



Zeespiegelstijging, getijverandering en deltaveiligheid

ir. D. Dillingh
ir. P.F. Heinen
Rapport RIKZ-94.026
juni 1994



Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Zeespiegelstijging, getijverandering en deltaveiligheid

ir. D. Dillingh
ir. P.F. Heinen
Rapport RIKZ-94.026
juni 1994

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	5
2	Aanbevelingen uit het Rapport Deltacommissie	7
3	Aanpak van het probleem	9
3.1	Keuze van het te beschouwen zeeniveau	9
3.2	Beperkingen van het onderzoek	9
3.3	Werkwijze	10
4	Trendmatige veranderingen van gemiddelde zeeniveaus	13
4.1	De SSA-methode	13
4.2	Veranderingen in het verleden	13
5	Toeslagen en overhoogten	17
5.1	Toeslagen op het ontwerppeil 1985	17
5.2	Overhoogten bij aanleg of verbetering	18
6	Literatuurlijst	21
	Figuren	23

1 INLEIDING

In het kader van en vooruitlopend op de inwerkingtreding van de Wet op de Waterkering wordt thans gewerkt aan een "randvoorwaarden"-boek, waarin de eisen worden vermeld waaraan de bestaande primaire waterkeringen, alsmede nieuwe ontwerpen en verbeteringen, moeten voldoen. Volgens de Wet op de Waterkering dienen de waterkeringen iedere vijf jaar te worden getoetst. Het voornemen is 1995 het eerste toetsjaar te laten zijn.

Aanvankelijk was in verband hiermee de vraag gesteld welke toeslag bij de ontwerppeilen uit het rapport van de Deltacommissie (lit. 1) moesten worden opgeteld in verband met de relatieve zeespiegelstijging/bodemdaling over de periode vanaf de normstelling van de Deltacommissie tot en met het toetsjaar 1995, opdat gegarandeerd wordt dat de primaire waterkeringen dezelfde mate aan veiligheid blijven bieden als bij de oorspronkelijke ontwerppeilen voor ogen stond (lit. 12).

Tevens werd gevraagd aan te geven met welke relatieve zeeniveaustijgingen rekening moet worden gehouden voor de periode direct na 1995 (middellange termijn).

Inmiddels zijn voor een aantal stations nieuwe ontwerppeilen vastgesteld (lit. 11) en zijn die voor de overige stations in voorbereiding. Deze ontwerppeilen zijn c.q. worden vastgesteld voor de toestand in 1985, m.a.w. ze zijn geldig voor het jaar 1985. Voor latere jaren dient rekening gehouden te worden met veranderingen in relatieve zeeniveau's.

De vraagstelling waarop dit rapport een antwoord wil geven is derhalve:

- welke zeeniveaustijging dient in rekening te worden gebracht bij het toetsen of ontwerpen van een primaire waterkering op een willekeurig tijdstip na 1985;
- met welke toekomstige relatieve zeeniveaustijging dient rekening te worden gehouden (middellange termijn) bij het ontwerpen van nieuwe waterkeringen of verbeteringswerken aan bestaande keringen.

Om deze vragen te beantwoorden wordt eerst nagegaan welke aanbevelingen in het Rapport Deltacommissie worden gegeven m.b.t. relatieve zeespiegelstijgingen. Vervolgens wordt de aanpak hier geschetst, gevolgd door de uitwerking van de verschillende onderdelen.

Van alle thans operationele peilmeetstations langs de kust en de estuaria zijn de beschikbare gegevens van de gemiddelde zeeniveau's (jaargemiddelden van gemiddelde zeestand, hoog- en laagwaterstand en tijverschil) in grafieken weergegeven in de bijlagen. Deze vormen als zodanig een bron van informatie voor een ieder die belang heeft bij of belangstelling heeft voor de ontwikkelingen in deze relatieve gemiddelde zeeniveau's. De betreffende stations zijn aangegeven in figuur 1.

2 AANBEVELINGEN UIT HET RAPPORT DELTACOMMISSIE

In § 8.2 van het Rapport Deltacommissie, Deel 1, worden aanbevelingen en richtlijnen gegeven voor aanleg en verbetering van hoofdwaterkeringen. In deze paragraaf wordt ook aandacht besteed aan de relatieve zeespiegelstijging. Daarmee dient rekening te worden gehouden, omdat dijken en kunstwerken in de waterkeringen geacht worden gedurende een lange periode de vereiste veiligheid te bieden. Het Rapport Deltacommissie spreekt hier overigens over relatieve bodemdaling, maar dat is meer een kwestie van definitie. Onder relatieve bodemdaling wordt verstaan de snelheid van de algemene daling van de niet meer aan inklinking onderhevige ondergrond van ons land (het Pleistoceen) ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel. Tegenwoordig spreken we meer over relatieve zeespiegelstijging, waaronder dan wordt verstaan de snelheid van de stijging van het gemiddelde zeeniveau ten opzichte van het NAP.

Op blz. 88 van het eindverslag van de Deltacommissie wordt geconcludeerd, dat de relatieve bodemdaling vrijwel gelijk is aan de NAP-daling, dit is de daling van het NAP-vlak t.o.v. de gemiddelde zeespiegel, welke werd bepaald op 15 à 20 cm per eeuw. Gesteld wordt, dat bij het opmaken van een ontwerp voor aanleg of verbetering van een hoofdwaterkering in de waakhogte (de hoogte van de kruin van een dijk boven het ontwerppeil) een bedrag moet worden opgenomen voor de tot het volgende herstel te verwachten daling van de dijk kruin ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel.

Op blz. 89 van lit.1 wordt vervolgens voorgeschreven, dat bij de dijktafelhoogte (ontwerppeil plus minimum waakhogte) de NAP-daling en de kruindaling, die in de periode tot het volgende herstel worden verwacht, opgeteld moeten worden om de aanleghoogte te verkrijgen. De kruindaling heeft betrekking op zettingen van de ondergrond van het (verzwaarde) dijklichaam en de inklinking van het nieuwe dijklichaam zelf. Deze toevoeging aan de minimum waakhogte (dit laatste is de hoogte benodigd met het oog op het golfoploopcriterium en het in rekening te brengen gedeelte van bui-oscillaties en -stoten) is dus een overmaat aan veiligheid die afneemt in de tijd.

Bij de aanleg/verbetering van de waterkeringen wordt derhalve tot nu toe rekening gehouden met een relatieve zeespiegelstijging van 15 à 20 cm per eeuw. Dit getal heeft dus betrekking op de gemiddelde zeespiegel en geldt voor alle duin- en dijkvakken langs kust en estuaria, van Cadzand en Bath t/m Nieuwe Statenzijl.

3 AANPAK VAN HET PROBLEEM

3.1 Keuze van het te beschouwen zeeniveau

Zoals in hoofdstuk 2 al is aangegeven, wordt in het Deltarapport vooral gesproken over de relatieve bodemdaling en de NAP-daling. Het referentievlak daarbij is de gemiddelde zeespiegel (ongeveer midden tussen hoog- en laagwater, afhankelijk van de vorm van de getijkromme). De genoemde 15 à 20 cm per eeuw heeft betrekking op deze grootheden en is gegeven voor het totale betrokken gebied.

Uit onderzoeken sindsdien is echter gebleken dat de getijvorm in de loop der jaren is veranderd (lit. 3 en 4). Dit blijkt slechts voor een gering deel te verklaren te zijn uit de beïnvloeding van de getijvoortplanting door de zeespiegelstijging (lit. 5). Hier is dan ook vooral sprake van gevolgen van menselijke ingrepen (Afsluitdijk, baggerwerken, in- en ontpolderingen) en daarmee gepaard gaande morfologische ontwikkelingen. De belangrijkste consequentie voor de onderhavige problematiek is, dat de gemiddelde hoogwaterstanden veelal sneller zijn gestegen dan de gemiddelde zeestanden. Voor Vlissingen blijken de gemiddelde springtijden weer iets sneller te stijgen dan de gemiddelde hoogwaterstanden.

Voor de veiligheid zijn met name de hoogwaterstanden belangrijk. Om die reden is de relatieve stijging van de gemiddelde hoogwaterstand een betere grootheid dan de gemiddelde zeespiegel om verlies aan veiligheid door veranderingen in het getijregime in rekening te brengen.

3.2 Beperkingen van het onderzoek

Met de volgende aspecten wordt in dit onderzoek geen rekening gehouden.

Bewegingen van het NAP-vlak

Het NAP, het nationale referentievlak voor de hoogteligging op het land, is thans vastgelegd door de halfbolvormige bovenkant van een bronzen bout in de kop van een 22 m lange betonpaal onder de Dam te Amsterdam. Voor de landelijke verspreiding van het NAP-vlak bestaat een netwerk van ondergrondse merken (regionale referentiepunten), zeer goed in het pleistoceen gefundeerde palen of buizen in geologisch stabiele gebieden, waarvan de hoogten zijn bepaald met een primaire waterpassing. In of nabij de huisjes van de peilmeetstations zijn de laatste decennia zgn. nulpalen geplaatst als stabiel referentiepunt voor de waterstandsmetingen. Ze zijn gefundeerd op het pleistoceen en vervullen dus dezelfde functie als de ondergrondse merken.

Uit recent onderzoek van de Rijkswaterstaat en de Rijks Geologische Dienst naar bodembeweging in Nederland (lit. 2) is gebleken dat zelfs de ondergrondse merken van het NAP niet gevrijwaard zijn van beweging ten opzichte van elkaar. De beweging van de top van het Pleistoceen blijkt dus regionaal te verschillen. Omdat de hoogten van de ondergrondse merken nooit zijn bijgesteld, zit er in de waterstandsregistraties een (regionaal verschillende) component van de beweging van de bovenkant van het pleistoceen. Het vaststellen van de bewegingen van het NAP-vlak ter plaatse van de kustpeilmeetstations is uiterst moeilijk, o.a. vanwege de relatief korte periode dat de nulpalen in gebruik zijn. Er zit derhalve in de trends van de gemiddelde relatieve

zeeniveau's een onbekende regionaal verschillende bodembewegingscomponent.

Broeikaseneffect

Mede als gevolg van het broeikaseneffect wordt voor de komende 100 jaar een mondiale zeespiegelstijging verwacht van ca. 60 cm. Deze waarde heeft echter een grote onzekerheidsmarge. Bijstellingen van deze schatting vinden nog steeds plaats naarmate de kennis toeneemt en de voorspelmodellen beter worden. Bovendien blijkt er geen eenduidige relatie te bestaan tussen de relatieve stijging van de gemiddelde zeespiegel en die voor de gemiddelde hoogwaterstand. Deze laatste hangt sterk af van de locatie en het beschouwde tijdvak. Verder is in recent onderzoek aangetoond, dat een versnelde zeespiegelstijging vanwege het broeikaseneffect (nog) niet uit de waarnemingen kan worden afgeleid (lit. 13, 14).

Om deze redenen wordt in dit rapport geen rekening gehouden met de verwachte versnelde mondiale zeespiegelstijging.

Als gevolg van de temperatuurstijging door het broeikaseneffect kunnen naast veranderingen in het gemiddelde zeeniveau ook veranderingen in het windklimaat worden verwacht. Veranderingen in het windklimaat zullen ook invloed hebben op de kansen van voorkomen van buitengewoon hoge stormvloedstanden. In kwantitatieve zin valt hierover nog niets gefundeerd te zeggen (lit.8).

3.3 Werkwijze

Toeslagen

Voor toetsen en ontwerpen van de primaire waterkeringen zijn de ontwerppeilen 1985, zoals onlangs voor een aantal stations vastgesteld (lit. 11; voor de overige locaties zijn zij thans in voorbereiding) steeds het uitgangspunt. Het opnieuw vaststellen van basis- en ontwerppeilen is pas zinvol bij aanmerkelijk langere meetreeksen, nieuwe statistische inzichten of betere kennis van het fysische proces (meteorologie en waterbeweging). Voor de middellange termijn dienen telkens toeslagen te worden berekend op de ontwerppeilen 1985 voor de stijging van de gemiddelde hoogwaterstanden, teneinde dezelfde mate van veiligheid te behouden als de ontwerppeilen 1985 bieden.

De volgende werkwijze wordt voorgesteld:

- Elke 5 jaar (cyclus Wet op de Waterkering) worden opnieuw de trendlijnen van de dan beschikbare jaargemiddelde HW-standen berekend volgens de dan meest geschikte analysemethode.
- M.b.v. deze trendlijnen wordt de "toestand" voor 5 jaar na het nieuwe toetsjaar geschat. Bij het vaststellen van de toeslag voor het toetsjaar 1995 wordt dus gebruik gemaakt van de schatting van de toestand van het gemiddelde hoogwater voor het jaar 2000. De achtergrond hiervan is, dat bij toetsing in een bepaald jaar de veiligheid gegarandeerd moet zijn tot de volgende toetsing 5 jaar later. Onder de "toestand" voor een bepaald jaar wordt daarbij verstaan de waarde van de betrokken grootte voor dat jaar volgens een trendlijn; hierbij zijn dus toevallige en periodieke fluctuaties zo goed mogelijk weggefilterd.

Over het algemeen zal dus een extrapolatie nodig zijn over 7 à 8 jaar, omdat de randvoorwaarden altijd vóór het betreffende toetsjaar moeten worden vastgesteld. De schatting geschiedt aan de hand van de trends in een geschikt gekozen recente periode.

- Vervolgens wordt het verschil bepaald tussen de aldus bepaalde toestand van het gemiddelde HW van het betreffende jaar (toetsjaar plus 5 jaar) en die van het jaar 1985. Dit verschil wordt afgerond op een veelvoud van 5 cm. Bij deze afronding wordt rekening gehouden

met de ruimtelijke samenhang van de verschillende stations. Relatief grote verschillen tussen nabijgelegen stations zijn niet erg waarschijnlijk; er zal in het algemeen een gelijkmatig verloop te vinden zijn langs de kust. Het voorkomen van "uitschieters" duidt op locale effecten en/of analyse-onnauwkeurigheden. De afronding hoeft daardoor niet altijd naar het dichtsbijzijnde veelvoud van 5 cm te zijn.

- Het aldus afgeronde verschil vormt de toeslag voor het betreffende toetsjaar op de ontwerppeilen 1985. Deze toeslag geldt in feite niet alleen voor de ontwerppeilen, maar voor de gehele overschrijdingslijn van HW-standen (dit is de lijn die het verband geeft tussen de HW-stand en de overschrijdingsfrequentie) voor een bepaald station.
- Voor de periode tussen twee toetsjaren (5 jaar) geldt de toeslag van het toetsjaar aan het begin van deze periode; hierbij is dus al rekening gehouden met de stijging tot het eerstvolgende toetsjaar. Het aanpassen van de toeslag voor een willekeurig tussenliggend jaar staat niet in verhouding tot de nauwkeurigheid waarmee één en ander is of kan worden bepaald. De rechtvaardiging hiervan is gelegen in de relatief geringe veranderingen binnen een periode van 5 jaar. Bij plotselinge veranderingen als gevolg van menselijke ingrepen geldt dit natuurlijk niet.
- In de Westerschelde is de getijbeweging zo geprononceerd, dat een superstorm vrijwel zeker tijdens springtij op zal treden. Met het sneller stijgen aldaar van de springhoogwaters kan rekening worden gehouden door voor dit gebied de gevonden stijgingen steeds naar boven af te ronden op een veelvoud van 5 cm.

Overhoogten

Voor het bepalen van de benodigde overhoogten bij aanleg of verbetering wordt de volgende aanpak gevolgd:

- Gezien de onzekerheden omtrent het toekomstige verloop wordt een globaal beeld geschetst; grote nauwkeurigheid is niet mogelijk.
- Uitgegaan wordt van de vijfjaarlijks bijgestelde trendlijnen van de gemiddelde hoogwaterstanden.
- Aangenomen wordt dat de trendmatige veranderingen van de hoogwaterstanden in het verleden zich in de toekomst voortzetten, tenzij er goede argumenten zijn te geven dat dit niet het geval is, bijvoorbeeld als gevolg van bepaalde maatregelen. Snelle veranderingen van het getijregime als gevolg van de uitvoering van werken dienen apart in rekening te worden gebracht.
- Aangenomen wordt dat de relatieve stijging van de gemiddelde HW-stand tenminste gelijk is aan die van de gemiddelde zeestand.
- Er wordt rekening gehouden met de regionale samenhang in de trendmatige verandering.
- Waarden voor de in rekening te brengen stijging van het gemiddelde HW worden gegeven in cm's (een veelvoud van 5 cm) per eeuw. Afhankelijk van de beoogde periode tot het volgende herstel (in het Deltarapport gesteld op 50 jaar) kan hieruit eenvoudig de benodigde overhoogte worden afgeleid (afronden op 5cm).

4 TRENDMATIGE VERANDERINGEN VAN GEMIDDELDE ZEENIVEAUS

4.1 De SSA-methode

Voor de bepaling van de trendmatige veranderingen in het verleden, en daarmee de toestand in een bepaald jaar, is de SSA-methode toegepast (Singuliere Spectrum Analyse), een methode met de mogelijkheid tijdreeksen te analyseren op trends en periodieke componenten. Voor zover hier bekend werd deze methode voor het eerst op gemiddelde zeeniveaus toegepast door Heinen (lit. 9).

Bij de SSA-methode wordt uit de gegeven tijdreeks, hier dus bijvoorbeeld van de jaargemiddelde HW-standen van een bepaald station, een datamatrix samengesteld uit evenlange deelreeksen, waarbij elke deelreeks één tijdstap (hier dus een jaar) later begint. Als N het aantal (aaneengesloten) jaren is van de volledige beschikbare tijdreeks en M het aantal aaneengesloten jaren per deelreeks, dan wordt de matrix opgebouwd uit $N-M+1$ rijen van M elementen. M wordt het venster genoemd. Van deze matrix wordt een singuliere waarde ontbinding gemaakt. De verzameling van singuliere waarden wordt het spectrum genoemd. De methode dankt hieraan haar naam. Overigens kan de SSA-methode ook worden toegepast op tijdreeksen van meerdere stations tegelijk. Er wordt dan een soort gemiddelde informatie verkregen. Van deze mogelijkheid wordt in dit rapport geen gebruik gemaakt.

De keuze van het venster M bepaalt de mate waarin de kenmerken van de tijdreeks (trend, periodieke componenten) worden onderscheiden.

Voor M zal per tijdreeks een verstandige keuze moeten worden gemaakt door vergelijking van de resultaten bij verschillende vensters. De gedane keuzen staan in tabel 5 (na hoofdstuk 5).

Voor een eenvoudig begrip kan de toepassing van de SSA-methode voor de trendbepaling van de reeksen van jaargemiddelde zeeniveau's gezien worden als een geoptimaliseerde vorm van lopend middelen.

Voor meer achtergronden wordt verwezen naar lit. 9.

4.2 Veranderingen in het verleden

Figuur 1 geeft een overzicht van de huidige meetstations van het landelijk waterstandsmetnet langs de kust en in de estuaria.

In de figuren 2 t/m 40 zijn per meetstation de verlopen van jaargemiddelde zeestand, hoogwaterstand, laagwaterstand en tijverskil gegeven, voor zover te berekenen of beschikbaar.

Voor de verlopen van de vetgedrukte stations zijn trends berekend met toepassing van de SSA-methode, behalve wanneer dat door hiaten of te korte reeksen niet goed mogelijk was.

Enkele opvallende verschijnselen in deze verlopen zijn:

- De jaarlijkse fluctuaties in de gemiddelde standen als gevolg van verschillen in meteorologische omstandigheden (wind, luchtdruk), watertemperatuur en zoutgehalte, alsmede door wijzigingen in gegevensinwinning en verwerking en door menselijke ingrepen (waterbouwkundige werken);
- De vrij gelijkmatig verlopende stijging van de gemiddelde zeestanden, terwijl de hoog- en laagwaters en de tijverschillen een veel grilliger

- verloop tonen. De gemiddelde zeestanden zijn veel minder gevoelig voor menselijke ingrepen en de daarmee samenhangende morfologische ontwikkelingen dan de vorm van het getij;
- Een snellere stijging van de relatieve gemiddelde zeestanden in de laatste twee decennia t.o.v. de voorgaande decennia;
 - De daling van de gemiddelde zeestand te Vlissingen rond 1880; een soortgelijke daling is ook bij IJmuiden goed waarneembaar. Hiervoor is tot nu toe geen goede verklaring gevonden;
 - De relatief snelle stijging van het gemiddelde hoogwater in de Westerschelde t.o.v. de stijging van de gemiddelde zeestand, en de toename van het gemiddelde tijverschil, vooral als gevolg van de morfologische veranderingen door o.a. baggerwerken, inpolderingen en verlanding van schorren;
 - De grote veranderingen van het getij bij Stavenisse, als gevolg van de Oosterscheldewerken;
 - De snelle stijging van het hoogwater te Hoek van Holland na 1965, samenhangende met aanleg van Maasvlakte en werken in de mond van de Nieuwe Waterweg;
 - De sterke veranderingen in het getij bij de stations rond de westelijke Waddenzee na 1932, als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee;
 - De snelle veranderingen in het getij bij Delfzijl na ca. 1965, als gevolg van baggerwerken in de Eems en havenwerken.
 - Het soms vrijwel horizontaal verloop van de trendlijn van de gemiddelde zeestand bij enkele Waddenstations.

Over de toepassing van de SSA-methode dient nog het volgende opgemerkt te worden:

- Plotselinge sprongen in het verloop van gemiddelde standen worden enigszins afgevlakt. Dat is vooral goed zichtbaar bij de veranderingen in het getij na 1932 als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee. Dit hangt samen met de breedte van het venster van de datamatrix (zie § 4.1).
- Zouden van een station de verlopen van hoogwater, laagwater en tijverschil elk afzonderlijk worden geanalyseerd met een voor elk verloop optimaal venster, dan kan er enig verschil ontstaan tussen het trendverloop van het tijverschil en het verschil van de trendverlopen van hoog- en laagwater. Daarom is gekozen voor de volgende aanpak: van de verlopen van hoogwater, laagwater en tijverschil worden de twee signalen gekozen die zich het beste laten analyseren met de SSA-methode (meestal die met de steilste trendverlopen). Het derde verloop volgt uit de andere twee (zie ook tabel 5).

