

Veranderingen in het grondwatersysteem van het Markermeergebied

Rapportage DC project Wetlands in het
IJsselmeergebied



Veranderingen in het grondwatersysteem van het Markermeergebied

Rapportage DC project Wetlands in het IJsselmeergebied

Gualbert Oude Essink
Joost Delsman
Wiebe Borren
Roelof Stuurman
Jarno Verkaik

1202830-000

Titel

Veranderingen in het grondwatersysteem van het Markermeergebied

Opdrachtgever

Delft Cluster

Project

1202830-000

Pagina's

108

Trefwoorden

Markermeer, grondwater systeem, zoet-zout, waterkwaliteit, verzilting, zoutvracht, peilverhoging, slibput.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	sep. 2010	Gualbert Oude Essink		Gerrit Hendriksen		Bennie Minnema	
		Joost Delsman					
		Wiebe Borren					
		Roelof Stuurman					
		Jarno Verkaik					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Opzet onderzoek en leeswijzer	1
2 Gebiedsbeschrijving, bestaande informatie	3
2.1 Deklaag	3
2.2 Watervoerende pakketten	3
3 Aanvullende hydrogeologische informatie	9
3.1 Paleogeografie van het IJsselmeergebied	9
3.2 Markermeerpeil en stijghoogte in het eerste watervoerend pakket	10
3.3 Boorgatmetingen	18
3.4 Resultaat herhalingsboorgatmeting B19E0085	19
3.5 Chemische analyses	20
3.6 Chlorideconcentratie grondwater	22
3.7 Resultaten herbemonstering op 3 putlocaties	25
4 Effecten ingrepen met conceptuele grondwatermodellen	27
4.1 Inleiding	27
4.2 Een met zout zand opgespoten eiland	27
4.2.1 Systeembeschrijving	27
4.2.2 Resultaten	28
4.2.3 Aan te leggen 'oermoeras' in het Markermeer	31
4.2.4 Conclusies	33
4.3 Peilstijging in het IJsselmeer	34
4.3.1 Systeembeschrijving	34
4.3.2 Resultaten	35
4.3.3 Conclusies	37
4.4 Deklaag doorsnijdende slibput	37
4.4.1 Systeembeschrijving	37
4.4.2 Resultaten	38
4.4.3 Conclusies	40
5 Effecten van maatregelen op regionale schaal	41
5.1 Inleiding	41
5.2 Regionaal dichtheidsafhankelijk grondwater- en zouttransportmodel	41
5.2.1 Modelbeschrijving	41
5.2.2 Betrouwbaarheid regionaal dichtheidsafhankelijke grondwater- en zouttransportmodel	44
5.3 Scenarioberekeningen	46
5.4 Resultaten berekeningen	48
5.4.1 Resultaten grondwatersituatie	48
5.4.2 Veranderingen zoutvrucht	51
5.5 Discussie en conclusies	52
6 Conclusies en aanbevelingen	55
6.1 Conclusies	55

6.2 Aanbevelingen	56
7 Referenties	57
Bijlage(n)	
A Geselecteerde stijghoogtereeksen	A-1
A.1 Statistieken	A-1
A.2 Reeksen	A-3
B Geselecteerde boorgatmetingen	B-1
B.1 Overzicht	B-1
B.2 Grafieken	B-1
C Geselecteerde chemische analyses	C-1
C.1 Overzicht van chemische analyses; chloride en EC	C-1
C.2 Ca, K, Mg, Na, HCO ₃ en SO ₄	C-5
D Korte beschrijving MOCDENS3D	D-1
E Berekeningsresultaten regionale modellering	E-1
E.1 Stijghoogte eerste watervoerend pakket	E-2
E.2 Zoutvracht naar het oppervlaktewater	E-3
F Chloride concentratie patronen scheidende lagen in enkele profielen	F-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het IJsselmeergebied komen veel waterbeheerkwesties samen. De waterkwaliteit van het gebied is matig, met zeker in het Markermeer een groot slibprobleem. Eutrofiëring en de weinig natuurlijke inrichting van de meren spelen hierbij een duidelijke rol. Het gebied kent daarnaast een sterke druk op de beschikbare ruimte. De stedelijke regio Amsterdam – Almere heeft plannen om in het Markermeer uit te breiden, en er wordt gesproken over een nieuwe verkeersader tussen Amsterdam en de Flevopolder door het Markermeer. Verder is het gebied nadrukkelijk in beeld als strategische buffer voor de zoetwatervoorziening. De Commissie Veerman heeft een visie neergelegd waarin het peil van het IJsselmeer 1,5 m kan stijgen opdat Nederland ook in de toekomst verzekerd is van voldoende zoet water. Kortom, in het IJsselmeergebied staat veel te gebeuren. Vooralsnog is echter onduidelijk hoe mogelijke herinrichtingsmaatregelen doorwerken op de grondwater situatie in het IJsselmeergebied.

In de ondergrond van het IJsselmeergebied is brak tot zout grondwater aanwezig tot een diepte van 100 meter beneden NAP. Brak grondwater is ook aanwezig in de ondergrond van het vaste land rondom het Markermeer (inclusief het eerste watervoerende pakket). Herinrichting van het Markermeer zal van invloed zijn op de grondwaterstroming en daarmee ook op het transport van zoet, brak en zout grondwater van en naar het Markermeer. Hiervoor is het gewenst om meer inzicht te krijgen waar en hoe kwelwater (diffuus, via zandige stroomruggen, of via wellen) kan uittreden en waar de bodem kwetsbaar is voor opbarsting als gevolg van een toegenomen stijghoogte. Een toename van de verzilting in het Markermeer kan mogelijk ontstaan bij ingrepen als verdieping van de vaargeul en de aanleg van diepe putten. Bovendien kan bij binnendijs afgegraven van de deklaag deze op sommige plaatsen opbarsten, met als gevolg een verandering in het stijghoogte patroon. Het is van groot belang om de effecten van (voorgenomen) ingrepen in het systeem op de verzilting zo nauwkeurig mogelijk in kaart te brengen. Immers, de verzilting mag niet zo ver toenemen dat de geschiktheid van het Markermeer als bron voor zowel drinkwater als beregening van landbouwgronden in gevaar komt of dat het aangrenzende polderland in versnelde mate (verder) verzilt.

Een inschatting van de verzilting van het omliggende land door herinrichting van het Markermeer zal worden gerelateerd aan de verzilting die optreedt als gevolg van autonome ontwikkelingen (door verandering in peilbeheer de laatste eeuwen en de toekomstige klimaatverandering). Door RWS Directie IJsselmeergebied wordt voorzien dat rond het jaar 2050 het peil in het IJsselmeergebied zal moeten stijgen om water bij de Afsluitdijk onder vrij verval te kunnen spuien. Door zeespiegelstijging, bodemdaling en een verandering in neerslag- en verdampingspatronen zal toenemende verzilting van het oude land optreden waardoor de agrarische functie onder druk komt te staan (los van de eventuele ingrepen in het Markermeer).

1.2 Opzet onderzoek en leeswijzer

Eerste stap in dit onderzoek is het in beeld brengen van de bestaande informatie over het grondwatersysteem rond het Markermeer. Beschikbare literatuur en data worden geïnterpreteerd tot een actuele beschrijving van de ondergrond en het grondwatersysteem. Deze actuele beschrijving wordt gegeven in hoofdstuk hoofdstuk 2.

Om de hydrologische processen (met de nadruk op de interactie oppervlaktewater – grondwater) beter te beschrijven worden een aantal aanvullende metingen uitgevoerd. Het resultaat van deze meetcampagne is beschreven in hoofdstuk 3.

Met behulp van eenvoudige conceptuele 2-dimensionale grondwatermodellen zijn vervolgens de effecten van enkele ingrepen op de grondwaterstroming en het zoet-zout transport ingeschat (hoofdstuk 4). De volgende situaties zijn daarbij bestudeerd:

1. Het effect van een met brak-zout zand opgespoten eiland op het verspreiden van chloride in de ondergrond.
2. Het effect van een peilverhoging in het IJsselmeer op de grondwaterstroming en de stijghoogteverdeling tussen het IJsselmeer en het Markermeer.
3. Het effect van een slibput in het Markermeer op het grondwatersysteem.

Om regionale effecten van herinrichtingsmaatregelen op het grondwatersysteem te kwantificeren, is een 3-dimensionaal regionaal model voor dichtheidsafhankelijk grondwater en zouttransport ontwikkeld. Dit model is gevalideerd aan beschikbare (zoetwater)stijghoogten en zoutvrachten. Met dit model zijn vervolgens twee verschillende klimaatscenario's en drie herinrichtingsmaatregelen doorgerekend. Modelbouw en scenarioberekeningen zijn beschreven in hoofdstuk 5.

Hoofdstuk 6 tenslotte geeft een synthese van het uitgevoerde onderzoek, en doet aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Gebiedsbeschrijving, bestaande informatie

De kwartaire afzettingen in het Markermeergebied die geohydrologisch relevant zijn, beslaan een totaal pakket van 300-350 meter dik, bestaande uit zand, klei en veen van diverse Formaties. Een noord-zuid en een west-oost dwarsprofiel geven hiervan een beeld (Figuur 1).

2.1 Deklaag

In het gehele Markermeergebied is een Holocene deklaag aanwezig, die bestaat uit afwisselend kleiige, venige en zandige afzettingen (Formaties van Naaldwijk en Nieuwkoop). De deklaag vormt een slechtdoorlatende laag, die in dikte varieert van ruim 20 meter in het noordwestelijk deel van het Markermeer tot enkele meters in het zuidoosten. De weerstand van de deklaag is gemiddeld ca. 1500 dagen, variërend van minder dan 100 dagen tot ruim 3000 dagen (

Figuur 2). Deze deklaagweerstand is bepaald in het TNO GIP-programma (2007), waarbij lithologische gegevens uit boringen zijn geïnterpoleerd en c-waarden per lithologische klasse zijn toegepast. In deze bepaling zijn de lithologische klassen binnen het basisveen apart beschouwd (Tabel 1). De bijdrage van het basisveen aan de deklaagweerstand varieert van vrijwel nihil tot ca. 50%.

In de Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied (Rijkswaterstaat, 1991) worden aanzienlijk hogere weerstanden gegeven, tot 34000 dagen (Figuur 3). Dit grote verschil met de door TNO bepaalde weerstand wordt veroorzaakt door de gehanteerde c-waarden, met name voor het basisveen: buitendijks (dus in het Markermeer) wordt voor het basisveen overal een weerstand van 22000 dagen gerekend, ongeacht de dikte van het basisveen. Voor de overige deklaag wordt, behoudens zandgeulen en zandputten, 1100 dagen per meter dikte gerekend.

Tabel 1 C-waarden van lithologische klassen in het Markermeergebied die gebruikt zijn voor de deklaagweerstand (bron: TNO GIP-programma, 2007).

Lithologische klasse	c-waarde (dag) per m dikte	
	F.v. Naaldwijk+Nieuwkoop	Basisveen
klei, niet zandig	294	344
klei, zandig	24.4	31.8
zand, fijn (63 - 150 µm)	1.54	2.02
zand, middel fijn (150 - 300 µm)	0.18	0.23
zand, grof en grind (> 300 µm)	0.06	0.06
veen	20.4	2500

2.2 Watervoerende pakketten

De hydrologische basis wordt gevormd door een dik pakket slecht doorlatende afzettingen uit de Formatie van Maassluis. Tussen de deklaag en de hydrologische basis kunnen 3 watervoerende pakketten onderscheiden worden, die in een deel van het gebied niet of nauwelijks van elkaar gescheiden worden door slechtdoorlatende lagen.

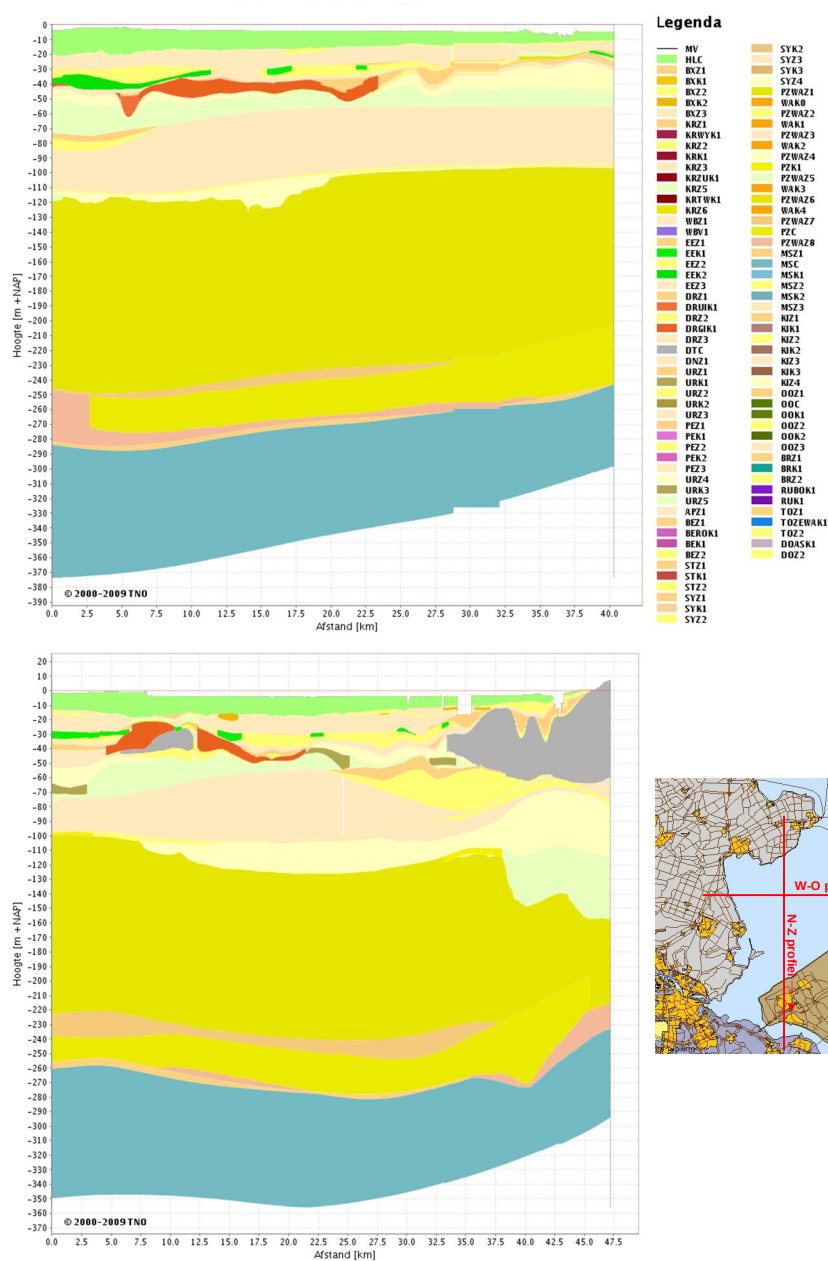
Samenvattend is de opbouw van de watervoerende pakketten:

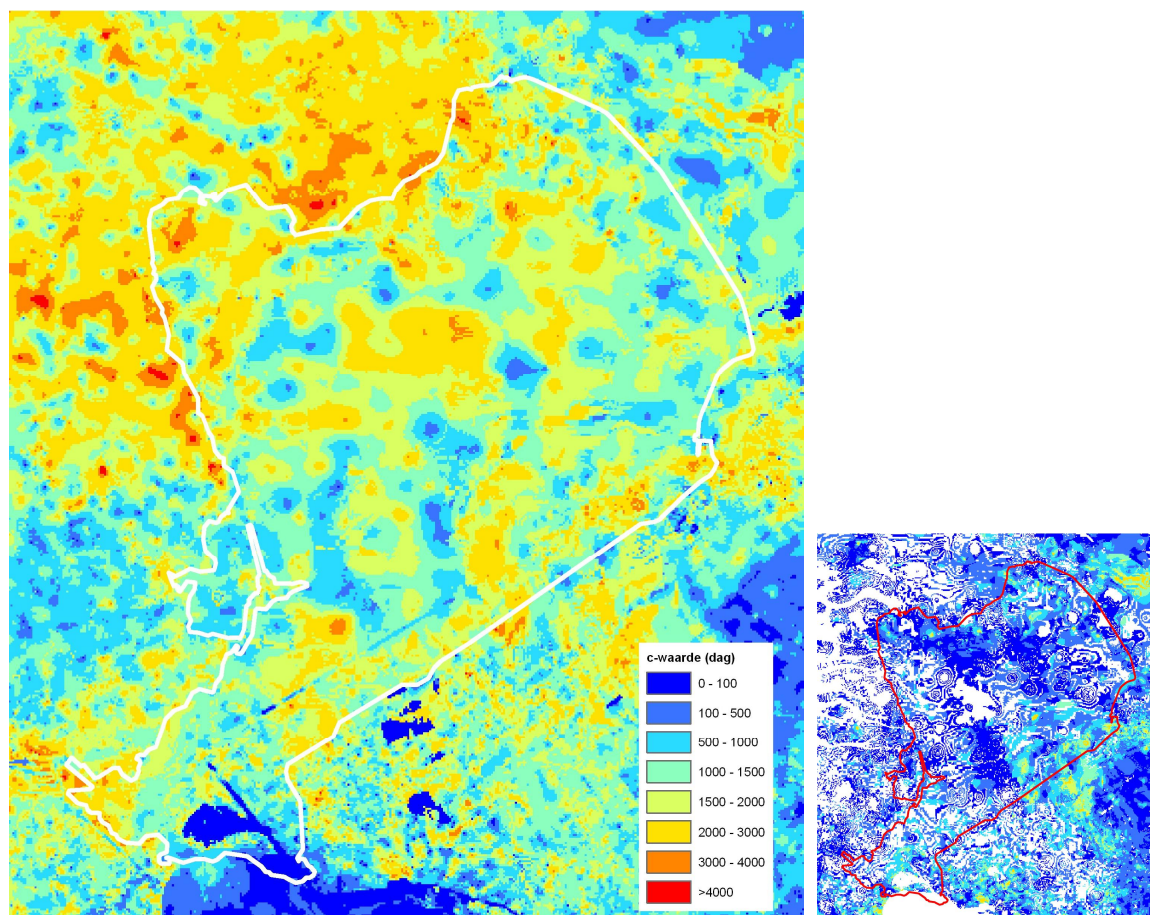
- Het eerste watervoerende pakket onder de deklaag wordt hoofdzakelijk gevormd door matig grove tot fijne zandafzettingen uit de Formaties van Boxtel en Kreftenheye. Op enkele plaatsen komen hierin kleilagen uit de Formatie van Boxtel voor, maar de eerste dikkere slechtdoorlatende laag wordt gevormd door klei uit de Eemformatie.

- Het tweede watervoerende pakket bestaat uit zandafzettingen uit de Formaties van Drente, Urk, Sterksel, Peize en Waalre. In dit watervoerende pakket is een grote verbreiding van klei (Drente-Gieten klei) aanwezig. De scheiding met het volgende watervoerende pakket is een kleilaag uit de Formatie van Peize, die echter slechts sporadisch voorkomt.
- Het derde watervoerende pakket bestaat uit zandafzettingen van de Formaties van Peize en Waalre. Dit watervoerende pakket is vrijwel overal ruim 100 meter dik.

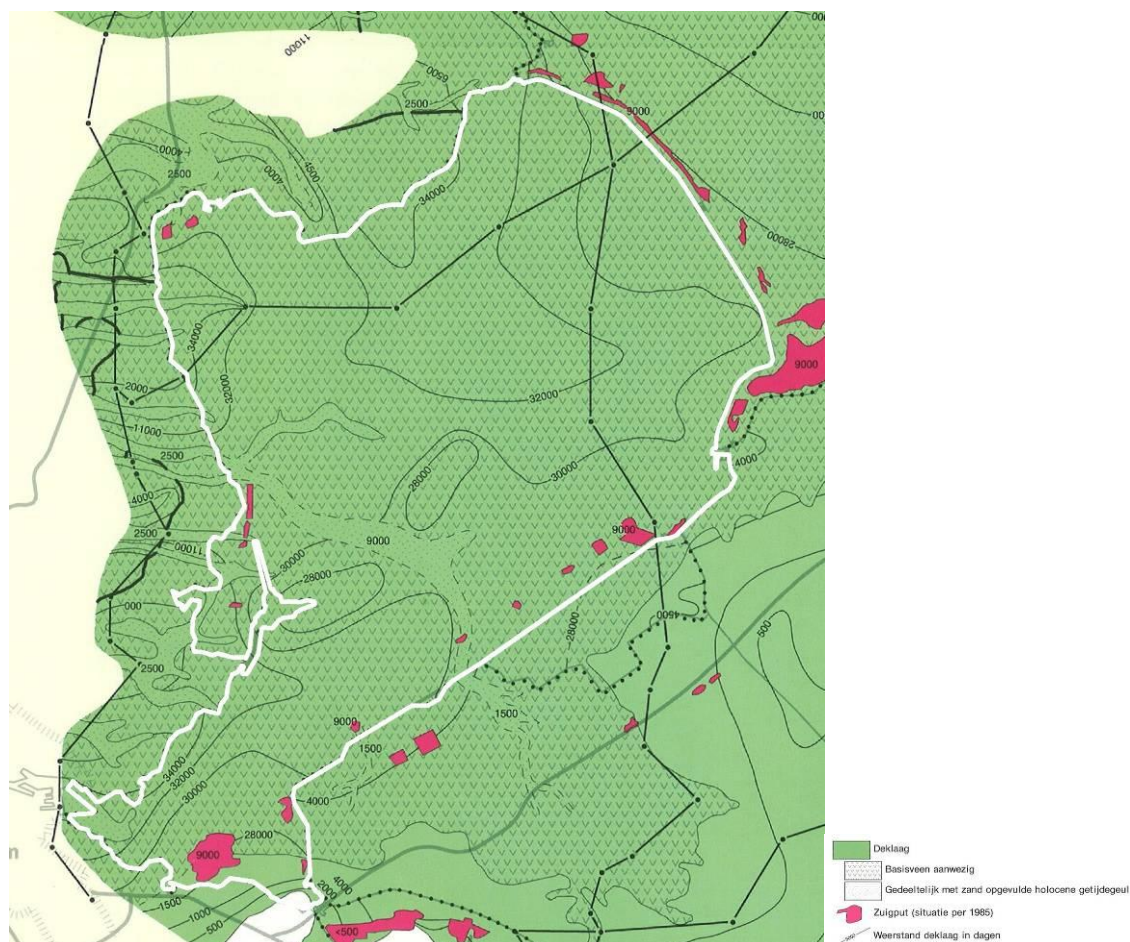
Het voorkomen van de slechtdoorlatende lagen en de daaruit volgende geohydrologische indeling in watervoerende pakketten is schematisch weergegeven in Figuur 4. Op plaatsen waar geen scheidende lagen aanwezig zijn, kan de dikte van het aangesloten zandpakket onder de deklaag oplopen tot ruim 270 meter. Aan de zuidkant van het Markermeer strekken gestuwde afzettingen zich uit in het tweede watervoerend pakket (uitloper van het Gooi / Utrechtse Heuvelrug).

1 september 2010, definitief





Figuur 2 Deklaagweerstand (TNO GIP-programma, 2007). Links: totale deklaag; rechts: basisveen in de deklaag (wit = basisveen afwezig). Ter oriëntatie is de omtrek van het Markermeer gegeven.



Figuur 3 Deklaagweerstand en verbreiding basisveen uit de Geohydrologische Atlas IJsselmeer (Rijkswaterstaat, 1991). Ter oriëntatie is de omtrek van het Markermeer gegeven.

slechtdoorlatende laag:

geohydrologische indeling:

Holocene afzetting		deklaag
Eenklei		watervoerend pakket 1
Boxtelklei		scheidende laag
Drente-Gietenklei		watervoerend pakket 2
Peizeklei		scheidende laag
		watervoerend pakket 3
Maassluisklei		hydrologische basis

Figuur 4 Schematische weergave van de geohydrologische indeling.

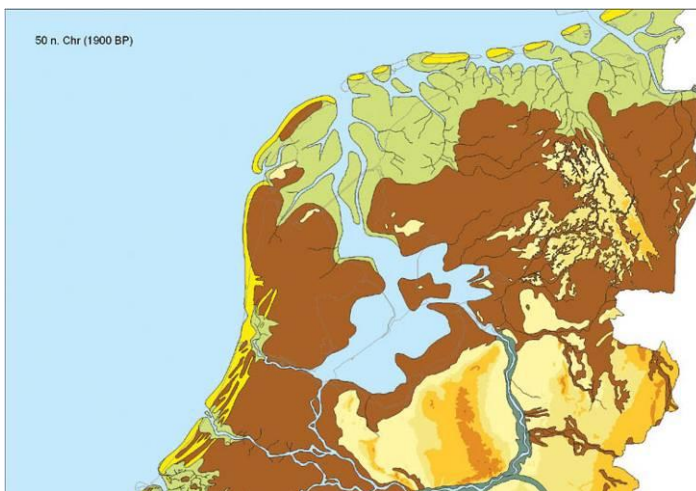
3 Aanvullende hydrogeologische informatie

3.1 Paleogeografie van het IJsselmeergebied

Rond 4000 v. Chr. lag het centrale en zuidelijke deel van het IJsselmeergebied onder invloed van zee (wadden). Tussen ca. 3000 v. Chr. en het begin van de jaartelling was dit gebied getransformeerd in een uitgebreid (zoet) veenmoeras. Na de Romeinse Tijd raakte deze omgeving (Zuiderzee) opnieuw onder invloed van zee geraakt. Er bevond zich een zoutgradiënt in de Zuiderzee van brak-zout rond de monding van de IJssel tot zeezout in het noordelijk deel van het gebied. Na de aanleg van droogmakerijen ontstond een sterke stijghoogtegradiënt vanaf de Zuiderzee richting de laaggelegen polders. Aangenomen wordt dat hierdoor het ondiepe grondwater, onder en langs de Zuiderzee verziltte. Dit proces werd sterker bij de aanleg van de NO-polder en Flevopolders. Er zijn weinig metingen waarbij dit proces is bestudeerd. Het IJsselmeer (Markermeer) is pas ca. 70 jaar (weer) zoet. Na het gereedkomen van de Afsluitdijk in 1938 vond een snelle verzoeting van het meer plaats.



De paleogeografie (500 v. Chr.) (bruin=veen, groen=slikken).



De paleogeografie (50 na Chr.) (bruin=veen, groen=slikken). De Zuiderzee staat in verbinding met de Noordzee.

3.2 Markermeerpeil en stijghoogte in het eerste watervoerend pakket

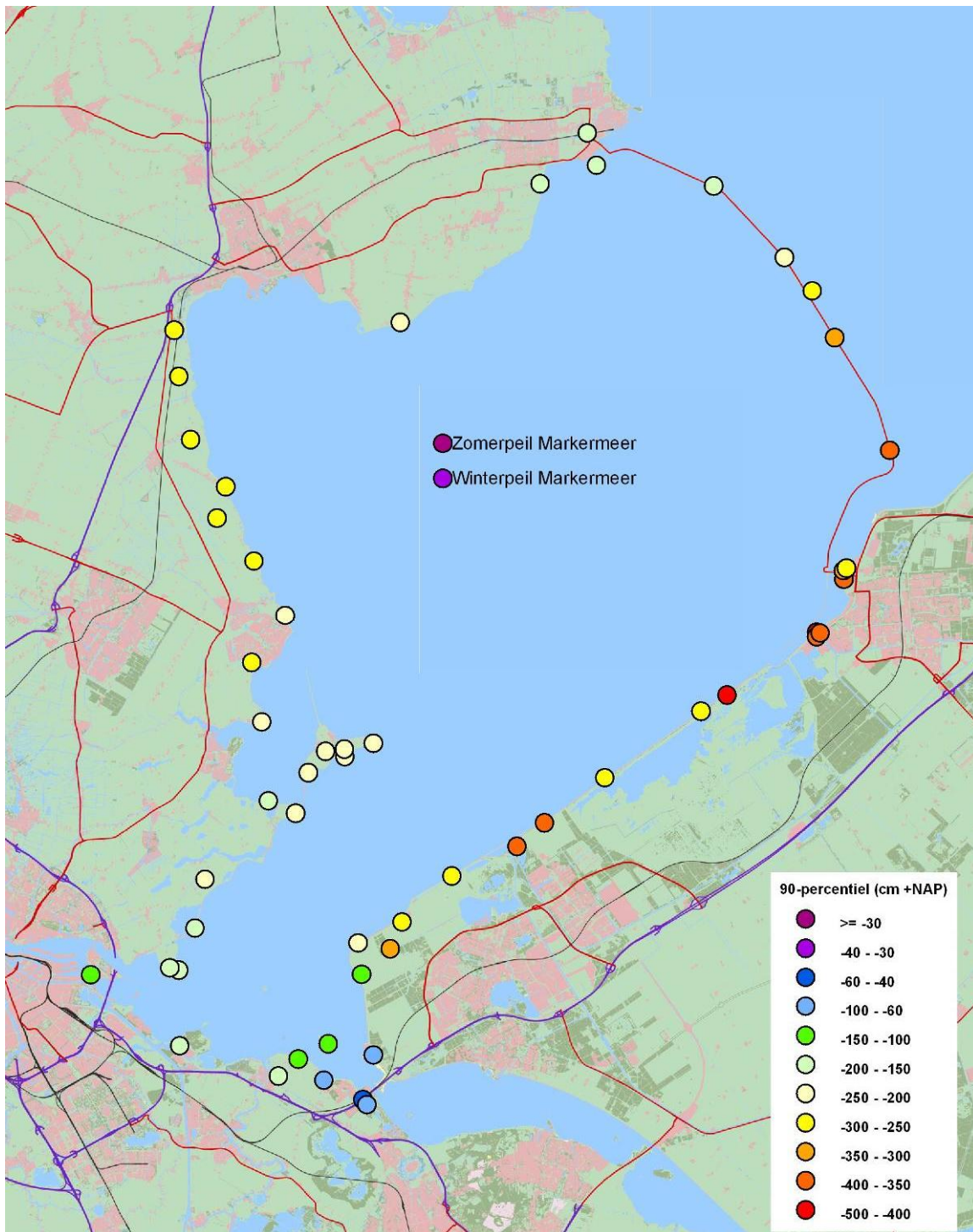
In de huidige situatie wordt in het Markermeer een tegennatuurlijk peilbeheer gevoerd, met een hoger zomerpeil dan winterpeil. Het streefpeil in de zomer is -0.2 m +NAP, waarbij een uitzakking tot -0.3 m +NAP wordt toegestaan. 's Winters wordt het peil op -0.4 m +NAP gehouden.

Om de dynamiek in de stijghoogte onder de deklaag (eerste watervoerend pakket en in afwezigheid van scheidende lagen ook in het tweede watervoerend pakket en het derde watervoerend pakket) te onderzoeken zijn zoveel mogelijk reeksen uit de DINO-database geselecteerd. In DINO zijn geen reeksen beschikbaar onder het Markermeer zelf; om toch een beeld te kunnen vormen zijn alle reeksen in een zone van 1 km rond het Markermeer geselecteerd. Alleen reeksen langer dan 5 jaar en met een einddatum na 1975 zijn meegenomen en indien bij een grondwaterput meer dan 1 filter in het bovenste zandpakket ligt, is steeds alleen het bovenste filter genomen. Op deze manier zijn 57 reeksen geselecteerd (zie Figuur 5 voor de ligging van de putten). De reeksen zijn weergegeven in Bijlage 7A.2.

In alle gevallen is de stijghoogte lager dan het peil in het Markermeer (lager dan -0.4 m +NAP). Slechts in twee reeksen (B25H0122 en B25H0148; Bijlage 7A.2.45 en 7A.2.47) komen sporadisch waarden boven -0.4 m +NAP voor, maar in deze gevallen is de 90-percentiel van de stijghoogte wel lager dan -0.4 m +NAP (zie Figuur 6). Onder de aanname dat de stijghoogte direct rond het Markermeer een goed beeld geeft van de stijghoogte onder het Markermeer, betekent dit, dat zowel in de huidige situatie als in het (recente) verleden infiltratie vanuit het Markermeer naar het onderliggende pakket plaatsvindt.



Figuur 5 Ligging van de geselecteerde stijghoogteputten.

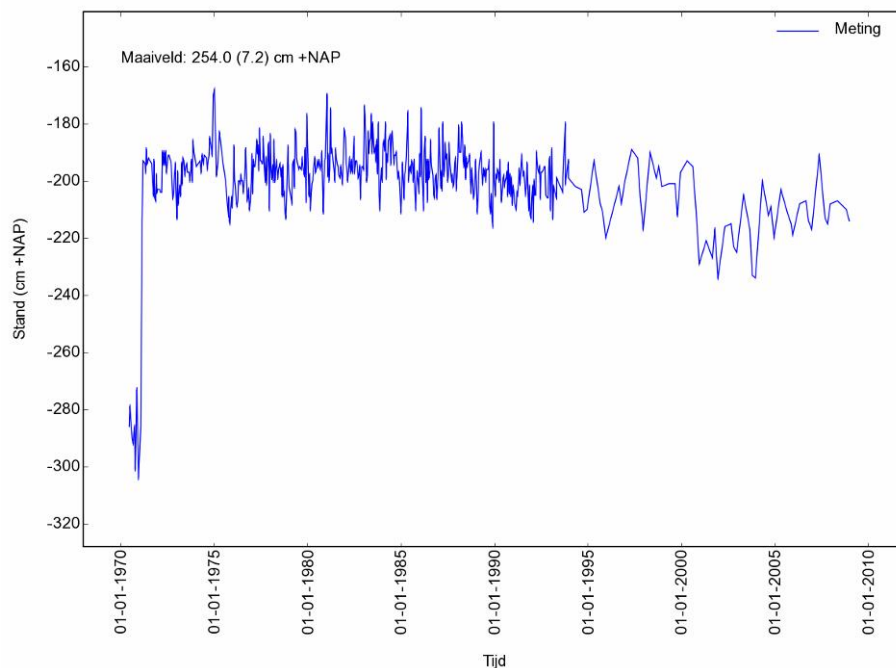


Figuur 6 90-Percentiel van de geselecteerde stijghoogtereeksen. Ter vergelijking zijn ook het zomer- en winterpeil van het Markermeer afgebeeld.

De langere-termijn dynamiek in de stijghoogte (dalende en stijgende trends in de afgelopen 30-40 jaar) laat een wisselend beeld zien. De reeksen laten af en toe tegengestelde trends zien, maar er zijn ook clusters van reeksen te onderscheiden die gelijkenis vertonen. Hieronder wordt aan de hand van een aantal lange reeksen een beeld geschetst van de stijghoogte rond het Markermeer. De getoonde reeksen zijn voorbeelden. Van het noorden met de klok mee:

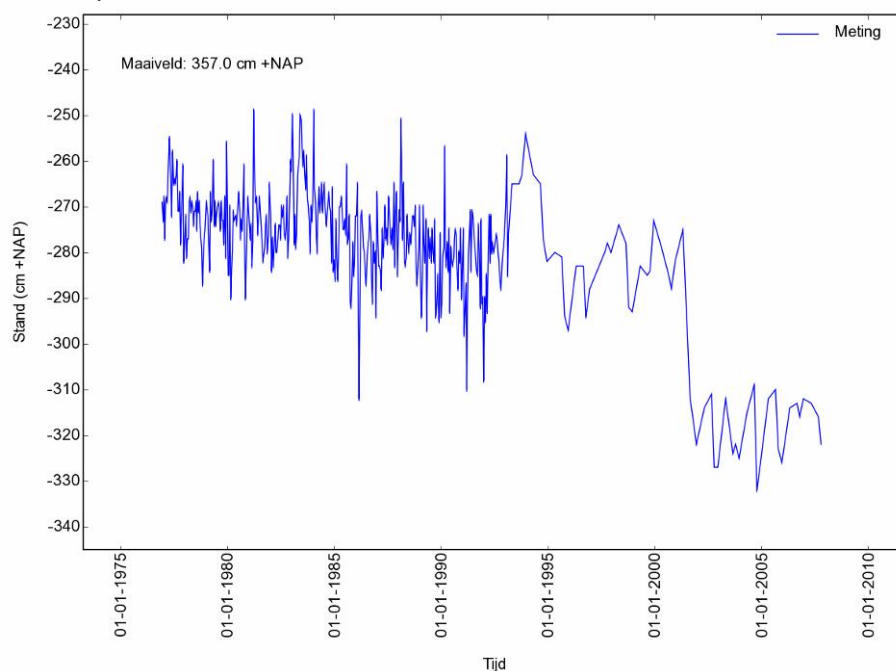
- **Enkhuizen: B20A0082 (Bijlage 7A.2.12)**

In de periode 1973-1993 is de stijghoogte redelijk stabiel (de jaarlijkse amplitude varieert licht). Vanaf halverwege de jaren '90 lijkt een lichte daling te zien, waarna vanaf 2000 weer een geleidelijke stijging optreedt.

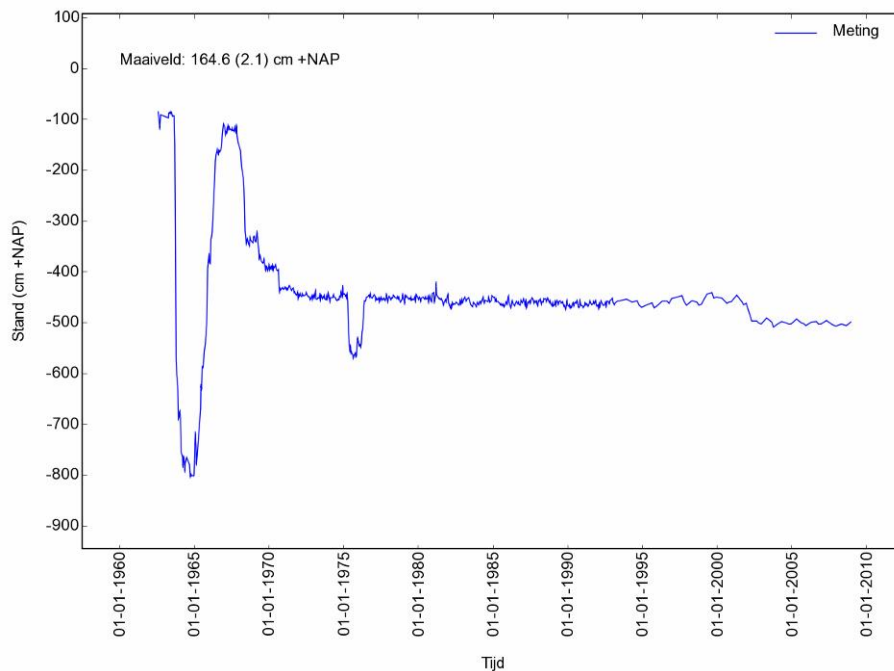


- **Houtribdijk: B20B0039 (Bijlage 7A.2.15)**

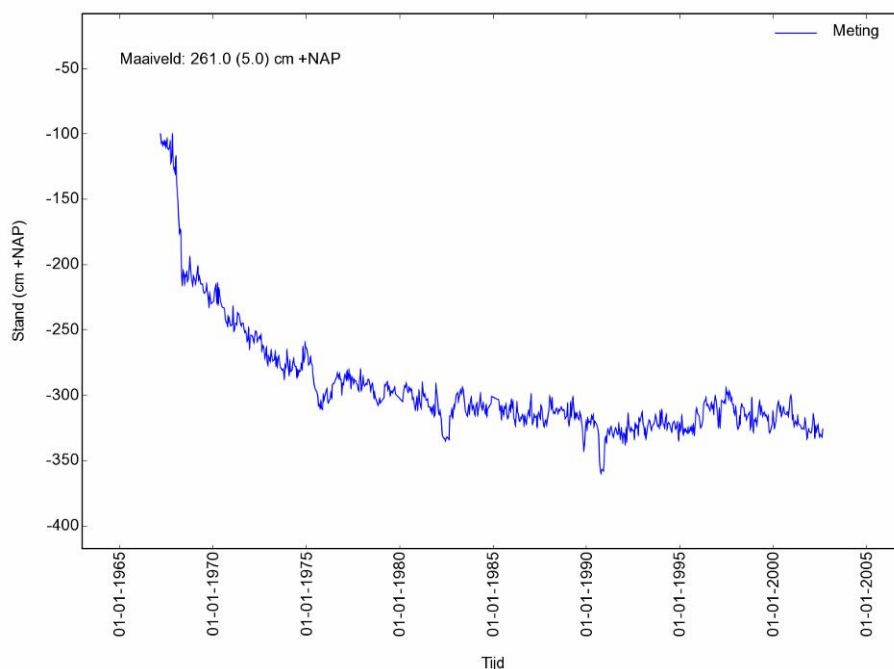
Over de periode 1976-2000 daalt de stijghoogte geleidelijk. Een opvallende daling treedt op in 2001.



- Tussen Lelystad en Almere: B26A0018 (Bijlage 7A.2.52)**
 Sterke schommeling van de stijghoogte in de jaren '60 en na 1968 een sterke daling (tot -1 m/jaar). Waarschijnlijk hangt dit samen met de inpoldering van Flevoland (gereed in 1968). De dalende trend zet zich tot in het heden voort. In 1975/1976 is een opvallende uitzakking zichtbaar, die in een aantal reeksen terugkomt (in sommige gevallen enkele jaren eerder). Dit heeft vermoedelijk te maken met de bouw van Almere, mogelijk met het graven van de ca. 20 meter diepe zandputten (Noorderplassen). De jaarlijkse dynamiek is gering.

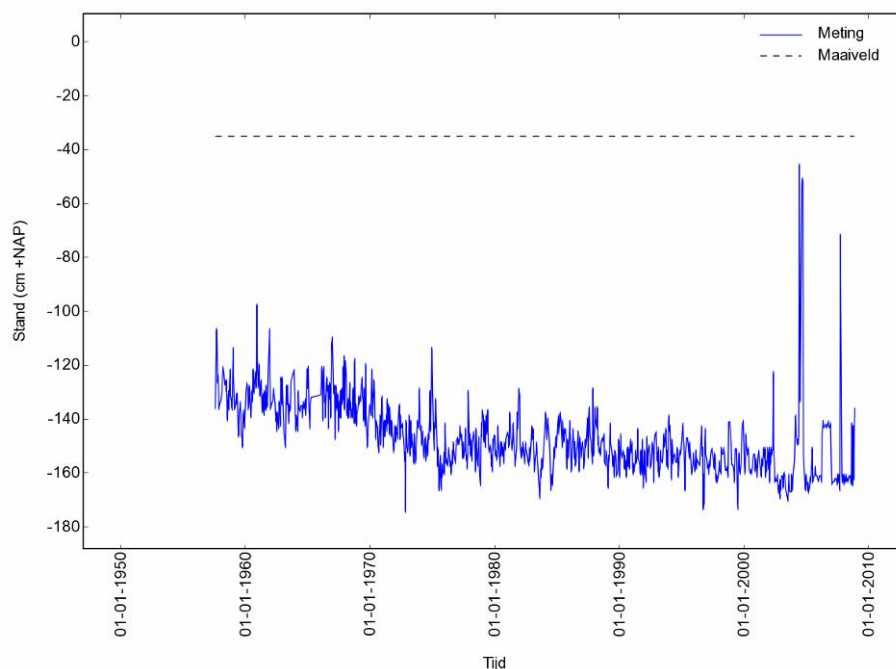


- Almere noordwest: B25F0072 (Bijlage 7A.2.32)**
 Deze reeks lijkt op de vorige, maar hier ontbreekt de uitzakking rond 1975 die wel terug te vinden is in reeks B26A0018.



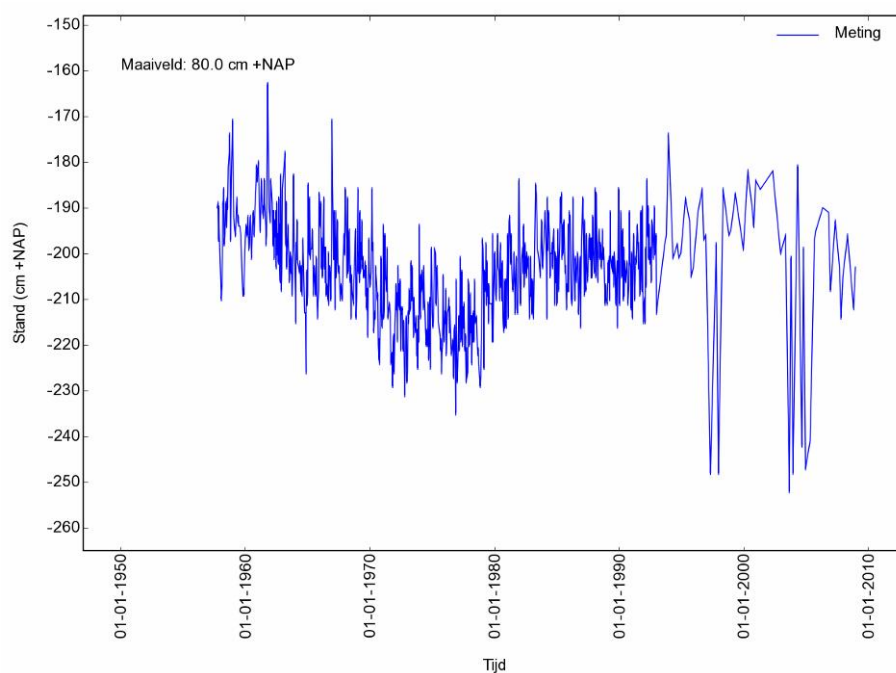
- *IJmeer zuid: B25H0087 (Bijlage 7A.2.43)*

Een dalende trend, waarbij opvalt dat in recente jaren grotere uitschieters naar boven voorkomen. Er is geen effect van de inpoldering van Flevoland te zien.

