

GGOR Terschelling

WETTERSKIP FRYSLÂN

16 mei 2006

Rapport

9P9459

HASKONING NEDERLAND B.V.
RUIMTELIJKE ONTWIKKELING

Chopinlaan 12
Postbus 8064
9702 KB Groningen
+31 (0)50 521 42 14 Telefoon
+31 (0)50 526 14 53 Fax
info@groningen.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel GGOR Terschelling

Status Rapport

Datum 16 mei 2006

Projectnummer 9P9459

Opdrachtgever WETTERSKIP FRYSLÂN

Referentie 9P9459/R03/PEVB/Gron

Auteur(s) P.M.A. van Bergen

Collegiale toets P. de Vries

Vrijgegeven door P.M.A. van Bergen

Datum/paraaf

SAMENVATTING

GGOR Terschelling

GGOR staat voor Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime. GGOR is een beschrijving van de grond- en oppervlaktewaterstanden die in een gebied gewenst zijn. Het GGOR moet afgestemd zijn op de kenmerken en functies van het gebied. GGOR Terschelling bestaat uit twee verschillende onderdelen. Aan de ene kant GGOR en aan de andere kant de regionale wateroverlast. Bij GGOR ligt de nadruk op het grondwatersysteem in normale situaties. Bij de toetsing aan de werknormen regionale wateroverlast ligt de nadruk op het oppervlaktewatersysteem in extreem natte situaties.

Werkwijze

Voor de totstandkoming van het GGOR Terschelling is een technisch spoor en een procesmatig spoor gevolgd. Bij de techniek ligt de nadruk op simulatiemodellen:

- Grondwatermodel voor de simulatie van grondwaterstroming.
- Statische modellen voor het uitvoeren van tijdreeksanalyses.
- Oppervlaktewatermodellen voor het simuleren van het oppervlaktewatersysteem.

In het procesmatige spoor ligt de nadruk op integraal en afrekenbaar werken. Bij GGOR wordt gekeken naar grote samenhangende gebieden en wordt enkele decennia vooruitgekeken. Daarbij worden de cumulatieve effecten van alle lokale maatregelen bepaald en beoordeeld. Het vaststellen van het GGOR betekent altijd dat een afweging moet worden gemaakt tussen de belangen van verschillende sectoren en organisaties. Bij de totstandkoming van het GGOR Terschelling is intensief samengewerkt tussen verschillende organisaties. In de projectgroep waren vertegenwoordigd: Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, Staatsbosbeheer, LTO Noord, Gemeente Terschelling en Vitens. De projectleiding was in handen van het Wetterskip Fryslân. De klankbordgroep bestond uit vertegenwoordigers van de bewoners van Terschelling. De functie van de klankbordgroep was om de standpunten van de eilandbewoners te verwoorden, de resultaten van de simulatiemodellen te beoordelen en om haalbaarheid en noodzaak van maatregelen in te schatten.

Knelpunten huidige situatie

Voor de huidige situatie zijn de volgende knelpunten in kaart gebracht:

- Verdroging in het duingebied.
- Natschade en droogteschade in de polder.
- Te natte recreatieterreinen in de binnenduinrand.
- Wateroverlast in Midsland aan zee, Midsland Noord, Midsland en aan de Europaweg in West Terschelling.
- Inundaties in de polder, Midsland en Baaiduinen.
- Zoute kwel langs de Waddendijk.
- Achterstallig onderhoud aan waterlopen.

Autonome ontwikkeling 2030

Het grond- en oppervlaktewatersysteem op Terschelling zal in de toekomst significant worden beïnvloed door de mondiale klimaatsverandering en de ontwikkeling van het wad. De verwachte toename van de neerslaghoeveelheden heeft gevolgen voor de te verwerken hoeveelheden overtollig neerslag. De zeespiegelstijging en de stijging van de wadbodem zal de spuimogelijkheden beperken. Een consequentie van veranderende

hydrologische omstandigheden is, dat de huidige polderpeilen in de winter niet meer kunnen worden gehandhaafd.

Maatregelenpakketten

Om de effecten van autonome ontwikkelingen te beperken en bestaande problemen in de waterhuishouding op te lossen zijn twee maatregelenpakketten uitgewerkt. Centraal staat de keuze of de afwatering van Terschelling in de toekomst kan worden gegarandeerd met behulp van de bestaande sluizen bij Kinnum en Lies of dat in de toekomst moet worden overgestapt op bemaling.

Maatregelenpakket 1 richt zich op het handhaven van de bestaande functies en bestaande polderpeilen door middel van twee zeegemalen bij Kinnum en bij Lies. De sluizen en gemalen zijn aanvullend op elkaar. De gemalen kunnen worden ingezet als spuien niet volstaat.

Maatregelenpakket 2 richt zich meer op het aanpassen van de waterhuishouding en het landgebruik aan de veranderde hydrologische omstandigheden. In maatregelenpakket 2 blijft de afwatering van het eiland middels de spuisluizen bij Lies en Kinnum gehandhaafd. Hierdoor moeten de winterpeilen in de polder worden verhoogd van NAP -0,2 m naar NAP -0,05 m voor Kinnum en NAP -0,3 m naar NAP -0,1 m voor Lies. De voormalige slenken zullen regelmatig inunderen waardoor de landbouwfunctie moet worden veranderd in natuur. Om wateroverlast in Midsland en Baaiduinen te voorkomen wordt ter plaatse een onderbemaling aangelegd.

Een deel van de maatregelen is voor beide pakketten gelijk (generieke maatregelen). Deze maatregelen zijn met name gericht op het oplossen van bestaande problemen. Het betreft:

- Dempen waterlopen duinen.
- Onderbemaling Midsland aan Zee.
- Drainagemaatregelen recreatieterreinen binnenduinrand.
- Drainagemaatregelen Midsland, Baaiduinen en Hoorn.
- Drainagemaatregelen Europalaan en afvoer Europalaan.

Effecten maatregelenpakketten en autonome ontwikkeling

In de onderstaande tabel is een beoordeling van de effecten de autonome ontwikkeling, maatregelen pakket 1 en 2 samengevat. De huidige situatie dient hierbij als referentie. De effecten zijn beoordeeld met de volgende maatlat:

- | | |
|----|--|
| -- | sterk negatieve verandering t.o.v. de huidige situatie |
| - | negatieve verandering t.o.v. de huidige situatie |
| 0 | geen significante verandering t.o.v. de huidige situatie |
| + | positief effecten t.o.v. de huidige situatie |
| ++ | sterk positief effecten t.o.v. de huidige situatie |

Bij de interpretatie van de overzichtstabel is het van belang te realiseren dat het toekennen van een score altijd enigszins arbitrair is. Verder zullen in de uiteindelijke afweging niet alle plussen en minnen even zwaar mee tellen.

Overzichtstabel beoordeling effecten

	Autonome ontwikkeling	Maatregelen pakket 1	Maatregelen pakket 2
Inundaties	-	+	-
Landbouw	-	0	--
Natte duinvalleien	+	++	++
Stedelijk gebied	-	+	0/+
Recreatieterreinen	-	+	+
Verzilting	-	--	0
Investeringskosten €		3.405.000	5.389.000
Jaarlijkse kosten €		344.500	220.000

In de autonome situatie stijgen de grondwaterstanden en ontstaan frequenter inundaties. Hierdoor scoort de autonome situatie slecht op alle criteria behalve natte duinvalleien. Hier zijn natte omstandigheden juist gewenst. Maatregelen pakket 1 scoort over het algemeen goed behalve op het criterium verzilting. Pakket 2 scoort slecht op de criteria inundaties en landbouw en neutraal tot zeer goed op de overige criteria. De investeringskosten voor pakket 2 zijn hoger dan bij pakket 1. Dit wordt veroorzaakt door de hoge kosten voor het uitkopen van de landbouwfunctie. De jaarlijkse kosten van pakket 1 zijn hoger door het onderhoud aan de zeegemalen.

Keuze GGOR

Op basis van het onderhavige onderzoek heeft de projectgroep gekozen voor maatregelenpakket 1 en de daarmee samenhangende GGOR. Het GGOR bestaat uit drie onderdelen:

1. Duingebied Hier wordt gestreefd naar een natuurlijk waterregime met zo hoog mogelijke standen in de duinvalleien. Als maatregel om dit te bereiken zullen daar waar mogelijk de bestaande watergangen in de duinen worden gedempt.
2. Bebouwde gebied en de recreatieterreinen Hier wordt gestreefd naar een minimale ontwateringsdiepte (GHG ten opzicht van maaiveld) van 0,7 respectievelijk 0,3 m-mv. Om dit te bereiken zal lokaal de ontwatering en mogelijk ook de afwatering worden verbeterd. Dit kan onder andere inhouden het uitvoeren van achterstallig onderhoud aan watergangen, het aanleggen van nieuwe greppels of drainage.
3. Polder. De polder omvat voornamelijk landbouwgebied met daarin een aantal bebouwde kernen. Hier wordt het huidige waterregime zoveel mogelijk gehandhaafd. De huidige polderpeilen en ontwateringstructuur worden gehandhaafd door de aanleg van twee zeegemalen bij Kinnum en Lies.

Status GGOR

GGOR is vooral een toetsingskader voor ruimtelijke plannen en plannen die ingrijpen op de waterhuishouding. In de nabije toekomst zal het GGOR worden uitgewerkt en verwezenlijkt. De implementatie van het GGOR loopt langs de bestaande formele procedures voor o.a. bestemmingsplannen, bouw- en aanlegvergunningen en peilbesluiten.

In al deze procedures is bezwaar en beroep mogelijk.

INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Achtergronden	1
1.2 Doelstellingen	2
1.3 Projectorganisatie	2
1.4 Leeswijzer	2
2 WERKWIJZE	3
2.1 GGOR	3
2.1.1 Optimale situatie of OGOR	3
2.1.2 Huidige situatie of AGOR	4
2.1.3 Gewenste situatie of GGOR	4
2.2 Modelling	5
2.2.1 Grondwatermodellering	5
2.2.2 Oppervlaktewatermodellering	5
2.2.3 Tijdreeksanalyse	6
2.3 De GGOR-manier van werken	7
3 HUIDIGE SITUATIE	10
3.1 Beschrijving van het watersysteem	10
3.2 Huidige hydrologische situatie	12
3.3 Knelpunten huidige situatie	14
4 AUTONOME ONTWIKKELING	18
4.1 Ontwikkelingen	18
4.2 Effecten	19
5 MAATREGELEN	21
5.1 Maatregelpakketten	21
5.2 Effecten maatregelenpakketten	22
5.2.1 Maatregelenpakket 1	22
5.2.2 Maatregelenpakket 2	23
5.3 Overzicht effecten	25
6 CONCLUSIES, KEUZE EN VERVOLG	27
6.1 Conclusies	27
6.2 Keuze GGOR	28
6.3 Vervolg en status GGOR	29
7 LITERATUURLIJST	30

FIGUREN

1. Overzichtskaart
2. GHG huidige situatie
- 2a GHG verandering 2030 t.o.v. huidig
- 2b GHG verandering pakket 1 t.o.v. huidig
- 2c GHG verandering pakket 2 t.o.v. huidig
- 3a Kwelverandering 2030 t.o.v. huidig
- 3b Kwelverandering pakket 1 t.o.v. huidig
- 3c Kwelverandering pakket 2 t.o.v. huidig
4. Inundatie frequenties huidige situatie
- 4a Inundatiefrequenties 2030
- 4b Inundatiefrequenties pakket 1
- 4c Inundatiefrequenties pakket 2
5. Doelrealisatie landbouw huidig
- 5a Doelrealisatie landbouw 2030
- 5b Doelrealisatie landbouw pakket 1
- 5c Doelrealisatie landbouw maatregelenpakket 2
- 6a GHG verandering 2030 t.o.v. huidig functie natte duinvallei
- 6b GHG verandering pakket 1 t.o.v. huidig functie natte duinvallei
- 6c GHG verandering pakket 2 t.o.v. huidig functie natte duinvallei
- 7a GHG verandering 2030 t.o.v. huidig functie recreatie & bebouwing
- 7b GHG verandering pakket 1 t.o.v. huidig functie recreatie & bebouwing
- 7c GHG verandering pakket 2 t.o.v. huidig functie recreatie & bebouwing

BIJLAGEN

1. Samenstelling projectgroep en klankbordgroep
2. Grondwatermodel Terschelling
3. Statistische modellering van de laagwateropzet Terschelling
4. Statistische modellering van de neerslag Terschelling
5. Beschrijving oppervlaktewatermodel
6. Kostenraming maatregelenpakketten

1 INLEIDING

1.1 Achtergronden

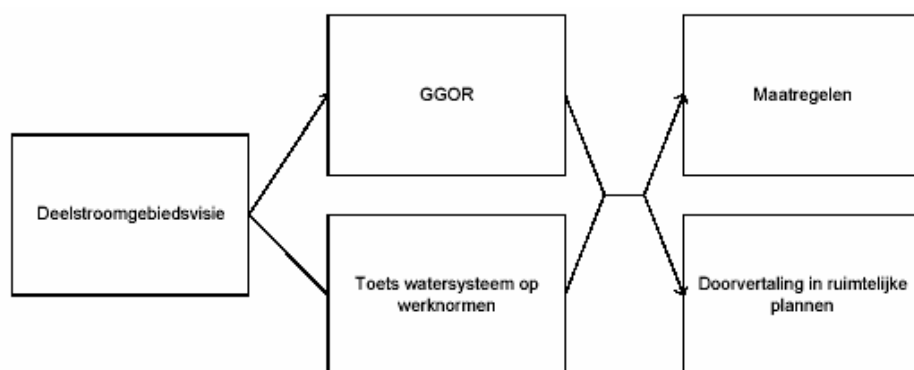
GGOR staat voor Gewenste Grond- en Oppervlaktewaterregime. De term GGOR stamt beleidsmatig uit de 4^e Nota waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998). Destijds werd aan de provincies gevraagd het gewenste grond- en oppervlaktewaterregime uiterlijk in 2002 vast te stellen. Door het vaststellen van het GGOR worden de waterdoelen (grond- en oppervlaktewater) in een gebied vastgelegd. Dit gewenste regime moet aansluiten bij het beoogde gebruik van het betreffende gebied. Vanwege bestuurlijke en technische problemen is het de provincies niet gelukt om in 2002 het GGOR vast te stellen. Inmiddels is afgesproken in artikel 5 van het Nationaal Bestuursakkoord Water dat de provincies de kaders voor het GGOR in het landelijk gebied uiterlijk in 2005 vastgesteld moeten hebben. Vervolgens zullen de waterschappen tussen 2005 en 2010 de GGOR's opstellen.

Tevens is in het Nationale Bestuursakkoord aan de waterschappen de opdracht gegeven om het watersysteem te toetsen aan de werknormen regionale wateroverlast en in beeld te brengen welke ruimteclaim hieruit voortkomt (artikel 13). Het toetsresultaat van de kenmerken van het watersysteem en het beoogde gebruik van het gebied heeft de vorm van waterrisicokaarten.

GGOR heeft zowel betrekking op grond- als op oppervlaktewater onder normale omstandigheden. Bij GGOR ligt de nadruk op het grondwater en wordt het oppervlaktewater meer gezien als stuurmiddel. De werknormen hebben alleen betrekking op oppervlaktewater en dan alleen in extreme (natte) situaties. Hoe vaak loopt een gebied onder vanuit het oppervlaktewater. De werknormen hebben in die zin ook een ontwerpfunctie en kunnen bepalend zijn voor het profiel van een watergang of de dimensies van een stuw.

De basis voor het Nationaal Bestuursakkoord wordt gevormd door de deelstroomgebiedsvisies en het advies van de commissie Waterbeheer 21^e eeuw. Op basis van GGOR en de toets van het watersysteem aan de werknormen regionale wateroverlast worden de deelstroomgebiedsvisies geconcretiseerd en uitgewerkt in maatregelenprogramma's en vertaald in ruimtelijke plannen. In onderstaande afbeelding wordt dit traject schematisch weergegeven:

Afbeelding 1.1 Schematische weergave van het traject



(Bron: Research voor beleid bv, 2004)

1.2 Doelstellingen

Met het project GGOR Terschelling worden beide bovengenoemde onderdelen geïntegreerd. De reden hiervoor is dat beiden, keuzes in het watersysteem tot gevolg hebben en omdat deze keuzes ook op elkaar kunnen ingrijpen. Op deze manier worden uiteindelijk maatregelen voorgesteld die concreet zijn en niet meer afhankelijk zijn van een eventueel volgende analyse. Dit betekent niet dat er direct begonnen kan worden met de uitvoering maar wel dat elke afzonderlijke maatregel kan worden uitgewerkt.

De doelstelling van GGOR Terschelling is dat het project resulteert in een aantal concrete maatregelen in de vorm van een maatregelenplan. Dit maatregelenplan kan vervolgens worden uitgewerkt in individuele inrichtingsplannen en tenslotte in een bestek. Deze laatste twee stappen vallen buiten de scope van dit project.

1.3 Projectorganisatie

De projectorganisatie bestond uit een Projectgroep en een Klankbordgroep. De projectgroep zorgde voor de voortgang van het project. In de projectgroep zijn vertegenwoordigd: Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, Staatsbosbeheer, LTO Noord, Gemeente Terschelling en Vitens. De projectleiding was in handen van het Wetterskip Fryslân. De samenstelling van de projectgroep is opgenomen in bijlage 1. De klankbordgroep bestond uit vertegenwoordigers van de bewoners van Terschelling. De functie van de klankbordgroep was om de standpunten van de eilandbewoners te verwoorden, de resultaten van de simulatiemodellen te beoordelen en om haalbaarheid en noodzaak van maatregelen in te schatten. De samenstelling van de klankbordgroep is opgenomen in bijlage 1.

1.4 Leeswijzer

In deze rapportage wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de werkwijze. Hierbij wordt zowel ingegaan op het technische spoor als het proces voor de totstandkoming van het GGOR. Hoofdstuk 3 beschrijft het huidige watersysteem en de geconstateerde knelpunten. In hoofdstuk 4 wordt de autonome ontwikkeling in 2030 beschreven. Hierbij wordt ingegaan op de gevolgen van klimaatverandering en wadbodemstijging. Op basis van de geconstateerde knelpunten en autonome ontwikkelingen worden in hoofdstuk 5, twee maatregelenpakketten uitgewerkt. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 conclusies getrokken en wordt nader ingegaan op de status van het GGOR en het vervolgtraject. De literatuurlijst is opgenomen in hoofdstuk 7. Afbeeldingen zijn opgenomen in de tekst; de figuren zijn opgenomen na de tekst en voor de bijlagen.

2 WERKWIJZE

GGOR Terschelling bestaat zoals aangegeven in de inleiding uit twee verschillende onderdelen. Aan de ene kant GGOR en aan de andere kant de regionale wateroverlast. Bij GGOR ligt de nadruk op het grondwatersysteem in normale situaties. Bij de toetsing aan de werknormen regionale wateroverlast ligt de nadruk op het oppervlaktewatersysteem in extreem natte situaties.

2.1 GGOR

Het principe van GGOR (Gewenst Grond- en Oppervlaktewaterstandregime) is relatief eenvoudig. Van de belangrijkste ruimtelijke functies (grondgebruiken) is (bij benadering) bekend wat het optimale grondwaterstandverloop is in de loop van het jaar. Dit wordt ook wel de OGOR (Optimale Grond- en Oppervlaktewaterstandregime) genoemd. Deze OGOR kan getoetst worden aan de actuele situatie, AGOR (Actuele Grond- en Oppervlaktewaterregime). Daar waar het actuele grondwaterregime niet voldoet aan het optimale grondwaterregime zal door middel van maatregelen de OGOR zoveel mogelijk moeten worden benaderd. Er zijn twee manieren om het OGOR te bereiken:

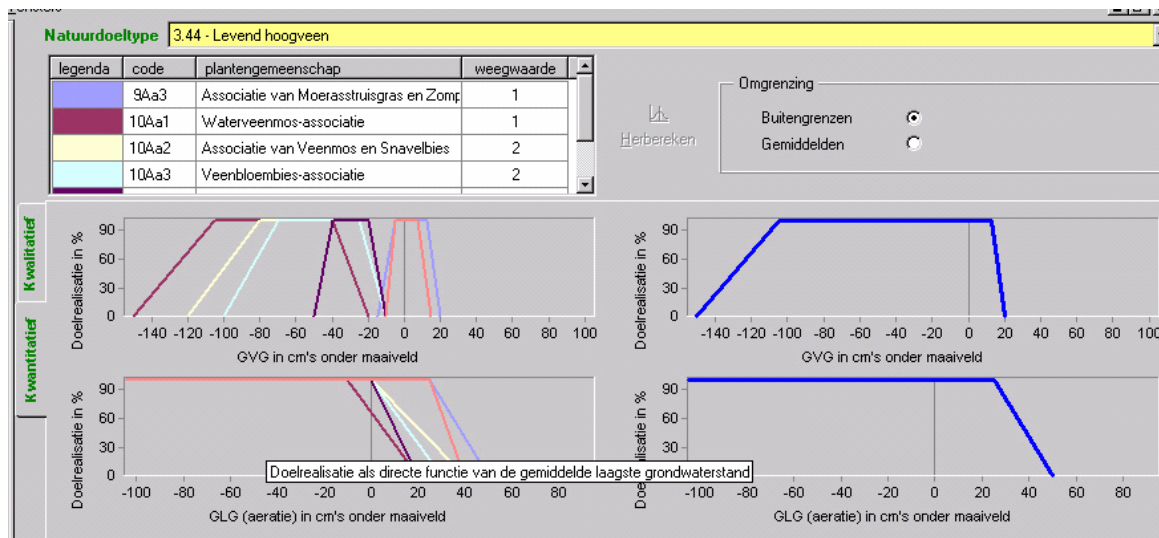
- Ingrepen in de waterhuishouding bijvoorbeeld verandering van het peil of mitigerende maatregelen tegen wateroverlast.
- Verandering van functies: functies waar droge omstandigheden gewenst zijn verhuizen naar hogere gronden en omgekeerd.

Het is niet altijd mogelijk om overal de OGOR te bereiken of alleen tegen zeer hoge kosten. Het benaderen van de OGOR resulteert uiteindelijk in een grond- en oppervlaktewaterregime dat bekend staat onder de naam GGOR.

2.1.1 Optimale situatie of OGOR

Voor de Optimale Situatie is gebruik gemaakt van de kengetallen die landelijk zijn opgesteld voor verschillende functies (verschillende typen landbouw, natuur en bebouwing). Deze kengetallen zijn gedefinieerd in de vorm van een Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), een Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) en een Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). In het Waternoodinstrumentarium (STOWA, 2003) zijn de verschillende kentallen verzameld in de vorm van responsiecurves. Deze responsiecurves geven aan bij welke GHG, GVG en GLG de functie optimaal kan functioneren en waar de functie niet of minder kan functioneren.

Abbeelding 2.1 Responsiecurve uit het waternoodinstrumentarium



2.1.2 Huidige situatie of AGOR

De eerste stap in het proces om tot een GGOR te komen is het bepalen van de actuele situatie. Hierbij dient aangesloten te worden aan de eenheden waarin de optimale situatie wordt gedefinieerd. Dit betekent dat voor de huidige situatie duidelijk moet zijn wat bijvoorbeeld de Gemiddeld Hoogste en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand is. Vergelijking van deze AGOR met de OGOR brengt in beeld waar de grondwaterstanden goed zijn en waar sprake is van suboptimale grondwaterstanden. Analyse van de oorzaak hiervan leidt vervolgens tot het opstellen van mogelijke maatregelen.

2.1.3 Gewenste situatie of GGOR

Door het nemen van realistische maatregelen die invloed hebben op het watersysteem wordt de OGOR benaderd. In de praktijk zal hierbij veelal sprake zijn van een iteratief proces waarbij de maatregelen steeds worden doorgerekend om te bepalen hoe dicht de OGOR benaderd is en of eventueel nog negatieve neveneffecten optreden. Op basis van de resultaten worden nieuwe maatregelen geïntroduceerd of bestaande maatregelen aangepast en vindt een nieuwe berekening plaats. Dit proces herhaalt zich totdat een optimum is bereikt waarbij de OGOR zoveel mogelijk wordt benaderd maar de kosten aanvaardbaar blijven en draagvlak bestaat voor de maatregelen. In het proces van GGOR Terschelling is een iets andere insteek gekozen waarbij twee verschillende lijnen in de maatregelen zijn gekozen. Dit betekent dat het genoemde iteratief proces in twee parallelle sporen is doorlopen.

2.2 Modellingering

Voor het bepalen van het GGOR is gebruik gemaakt van verschillende simulatiemodellen:

- Grondwatermodel voor de simulatie van grondwaterstroming.
- Statische modellen voor het uitvoeren van tijdreeksanalyses.
- Oppervlaktewatermodellen voor het simuleren van het oppervlaktewatersysteem.

In de volgende paragraaf worden de simulatiemodellen globaal omschreven. In bijlage 2 tot 5 wordt een uitgebreide beschrijving gegeven van de modellen.

2.2.1 Grondwatermodellering

In deze studie is gebruik gemaakt een bestaand grondwatermodel ('Watersysteemanalyse Terschelling, Royal Haskoning, 2002). Bijlage 2 beschrijft opbouw van dit model. Omdat in deze studie inzicht in het grondwaterstandsregime (GHG, GLG, GVG) gewenst is, is het grondwatermodel uitgebreid met de mogelijkheid van tijdsafhankelijk rekenen. Vervolgens is met het grondwatermodel de periode 1993-2004 tijdsafhankelijk doorgerekend voor de huidige situatie, de autonome ontwikkeling tot 2030 en twee maatregelenpakketten. Voor de bepaling van het GGOR is een nauwkeurige weergave gewenst van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveldniveau. Hiertoe is het berekeningsresultaat (GHG, GLG en GVG) weergegeven ten opzichte van het AHN-hoogtebestand.

2.2.2 Oppervlaktewatermodellering

Voor het berekenen van extreme situaties van het oppervlaktewatersysteem zijn verschillende methoden voor handen. De ene methode gaat uit van volledig onafhankelijke stochasten (buitenwaterstand en neerslag) en rekent hiermee een zeer groot aantal situaties door. Een andere methode kijkt naar bekende historisch opgetreden situaties en rekent die door. De methode die hier gebruikt is de fictieve reeks methode waarbij de verschillende variabelen statistisch worden beschreven, rekening houdend met mogelijke onderlinge relaties. Op basis hiervan is een fictieve neerslag-buitenwaterstand reeks van 100 jaar (dagwaarden) gegenereerd die met behulp van het poldermodel is doorgerekend (100 jaar doorrekenen met SOBEK kost teveel rekentijd en kan modelproblemen opleveren). De bepaling van de fictieve reeks is nader beschreven in paragraaf 2.2.3 en bijlage 3. De 12 wintersituaties die de hoogste oppervlaktewaterstanden in het poldermodel tot gevolg hadden zijn vervolgens gedetailleerd doorgerekend met het hierna te beschrijven SOBEK model door de berekende afvoeren uit het poldermodel in te voeren in het SOBEK model. Het resultaat hiervan zijn de 12 hoogste oppervlaktewaterstanden per peilgebied of delen daarvan.