Tabel 1 geeft, voor die stations waarvoor ze berekend konden worden, de gemiddelde relatieve zeespiegelstijgingen, berekend over de aangegeven tijdvakken. Deze tijdvakken zijn gekozen i.v.m. de onderlinge vergelijkbaarheid. Ze zijn berekend als het verschil tussen de waarden van de SSA-trendlijnen van het eerste en laatste jaar van de beschouwde periode, gedeeld door de lengte van die periode. Gezien het verloop van de verschillende trendlijnen zijn de uitkomsten meer of minder afhankelijk van de gekozen periode. Men dient daarmee rekening te houden.

Gestreefd is naar zolang mogelijke perioden. De keuze van het jaar 1900 als vroegste jaar voor de berekeningen, is ingegeven door de duidelijk afwijkende verlopen vóór 1900 bij de stations Vlissingen en IJmuiden. Het jaar 1940 als beginjaar voor de periode na het gereed komen van de Afsluitdijk (1932) hangt samen met de eerdergenoemde afvlakking van sprongsgewijze veranderingen door de SSA-methode. De periode 1975-1990 is genomen om te laten zien dat ongeveer de laatste twee decennia de relatieve gemiddelde zeestand voor de meeste stations

sneller is gestegen dan de periode ervoor, hetgeen ook in de figuren valt waar te nemen. Dat deze snellere stijging van de gemiddelde zeestand verklaard kan worden uit meteorologische invloeden wordt aangetoond in lit. 13 en 14.

Hoewel 1992 het laatste jaar is waarover volledige gegevens beschikbaar waren, is voor de gemiddelde trendberekeningen uitgegaan van de berekende toestand in 1990. Naast het gemak van het werken met overzichtelijke tijdsduren is dit ingegeven door het feit dat de onnauwkeurigheid van de toestandschatting van de laatste paar jaar groter is. Gebleken is dat wanneer de reeks uitgebreid wordt met enkele relatief hoge of lage waarden, dit van invloed is op het verloop van het eind van de SSA-trendlijn. De SSA-toestandschatting voor het jaar 1990 is derhalve door het meenemen van de jaren 1991 en 1992 wel betrouwbaarder geworden.

De snelheden zijn uitgedrukt in cm/eeuw en afgerond op hele getallen.

tabel 1

Gemiddelde relatieve stijging van de jaargemiddelde zeestanden in cm/eeuw, berekend met de SSA-methode voor drie verschillende tijdvakken.

station	tijdvak		
	1900 - 1990	1940 - 1990	1975 - 1990
Hansweert	16	24	34
Terneuzen	24	26	19
Vlissingen	22	17	24
Hoek van Holland	25	26	42
Ijmuiden	21	20	27
Den Helder	16	19	30
Kornwerderzand	-	10	12
Harlingen	14	17	26
Delfzijl	19	20	28
Vlieland haven	15	7	35
West-Terschelling	15	11	35

De getallen in de laatste kolom zijn uiteraard wat minder nauwkeurig, omdat ze berekend zijn over een relatief kort tijdvak dicht bij het eind van de tijdreeks.

De lage waarden voor de Waddenzeestations over de laatste 50 en 90 jaar zijn vooral veroorzaakt door de sterkere mate waarin het gemiddeld laagwater daalde dan het gemiddelde hoogwater steeg na de afsluiting van de Zuiderzee. Dit veroorzaakt een vrij horizontaal verloop van de gemiddelde zeestandskromme in deze periode. Mede door de morfologische ontwikkelingen sindsdien is de stijgsnelheid van de gemiddelde zeespiegel thans weer meer in overeenstemming met die van de andere stations en lijkt er zelfs sprake van een "inhaalslag". Opvallend is de hoge waarde voor Hoek van Holland voor de periode 1975-1990, vooral veroorzaakt door de toename van de gemiddelde laagwaterstanden. De ingebruikstelling van de Haringvlietsluizen in november 1970 heeft verder gezorgd voor een groter rivierdebiet door de Nieuwe Waterweg, hetgeen de standen bij Hoek van Holland ook heeft beïnvloed.

Tabel 2 geeft een overzicht van de veranderingen in gemiddelde hoogwaterstand, gemiddelde laagwaterstand en gemiddeld tijverskil, berekend over de periode 1940-1990. Voor zover beschikbaar zijn ter vergelijking de gemiddelde zeestanden van tabel 1 toegevoegd.

tabel 2

Veranderingen in jaargemiddelde zeeniveau's in cm/eeuw, berekend over de periode 1940-1990 en afgerond op hele getallen.

station	zeestand	hoogwater	laagwater	tijverschil
Bath	-	56	-7	63
Hansweert	24	43	22	21
Terneuzen	26	42	14	28
Vlissingen	17	29	14	15
Cadzand	-	8	-	-
Westkapelle	-	18	16	2
Hoek van Holland	26	40	17	23
Scheveningen	-	23	7	16
IJmuiden	20	31	14	17
Den Helder	19	22	11	11
Den Oever	-	29	32	-3
Kornwerderzand	10	18	6	12
Harlingen	17	29	12	17
Delfzijl	20	44	-17	61
Nieuwe Statenzijl	-	32	-	-
Oudeschild	-	23	17	6
Vlieland haven	7	28	11	17
West-Terschelling	11	26	-2	28

Het algemene beeld is, dat de gemiddelde hoogwaterstanden sneller en de gemiddelde laagwaterstanden langzamer zijn gestegen dan de gemiddelde zeestanden.

In tabel 3 is voor elk station de gemiddelde stijging van het gemiddelde hoogwater gegeven, berekend over een zolang mogelijke recente periode zonder zeer sterke veranderingen als gevolg van éénmalige grote ingrepen (bijv. afsluitdijk, havenwerken Hoek van Holland en Delfzijl). De aangegeven berekeningsperioden betreffen derhalve perioden met de langzamere trendmatige ontwikkelingen. Ter vergelijking is de stijging in de gemiddelde zeestand toegevoegd, berekend over dezelfde periode alsmede het verschil tussen beide snelheden.

tabel 3

Trendmatige veranderingen in gemiddelde hoogwaterstanden in cm/eeuw en het verschil met die van de gemiddelde zeestand

station	berekenings- periode	gemiddeld hoogwater(h)	gemiddelde zeestand(z)	(h)-(z)
Bath	1900 - 1990	52	-	-
Hansweert	1900 - 1990	40	16	+24
Terneuzen	1900 - 1990	40	24	+16
Vlissingen	1900 - 1990	29	22	+ 7
Cadzand	1900 - 1990	20	-	-
Westkapelle	1900 - 1990	24	-	-
Hoek van Holland	1900 - 1960(!)	12	21	- 9
IJmuiden	1900 - 1990	25	21	+ 4
Den Helder	1940 - 1990	22	19	+ 3
Den Oever	1940 - 1990	29	-	-
Kornwerderzand	1940 - 1990	18	10	+ 8
Harlingen	1940 - 1990	29	17	+12
Delfzijl	1900 - 1970(!)	21	18	+ 3
Nieuwe Statenzijl	1900 - 1990	26	-	-
Oudeschild	1940 - 1990	23	-	-
Vlieland haven	1940 - 1990	28	7	+21
West-Terschelling	1940 - 1990	26	11	+15

5 TOESLAGEN EN OVERHOOGTEN

5.1 Toeslagen op het ontwerppeil 1985

De toeslagen op het ontwerppeil 1985 zijn als volgt bepaald:

- De trendmatige verandering van de jaargemiddelde HW-standen wordt berekend voor een recente periode uit de SSA-trendlijnen, teneinde representatief te zijn voor de actuele veranderingssnelheid. Dit betekent dat de gekozen periode niet te ver terug moet gaan in de tijd.

Aan de andere kant dient de periode ook niet te kort te zijn, waardoor "toevallige" fluctuaties en de relatieve onnauwkeurigheid van de toestandsschatting aan het eind van de reeks een te grote rol gaan spelen.

- Hier is gekozen voor de periode 1975-1990 voor het schatten van het huidige tempo waarin de toestand verandert. Vrijwel alle grote waterbouwkundige werken die belangrijke veranderingen teweeg brachten in het getijregime, kwamen gereed vóór deze periode, uitgezonderd natuurlijk de stormvloedkering in de Oosterschelde.
- Aangenomen wordt dat de verandering van de toestand van HW-gemiddeld over de periode 1985-2000 ongeveer gelijk zal zijn aan de berekende toename over de periode 1975-1990 (zie tabel 4).
- De uiteindelijke toeslagen worden bepaald door het afronden op een veelvoud van 5 cm, het gestelde in § 3.3 en bestudering van het verloop van de trendlijnen (met name voor de afwijkende waarden).
- Voor de de Oosterschelde worden geen toeslagen berekend, daar de veiligheid hier gehandhaafd wordt door de stormvloedkering, welke op een vast sluitpeil gesloten wordt. Voor het gebied binnen de thans in aanbouw zijnde stormvloedkeringen in de Nieuwe Waterweg en het Hartelkanaal zal nader onderzoek moeten uitwijzen in welke mate verhoging van het ontwerppeil buiten de keringen invloed heeft op de maatgevende standen.

tabel 4

Toename gemiddeld hoogwater en gemiddelde zeestand over de periode 1975...1990

Station	Δ HW-gem. [cm]	Δ gem. zeestand [cm]
Bath	8,6	-
Hansweert	3,5	5,1
Terneuzen	2,7	2,9
Vlissingen	2,5	3,6
Cadzand	-1,9	-
Westkapelle	1,6	-
Hoek van Holland	4,0	6,3
Scheveningen	3,6	-
IJmuiden	6,5	4,1
Den Helder	4,0	4,5
Den Oever	8,1	-
Kornwerderzand	3,2	1,8
Harlingen	3,4	3,9
Delfzijl	11,1	4,2
Nieuwe Statenzijl	5,7	-
Oudeschild	3,6	-
Vlieland haven	5,9	5,3
West-Terschelling	7,4	5,2

Het station Bath heeft een relatief hoge veranderingssnelheid van HW-gemiddeld. Toch lijkt ook hier, net als voor de andere Westerschelde-stations, een afvlakking van de HW-trend op te treden in de laatste jaren. Om die reden krijgt Bath hier geen uitzonderingspositie en wordt aanbevolen ook daar een toeslag van 5 cm te hanteren op het ontwerppeil 1985 voor de jaren 1995...1999.

Cadzand vertoont een dalende trend in de gemiddelde HW's. De gemiddelde zeestand stijgt echter wel. Daarom wordt ook hier rekening gehouden met een stijging van de gemiddelde HW-stand.

De relatief hoge stijging van HW-gemiddeld voor het station Delfzijl wordt verklaard door de afsluiting van de oude havenmond in het najaar van 1978. In lit. 15 wordt de stijging van HW-gemiddeld door deze afsluiting gekwantificeerd op 6 cm. De trendmatige verandering komt daarmee meer in overeenstemming met die van de andere stations in het Waddengebied.

Uit het voorgaande volgt de aanbeveling voor de jaren 1995...1999 uit te gaan van de basis- en ontwerppeilen 1985, verhoogd met een toeslag van 5 cm voor alle locaties.

5.2 Overhoogten bij aanleg of verbetering

Bij aanleg of verbetering van een waterkering dient rekening te worden gehouden met toekomstige stijging van de gemiddelde hoogwaterstand tot het volgende herstel. In het Deltarapport wordt hiervoor voor een periode van 50 jaar genoemd; een verstandige keuze voor deze periode in de huidige tijd zal in het algemeen door de beheerder gemaakt worden op basis van een bedrijfseconomische afweging. Anderzijds zal men bij toetsing van een waterkering een indruk willen hebben van de termijn waarop de toetsing negatief zal uitvallen als gevolg van veranderingen in het getij. Daarvoor is een voorspelling nodig van de relatieve stijging van het gemiddelde hoogwater.

Uit de tabellen volgt dat de relatieve stijging van het gemiddelde hoogwater sterk afhangt van de locatie en het beschouwde tijdvak. Toepassing van de in § 3.3 voorgestelde werkwijze en de waarden van tabel 3 geven de resultaten die zijn aangegeven in figuur 42. De uitkomsten zijn gegeven in cm/eeuw. Hieruit zijn eenvoudig de gewenste overhoogten af te leiden (afronden op 5 cm) bij een te bepalen herstelfrequentie.

Voor de gehele Noordzeekust en Waddenzeekust dient met een waarde van 25 cm/eeuw rekening te worden gehouden voor de stijging van gemiddeld hoogwater in de toekomst. Dit is in overeenstemming met lit. 8. De stijging bedraagt globaal 5 cm/eeuw meer dan die van de gemiddelde zeestand.

Voor de Westerschelde en het Eems-Dollard estuarium dient rekening te worden gehouden met grotere stijgsnelheden: voor de Westerschelde oplopend tot 50 cm/eeuw in de omgeving van Bath en voor het Eems-Dollard estuarium 30 cm/eeuw. De overgangen voor de vakindeling in de Westerschelde in figuur 42 zijn gelegd ongeveer halverwege de afstanden Vlissingen-Terneuzen en Hansweert-Bath, respectievelijk de lijn Hoofdplaat-Borssele en de lijn Baalhoek-Krabbendijke. De meest westelijke overgang wordt gevormd door de lijn Breskens-Vlissingen-west.

Voor de gebieden binnen de stormvloedkeringen geldt hetzelfde als gesteld bij de toeslagen op het ontwerppeil 1985.

tabel 5

Toegepaste instellingen bij de
SSA-analyses

station	gem. zeestand	M (window)		tijvershil
		hoogwater	laagwater	
Bath	-	30	-	30
Hansweert	50	40	20 ¹⁾	-
Terneuzen	50 ²⁾	30	30 ¹⁾	-
Vlissingen	20	50	-	20 ¹⁾
Cadzand	-	50	-	-
Westkapelle	-	30 ²⁾	-	20 ²⁾
Hoek van Holland	40	-	30	20
Scheveningen	-	40 ²⁾	50 ²⁾	-
IJmuiden	15 ¹⁾	40	-	20 ¹⁾
Den Helder	50	50	-	30
Den Oever	-	30	-	30
Kornwerderzand	20 ^{1),3)}	20 ^{1),3)}	20 ^{1),4)}	-
Harlingen	60	30	-	40
Delfzijl	50	-	50 ³⁾	50
Nieuwe Statenzijl	-	40	-	-
Oudeschild	-	40	-	30
Vlieland haven	30 ²⁾	30 ²⁾	-	20 ²⁾
West-Terschelling	40	30	-	40

¹⁾ de trendlijn wordt gevormd door de eerste hoofdcomponent (zonder vermelding is dat de som van de eerste twee hoofdcomponenten).

²⁾ hiaten in de tijdreeksen zijn voor de SSA-analyse lineair geïnterpoleerd.

³⁾ bij de waarden van het oorspronkelijke signaal is voor de SSA-analyse 100 cm opgeteld.

⁴⁾ als ³⁾ maar dan met 200 cm.

6 LITERATUURLIJST

1. Rapport Deltacommissie, Deel 1, Eindverslag en Interimadviezen.
2. Heden en Verleden, Nederland naar beneden? Interimrapport over het onderzoek naar bodembeweging in Nederland, Rijkswaterstaat en Rijks Geologische Dienst, november 1991.
3. J. van Malde, Voorlopige uitkomsten van voortgezet onderzoek naar de gemiddelde zeeniveau's in de Nederlandse kustwateren, Rijkswaterstaat, directie Waterhuishouding en Waterbeweging, nota WW-WH 84.08, mei 1984.
4. J. van Malde, Relatieve rijzing van gemiddelde zeeniveau's, Symposiumverslag "Zee in Zicht", mei 1986, TU-Delft, Civiele Techniek.
5. A. Bavelaar, Verandering van de getijbeweging in de Noordzee t.g.v. zeespiegelrijzing, nota GWAO-87.205, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, 1988.
6. Rapport Deltacommissie, Deel 3, Bijdragen Mathematisch Centrum.
7. Rapport Deltacommissie, Deel 4, Bijdragen Rijkswaterstaat.
8. J. G. de Ronde en J. A. Vogel, Zeespiegelrijzing, Hydro Meteor scenario's, nota GWAO-88.015, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, februari 1988.
9. P. F. Heinen, Singuliere Spectrum Analyse toegepast op tijdreeksen, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, rapport DGW-92.031, september 1992.
10. J.G. de Ronde, Correcties t.b.v. de "Getijtafels voor Nederland 1985", RWS, directie Waterhuishouding en Waterbeweging, Nota WWWH 84.05, juli 1984.
11. A. van Urk, De basispeilen langs de Nederlandse kust; eindverslag, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, rapport DGW-93.026, april 1993.
12. D. Dillingh, Basis- en ontwerppeilen van de Deltacommissie en veranderingen in gemiddelde zeeniveau's, Rijkswaterstaat, RIKZ, werkdocument RIKZ/IT-94.104X, januari 1994.
13. J.G. de Ronde, D. Dillingh en W. Groenewoud, Past and future sea level rise in the Netherlands and its impacts, Rijkswaterstaat, RIKZ, Report DGW-93.027.
14. P.F. Heinen en M.J.J. Hoogkamer, Trends en meteorologische invloeden in gemiddelde zeeniveaus, Rijkswaterstaat, RIKZ, rapport DGW-93.017, april 1993.

Lijst van figuren

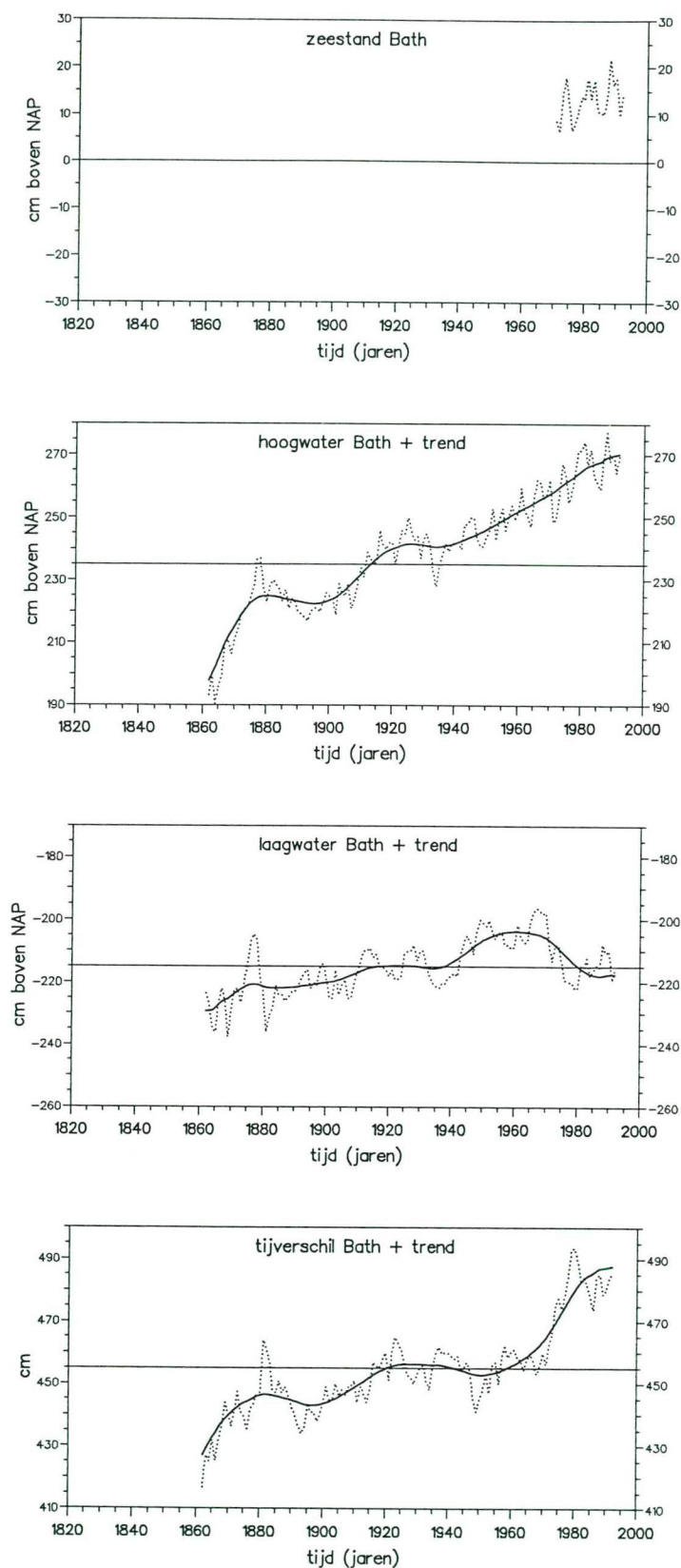
-
- 1 Overzichtskaart Peilmeetstations kust en estuaria
 - 2 Verloop gemiddelde zeeniveaus Bath
 - 3 Verloop gemiddelde zeeniveaus Hansweert
 - 4 Verloop gemiddelde zeeniveaus Terneuzen
 - 5 Verloop gemiddelde zeeniveaus Terneuzen (hiaten
geïnterpoleerd)
 - 6 Verloop gemiddelde zeeniveaus Vlissingen
 - 7 Verloop gemiddelde zeeniveaus Cadzand
 - 8 Verloop gemiddelde zeeniveaus Westkapelle
 - 9 Verloop gemiddelde zeeniveaus Westkapelle (hiaten
geïnterpoleerd)
 - 10 Verloop gemiddelde zeeniveaus Bergsdiepsluis West
 - 11 Verloop gemiddelde zeeniveaus Stavenisse
 - 12 Verloop gemiddelde zeeniveaus Krammersluizen West
 - 13 Verloop gemiddelde zeeniveaus Roompot Binnen
 - 14 Verloop gemiddelde zeeniveaus Roompot Buiten
 - 15 Verloop gemiddelde zeeniveaus Brouwershavensche Gat
 - 16 Verloop gemiddelde zeeniveaus Stellendam Buiten
 - 17 Verloop gemiddelde zeeniveaus Hoek van Holland
 - 18 Verloop gemiddelde zeeniveaus Scheveningen
 - 19 Verloop gemiddelde zeeniveaus Scheveningen (hiaten
geïnterpoleerd)
 - 20 Verloop gemiddelde zeeniveaus IJmuiden
 - 21 Verloop gemiddelde zeeniveaus Petten Zuid
 - 22 Verloop gemiddelde zeeniveaus Den Helder
 - 23 Verloop gemiddelde zeeniveaus Den Oever
 - 24 Verloop gemiddelde zeeniveaus Kornwerderzand
 - 25 Verloop gemiddelde zeeniveaus Harlingen
 - 26 Verloop gemiddelde zeeniveaus Holwerd
 - 27 Verloop gemiddelde zeeniveaus Lauwersoog
 - 28 Verloop gemiddelde zeeniveaus Eemshaven
 - 29 Verloop gemiddelde zeeniveaus Delfzijl
 - 30 Verloop gemiddelde zeeniveaus Nieuwe Statenzijl
 - 31 Verloop gemiddelde zeeniveaus Oudeschild
 - 32 Verloop gemiddelde zeeniveaus Vlieland haven
 - 33 Verloop gemiddelde zeeniveaus Vlieland haven (hiaten
geïnterpoleerd)
 - 34 Verloop gemiddelde zeeniveaus West-Terschelling
 - 35 Verloop gemiddelde zeeniveaus Nes
 - 36 Verloop gemiddelde zeeniveaus Schiermonnikoog
 - 37 Verloop gemiddelde zeeniveaus Texel Noordzee
 - 38 Verloop gemiddelde zeeniveaus Terschelling Noordzee
 - 39 Verloop gemiddelde zeeniveaus Wierumergronden
 - 40 Verloop gemiddelde zeeniveaus Huibergat
 - 41 In rekening te brengen toekomstige stijging gemiddeld
hoogwater in cm/eeuw bij aanleg of verbetering van
waterkeringen

