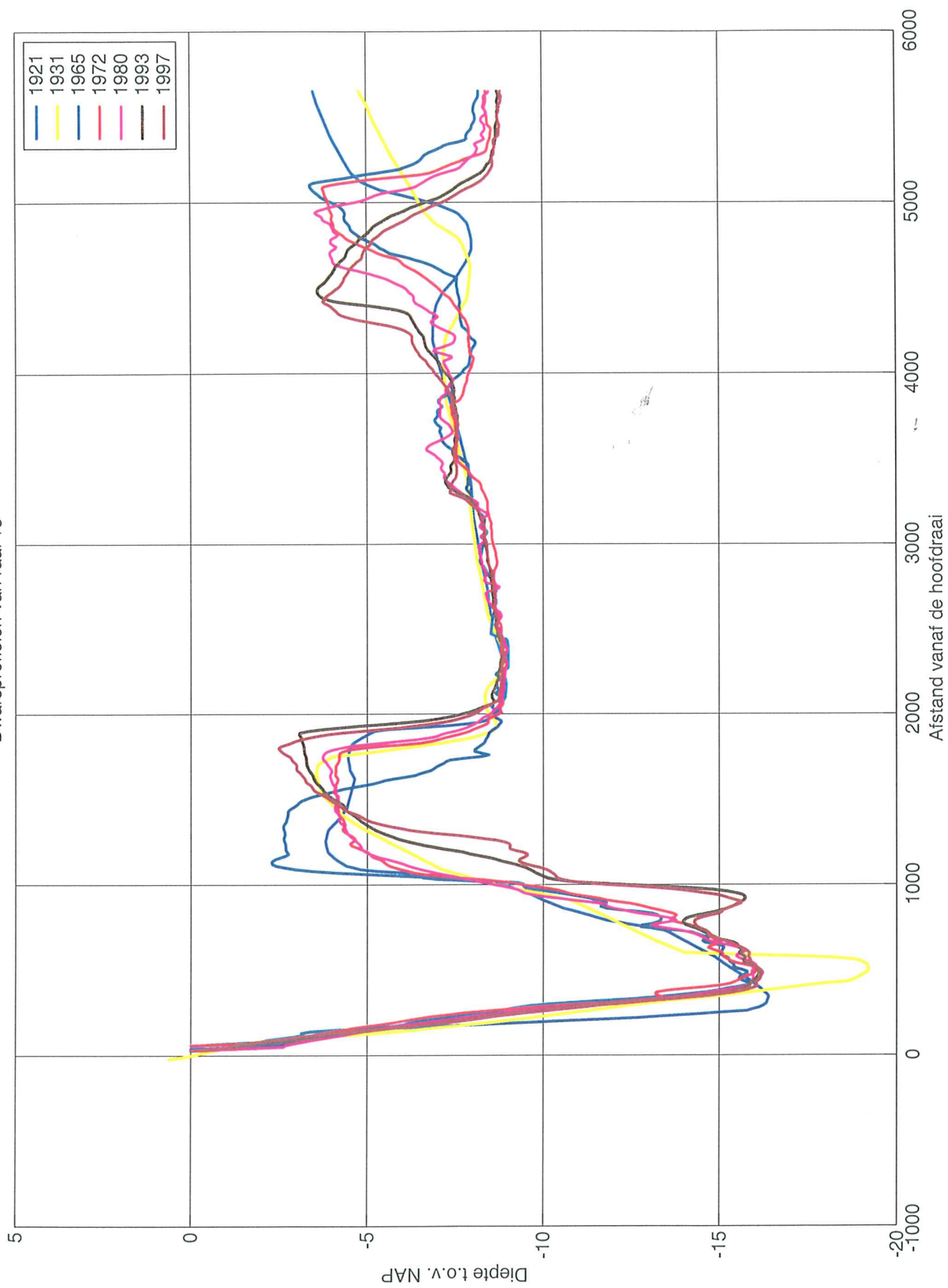
The graph displays the water level profile (Diepte t.o.v. NAP) along the distance from the head of the main channel (Afstand vanaf de hoofdraai) for various years from 1823 to 1997. The Y-axis represents the depth relative to NAP, ranging from -25 to 5. The X-axis represents the distance from the head of the main channel, ranging from 0 to 7000. The legend indicates the years: 1823 (blue), 1841 (yellow), 1863 (dark blue), 1875 (red), 1907 (black), 1972 (magenta), 1980 (green), 1986 (brown), and 1997 (olive). The profiles show a significant increase in water level depth (becoming less negative) over time, particularly in the middle section of the channel (around 2000 to 4000 distance units).



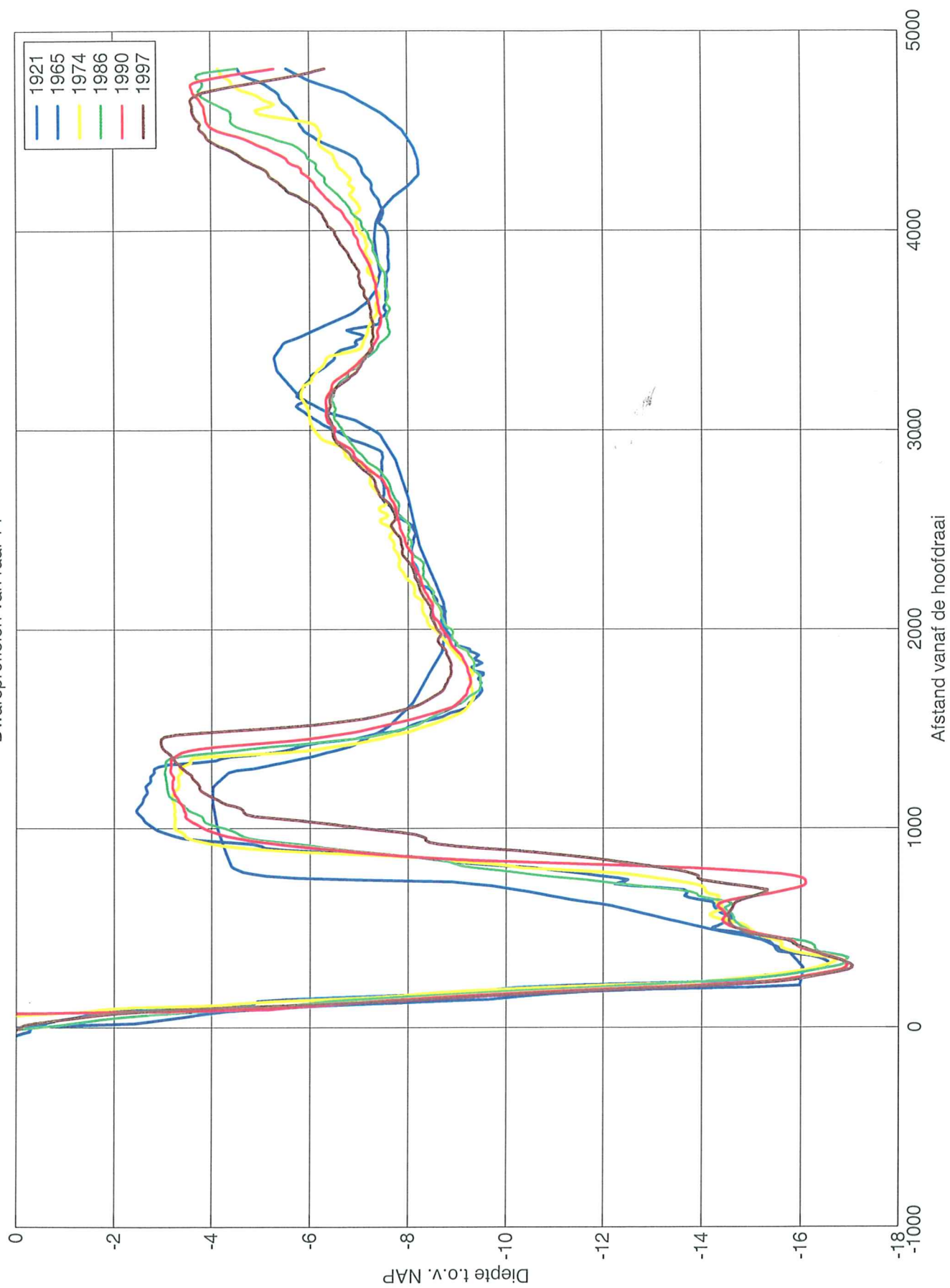
The graph illustrates the longitudinal profile of a river channel over time. The y-axis, 'Diepte t.o.v. NAP', ranges from -25 to 5. The x-axis, 'Afstand vanaf de hoofdraai', ranges from 0 to 7000. The legend indicates the following years: 1863 (blue), 1875 (yellow), 1907 (dark blue), 1921 (magenta), 1931 (red), 1965 (black), 1980 (green), and 1997 (brown). A blue circle highlights a specific area around 1000-1500 distance, labeled 'zandbuitening'.