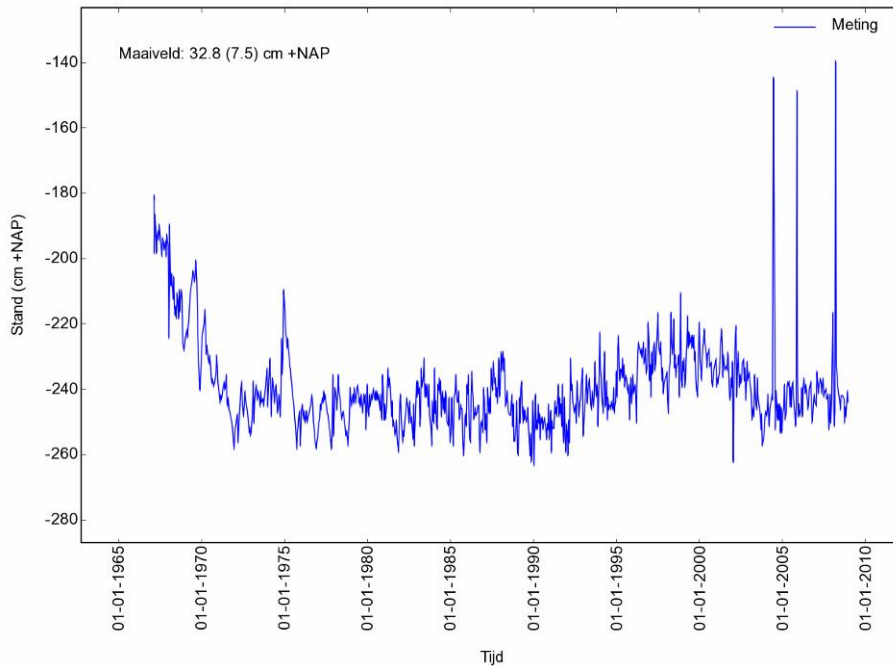


- *IJmeer west: B25F0058 (Bijlage 7A.2.28)*

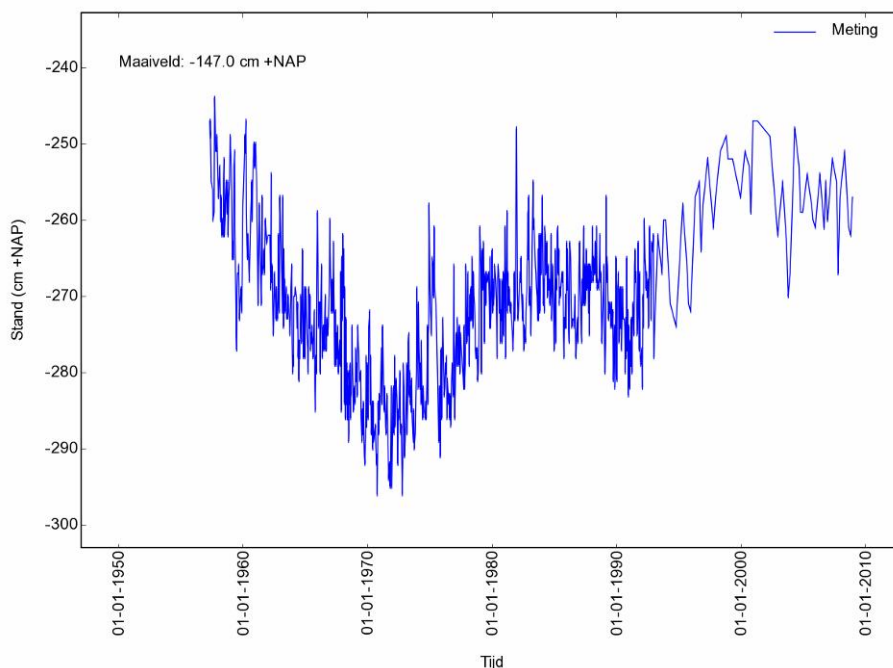
Tussen 1958 en 1978 daalt de stijghoogte met ca. 1,5 cm/jaar. Daarna vindt een stijging plaats, waarna vanaf 1985 geen duidelijke trend meer zichtbaar is. Wel zijn er in recente jaren opvallende uitschieters naar beneden te zien. Deze recente fluctuaties hebben vermoedelijk te maken met de bouwwerkzaamheden rond IJburg. De eerdere daling/stijging houdt verband met industriële grondwateronttrekking.



- **Marken: B25F0071 (Bijlage 7A.2.31)**
Dalende trend in de jaren '60 en '70 (ca. -12 cm/jaar). Daarna een periode waarin de stijghoogte redelijk constant blijft, gevolgd door een stijging in de jaren '90 en een lichte daling vanaf 2000.

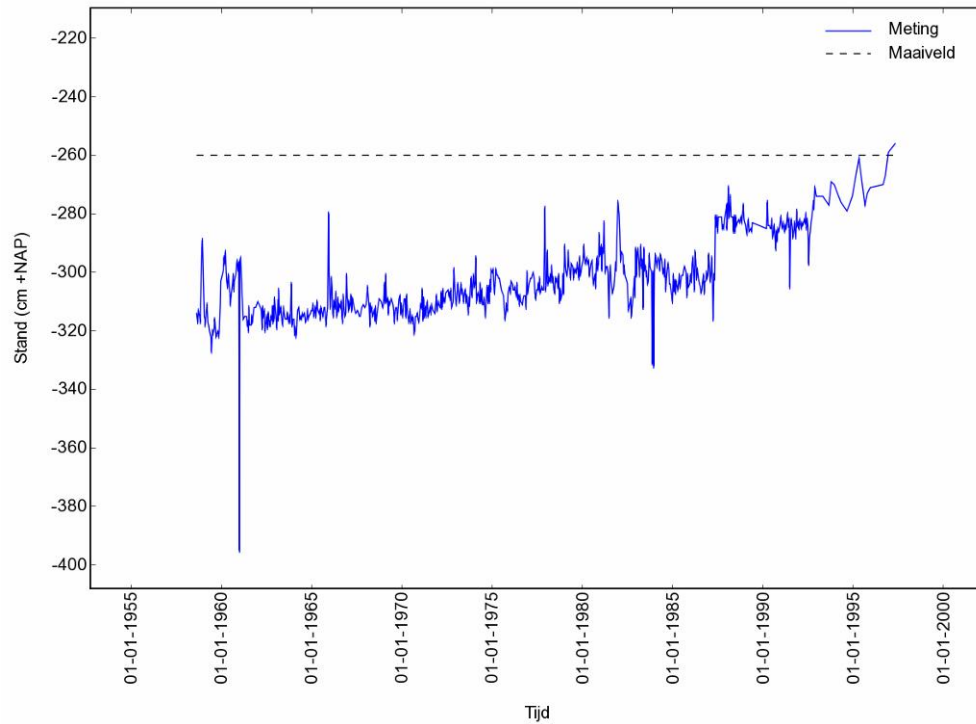


- **Markermeer west: B19H0064 (Bijlage 7A.2.4)**
De stijghoogte varieert, hoewel de absolute variatie beperkt is. Tussen 1956 en 1971 is een dalende trend zichtbaar (ca. -2 cm/jaar), waarna tot 1986 een ongeveer even sterke stijging optreedt. Daarna daalt de stijghoogte weer gedurende enkele jaren, om vanaf begin jaren '90 weer te stijgen.



- Markermeer noordwest: B19E0030 (Bijlage 7A.2.1)

Er is een duidelijke opgaande trend zichtbaar van ca. 1 cm/jaar.



3.3 Boorgatmetingen



Figuur 7 Ligging van de beschikbare boorgatmetingen.

Boorgatmetingen uit het DINO-archief bieden kansen om inzicht te verkrijgen over de grondwaterstroming, en in het versoetingsproces in het bijzonder. Bij veel waarnemingsputten heeft bij aanleg een boorgatmeting plaatsgevonden waarbij de elektrische weerstand/geleidbaarheid met de diepte is bepaald. Deze is afhankelijk van het zoutgehalte van het grondwater en de sedimenteigenschappen. Zout water heeft een hoge geleidbaarheid, zoet water een lage. Klei heeft een hogere geleidbaarheid dan zand. De metingen kunnen 40 jaar oud zijn. Met behulp van een EM-sonde kan in een waarnemingsput de actuele geleidbaarheid worden bepaald en worden vergeleken met de historische gradiënt.

In tabel 2 en Figuur 7 zijn de locaties aangegeven waar het in principe mogelijk zou zijn om een herhalingsboorgatmeting uit te voeren. Helaas zijn de huidige sonde-diameters te dik om dit nu, met uitzondering van meetpunt B19E0085 onder Hoorn, uit te voeren. Binnenkort wordt dit met nieuwe smalle sondes wel mogelijk (EM-Slimflex).

Tabel 2 Overzicht van de beschikbare boorgatmetingen.

NITG-nummer	In selectie stijghoogte	Datum	Parameters																
			LithCode (1970)	CAL	CALIPER	GAM(NAT)	GAMMA	LN100	LN160	LN200	POTASIUUM	RES	RES(16N)	RES(64N)	SN20	SN40	SP	TEMP	THORIUM
B19E0085	x	1971-08-19	x	x		x		x		x				x	x	x			
B19E0085		1978-06-21															x		
B19E0085		1979-04-09																	
B25F0055		1978-06-21																x	
B25F0154		1986-12-29					x												
B25F0305	x	2002-09-26	x		x	x					x	x	x			x			
B25G0948		1997-04-22				x					x							x	x
B25H0257		1986-06-19	x	x			x		x						x	x			
B25H0443		1997-02-27	x				x					x	x	x			x		
B26B0111		x	1997-12-10	x		x	x						x	x	x		x		

De grafieken van de boorgatmetingen staan in Bijlage B.2. De meting B19E0085 toont dat ten zuiden van Hoorn pas vanaf 75-100 meter diepte echt zout grondwater voorkomt. Ook ondiep komt brak tot zout water voor. Daartussen bevindt zich een 'lens' zoet grondwater (chloride < 100 mg/l). De boorgat meting bij Lelystad (B26B0111) toont zoet water tussen 0-5 m–mv en daaronder tot 60 m–mv zout grondwater. De meetpunten bij Muiderberg leveren beiden brak water in het meettraject tot ca. 30-60 m–mv.

3.4 Resultaat herhalingsboorgatmeting B19E0085

Bij de aanleg van boring B19E0085 in 1971 werd een geo-elektrische boorgatmeting uitgevoerd in het toen nog open, niet verbuiste, boorgat. Uit deze meting bleek dat het grondwater tot ca. 22 meter onder maaiveld brak tot zout was. Van 22-70 meter was het grondwater zoet (voortkomend uit "de zoetwaterbel van Hoorn"). Daaronder werd het grondwater weer brak tot zout.

In november 2009 is in hetzelfde, maar nu verbuiste, meetpunt een EM-gamma meting uitgevoerd. Bij deze metingen is het mogelijk om informatie buiten de PVC-casing te verkrijgen. Met behulp van de gamma-meting kunnen de locaties van kleilagen worden bepaald (dit was ook al gebeurd in 1971) waarmee de meetdiepten tussen oude en nieuwe metingen kunnen worden gekalibreerd. Met behulp van de EM-metingen kan weer de geleidbaarheid van het grondwater worden bepaald. Uit de nieuwe metingen blijkt dat de dikte van het 'bovenliggende' zoute water is afgenomen. De top van het zoete grondwaterlichaam ligt nu op ca. 15 meter onder maaiveld; een stijging van ca. 7 meter. Aan de onderzijde van dit zoetwaterlichaam is de zoet-zout overgang gedaald van ca. 70 meter tot ca. 88 meter.

De metingen duiden daarom, voor wat betreft de kwaliteit van het grondwater, op een grote verandering. Het bovenliggende zoute grondwater is waarschijnlijk ontstaan door een zoute grondwaterstroming vanuit de Zuiderzee richting de diepe polders (Beemster, drooglegging 1608-1612; Schermer, drooglegging 1633-1635). Deze flux in het bovenste grondwater is relatief hoog, getuige de geconstateerde verzoeting aan de onderzijde (15-22 m–mv) en wijst hier op een goed hydraulisch contact tussen IJsselmeer en het grondwater langs het IJsselmeer. Vermoedelijk speelt de ondiep gelegen grofzandige Formatie van Kreftenheye een belangrijke rol bij dit proces. De verzoeting aan de onderzijde van de “zoetwaterbel” wordt naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door de aanleg van de droogmakerijen (Beemster, Schermer en later Wieringermeerpolder. Deze beweging zou vermoedelijk ook hebben plaatsgevonden als de Zuiderzee niet was verzoet.

3.5 Chemische analyses

De samenstelling van het grondwater kan inzicht leveren over de grondwaterstroming. Mogelijk biedt deze grondwatersamenstelling ruimtelijk inzicht over infiltratiefluxverschillen vanuit het Markermeer. In Figuur 8 staan de locaties aangegeven waar chemische grondwaterdata beschikbaar van zijn. De belangrijkste chemische data staan in Bijlage C.2. Deze data inventarisatie biedt de mogelijkheid om een bemonsteringsprogramma op te stellen om met behulp van herbemonstering de mate van verzoeting van het grondwater te bestuderen.

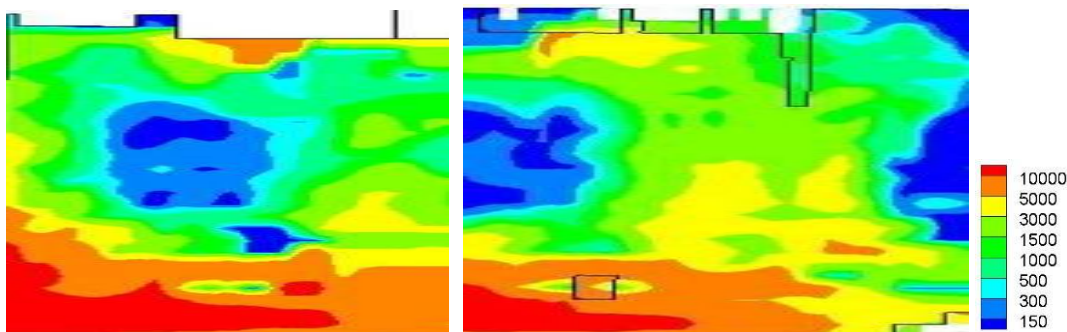


Figuur 8 Ligging van de putten met chemische analyses in 1 of meer filters.

3.6 Chlorideconcentratie grondwater

In Figuur 9 zijn twee dwarsprofielen gegeven van de chlorideconcentratie van het grondwater. De ligging en diepte van de dwarsprofielen is bij benadering gelijk aan die van de hydrogeologische profielen (Figuur 1). In de bovenste laag is zoet tot brak grondwater aanwezig, maar al snel nemen de chlorideconcentraties toe. Zie Bijlage 7F voor chlorideconcentratie patronen en scheidende lagen in enkele andere profielen (Oude Essink *et al.*, 2007).

Uit de stijghoogte-analyse in Paragraaf 3.2 blijkt dat overal in het Markermeer infiltratie plaatsvindt. Het ondiepe brakke en zoute grondwater zal dus op de lange termijn weggedrukt worden door infiltrerend zoet water. Plaatselijk (bij Hoorn) komt onder het ondiepe zoute grondwater een bel zoet grondwater voor. Dit hangt samen met infiltratie vanuit het veengebied dat hier vóór het ontstaan van het IJsselmeer voorkwam (o.a. Beekman, 1991).

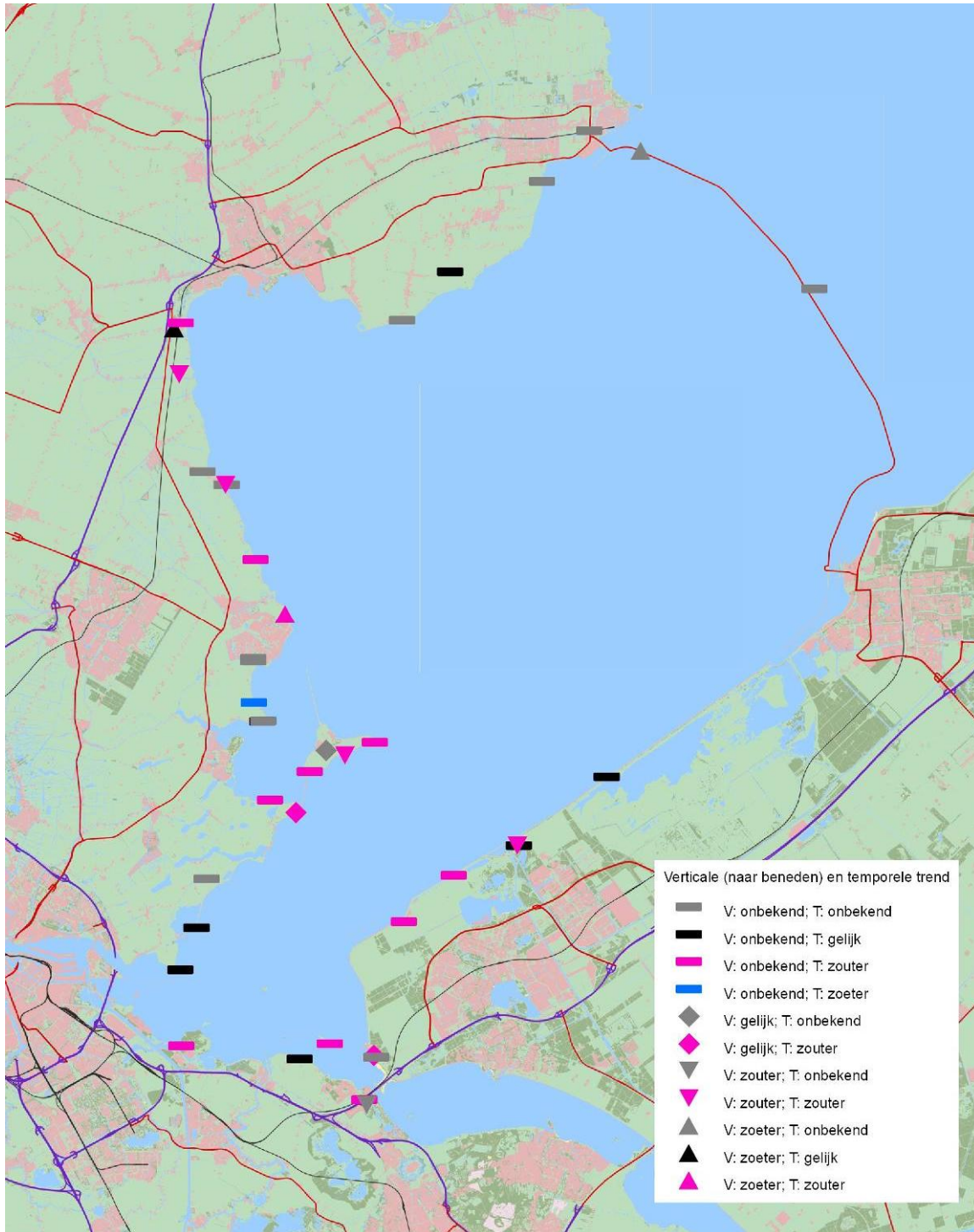


Figuur 9 Dwarsprofielen van de chlorideconcentratie (mg/l) in het Markermeergebied; links: west-oost profiel; rechts: noord-zuid profiel.

Tabel 3 Beschikbaarheid en trends gemeten zoutconcentraties. Verticale trend (V): verandering naar beneden (deklaag naar eerste watervoerend pakket (WVP1)); temporele trend (T): verandering tussen periode voor 1980 en periode na 1980. Trend is onbekend als onvoldoende gegevens beschikbaar zijn.

NITG-nummer	Deklaag	WVP1	V-trend	T-trend
B19E0030	x	X	zoeter	~gelijk
B19E0035	x	X	zouter	zouter
B19E0085		X	-	zouter
B19F0061		X	-	-
B19H0042		X	-	-
B19H0064		X	-	zouter
B19H0068	x	X	zouter	zouter
B19H0074	x	X	zoeter	zouter
B19H0076	x		-	-
B19H0120		X	-	-
B19H0153	x	X	-	-
B20A0041		X	-	-
B20A0076		X	-	-
B20A0090	x	X	zoeter	-
B20A0235	x		-	~gelijk
B20B0039		X	-	-
B25F0038		X	-	~gelijk
B25F0055		X	-	zouter
B25F0057		X	-	-
B25F0058		X	-	~gelijk
B25F0060		X	-	-
B25F0066	x	X	~gelijk	-
B25F0071		X	-	zouter
B25F0072		X	-	zouter
B25F0078	x	X	~gelijk	zouter
B25F0079	x	X	-	zouter
B25F0080	x	X	zouter	zouter
B25F0136		X	-	zoeter
B25G0195		X	-	zouter
B25G0303		X	-	~gelijk
B25H0087		X	-	~gelijk
B25H0122	x		-	zouter
B25H0148	x	X	~gelijk	zouter
B25H0195		X	-	zouter
B25H0210		X	-	-
B25H0443		X	zouter	-
B26A0013		X	-	zouter
B26A0018		X	-	~gelijk
B26A0036		X	-	~gelijk
B26A0038	x	X	zouter	zouter

In Figuur 10 is met behulp van de chloride informatie geprobeerd ruimtelijke stromingsprocessen te onderzoeken. De informatie is te gering om algemene uitspraken te doen, maar lijkt het beeld te bevestigen dat infiltratie vanuit het zoete Markermeer, brak grondwater voor zich uit duwt. Dus 'verzilting door verzoeting'.



Figuur 10 Trends in gemeten zoutconcentratie. Verticale trend (V): verandering naar beneden (deklaag naar eerste watervoerend pakket (WVP1)); temporele trend (T): verandering tussen periode voor 1980 en periode na 1980. Trend is onbekend als onvoldoende gegevens beschikbaar zijn.

3.7 Resultaten herbemonstering op 3 putlocaties

Op basis van de chemische data inventarisatie zijn vijf grondwaterputten geselecteerd rond het Markermeer. Helaas zijn de putten op de dijk Lelystad-Enkhuizen sinds kort niet meer voor bemonstering beschikbaar. Daarom bleven alleen 4 grondwatermeetpunten over langs de westzijde van het Markermeer. Het doel van deze bemonstering was het verkrijgen van recente informatie over het verzoetingsproces van het grondwater door infiltratie vanuit het Markermeer.

	B25F0078			B19H0074	B24H10A	B19E0035	
	Op de kustdijk tussen Marken-Zuiderwoude			Volendam		Schardam, onder Hoorn	
diepte	7,80 m	26 m	49 m	19 m	8 m	12,5 m	20,5 m
1958				3183		1644	1298
1968	1958	3623	9153			1510	
1977							1300
1980	1230		9880				
1985	1680			4720		1680	1380
2009	920	4110	10400	5210	11500	(17800) ¹	1590

Tabel 4 De elektrische geleidbaarheid (EC in $\mu\text{S}/\text{cm}$) van enkele grondwatermeetpunten op of langs de dijk aan de westzijde van het Markermeer.

Deze spaarzame metingen bevestigen bij Marken en Volendam het te verwachten beeld dat ondiep grondwater verzoet door infiltratie vanuit het IJsselmeer. Bij Volendam lijkt het diepere grondwater licht te verzilten. Dit stemt weer overeen met het proces dat het zoete water het zoute water vooruit "duwt" richting droogmakerijen.

¹ Aan deze meetwaarde wordt getwijfeld.

4 Effecten ingrepen met conceptuele grondwatermodellen

4.1 Inleiding

Van verschillende kleine ingrepen wordt met behulp van conceptuele grondwatermodellen het effect bestudeerd. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van 2-dimensionale modellen in de modelcode MOCDENS3D (Oude Essink, 1996, zie Bijlage D). Deze modelcode simuleert naast dichtheidafhankelijke grondwaterstroming ook gekoppeld zouttransport in het grondwater.

De volgende ingrepen zijn bestudeerd aan de hand van een drietal synthetische cases:

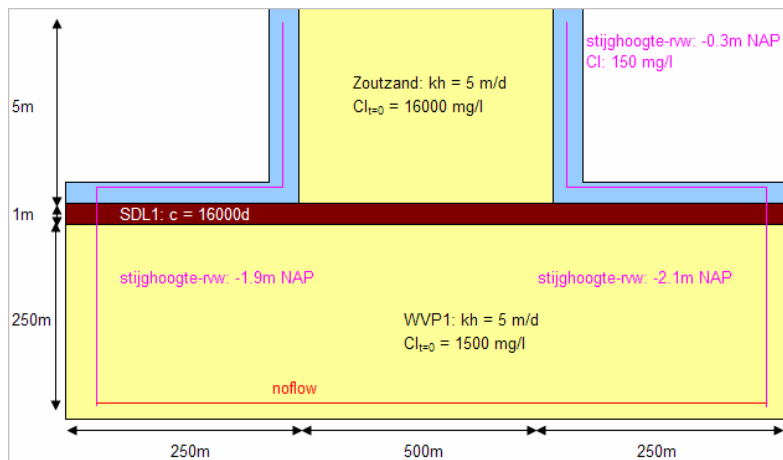
- a. Een met zout zand opgespoten eiland. Hierbij is gekeken naar de belangrijkste factoren die van invloed zijn op het uitspoelen van zout uit een opgespoten eiland naar het omliggende grond- en oppervlaktewatersysteem. Daarnaast is gekeken wat een werkelijk opgespoten oermoeras qua uitspoeling van zout zou betekenen.
- b. Peilstijging van het IJsselmeer. In dit conceptuele model is gekeken wat een peilstijging in het IJsselmeer betekent voor de grondwaterstroming op de grens tussen het IJsselmeer en het Markermeer.
- c. Slibput. In dit model is gekeken naar het stromingsbeeld rond een in de tijd dichtslibbende slibput, die de weerstandslaag onder het Markermeer doorsnijdt.

4.2 Een met zout zand opgespoten eiland

Met een eenvoudig 2-dimensionaal dichtheidsgedreven grondwaterstroming en gekoppeld zouttransportmodel is een opgespoten eiland in het Markermeer geschematiseerd.

4.2.1 Systeembeschrijving

Er is een dik (250m) watervoerend pakket geschematiseerd, met een horizontaal gelijke stijghoogte van -2m NAP. Er is daarmee geen horizontale stroming in het watervoerende pakket geschematiseerd. Daarboven is een 1 meter dikke sterk ondoorlatende laag geschematiseerd, met een weerstand van 16000 dagen. Deze dunne laag representeert een in werkelijkheid dikkere laag, van zo'n 15m. Het eiland wordt gestort bovenop de ondoorlatende laag (een dergelijke procedure is bij IJburg ook gevolgd). De horizontale doorlatendheid is gesteld op 5 m/d, wat zich vertaalt naar een kD van 25 m²/d in het eiland, en 1250 m²/d in het watervoerende pakket. Aan de randen van het eiland is de doorlatendheid verminderd tot 1 m/d, om wat weerstand bij uitstromen in het model in te brengen. De zoutconcentratie in het watervoerende pakket is bovenin gesteld op 1500 mg/l, naar de onderkant van het watervoerend pakket neemt de concentratie toe tot 10000 mg/l. De zoutconcentratie van het gestorte zand is gesteld op 16000 mg/l. Aan weerszijden is een stijghoogterandvoorwaarde opgegeven, behalve boven het gestorte zandpakket. Hierop vindt grondwateraanvulling plaats van 0,7 mm/d. De 'oppervlaktewatercellen' zijn inactief, behalve die juist naast het aangelegde zandpakket. Hier is een stijghoogterandvoorwaarde van -0.3m geschematiseerd, gelijk aan het gemiddelde peil in het Markermeer. De onderkant van het watervoerende pakket is ondoorlatend.



Figuur 11 Gehanteerde 2-dimensionale schematisatie opgespoten eiland, horend bij scenario 1.

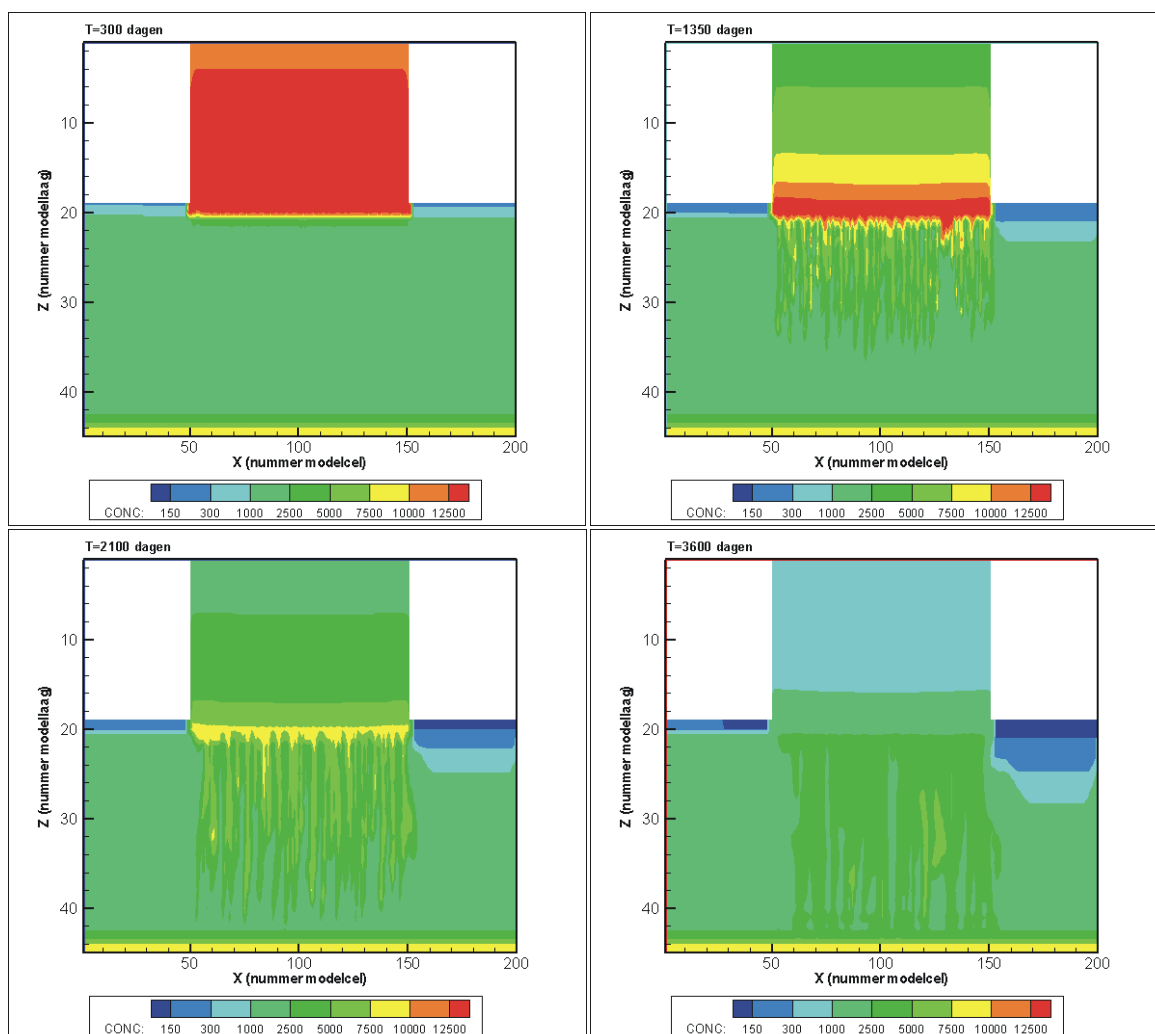
Vanuit deze basisschematisatie zijn de verschillende parameters gevarieerd om gevoel te krijgen voor hun effect op de uitstroming van zout naar het grond- en oppervlaktewater. De parameters die zijn gevarieerd in de verschillende scenario's zijn beschreven in Tabel 5.

	Lengte eiland (m)	Zoutconcentratie zand (mg/l)	Weerstand deklaag (d)	kD eiland / rand (m ² /d)
Scenario 1	500	16000	16000	25 / 5
Scenario 2	750	16000	16000	25 / 5
Scenario 3	1500	16000	16000	25 / 5
Scenario 4	750	8000	16000	25 / 5
Scenario 5	750	16000	8000	25 / 5
Scenario 6	750	4000	16000	25 / 5
Scenario 7	750	32000	16000	25 / 5
Scenario 8	750	16000	16000	50 / 5
Scenario 9	750	16000	16000	50 / 10

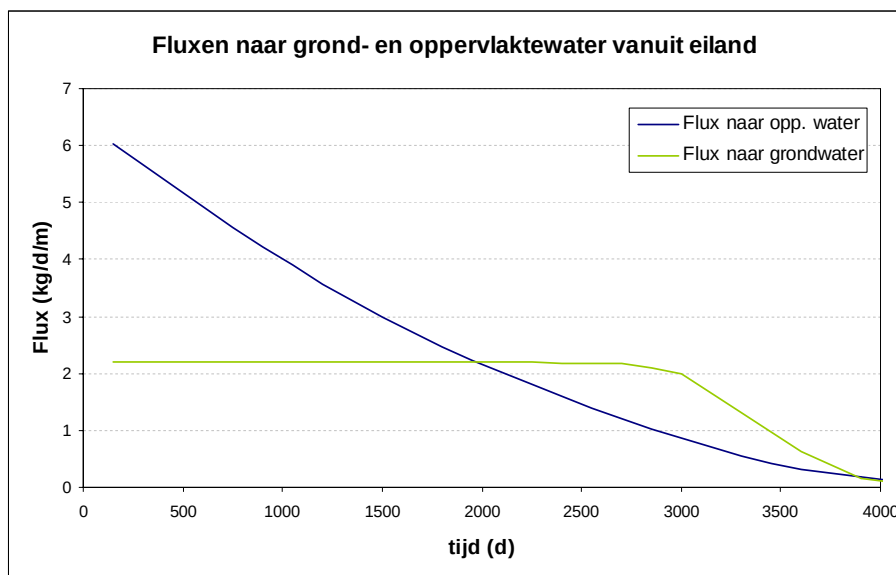
Tabel 5 Gekozen parameters in de verschillende scenario's

4.2.2 Resultaten

Uit de resultaten is duidelijk te zien hoe zout uit het eiland zal stromen, onder druk van het neerslagoverschot dat zich in het eiland opbouwt. De uitstroming naar het oppervlaktewater neemt exponentieel af met de tijd (figuur 13). Dat houdt verband met het wegzakkende zoutfront in het eiland: het oppervlak waarover zout naar het oppervlaktewater uitstroomt neemt af, doordat het overgebleven zout zich concentreert onderin het eiland. De flux naar het grondwater blijft lange tijd gelijk, tot deze uiteindelijk ook exponentieel afneemt. Dit komt doordat het oppervlak waarover het zout naar het diepe grondwater stroomt wel gelijk blijft. Bedenk bij figuur 13 wel dat de relatieve grootte van de fluxen wordt bepaald door de afmetingen van het eiland: hoe groter het eiland, hoe groter relatief de flux naar het grondwater is, omdat het relatieve uitwisselingsoppervlak dan nu eenmaal groter is (oppervlak versus omtrek van het eiland).

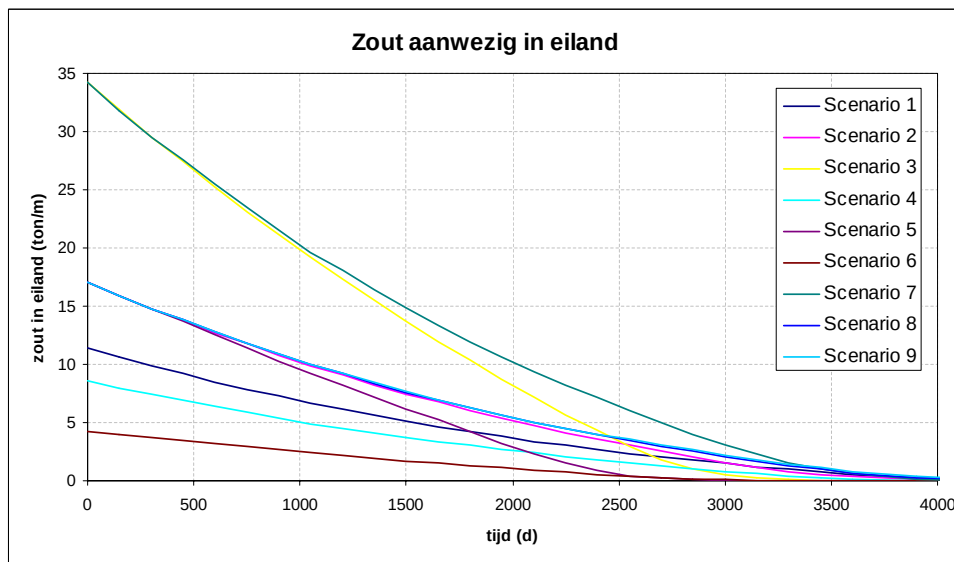


Figuur 12 Uitzakkend zoutfront in eiland (X en Z-as geven celnummering aan ($\Delta x=5m$, Δz varieert van 0.25m tot 50m, gaat tot ongeveer -250m), schaal vertekent daardoor).

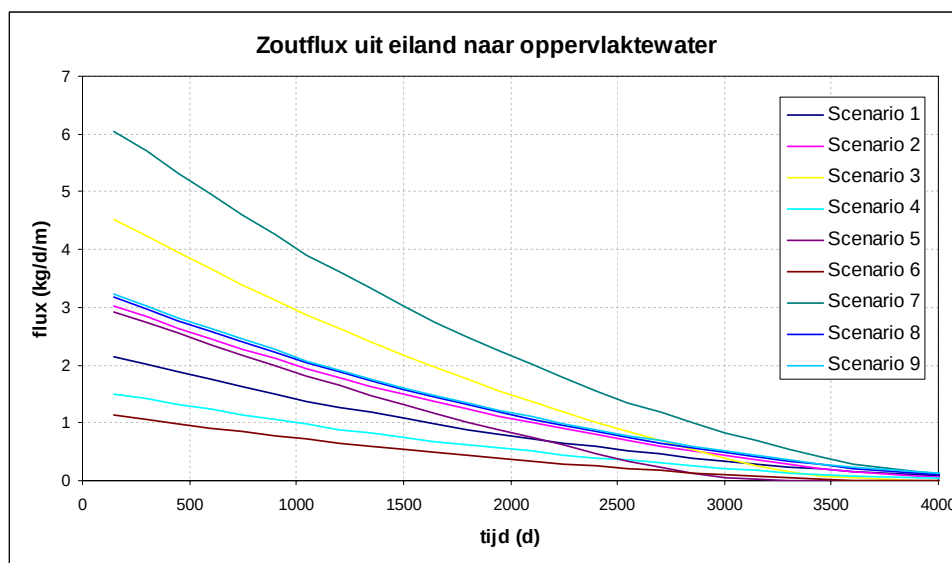


Figuur 13 Fluxen naar grond- en oppervlaktewater vanuit het eiland (scenario 2).

Uit de resultaten voor alle berekende scenario's blijkt duidelijk de invloed van de verschillende gevarieerde parameters.



Figuur 14 Verloop zout (per strekkende meter) in eiland voor de verschillende scenario's.



Figuur 15 Verloop zoutflux naar oppervlaktewater voor de verschillende scenario's.

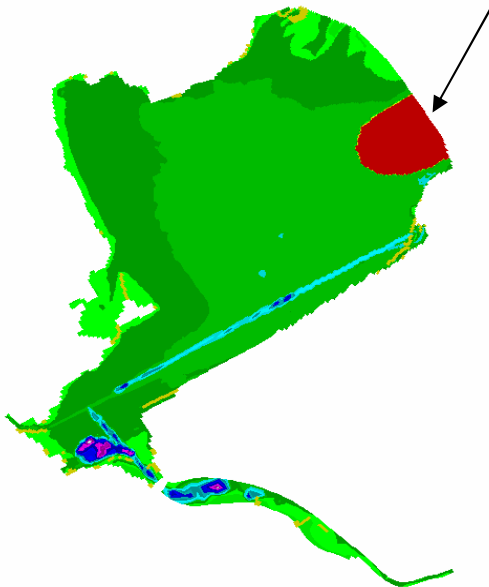
Scenario	Omschrijving resultaten
Scenario 1	Kleinste eiland. Lagere zoutflux naar opp.water dan scenario's 2 en 3, maar minder steil afnemend.
Scenario 2	Middengroot eiland. 1.5 x grotere hoeveelheid zout in eiland, ook 1,5x grotere flux naar oppervlaktewater, maar sterker afnemend.
Scenario 3	Grootste eiland. 2x meer zout in eiland dan scenario 2, maar sterker afnemend
Scenario 4	Helft lagere begin-zoutconcentratie in zand dan scenario 2. Verloopt precies op helft van scenario 2.
Scenario 5	Helft lagere weerstand deklaag. Zoutgehalte neemt sterker af dan scenario 2
Scenario 6	Kwart van begin-zoutconcentratie in zand van scenario 2. Verloopt precies op kwart van scenario 2.
Scenario 7	Dubbele van initiële zoutconcentratie in zand van scenario 2. Verloopt precies op dubbele van scenario 2.
Scenario 8	Ondanks 2x hogere kD in eiland, nagenoeg zelfde verloop als scenario 2
Scenario 9	Ondanks 2x hogere kD in eiland, ook bij uittreepunt, nagenoeg zelfde verloop als scenario 2

Tabel 6 Resultaten voor de verschillende doorgerekende scenarios

4.2.3 Aan te leggen 'oermoeras' in het Markermeer

In het door Toekomstvisie Markermeer-IJmeer (TMIJ) beschreven inrichtingsscenario voor het Markermeer is sprake van een aan te leggen 'oermoeras', liggend ten westen van Lelystad, tegen de Houtribdijk aan (Wetlands IJsselmeer, 2009). Gebruik makend van het 2-dimensionaal model van een opgespoten eiland is geprobeerd de uitspoeling van zout uit een aan te leggen oermoeras te kwantificeren.

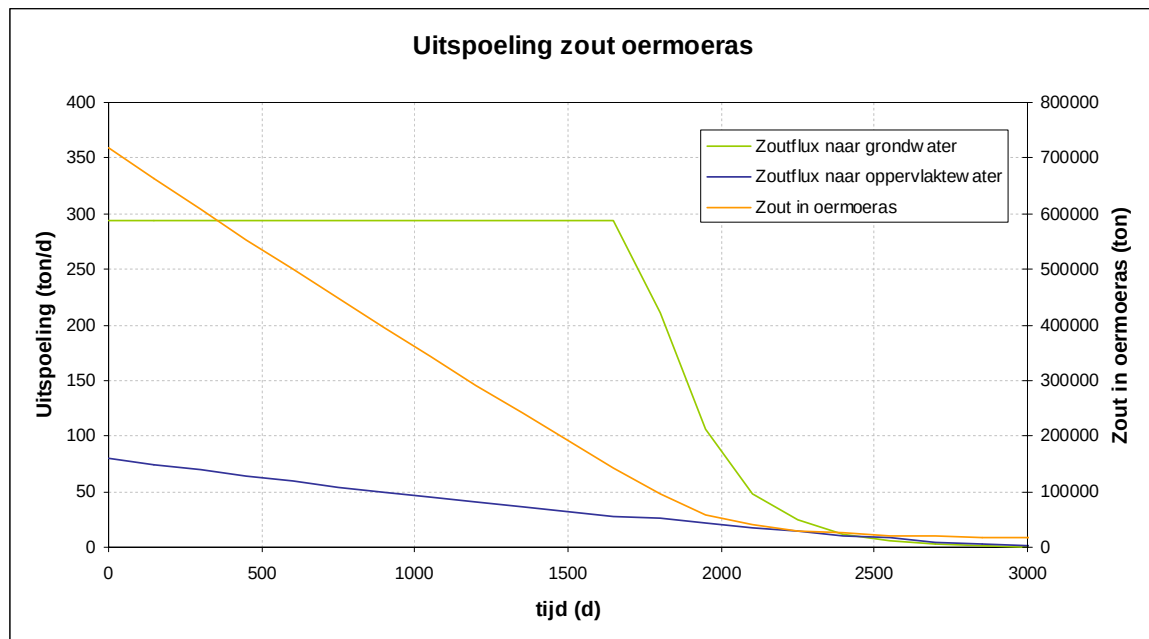
Hierbij speelt dat weinig bekend is over de precieze locatie en afmetingen van het oermoeras en het zoutgehalte van het bronmateriaal. Parametrisatie van het geheel is daarmee niet eenvoudig. Er is daarom voor een eenvoudige implementatie in een 2-dimensionaal model gekozen, gebaseerd op afmetingen en ligging uit Boderie en Vijverberg (2008), en parameters gebaseerd op de eerdere simulaties.



Figuur 16 Locatie en afmetingen 'oermoeras' (Boderie en Vijverberg, 2008).

Figuur 16 geeft de ligging van het oermoeras, tegen de Houtribdijk. Resultaten van dit 2-dimensionale model zijn eenvoudig vertaald naar de afmetingen van het beoogde oermoeras, door de flux naar het oppervlaktewater uit het 2-dimensionale model te vermenigvuldigen met de omtrek maal hoogte van het oermoeras, minus de als ondoorlatend veronderstelde Houtribdijk. De flux naar grondwater is vermenigvuldigd met de oppervlakte van het oermoeras. Hierbij wordt het effect van de vorm van het oermoeras op de verdeling van de fluxen verwaarloosd. Gezien de overige onzekerheden in de modellering wordt dit evenwel gepast verondersteld.