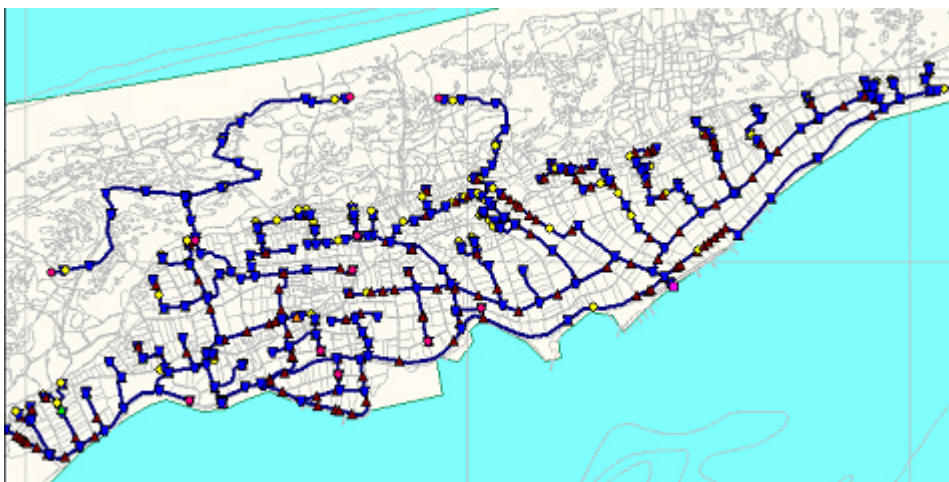
Om de mate van wateroverlast te berekenen is het oppervlaktewatersysteem geschematiseerd met behulp van een Sobek CF model en een iets aangepast poldermodel zoals gebruikt in de Watersysteemanalyse Terschelling (Royal Haskoning, 2002). Het poldermodel beschrijft het neerslag-afvoer proces voor elk peilvak. Het SOBEK CF model beschrijft het stromingsproces in de watergangen. Met dit gecombineerde model is in kaart gebracht op welke locaties er in verschillende situaties eens in de 10, 25, 50 en 100 jaar inundaties optreden.

Het systeem van hoofdwatgangen is opgenomen in het SOBEK model op basis van de legger van het Wetterskip. Omdat niet alle watgangen die van belang zijn voor het onderzoek (bepalend zijn voor de waterstand in een bepaald deel van het eiland) zijn opgenomen in de legger zijn enkel watgangen op basis van schattingen van het Wetterskip opgenomen. Een aantal watgangen in de duinen zijn ten behoeve van het onderzoek opgemeten en vervolgens opgenomen in het model. Op dat moment ontstaat een oppervlaktewatermodel met alle relevante waterlopen en kunstwerken van de beide poldersystemen van Terschelling.

Om inundaties mee te nemen is per peilgebied of in het geval van grote peilgebieden delen daarvan, de maaiveldhoogte opgenomen in het model.

Afbeelding 2.2 geeft een impressie van het oppervlaktewatermodel met de hierin aanwezige kunstwerken.

Afbeelding 2.2 Impressie van het oppervlaktewatermodel



Het model is nader beschreven in bijlage 4.

Per peilgebied of deel daarvan is op basis van de 12 hoogste oppervlaktewaterstanden een statistische analyse uitgevoerd (Gumbel) waarmee de waterstanden en daarmee ook de inundaties die 1*10, 25, 50 en 100 jaar worden geschat.

2.2.3 Tijdreeksanalyse

Er is een methode gebruikt die gebruik maakt van een fictieve reeks van neerslag en buitenwaterstand, waarbij hun onderlinge afhankelijkheid wordt meegenomen. Deze reeks is opgesteld aan de hand van de karakteristieken van de neerslag, zoals gemeten van 1995 tot 2005 op Terschelling. Deze neerslag is omgezet in een groot aantal statistische verdelingen voor de maandelijkse duur en intensiteit van droge en natte periodes. Ditzelfde is gedaan voor de opzet van de buitenwaterstand in deze periode. Met behulp van de verdelingen is een fictieve 100-jarige reeks samengesteld van de neerslag en de buitenwaterstand, die onderling zijn gecorreleerd in periodes van storingen (neerslag in combinatie met hoge wateropzetten). De gemeten verdamping is omgezet in een 100-jarige reeks door het maandelijkse gemiddelde van 1995-2005 te nemen. De 100-jarige neerslagreeks is gecorrigeerd op de langjarig gemiddelde neerslag, zoals verstrekt door het KNMI. Dit is noodzakelijk omdat de neerslag in de

afgelopen 10 jaar qua intensiteit niet representatief is voor de neerslag op langere termijn.

Het resultaat van deze stap is een fictieve 100-jarige reeks van neerslag en buitenwaterstand voor Terschelling. Deze reeks bevat periodes met extreme neerslag, bestaande uit korte, heftige buien en langere periodes met een bovengemiddelde neerslag. Een gedetailleerde beschrijving van de tijdreeksanalyse is opgenomen in bijlage 3.

2.3 De GGOR-manier van werken

Voor het vaststellen van het GGOR is naast het technische spoor ook het proces van de totstandkoming van groot belang. GGOR staat hierbij vooral voor een integrale en afrekenbare manier van werken (Aanpak van GGOR in Fryslân, Provincie Fryslân 2005).

Integraal werken

De integraliteit wordt gewaarborgd doordat met meer aspecten rekening wordt gehouden dan tot nu toe gebruikelijk is. Er wordt gestreefd naar een grondwaterregime dat optimaal is voor alle functies (onder andere landbouw, natuur, bebouwing en recreatie). Bij GGOR wordt gekeken naar grote samenhangende gebieden en wordt enkele decennia vooruitgekeken. Daarbij worden de cumulatieve effecten van alle lokale maatregelen bepaald en beoordeeld. Hierdoor kunnen beter afwegingen worden gemaakt op regionaal niveau en voor langere termijn. Door aan het GGOR te toetsen krijgen lokale ongewenste ontwikkelingen geen kans meer. Met GGOR als leidraad kan bewust worden gewerkt naar de gewenste situatie.

Afrekenbaar werken

Het afrekenbaar werken wordt ingevuld door het laten zien wat de effecten van verschillende ingrepen zijn op de verschillende functies. Voor het afrekenbaar werken is het gebruik van simulatiemodellen van groot belang. In dit project is gebruik gemaakt van een grondwatermodel, oppervlaktewatermodellen en statische modellen. Essentieel is het werken met de zogenaamde doelrealisaties. Voor de landbouw wordt de doelrealisatie met behulp van het waternoodinstrumentarium bepaald. Met dit instrumentarium kan voor een bepaald regime worden bepaald in hoeverre er sprake is optimale landbouwopbrengsten.

Werken volgens stappenplan

Kenmerkend voor de manier van werken is het werken volgens een stappenplan (zie afbeelding 2.3). Het GGOR begint bij het in kaart brengen van de huidige functies en doelstellingen die worden nagestreefd. In de volgende stap wordt het actuele grond- en oppervlaktewaterregime AGOR beschreven. Het AGOR wordt getoetst aan de functiewensen en watersysteemdoelstellingen. Wanneer het actuele regime niet voldoet moeten oplossingen worden gezocht voor de geconstateerde knelpunten. Als het niet lukt om te komen tot een bevredigend regime voor alle functie door technische maatregelen moet genoeg worden genomen met een minder optimale situatie of kan een functiewijziging worden doorgevoerd. In de rapportage over het GGOR project in midden Fryslân wordt elke stap nader toegelicht (Royal Haskoning, 2002b).

Samenwerken

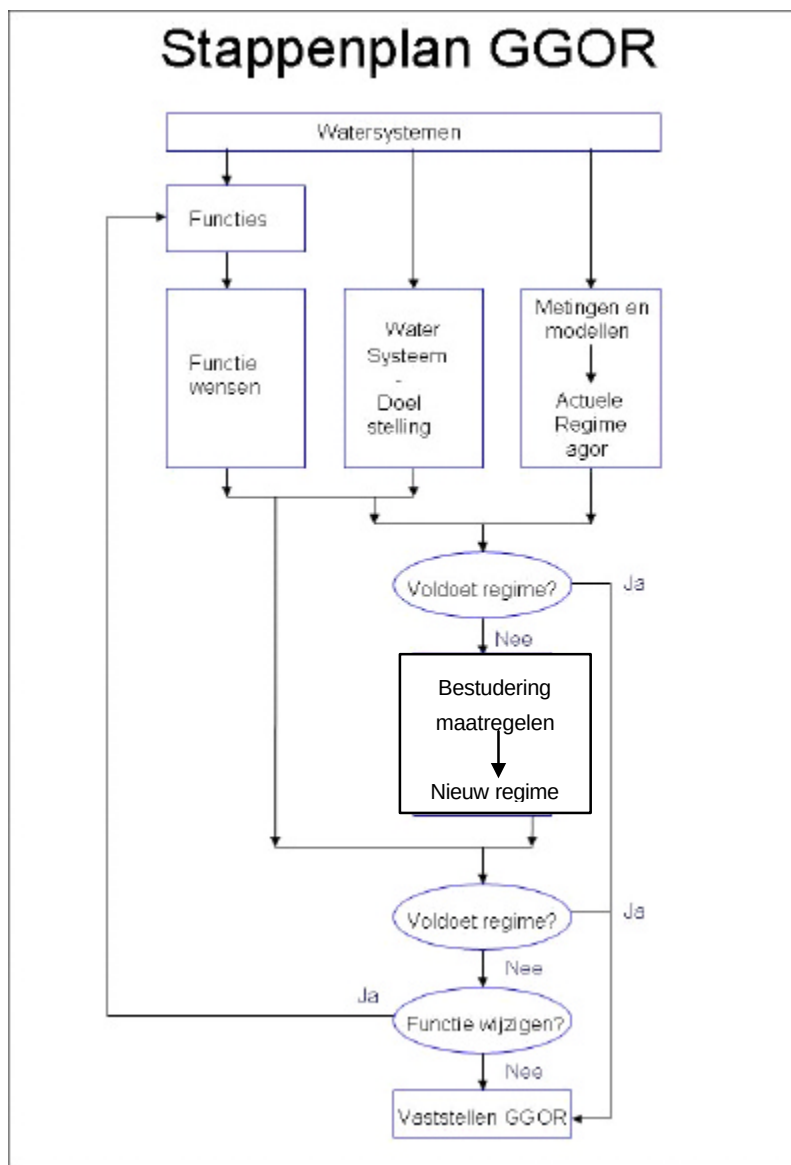
Het vaststellen van het GGOR betekent altijd dat een afweging moet worden gemaakt tussen de belangen van verschillende sectoren en organisaties. Hierbij speelt niet alleen de mate waarin het waterregime invulling geeft aan ieders belangen, maar ook de relatie tussen kosten en baten. De inspanningen en kosten om de maatregelen te realiseren moeten in relatie staan tot knelpunten die daarmee worden opgelost. Bij de totstandkoming van het GGOR Terschelling is intensief samengewerkt tussen verschillende organisaties. In de projectgroep waren vertegenwoordigd: Wetterskip Fryslân, Provincie Fryslân, Staatsbosbeheer, LTO Noord, Gemeente Terschelling en Vitens (zie bijlage 1). De projectleiding was in handen van het Wetterskip Fryslân. De klankbordgroep bestond uit vertegenwoordigers van de bewoners van Terschelling (zie bijlage 1). De functie van de klankbordgroep was om de standpunten van de eilandbewoners te verwoorden en om haalbaarheid en noodzaak van maatregelen in te schatten.

Transparant werken

Het voorstel voor het GGOR is voorgelegd aan de adviescommissie integraal waterbeheer Terschelling. Het GGOR is in een publieksavond gepresenteerd. Het GGOR wordt vervolgens ter visie gelegd waarop inspraak mogelijk is. Uiteindelijk zal het GGOR Terschelling worden vastgesteld door het Wetterskip Fryslân. De Provincie heeft instemmingsrecht voor GGOR Terschelling. Wanneer in 2010 het regime uiteindelijk voor het gehele beheersgebied is vastgelegd in het waterbeheersplan wordt het voorgelegd aan Gedeputeerde Staten voor goedkeuring.

Afbeelding 2.3 Stappenplan GGOR (bron: Aanpak van GGOR in Fryslân, Provincie Fryslân 2005)

Tekst in figuur aanpassen (Besturing wordt Bestudering)



3 HUIDIGE SITUATIE

In paragraaf 3.1 wordt het grond- en oppervlaktewatersysteem beschreven. De huidige hydrologische situatie op Terschelling wordt besproken in paragraaf 3.2. Hierbij wordt in gegaan op het grondwaterregime, de optredende inundaties en zoute kwel. De knelpunten die hiervan het gevolg hiervan worden besproken in paragraaf 3.3.

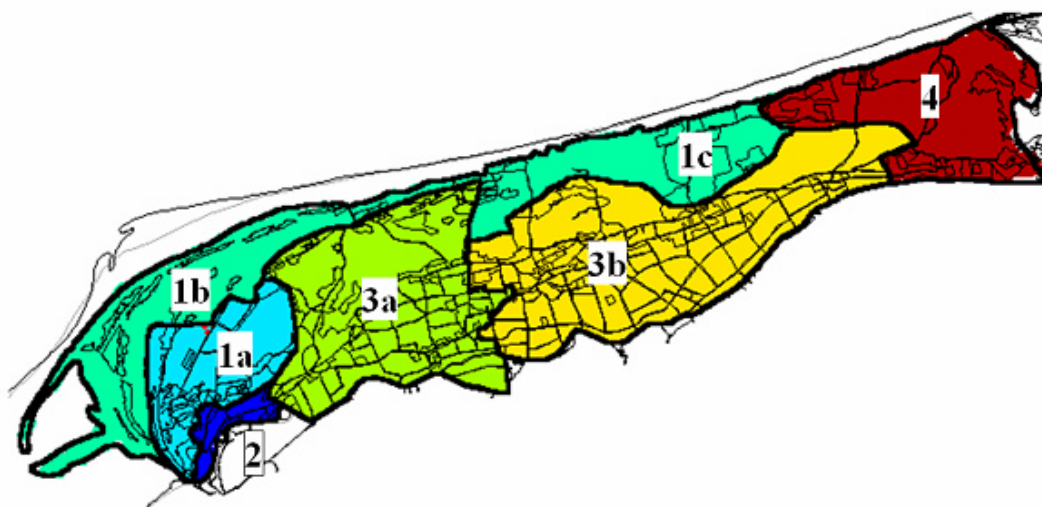
3.1 Beschrijving van het watersysteem

In het rapport 'Watersysteemanalyse Terschelling (Royal Haskoning, 2002a)' worden in hoofdstuk 3 'Watersystemen' de volgende watersystemen onderscheiden:

- Duingebied-West en Bosgebied-West (1a en 1b).
- Terschelling-West en Havengebied (2).
- Westelijk- en Oostelijk- Afwateringsgebied (3a en 3b).
- Oostelijk-Duingebied en Boschplaat (1c en 4).

De verschillende systemen worden hieronder kort beschreven. In afbeelding 3.1 is de ligging van de verschillende systemen weergegeven.

Afbeelding 3.1 Ligging watersystemen naar: 'Gebiedsdeleplan IWBP Waddeneilanden (2000)'



Duingebied-West en Bosgebied-West (1a en 1b)

Het oppervlaktewater van het watersysteem Duingebied-West (1b) bestaat uit natte duinvalleien en duinplassen, alsmede enkele sloten die via de binnenduintrand afwateren op de polder. Het watersysteem is 1.338 ha groot. Het noordelijke deel van het watersysteem watert door infiltratie via de ondergrond af op de Noordzee, terwijl het water van het zuidelijke deel wordt afgevoerd naar de polder. De functie 'natuur' is de enige functie van het gebied.

Het watersysteem Bosgebied-West (1a) ligt ten noorden van het dorp West-Terschelling en is 495 ha groot. Het bestaat grotendeels uit bossen en voor een klein deel uit duinen. De belangrijkste wateren zijn de plassen Dodemanskisten en Helmduinen en enkele afwateringssloten. Een deel van het water, onder andere vanuit het gebied rond

Griltjeplak, wordt afgevoerd naar het Groene Strand. Het Groene strand was eerst een, van een dun sliblaagje voorziene, kwelder op de strandvlakte onder de hoge duinen ten westen van West-Terschelling (vergelijkbaar met de Boschplaat-kwelders nu). Later is het kweldergebiedje uitgebreid met een dichtslibbende, regelmatig door de zee overspoelde, duinvallei.

De belangrijkste functie van het gebied is de functie 'natuur'. Daarnaast vindt in het noordwestelijke deel, nabij de Griltjesplak, nog grondwaterwinning plaats voor de drinkwatervoorziening, zodat ook de functie 'drinkwater' nog van toepassing is.

Terschelling-West en Havengebied (2)

In deze twee watersystemen komt nauwelijks oppervlaktewater voor. Het grootste deel is bebouwd en het gebied heeft een oppervlakte van 97 ha. Het hemelwater wordt rechtstreeks afgevoerd naar de Waddenzee of gaat via de riolering eerst naar de rwzi. Het effluent van de rwzi wordt geloosd op de Waddenzee. De belangrijkste functie is 'bebouwd gebied'.

De stromingsrichting van het grondwater in Terschelling-west en het havengebied is overwegend zuidelijk, richting het wad. Freatisch wordt de stromingssituatie sterk beïnvloed door het ondiep voorkomen van weerstandbiedende lagen.

Westelijk- en Oostelijk- Afwateringsgebied (3a en 3b)

Het watersysteem Westelijk-Afwateringsgebied (3a) bestaat voor een deel uit duinen en een deel is poldergebied. Het gebied is 1.138 hectare groot. In de duinen bestaat het oppervlaktewater uit enkele plassen, zoals de badhuiskuil en het meertje van Hee en de natte duinvalleien (Waterplak, Sterneplak en Rijsplak). In de polder liggen sloten en het Ponswiel. Afwatering vindt plaats op de Waddenzee via de Nieuwe Sluis bij Kinnun. Het grootste deel van de landbouwgronden in het poldergebied is aangewezen als relatienotagebied.

Naast de functie 'natuur' spelen in het watersysteem de functies 'bebouwd gebied' en 'landbouw' eveneens een belangrijke rol. Aan de waterplas Hee is de functie 'zwemwater' toegekend.

Het watersysteem Oostelijk-Afwateringsgebied is vergelijkbaar met voornoemd watersysteem en is 1.497 ha groot. In het duingebied liggen meer bossen. Afwatering vanuit het poldergebied op de Waddenzee vindt plaats via de Liessluis. De duinvalleien ten noorden van Hoorn en Oosterend wateren via een oostelijk, omtrekkende route (ter hoogte van de Wierschuur) af op de Waddenzee. De functies, zoals genoemd bij het Westelijk-Afwateringsgebied, zijn hier eveneens van toepassing.

Oostelijk-Duingebied en Boschplaat (1c en 4)

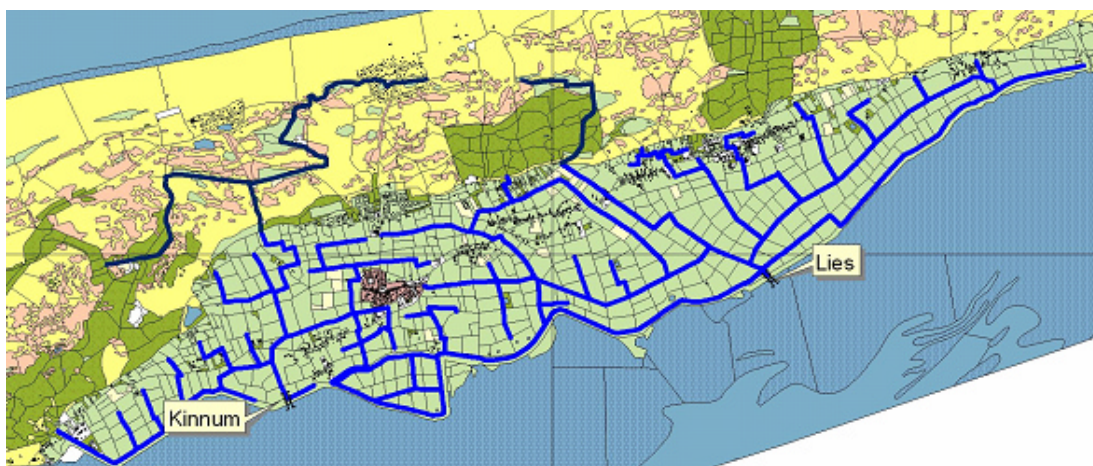
De meest oostelijke watersystemen 'Oostelijk-Duingebied (1c) en Boschplaat' (4) maken deel uit van het internationaal aangewezen Europees natuurreservaat 'De Boschplaat'. Het gebied is 891 ha groot en bestaat voornamelijk uit duinen en voor een deel uit overgangen van duinen naar kwelder. In het gebied liggen enkele eendenkooien. Het duingebied watert af ten oosten van de Dwarsdijk. Voor het gebied is alleen de functie 'natuur' van belang.

Het grondwater stroomt vanaf hier alzijdig af:

- noordelijk richting (naar de zee);
- zuidelijk richting Jollemabosje/Horrekoai en het wad;
- oostelijk richting De Groede.

Voor deze studie wordt voor het oppervlaktewatersysteem van Terschelling twee deelsystemen onderscheiden die afwateren via de Liessluis en de Kinnumsluis. In afbeelding 3.2 zijn de twee deelsystemen weergegeven.

Afbeelding 3.2 Oppervlaktewatersysteem



Beide deelsystemen zijn onderverdeeld in een deel duinen en een deel polder. De duinen wateren onder natte omstandigheden via een stelsel van duinwatergangen af op de polder. Gedurende een groot deel van het jaar zal deze afvoer verwaarloosbaar zijn. Het regenwater infiltreert in de bodem en zal in de vorm van kwel in de polder of aan de Noordzeekust aan het maaiveld komen. Pas wanneer de grondwaterstand in de duinen stijgt tot boven de slootbodembodem krijgen de duinwatergangen een afvoerfunctie. De polders lozen bij overtollig water onder vrij verval via de spuisluizen in Kinnum en Lies op de Waddenzee. Hiervoor zijn beide sluisen afhankelijk van de buitenwaterstand. Door bepaalde windsituaties kan de buitenwaterstand verhoogt zijn waardoor spuien niet mogelijk is. Wanneer dit gecombineerd wordt met overvloedige neerslag, dan leidt dit tot een stijging van de waterstand in de polder. Onder normale laagwater omstandigheden stroomt het water via een stelsel van geulen door het Wad naar het open water van de Waddenzee.

3.2 Huidige hydrologische situatie

Grondwaterregime

Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG)

Figuur 2 toont de berekende GHG in de huidige situatie. Op de hogere poldergedeelten wordt overwegend een GHG berekend van 40-80 cm-mv. Op de wat lagere poldergedeelten is de berekende GHG 20-40 cm-mv. Lokaal, bijvoorbeeld bij Kooiboschjes worden nog ondiepere grondwaterstanden berekend (0-20 cm-mv), terwijl de berekende GHG op de laagste terreingedeelten boven maaiveld is.

In de duinen is het berekende beeld van de GHG zeer wisselend: zowel diepe grondwaterstanden (dieper dan 160 cm-mv) komen voor, als ook grondwaterstanden boven maaiveld. Het laatste is het geval in de natte duinvalleien. De berekende GHG op West-Terschelling is overwegend diep (> 160 cm-mv). In het noordelijk deel van West-Terschelling worden echter duidelijk ondiepere grondwaterstanden berekend (20-40 cm-mv). Opgemerkt wordt dat het duingebied een relatief groot 'geheugen' heeft waar het gaat om het neerslagoverschot in het verleden. Dit betekent dat een aantal relatief natte jaren achtereen kunnen leiden tot wateroverlast in West-Terschelling, met name op de plaatsen waar nu de GHG relatief ondiep is.

Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG)

De berekende GLG op de hogere poldergedeelten is 120-160 cm-mv en op sommige plaatsen zelfs nog wat dieper. In de lagere delen van de polder is de berekende GLG 40-80 cm-mv. De GLG in de natte duinvalleien is doorgaans 0-40 cm-mv: deze vallen dus droog in de zomer.

Waterbalans en berekende kwel

Door analyse van de afvoermetingen bij de uitwateringssluizen Kinnun en Lies is de waterbalans van het westelijk en oostelijk deel van de polder bepaald. Daaruit is de jaargemiddelde kwel af te leiden. De onderstaande tabel geeft het resultaat: een overzicht van de balanstermen in een gemiddeld jaar.

	West	Oost
	mm/d	mm/d
Verdamping	1.5	1.5
Afvoer	1.2	1.5
Neerslag	2.1	2.1
Kwel	0.6	0.9

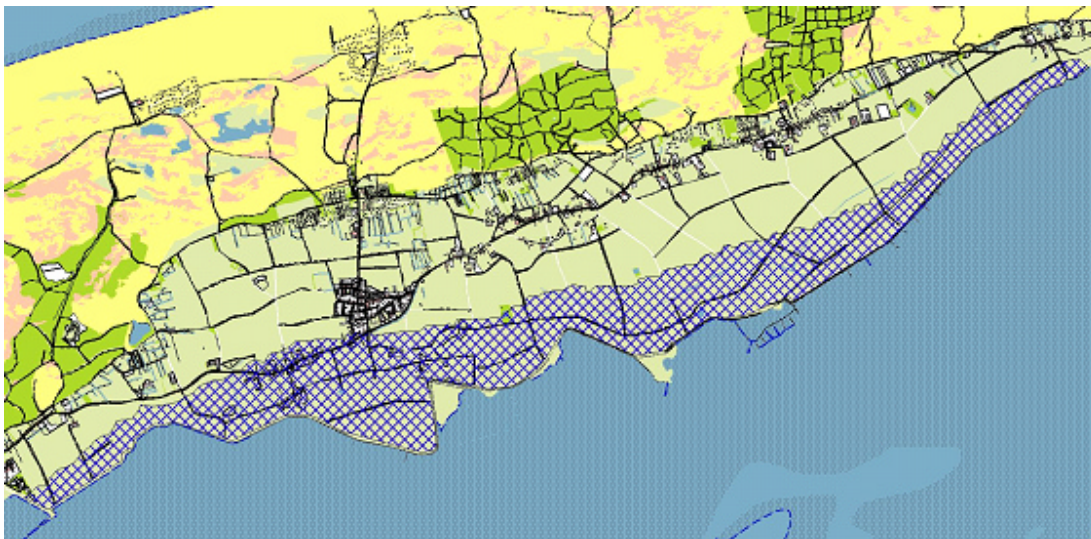
Inundaties

Met behulp van het Sobekmodel (zie bijlage 2) zijn voor de huidige situatie inundatie beelden vervaardigd (zie figuur 4). In deze figuur zijn de gebieden aangegeven die gemiddeld 1 maal per 10, 25, 50 en 100 jaar overstroomd. Inundaties zijn met name zichtbaar rond Midsland en nabij de spuisluis van Lies. De betreffende figuur is ook aan de klankbordgroep getoond om te bepalen of het berekende beeld overeenkomt met het beeld van de klankbordgroep. Hieruit is gebleken dat het beeld van de klankbordgroep over het algemeen meer extreem was (natter). Uit de modellen blijkt echter dat voor het veroorzaken van dergelijke inundaties onrealistische grote hoeveelheden neerslag noodzakelijk zijn. Vermoedelijk treden in extreem natte situaties ook inundaties op vanuit het grondwater (grondwaterstand komt boven maaiveld). Inundaties vanuit het grondwater zijn niet in de figuren opgenomen. Daarnaast is gebleken dat door een fout in de leggegevens inundatie optreden bij de Kooibosjes. In de praktijk komen deze inundatie ter plaatse niet voor.

Zoute kwel

Nabij de waddendijk treedt zoute kwel op. In de watersysteemanalyse is het gebied aangegeven waar deze zoute kwel optreedt (zie afbeelding 3.3).

Afbeelding 3.3 Gebied met zoute kwel (Bron: watersysteemanalyse Terschelling)



In de huidige situatie kwelt jaarlijks 509.000 m³ zout grondwater op in de polder. Dit levert problemen op voor veedrenking in de polder. Het grootste deel van de zoute kwel treedt op in de winterperiode omdat in de winter het oppervlaktewaterpeil in de polder lager is. Ten gevolge van de zeespiegelstijging, klimaatsverandering en de peilontwikkeling in de polder zal de zoute kwel veranderen.

