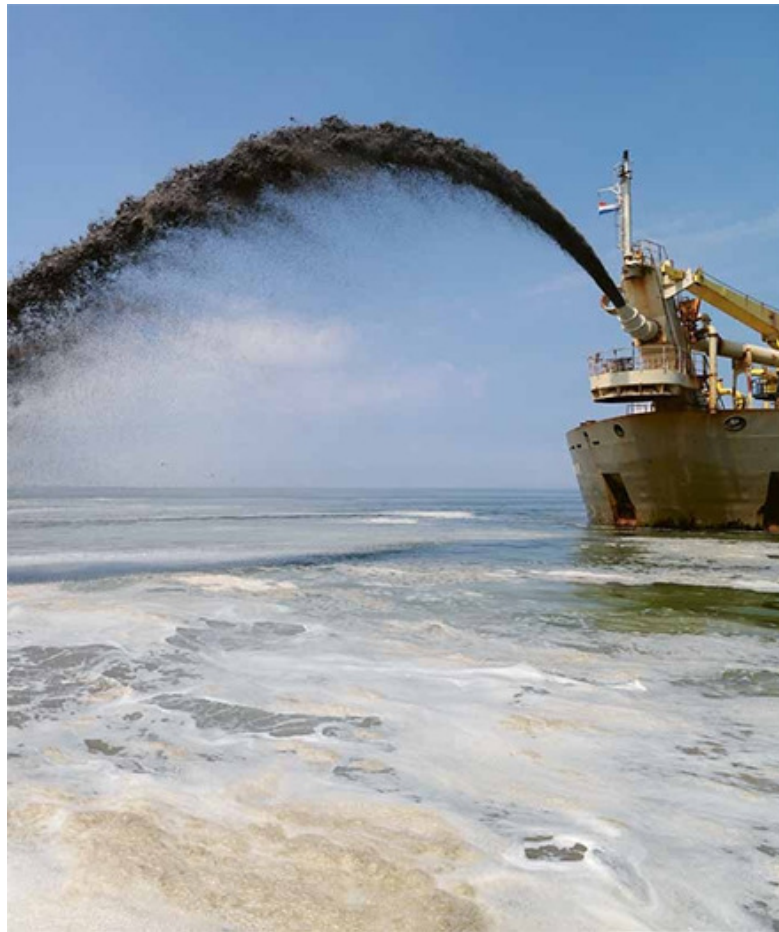


# Definitieve rapportage

## Effecten zandsuppleties 2010/2011



Rijkswaterstaat

december 2014  
definitief



# Definitieve rapportage

## Effecten zandsuppleties 2010/2011

dossier : BA7539  
registratienummer : LW-AF20140409  
versie : definitief  
classificatie : Klant vertrouwelijk

Rijkswaterstaat

december 2014  
definitief



## INHOUD

## BLAD

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel project	6
1.3	Voorgaande analyseronden	6
1.4	Aanpak	7
1.5	Leeswijzer	7
2	NUMERIEKE MODELLERING	9
2.1	Doel en aanpak	9
2.2	Bodemopbouw en geohydrologie Ameland	10
2.3	Jarkus-raaien en zandsuppleties	11
2.4	Geohydrologische modelschematisatie	18
2.5	Resultaten modellering	19
2.6	Conclusies numerieke modellering	23
3	TIJDREEKSANALYSE	27
3.1	Doel en aanpak	27
3.2	Selectie peilbuizen en meetreeksen	27
3.3	Methodiek tijdreeksanalyse	32
3.4	Verklarende variabelen	33
3.5	Resultaten	36
3.6	Conclusies tijdreeksanalyse	46
4	ECOLOGISCHE EFFECTEN	47
4.1	Doel en aanpak	47
4.2	Afbakening gevoelige natuurwaarden	47
4.3	Beoordeling ecologische effecten	50
4.4	Conclusies ecologische effecten	52
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	55
5.1	Hydrologische effecten	55
5.2	Ecologische effecten	56
5.3	Aanbevelingen	58
6	BRONNEN	59
7	COLOFON	61

## BIJLAGEN

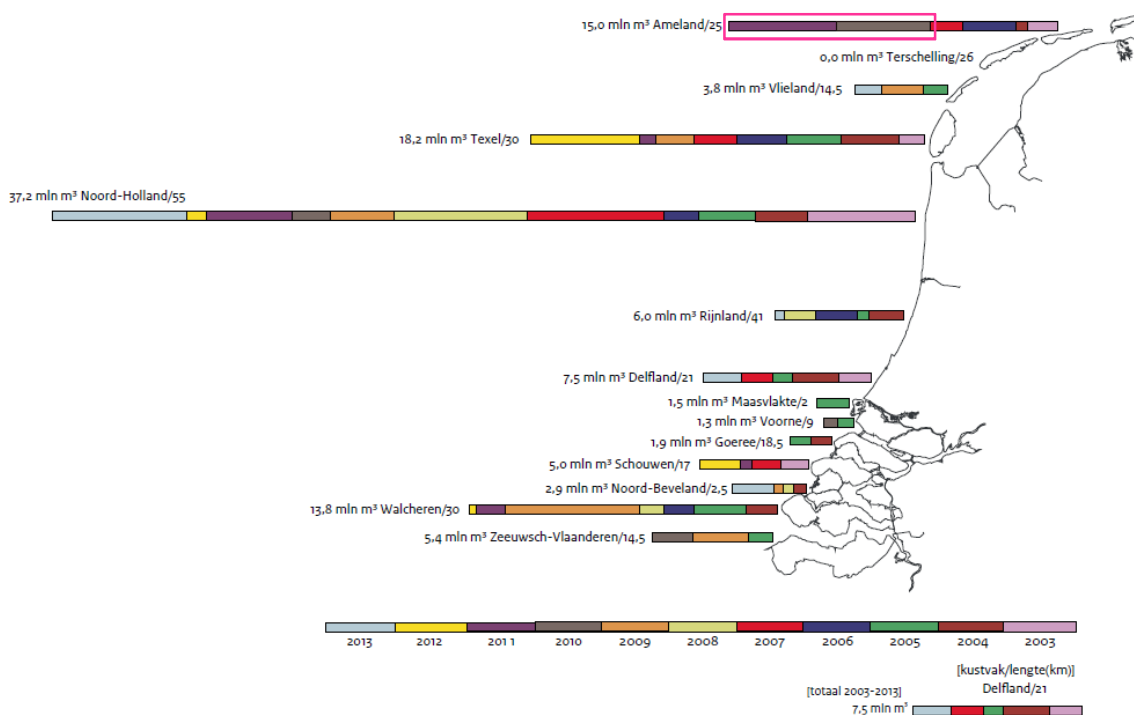
1	Gemiddelde grondwaterstand raai 1 en raai 3
2	Tijdreeksmodellen zonder trend
3	Tijdreeksmodellen met trend



# 1 INLEIDING

## 1.1 Aanleiding

Rijkswaterstaat voert sinds 1990 jaarlijks zandsuppleties uit om structurele erosie van de Nederlandse kust tegen te gaan. Hieraan ligt de keuze ten grondslag om de basiskustlijn (BKL) en het kustfundament te behouden. Figuur 1 toont de suppletiehoeveelheden van 2003 tot en met 2013 per kustvak. In 2010 en 2011 is op Ameland in totaal 9 miljoen kubieke meter zand gesuppleerd. De zandsuppleties veroorzaken een tijdelijke verbreding van de kust. Afhankelijk van de grootte van de kustverbreding zorgt dit voor een toename van de drainageweerstand van het grondwater in de duinen en een zeewaartse verplaatsing van de waterscheiding. Hierdoor treedt in theorie een verhoging van de grondwaterstand op. Ook kan dit op langere termijn leiden tot een toename van de zoetwaterbel in de duinen. Naast deze mogelijke effecten op langere termijn, is er op korte termijn als gevolg van de suppletiewerkzaamheden een verhoging van de grondwaterstand mogelijk door de hogere waterdrukken op het strand bij het opspuiten van zand.



**Figuur 1 Suppletiehoeveelheden per jaar voor verschillende delen van de Nederlandse kust, roze kader = zandsuppletie Ameland 2010 / 2011 (bron: kustlijkaarten 2013, Rijkswaterstaat)**

Voor het uitvoeren van deze werkzaamheden op Ameland heeft Rijkswaterstaat een Natuurbeschermingswet (NB-wet) vergunning gekregen. In deze vergunning is als voorwaarde opgenomen dat de grondwaterstanden in de vochtige duinvalleien gemonitord moeten worden. Het doel van de monitoring is het vaststellen of en hoe de grondwaterstanden door de uitvoering van de zandsuppleties op Ameland in 2010 en 2011 zijn beïnvloed, en in hoeverre de veranderingen in de grondwaterstanden doorwerken in het behoud of de ontwikkeling van kwetsbare vochtige duinvalleien. Zowel de effecten op korte termijn als op lange termijn dienen inzichtelijk gemaakt te worden.

## 1.2 Doel project

Dit project bestaat uit het uitwerken en analyseren van grondwaterstandsmetingen opdat inzichtelijk gemaakt kan worden of er effecten optreden op de grondwaterstanden als gevolg van de zandsuppletie van 2010 / 2011, en of deze effecten doorwerken op de waterhuishouding van de vochtige duinvalleien op Ameland. Daarnaast is Rijkswaterstaat geïnteresseerd in het effect van zandsuppleties op grondwaterstanden en ecologische randvoorwaarden in het algemeen, met het oog op toekomstige suppletiewerkzaamheden.

Het project dient in eerste instantie antwoord te geven op de vraag:

- Wat is het effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 op het grondwatersysteem en de vochtige duinvalleien op Ameland op de korte en lange termijn?

Daarnaast hoopt Rijkswaterstaat met dit onderzoek een beter antwoord te kunnen geven op de vraag:

- Welk algemeen effect treedt er op als gevolg van deze zandsuppleties, en wat moet worden onderzocht bij de uitvoering en vergunning voor toekomstige suppletiewerkzaamheden?

Rijkswaterstaat heeft Vitens gevraagd om op basis van hun hydrologische kennis een meetnetadvies op te stellen voor Ameland. In 2011 is op basis van dit advies een meetnet ingericht door Rijkswaterstaat. In dit project worden de meetresultaten van dit meetnet geïnterpreteerd. De resultaten van het monitoringsonderzoek moeten uiteindelijk gerapporteerd worden aan het Ministerie van Economische Zaken (voorheen Ministerie van Economische Zaken, Landbouw & Innovatie), en kunnen worden benut in NB-wet vergunningaanvragen voor toekomstige suppleties en in N2000 beheerplanprocessen voor duingebieden.

## 1.3 Voorgaande analyseronden

Het monitoringsonderzoek bestaat uit meerdere analyseronden. In 2012, één jaar na de suppletiewerkzaamheden van 2010/2011, zijn de gemiddelde grondwaterstanden in de referentieperiode (2000 - 2010) beschreven in de T0-analyse (Royal HaskoningDHV en KWR, 2012). In 2012 is het effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 onderzocht aan de hand van de op dat moment beschikbare meetreeksen. Dit is de T1-analyse (Royal HaskoningDHV en KWR, 2012). Naast meetreeksen van de grondwaterstand zijn in de T1-analyse resultaten van andere onderzoeken meegenomen, zoals het Sky-Tem onderzoek waarmee de vorm van de zoetwaterbel onder Ameland in beeld is gebracht. Uit de T1-analyse kwamen de volgende bevindingen:

- Met behulp van tijdreeksanalyse wordt over het algemeen verhogingen van de grondwaterstand in de periode na de zandsuppletie geconstateerd, maar de onzekerheid op de analyseresultaten is groot.
- Het maximale langetermijneffect van de zandsuppletie wordt op basis van de tijdreeksanalyse geschat op een verhoging van 0,15 m.
- Omdat er geen effect van de zandsuppleties op de waterhuishouding van de natte duinvalleien is aangetoond, kan het effect op de vegetatiesamenstelling niet worden beoordeeld.
- Er is geen kortstondig effect van de zandsuppletie op de grondwaterstanden zichtbaar.

In 2013 is een tweede analyseronde gedaan door Royal HaskoningDHV, de T2-analyse. In deze analyseronde is enkel het hydrologische effect onderzocht. Er is opnieuw een tijdreeksanalyse gedaan met behulp van de op dat moment beschikbare meetreeksen. De conclusies wijken niet af van de T1-analyse: het maximale langetermijneffect van de zandsuppletie wordt geschat op een verhoging van 0,15 m.



## 1.4 Aanpak

In de voorgaande analyseronden is onderzocht of er een effect kan worden aangetoond van de zandsuppleties op de gemeten grondwaterstanden op Ameland. Hierbij is geconstateerd dat de gevolgde methode een aantal beperkingen kent:

- de gemeten grondwaterstanden bevatten meetfouten en andere bronnen van 'ruis' die de verklarende waarde van de tijdreeksmodellering negatief beïnvloeden.
- de dekking van de meetpunten is beperkt, er zijn slechts enkele meetpunten aanwezig op de locaties waar redelijkerwijs een effect van de zandsuppleties kan worden verwacht.

Door deze beperkingen blijft de betrouwbaarheid van de analyseresultaten relatief laag, en is het lastig om uitsluitel te geven over het maximaal te verwachten effect. Daarom is er in deze eindanalyse voor gekozen om naast de tijdreeksanalyse een numerieke modellering toe te passen. Hiermee is het maximaal verwachte effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 berekend.

Voor de numerieke modellering is gebruik gemaakt van morfologische meetgegevens die zijn ontsloten via de Kustviewer ([www.kustviewer.nl](http://www.kustviewer.nl)). Dit is een website waarop meetgegevens en beleidsthema's met betrekking tot de Nederlandse kust worden gepubliceerd. De website is ontwikkeld en wordt beheerd door Deltares, in opdracht van Rijkswaterstaat. Met behulp van de morfologische meetgegevens is de maximale kustverbreding als gevolg van de zandsuppletie geschematiseerd. Hiermee is vervolgens het maximale effect op de grondwaterstanden berekend.

Net als in de voorgaande analyseronden is vervolgens een tijdreeksanalyse toegepast op alle peilbuizen binnen het interessegebied, de duinen van Ameland. Hierbij is gebruik gemaakt van de meest recente meetgegevens van de grondwaterstand en de verklarende variabelen neerslag en verdamping.

Uiteindelijk is met het resultaat van de numerieke modellering (het maximaal verwachte effect) en het resultaat van de tijdreeksanalyse (het gemeten effect) het effect op de ecologische randvoorwaarden in de vochtige duinvalleien van Ameland onderzocht.

## 1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de opzet en de resultaten van de numerieke modellering besproken. In hoofdstuk 3 worden de werkwijze en de resultaten van de tijdreeksanalyse besproken. Hoofdstuk 4 beschrijft welke effecten op natuurwaarden zouden kunnen optreden, uitgaande van de hydrologische effecten die volgen uit zowel de numerieke modellering als uit de tijdreeksanalyse. Conclusies over hydrologische en ecologische effecten worden besproken in hoofdstuk 5. Ook worden in hoofdstuk 5 aanbevelingen gedaan voor effectonderzoek bij suppletiewerkzaamheden.



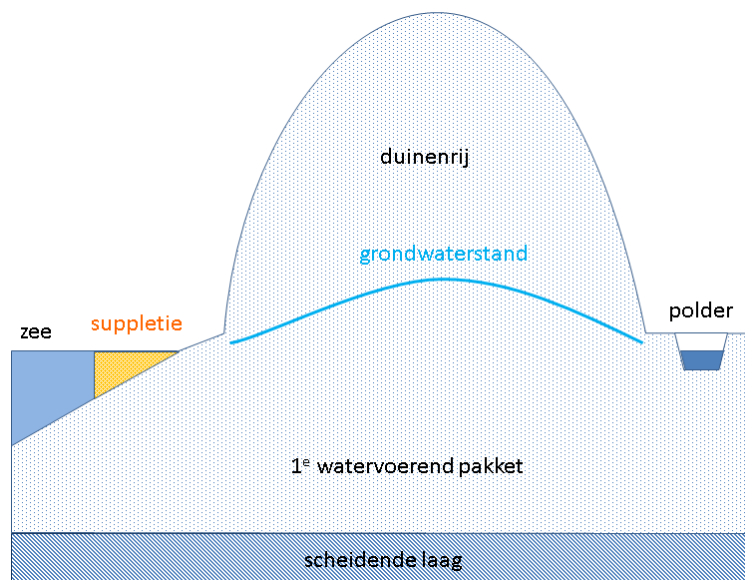
## 2 NUMERIEKE MODELLERING

### 2.1 Doel en aanpak

Om een beter antwoord te kunnen geven op de vraag of zandsuppleties een effect hebben op de grondwaterstanden in de duinvalleien van Ameland is in dit onderzoek gebruik gemaakt van een numerieke modellering. Hiermee wordt het maximaal verwachte effect van de zandsuppleties van 2010/2011 berekend. Dit kan worden gebruikt om de resultaten van de tijdreeksanalyse te duiden.

Met behulp van het softwarepakket Triwaco-Flairs, ontwikkeld door Royal HaskoningDHV, is een vereenvoudigd grondwatermodel opgezet. Het betreft een dwarsdoorsnede van de duinenrij en het strand van Ameland. Het modeldomein loopt van enige afstand van de kust tot aan de rand van de polder. Het is een 2D dwarsdoorsnedemodel, wat wil zeggen dat variaties in de bodemopbouw en randvoorwaarden in de richting dwars op de raai niet worden geschematiseerd. Zie voor een conceptuele weergave Figuur 2. In de duinen is sprake van een opbolling van de grondwaterstand. Aan de Noordzeekant (links) wordt deze begrensd door het zeepil. Aan de binnenduinrand (rechts) wordt de opbolling begrensd door het polderpeil. Het watervoerend pakket staat in direct contact met de duinenrij. De scheidende laag hieronder wordt in dit model als hydrologische basis aangehouden. Een strandsuppletie (geel in Figuur 2) zorgt voor een verbreding van de duinenrij. Dat leidt tot een toename van de drainageweerstand aan de Noordzeekant, waardoor de opbolling van de grondwaterstand zal toenemen. Het verwachte effect van de suppletie is dus een verhoging van de grondwaterstand. Met het model is alleen het verwachte effect van de strandsuppleties van 2010/2011 onderzocht. Naar verwachting is het effect van vooroever en onderwatersuppleties op de grondwaterstand veel kleiner dan het effect van een strandsuppletie. De reden hiervoor is dat vooroever- en onderwatersuppleties boven de vloedlijn geen effect hebben.

Hieronder worden eerst de uitgangspunten van de numerieke modellering beschreven: de bodemopbouw en geohydrologie (paragraaf 2.2) en de zandsuppleties aan de hand van Jarkus-metingen en vaklodingen (paragraaf 2.3). Vervolgens worden de modelschematisatie en de resultaten besproken.



Figuur 2 Conceptueel dwarsdoorsnedemodel

## 2.2 Bodemopbouw en geohydrologie Ameland

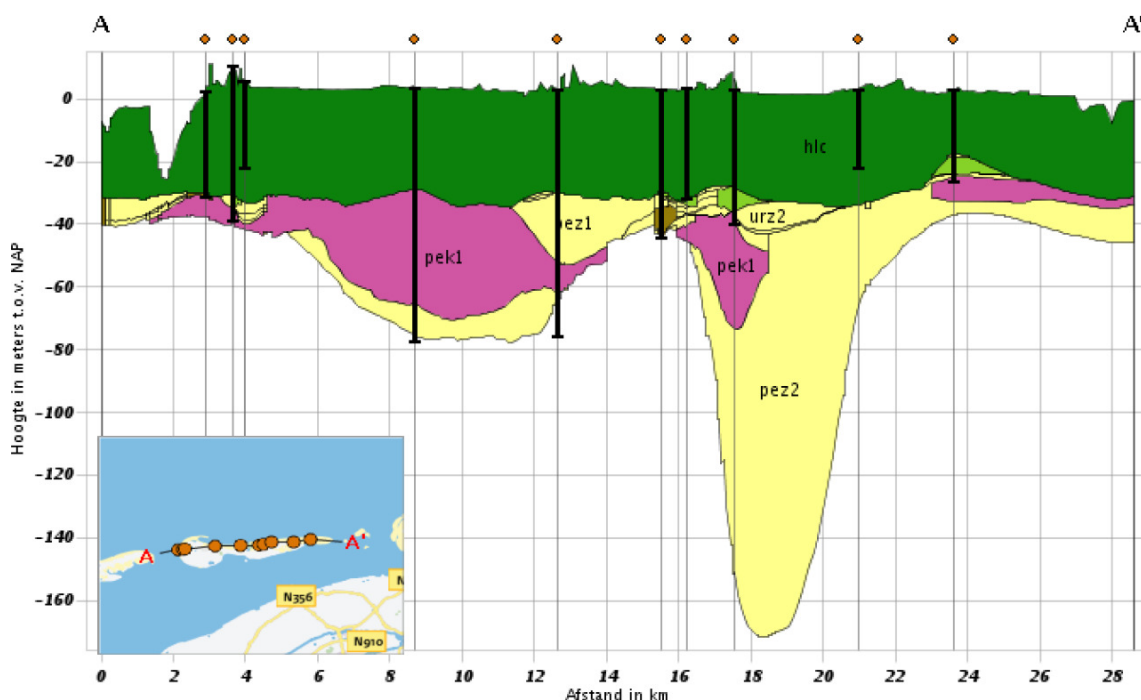
In 1987 heeft het TNO een inventarisatie gemaakt van geohydrologische gegevens van de Waddeneilanden. Dit is gedaan in het kader van het opstellen van de Grondwaterkaart van Nederland. In het hele waddengebied vormen de Holocene afzettingen van de formatie van Naaldwijk de belangrijkste aquifer. Vroeger werd deze formatie de Westland Formatie genoemd. Deze ligt op de eilanden aan maaiveld, de ondergrens van deze formatie ligt rond NAP - 30 m. De formatie bestaat uit matig fijn zand met inschakelingen van kleiige sedimenten.

De bodemopbouw van Ameland wordt weergegeven in de dwarsdoorsneden in Figuur 3. Dit is een weergave van het geohydrologisch ondergrondmodel REGIS (versie II.1, TNO, 2008). De Holocene deklaag van de formatie van Naaldwijk wordt aangeduid met "hlc". De onderkant ligt rond NAP - 30 m. Aan de westkant van het eiland wordt deze begrensd door een slecht doorlatende kleilaag van de formatie van Peelo (Pleistoceen). In het midden en aan de oostkant van het eiland is deze kleilaag niet aanwezig en ligt de Holocene deklaag direct op zanden van de formatie van Peelo. Lokaal zijn kleilagen aanwezig van de Eem Formatie en de Formatie van Urk (beide Pleistoceen). De Holocene deklaag bestaat uit matig fijn zand met een geschatte doorlatendheid van 10 m/dag. In de Oerder duinen aan de oostkant van het eiland worden Holocene kleien aangetroffen (afzettingen van Duinkerke). In de overige delen van het eiland zijn geen slecht doorlatende afzettingen in de Holocene deklaag aanwezig.

Waar de deklaag aan de onderzijde wordt begrensd door een slecht doorlatende laag is de feitelijke dikte ca. 30 m, en de transmissiviteit dus ca. 300 m<sup>2</sup>/dag. Waar slecht doorlatende lagen ontbreken is de dikte veel groter: tot ca. 180 m. Hiermee is de maximale transmissiviteit ca. 1800 m<sup>2</sup>/dag.

De maaiveldhoogte varieert op Ameland van rond NAP + 20 m aan de top van de duinen tot rond NAP aan de kant van de Waddenzee. De duinen aan de Noordzeekant hebben een breedte van 1 tot 2 km. Aan de zuidzijde van de duinen ligt een zandig gebied dat licht naar het zuiden glooit. Hier lopen watergangen met een drainerende werking. Aan de kant van de Waddenzee liggen ingepolderde kwelders. De slootafstand in de polders is ca. 50 m. Aan de oostkant van het eiland wordt er geen peil gehandhaafd en is er sprake van een sterke interactie met de Waddenzee.

De gemiddelde neerslaghoeveelheid op de Waddeneilanden is 850 mm/jaar (langjarig gemiddelde KNMI stations Hollum en Nes). De gemiddelde grondwateraanvulling (neerslag minus actuele verdamping) wordt op basis van expert judgement en literatuurbronnen (TNO 1987) geschat op 325 mm/jaar. Bij hoge delen van het duin is de grondwaterstand diep en zal de grondwateraanvulling groter zijn als gevolg van verdampingsreductie door vochttekorten bij vegetatie. Bij onbegroeide delen van het duin is de grondwateraanvulling ook groter. Voor een dynamisch gebied als de duinen op Ameland is het niet eenvoudig om de actuele verdamping nauwkeurig te bepalen. De hier genoemde waarde voor de grondwateraanvulling is dus een eerste inschatting.



**Figuur 3 Dwarsdoorsnede Ameland (west - oost) uit REGIS II.1 (formatie van Naaldwijk = donkergroen, Peelo klei = paars, Peelo zanden = geel, Urk klei = bruin, Eem klei = lichtgroen)**

## 2.3 Jarkus-raaien en zandsuppleties

Door Rijkswaterstaat wordt de kust bemeten met behulp van vaklodingen en metingen langs het strand- en duinprofiel. De vaklodingen vinden plaats op zee. De metingen langs het strand- en duinprofiel worden Jarkus-raaien genoemd (Jaarlijkse Kustmeting). Deze raaien liggen haaks op de kustlijn en op vastgelegde afstanden tussen de strandpalen. Langs de volledige kustlijn van Nederland zijn Jarkus-raaien op deze manier gedefinieerd. Metingen langs de Jarkus-raaien zijn beschikbaar sinds 1965. Aan de hand van de Jarkus-raai metingen en vaklodingen wordt jaarlijks de afwijking ten opzichte van de basiskustlijn bepaald (BKL). Wanneer de afwijking te groot wordt, worden zandsuppleties uitgevoerd om de kustlijn te herstellen. De staat van de kustlijn en de suppletievolumes worden jaarlijks door Rijkswaterstaat gerapporteerd, zie bijvoorbeeld Kustlijnkaarten rapport 2014 (Rijkswaterstaat, 2014). Er zijn drie typen zandsuppleties te onderscheiden:

- strandsuppleties: waarbij zand boven de vloedlijn op het strand wordt opgespoten.
- vooroeversuppleties: hierbij wordt zand op de vooroever, dus vlak onder de laagwaterlijn, aangebracht.
- onderwatersuppleties: hierbij wordt het zand op grotere afstand van de kustlijn onder water aangebracht.

In de tijdreeksanalyse en numerieke modellering wordt gekeken naar de effecten van de zandsuppleties van 2010 en 2011. Als referentieperiode (T0) wordt de periode 2000 – 2010 gekozen. Er zijn echter vóór 2000 en tijdens de referentieperiode ook suppleties uitgevoerd. Dit is een belangrijk gegeven voor de interpretatie van de analyseresultaten. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de Jarkus-raai metingen en suppletiehoeveelheden vóór en na 2000.

Werkzaamheden na 2000

Uit de gegevens op de kustviewer blijkt dat er in de referentieperiode strandsuppleties en vooroeversuppleties zijn uitgevoerd. Zie Figuur 5 voor de locaties en Tabel 1 voor een overzicht van de suppletievolumes per locatie. Ook in de effectperiode (2010 - heden) zijn strandsuppleties en vooroeversuppleties uitgevoerd. De zandsuppleties van tussen 2000 en 2010 zijn qua volume en dichtheid van dezelfde orde grootte als de zandsuppletie van 2010 / 2011.

**Tabel 1 Suppleties Ameland na 2000 (oranje = beschouwd in tijdreeksanalyse)**

type	locatie op Ameland	jaar	tijdvak	volume [m3]	volume per meter [m3/m]
vooroeversuppletie	midden	2003	Jul 2003 - Nov 2003	1,432,000	333
vooroeversuppletie	midden	2006	May 2006 - A 2006	1,501,510	300
vooroeversuppletie	west	2007	Jul 2007 - Dec 2007	1,201,233	1122
vooroeversuppletie	midden	2010	May 2010 - Okt 2010	1,941,304	539
vooroeversuppletie	midden	2010	May 2010 - Sep 2010	1,123,913	561
vooroeversuppletie	oost	2010	Nov 2010 - Aug 2011	1,634,782	544
strandsuppletie	west	2000	Apr 2000 - Jun 2000	401,002	250
strandsuppletie	west	2004	May 2004 - Jul 2004	403,635	336
strandsuppletie	midden	2006	May 2006 - Jun 2006	1,001,372	200
strandsuppletie	west	2007	Jul 2007 - Aug 2007	303,444	252
strandsuppletie	west	2010	Nov 2010 - Okt 2011	1,888,933	944
strandsuppletie	midden	2010	Sep 2010 - Jan 2011	925,376	201
strandsuppletie	oost	2011	Jul 2011 - Okt 2011	909,565	239



**Figuur 4** Locaties zandsuppleties vóór 2000 (geel = strandsuppleties, blauw = onderwater- en vooroeversuppleties, oranje = zeevaartse duinverzwaring)



**Figuur 5** Locaties zandsuppleties sinds 2000 (geel = strandsuppleties, blauw = onderwater- en vooroeversuppleties)

Voor twee locaties op Ameland is het effect van de zandsuppletie op de morfologie op basis van de Jarkus-raaien onderzocht. Deze corresponderen met raai 1 en raai 3 van het grondwatermeetnet. Raai 1 loopt in noordwestelijke richting over de Hollumer duinen aan de westkant van het eiland. Hier is in 2010 en 2011 een relatief grote strandsuppletie uitgevoerd ( $944 \text{ m}^3/\text{m}$ , zie Tabel 1). Raai 3 loopt in noordelijke richting over de Buurderduinen op het midden van het eiland. Zie voor de ligging van de raaien Figuur 6Figuur 12.