Als afmeting van het oermoeras is een waarde genomen van 30 km^2 . Door de veronderstelde halfronde vorm, met geen uitwisseling over de Houtribdijk, geeft dit een 'uitwissellengte' van zo'n 13 km. Weerstand onder het eiland is gesteld op 16000 dagen, kD op $25 \text{ m}^2/\text{d}$. De initiële zoutconcentratie in het eiland is gesteld op 16000 mg/l, de zoutconcentratie in de Noordzee. De relatie tussen de initiële zoutconcentratie en de uitspoeling is overigens zo goed als lineair: de helft lagere zoutconcentratie geeft een helft lagere zoutvracht.



Figuur 17 Verloop zoutgehalte en zoutfluxen voor het geschematiseerde oermoeras in de tijd.

Figuur 17 geeft de afname van de hoeveelheid zout in het geschematiseerde oermoeras, alsook het verloop van de zoutfluxen naar oppervlakte- en grondwater. Eenzelfde patroon komt naar voren als in de eerdere berekeningen. De zoutflux naar grondwater blijft lang stabiel, tot het zout in het eiland begint op te raken en neemt dan snel af. De flux naar het oppervlaktewater kent een exponentiële afname, doordat het uitwisselingsoppervlak door het uitzakken van het zoutfront afneemt. Door het grote uitwisselingsoppervlak van het oermoeras met het grondwater, in vergelijking tot het uitwisselingsoppervlak met het oppervlaktewater, is de flux naar grondwater dominant. Ondanks het feit dat de weerstand tegen stroming naar het grondwater veel groter is dan naar het oppervlaktewater. Doordat de (constante) zoutflux naar het grondwater dominant is, verloopt de afname van de hoeveelheid zout in het oermoeras zo goed als lineair.

4.2.4 Conclusies

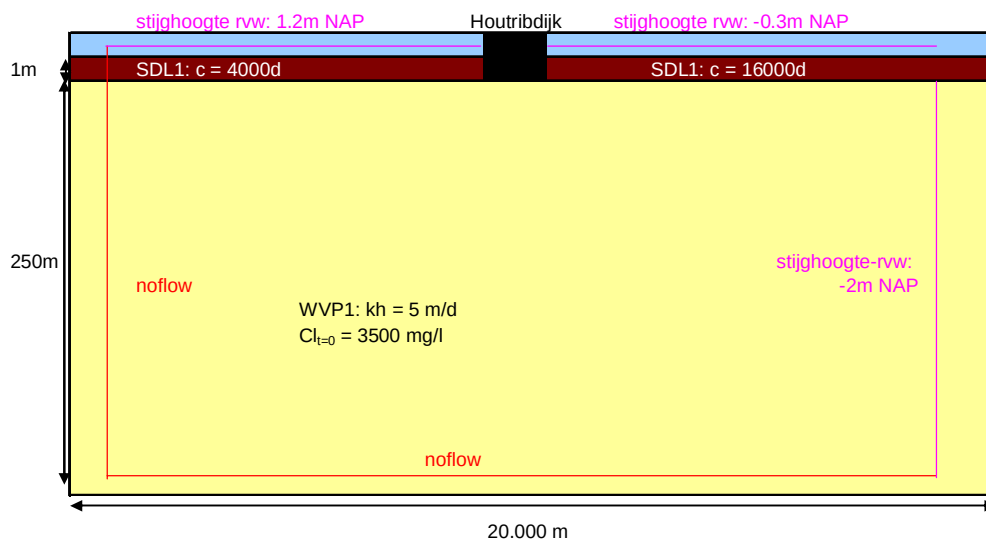
Onder invloed van het neerslagoverschot wordt aanwezig zout langzaam uit een aan te leggen eiland 'gedrukt'. Dit gaat niet snel, het snelste scenario is pas na zo'n 3000 dagen volledig zoet gespoeld. De snelheid waarmee dit proces verloopt is met name afhankelijk van de weerstand van de deklaag, en de verhouding tussen de oppervlakte van het eiland en de lengte van de randen. Een grotere oppervlakte / lengte verhouding betekent dat er relatief veel regenwater uit het systeem wordt gedrukt. Omdat het water gemakkelijker uit de zijranden stroomt dan door de deklaag naar het diepe grondwater, wordt dit slechts deels gecompenseerd door een groter uitstroomoppervlak naar het diepe grondwater. Belangrijker voor de grootte van de flux naar het oppervlaktewater is evenwel de startconcentratie in het opgespoten eiland. Deze concentratie vertaalt zich namelijk één op één door in de zoutvracht naar het oppervlaktewater. Het doorlaatvermogen van het eiland lijkt nauwelijks van belang. Deze blijft in alle scenario's erg groot ten opzichte van het doorlaatvermogen van de scheidende laag.

4.3 Peilstijging in het IJsselmeer

Met een eenvoudig 2-dimensionaal grondwater- en zouttransportmodel op basis van de code MOCDENS3D (Bijlage D) is een peilstijging in het IJsselmeer geschematiseerd, zoals voorgesteld door de Commissie Veerman.

4.3.1 Systeembeschrijving

Er is een dik (250m) watervoerend pakket geschematiseerd, met een horizontale doorlatendheid van 5 m/d. De weerstand onder het IJsselmeer is gesteld op 4000 dagen, onder het Markermeer op 16000 dagen. Als randvoorwaarden is zowel de IJsselmeerkant als de onderkant van het zandpakket als ondoorlatend geschematiseerd. Aan de Markermeerkant van het watervoerende pakket is een stijghoogterandvoorwaarde opgelegd van -2 m NAP. Het peil is bij start van de berekening in beide meren op -0,3 m NAP gesteld, na tien tijdstappen wordt het peil in het IJsselmeer verhoogd tot 1,2 m NAP, een stijging van 1,5 m. De zoutconcentratie in het watervoerende pakket is bovenin gesteld op 1500 mg/l, naar de onderkant van het watervoerend pakket toe neemt de concentratie toe tot 10000 mg/l. Moleculaire diffusie en hydrodynamische dispersie ($\alpha_L=0.05m$) worden in de berekening meegenomen.



Figuur 18 Gehanteerde 2-dimensionale schematisatie peilstijging IJsselmeer, horend bij scenario 1.

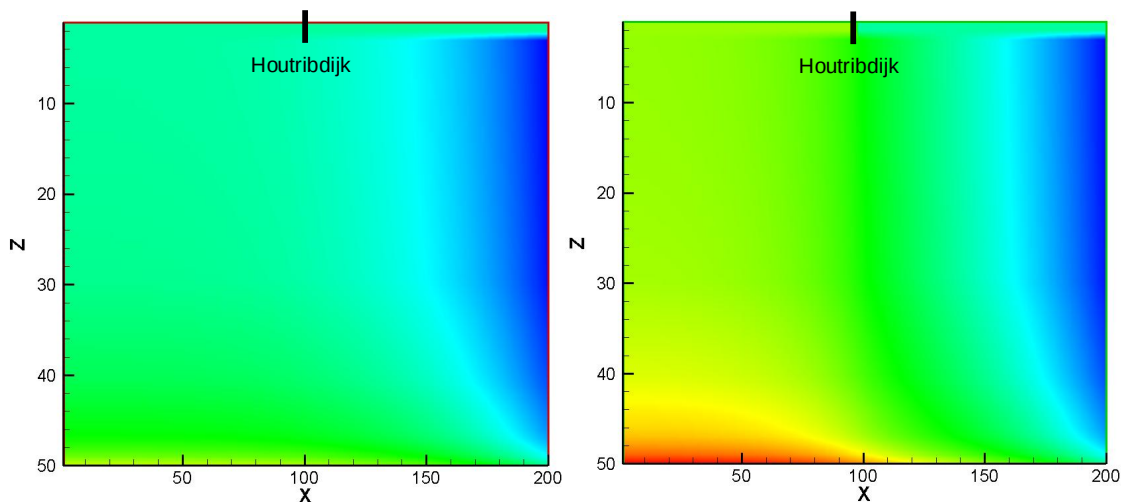
In een vijftal scenario's zijn verschillende parameters gevarieerd:

	Weerstand IJsselmeer (d)	Weerstand Markermeer (d)	Peilstijging geleidelijk	Zoutconcentratie ondergrond (mg/l)
Scenario 1	4000	16000	nee	1000 - 10000
Scenario 2	8000	16000	nee	1000 - 10000
Scenario 3	4000	8000	nee	1000 - 10000
Scenario 4	4000	16000	ja, in 35 jaar*	1000 - 10000
Scenario 5	4000	16000	nee	2000 - 20000

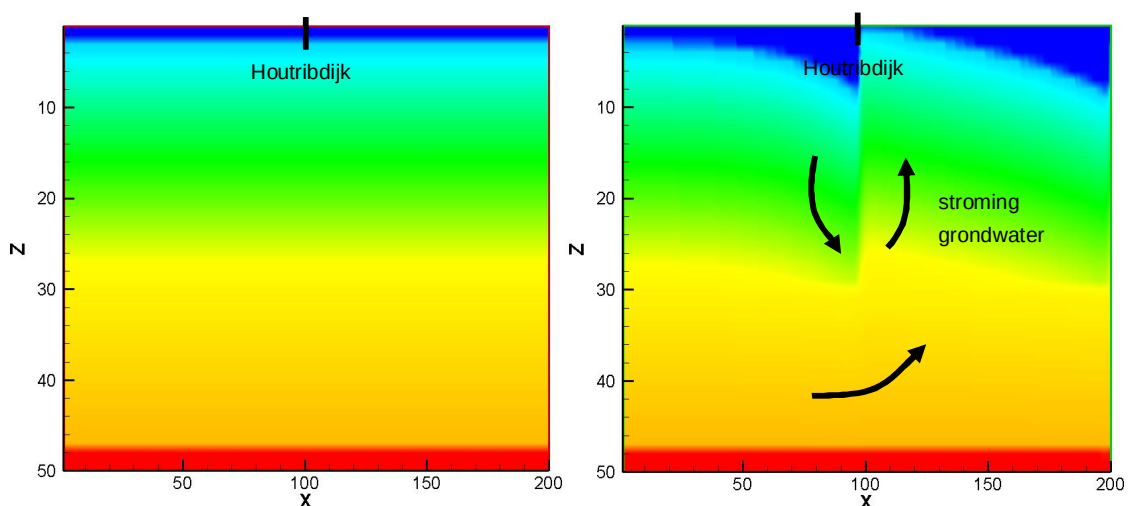
In scenario 4 wordt het peil van het IJsselmeer niet in één klap, maar geleidelijk opgezet. Er is hierbij gekozen voor een opzet in 35 jaar, ook al zal het peil in werkelijkheid eerder verspreid over een periode van 100 jaar worden opzet. Dit werd qua rekentijd evenwel te veel, en het doel van dit scenario is met name om te onderzoeken of dit verschil in opzetten van het peil de resultaten beïnvloedt.

4.3.2 Resultaten

De rekenresultaten geven een goed beeld van wat er gebeurt als het peil in het IJsselmeer wordt opgezet. Door het peilverschil tussen het Markermeer en het IJsselmeer ontstaat er een stroming die vergelijkbaar is met dijkse kwel: aan de IJsselmeerkant is sprake van sterke infiltratie, aan de Markermeerkant sterke kwel. Zout grondwater kwelt door deze kwelstroom op, en komt aan de Markermeerkant van de Houtribdijk aan de oppervlakte. Dit is goed te zien in Figuur 20. Grondwaterstroming gaat langzaam, er gaat daarom wel enige tijd overheen voordat zout grondwater opkwelt in het Markermeer. Eerst wordt namelijk het huidige geïnfilterde zoete water naar boven getransporteerd. Pas na enkele jaren wordt het kwelwater langzaam zouter. De kwelzone strekt zich in deze conceptuele 2-dimensionale modellering uit tot zo'n 6 km vanaf de Houtribdijk. Om meer grip te krijgen op de omvang en grootte van deze kwelstroom is een gevalideerd 3-dimensionaal model van het IJsselmeergebied nodig.



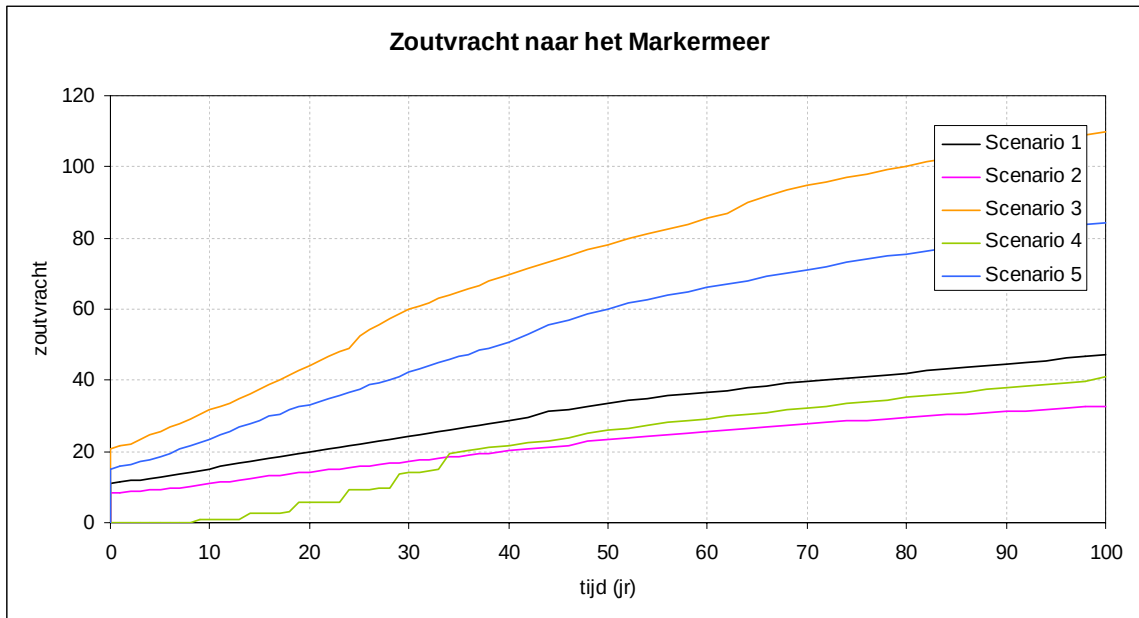
Figuur 19 Zoetwaterstijghoogteverdeling onder IJsselmeer en Markermeer op $t=0$, en $t=15$ jaar, scenario 1.



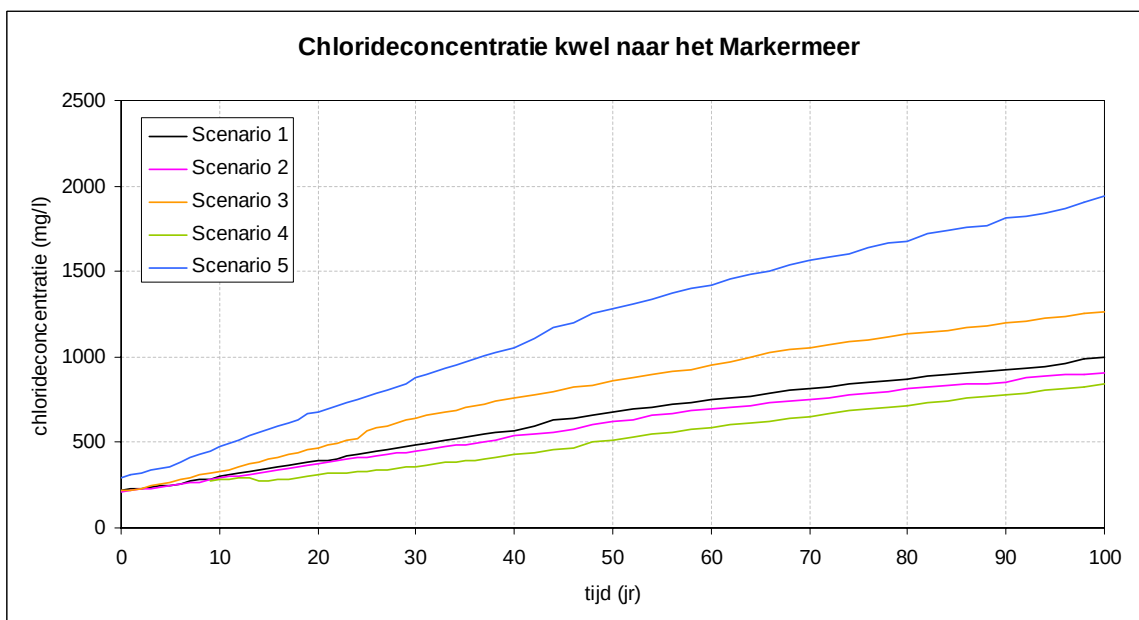
Figuur 20 Chloride concentratie verdeling onder IJsselmeer en Markermeer op $t=0$, en $t=15$ jaar, scenario 1.

De grondwaterstroming verloopt in alle scenario's volgens dezelfde hoofdlijn. Wel verschilt de snelheid waarmee deze stroming zich instelt en verloopt tussen de scenario's. Figuur 21 geeft de berekende zoutvracht naar het Markermeer voor de verschillende scenario's. De

eenheden van de zoutvracht zijn bewust niet gegeven, omdat de berekende waarden niet een daadwerkelijke inschatting geven van de zoutvracht naar het Markermeer.



Figuur 21 Relatieve zoutvracht naar het Markermeer voor de doorgerekende scenario's. Tijdstip nul correspondeert met het moment van peilopzet.



Figuur 22 Chloride concentratie in het kwelwater naar het Markermeer voor de doorgerekende scenario's. Tijdstip nul correspondeert met het moment van peilopzet.

Uit Figuur 21 volgt dat de zoutvracht naar het Markermeer het snelst toeneemt in scenario 3, waarbij de weerstand onder het Markermeer met de helft is verlaagd ten opzichte van het referentiescenario (scenario 1). Dit is ook het scenario met de grootste verandering in de zoutvracht naar het Markermeer ten opzichte van het referentiescenario. De weerstand onder het Markermeer is daarmee de belangrijkste onderzochte parameter voor het bepalen van de

zoutvracht naar het Markermeer. Het kleinere verschil tussen scenario 2 en het referentiescenario geeft aan dat de waarde van de weerstand onder het IJsselmeer relatief minder invloed heeft op het eindresultaat.

Na de halvering van de weerstand onder het Markermeer in scenario 3 heeft verdubbeling van de zoutconcentratie onder het IJsselmeer en Markermeer de meeste invloed op de zoutvracht. De zoutvracht naar het Markermeer verdubbelt in dit scenario ongeveer. Secundaire effecten op het stromingsbeeld door de veranderde chloride concentratie verdeling spelen blijkbaar een beperkte rol.

Scenario 4 geeft inzicht in het verschil tussen een peilopzet in één keer, en wanneer het peil geleidelijk (in stappen van 20 cm) wordt opgezet. Uit de figuur volgt dat er – vanaf het moment dat het peil volledig is opgezet – weinig verschil is in het verloop van de zoutvracht tussen een geleidelijke peilopzet en een plotselinge peilopzet. Wanneer voor beide scenario's wordt gekeken naar het moment waarop het peil maximaal is opgezet, dan is duidelijk dat het scenario waarbij het peil geleidelijk is opgezet 'al een voorsprong heeft opgebouwd'. Dat is ook goed verklaarbaar, omdat het stromingsbeeld dat voor de zoutvracht zorgt – zij het in (door de lagere peilopzet) afgezwakte vorm – al een flinke tijd bestaat.

4.3.3 Conclusies

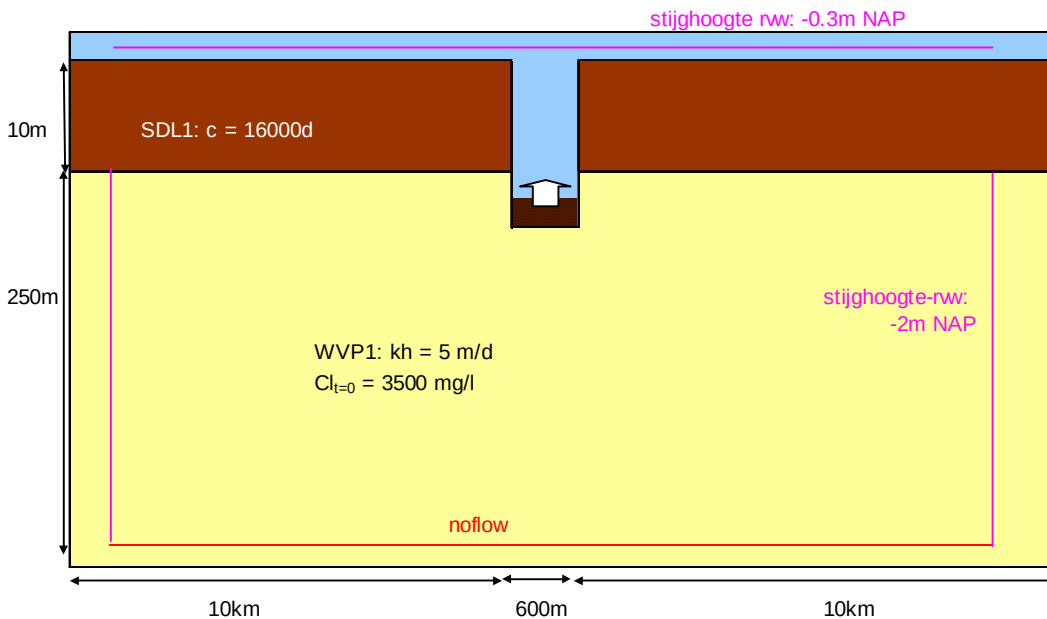
Onder invloed van een peilstijging op het IJsselmeer ontstaat een stromingsbeeld dat vergelijkbaar is met dijkse kwel (viz. een sterke kwel flux direct onder de dijk door). Aan de IJsselmeerkant treedt infiltratie op, met de sterkste flux nabij de Houtribdijk. Aan de Markermeerkant kwelt water op, met de sterkste flux aan de andere kant van de Houtribdijk. Door deze kwelflux stroomt zout grondwater naar het Markermeer. In de verschillende gekozen scenario's blijken de weerstand onder het Markermeer en de zoutconcentratie onder beide meren parameters om goed in de vingers te krijgen.

4.4 Deklaag doorsnijdende slibput

Met een eenvoudig 2-dimensionaal grondwater- en zouttransportmodel op basis van de code MOCDENS3D (Bijlage D) is slibput geschematiseerd die de deklaag onder het Markermeer doorsnijdt.

4.4.1 Systeembeschrijving

Er is een dik (250m) watervoerend pakket geschematiseerd, met een horizontale doorlatendheid van 5 m/d. De weerstand onder het Markermeer is gesteld op 16000 dagen. De onderkant van het zandpakket is als ondoorlatend geschematiseerd. Aan beide uiteinden van het watervoerende pakket is een (redelijk losse) stijghoogte randvoorwaarde opgelegd van -2 m NAP. Het peil van het Markermeer is op -0,3 m NAP gesteld, het jaargemiddelde streefpeil. De zoutconcentratie in het watervoerende pakket is bovenin gesteld op 1500 mg/l, naar de onderkant van het watervoerend pakket toe neemt de concentratie toe tot 10000 mg/l. Diffusie en dispersie worden in de berekening meegenomen. De slibput doorsnijdt de deklaag, de (initiële) bodem van de slibput bevindt zich op 5 meter onder de onderkant van de deklaag. Op de bodem van de slibput bouwt zich een sliblaag op, die de put langzaam vult. De opslibbingssnelheid is gesteld op 10 cm/jr, afgaande op berekeningen van Boderie en Vijverberg (2009), maar varieert in de verkennende berekeningen.



Figuur 23 Gehanteerde 2-dimensionale schematisatie deklaag doorsnijdende slibput.

In een vijftal scenario's zijn verschillende parameters gevarieerd:

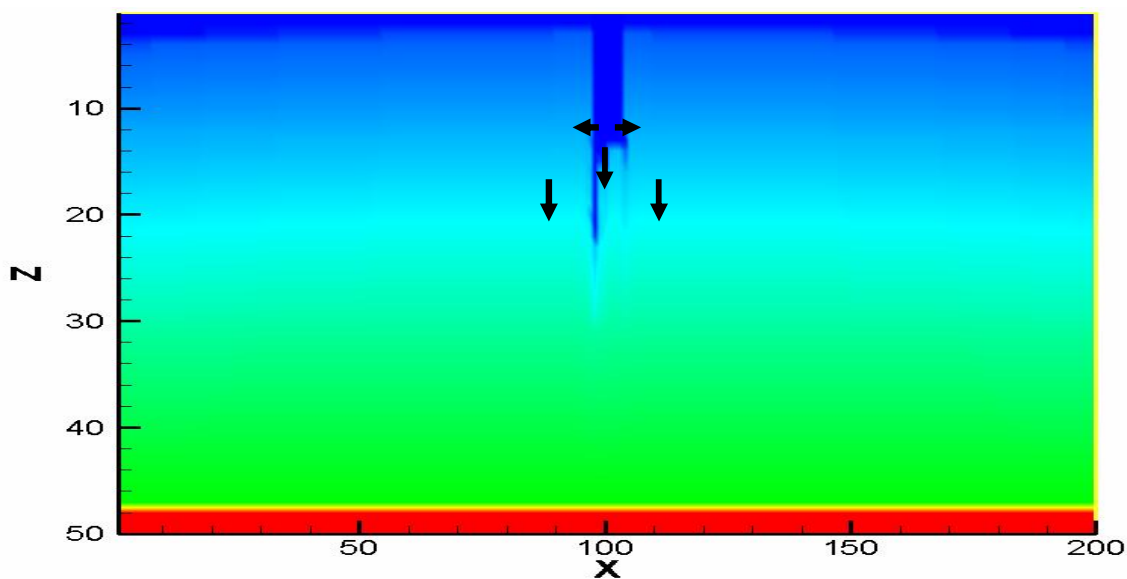
	Snelheid opslibbing (cm/jr)	Verticale doorlatendheid slib (m/d)	Weerstand Markermeer (d)
Scenario 1	10	0,001	16000
Scenario 2	20	0,001	16000
Scenario 3	10	0,0005	16000
Scenario 4	20	0,0005	16000
Scenario 5	10	0,001	8000

Het effect van de snelheid van opslibbing is onderzocht voor 10 cm/jaar en 20 cm/jaar, waarbij 10 cm/jaar de waarde geeft als gerapporteerd door Boderie en Vijverberg (2009). Voor de verticale doorlatendheid van de zich opbouwende sliblaag zijn lage waarden gekozen, 0,001 m/d en 0,0005 m/d. Hiervoor is gekozen omdat het slib door het aanwezige potentiaalverschil het onderliggende zandpakket naar verwachting sterk zal afsluiten, de slibdeeltjes worden in de poriën gezogen. Er waren geen gegevens beschikbaar over daadwerkelijk in dergelijke situaties aangetroffen verticale doorlatendheden.

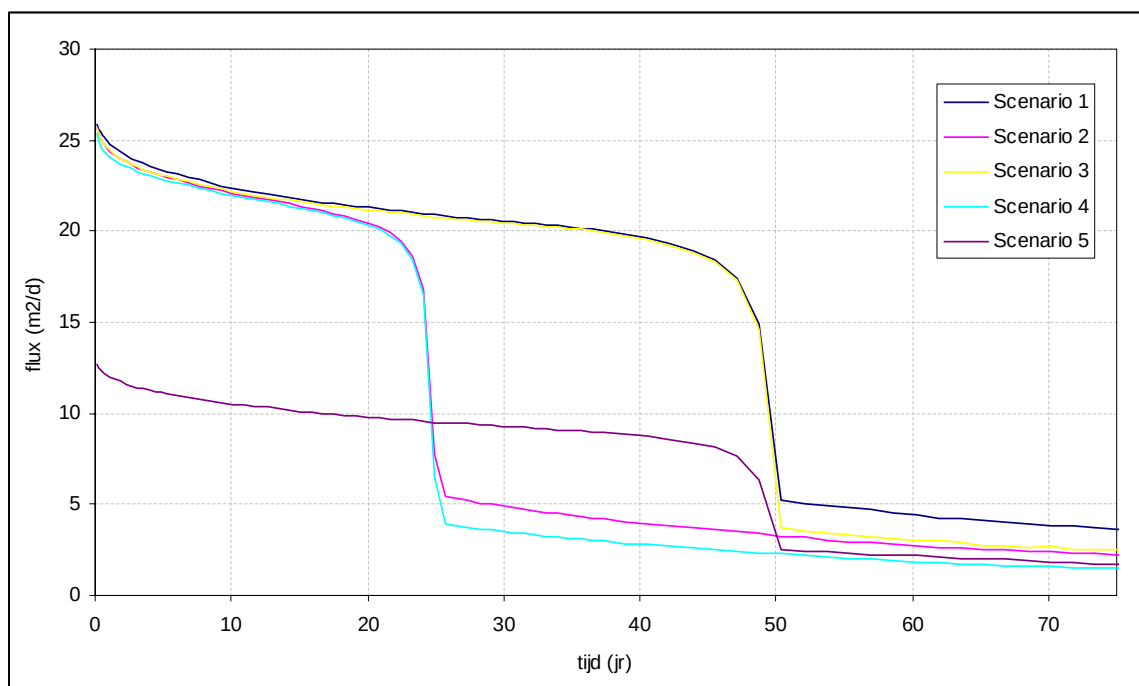
4.4.2 Resultaten

De rekenresultaten geven een indicatief beeld van wat er gebeurt wanneer een slibput langzaam dichtslibt. De flux is sterk naar beneden gericht, door het grote potentiaalverschil tussen het watervoerende pakket en het Markermeer. Door de sterk afgenomen weerstand juist na het graven van de put is de stijghoogte in het watervoerende pakket precies onder de slibput op dat moment omhoog gekomen tot het peil in het Markermeer. Met het toenemen van de weerstand in de slibput daalt de stijghoogte weer, maar komt gedurende de rekenperiode niet terug op het oude niveau. Een dergelijke slibput lijkt in de uitgevoerde berekeningen een regionaal effect te hebben, al zijn hier gezien de gekozen berekeningsmethode slechts voorzichtige conclusies over te trekken. De naar beneden gerichte stroming is dermate sterk, dat het zoete Markermeerwater niet tegen de onderkant van de deklaag op zal drijven.

Uit de resultaten blijkt verder dat de weerskanten van de slibput sterk bepalend zijn voor het effect van de slibput. Op het moment dat de sliblaag de volledige diepte onder de deklaag heeft opgevuld, neemt de flux naar het watervoerend pakket snel af (Figuur 25). Voor scenario's 1, 3 en 5 is dit na 50 dagen (5 meter, 10 cm per jaar), voor scenario's 2 en 4 na 25 dagen. Opvallend is verder de sterke invloed van de weerstand van de deklaag in de uitstroming vanuit de slibput. Scenario 5 laat de helft van de uitstroming zien van de andere scenario's. Het potentiaalverschil tussen het Markermeer en het watervoerende pakket is door de lagere weerstand lager, waardoor ook de flux minder is.



Figuur 24 Chlorideconcentratie rond deklaag doorsnijdende slibput (X en Z-as geven celnummering aan, schaal vertekent daardoor).



Figuur 25 Flux uit de slibput voor verschillende scenario's.

4.4.3 Conclusies

Een slibput die de deklaag doorsnijdt lijkt een niet verwaarloosbaar effect op de stijghoogteverdeling in het watervoerende pakket te hebben, met mogelijkere wijs regionale consequenties. Dit laatste is sterk afhankelijk van de tijd die nodig is voor het verticale 'open deel' van de slibput om vol te lopen met sediment. Dit bepaalt in sterke mate de flux vanuit de slibput naar het Markermeer.

5 Effecten van maatregelen op regionale schaal

5.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 zijn met lokale 2-dimensionale gecombineerde grondwater- en zouttransportmodellen effecten beschreven van ingrepen in het IJsselmeergebied. Dergelijke modellen geven een goed inzicht in de processen die lokaal optreden, en bieden de mogelijkheid snel verschillende varianten door te rekenen. Dergelijke modellen zijn echter niet geschikt voor de beschrijving van veranderingen in het regionale grondwatersysteem. Simpelweg omdat de schematisatie van deze modellen zich niet zo ver uitstrekt.

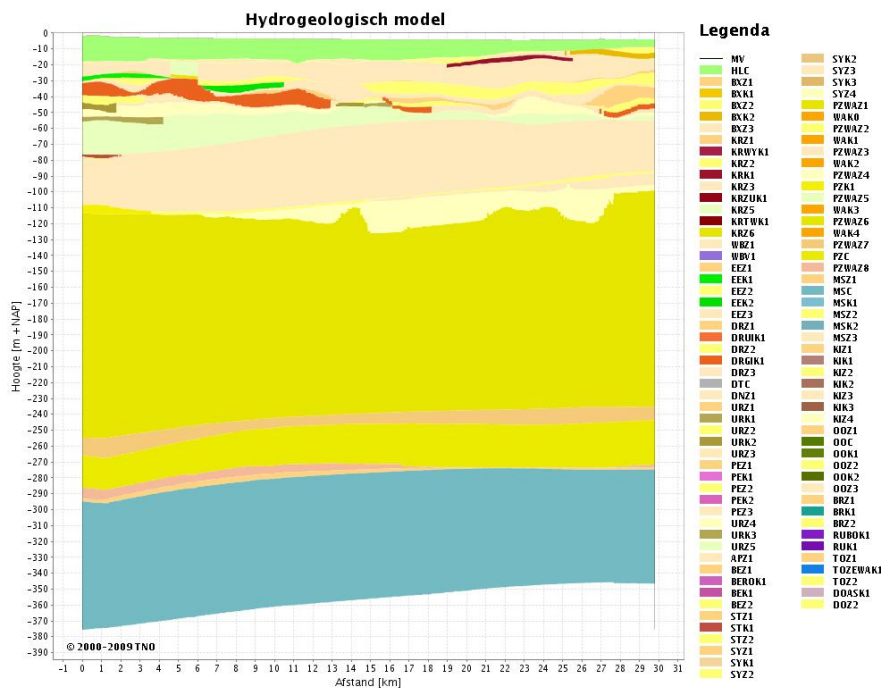
Voor het beschrijven van veranderingen in het regionale grondwatersysteem onder het IJsselmeergebied is daarom een regionaal dichtheidsafhankelijke grondwaterstromings- en zouttransportmodel ontwikkeld (Kwadijk *et al.*, 2007; Stuurman *et al.*, 2008). Dit model bouwt voort op een eerdere modellering, maar is specifiek aangepast voor het IJsselmeergebied. Met dit model zijn zowel autonome ontwikkelingen doorgerekend, als specifieke maatregelen in het IJsselmeergebied. De gekozen scenario's zijn gekozen in samenspraak met KIWA Water Research, aangezien de resultaten binnen dit Delft Cluster project zijn gebruikt om de invloed van verzilting op de drinkwatervoorziening uit het IJsselmeergebied te kwantificeren (KWR, 2009).

5.2 Regionaal dichtheidsafhankelijk grondwater- en zouttransportmodel

5.2.1 Modelbeschrijving

Het regionale dichtheidsafhankelijke grondwater- en zouttransportmodel is gebaseerd op de code MOCDENS3D (Oude Essink, 1998). Met dit numerieke modelinstrumentarium wordt de stroming van zoet, brak en zout grondwater bepaald, en de terugkoppeling van de dichtheid van het grondwater op de grondwaterstroming. Een uitgebreidere beschrijving van deze modelcode is terug te vinden in Bijlage D. Het model heeft 280 kolommen, 325 rijen en 31 modellagen. De cellen zijn $1 \times 1 \text{ km}^2$, de bovenkant van het model ligt op 10 m+NAP en de onderkant op 280 m-NAP. Om rekentijd te beperken is gekozen voor rekentijdstappen van 1 jaar. Dit is goed verdedigbaar omdat transport van zout grondwater een traag verlopend proces is. Veranderingen in de zoutconcentraties van het diepe grondwater verlopen dan ook op een tijdschaal in de orde van decennia. Als basis voor de modellering is uitgegaan van het "klimaatatlas-model", zoals beschreven in Oude Essink en Van Baaren (2009), de schematisatie is rond het IJsselmeergebied echter sterk herzien.

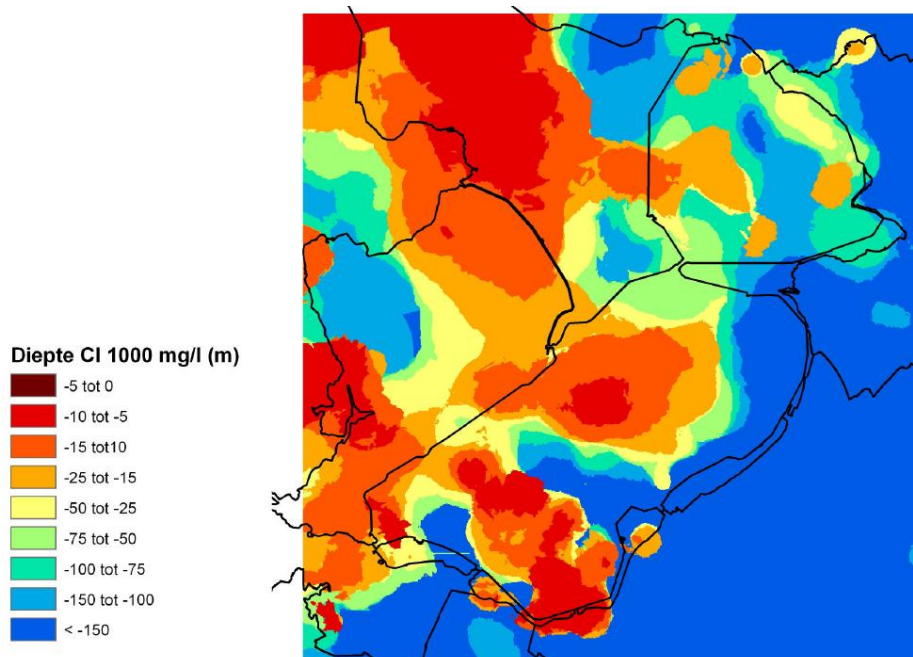
De geohydrologische schematisatie van het model is gebaseerd op de geohydrologische databank REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem) (Vernes en Van Doorn, 2005). De databank bevat gegevens over boorgatmetingen, boorbeschrijvingen, grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit. Daarnaast is door Deltares hiervan ruimtelijke informatie afgeleid, zoals de laagopbouw van de ondergrond. Zodoende bevat REGIS het geologische en hydrogeologische ondergrondmodel van Nederland. De kartering geeft inzicht in de 3-dimensionale verdeling van watervoerende pakketten (zandlagen) en slechtdoorlatende lagen (o.a. klei, veen en lemlagen). Daarnaast is voor elke laag een schatting van hydraulische doorlatendheden gegeven. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 26.



Figuur 26 Voorbeeld hydrogeologisch model, profiel van Hoorn naar Dronten. Bron: REGIS.

Voor de bepaling van de huidige zoetwatervoorraad is gebruik gemaakt van de uitgebreide databestanden die bij TNO in beheer zijn (DINO Qua; zoet-zout REGIS; Oude Essink *et al.*, 2005; Kloosterman, 2007, concept). Ruim 60.000 in aantal, gemeten vanaf 1853. Slechts ongeveer 10% van de metingen ligt dieper dan -70m N.A.P., terwijl ongeveer 30% van de metingen brak of zout grondwater betreft (juist deze waarden zijn waardevol voor de bepaling van de zoet, brak en zout verdeling in Nederland). De chloride concentraties zijn gebaseerd op directe analyses, VES (Verticale Elektrische Sonderingen) en boorgatmetingen.

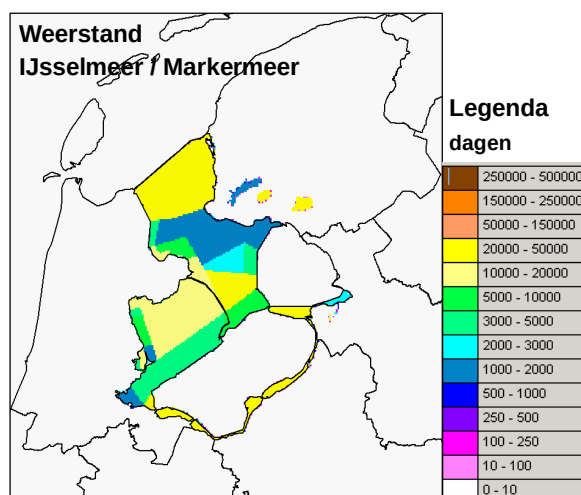
Aan de hand van deze puntenwolk is een continue 3-dimensionaal veld van chloride concentraties van het grondwater gecreëerd. De totale hoeveelheid zoet grondwater (<300 mg Cl-/l) in Nederland bedraagt iets meer dan 1100 miljard m³, terwijl tot 1000 mg Cl-/l ongeveer 1475 miljard m³ grondwater aanwezig is (Stuurman *et al.*, 2008). Onder het IJsselmeergebied is op geringe diepte brak tot zout grondwater aanwezig. Zout zeewater heeft tijdens perioden in het Holoceen waarbij de zee zich tot ver in het huidige gebied uitspreidde kunnen infiltreren in het grondwater. Figuur 27 geeft de diepte van het zoet-zout grensvlak in het IJsselmeergebied. In dit project is veel energie gestoken in het opnieuw ruimtelijk interpoleren van deze gegevens, met behulp van driedimensionale inverse-distance-weighted interpolatie en andere technieken (Pebesma, 2009). De resultaten van deze interpolatie kwamen helaas niet op tijd om mee te nemen in dit project, er is daarom met een eerder geïnterpoleerd chlorideveld gerekend.



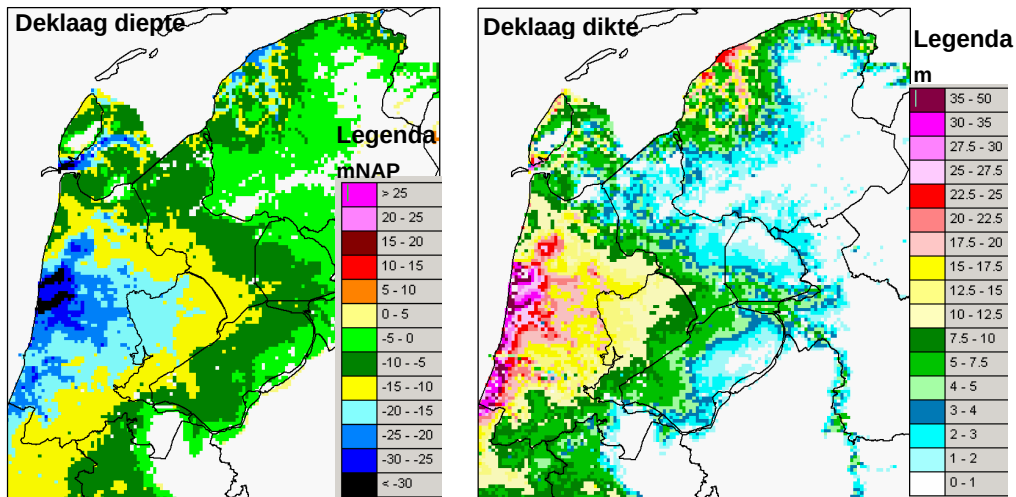
Figuur 27 Diepte van het grensvlak 1000 mg/l in het IJsselmeergebied (Oude Essink et al., 2008).

Interactie met het oppervlaktewater is gebaseerd op informatie beschikbaar in het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Peilen van het oppervlaktewater, bodemdiepten en drainage- en infiltratieweerstanden zijn alle overgenomen uit het NHI (<http://www.nhi.nu/>).

Onder het IJsselmeer en Markermeer is een flinke weerstand aanwezig, die niet volledig terug te vinden is in REGIS. Deze weerstand wordt veroorzaakt door basisveenafzettingen in de ondergrond, maar ook door afzettingen van slib. De weerstand is goed terug te zien in stijghoogteverdelingen over het IJsselmeergebied. Het stijghoogteverschil tussen het watervoerende pakket onder het Markermeer en IJsselmeer en het peil van beide meren kan lokaal namelijk oplopen tot meters (RGD, 1991). De weerstand van de deklaag onder het IJsselmeer en het Markermeer is daarom niet gebaseerd op REGIS, maar overgenomen uit het NHI model (Goes et al., 2008). Waarden van de weerstand liggen in de orde van duizenden dagen, en zijn weergegeven in Figuur 28.



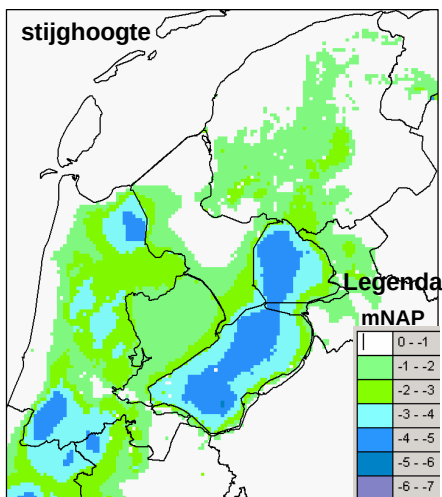
Figuur 28 Weerstand onder het IJsselmeer en Markermeer, overgenomen uit het NHI model.



Figuur 29: Deklaag diepte (onderkant holoceen) en dikte, overgenomen uit het NHI model.