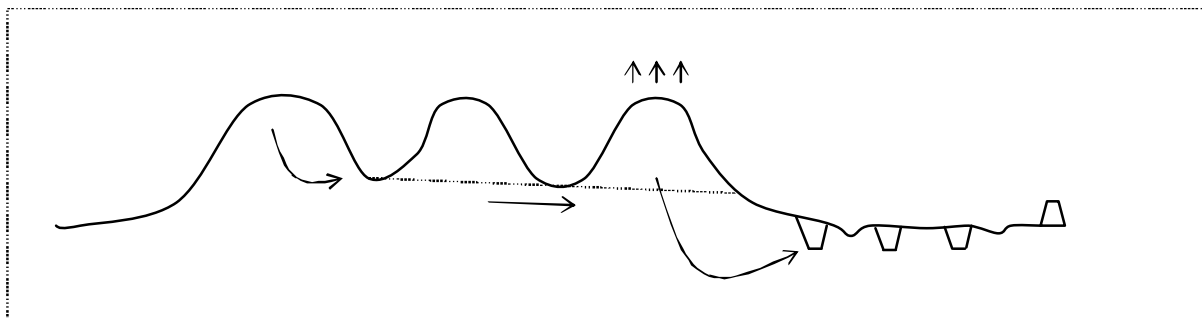
3.3 Knelpunten huidige situatie

Met behulp van modelberekeningen voor oppervlaktewater en grondwater en de gebiedskennis van de klankbordgroep is een beeld gecreëerd van de knelpunten die de waterhuishouding op Terschelling kent. De geconstateerde knelpunten komen grotendeels overeen met de knelpunten uit de watersysteemanalyse (Royal Haskoning, 2002a). Ten behoeve het opstellen van het GGOR is een beter beeld verkregen van de locatie van die knelpunten.

Verdroging in het duingebied

In de duinen zijn bepaalde lange termijn doelstellingen voor de te ontwikkelen natuurdoelen. De modelresultaten, en de toetsing hiervan aan de natuurdoelen, geven aan dat slechts in beperkte mate aan deze doelen wordt voldaan, ook daar waar hiervoor wel potentie aanwezig is. Het knelpunt zit hem in de te droge omstandigheden in de duinvalleien. Er zijn meerdere oorzaken hiervoor aan te wijzen, ten eerste wordt de verdroging veroorzaakt door de ontwatering in de duinen zelf. Door deze ontwatering wordt overtollig grondwater afgevoerd. Een ander deel van de verdroging wordt veroorzaakt door de verdamping van de aanwezige bossen. Tenslotte heeft ook de ontwatering in de binnenduintrand en de polder invloed op de waterstanden in de duinen (zie afbeelding 3.4). De verdrogingsoorzaken zijn globaal gezien over het gehele eiland gelijk met uitzondering van de verdroging door de bossen en andere begroeiing. Ook de waterwinning door Vitens van 190.000 m³/jaar draagt lokaal bij aan de verdroging.

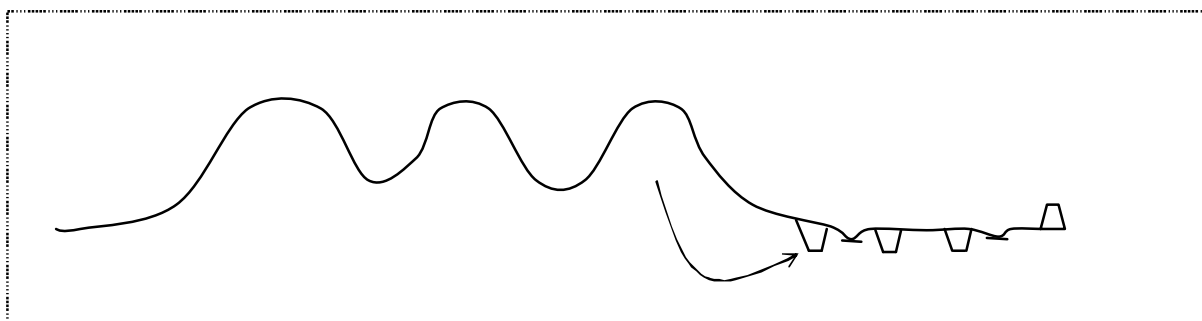
Afbeelding 3.4 Infiltratie, verdamping, ont- en afwatering



Natschade landbouw in de polder

In de polder ontstaat op verschillende plaatsen natschade voor de landbouw. Deels is deze natschade te wijten aan de lokale lage ligging van percelen en dus de aangehouden peilen. Met name in de binnenduinrand en direct benedenstrooms daarvan ontstaan de hogere grondwaterstanden, ook door kwelwater vanuit de duinen (zie onderstaande afbeelding).

Afbeelding 3.5 Kwel in de binnenduinrand



Droogteschade landbouw in de polder

Op basis van informatie uit de klankbordgroep heeft de droogteschade in de polder zijn oorsprong met name in de aanwezige bodemkundige omstandigheden. In natte delen is de beworteling te ondiep en kan deze niet meegroeien met de dalende grondwaterstand. Daarnaast komt op de hogere delen van de polder droogteschade voor door te diepe grondwaterstanden. Aangegeven is dat hier vanuit het Wetterskip niet veel aan gedaan kan worden. Voor het aanpakken van droogte- en natschade in de landbouwgebieden wordt ervan uitgegaan dat de waterhuishouding niet op perceelsniveau wordt geregeld. Hierbij valt o.a. te denken aan het plaatsen van talrijke stuwtjes. Door dit soort maatregelen ontstaat een weinig robuust watersysteem dat in natte situaties gemakkelijk tot overlast kan leiden.

Te natte recreatieterreinen

Een belangrijk deel van de recreatieterreinen ligt in de binnenduinrand. Ook hier ontstaan natte omstandigheden ten gevolge van kwel vanuit de duinen.

Wateroverlast in Midsland aan Zee

Bij een deel van de recreatiewoningen is in Midsland aan Zee sprake van grondwateroverlast. Dit is het gevolg van de relatief lage ligging in een duinvallei. Daarnaast is de afwatering van de locatie afhankelijk van de afwateringsmogelijkheden stroomafwaarts. Hierbij ontstaat feitelijk een conflict met de natuurdoelstellingen waarvoor men juist de afwatering uit de duinen wil beperken.

Wateroverlast op West (Europaweg)

De wateroverlast op West is het gevolg van het verwijderen van een watergang en het te krap dimensioneren van een duiker.

Wateroverlast in Midsland

De wateroverlast in Midsland is het gevolg van de aanwezige peilen in combinatie met de relatief lage ligging van delen van Midsland (Zuidwest en Zuidoost).

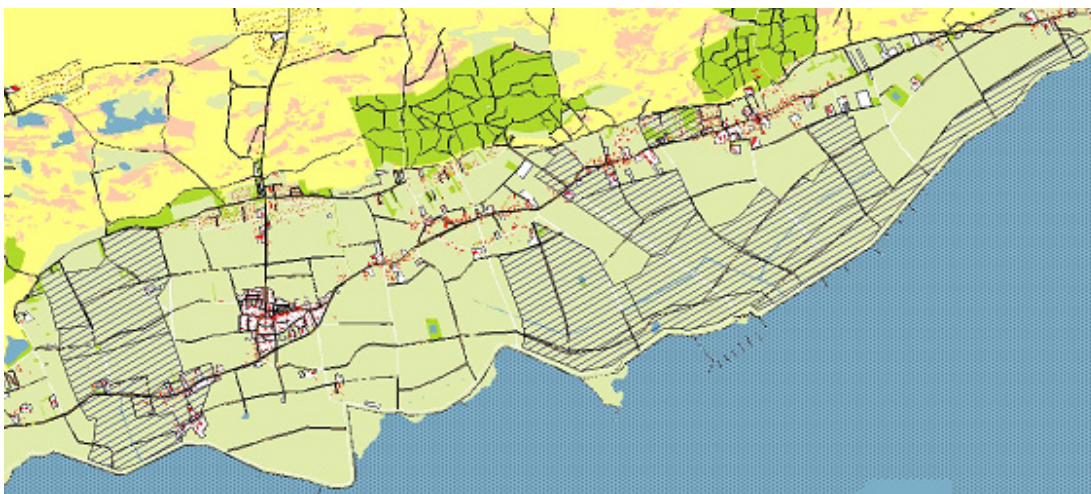
Wateroverlast in Midsland Noord

Hier geldt dat de wateroverlast wordt veroorzaakt door de aanwezige kwelstroom vanuit de duinen.

Inundaties in de polder

Op een aantal plaatsen is sprake van inundaties van landbouwgebieden die niet overeenkomen met de werknormen uit het NBW. Volgens deze normen mag voor grasland niet meer dan 5% van een peilvak meer dan 1 maal per 10 jaar inunderen. Deze locaties bevinden zich met name ten noord- en zuidwesten van Baaiduinen en in delen van de polder achter de Liessluis. In de volgende afbeelding zichtbaar met de blauwe arcering.

Afbeelding 3.6 Gebieden die in huidige situatie niet voldoen aan de werknormen uit het NBW



Deze gebieden zijn niet (niet volledig) gebaseerd op peilgebieden, maar komen overeen met de eenheden die in SOBEK onderscheiden worden met betrekking tot berging en voor welke gebieden één extreme waterstand is genomen. Bij het toepassen van inundatienorm is rekening gehouden met 2% open water.

De oorzaken van deze inundaties zijn een samenspel van meerdere factoren, zoals:

- de afvoer uit de duinen;
- de beperkte spuumogelijkheden;
- het oppervlaktewatersysteem als geheel (berging);
- maaiveldverloop (laagtes op relatief grote afstand tot de spuisluis);
- hoogteligging en dimensionering van duikers.

Eén factor die in de modellen niet naar voren komt is het beheer of de faalkans van het spuiproces. Uit de metingen blijkt dat dit in ieder geval bij één extreme waarde een rol heeft gespeeld.

Inundaties Midsland/Baaiduinen

De inundaties in bepaalde delen van Midsland en het westelijk deel van Baaiduinen hebben dezelfde oorzaken als de inundaties in de polder. Het gaat tenslotte om hetzelfde watersysteem.

Zout

De hoge zoutconcentraties langs de waddenkust geeft met name problemen voor de veedrenking. De oorzaak ervan is kwel vanuit de Waddenzee (zie afbeelding 3.3).

Zuurstofloosheid van duinwater

Zuurstofloosheid zou met name optreden in het stilstaande water in de duinvaleien. Dit wordt echter niet ondersteund door de beschikbare analysegegevens.

Onderhoud waterlopen

Door de klankbordgroep is melding gemaakt van het achterstallig onderhoud aan waterlopen. Hierdoor kunnen hogere grondwaterstanden ontstaan en kan de afwatering van het oppervlaktewater stagneren.

4 AUTONOME ONTWIKKELING

4.1 Ontwikkelingen

Het grond- en oppervlaktewatersysteem op Terschelling zal in de toekomst significant worden beïnvloed door de mondiale klimaatsverandering en de ontwikkeling van het wad. De verwachte toename van de neerslaghoeveelheden heeft gevolgen voor de te verwerken hoeveelheden overtollig neerslag. In de zomer kan het juist weer droger worden door een toename van de verdamping. Daarnaast zal de zeespiegelstijging en de stijging van de wadbodem het spuiproces beperken.

Klimaatverandering

De klimaatsverandering heeft een drietal effecten die van belang zijn voor het watersysteem.

Door de stijgende temperaturen stijgt de zeespiegel, nemen de neerslaghoeveelheden en intensiteit toe en neemt de verdamping in de zomer toe. In tabel 4.1 is een overzicht gegeven van de te verwachten effecten van de klimaatverandering in 2100.

Tabel 4.1 Effecten klimaatverandering in 2100

	Lage schatting	Centrale schatting	Hoge schatting
Temperatuur	+ 1 °C	+ 2 °C	+ 4 tot 6 °C
Gemiddelde zomerneerslag	+ 1%	+ 2%	+ 4%
Zomerverdamping	+ 4%	+ 8%	+ 16%
Gemiddelde winterneerslag	+ 6%	+ 12%	+ 25%
Jaarlijks maximum van de 10-daagse winterneerslagsom in Nederland	+ 10%	+ 20%	+ 40%
Herhalingstijd van 10-daagse som die nu eens per 100 jaar voorkomt (= 140 mm)	47 jaar	25 jaar	9 jaar
Zeespiegelstijging	+ 20 cm	+ 60 cm	+ 110 cm

Bron KNMI, 2003

In deze studie is uitgegaan van de centrale schatting.

Wadbodemstijging

Het wad als geheel stijgt bij benadering mee met de zeespiegel. Ter plekke van de Spuisluizen is echter sprake van een extra aanslibbing. De aanslibbing van de geul bedroeg tussen 1992 en 2001, 20 cm ten opzichte van de rest van het wad. Rijkswaterstaat geeft aan dat dit zich ook in de toekomst nog zal doorzetten. Er kunnen geen uitspraken gedaan worden over de mate waarin. Processen die hierbij een rol spelen zijn de verhoging van de wadbodem zelf (welke gelijke tred zal houden met de zeespiegelstijging), de spuihoeveelheden en stroming ter plekke. Voor dit onderzoek zijn we uitgegaan van een verdere stijging van de geulbodem met 32 cm tot 2030. Deze toename is relatief kleiner dan tussen 1992 en 2001, maar het proces heeft een limitatief karakter.

Uitgangspunten

In deze studie is uitgegaan van de centrale schatting (tabel 4.1) dit houdt in:

- De zeespiegel stijgt met 0,15 meter.
- De wadbodem stijgt met 0,32 m, zowel bij Kinnum als bij Lies.
- Gemiddelde zomerneerslag neemt toe met 0,6%.
- Gemiddelde winterneerslag neemt toe met 3,6%.
- Jaarlijkse maximum van de 10 daagse winterneerslagsom neemt toe met 6%.

Voor het bepalen van de dagwaarden voor de neerslag is een algoritme bepaald waarmee bij benadering voldaan wordt aan de hier bovenstaande veranderingen. Dit is noodzakelijk omdat we in dit onderzoek gebruik maken van dagwaarden over langere periodes.

Een consequentie van veranderende hydrologische omstandigheden is, dat de huidige polderpeilen niet meer kunnen worden gehandhaafd. Als voor 2030 geen structurele aanpassingen in de waterhuishouding worden doorgevoerd kunnen de streefpeilen niet langer worden gehandhaafd door middel van spuien. Dit probleem heeft niet zozeer te maken met extreme situaties maar met het dagelijks beheer. De oorzaak hiervan is enerzijds de stijgende zeespiegel, maar meer nog de aanslibbing van de afvoergeul. Kanttekening die hierbij geplaatst moet worden is dat naar de toekomstige aanslibbing van de afvoergeul is gebaseerd op basis van extrapolatie van de stijging in de achterliggende periode. Het baggeren van de afvoergeul is geen optie, omdat deze bij de eerste storm weer vol komt te zitten.

Op basis van het voorgaande is voor de situatie 2030 het winterpeil bij Kinnum verhoogd van NAP -0,2 m naar NAP -0,05 m. Bij Lies wordt het winterpeil verhoogd van NAP -0,3 m naar NAP -0,1 m. Er is van uitgegaan dat de zomerpeilen en alle andere polder en stuwpeilen op het eiland wel gehandhaafd kunnen blijven.

4.2 Effecten

Hieronder worden de effecten van de autonome ontwikkeling op het grond- en oppervlaktewater besproken. Hierbij wordt steeds vergeleken met de huidige situatie. De volgende effecten komen aan bod:

- Effecten op grondwater: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en kwel.
- Effect op inundaties.
- Effecten op Landbouw (doelrealisatie met behulp van waternoodsystematiek).
- Effecten op natuur (natte duinvalleien).
- Effecten stedelijk gebied en recreatieterreinen.
- Effecten op verzilting.

Grondwater (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en kwel)

In de autonome situatie stijgt de GHG (het wordt natter) zowel in duinen als in de polder. Dit is het gevolg van de toename van de neerslag (klimaatverandering) en het feit dat de winterpeilen niet meer kunnen worden gehandhaafd. Daarnaast stijgt de GHG vlak langs de waddenkust als gevolg van de zeespiegel- en wadbodemstijging). De verandering in GHG ten opzichte van de huidige situatie is weergegeven in figuur 2A. De gemiddelde kwelsituatie verandert niet wezenlijk. Dit komt onder andere doordat het winterpeil in de polder stijgt (figuur 3A kwel verandering).

Inundaties

Door de stijging van de neerslagintensiteit neemt vooral de inundatiefrequentie toe. Gebieden staan vaker onder water dan in de huidige situatie (vergelijk figuur 4 en 4A). Het totale gebied dat inundeert neemt relatief weinig toe. Als verder geen maatregelen worden getroffen zal door de veranderde hydrologische omstandigheden in 2030 een deel van het poldergebied niet meer aan de normen voldoen met betrekking tot inundatie. Voor grasland betekent dit dat meer dan 5% van het laagste maaiveld vaker dan 1 maal per 10 jaar inundeert. Voor het bebouwde gebied nemen de bestaande problemen in Midsland en Baaiduinen in omvang iets toe. Het overgrote deel van bebouwde gebied voldoet aan de norm voor inundatie (minder dan 1 maal per 100 jaar). De berekende problemen bij de Kooibosjes zijn het gevolg van foutieve leggegevens. Deze inundaties treden in de praktijk niet op.

Landbouw

De doelrealisatie (figuur 5A) voor de landbouw wordt vooral bepaald door de natschade. De droogteschade treedt in het gehele landbouwgebied op, maar is over het algemeen beperkt in omvang. De natschade concentreert zich met name in de slenken (laagste delen van de polder) en nabij de waddendijk. Dit laatste houdt ook verband met de stijging van de zeespiegel. In vergelijking met de huidige situatie (vergelijk figuur 5 en 5A) neemt de gemiddelde doelrealisatie af van 73,6% naar 72,3%.

Natuur

De verandering van de GHG (ten opzichte van de huidige situatie) in de natte duinvalleien is opgenomen in figuur 6A. Als gevolg van de toename van de neerslaghoeveelheden en –intensiteiten en de zeespiegel stijging, stijgt de GHG in de natte duinvalleien.

Stedelijk gebied en recreatieterreinen

Met het grondwatermodel wordt berekend dat op veel plaatsen bij gebouwen en recreatieterreinen in de huidige situatie sprake is van relatief natte omstandigheden. Ervaringen uit de klankbordgroep hebben echter geleerd dat niet al deze gebouwen/terreinen ook werkelijk te maken hebben met te hoge grondwaterstanden. Op basis van de informatie uit de klankbordgroep is geconstateerd dat de knelpunten voor bebouwing zich concentreren rond Midsland, Midsland-Noord, Midsland aan Zee, Hoorn en op West. In de autonome omstandigheden neemt de GHG voor al deze gebouwen/terreinen verder toe (zie figuur 7A). In de zomer zal door te toegenomen verdamping de zomergrondwaterstand niet of nauwelijks toenemen.

Verzilting

Bij de beoordeling van de verzilting is met name gekeken naar verzilting als gevolg van de toename van zoute kwel. Doordat in de autonome situatie de winterpeilen worden verhoogd, neemt de zoute kwel in de winter nauwelijks toe. In de zomer zal er ten opzichte van de huidige situatie wel sprake zijn van een toename van de zoute kwel omdat de zomerpeilen gelijk blijven de zeespiegel en de wadbodem stijgen. In totaal neemt de zoute kwel toe met 101.000 m³/jaar. Dat is een toename van 20% ten opzichte van de huidige situatie. De verandering van de kwel in de autonome ontwikkeling tot 2030 is gepresenteerd in figuur 3A.

5 MAATREGELEN

5.1 Maatregelpakketten

Om de effecten van autonome ontwikkelingen te beperken en bestaande problemen in de waterhuishouding op te lossen (zie hoofdstuk 3) zijn twee maatregelenpakketten uitgewerkt. Centraal staat de keuze of de afwatering van Terschelling in de toekomst kan worden gegarandeerd met behulp van de bestaande spuien bij Kinnum en Lies of dat in de toekomst moet worden overgestapt op bemaling.

Maatregelenpakket 1 richt zich op het handhaven van de bestaande functies en bestaande polderpeilen door middel van twee zeegemalen. In overleg met de opdrachtgever zijn de volgende maatregelen gedefinieerd:

- Aanleggen van gemaal Kinnum van 55 m³/minuut en gemaal Lies van 72 m³/minuut. Ingesteld op bestaande peilen. De spuien en gemalen zijn aanvullend op elkaar. De gemalen kunnen worden ingezet als spuien niet volstaat.

Maatregelpakket 2 richt zich meer op het aanpassen van de waterhuishouding en het landgebruik aan de veranderde hydrologische omstandigheden. In maatregelenpakket 2 worden de volgende maatregelen getroffen:

- De afwatering van het eiland middels de spuisluizen bij Lies en Kinnum blijft gehandhaafd. Als gevolg van de wadbodemstijging moeten de winterpeilen in de polder worden verhoogd van NAP -0,2 m naar NAP -0,05 m voor Kinnum en NAP -0,3 m naar NAP -0,1 m voor Lies.
- In de voormalige slenken treedt bij pakket 2 regelmatige inundatie op (meer dan 1 maal per 10 jaar). Hierdoor wordt niet meer voldaan aan de inundatienorm voor landbouw. In de slenken wordt de functie veranderd en/of wordt betaald voor blauwe diensten.
- Om wateroverlast in Midsland en Baaiduinen te voorkomen wordt ter plaatse een onderbemaling aangelegd (twee stuks): winterpeil wordt NAP -0,45 m (zomerpeil ongewijzigd).

Een deel van de maatregelen is voor beide pakketten gelijk (generieke maatregelen). Deze maatregelen zijn met name gericht op het oplossen van bestaande problemen. Het betreft:

- Dempen waterlopen duinen.
- Onderbemaling Midsland aan Zee.
- Drainagemaatregelen recreatieterreinen binnenduinrand.
- Drainagemaatregelen Midsland, Baaiduinen en Hoorn.
- Drainagemaatregelen Europalaan en afvoer Europalaan.

De watergangen in de duinen worden gedempt om de verdroging in de duinen te verminderen en het water langer vast te houden op het eiland. De overige maatregelen zijn erop gericht om lokale wateroverlast tegen te gaan.

In de Europalaan is in 2005 het bestaande riool Ø 300 (mm) vervangen door een riool Ø 1.500. Hierdoor zijn de wateroverlastproblemen bij hevige neerslag opgelost. De grondwaterproblematiek is echter nog niet opgelost.

Voor de maatregelenpakketten is uitgegaan van de situatie in 2030. Dat betekent dat rekening is gehouden met de verandering van het klimaat en de stijging van zeespiegel en wadbodem.

5.2 Effecten maatregelenpakketten

Hieronder worden voor de twee maatregelenpakketten de effecten op het grond- en oppervlaktewater en de gevolg-effecten op de verschillende gebruiksfuncties besproken. Tevens worden de kosten van beide maatregelenpakketten besproken. Per pakket worden de volgende punten besproken:

- Effecten op grondwater: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en kwel.
- Effect op inundaties.
- Effecten op Landbouw (doelrealisatie met behulp van waternoodssystematiek).
- Effecten op natuur (natte duinvalleien).
- Effecten stedelijk gebied en recreatieterreinen.
- Effecten op verzilting.
- Kosten (inclusief generieke maatregelen).

5.2.1 Maatregelenpakket 1

Grondwater (GHG en kwel)

De GHG in het duingebied stijgt ten opzichte van de autonome ontwikkeling door het dempen van de waterlopen in de duinen (zie figuur 2B). Door de onderbemaling bij Midsland aan Zee en het verbeteren van de detailontwatering/drainage op de recreatieterreinen, in Midsland, baaiduinen en Hoorn wordt de grondwaterstand effectief verlaagd. De GHG in de polder neemt toe als gevolg van de zeespiegel- en wadbodemstijging. De polderpeilen blijven gelijk aan de huidige peilen. De kwel neemt met name toe langs de waddendijk (figuur 3B). In de binnenduintrand is op jaarbasis nauwelijks sprake van kweltoename. Vermoedelijk is dit te wijten aan de toegenomen verdamping in het zomerseizoen.

Inundaties

Door gebruik van gemalen kan er altijd water worden uitgeslagen onafhankelijk van de buitenwaterstand of de wadbodemstijging. De enige beperking is dat als de buitenwaterstand stijgt boven NAP 2,70 m de noodschuif moet worden gesloten en ook het gemaal moet stoppen. Door de bemaling worden inundaties vrijwel alleen nog bepaald door de neerslagintensiteit en niet door de buitenwaterstand. Wat opvalt, is dat de gemalen bij iets minder extreme situaties goed in staat zijn de waterstanden laag te houden (zie figuur 4B). Wanneer echter de afvoeren de capaciteit van de gemalen te boven gaan dan stijgt de waterstand snel. Hierdoor treden met de betreffende gemalen nauwelijks inundaties op in een situatie van 1*50 jaar maar bij 1*100 jaar neemt dit sterk toe.

Door maatregelenpakket 1 (inclusief de generieke maatregelen) voldoet het landbouwgebied aan de normen met betrekking tot inundatie. In tabel 5.2 is een opsomming gegeven van geïnundeerde oppervlakttes bij verschillende frequenties. Ook in het bebouwd gebied van Midsland en Baaiduinen wordt de inundatiefrequentie en – omvang effectief gereduceerd.

Landbouw

De doelrealisatie voor de landbouw als geheel wijkt niet significant af van die van de huidige situatie (figuur 5 t.o.v. figuur 5B). De gemiddelde doelrealisatie verandert van 73,6% in de huidige situatie naar 73,2% bij maatregelenpakket 1. In tabel 5.3 is de gemiddelde doelrealisatie weergegeven voor de verschillende pakketten, de autonome situatie (2030) en de huidige situatie.

Natuur

Door het dempen van de watergangen in de duinen is hier sprake van vernatting en daardoor betere omstandigheden voor natte duinvalleien. De verandering van de GHG ten opzichte van de huidige situatie (figuur 6B) maakt dit zichtbaar. Het positieve effect wordt enigszins tegengewerkt doordat de verdamping toeneemt in de zomer. Dit heeft tot gevolg dat de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) minder toeneemt. De maatregelen in Midsland aan Zee hebben enige randeffecten op de natuur, maar het gaat hierbij om een gering oppervlak.

Stedelijk gebied en recreatieterreinen

De maatregelen zoals die bij bebouwing en recreatieterreinen zijn genomen zijn duidelijk zichtbaar in de GHG verandering (figuur 7B). GHG stijgingen zijn nog zichtbaar rond Midsland-Noord en op West.

Verzilting

Als gevolg van de zeespiegel- en wadbodemstijging zal de zoute kwel in de polder toenemen. Gemiddeld neemt de kwelstroming toe met 322.000 m³/jaar. Dat is een toename van 63% ten opzichte van de huidige situatie. Het grootste kwelbezwaar treedt op in de winter wanneer het peilverschil tussen het wad en de polder het grootst is. In de zomer zijn de peilen in de polder hoger en treedt er minder zoute kwel op.

Kosten

De kosten van maatregelenpakket 1 worden geraamd op € 3.405.000,-- exclusief BTW. Verreweg de grootste kostenpost € 2.024.000,-- exclusief BTW is de aanleg van twee zeegemalen. Hierbij is uitgegaan van een parallelle opstelling van de gemalen aan de bestaande spuikokers. Hierdoor is een combinatie van pompen en spuien mogelijk. De onderhoudskosten worden geraamd op circa 10% van de investeringskosten per jaar zijnde € 340.500,-- per jaar. De energiekosten voor de gemalen worden geraamd op € 4.000,-- per jaar. In bijlage 6 zijn de verschillende kostenposten nader gespecificeerd.