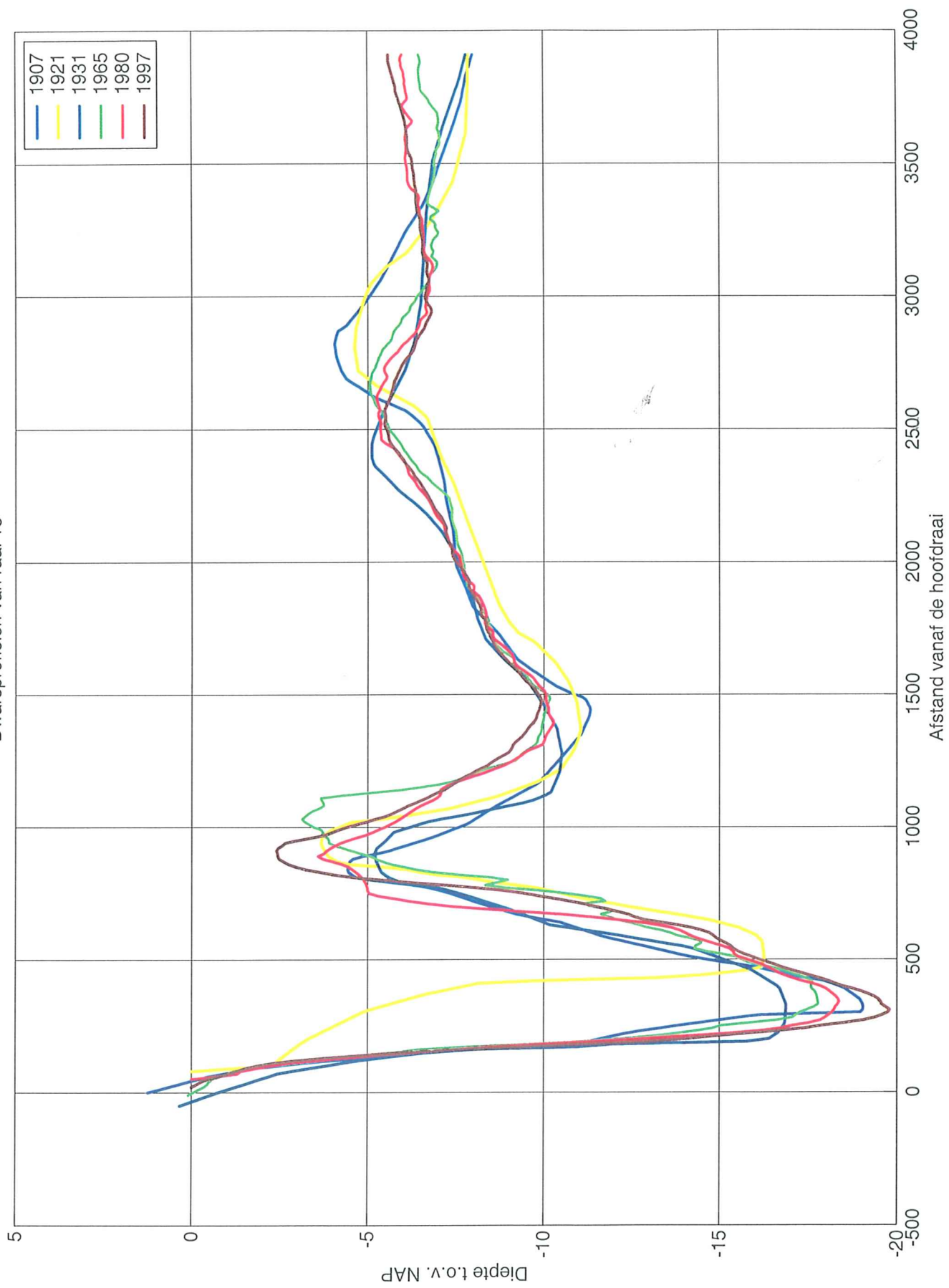
Dwarsprofielen van raai 13



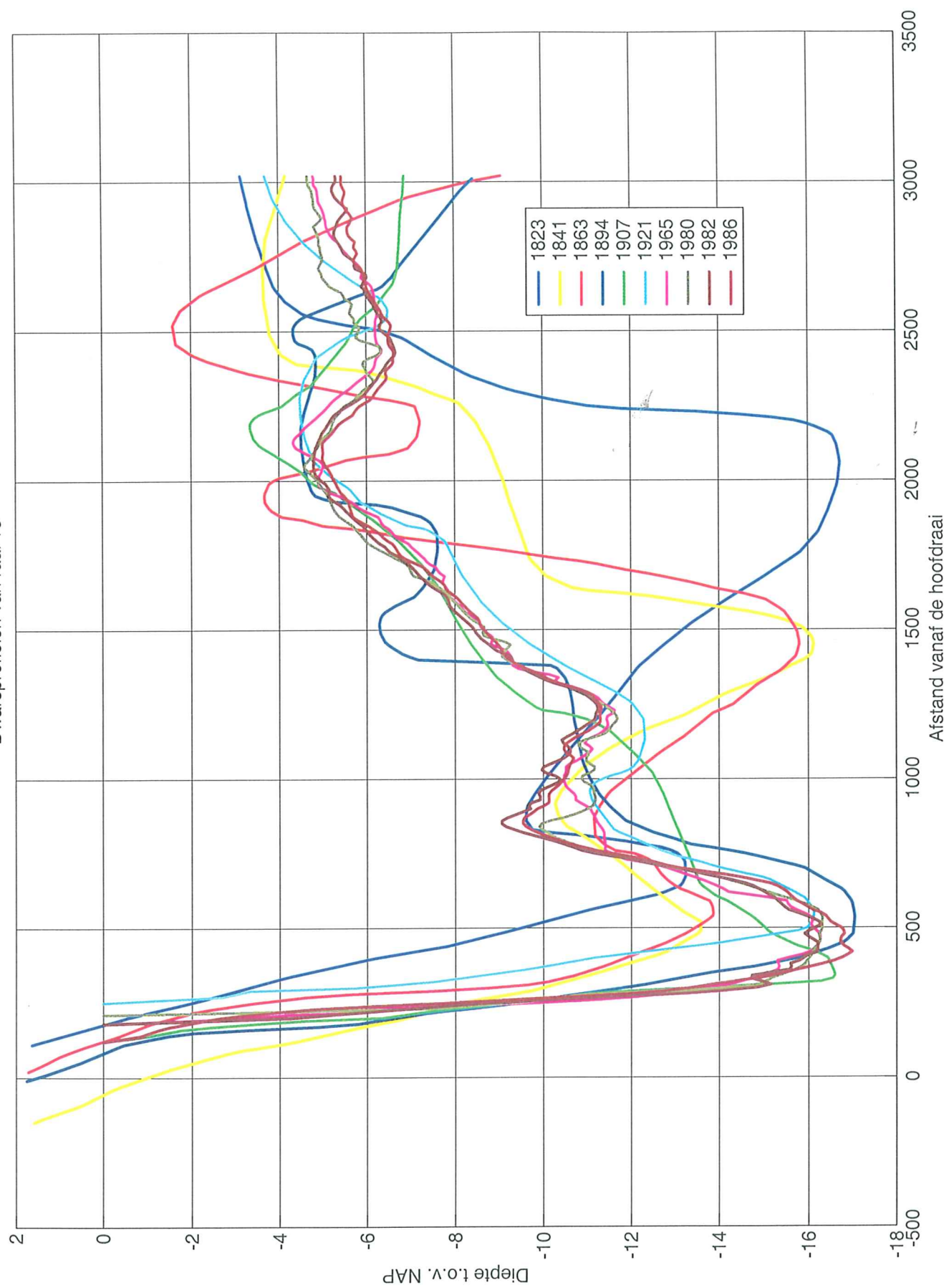
Dwarsprofielen van raai 14

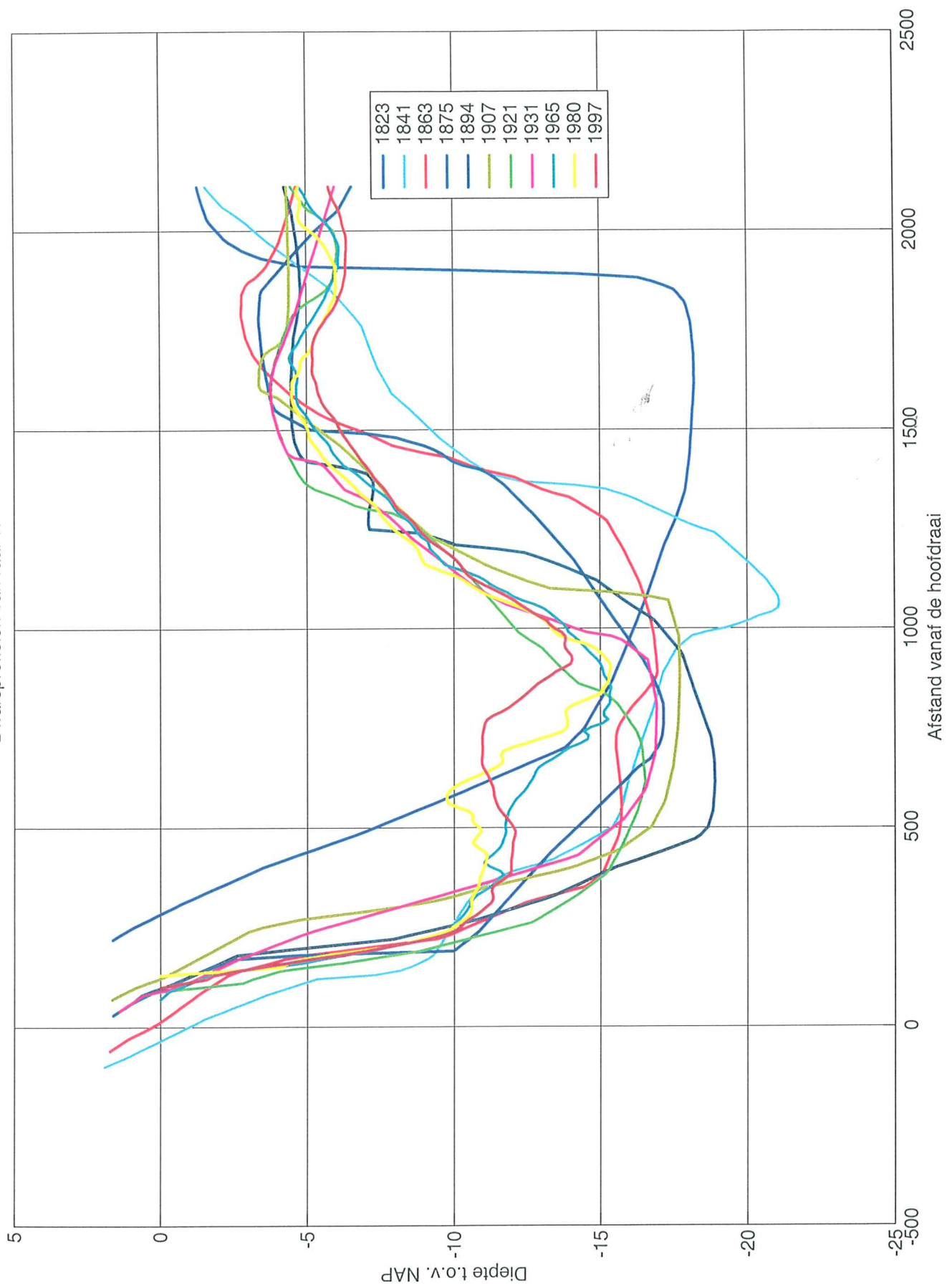


Dwarsprofielen van raai 15

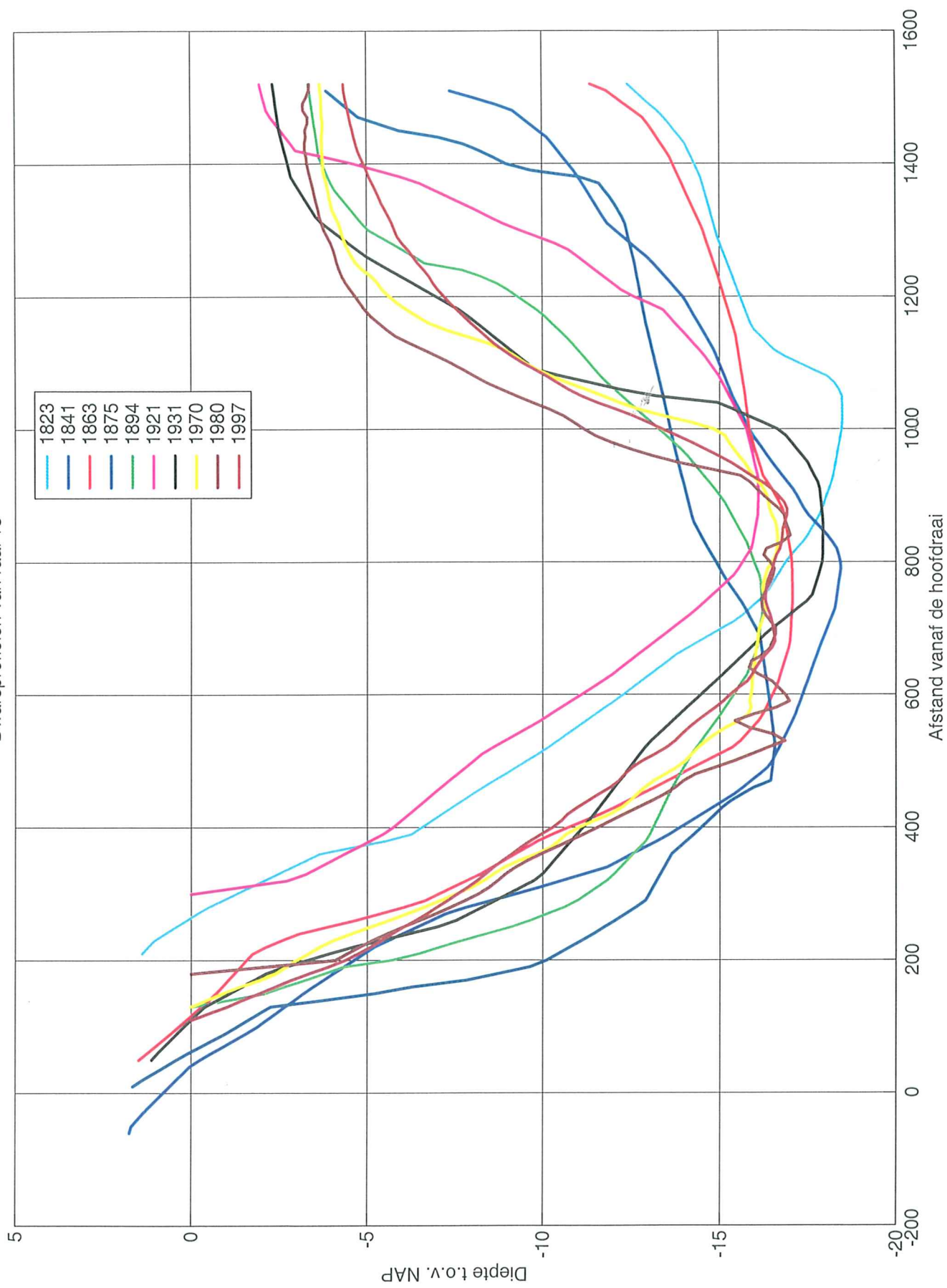


Dwarsprofielen van raai 16

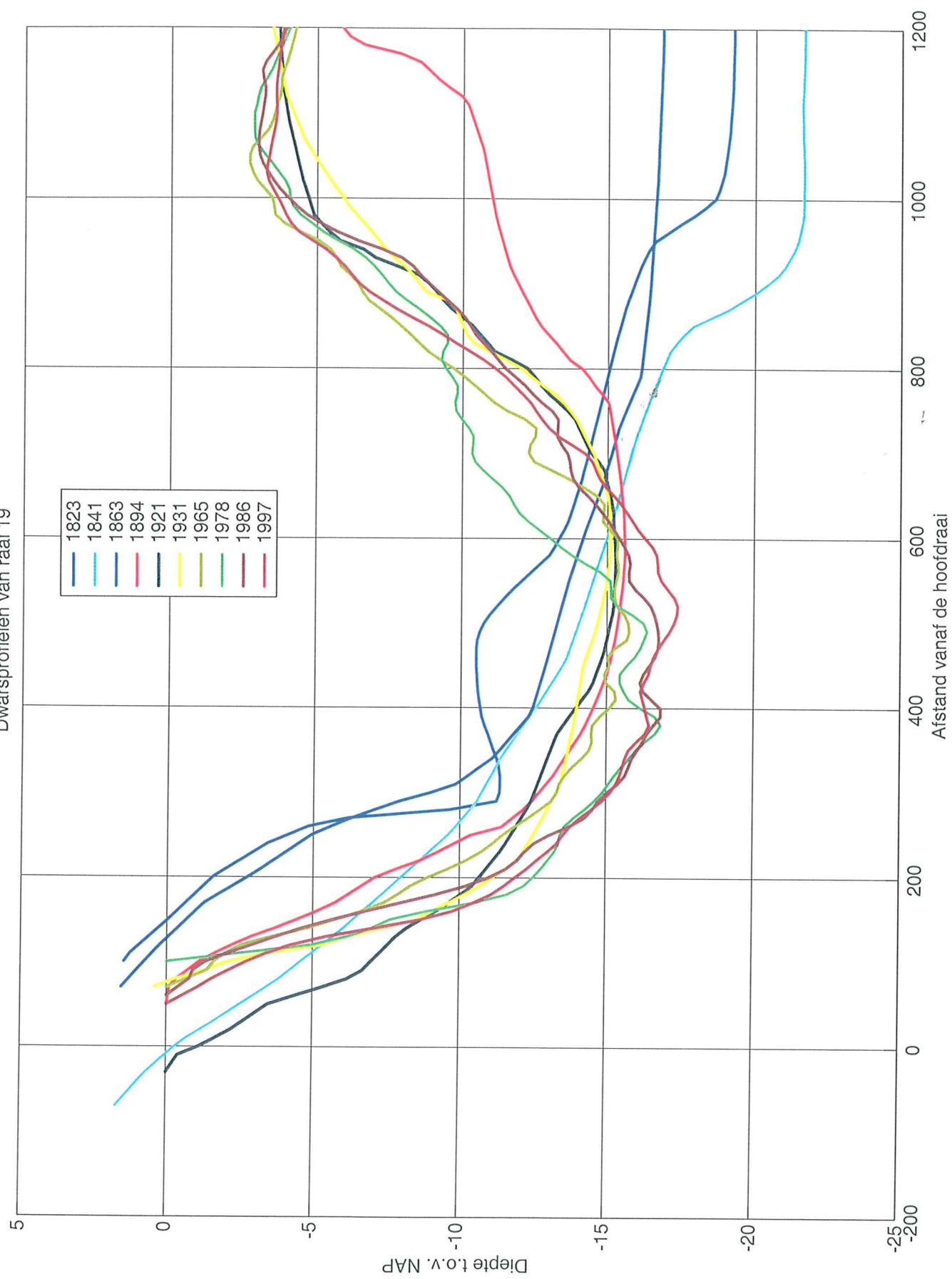