5.2.2 Betrouwbaarheid regionaal dichtheidsafhankelijke grondwater- en zouttransportmodel

Het ontwikkelde model is slechts beperkt getoetst aan metingen. In gebied waar met name de interesse naar uitgaat (onder het IJsselmeer en het Markermeer) zijn slechts beperkt metingen beschikbaar. Wel geeft RGD (1991) een stijghoogtekaart van het eerste watervoerende pakket onder het IJsselmeer en het Markermeer. Het stijghoogtebeeld dat door het model wordt berekend komt goed overeen met dit gemeten stijghoogtebeeld onder het Markermeer / IJsselmeer.



Figuur 30 Stijghoogte eerste watervoerende pakket in het IJsselmeergebied, overgenomen uit het NHI model.

Door het model berekende zoutvrachten zijn daarnaast vergeleken met bemeten zoutvrachten, uitgeslagen door gemalen langs het IJsselmeer / Markermeer. Dit is gedaan voor die deelgebieden, waarvan voor alle uitwaterende gemalen een zoutvracht bekend was. Deze deelgebieden zijn terug te zien in Figuur 31. Tabel 7 geeft gemeten en berekende zoutvrachten voor vier deelgebieden. Alleen van deze vier deelgebieden waren voor alle uitwaterende gemalen zoutconcentraties bekend.

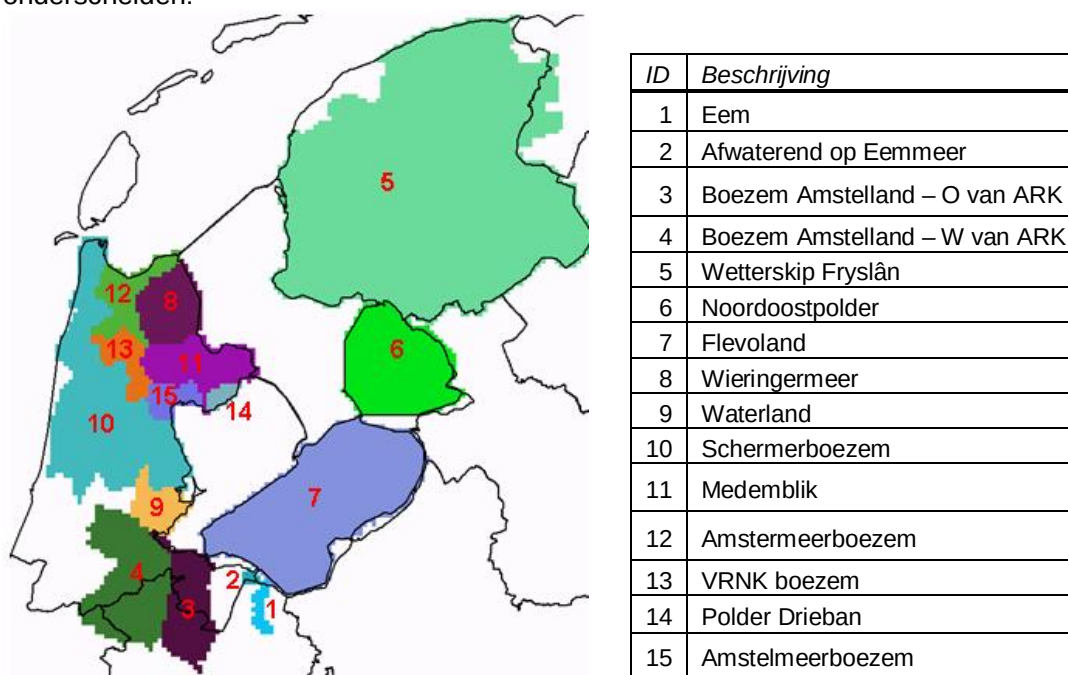
	Gemeten (ton/jr)	Berekend (ton/jr)	Verhouding
Flevoland	195722	115478	1.69
Noordoost polder	92965	56157	1.66
Medemblik	24228	21795	1.11
Drieban	1255	909	1.38

Tabel 7 Gemeten en berekende zoutvrachten voor vier deelgebieden.

De verhouding tussen gemeten en berekende zoutvrachten laat zien dat de berekende zoutvracht qua ordegrrootte overeenkomt met de gemeten waarden, maar dat (flinke) verschillen op kunnen treden tussen de gemeten en berekende waarde. Deze verschillen zijn op verschillende manieren te verklaren; zo zijn ze deels terug te voeren op afwijkingen in de grondwaterstroming, en deels op afwijkingen in de chloride concentratie in de ondergrond. De lage berekende zoutvrachten voor zowel Flevoland als de Noordoostpolder kunnen duiden op onderschatting van de kwel in deze gebieden, maar evengoed op onderschatting van de chloride concentraties onder de deklaag.

Gegeven de vergelijking van het berekende stijghoogtebeeld en de zoutvrachten met beschikbare metingen lijkt het model plausibele resultaten te geven. Zonder een nadere, uitgebreide vergelijking met meetgegevens is de betrouwbaarheid van het model echter niet te kwantificeren. Daarnaast moet in het oog worden gehouden dat gezien de resolutie van het model – in ruimte en tijd – het model niet kan worden gebruikt om processen te onderzoeken op lokale schaal, of processen met kortdurende effecten.

Gegeven deze kanttekeningen is er voor gekozen veranderingen alleen relatief te rapporteren, op het niveau van grote waterbeheerseenheden. Er is hierbij gekeken naar het achterland van de op het IJsselmeer / Markermeer afwaterende gemalen / watergangen. Deze schaal (te weten invloedssfeer) sluit tevens goed aan bij de KWR studie naar de invloed van verzilting op de drinkwatervoorziening. De volgende deelgebieden worden onderscheiden:



Figuur 31 Deelgebieden waarvoor zoutvrachten zijn berekend.

5.3 Scenarioberekeningen

Met het regionale dichtheidsafhankelijke grondwaterstromings- en zouttransportmodel (Kwadijk *et al.*, 2007; Stuurman *et al.*, 2008) zijn verschillende scenario's doorgerekend. In de eerste twee scenario's zijn de KNMI klimaatscenario's G en W+ aan het model opgelegd. Deze twee klimaatscenario's zijn gekozen, omdat ze de uitersten in de klimaatprognose vertegenwoordigen. In drie verdere scenario's zijn in het gebied beoogde maatregelen onderzocht. Deze maatregelen zijn afkomstig uit de Toekomstvisie Markermeer – IJmeer (TMIJ, Stichting Wetlands IJsselmeer, 2009).

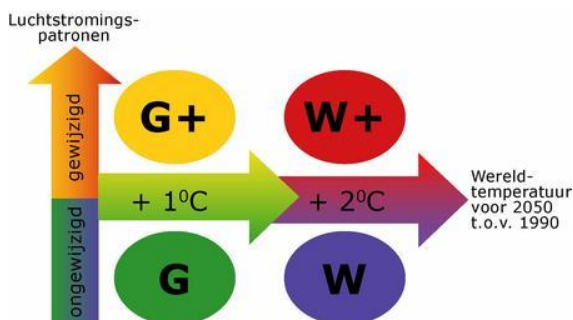
Onderstaande tabel geeft een overzicht van de scenarioberekeningen met het regionale grondwaterstromings- en zouttransportmodel.

	Klimaat	Zeespiegel	Peil IJsselmeer / Overig Markermeer	
1. Autonoom W+	W+ 2050	+0.30m	huidig peil	-
2. Autonoom G	G 2050	+0.20m	huidig peil	-
3. Peilstijging IJsselmeer	W+ 2050	+0.30m	IJM: +0.30, MM huidig	-
4. Slibput	W+ 2050	+0.30m	huidig peil	Slibput in midden Markermeer
5. Vernatting NH en Flevoland	W+ 2050	+0.30m	huidig peil	Regionale peilen natuurgebieden NH en FL gelijk aan maaiveld

Tabel 8: Vastgestelde scenario's voor de zoet-zout berekeningen.

Klimaat

Twee verschillende KNMI '06 scenario's zijn doorgerekend, G en W+. In deze scenario's hebben wereldwijde temperatuurverandering en verandering in luchtstromingspatronen effect op neerslag- en verdampingshoeveelheden (KNMI, 2006). Het G-scenario is het scenario waarin de minste klimaatverandering optreedt, het scenario kent een temperatuurstijging van 1° en geen verandering in luchtcirculatiepatronen. De nattere winters in het G scenario geven een netto hogere grondwateraanvulling dan in de huidige situatie. Het W+ scenario kent een temperatuurstijging van 2° en wel een verandering in luchtcirculatiepatronen. In het W+ scenario neemt de grondwateraanvulling juist sterk af. Dit wordt met name veroorzaakt door een sterke toename van de verdamping in de zomer, gecombineerd met een afname van de neerslag in de zomer.



Figuur 32 De vier KNMI klimaatscenario's (KNMI, 2006).

Zeespiegelstijging

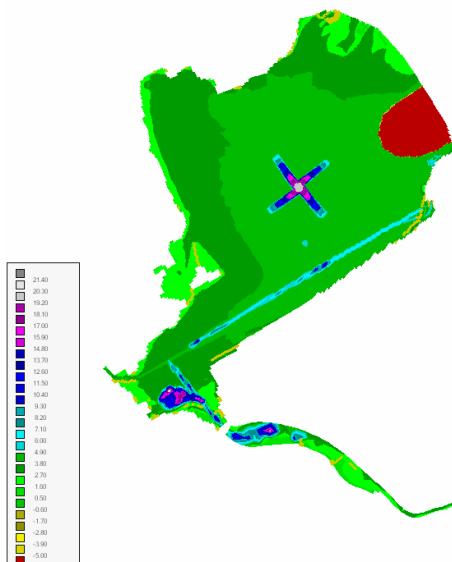
Bij het W+ klimaatscenario is een zeespiegelstijging aangenomen van 30 cm in 2050, voor G is dit 20 cm. Dit zijn (afgeronde) gemiddelde waarden behorend bij de betreffende scenario's (KNMI, 2006). In de scenarioberekeningen wordt het zeepeil lineair verhoogd, startend met het huidige zeepeil in 1990, totdat de maximale peilstijging is bereikt in 2050.

Peilstijging IJsselmeer

Voor scenario 3 zal het IJsselmeer volgens een lineair verloop stijgen met 30 cm, en dit peil loopt stroomopwaarts (in de IJssel) horizontaal door. Het verschil tussen zomer- en winterpeil blijft gehandhaafd. Het zomerpeil komt daarmee op +0,1m NAP, het winterpeil op -0,1m NAP. Dit is het peil in 2050.

Slibput

In scenario 4 is alleen de slibput meegenomen. KWR (2009) gaat voor hetzelfde scenario tevens uit van een te graven vaargeul langs de kust van Flevoland. Het effect van deze vaargeul wordt in deze berekeningen verwaarloosd met de aanname dat de insnijding van de vaargeul in de deklaag geen significante verlaging geeft van de weerstand onder het Markermeer. De locatie van de slibput is gekozen volgens Boderie en Vijverberg (2008), zie Figuur 33. In het model wordt de slibput gegraven in 2020, met de aanname dat de weerstand ter plekke van de put reduceert tot 300 dagen en de bodemdiepte -15 m NAP bedraagt. Deze weerstandswaarde is gebaseerd op onderzoek van RIZA in de jaren '80, waarbij de weerstand van een dergelijke ontgroning snel toenam door aanslibbing en uiteindelijk stabiel bleef (mondelinge mededeling F. Claessen). Harde waarden waren binnen deze studie niet te achterhalen, naar verwachting is de gebruikte waarde een ondergrens voor de weerstandswaarde, en het effect daarmee een worst-case verwachting.



Figuur 33: Diepteligging slibput ("kruis") en vaargeul (Boderie en Vijverberg, 2008). In meters onder NAP.

Vernatting Noord-Holland en Flevoland

In specifieke gebieden in Noord-Holland en Flevoland wordt natte natuur gecreëerd. Het gaat om de rechthoekige gebieden in Figuur 34. Stichting Wetlands IJsselmeer (2009) verwoordt de ingrepen als volgt:

- Om de Oostvaardersplassen te verbinden met het Horsterwold en de Veluwe wordt het Oostvaarderswold aangelegd (grote groen-blauwe rechthoek). Dit project is reeds in uitvoering en zorgt ook voor een natte zone in Flevoland.
- Op de landzijde in Noord-Holland is vernatting gewenst om zo moerasvogels meer leefgebied te bieden. Bij Edam, Volendam en Purmerend zijn dergelijke moerasachtige zones gepland (kleine groen-blauwe rechthoeken).



Figuur 34: Ingrepen in het Markermeer volgens Toekomstvisie Markermeer-IJmeer (Stichting Wetlands IJsselmeer, 2009). Rechthoekige gebieden: voorgestelde vernatting.

Het regionale oppervlaktewaterpeil wordt in het model in deze gebieden opgezet tot maaiveld.

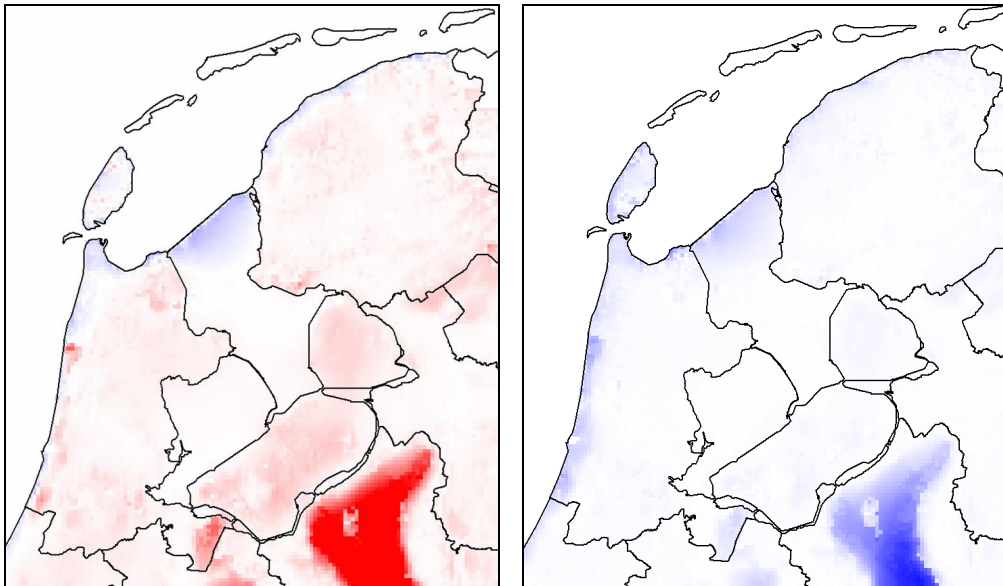
5.4 Resultaten berekeningen

De beschreven scenario's zijn met het regionale grondwater- en zouttransportmodel doorgerekend voor de periode 1990 tot 2050. Resultaten van de berekeningen op stijghoogte en zoutvrucht zijn weergegeven in Bijlage 7E. In deze paragraaf wordt eerst gekeken naar de veranderingen in de grondwatersituatie, aan de hand van berekende stijghoogteverschillen. Vervolgens wordt gekeken naar implicaties voor de zoutvrucht.

5.4.1 Resultaten grondwatersituatie

In scenario 1 is gekeken naar het klimaatscenario W+, met een zeespiegelstijging van 30 cm. In dit scenario wordt uitgegaan van het huidige waterbeheer. Dit betekent met name dat peilen van het IJsselmeer en Markermeer, en in de regionale wateren gelijk zijn aan de huidige gehanteerde peilen. Uit de rekenresultaten blijkt dat de stijghoogteverdeling naar verwachting verandert: door de zeespiegelstijging neemt de stijghoogte op korte afstand van de zee toe, een effect dat landinwaarts snel wegebt (zie ook Oude Essink, 2007). Verder landinwaarts neemt de stijghoogte in het watervoerend pakket af, door de lagere grondwateraanvulling. In Figuur 35, links, is dit duidelijk te zien. In deze figuur komt ook een groot verlagend effect op de stijghoogte in de Veluwe naar voren. Dit effect is discutabel: andere studies naar het effect van klimaatverandering wijzen juist op een mogelijke verhoging van de stijghoogte onder de Veluwe (Stuurman *et al.*, 2008). Dit verschil wordt veroorzaakt door de tijdstap van een jaar in

de hier toegepaste modellering. Stuurman *et al.* (2008) wijzen op de aanwezige seizoenseffecten in de grondwateraanvulling. Op hoge zandgronden als de Veluwe kan de vegetatie 's zomers niet optimaal verdampen, door te diepe grondwaterstanden. De in W+ toegenomen grondwateraanvulling 's winters zou in deze omstandigheden de droge zomer kunnen compenseren.



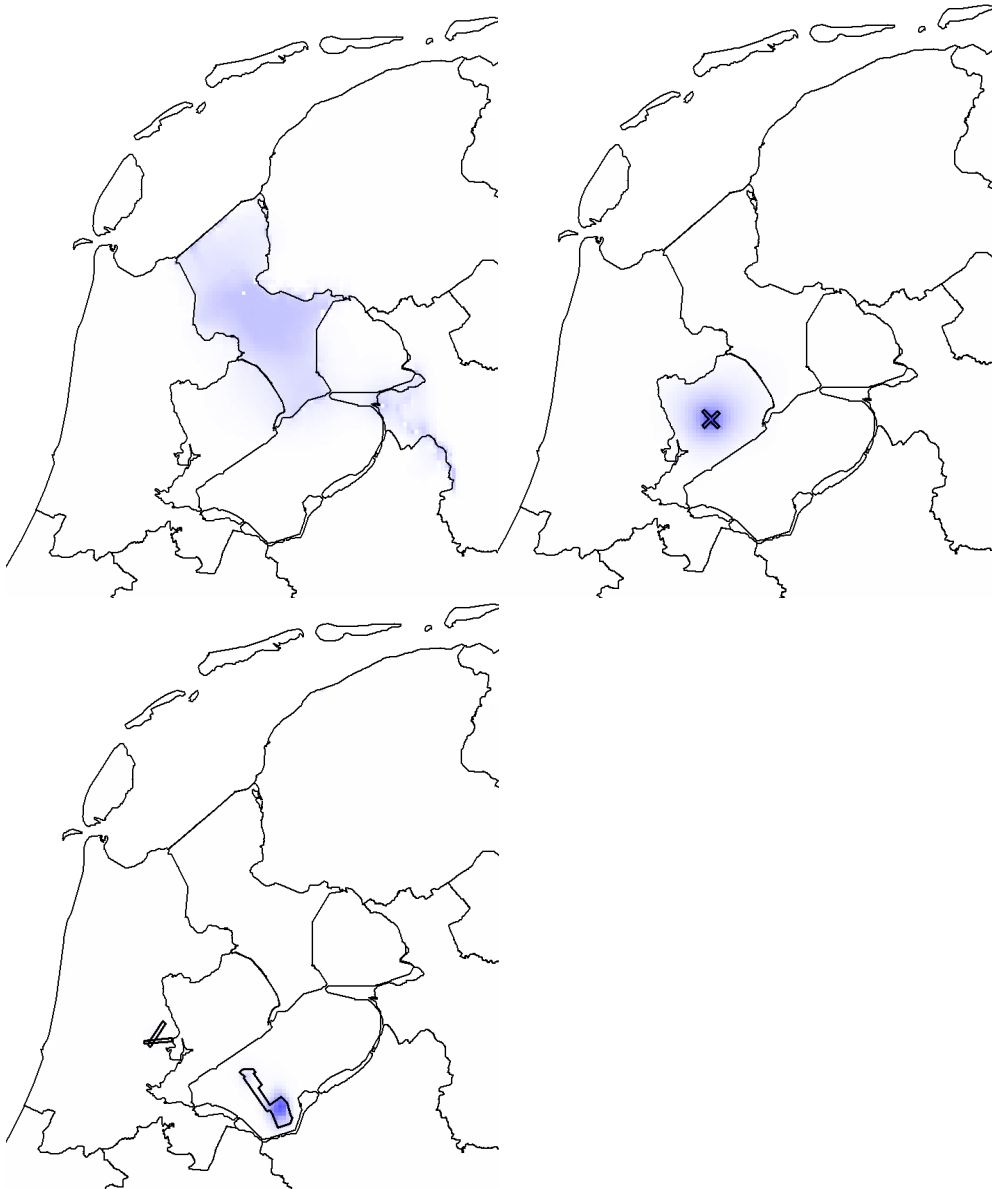
Figuur 35 Stijghoogteverschil tussen huidig en scenario 1 (links) en huidig en scenario 2 (rechts). Rood is lagere stijghoogte, blauw hoger.

In scenario 2 is gekeken naar het klimaatscenario G, met een zeespiegelstijging van 20 cm en het huidige waterbeheer. Figuur 35, rechts, geeft het verschil in stijghoogte tussen dit scenario en de huidige situatie. In deze figuur is duidelijk te zien dat het G scenario een toename van de grondwateraanvulling betekent. Deze toename heeft overigens slechts een kleine verhoging van de stijghoogte tot gevolg, met uitzondering van de hoge zandgronden. De verhoging wordt elders grotendeels afgevangen door het aanwezige oppervlaktewater. De zeespiegel stijgt in dit scenario 10 cm minder dan in scenario 1. De verhoging van de stijghoogte als gevolg van de zeespiegelstijging is dan ook iets minder prominent. In dit scenario neemt de kwel door de deklaag over het algemeen af. Grondwaterstanden nemen freatisch namelijk sterker toe dan in het watervoerende pakket.

Voor de scenario's 3, 4 en 5 worden in Figuur 36 de stijghoogteverschillen met scenario 1 getoond, om het effect van de toegepaste maatregelen te isoleren. In scenario 3 is het peil in het IJsselmeer conform het advies van de Commissie Veerman in 2050 met 30 cm opgezet. Dit is merkbaar als een stijging van de stijghoogte onder het IJsselmeer ten opzichte van scenario 1 variërend van zo'n 5 tot 20 cm. Deze stijging loopt via de IJssel erg ver door landinwaarts. Dit wordt veroorzaakt door het geschematiseerde peil op de IJssel en is in werkelijkheid niet te verwachten.

Scenario 4 onderzoekt de effecten van een slibvangput in het Markermeer. Uit de stijghoogteverschillen blijkt dat het effect op de stijghoogte niet zover doorwerkt dat het effect merkbaar is in Noord Holland danwel Flevoland. Dit komt ten dele doordat de slibvangput precies in het midden van het Markermeer is gelegen. Wanneer de put dicht bij land was aangelegd, was het effect wel merkbaar geweest. Effecten leiden hierbij tot een toename van de kwel en daarmee de zoutvracht naar het oppervlaktewater. Verder is er naast het effect op

de stijghoogte een duidelijk effect op de stroming van zoet en zout grondwater. Er vindt een flinke stroming van zoet water vanuit het Markermeer naar het grondwater plaats, waardoor de chloride concentratie verdeling onder het Markermeer verandert. In de berekening leidt dit niet tot merkbare veranderingen onder bijvoorbeeld Flevoland. Niet bekend is hoe dit het geval zou zijn bij een andere locatie van de slibvangput.



Figuur 36 Stijghoogteverschillen tussen scenario's 3 (linksboven), 4 (rechtsboven) en 5 (onder) met scenario 1. Rood is lagere stijghoogte, blauw hoger.

In scenario 5 zijn enkele natuurgebieden in Flevoland en Noord-Holland 'vernat'. In de modelschematisatie betekent dit dat het oppervlaktewaterpeil ter plaatse van deze gebieden is opgezet tot aan maaiveld. Zoals in Figuur 36, onder, is te zien betekent dit ook een plaatselijke toename van de stijghoogte. Kwel zal hier lokaal afnemen, omdat de freatische grondwaterstand sterker stijgt dan de stijghoogte in het watervoerende pakket.

5.4.2 Veranderingen zoutvracht

In samenwerking met KWR wordt specifiek gekeken naar de verandering in de op het IJsselmeer en Markermeer uitgeslagen zoutvracht voor de verschillende scenario's. Hierbij is de aanname gedaan dat de veranderingen op de zoutvracht in het deelgebied representatief zijn voor de door het gemaal uitgeslagen zoutvracht.

De verschillen in zoutvracht zijn per deelgebied weergegeven in Tabel 9 en Tabel 10. Deelgebieden 1 en 2 zijn vanwege hun beperkte omvang en relevantie voor de zoutconcentratie in het IJsselmeer / Markermeer buiten beschouwing gelaten.

	Amstelland – O van ARK	Amstelland – W van ARK	Wetterskip Fryslân	Noordoostpolder	Flevoland	Wieringermeer	Waterland	Schermerboezem	Medemblik	Amstermeerboezem	VRNK boezem	Polder Drieban	Amstelmeerboezem
1. Autonoom W+	10	24	13	3	-4	22	2	24	-3	80	5	-9	1
2. Autonoom G	13	25	12	0	-2	20	2	19	-2	64	8	3	0
3. Peilstijging IJM	9	24	13	11	0	26	2	24	3	81	5	1	-1
4. Slibput	10	24	13	2	-3	22	2	24	-2	80	5	6	1
5. Vernetting NH/FI.	7	24	13	2	-4	21	2	24	-3	80	5	-9	1

Tabel 9: Berekende verschillen in zoutvrachten t.o.v. 2010 (%) voor de deelgebieden. Zie Figuur 31 voor de locatie en benaming van de deelgebieden.

De veranderingen in zoutvracht die uit deze Tabel 9 naar voren komen duiden erop dat de zoutvracht de komende halve eeuw over het algemeen significant toeneemt. Die toename is een orde groter dan de verschillen tussen de verschillende scenario's. Dit duidt erop, dat de zoutconcentraties in het grondwatersysteem nog niet in een stationaire evenwichtstoestand zijn. Dit is in west Nederland een algemeen verschijnsel en leidt tot een proces dat wordt aangeduid als autonome verzilting (Oude Essink *et al.*, 2010).

Over het algemeen neemt het zoutgehalte met de diepte toe. Sinds de inpoldering stroomt het grondwater (sneller) naar de laaggelegen polders. Door de bodemdaling is het polderpeil steeds lager komen te liggen waardoor dit proces is versneld. Door deze opwaarts gerichte grondwaterstroming komt het diepere grondwater steeds ondieper te liggen waardoor het ondiepe grondwater dus steeds zouter wordt. Deze ontwikkelingen in het (verre) verleden hebben dus nog steeds invloed op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Voorlopig levert het grote na-ijleffect van de verschillende inpolderingen en de voortgaande bodemdaling de grootste bijdrage aan een versnelde verzilting van het grondwatersysteem (Oude Essink, 1996).

Het scenario autonoom G leidt vergeleken met het W+ scenario tot een kleinere toename in de zoutvracht. Dit komt doordat in dit klimaatscenario door de toegenomen grondwateraanvulling de kweldruk afneemt. Dit komt doordat de freatische grondwaterstanden sterker omhoog komen dan de stijghoogten in het watervoerende pakket.

De verschillen tussen de deelgebieden zijn merendeels te verklaren door hun specifieke hydrologische situatie. Zo kennen een aantal deelgebieden veel diepe polders, waar het proces van autonome verzilting belangrijk is. Denk hierbij bijvoorbeeld aan deelgebieden Amstelboezem – west (Groot-Mijdrecht), Schermerboezem (Schermer, Purmer etc). In Tabel 9 valt op dat enkele deelgebieden een tegengestelde ontwikkeling laten zien: zoutvrachten nemen in Flevoland, Medemblik en Polder Drieban af. Voor Flevoland lijkt dit te corresponderen met conclusies uit Oude Essink *et al.* (2008), waarin aan de hand van gemeten tijdreeksen van chlorideconcentraties een over het algemeen verzoetende trend wordt waargenomen. Het zoet-zoute grondwatersysteem onder Flevoland verdient echter nader onderzoek, omdat het in veel opzichten een speciaal systeem is. Het is een extreem jong systeem, met een grote stijghoogtegradient. Voor inpoldering was het systeem zout, dat verschuift nu deels naar zouter (kwelgebieden aan de Markermeer / IJsselmeer kant), en deels naar zoeter (infiltratiegebieden en kwelgebieden aan de Veluwe-kant). En tenslotte snijden de grote vaarten zich direct in het watervoerende pakket en vangen zo alle kwel af (Haskoning, 2003). De huidige studie beperkt zich tot veranderingen en zoutvrachten naar het Markermeer en IJsselmeer, er is niet gekeken naar de verschuiving van de chloride concentratie verdeling onder Flevoland.

In Tabel 10 zijn – om de effecten van de maatregelen te isoleren – voor de laatste 3 scenario's de procentuele verschillen in zoutvracht gegeven t.o.v. autonoom W+ in het jaar 2050.

	Amstelland – O van ARK	Amstelland – W van ARK	Wetterskip Fryslân	Noordoostpolder	Flevoland	Wieringermeer	Waterland	Schermerboezem	Medemblik	Amstermeerboezem	VRNK boezem	Polder Drieban	Amstelmeerboezem
ID deelgebied	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3. Peilstijging IJM	0	0	0	8	4	3	0	0	6	1	0	11	-1
4. Slibput	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	17	0
5. Vernatting NH/Fl.	-2	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 10: Berekende verschillen in zoutvrachten t.o.v. autonoom W+ 2050 (%) voor de deelgebieden

Uit deze tabel wordt duidelijk dat met name een peilstijging op het IJsselmeer effect heeft op de zoutvracht. De verschillende aan het IJsselmeer grenzende deelgebieden laten een toename van de zoutvracht zien. De slibput heeft met name effecten in het dichtst bij gelegen deelgebied polder Drieban. Het effect is groter dan aan de hand van de verschillen in stijghoogte werd verwacht. Daarnaast zijn in deelgebieden Medemblik en Flevoland verwaarloosbare effecten merkbaar. Vernatting van Noord-Holland en Flevoland heeft nauwelijks effect op de regionale verzilting. De kleine effecten in gebieden 3 en 8 zijn niet verklaarbaar en lijken ruis in de modelresultaten.

5.5 Discussie en conclusies

Binnen deze studie is een grondwater- en zouttransportmodel gemaakt van Nederland, met het IJsselmeergebied als interessegebied. Het model rekent met cellen van 1 km bij 1 km. Het model niet uitgebreid gevalideerd; op basis van beschikbare stijghoogtebeelden en zoutvrachten bij gemalen wordt het model wel betrouwbaar genoeg geacht om op een

geaggregeerd niveau uitspraken te doen over veranderingen in de jaargemiddelde zoutvracht vanuit het grondwater – via het regionale oppervlaktewater – naar het IJsselmeergebied. Gedetailleerdere uitspraken op basis van het huidige grove model zijn niet mogelijk.

Uit berekeningsresultaten blijken autonome ontwikkelingen de grootste invloed op toekomstige veranderingen in de jaargemiddelde zoutvracht te hebben. Het zoet-zout grondwatersysteem is nog lang niet in evenwicht. Dit zogenaamde autonome effect is groter dan effecten van klimaatverandering of de verschillende doorgerekende maatregelen. Als naar de twee doorgerekende klimaatscenario's (G en W+) wordt gekeken, leidt het G scenario tot een kleinere toename in de zoutvracht dan het W+ scenario. Dit komt doordat de kwel door hogere freatische grondwaterstanden lager is.

Van de berekende maatregelen heeft een peilstijging op het IJsselmeer het grootste effect op zoutvrachten. Gebieden rond het IJsselmeer zien hun zoutvracht ten opzichte van het referentiescenario met zo'n 10 procent toenemen. De geschematiseerde slibput laat alleen lokale effecten zien, effecten van vernattingsprojecten in Flevoland en Noord-Holland op de zoutvracht zijn verwaarloosbaar.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Voor het begrijpen van de oppervlaktewaterpeil-grondwater relatie en het bepalen van de uitstraling van peilverandering of deklaagvergraving van het Markermeer op zijn omgeving is een beter inzicht nodig over de opbouw van de ondiepe ondergrond en de variaties in de doorlatendheid (viz. hydraulische weerstand) van de deklaag. De onder de Holocene (veenklei) deklaag gelegen goed doorlatende zanden van de Formatie van Kreftenheye spelen een belangrijke rol bij dit proces.

Uit het stijghoogten onderzoek waarbij gebruik is gemaakt van alle meetpunten rond het Markermeer blijkt dat bijna overal wegzijging (infiltratie) plaatsvindt. Alleen op de plaats waar het Markermeer grenst aan de Utrechtse Heuvelrug (Naarden-Muiderberg) zal langs de oevers (dijkse) kwel optreden. Deze hoeveelheid zal een marginale invloed hebben op de waterbalans van het Markermeer. Het is onbekend hoe deze afzettingen van de Utrechtse Heuvelrug zich onder het Markermeer voortzetten en of deze voor kortsluiting wegzijgingsstroming naar bijvoorbeeld de Flevopolder kan leiden.

De stijghoogteverschillen tussen het Markermeerpeil en het grondwater onder de Holocene deklaag kan variëren tussen ca. 100-500 cm. Aan de westkust van het Markermeer is dit verschil ca. 200-300 cm, langs de dijk met de Flevopolder 250-500 cm en op de Houtribdijk is een gradiënt zichtbaar van ca. 350 cm bij Lelystad tot 150 cm bij Enkhuizen. Rond Naarden ligt een zone met een gering stijghoogteverschil. Mogelijk houdt dit verband met de aanwezigheid van diepe zandputten in deze omgeving en/of de eerder genoemde Utrechtse heuvelrug afzettingen. Waar de gradiënt het grootst is zal het effect van afgraving van de deklaag op het grondwatersysteem het grootst zijn.

Het tijd-stijghoogteverloop van de grondwatermeetpunten tonen vaak grillige patronen. Deze moeten terug te voeren zijn op activiteiten/ingrepen. Een nadere inventarisatie naar de oorzaken is belangrijk. Hieruit kan vermoedelijk veel kennis worden verkregen over hydrogeologische processen, welke kunnen worden gebruikt om effecten van toekomstige ingrepen te voorspellen.

Er bevinden zich veel grondwatermeetpunten langs het Markermeer waarvan historische grondwateranalyses beschikbaar zijn. Een herbemonstering zal het inzicht over grondwaterstroming en verzoeting/verziltiging sterk kunnen verbeteren.

Uit de herhalingsboorgatmeting en de herhalingswaterbemonstering blijkt dat het ondiepe grondwater op die plaatsen, via de grove zanden van de Formatie van Kreftenheye (watervoerend pakket direct onder de deklaag) verzoet.

Met o.a. eenvoudige 2D conceptuele modellen zijn ingrepen in het grondwatersysteem van het IJsselmeergebied onderzocht. Een met 'zout zand' aan te leggen eiland lijkt pas na een kleine tien jaar volledig zoet gespoeld. De snelheid waarmee dit proces verloopt is met name afhankelijk van de weerstand van de deklaag, en de verhouding tussen de oppervlakte van het eiland en de lengte van de randen. Belangrijker voor de grootte van de flux naar het oppervlaktewater is de startconcentratie in het opgespoten eiland. Onder invloed van een

peilstijging op het IJsselmeer ontstaat een stromingsbeeld dat vergelijkbaar is met dijkse kwel. Aan de IJsselmeerkant treedt infiltratie op, met de sterkste flux nabij de Houtribdijk.

Een slibput die de deklaag doorsnijdt lijkt een niet verwaarloosbaar effect op de stijghoogteverdeling in het watervoerende pakket te hebben, met mogelijk regionale consequenties. Dit laatste is sterk afhankelijk van de tijd die nodig is voor het verticale 'open deel' van de slibput om vol te lopen met sediment. Dit bepaalt in sterke mate de flux vanuit de slibput naar het Markermeer.

Binnen deze studie is een grondwater- en zouttransportmodel gemaakt van Nederland, met het IJsselmeergebied als interessegebied. Op basis van beschikbare stijghoogtebeelden en zoutvrachten bij gemalen lijkt het model betrouwbaar genoeg om op een geaggregeerd niveau uitspraken te doen over veranderingen in de jaargemiddelde zoutvracht vanuit het grondwater naar het IJsselmeergebied.

Uit berekeningsresultaten blijken autonome ontwikkelingen de grootste invloed op toekomstige veranderingen in de jaargemiddelde zoutvracht te hebben. Dit effect is groter dan effecten van klimaatverandering of de verschillende doorgerekende maatregelen. Klimaatscenario G leidt tot een kleinere toename in de zoutvracht dan het W+ scenario. Dit komt doordat de kwel door hogere freatische grondwaterstanden lager is.

Van de berekende maatregelen heeft een peilstijging op het IJsselmeer het grootste effect op zoutvrachten. Gebieden rond het IJsselmeer zien hun zoutvracht ten opzichte van het referentiescenario met zo'n 10 procent toenemen. De geschematiseerde slibput laat vrij lokale effecten zien, effecten van vernattingsprojecten in Flevoland en Noord-Holland op de zoutvracht zijn verwaarloosbaar.

6.2 Aanbevelingen

Deze studie heeft verschillen geconstateerd in waarden voor de weerstand onder het Markermeer. Tegelijkertijd toont deze studie aan dat de waarde voor deze weerstand sterk bepalend is voor de effecten van in het gebied voorgenomen maatregelen. Wij bevelen dan ook sterk aan de weerstand onder het Markermeer verder te onderzoeken, niet alleen hydrogeologisch, maar juist ook te kijken naar stijghoogtepatronen onder het Markermeer.

De herhalingsboorgatmeting (na 40 jaar) heeft interessante resultaten opgeleverd. Aanbevolen wordt om dit ook in andere relevante waarnemingsputten uit te voeren. Hiervoor moet echter een EM-sonde met smalle diameter worden ontwikkeld om in de smalle putten te kunnen worden gebruikt.

Het regionale grondwater- en zouttransportmodel dat in deze studie is toegepast voldoet niet wanneer op kleinere schaal wordt gekeken dan in deze studie. Gezien de op stapel staande veranderingen in het gebied, de voorgenomen maatregelen, en de kwetsbaarheid van het zoet-zoute grondwatersysteem is het van belang een beter modelinstrumentarium ter beschikking te hebben. Beslissingen rond te nemen maatregelen kunnen hiermee beduidend beter worden afgewogen op hun effecten op het zoet-zout grondwatersysteem.

Resultaten in deze studie lijken te duiden op een verzoeting onder Flevoland. Nader (model- en veld-) onderzoek is nodig om deze voorzichtige conclusie te bevestigen.

7 Referenties

Beekman, H.E. (1991). Ion Chromatography of Fresh- and Seawater Intrusion. Multicomponent dispersive and diffusive transport in groundwater. Drukkerij Fedo B.V. Enschede, Free University of Amsterdam.

Boderie, P. en T. Vijverberg (2008). Analyse scenarioberekeningen Markermeer. Deltares, concept rapportage, projectnummer Q4613.

Goes, B., J. Snepvangers, W. de Lange en N. Goorden (2008). Modelrapportage, deelrapport Ondergrond Nationaal Hydrologisch Instrumentarium

Haskoning, 2003, Rapportage meetnet grondwaterkwaliteit Provincie Flevoland 1937-2003, 45 p + 13 bijlagen.

Kloosterman, F.H. Kartering zoet/brak/zout verdeling Nederland; Beschrijving van de ZZ-REGIS software suite. TNO-rapport, Concept.

Kwadijk, J., Vuren, van, S. Verhoeven, G., Oude Essink, G., Snepvangers, J. & Calle, E. (2007). Gevolgen van grote zeespiegelstijging op de Nederlandse zoetwaterhuishouding, i.o.v. Milieu en Natuurplan Bureau, Deltares-rapport, Q4394, 73 p.

KWR (2009). Drinkwaterfunctie Markermeer en verzilting IJsselmeergebied. KWR rapport BTO 2009.041(s), Nieuwegein

Oude Essink, G.H.P., Houtman, H. & B.J.M. Goes. (2005) Chloride-concentratie onderkant deklaag in Nederland, NITG 05-056-A, 17 p., Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.

Oude Essink, G.H.P. (2007). Effect zeespiegelstijging op het grondwatersysteem in het kustgebied, H2O, nr 19, 60-64.

Oude Essink, G.H.P. De Louw, P.G.B., M. van Vliet, E.S. van Baaren, B. Goes, C. Prevo, F. Sergi, V. Marconi, P. Vos, V. Post (2008). Zoet-zout studie Flevoland. Deltares rapport 2008-U-R0546/A, Utrecht

Oude Essink, G.H.P., De Louw, P.G.B., de, Baaren, E.S., van, Vliet, M. van, et al. (2008). Zoet-zout studie Provincie Flevoland, Deltares-rapport 2008-U-R0546/A, 160 p.

Oude Essink, G. en Baaren, E.S., van (2009). Verzilting van het Nederlandse grondwatersysteem. Deltares rapport, Model versie 1.3, 2009-U-R91001.

Oude Essink, G.H.P., Baaren, E.S., van, De Louw, P.G.B. (2010). Effects of climate change on coastal groundwater systems: a modelling study in the Netherlands, Water Resource. Res. (accepted 2010).

Pebesma, E. (2009). Threedimensional interpolation of subsurface chloride concentrations in the Netherlands, 12 p.

RGD (1991). Geohydrologische atlas IJsselmeergebied, Rijks Geologische Dienst.

Stuurman, R., Baggelaar, P., Berendrecht, W., Buma, J., Louw, P., de, Oude Essink, G.H.P. (2008). Toekomst van de Nederlandse grondwatervoorraad in relatie tot klimaatverandering, TNO rapport, i.o.v. VROM, 2008-U-R0074/B, 85 p.