Figuur 6 Locaties raaien en gehanteerde poldergrens

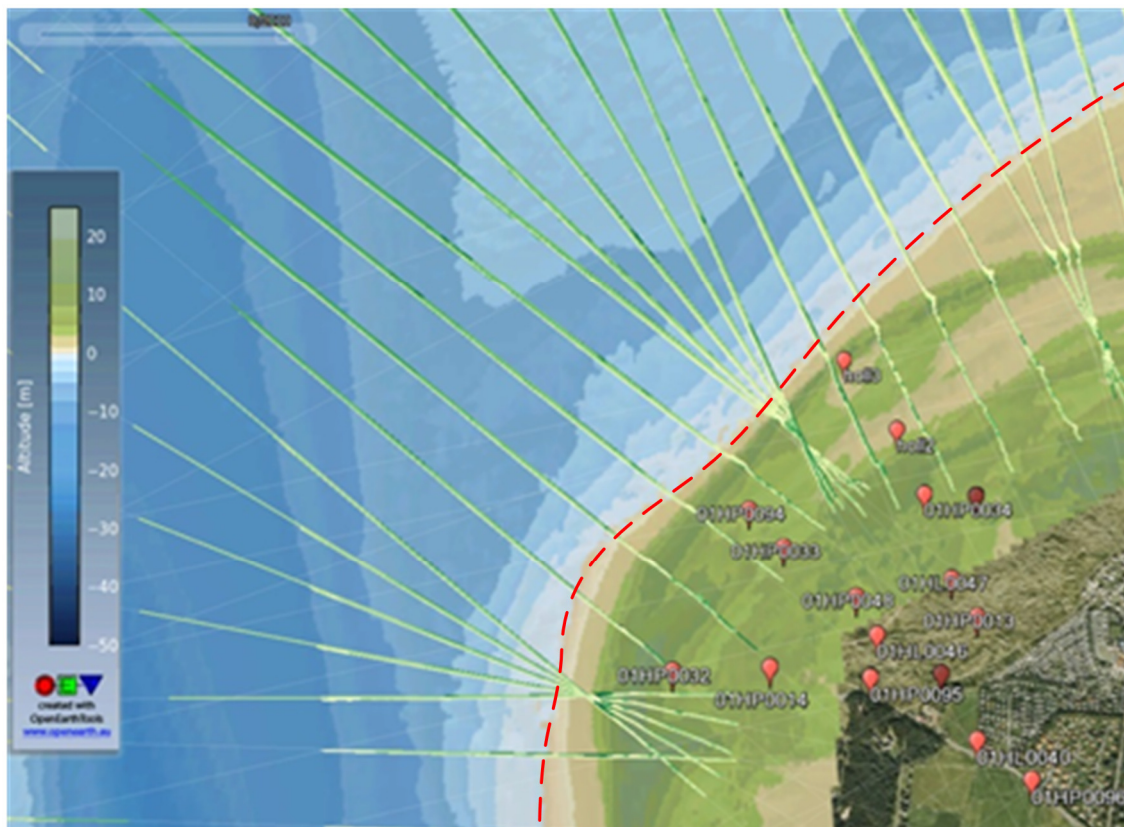


### Raai 1 (Hollumer duinen)

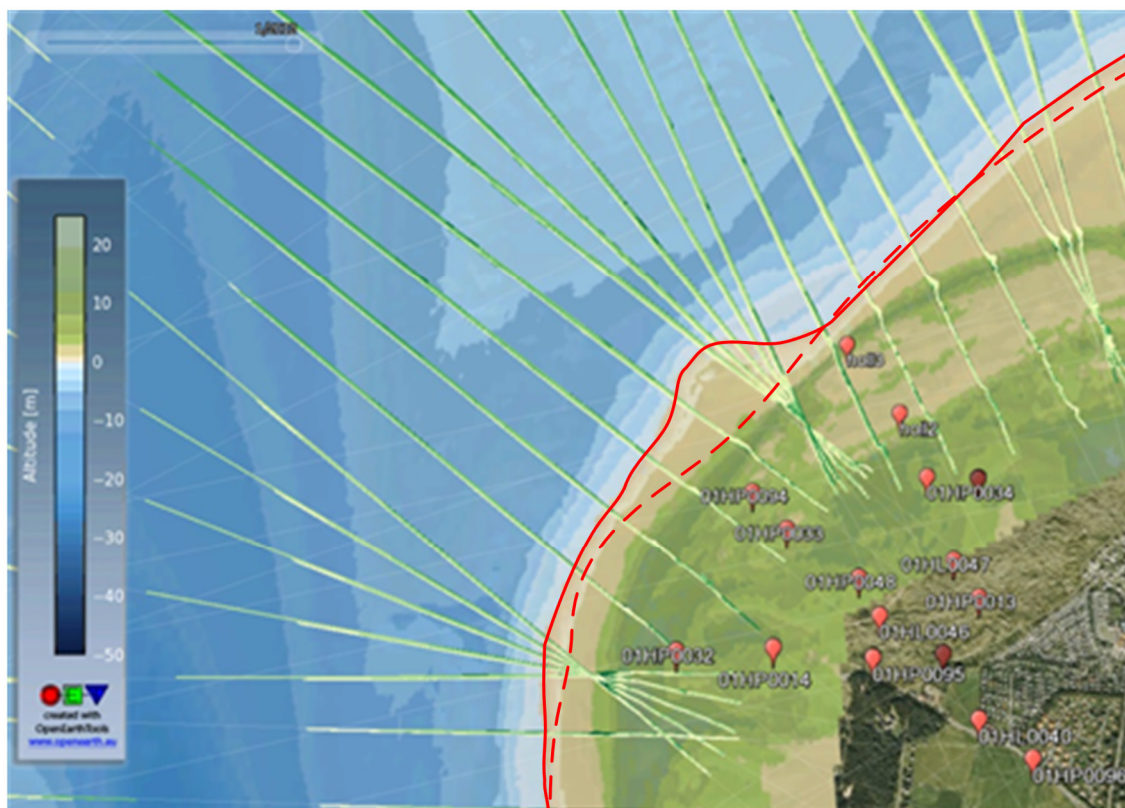
Bij raai 1 zijn de duinen tot ca. 2 km breed. Langs het zeegat tussen Terschelling en Ameland is sprake van zeer veel dynamiek in de kustlijn. Dit is te zien in de morfologie op basis van vaklodingen en de Jarkus-raaien aan deze kant van het eiland. Het betekent dat de strandsuppletie van 2010 / 2011 niet kan worden gezien als een ingreep in een onveranderlijke referentiesituatie: het is slechts een van de vele factoren die de dynamiek van de kustlijn bepalen.

Van november 2010 tot oktober 2011 is 1,9 miljoen m<sup>3</sup> zand gesuppleerd over een lengte van ca. 2000 m. Het effect is duidelijk terug te zien in de verandering van de morfologie op basis van vaklodingen en Jarkus-raaien. Zie Figuur 7 en Figuur 8. Jarkus-raai 3000300 is gekozen als representatief voor de verandering van de morfologie in dit gebied. De meetresultaten langs deze raai voor de jaren 2010 t/m 2013 worden getoond in Figuur 9. Deze zijn afkomstig van de OpenDAP-server van Deltares waar de gegevens van de Kustviewer worden beheerd.

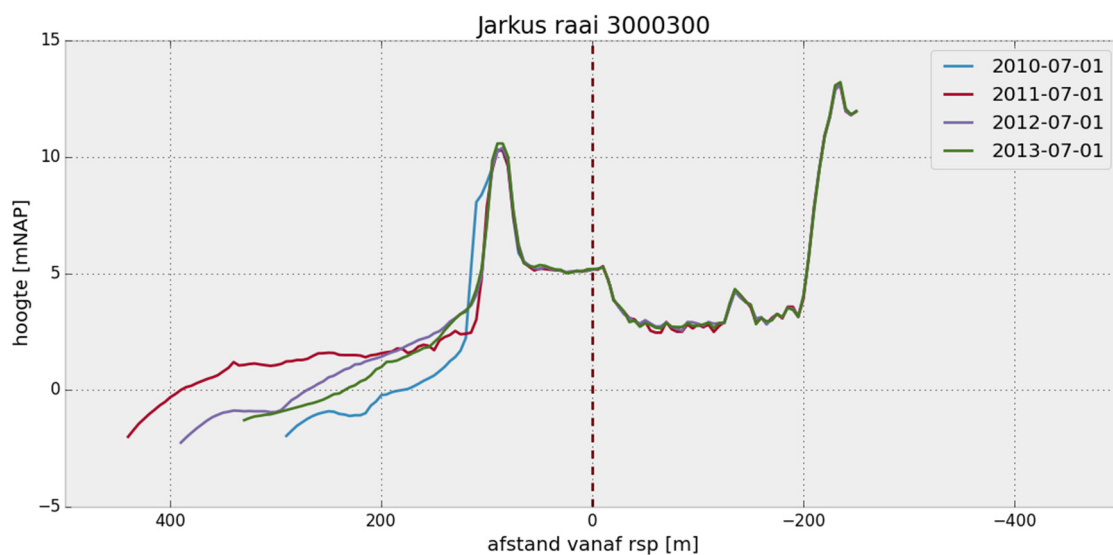
De NAP-lijn verschuift ca. 214 meter zeewaarts tussen 2010 en 2011. In 2012 en 2013 is de NAP-lijn opnieuw in landwaartse richting verplaatst. Dit betekent dat na de strandsuppletie opnieuw erosie heeft plaatsgevonden. In 2013 bedraagt de verbreding ten opzichte van 2010 nog slechts ca. 60 m.



**Figuur 7** Morfologie obv vaklodingen en Jarkus-raaien bij raai 1 in augustus 2010 (voor de strandsuppletie van 2010 / 2011)



Figuur 8 Morfologie obv vaklodingen en Jarkus-raaien bij raai 1 in januari 2012 (na de strandsuppletie van 2010 / 2011)

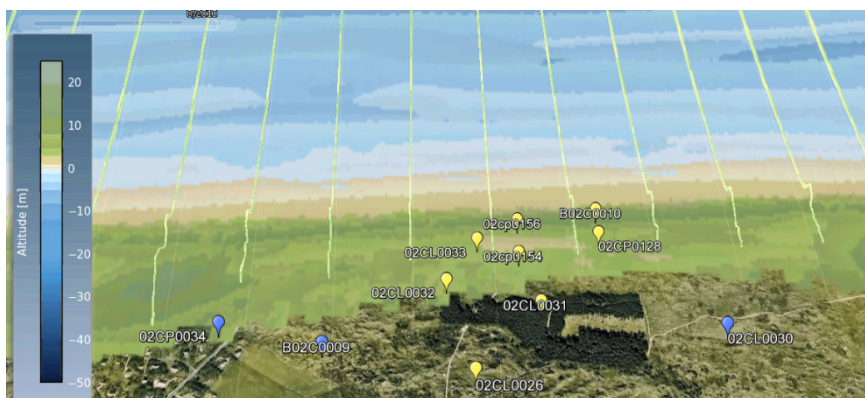


Figuur 9 Meetresultaten langs Jarkus-raai 3000300 (Hollumer duinen) voor 2010 t/m 2013

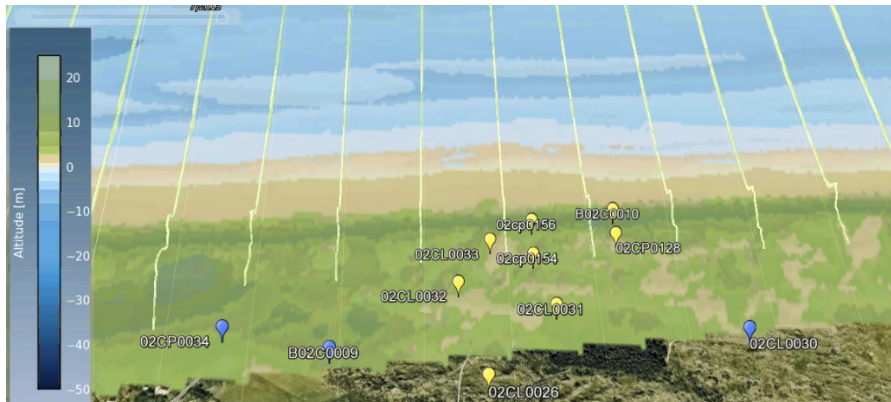
### Raai 3 (Buurderduinen)

Langs raai 3 is van november 2010 tot januari 2011 ca. 0,9 miljoen m<sup>3</sup> zand op het strand gesuppleerd over een lengte van ca. 4,5 km. Hier zijn de duinen ca. 1 km breed. Op de kustviewer is te zien dat de NAP-lijn in zeewaartse richting is verschoven tussen augustus 2010 en januari 2011 (zie Figuur 10 en Figuur 11). Het effect op de morfologie volgens de Jarkus-metingen (raai 30001580) is kleiner dan bij raai 1, zie Figuur 12. De NAP-lijn is in 2011 ca. 25 m zeewaarts verschoven ten opzichte van 2010.

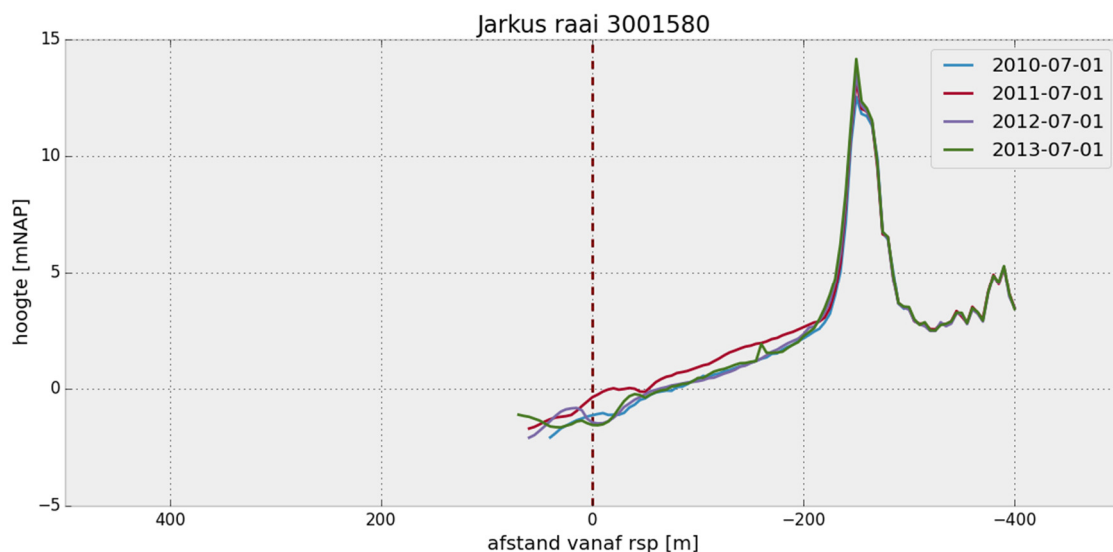
Zie voor een overzicht van de beschouwde meetresultaten Tabel 2.



**Figuur 10** Morfologie obv vaklodingen en Jarkus-raaien bij raai 3 in augustus 2010 (voor)



**Figuur 11** Morfologie obv vaklodingen en Jarkus-raaien bij raai 3 in januari 2012 (na)



Figuur 12 Meetresultaten langs Jarkus-raai 3001580 (Buurderduinen) voor 2010 t/m 2013

Tabel 2 Jarkus-raaien en kustverbreding als gevolg van de suppleties van 2010 / 2011

Meetraai	locatie	Jarkus-raai-nummer	duinbreedte [m]	strandsuppletie	kustverbreding [m]
1	Ameland West / Hollumer duinen	3000300	1775	nov 2010 - okt 2011	214
3	Ameland Midden / Buurderduinen	3001580	920	sept 2010 - jan 2011	25

## 2.4 Geohydrologische modelschematisatie

De numerieke modellering is toegepast op twee locaties op Ameland. Deze corresponderen met raai 1 en raai 3 van het grondwatermeetnet (zie Figuur 6). De resultaten van de tijdreeksanalyse van de peilbuizen in deze raaien kunnen zo worden vergeleken met de resultaten van de modellering. Bij raai 1 is de verbreding van de kust als gevolg van de suppletie van 2010 en 2011 het grootst (zie paragraaf 2.3). Bij raai 3 is de verbreding verwaarloosbaar klein (25 m). Hiermee zou geen effect worden berekend. Daarom is ervoor gekozen om voor raai 3 te rekenen met de kustverbreding van raai 1. Hiermee wordt dus een hypothetische situatie doorgerekend: de kustverbreding van raai 1 als deze zou hebben plaatsgevonden langs raai 3.

De grondwaterstroming en grondwaterstanden in de raaien worden berekend met behulp van tweedimensionale modellen, ofwel dwarsdoorsnedemodellen. Dat betekent dat in het model wordt verondersteld dat de zandsuppleties over een zeer grote kustlengte plaatsvinden, dus over een kustlengte van orde van grootte meer dan drie maal de duinbreedte (3 tot 6 km). In werkelijkheid vinden de zandsuppleties over kleinere lengten plaats. Dat betekent dat deze modelbenadering leidt tot een overschatting van de werkelijke effecten. De berekende effecten langs de dwarsdoorsnede zijn vertaald naar een vlakdekkend kaartbeeld. Hierbij is op basis van expertkennis ingeschat in welke mate de effecten bij raai 1 worden gereduceerd als gevolg van de beperkte lengte van de suppletie. Zie voor een weergave van het geschatte effect Figuur 18.

De gehanteerde modelschematisatie per raai is weergegeven in Tabel 3. De duinbreedte en de verschuiving zijn gebaseerd op de Jarkus-metingen beschreven in paragraaf 2.3. Zoals hierboven genoemd is voor beide raaien een verbreding van 214 m aangenomen. De doorlatendheid en totale dikte van het watervoerend pakket zijn gebaseerd op de bodemopbouw beschreven in paragraaf 2.2. Omdat geen gegevens beschikbaar zijn over het actuele polderpeil is deze geschat op basis van de hoogtekaart. De drainageweerstand van de polder is geschat op basis van de slootafstand. Hierbij is de vuistregel gehanteerd dat de drainageweerstand in dagen gelijk is aan de gemiddelde slootafstand in meters.

Voor de grondwateraanvulling is een waarde van 300 mm/jaar aangenomen. Hiermee wordt langs de raaien een stationaire grondwaterstand berekend die overeen komt met het verloop van de gemiddelde grondwaterstand in de peilbuizen van raai 1 en raai 3 voor de periode van 2000 t/m 2010 (de referentieperiode). De gemiddelde grondwaterstanden voor raai 1 en raai 3 worden op kaart in bijlage 1.

**Tabel 3 Modelschematisatie**

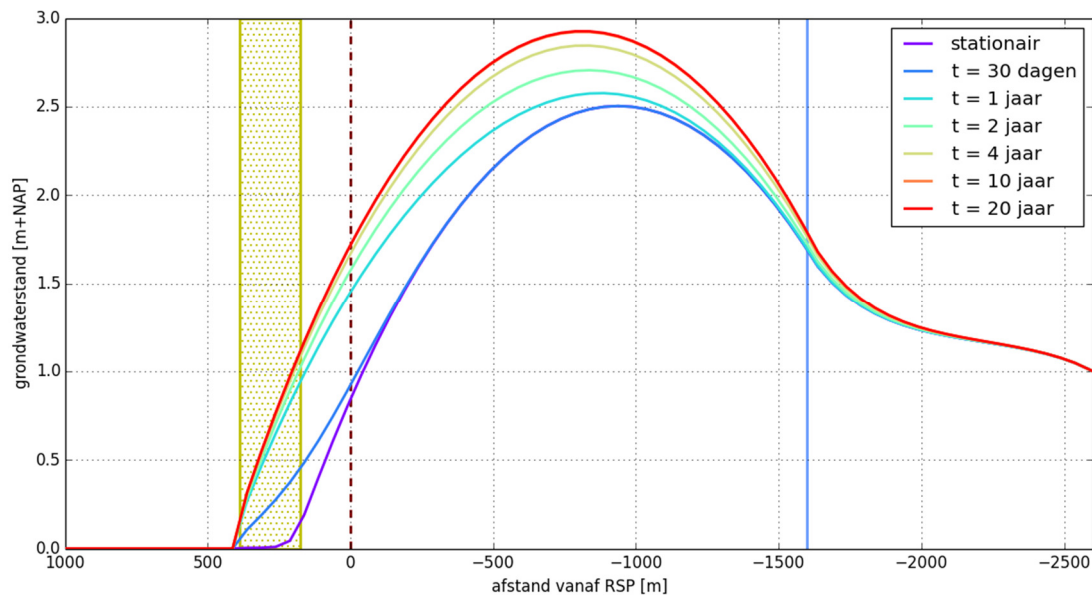
parameter	raai 1	raai 3
Duinbreedte [m]	1775	920
Verbreding [m]	214	214
Doorlatendheid laag 1 [m/dag]	10	10
Dikte laag 1 [m]	10	10
Transmissiviteit laag 2 [m <sup>2</sup> /dag]	200	1800
Grondwateraanvulling [mm/jaar]	300	300
Polderpeil [m+NAP]	1	1
Drainageweerstand polder [dagen]	200	200
Freatische bergingscoëfficiënt [-]	0,3	0,3
Elastische bergingscoëfficiënt [-]	0,001	0,001

## 2.5 Resultaten modellering

### Model raai 1: effecten van een permanente duinverbreding

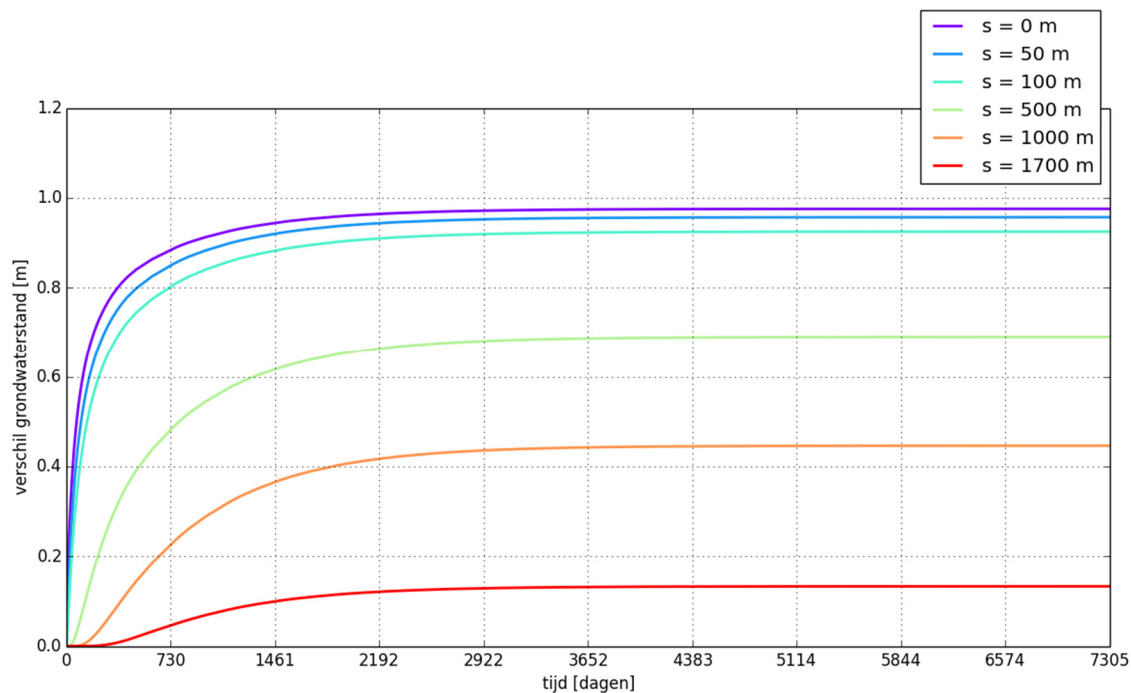
Langs raai 1 wordt stationair (in de referentiesituatie) een maximale opbolling van ca. 2,5 m ten opzichte van NAP berekend. De berekende freatische grondwaterstand langs deze raai is als paarse lijn weergegeven in Figuur 13. Om het grondwatereffecten als gevolg van zandsuppletie (verbreding van strand en duin) te simuleren is vervolgens niet-stationair gerekend. Hierbij is een instantane verbreding van de kust aangenomen (214 m, zie Tabel 3) op tijdstip 0 die ook niet meer erodeert. De stationair berekende grondwaterstand is als uitgangspunt genomen en vervolgens is een periode van 20 jaar doorgerekend. De modelparameters zijn in deze periode constant gehouden (Tabel 3). Na 30 dagen wordt ter hoogte van de oorspronkelijke kustlijn (175 m zeewaarts vanaf de strandpaal) een verhoging van ca. 0,3 m berekend. Na 1 jaar bedraagt de verhoging 0,8 m. Na 20 jaar is de verhoging opgelopen tot bijna 1 m.

Ter plaatse van de top van de opbolling, in het midden van de duinenrij, is de verhoging veel kleiner. Deze bedraagt ca. 0,05 m na 1 jaar en 0,4 m na 20 jaar. Verder landwaarts loopt de verhoging terug naar nul. Dit is een noodzakelijk effect van de schematisatie: aan deze kant van het model is een vast polderpeil opgelegd. De drainageweerstand van de polder heeft effect op het verloop van de verhoging: als deze hoger is dan hier aangenomen, neemt het verhang van de grondwaterstand af en neemt de verhoging van de grondwaterstand minder snel af. Voor het polderpeil geldt dezelfde relatie. De verhoging van de grondwaterstand als gevolg van zandsuppletie (stranduitbreiding) is het grootst ter hoogte van de oorspronkelijke kustlijn.



**Figuur 13** Berekende grondwaterstand langs raai 1 (Hollumer duinen) per tijdstip (t) na de zandsuppletie van 2010 / 2011 (stippellijn = Rijks-strandpaal, blauwe lijn = grens polderpeil). De referentiesituatie wordt aangeduid met de paarse lijn (stationair).

Het berekende verloop van de freatische grondwaterstand op verschillende afstanden vanaf de oorspronkelijke kustlijn wordt getoond in Figuur 14. Hierin is te zien dat de grondwaterstanden toenemen tot ca. 6 jaar (2192 dagen) na de suppletie. Hierna is een nieuw evenwichtsniveau ingesteld.

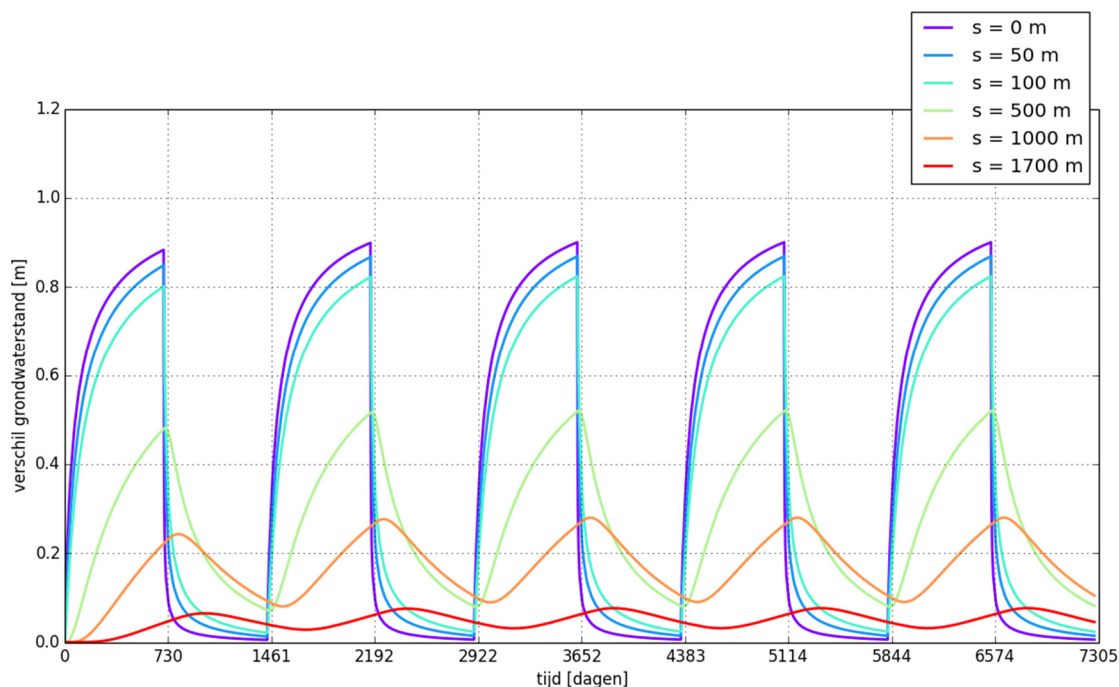


**Figuur 14** Berekende grondwaterstandsverandering langs raai 1 uitgezet in de tijd vanaf de zandsuppletie voor verschillende punten op afstand (s) van de oorspronkelijke kustlijn

### Model raai 1: effecten van een niet-permanente duinverbreding

Zoals beschreven in paragraaf 2.3 zorgen suppleties over het algemeen niet voor een permanente toename van de kustbreedte. Langs raai 1 is de verbreding ten opzichte van 2010 (referentiesituatie) afgenomen van 214 m tot ca. 55 m in 2013. Erosie zorgt voor een landwaartse verplaatsing van gemiddeld 50 m per jaar. Hiermee is de verbreding na 4 jaar verdwenen. De berekende verhogingen in Figuur 13 en Figuur 14 voor perioden langer dan 4 jaar worden dus in werkelijkheid nooit gehaald.