Fig.1

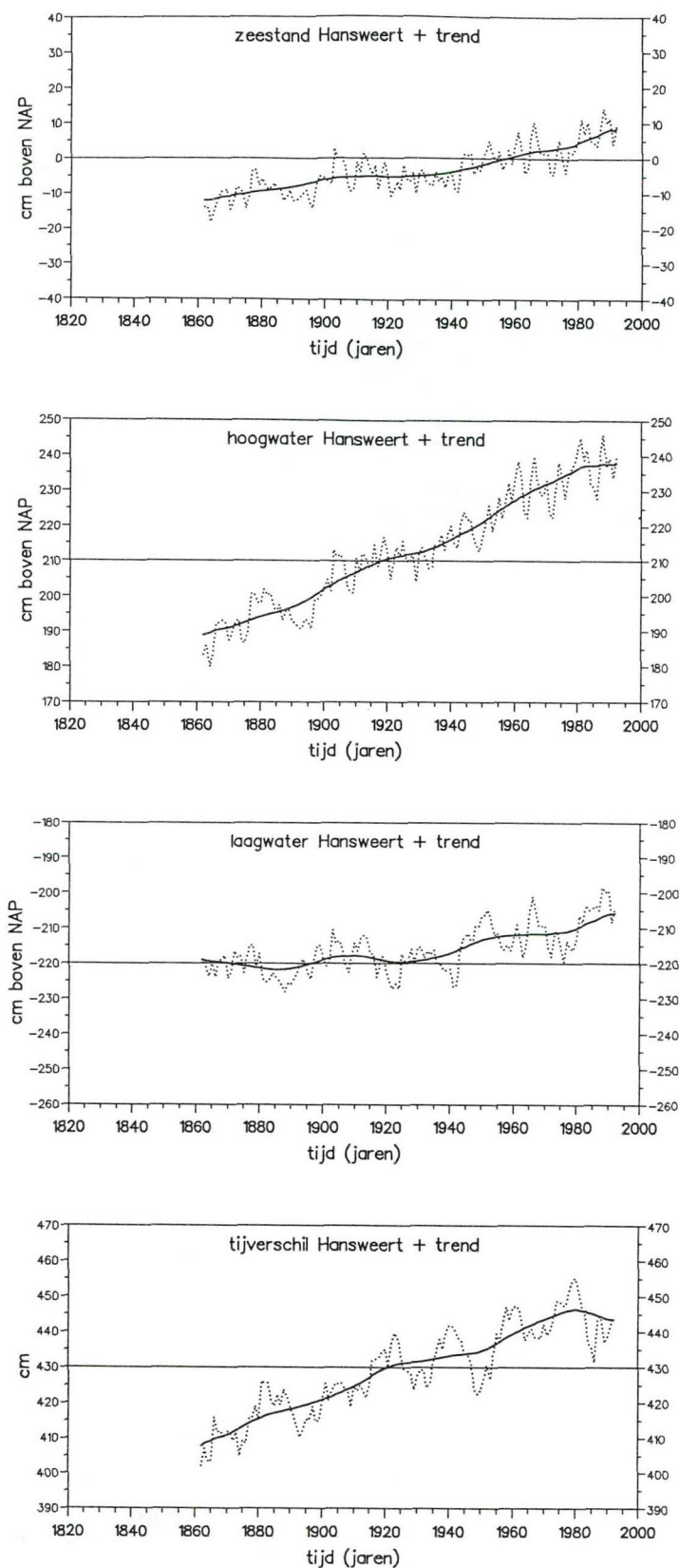
Overzichtskaart Peilmeetstations kust en estuaria



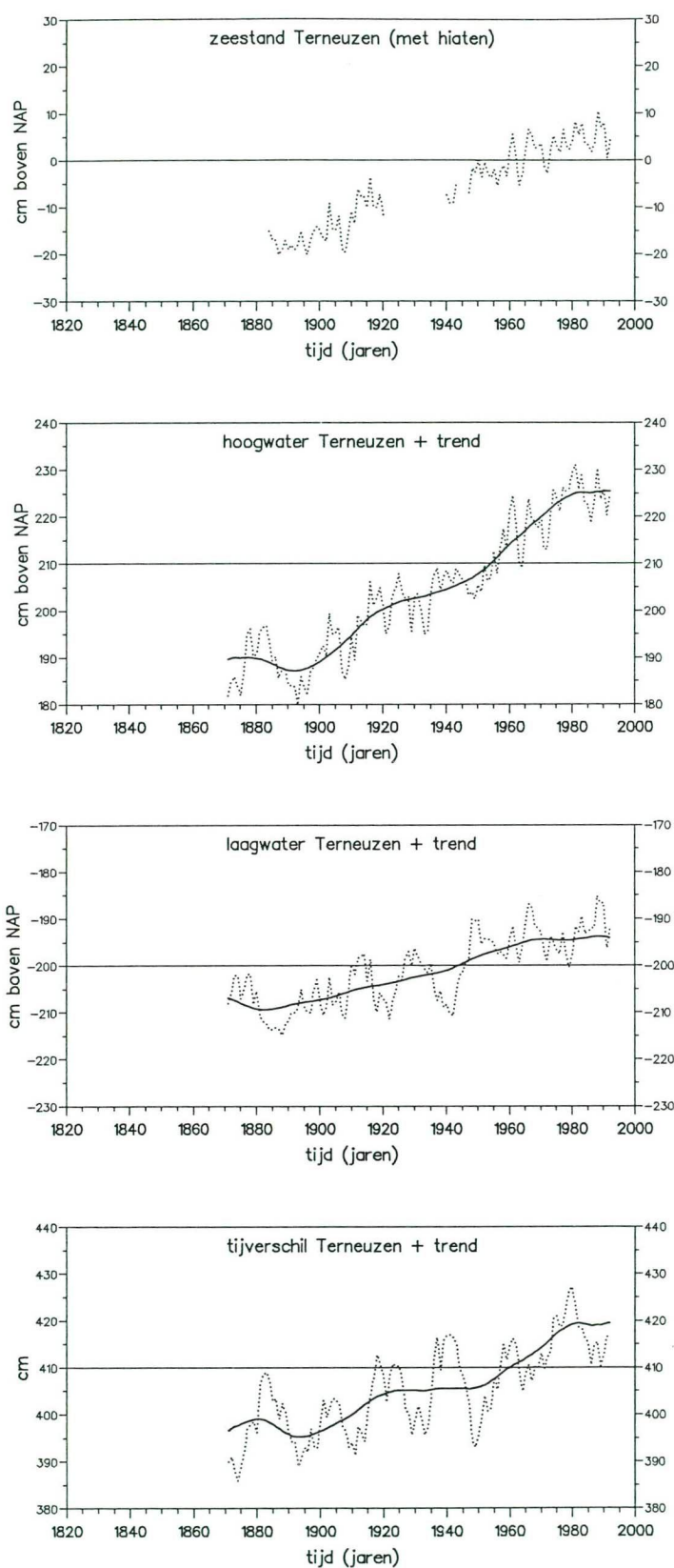
Figuur 2
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Bath



Figuur 3
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Hansweert

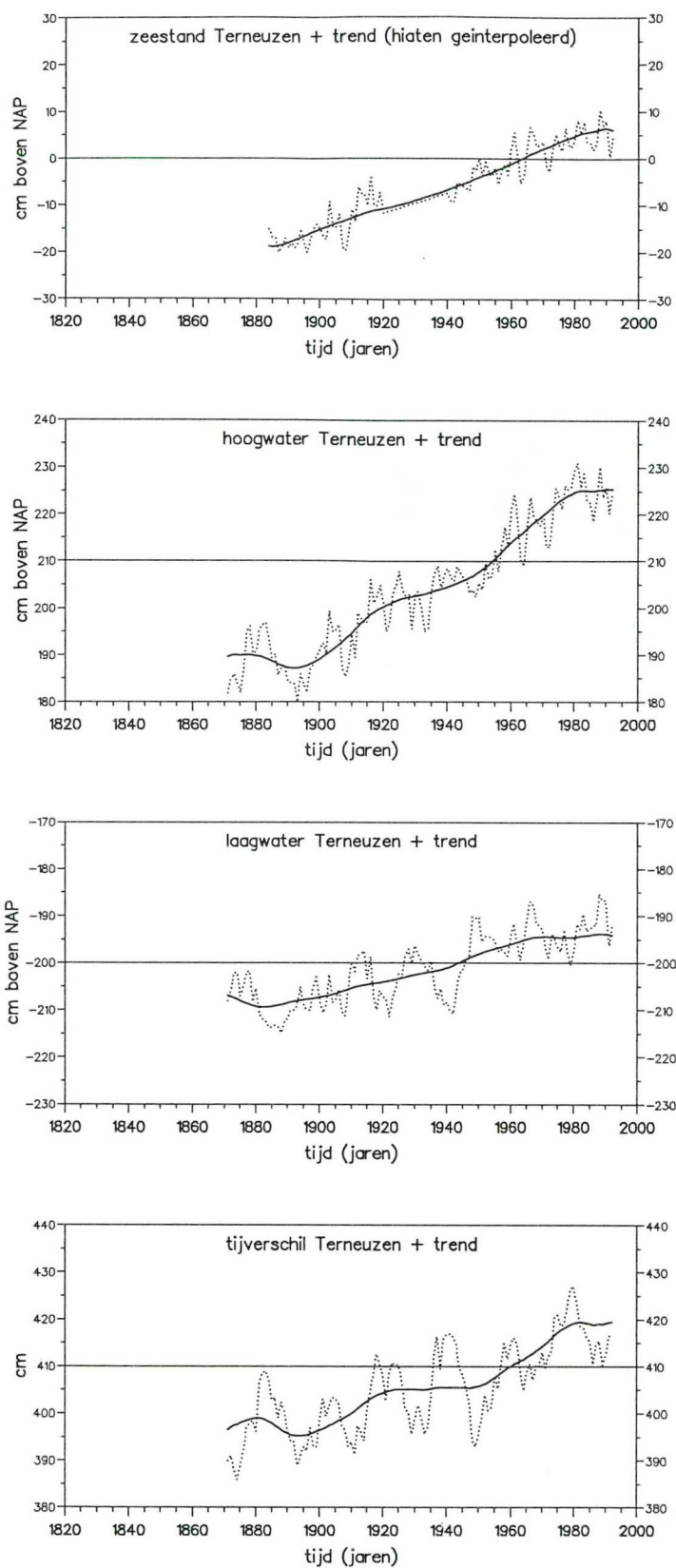


Figuur 4
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Terneuzen

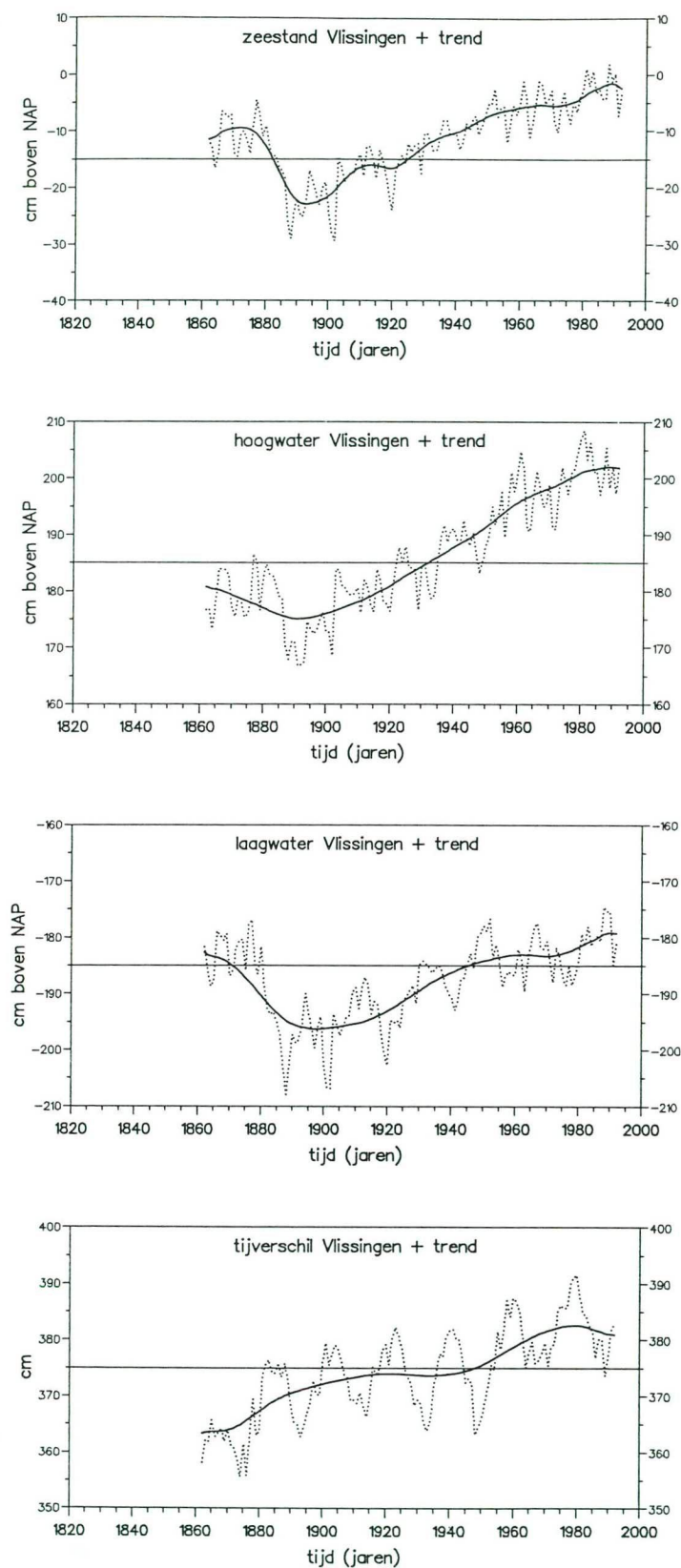


Figuur 5

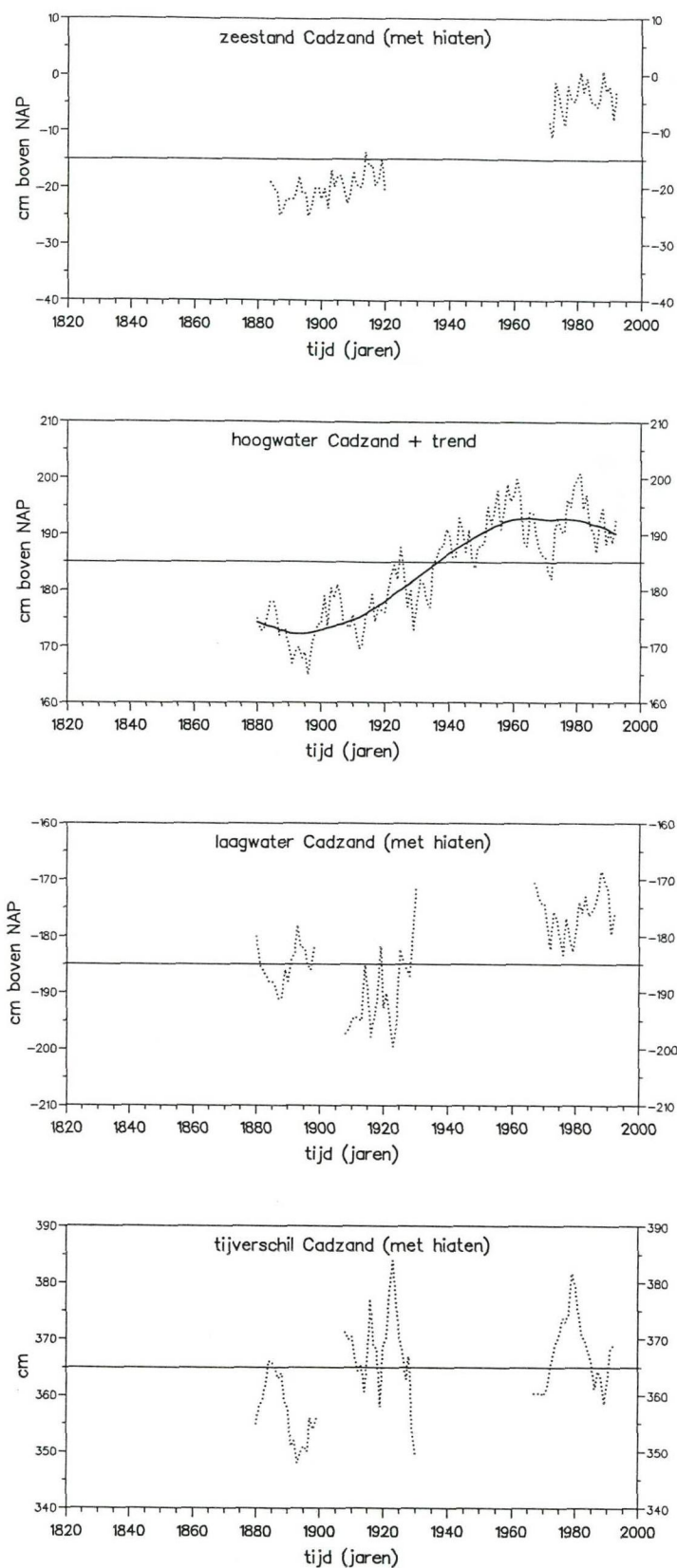
Verloop gemiddelde zeenniveaus
Terneuzen (hiaten
geïnterpoleerd)



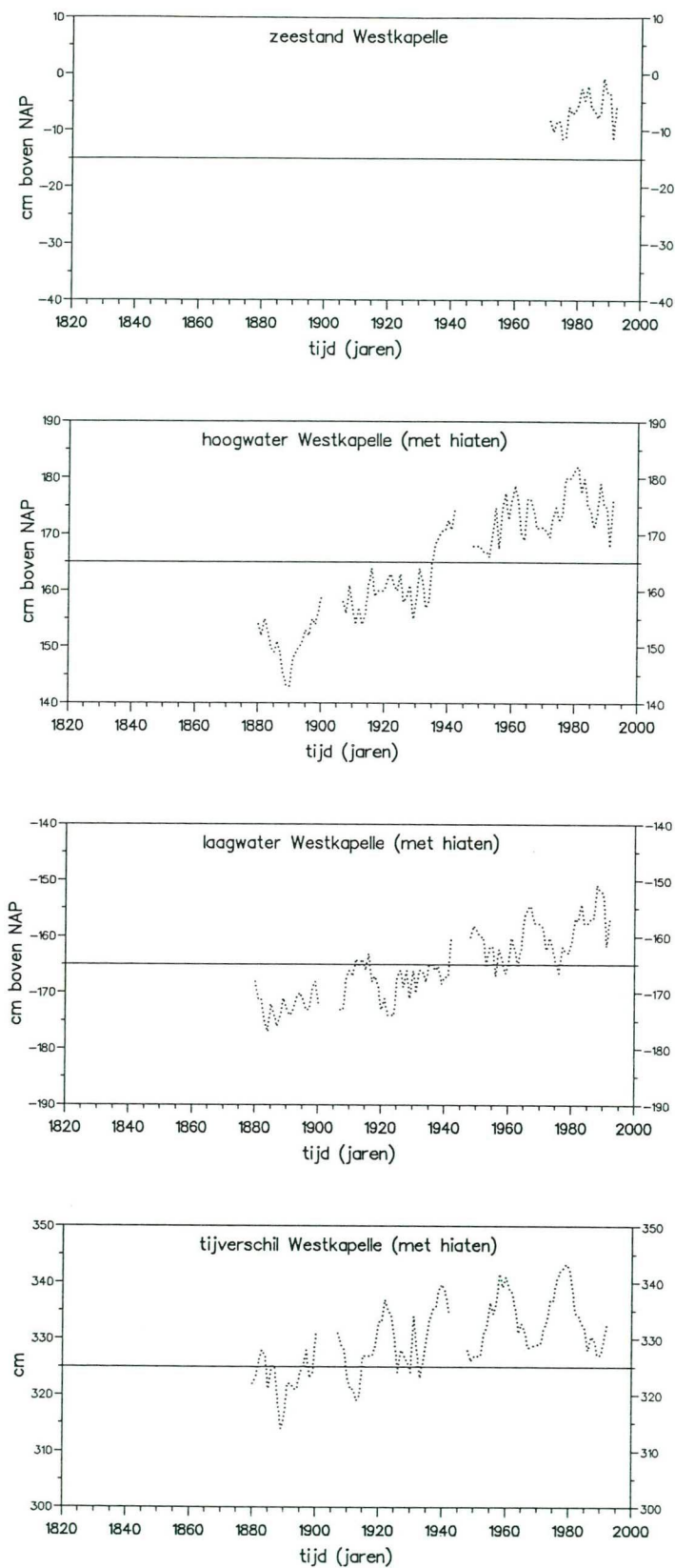
Figuur 6
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Vlissingen