5.2.2 Maatregelenpakket 2

Grondwater (GHG en Kwel)

In de duinen vertoont de GHG eenzelfde beeld als bij maatregelenpakket 1 (vergelijk figuur 2B en 2C). Door de hogere winterpeilen in de polder stijgt de GHG daar meer dan bij maatregelenpakket 1. De effecten van de generieke maatregelen zijn duidelijk zichtbaar. De kwel in de polder neemt af doordat het polderpeil wordt verhoogd (zie figuur 3C). In de binnenduinstrand is op jaarbasis geen sprake van significante kweltoename. Vermoedelijk is dit te wijten aan de toegenomen verdamping in het zomerseizoen.

Inundaties

Inundaties (zie figuur 4C) komen grofweg overeen met de autonome ontwikkeling situatie 2030. Ten opzichte van de huidige situatie betekent dit een groter gebied vaker onder water staat. Bij een inundatiefrequentie van 1*100 jaar is er nauwelijks verschil zichtbaar. De oorzaak hiervan is dat bij verder toenemende waterstanden (en over het algemeen langer duren van de incidenten) de initiële waterstand minder van belang wordt. Tevens is er steeds meer water nodig om de waterstand verder te laten stijgen. Door maatregelenpakket 2 (inclusief de generieke maatregelen) voldoet het gebied aan de normen met betrekking tot inundatie. Hierbij is er echter wel van uitgegaan dat de slenken een natuurfunctie krijgen.

Landbouw

In figuur 5C is de doelrealisatie voor maatregelenpakket weergegeven. Door de hogere peilen neemt de doelrealisatie af met 1,3%. In tabel 3 paragraaf 4.3 is een overzicht opgenomen van de doelrealisatie.

Natuur

De stijging van de GHG in de natte duinvalleien bij maatregelenpakket 2 (figuur 6C) is sterk vergelijkbaar met GHG-stijging in pakket 1 (figuur 6B). De maatregelen in de duinen zijn in beide pakketten hetzelfde.

Stedelijk gebied en recreatie

Door de hogere polderpeilen in dit pakket is er iets meer sprake van stijgingen in de GHG. Dit is echter nauwelijks onderscheidend (figuur 7C). Op plaatsen waar de lokale ontwaterings situatie wordt verbeterd (generieke maatregelen) ontstaat over het algemeen een verlaging van de GHG.

Verzilting

In maatregelenpakket 2 beweegt het polderpeil mee met de zeespiegel- en wadbodemstijging. Hierdoor vindt er weinig verandering plaats in de zoute kwel naar de polder. Gemiddeld neemt de kwelstroming toe met 21.000 m³/jaar. Dat is een toename van 5% ten opzichte van de huidige situatie.

Kosten

De kosten van maatregelenpakket 2 worden geraamd op € 5.388.600,-- exclusief BTW. Verreweg de grootste kosten post € 3.200.000,-- exclusief BTW vormt het uitkopen van de landbouwfunctie in de slenken. Hierbij is uitgegaan van een compensatie van 80% van de waarde van de landbouwgrond. Door de uitkoop van de landbouwfunctie daalt het areaal landbouwgrond op het eiland van circa 1.200 ha naar 1.000 ha. Dit levert een gevaar op voor het voortbestaan van de melkveehouderij op het eiland. Een andere mogelijkheid voor het compenseren van de landbouw is het vergoeden van blauwe diensten. De vergoeding dient te compenseren voor het verlies aan opbrengsten door natschade en inundaties. De regeling voor blauwe diensten is nog volop in discussie binnen het Wetterskip Fryslân waardoor het niet mogelijk is op dit moment een schatting te maken voor de kosten van een dergelijke regeling.

De onderhoudskosten worden geraamd op circa 10% van de investeringskosten per jaar zijnde € 219.000,-- per jaar. De energiekosten voor de gemalen worden geraamd op € 1.000,-- per jaar. In bijlage 6 is een specificatie gegeven van de kosten voor maatregelenpakket 2.

5.3 Overzicht effecten

In deze paragraaf zijn de effecten op de zoute kwel, inundaties en doelrealisatie in tabellen samengevat. Verder is een beoordeling van de effecten samengevat in een overzichtstabel.

Zoute kwel

In tabel 5.1 is voor de verschillende situaties de zoute kwel gegeven. Zichtbaar is dat met name bij pakket 1 de zoute kwel sterk toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door de zeespiegel- en wadbodemstijging ten opzichte van een gelijk blijvend peil in de polder. Het grootste kwelbezwaar treedt op in de winter wanneer het peilverschil tussen het wad en de polder het grootst is. In de zomer zijn de peilen in de polder hoger en treedt er minder zoute kwel op.

Tabel 5.1 Zoute kwel in duizenden m³/jaar

	Zoute kwel
Huidig	509
Autonoom	610
Pakket 1	831
Pakket 2	532

Inundaties

In tabel 5.2 is een overzicht gegeven van de arealen die inunderen bij verschillende frequenties. In de autonome situatie en pakket 2 nemen de arealen bij alle frequenties toe ten opzichte van de huidige situatie. Bij pakket 1 is voor de frequenties van 1 maal per 10, 25 en 50 jaar een duidelijke afname van het overstroomde areaal berekend. Bij een frequentie van 1 maal per 100 jaar is het areaal vrijwel gelijk aan de huidige situatie. In dit geval is de capaciteit van het gemaal onvoldoende om het water af te voeren. In de berekeningen is geen rekening gehouden met eventueel aanvullende capaciteit door spuien. Hierdoor kan mogelijk ook in de 1 maal per 100 jaar situatie het overstroomde areaal worden beperkt.

Tabel 5.2 Inundatie oppervlak bij verschillende situaties

Oppervlak inundatie (ha)				
	1/10	1/25	1/50	1/100
Huidig	66.5	95.8	127.7	163.6
Autonoom	106.4	142.2	177.3	215.4
Pakket 1	25.5	51.6	93.0	162.4
Pakket 2	107.5	144.1	178.7	217.1

Doelrealisatie landbouw

In tabel 5.3 is een overzicht gegeven van de berekende doelrealisatie voor de landbouw. De verschillen in doelrealisatie zijn gering. Hierbij wordt aangetekend, dat het hierbij gaat om een gemiddeld verschil voor het hele landbouwareaal. Lokaal kunnen de verschillen dus groter zijn dan in de tabel is aangegeven. Tevens is geen rekening gehouden met de effecten van inundatie op de landbouwopbrengsten. In de autonome situatie en bij pakket 2 zal de directe schade inundatie vanuit oppervlaktewater

toenemen ten opzichte van de huidige situatie. Bij pakket 1 zal er sprake zijn van een afname.

Tabel 5.3 Gemiddelde doelrealisatie voor de landbouw

	Gemiddelde doelrealisatie
Huidig	73.6
Autonoom	72.3
Pakket 1	73.2
Pakket 2	72.3
Pakket 2 zonder slenken	74.5

Beoordeling effecten

In tabel 5.4 is een beoordeling gegeven van de effecten de autonome ontwikkeling, maatregelen pakket 1 en 2. De huidige situatie dient hierbij als referentie. De effecten zijn beoordeeld met de volgende maatlat:

--	sterk negatieve verandering t.o.v. de huidige situatie
-	negatieve verandering t.o.v. de huidige situatie
0	geen significante verandering t.o.v. de huidige situatie
+	positief effecten t.o.v. de huidige situatie
++	sterk positief effecten t.o.v. de huidige situatie

Het doel van de overzichtstabel is om de verschillende situaties per thema te vergelijken. Bij de interpretatie van de overzichtstabel is het van belang te realiseren dat het toekennen van een score is altijd enigszins arbitrair. Verder zullen in de uiteindelijke afweging niet alle plussen en minnen even zwaar mee tellen.

In de autonome situatie stijgen de grondwaterstanden en ontstaan frequenter inundaties. Hierdoor scoort de autonome situatie slecht op alle criteria behalve natte duinvalleien. Hier zijn natte omstandigheden juist gewenst. Maatregelenpakket 1 scoort over het algemeen goed behalve op het criterium verzilting. Pakket 2 scoort slecht op de criteria inundaties en landbouw en neutraal tot zeer goed op de overige criteria. De investeringskosten voor pakket 2 zijn hoger dan bij pakket 1. Dit wordt veroorzaakt door de hoge kosten voor het uitkopen van de landbouwfunctie. De jaarlijks kosten van pakket 1 zijn hoger door het onderhoud aan de zeegemalen.

Tabel 5.4 Overzichtstabel beoordeling effecten

	Autonome ontwikkeling	Maatregelen pakket 1	Maatregelen pakket 2
Inundaties	-	+	-
Landbouw	-	0	--
Natte duinvalleien	+	++	++
Stedelijk gebied	-	+	+
Recreatieterreinen	-	+	+
Verzilting	-	--	0
Investeringskosten €		3.405.000	5.389.000
Jaarlijkse kosten €		344.500	220.000

6 CONCLUSIES, KEUZE EN VERVOLG

6.1 Conclusies

Autonome ontwikkeling 2030

Als gevolg van zeespiegelstijging, stijging van de wadbodem en klimaatverandering kunnen in 2030 de huidige polderpeilen niet meer worden gehandhaafd door middel van spuien. Als voor 2030 geen structurele aanpassingen in de waterhuishouding worden doorgevoerd moeten de winterpeilen in de polder worden verhoogd van NAP -0,2 m naar NAP -0,05 m voor Kinnum en NAP -0,3 m naar NAP -0,1 m voor Lies.

Als geen waterhuishoudkundige maatregelen worden getroffen zal in 2030 een deel van het poldergebied niet meer aan de normen voldoen met betrekking tot inundatie. Voor grasland betekent dit dat meer dan 5% van het laagste maaiveld vaker dan 1 maal per 10 jaar inundeert. Verder zal bestaande grondwateroverlast verder toenemen als gevolg van de hogere polderpeilen de zeespiegelstijging.

Maatregelenpakket 1

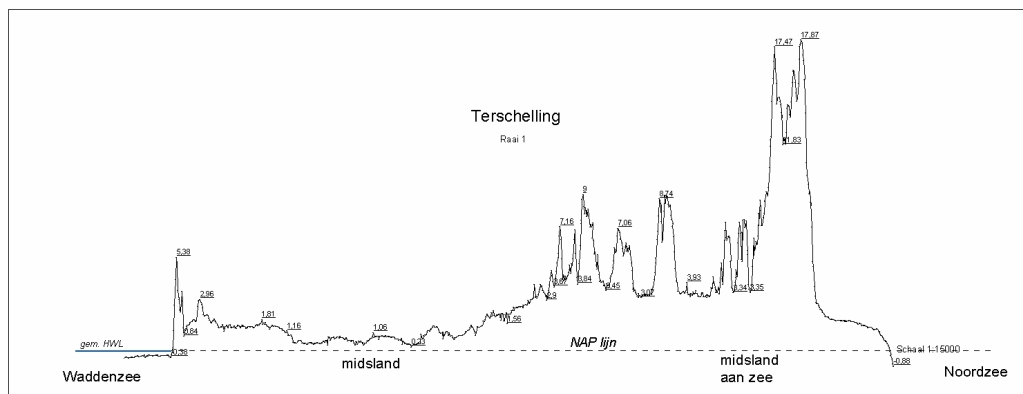
Het meest bepalend voor maatregelenpakket 1 is de combinatie van spuien en bemaling van de polders. Hierdoor kunnen de huidige peilen en functies gehandhaafd blijven. Door de bemaling voldoet het gebied aan de normen met betrekking tot inundatie.

Door het dempen van waterlopen in de duinen stijgen de grondwaterstanden in het gehele duingebied en wordt water beter vastgehouden op het eiland. Door de drainagemaatregelen op de recreatieterreinen in de binnenduintrand en onderbemaling van Midsland aan Zee worden de grondwaterstanden effectief verlaagd. De drainagemaatregelen rond Midsland, Baaiduinen en Hoorn hebben een verlaging van de GHG tot gevolg. Met betrekking tot bebouwing lijkt Midsland Noord na maatregelen nog de meeste wateroverlast te behouden. Eventueel zou ook hier de detailontwatering verbeterd kunnen worden. Een andere mogelijke maatregel is het eenmalig opschonen van bestaande watergangen en deze vervolgens onder schouw brengen.

Maatregelenpakket 2

Maatregelenpakket 2 richt zich meer op het aanpassen van de waterhuishouding en het landgebruik aan de veranderde hydrologische omstandigheden. De slenken krijgen de functie natuur. Hierdoor wordt voldaan aan de normen voor inundatie. De hogere winterpeilen vergroten de landbouwschade slechts in geringe mate. In maatregelenpakket 2 worden dezelfde (generieke) maatregelen getroffen bij bebouwing en recreatieterreinen als in pakket 1. Daarbovenop is voor de afwatering van Midsland en Baaiduinen een onderbemaling noodzakelijk. In afbeelding 6.1 is een dwarsdoorsnede van het eiland gepresenteerd. Hierin is duidelijk de relatief lage ligging van Midsland en Baaiduinen te zien. Door de lage ligging en het feit dat de hoofdinfrastructuur voor de afwatering bij deze keuze door dit onderbemalen gebied gaat lopen, maakt het gebied kwetsbaar voor wateroverlast.

Afbeelding 6.1 Dwarsdoorsnede van zuid naar noord



6.2 Keuze GGOR

Op basis van het onderhavige onderzoek heeft de projectgroep gekozen voor maatregelenpakket 1 en de daarmee samenhangende GGOR. De in maatregelenpakket 2 voorgestelde onderbemaling van Midsland en Baaiduinen is een minder robuuste oplossing dan de zeegemalen in maatregelenpakket 1. De investeringskosten voor pakket 2 zijn hoger dan voor pakket 1. Dit is voornamelijk het gevolg van de hoge kosten voor het uitkopen van de landbouwfunctie in de slenken. De onderhoudskosten van pakket 2 zijn lager dan voor pakket 1.

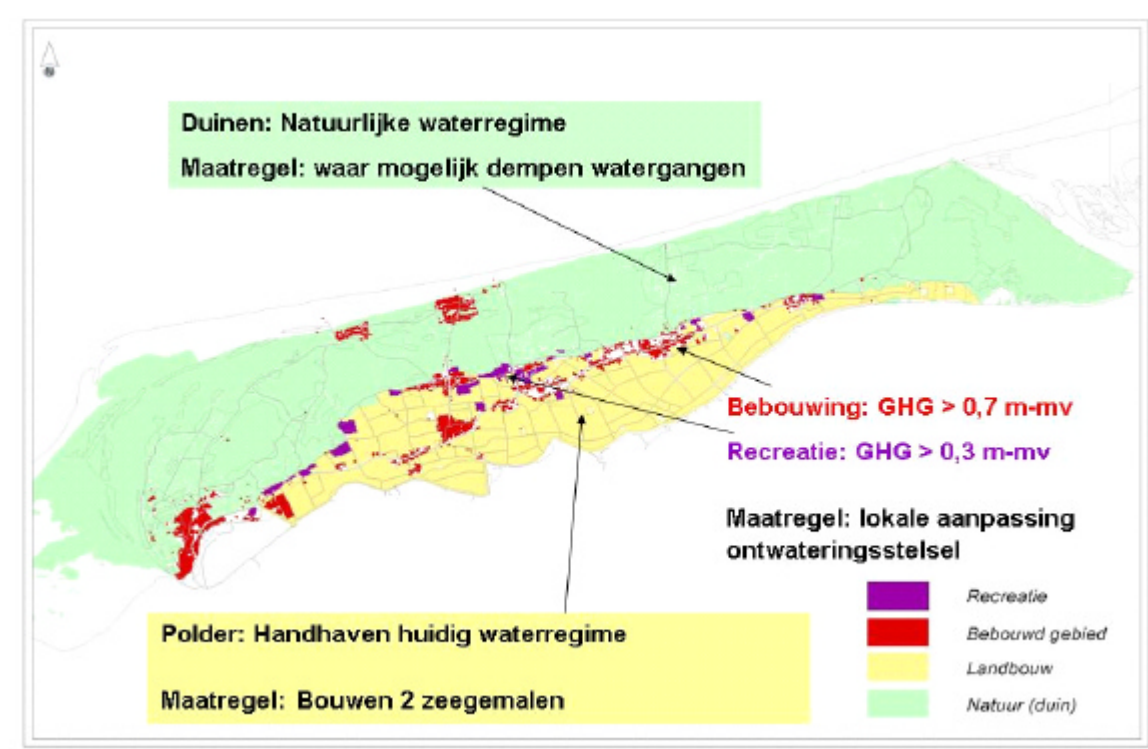
Van groot belang bij deze keuze is dat hiermee kan worden voldaan aan de werknormen voor wateroverlast voor de landbouw maar vooral ook voor de bebouwing. Verder wordt gekozen voor een robuust systeem dat goed beheersbaar is nu en in de toekomst. Verder levert pakket 1 belangrijke bijdrage aan het terugdringen van de verdroging en het vasthouden van water op het eiland. Door de keuze voor maatregelenpakket 1 kan de landbouwfunctie in de lagere delen van de polder worden gehandhaafd. Het betekent echter ook dat in de toekomst een functieverandering altijd mogelijk blijft (geen spijtmaatregel).

Het GGOR voor Terschelling bestaat uit drie onderdelen:

1. Duingebied Hier wordt gestreefd naar een natuurlijk waterregime met zo hoog mogelijke standen in de duinvalleien en het zo lang mogelijk vasthouden van het water op het eiland. Als maatregel om dit te bereiken zullen daar waar mogelijk de bestaande watergangen in de duinen worden gedempt.
2. Bebouwde gebied en de recreatieterreinen Hier wordt gestreefd naar een minimale ontwateringsdiepte (GHG ten opzicht van maaiveld) van 0,7 respectievelijk 0,3 m-mv. Om dit te bereiken zal lokaal de ontwatering en mogelijk ook de afwatering worden verbeterd. Dit kan onder andere inhouden het uitvoeren van achterstallig onderhoud aan watergangen, het aanleggen van nieuwe greppels of drainage.
3. Polder De polder omvat voornamelijk landbouwgebied met daarin een aantal bebouwde kernen. Hier wordt het huidige waterregime zoveel mogelijk gehandhaafd. De huidige polderpeilen en ontwateringstructuur worden gehandhaafd door de aanleg van 2 zeegemalen bij Kinnum en Lies.

In afbeelding 6.2 is het GGOR en de samenhangende maatregelen weergegeven.

Afbeelding 6.2 GGOR Terschelling en samenhangende maatregelen



6.3 Vervolg en status GGOR

Het voorstel voor het GGOR is voorgelegd aan de adviescommissie integraal waterbeheer Terschelling. Het GGOR is in een publieksavond gepresenteerd. Het GGOR wordt vervolgens ter visie gelegd waarop inspraak mogelijk is. Uiteindelijk zal het GGOR Terschelling worden vastgesteld door het Wetterskip Fryslân. De Provincie heeft instemmingsrecht voor GGOR Terschelling. Wanneer in 2010 het regime uiteindelijk voor het gehele beheersgebied is vastgelegd in het waterbeheersplan wordt het voorgelegd aan Gedeputeerde Staten voor goedkeuring.

GGOR is vooral een toetsingskader voor ruimtelijke plannen en plannen die ingrijpen op de waterhuishouding. In de nabije toekomst zal het GGOR worden uitgewerkt en verwezenlijkt. De implementatie van het GGOR loopt langs de bestaande formele procedures voor o.a. bestemmingsplannen, bouw- en aanlegvergunningen en peilbesluiten. In al deze procedures is bezwaar en beroep mogelijk.

7 LITERATUURLIJST

KNMI, 2003, *De toestand van het klimaat in Nederland 2003*.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998; *Vierde nota waterhuishouding; regeringsbeslissing*, Den Haag.

Provincie Fryslân, 2005, *Aanpak van GGOR in Fryslân*.

Royal Haskoning, 2002a, *Watersysteemanalyse Terschelling*, Groningen.

Royal Haskoning, 2002b, *Voorstudie Gewenst Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR) Fryslân*.

Research voor beleid bv, 2004, *Tussentijdse monitor implementatie Nationaal Bestuursakkoord Water*, Leiden.

STOWA, 2003, *Instrumentarium Waternood*, Utrecht.

Bijlage 1

Samenstelling projectgroep en klankbordgroep

Projectgroep

Wetterskip Fryslân

De heer M. Bootsma

De heer T. Claassen

De heer J. Veenstra

De heer J. Wolters

Gemeente Terschelling

De heer J. Hellevoort

Staatsbosbeheer

De heer Y. IJzerman

Provincie Fryslân

De heer D. van Buren

LTO Noord

De heer J. Galema

Vitens N.V.

De heer A. Kok

Klankbordgroep

Hendrik van der Wielen

Peter Groeneveld

Henk Langerak

Teunis Scholl

Rudie Hobbenschot

Geerlof du Bois

Freek Zwart

Piet Zumkehr

Jan Doeksen

Hein Klarenbeek

Arjen Kok

Jan Cees Smit

Joop van Urk

Bijlage 2

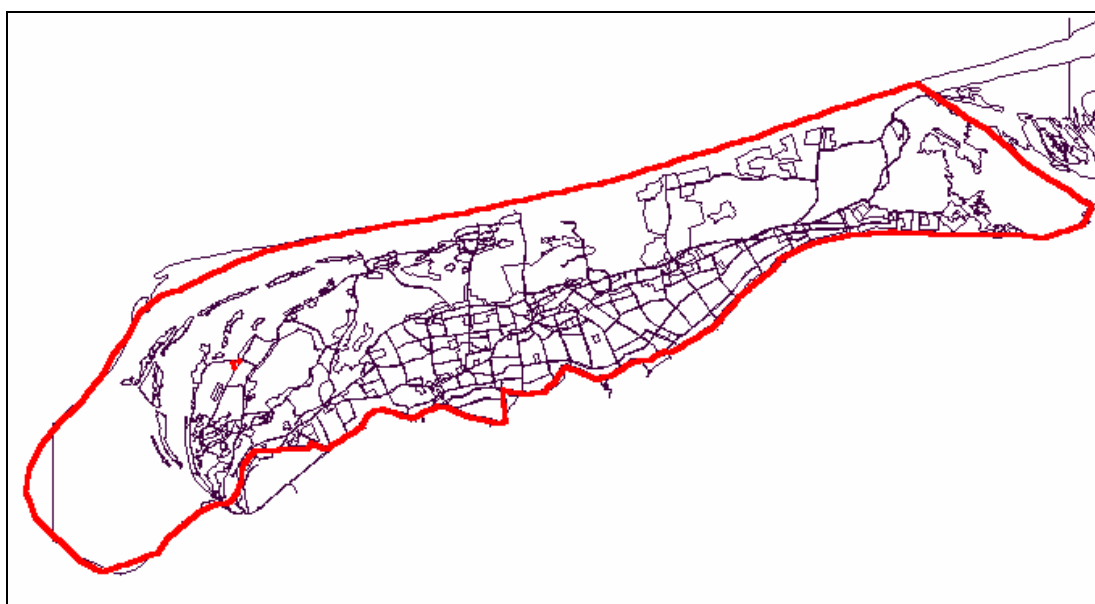
Grondwatermodel Terschelling

In deze bijlage wordt het grondwatermodel beschreven dat is gebruikt voor deze studie. Omdat het watermodel vrijwel gelijk is aan het model dat is gebruikt voor de studie 'Watersysteemanalyse Terschelling' (Royal Haskoning, 2002a), zal in hoofdlijnen de beschrijving uit de rapportage van de laatst genoemde studie worden gevolgd. Een belangrijke aanvulling op het oorspronkelijke model is de mogelijkheid om tijdsafhankelijk te rekenen.

Modelgrenzen en het modelnetwerk

De afbeelding B2.1 toont de modelgrenzen van het grondwatermodel dat in dit onderzoek is gebruikt.

Afbeelding B2.1 Modelgrens van het grondwatermodel Terschelling



De grens van het grondwatermodel beslaat het gehele beheersgebied van Wetterskip Fryslân. De oostelijke modelrand valt ongeveer samen met de eerste slenk. Het modeloppervlak is circa 6.800 ha., waarvan de polder ruim 1.500 ha. beslaat.

Voor de grondwatermodellering is binnen de modelgrenzen een groot aantal punten (=modelknopen) gekozen die ieder representatief zijn voor een zeker oppervlak. Al deze punten worden ook wel het modelnetwerk genoemd. Om een indruk te krijgen van de punt-dichtheid (=resolutie) geeft afbeelding B2.2 de modelknopen weer nabij Midsland. De knooppuntafstand bedraagt in de polder overwegend 75 meter en in de duinen 100 meter. In de duinvalleien en op de overgang duin-polder is voor een hogere resolutie gekozen: knoopafstand 50 meter. In totaal bevat het modelnetwerk bijna 17.000 knopen. Daarmee is de resolutie ten opzichte van het uitgangsmodel duidelijk vergroot: dit model had circa 9.300 knopen.

Afbeelding B2.2 Dichtheid van het modelnetwerk nabij Midsland



Voor de watersysteemanalyse moet met het model het effect kunnen worden bepaald op de grondwaterstand van iedere hoofdwaterloop in de polder. Daarom zijn deze waterlopen afzonderlijk in het modelnetwerk opgenomen. Afbeelding B2.3 toont de waterlopen in het modelnetwerk. Uit deze afbeelding blijkt dat ook in het duingebied een aantal waterlopen voorkomen.