Dwarsprofielen van raai 18



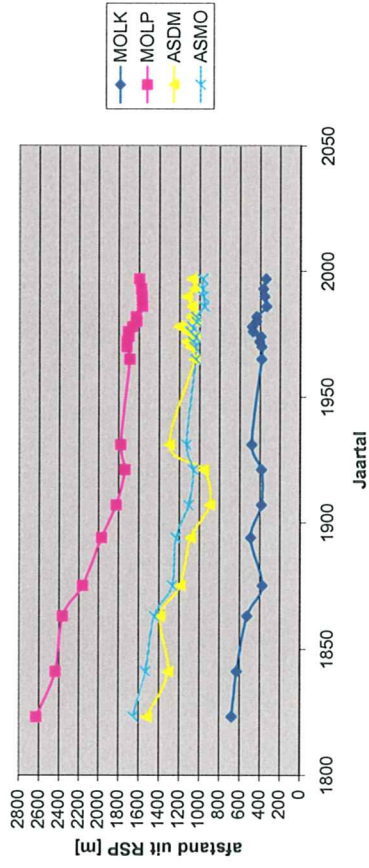
Dwarsprofielen van raai 19



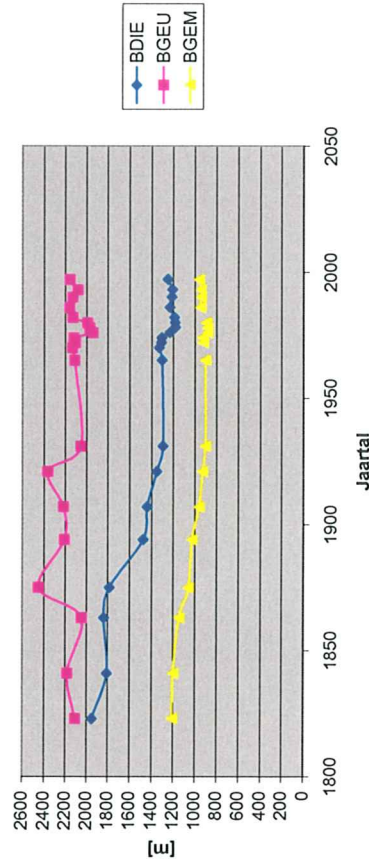
Bijlage 3

Tijdreeksen parameters geul, oevers, plaat

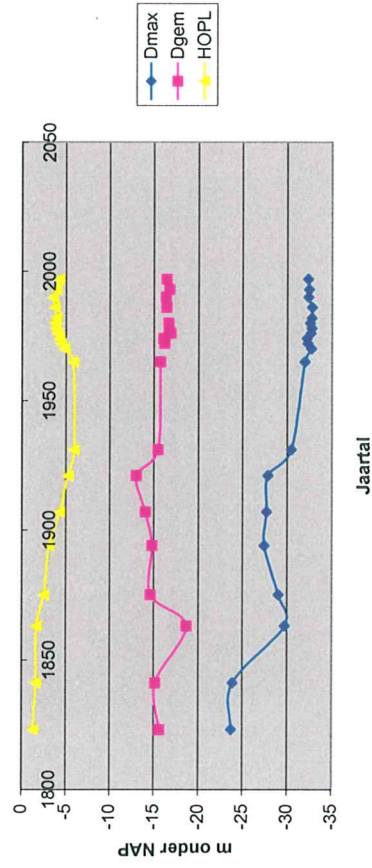
Raai 7 . Verplaatsing kust- en plaattoever; geulas