Om het effect van kustverbreding en kusterosie te simuleren is gerekend met een tijdafhankelijke modelvariant waarin de cyclus suppletie / erosie is gesimuleerd door om de twee jaar de kustverbreding aan- en uit te zetten in het model. Het resultaat wordt getoond in Figuur 15. Hierin is te zien dat er na vanaf ca. 500 m vanaf de oorspronkelijke kustlijn een permanente verhoging van de grondwaterstand wordt berekend. Uiteraard is de interpretatie van dit resultaat afhankelijk van de kustlijn die als referentie wordt gekozen. Hier is dat de kustlijn van 2010, dus vlak vóór de suppleties.



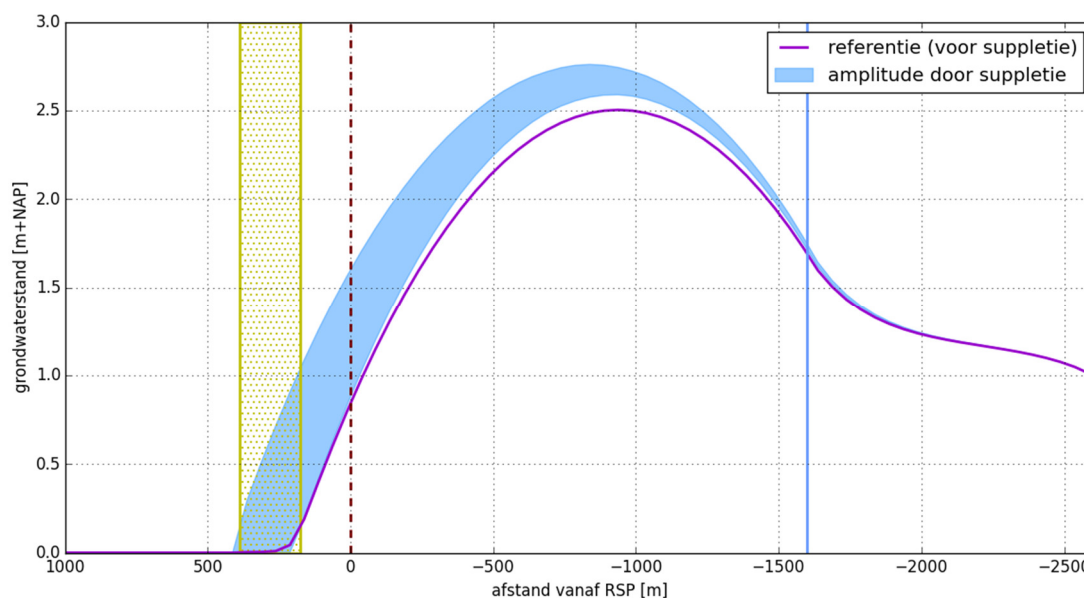
**Figuur 15** Berekende grondwaterstandsverandering langs raai 1 met variabele kustlijn vanaf de zandsuppletie voor verschillende punten op afstand (s) van de oorspronkelijke kustlijn

Voor de laatste periode van 4 jaar waarin de cyclus zandsuppletie / erosie is toegepast zijn de statistieken van de berekende grondwaterstand, in functie van de afstand van de oorspronkelijke kustlijn, weergegeven in Tabel 4. Het gemiddelde van de verhoging verloopt van 0,4 m bij de oorspronkelijke kustlijn, naar 0,2 m bij het midden van het duin tot 0,04 m aan de rand van de polder. Deze amplitude is het verschil tussen het maximum en het minimum van de berekende verhoging. De amplitude verloopt van 0,89 m tot 0,04 m. Deze amplitude komt bovenop de natuurlijke seizoensvariatie van de grondwaterstand, als gevolg van de cyclus van om de 4 jaar zandsuppletie gevolgd door erosie. Het bereik van de amplitude is in dwarsdoorsnede weergegeven in Figuur 16.

De resultaten in Tabel 4 en Figuur 16 zijn gevoelig voor de keuze van de referentiesituatie. Hier is de kustlijn vlak voor suppletie als referentie gebruikt. Ten opzichte van deze referentie zijn de weergegeven verhogingen van de grondwaterstand berekend. Als de situatie vlak na de zandsuppletie van 2010 / 2011 als referentiesituatie wordt gebruikt, dan worden met het model verlagingen van de grondwaterstand berekend als gevolg van de erosie van de kustlijn vlak na suppletie. Als een gemiddelde tussen de situatie voor en na suppletie wordt gekozen als referentiesituatie, dan worden zowel verhogingen als verlagingen berekend als gevolg van de cyclus van eens in de vier jaar suppletie, gevolgd door erosie.

**Tabel 4. Statistieken voor de berekende amplitude voor verschillende afstanden van de kustlijn bij raai 1**

afstand [m]	minimum [m]	gemiddeld [m]	Maximum [m]	Amplitude [m]
0	0,01	0,40	0,90	0,89
50	0,01	0,39	0,87	0,86
100	0,02	0,38	0,82	0,80
500	0,08	0,28	0,52	0,44
700	0,09	0,24	0,41	0,32
1000	0,09	0,18	0,28	0,19
1300	0,07	0,13	0,18	0,11
1600	0,04	0,07	0,10	0,06
1700	0,03	0,05	0,08	0,05
1775	0,02	0,04	0,06	0,04

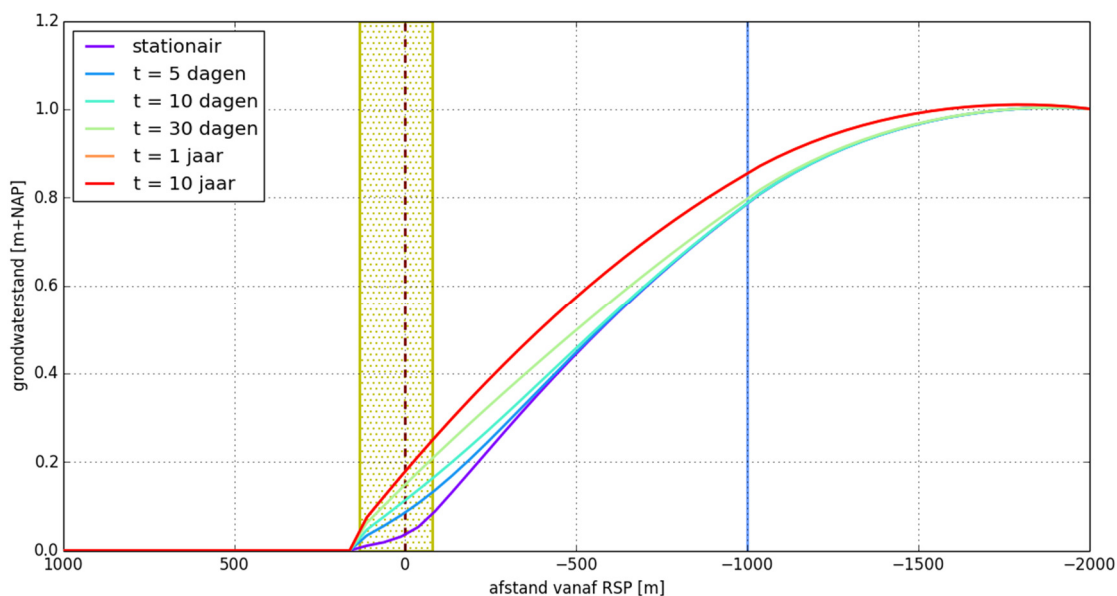


**Figuur 16** Berekende amplitude van de grondwaterstand als gevolg van eens in de 4 jaar zandsuppletie, voor raai 1. De paarse lijn geeft de stationair berekende grondwaterstand weer in de situatie voor de zandsuppletie. Het blauwe vlak geeft het bereik tussen het minimum en het maximum van de grondwaterstand weer, voor de laatste periode van de cyclus zandsuppletie / erosie (stippellijn = Rijks-strandpaal, blauwe lijn = grens polderpeil).



### Model raai 3: effecten van een permanente duinverbreding

Langs raai 3 wordt een freatische grondwaterstand berekend die niet hoger komt dan het polderpeil (Figuur 17). De berekende verhoging bedraagt ter plaatse van de oorspronkelijke kustlijn 0,1 m na 30 dagen en 0,2 m na 10 jaar. Ter plaatse van het midden van het duin bedraagt de berekende verhoging circa 0,15 m na 10 jaar. Ter plaatse van de rand van de polder bedraagt de berekende verhoging 0,05 m na 10 jaar.



**Figuur 17** Berekende grondwaterstand langs raai 3 (Buurderduinen) per tijdstip (t) na de zandsuppletie van 2010 / 2011 (stippellijn = Rijks-strandpaal, blauwe lijn = grens polderpeil).

Omdat de berekende effecten bij permanente duinverbreding bij raai 3 veel kleiner zijn dan bij raai 1, is de tijdsafhankelijke berekening voor een niet-permanente duinverbreding voor deze raai buiten beschouwing gelaten.

## **2.6 Conclusies numerieke modellering**

Met een numerieke modellering is getracht het maximale effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 op de grondwaterstanden in het duingebied te bepalen. De resultaten worden samengevat in Tabel 5. Voor raai 1 worden de effecten van een niet-permanente duinverbreding gepresenteerd: een toename van de gemiddelde grondwaterstand, die afneemt met de afstand vanaf de oorspronkelijke kustlijn, en het amplitude van de grondwaterstand als gevolg van eens in de 4 jaar suppletie, gevolgd door erosie. Voor raai 3 is het berekende effect bij permanente duinverbreding getoond.

**Tabel 5 Maximaal verwachte effect volgens numerieke modellering**

	Raai 1: Duinbreedte circa 1775 m, kD=300 m <sup>2</sup> /d		Raai 3: Duinbreedte circa 920 m, kD=1800 m <sup>2</sup> /d	
	Duinverbreding 216 m, herhalings-tijd 1 x per 4 jaar		Duinverbreding 216 m (1), effect na 10 jaar	
Effect op de grondwaterstand bij de oorspronkelijke kustlijn	Gemiddelde grondwaterstand: + 0,4 m	Amplitude: + 0,9 m	Gemiddelde grondwaterstand:+ 0,2 m	NB
Effect op de grondwaterstand in het midden van het duin	Gemiddelde grondwaterstand:+ 0,2 m	Amplitude: + 0,2 m	Gemiddelde grondwaterstand: + 0,15 m	NB
Effect aan de binnenduinrand	Gemiddelde grondwaterstand:+ 0,07 m	Amplitude:+ 0,06 m	Gemiddelde grondwaterstand:+ 0,05 m	NB

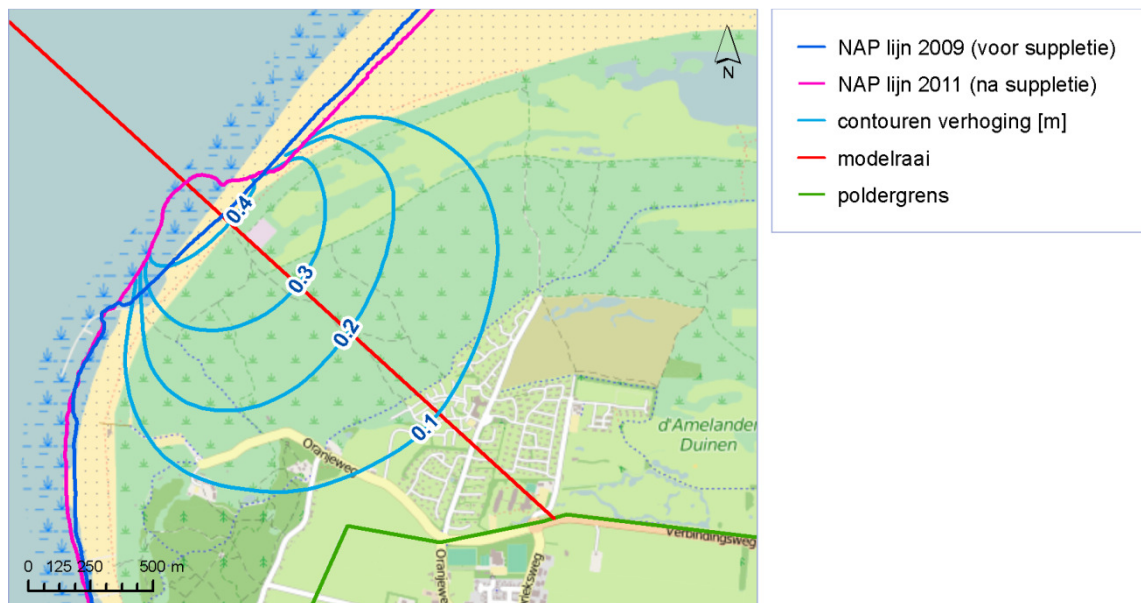
1) Voor raai 3 is vanwege het beperkte effect geen berekening van het effect van een niet-permanente duinverbreding.

De berekende grondwaterstandsverhogingen zijn waarschijnlijk groter dan in de in werkelijkheid opgetreden verhogingen:

- Er is uitgegaan van de maximale duinverbreding opgetreden bij de zandsuppletie van 2010 / 2011. Deze verbreding is lokaal opgetreden bij raai 1 aan de westkant van het eiland (zie Figuur 7).
- In de berekening is geen rekening gehouden met variatie dwars op de dwarsdoorsnede. In werkelijkheid zal het effect van een lokale verbreding radiaal uitstralen en ter plaatse een minder grote verhoging veroorzaken.

Op basis van expertkennis is het met het tweedimensionale dwarsdoorsnedemodel berekende effect omgezet naar een vlakdekkend kaartbeeld, waarbij rekening wordt gehouden met de beperkte lengte van de zandsuppletie (zie Figuur 18).

In deze berekeningen is uitgegaan van een grondwaterstand aan de kustlijn op NAP + 0 m, gelijk aan het gemiddelde zeeniveau. Onderzoek heeft aangetoond dat de grondwaterstand op het strand door de werking van het getij hoger ligt dan het zeeniveau: door de hellingshoek van het strand is de infiltratieweerstand bij vloed veel lager dan de drainageweerstand bij eb (zie o.a. Urish et al. ,1988 en Cartwright, 2004). Het uitgangspunt in deze berekening, de grondwaterstand op NAP + 0 m aan de kustlijn, zorgt waarschijnlijk niet voor een significante onder- of overschatting van het effect van een kustverbreding.



**Figuur 18** Contouren van berekende gemiddelde grondwaterstandsverhoging als gevolg van de zandsuppletie van 2010/2011.

De resultaten van de numerieke modellering kunnen worden gebruikt om de resultaten van de tijdreeksanalyse te duiden. De numerieke modellering geeft immers inzicht in het maximaal verwachte effect. Met betrekking tot de tijdreeksanalyse kan het volgende worden geconcludeerd:

- De kans op het vinden van significante effecten van de zandsuppletie is het grootst voor peilbuizen die in de buurt van de oorspronkelijke kustlijn staan.
- De effecten in het midden van het duin zijn circa 50% van de maximale effecten bij de oorspronkelijke kustlijn.
- De kans op het vinden van significante effecten van de zandsuppletie ter plaatse van de binnenduinrand is klein.



## 3 TIJDREEKSANALYSE

### 3.1 Doel en aanpak

Doel van de tijdreeksanalyse is het vaststellen van veranderingen van de grondwaterstand in het duingebied, op basis van een statistische methode, waarbij gebruik wordt gemaakt van gemeten tijdreeksen van de grondwaterstand. De methode wordt toegelicht in paragraaf 3.3.

Op Ameland wordt door verschillende instanties en op een groot aantal locaties de grondwaterstand gemeten. Net als in de T0, T1 en T2-analyse is in deze analyseronde tijdreeksanalyse toegepast op de gemeten grondwaterstanden. Hierbij wordt aan de hand van de meetreeksen onderzocht of er een verandering van de grondwaterstand is opgetreden als gevolg van de zandsuppletie van 2010/2011. Er worden twee perioden gedefinieerd:

- T0: de **referentieperiode** die wat betreft de grondwaterstanden als nulsituatie wordt beschouwd. Hiervoor wordt de periode van 2000 tot 2010 aangehouden.
- T3: de **effectperiode**. In lijn met de vorige analyseronden (T1, T2) wordt de effectperiode T3 genoemd. Een verandering van de grondwaterstand ten opzichte van de referentieperiode wordt in deze periode beschouwd. Hiervoor wordt de periode van 2010 tot najaar 2014 gebruikt.

De periode van de suppletiewerkzaamheden verschilt per locatie langs de kustlijn (zie voor een beschrijving van de werkzaamheden paragraaf 2.3). In de tijdreeksanalyse wordt hiermee rekening gehouden door de aanvang van de zandsuppletie voor verschillende groepen peilbuizen apart te schematiseren. De aanvang van de effectperiode (T3) is dus niet voor iedere peilbuis gelijk.

Net als in de vorige analyseronden bestaat de analyse feitelijk uit twee stappen:

1. Het verzamelen, valideren en ontsluiten van aangeleverde meetreeksen voor de periode van 2010 tot heden.
2. De tijdreeksanalyse voor geselecteerde peilbuizen waarin het effect van de zandsuppletie wordt onderzocht.

### 3.2 Selectie peilbuizen en meetreeksen

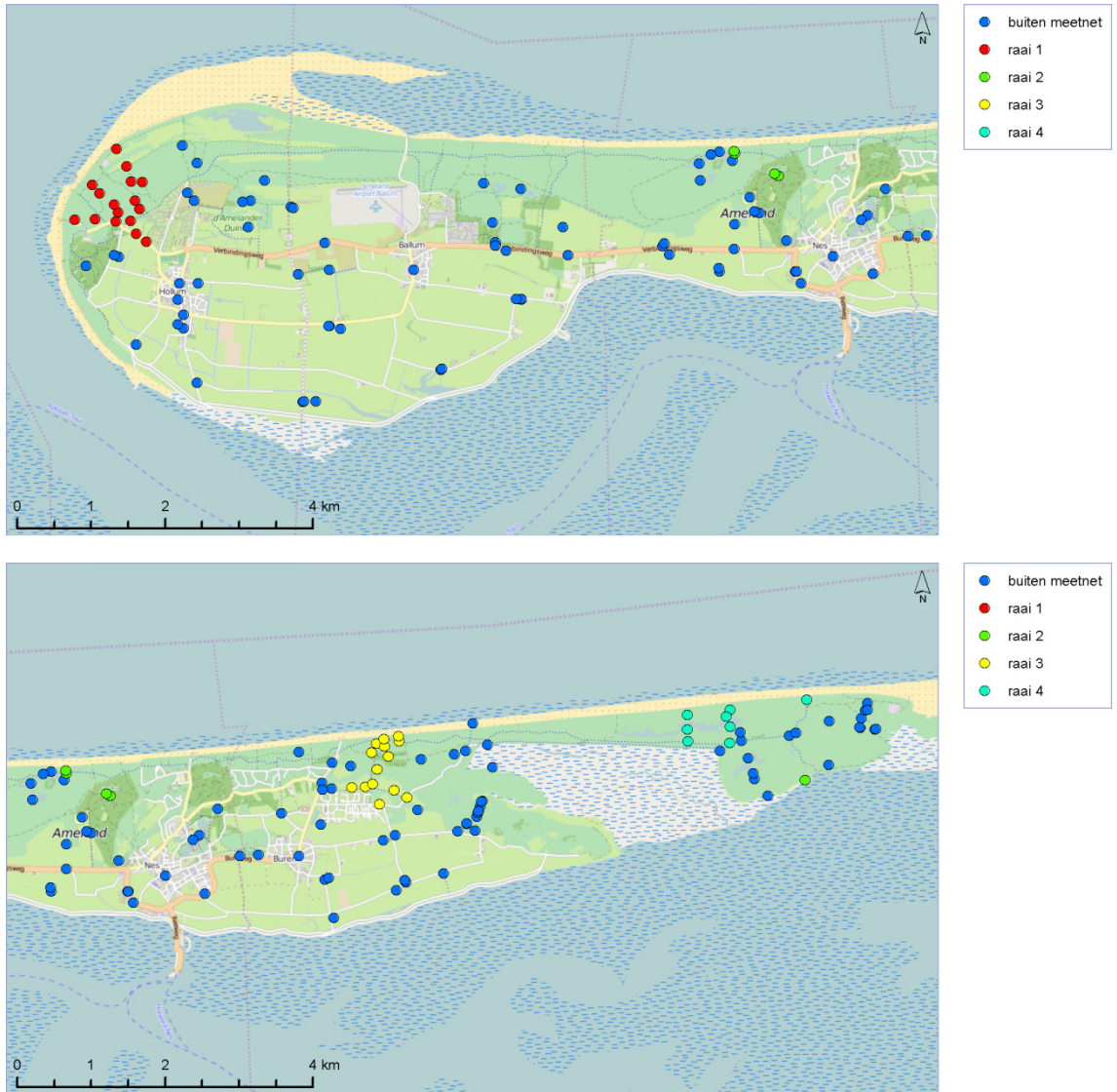
Bij de eerste analyseronde is een inventarisatie gedaan van de peilbuizen op Ameland die binnen de referentieperiode en / of de effectperiode zijn bemeaten. Van deze peilbuizen zijn de stamgegevens en meetreeksen in een FEWS database gezet. Vervolgens zijn deze meetreeksen door Royal HaskoningDHV gevalideerd. Alleen gevalideerde meetreeksen worden gebruikt voor de tijdreeksanalyse van de referentiesituatie en de effectperiode in de eerste analyseronde (T1). Voor de tweede analyseronde (T2, 2012) zijn de meetreeksen in de database aangevuld met recente metingen. Voor de peilbuizen van de Provincie Fryslan is gebruik gemaakt van een bestand met opnieuw gevalideerde meetreeksen van zowel de referentieperiode als de effectperiode. Bovendien is in de tweede analyseronde een selectie gemaakt van peilbuizen in het gebied waarin een effect wordt verwacht van de zandsuppleties. Dit zijn de peilbuizen in het duingebied van Ameland. In de peilbuizen in de polder aan de Waddenkant wordt geen effect verwacht. Deze peilbuizen zijn daarom sinds de tweede analyseronde niet meegenomen in de tijdreeksanalyse.

Voor de derde en laatste analyseronde (T3) is de database met grondwaterstanden opnieuw geactualiseerd. Meetgegevens zijn aangeleverd door 5 beherende instanties, zie Tabel 6. De aanvullende meetreeksen zijn door Royal HaskoningDHV gevalideerd.

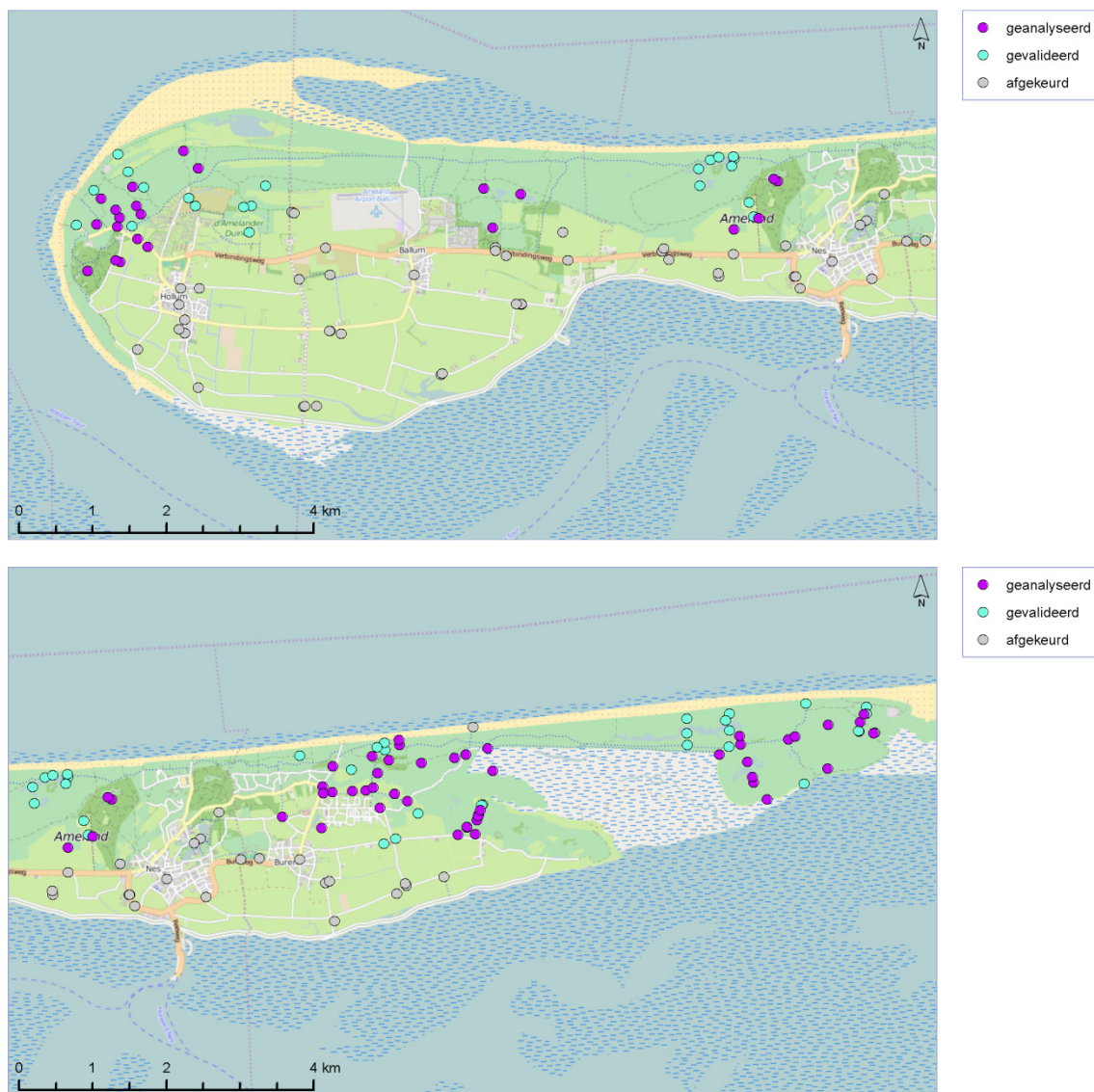
**Tabel 6 Meetgegevens per beherende instantie**

beheerder	totaal aantal peilbuisfilters	levering	opmerking
Provincie Fryslan	72	via Dinoloket	Gevalideerde meetreeksen beschikbaar
Vitens	99	losse levering	Reeksen gevalideerd door RHDHV
Vitens projectmeetnet zandsuppleties	20	losse levering	Gevalideerde meetreeksen geleverd door Vitens
Fryske Gea	76	via Dinoloket	Voornamelijk meetpunten in 't Oerd (oostkant van Ameland). Sinds 2012 niet meer bemeten.
Staatsbosbeheer	25	losse levering	Gevalideerde meetreeksen beschikbaar. Slechts 6 peilbuizen bemeten.

Ook in de T3-analyse zijn alleen peilbuizen binnen het duingebied van Ameland beschouwd. Zie Tabel 7 voor een overzicht van het aantal meetlocaties en filters in de verschillende datasets. In totaal zijn er 172 meetlocaties en 292 peilbuisfilters op Ameland in de database beschikbaar (zie Figuur 19). Daarvan liggen 113 meetlocaties en 193 peilbuisfilters met meetgegevens binnen het interessegebied (zie Figuur 20). Van deze meetlocaties zijn de gegevens ontsloten op de Kustviewer.



**Figuur 19 Meetnet monitoring effecten zandsuppleties en overige peilbuizen op Ameland (totaal 172), boven West Ameland, onder Oost Ameland**



**Figuur 20 Geanalyseerde meetlocaties (65), gevalideerde meetlocaties (113), en afgekeurde meetlocaties (59). Boven West Ameland, onder Oost Ameland.**

Van 65 meetlocaties en 97 peilbuisfilters zijn de reeksen voldoende lang om een betrouwbaar tijdreeksmodel op te zetten. Deze meetlocaties en peilbuisfilters zijn dus beschouwd in de tijdreeksanalyse. Zie voor de ligging Figuur 20.