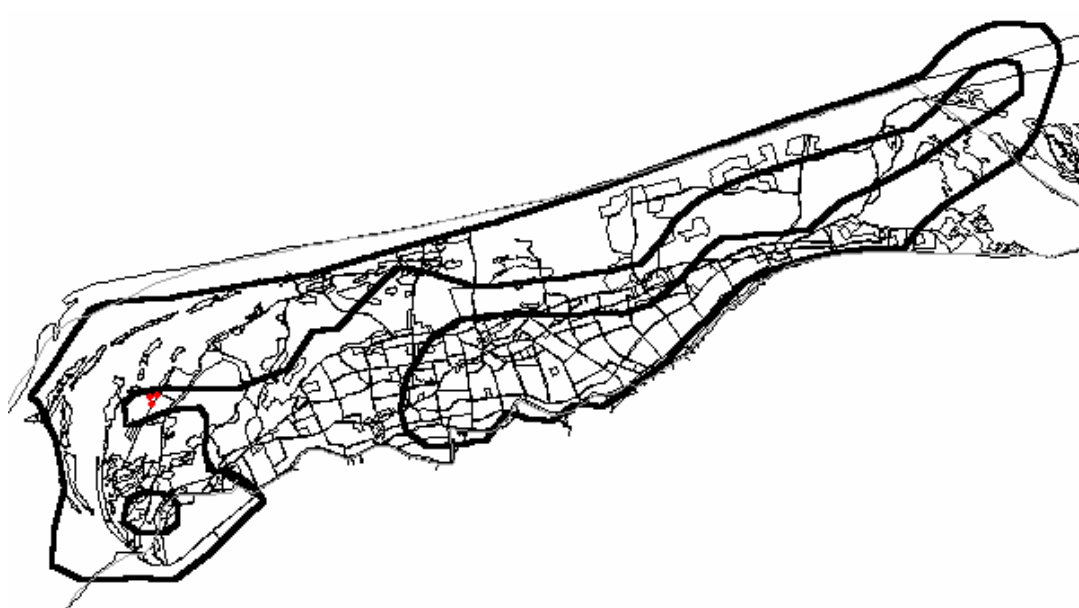
Afbeelding B2.3 Waterlopen die afzonderlijk in het grondwatermodel van Terschelling zijn opgenomen



Geohydrologische schematisatie

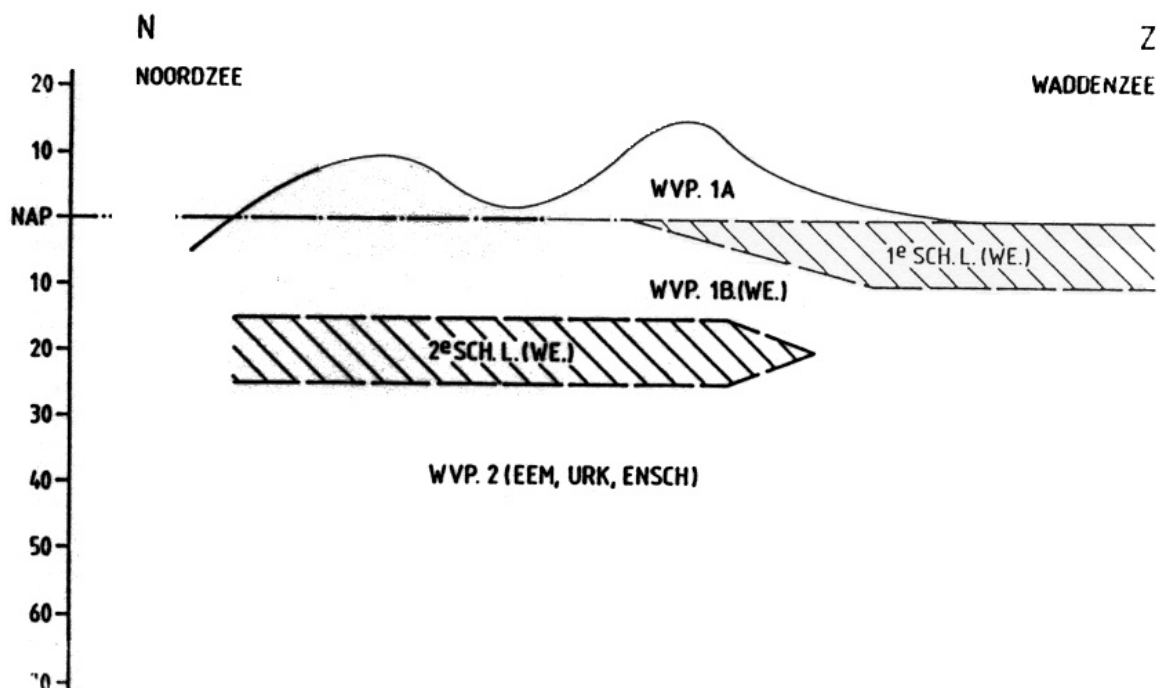
De informatie over de verbreiding van de scheidende lagen op Terschelling is summier. In 'Geologische schematisatie (TNO, 1987)' is een schetsmatige afbeelding opgenomen 'Verbreiding Holocene klei, Eemklei of Keileem'. Hieronder is deze afbeelding overgenomen.

Afbeelding B2.4a Verbreiding slecht doorlatende lagen (Geologische schematisatie (TNO, 1987))



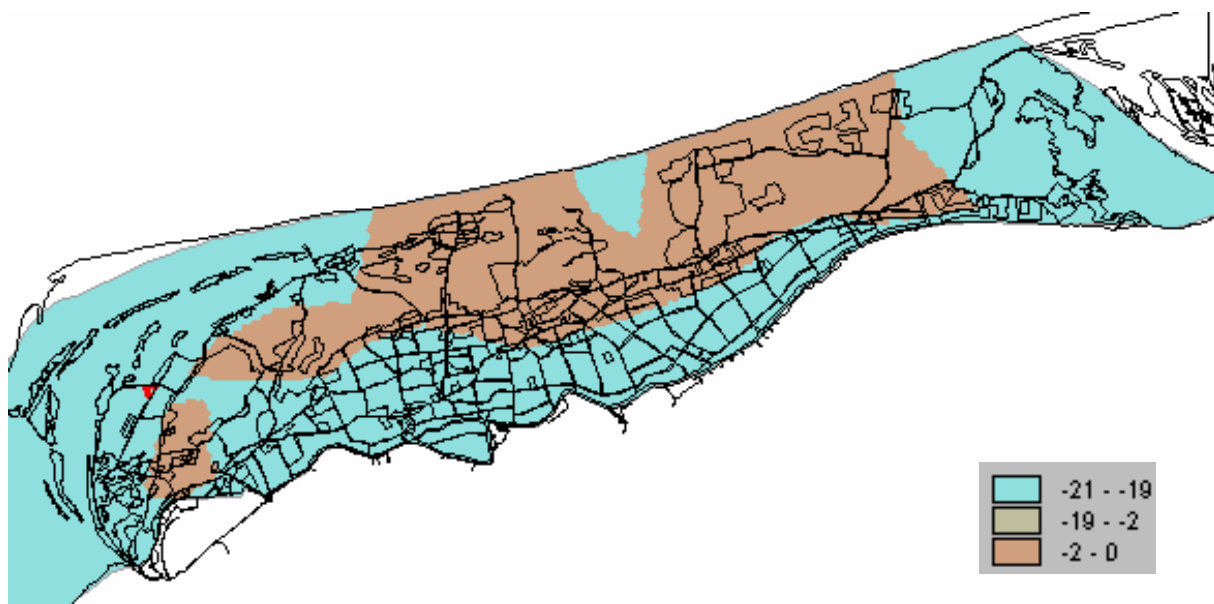
In de begeleidende beschrijving staat dat het gaat om: 'kleilagen [...] die niet aaneengesloten behoeven voor te komen, maar verdeeld over verschillende niveaus tussen 0 en circa NAP -40 m. Deze omschrijving duidt erop dat er alleen lokaal sprake zal zijn van twee watervoerende pakketten. Er is echter niet voldoende informatie voorhanden om aan te geven waar dit het geval is. OP basis van de beschikbare informatie is gekozen om te rekenen met één scheidende laag.

Afbeelding B2.4b Geohydrologische schematisatie (TNO, 1987)



Afbeelding B2.4b toont schematisch de geohydrologische opbouw op Terschelling. Zoals gezegd is in het grondwatermodel slechts één scheidende laag opgenomen: de scheidende lagen in afbeelding B2.4b zijn dus vervangen door één laag. De laag die in afbeelding B2.4b is aangeduid als 1-ste scheidende laag ligt duidelijk hoger dan de laag die in deze afbeelding wordt aangeduid met 2-de scheidende laag. Hydrologisch is dit van belang, vooral als het watervoerend pakket boven de scheidende laag relatief dun is. Vandaar dat de hoogteligging van de scheidende laag in het grondwatermodel is opgenomen. Afbeelding B2.4c toont de bovenkant van de scheidende laag in het grondwatermodel (m+NAP). De hoogteligging is mede bepaald op basis van gemeten (freatische) stijghoogten.

Afbeelding B2.4c Bovenkant van de scheidende laag in het grondwatermodel (m+NAP)

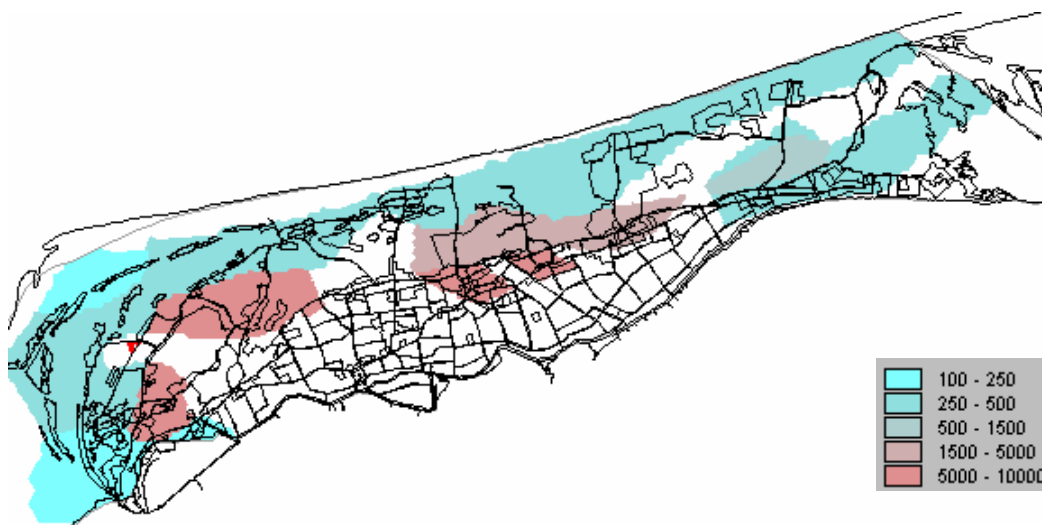


In de polder is er geen watervoerend pakket aanwezig boven de scheidende laag. De invloed hiervan is verwerkt in het 'topstelsel' in de polder. Dit stelsel bestaat uit sloten en bepaalt uiteindelijk de grondwatervoeding.

In afbeelding B2.4b worden de volgende lagen onderscheiden:

- Het ondiepe (1^e) watervoerend pakket bestaat uit Holocene zanden, plaatselijk gedeeld in twee niveau's door kleilagen (nl. WVP 1A en WVP 1B). Het doorlaatvermogen van dit ondiepe pakket (=kD-waarde) is beperkt. Afhankelijk van de dikte van het watervoerend pakket is het doorlaatvermogen van het ondiepe pakket 0 m²/d tot ruim 80 m²/d.
- In het Holoceen (Westland in het Holoceen (Westland Formatie) zijn belangrijke scheidende lagen aanwezig. Deze veroorzaken onder meer een aanzienlijk stijghoogteverschil tussen de freatische en de diepe grondwaterstand. Dit verschil neemt in westelijke richting af van circa 2 meter in de omgeving van het Studentenplak tot circa 0,5 meter bij het Groene Strand. De totale weerstand van de Holocene kleilagen wordt geraamd op enkele duizenden dagen bij het Studentenplak afnemend tot enkele honderden dagen in de richting van de Noordzeekust.

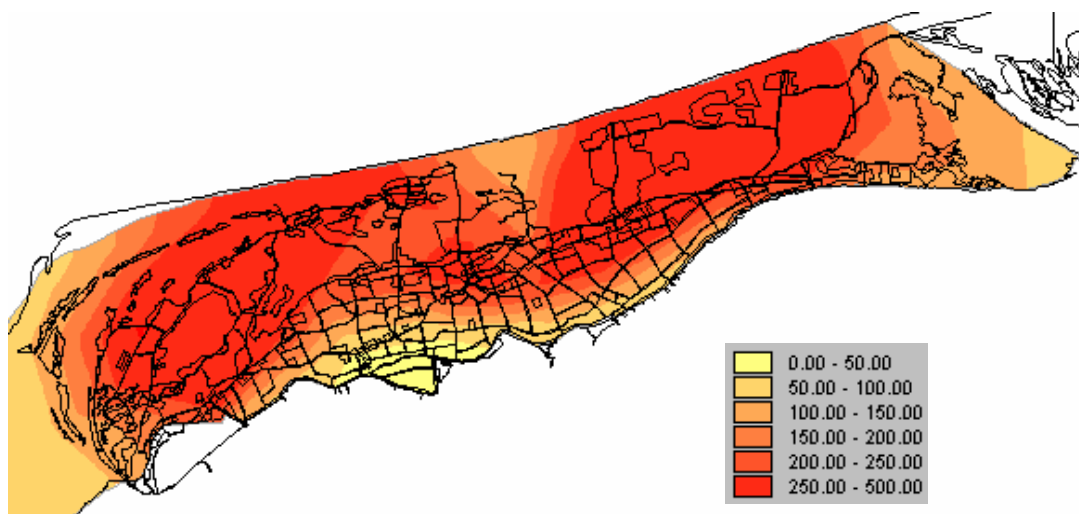
Afbeelding B2.5 Hydraulische weerstand van de scheidende laag in het grondwatermodel (d)



Afbeelding B2.5 toont de weerstandswaarde van de scheidende laag, zoals deze is opgenomen in het grondwatermodel. Dáár waar de kaart wit is, is een (lage) weerstandswaarde van 25 dagen ingevoerd. Aangenomen is dat op deze plaatsen de scheidende laag afwezig is. Afbeelding B2.4a geeft de verbreiding weer van de slecht doorlatende lagen, zoals bepaald op basis van geo-elektrische metingen. De verbreiding is in hoofdlijnen aangehouden, tenzij er op basis van de gemeten freatische stijghoogten reden was ervan af te wijken. De freatische stijghoogten zijn namelijk nogal gevoelig voor de weerstand van de slecht doorlatende laag. Op deze wijze is ook een aantal plaatsen geïdentificeerd waar sprake is van een relatief hogere weerstandswaarde.

- Diepe (2^e) watervoerend pakket. Onder de Westland Formatie (Holoceen) zijn, voor zover bekend, geen belangrijke scheidende lagen meer aanwezig, dit in tegenstelling tot de opbouw op Vlieland en Ameland waar respectievelijk de keileem (F. Drenthe) en de Potklei (F. v. Peelo) een belangrijke rol spelen. In het diepe pakket is er sprake van een 'vrije' zoetwaterbel, met een relatief grote dikte (circa 100 m). De Kd-waarde van het diepe pakket ligt rond 250 m²/d (zie TNO, 1987). Afbeelding B2.6 toont het doorlaatvermogen van het 2^e watervoerend pakket zoals dit in het grondwatermodel is ingevoerd op basis van de diepteligging van het zoet-zout grensvlak (DGV-TNO, 1985).

Afbeelding B2.6 Het doorlaatvermogen van het 2^e watervoerend pakket (m²/d)

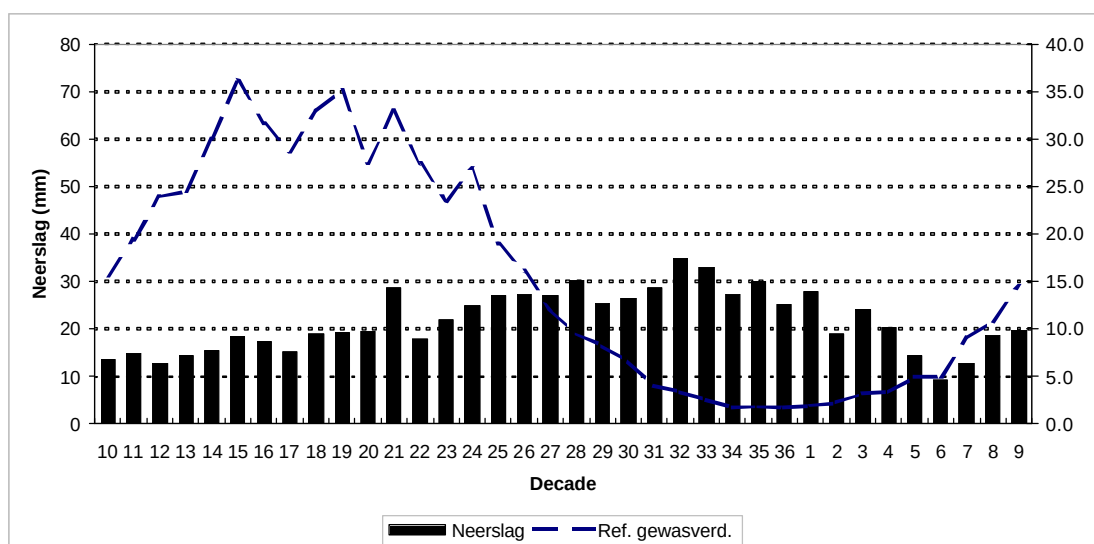


Het zoet-zout grensvlak is als begrenzing van het model gebruikt. Het effect van verplaatsing van het zoet-zout grensvlak wordt niet in aanmerking genomen omdat dit alleen in zeer extreme scenario's van invloed zou zijn op de modelresultaten.

Natuurlijk neerslagoverschot

Onder het natuurlijk neerslagoverschot wordt het verschil verstaan tussen de neerslag en de verdamping. In afbeelding B2.7 worden de normaalwaarden weergegeven van de decade-neerslag op West-Terschelling en de referentie gewasverdamping in Lauwersoog.

Afbeelding B2.7 Normaalwaarden van de decade-neerslag op West-Terschelling en de referentie gewasverdamping in Lauwersoog



De normaalwaarden zijn bepaald op basis van metingen in de periode 1961-1990. Gemiddeld bedroeg de jaarneerslag 782 mm en de referentie gewasverdamping (Makking) 558 mm. Op basis hiervan kan het neerslagoverschot op gras worden ingeschat op $(782 - 558) = 224$ mm.

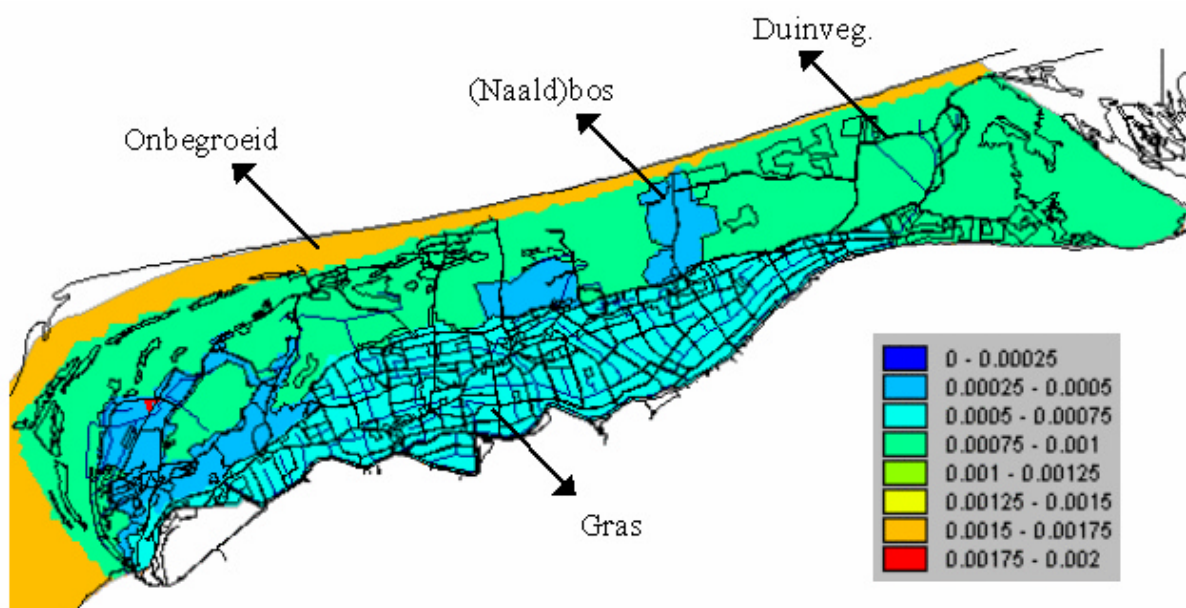
Het neerslagoverschot op een groot deel van het duingebied kan worden benaderd op basis van de lysimeterwaarnemingen in Castricum (Stuyfzand 1986). Uit de lysimeterwaarnemingen blijkt dat het neerslagoverschot op 'typische duinvegetatie' op jaarbasis circa 43% van de neerslag bedraagt. Voor Terschelling is dit 336 mm (0,43 x 782).

Het strand op Terschelling is onbegroeid. Hier bedraagt het jaargemiddelde neerslagoverschot op basis van de lysimeterwaarnemingen 76% van de neerslag: 594 mm.

(Naald)bosgebied heeft, volgens het rapport 'Kappen voor water' (Duinhoven, 1993) gemiddeld een watergebruik van 614 mm. Het neerslagoverschot kan op basis hiervan worden geschat op $782 - 614 = 168$ mm.

Afbeelding B2.8 toont op basis van deze gegevens het jaargemiddelde natuurlijke neerslagoverschot (m/dag) zoals dit in het grondwatermodel is ingevoerd.

Afbeelding B2.8 Het jaargemiddelde natuurlijke neerslagoverschot (m/dag)



Ontwatering en grondwateronttrekking

Met ontwatering wordt de afvoer van grondwater verstaan uit een gebied. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de ontwatering in de polder en die in het duingebied.

De ontwatering in de polder

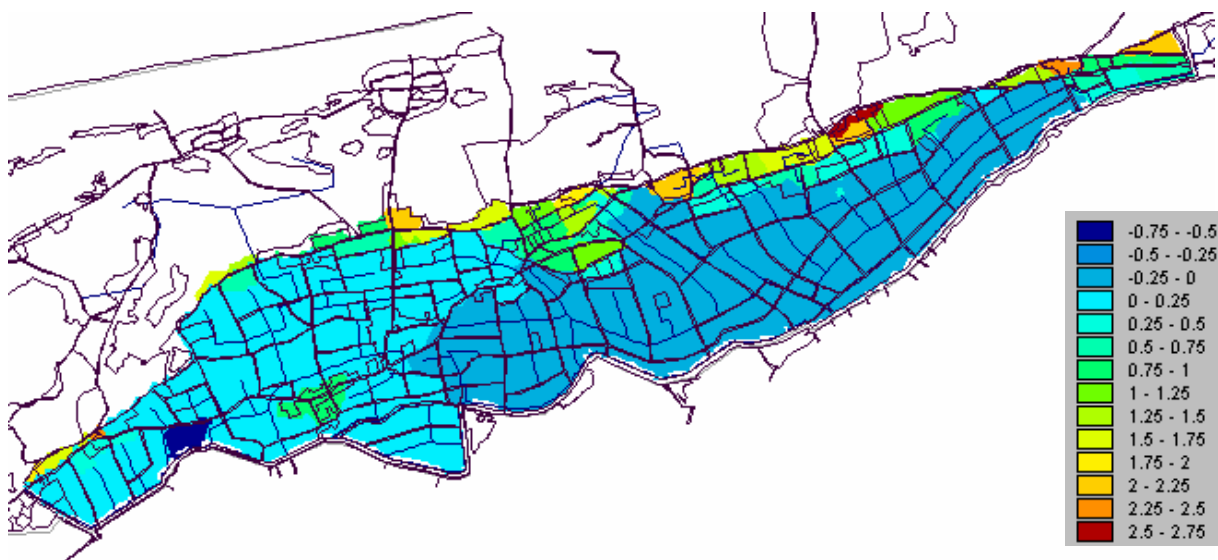
Het ontwateringsstelsel op Terschelling is geconcentreerd in de polder. Het gaat daarbij behalve om de genoemde hoofdwaterlopen vooral om perceel-sloten. Deze sloten monden uit op de hoofdwaterlopen. Daarnaast doen in zeer natte omstandigheden ook greppels mee aan de afvoer van vooral neerslagwater. In het model is het effect van dit aanvullende ontwateringsmiddel opgenomen door middel van een ondiep systeem (bodemhoogte 25 cm-mv) met een relatief geringe drainageweerstand (30 dagen).

De intensiteit waarmee de hoofdwaterlopen en de perceel-sloten de polder ontwateren wordt, afgezien van de grondwaterstand, bepaald door:

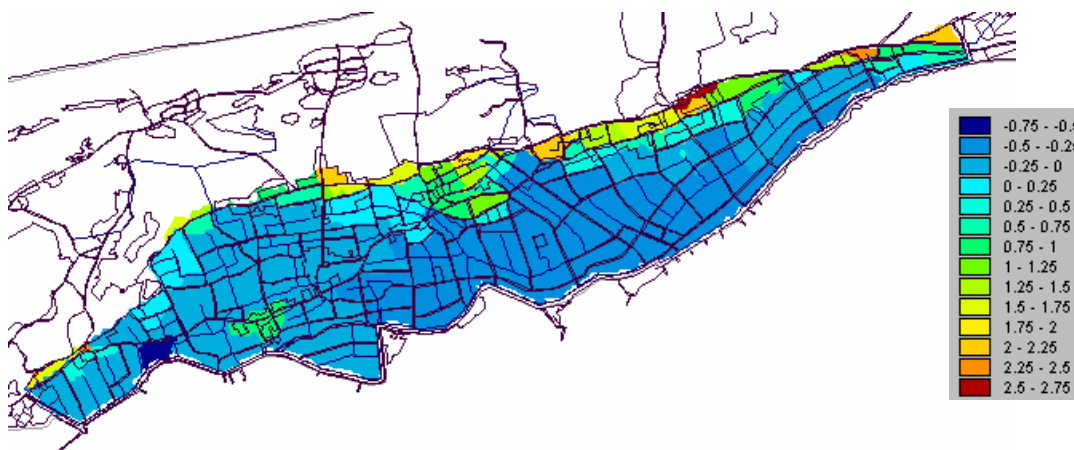
- de gehandhaafde peilen (m+NAP);
- de weerstand die het water ondervindt bij stroming naar de ontwateringsmiddelen (perceel-sloten en hoofdwaterlopen).

In afbeelding B2.9 en B2.10 geeft een indruk van de slootpeilen zoals deze op Terschelling worden gehandhaafd in respectievelijk de zomer en de winter. De exacte peilen per peilvak vindt u in de bijgevoegde kaarten achter in dit rapport.

Afbeelding B2.9 Zomerpeilen in de polder van Terschelling (m+NAP)



Afbeelding B2.10 Winterpeilen in de polder van Terschelling (m+NAP)



Uit vergelijking van afbeelding B2.9 en B2.10 blijkt dat op de overgang duin-polder de zomer- en winterpeilen gelijk zijn, terwijl in de lagere polder-gedeelten over het algemeen het winterpeil lager is dan het zomerpeil. In de zomer wordt een relatief hoog peil gehanteerd om beter aan de verdampingsvraag te kunnen voldoen.

Op de overgang duin-polder worden relatief hoge peilen gehandhaafd. Wateraanvoer vindt hier echter niet plaats, zodat deze sloten in de zomer droog kunnen vallen. In het grondwatermodel is hier rekening mee gehouden door het opgeven van het slootbodemoniveau: zodra de berekende freatische grondwaterstand beneden dit niveau komt, vindt er in het model geen slootafvoer meer plaats.

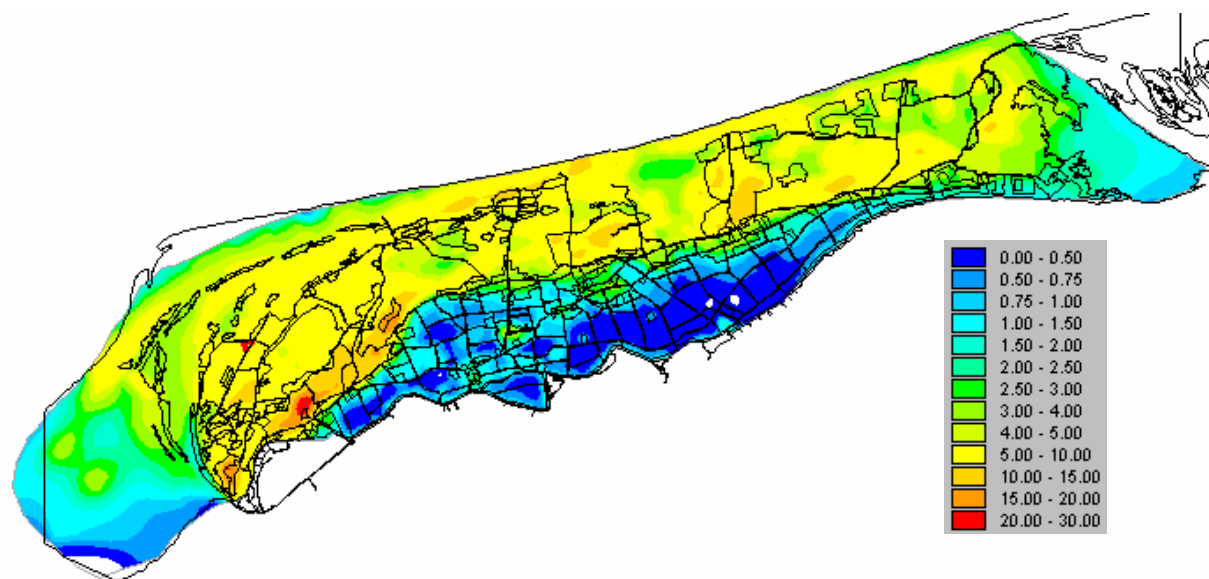
Bij de model-ijsing zijn de weerstanden bepaald die het water ondervindt bij stroming naar de ontwateringsmiddelen (perceel-sloten en hoofdwaterlopen).