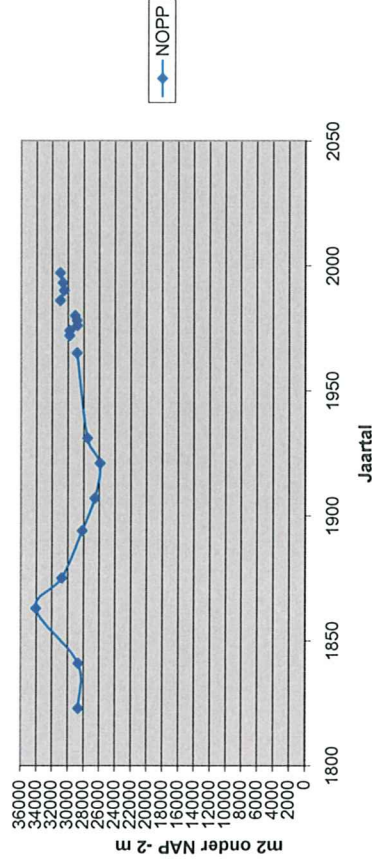
Raai 7 . Geulbreedte



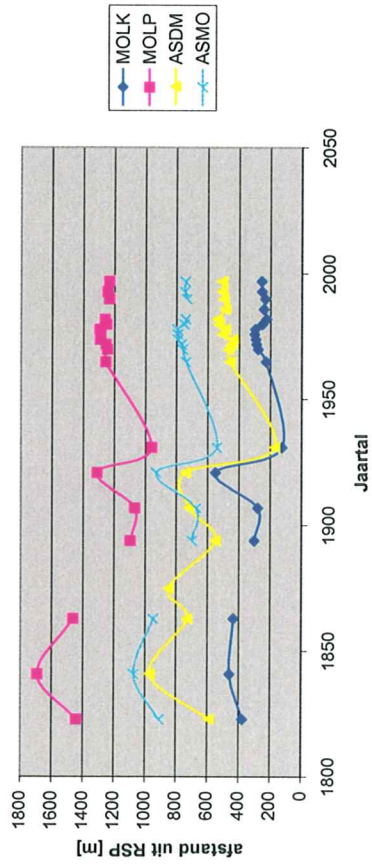
Raai 7 . Geuldiepte/ plaathoogte



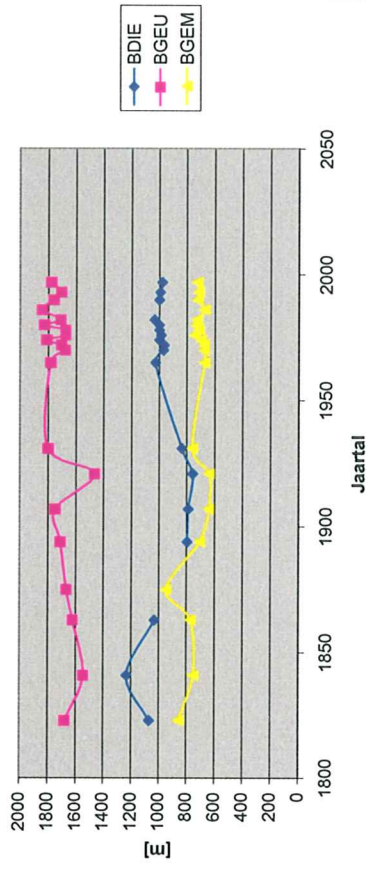
Raai 7 . Natte geuloppervlakte



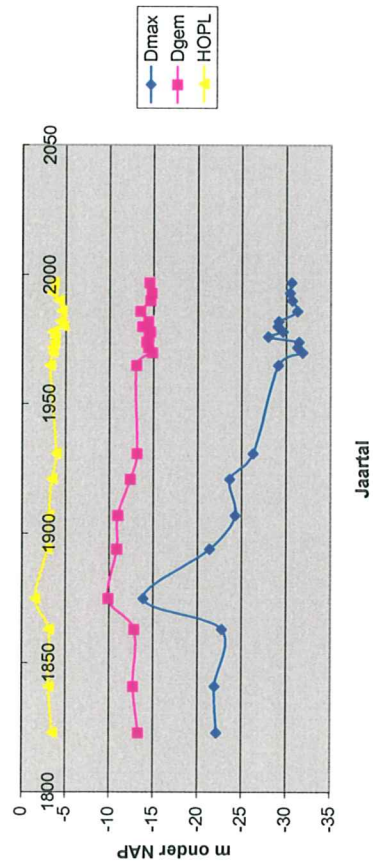
Raai 8 . Verplaatsing kust- en plaatsoever, geulas



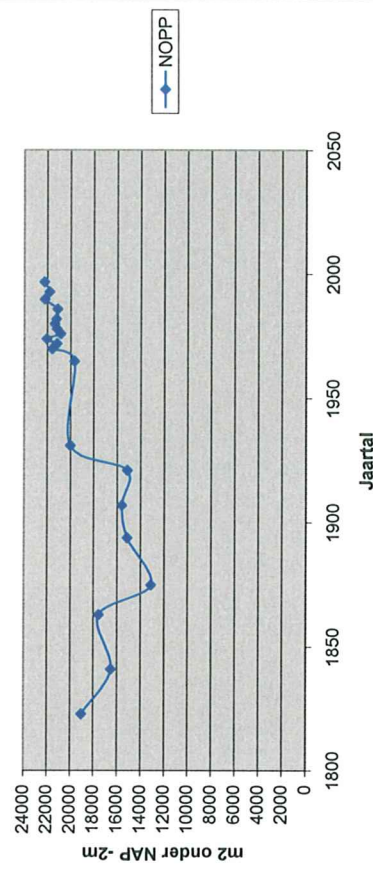
Raai 8 . Geulbreedte

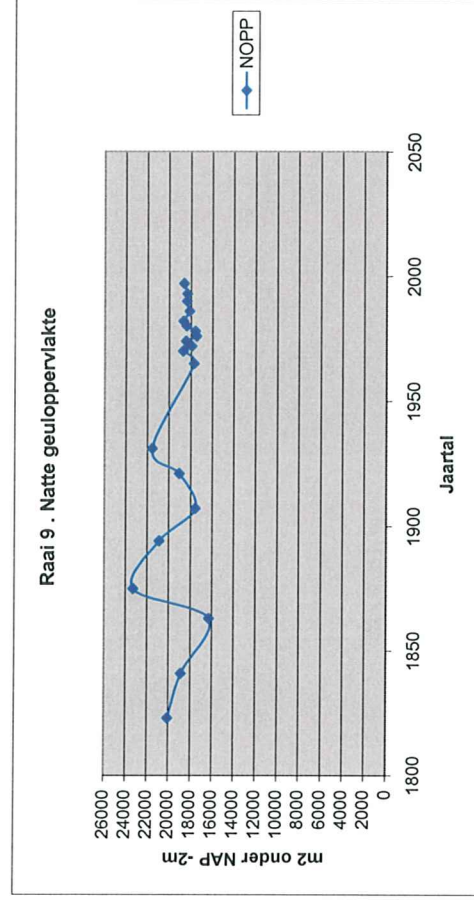
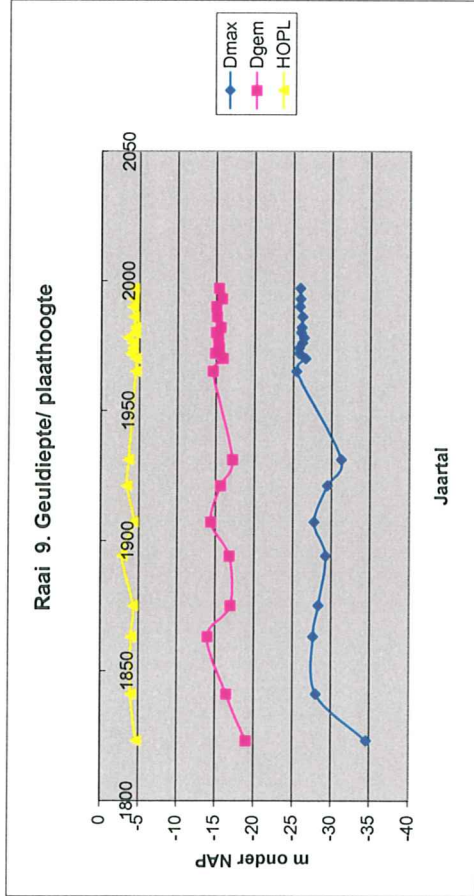
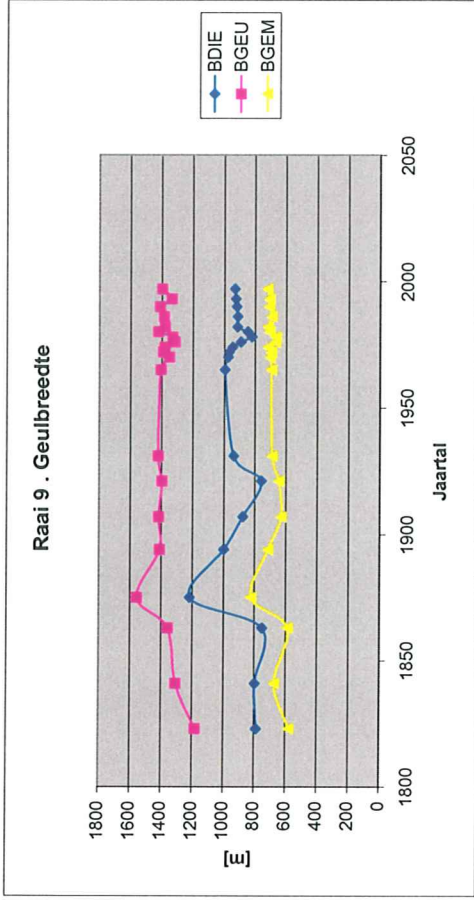
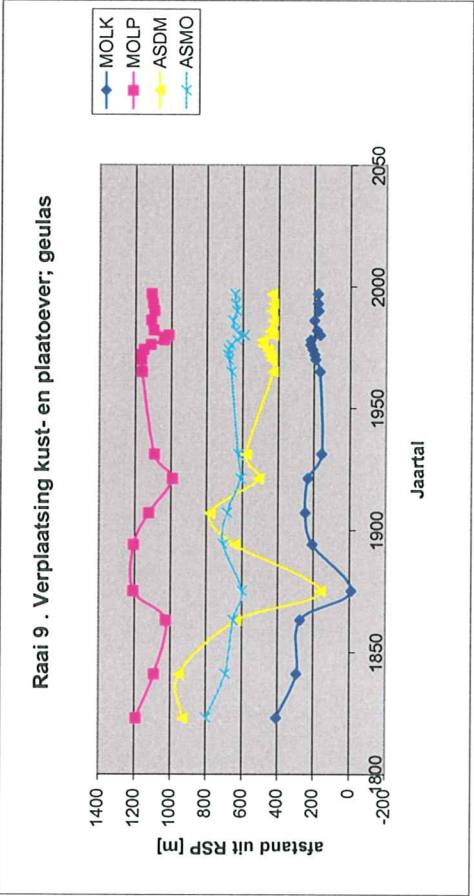