Figuur 7
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Cadzand

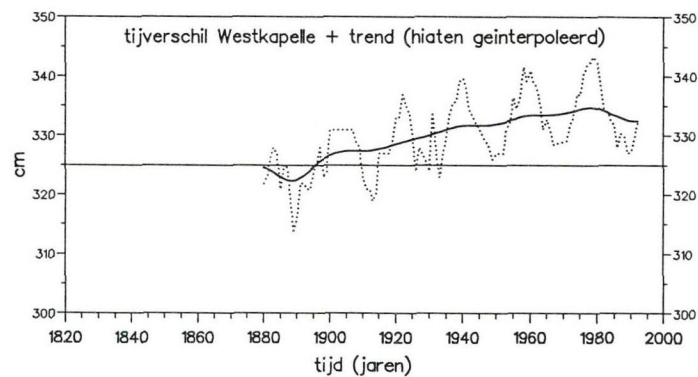
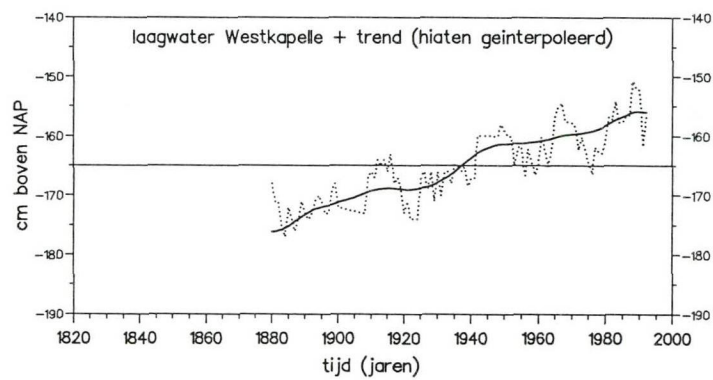
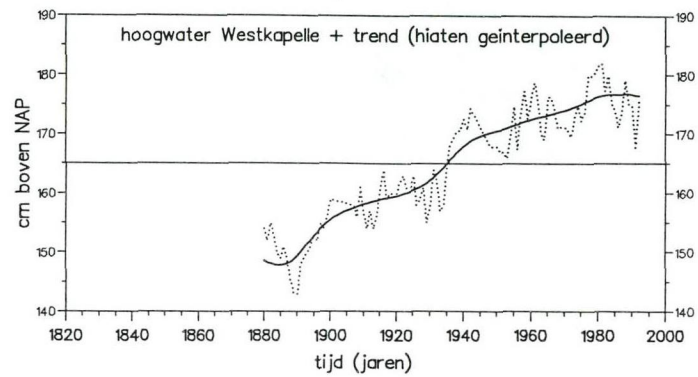
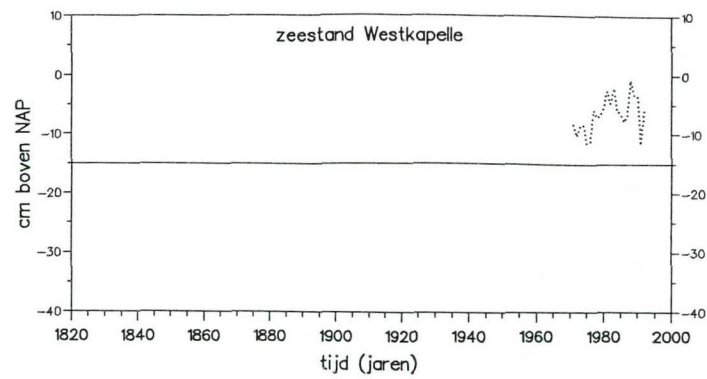


Figuur 8
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Westkapelle

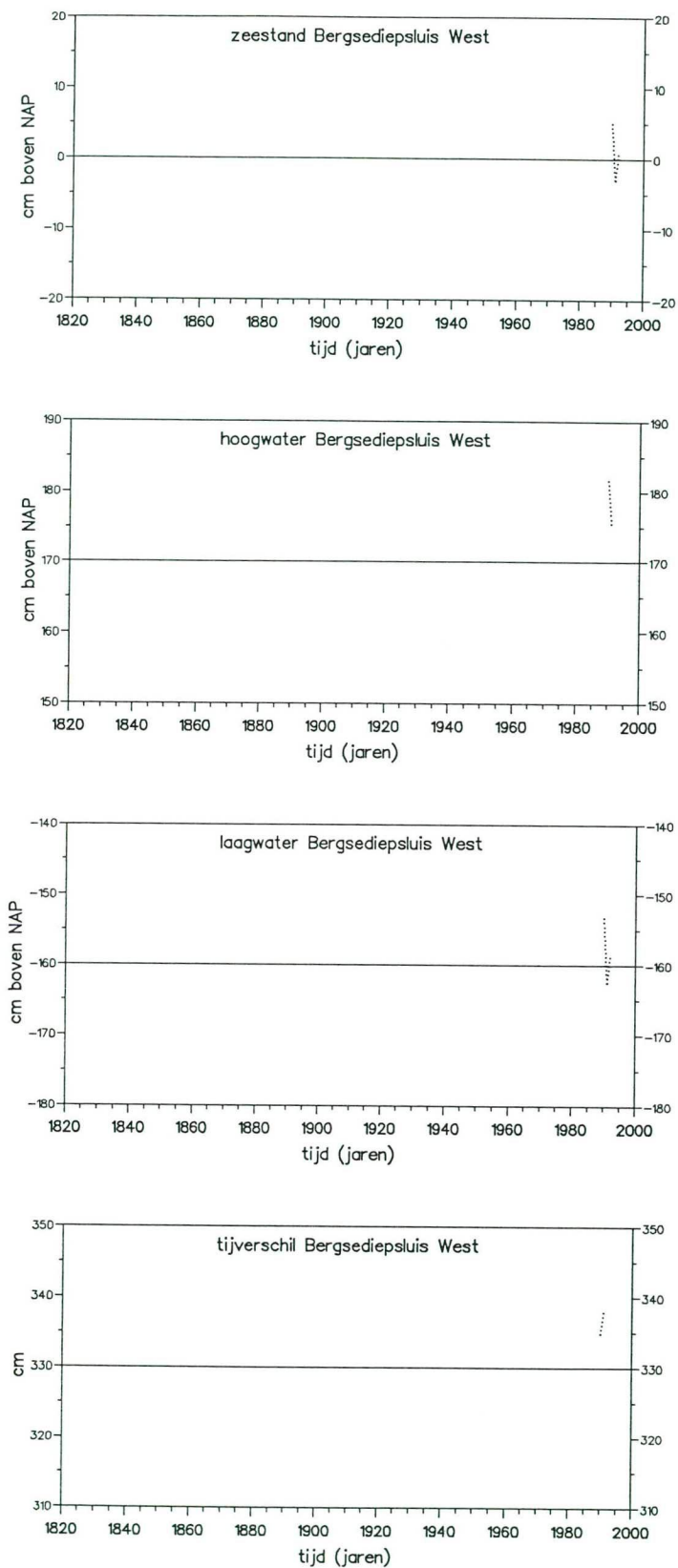


Figuur 9

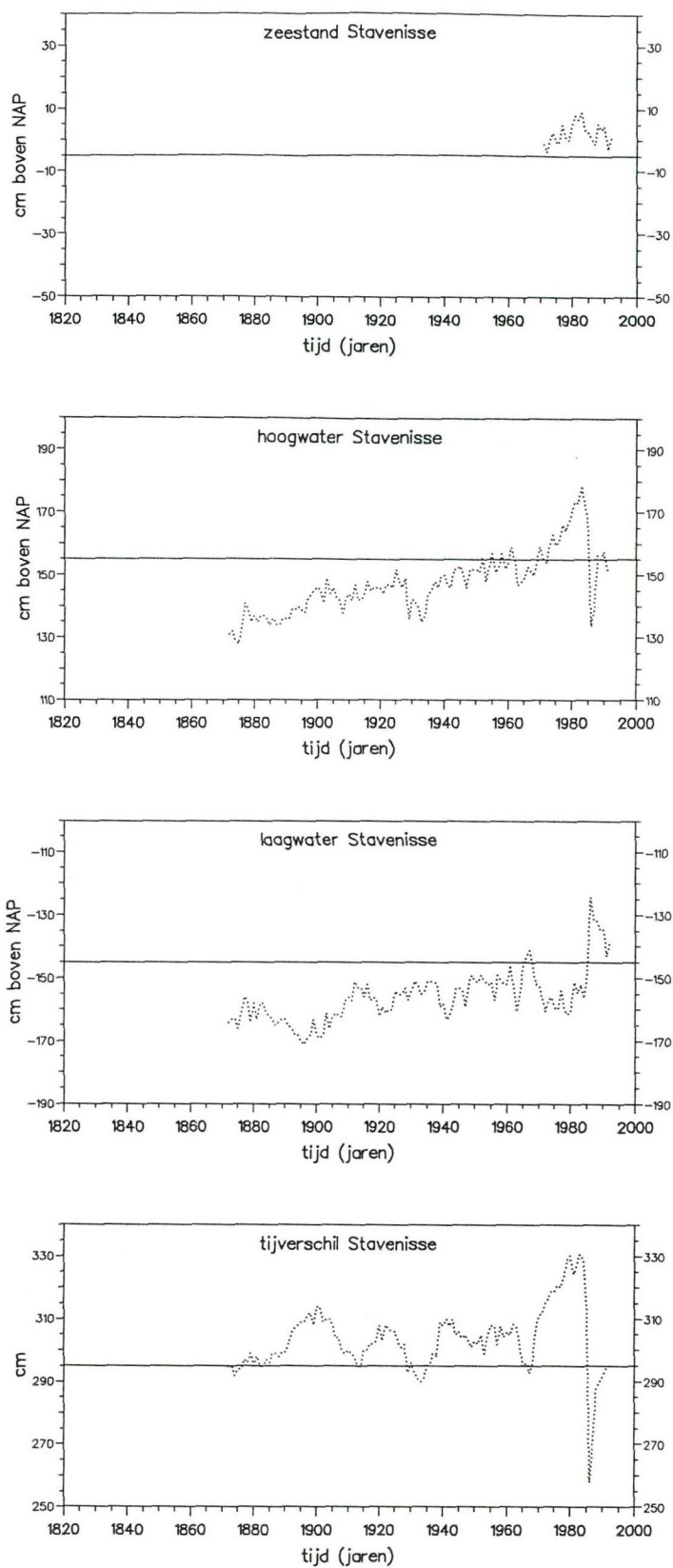
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Westkapelle (hiaten
geïnterpoleerd)



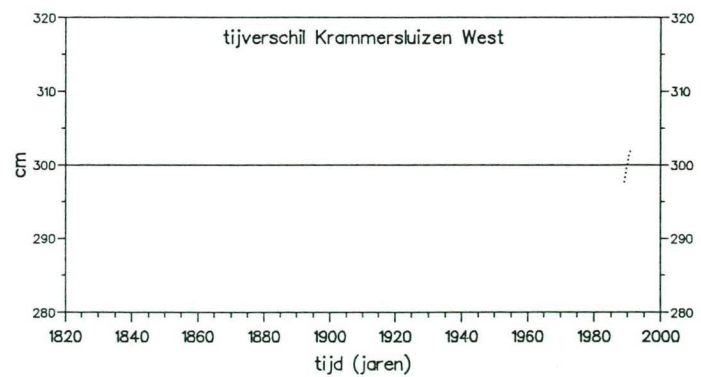
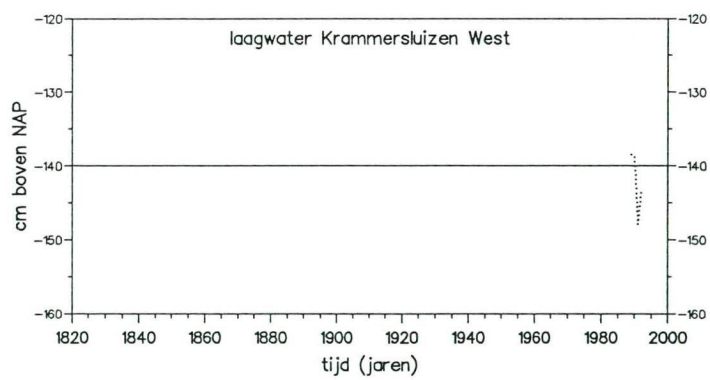
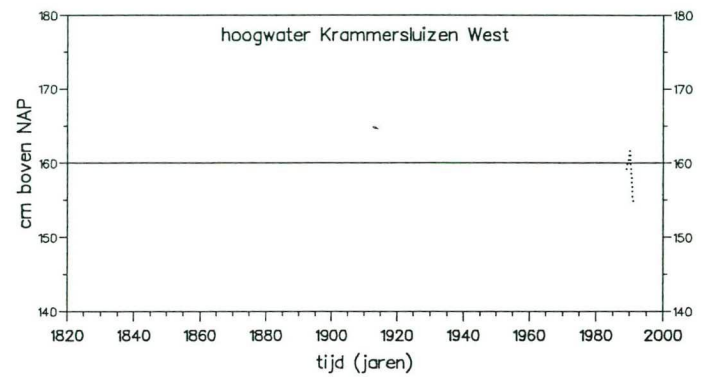
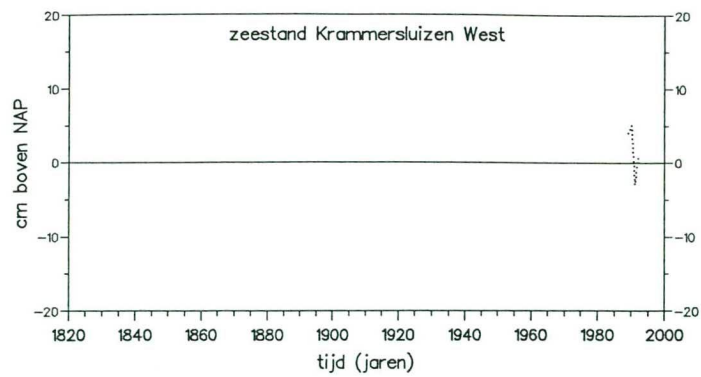
Figuur 10
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Bergsediepsluis West



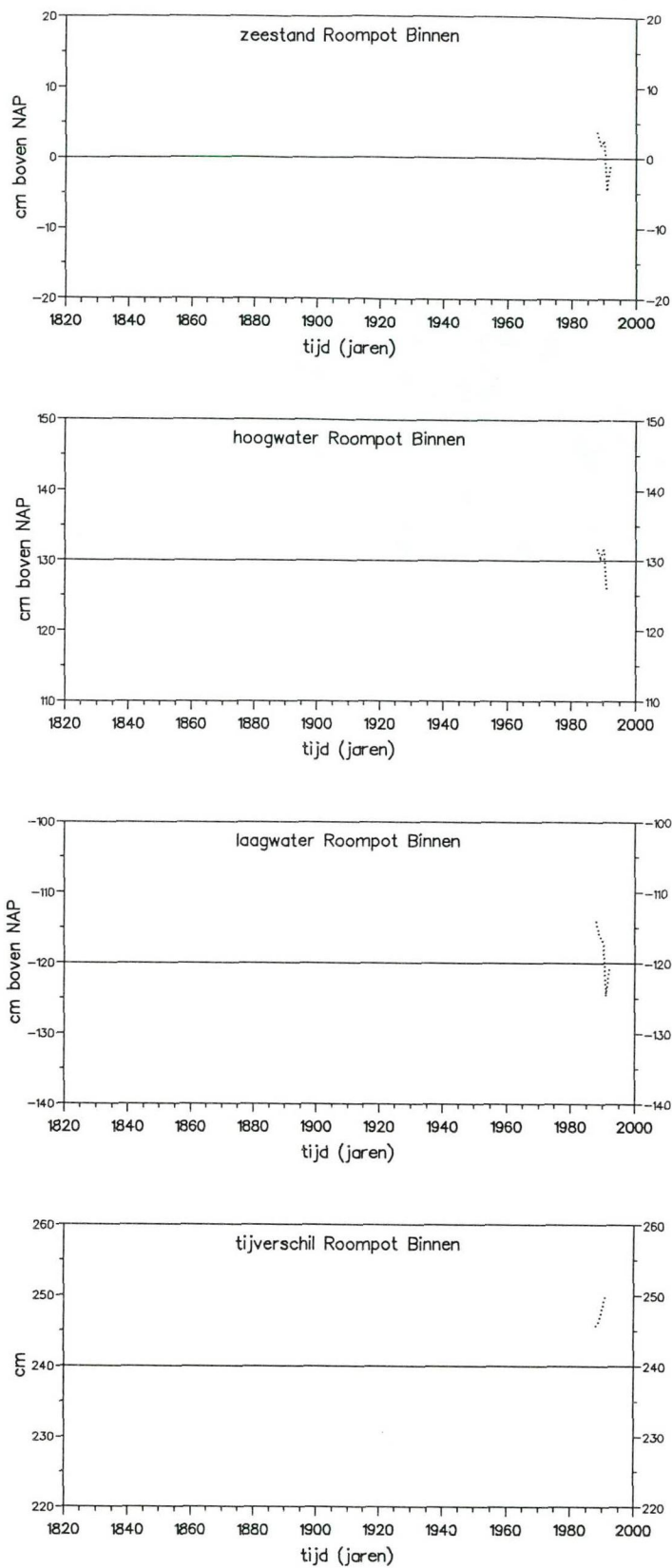
Figuur 11
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Stavenisse



Figuur 12
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Krammersluizen West