De ontwatering in het duingebied

Het effect van de ontwatering in het duingebied is in het grondwatermodel gebracht door het maaiveldniveau hier als drainagebasis te laten fungeren. Dáár waar de grondwaterstand het maaiveld bereikt vindt dus afvoer plaats. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid van kwel op relatief lage plekken in de duinen (duinvalleien).

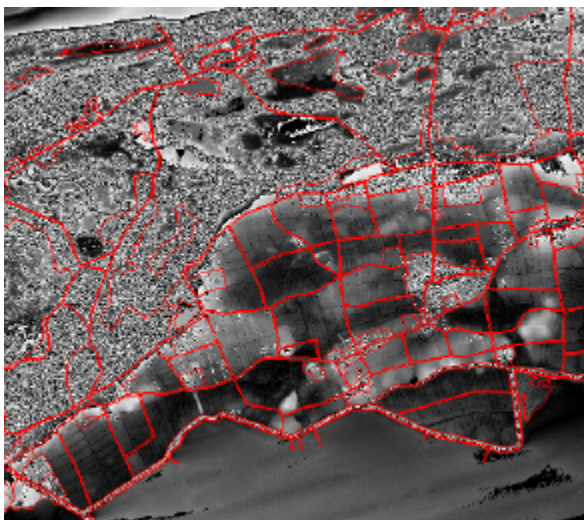
Afbeelding B2.11 toont het maaiveldniveau van Terschelling zoals dit in het grondwatermodel is ingevoerd.

Afbeelding B2.11 Maaiveldniveau (m+NAP)



Het maaiveldniveau is gebaseerd op het AHN-bestand met een resolutie van 5x5 meter. Ter illustratie van deze resolutie is toont afbeelding B2.12 een uitsnede van het AHN-bestand.

Afbeelding B2.12 Uitsnede van het AHN-bestand



Grondwater dat aan de zeezijde van het strand en de kwelder aan het maaiveld komt kan vrij afstromen naar de zee. Modelmatig is dit op dezelfde manier ingebracht als de ontwatering in het duingebied.

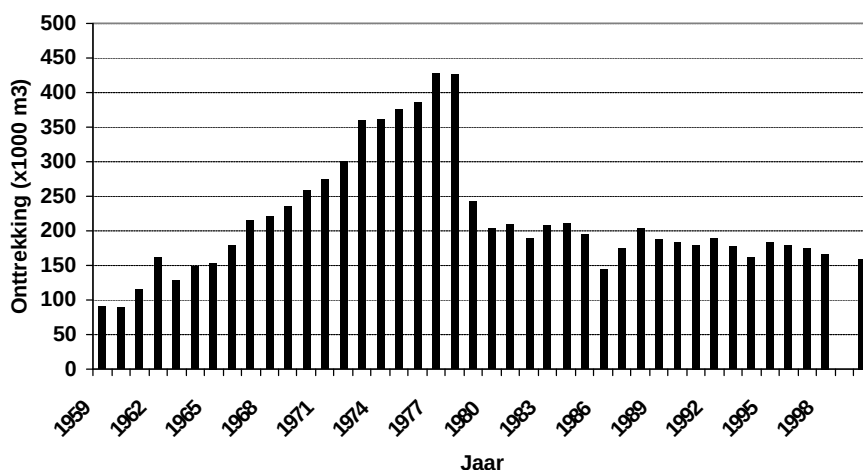
In het duingebied komen een aantal waterlopen voor (afbeelding B2.3). Deze waterlopen voeren het kwelwater en neerslagwater af dat zich in de lagere delen van de duinen verzamelt. De ontwatering van het duingebied hield in het verleden vooral verband met de wens om het gebied geschikt te maken voor de bosbouw. Zoals gezegd zijn deze waterlopen zijn afzonderlijk in het grondwatermodel gebracht.

GRONDWATERONTTREKING

Afbeelding B2.13 toont de ruwwaterafgifte van de grondwaterwinning op Terschelling vanaf de aanvang van de winning in 1959.

Afbeelding B2.13 Ruwwaterafgifte van de winning op Terschelling (1959-2000)

Ruwwaterafgifte Terschelling (1959-2000)



De ruwwaterafgifte is na de aanleg van de drinkwaterleiding vanaf de vaste wal (wadleiding) na 1978 duidelijk afgenomen. In 1978 bedroeg de ruwwaterafgifte ruim 400.000 m³/jaar; de jaren daarna was dit gemiddeld 184.000 m³/jaar.

Randvoorwaarden

Voor het grondwatermodel vormt de grens tussen de zee en het strand, wad en kwelder de modelrand. De hydrologische randvoorwaarde op deze grens wordt bepaald door het zeewaterniveau. Het gemiddelde hoogwaterpeil bedraagt NAP +0,78 m (RWS, 1993), terwijl er een verschil bestaat tussen het laag en hoog water van 1,85 meter. In de vloedperiode vult zich dus de bodem volledig met zeewater tot een hoogte van gemiddeld NAP +0,78 m. Als de zee zich hierna terugtrekt tot gemiddeld NAP -1,07 m (=0,78-1,85), dan 'leegt' de bodem zich weer, echter niet helemaal tot het laagwaterpeil: het 'leggen' van de bodem vergt meer tijd dan het vullen ervan. Dit verschijnsel wordt beschreven in 'The effect of tides and waves on water-table elevations in coastal zones, Hydrogeology Journal, v.4, no. 2, 1996'.

Het grondwaterniveau aan de rand van het eiland bevindt zich door dit proces op een niveau boven het gemiddelde zeewaterniveau, maar onder het hoogwaterpeil. Op basis van eerdere ijkresultaten (Iwaco, 1995) is voor de huidige situatie als randvoorwaarde van het model een niveau van NAP +0,5 m gebruikt (in plaats van het gemiddelde zeewaterniveau). De hoogte van NAP +0,5 m is ingegeven door de vorm van de strandprofielen en de wad-hoogten. In de strandprofielen is een duidelijke 'knik' te zien op circa NAP +0,5 m. Verondersteld is dat het niveau van deze knik samenvalt met niveau van het grondwater dat permanent is verzadigd.

IJKING

Stationaire ijking

In de voorgaande studie is het grondwatermodel stationair geijkt. Het ijkresultaat geeft een beeld van de jaargemiddelde situatie. Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Stijghoogtewaarnemingen in de periode 1980-2000:
In het duingebied bestaan deze gegevens uit de grondwaterstandwaarnemingen. Omdat het aantal peilbuizen dat zich ondubbelzinnig in het tweede watervoerend pakket bevindt zeer beperkt is, gaat het daarbij vooral om freatische (=ondiepe) grondwaterstandwaarnemingen. In de polder is een klein aantal freatische peilbuizen aanwezig. De waarnemingen van deze peilbuizen zijn beperkt bruikbaar omdat de filters van deze buizen (deels) door de deklaag steken. Vanwege de kweldruk in de polder wordt in deze filters vaak een te hoge stijghoogte gemeten.
- Afvoermetingen bij de uitwateringssluizen Kinnum en Lies:
Door analyse van de afvoermetingen bij de uitwateringssluizen Kinnum en Lies is de waterbalans van het westelijk en oostelijk deel van de polder bepaald. De onderstaande tabel geeft het resultaat: een overzicht van de balanstemen in een gemiddeld jaar.

	West	Oost
	mm/d	mm/d
Verdamping	1.5	1.5
Afvoer	1.2	1.5
Neerslag	2.1	2.1
Kwel	0.6	0.9

Tijdens de stationaire ijking is een aantal modelparameters zodanig aangepast dat de modelresultaten zoveel mogelijk in overeenstemmen met de beschikbare gegevens.

In het duingebied zijn de volgende modelparameters geoptimaliseerd:

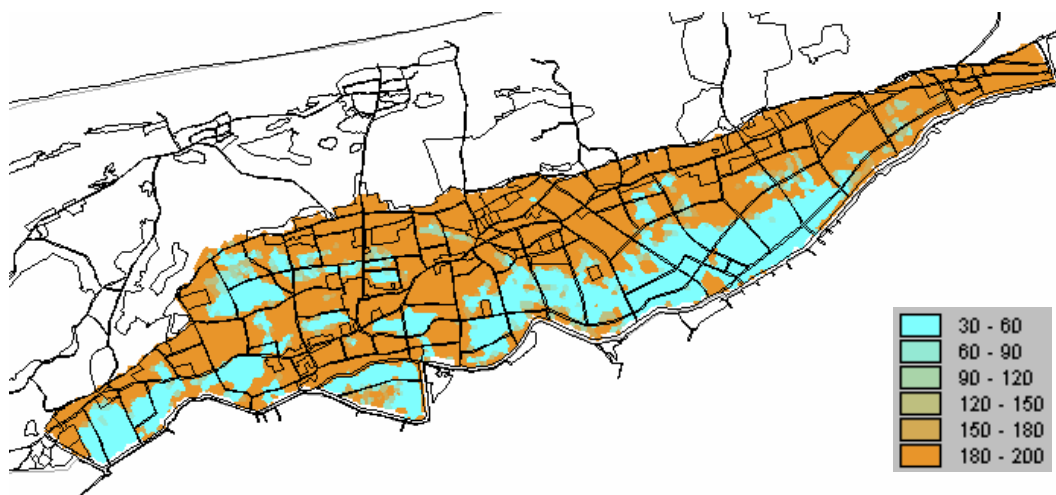
- De doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket (3 m/d).
- De verbreiding en de hydraulische weerstand van de eerste scheidende laag (afbeelding B2.5).
- De hoogteligging van deze laag (afbeelding B2.4c).
- Het doorlaatvermogen van het tweede watervoerend pakket (6 m/d).

In de polder zijn, op basis van de beschikbare gegevens, vooral de volgende modelparameters aangepast:

- De bodemweerstand van de hoofdwaterlopen in de polder. Aangenomen is dat deze waterlopen insnijden in het eerste watervoerende pakket. Gebleken is dat de kwel van 0,9 mm/dag in de polder die afwatert op de Liessluis alleen door het model wordt nagebootst als een relatief geringe bodemweerstand wordt gehanteerd (vijf dagen), met andere woorden de hoofdwaterlopen maken goed hydraulisch contact met het eerste watervoerend pakket.
- De drainageweerstand (=weerstand voor stroming van ondiep grondwater naar de sloten).
Een relatief grote drainageweerstand resulteert in een relatief grote opbolling van de freatische stijghoogte om het neerslagoverschot (plus eventueel kwel) naar de sloten af te voeren. Een te hoge inschatting van deze weerstand leidt er dus toe dat de berekende freatische grondwaterstanden te hoog zijn;
- De weerstand van de laag op de overgang tussen het afdekkend pakket en het watervoerend pakket ($=c_0$, weerstand voor stroming van diep grondwater naar de sloten).
Als deze weerstand in het grondwatermodel te groot wordt ingeschat, leidt dit ertoe dat de berekende kwel in de polder te klein is. Gebleken is dat met een weerstand van 700 dagen de kwel-hoeveelheid wordt berekend die overeenkomt met de waarden die zijn afgeleid uit de afvoermetingen. Een uitzondering vormen de lage delen van het poldergedeelte dat op de Liessluis afwatert. In deze polder wordt alleen dan voldoende kwel berekend met een relatief geringe c_0 -waarde: 50 dagen. Ook de perceelssloten lijken hier zodanig diep in de deklaag in te snijden dat ze relatief goed contact maken met het watervoerende pakket eronder.

Afbeelding B2.14 toont de drainageweerstanden die door de model-ijking zijn bepaald.

Afbeelding B2.14 Drainageweerstanden in de polder (d)

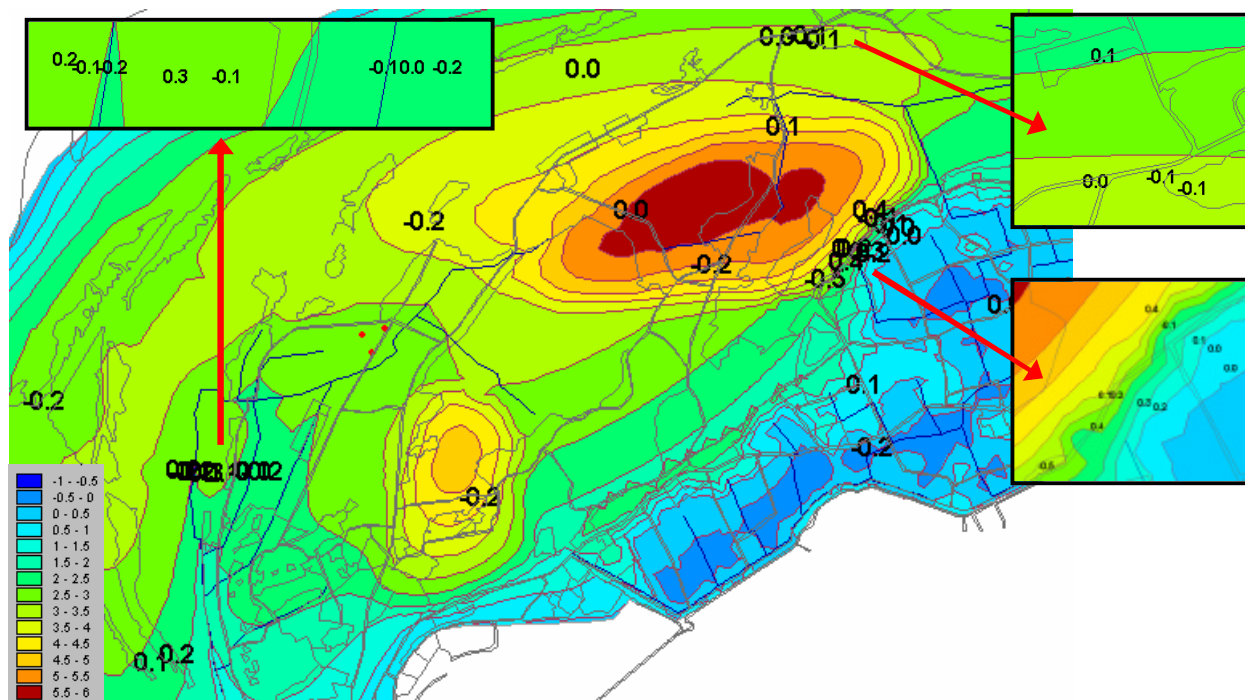


De relatief laag gelegen poldergedeelten zijn relatief intensief ontwaterd en hebben een drainageweerstand van 30 dagen. De hoger gelegen poldergedeelten zijn minder intensief ontwaterd en hebben een drainageweerstand tot maximaal 200 dagen.

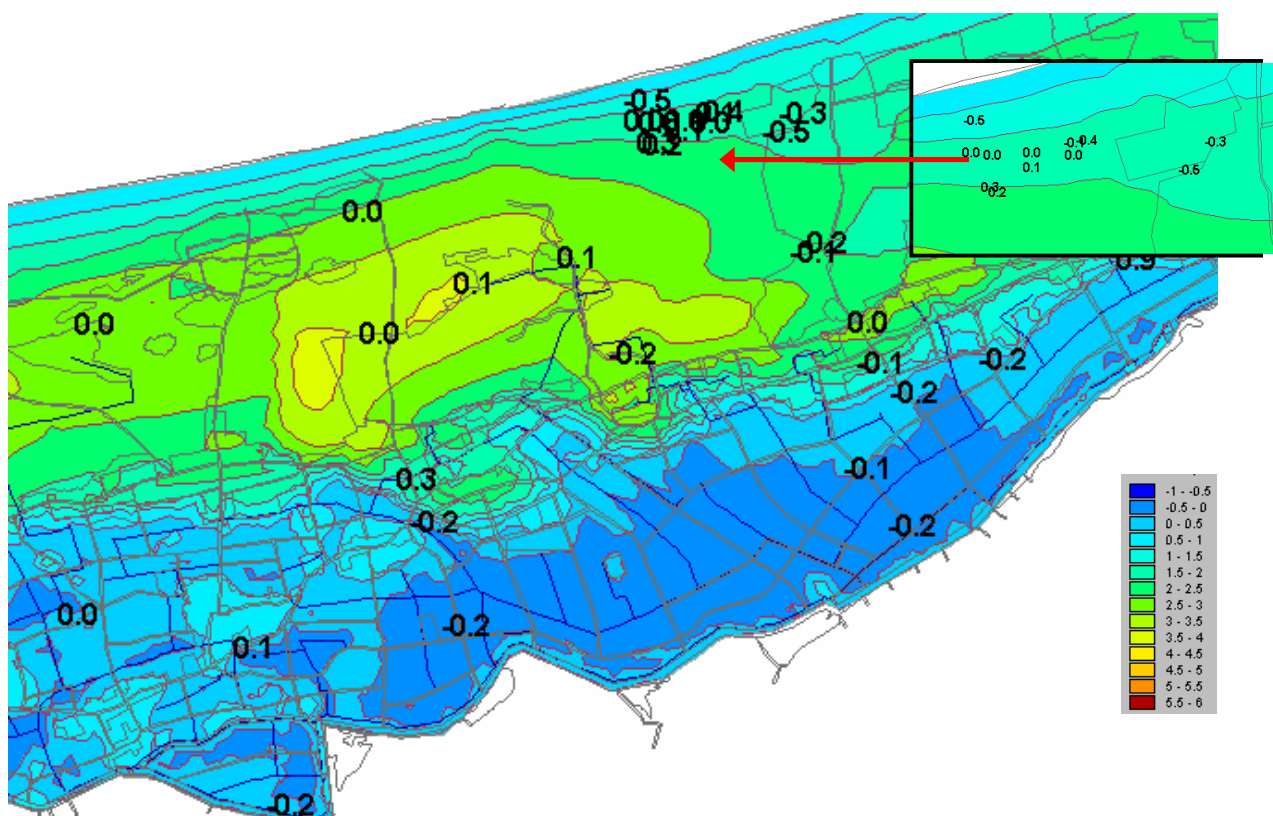
DE JAARGEMIDDELDE FREATISCHE GRONDWATERSTAND

Van alle peilbuizen op Terschelling is van het bovenste filter over de hele meetperiode de gemiddelde grondwaterstand bepaald. Het berekende freatische isohypsenpatroon is vergeleken met deze meetwaarden. De figuren B2.15a tot en met B2.15c tonen van west naar oost delen van het eiland met het berekende freatische isohypsenpatroon en de afwijkingen tussen de gemeten- en berekende grondwaterstand (m).

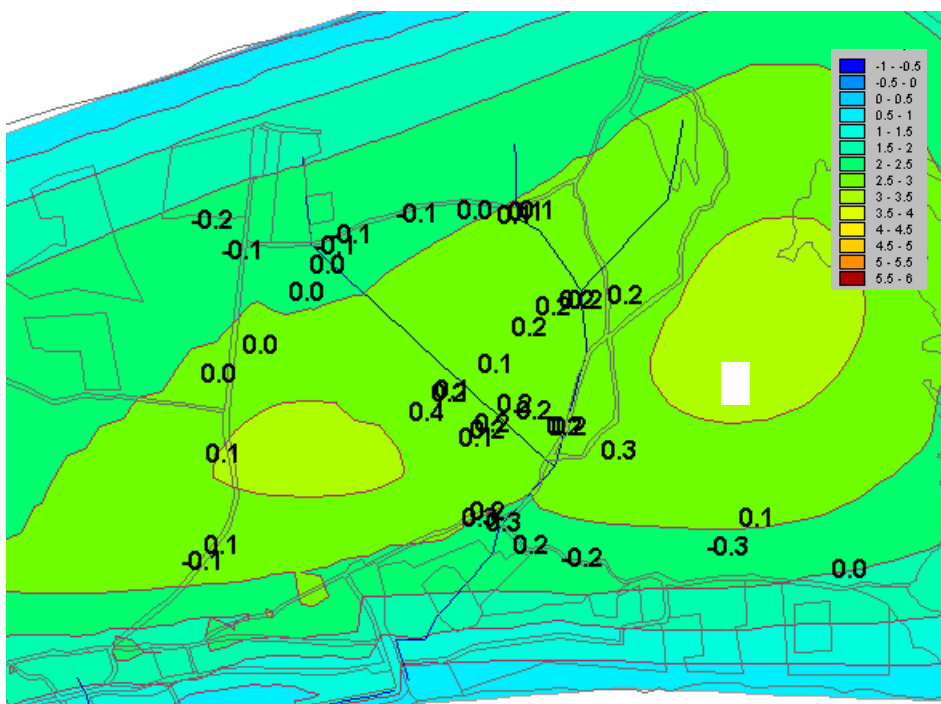
Afbeelding B2.15a Berekend jaargemiddeld isohypsenpatroon in het eerste watervoerend pakket (m+NAP) en de afwijkingen tussen de gemeten- en berekende grondwaterstand (m)



Afbeelding B2.15b Berekend jaargemiddeld isohypsenpatroon in het eerste watervoerend pakket (m+NAP) en de afwijkingen tussen de gemeten- en berekende grondwaterstand (m)

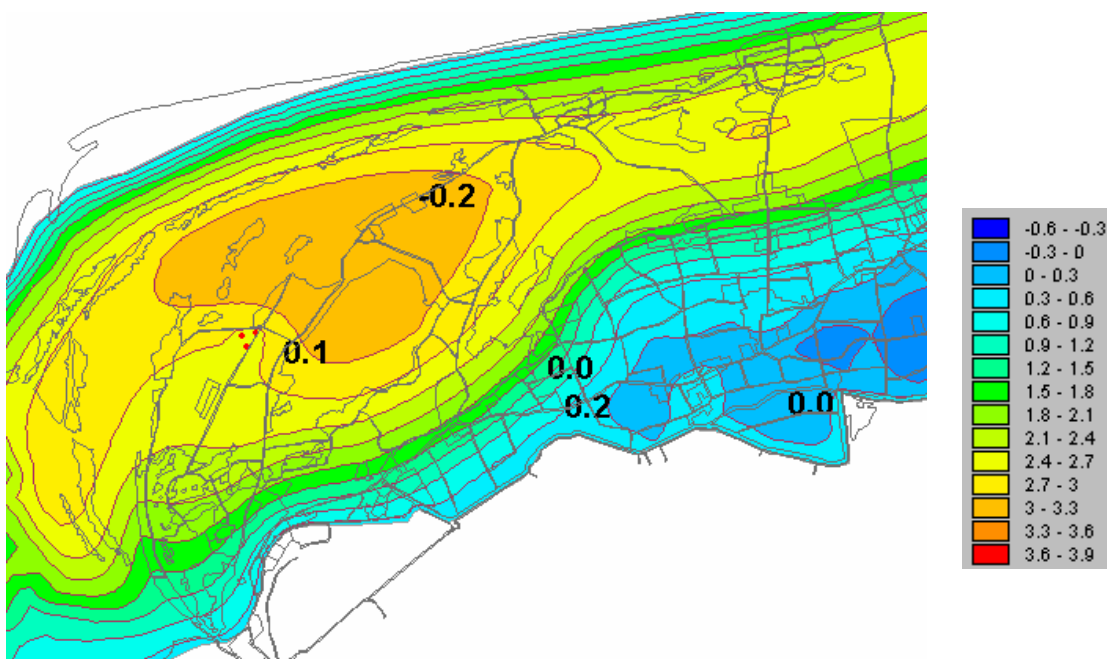


Afbeelding B2.15c Berekend jaargemiddeld isohypsenpatroon in het eerste watervoerend pakket (m+NAP) en de afwijkingen tussen de gemeten- en berekende grondwaterstand (m)



Het aantal filters van peilbuizen die onmiskenbaar de stijghoogte in het tweede watervoerend pakket aangeven is beperkt. Afbeelding B2.16 toont het berekende isohypsenpatroon in het tweede watervoerend pakket op het westelijk deel van het eiland en de afwijkingen ten opzichte van de gemeten stijghoogten. Op het oostelijk deel van het eiland zijn geen metingen beschikbaar van de diepe stijghoogte.

Afbeelding B2.16 Berekende isohypsenpatroon in het tweede watervoerend pakket (m+NAP) en de afwijkingen ten opzichte van de gemeten stijghoogten

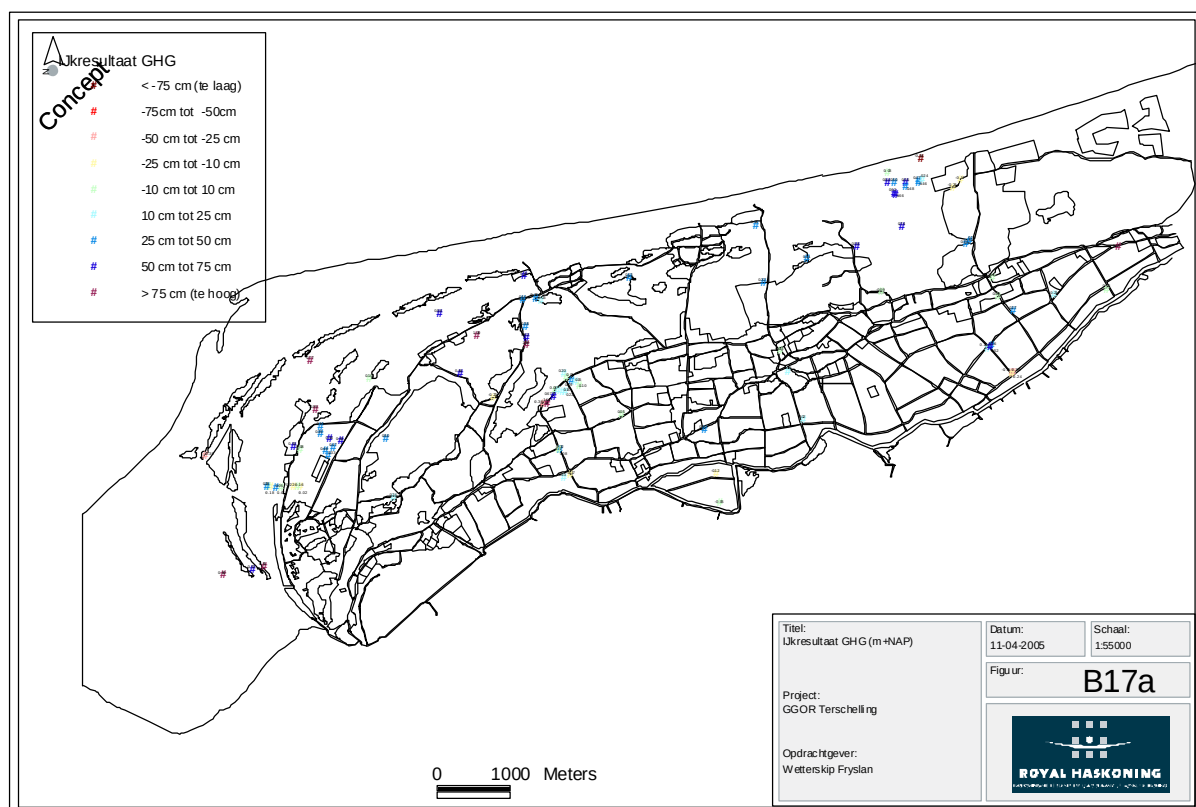


De (beperkte) waarnemingen van de stijghoogte in het tweede watervoerend pakket geven aan dat de berekende waarden over het algemeen goed overeenstemmen met de gemeten waarden.