Raai 8 . Geuldiepte/ plaatthoogte

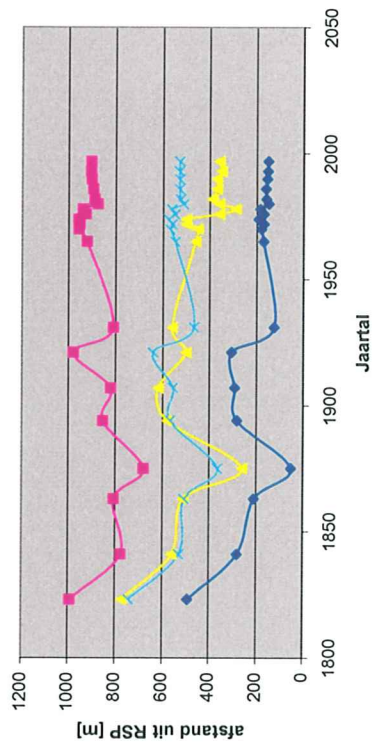


Raai 8 . Natte geuloppervlakte

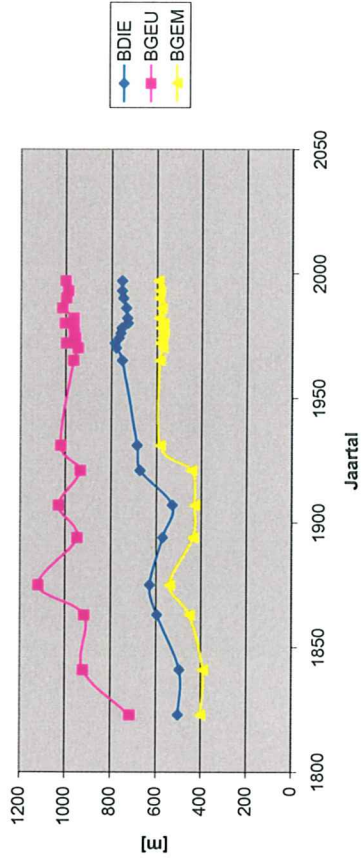




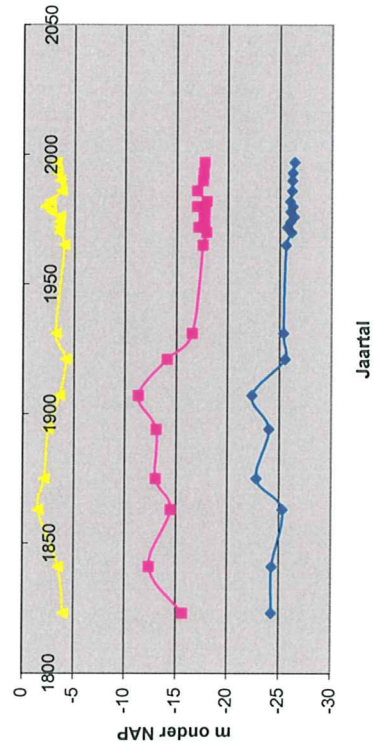
Raai 10 . Verplaatsing kust- en plaatsoever; geulas



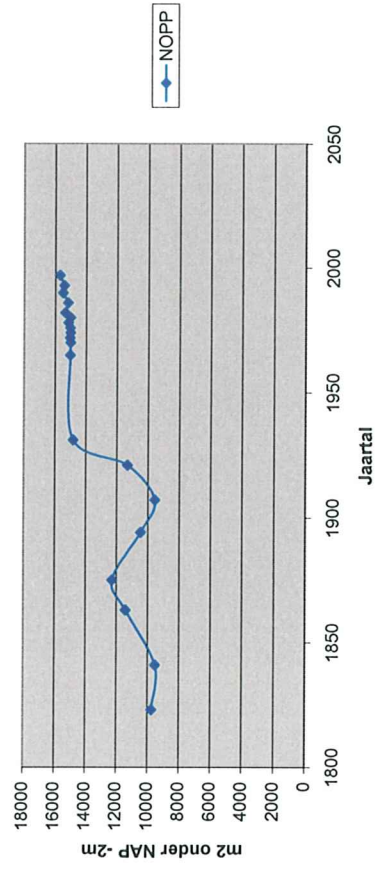
Raai 10 . Geulbreedte



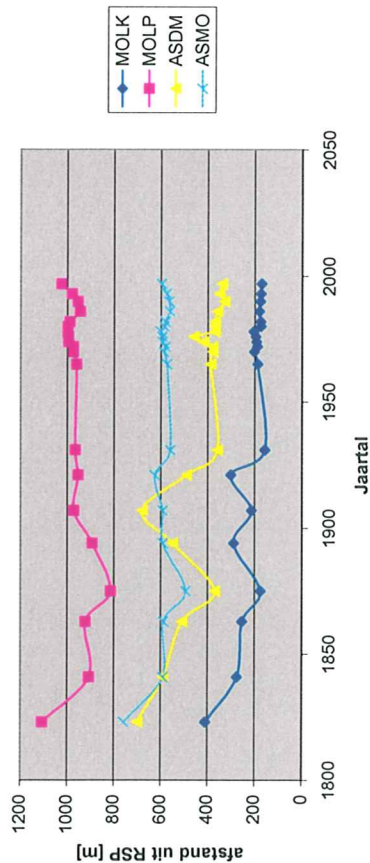
Raai 10 . Geuldiepte/ plaatthoogte



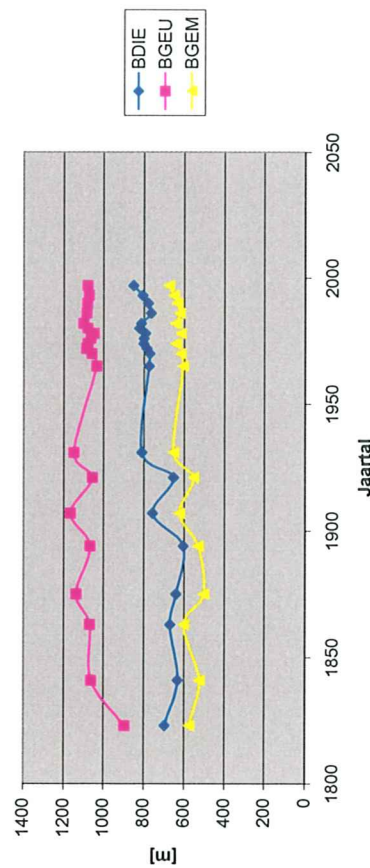
Raai 10 . Natte geuloppervlakte



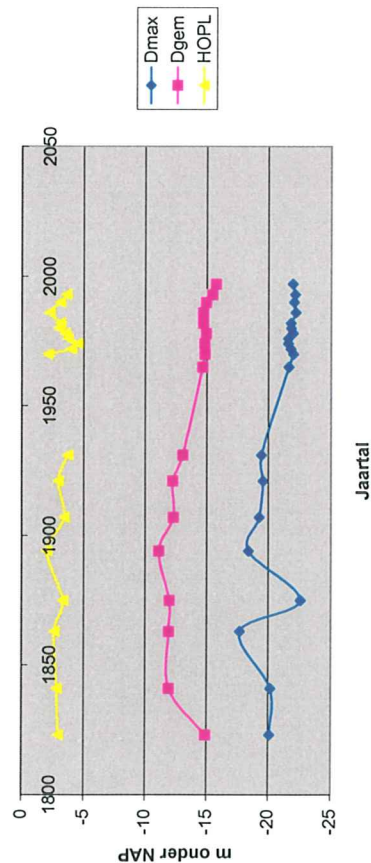
Raai 11 . Verplaatsing kust-en plaattoever; geulas