A Geselecteerde stijghoogtereeksen

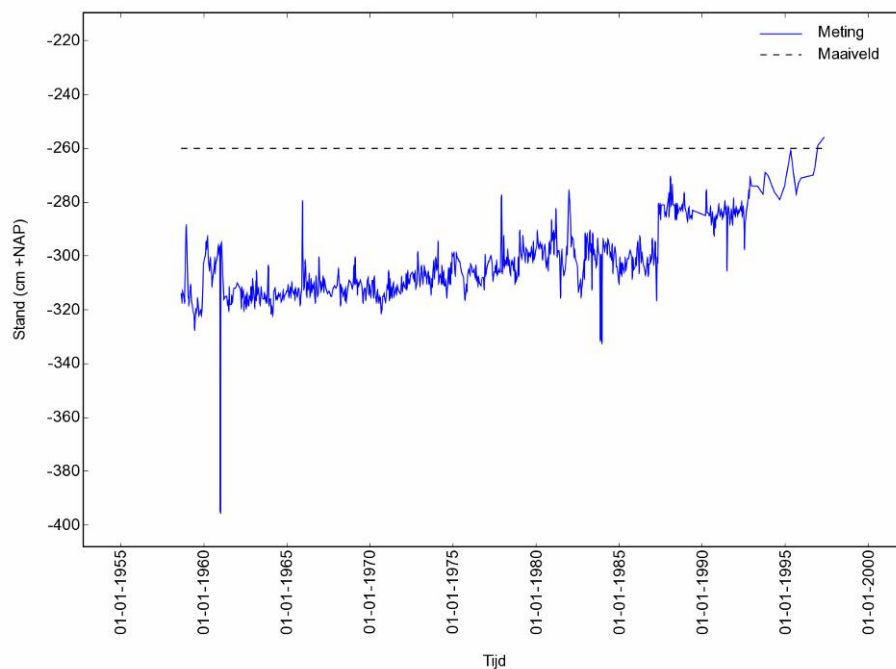
A.1 Statistieken

NITG-nummer	Filter	X	Y	Bovenkant filter (cm +NAP)	Onderkant filter (cm +NAP)	Startdatum	Einddatum	Stand (cm +NAP)			
								Gemiddeld	Minimum	50-percentiel	Maximum
B19E0030	2	129400	514900	-1980	-2080	21-08-1958	28-04-1997	-303	-395	-305	-256
B19E0035	2	129600	512900	-2000	-2100	11-07-1958	23-12-2008	-298	-339	-299	-252
B19F0061	1	139175	515250	-2090	-2190	05-01-1971	23-12-2008	-234	-248	-233	-211
B19H0064	1	132850	504900	-2050	-2150	02-05-1957	16-12-2008	-271	-296	-272	-244
B19H0064	2	132850	504900	-3250	-3350	02-05-1957	16-12-2008	-272	-297	-273	-247
B19H0068	2	131625	508125	-2530	-2630	06-11-1957	21-12-2005	-280	-301	-281	-251
B19H0074	2	134200	502550	-1869	-1969	14-07-1958	28-07-2008	-257	-295	-259	-210
B19H0118	1	130120	510170	-2518	-2618	17-07-1978	14-11-2008	-311	-339	-311	-289
B19H0153	2	132750	500500	-2043	-2143	16-02-1983	16-12-2008	-265	-288	-270	-187
B19H0196	2	131250	506780	-3146	-3246	28-08-1984	16-12-2008	-293	-311	-296	-256
B20A0041	1	145200	521250	-2460	-2560	16-07-1957	02-03-2009	-214	-244	-214	-181
B20A0076	1	147250	523430	-2230	-2330	27-05-1970	23-12-2008	-197	-285	-194	-164
B20A0082	1	147630	522040	-2195	-2295	18-06-1970	23-12-2008	-200	-304	-197	-168
B20B0026	1	152700	521150	-2080	-2180	18-06-1970	12-12-2008	-194	-220	-194	-153
B20B0028	1	155750	518050	-1850	-1950	02-04-1973	15-12-1992	-251	-275	-251	-215
B20B0039	2	156950	516600	-1880	-1980	10-12-1976	12-10-2007	-278	-332	-277	-249
B20B0039	3	156950	516600	-4969	-5069	10-12-1976	12-10-2007	-286	-335	-285	-256
B20B0040	1	157925	514590	-1489	-1589	10-12-1976	15-12-1992	-315	-336	-316	-283
B20B0040	2	157925	514590	-3017	-3117	10-12-1976	15-12-1992	-316	-340	-315	-283
B20B0040	3	157925	514590	-4738	-4838	10-12-1976	15-12-1992	-321	-345	-321	-288
B20D0041	2	158310	504120	-2260	-2360	13-02-1958	15-12-1992	-428	-541	-446	-243
B20D0041	3	158310	504120	-3440	-3540	13-02-1958	15-12-1992	-428	-539	-447	-245
B20D0048	2	158295	504500	-1850	-1950	01-03-1958	27-02-1981	-402	-542	-413	-222
B20D0049	2	158430	504610	-1904	-2004	18-12-1959	12-08-1976	-392	-526	-406	-267
B20D0052	3	157150	501600	-2186	-2286	03-01-1961	28-12-1992	-479	-531	-492	-376
B20D0053	2	157150	501800	-1251	-1351	06-01-1961	27-02-1981	-466	-526	-483	-383
B20D0053	3	157150	501800	-1857	-1957	06-01-1961	27-02-1981	-467	-527	-482	-386
B20D0224	2	157150	501600	-1042	-1142	14-02-1961	22-06-1981	-432	-493	-449	-326
B20D0225	3	157150	501600	-2209	-2309	06-01-1961	27-02-1981	-464	-528	-481	-373
B20D0226	2	157300	501750	-1880	-1980	26-08-1957	27-02-1981	-442	-525	-468	-253
B20G0030	2	160300	509700	-1420	-1520	27-05-1969	12-12-2008	-377	-421	-379	-319
B20G0030	3	160300	509700	-2665	-2765	27-05-1969	12-12-2008	-377	-418	-379	-318
B20G0030	4	160300	509700	-4410	-4510	27-05-1969	12-12-2008	-377	-424	-377	-316
B25F0055	1	133466	494497	-2075	-2175	01-10-1957	15-12-2008	-218	-302	-221	-171
B25F0057	1	133200	497915	-2840	-2940	22-10-1957	28-11-2008	-252	-354	-254	-50
B25F0058	1	130300	489000	-3120	-3220	01-10-1957	16-12-2008	-204	-252	-203	-163
B25F0060	1	130750	491100	-1461	-1561	14-07-1958	14-10-1994	-232	-259	-232	-205
B25F0066	2	135950	496650	-2111	-2211	26-05-1959	16-12-2008	-232	-262	-239	-173
B25F0066	3	135950	496650	-4244	-4344	26-05-1959	16-12-2008	-233	-264	-240	-174
B25F0071	1	138010	496990	-2749	-2849	22-02-1967	15-12-2008	-239	-263	-242	-140
B25F0071	2	138010	496990	-3862	-3962	22-02-1967	15-12-2008	-243	-266	-246	-142
B25F0071	3	138010	496990	-4886	-4986	22-02-1967	15-12-2008	-240	-265	-243	-144
B25F0072	1	139250	489250	-2135	-2235	13-03-1967	27-08-2002	-293	-360	-308	-100
B25F0072	2	139250	489250	-3660	-3760	13-03-1967	27-08-2002	-298	-365	-314	-101
B25F0072	3	139250	489250	-4650	-4750	13-03-1967	27-08-2002	-309	-379	-327	-114
B25F0078	2	134645	493975	-2580	-2680	28-06-1968	16-12-2008	-217	-241	-218	-117
B25F0079	2	135200	495720	-1835	-1935	28-06-1968	28-03-1984	-245	-267	-245	-216
B25F0080	3	136770	496425	-2375	-2475	29-01-1969	15-08-1980	-244	-261	-245	-212
B25F0080	4	136770	496425	-2485	-2585	11-07-1968	28-04-2005	-242	-272	-243	-211
B25F0080	5	136770	496425	-4975	-5075	11-07-1968	28-04-2005	-242	-261	-243	-211
B25F0103	1	137350	488350	-8100	-8300	15-02-1971	13-12-2008	-239	-284	-239	-195
B25F0103	2	137350	488350	-9600	-9800	15-02-1971	13-12-2008	-240	-293	-239	-197
B25F0104	2	136750	496750	-2390	-2490	26-02-1969	15-08-1980	-244	-263	-245	-217

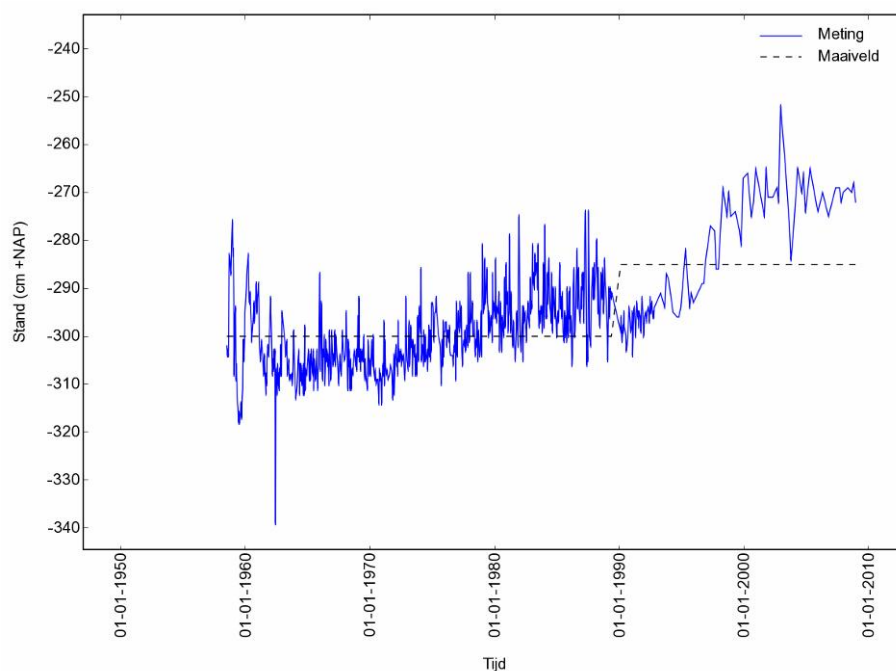
B25F0110	1	138740	488100	-3194	-3294	16-03-1976	28-03-1990	-343	-379	-343	-318
B25F0110	2	138740	488100	-3957	-4057	16-03-1976	28-03-1990	-347	-383	-348	-323
B25F0110	3	138740	488100	-5112	-5212	16-03-1976	28-03-1990	-355	-394	-356	-326
B25G0195	1	129650	483900	-1140	-1240	07-08-1957	14-01-2003	-170	-257	-169	-137
B25G0303	1	129600	487180	-2195	-2295	02-01-1970	14-08-2003	-192	-224	-192	-156
B25G0981	2	125799	486967	-1794	-1894	14-01-1974	16-12-2002	-155	-200	-158	-103
B25G0982	3	129206	487280	-2198	-2298	11-01-1979	16-12-2002	-188	-210	-189	-162
B25H0087	1	134750	483340	-1885	-1985	07-08-1957	28-11-2008	-147	-174	-149	-46
B25H0087	2	134750	483340	-5885	-5985	07-08-1957	28-11-2008	-151	-183	-153	-62
B25H0099	1	133900	482600	-1170	-1270	23-02-1959	29-10-2008	-164	-184	-164	-122
B25H0099	2	133900	482600	-2970	-3070	23-02-1959	29-10-2008	-163	-184	-164	-120
B25H0099	3	133900	482600	-4770	-4870	23-02-1959	29-10-2008	-167	-190	-168	-130
B25H0122	1	137550	481575	-775	-875	08-09-1960	05-01-1984	-56	-98	-56	-8
B25H0122	2	137550	481575	-3575	-3675	08-09-1960	05-01-1984	-54	-96	-54	-13
B25H0122	3	137550	481575	-4675	-4775	08-09-1960	05-01-1984	-55	-98	-56	-15
B25H0147	1	137500	487000	-1785	-1885	13-03-1967	28-12-1992	-189	-226	-200	-71
B25H0147	2	137500	487000	-2935	-3035	13-03-1967	28-12-1992	-193	-231	-205	-75
B25H0147	3	137500	487000	-4660	-4760	13-03-1967	28-12-1992	-195	-233	-206	-77
B25H0148	2	138000	483500	-2025	-2125	13-03-1967	28-12-1989	-150	-203	-159	-30
B25H0148	3	138000	483500	-4370	-4470	13-03-1967	28-12-1989	-144	-197	-151	-32
B25H0195	1	136050	484000	-1109	-1209	20-12-1973	28-09-1992	-128	-152	-129	-92
B25H0195	2	136050	484000	-2413	-2513	20-12-1973	28-09-1992	-131	-155	-132	-108
B25H0195	3	136050	484000	-4716	-4816	20-12-1973	28-09-1992	-131	-155	-132	-94
B25H0257	1	135875	482400	-725	-825	28-11-1986	28-11-2008	-104	-212	-102	-82
B25H0257	2	135875	482400	-2775	-2875	28-11-1986	28-11-2008	-105	-219	-103	-86
B25H0443	2	137717	481362	-976	-1076	14-09-1997	28-11-2008	-76	-87	-78	-45
B25H0443	3	137717	481362	-3076	-3176	14-09-1997	28-11-2008	-76	-90	-77	-46
B25H0443	4	137717	481362	-4376	-4476	14-09-1997	28-11-2008	-78	-93	-80	-46
B26A0013	1	141398	491252	-1840	-1940	02-03-1966	28-12-1992	-350	-435	-376	-88
B26A0018	1	144210	492540	-4730	-4830	01-08-1962	13-12-2008	-440	-803	-455	-85
B26A0018	2	144210	492540	-7230	-7330	13-06-1962	13-12-2008	-444	-805	-463	-89
B26A0018	3	144210	492540	-9730	-9830	13-06-1962	13-12-2008	-444	-789	-462	-100
B26A0018	4	144210	492540	-12230	-12330	13-06-1962	13-12-2008	-223	-358	-242	-91
B26A0018	5	144210	492540	-14730	-14830	13-06-1962	13-12-2008	-224	-318	-243	-90
B26A0036	1	148000	495500	-1670	-1770	10-02-1967	28-12-1992	-322	-356	-333	-178
B26A0036	2	148000	495500	-2720	-2820	10-02-1967	28-12-1992	-322	-357	-333	-177
B26A0036	3	148000	495500	-4320	-4420	10-02-1967	28-12-1992	-323	-357	-334	-177
B26A0038	2	144210	492540	-2200	-2300	21-06-1967	28-12-1992	-433	-567	-449	-109
B26A0038	3	144210	492540	-2805	-2905	21-06-1967	28-12-1992	-430	-565	-446	-103
B26A0245	2	145400	493550	-1951	-2051	13-12-1997	13-12-2008	-402	-414	-404	-374
B26B0008	1	152150	498375	-2400	-2500	12-11-1963	15-04-1995	-395	-447	-418	-242
B26B0111	1	153280	499080	-795	-995	13-12-1997	13-02-2009	-311	-404	-262	-97
B26B0111	2	153280	499080	-1922	-2122	13-12-1997	13-02-2009	-495	-597	-440	-368
B26B0111	3	153280	499080	-3259	-3459	13-12-1997	13-02-2009	-486	-585	-427	-396