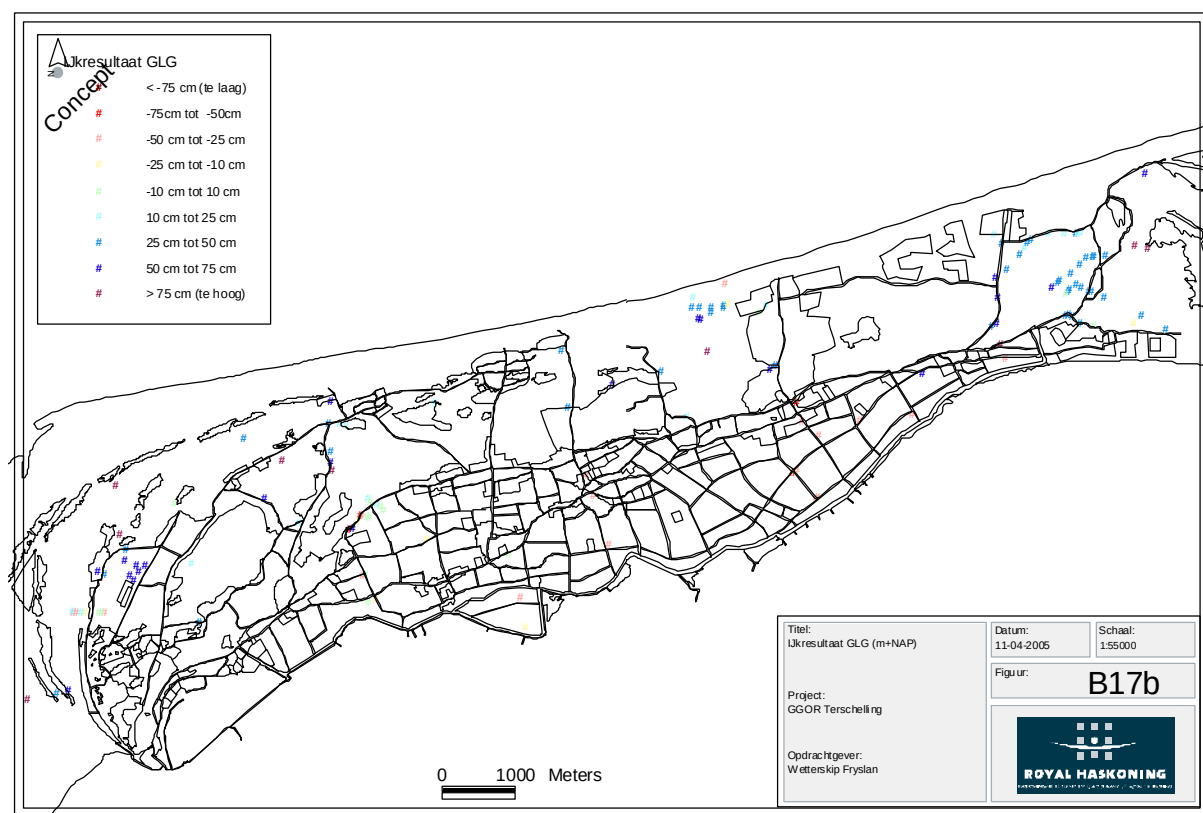
NIET STATIONAIRE IJ KING

In deze studie is het grondwatermodel uitgebreid met de mogelijkheid van tijdsafhankelijk rekenen. Vervolgens is met het grondwatermodel de periode 1993-2004 tijdsafhankelijk doorgerekend. In een tijdsafhankelijke berekening is de bepaling van de freatische bergingscoëfficiënt van belang. Deze coëfficiënt bepaalt mede de 'heftigheid' waarmee de grondwaterstand reageert op een verandering van het neerslagoverschot. Op basis van een drietal oriënterende berekeningen is uiteindelijk gekozen voor een freatische bergingscoëfficiënt van 0,25. Dit is gedaan door uit het berekeningsresultaat op de peilbuislocaties de gemiddeld hoogste en de gemiddeld laagste grondwaterstand te bepalen (GHG en GLG). Deze waarden zijn vervolgens vergeleken met de 'gemeten' GHG- en GLG-waarden. Het resultaat is opgenomen in respectievelijk de afbeelding en B2.17a en B2.17b.

Afbeelding B2.17a IJkresultaat GHG



Afbeelding B2.17b IJkresultaat GLG

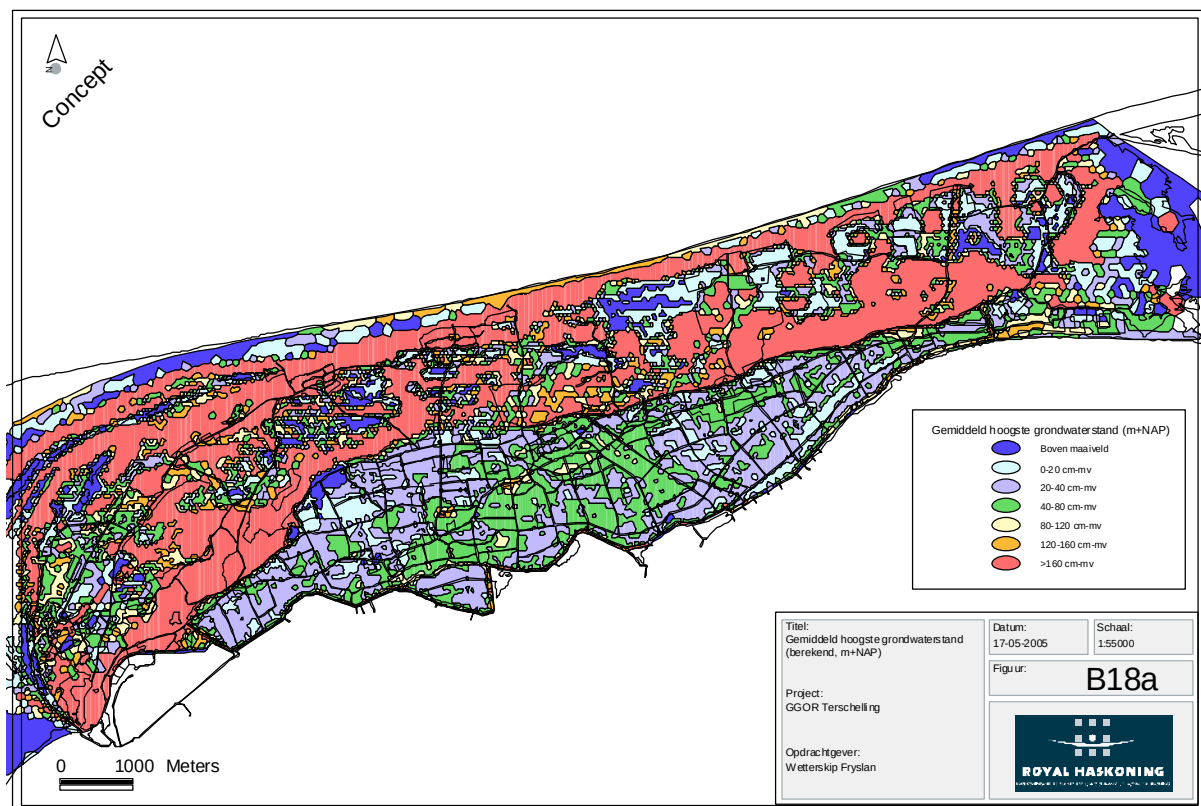


Uit de afbeelding en B2.17a en B2.17b blijkt dat het verschil tussen de berekende- en gemeten GHG- en GLG doorgaans beperkt is tot maximaal 25 cm. Bovendien valt op de in de polder de berekende GHG- en GLG wat te laag is. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de filters hier deels in- en deels door de deklaag geplaatst zijn. In een kwel-gebied wordt op deze manier een iets hogere (dan freatische) grondwaterstand gemeten.

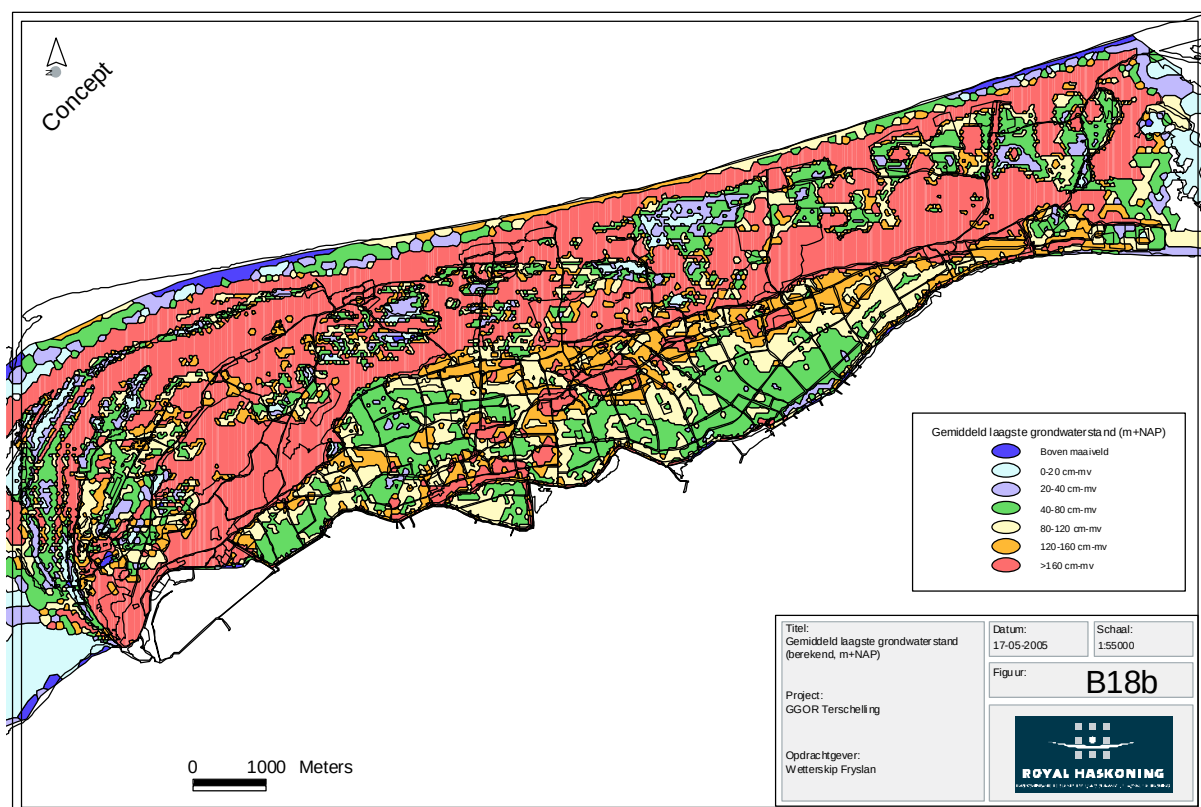
In het duingebied geldt (in mindere mate) hetzelfde maar dan omgekeerd.

Ter illustratie is in de afbeelding en B2.18a en B2.18b de berekende GHG- en GLG- ten opzichte van maaiveld weergegeven.

Afbeelding B2.18a Berekende GHG



Afbeelding B2.18b Berekende GLG



Onzekerheden

De ijkresultaten die in de voorgaande paragraaf zijn verkregen duiden erop dat het grondwatermodel de werkelijkheid redelijk benadert. Het modelresultaat is verkregen door de modelparameters zo goed mogelijk in te schatten. Hierin zit altijd een onzekerheid die ook doorwerkt in de berekeningsresultaten.

Onzeker is vooral de verbreiding en hoogteligging van de weerstandbiedende lagen. Vanwege het freatische karakter van het grondwatersysteem in het duingebied is deze onzekerheid met name hier van invloed op het berekeningsresultaat.

In de polder is sprake van een gecontroleerd oppervlaktewaterpeil, waardoor de grondwaterstand relatief nauwkeurig kan worden berekend. Omdat bij de ijkresultaten ook de afvoergegevens van de polder zijn verwerkt, mag worden verwacht dat het grondwatermodel ook de waterbalans van de polder goed benadert.

De afvoergegevens van de polder zijn echter niet gedifferentieerd naar het type ontwateringsmiddel (perceel-sloten of hoofdwaterlopen). Het is dus niet bekend welk deel van de kwel door de perceel-sloten wordt afgevangen en welk deel door de hoofdwaterlopen. Opgemerkt wordt dat deze onzekerheid alleen voor de analyse van lokale situaties van belang is: voor de analyse van de polder als geheel maakt het niet uit welk type ontwateringsmiddel de kwel uit de duinen afvangt.

Bijlage 3

Statische modellering van de laagwateropzet Terschelling

1. Inleiding

De polder Terschelling watert door middel van twee stuwen af op het wad. In de 'Watersysteemanalyse Terschelling' is reeds naar voren gekomen, dat de wateroverlast in de polder Terschelling mogelijk verband houdt met het te frequent optreden van hoge buitenwaterstanden.

In het kader van deze studie is dit probleem nader onderzocht op basis van berekeningen met het oppervlaktewatermodel SOBEK. In verband hiermee is het wenselijk te beschikken over een lange tijdreeks van de buitenwaterstanden (500 jaar). Daarmee is het namelijk mogelijk uitspraken te doen over de te verwachten binnenwaterstanden bij herhalingstijden van 1, 5, 10 en 100 jaar.

Er zijn echter 'slechts' waarnemingen beschikbaar over de periode 1933 tot en met 2003. Daarom zijn in deze studie de bestaande waarnemingen beschreven met een theoretisch (statistisch) model. Met een dergelijk model zijn onbeperkt lange reeksen te genereren van de buitenwaterstand. Bij een goede opzet van het statistische model zijn de gegenereerde reeksen in statistisch opzicht niet te onderscheiden van de waarnemingen.

De stuwen kunnen alleen functioneren bij laagwater. Als het laagwater verhoogd is (ten opzichte van normaal), dan kan dit een stremming van de afwatering veroorzaken. Daarom zal hier een statistisch model worden gemaakt van de waargenomen *laagwateropzetten*. Wateroverlast in de polder is vooral te verwachten bij een (langdurige) *verhoging* van de laagwateropzet. Vandaar dat het belangrijk is dat het statistische model de *extreme* (positieve) laagwateropzetten goed beschrijft.

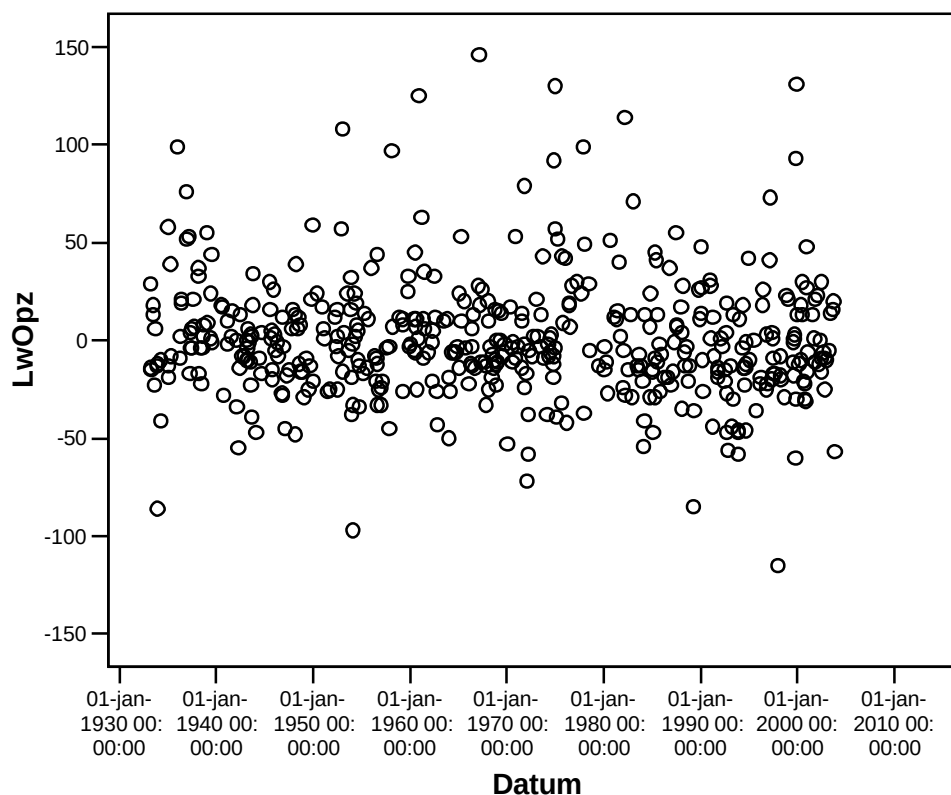
In de paragrafen 2 tot en met 4 worden de waargenomen laagwateropzetten onderzocht op de aspecten homogeniteit, periodiciteit en autocorrelatie. In paragraaf 5 wordt, op basis van de voorafgaande analyse, het statistisch model gepresenteerd voor de modellering van de laagwateropzet. De laatste paragraaf is gewijd aan het resultaat van het statistische model: een door het statistische model gegenereerde reeks met een lengte van 500 jaar van de laagwateropzet. De eigenschappen van de gegenereerde reeks zal worden vergeleken met de gemeten laagwateropzetten.

2. Homogeniteit

Een homogene tijdreeks is een tijdreeks waarvan het statistische gedrag van jaar tot jaar niet verandert. Om de homogeniteit te toetsen zijn in afbeelding B3.1 de waarnemingen van de laagwateropzet weergegeven over de periode 1933-2003. Ten behoeve van de leesbaarheid is het aantal weergegeven waarnemingen sterk beperkt door random-sampling toe te passen. Slechts 1% van alle waarnemingen wordt weergegeven.

Afbeelding B3.1 Scatter diagram van de laagwateropzet (1933-2003)

Laagwateropzet (random sampling)

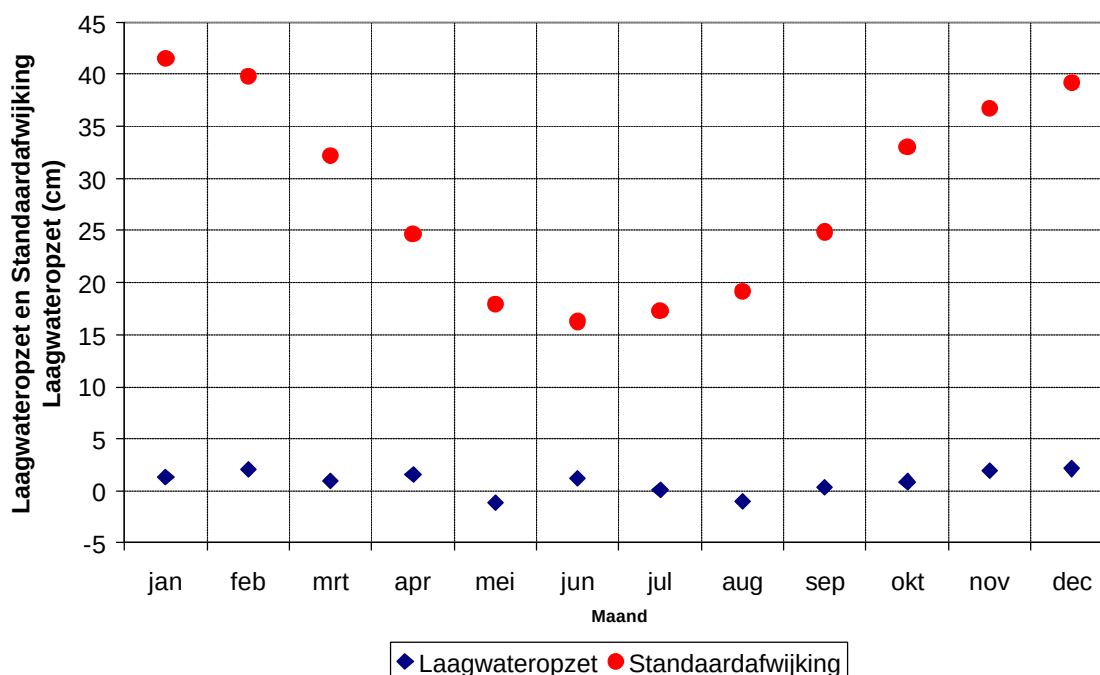


In afbeelding B3.1 is geen duidelijke trend of sprong zichtbaar. De conclusie luidt dat de reeks homogeen is.

3. Periodiciteit

Afbeelding B3.2 toont de maandgemiddelde verwachting en standaardafwijking van de laagwateropzet (1933-2003).

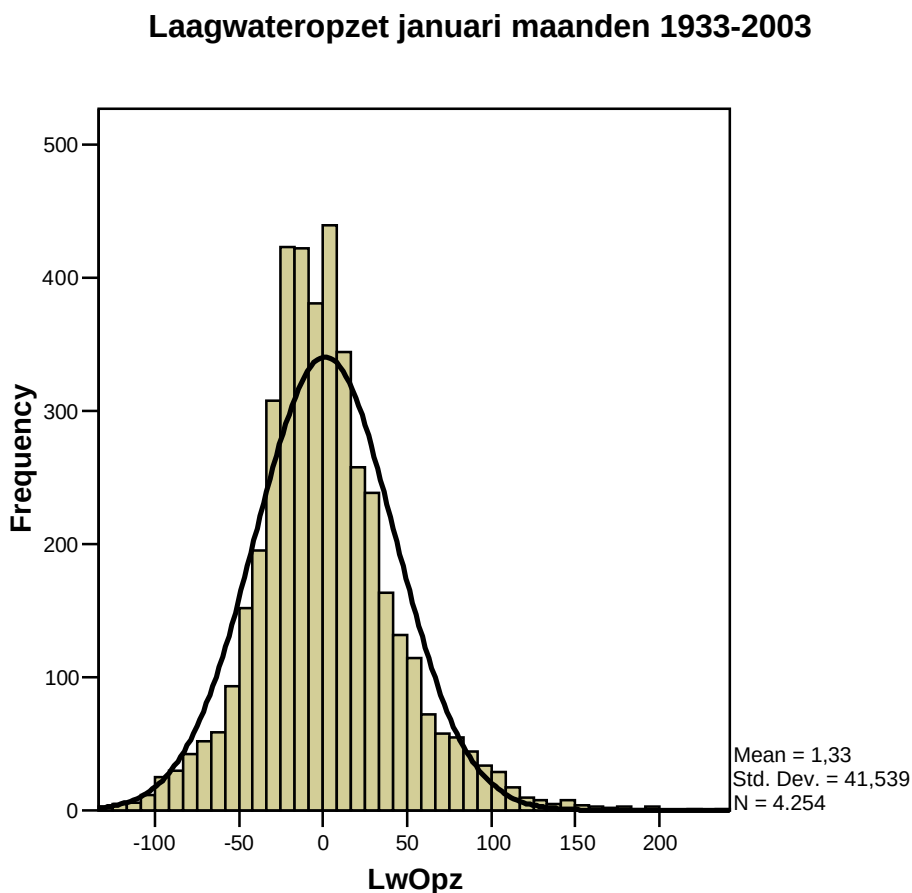
Afbeelding B3.2 Maandgemiddelde verwachting en standaardafwijking van de laagwateropzet (1933-2003)



Uit afbeelding B3.2 blijkt dat het gemiddelde niveau van de laagwateropzet per maand geen periodiek karakter vertoont. De maandgemiddelde standaardafwijking van de laagwateropzet is echter duidelijk seizoensafhankelijk. De maandgemiddelde standaardafwijking van de laagwateropzet is in de maanden mei tot en met juli het kleinst (15-20 cm); in de maanden december tot en met februari het grootst (35 tot 45 cm).

Per maand is de laagwateropzet *bij benadering* normaal verdeeld. Dit geldt ook voor de laagwateropzetten in de andere maanden. Ter illustratie toont afbeelding B3.3 een histogram van de laagwateropzet in alle januari maanden in de periode 1933-2003.

Afbeelding B3.3 Histogram van de laagwateropzet in alle januari maanden in de periode 1933-2003

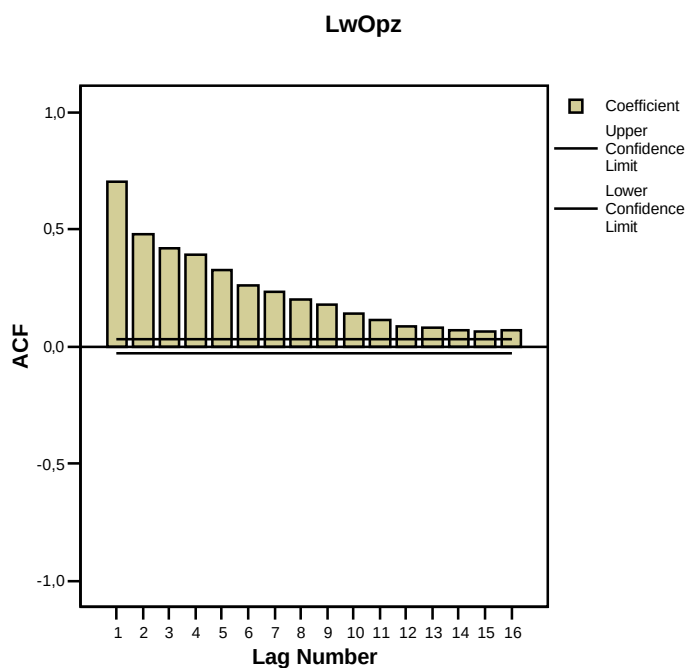


Wat opvalt in afbeelding B3.3 is dat de normaalcurve de waargenomen frequenties nabij de gemiddelde laagwateropzet onderschat, terwijl bij hoge waarden van de laagwateropzet sprake is van overschatting. In paragraaf 5 (Formulering van een statistisch model) zal hier nader op in worden gegaan.

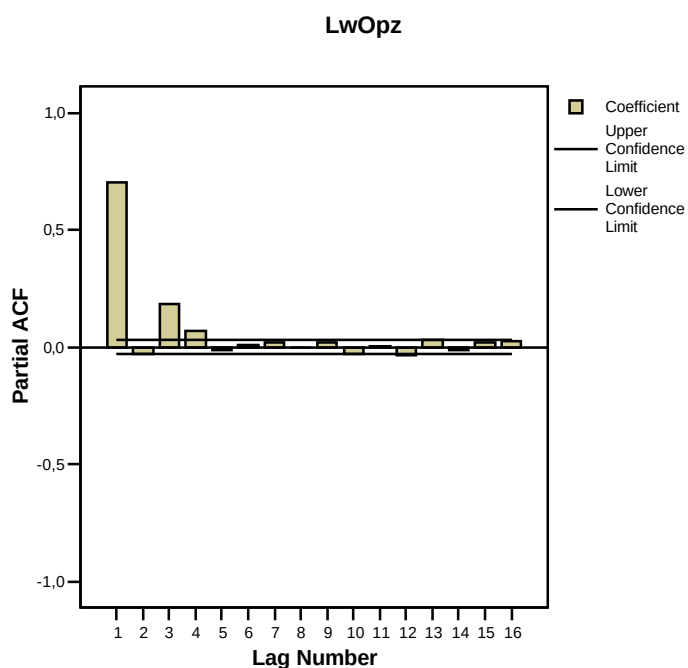
4. Autocorrelatie

Om te onderzoeken of ook de autocorrelatiecoëfficiënt een periodiek component heeft, is deze coëfficiënt per maand bepaald. Voor de maand januari zijn hiertoe alle januari-waarnemingen achterelkaar geplaatst, waarna de (auto)correlatiecoëfficiënt is berekend. Duidelijk is dat door deze werkwijze er bij de maandovergang enig verlies van informatie plaatsvindt. Door het grote aantal waarnemingen is dit niet bezwaarlijk. Bij wijze van illustratie tonen de afbeelding B3.4 en B3.5 en B3.6 respectievelijk de Autocorrelation Function (ACF) en de Partial Autocorrelation Function (PACF) die met de bovenstaande werkwijze is verkregen voor de maand januari.