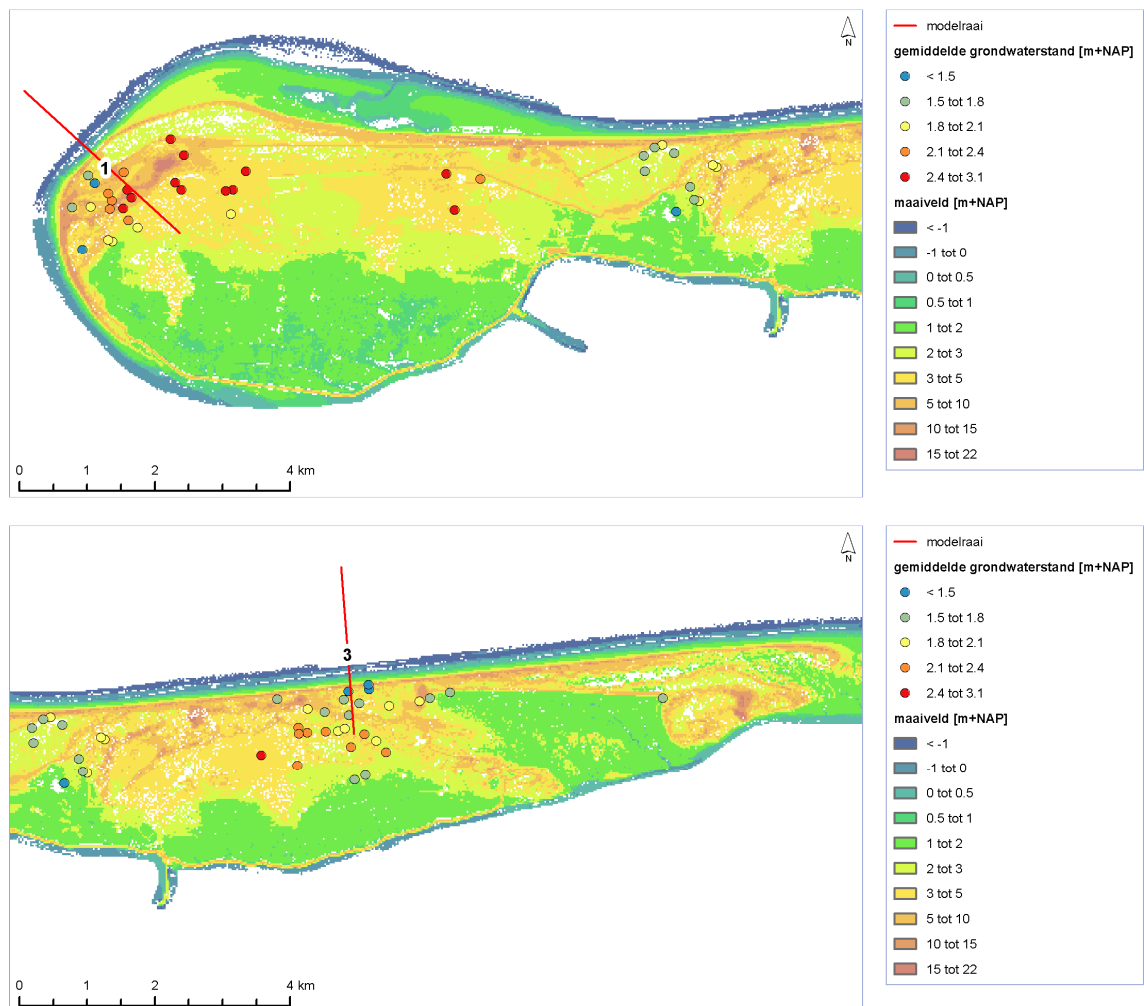
**Tabel 7 Selectie meetlocaties en filters per dataset**

dataset	aantal meetlocaties	aantal filters
alle meetpunten	172	292
selectie binnen interessegebied	113	193
gevalideerde meetreeksen	113	193
tijdreeksanalyse zonder trend	65	97
stap-trend analyse	65	97



Het grondwatermeetnet samengesteld door Vitens (A. Kok, 2011) wordt ingedeeld in 4 meetraaien: groepen peilbuizen langs een fictieve dwarsdoorsnede van de zeereep. De metingen in deze peilbuizen worden gebruikt om een beeld te krijgen van de effecten van zandsuppleties langs deze dwarsdoorsnede. De ligging van de meetraaien is aangegeven in Figuur 19. In deze analyseronde worden de resultaten van de peilbuizen in raai 3 en raai 1 nader beschouwd, omdat deze raaien het meest geschikt zijn voor numerieke modellering (zie paragraaf 2.3). De resultaten van de tijdreeksanalyse kunnen dus voor deze raaien worden vergeleken met het verwachte effect volgens de numerieke modellering. In 2010 / 2011 is er te hoogte van raai 4 ('t Oerd) geen zandsuppletie uitgevoerd. Er wordt hier dus geen effect verwacht. Deze meetraai dient als referentie voor de effecten waarneembaar in de overige raaien.

Voor de meetlocaties met een gevalideerde meetreeks is de gemiddelde grondwaterstand (GG) bepaald voor de periode van 2000 t/m 2010 (de referentieperiode). Deze wordt getoond in Figuur 21 in combinatie met de hoogtekaart (AHN2). Hier is te zien dat de gemiddelde grondwaterstand het hoogst is bij raai 1 aan de oostkant van het eiland, van ca. NAP + 2,5 m tot NAP + 3 m. Bij raai 2 en raai 3 varieert de gemiddelde grondwaterstand van NAP + 1,5 m tot NAP + 2,5 m.



**Figuur 21** Berekende gemiddelde grondwaterstand 2000 - 2010 voor de bovenste filters en maaiveldhoogte op basis van het AHN2 (25 bij 25 m). Boven West Ameland, onder Oost Ameland

### 3.3 Methodiek tijdreeksanalyse

De tijdreeksanalyse wordt uitgevoerd met het programma Menyanthes (KWR, 2014). In dit programma wordt gebruik gemaakt van continu impuls-responsfuncties die het effect van verklarende variabelen als de neerslag en verdamping op de grondwaterstand nabootsen. De parameterwaarden van deze responsfuncties worden geschat door het verschil tussen de berekende grondwaterstand en de gemeten grondwaterstand zo klein mogelijk te maken. Zie voor een uitgebreide beschrijving van de methodiek het proefschrift van Jos von Asmuth (Asmuth, 2012) over de tijdreeksanalyse van grondwaterstanden.

De nauwkeurigheid waarmee de gemeten grondwaterstand kan worden benaderd wordt aangegeven met de verklaarde variantie. Een verklaarde variantie van 100% wil zeggen dat het tijdreeksmodel de gemeten grondwaterstand volledig benadert. Een verklaarde variantie die significant lager is dan 100% geeft aan dat de grondwaterstand niet goed verklaard kan worden door de gekozen verklarende variabelen. Er is dan mogelijk nog een variabele, zoals een oppervlaktewaterpeil of een grondwaterwinning, die het verloop van de grondwaterstand beïnvloedt. Maar het kan ook dat de beschouwde meetreeks teveel ruis bevat (foute waarden en onderbrekingen) om de relatie met de verklarende variabelen goed in beeld te brengen.

Naast de verklaarde variantie geven de parameterwaarden van het tijdreeksmodel inzicht in de dynamiek van de grondwaterstand ter plaatse:

- de modelbasis (m t.o.v. NAP) is het drainageniveau van de grondwaterstand ter plaatse van het meetfilter.
- de gain van de neerslag ( $M_0$ ) geeft aan in hoeverre neerslag invloed heeft op de grondwaterstandsdynamiek. Net als de overige parameters van het tijdreeksmodel wordt de gain geschat door het verschil tussen meetwaarden en modeluitvoer zo klein mogelijk te maken. Deze schatting resulteert in de meest waarschijnlijke waarde en de bijbehorende betrouwbaarheidsband. De betrouwbaarheidsband van de gain van de neerslag en de overige parameters is een maat voor de kwaliteit van het tijdreeksmodel. Een brede betrouwbaarheidsband op de gain van de neerslag wil zeggen dat het effect van neerslag op de grondwaterstand niet goed kan worden geschat.
- de verdampingsreductiefactor geeft inzicht in de invloed van verdamping in verhouding tot de invloed van de neerslag op het grondwaterstandsverloop.

De resulterende tijdreeksmodellen zijn getoetst op betrouwbaarheid. Hierbij zijn de volgende criteria gehanteerd:

- verklaarde variantie van minimaal 70%,
- verdampingsreductiefactor tussen 0,5 en 2, en
- een gain van de neerslag die significant verschilt van nul: met een waarde die minimaal 2 keer zo groot is als de standaardafwijking van de gain. Het effect van neerslag op de grondwaterstand moet met 95% betrouwbaarheid groter zijn dan nul: tijdreeksmodellen waarbij dit niet zo is worden afgekeurd.

De onderbouwing van deze criteria is beschreven in Leunk et al. (2011). Met geselecteerde peilbuisfilters en meetreeksen zijn twee analyses gedaan:

- Neerslag en verdamping als verklarende variabelen
- Neerslag, verdamping en de zandsuppletie als verklarende variabele

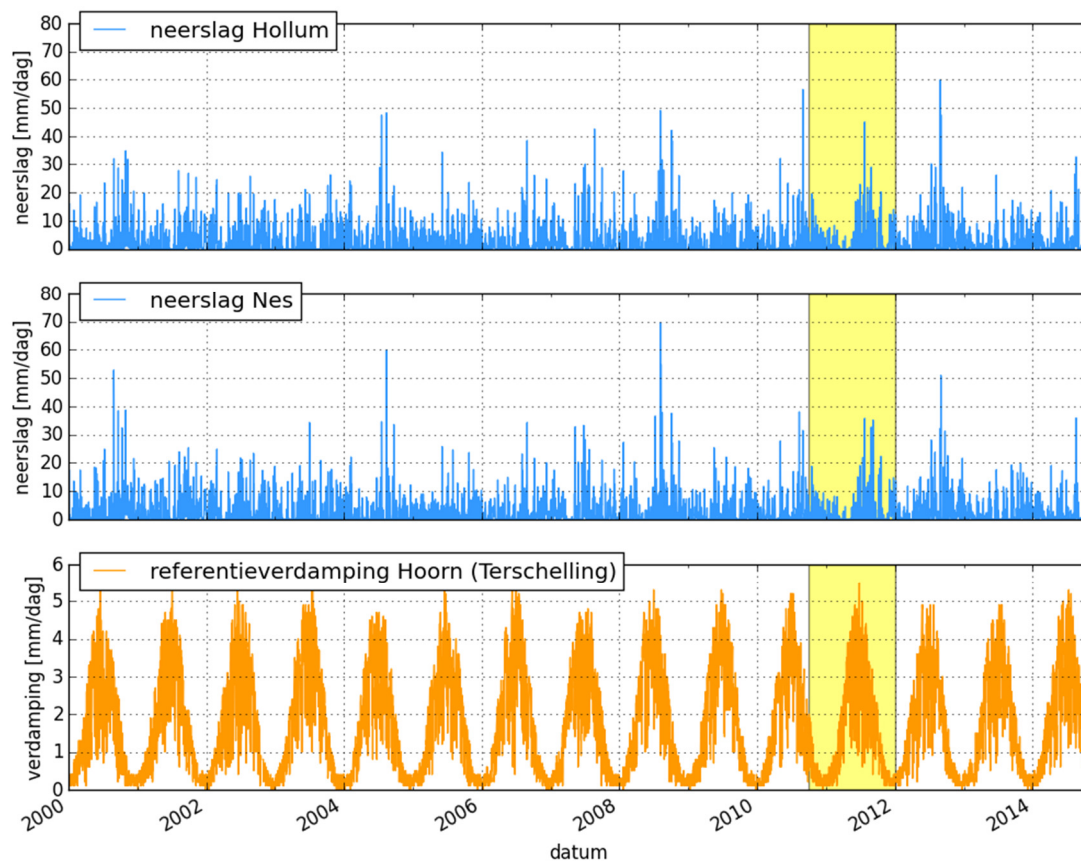
Op basis van de verschillen tussen de twee analyses kan een uitspraak worden gedaan over de significantie van de zandsuppletie als verklarende variabele.

### 3.4 Verklarende variabelen

In de duinen, waar geen polderpeil wordt gehandhaafd, zijn neerslag en verdamping bepalend voor het verloop van de grondwaterstand. Meetreeksen van dagelijkse neerslaghoeveelheid en referentieverdamping worden gebruikt als invoer voor alle tijdreeksmodellen in de T3-analyse. Voor de neerslag wordt per peilbuisfilter het dichtstbijzijnde KNMI neerslagstation gekozen (Nes of Hollum). Voor de referentieverdamping wordt de Makkink verdamping gebruikt die wordt berekend voor weerstation Hoorn op Terschelling. De gebruikte reeksen van neerslag en verdamping worden getoond in Figuur 22. De jaarsommen van de neerslag en verdamping worden getoond in Tabel 9. In eerdere analyseronden is onderzocht of er naast de neerslag en verdamping andere variabelen van invloed zijn op de grondwaterstand op Ameland:

- De winhoeveelheden van de drinkwaterwinningen van Hollum en Buren kunnen niet als significante verklarende variabele worden gebruikt voor de grondwaterstanden in het duingebied. De winhoeveelheden zijn waarschijnlijk te beperkt om een significante invloed te hebben.
- Ook het getij is geen significante verklarende variabele. Bovendien is de meetfrequentie van de grondwaterstand in alle peilbuizen te laag om het effect van het getij correct te bemeten.

In deze analyse wordt getoetst of zandsuppleties een effect hebben op de grondwaterstanden in het duingebied. Daarom worden de suppleties als derde verklarende variabele meegenomen. Hiervoor wordt een stap-trend toegepast op de datum van aanvang van de dichtstbijzijnde strandsuppletie. Met de stap-trend wordt een verandering van de neerslagrespons benaderd. De suppleties zorgen voor een toename van de drainageweerstand. Daarom wordt voor de stap-trend de neerslagresponsfunctie gebruikt, die zorgt voor een geleidelijke verandering van de neerslagrespons vanaf de datum van aanvang van de strandsuppletie. Voor de suppletieperioden is uitgegaan van de gegevens op de Kustviewer (zie paragraaf 2.3). Omdat strandsuppleties naar verwachting het grootste effect hebben op de grondwaterstand, zijn vooroever- en onderwatersuppleties hier buiten beschouwing gelaten. Zie voor een overzicht van de gekozen verklarende variabelen Tabel 8. De parametrisatie van de stap-trend per gebied wordt gegeven in Tabel 10.



Figuur 22 Reeksen van neerslag en verdamping gebruikt in de tijdreeksanalyse (het gele vak geeft de suppletieperiode aan)

Tabel 8 Verklarende variabelen

verklarende variabele	locaties	frequentie
neerslag	KNMI neerslagstations Nes, Hollum	dagelijks
verdamping	KNMI weerstation Hoorn (Terschelling)	dagelijks
stap trend	ieder filter in interessegebied	momentaan op aanvang suppleties

**Tabel 9 Jaarsommen van de neerslag en referentieverdamping**

jaar	neerslag Hollum [mm]	neerslag Nes [mm]	referentieverdamping Hoorn (Terschelling) [mm]
2000	965	1078	557
2001	990	1082	611
2002	906	939	590
2003	749	753	650
2004	1018	929	600
2005	857	769	593
2006	816	782	618
2007	1031	1013	614
2008	1046	1163	630
2009	782	806	651
2010	885	855	605
2011	907	916	604
2012	1182	1089	591
2013	730	785	598
2014	634	545	609
gemiddeld	900	900	608

**Tabel 10 Parametrisatie stap trend**

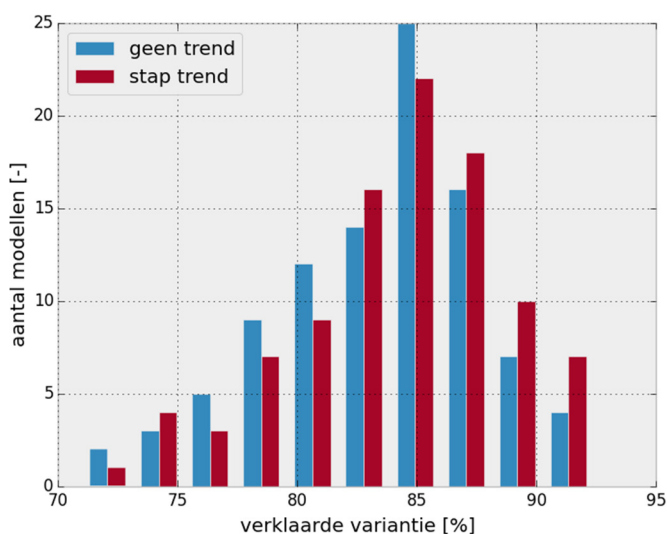
gebied	raai	aantal filters	datum stap trend
Ameland west (Hollumer duinen)	1	27	1 november 2010
Ameland midden (Ballum t/m Buurderduinen)	2,3	48	1 september 2010
Ameland oost ('t Oerd)	4	22	1 juli 2011

### 3.5 Resultaten

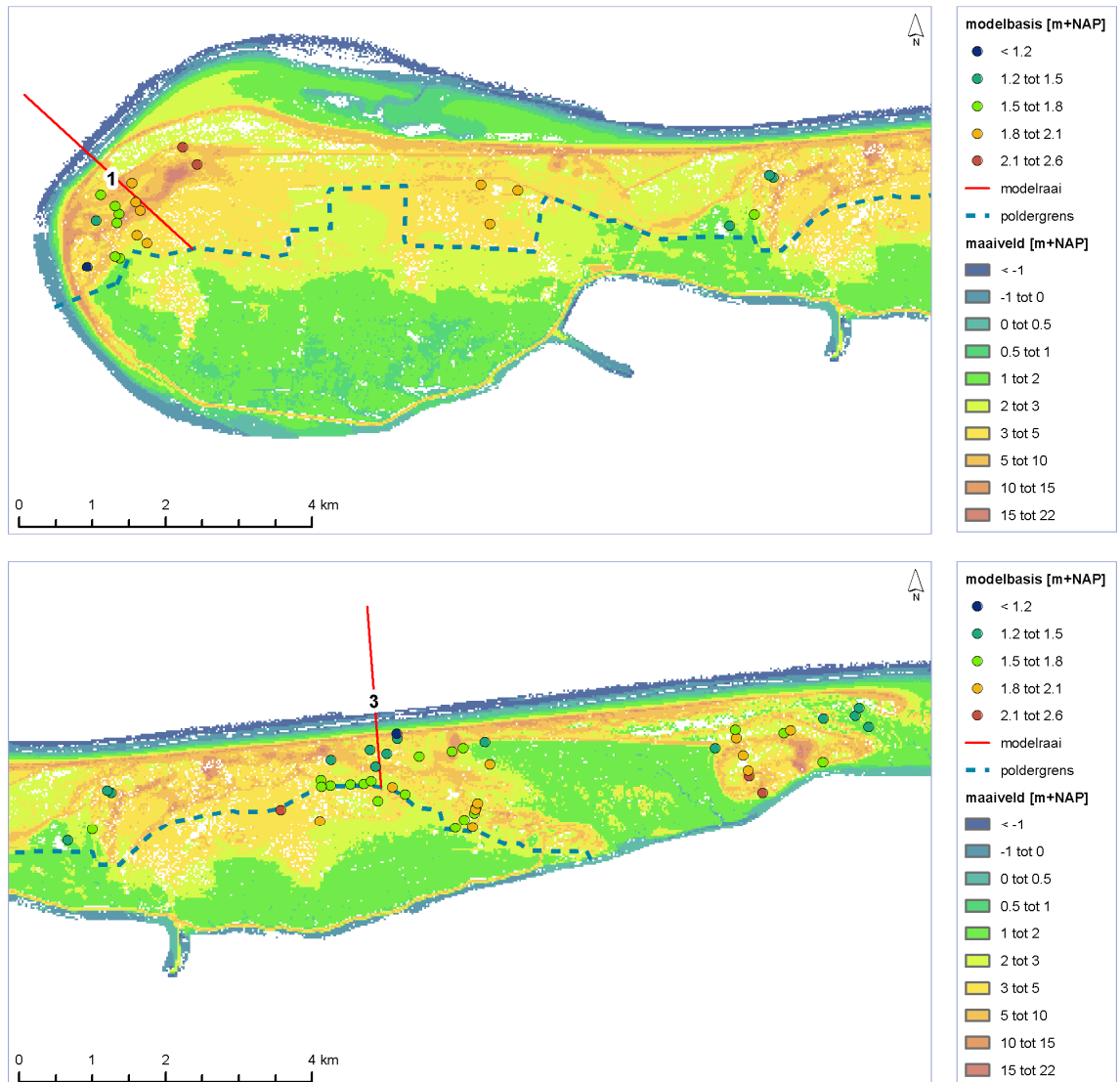
#### Tijdreeksanalyse zonder stap-trend

Voor de peilbuisfilters met een gevalideerde meetreeks is een tijdreeksmodel opgezet met neerslag en verdamping als verklarende variabelen. Hiermee is zowel de referentie- als de effectperiode (T0 en T3) gemodelleerd, dus de periode van 2000 t/m 2013. Dit zijn 65 meetlocaties en 97 peilbuisfilters. Voor alle peilbuisfilters is hiermee een tijdreeksmodel verkregen dat voldoet aan de toetsingscriteria voor betrouwbaarheid. De modelresultaten en parameterwaarden per tijdreeksmodel zijn weergegeven in bijlage 2.

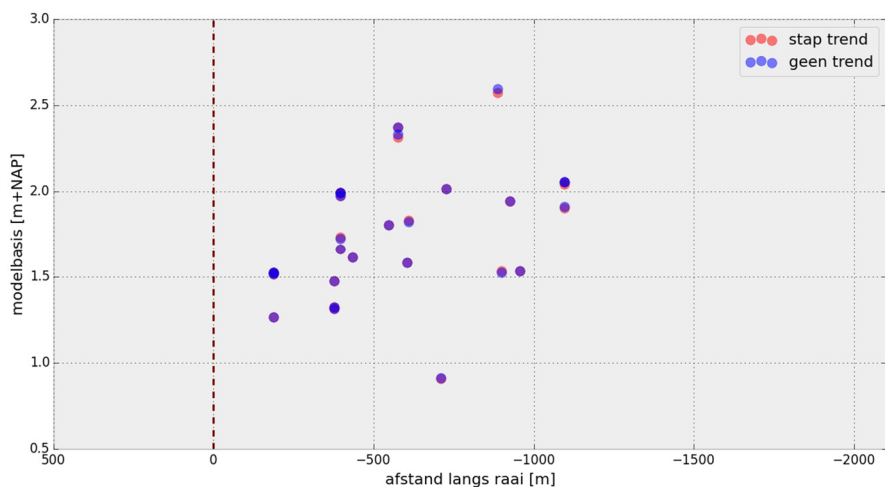
De verklaarde variantie van alle peilbuisfilters ligt tussen de 70 en 90% (gemiddeld 85%). De verdeling van de verklaarde variantie wordt weergegeven in Figuur 23. De modelbasis ligt tussen NAP + 0,9 m en NAP + 2,6 m. De gevonden waarden voor de neerslagrespons liggen tussen 130 en 710 dagen. De verdampingsreductiefactor ligt tussen de 0,5 en 1,3. Voor de bovenste filters wordt de berekende modelbasis weergegeven in Figuur 24. De modelbasis volgt het maaiveldverloop. Aan de kust stroomt het grondwater richting de zee, hier nadert het drainageniveau het zeeniveau. Landinwaarts wordt het drainageniveau bepaald door de maaiveldhoogte in duinvalleien waar ontwatering plaats vindt, of door het oppervlaktewaterpeil (in de polder). In Figuur 25 en Figuur 26 wordt de berekende modelbasis voor peilbuizen in raai 1 en raai 3 in dwarsdoorsnede getoond. De modelbasis neemt toe in functie van de afstand tot de kustlijn.



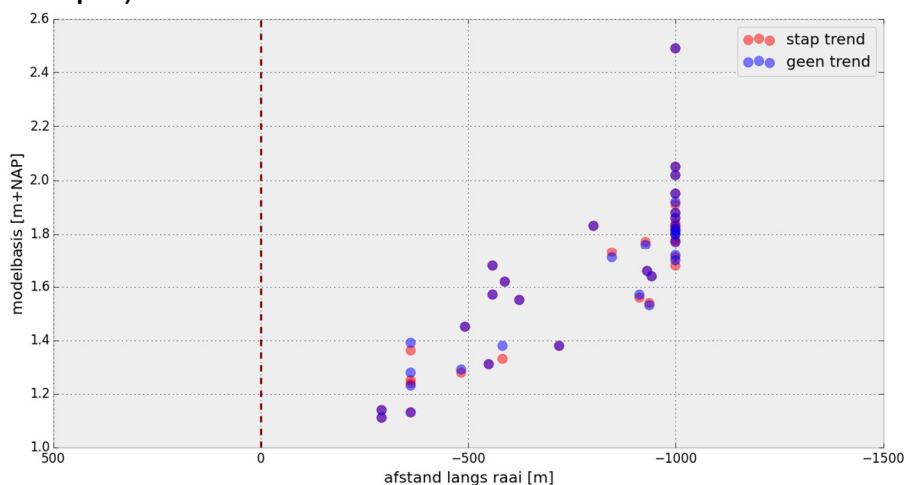
**Figuur 23** Verdeling van de verklaarde variantie voor de modellen met en zonder stap-trend tijdens suppletieperiode



**Figuur 24** Berekende modelbasis van de tijdreeksanalyse zonder stap-trend (periode 2000 - 2014). Per meetlocatie wordt alleen het bovenste filter getoond. Boven West Ameland, onder Oost Ameland.



**Figuur 25** Berekende modelbasis in functie van de afstand langs raai 1 (stippellijn = Rijksstrandpaal)



**Figuur 26** Berekende modelbasis in functie van de afstand langs raai 3

#### Tijdreekanalyse met stap-trend

De aanvang van de stap-trend is geparametriseerd volgens de indeling in Tabel 10. Het toevoegen van de stap-trend zorgt niet voor een duidelijke toename van de verklaarde variantie (zie Figuur 23). Ook de berekende modelbasis verandert weinig (zie Figuur 25 en Figuur 26). Met het toevoegen van de stap-trend worden de trendgrootte en de standaardafwijking van de trendgrootte berekend. De trendgrootte is de verandering van de drainagebasis vanaf aanvang van de trendperiode. De stap-trend wordt getoetst op statistische significantie: deze is 95% significant als de trendgrootte groter is dan twee maal de standaardafwijking van de trendgrootte. Met de numerieke modellering (hoofdstuk 2) wordt een effect berekend voor raai 1 (de Hollumer Duinen aan de westkant van het eiland). De resultaten van de tijdreeksanalyse voor peilbuisfilters in raai 1 worden hieronder eerst beschreven. Vervolgens worden peilbuisfilters waarvoor een significante trend is bepaald afzonderlijk toegelicht.

#### Resultaten raai 1

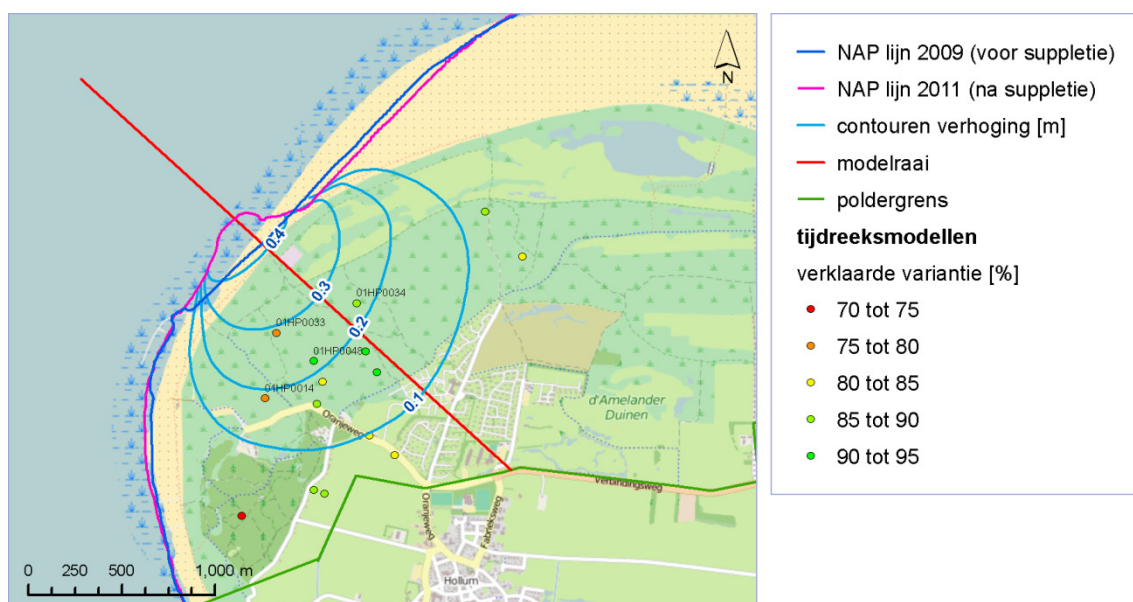
De tijdreeksmodellen met stap-trend in raai 1 hebben een verklaarde variantie van 74 tot 91%, zie voor de ruimtelijke verdeling Figuur 27. Voor geen enkele van de tijdreeksmodellen in raai 1 is de stap-trend een significante verklarende variabele: er wordt dus geen significante verhoging van de grondwaterstand



berekend voor de effectperiode (voor raai 1 begint de effectperiode op 1 november 2010, voor deze datum is de stap-trend ingevoerd). Dit resultaat is in tegenspraak met de resultaten van de numerieke modellering, waarin een voor het duingebied rondom raai 1 een verhoging van 0,1 tot 0,4 m wordt berekend. De contourlijnen bepaald op basis van expertkennis worden ook getoond in Figuur 27.

Voor 4 peilbuisfilters in raai 1 is het resultaat nader onderzocht: filter 1 van 01HP0014, 01HP0033, 01HP0034 en 01HP0048. Bij deze peilbuisfilters wordt een verhoging van 0,2 tot 0,3 m voorspeld (zie Figuur 27). De verklaarde variantie en parameterwaarden van deze peilbuisfilters worden gegeven in Tabel 11. Het modelresultaat en de modelcomponenten worden getoond in Figuur 28 t/m Figuur 31. De verklaarde variantie van deze 4 peilbuisfilters is hoog: 86 tot 91%. De gain van de neerslag is iets hoger dan gemiddeld en de verdampingsreductiefactor is lager dan gemiddeld. Voor alle 4 modellen wijken de parameterwaarden niet veel af van het gemiddelde. Ook de tijdlijnen laten zien dat de tijdreeksmodellen de gemeten grondwaterstanden goed benaderen. De standaardafwijking op de parameters van de stap-trend zijn echter veel te hoog: de bepaalde trendgrootte is daarom geen betrouwbaar resultaat. Dat wijst erop dat de ingevoerde trend niet past bij de meetwaarden binnen de effectperiode.