A.2 Reeksen

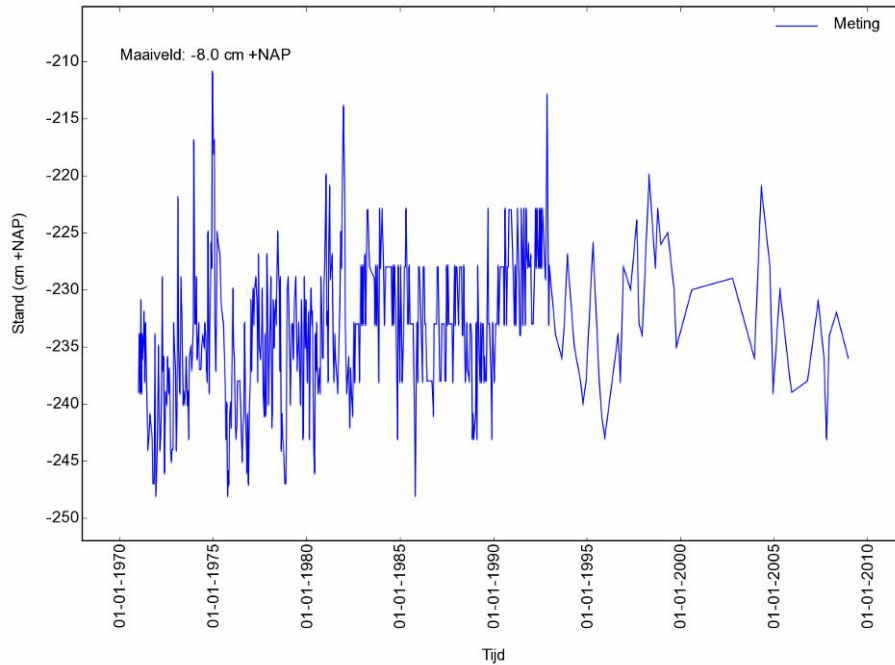
A.2.1 B19E0030002



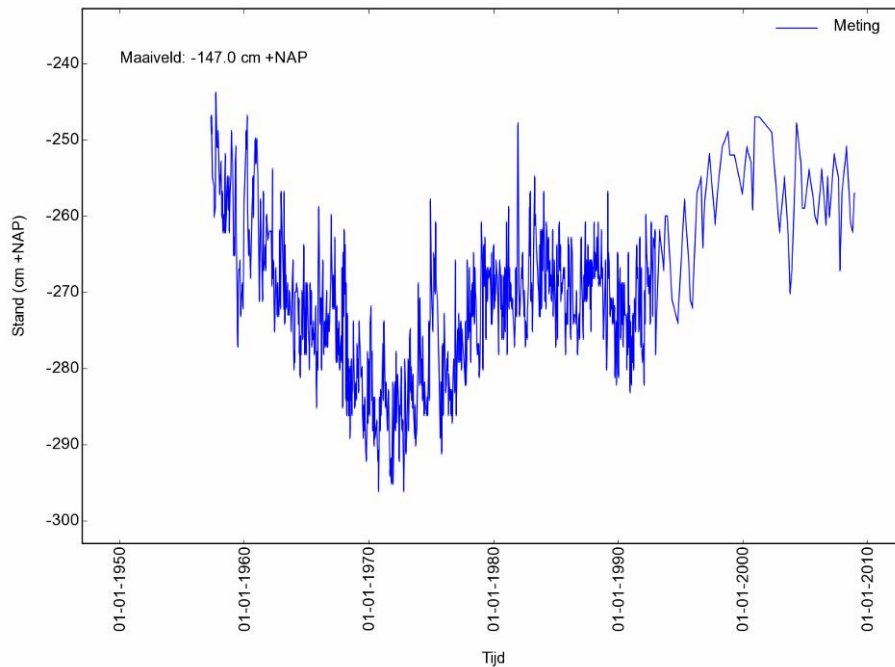
A.2.2 B19E0035002



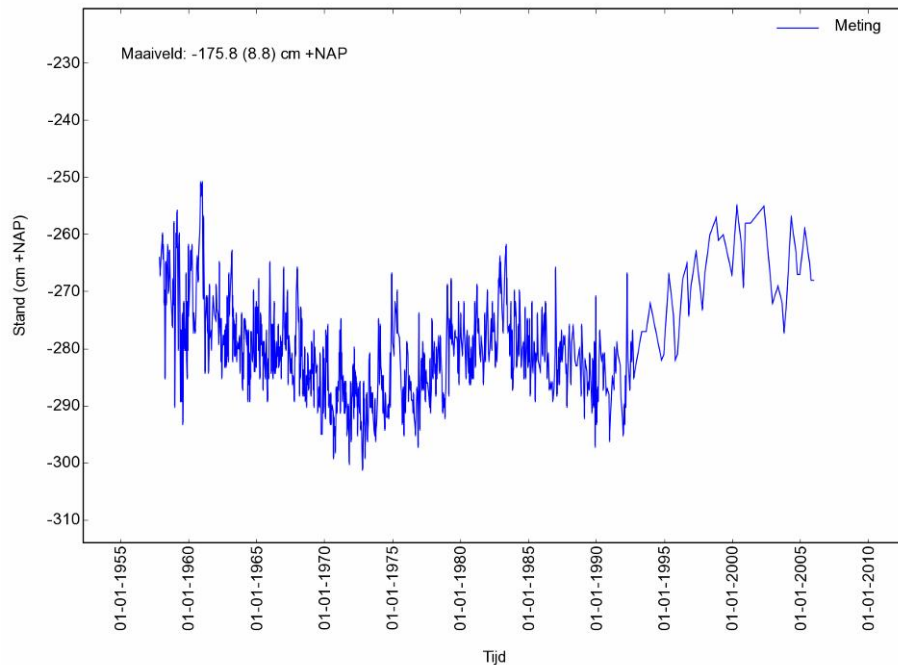
A.2.3 B19F0061001



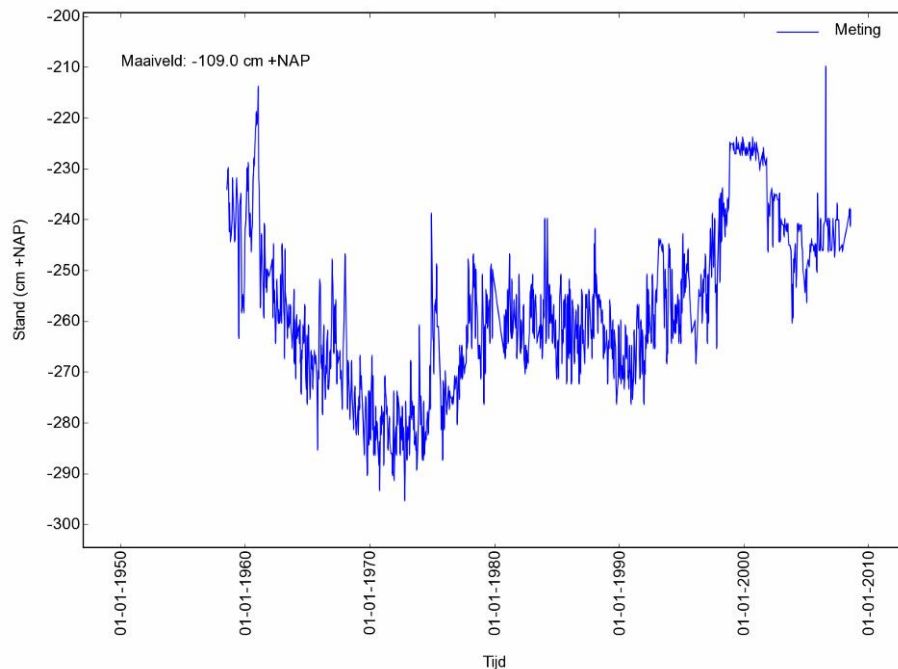
A.2.4 B19H0064001



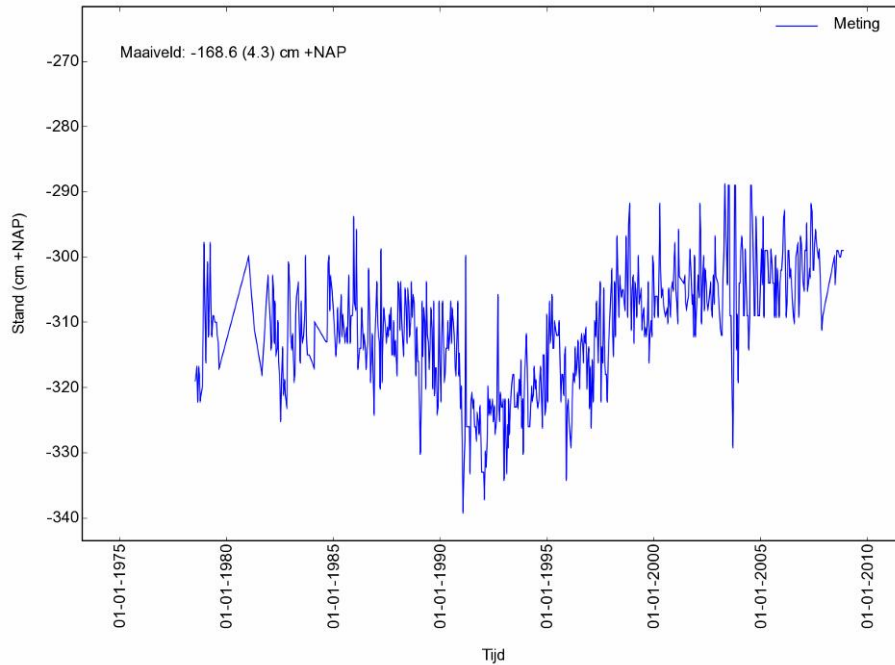
A.2.5 B19H0068002



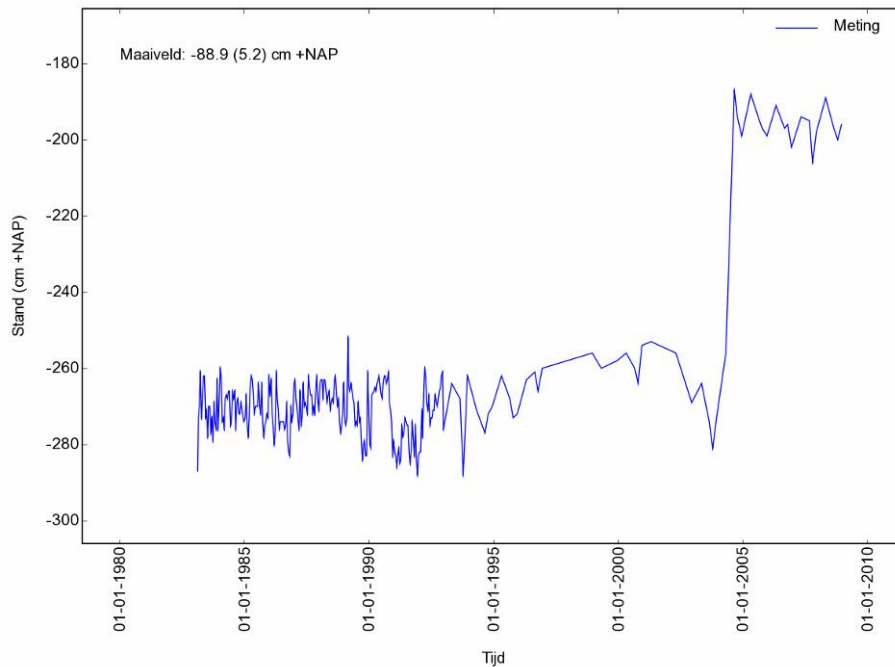
A.2.6 B19H0074002



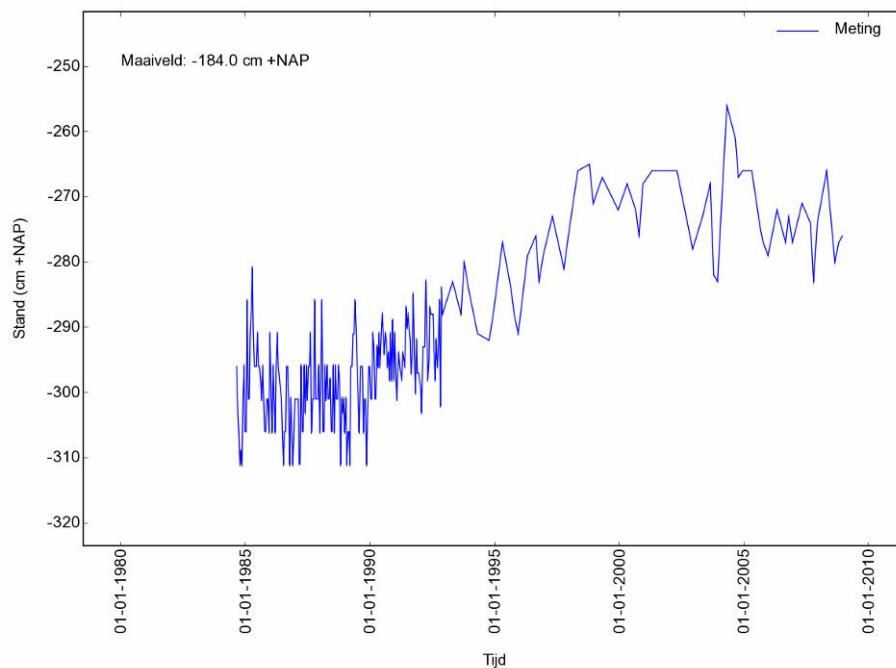
A.2.7 B19H0118001



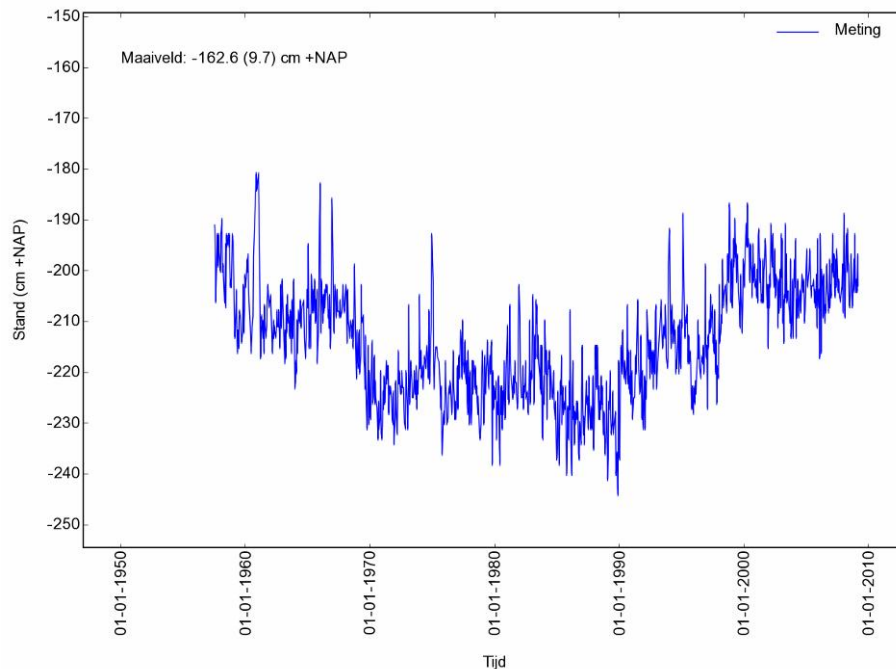
A.2.8 B19H0153002



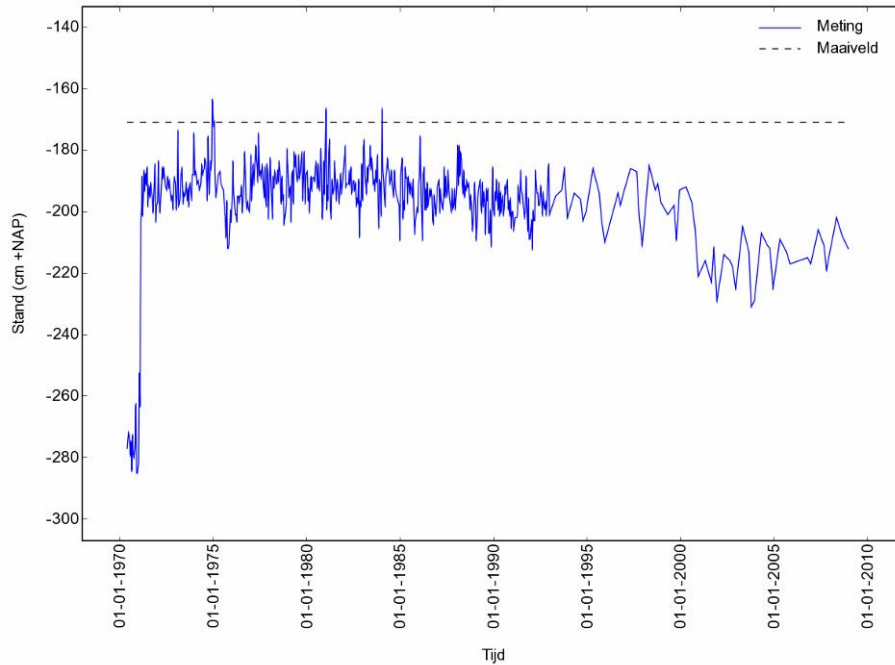
A.2.9 B19H0196002



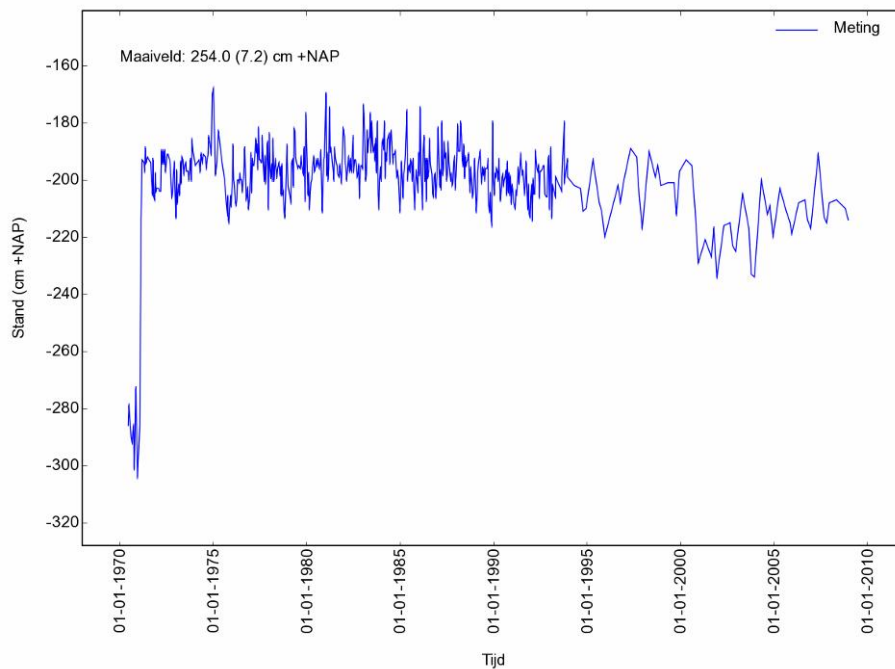
A.2.10 B20A0041001



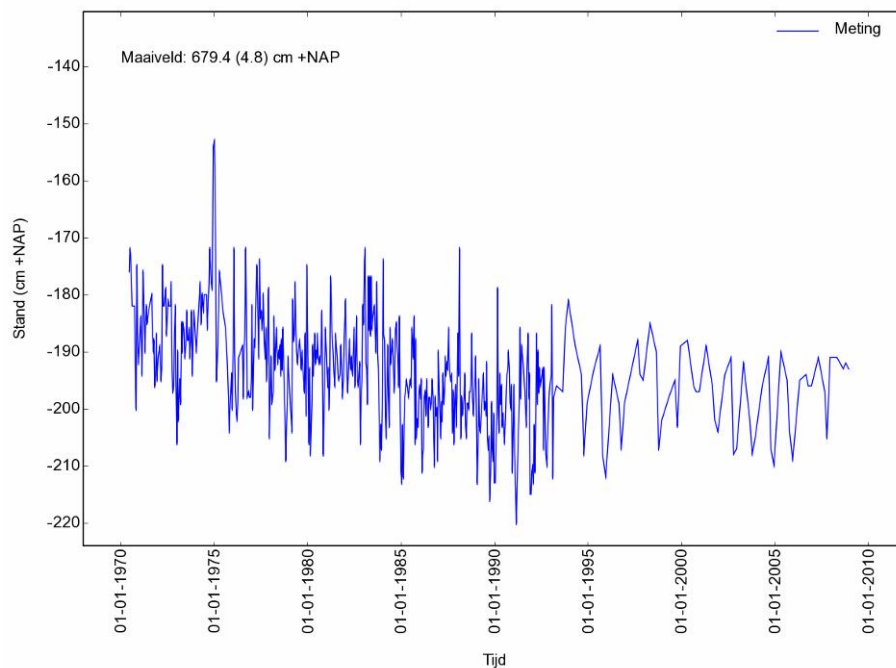
A.2.11 B20A0076001



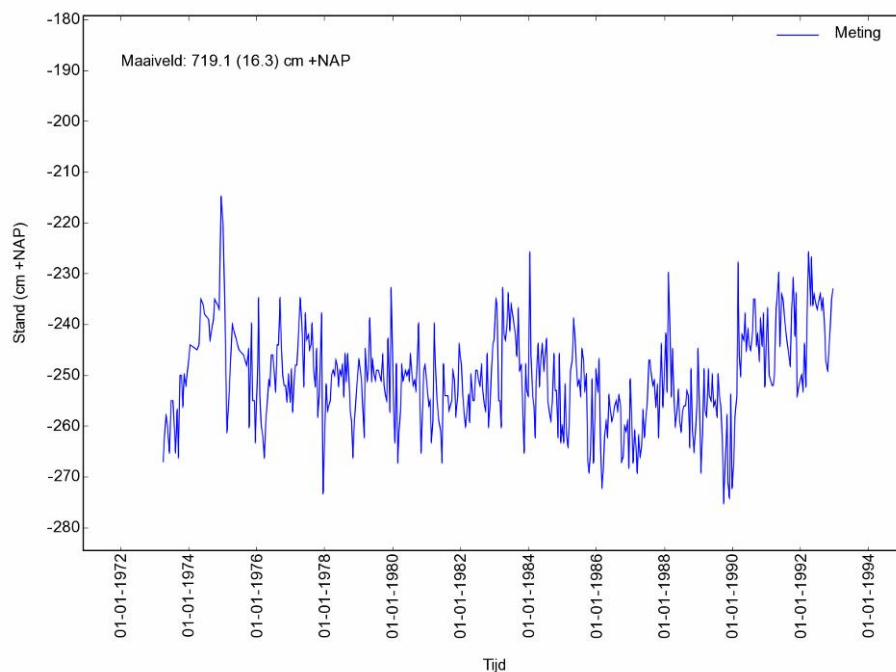
A.2.12 B20A0082001



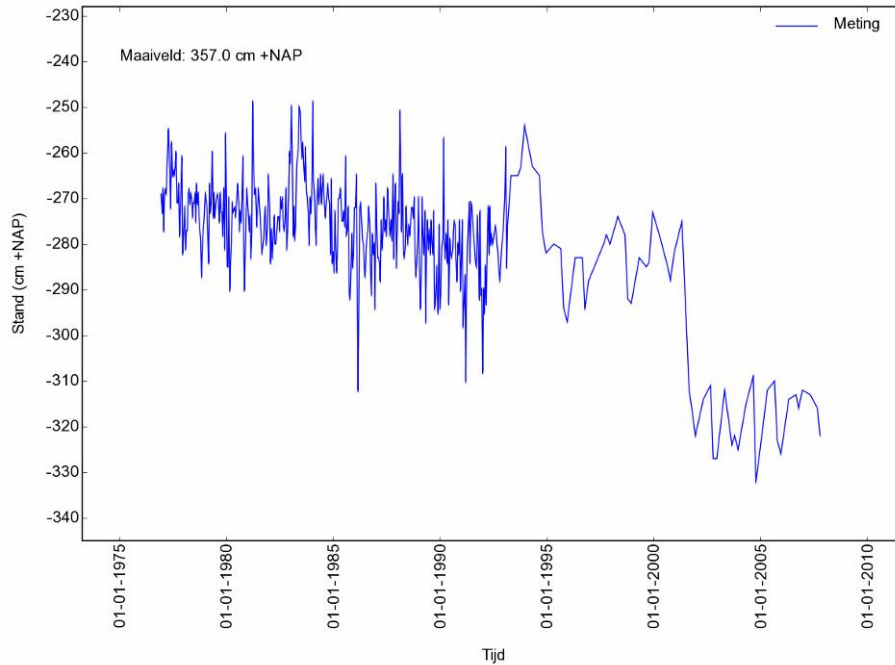
A.2.13 B20B0026001



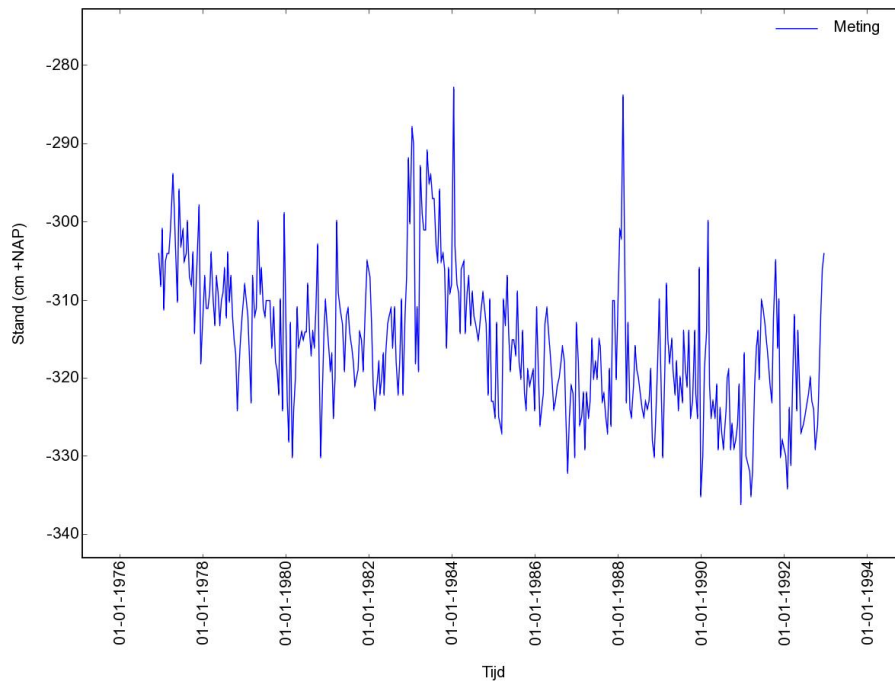
A.2.14 B20B0028001



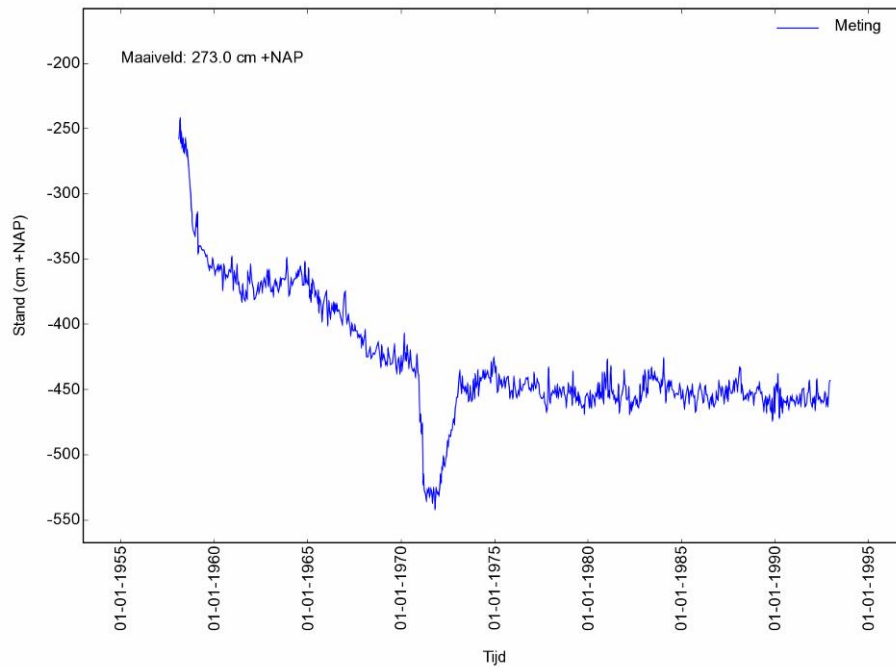
A.2.15 B20B0039002



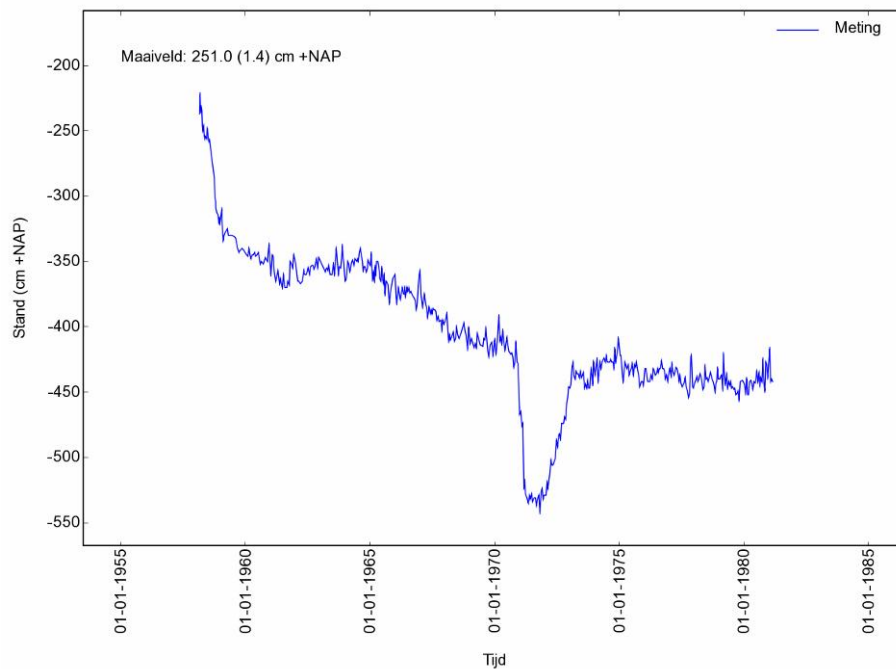
A.2.16 B20B0040001



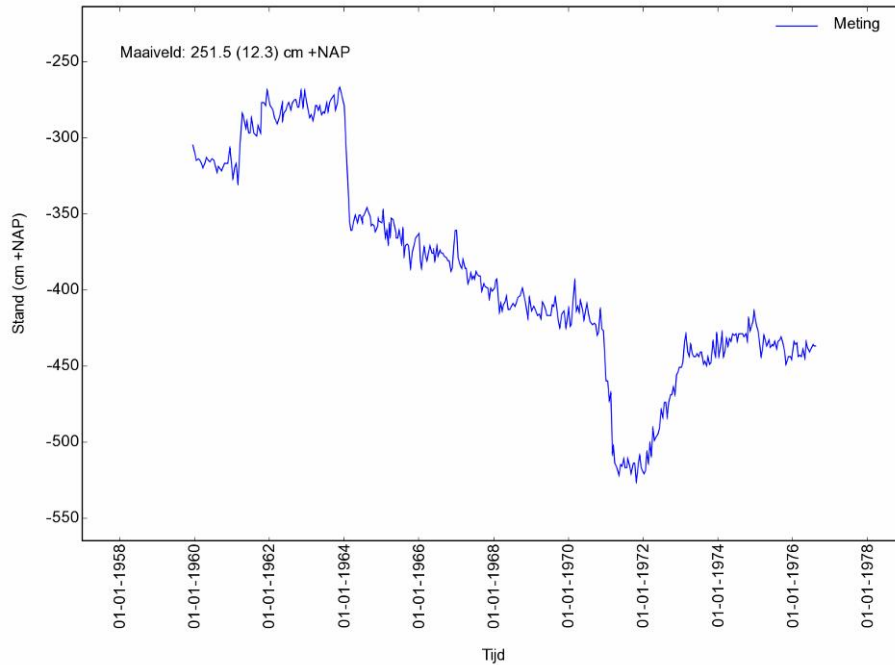
A.2.17 B20D0041002



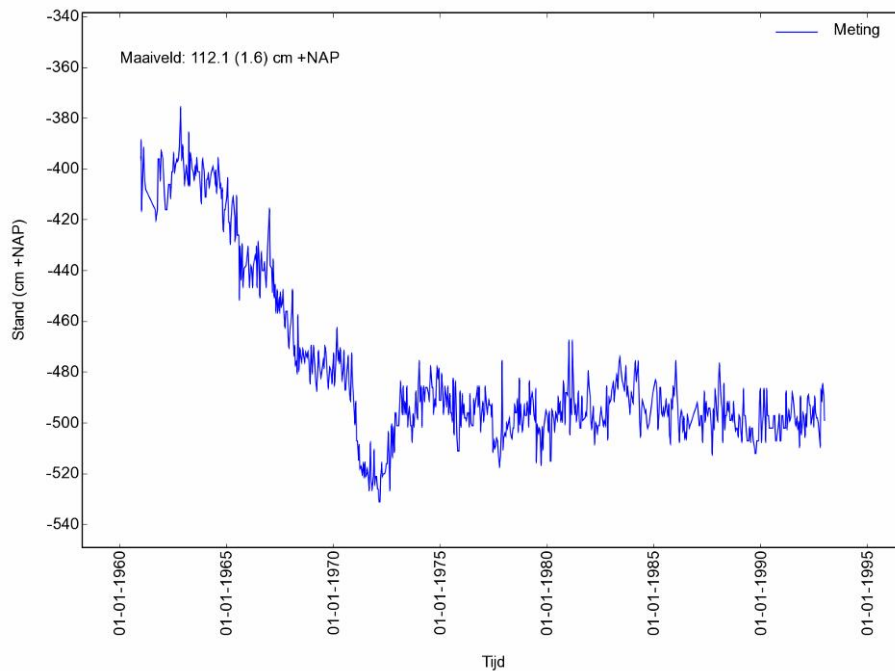
A.2.18 B20D0048002



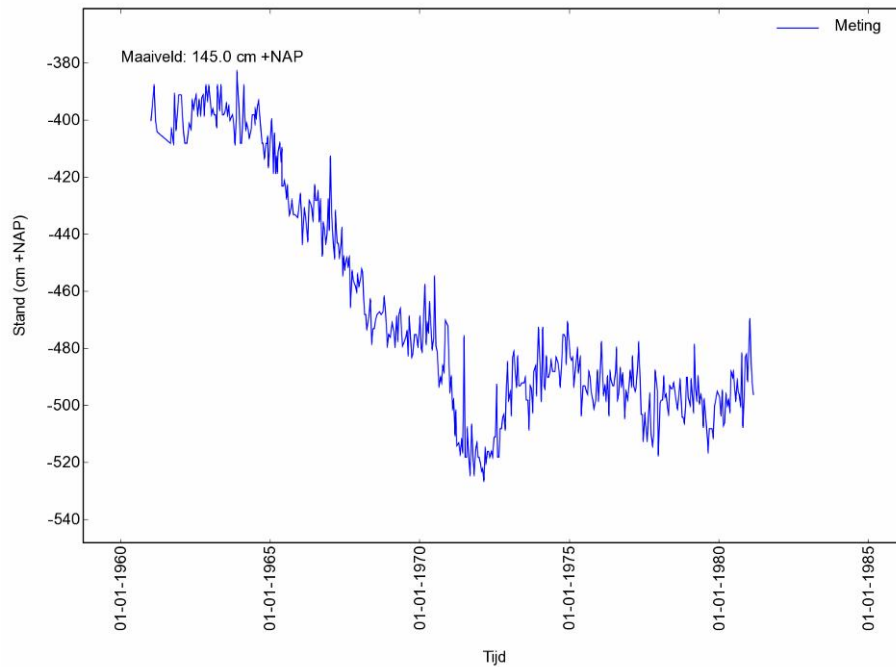
A.2.19 B20D0049002



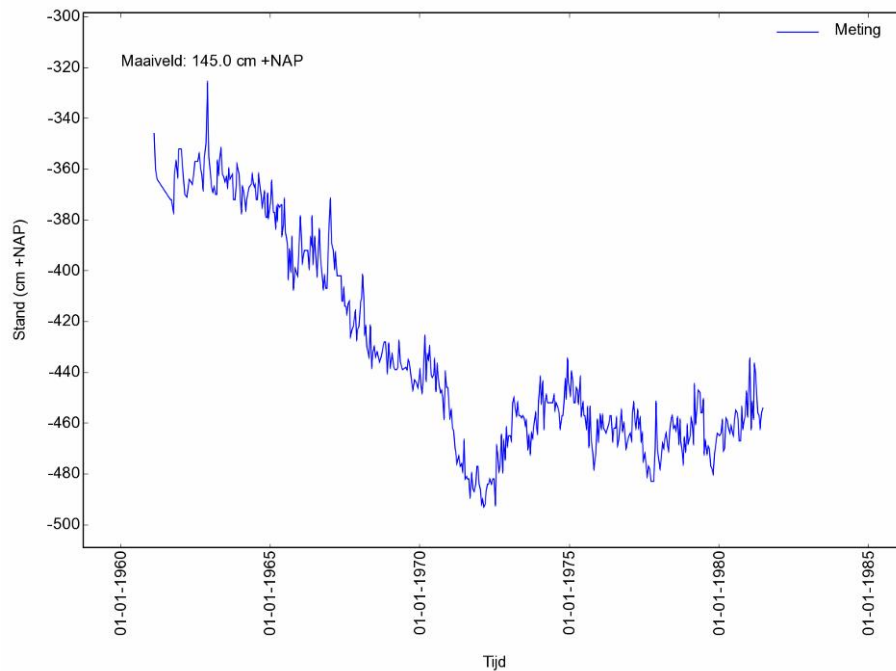
A.2.20 B20D0052003



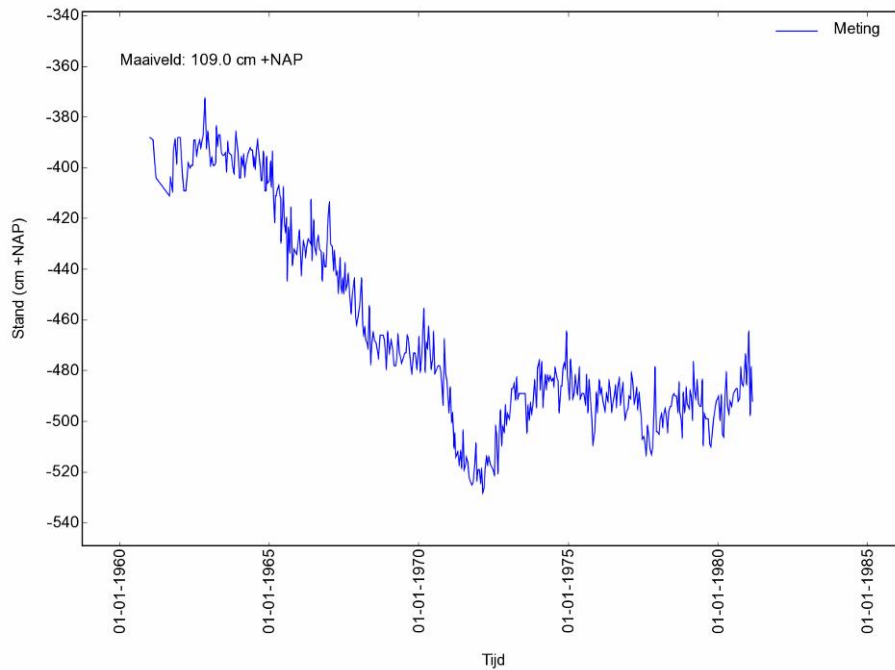
A.2.21 B20D0053002



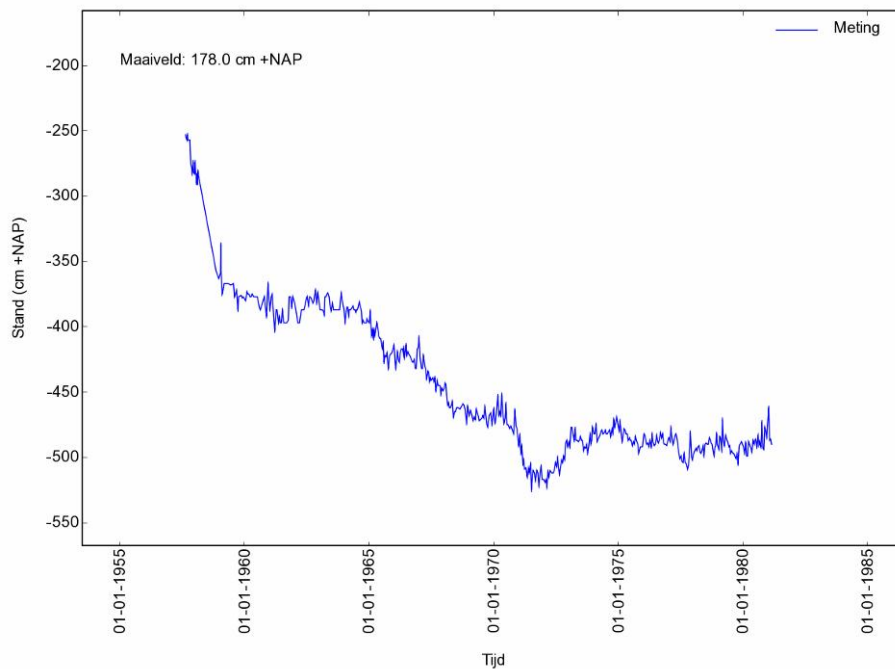
A.2.22 B20D0224002



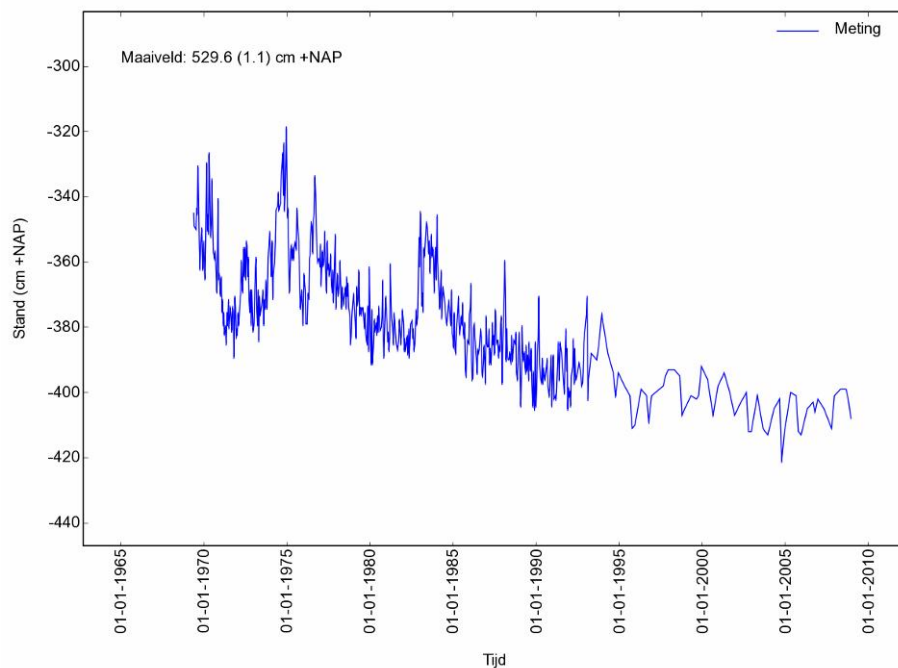
A.2.23 B20D0225003



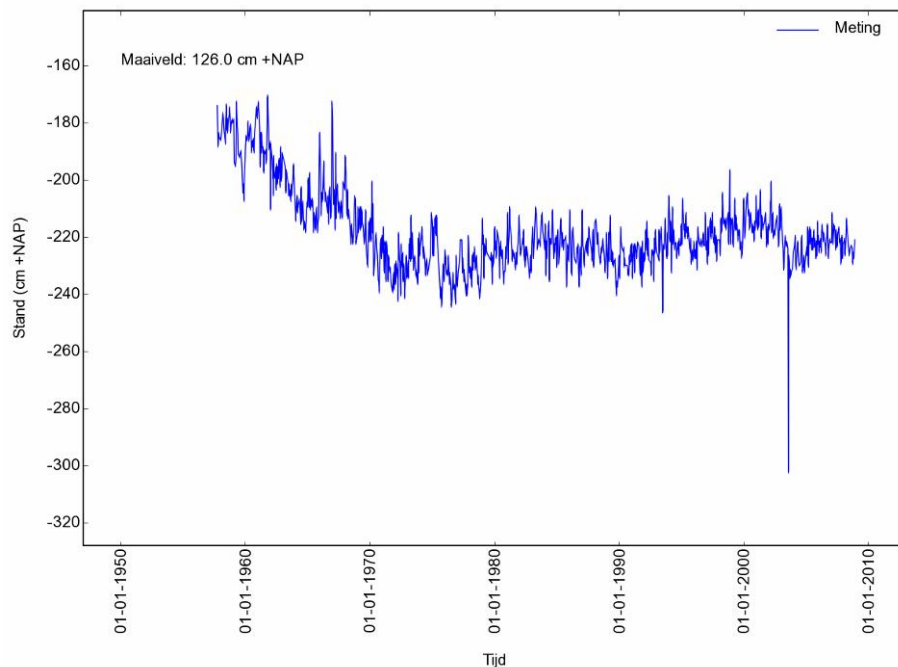
A.2.24 B20D0226002



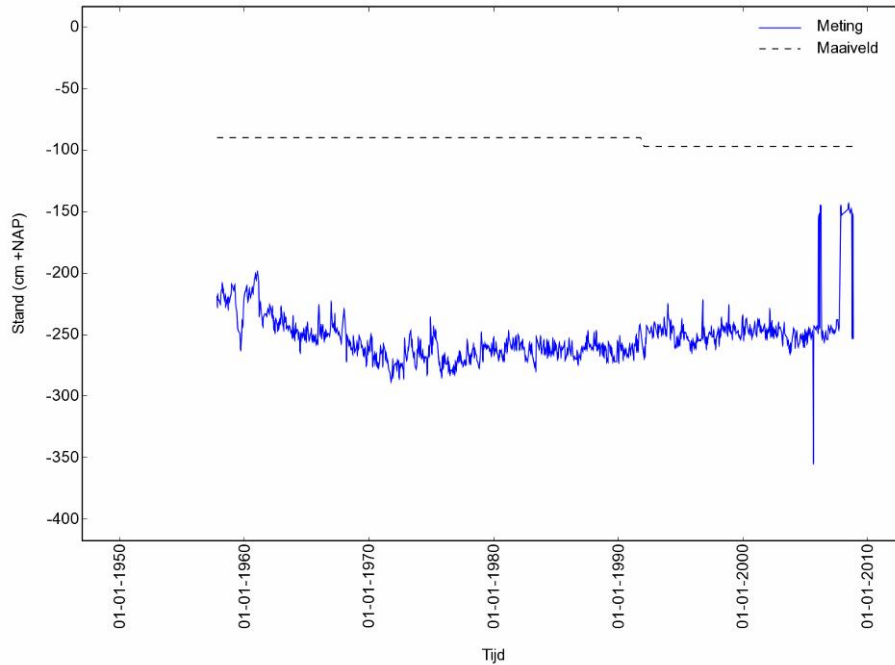
A.2.25 B20G0030002



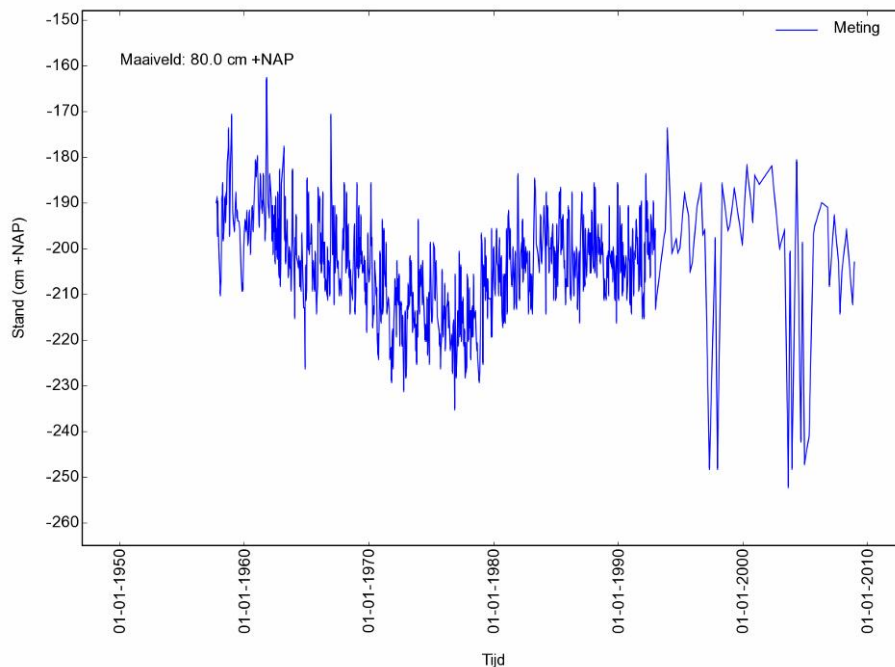
A.2.26 B25F0055001



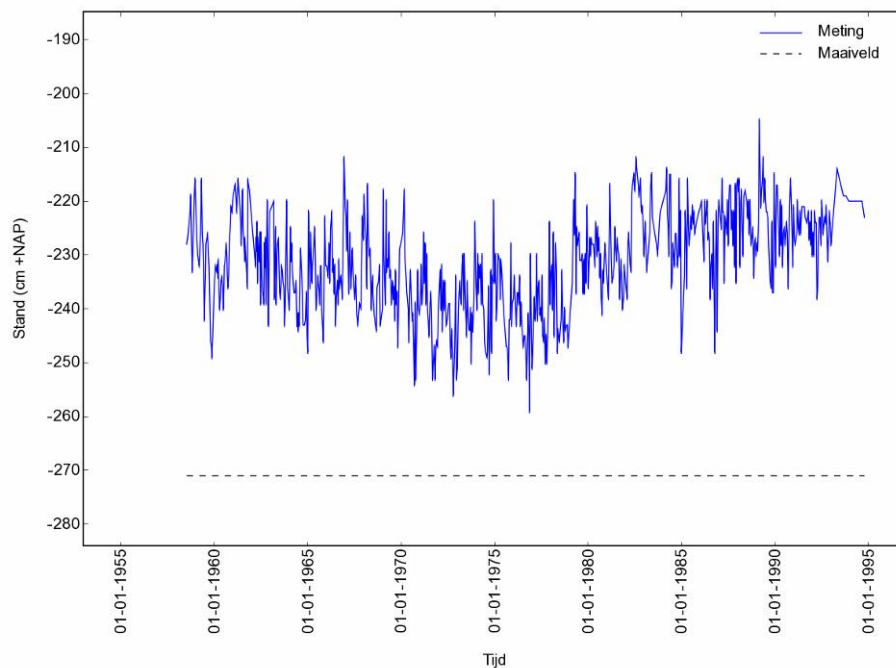
A.2.27 B25F0057001



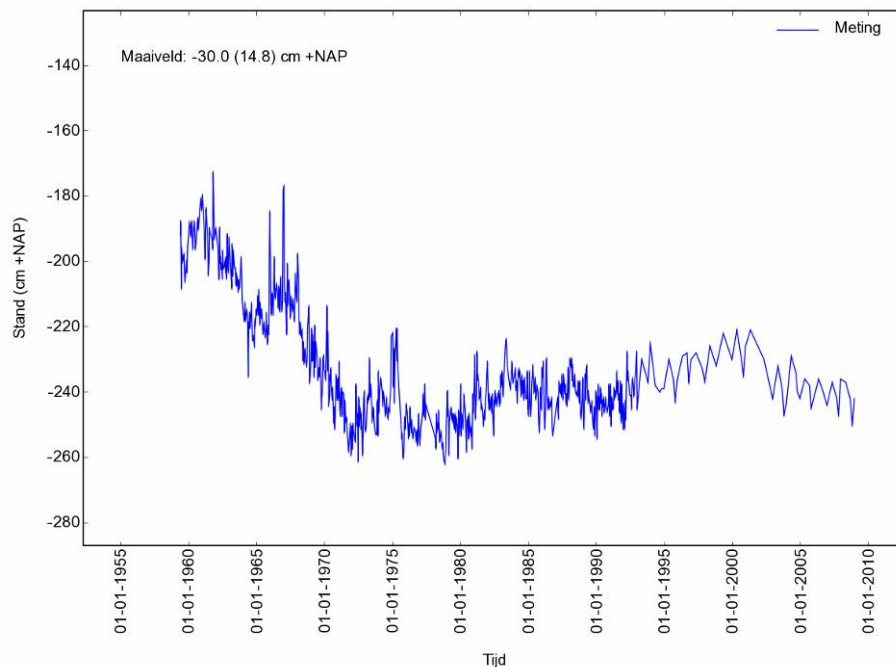
A.2.28 B25F0058001



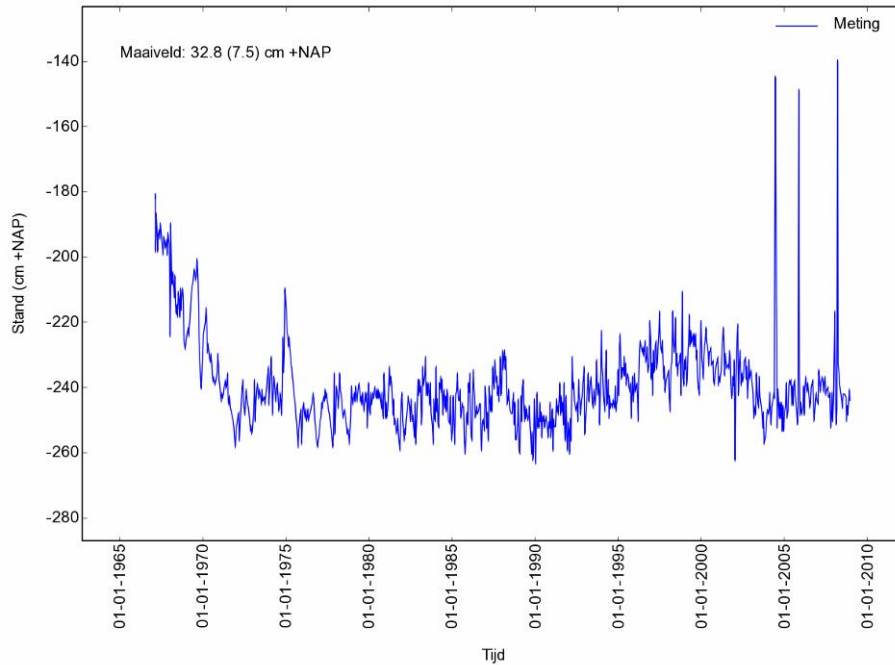
A.2.29 B25F0060001



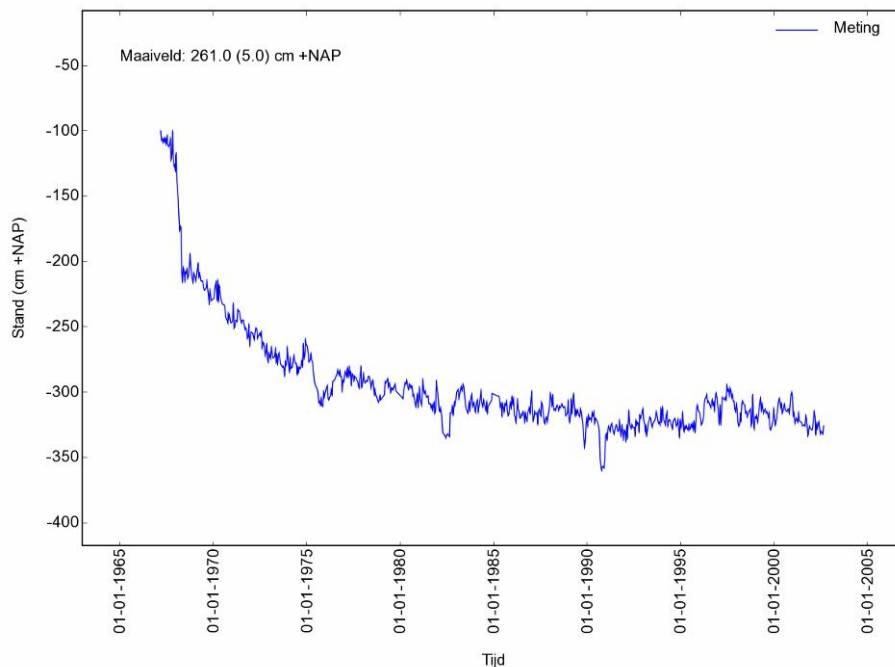
A.2.30 B25F0066002



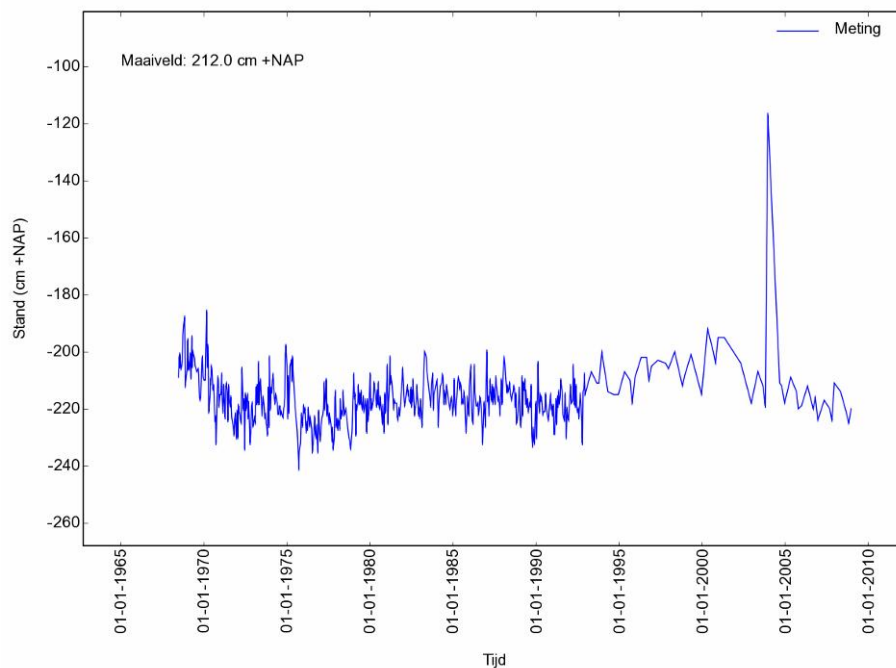
A.2.31 B25F0071001



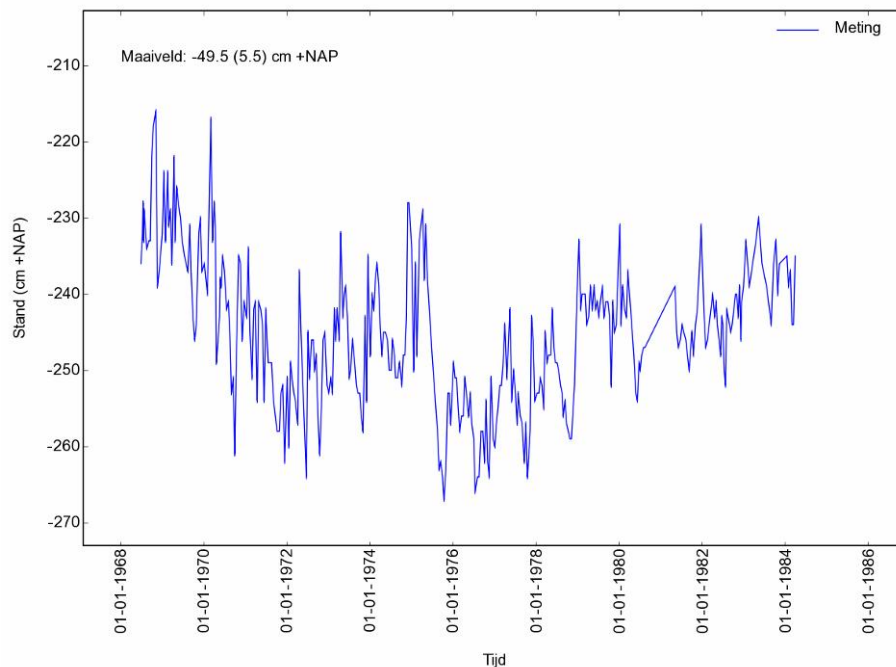
A.2.32 B25F0072001



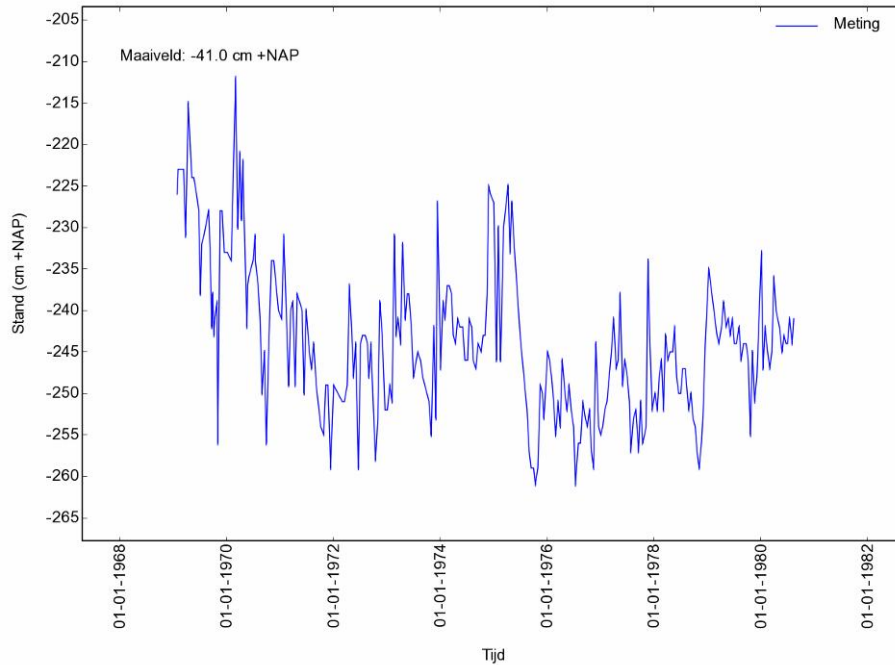
A.2.33 B25F0078002



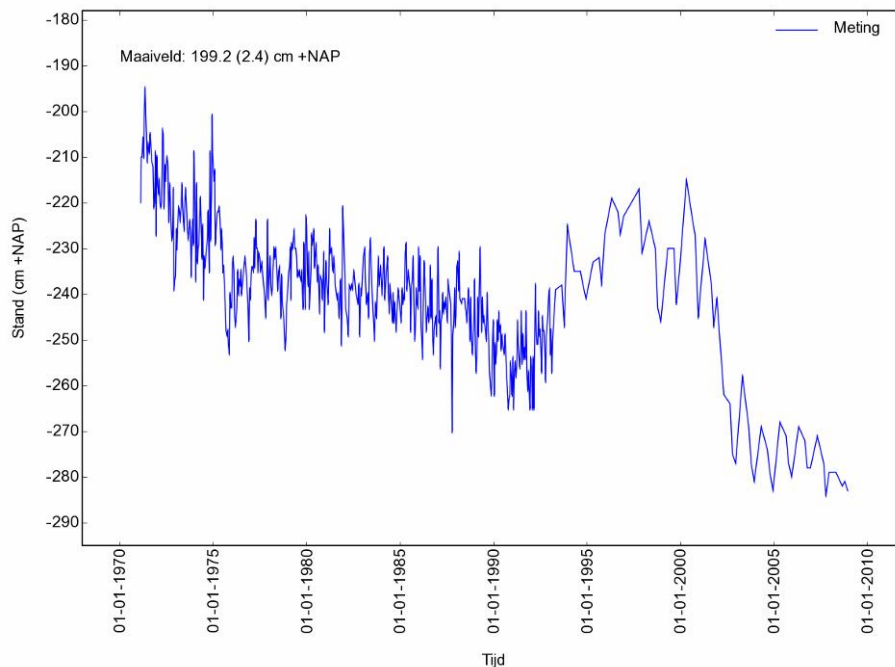
A.2.34 B25F0079002



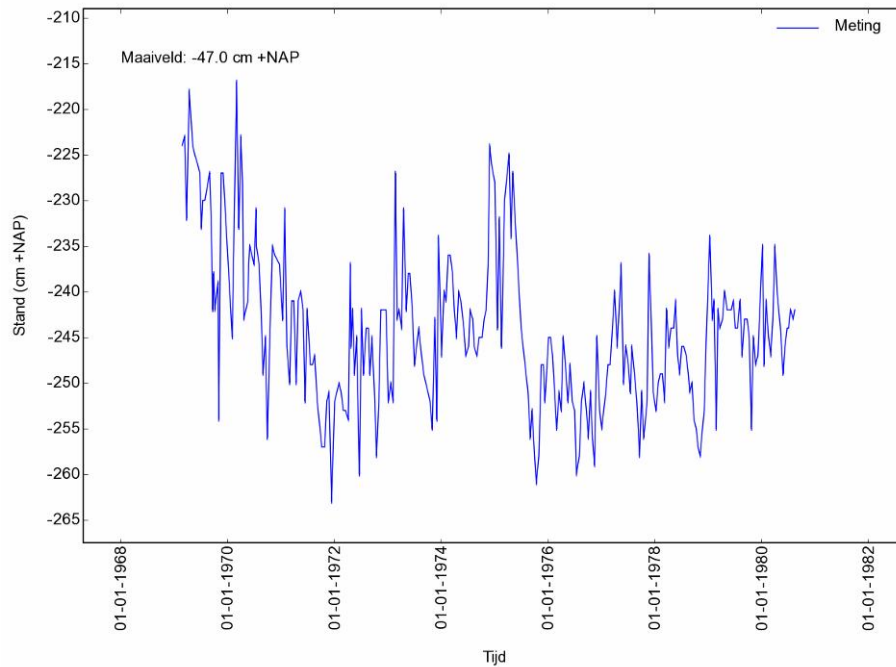
A.2.35 B25F0080003



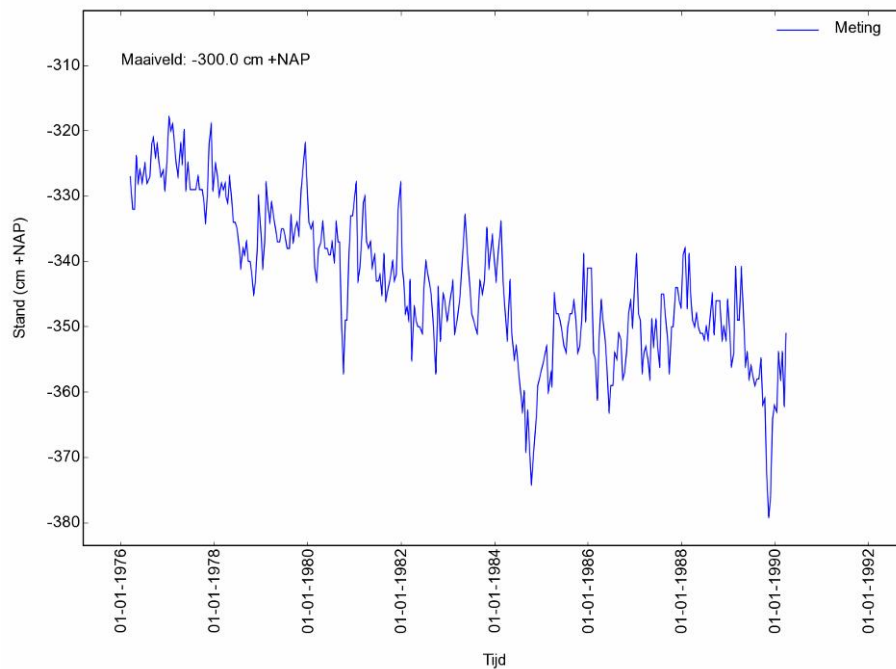
A.2.36 B25F0103001



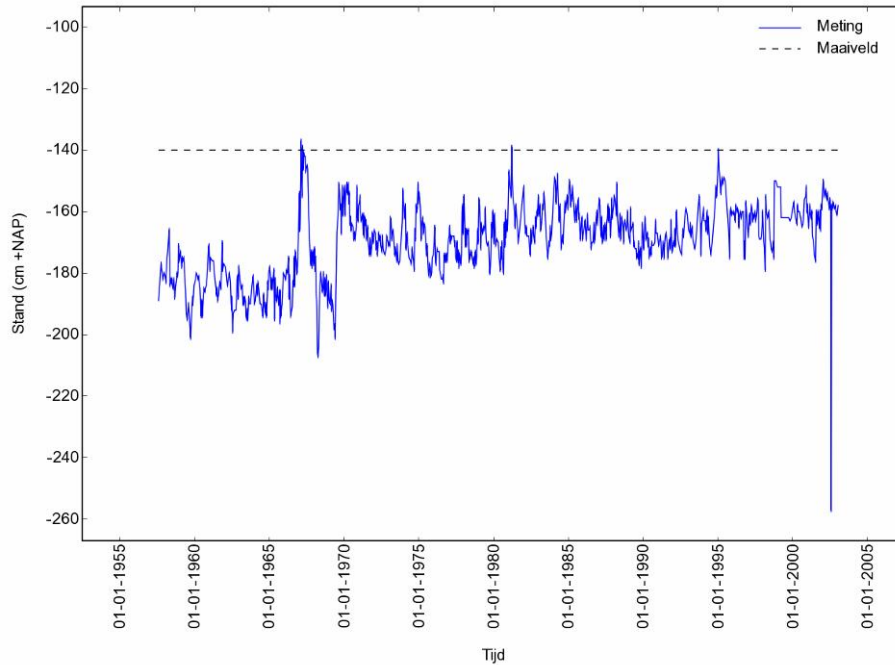
A.2.37 B25F0104002



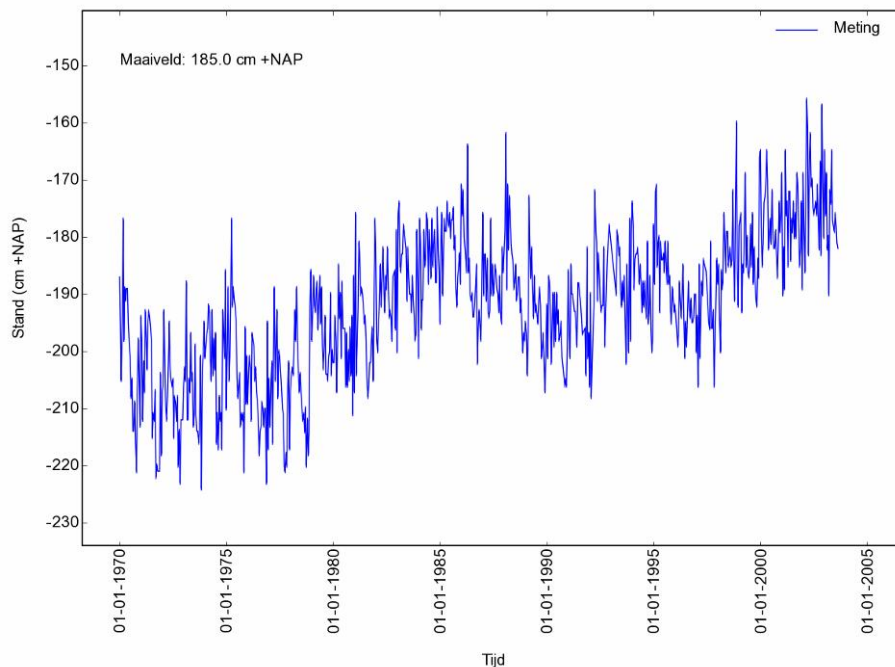
A.2.38 B25F0110001



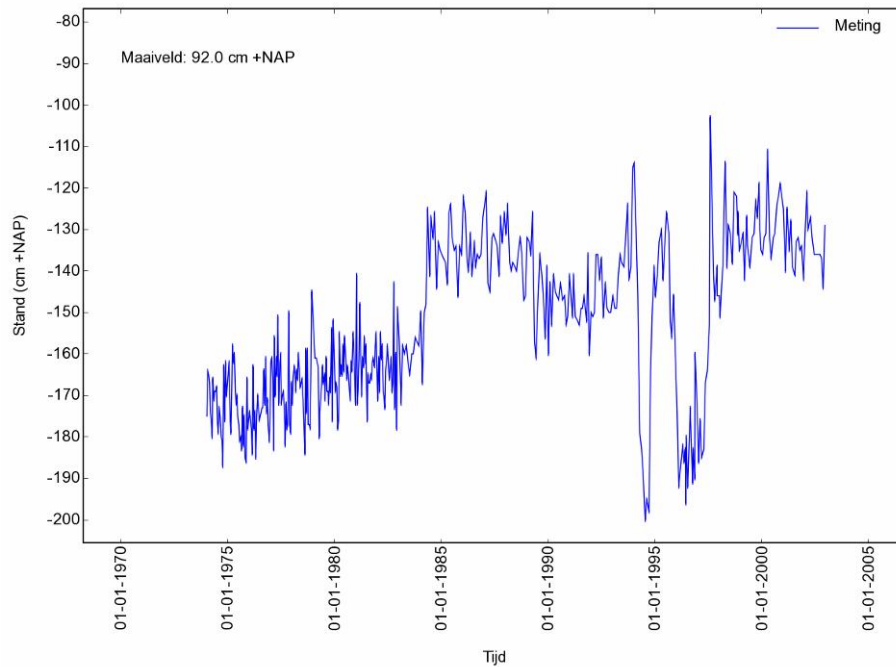
A.2.39 B25G0195001



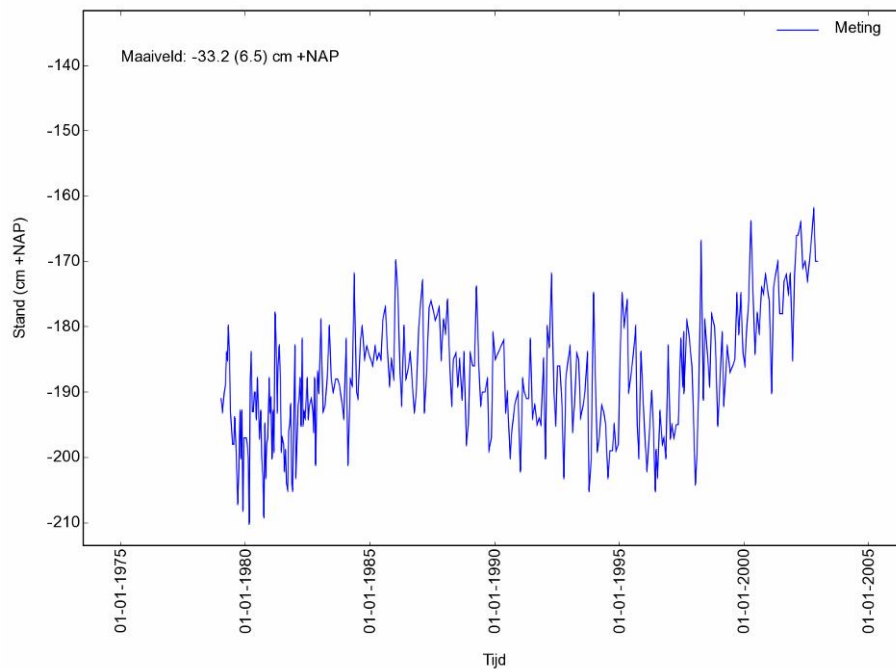
A.2.40 B25G0303001



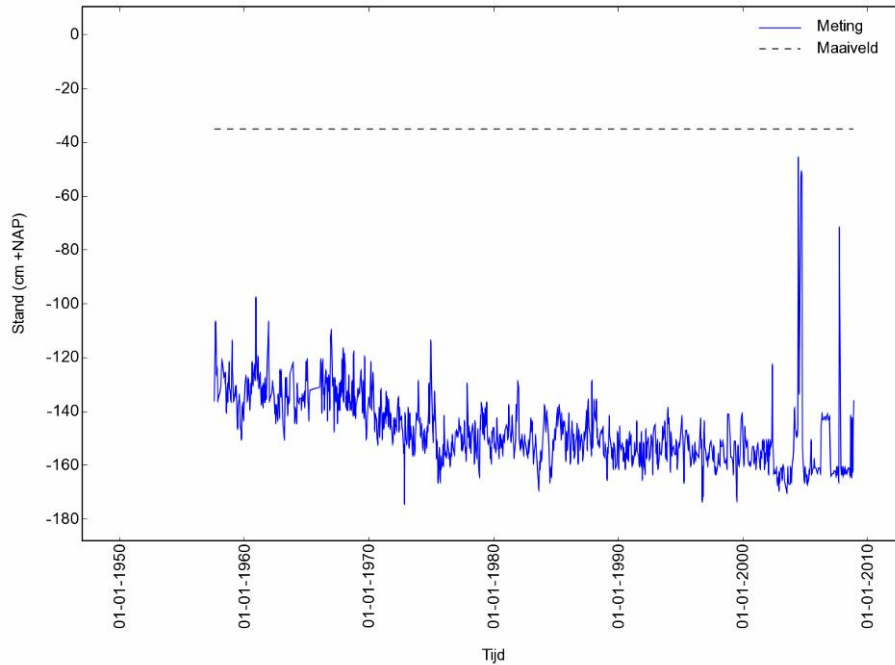
A.2.41 B25G0981002



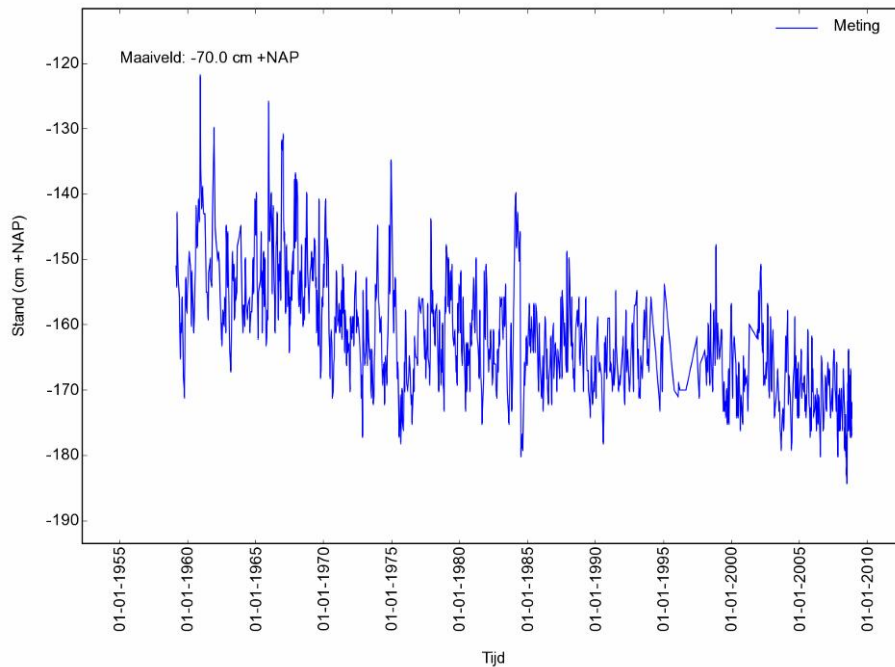
A.2.42 B25G0982003



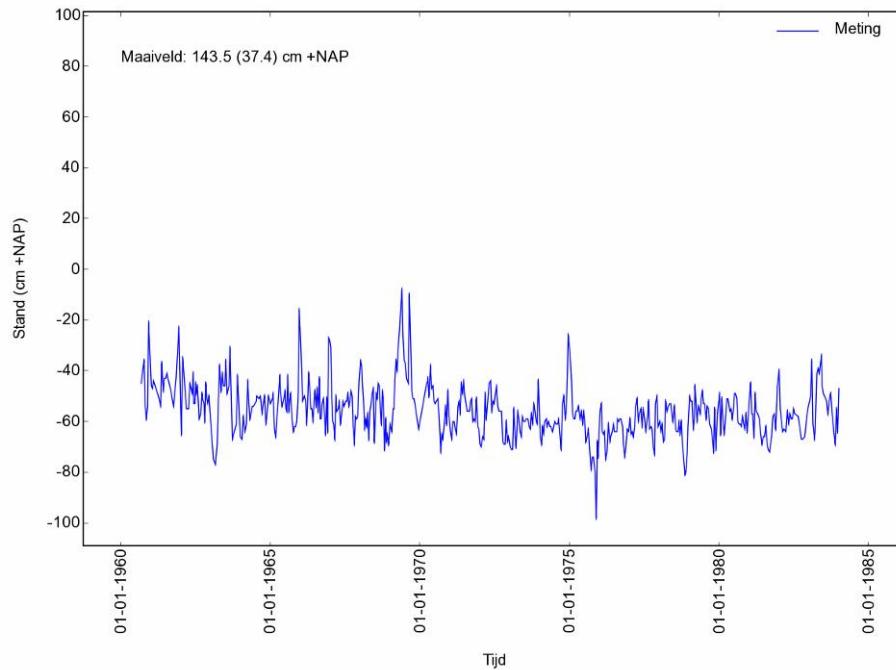
A.2.43 B25H0087001



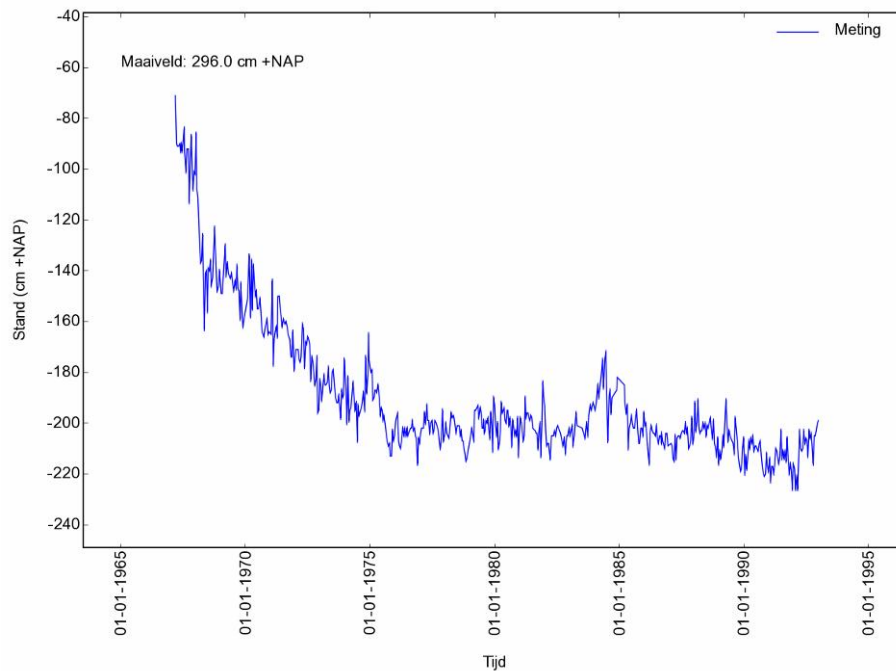
A.2.44 B25H0099001



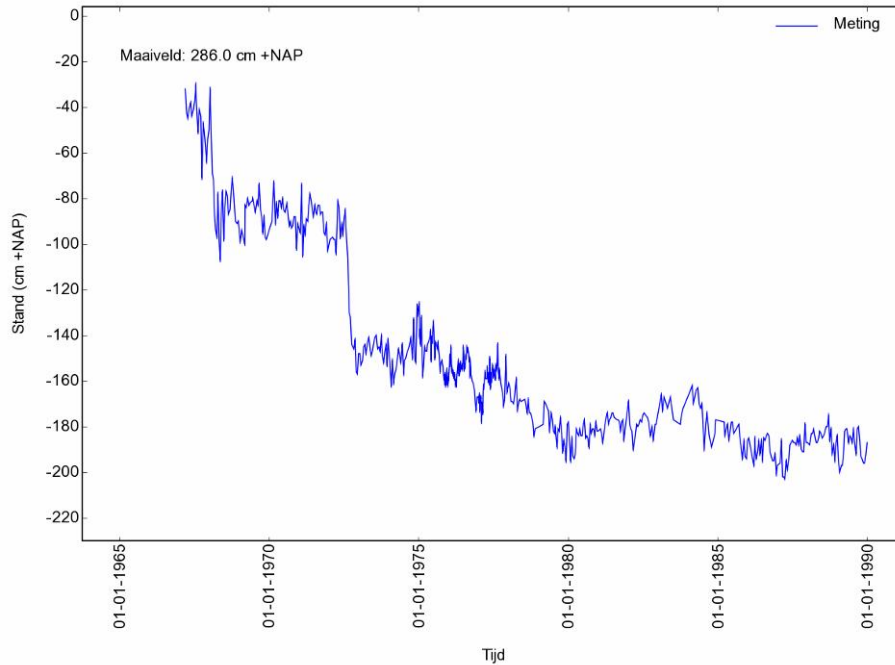
A.2.45 B25H0122001



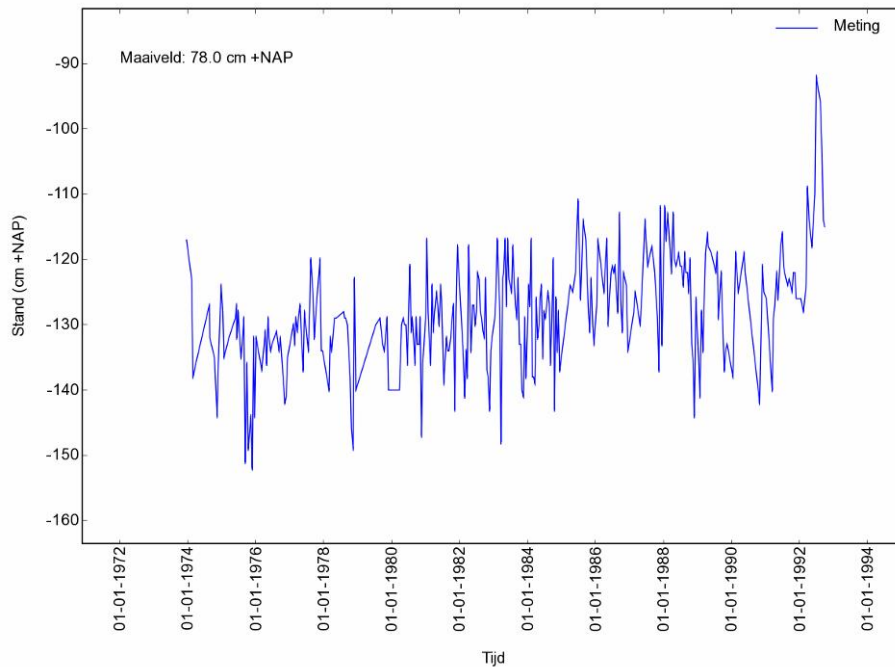
A.2.46 B25H0147001



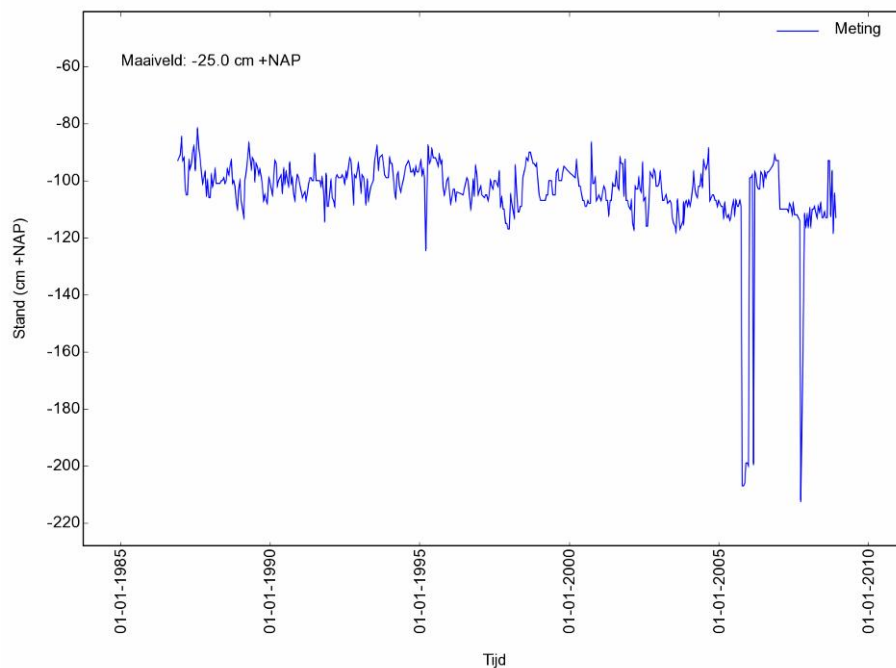
A.2.47 B25H0148002



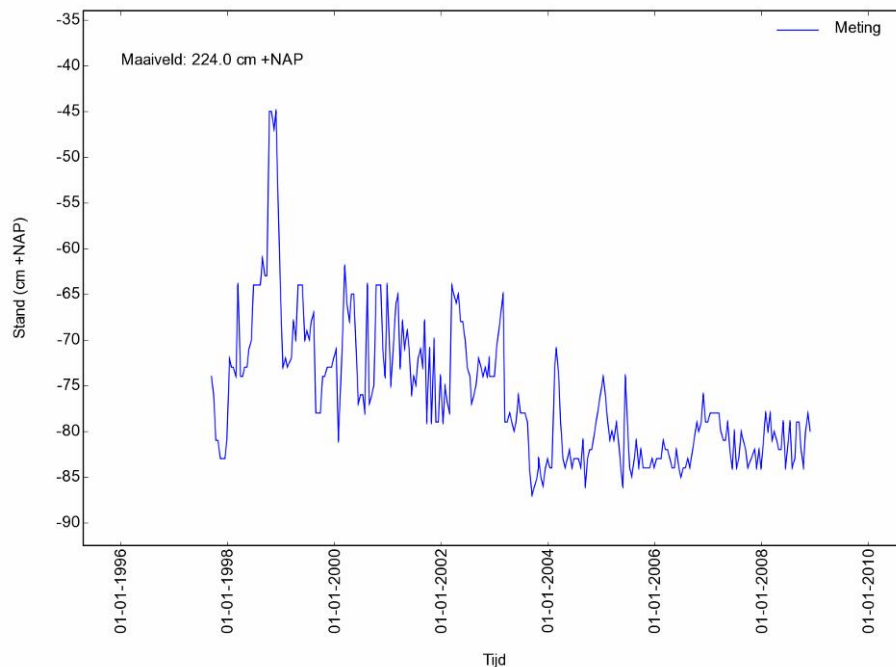
A.2.48 B25H0195001



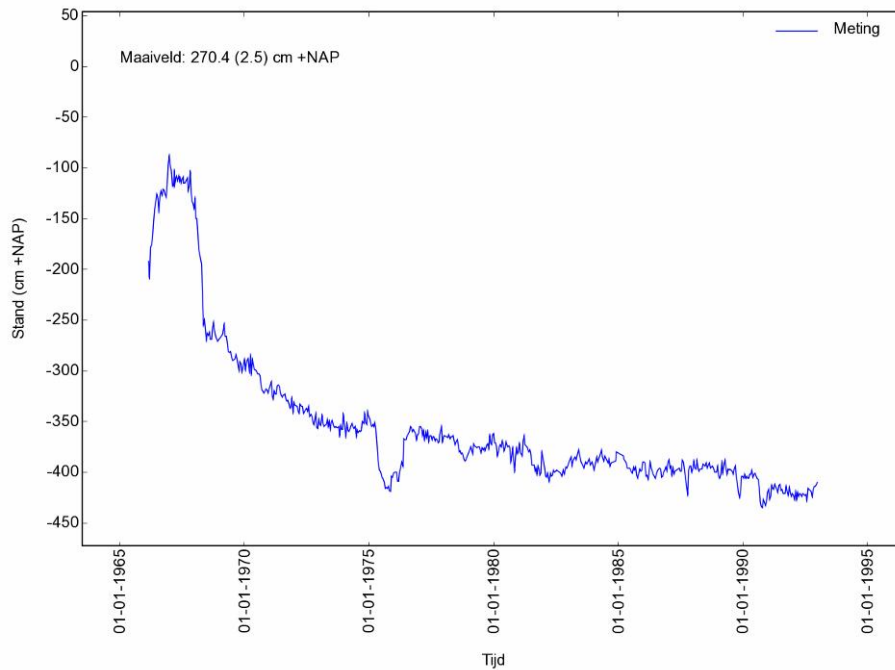
A.2.49 B25H0257001



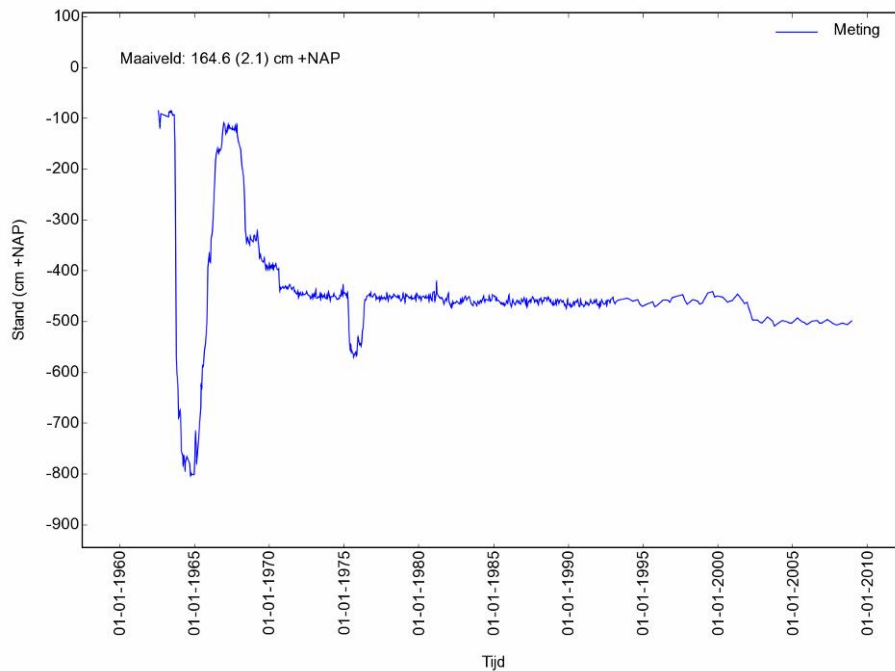
A.2.50 B25H0443002



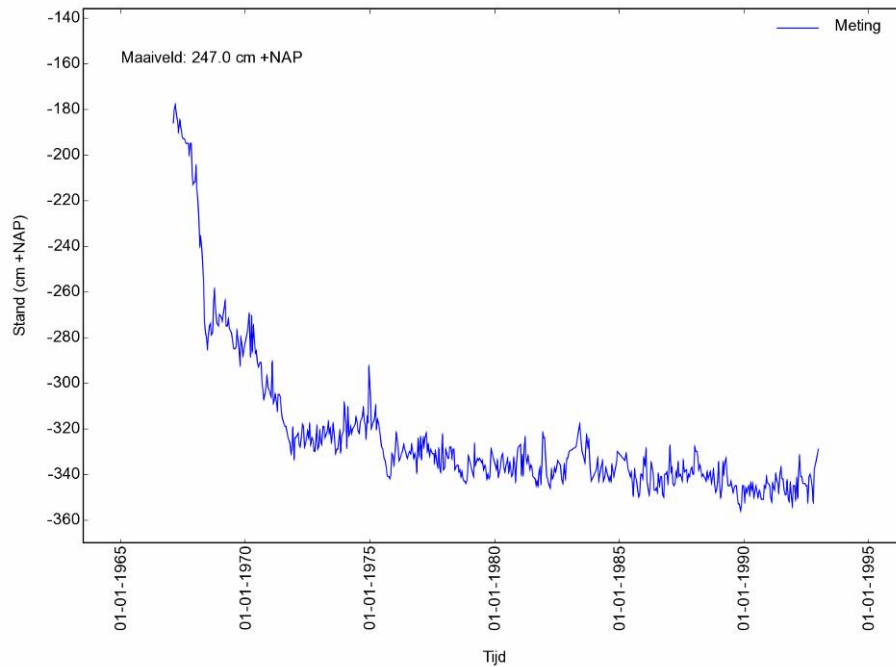
A.2.51 B26A0013001



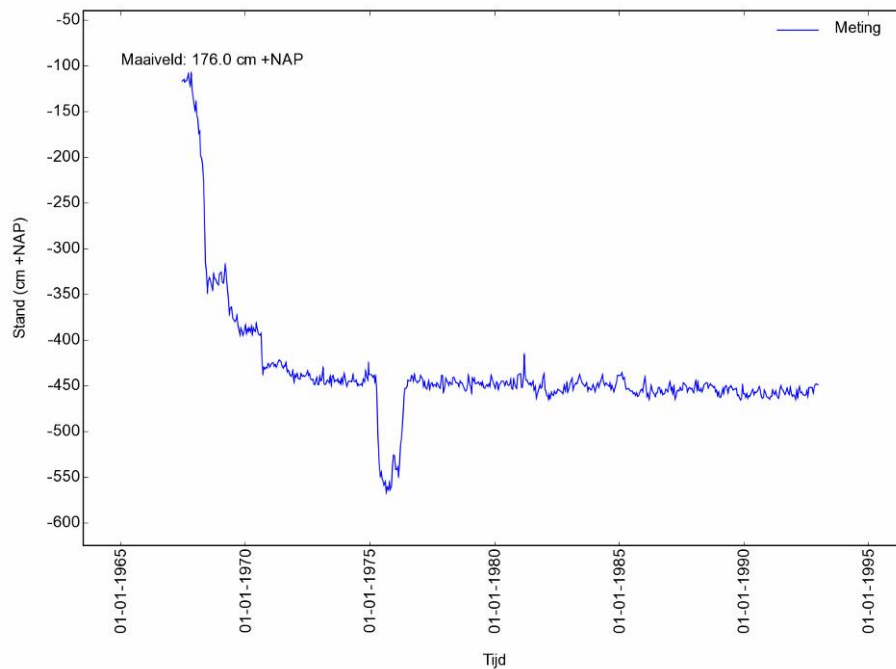
A.2.52 B26A0018001



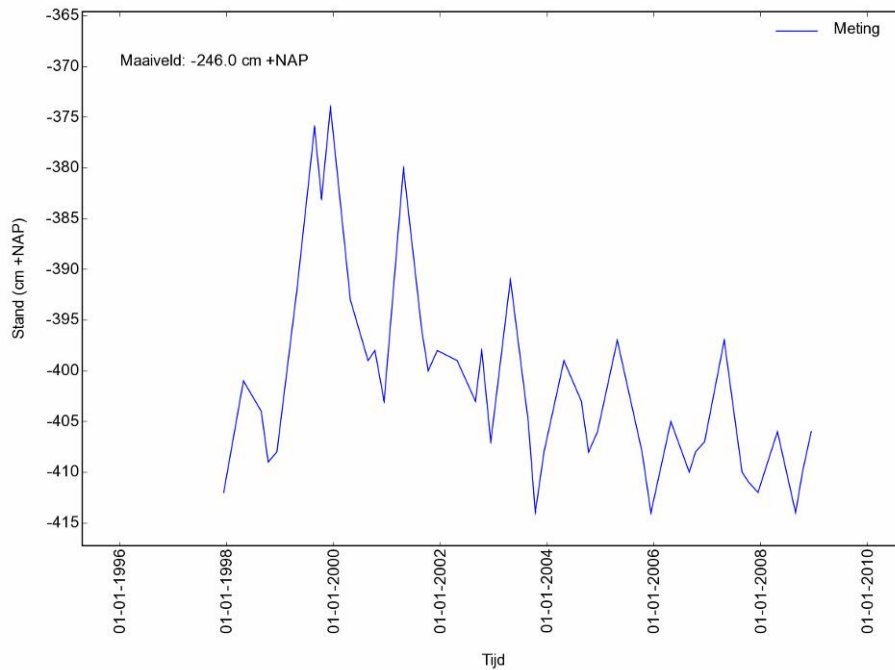
A.2.53 B26A0036001



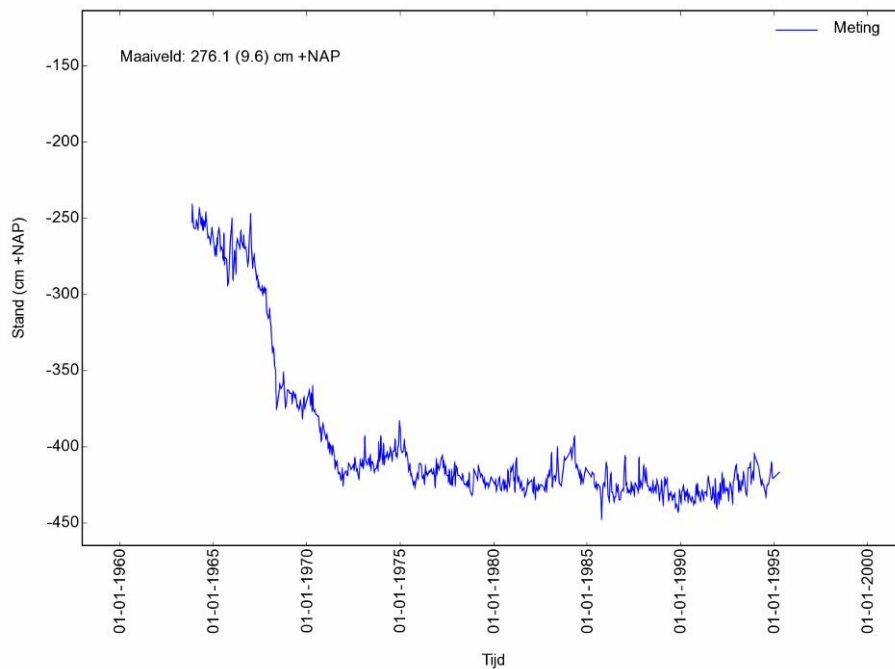
A.2.54 B26A0038002



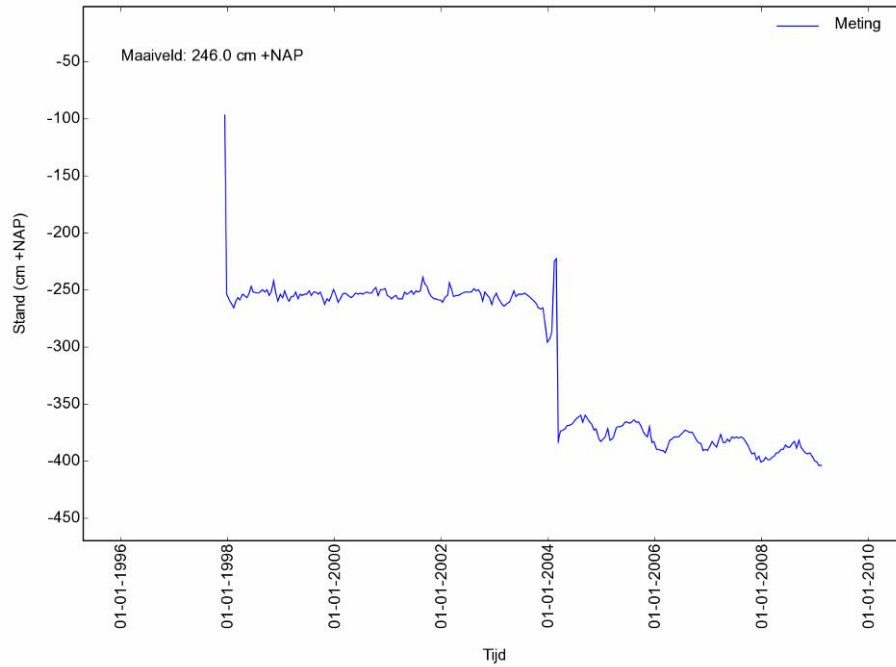
A.2.55 B26A0245002



A.2.56 B26B0008001



A.2.57 B26B0111001



B Geselecteerde boorgatmetingen

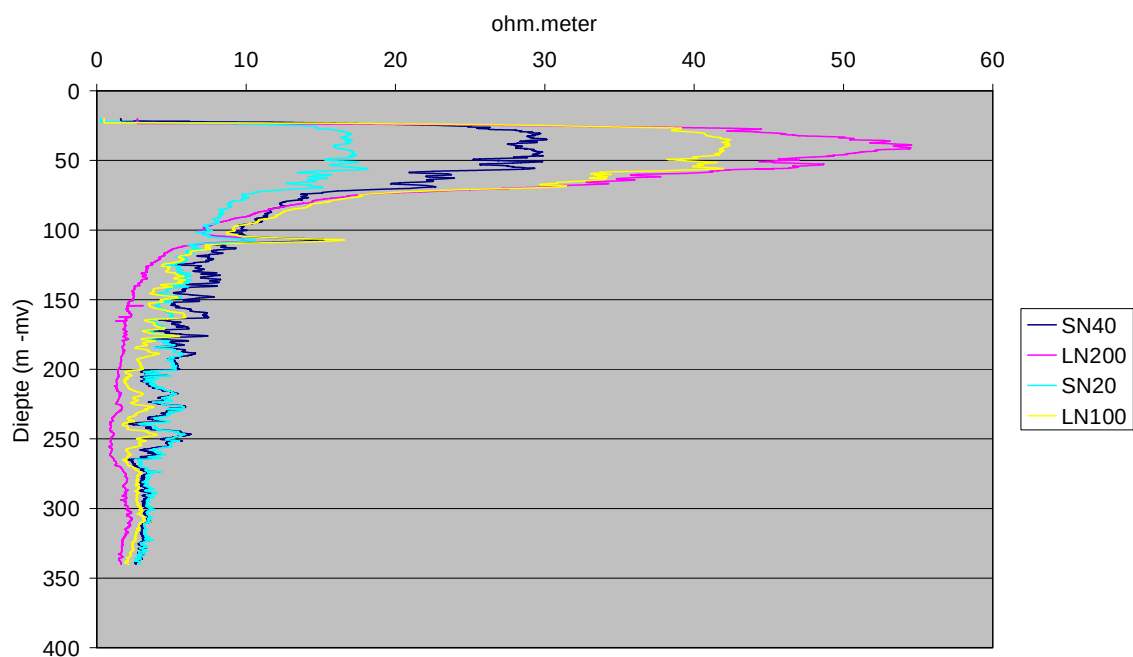
B.1 Overzicht

NITG-nummer	In selectie stijghoogte	Datum	Parameters *																	
			LithCode (1970)	CAL	CALIPER	GAM(NAT)	GAMMA	LN100	LN160	LN200	POTASIIUM	RES	RES(16N)	RES(64N)	SN20	SN40	SP	TEMP	THORIUM	URANIUM
B19E0085	x	1971-08-19	x	x		x		x		x										
B19E0085		1978-06-21	x	x																
B19E0085		1979-04-09																		
B25F0055		1978-06-21																x		
B25F0154		1986-12-29					x											x		
B25F0305		2002-09-26	x		x	x					x	x	x			x				