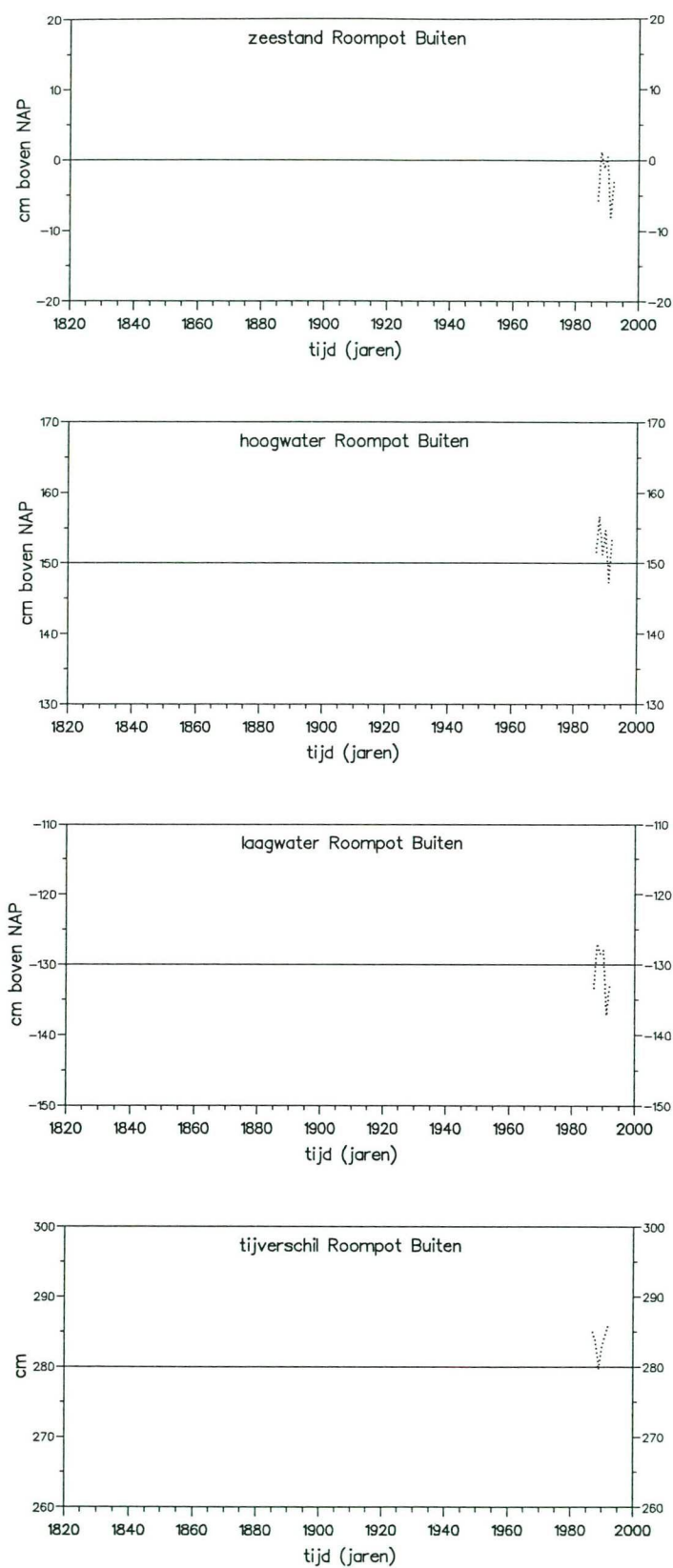


Figuur 13
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Roompot Binnen

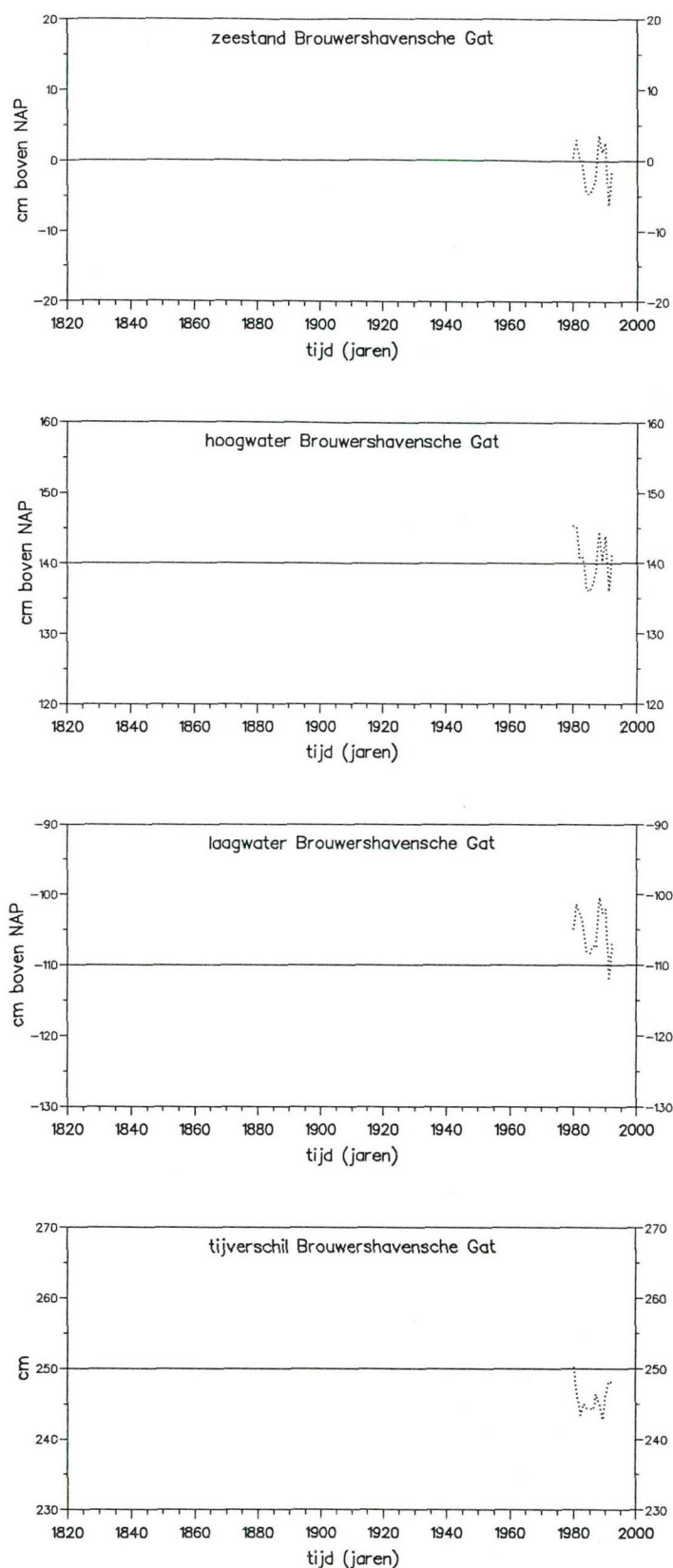


Figuur 14

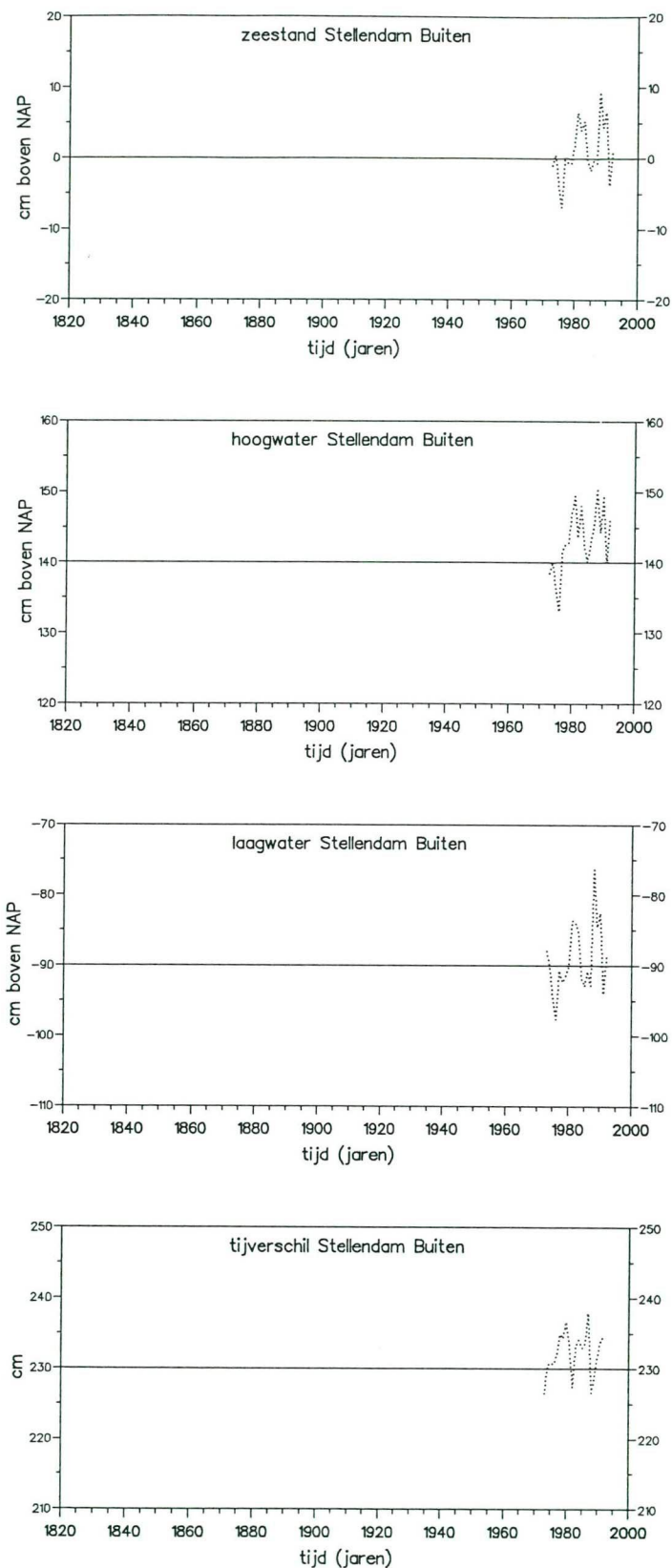
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Roompot Buiten



Figuur 15
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Brouwershavensche Gat

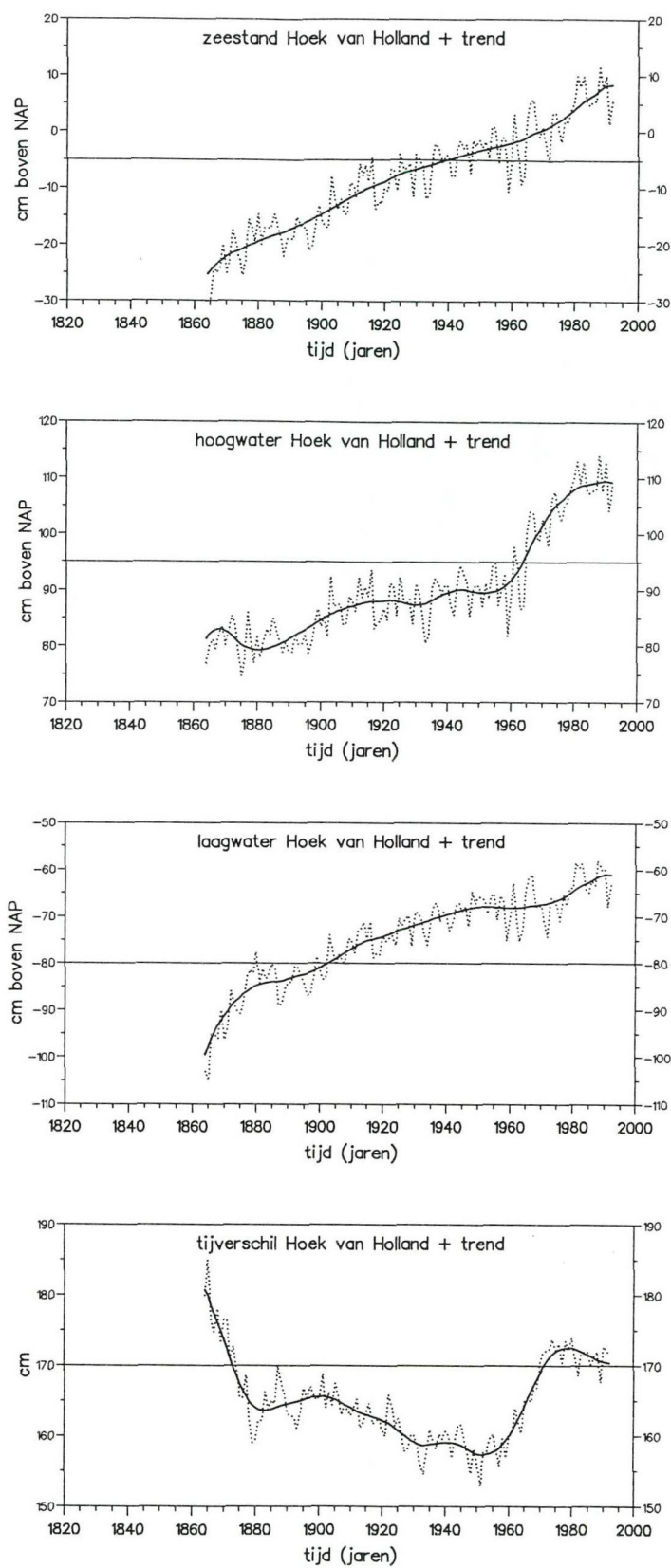


Figuur 16
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Stellendam Buiten



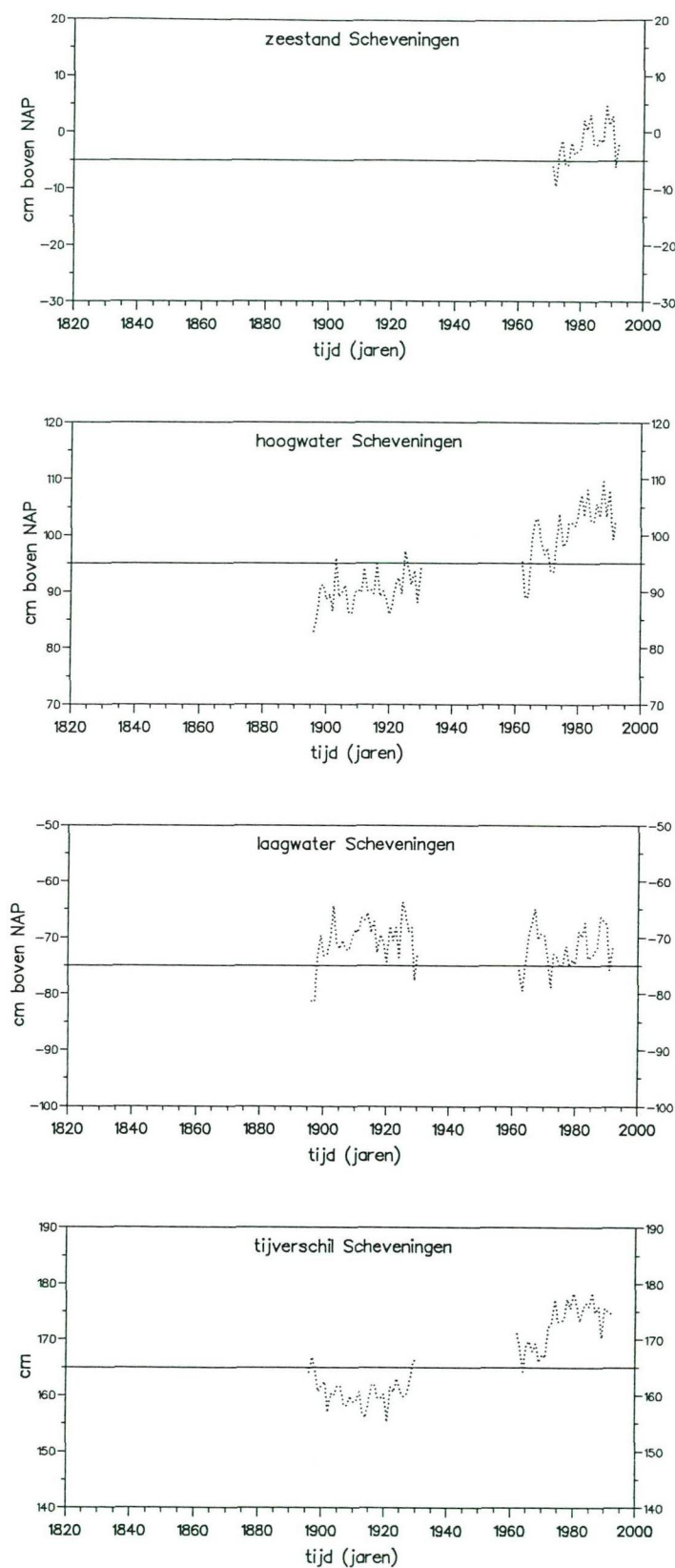
Figuur 17

Verloop gemiddelde zeeniveaus
Hoek van Holland



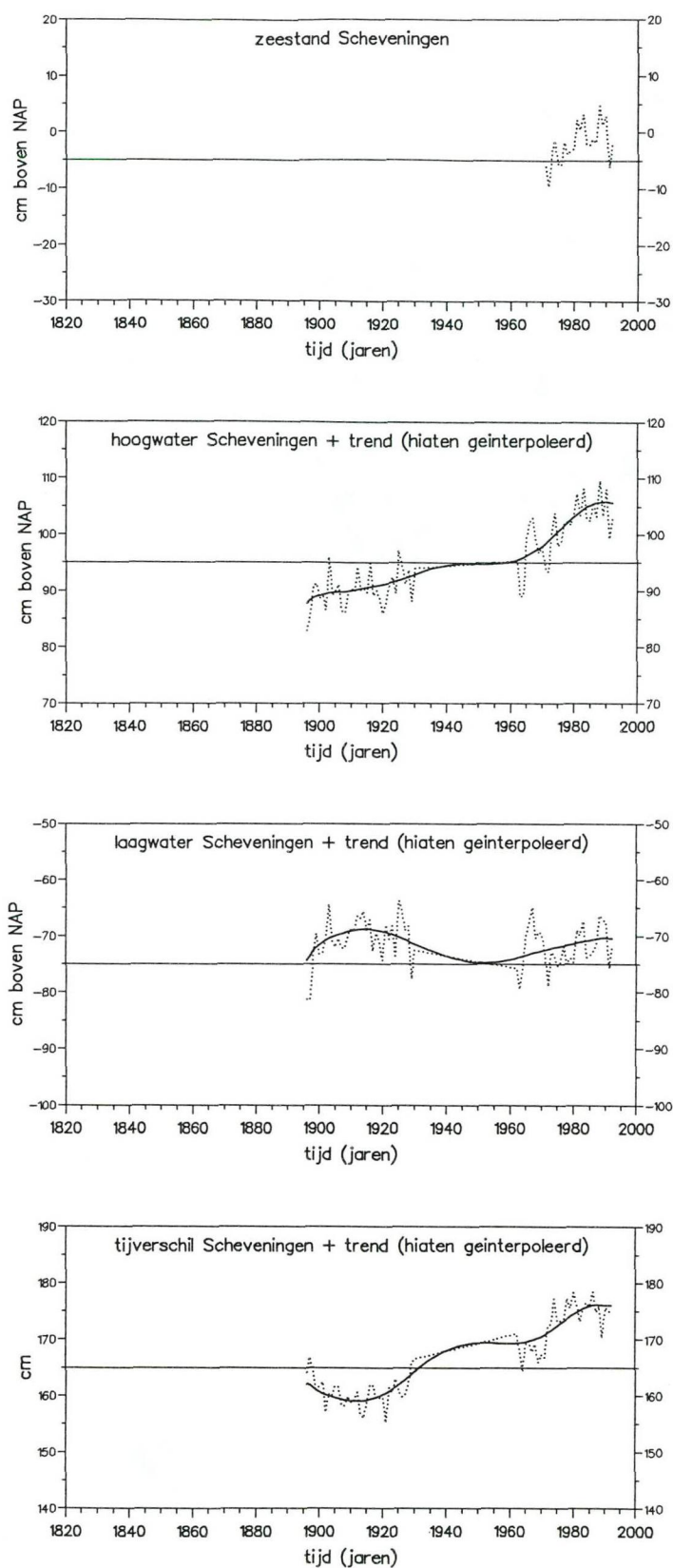
Figuur 18

Verloop gemiddelde zeeniveaus
Scheveningen

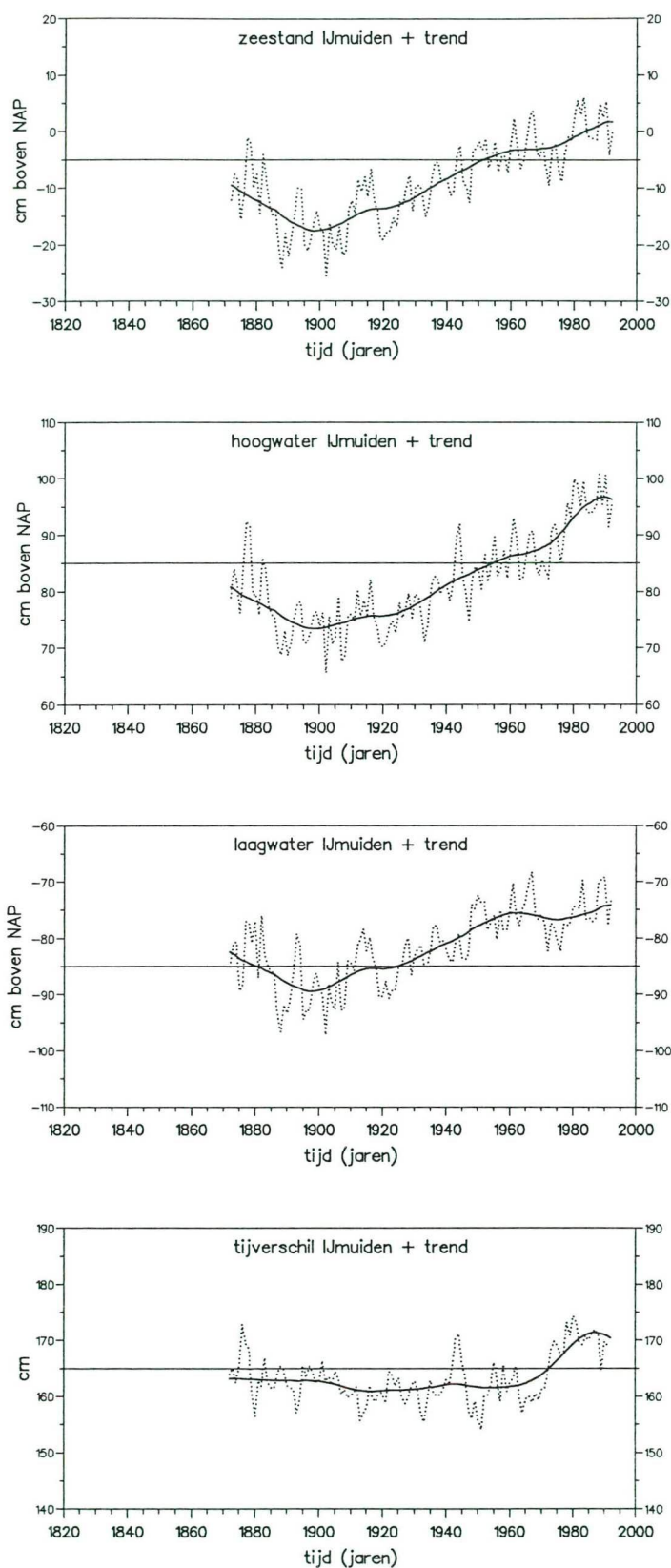


Figuur 19

Verloop gemiddelde zeeniveaus
Scheveningen (hiaten
geïnterpoleerd)

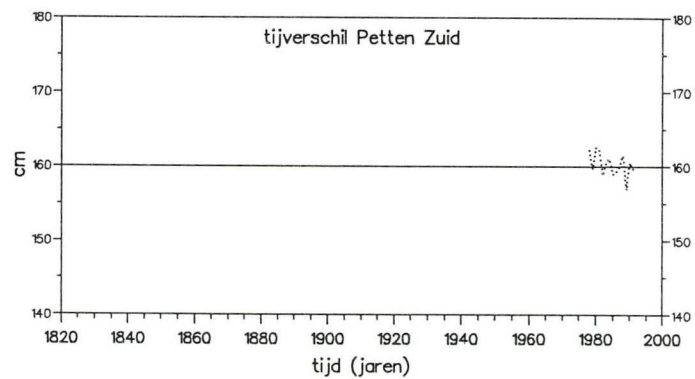
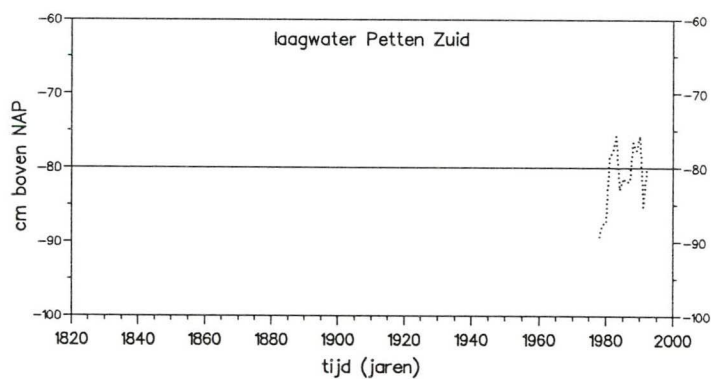
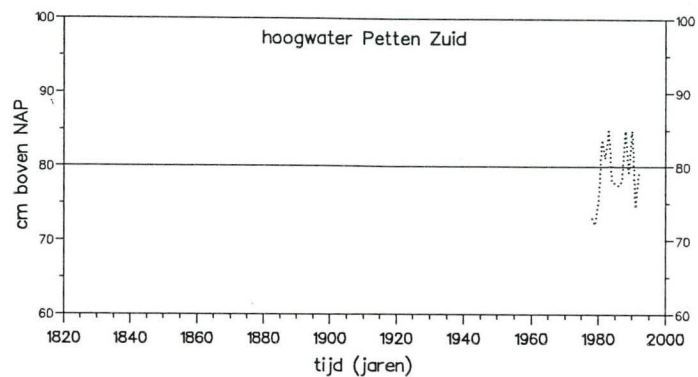
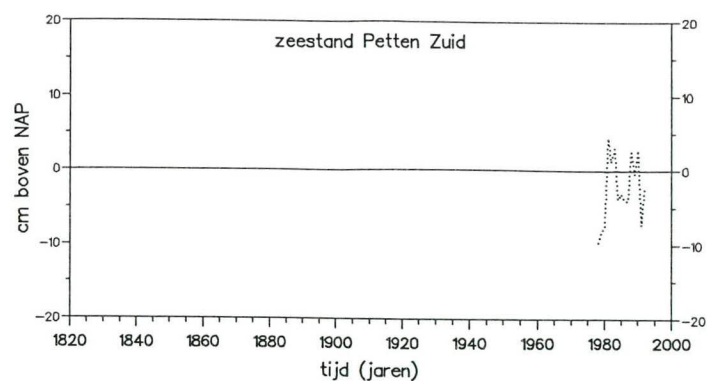