De tijdlijnen laten geen alleen voor 2012 en 2013 een verhoging van de grondwaterstand zien ten opzichte van voorgaande jaren. Deze verhoging wordt in de tijdreeksanalyse gerelateerd aan de neerslag: 2012 was een relatief nat jaar. De jaarlijkse neerslagsom bedroeg 1182 mm bij regenmeter Hollum en 1089 mm bij regenmeter Nes. De gemiddelde jaarlijkse neerslagsom voor beide regenmeters is 900 mm voor de periode van 2000 t/m 2014. Dat de grondwaterstand in 2013 nog hoger is dan in 2012, wordt veroorzaakt door de vertraging van de neerslagrespons die in de tijdreeksmodellen wordt geschat (het heeft vooral in het najaar van 2012 veel geregend en dit werkt door naar de grondwaterstand in het voorjaar van 2013). Kort samengevat: de tijdreeksmodellen geven een betrouwbaar resultaat, maar laten niet de verwachte verhoging van de grondwaterstand zien.

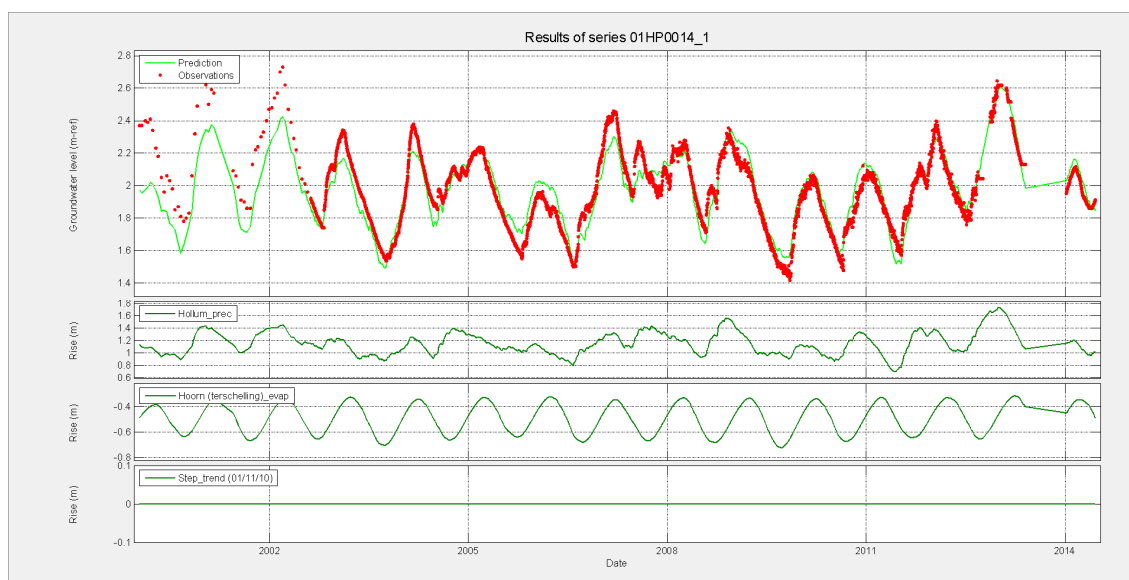


**Figuur 27 Resultaten tijdreeksanalyse voor de bovenste filters in raai 1 en contouren verhoging volgens numerieke modellering**

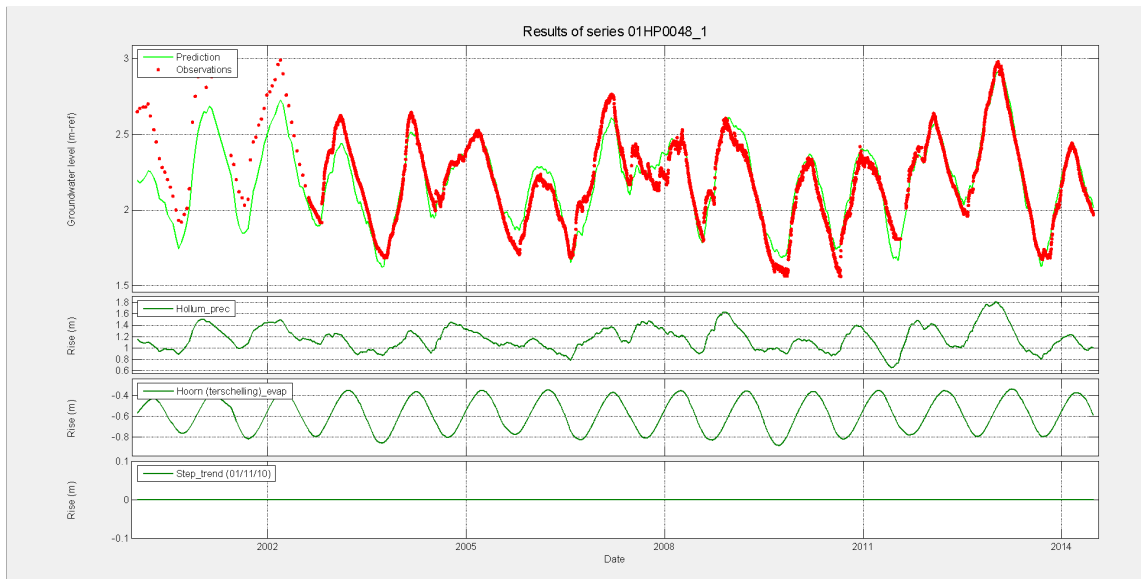
Tabel 11 selectie van tijdreeksmodellen in raai 1

meetlocatie	filternummer	verklaarde variantie [%]	Gain neerslag (M0) [dagen]*	verdampings-reductiefactor [-]*	trendgrootte [m]*
01HP0014	1	87	458 (7)	0,65 (0,01)	3,01 (630.000)
01HP0033	1	86	434 (7)	0,64 (0,01)	1,17 (390.000)
01HP0034	1	87	560 (8)	0,53 (0,01)	0,62 (1.100)
01HP0048	1	91	462 (5)	0,75 (0,01)	1,30 (1.000.000)
gemiddelde alle modellen	nvt	84	350 (26)	0,9 (0,1)	2,2 (1,7 x 10 <sup>9</sup> )

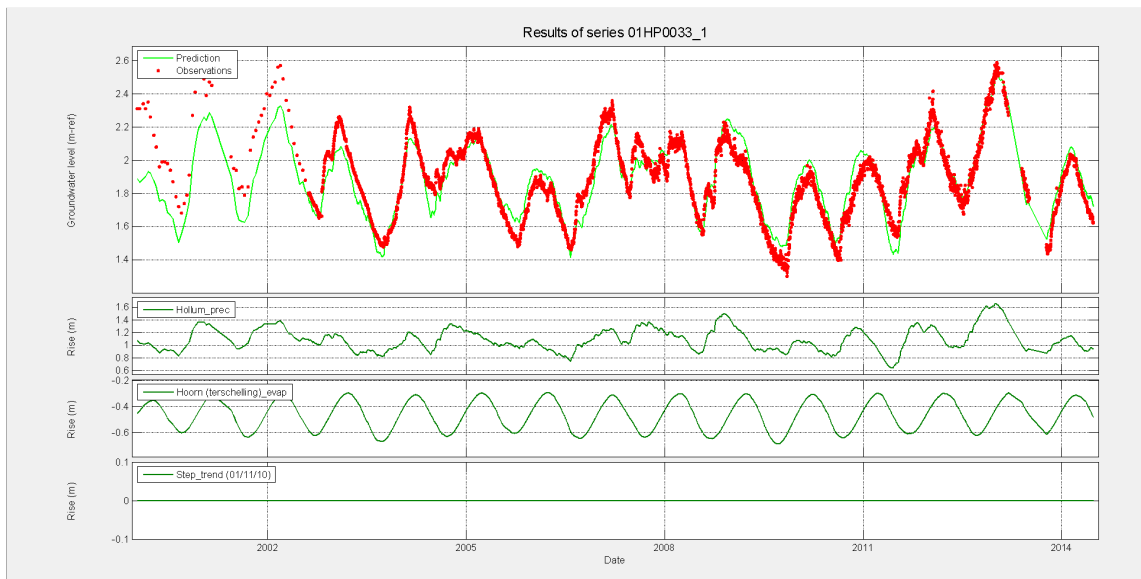
\*) standaardafwijking tussen haakjes



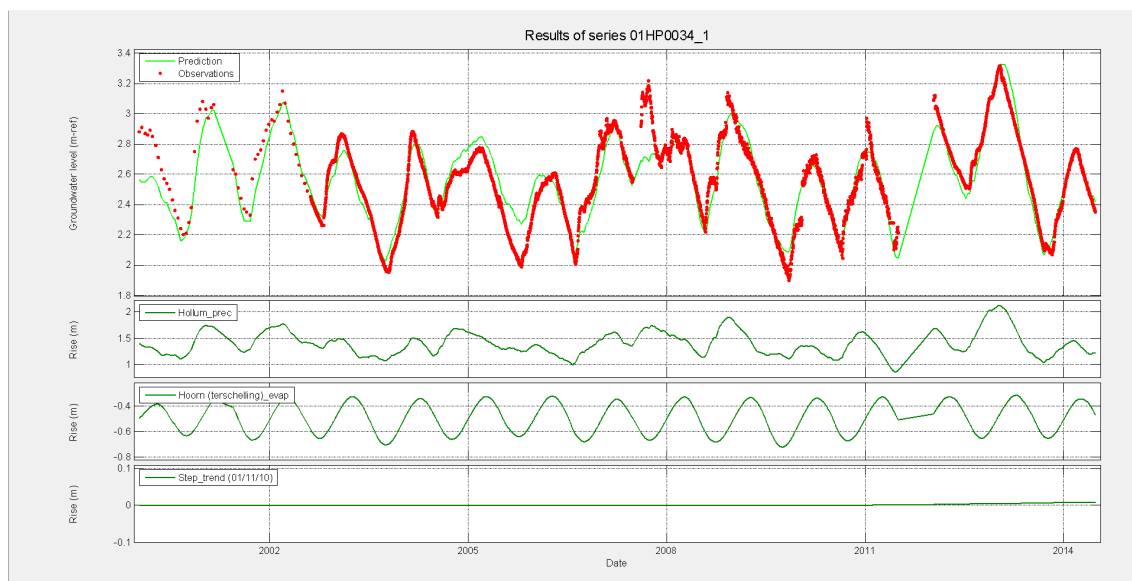
Figuur 28 Modelresultaat en verklarende variabelen peilbuisfilter 01HP0014, filter 1. In de bovenste grafiek is de groene lijn het modelresultaat en de rode stippen de waarnemingen. De tweede, derde en vierde grafiek laten respectievelijk de bijdrage van neerslag, verdamping en de stap-trend aan de grondwaterstand zien.



**Figuur 29 Modelresultaat en verklarende variabelen peilbuisfilter 01HP0048, filter 1. In de bovenste grafiek is de groene lijn het modelresultaat en de rode stippen de waarnemingen. De tweede, derde en vierde grafiek laten respectievelijk de bijdrage van neerslag, verdamping en de stap-trend aan de grondwaterstand zien.**



**Figuur 30 Modelresultaat en verklarende variabelen peilbuisfilter 01HP0033, filter 1. In de bovenste grafiek is de groene lijn het modelresultaat en de rode stippen de waarnemingen. De tweede, derde en vierde grafiek laten respectievelijk de bijdrage van neerslag, verdamping en de stap-trend aan de grondwaterstand zien.**



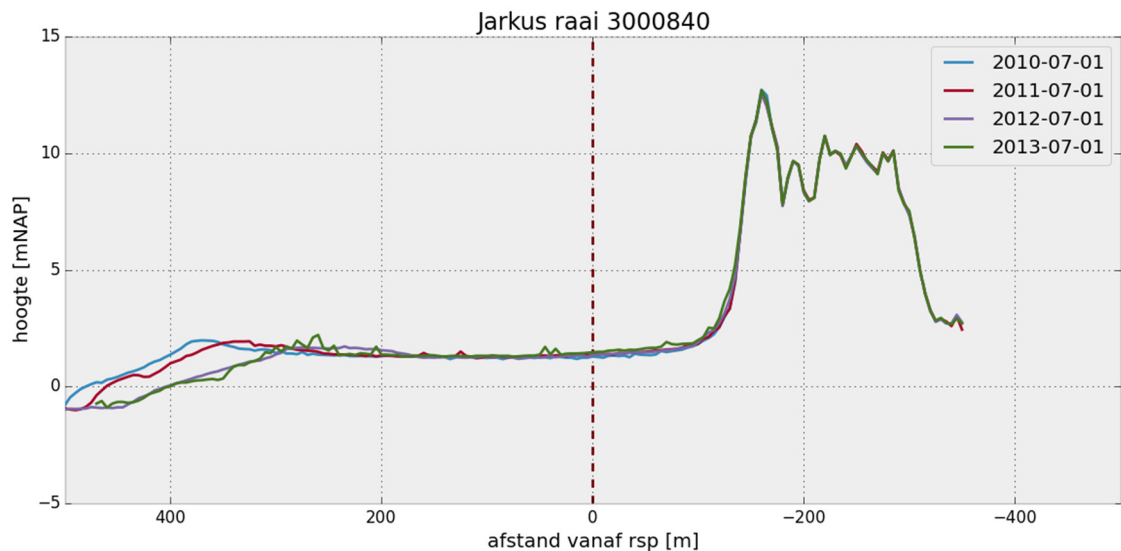
**Figuur 31 Modelresultaat en verklarende variabelen peilbuisfilter 01HP0034, filter 1. In de bovenste grafiek is de groene lijn het modelresultaat en de rode stippen de waarnemingen. De tweede, derde en vierde grafiek laten respectievelijk de bijdrage van neerslag, verdamping en de stap-trend aan de grondwaterstand zien.**

Peilbuisfilters met significante trend

Voor slechts 2 van de 97 peilbuisfilters is een significante trend berekend, wat wil zeggen dat het grondwaterstandsverloop ten opzichte van de neerslag en de verdamping significant is veranderd binnen de effectperiode. Deze peilbuisfilters liggen aan de westkant van het eiland ter hoogte van Ballum. Zie voor de ligging Figuur 33. Voor B01H0012 filter 2 wordt een verhoging berekend van 0,14 m. Voor B01H0251 filter 1 wordt een verhoging van berekend van 0,23 m. Voor de overige peilbuisfilters wordt geen statistisch significante trend berekend. Voor de twee peilbuisfilters met een significante trend worden het modelresultaat en de verklarende variabelen getoond in Figuur 34 en Figuur 35. De verklaarde variantie en parameterwaarden van deze peilbuisfilters worden gegeven in Tabel 12. De verklaarde variantie van beide peilbuisfilters is hoger dan gemiddeld. De waarden voor de gain van de neerslag en de verdampingsreductiefactor liggen dicht bij het gemiddelde en zijn plausibel. De twee peilbuisfilters met significante verhoging liggen in een gebied waar tijdens de zandsuppleties van 2010 / 2011 niet is gesuppleerd (vergelijking Figuur 33 en Figuur 5). Dat hier wel een significante verhoging wordt geconstateerd en dichter bij de suppletielocaties niet, strookt niet met het verwachte effect.

De zandsuppletie kan niet de oorzaak zijn van de verhoging van de grondwaterstand op deze locatie. In de meetreeksen is te zien dat de grondwaterstand in 2012 (zomer en winter) en 2013 (alleen de winter) duidelijk hoger is dan in de voorgaande periode. Dit is ook bij de peilbuizen in raai 1 het geval (zie Figuur 28 t/m Figuur 31), en wordt veroorzaakt door de hoge neerslagsom in 2012. Als de verhoging van de grondwaterstand als gevolg van de hoge neerslagsom ten onrechte wordt toegekend aan de stap-trend, dan is het vreemd dat dit alleen voor deze locaties gebeurt.

Verder is het mogelijk dat de grondwaterstand op deze locaties wordt beïnvloed door een verandering van de kustlijn die niet door zandsuppleties, maar door natuurlijke processen wordt veroorzaakt. Jarkusmetingen ter hoogte van deze locaties (raai 3000840) laten zien dat de kustlijn tussen 2010 en 2013 landinwaarts is verschoven (zie Figuur 32). Hierbij wordt een daling van de grondwaterstand verwacht in plaats van een verhoging.



**Figuur 32 Meetresultaten langs Jarkus-raai 3000840 (Ballum) voor 2010 t/m 2013**

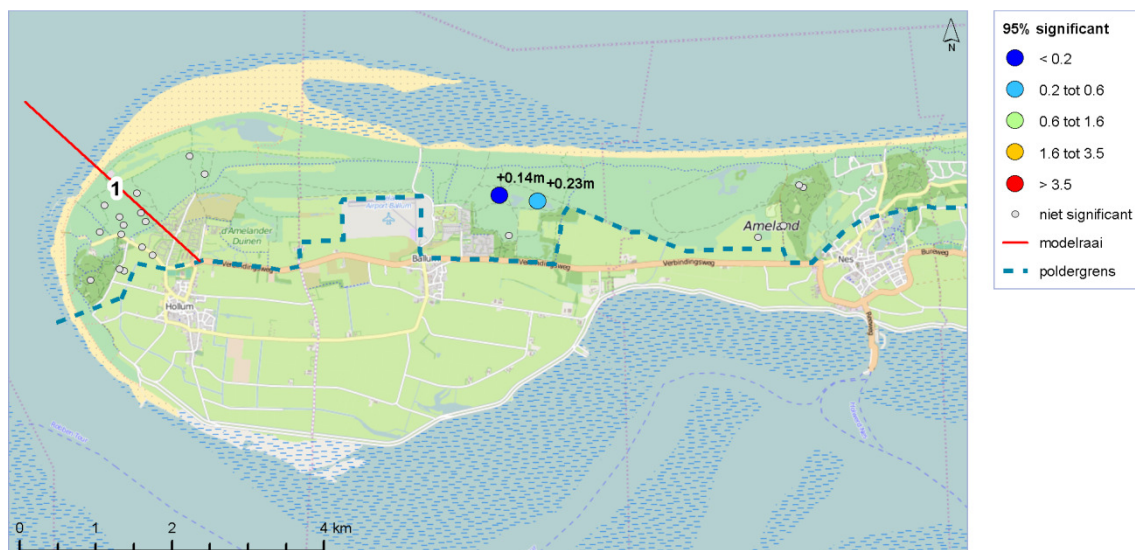
De oorzaak van de verhoging van de grondwaterstand moet worden gezocht in een lokale verandering:

- een verandering van de waterhuishouding, bijvoorbeeld het dempen van een watergang of een verhoogd polderpeil.
- een verandering van het landgebruik, bijvoorbeeld door het afplaggen van de toplaag in natuurgebieden.

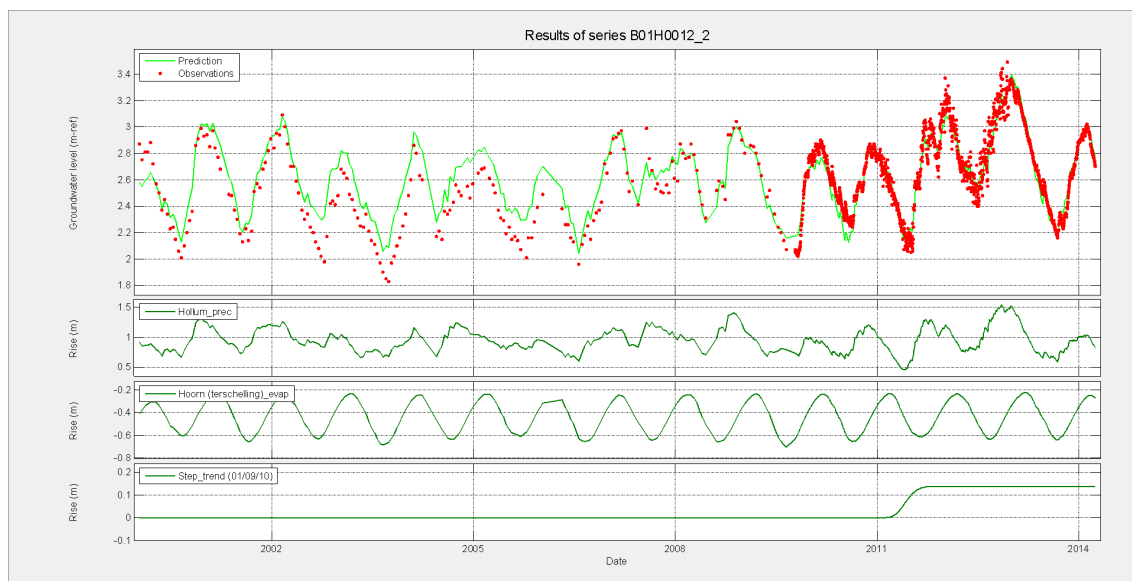
**Tabel 12 tijdreeksmodellen van peilbuisfilters waar een significante trend is vastgesteld**

meetlocatie	filternummer	verklaarde variantie [%]*	gain neerslag (M0) [dagen]*	verdampings-reductie factor [-]*	trendgrootte [m]*
B01H0012	2	91,5	376 (8)	0,70 (0,02)	0,14 (0,005)
B01H0251	1	88,0	356 (18)	0,89 (0,05)	0,23 (0,002)
gemiddelde alle modellen	nvt	84,1	350 (26)	0,9 (0,1)	2,2 (1,7 x 10 <sup>0</sup> )

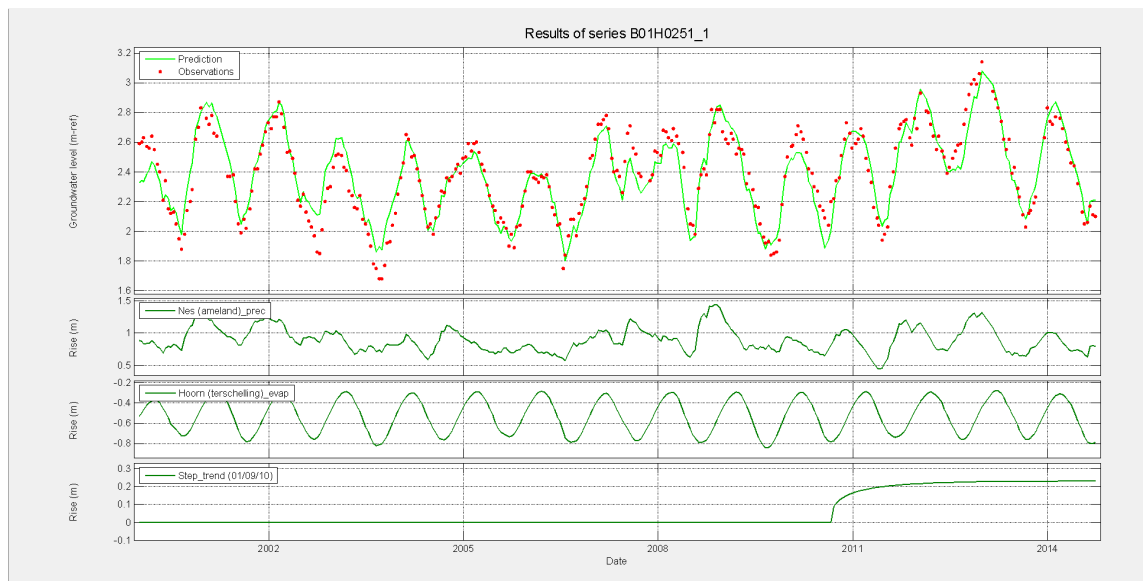
\*) standaardafwijking tussen haakjes



**Figuur 33** Berekende trendwaarden per meetlocatie. Alleen significante trendwaarden worden getoond.



**Figuur 34** Modelresultaat en verklarende variabelen peilbuisfilter B01H0012, filter 2. In de bovenste grafiek is de groene lijn het modelresultaat en de rode stippen de waarnemingen. De tweede, derde en vierde grafiek laten respectievelijk de bijdrage van neerslag, verdamping en de stap-trend aan de grondwaterstand zien.



**Figuur 35 Modelresultaat en verklarende variabelen peilbuisfilter B01H0251, filter 1. In de bovenste grafiek is de groene lijn het modelresultaat en de rode stippen de waarnemingen. De tweede, derde en vierde grafiek laten respectievelijk de bijdrage van neerslag, verdamping en de stap-trend aan de grondwaterstand zien.**

### 3.6 Conclusies tijdreeksanalyse

Meetreeksen van de grondwaterstand kunnen voor 97 peilbuisfilters op Ameland goed worden verklaard aan de hand van de neerslag en de referentieverdamping. De verklaarde variantie van de resulterende tijdreeksmodellen is minimaal 70%. Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat er geen structurele verandering van de grondwaterstand is opgetreden als gevolg van de suppletiewerkzaamheden van 2010 / 2011:

- Het toevoegen van een stap-trend voor de suppletieperiode leidt niet tot een significante toename van de verklaarde variantie.
- Het toevoegen van de stap-trend leidt niet tot een verandering van de berekende modelbasis.
- Voor 95 van de 97 peilbuisfilters kan geen significante verandering van de grondwaterstand worden aangetoond in de periode na de suppletiewerkzaamheden van 2010 / 2011, ten opzichte van de referentieperiode (2000 t/m 2010).

Bovenstaand resultaat is in tegenspraak met de verwachting op basis van de numerieke modellering in hoofdstuk 2. Op basis daarvan werd verwacht dat in een deel van de peilbuizen van raai 1 een verhoging van de grondwaterstand van 0,1 m of meer op zou treden. Dat blijkt niet uit de metingen af te leiden. Voor 2 van de 97 peilbuisfilters is wel een significante verhoging van de grondwaterstand berekend. Deze peilbuizen staan echter in een gebied waar tijdens de suppletiewerkzaamheden van 2010 / 2011 niet is gesuppleerd en op ca. 1,2 km van de kustlijn. Het is daarom niet plausibel dat deze verhoging van de grondwaterstand is veroorzaakt door de zandsuppleties. Het berekende effect kan dus niet worden afgeleid uit meetreeksen van de grondwaterstand. Dit bevestigt dat het berekende effect langs de dwarsdoorsnede (tweedimensionaal) een overschatting is van het werkelijk opgetreden effect.

Het resultaat van de tijdreeksanalyse wordt beïnvloed door een aantal bronnen van onzekerheid:

- het deel van het grondwaterstandsverloop wat niet kan worden verklaard aan de hand van neerslag en verdamping wordt beïnvloed door onbekende factoren en meetfouten. Dit kan het effect van de zandsuppleties op de grondwaterstand maskeren.
- Voor de schematisatie van de zandsuppletie als verklarende variabele is gekozen voor een stap-trend met neerslagresponsfunctie. Deze functie past het best op het verwachte effect. De stap-trend gaat echter uit van een structurele verandering van de grondwaterstand. Als de zandsuppleties een tijdelijke verhoging van de grondwaterstand veroorzaken die maar 1 of 2 jaar duurt, zal dit de fit van de stap-trend negatief beïnvloeden. Met behulp van een tijdreeksanalyse met enkel neerslag en verdamping kan worden getoetst op een kortstondig effect: waar de metingen sterk afwijken van het tijdreeksmodel is een derde bepalende factor aanwezig, zoals een zandsuppletie. In de T1-analyse is deze methode toegepast. Er is toen geen kortstondig effect aangetoond in de grondwaterstandsmetingen van vlak na de zandsuppletie van 2010 / 2011.
- De 97 peilbuisfilters met een betrouwbaar tijdreeksmodel hebben een beperkte ruimtelijke dekking. Op plaatsen waar het grootste effect wordt verwacht staan geen peilbuizen. Er staan slechts enkele peilbuizen dicht langs de kustlijn, terwijl daar de grootste verandering van de grondwaterstand wordt verwacht. Ook de kwetsbare habitats in de duinvalleien worden beperkt bemeten. De meetreeksen geven dus een onvolledig beeld van het mogelijke effect van de zandsuppleties.

Door deze bronnen van onzekerheid kan op basis van de tijdreeksanalyse niet worden uitgesloten dat dicht bij de kustlijn een tijdelijke verandering van de grondwaterstand is opgetreden. Wel kan worden geconcludeerd dat de op basis van de modelberekeningen bepaalde maximale verhoging van circa 0,2 m midden in het duin tot afgerond 0,1 m bij de binnenduinrand niet is opgetreden.



## **4 ECOLOGISCHE EFFECTEN**

### **4.1 Doel en aanpak**

Bij vergunningaanvragen in het kader van de Natuurbeschermingswet voor toekomstige suppletiewerkzaamheden is het verplicht om de mogelijke effecten van een ingreep op natuurwaarden met een Natura 2000-instandhoudingsdoelstelling in beeld te brengen en te beoordelen. Naast het bepalen van mogelijke hydrologische effecten wordt in deze analyseronde onderzocht in hoeverre deze de oppervlakte en kwaliteit van habitattypen en leefgebieden van beschermde vogel- en habitatsoorten (met een instandhoudingsdoelstelling voor Natura 2000-gebied Duinen van Ameland) kunnen beïnvloeden.

Op Ameland zijn onder andere kwetsbare vochtige duinvalleien en droge duingraslanden en –heiden aanwezig, beschermd in het kader van Natura 2000. De plantengemeenschappen in deze habitattypen kunnen gevoelig zijn voor veranderingen in het grondwaterregime, de grondwaterkwaliteit en de bodemgesteldheid. In dit hoofdstuk wordt kort geschetst in hoeverre de berekende hydrologische effecten kunnen doorwerken op de ecologische randvoorwaarden van natuurwaarden met een instandhoudingsdoelstelling.