B25G0948		1997-04-22				x					x							x	x	
B25H0257	x	1986-06-19	x	x			x		x						x	x				
B25H0443	x	1997-02-27	x			x					x	x	x			x				
B26B0111	x	1997-12-10	x		x	x					x	x	x			x				

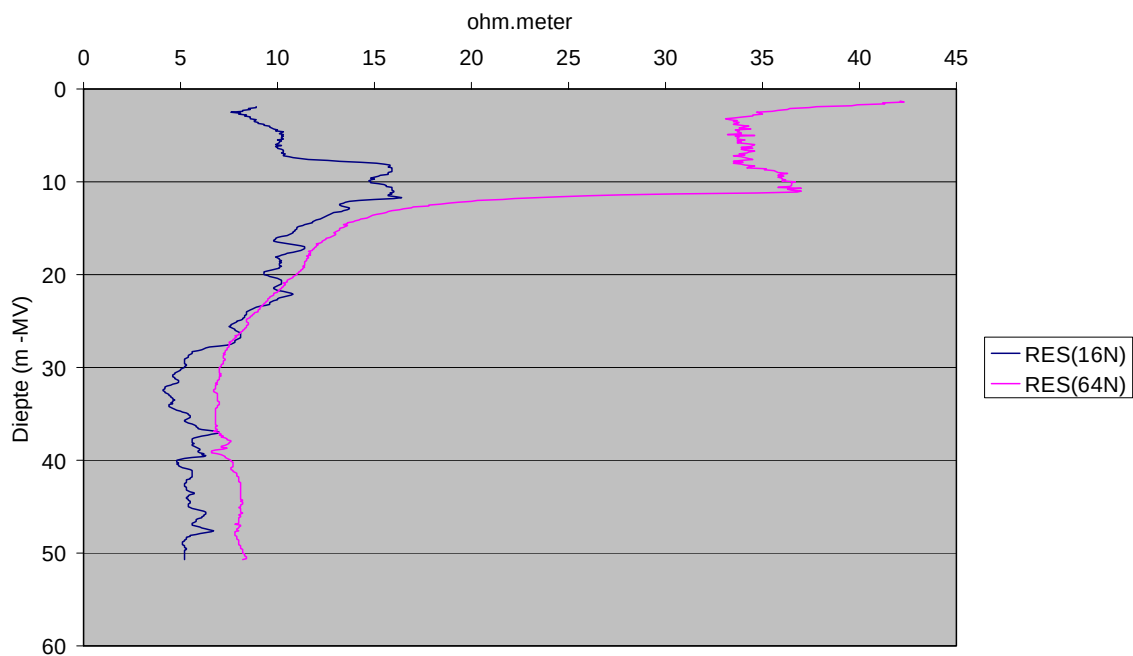
* x = zie grafiek hieronder

B.2 Grafieken

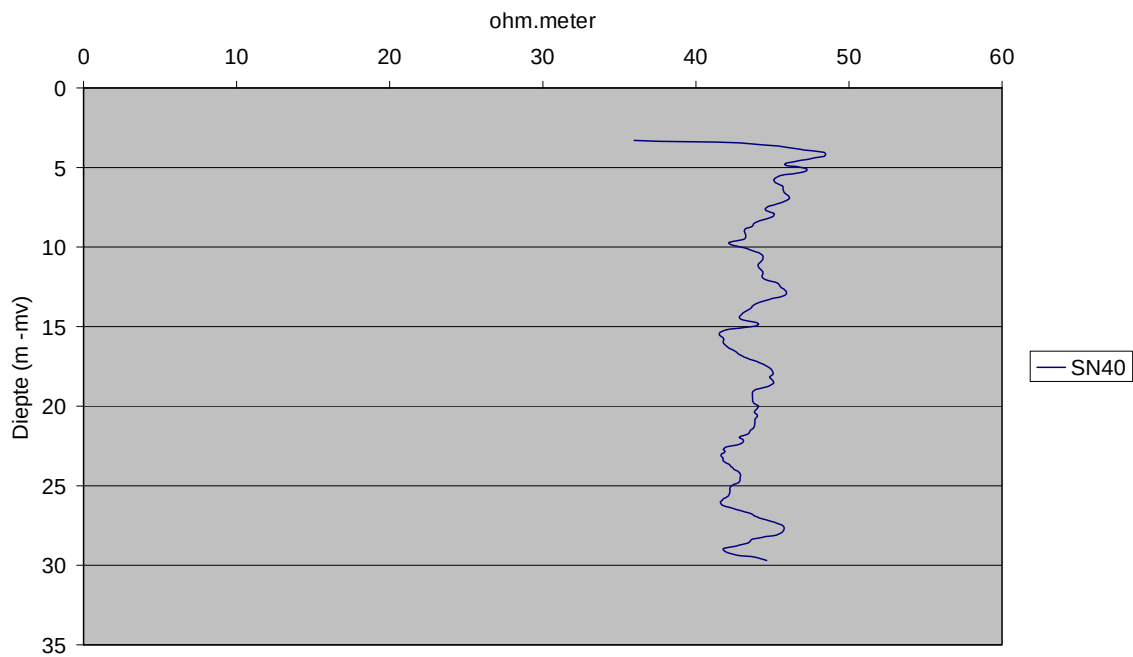
B.2.1 B19E0085



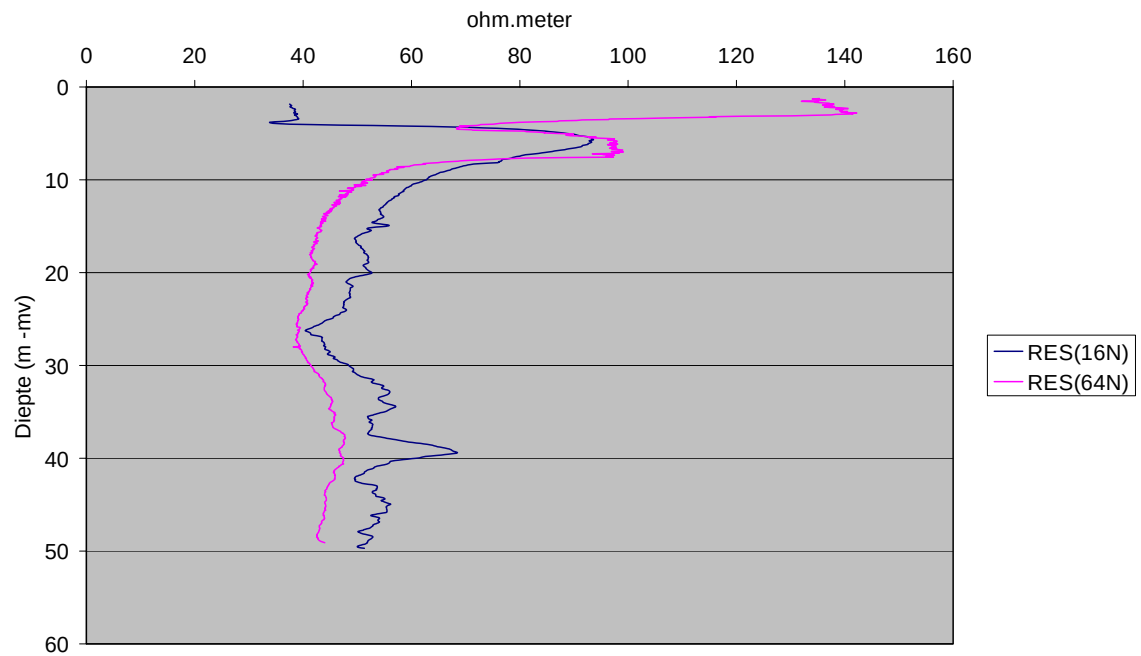
B.2.2 B25F0305



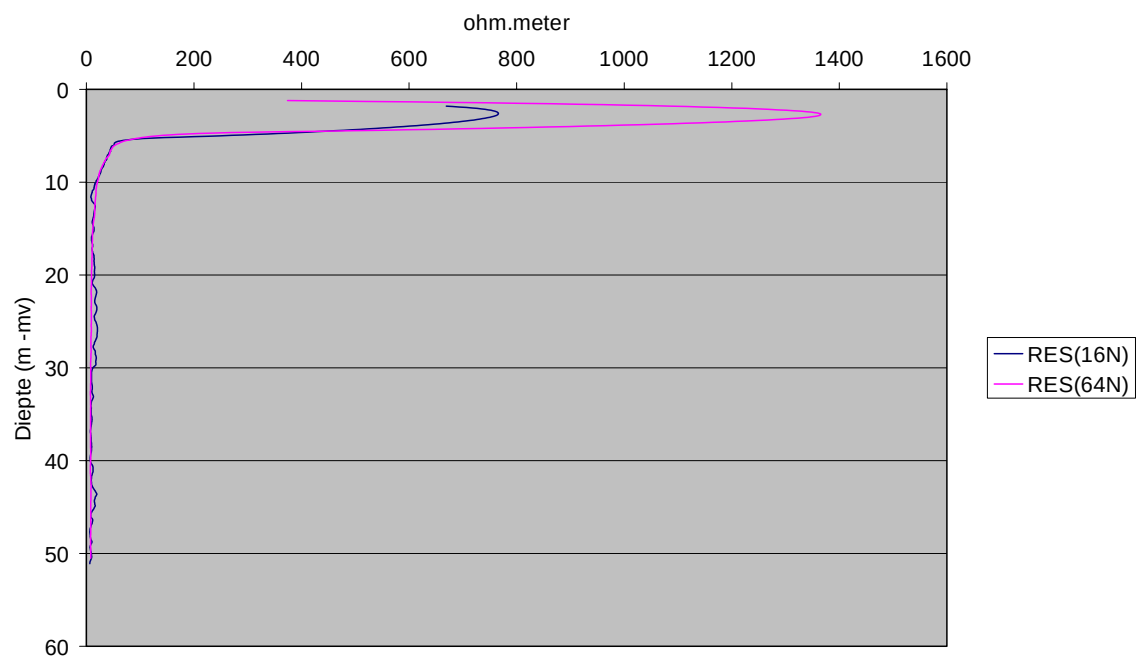
B.2.3 B25H0257



B.2.4 B25H0443



B.2.5 B26B0111



C Geselecteerde chemische analyses

C.1 Overzicht van chemische analyses; chloride en EC

NITG-nr	Filter	Boven- kant filter (cm –mv)	Onder- kant filter (cm –mv)	Deklaag	WVP1	Dieper dan WVP1	Monsternr	Datum	Cl- (g/m3)	Cl- (mg/l)	EC (mS/m)	EC (uS/cm)	EC-5 (mS/m)
B19E0030	1	895	995	x			C1977-05-1002	1977-05-02		4775	1250		
B19E0030	1	895	995	x			C1983-10-1205	1983-10-21		4810	1350		
B19E0030	2	1720	1820		x		C1977-05-1003	1977-05-02		24	85		
B19E0030	2	1720	1820		x		C1983-10-1206	1983-10-21		27	95		
B19E0035	1	900	1000	x			C1958-06-1032	1958-06-19		6300		1644.28	
B19E0035	1	900	1000	x			C1977-05-1010	1977-05-03		5884	1510		
B19E0035	1	900	1000	x			C1984-09-1106	1984-09-13		5800	1680		
B19E0035	2	1700	1800		x		C1958-06-1033	1958-06-19		65		129.87	
B19E0035	2	1700	1800		x		C1977-05-1011	1977-05-03		76	130		
B19E0035	2	1700	1800		x		C1984-09-1107	1984-09-13		59	138		
B19E0085	1	3974	4174		x		C1971-09-1080	1971-09-13		31		107.45	
B19E0085	1	3974	4174		x		C1977-10-1061	1977-10-24		22	103		
B19E0085	2	6474	6674		x		C1971-09-1068	1971-09-09		85		163.38	
B19E0085	2	6474	6674		x		C1977-10-1062	1977-10-24		81	160		
B19E0085	3	9074	9274		x		C1971-09-1081	1971-09-13		1930		665.05	
B19E0085	3	9074	9274		x		C1977-10-1063	1977-10-24		1678	570		
B19E0085	4	13274	13474		x		C1971-09-1026	1971-09-06		7830		2109.29	
B19E0085	4	13274	13474		x		C1977-10-1064	1977-10-24		7832	2050		
B19E0085	6	19074	19274		x		C1971-09-1027	1971-09-06		13750		3393.3	
B19E0085	6	19074	19274		x		C1977-10-1066	1977-10-24		13372	3160		
B19E0085	6	19074	19274		x		C1984-11-1212	1984-11-23		12250	3100		
B19E0085	9	32574	32774			x	C1971-09-1014	1971-09-02		9920		2550.21	
B19E0085	9	32574	32774			x	C1977-10-1069	1977-10-24		9054	2400		
B19E0085	9	32574	32774			x	C1984-11-1215	1984-11-23		9200	2340		
B19F0036	1	1865	1965		x		C1969-12-1042	1969-12-12		520			
B19F0036	3	4975	5075		x		C1969-12-1043	1969-12-12		296			
B19F0061	1	2082	2182		x		C1977-08-1086	1977-08-25		342	280		
B19F0061	2	3227	3327		x		C1977-08-1087	1977-08-25		401	284		
B19F0061	3	4987	5087		x		C1977-08-1088	1977-08-25		332	272		
B19H0042	1	3300	3400		x		C1943-03-1047	1943-03-30		152		123.9	
B19H0042	1	3300	3400		x		C1953-05-1029	1953-05-18		151		179.2	
B19H0042	1	3300	3400		x		C1957-08-1001	1957-08-01		145		185.37	
B19H0042	2	6040	6140		x		C1943-03-1046	1943-03-29		248		235.02	
B19H0042	2	6040	6140		x		C1953-05-1030	1953-05-18		242		216.79	
B19H0042	2	6040	6140		x		C1957-08-1002	1957-08-01		630		318.38	
B19H0064	1	1903	2003		x		C1957-03-1043	1957-03-29		616		336.61	
B19H0064	1	1903	2003		x		C1971-09-1055	1971-09-08		2700		873.46	
B19H0064	1	1903	2003		x		C1977-10-1074	1977-10-25		2492	800		
B19H0064	1	1903	2003		x		C1984-09-1094	1984-09-12		1970	740		
B19H0064	2	3103	3203		x		C1957-03-1044	1957-03-29		1103		479.78	
B19H0064	2	3103	3203		x		C1971-09-1056	1971-09-08		1900		680.75	
B19H0064	2	3103	3203		x		C1977-10-1075	1977-10-25		1873	650		
B19H0064	2	3103	3203		x		C1984-09-1095	1984-09-12		1670	677		
B19H0064	3	5903	6003		x		C1957-03-1045	1957-03-29		455		337.44	
B19H0064	3	5903	6003		x		C1971-09-1057	1971-09-08		460		353.99	
B19H0064	3	5903	6003		x		C1977-10-1076	1977-10-25		483	341		
B19H0064	3	5903	6003		x		C1984-09-1096	1984-09-12		550	377		
B19H0068	1	1310	1410	x			C1957-11-1001	1957-11-01		550		310.01	
B19H0068	1	1310	1410	x			C1977-09-1068	1977-09-15		777	370		
B19H0068	2	2360	2460		x		C1957-11-1002	1957-11-01		92		179.72	
B19H0068	2	2360	2460		x		C1977-09-1069	1977-09-15		81	185		
B19H0068	3	5910	6010		x		C1957-11-1003	1957-11-01		259		244.02	
B19H0068	3	5910	6010		x		C1977-09-1070	1977-09-15		251	240		