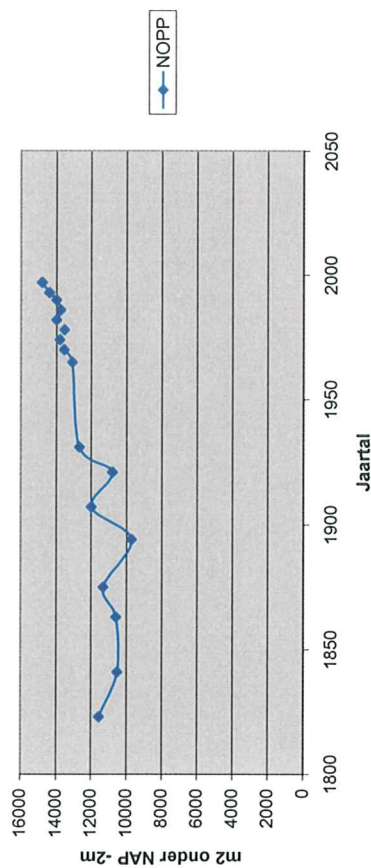
Raai 11 . Geulbreedte



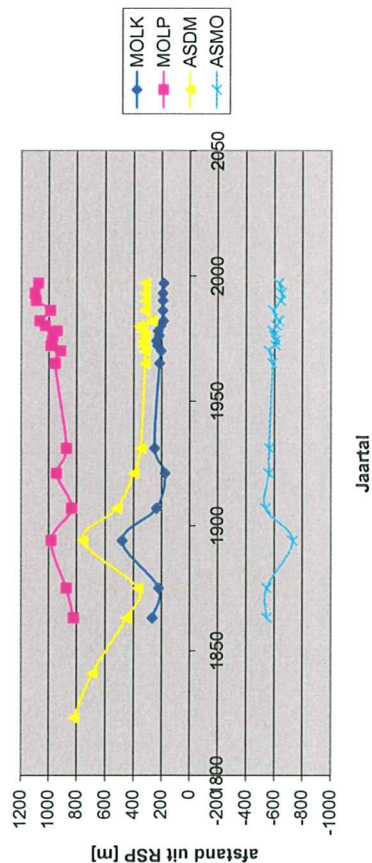
Raai 11 . Geuldiepte/ plaathoogte



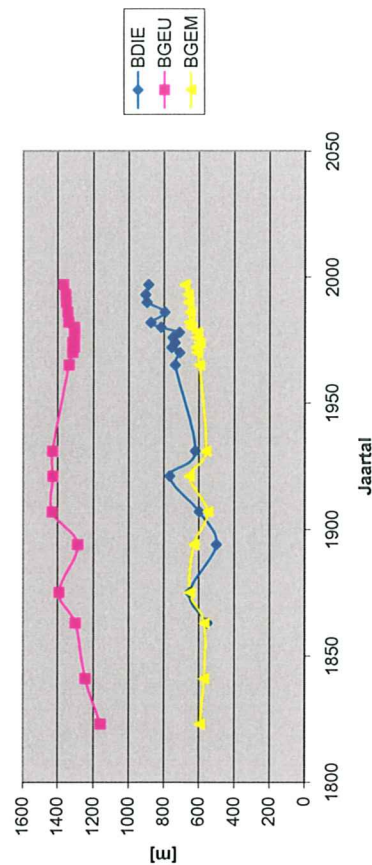
Raai 11 . Natte geuloppervlakte



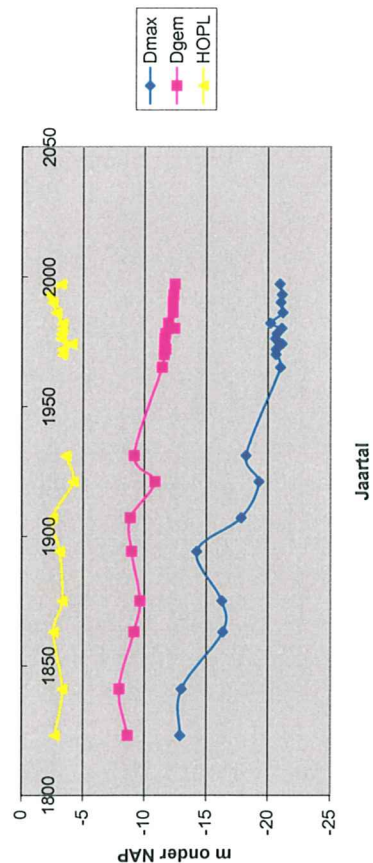
Raai 12 . Verplaatsing kust- en plaatoever; geulas



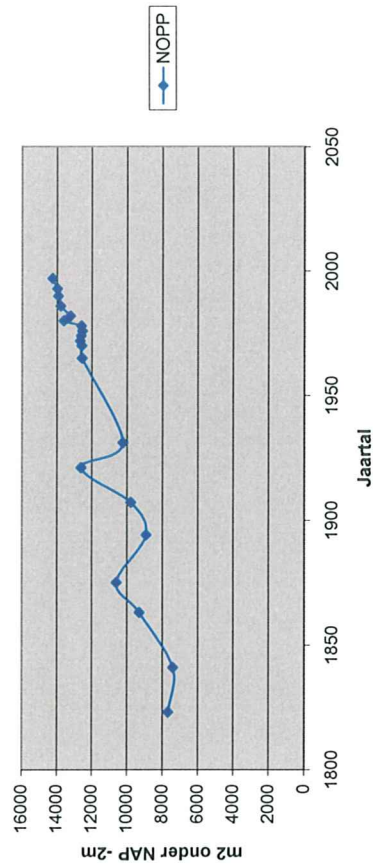
Raai 12 . Geulbreedte



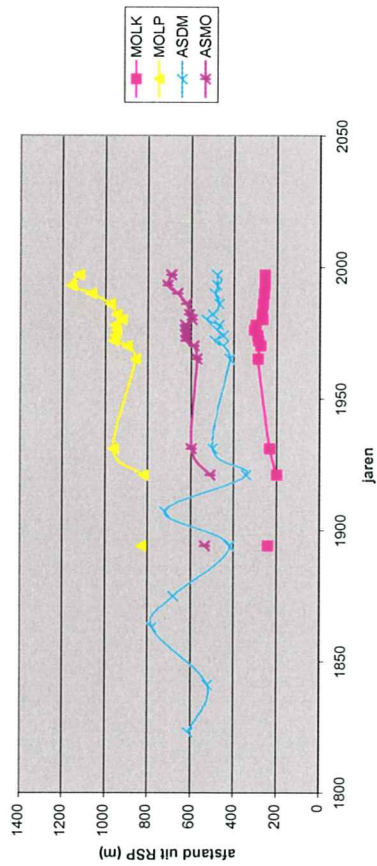
Raai 12 . Geuldiepte/ plaathoogte



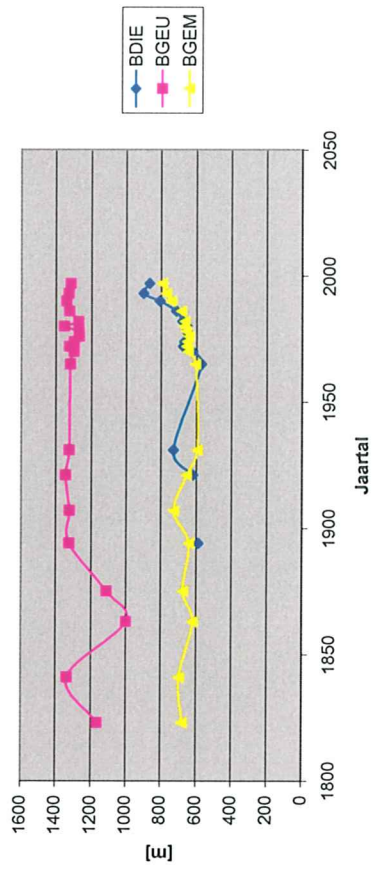
Raai 12 . Natte geuloppervlakte



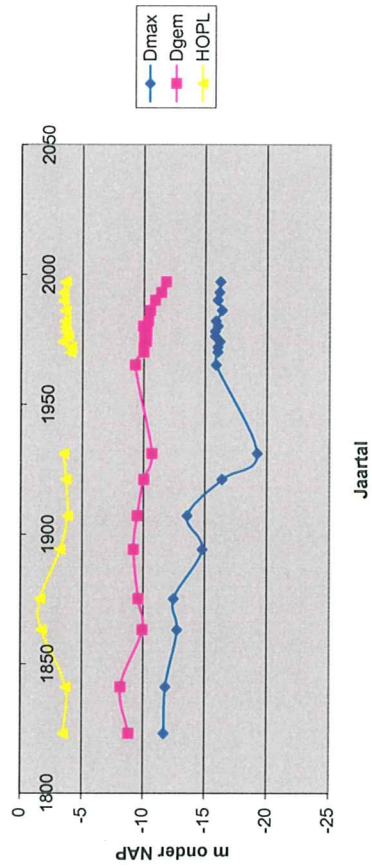
Raai 13. Verplaatsing kust-en oever; geulas