Uitgangspunt is een fictieve cyclus van om de 4 jaar zandsuppletie, gevolgd door erosie naar het oorspronkelijke niveau. We hebben de gemiddelde grondwaterstandsverhoging in deze cyclus, die dus ligt tussen de maximale en de minimale grondwaterstandsverhoging binnen deze 4 jaars-cyclus, gehanteerd als effect van de zandsuppletie op het duingebied. Deze gemiddelden staan weergegeven door middel van contourlijnen in Figuur 18. Door deze verandering van het grondwaterregime te vergelijken met de randvoorwaarden van habitattypen voor wat betreft het grondwaterregime (GVG en GLG) is een inschatting gemaakt van mogelijke effecten op instandhoudingsdoelstellingen van de Duinen van Ameland.

De effectbeoordeling is gemaakt voor het westelijke deel van de duinen van Ameland, omdat daar de koppeling tussen de hydrologische modellering en de vegetatie op een verantwoorde manier te maken was op basis van de aanwezige gegevens.

De deelvragen die in dit hoofdstuk worden beantwoord zijn:

1. Wat is het effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 bij raai 1 (om de 4 jaar herhaald) op de ecologische randvoorwaarden?
2. Wat zou het effect zijn als deze grondwaterstandsverhogingen optreden op andere delen van het eiland?
3. Wat zijn belangrijke soorten / habitattypes die belangrijk zijn voor monitoring bij zandsuppleties langs de Nederlandse kust?

### **4.2 Afbakening gevoelige natuurwaarden**

Het Natura 2000-gebied Duinen van Ameland heeft instandhoudingsdoelstellingen voor habitattypen, een habitatsoort en een aantal broedvogelsoorten (Tabel 13). Er is gebruik gemaakt van de habitattypenkaart (Aerius 1.6), om kwetsbare habitattypen in het westelijke duingebied van Ameland te lokaliseren. Het is niet bekend waar de broedvogelsoorten broeden op Ameland en in welke aantallen, maar gezien de biotoopeisen van de betreffende soorten kan in principe elke soort in of direct nabij de duinen van Ameland tot broeden komen. De biotopen lopen uiteen van natte moerassige duinvalleien (bijv. blauwe kiekendief, porseleinhoen, rietzanger) tot droge duingraslanden (bijv. tapuit), struwelen (grauwe klauwier)

en de zeereep en stranden (eider). Groenknolorchis komt voor in de duinen van Ameland; de soort prefereert in duingebieden de vochtige kalkrijke duinvalleien die niet jaarrond geïnundeerd zijn; standplaatsen kwalificeren meestal als habitattype H2190B (vochtige duinvalleien, subtype kalkrijk).

Vochtige duinvalleien zijn volgens de effectenindicator niet gevoelig voor vernatting. Voor de subtypen A, C en D van dit habitattype – de vegetatietypen die meestal permanent (ondiep) onder water staan – kan inderdaad gesteld worden dat vernatting in de meeste gevallen een verwaarloosbaar effect heeft. Dit heeft echter ook zijn grenzen; er zijn vegetatietypen die een tamelijk smalle bandbreedte hebben voor wat betreft grondwaterregime. Kalkrijke duinvalleien (H2190 subtype B) staan in ongestoorde situaties doorgaans droog in het voorjaar en de zomer. Als deze jaarrond onder water komen staan kan dit leiden tot grote verschuivingen in de vegetatiesamenstelling. Een langdurige verandering van grondwaterregime in vegetaties die zijn gekwalificeerd als H2190 kan dus in principe voor alle subtypen betekenen dat de kwaliteit van het habitattype verandert (ten goede of ten slechte); omvorming tot een ander subtype of tot een niet als habitattype kwalificerende vegetatie is daarbij niet uitgesloten.

**Tabel 13 Instandhoudingsdoelstellingen van Natura 2000-gebied Duinen Ameland en gevoeligheid voor vernatting volgens de Effectenindicator: groen = niet gevoelig; oranje = gevoelig; rood = zeer gevoelig. Grijs gedrukte rijen zijn habitattypen die niet nabij de vernattingscontouren voorkomen.**

Habitattypen		opper- vlakte	kwaliteit	populatie	populatie/ draagkracht
H2120	Witte duinen	=	=		
H2130A	*Grijze duinen (kalkrijk)	=	=		
H2130B	*Grijze duinen (kalkarm)	>	>		
<i>H2130C</i>	<i>*Grijze duinen (heischraal)</i>	>	>		
H2140A	*Duinheiden met kraaihei (vochtig)	=	>		
H2140B	*Duinheiden met kraaihei (droog)	=	=		
H2150	*Duinheiden met struikhei	=	=		
H2160	Duindoornstruwelen	=	=		
H2170	Kruipwilgstruwelen	= (<)	=		
H2180A	Duinbossen (droog)	=	=		
H2180B	Duinbossen (vochtig)	=	=		
<i>H2180C</i>	<i>Duinbossen (binnenduinrand)</i>	=	=		
H2190A	Vochtige duinvalleien (open water)	=	=		
H2190B	Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	>	>		
H2190C	Vochtige duinvalleien (ontkalkt)	=	>		
H2190D	Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)	=	=		
<i>H6230</i>	<i>*Heischrale graslanden</i>	>	>		
<b>Habitatsoorten</b>					
H1903	Groenknolorchis	>	>	>	
<b>Broedvogels</b>					
A021	Roerdomp	=	=		2
A063	Eider	>	>		100
A081	Bruine Kiekendief	=	=		40
A082	Blauwe Kiekendief	>	>		20
A119	Porseleinhoen	=	=		2
A222	Velduil	>	>		20
A277	Tapuit	>	>		100

A295	Rietzanger	=	=		230
A338	Grauwe Klauwier	>	>		5

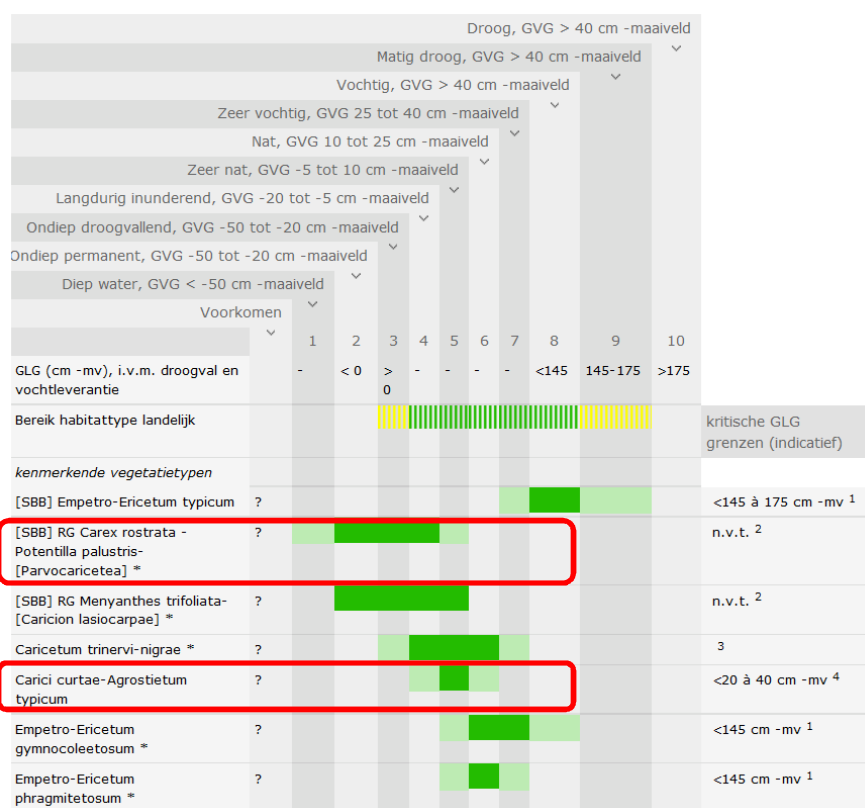
De groenknolorchis en de meeste broedvogelsoorten (Tabel 13) zijn niet gevoelig voor vernatting. Broedgebied voor de oranje gemerkte broedvogelsoorten roerdomp, porseleinhoen en bruine kiekendief bestaat uit open waterrijke rietlanden, (pionier)moerassen en/of lisdodde/mattenbeisvegetaties. Deze zijn gebaat bij een zekere waterpeildynamiek; de 4-jarige cyclus van het zandsuppletieprogramma zorgt voor extra dynamiek in het grondwaterregime bovenop de bestaande jaarlijkse dynamiek. Na elke suppletie zijn grondwaterstanden relatief hoog; naarmate het gesuppleerde zand weer erodeert zakken de grondwaterstanden tot het niveau van voor de suppletie. Deze grondwaterdynamiek is in principe gunstig voor ontwikkeling en instandhouding van rietmoeras dat niet snel verruigt of verbost en is daardoor dus eerder gunstig dan ongunstig voor de genoemde broedvogelsoorten. Ook voor deze soorten is vernatting dus geen knelpunt.

In Tabel 14 staan de randvoorwaarden weergegeven voor de vochttoestand voor de habitattypen die voorkomen nabij de hydrologische invloedssfeer van de suppletielocatie. Deze randvoorwaarden zijn echter uitersten van de spectra van de verschillende vegetatietypen die kwalificeren als habitatype. Dit betekent in veel gevallen dat een bepaald vegetatietype onder vochtcondities voorkomt die verschillen van een ander vegetatietype binnen hetzelfde habitatype. Een voorbeeld is H2190C; hierbinnen vallen onder andere de Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge en de Rompgemeenschap van Snavelzegge en Wateraardbei (zie Figuur 36). De eerste komt onder minder natte omstandigheden voor dan de tweede; bovendien staat de eerste te boek als "goede kwaliteit" en de tweede als "matige kwaliteit" habitatype (profieldocument<sup>1</sup>). Dit betekent dat een verschuiving binnen de randvoorwaarden van Tabel 14 tot een verandering van vegetatie kan leiden en daarmee tot verandering van kwaliteit (negatief, neutraal of positief).

**Tabel 14 Randvoorwaarden met betrekking tot grondwaterstanden voor de habitattypen die voorkomen binnen of nabij de contouren, op basis van Runhaar et al. (2009).**

Habitattypen	Omschrijving	GVG	GLG
H2120	Witte duinen	>40	>175
H2130A	*Grijze duinen (kalkrijk)	>40	>175
H2130B	*Grijze duinen (kalkarm)	>40	>175
H2140A	*Duinheiden met kraaihei (vochtig)	-5 tot >40	<145
H2140B	*Duinheiden met kraaihei (droog)	25 tot >40	>145
H2150	*Duinheiden met struikhei	>40	>145
H2160	Duindoornstruwelen	>40	>145
H2170	Kruipwilgstruwelen	25 tot >40	<145
H2180A	Duinbossen (droog)	>40	>145
H2180B	Duinbossen (vochtig)	-5 tot >40	<30 tot 175
H2190A	Vochtige duinvalleien (open water)	<-50 tot 10	<0 tot <145
H2190B	Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	-20 tot >40	<145
H2190C	Vochtige duinvalleien (ontkalkt)	-50 tot >40	<0 tot <145
H2190D	Vochtige duinvalleien (hoge moerasplanten)	<-50 tot 10	<0 tot <145

<sup>1</sup> [http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/documenten/profielen/habitattypen/Profiel\\_habitatype\\_2190.pdf](http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/documenten/profielen/habitattypen/Profiel_habitatype_2190.pdf)



Figuur 36 Voorbeeld van bandbreedten van afzonderlijke vegetatietypen die binnen eenzelfde habitatype kwalificeren<sup>2</sup>: habitatype H2190C (ontkalkte vochtige duinvalleien). Rood omlijnde vegetatietypen worden genoemd in de tekst.

### 4.3 Beoordeling ecologische effecten

Uitgaande van de contouren waarbinnen een bepaalde mate van verhoging van de grondwaterstanden door de suppleties is uitgerekend, zijn de volgende effecten aan de orde:

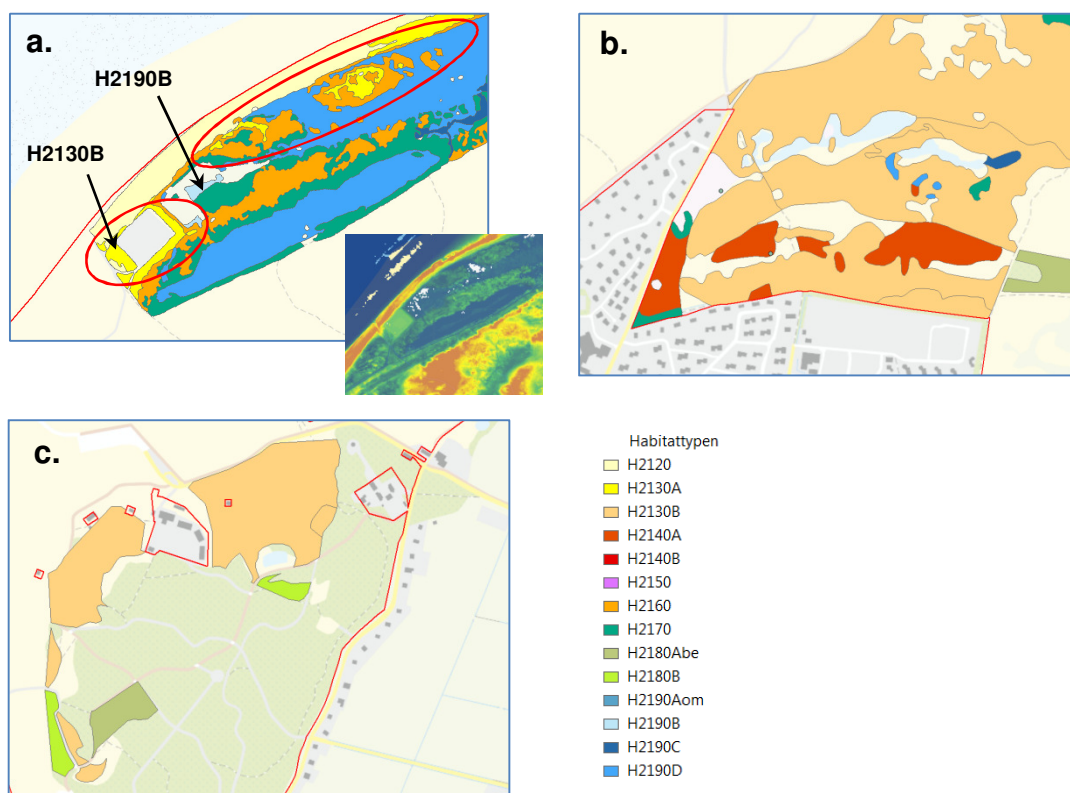
- In de droge duinen treden vooral dicht bij de zeereep effecten op in de orde grootte van enkele decimeters stijging van GVG en GHG
- Ook in de moeraslaagte noordelijk van de Hollumer Duinen wordt uitgegaan van een GXG-stijging tot meer dan 0,3 meter. In de praktijk zal dit voornamelijk betekenen dat met name de flanken rondom de vallei natter worden door uittrekkende kwel
- De berekende gemiddelde grondwaterstandsverhoging plus de maximale toename van de dynamiek als gevolg van de zandsuppletie geven aanleiding tot enkele marginale overgangen in grondwatertrappen in de duinen
- Deze overgangen zijn ofwel van grondwatertrap VII naar VI/VII (plaatselijk in de Hollumer Duinen), ofwel van II naar I (Jan Roepeheide)

De grondwatertrapovergangen van VII naar VI liggen in de hogere duinen, waar op het grootste deel in de huidige situatie geen kwalificerend habitatype ligt. In het zuidelijk deel van de Hollumer Duinen liggen

<sup>2</sup> <http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=ecologischevereisten>

delen met kalkarm grijs duin (H2130B) en droge duinbossen (H2180A). Ook bij grondwatertrap VI ligt de GVG nog meer dan 40 cm onder maaiveld. Dit komt overeen met de randvoorwaarde voor vocht van deze habitattypen (Tabel 14). Op de drogere habitattypen zijn dus geen effecten van vernatting te verwachten.

In enkele delen die voordat er gesuppleerd werd al vochtig tot nat waren, te weten de moeraslaagte noordelijk van de Hollumer Duinen en de Jan Roepeheide, is de verhoging veel dichtter bij het maaiveld merkbaar en kan daarmee van invloed zijn op vegetatie. De verhoging van meer dan 30 centimeter aan de westkant van de genoemde moeraslaagte kan ertoe leiden dat vooral de flanken natter worden door uittredende kwel. In en direct rondom die laagte liggen meerdere habitattypen (Figuur 37a). Kalkrijke grijze duinen (H2130A) kunnen dan vernatten, waardoor zich waarschijnlijk ter plaatse vocht- en kalkminnende plantensoorten zullen vestigen. Dit betekent mogelijk een plaatselijke uitbreiding van H2190B ten koste van H2130A (dit laatste is in principe een aantasting van de instandhoudingsdoelstelling). Ook nabijgelegen kalkrijke duinvalleivegetaties (H2190B) kunnen langduriger en dieper geïnundeerd raken, waarbij ontwikkeling naar een natter vegetatietype (waarschijnlijk niet kwalificerend als H2190B) mogelijk is. Veranderingen van kwaliteit en oppervlakte van habitattypen zijn dus goed mogelijk; het is echter in dit stadium niet goed mogelijk te voorspellen in hoeverre dat achteruitgang betreft.



**Figuur 37** Details van de habitattypenkaart: de moeraslaagte noordelijk van de Hollumer Duinen, met als inzet de AHN en rood omcirkeld de flanken met H2130A (a), de Jan Roepeheide (b) en rondom het Hollumer Bosch (c).

De berekende grondwaterstandverhoging in de Jan Roepeheide ligt in de orde van 5 a 10 centimeter. Ter plaatse liggen – in een matrix van kalkarm grijs duin, zie Figuur 37b– duinheiden met kraaihei (zowel het vochtige als droge subtype, H2140A en B), kruipwilgstruwelen en vochtige duinvalleien (ontkalkt en hoge

moerasplanten, respectievelijk H2190C en D). De duinheiden met kraaihei en de vochtige duinvalleien kunnen uit meerdere vegetatietypen bestaan, die tamelijk smalle bandbreedten hebben voor wat betreft de vochttoestand. In dit stadium is niet bekend wat de kwaliteit van de habitattypen in het betreffende deel van de Jan Roepeheide is. Daarom, en vanwege lokale variatie in reliëf, is niet goed te bepalen wat een stijging van 5 a 10 centimeter voor effecten zou hebben op de vegetatiekwaliteit. In theorie is het mogelijk dat vernatting lokaal leidt tot achteruitgang in oppervlakte en/of kwaliteit van droge habitattypen (H2130B, H2140B). Tegelijk kan het bevorderlijk uitpakken voor vochtminnende vegetaties, of voor kwalitatieve verschuivingen in de soortensamenstelling zorgen (voor bijvoorbeeld H2140A, H2190C en D). De berekende vernatting is echter marginaal te noemen, waardoor gesteld kan worden dat de resulterende vegetatieveranderingen ook marginaal zijn.

Rondom het Hollumer Bosch (Figuur 37c) liggen voornamelijk kalkarme grijze duinen (H2130B). Enkele delen van het bos kwalificeren als droog of vochtig duinbos (H2180A resp. B). De stijging van de GXG (ordegrootte 10 centimeter) leidt daar niet tot een verandering van het grondwaterregime die ecologisch van betekenis is. De grondwatertrap blijft VI – VII; er zal dan ook vanuit de vochttoestand geen verandering optreden voor de droge vegetaties van H2130B en H2180A. Uitzondering is mogelijk het kleine perceel met H2180B vochtig duinbos; het is echter niet bekend welk vegetatietype ter plaatse voorkomt. Dit kan een sterk vochtminnend elzenbroekbos zijn, maar ook een relatief droog berkenmeidoornbos. Gezien de diepe bewortelingszone van de meeste bostypen lijkt het niet waarschijnlijk dat een dergelijke verandering in de vochttoestand tot significante successie zal leiden in deze duinbossen.

#### 4.4 Conclusies ecologische effecten

##### Wat is het effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 bij raai 1 op de ecologische randvoorwaarden?

Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat er geen structurele verandering van grondwaterstanden is gevonden die gerelateerd kunnen worden aan de zandsuppleties. Dit betekent dat er ook geen structureel effect op de natuur is als gevolg van mogelijke grondwaterstandsverandering als gevolg van de zandsuppleties.

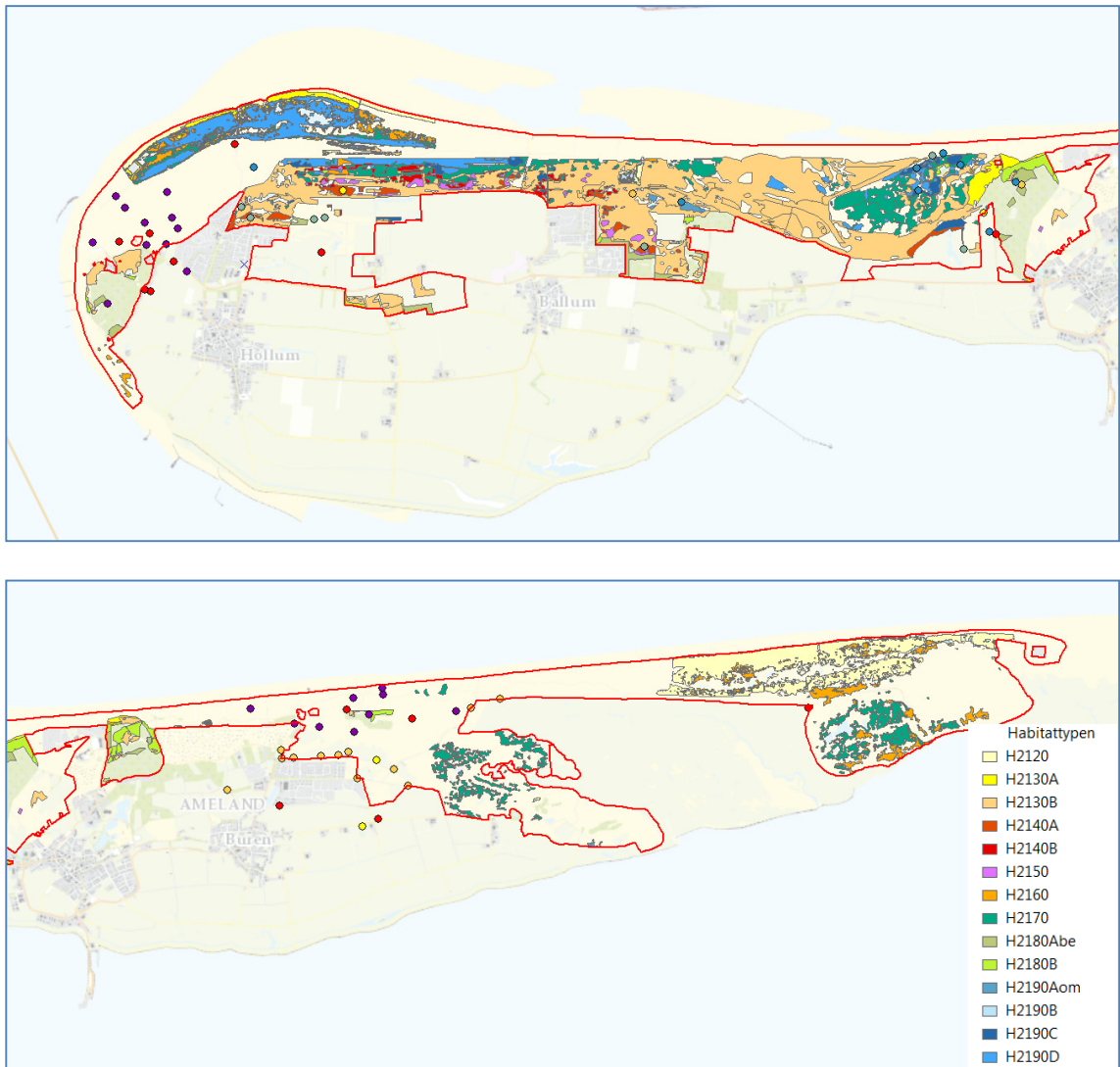
##### Wat zou het effect zijn als deze grondwaterstandsverhogingen optreden in andere delen van het eiland?

Daadwerkelijke vernatting is niet vastgesteld. Indien vernatting wel zou optreden, zou in grijze duinen (H2130), droge duinheiden met kraaihei (H2140B) en kalkrijke vochtige duinvalleien (H2190B) vegetatiesuccessie kunnen optreden waardoor de oppervlakte habitatype kan afnemen. Ook in vochtminnende habitattypen met een bredere bandbreedte voor wat betreft vochttoestand kunnen eventueel kwaliteitsverschuivingen optreden door successie. Deze kunnen zowel positief als negatief uitpakken.

Deze habitattypen komen verspreid over het eiland voor (Figuur 38). De breedte van de duinenrij, de aanwezigheid van watergangen en grote brede valleien is van invloed van de mate van vernatting die op zou kunnen treden door suppletie. Er zijn delen van het eiland waar vernatting weinig habitattypen raakt (bv Buurderduinen) en delen waar juist veel valleien met vernattingsgevoelige habitattypen liggen (bv ter hoogte van paal 12).

In Tabel 15 staan de algemene conclusies weergegeven ten aanzien van de habitattypen. Per afstandszone (kust, middenduin en binnenduin) staan de belangrijkste habitattypen weergegeven die daarin voorkomen op Ameland. Mogelijke effecten op basis van de berekeningen zijn afhankelijk van de afstand en de gevoeligheid van het habitatype voor vernatting. Omdat niet bekend is hoe de huidige toestand is van de habitattypen (mede irt het grondwaterregime), kunnen geen eenduidige conclusies worden getrokken. De lokale situatie is bepalend voor het daadwerkelijke effect op de vegetatie. Wel is het

te verwachten dat over het algemeen de effecten zeer klein tot verwaarloosbaar zullen zijn, ook gezien het feit dat er geen grondwaterveranderingen zijn geconstateerd in relatie tot de suppleties.



**Figuur 38** Habitattypenkaart van Ameland, volgens Aerius 1.6. Boven West Ameland, onder Oost Ameland.

Wat zijn in het algemeen belangrijke soorten / habitattypes die belangrijk zijn voor monitoring bij zandsuppleties langs de Nederlandse kust?

Ondanks dat het op Ameland niet is vastgesteld, dient op basis van theorie wel rekening te worden gehouden met vernatting van habitattypen; grijze duinen (H2130), droge duinheiden met kraaihei (H2140B) en kalkrijke vochtige duinvalleien (H2190B) kunnen lokaal vernatten waardoor er vegetatiesuccessie optreedt en de oppervlakte habitatype kan afnemen. Ook in andere (vochtminnende) vegetaties kunnen eventueel kwaliteitsverschuivingen optreden door successie. Deze kunnen zowel positief als negatief uitpakken.

Het gaat hier in de eerste plaats om natuurwaarden die beschermd zijn onder de Natuurbeschermingswet en de Flora- en faunawet. Voor wat betreft de Natuurbeschermingswet zijn de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000-gebieden in de duinen en de Noordzeekustzone relevant, omdat zandsuppleties direct invloed hebben op kusthabitats en leefgebieden van vogels, en indirect (door geomorfologische processen en beïnvloeding van het grondwaterregime) ook op duinvegetaties en leefgebieden van soorten die daarin voorkomen. In principe zijn de meeste habitattypen gevoelig voor vernatting (en verdroging), zoals hierboven beschreven; het hangt af van de huidige vochttoestand ten opzichte van de randvoorwaarden van het betreffende habitatype, en van de huidige kwaliteit van de vegetatie, of er daadwerkelijk effecten te verwachten zijn. Daarnaast is een aantal voorkomende soorten beschermd onder de Flora- en faunawet, zoals bijvoorbeeld orchideeënsoorten, zandhagedis en rugstreeppad. Het leefgebied van niet-mobiele soorten kan ook worden aangetast door vernatting; het gaat hier dan om plantensoorten (bijvoorbeeld orchideeën en parnassia). Ook diersoorten die (althans in een deel van de levenscyclus) weinig mobiel zijn kunnen effecten ondervinden, zoals bijvoorbeeld libellen en dagvlinders.

**Tabel 15 Maximaal verwachte effect op habitattypen**

	Grondwater-effecten		Belangrijkste habitatype	mogelijk ecologisch effect
	Gem. grondwaterstand	Amplitude		
oorspronkelijke kustlijn	+ 0,4 m	+ 0,9 m	H2120	geen
midden van het duin	+ 0,2 m	+ 0,2 m	H2130A	zeer plaatselijk nabij vochtige valleien: kwaliteits- en/of oppervlakteverlies a.g.v. successie; wsch. verwaarloosbaar
			H2130B	
			H2160	wsch. geen
			H2170	
			H2180A	
			H2180B	
			H2190A	
			H2190B	mogelijk kwaliteits- en/of oppervlakteverlies a.g.v. successie
			H2190C	
H2190D				
binnenduinrand	+ 0,07 m	+ 0,06 m	H2130B	geen
			H2140A	
			H2140B	
			H2150	
			H2180A	
			H2180B	
			H2190C	
H2190D				



## 5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 5.1 Hydrologische effecten

De resultaten van dit onderzoek berusten op twee pijlers:

- Een conceptueel begrip van het hydrologisch systeem op Ameland en het verwachte effect van de zandsuppleties op dit systeem. Dit is uitgewerkt in de numerieke modellering (hoofdstuk 2).
- Analyse van meetreeksen van de grondwaterstand op Ameland. Deze zijn gebruikt in de tijdreeksanalyse (hoofdstuk 3).

De numerieke modellering geeft inzicht in het maximaal te verwachten effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 op de grondwaterstanden op Ameland. De tijdreeksanalyse laat zien of er een aantoonbaar effect is op basis van meetgegevens van de grondwaterstand. De onderzoeksvragen uit paragraaf 1.2 worden hiermee als volgt beantwoord.