Figuur 20
Verloop gemiddelde zeeniveaus
IJmuiden

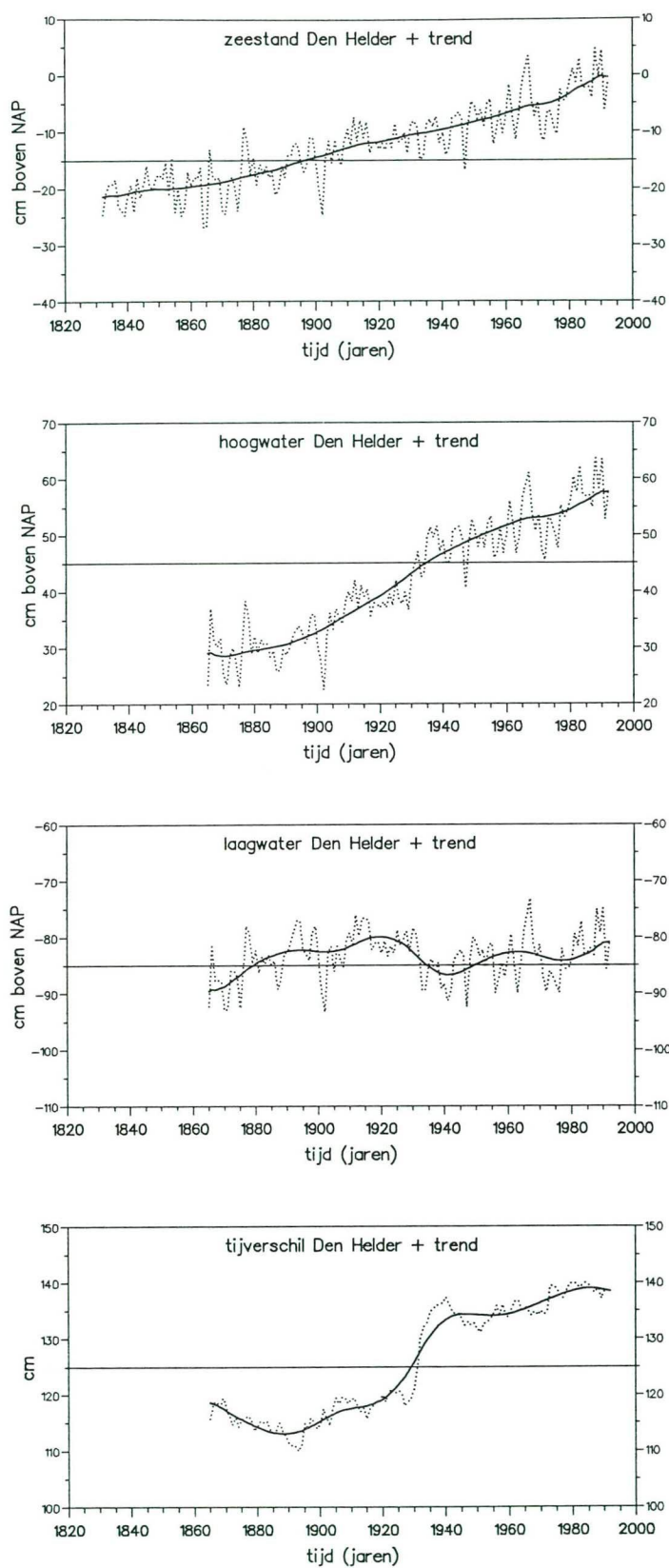


Figuur 21

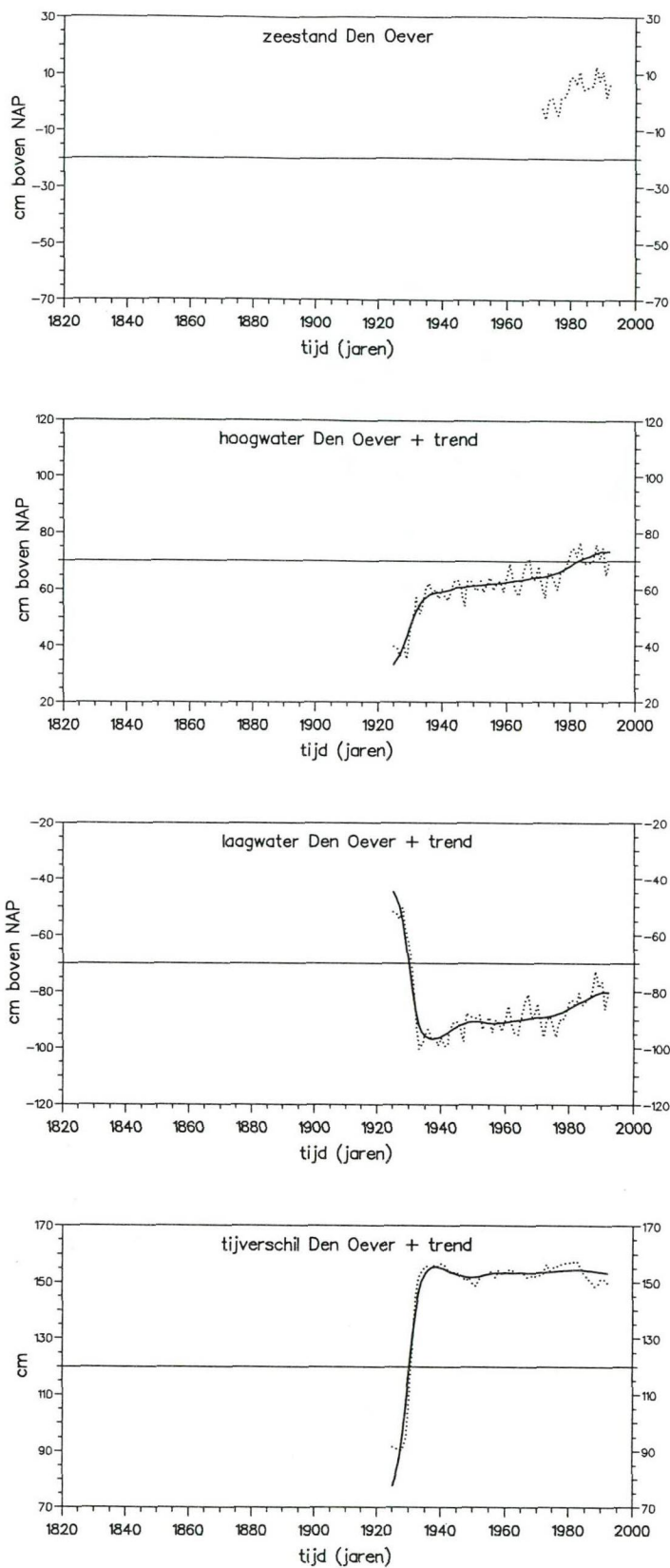
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Petten Zuid



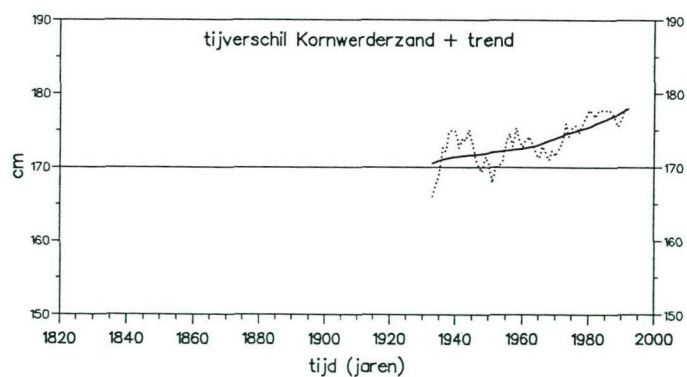
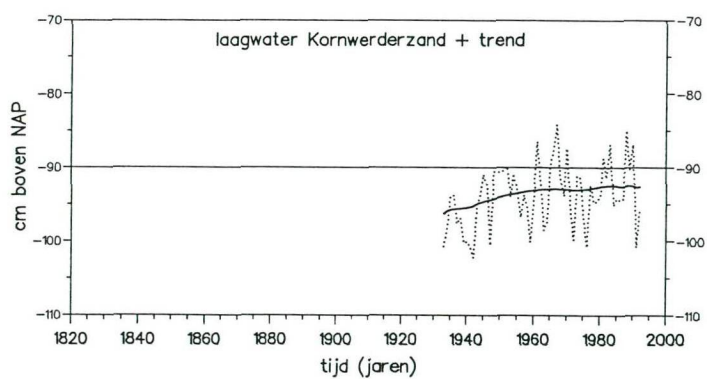
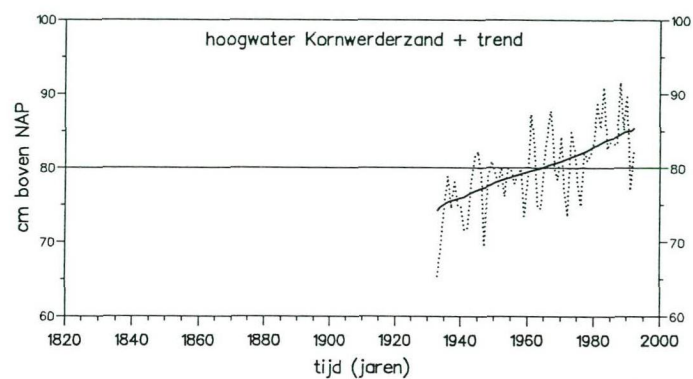
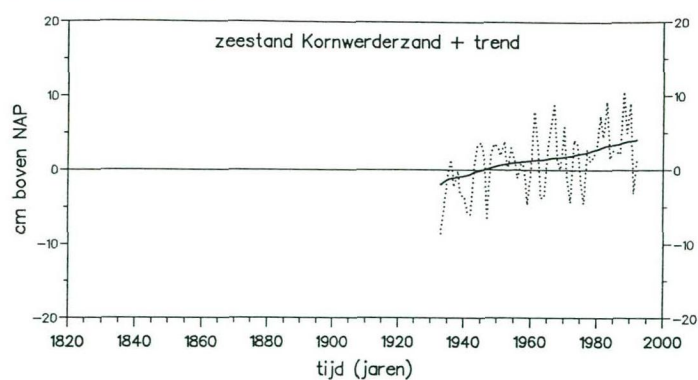
Figuur 22
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Den Helder



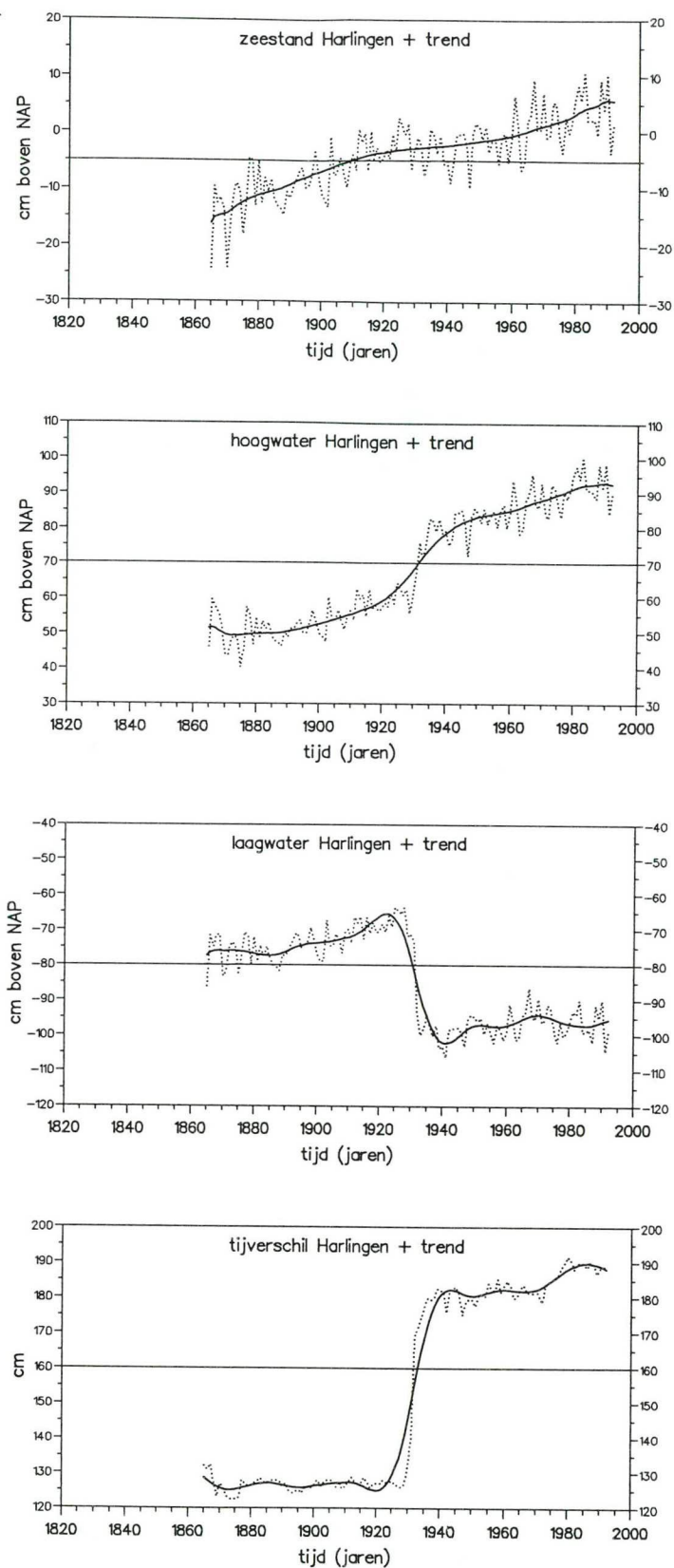
Figuur 23
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Den Oever



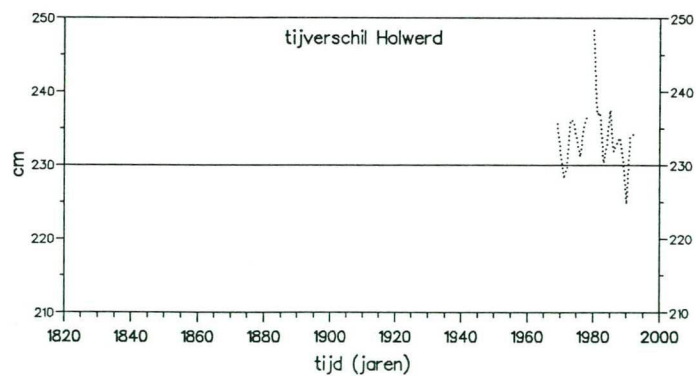
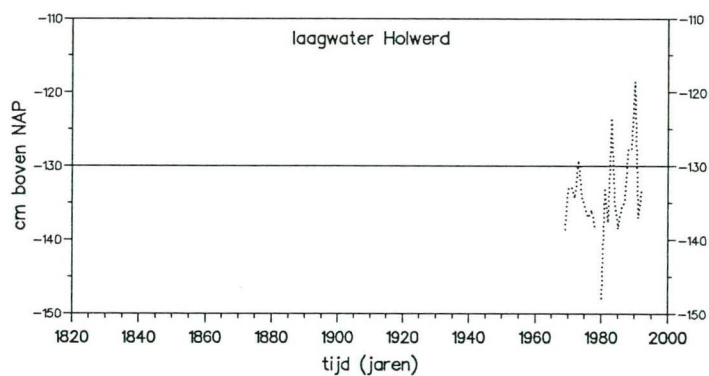
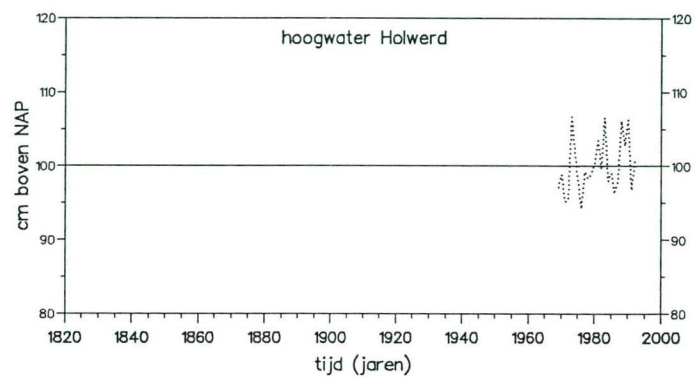
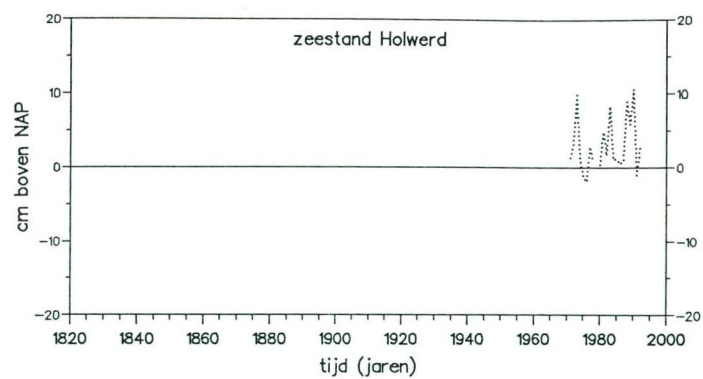
Figuur 24
Verloop gemiddelde zeenniveaus
Kornwerderzand



Figuur 25
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Harlingen

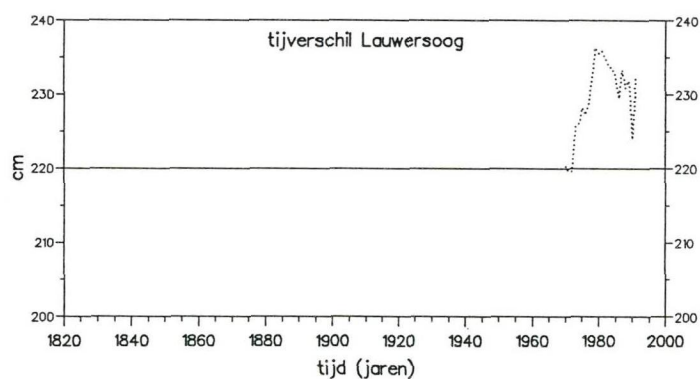
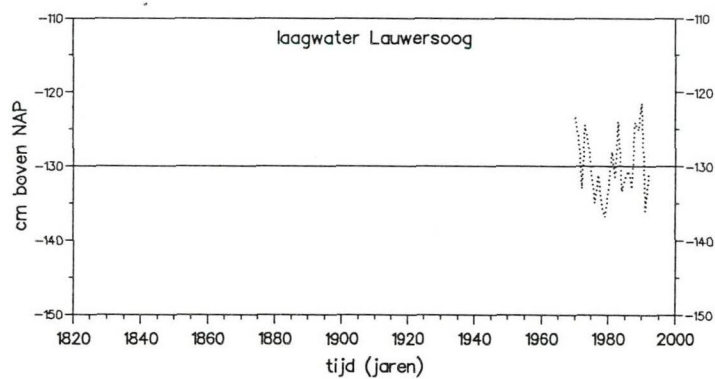
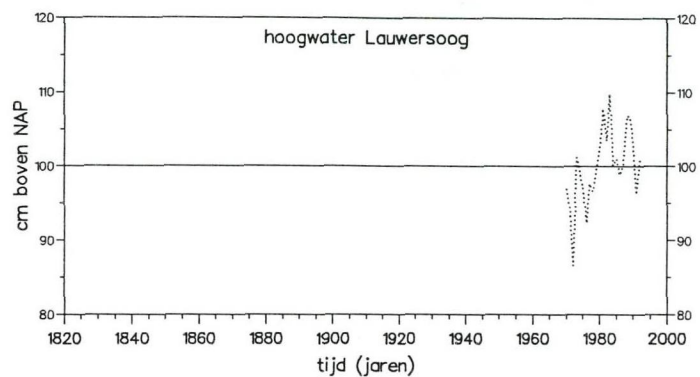
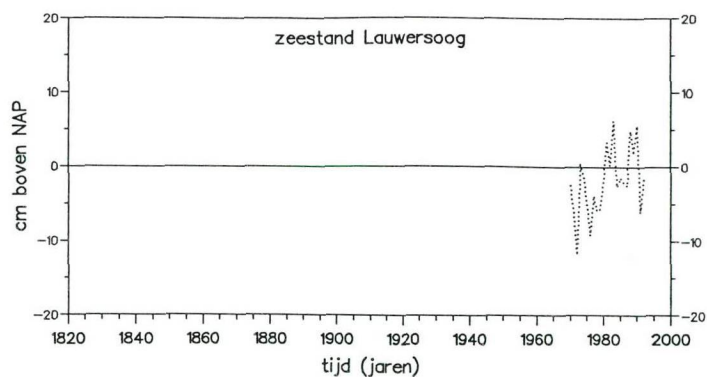