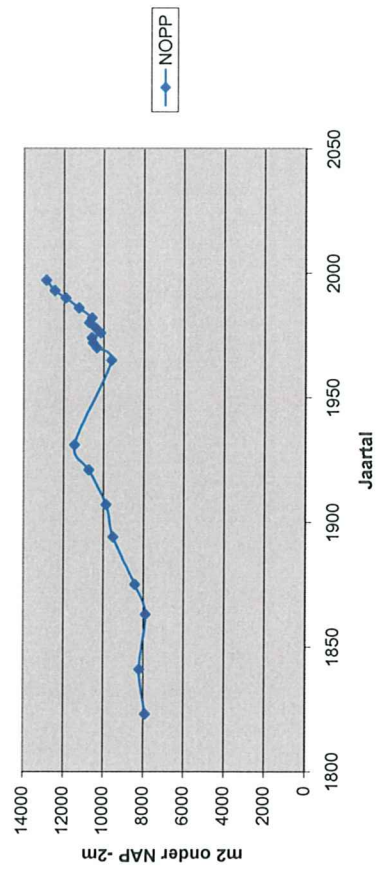
Raai 13 . Geulbreedte



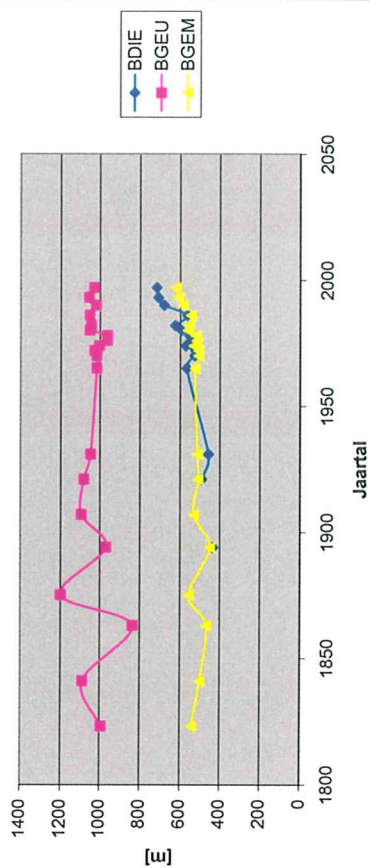
Raai 13 . Geuldiepte/plaathoogte



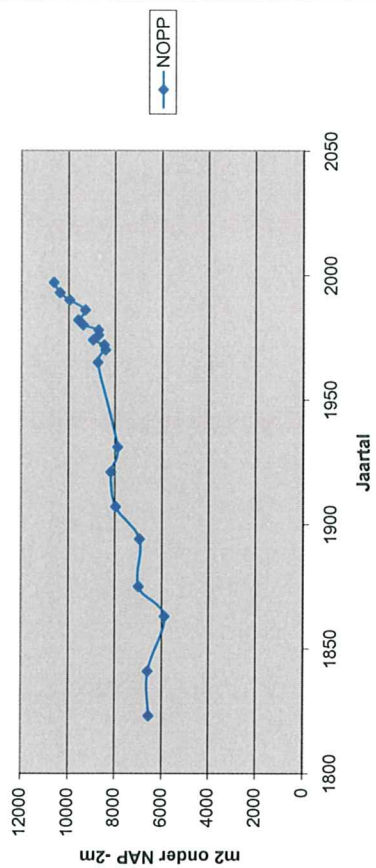
Raai 13 . Natte geuloppervlakte



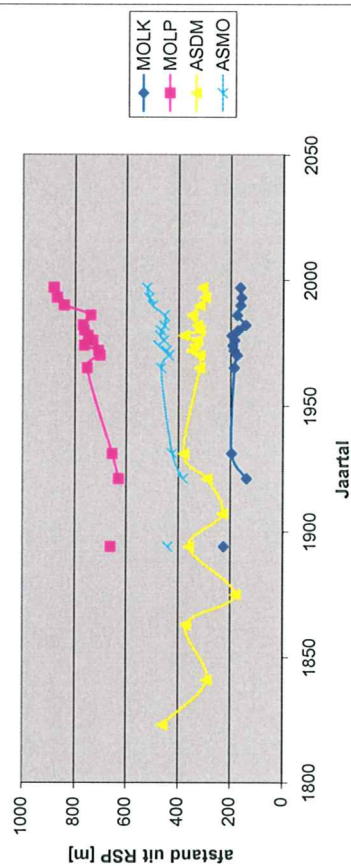
Raai 14 . Geulbreedte



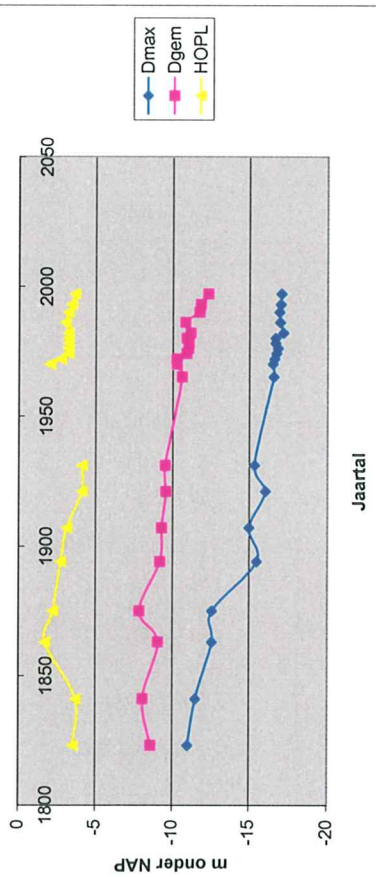
Raai 14 . Natte geuloppervlakte



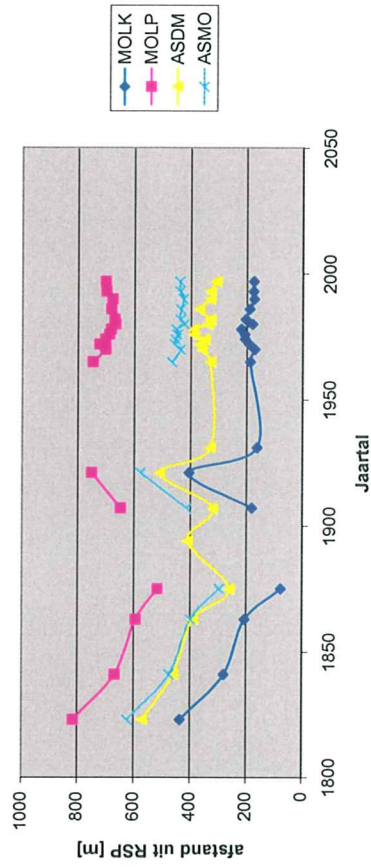
Raai 14 . Verplaatsing kust- en plaatsoever; geulas



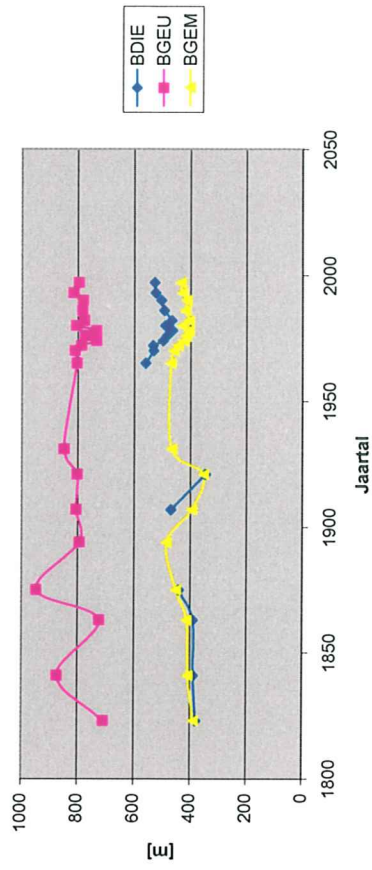
Raai 14 . Geuldiepte/ plaathoogte



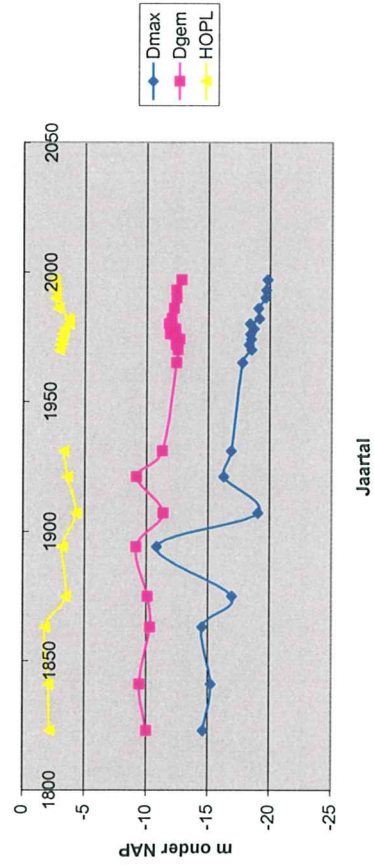
Raai 15 . Verplaatsing kust- en plaattoever; geulas



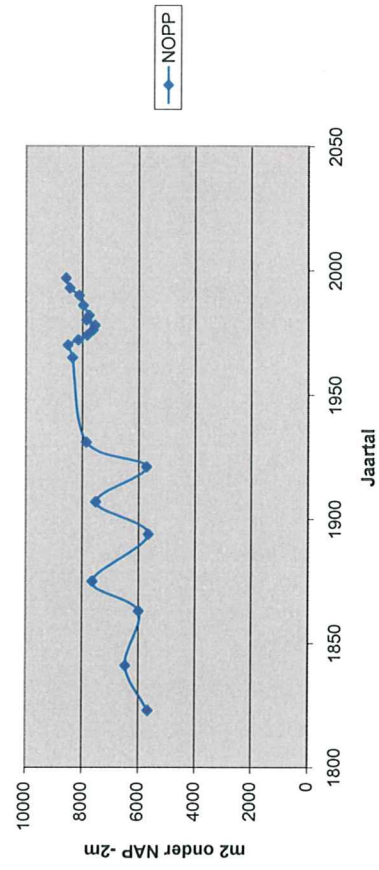
Raai 15 . Geulbreedte



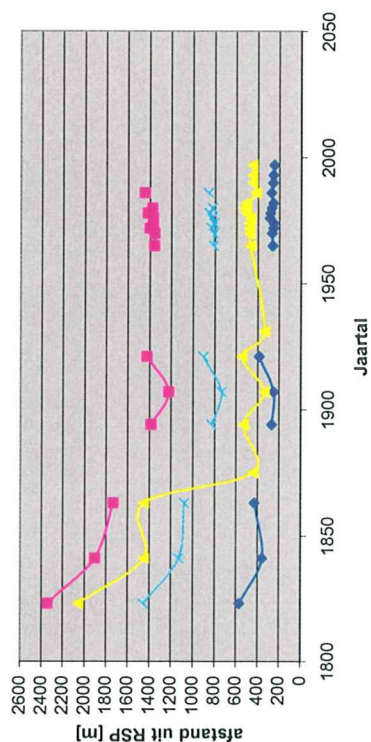
Raai 15 . Geuldiepte/ plaathoogte



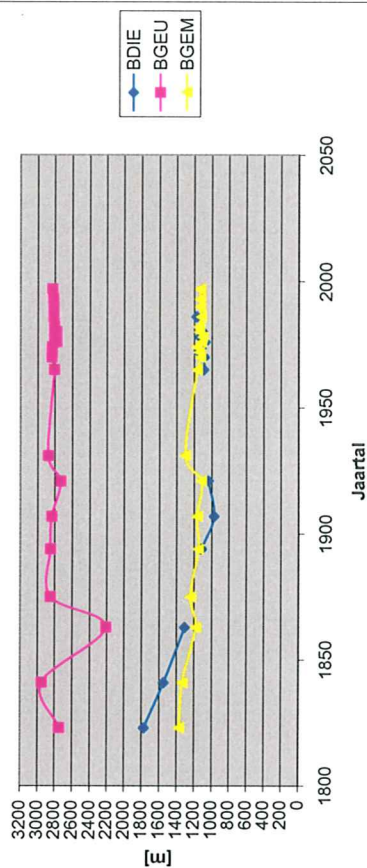
Raai 15 . Natte geuloppervlakte



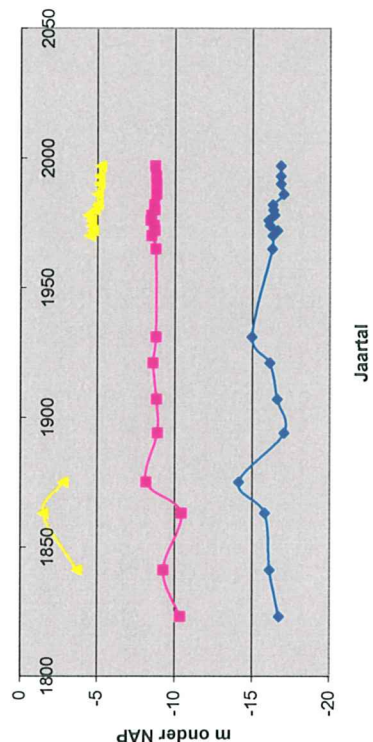
Raai 16 . Verplaatsing kust- en plaattoever; geulas