Wat is het effect van de zandsuppletie van 2010 / 2011 op het grondwatersysteem en de vochtige duinvalleien op Ameland op de korte en lange termijn?

De belangrijkste conclusie is dat met de tijdreeksanalyse is aangetoond dat er na de zandsuppletie van 2010 / 2011 geen structurele verandering van de grondwaterstand is opgetreden. Bij 2 van de 97 peilbuisfilters waarvoor een betrouwbaar tijdreeksanalysemodel kon worden opgezet is wel een significante verhoging van de grondwaterstand geconstateerd. Gezien de ligging en de afstand tot de kustlijn kan deze verhoging niet worden gerelateerd aan de zandsuppletie. Waarschijnlijk is een verandering van de lokale waterhuishouding de oorzaak van de geconstateerde verhoging.

Met de numerieke modellering is berekend wat het effect op de grondwaterstanden zal zijn als de zandsuppletie van 2010 / 2011 in 4 jaar erodeert en daarna weer wordt herhaald. Bij raai 1 aan de westkant van het eiland worden de grootste effecten verwacht omdat op die plek de uitbreiding van strand het grootst is. Het berekende maximale effect op de gemiddelde grondwaterstand is 0,4 m verhoging bij de oorspronkelijke kustlijn, 0,2 m bij het midden van het duin, en afgerond 0,1 m verhoging aan de binnenduinrand. In werkelijkheid vindt er erosie van het strand plaats waardoor in werkelijkheid het effect lager zal zijn.

Bij grote ingrepen boven de waterlijn, zoals duinverzwaringen, dient rekening te worden gehouden met een kortstondige verhoging van de grondwaterstand. Het zand bevat zout zeewater dat wanneer het wegzakt het zoete grondwater wegdrukt. Dit effect is niet zichtbaar in de meetreeksen van de grondwaterstand die binnen dit project voorhanden zijn. Bij een strandsuppletie wordt slechts op geringe hoogte boven de waterlijn zand opgespoten. De grondwaterstandsverhoging die dit veroorzaakt zal enkel op het strand waarneembaar zijn. De peilbuizen die beschikbaar zijn staan waarschijnlijk te ver van de waterlijn om dit effect te kunnen waarnemen. Omdat dit onderzoek zich richt op de kwetsbare habitats in de duinvalleien is deze kortstondige verhoging van de grondwaterstand op het strand niet van belang.

Welk algemeen effect treedt er op als gevolg van deze zandsuppleties, en wat moet worden onderzocht bij de uitvoering en vergunning voor toekomstige suppletiewerkzaamheden?

De numerieke modellering, beschreven in hoofdstuk 2, laat zien dat een kustverbreding als gevolg van strandsuppletie een verhoging van de gemiddelde grondwaterstand veroorzaakt. Deze verhoging is het grootst ter plaatse van de oorspronkelijke kustlijn. In de numerieke modellering zijn de variabelen naar voren gekomen die bepalend zijn voor dit effect:

- de grootte van de kustverbreding d.w.z. de zeewaartse verplaatsing van de kustlijn. Hoe groter de verbreding, des te groter de maximale verhoging van de gemiddelde grondwaterstand.

- de duinbreedte, oftewel de afstand tussen de waterlijn en de grens van de polder, waar een vast oppervlaktewaterpeil wordt gehandhaafd. Hoe groter de duinbreedte, des te groter de maximale verhoging van de grondwaterstand in de duinen.
- de dikte en doorlatendheid van het watervoerend pakket in de duinen, samen het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket. Hoe groter het doorlaatvermogen, des te kleiner de maximale verhoging van de grondwaterstand.

Daarnaast is de lengte van de kustlijn waarover de kustverbreding optreedt van belang. Als een kustverbreding zeer lokaal is, wordt het effect op de grondwaterstand sterk gedempt door radiale uitstraling. Als dezelfde kustverbreding over een grotere lengte van de kustlijn optreedt, zal het effect op de grondwaterstand groter zijn.

Als de zandsuppleties worden afgewisseld door een periode waarin erosie optreedt, dan fluctueert de gemiddelde grondwaterstand mee met de cyclus van suppletie-erosie. Hierbij wordt een gemiddelde verhoging ingesteld ten opzichte van de kustlijn vóór suppletie. De snelheid waarmee deze gemiddelde verhoging wordt ingesteld wordt bepaald door het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket. Naast de gemiddelde verhoging zorgt de cyclus van suppletie en erosie van een toename van de dynamiek van de grondwaterstanden in de duinen. Bij grote ingrepen als duinverzwaringen dient rekening te worden gehouden met een kortstondige verhoging van de grondwaterstand als er nat zand wordt opgespoten, zoals hierboven beschreven.

Het effect van vooroever- en onderwatersuppleties op de grondwaterstanden in de duinen is verwaarloosbaar klein, omdat deze suppleties geen effect hebben op het maaiveldverloop boven de vloedlijn. De ecologische effecten van de zandsuppletie van 2010 / 2011 en de verwachte ecologische effecten bij zandsuppleties in het algemeen worden in de volgende paragraaf beschreven.

## 5.2 Ecologische effecten

Uit de tijdreeksanalyse blijkt dat er geen structurele verandering van grondwaterstanden is gevonden die gerelateerd kunnen worden aan de zandsuppleties. Dit betekent dat er ook geen structureel effect op de natuur is als gevolg van mogelijke grondwaterstandsverandering als gevolg van de zandsuppleties.

Omdat er geen vlakdekkende hydrologische analyseresultaten zijn en de huidige situatie (abiotiek en biotiek) niet volledig bekend is, is het niet goed mogelijk om een gedetailleerde duiding te geven van effecten van vernatting op instandhoudingsdoelstellingen van Duinen van Ameland. In principe is het mogelijk dat vernatting leidt tot negatieve effecten op habitattypen; grijze duinen (H2130), droge duinheiden met kraaihei (H2140B) en kalkrijke vochtige duinvalleien (H2190B) kunnen lokaal vernattingen waardoor er vegetatiesuccessie optreedt en de oppervlakte habitatype kan afnemen. In vochtminnende vegetaties kunnen eventueel kwaliteitsverschuivingen optreden door successie. Deze kunnen zowel positief als negatief uitpakken.

De breedte van de duinenrij, de aanwezigheid van watergangen en grote brede valleien is van invloed van de mate van vernatting die optreedt door zandsuppletie. Er zijn delen van het eiland waar vernatting weinig habitattypen raakt (b.v. Buurderduinen) en delen waar juist veel valleien met vernattinggevoelige habitattypen liggen (b.v. ter hoogte van strandpaal 12). Effecten op die habitattypen zijn in grote lijnen dezelfde als genoemd in de vorige alinea. Ook hier geldt dat er geen concrete en kwantitatieve inschatting kan worden gegeven.

Belangrijke soorten en habitattypes die effect van vernatting (al dan niet als gevolg van suppleties) kunnen ondervinden zijn in de eerste plaats natuurwaarden die beschermd zijn onder de Natuurbeschermingswet en de Flora- en faunawet. Voor wat betreft de Natuurbeschermingswet zijn de instandhoudingsdoelstellingen van de Natura 2000-gebieden in de duinen en de Noordzeekustzone relevant, omdat zandsuppleties direct invloed hebben op kusthabitats en leefgebieden van vogels, en indirect (door geomorfologische processen en beïnvloeding van het grondwaterregime) ook op duinvegetaties en leefgebieden van soorten die daarin voorkomen. In principe zijn de meeste habitattypen gevoelig voor vernatting (en verdroging), zoals hierboven beschreven; het hangt af van de huidige vochttoestand ten opzichte van de randvoorwaarden van het betreffende habitatype, en van de huidige kwaliteit van de vegetatie, of er daadwerkelijk effecten te verwachten zijn. Daarnaast is een aantal voorkomende soorten beschermd onder de Flora- en faunawet, zoals bijvoorbeeld orchideeënsoorten, zandhagedis en rugstreeppad. Het leefgebied van niet-mobiele soorten kan ook worden aangetast door vernatting; het gaat hier dan om plantensoorten (bijvoorbeeld orchideeën en parnassia). Ook diersoorten die (althans in een deel van de levenscyclus) weinig mobiel zijn kunnen effecten ondervinden, zoals libellen en dagvlinders.

### 5.3 Aanbevelingen

Het intensief gebruik van meetreeksen van de grondwaterstand binnen dit project geeft inzicht in de betrouwbaarheid en de waarde van deze monitoringsgegevens. Voor toekomstige monitoringsinpanning bij zandsuppleties of andere ingrepen aan de kustlijn, wordt het volgende aanbevolen:

- waar aanvullende monitoring gewenst is, worden peilbuizen bij voorkeur geplaatst in meetraaien haaks op de kust. Daarbij moet rekening worden gehouden met het feit dat het grootste effect wordt verwacht ter hoogte van de oorspronkelijke kustlijn (zie Figuur 15). Om dit effect te kunnen bemeten zouden één of meerdere peilbuizen op het strand of aan de duinvoet geplaatst worden, bijvoorbeeld bij de Rijkstrandpaal. Hiermee kan een kortstondige verhoging als gevolg van het opspuiten van nat zand worden bemeten. Het effect van de grotere grondwaterveranderingen op het strand kan echter ecologisch minder relevant zijn.
- de validatie van beschikbare meetreeksen vormt een belangrijk onderdeel. Onbetrouwbare waarden en onderbrekingen zorgen ervoor dat veel meetpunten niet bruikbaar zijn voor analyse. Uitval van meetpunten maakt het lastiger om een vlakdekkend beeld te produceren van de analyseresultaten. Het verdient dan ook aanbeveling om na te gaan welke peilbuizen betrouwbare resultaten genereren. In algemene zin geldt dat betrouwbare metingen op de juiste locatie essentieel zijn.

Met de numerieke modellering zijn een aantal variabelen geïdentificeerd die bepalend zijn voor het effect van een kustverbreding op de gemiddelde grondwaterstand: de grootte van de kustverbreding, de lengte waarover deze plaatsvindt, de duinbreedte en het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket. Bij toekomstige suppletiewerkzaamheden, op Ameland of elders, dienen deze variabelen te worden onderzocht. Zo kan een eerste inschatting worden gemaakt van het verwachte effect van de kustverbreding op de grondwaterstand. Deze bevindingen voor verschillende suppletiehoeveelheden en verschillende locaties langs de Nederlandse kust kunnen worden samengevoegd in een eenvoudige beslisboom, waarmee de volgende vraag wordt beantwoord: bij welke combinaties van suppletievolume, duinbreedte en doorlaatvermogen kan een significante verhoging van de gemiddelde grondwaterstand worden verwacht? Als een significante verhoging wordt verwacht dan kan aanvullende hydrologische en ecologische monitoring gewenst zijn.

De gevoeligheid voor grondwaterstandsverandering en mogelijke ecologische effecten kan ook vooraf worden bepaald voor de gehele Nederlandse kust aan de hand van vrij beschikbare kaartlagen:

- Jarkus-metingen in combinatie met het AHN hoogtebestand voor het bepalen van de duinbreedte.
- Een landsdekkend geohydrologisch lagenmodel (bijvoorbeeld REGIS II.1) voor het bepalen van het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket. Dit kan eventueel worden verfijnd aan de hand van beschikbare boorstaten, verkrijgbaar via het TNO.
- De habitattypenkaart die is vastgesteld bij de aanwijzing van N2000 gebieden. Deze kan worden ingedeeld in gevoelige en minder gevoelige habitattypen.

Met deze kaartlagen en bovengenoemde beslisboom is een mogelijk om een tool te ontwikkelen die het risicoprofiel van de suppletie in beeld brengt voor de gehele Nederlandse kust. Op basis van een eerste inschatting van het risico is het mogelijk om pro-actief te handelen. Hiermee kan voortijdig worden vastgesteld of er extra handelingen procedures nodig zijn. Daarnaast kunnen kosten als gevolg van ongewenste neveneffecten tot het minimum worden beperkt.

## 6 BRONNEN

Bakker, T.W.M. (1981). Nederlandse kustduinen geohydrologie. Proefschrift Wageningen Universiteit.

Cartwright, N. (2004). Groundwater dynamics and the salinity structure in sandy beaches. PhD thesis, University of Queensland.

Deltares (2014). Kustviewer, gegevens kustmorfologie en ingrepen. Bron: [www.kustviewer.nl](http://www.kustviewer.nl)

DHV (2012) Eerste analyse van de brondata. Monitoring hydrologische effecten zandsuppletie Ameland. Rapportnummer LW-AF20120323.

Groen, K. en P.J. Stuyfzand (2011). Naar een meetsysteem van ecohydrologische effecten van zandsuppleties op Ameland. Eindrapport 20/1/2011.

Kok, A. (2011). Effecten zandsuppletie op het hydrologische systeem van Ameland. Memo meetnetontwerp Vitens.

Leunk, I. en A. van Loon (2011). Trendanalyse grondwaterstanden 1950-2010 Waterschap Rijn en IJssel. KWR 2011.067.

Rijkswaterstaat (2014). Kustlijkaarten rapport 2014.

Royal HaskoningDHV en KWR (2012). T0 rapportage: hydrologische situatie Ameland voor zandsuppletiewerkzaamheden 2010/2011. Rapportnummer LW-AF20122432/MSW.

Royal HaskoningDHV en KWR (2012). T1 rapportage Hydrologische situatie Ameland 1 jaar na zandsuppletiewerkzaamheden 2010/2011. Rapportnummer LW-AF20140409.

Royal HaskoningDHV (2013). Hydrologische effecten zandsuppleties Ameland: Resultaten T2-analyse. Rapportnummer LW-AF20131090.

Runhaar J, MH Jalink, H Hunneman, JPM Witte & SM Hennekens, 2009. Ecologische vereisten habitattypen. KWR rapport 09.018.

TNO (1987). Grondwaterkaart van Nederland: Waddeneilanden. Rapportnummer GWK 42.

Urish, D. W., M. M. Ozbilgin (1988). The Coastal Ground-Water Boundary. Ground Water, vol. 27 no. 3.

Von Asmuth, J. (2012). Groundwater System Identification through Time Series Analyses. Proefschrift Technische Universiteit Delft.



7 COLOFON

---

Opdrachtgever	: Rijkswaterstaat
Project	: Definitieve rapportage
Dossier	: BA7539
Omvang rapport	: 61 pagina's
Auteur	: Tom van Steijn en Jeroen Groenendijk
Bijdrage	: Hanneke Schuurmans
Interne controle	: Ron Stroet en Saskia Mulder
Projectleider	: Hanneke Schuurmans
Projectmanager	: Hanneke Schuurmans
Datum	: 23 december 2014
Naam/Paraaf	:

---







***HaskoningDHV Nederland B.V.***

*Rivers, Deltas & Coasts*

*Laan 1914 nr. 35*

*3818 EX Amersfoort*

*Postbus 1132*

*3800 BC Amersfoort*

*T (088) 348 20 00*

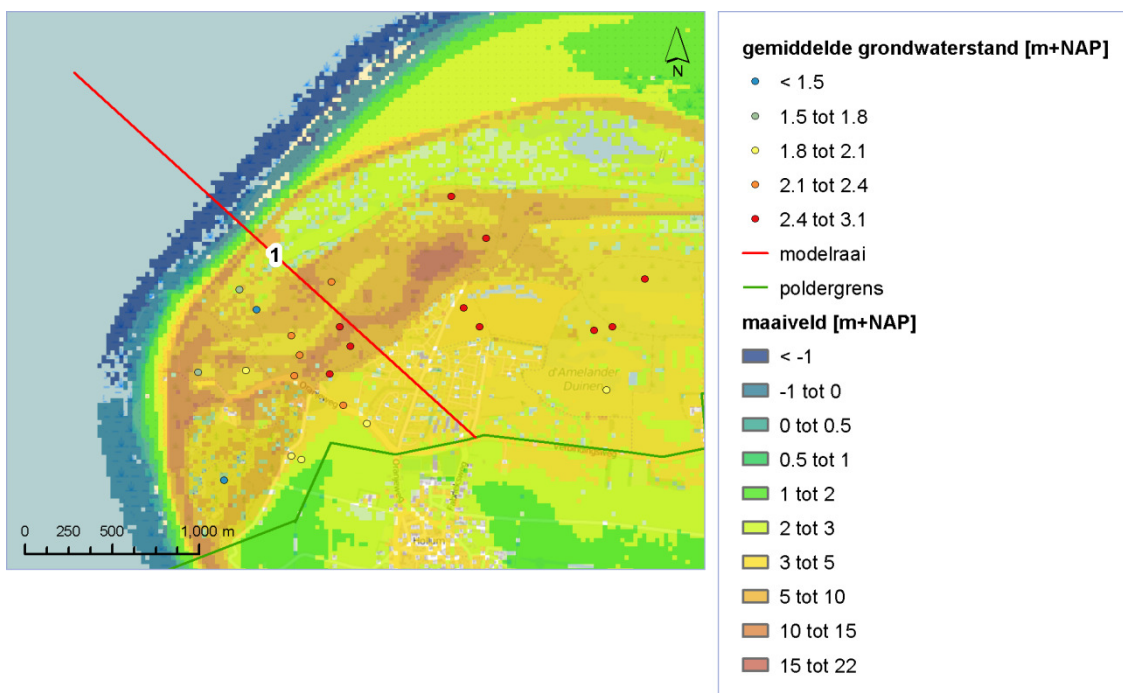
*F (088) 348 28 01*

*E [info@rhdhv.com](mailto:info@rhdhv.com)*

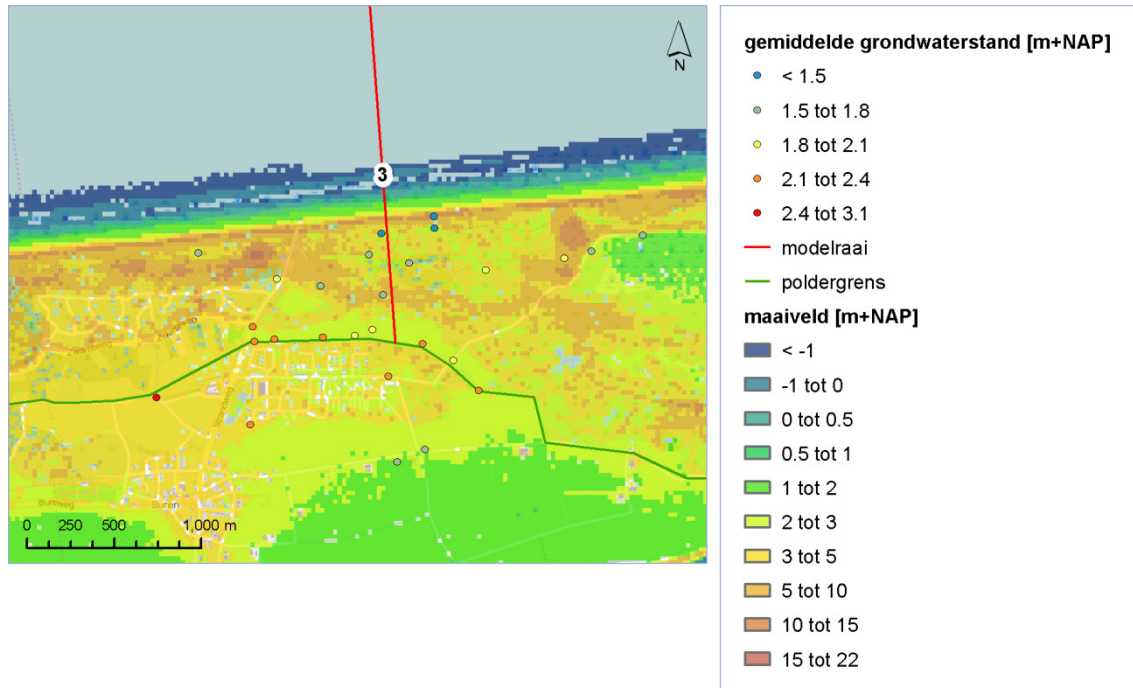
*W [www.royalhaskoningdhv.com](http://www.royalhaskoningdhv.com)*

## BIJLAGE 1 Gemiddelde grondwaterstand raai 1 en raai 3

### Raai 1 (Hollumer Duinen)



### Raai 3 (Buurderduinen)



## **BIJLAGE 2      Tijdreeksmodellen zonder trend**

- tabel met parameterwaarden
- tijdlijngrafieken van tijdreeksmodellen (groene lijn) en waarnemingen van de grondwaterstand (rode stippen)

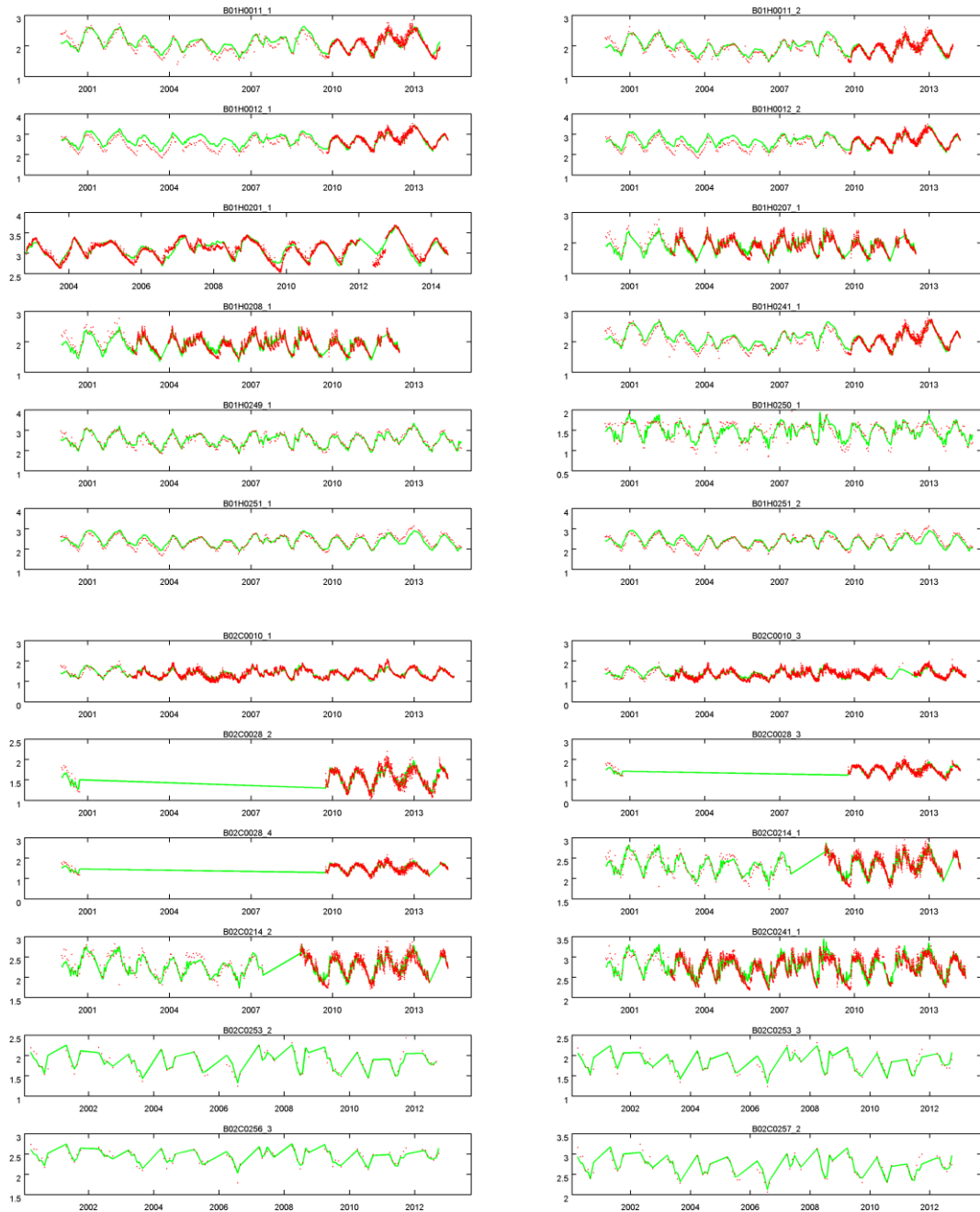
stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking
01HL0040	1	80.9	0.082	1.94	284.1	6.5	159.9	5.3	0.87	0.02
01HL0046	1	80.3	0.136	1.80	423.2	8.2	139.2	2.7	0.94	0.02
01HL0047	1	90.8	0.089	1.82	506.6	5.3	147.8	1.4	0.71	0.01
01HP0004	2	74.2	0.092	0.91	273.9	47.2	146.6	37.5	0.63	0.13
01HP0013	1	90.3	0.076	2.01	417.5	4.6	144.6	1.6	0.72	0.01
01HP0014	1	86.8	0.086	1.32	458.4	6.1	159.6	2.2	0.65	0.01
01HP0014	2	84.5	0.084	1.31	423.0	7.3	156.8	2.6	0.66	0.01
01HP0014	3	78.3	0.130	1.47	465.5	71.8	166.2	31.5	0.80	0.16
01HP0033	1	85.7	0.089	1.26	434.3	6.1	152.8	2.3	0.64	0.01
01HP0033	2	77.8	0.128	1.52	469.9	80.5	184.8	43.1	0.87	0.16
01HP0033	3	77.8	0.128	1.52	463.7	78.9	180.4	41.9	0.86	0.17
01HP0033	4	77.8	0.128	1.51	467.6	79.6	183.1	42.2	0.86	0.16
01HP0034	1	87.1	0.102	1.66	562.0	6.5	162.6	1.7	0.53	0.01
01HP0034	2	86.4	0.103	1.99	462.0	54.6	169.0	25.1	0.91	0.13
01HP0034	3	86.2	0.095	1.72	485.6	6.6	167.6	2.6	0.73	0.01
01HP0034	4	85.9	0.101	1.99	438.3	56.2	172.6	29.0	0.96	0.14
01HP0034	5	85.6	0.102	1.97	436.2	56.6	174.9	30.2	0.98	0.14
01HP0048	1	90.5	0.088	1.61	464.9	5.1	141.1	1.4	0.75	0.01
01HP0095	1	89.0	0.086	1.58	432.3	5.1	144.1	1.5	0.73	0.01
01HP0096	1	79.6	0.100	1.91	284.4	7.2	109.4	3.9	0.81	0.02
01HP0096	2	84.0	0.093	2.05	260.1	48.6	138.5	44.7	1.05	0.16
01HP0096	3	84.3	0.091	2.05	249.6	44.0	128.1	37.5	1.02	0.16
01HP0109	2	86.8	0.069	2.37	376.5	5.7	151.7	2.2	0.66	0.01
01HP0109	3	88.0	0.067	2.33	390.0	5.6	150.5	2.0	0.63	0.01
02CL0001	1	87.5	0.095	1.76	380.8	5.7	124.7	2.6	0.76	0.01
02CL0002	1	79.1	0.127	1.53	457.9	11.0	130.5	4.1	0.63	0.02
02CL0003	1	85.9	0.100	1.64	395.4	7.4	123.1	3.2	0.78	0.02
02CL0004	1	87.7	0.092	1.81	311.9	5.2	102.8	2.2	0.88	0.01
02CL0005	1	86.0	0.085	1.72	298.3	5.4	115.2	2.9	0.85	0.01
02CL0012	1	85.2	0.100	1.71	379.5	6.2	126.0	2.8	0.74	0.01