Figuur 26
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Holwerd



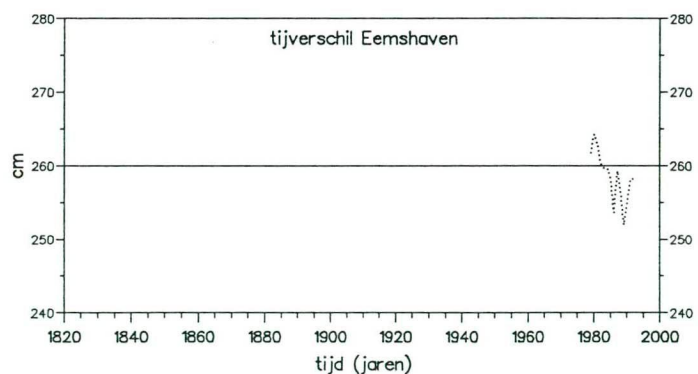
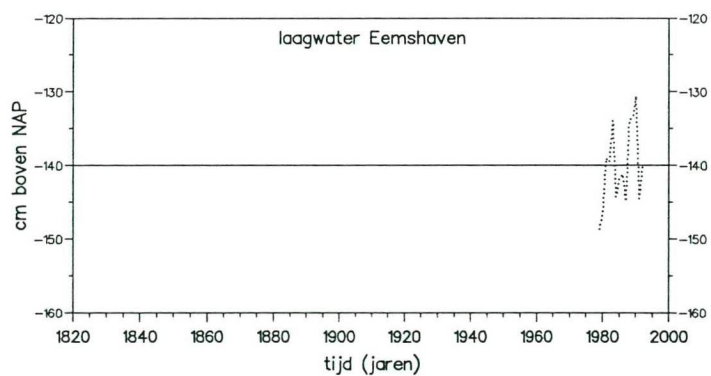
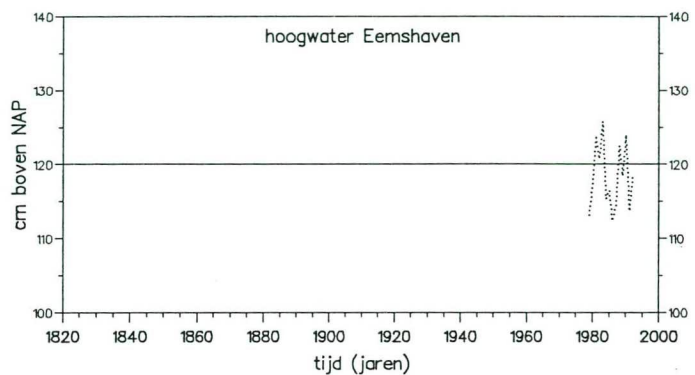
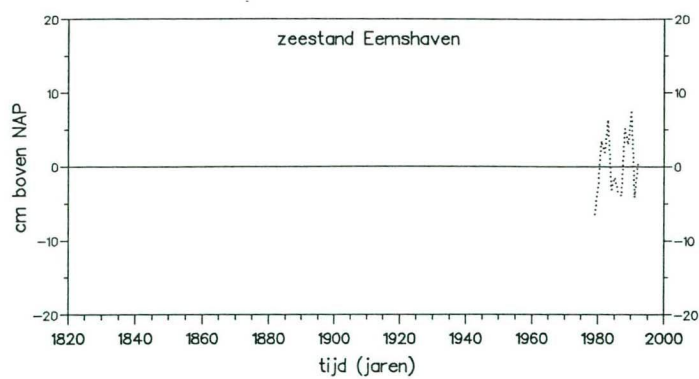
Figuur 27

Verloop gemiddelde zeeniveaus
Lauwersoog

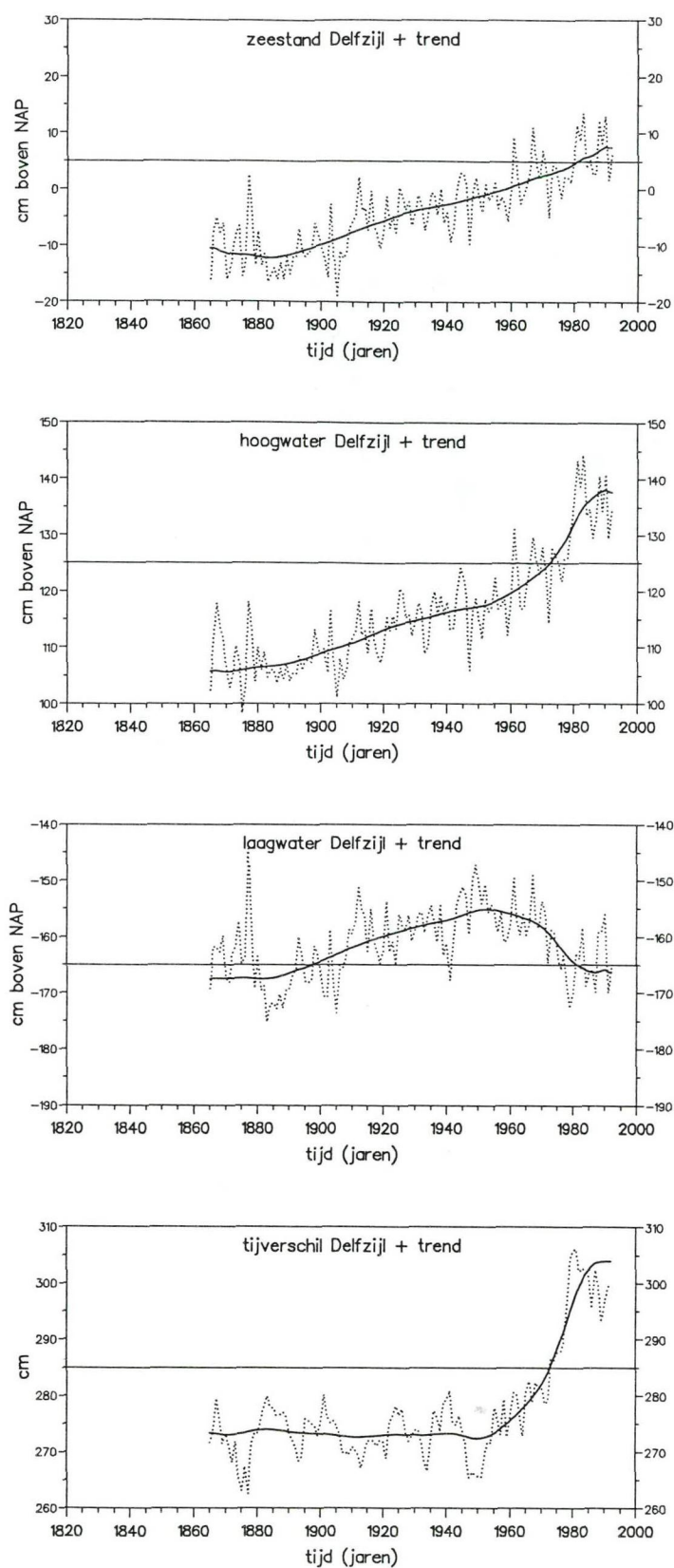


Figuur 28

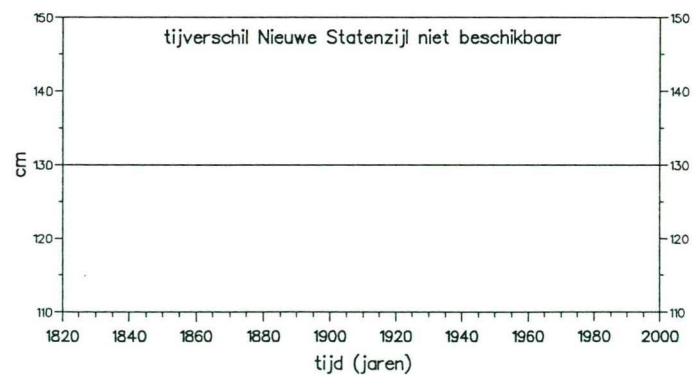
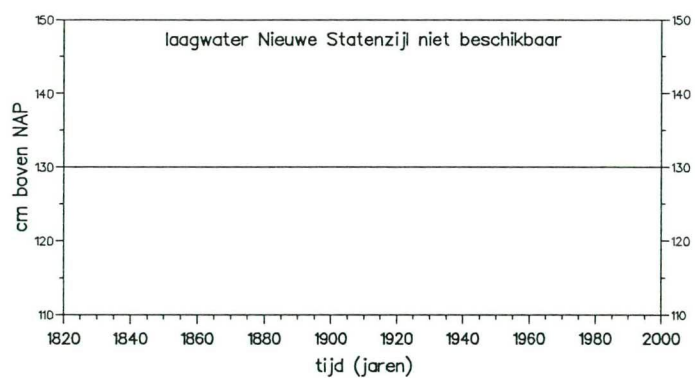
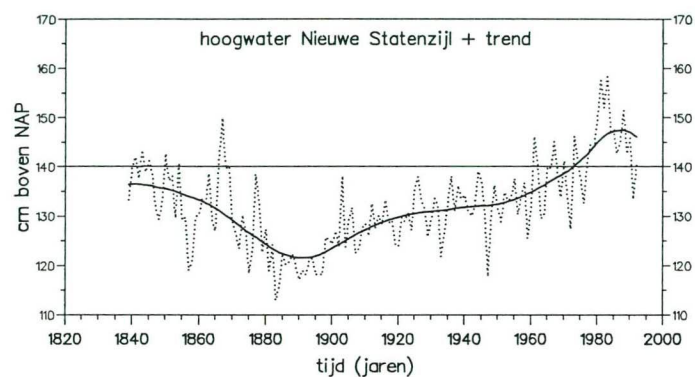
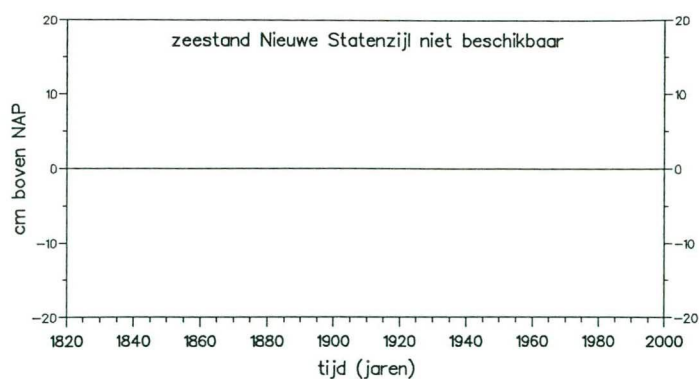
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Eemshaven



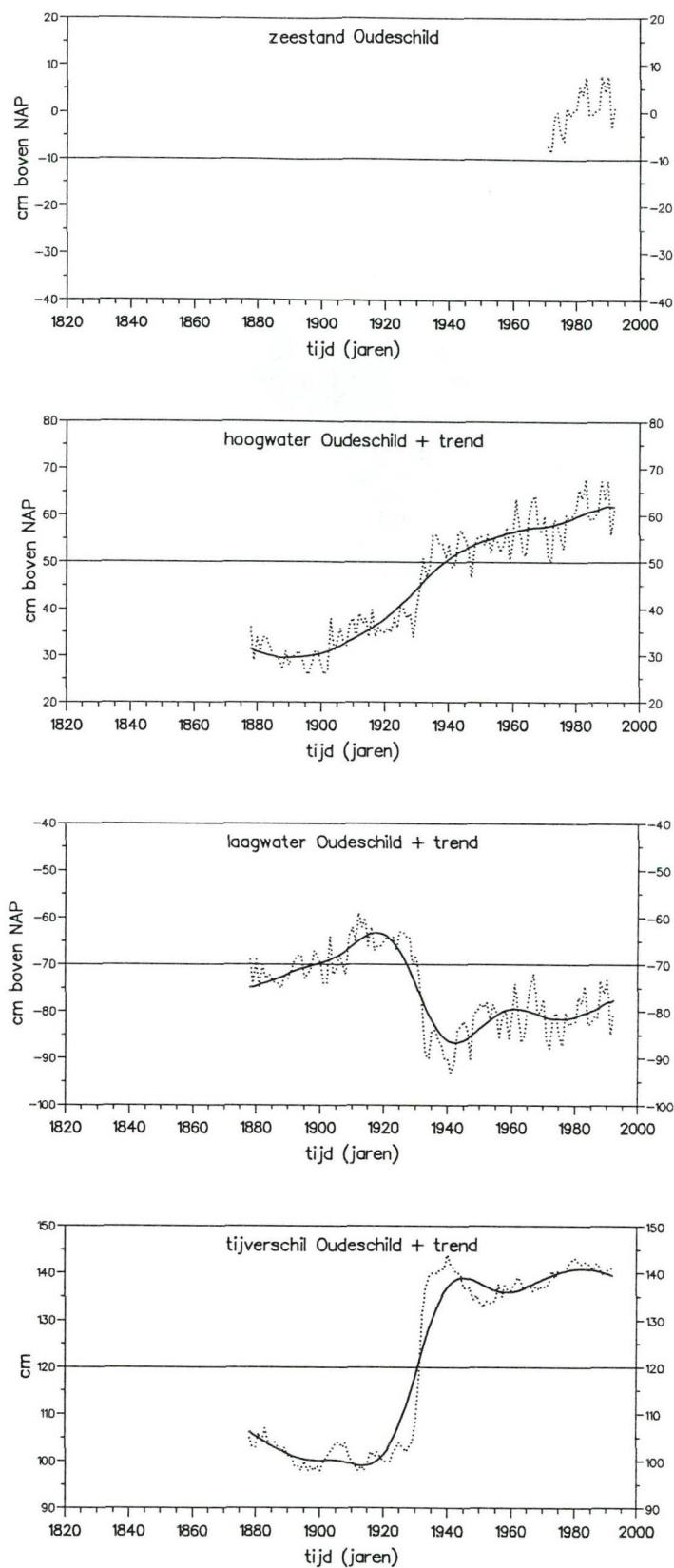
Figuur 29
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Delfzijl



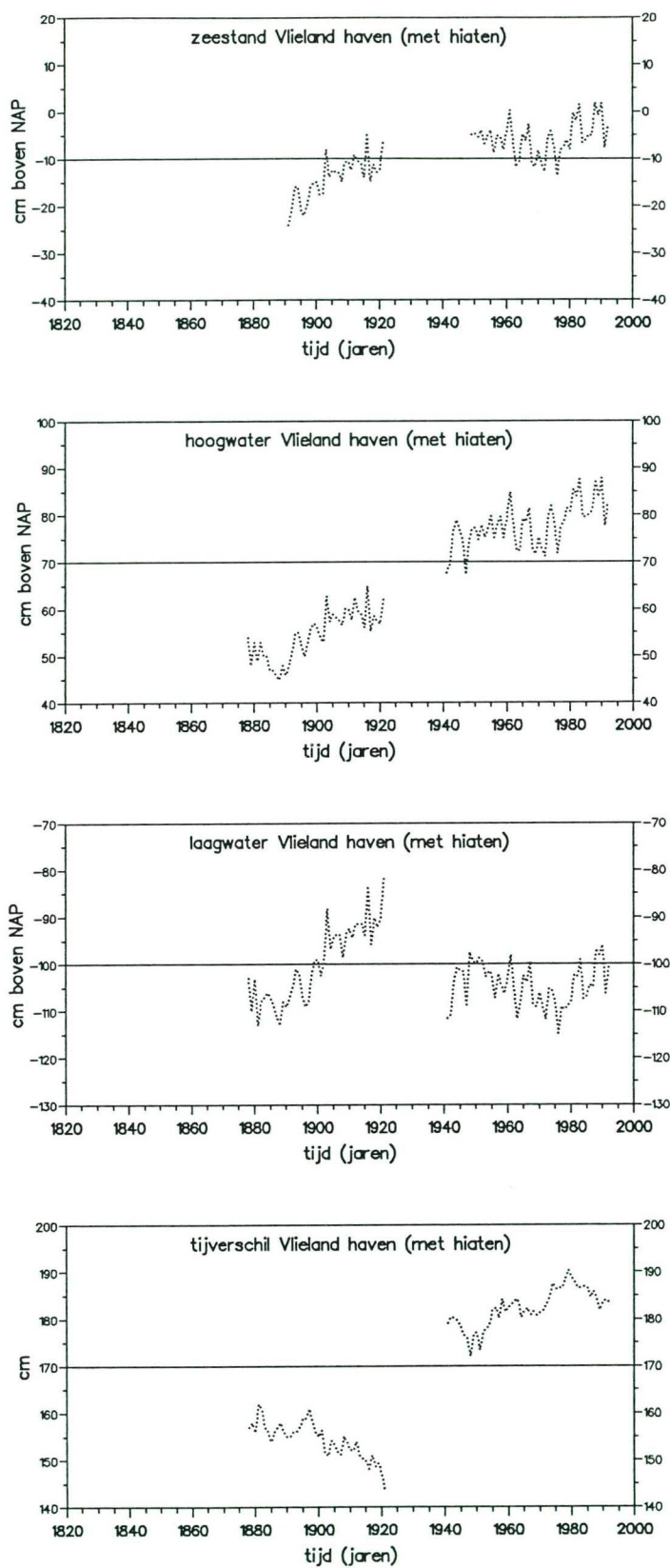
Figuur 30
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Nieuwe Statenzijl



Figuur 31
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Oudeschild

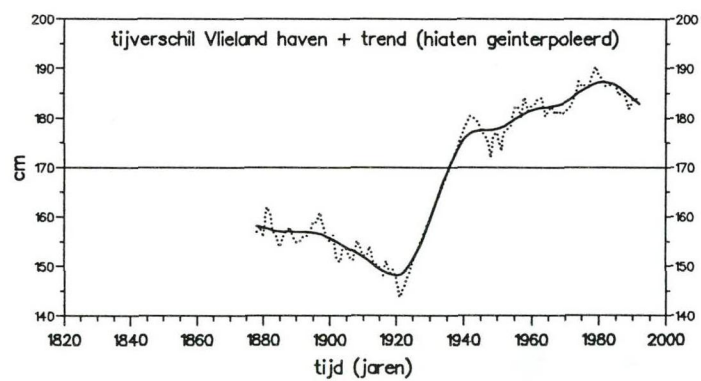
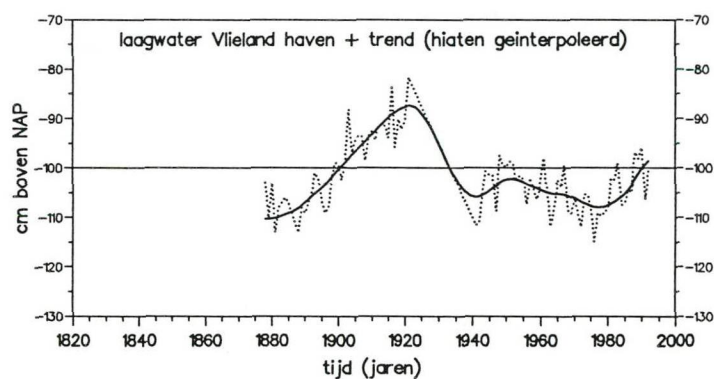
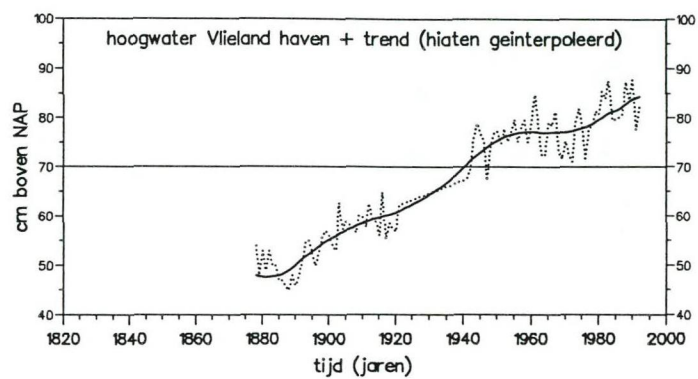
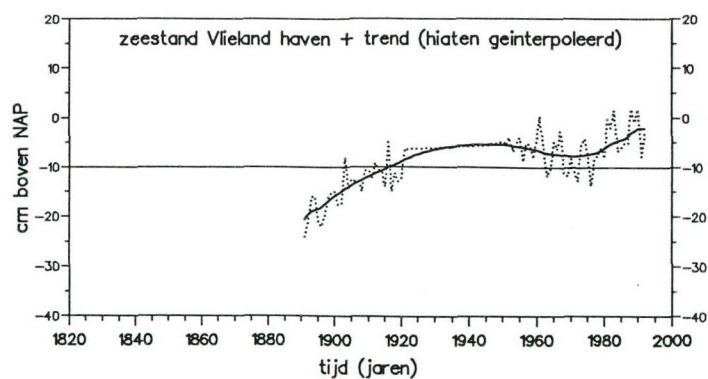