NITG-nr	Filter	Boven- kant filter (cm –mv)	Onder- kant filter (cm –mv)	Deklaag	WVP1	Dieper dan WVP1	Monsternr	Datum	Cl- (g/m3)	Cl- (mg/l)	EC (mS/m)	EC (uS/cm)	EC-5 (mS/m)
B19H0074	1	750	850	x			C1958-06-1001	1958-06-02		4710		1089.21	
B19H0074	1	750	850	x			C1970-12-1016	1970-12-04		5804			
B19H0074	2	1760	1860		x		C1958-06-1002	1958-06-02		580		318.38	
B19H0074	2	1760	1860		x		C1970-12-1017	1970-12-04		944			
B19H0074	2	1760	1860		x		C1985-11-1156	1985-11-29		1100	472		
B19H0076	1	675	775	x			C1971-12-1033	1971-12-08		6500		1659.99	
B19H0076	2	1175	1275	x			C1971-12-1034	1971-12-08		6780		1707.12	
B19H0076	3	1670	1770	x			C1971-12-1035	1971-12-08		3900		1059.88	
B19H0120	1	1900	2200		x		C1979-03-1064	1979-03-29		43	90.8		
B19H0153	1	946	1046	x			C1983-02-1001	1983-02-01		6700	1718		
B19H0153	2	1951	2051		x		C1983-02-1002	1983-02-01		2200	819		
B19H0153	3	3451	3551		x		C1983-02-1003	1983-02-01		3800	1178		
B19H0153	4	4854	4954		x		C1983-02-1004	1983-02-01		1950	695		
B20A0041	1	2290	2390		x		C1969-01-1001	1969-01-01		2260			
B20A0041	2	3990	4090		x		C1980-09-1107	1980-09-22		2180	780		
B20A0041	3	5450	5550		x		C1980-10-1061	1980-10-15		3075	990		
B20A0076	1	2059	2159		x		C1980-09-1108	1980-09-22		880	360		
B20A0090	1	1370	1470	x			C1985-09-1020	1985-09-03		675	365		
B20A0090	2	3088	3188		x		C1976-11-1043	1976-11-18		1427		565.55	
B20A0090	3	5342	5442		x		C1976-11-1044	1976-11-18		2038		607.44	
B20A0235	1	1350	1550	x			T1989-00-3296	1993-11-17		1496			
B20A0235	1	1350	1550	x			T1989-00-3296	1993-11-17					
B20A0235	1	1350	1550	x			C1993-11-1292	1993-11-17		1496.1			
B20A0235	1	1350	1550	x			C1993-11-8097	1993-11-17	1496.1				653
B20A0235	1	1350	1550	x			C1994-10-8189	1994-10-20	1575.3				660
B20A0235	1	1350	1550	x			C1994-10-1202	1994-10-20		1575.26			
B20A0235	1	1350	1550	x			C1995-10-8033	1995-10-04	1611.7				681.45
B20A0235	1	1350	1550	x			C1995-10-1028	1995-10-04		1611.66			
B20A0235	1	1350	1550	x			C1996-10-8067	1996-10-09	1659.7				700.92
B20A0235	1	1350	1550	x			C1996-10-1087	1996-10-09		1659.66			
B20B0039	3	5326	5426		x		C1976-10-1046	1976-10-19		2937		848.33	
B25F0038	1	2701	2801		x		C1943-04-1001	1943-04-01		4335		1235.83	
B25F0038	1	2701	2801		x		C1953-05-1018	1953-05-12		4290		1186.61	
B25F0038	2	5001	5101		x		C1943-04-1002	1943-04-01		2521		748.83	
B25F0055	1	2201	2301		x		C1957-06-1020	1957-06-21		3680		935.25	
B25F0055	1	2201	2301		x		C1980-10-1062	1980-10-15		3340	1136		
B25F0055	2	4496	4596		x		C1957-06-1021	1957-06-21		4660		1268.3	
B25F0055	2	4496	4596		x		C1980-10-1063	1980-10-15		4660	1463		
B25F0055	3	11901	12001		x		C1957-06-1022	1957-06-21		4990		1298.67	
B25F0055	4	16106	16206		x		C1957-06-1023	1957-06-21		6550		1718.64	
B25F0055	5	19538	19638		x		C1957-06-1024	1957-06-21		9310		2386.83	
B25F0055	6	23641	23741		x		C1957-06-1025	1957-06-21		10200		2590.01	
B25F0055	7	26826	26926		x		C1957-06-1026	1957-06-21		10580		2627.71	
B25F0055	8	29576	29676			x	C1957-06-1030	1957-06-25		9420		2373.22	
B25F0055	8	29576	29676			x	C1980-10-1064	1980-10-15		6220	1855		
B25F0057	1	2750	2850		x		C1957-09-1012	1957-09-09		3110		824.24	
B25F0057	1	2750	2850		x		C1971-07-1010	1971-07-02		4900			
B25F0057	2	4950	5050		x		C1957-09-1013	1957-09-09		2360		627.34	
B25F0057	2	4950	5050		x		C1971-07-1011	1971-07-02		2700			
B25F0058	2	10250	10350		x		C1980-10-1109	1980-10-22		4230	1184		
B25F0058	2	10250	10350		x		C1985-11-1105	1985-11-14		2000	700		
B25F0060	1	1190	1290		x		C1958-06-1009	1958-06-05		294		256.59	
B25F0060	1	1190	1290		x		C1971-07-1001	1971-07-01		298			
B25F0060	2	2920	3020		x		C1958-06-1010	1958-06-05		1160		446.16	
B25F0060	2	2920	3020		x		C1971-07-1002	1971-07-01		1392			
B25F0066	1	966	1066	x			C1971-08-1087	1971-08-31		1660		509	
B25F0066	2	2067	2167		x		C1959-05-1039	1959-05-25		910		318.38	
B25F0066	2	2067	2167		x		C1971-08-1072	1971-08-30		1000		362.37	
B25F0066	3	4200	4300		x		C1959-05-1040	1959-05-25		1480		443.01	
B25F0066	3	4200	4300		x		C1971-08-1088	1971-08-31		1230		433.59	
B25F0066	3	4200	4300		x		C1980-10-1116	1980-10-23		1400	518		

NITG-nr	Filter	Boven- kant filter (cm –mv)	Onder- kant filter (cm –mv)	Deklaag	WVP1	Dieper dan WVP1	Monsternr	Datum	Cl- (g/m3)	Cl- (mg/l)	EC (mS/m)	EC (uS/cm)	EC-5 (mS/m)
B25F0071	1	2789	2889		x		C1966-11-1004	1966-11-04		1827		586.5	
B25F0071	2	3902	4002		x		C1966-11-1005	1966-11-04		1872		617.92	
B25F0071	2	3902	4002		x		C1981-06-1061	1981-06-04		2140	687		
B25F0071	3	4926	5026		x		C1966-11-1002	1966-11-03		1907		617.92	
B25F0072	1	2384	2484		x		C1966-12-1028	1966-12-19		1518		553.72	
B25F0072	1	2399	2499		x		C1980-11-1037	1980-11-06		1500	577		
B25F0072	2	3909	4009		x		C1966-12-1029	1966-12-19		3659		1056.74	
B25F0072	2	3924	4024		x		C1980-11-1038	1980-11-06		3350	1013		
B25F0072	3	4899	4999		x		C1966-12-1027	1966-12-16		5367		1518.61	
B25F0072	3	4914	5014		x		C1980-11-1039	1980-11-06		5700	1602		
B25F0078	1	597	697	x			C1968-06-1026	1968-06-14		132		195.85	
B25F0078	1	597	697	x			C1980-10-1111	1980-10-22		36	123		
B25F0078	1	597	697	x			C1985-12-1126	1985-12-21		170	168		
B25F0078	2	2792	2892		x		C1968-06-1027	1968-06-14		1090		362.37	
B25F0078	3	5097	5197		x		C1971-08-1073	1971-08-30		3370		915.35	
B25F0078	3	5097	5197		x		C1980-10-1112	1980-10-22		3500	988		
B25F0079	1	1113	1213	x			C1968-06-1041	1968-06-20		6124		1492.42	
B25F0079	1	1127	1227	x			C1981-06-1062	1981-06-04		4800	1367		
B25F0079	2	1783	1883		x		C1968-06-1042	1968-06-20		2162		571.83	
B25F0079	2	1797	1897		x		C1981-06-1063	1981-06-04		2320	690		
B25F0079	3	4653	4753		x		C1968-06-1043	1968-06-20		2627		658.55	
B25F0080	1	1059	1159	x			C1968-07-1009	1968-07-04		5714		1403.4	
B25F0080	1	1059	1159	x			C1980-10-1117	1980-10-23		4450	1300		
B25F0080	1	1119	1219	x			C1985-11-1107	1985-11-14		3300	1005		
B25F0080	4	2444	2544		x		C1980-10-1118	1980-10-23		2260	716		
B25F0080	4	2504	2604		x		C1985-11-1108	1985-11-14		1700	570		
B25F0080	5	4934	5034		x		C1968-07-1011	1968-07-04		1616		497.47	
B25F0080	5	4934	5034		x		C1980-10-1119	1980-10-23		1950	639		
B25F0080	5	4994	5094		x		C1985-11-1109	1985-11-14		2150	745		
B25F0136	1	2080	2180		x		C1977-01-1111	1977-01-01		3074	997.5		
B25F0136	1	2080	2180		x		C1979-04-1116	1979-04-24		3190		937.14	
B25G0195	1	1000	1100		x		C1980-10-1131	1980-10-28		1600	621		
B25G0195	2	4000	4100		x		C1957-07-1038	1957-07-15		1935		551.94	
B25G0195	3	7800	7900		x		C1957-07-1039	1957-07-15		3260		851.47	
B25G0303	1	2380	2480		x		C1966-11-1024	1966-11-21		409		300.58	
B25G0303	2	3565	3665		x		C1966-11-1020	1966-11-18		561		204.75	
B25G0303	3	4925	5025		x		C1966-11-1021	1966-11-18		793		251.98	
B25H0087	1	1850	1950		x		C1957-07-1009	1957-07-03		2050		558.22	
B25H0087	1	1850	1950		x		C1980-10-1133	1980-10-28		2300		71	
B25H0087	2	5850	5950		x		C1957-07-1010	1957-07-03		3510		892.84	
B25H0122	1	900	1000	x			C1960-09-1005	1960-09-05		265		129.87	
B25H0122	1	994	1094	x			C1981-11-1095	1981-11-19		260	131		
B25H0122	2	3700	3800	x			C1960-09-1003	1960-09-02		250		112.06	
B25H0122	2	3794	3894	x			C1981-11-1096	1981-11-19		1180	351		
B25H0122	3	4800	4900	x			C1960-09-1004	1960-09-02		248		108.92	
B25H0122	3	4894	4994	x			C1981-11-1097	1981-11-19		620	240		
B25H0148	1	596	696	x			C1967-01-1058	1967-01-31		521		230.2	
B25H0148	1	596	696	x			C1984-07-1150	1984-07-19		145	92		
B25H0148	2	2311	2411		x		C1967-01-1059	1967-01-31		1108		346.87	
B25H0148	2	2311	2411		x		C1984-07-1151	1984-07-19		525	231		
B25H0148	3	4656	4756		x		C1967-01-1060	1967-01-31		1394		422.28	
B25H0148	3	4656	4756		x		C1984-07-1152	1984-07-19		750	297		
B25H0195	1	1187	1287		x		C1973-12-1026	1973-12-18		2880		712.17	
B25H0195	1	1187	1287		x		C1981-06-1124	1981-06-23		1990	645		
B25H0195	2	2491	2591		x		C1973-12-1027	1973-12-18		3440		858.8	
B25H0195	3	4794	4894		x		C1973-12-1028	1973-12-18		6520		1570.97	
B25H0195	3	4794	4894		x		C1981-06-1125	1981-06-23		5250	1490		
B25H0210	1	894	994		x		C1974-10-1002	1974-10-02		242		117.3	
B25H0443	1	300	500		x		T1989-00-3455	1997-06-05		42		752	
B25H0443	1	300	500		x		T1989-00-3455	1997-06-05					
B25H0443	2	1200	1300		x		T1989-00-3456	1997-06-05		75		1082	

NITG-nr	Filter	Boven- kant filter (cm –mv)	Onder- kant filter (cm –mv)	Deklaag	WVP1	Dieper dan WVP1	Monsternr	Datum	Cl- (g/m3)	Cl- (mg/l)	EC (mS/m)	EC (uS/cm)	EC-5 (mS/m)
B25H0443	2	1200	1300		x		T1989-00-3456	1997-06-05					
B25H0443	3	3300	3400		x		T1989-00-3457	1997-06-05		217		1150	
B25H0443	3	3300	3400		x		T1989-00-3457	1997-06-05					
B25H0443	4	4600	4700		x		T1989-00-3458	1997-06-05		213		1274	
B25H0443	4	4600	4700		x		T1989-00-3458	1997-06-05					
B26A0013	1	2100	2200		x		C1960-04-1005	1960-04-06		2720		839.95	
B26A0013	2	2500	2600		x		C1960-04-1006	1960-04-06		2840		872.41	
B26A0013	3	4600	4700		x		C1960-04-1002	1960-04-05		4100		1162.52	
B26A0013	3	4611	4711		x		C1981-07-1091	1981-07-09		4740	1306		
B26A0018	1	4900	5000		x		C1962-06-1009	1962-06-13		3960		1187.66	
B26A0018	1	4900	5000		x		C1965-12-1046	1965-12-28		3830		1063.02	
B26A0018	1	4894	4994		x		C1967-11-1029	1967-11-24		3665		1045.64	
B26A0018	2	7400	7500		x		C1962-06-1010	1962-06-13		4200		1272.49	
B26A0018	2	7400	7500		x		C1965-12-1047	1965-12-28		3780		1047.32	
B26A0018	2	7394	7494		x		C1967-11-1030	1967-11-24		4084		1156.24	
B26A0018	2	7394	7494		x		C1981-07-1092	1981-07-09		5200	1406		
B26A0018	3	9900	10000		x		C1962-06-1011	1962-06-13		5440		1508.13	
B26A0018	3	9900	10000		x		C1965-12-1048	1965-12-28		4660		1319.62	
B26A0018	3	9894	9994		x		C1967-11-1031	1967-11-24		5030		1427.49	
B26A0018	3	9894	9994		x		C1981-07-1093	1981-07-09		5400	1493		
B26A0018	4	12400	12500		x		C1962-06-1012	1962-06-13		289		119.71	
B26A0018	4	12400	12500		x		C1965-12-1049	1965-12-28		369		126.73	
B26A0018	4	12394	12494		x		C1967-11-1032	1967-11-24		673		216.79	
B26A0018	4	12394	12494		x		C1981-07-1094	1981-07-09		340	124		
B26A0018	5	14900	15000		x		C1962-06-1013	1962-06-13		386		146.1	
B26A0018	5	14900	15000		x		C1965-12-1050	1965-12-28		434		146.62	
B26A0018	5	14894	14994		x		C1967-11-1033	1967-11-24		444		144.53	
B26A0036	1	1917	2017		x		C1967-01-1021	1967-01-03		99		59.49	
B26A0036	2	2967	3067		x		C1967-01-1022	1967-01-03		70		51.11	
B26A0036	2	2967	3067		x		C1981-07-1095	1981-07-09		67	49		
B26A0036	3	4567	4667		x		C1967-01-1023	1967-01-03		55		31.63	
B26A0036	3	4567	4667		x		C1981-07-1096	1981-07-09		75	48		
B26A0038	1	966	1066	x			C1967-06-1023	1967-06-20		303		203.18	
B26A0038	1	966	1066	x			C1981-09-1015	1981-09-02		440	237		
B26A0038	2	2376	2476		x		C1967-06-1024	1967-06-20		2286		751.76	
B26A0038	2	2376	2476		x		C1981-09-1016	1981-09-02		1780	669		
B26A0038	3	2981	3081		x		C1967-06-1025	1967-06-20		2708		863.51	
B26A0038	3	2981	3081		x		C1981-09-1017	1981-09-02		2430	822		

C.2 Ca, K, Mg, Na, HCO₃ en SO₄

NITG_NR	Filter	Monsternr	Datum	Ca (g/m3)	Ca (mg/l)	HCO ₃ (g/m3)	HCO ₃ (mg/l)	K (g/m3)	K (mg/l)	Mg (g/m3)	Mg (mg/l)	Na (g/m3)	Na (mg/l)	SO ₄ (g/m3)	SO ₄ (mg/l)
B19E0030	1	C1977-05-1002	1977-05-02		579		1252		53		310		2300		1
B19E0030	1	C1983-10-1205	1983-10-21		580		1165		63		92		2300		<1
B19E0030	2	C1977-05-1003	1977-05-02		86.6		651		30		53		22		3
B19E0030	2	C1983-10-1206	1983-10-21		245		635		30		49		24		<1
B19E0035	1	C1958-06-1032	1958-06-19		662.3		1450				282		3300		30.1
B19E0035	1	C1977-05-1010	1977-05-03		614		1531		72		341		3100		15
B19E0035	1	C1984-09-1106	1984-09-13		600		1500		84		310		3000		35
B19E0035	2	C1958-06-1033	1958-06-19		75.8		915				78.8		108		0
B19E0035	2	C1977-05-1011	1977-05-03		90.7		914		38		75.4		100		11
B19E0035	2	C1984-09-1107	1984-09-13		96		880		38		65		110		8
B19E0085	1	C1971-09-1080	1971-09-13		67		715				49.2		120		14.4
B19E0085	1	C1977-10-1061	1977-10-24		55.1		763		26		54.3		100		2
B19E0085	2	C1971-09-1068	1971-09-09		60		1025				37.2		290		18.3
B19E0085	2	C1977-10-1062	1977-10-24		70		1135		23		35.2		290		2
B19E0085	3	C1971-09-1081	1971-09-13		68		1425				55.2		1680		199
B19E0085	3	C1977-10-1063	1977-10-24		61.8		1354		16		142		1350		1
B19E0085	4	C1971-09-1026	1971-09-06		340		1965				414		4750		414
B19E0085	4	C1977-10-1064	1977-10-24		303		1964		97		478		4600		380
B19E0085	6	C1971-09-1027	1971-09-06		400		535				828		7600		1188
B19E0085	6	C1977-10-1066	1977-10-24		297		1168		230		901		7550		1420
B19E0085	6	C1984-11-1212	1984-11-23		360		1040		290		730		7200		1500
B19E0085	9	C1971-09-1014	1971-09-02		270		475				480		5660		788
B19E0085	9	C1977-10-1069	1977-10-24		218		532		95		532		5650		713
B19E0085	9	C1984-11-1215	1984-11-23		200		645		115		405		5400		465
B19F0036	1	C1969-12-1042	1969-12-12												
B19F0036	3	C1969-12-1043	1969-12-12												
B19F0061	1	C1977-08-1086	1977-08-25		91		1503		19		34.7		590		4
B19F0061	2	C1977-08-1087	1977-08-25		115		1469		18		21.5		600		1
B19F0061	3	C1977-08-1088	1977-08-25		50.8		1528		17		39		620		5
B19H0042	1	C1943-03-1047	1943-03-30		100		1308				97.6		269		10.5
B19H0042	1	C1953-05-1029	1953-05-18		22.1		1226		43.2		130		213		1
B19H0042	1	C1957-08-1001	1957-08-01		96.7		1290				92.5		290		0
B19H0042	2	C1943-03-1046	1943-03-29		52.8		1451				30.1		582		4.1
B19H0042	2	C1953-05-1030	1953-05-18		47.8		1400		18.1		24.6		553		0
B19H0042	2	C1957-08-1002	1957-08-01		168		1312				154		380		2.8
B19H0064	1	C1957-03-1043	1957-03-29		116.2		1587				123.8		527		0
B19H0064	1	C1971-09-1055	1971-09-08		228		1590				221		1575		14.6
B19H0064	1	C1977-10-1074	1977-10-25		235		1550		65		210		1400		3
B19H0064	1	C1984-09-1094	1984-09-12		180		1495		75		180		1200		16
B19H0064	2	C1957-03-1044	1957-03-29		159.2		1714				136.7		857		0
B19H0064	2	C1971-09-1056	1971-09-08		192		1650				204		1130		13
B19H0064	2	C1977-10-1075	1977-10-25		200		1597		70		212		1050		1
B19H0064	2	C1984-09-1095	1984-09-12		185		1530		77		195		980		16
B19H0064	3	C1957-03-1045	1957-03-29		86.1		1873				67.1		760		6.4
B19H0064	3	C1971-09-1057	1971-09-08		84		1870				52.8		785		19.8
B19H0064	3	C1977-10-1076	1977-10-25		90		1850		18		57.5		780		2
B19H0064	3	C1984-09-1096	1984-09-12		94		1805		23		60		820		14
B19H0068	1	C1957-11-1001	1957-11-01		155.8		1462				188.6		268		5.4
B19H0068	1	C1977-09-1068	1977-09-15		160		1390		68		225		240		1
B19H0068	2	C1957-11-1002	1957-11-01		90		1330				108		182		8.2
B19H0068	2	C1977-09-1069	1977-09-15		82.3		1314		46		115		130		5
B19H0068	3	C1957-11-1003	1957-11-01		46		1410				30.2		575		8.2
B19H0068	3	C1977-09-1070	1977-09-15		32.4		1404		14		36.2		560		<1
B19H0074	1	C1958-06-1001	1958-06-02		247.4		1120				269.2		2630		4.5
B19H0074	1	C1970-12-1016	1970-12-04												
B19H0074	2	C1958-06-1002	1958-06-02		109.7		1575				87		610		2.3
B19H0074	2	C1970-12-1017	1970-12-04												
B19H0074	2	C1985-11-1156	1985-11-29		115		1480		55		150		780		11

NITG_NR	Filter	Monsternr	Datum	Ca (g/m3)	Ca (mg/l)	HCO3 (g/m3)	HCO3 (mg/l)	K (g/m3)	K (mg/l)	Mg (g/m3)	Mg (mg/l)	Na (g/m3)	Na (mg/l)	SO4 (g/m3)	SO4 (mg/l)
B19H0076	1	C1971-12-1033	1971-12-08		240		1270				450		3650		51.9
B19H0076	2	C1971-12-1034	1971-12-08		220		1240				456		3840		138
B19H0076	3	C1971-12-1035	1971-12-08		210		1650				324		2230		8.2
B19H0120	1	C1979-03-1064	1979-03-29		55.8		517.9		54.99		30.8		25.07		13.92
B19H0153	1	C1983-02-1001	1983-02-01		230		1570		155		485		3550		125
B19H0153	2	C1983-02-1002	1983-02-01		215		1765		82		230		1400		11
B19H0153	3	C1983-02-1003	1983-02-01		380		1530		62		335		1950		23
B19H0153	4	C1983-02-1004	1983-02-01		155		1675		46		135		1400		12
B20A0041	1	C1969-01-1001	1969-01-01												
B20A0041	2	C1980-09-1107	1980-09-22		385		1560		56		13		1160		2
B20A0041	3	C1980-10-1061	1980-10-15		520		795		20		12		1430		8
B20A0076	1	C1980-09-1108	1980-09-22		185		855		36		99		420		21
B20A0090	1	C1985-09-1020	1985-09-03		235		835		28		95		520		560
B20A0090	2	C1976-11-1043	1976-11-18		255		1637		34		147		800		1
B20A0090	3	C1976-11-1044	1976-11-18		521		429		70		51		550		4
B20A0235	1	T1989-00-3296	1993-11-17		126		2184		58.8		154		1293		6
B20A0235	1	T1989-00-3296	1993-11-17												
B20A0235	1	C1993-11-1292	1993-11-17		125.56		2183.9		58.85		153.8 1		1292. 6		6.29
B20A0235	1	C1993-11-8097	1993-11-17	125.6		2183.9		58.846		153.8		1292.6		6.292	
B20A0235	1	C1994-10-8189	1994-10-20	153.5		2299.2		55.913		150.7		1318.5		3.237	
B20A0235	1	C1994-10-1202	1994-10-20		153.51		2299.2		55.91		150.7 5		1318. 5		3.24
B20A0235	1	C1995-10-8033	1995-10-04	142.5		2388.3		58.728		166.4		1382.2		0.288	
B20A0235	1	C1995-10-1028	1995-10-04		142.46		2388.3		58.73		166.3 8		1382. 2		0.29
B20A0235	1	C1996-10-8067	1996-10-09	134.7				61.739		176.2		1412.4		<0.096	
B20A0235	1	C1996-10-1087	1996-10-09		134.65				61.74		176.1 5		1412. 4		<.1
B20B0039	3	C1976-10-1046	1976-10-19		283		609		36		133		1600		64
B25F0038	1	C1943-04-1001	1943-04-01		388		1416				306		2260		
B25F0038	1	C1953-05-1018	1953-05-12		384		1360		3.91		285		2270		0
B25F0038	2	C1943-04-1002	1943-04-01		316		980				111		1265		
B25F0055	1	C1957-06-1020	1957-06-21		440		1110				213.6		1825		14.8
B25F0055	1	C1980-10-1062	1980-10-15		465		1170		48		225		1680		28
B25F0055	2	C1957-06-1021	1957-06-21		420		1245				298		2430		13.2
B25F0055	2	C1980-10-1063	1980-10-15		550		1200		48		265		2320		9
B25F0055	3	C1957-06-1022	1957-06-21		704.4		227				258.4		2240		483.3
B25F0055	4	C1957-06-1023	1957-06-21		634		664				330		3320		416
B25F0055	5	C1957-06-1024	1957-06-21		460		595				580		5170		937
B25F0055	6	C1957-06-1025	1957-06-21		598.6		439				579.8		5490		1128
B25F0055	7	C1957-06-1026	1957-06-21		503.7		500				673.8		5710		956
B25F0055	8	C1957-06-1030	1957-06-25		589.4		342				630.8		4820		1050
B25F0055	8	C1980-10-1064	1980-10-15		135		645		72		375		3320		17
B25F0057	1	C1957-09-1012	1957-09-09		249.2		830				206.3		1640		54.6
B25F0057	1	C1971-07-1010	1971-07-02												
B25F0057	2	C1957-09-1013	1957-09-09		259.6		598				137.8		1210		54.5
B25F0057	2	C1971-07-1011	1971-07-02												
B25F0058	2	C1980-10-1109	1980-10-22		805		395		19		145		1620		170
B25F0058	2	C1985-11-1105	1985-11-14		330		980		29		125		1080		8
B25F0060	1	C1958-06-1009	1958-06-05		89.2		1550				121.3		380		5.3
B25F0060	1	C1971-07-1001	1971-07-01												
B25F0060	2	C1958-06-1010	1958-06-05		171.4		1165				160.8		750		4.1
B25F0060	2	C1971-07-1002	1971-07-01												
B25F0066	1	C1971-08-1087	1971-08-31		220		980				202		750		10.9
B25F0066	2	C1959-05-1039	1959-05-25		210		878				119		450		4.1
B25F0066	2	C1971-08-1072	1971-08-30		208		880				129		470		13.8
B25F0066	3	C1959-05-1040	1959-05-25		230.7		793				94.9		800		
B25F0066	3	C1971-08-1088	1971-08-31		238		955				133		620		9.8
B25F0066	3	C1980-10-1116	1980-10-23		295		945		29		120		670		11
B25F0071	1	C1966-11-1004	1966-11-04		250		1080				174		952		18.25
B25F0071	2	C1966-11-1005	1966-11-04		264		1116				153.6		1012		2.1
B25F0071	2	C1981-06-1061	1981-06-04		350		1055		35		125		1030		42

NITG_NR	Filter	Monsternr	Datum	Ca (g/m3)	Ca (mg/l)	HCO3 (g/m3)	HCO3 (mg/l)	K (g/m3)	K (mg/l)	Mg (g/m3)	Mg (mg/l)	Na (g/m3)	Na (mg/l)	SO4 (g/m3)	SO4 (mg/l)
B25F0071	3	C1966-11-1002	1966-11-03		268		1086				158.4		1017		6
B25F0072	1	C1966-12-1028	1966-12-19		140		1464				120		1127		47.08
B25F0072	1	C1980-11-1037	1980-11-06		175		1445		33		110		1020		24
B25F0072	2	C1966-12-1029	1966-12-19		240		1171				173		2213		1.2
B25F0072	2	C1980-11-1038	1980-11-06		110		1100		31		205		2020		50
B25F0072	3	C1966-12-1027	1966-12-16		410		1122				276		2960		107.9
B25F0072	3	C1980-11-1039	1980-11-06		410		1020		45		305		3050		200
B25F0078	1	C1968-06-1026	1968-06-14		256		592				82.6		117		556
B25F0078	1	C1980-10-1111	1980-10-22		200		605		13		56		28		285
B25F0078	1	C1985-12-1126	1985-12-21		275		535		17		47		46		365
B25F0078	2	C1968-06-1027	1968-06-14		188		848		10		108		565		10.7
B25F0078	3	C1971-08-1073	1971-08-30		232		560				192		1886		92.9
B25F0078	3	C1980-10-1112	1980-10-22		260		565		45		210		1740		34
B25F0079	1	C1968-06-1041	1968-06-20		368		836		200		638.4		2720		248.2
B25F0079	1	C1981-06-1062	1981-06-04		230		925		78		250		2650		230
B25F0079	2	C1968-06-1042	1968-06-20		246		775		80		156		1030		8.7
B25F0079	2	C1981-06-1063	1981-06-04		410		730		20		90		1100		42
B25F0079	3	C1968-06-1043	1968-06-20		422		665		40		140.4		1150		4.3
B25F0080	1	C1968-07-1009	1968-07-04		424		891		310		216		2950		158.2
B25F0080	1	C1980-10-1117	1980-10-23		220		870		74		210		2550		210
B25F0080	1	C1985-11-1107	1985-11-14		150		995		63		135		2060		61
B25F0080	4	C1980-10-1118	1980-10-23		330		955		36		130		1050		19
B25F0080	4	C1985-11-1108	1985-11-14		340		975		26		110		790		12
B25F0080	5	C1968-07-1011	1968-07-04		298		1025		40		114		800		2.7
B25F0080	5	C1980-10-1119	1980-10-23		340		920		33		120		910		7
B25F0080	5	C1985-11-1109	1985-11-14		165		1665		62		190		1350		9
B25F0136	1	C1977-01-1111	1977-01-01												
B25F0136	1	C1979-04-1116	1979-04-24		298		1090		61.5		244		1566		<5
B25G0195	1	C1980-10-1131	1980-10-28		430		1320		35		140		600		8
B25G0195	2	C1957-07-1038	1957-07-15		472.4		673				35.4		915		3.3
B25G0195	3	C1957-07-1039	1957-07-15		240.2		1005				181.7		1890		16.1
B25G0303	1	C1966-11-1024	1966-11-21		188		1586				98.4		409		2.5
B25G0303	2	C1966-11-1020	1966-11-18		214		427				39.6		207		3.3
B25G0303	3	C1966-11-1021	1966-11-18		228		265				38.4		299		7.2
B25H0087	1	C1957-07-1009	1957-07-03		364.6		360				80.9		890		2.9
B25H0087	1	C1980-10-1133	1980-10-28		395		405		11		78		1000		13
B25H0087	2	C1957-07-1010	1957-07-03		526.8		215				159.7		1640		360
B25H0122	1	C1960-09-1005	1960-09-05		88		196				22.2		158		117.4
B25H0122	1	C1981-11-1095	1981-11-19		110		353		17		34		125		65
B25H0122	2	C1960-09-1003	1960-09-02		71		161				28.4		92		89.4
B25H0122	2	C1981-11-1096	1981-11-19		58		344		23		115		660		74
B25H0122	3	C1960-09-1004	1960-09-02		13.6		161				26		163		75.6
B25H0122	3	C1981-11-1097	1981-11-19		26		227		37		5		440		85
B25H0148	1	C1967-01-1058	1967-01-31		109.6		675		37		40.8		340		8.2
B25H0148	1	C1984-07-1150	1984-07-19		42		273		7		30		115		76
B25H0148	2	C1967-01-1059	1967-01-31		167.2		298		7.8		48.9		525		19.6
B25H0148	2	C1984-07-1151	1984-07-19		83		343		4		20		390		160
B25H0148	3	C1967-01-1060	1967-01-31		227.2		194		15		61.4		630		140
B25H0148	3	C1984-07-1152	1984-07-19		91		336		6		26		510		175
B25H0195	1	C1973-12-1026	1973-12-18		344		458				107		1456		49.4
B25H0195	1	C1981-06-1124	1981-06-23		280		490		12		83		1000		29
B25H0195	2	C1973-12-1027	1973-12-18		376		314				144		1750		240
B25H0195	3	C1973-12-1028	1973-12-18		200		293				348		3786		735
B25H0195	3	C1981-06-1125	1981-06-23		195		285		100		350		2800		615
B25H0210	1	C1974-10-1002	1974-10-02		67		271				18.6		193		98.3
B25H0443	1	T1989-00-3455	1997-06-05		48		402		11.9		22		82		50
B25H0443	1	T1989-00-3455	1997-06-05												
B25H0443	2	T1989-00-3456	1997-06-05		153		478		14		39		30		135
B25H0443	2	T1989-00-3456	1997-06-05												
B25H0443	3	T1989-00-3457	1997-06-05		64		224		14.5		23		134		91
B25H0443	3	T1989-00-3457	1997-06-05												

NITG_NR	Filter	Monsternr	Datum	Ca (g/m3)	Ca (mg/l)	HCO3 (g/m3)	HCO3 (mg/l)	K (g/m3)	K (mg/l)	Mg (g/m3)	Mg (mg/l)	Na (g/m3)	Na (mg/l)	SO4 (g/m3)	SO4 (mg/l)
B25H0443	4	T1989-00-3458	1997-06-05		64		324		19.7		37		145		97
B25H0443	4	T1989-00-3458	1997-06-05												
B26A0013	1	C1960-04-1005	1960-04-06		200.2		1135				187		1575		2.3
B26A0013	2	C1960-04-1006	1960-04-06		208.2		1140				192		1660		3.9
B26A0013	3	C1960-04-1002	1960-04-05		288.3		933				200.4		2330		87.8
B26A0013	3	C1981-07-1091	1981-07-09		235		1050		86		275		2600		58
B26A0018	1	C1962-06-1009	1962-06-13		204		1380				262		2340		4
B26A0018	1	C1965-12-1046	1965-12-28		218		1025				236		2160		26.93
B26A0018	1	C1967-11-1029	1967-11-24		204		1007		60		225.6		2082		9
B26A0018	2	C1962-06-1010	1962-06-13		264		1630				293		2490		8
B26A0018	2	C1965-12-1047	1965-12-28		211		915				251		2120		36.94
B26A0018	2	C1967-11-1030	1967-11-24		200		1165		50		249.6		2397		14.4
B26A0018	2	C1981-07-1092	1981-07-09		280		1580		95		315		3000		<1
B26A0018	3	C1962-06-1011	1962-06-13		316		1510				326		3080		26
B26A0018	3	C1965-12-1048	1965-12-28		256		1550				295		2810		84.85
B26A0018	3	C1967-11-1031	1967-11-24		272		1680		70		310.8		3013		6.2
B26A0018	3	C1981-07-1093	1981-07-09		305		1360		86		350		3100		38
B26A0018	4	C1962-06-1012	1962-06-13		65.4		179				15.7		165		30
B26A0018	4	C1965-12-1049	1965-12-28		60.6		210				18.2		214		9.63
B26A0018	4	C1967-11-1032	1967-11-24		90		284		4		36		373		6.8
B26A0018	4	C1981-07-1094	1981-07-09		59		199		9		8		190		8
B26A0018	5	C1962-06-1013	1962-06-13		102		192				17		179		9
B26A0018	5	C1965-12-1050	1965-12-28		105.2		197				16.8		202		6.34
B26A0018	5	C1967-11-1033	1967-11-24		94		198		10		15.6		215		3.9
B26A0036	1	C1967-01-1021	1967-01-03		68.8		259		2		9.1		54.5		3.3
B26A0036	2	C1967-01-1022	1967-01-03		56.8		227		3.3		9.4		49		2.2
B26A0036	2	C1981-07-1095	1981-07-09		45		202		3		4		65		8
B26A0036	3	C1967-01-1023	1967-01-03		42.8		177		1.4		5.2		40.1		1.2
B26A0036	3	C1981-07-1096	1981-07-09		45		170		3		4		53		10
B26A0038	1	C1967-06-1023	1967-06-20		168		398		20		66.2		240		487.4
B26A0038	1	C1981-09-1015	1981-09-02		150		500		25		42		295		180
B26A0038	2	C1967-06-1024	1967-06-20		140		1378		63		170.4		1442		2.3
B26A0038	2	C1981-09-1016	1981-09-02		130		1440		66		140		1200		2
B26A0038	3	C1967-06-1025	1967-06-20		170		1165		24		183.6		1625		3.1
B26A0038	3	C1981-09-1017	1981-09-02		105		1270		67		175		1530		3

D Korte beschrijving MOCDENS3D

MOCDENS3D

De softwarecode die gebruikt wordt voor dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming en gekoppeld stoftransport is MOCDENS3D (Oude Essink, 1998, 2000; Vugt *et al.*, 2003). De code is gebaseerd op de volgende twee codes, die volledig geïntegreerd zijn: 1. MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1988) aangepast voor dichtheidafhankelijke grondwaterstroming, en 2. MOC3D (Konikow *et al.*, 1996) voor de verplaatsing van zoet, brak en zout grondwater. De code is een samenvoeging van state-of-the-art software op het gebied van zowel grondwaterstroming als stoftransport. Met MOCDENS3D is het mogelijk niet-stationaire stroming van zoet, brak en zout grondwater te modelleren. Deze code bestaat uit een module voor grondwater en een module voor stoftransport die aan elkaar gekoppeld zijn. Voorafgaand is MOCDENS3D toegepast in een flink aantal zoet-zout studies in Nederland.

Dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming

In het grondwatersysteem van de Nederlandse kust is de dichtheidsverdeling in de kustzone zodanig dat er rekening moet worden gehouden met het effect van dichtheidverschillen op de grondwaterstroming. Omdat zout grondwater zwaarder is dan zoet (of brak) grondwater, beïnvloedt het de stroming van water in de ondergrond. Zo kan zout grondwater in een natuurlijk hydrogeologisch systeem (dus zonder externe spanningen als onttrekkingen of peilverlagingen) door drukverschillen zoet grondwater wegdrücken (de welbekende zoutwaterintrusie in watervoerende pakketten). Aan de andere kant kan zoet grondwater, doordat het lichter is, juist op het zoute grondwater blijven drijven en in grote mate een min of meer geïsoleerd grondwatersysteem in stand houden. Zo drijft in het Nederlandse duingebied zoet grondwater (dichtheid van 1000 kg/m^3) op zout grondwater (dichtheid van ongeveer 1022 kg/m^3), in de vorm van een zoetwaterlens.

Correcties naar zoetwaterstijghoogte

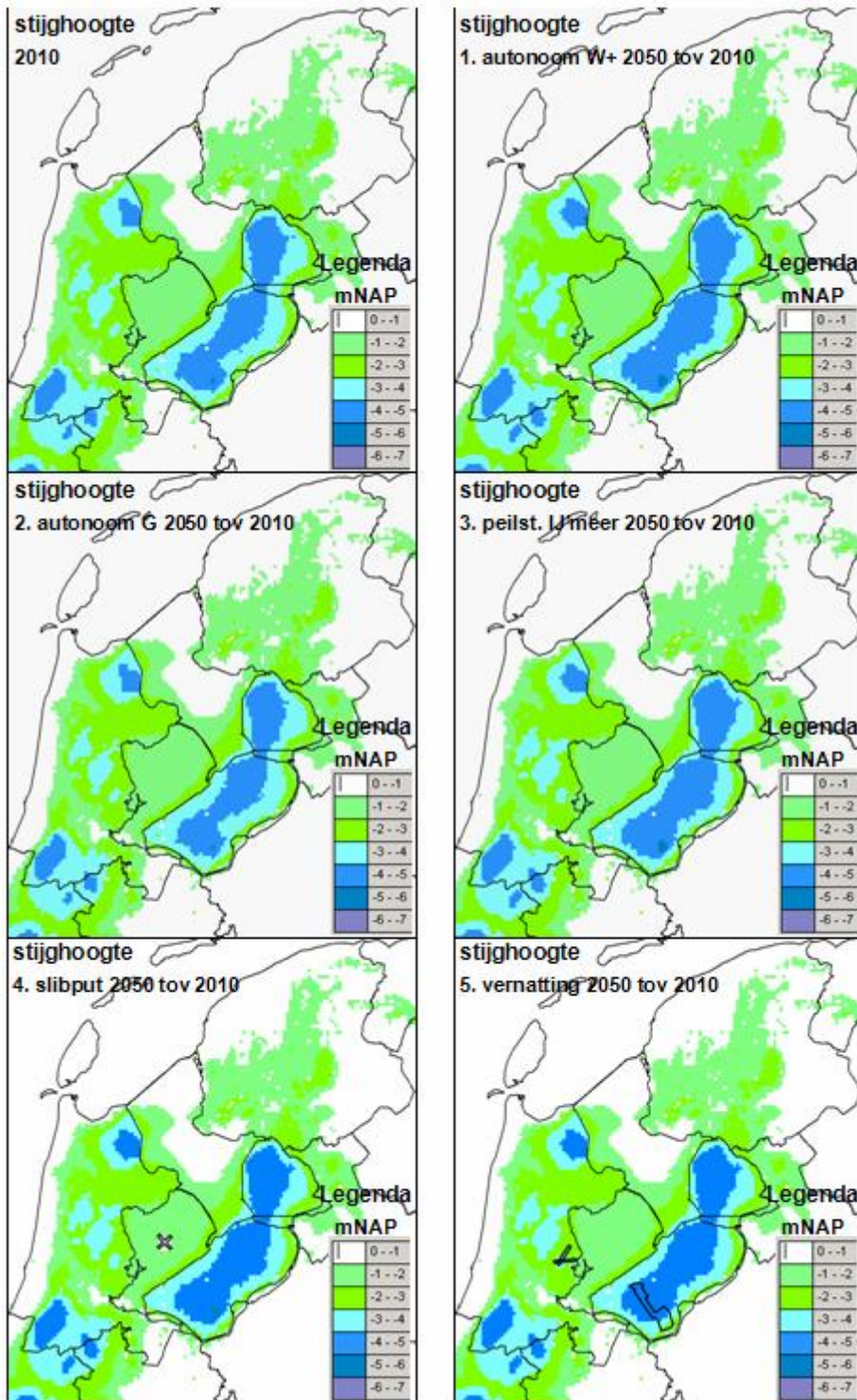
Terwijl onder normale omstandigheden (d.w.z. met een dichtheid van zoet grondwater) gewerkt kan worden met 'gewone' stijghoogten, moet je in een situatie met zoet, brak en zout grondwater alles omrekenen naar drukken. Opgeloste stoffen in het grondwater verhogen namelijk de druk. De meeste hydro(geo)logen vinden het werken met stijghoogte echter prettiger. Daarom worden alle gemeten stijghoogten waar het grondwater niet zoet is gecorrigeerd voor de dichtheid. Om dit aspect mee te nemen moet de stijghoogte worden omgerekend naar een zogenaamde equivalente *zoetwaterstijghoogte*. De zoetwaterstijghoogte is eigenlijk een fictieve parameter zonder fysische betekenis. De fysische interpretatie van zoetwaterstijghoogten patronen is niet gemakkelijk. Zo staan zoetwaterstijghoogten niet meer loodrecht op stroomlijnen als de dichtheid varieert, en betekent een gradiënt in zoetwaterstijghoogte niet automatisch dat er stroming van grondwater optreedt. De noodzakelijke correcties voor de dichtheid kunnen significant zijn: een filterbuis gevuld met 20 m zout grondwater heeft een equivalente zoetwaterstijghoogte van 20.5 m: een verschil van 0.5m (Santing, 1980; Oude Essink, 2001; Post *et al.*, 2007).

- Oude Essink, G. H. P. 2001. Density dependent groundwater flow: salt water intrusion and heat transport. Utrecht University, Institute of Earth Sciences, The Netherlands.
- Post, V.E.A., H. Kooi, C.T. Simmons. 2007. Using Hydraulic Head Measurements in Variable-Density Ground Water Flow Analyses. Ground Water: DOI 10.1111/j.1745-6584.2007.00339.x

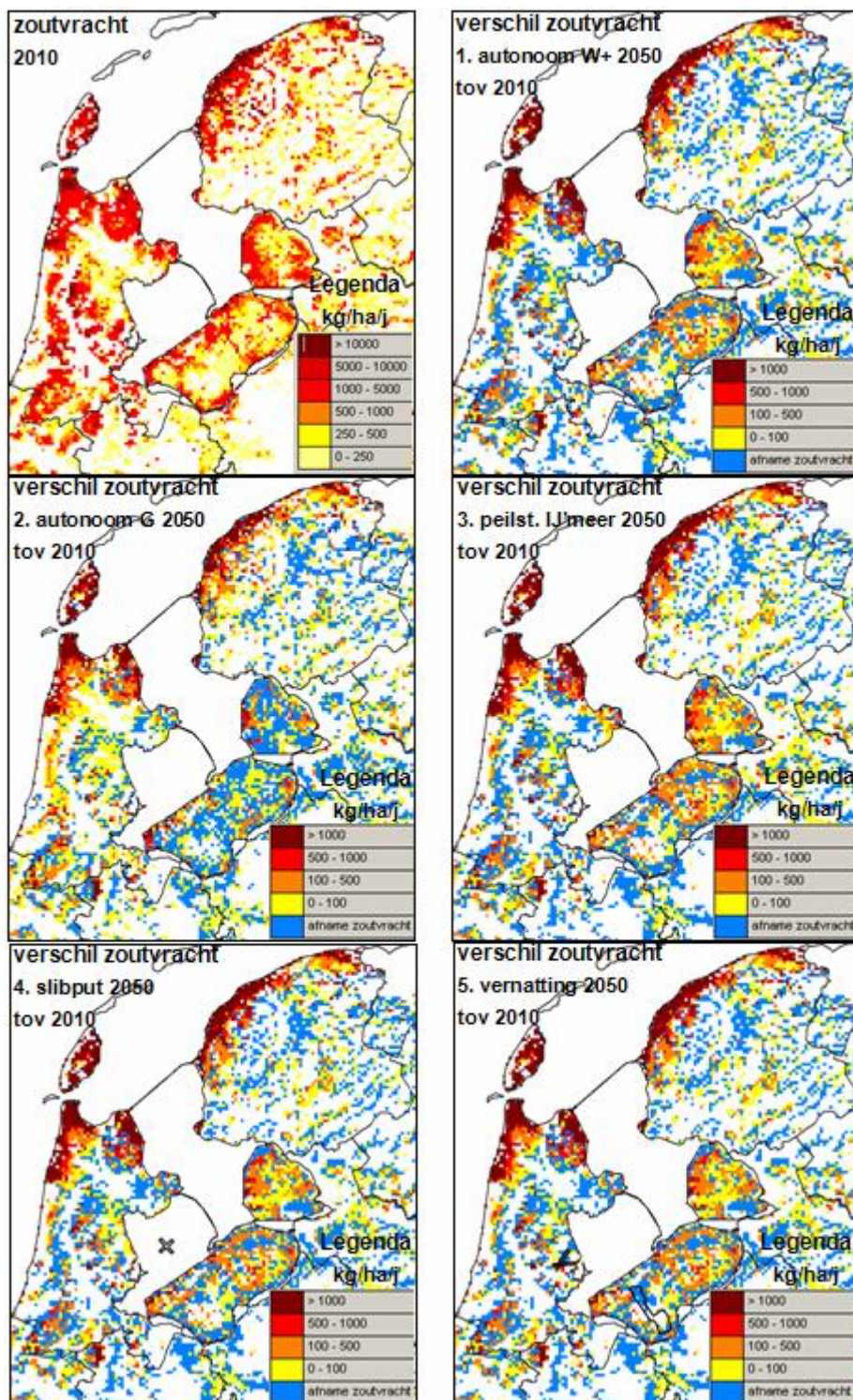
Santing, G. 1980. Een probleem bij de stroming van zoet en zout grondwater: de correcties op de stijghoogten. H2O 13(22): 544-548.

E Berekeningsresultaten regionale modellering

E.1 Stijghoogte eerste watervoerend pakket



E.2 Zoutvracht naar het oppervlaktewater



F Chloride concentratie patronen scheidende lagen in enkele profielen (Oude Essink *et al.*, 2007)