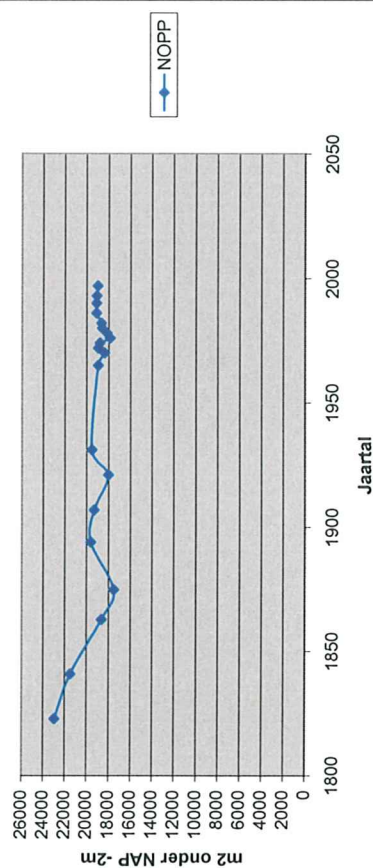
Raai 16 . Geulbreedte



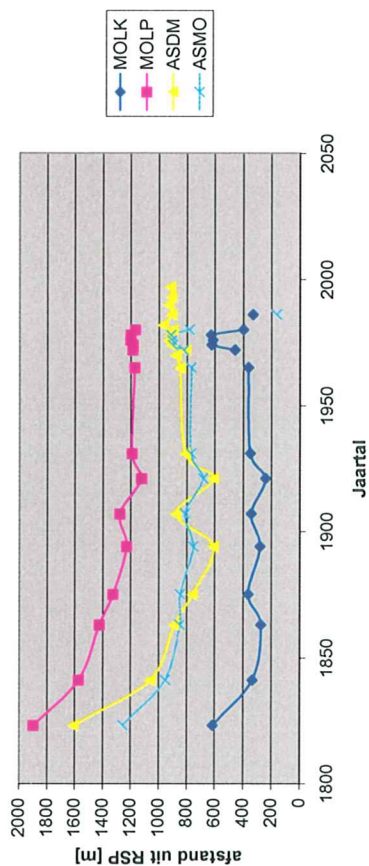
Raai 16 . Geuldiepte/ plaathoogte



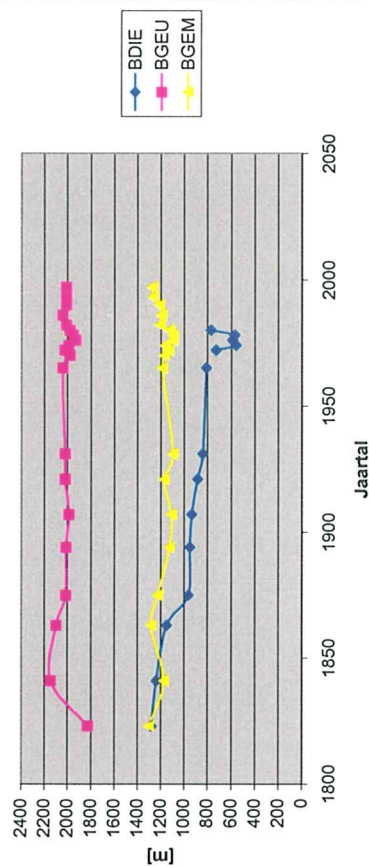
Raai 16 . Natte geuloppervlakte



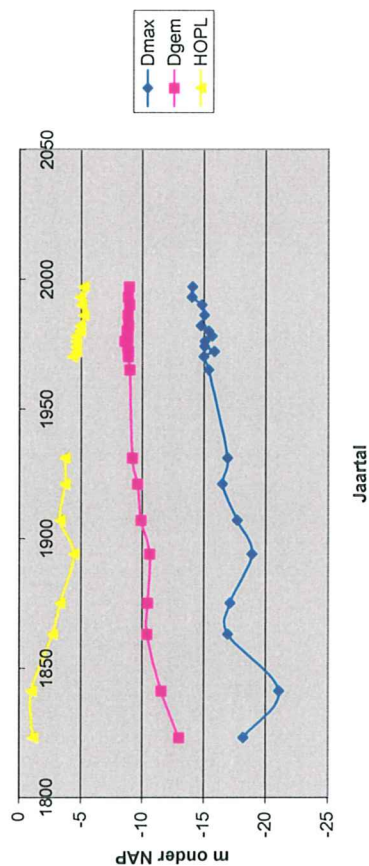
Raai 17 . Verplaatsing kust- en plaattoever; geulas



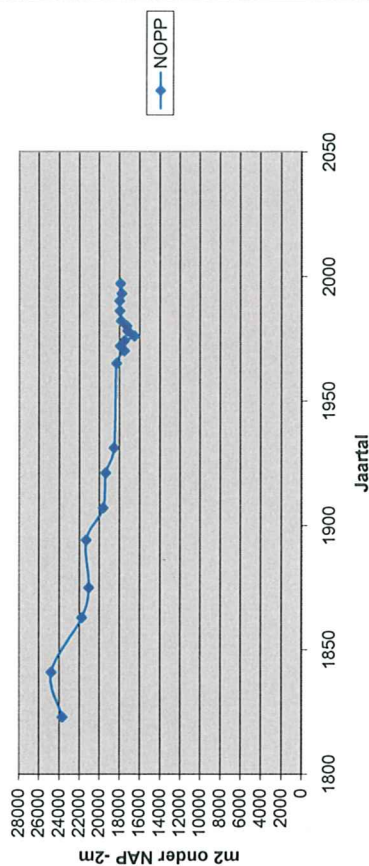
Raai 17 . Geulbreedte



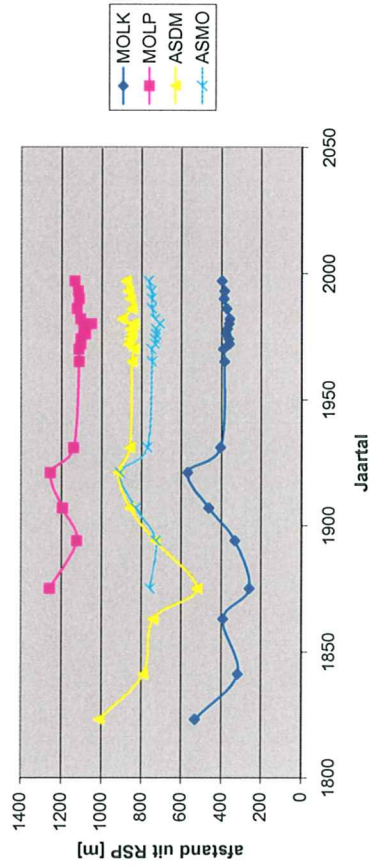
Raai 17 . Geuldiepte/ plaathoogte



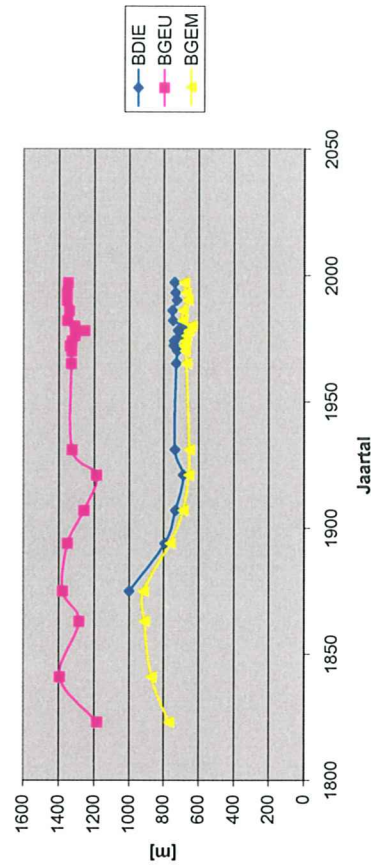
Raai 17 . Nattie geuloppervlakte



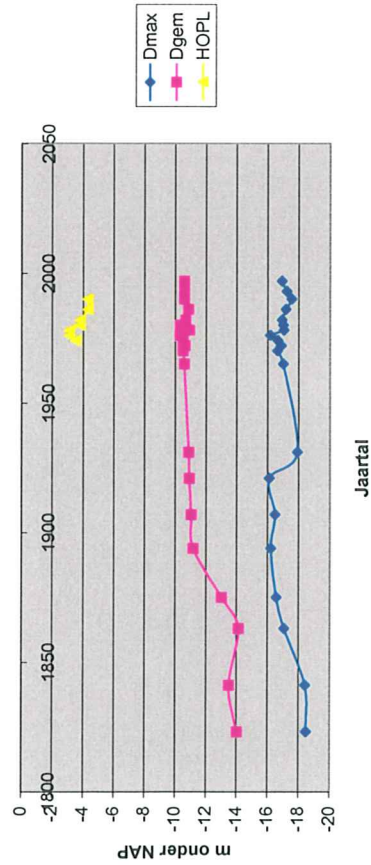
Raai 18 . Verplaatsing kust- en plaattoever; geulas



Raai 18 . Geulbreedte



Raai 18 . Geuldiepte/ plaathoogte



Raai 18 . Natte geuloppervlakte