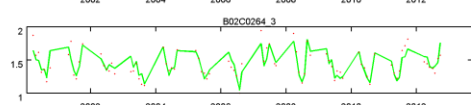
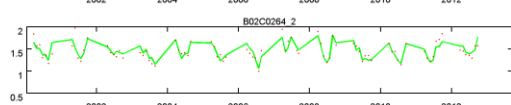
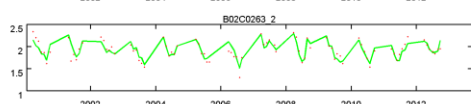
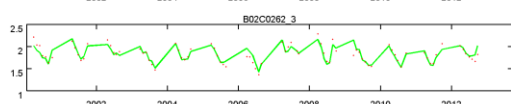
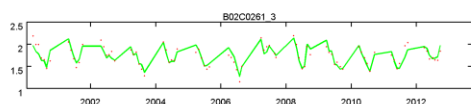
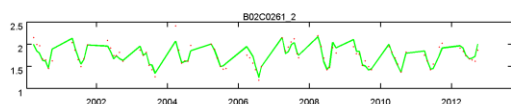
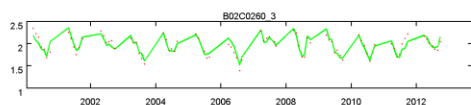
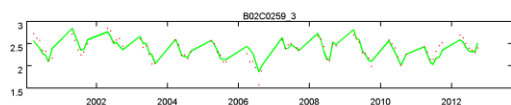
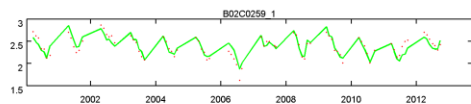
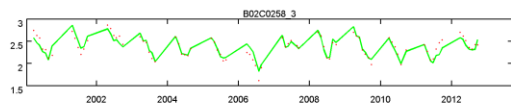
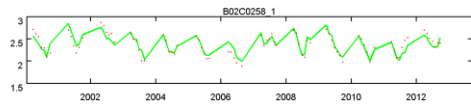
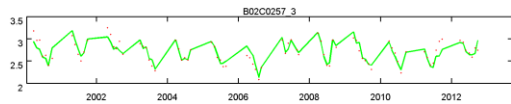
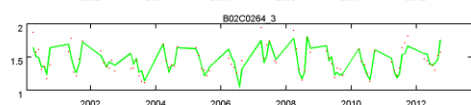
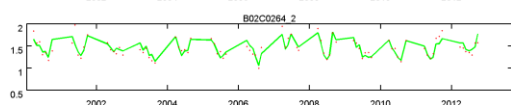
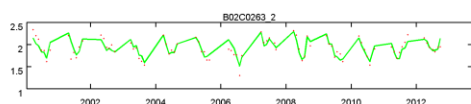
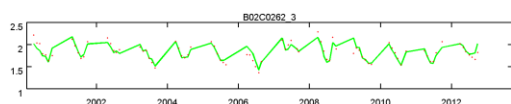
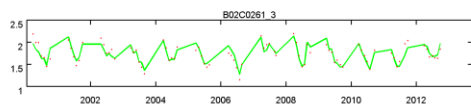
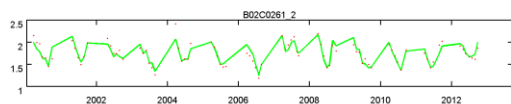
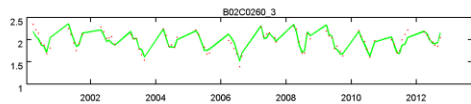
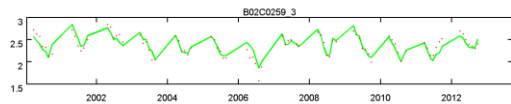
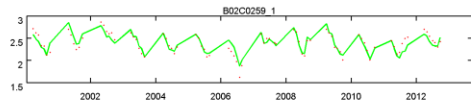
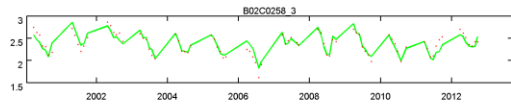
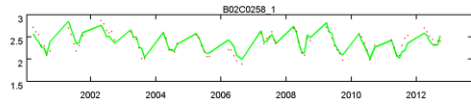
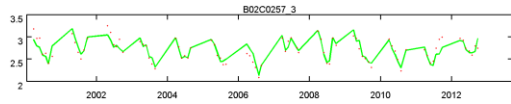
stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking
02CL0013	1	78.8	0.118	1.80	355.4	8.0	136.5	4.8	0.81	0.02
02CL0024	1	85.9	0.103	1.57	407.9	6.7	128.7	2.8	0.82	0.01
02CL0026	1	86.6	0.099	1.38	352.6	5.2	110.6	1.8	0.82	0.01
02CL0027	1	85.0	0.094	1.45	198.3	4.3	72.0	2.1	1.12	0.02
02CL0029	1	81.3	0.105	1.62	262.2	5.2	94.0	1.6	0.87	0.02
02CL0030	1	89.1	0.084	1.55	367.1	4.7	115.7	1.6	0.79	0.01
02CL0031	1	91.9	0.083	1.31	346.6	4.4	99.9	1.3	0.93	0.01
02CL0032	1	86.3	0.084	1.29	280.7	4.2	100.0	1.7	0.77	0.01
02CP0034	1	83.8	0.093	1.38	324.0	5.3	106.8	1.9	0.66	0.01
02CP0127	1	83.6	0.111	1.66	397.2	6.8	118.4	2.8	0.65	0.01
02CP0128	1	86.4	0.085	1.13	217.4	3.7	80.3	1.5	1.03	0.02
02CP0128	2	85.3	0.088	1.23	232.7	4.3	81.0	1.6	0.92	0.02
02CP0128	3	85.1	0.085	1.39	210.5	4.2	86.0	2.0	1.08	0.02
02CP0128	4	79.3	0.112	1.28	192.0	30.6	78.5	12.7	1.16	0.19
02CP0129	1	89.3	0.074	1.57	245.7	3.9	94.0	1.8	0.93	0.01
02CP0129	2	82.0	0.098	1.68	212.1	29.7	102.3	17.2	1.20	0.18
B01H0010	1	83.2	0.082	1.54	253.9	9.3	136.4	7.9	0.87	0.03
B01H0010	2	83.5	0.079	1.52	273.4	8.8	140.9	6.6	0.79	0.02
B01H0011	1	84.8	0.104	1.43	444.9	10.4	149.0	3.6	0.62	0.02
B01H0011	2	89.0	0.079	1.23	477.0	9.4	178.2	4.0	0.60	0.02
B01H0012	1	85.6	0.118	2.04	489.4	10.8	153.1	4.3	0.69	0.02
B01H0012	2	88.1	0.107	1.96	489.4	9.6	148.1	3.7	0.65	0.02
B01H0201	1	84.5	0.084	2.59	342.1	5.0	132.4	1.9	0.61	0.01
B01H0207	1	85.5	0.090	1.53	382.5	10.2	156.6	5.9	0.91	0.02
B01H0208	1	85.6	0.090	1.52	384.4	10.1	156.9	5.8	0.90	0.02
B01H0241	1	89.2	0.087	1.27	558.6	10.4	188.3	4.0	0.63	0.02
B01H0249	1	87.9	0.110	2.00	438.0	27.2	130.7	12.0	0.79	0.04
B01H0250	1	73.7	0.110	1.36	166.0	17.7	82.5	15.1	1.11	0.09
B01H0251	1	77.1	0.137	2.05	353.1	24.8	122.6	9.3	0.93	0.07
B01H0251	2	76.9	0.138	2.04	355.6	25.0	122.9	9.5	0.92	0.07

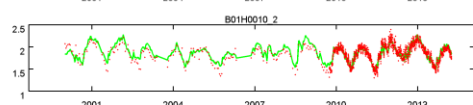
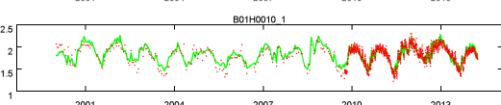
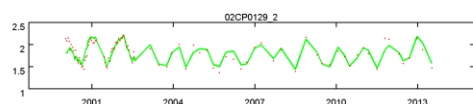
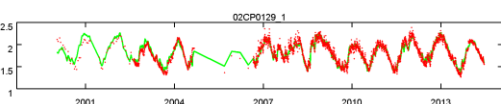
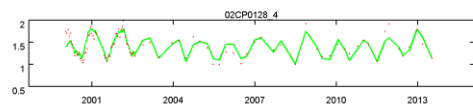
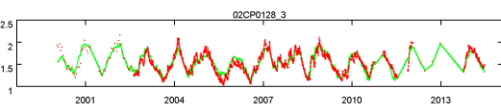
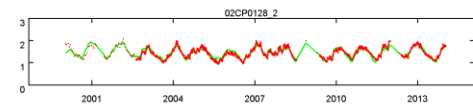
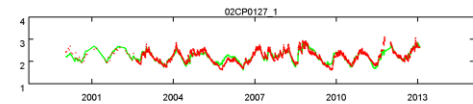
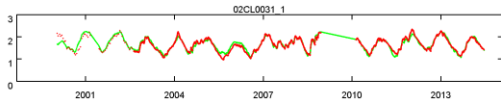
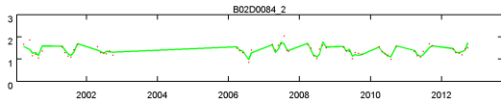
stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking
B02C0010	1	80.2	0.092	1.14	210.1	4.0	80.8	1.8	0.81	0.02
B02C0010	3	72.1	0.104	1.11	204.1	5.0	84.3	2.6	0.74	0.02
B02C0028	2	85.7	0.079	1.45	157.5	5.1	62.0	2.4	1.12	0.03
B02C0028	3	83.6	0.086	1.42	144.7	5.4	61.0	2.6	1.28	0.04
B02C0028	4	84.1	0.078	1.43	129.2	4.9	50.1	2.3	1.21	0.04
B02C0214	1	84.9	0.095	2.05	255.1	7.0	97.4	3.8	0.87	0.02
B02C0214	2	84.4	0.098	2.02	241.4	6.9	89.7	3.5	0.91	0.02
B02C0241	1	81.2	0.110	2.49	275.1	6.1	105.9	3.7	0.92	0.02
B02C0253	2	81.0	0.103	1.60	379.2	43.0	121.6	17.4	0.92	0.10
B02C0253	3	83.2	0.094	1.65	384.9	42.6	147.2	23.1	1.05	0.11
B02C0256	3	80.7	0.075	2.33	332.7	44.1	216.4	50.0	1.16	0.13
B02C0257	2	82.3	0.101	2.42	603.7	73.7	296.3	63.0	1.11	0.11
B02C0257	3	80.9	0.106	2.44	579.5	71.9	274.5	58.9	1.11	0.12
B02C0258	1	79.8	0.099	2.00	646.0	74.3	320.3	56.6	1.08	0.11
B02C0258	3	82.6	0.096	2.00	706.9	79.2	363.0	65.1	1.12	0.11
B02C0259	1	79.7	0.101	2.12	676.3	85.9	382.2	76.7	1.19	0.13
B02C0259	3	79.6	0.102	2.04	649.5	77.4	337.1	64.2	1.12	0.13
B02C0260	3	84.4	0.080	1.88	348.8	37.5	166.0	26.6	1.18	0.12
B02C0261	2	83.4	0.094	1.66	321.9	38.1	117.8	18.0	1.12	0.11
B02C0261	3	82.6	0.089	1.65	323.4	38.5	131.7	21.1	1.12	0.12
B02C0262	3	79.4	0.085	1.68	314.2	38.6	151.6	26.5	1.05	0.13
B02C0263	2	76.5	0.098	1.89	264.5	39.9	117.0	22.6	1.17	0.15
B02C0264	2	73.4	0.102	1.37	226.4	38.5	83.9	18.2	0.97	0.14
B02C0264	3	76.9	0.094	1.38	215.4	34.1	76.3	14.9	0.99	0.13
B02C0265	2	81.7	0.088	1.83	192.2	31.3	74.1	17.0	1.29	0.16
B02C0267	1	89.4	0.063	1.82	303.5	25.5	114.3	12.1	0.95	0.07
B02C0268	2	85.4	0.093	1.95	295.9	36.8	95.8	17.8	1.02	0.10
B02C0268	3	82.6	0.101	1.92	339.7	46.4	126.3	28.2	0.99	0.10
B02C0269	2	84.6	0.084	1.80	230.8	30.5	72.5	13.2	1.00	0.11
B02C0270	2	75.6	0.108	1.70	310.3	48.0	117.6	27.7	0.86	0.11

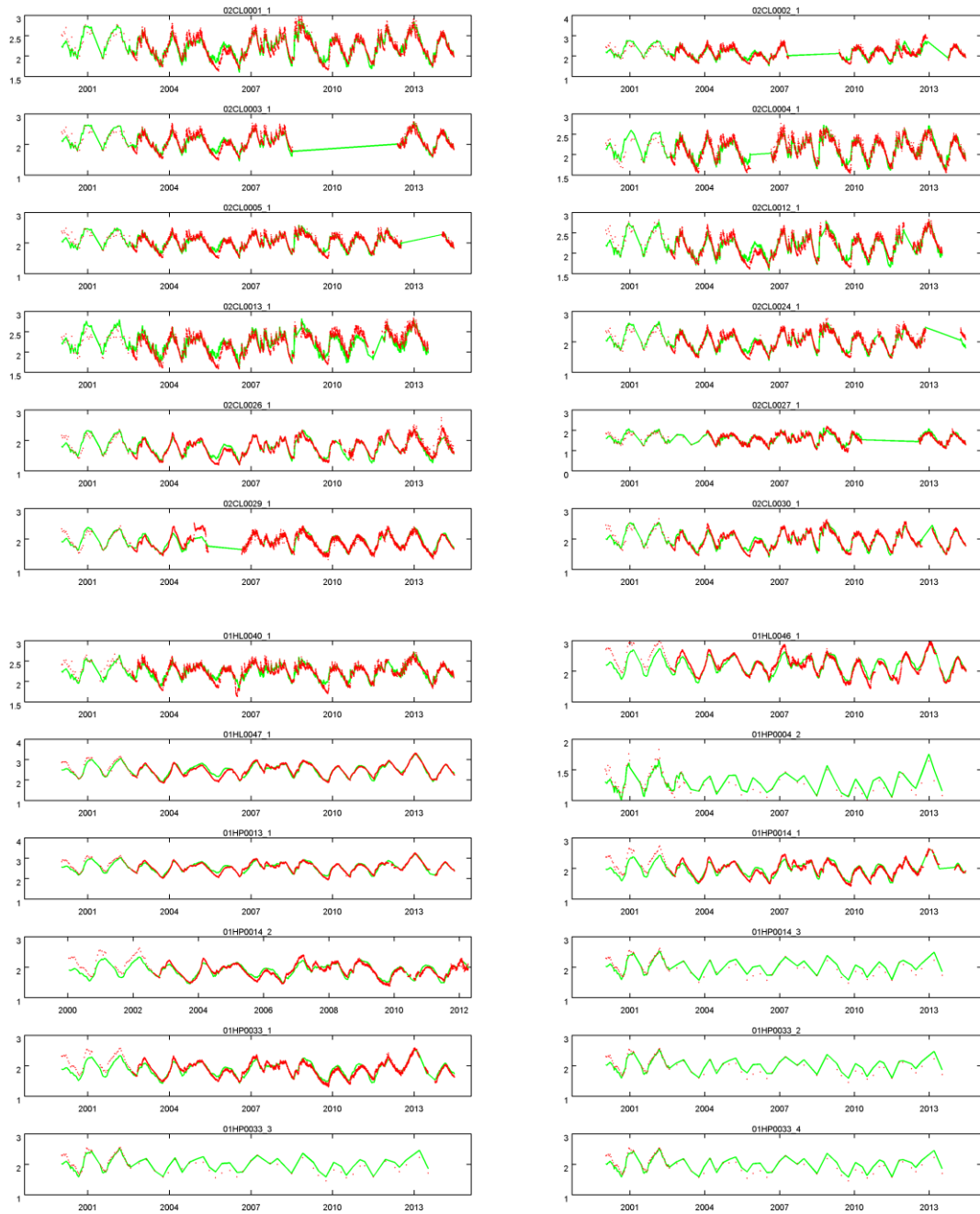
stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking
B02C0271	2	88.2	0.070	1.83	311.6	28.7	111.5	13.4	0.94	0.08
B02C0271	3	88.1	0.061	1.77	291.9	26.7	117.4	13.9	0.96	0.08
B02C0272	2	86.6	0.060	1.88	262.4	27.7	108.0	12.9	1.01	0.09
B02C0273	2	85.4	0.080	1.86	308.2	30.9	110.2	13.0	0.99	0.09
B02D0080	1	81.8	0.089	1.44	167.3	27.4	49.6	9.7	1.26	0.19
B02D0081	3	78.8	0.096	1.38	148.8	27.5	42.7	9.5	1.31	0.23
B02D0084	2	71.0	0.119	1.34	192.0	41.5	62.3	18.1	1.01	0.20

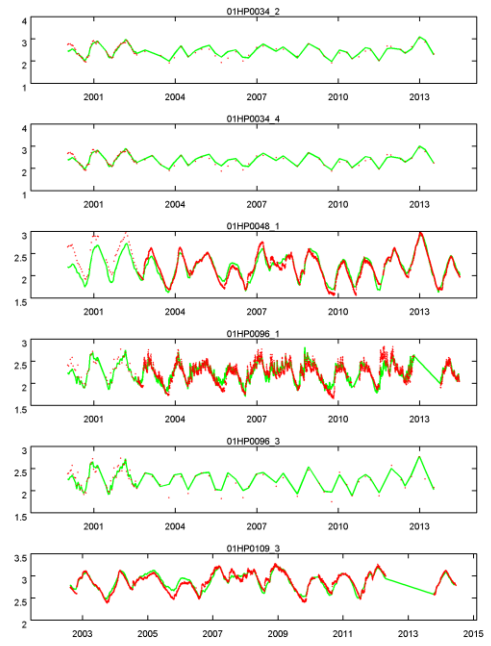
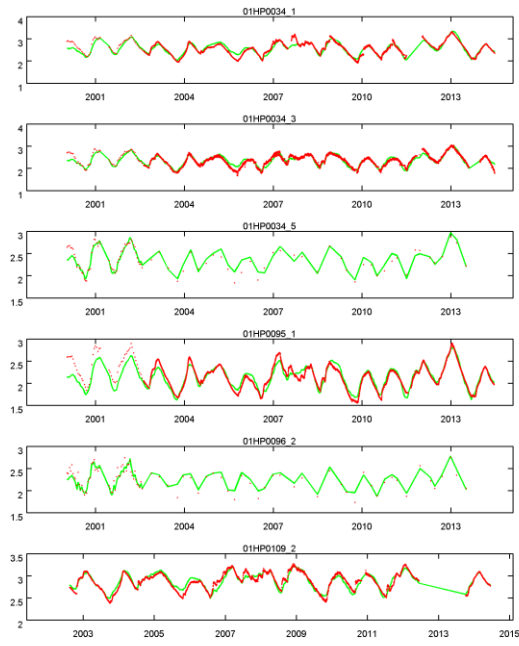












### **BIJLAGE 3      Tijdreeksmodellen met trend**

- tabel met parameterwaarden
- tijdlijngrafieken van tijdreeksmodellen (groene lijn) en waarnemingen van de grondwaterstand (rode stippen)

stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping		stap trend	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking	trend-grootte [m]	standaard-afwijking
01HL0040	1	80.9	0.082	1.94	283.0	8.2	158.9	6.3	0.87	0.02	0.37	1900
01HL0046	1	80.3	0.136	1.80	423.2	8.2	139.2	2.7	0.94	0.02	5.60	13000000000
01HL0047	1	91.1	0.088	1.83	494.7	5.4	145.2	1.4	0.71	0.01	0.04	3
01HP0004	2	74.2	0.092	0.91	274.8	51.4	147.4	40.1	0.63	0.13	3.74	8300000
01HP0013	1	90.4	0.075	2.01	409.5	5.4	142.3	1.7	0.71	0.01	0.54	66
01HP0014	1	86.8	0.086	1.32	458.0	6.9	159.5	2.3	0.65	0.01	3.01	630000
01HP0014	2	84.5	0.084	1.31	420.6	7.4	154.8	2.6	0.66	0.01	1.63	180000
01HP0014	3	78.3	0.130	1.47	466.0	77.9	166.5	34.0	0.80	0.16	4.74	14000000
01HP0033	1	85.7	0.089	1.26	434.1	6.5	152.8	2.3	0.64	0.01	1.17	390000
01HP0033	2	77.8	0.128	1.52	470.4	86.3	185.1	46.5	0.87	0.17	3.07	7300000
01HP0033	3	77.8	0.128	1.52	464.8	85.0	181.1	45.4	0.86	0.17	4.47	41000000
01HP0033	4	77.8	0.128	1.51	467.2	87.4	183.1	45.3	0.86	0.17	3.17	8800000
01HP0034	1	87.1	0.102	1.66	559.6	8.2	162.0	2.0	0.53	0.01	0.62	1100
01HP0034	2	86.4	0.103	1.99	455.7	61.8	166.8	27.4	0.91	0.14	0.82	2800
01HP0034	3	86.5	0.094	1.73	472.3	7.0	164.7	2.7	0.73	0.01	0.04	3
01HP0034	4	85.9	0.101	1.99	437.8	61.9	172.4	31.5	0.96	0.14	1.07	130000
01HP0034	5	85.6	0.102	1.97	439.6	65.2	176.1	33.6	0.98	0.15	1.21	320000
01HP0048	1	90.5	0.088	1.61	464.2	5.1	140.9	1.4	0.75	0.01	1.30	1000000
01HP0095	1	89.0	0.086	1.58	432.3	5.4	144.1	1.7	0.73	0.01	0.90	40000
01HP0096	1	80.2	0.099	1.90	283.8	7.3	111.1	4.1	0.82	0.02	0.05	3
01HP0096	2	84.0	0.094	2.04	275.2	58.9	151.2	55.5	1.05	0.16	5.62	11000000
01HP0096	3	84.3	0.091	2.05	250.1	48.7	128.4	40.6	1.02	0.16	3.93	6100000
01HP0109	2	86.8	0.069	2.37	375.0	5.9	151.2	2.3	0.66	0.01	0.43	3800
01HP0109	3	88.3	0.067	2.31	395.8	5.7	152.3	2.1	0.62	0.01	0.44	31
B01H0201	1	85.1	0.083	2.57	339.2	5.7	130.0	2.1	0.59	0.01	7.98	280
B01H0207	1	85.5	0.090	1.53	380.2	10.2	154.9	5.8	0.91	0.02	6.55	8700000
B01H0208	1	85.6	0.090	1.53	382.3	10.2	155.3	5.8	0.90	0.02	6.59	11000000
02CL0001	1	87.5	0.095	1.77	380.5	5.7	124.5	2.6	0.76	0.01	0.46	22000000
02CL0002	1	79.2	0.127	1.54	449.2	11.8	129.1	4.3	0.63	0.02	0.28	40
02CL0003	1	85.9	0.100	1.64	394.0	7.6	122.3	3.2	0.78	0.02	10.24	21000000

stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping		stap trend	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking	trend-grootte [m]	standaard-afwijking
02CL0004	1	87.7	0.092	1.81	313.3	5.2	103.4	2.2	0.88	0.01	2.63	1800000
02CL0005	1	86.3	0.084	1.71	300.4	5.5	116.6	3.0	0.85	0.01	0.05	3
02CL0012	1	87.0	0.094	1.73	362.0	6.5	123.3	3.0	0.77	0.01	0.13	2
02CL0013	1	83.4	0.104	1.84	308.0	7.5	122.2	4.5	0.83	0.02	0.18	2
02CL0024	1	88.3	0.094	1.56	405.2	6.1	124.9	2.5	0.80	0.01	8.79	84
02CL0026	1	88.5	0.091	1.38	334.6	5.0	104.9	1.7	0.81	0.01	0.60	11
02CL0027	1	85.0	0.094	1.45	198.3	4.3	72.0	2.1	1.12	0.02	7.06	5600000
02CL0029	1	81.3	0.105	1.62	262.6	5.2	94.0	1.6	0.87	0.02	2.57	14000000000
02CL0030	1	89.1	0.084	1.55	367.2	4.8	115.8	1.7	0.79	0.01	0.88	25000
02CL0031	1	92.4	0.080	1.31	336.4	4.3	97.5	1.3	0.93	0.01	0.15	4
02CL0032	1	87.7	0.080	1.28	272.9	4.0	97.6	1.6	0.77	0.01	0.20	4
02CP0034	1	86.7	0.084	1.33	333.4	5.0	111.8	1.9	0.63	0.01	0.13	0
02CP0127	1	84.2	0.109	1.66	393.1	7.3	119.2	2.9	0.66	0.01	0.07	5
02CP0128	1	87.5	0.082	1.13	206.5	3.6	77.1	1.4	1.04	0.02	0.19	5
02CP0128	2	86.3	0.085	1.24	221.6	4.2	79.1	1.5	0.95	0.02	0.24	11
02CP0128	3	86.3	0.082	1.36	217.8	4.2	87.7	1.9	1.03	0.02	0.08	2
02CP0128	4	79.7	0.111	1.25	198.6	31.7	80.4	13.4	1.12	0.18	0.06	58
02CP0129	1	89.3	0.074	1.57	245.3	4.3	93.7	1.8	0.93	0.01	3.56	3400000
02CP0129	2	82.0	0.098	1.68	213.4	33.3	103.3	18.0	1.21	0.18	1.87	2000000
B01H0010	1	83.2	0.082	1.54	255.0	12.4	137.4	9.8	0.87	0.03	0.77	44000
B01H0010	2	83.5	0.079	1.52	273.4	8.8	140.9	6.6	0.79	0.02	0.72	7300000000
B01H0011	1	84.8	0.104	1.43	438.4	15.5	147.4	5.0	0.62	0.02	0.52	150
B01H0011	2	91.3	0.071	1.27	439.8	11.3	171.3	5.1	0.63	0.02	0.12	1
B01H0012	1	89.3	0.102	2.09	385.9	9.0	120.2	3.1	0.70	0.02	0.27	0
B01H0012	2	91.5	0.090	2.07	375.7	7.8	114.0	2.4	0.70	0.02	0.14	0
B01H0241	1	92.0	0.075	1.28	519.3	11.0	183.2	4.4	0.65	0.02	0.13	0
B01H0249	1	88.4	0.107	2.01	422.8	26.8	124.3	11.4	0.79	0.04	0.08	8
B01H0250	1	73.7	0.110	1.36	165.3	18.2	81.6	15.3	1.11	0.10	1.04	3000
B01H0251	1	88.0	0.099	1.97	356.2	17.9	119.3	6.3	0.89	0.05	0.23	0
B01H0251	2	87.8	0.100	1.96	360.5	18.3	120.1	6.5	0.88	0.05	0.28	1



stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping		stap trend	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking	trend-grootte [m]	standaard-afwijking
B02C0010	1	80.2	0.092	1.14	210.9	4.1	81.3	1.9	0.81	0.02	0.96	45000
B02C0010	3	74.3	0.100	1.11	193.1	4.7	79.5	2.5	0.74	0.02	0.08	3
B02C0214	1	84.9	0.095	2.05	254.9	9.0	97.3	4.7	0.87	0.03	0.40	7500
B02C0214	2	84.4	0.098	2.02	242.9	7.0	90.3	3.7	0.91	0.02	3.17	1300000
B02C0241	1	81.2	0.110	2.49	278.6	6.6	108.2	3.9	0.92	0.02	0.87	20000
B02C0265	2	81.7	0.088	1.83	192.4	33.9	74.0	18.0	1.29	0.17	1.70	1000000
B02C0267	1	89.4	0.063	1.82	303.8	26.9	114.3	12.2	0.95	0.07	2.16	1500000
B02C0268	2	85.4	0.093	1.95	294.8	39.6	94.6	18.5	1.02	0.10	1.30	280000
B02C0268	3	82.6	0.101	1.91	342.5	50.6	128.0	29.9	0.99	0.11	0.57	5200
B02C0269	2	85.0	0.083	1.78	238.2	34.1	77.3	15.0	0.99	0.11	0.05	59
B02C0270	2	75.9	0.107	1.68	319.1	53.2	123.5	30.2	0.85	0.12	0.05	68
B02C0271	2	88.2	0.070	1.83	311.9	31.4	111.5	13.7	0.94	0.08	1.27	600000
B02C0271	3	88.1	0.061	1.77	291.9	28.3	117.3	14.4	0.96	0.08	1.45	420000
B02C0272	2	86.6	0.060	1.88	262.3	32.5	108.0	13.3	1.01	0.09	2.29	2100000
B02C0273	2	85.4	0.080	1.86	308.6	31.2	110.4	13.1	0.99	0.10	3.07	8500000
B02C0028	2	85.7	0.079	1.45	157.7	5.2	62.0	2.5	1.12	0.03	5.72	4900000
B02C0028	3	83.6	0.086	1.42	144.8	5.4	61.0	2.6	1.27	0.04	5.67	4100000
B02C0028	4	84.1	0.078	1.43	129.3	4.9	50.1	2.3	1.21	0.04	4.88	6300000
B02C0253	2	83.5	0.096	1.59	381.3	41.6	127.6	18.2	0.94	0.10	0.62	300
B02C0253	3	83.2	0.094	1.65	384.8	43.0	147.2	23.2	1.05	0.12	2.66	2600000
B02C0256	3	81.4	0.074	2.34	344.6	48.1	241.7	61.4	1.20	0.14	0.10	170
B02C0257	2	82.3	0.101	2.42	608.8	77.3	304.5	68.4	1.12	0.12	1.13	6400
B02C0257	3	82.0	0.103	2.45	613.6	80.2	314.4	72.7	1.16	0.12	0.37	270
B02C0258	1	82.7	0.092	2.00	696.1	77.6	362.9	62.2	1.13	0.11	0.54	180
B02C0258	3	85.2	0.089	2.01	759.6	83.2	410.2	71.4	1.16	0.10	0.55	190
B02C0259	1	82.9	0.092	2.13	737.0	90.7	438.3	83.7	1.25	0.12	0.70	260
B02C0259	3	80.2	0.100	2.05	667.5	83.1	360.8	72.1	1.15	0.13	1.61	1800
B02C0260	3	84.4	0.080	1.88	348.8	39.9	166.0	26.9	1.18	0.13	1.29	17000000
B02C0261	2	83.4	0.094	1.66	321.9	38.8	117.8	18.1	1.12	0.11	3.31	21000000
B02C0261	3	82.5	0.090	1.63	330.0	39.3	131.8	22.1	1.09	0.12	2.42	480000

stamgegevens		modelresultaat		modelbasis	neerslag				verdamping		stap trend	
meet-locatie	filter-nummer	verklaarde variantie [%]	RMSE [m]	modelbasis [mNAP]	M0	standaard-afwijking	Mu	standaard-afwijking	reductie-factor	standaard-afwijking	trend-grootte [m]	standaard-afwijking
B02C0262	3	79.4	0.085	1.68	314.3	40.5	151.6	27.0	1.05	0.13	3.72	8600000
B02C0263	2	76.5	0.098	1.89	264.9	41.9	117.2	22.7	1.17	0.16	1.60	1400000
B02C0264	2	73.4	0.102	1.37	226.6	39.1	84.0	18.3	0.97	0.14	6.81	28000000
B02C0264	3	76.9	0.094	1.36	223.0	34.9	77.4	14.9	0.96	0.13	6.36	7500000
B02D0080	1	81.8	0.089	1.44	167.4	27.9	49.7	9.9	1.26	0.19	8.92	410000000
B02D0081	3	78.8	0.096	1.38	148.6	28.1	42.7	9.6	1.31	0.24	9.95	180000000
B02D0084	2	71.0	0.119	1.34	192.0	41.9	62.3	18.2	1.01	0.20	6.67	10000000