Figuur 32
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Vlieland haven

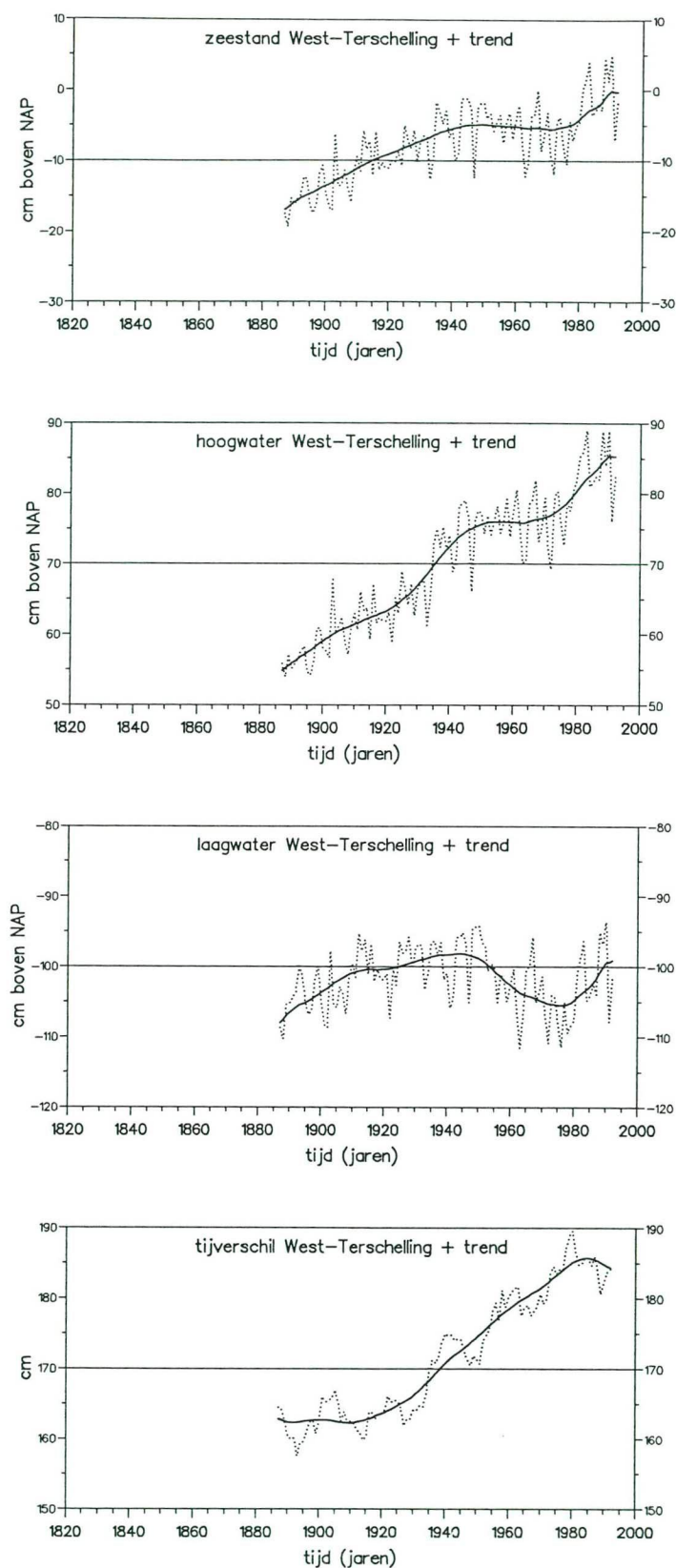


Figuur 33

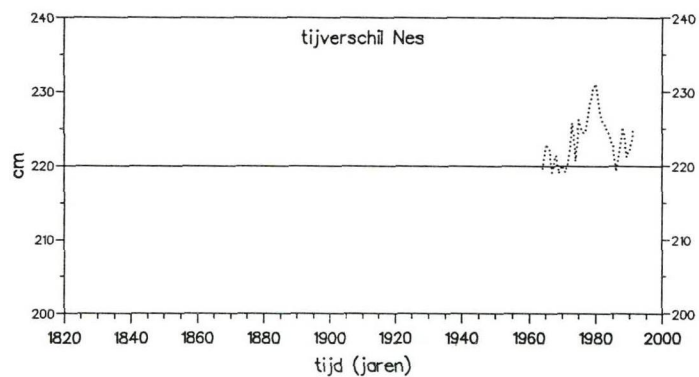
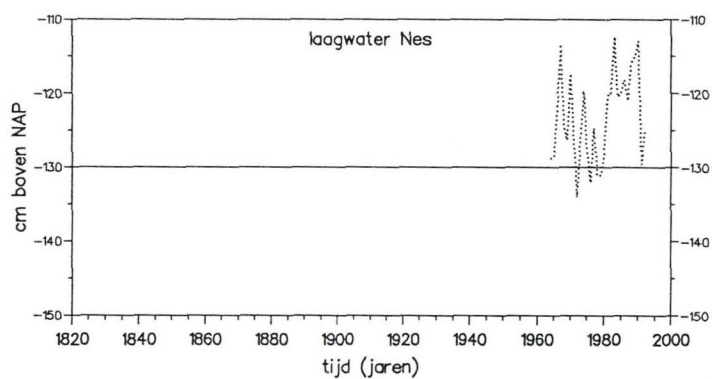
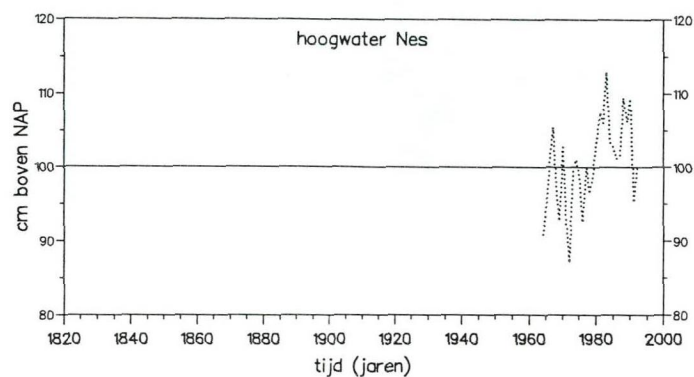
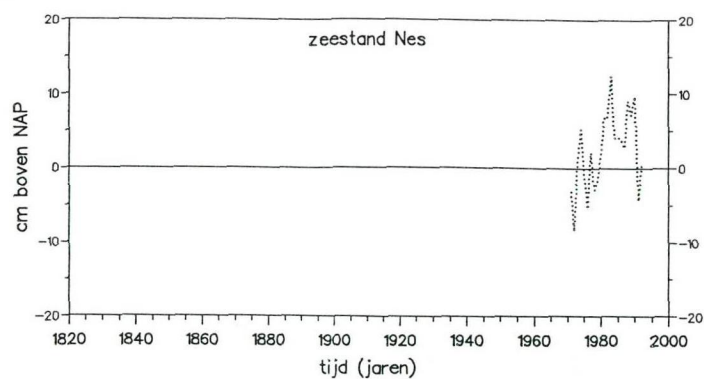
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Vlieland haven (hiaten
geïnterpoleerd)



Figuur 34
Verloop gemiddelde zeeniveaus
West-Terschelling

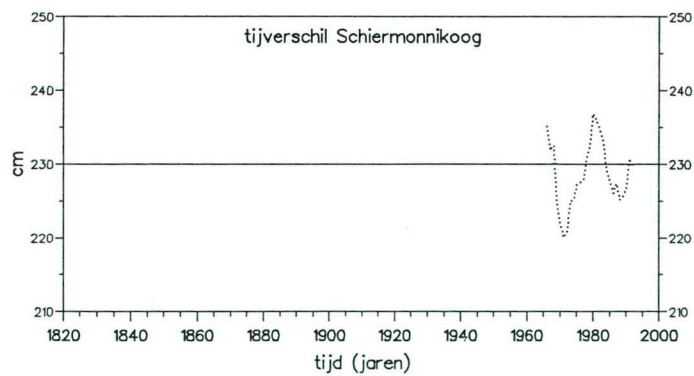
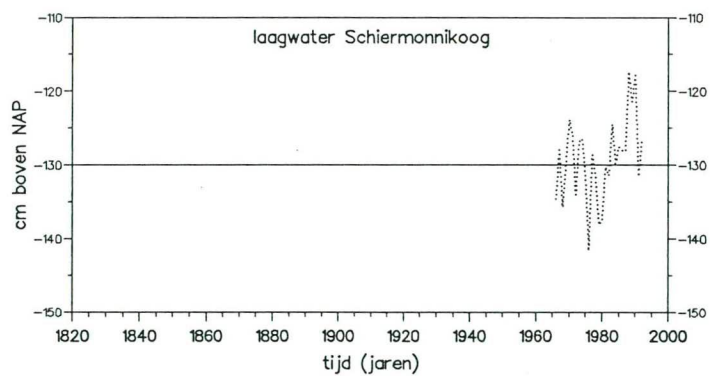
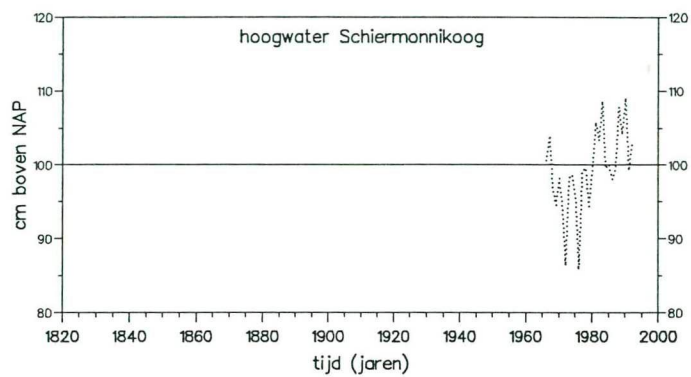
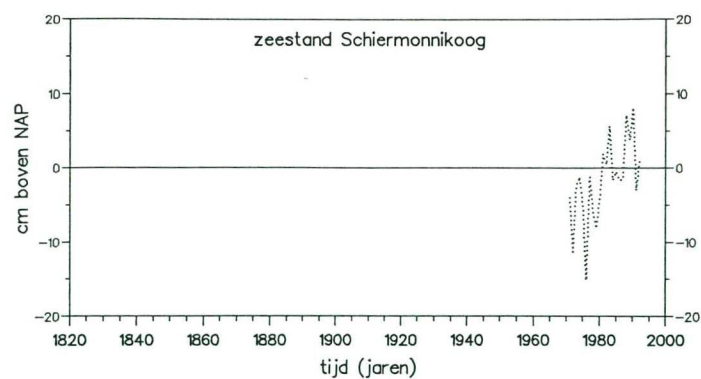


Figuur 35
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Nes



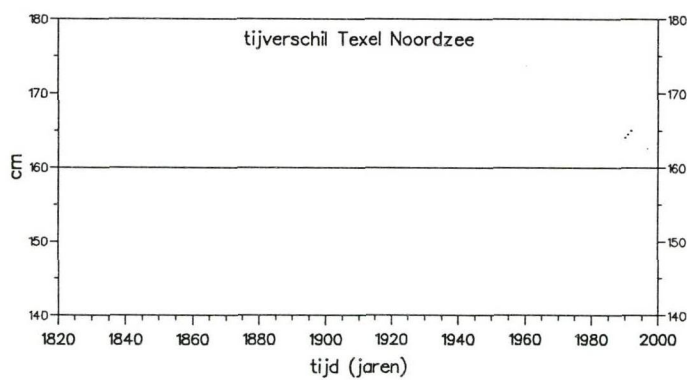
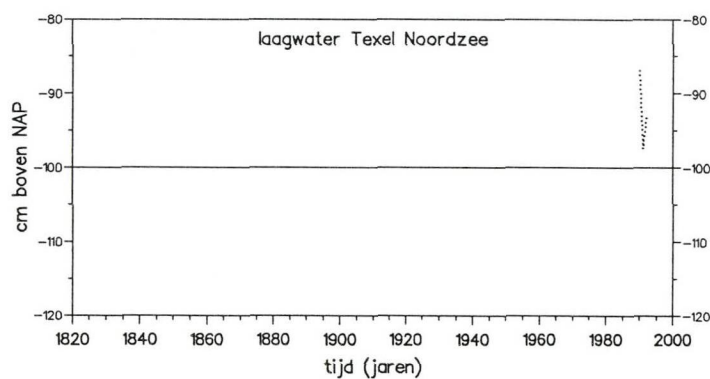
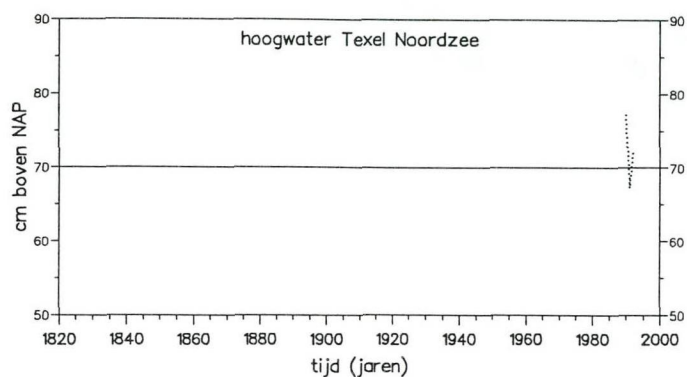
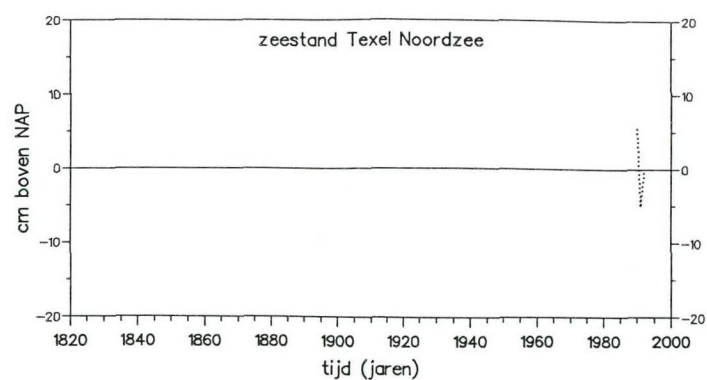
Figuur 36

Verloop gemiddelde zeeniveaus
Schiermonnikoog

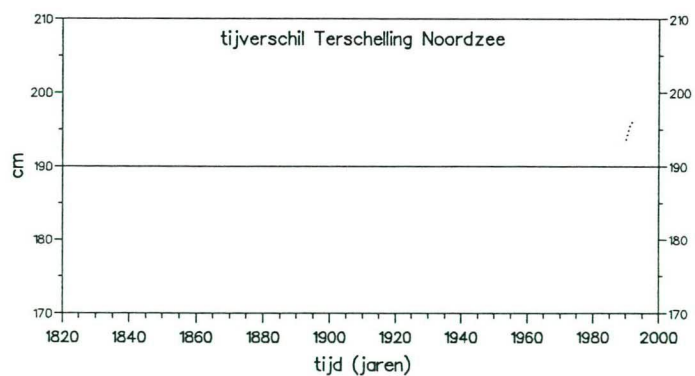
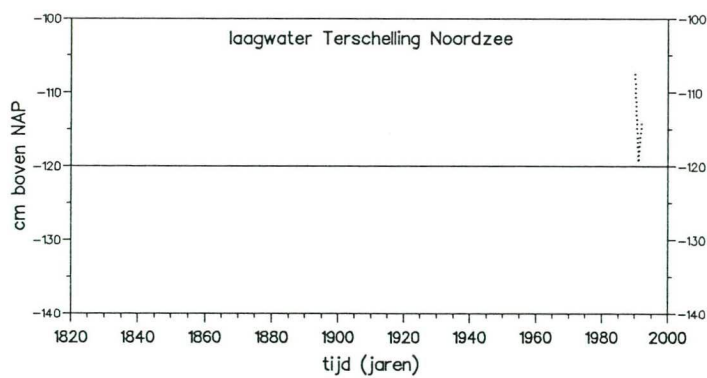
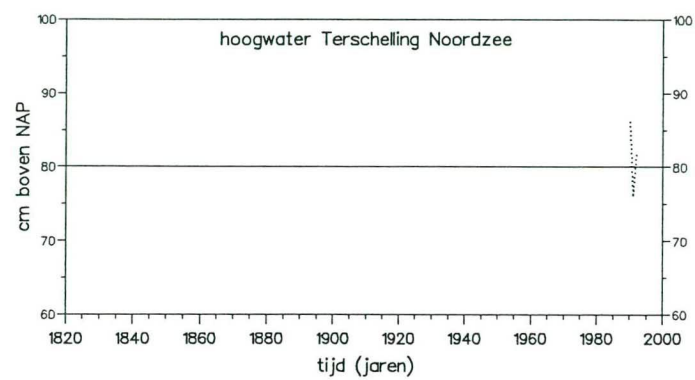
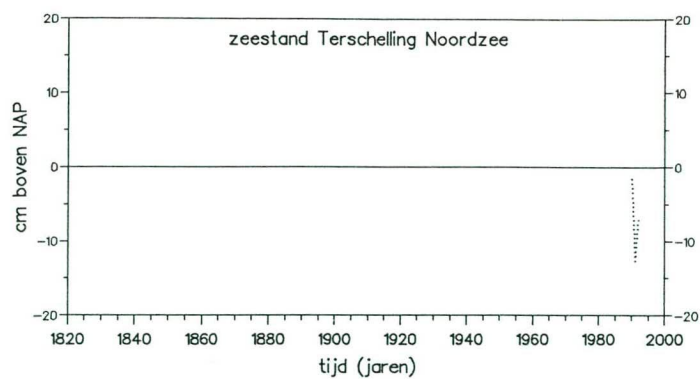


Figuur 37

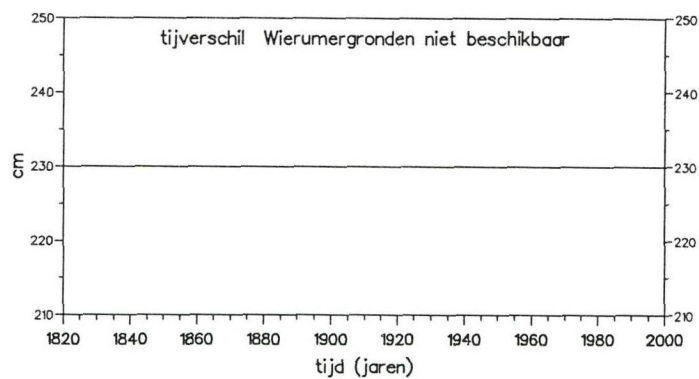
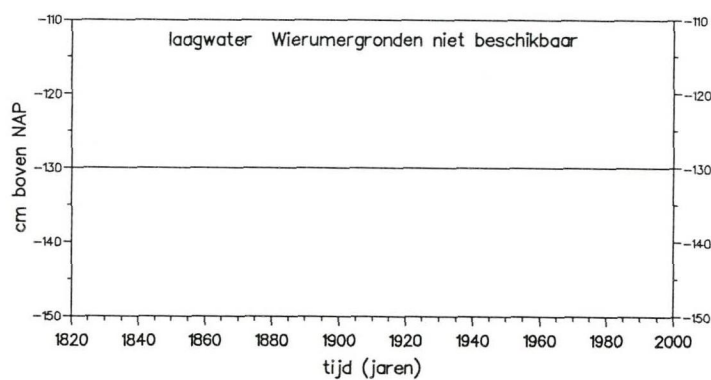
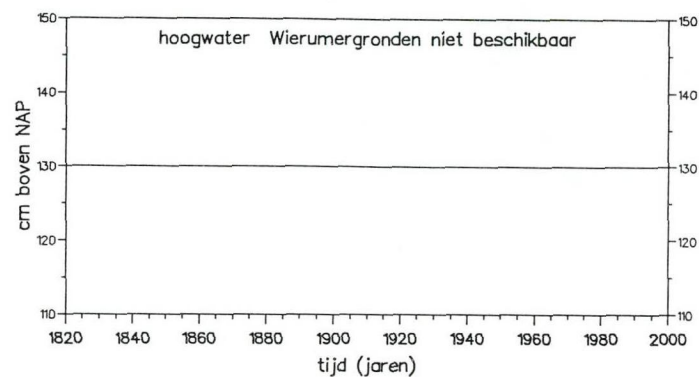
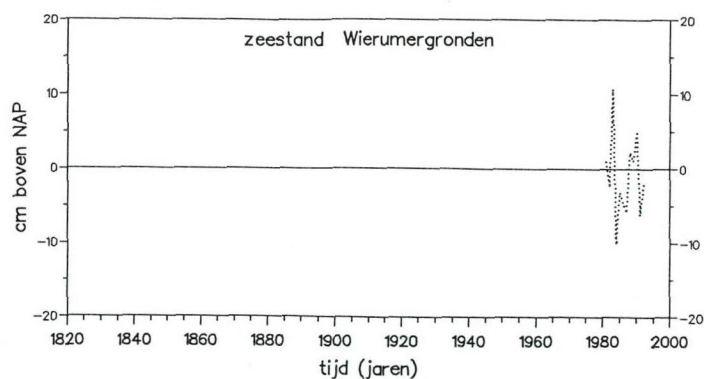
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Texel Noordzee



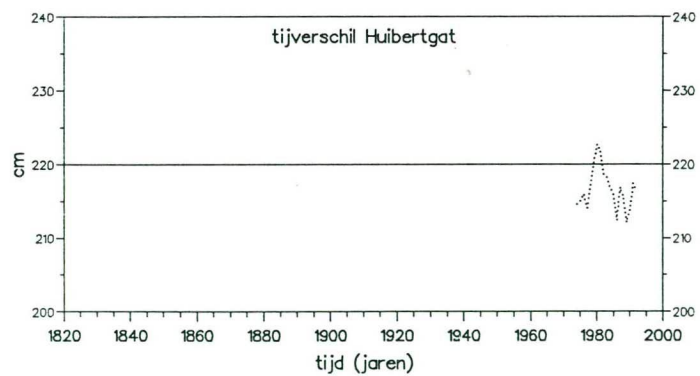
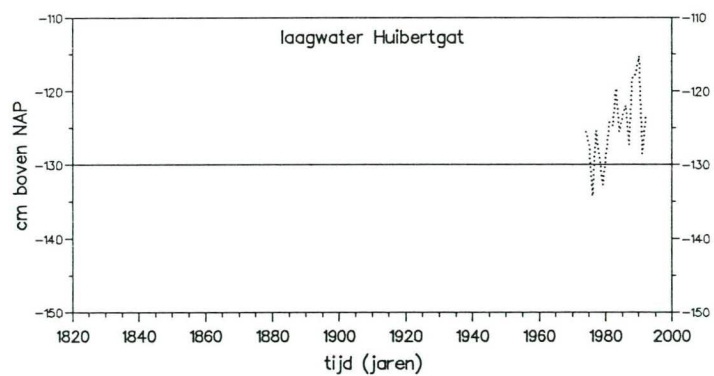
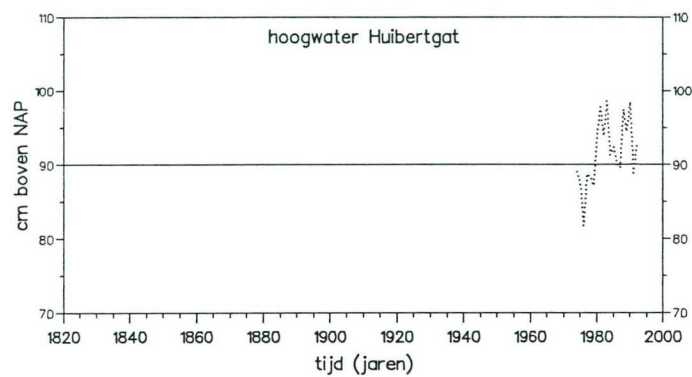
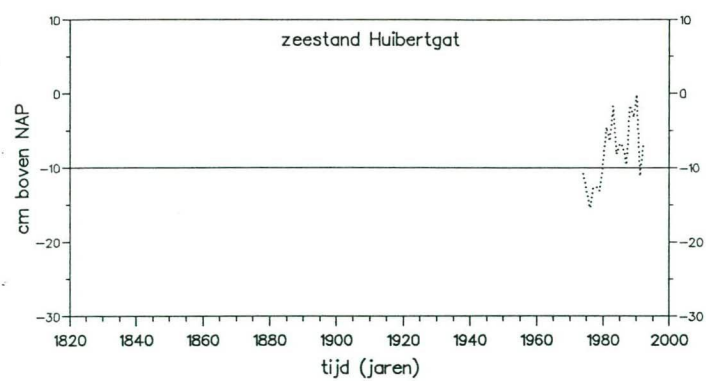
Figuur 38
Verloop gemiddelde zeenniveaus
Terschelling Noordzee



Figuur 39
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Wierumergronden



Figuur 40
Verloop gemiddelde zeeniveaus
Huibertgat



Figuur 41

In rekening te brengen toekomstige stijging gemiddeld hoogwater
in cm/eeuw bij aanleg of verbetering van waterkeringen