Afbeelding B3.4 Autocorrelation Function (ACF) van de in januari gemeten laagwateropzetten (1933-2003)



Afbeelding B3.5 Partial Autocorrelation Function (PACF) van de in januari gemeten laagwateropzetten (1933-2003)



Bij vergelijking van beide afbeeldingen met de theoretische uitkomsten van ARIMA-processen, blijkt dat het hier gaat om een ARIMA(1,0,0) proces met $\rho > 0$. (ref. SPSS Trends 6.1). Dit komt overeen met een 1-ste orde autoregressief proces.

De aldus per maand bepaalde autocorrelatiecoëfficiënten ontlopen elkaar niet veel. De kleinste coëfficiënt is 0,69 (juni); de grootste coëfficiënt is 0,73 (oktober). Hieruit mag worden geconcludeerd dat de autocorrelatiecoëfficiënt een *geen* periodieke component heeft en ongeveer 0,7 bedraagt.

5. Statistisch model

Op basis van de voorgaande analyse van de gemeten laagwateropzetten, is een statistisch model geformuleerd. Dit model houdt rekening met:

- de vastgestelde seizoensafhankelijkheid van de standaardafwijking van de laagwateropzet;
- autocorrelatie.

Met het statistische model worden hopelijk de gemeten laagwateropzetten zo goed mogelijk verklaard. Het verschil tussen een, met het statistische model voorspelde laagwateropzet en de gemeten laagwateropzet wordt het *residu* genoemd. Als er geen verklarende factoren over het hoofd zijn gezien, worden de waarden van de residuen door toeval bepaald.

De residuen zijn als volgt bepaald:

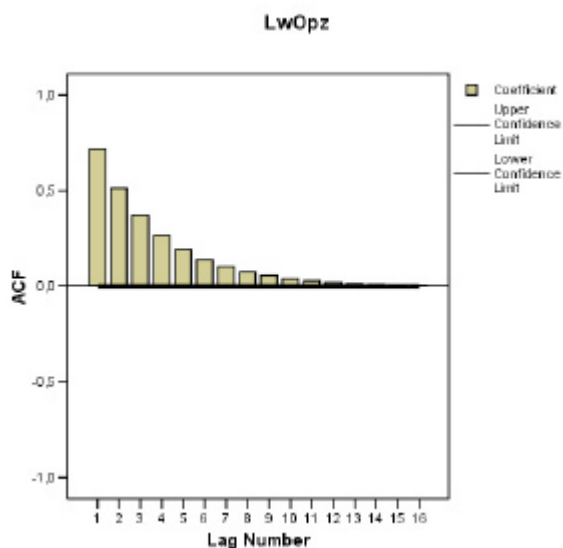
1. De reeks met de gemeten laagwateropzetten (LWO) is gecorrigeerd voor autocorrelatie:

$$\text{Res1}(i) = \text{LWO}(i) - 0.72 \times \text{LWO}(i-1) \quad (i=2, \text{ aantal waarnemingen})$$

2. De frequentieverdeling van de residuen Res1 is *per maand* vastgelegd door middel van een normaalverdeling. De parameters van deze normaalverdeling (gemiddelde en standaardafwijking) zijn door middel van optimalisatie bepaald.

Met dit statistische model is een 100-jarige reeks van laagwateropzetten gegenereerd. Enkele statistische eigenschappen van deze reeks worden weergegeven in de afbeeldingen B3.6 en B3.7.

Afbeelding B3.6 Autocorrelation Function (ACF) van de laagwateropzetten die zijn gegenereerd door het statistische model (100 jaar)

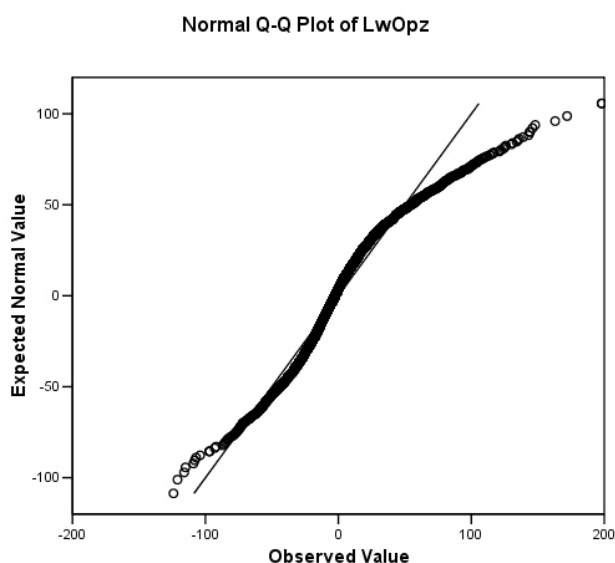


Afbeelding B3.6 toont de autocorrelatie functie van de gegenereerde reeks. Dit levert een vergelijkbaar resultaat op met afbeelding B3.4, met andere woorden de autocorrelatie is goed in het model verwerkt.

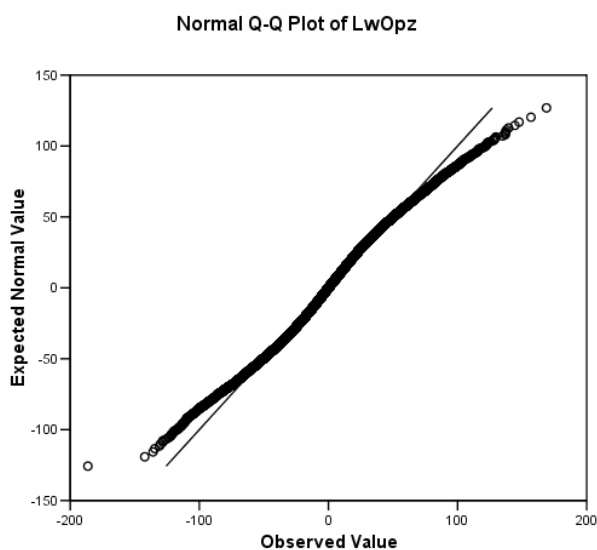
Om een indruk te krijgen van de juistheid van de frequentieverdeling van de gegenereerde waarden worden hieronder twee zogenaamde Q-Q plots getoond. Een Q-Q plot geeft een indruk van de range van de reeks, in vergelijking met een reeks die is verkregen op basis van een normaalverdeling (=rechte lijn).

Afbeelding B3.7 toont een Q-Q plot van de gemeten laagwateropzetten en afbeelding B3.8 toont, ter vergelijking, de Q-Q plot van de gegenereerde reeks.

Afbeelding B3.7 Q-Q plot van de gemeten laagwateropzetten (1933-2003)



Afbeelding B3.8 Q-Q plot van de gegenereerde laagwateropzetten



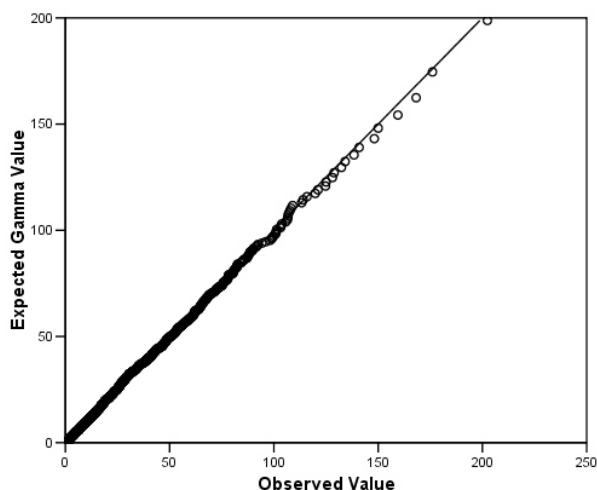
Bij vergelijking van afbeelding B3.8 (gegenereerde gegevens) en afbeelding B3.7 (gemeten gegevens), blijkt dat het statistische model te weinig extreme laagwateropzetten genereert.

Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door het feit dat de normale verdeling te weinig extreme laagwateropzetten genereert (afbeelding B3.8).

Een Gamma-verdeling blijkt veel beter te passen bij de gemeten laagwateropzetten. Ter illustratie toont afbeelding B3.9 de Gamma Q-Q plot van de (positieve) residuen voor de waarnemingen in de januari maanden.

Afbeelding B3.9 Gamma Q-Q plot van de (positieve) residuen voor de waarnemingen in de januari maanden

Gamma Q-Q Plot of Error for LwOpz from ARIMA, MOD_1 CON

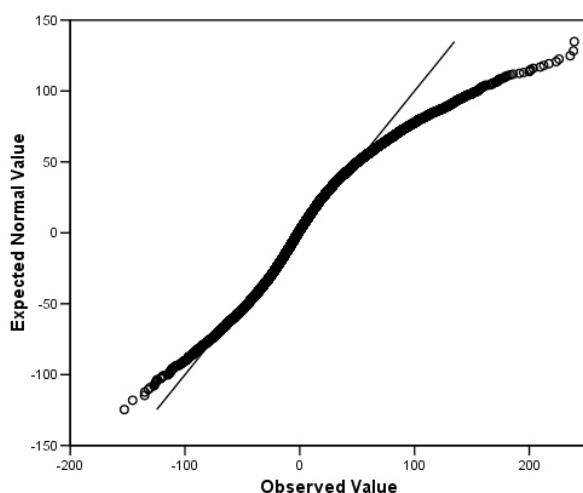


6. Resultaat

Naar aanleiding van de bovenstaande overwegingen is per maand een verbeterde formulering gemaakt voor de residuen Res1. Zowel van de positieve- als van de negatieve residuen is de best passende Gamma verdeling bepaald. De (normal) Q-Q plot van de gegenereerde 500-jarige reeks (afbeelding B3.10) komt goed overeen met Q-Q plot van de gemeten laagwateropzetten (afbeelding B3.7). De benadering van de residuen door Gamma-verdelingen (in plaats van normale verdelingen) heeft dus duidelijk beter statistisch model opgeleverd van de laagwateropzetten.

Afbeelding B3.10 Q-Q plot van de gegenereerde laagwateropzetten (verbeterd statistisch model)

Normal Q-Q Plot of LwOpz



Bijlage 4

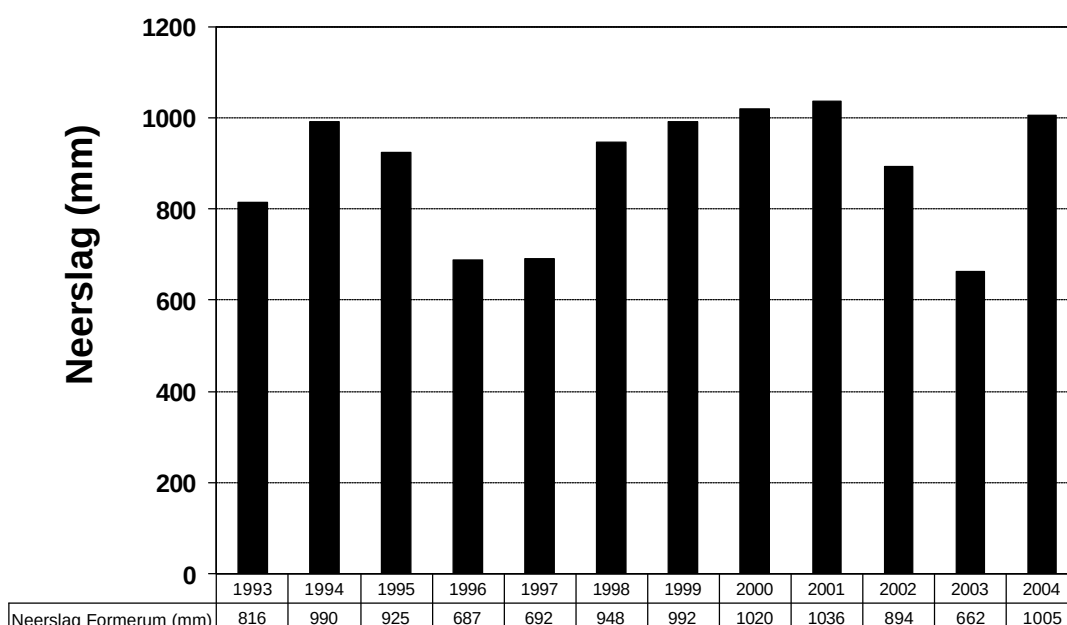
Statistische modellering van de neerslag Terschelling

1. Inleiding

In het kader van deze studie is de wateroverlast in extreem natte situaties berekend met het oppervlaktewatermodel SOBEK. In verband hiermee is het wenselijk te beschikken over een lange tijdreeks van de dagneerslag. Daarmee is het namelijk mogelijk uitspraken te doen over de te verwachten binnenwaterstanden bij herhalingstijden van 10, 25 en 100 jaar.

Voor deze studie zijn echter slechts dagwaarnemingen beschikbaar van het weerstation Formerum over de periode 1993 tot en met 2004. In deze studie is een lange tijdreeks gegenereerd met een theoretisch (statistisch) model. Bij een goede opzet van het statistische model zijn de gegenereerde reeksen in statistisch opzicht niet te onderscheiden van de waarnemingen. Afbeelding B4.1 toont de jaartotalen van de dagneerslag te Formerum.

Afbeelding B4.1 Jaartotalen van de neerslag te Formerum (1993-2004)



Uit afbeelding B4.1 blijkt dat met een jaarneerslag van 662 mm 2003 het droogste jaar was in de genoemde periode. De jaren 2000 en 2001 waren het natst met respectievelijk 1.020 mm en 1.036 mm. Het is aannemelijk dat in het algemeen de jaren 1993-2004 relatief nat waren. Het langjarig gemiddelde van de neerslag, gemeten op West Terschelling, bedraagt namelijk 789 mm. Het gemiddelde van de neerslag in de periode 1993-2004, gemeten te Formerum, bedraagt 889 mm.

In de paragrafen 2 tot en met 4 is de neerslagreeks worden onderzocht op de aspecten homogeniteit, periodiciteit en autocorrelatie. Paragraaf 5 handelt over het verschijnsel dat een verhoging van de buitenwaterstand vaak samengaat met relatief veel neerslag. Hierdoor kan in principe relatief vaak wateroverlast in de polder ontstaan.

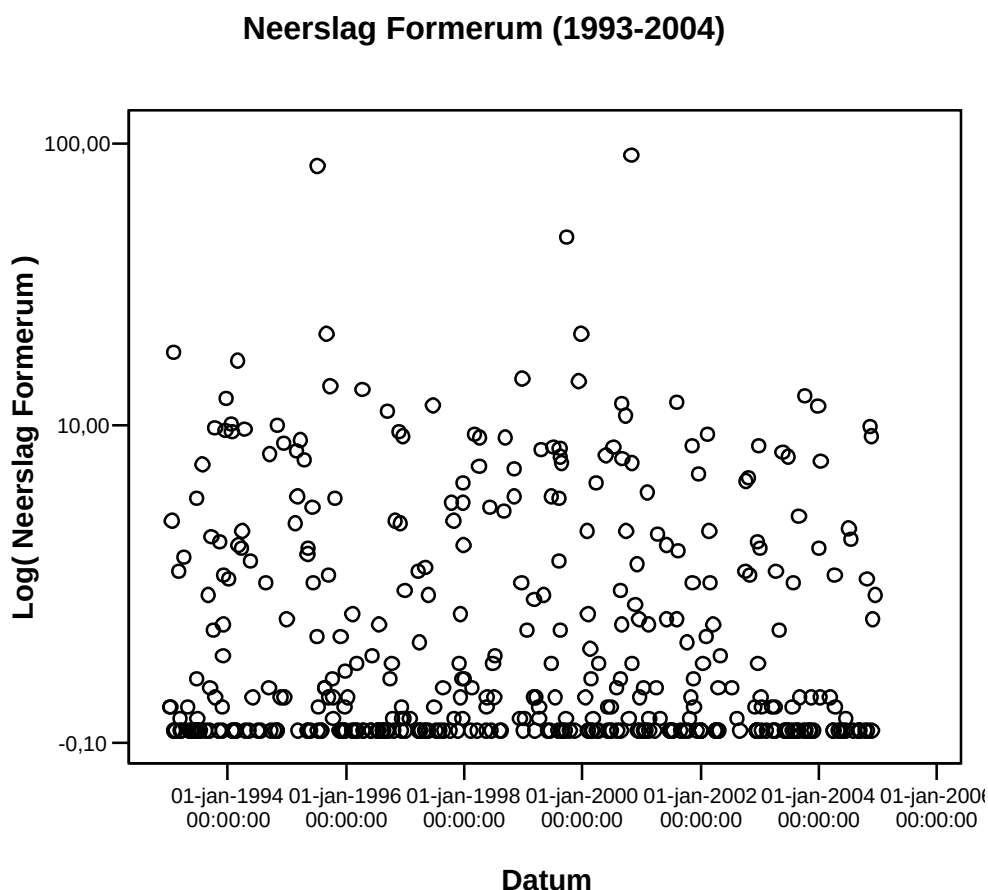
In paragraaf 6 wordt, op basis van de voorafgaande analyse, het statistisch model gepresenteerd voor de modellering van de neerslag. De laatste paragraaf is gewijd aan het resultaat van het statistische model: een door het statistische model gegenereerde

reeks met een lengte van 100 jaar van de neerslag. De eigenschappen van de gegenereerde reeks worden vergeleken met de gemeten neerslagen.

2. Homogeniteit

Een homogene tijdreeks is een tijdreeks waarvan het statistische gedrag van jaar tot jaar niet verandert. Om de homogeniteit te toetsen zijn in afbeelding B4.2 de waarnemingen van de neerslag te Formerum weergegeven over de periode 1993-2004. Ten behoeve van de leesbaarheid is het aantal weergegeven waarnemingen sterk beperkt door random-sampling toe te passen. Slechts 10% van alle waarnemingen wordt weergegeven op een *logaritmische schaal*.

Afbeelding B4.2 Scatter diagram van de neerslag te Formerum (1993-2004)



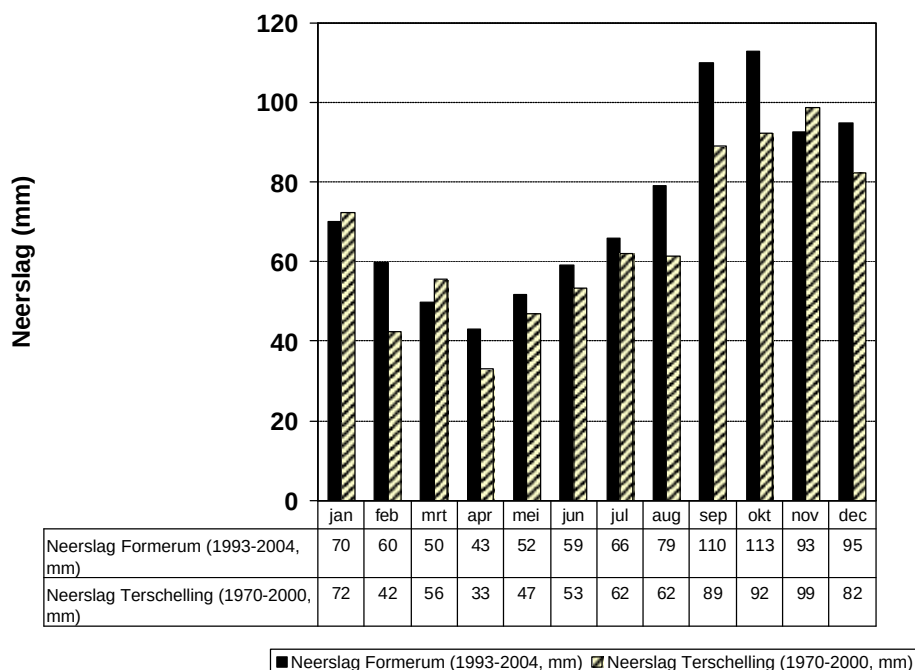
In afbeelding B4.2 is geen duidelijke trend of sprong zichtbaar. De conclusie luidt dat de reeks homogeen is.

Bekend is van andere (langere) waarnemingsreeksen van de neerslag, dat de jaarneerslag in de twintigste eeuw met circa 20% is toegenomen [Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Stowa rapport 26, 2004]. De 11-jarige waarnemingsreeks van de neerslag te Formerum is echter te kort om een dergelijke stijging vast te stellen.

3. Periodiciteit

Afbeelding B4.3 toont de maandgemiddelde neerslag van Formerum in de periode 1993-2004, vergeleken met de langjarig gemiddelden van de neerslag gemeten op West Terschelling (1970-2000).

Afbeelding B4.3 Maandgemiddelde neerslag van Formerum in de periode 1993-2004, vergeleken met de langjarig gemiddelden van de neerslag gemeten op West Terschelling (1970-2000)

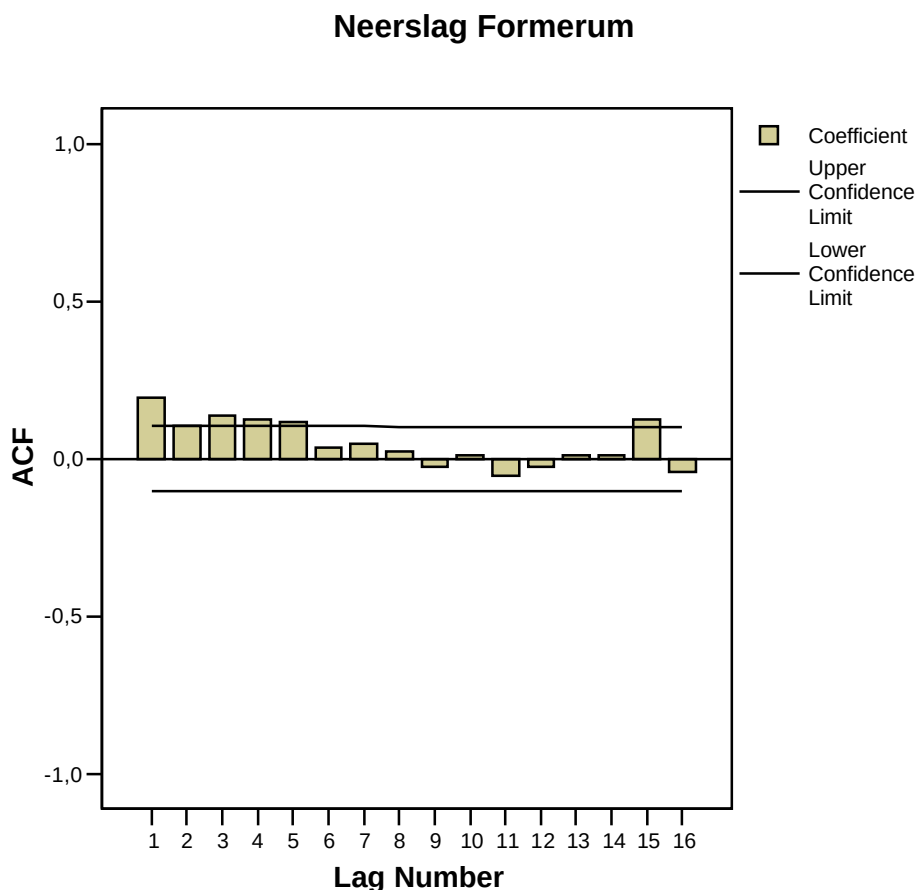


Uit afbeelding B4.3 lijkt dat de neerslag in Formerum en West Terschelling duidelijk een periodiek karakter heeft. De maanden september tot en met november zijn het natst (maandgemiddelde neerslag 89 mm – 99 mm op Terschelling); april is over het algemeen het droogst (33 mm op Terschelling).

4. Autocorrelatie

Om te onderzoeken of ook de autocorrelatiecoëfficiënt een periodiek component heeft, is deze coëfficiënt per maand bepaald. Voor de maand januari zijn hiertoe alle januari-waarnemingen achterelkaar geplaatst, waarna de (auto)correlatiecoëfficiënt is berekend. Duidelijk is dat door deze werkwijze er bij de maandovergang enig verlies van informatie plaatsvindt. Door het grote aantal waarnemingen is dit niet bezwaarlijk. Bij wijze van illustratie toont afbeelding B4.4 de Autocorrelation Function (ACF) die met de bovenstaande werkwijze is verkregen voor de maand januari.

Afbeelding B4.4 Autocorrelation Function (ACF) van de in januari gemeten neerslag te Formerum (1993-2004)



De autocorrelatiecoëfficiënt (lag=1) voor de maand januari is klein ($<0,2$). Dit geldt ook voor de overige kalender maanden.

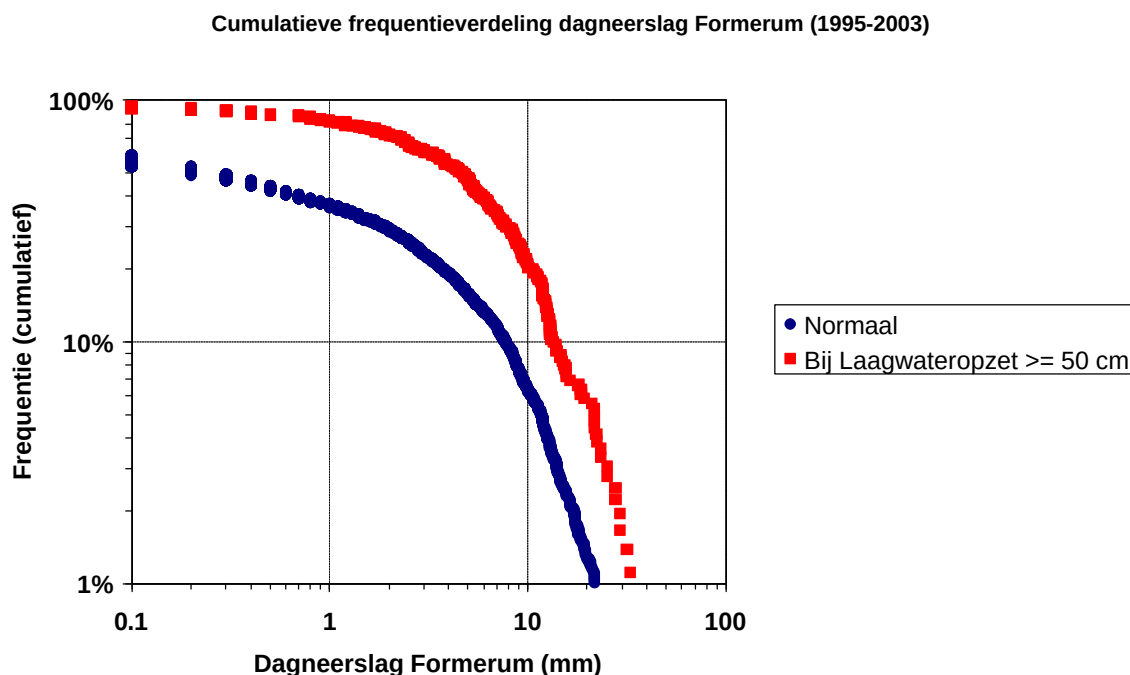
De geringe autocorrelatie wordt vermoedelijk veroorzaakt door het voorkomen van zowel natte als droge perioden. Met andere woorden: na een regendag is de kans op nóg een regendag groter dan na een droge dag. En: na een droge dag is de kans op nóg een droge dag groter dan na een regendag.

Vanwege het belang van het voorkomen van natte- en droge perioden voor de kans op wateroverlast in de polder, wordt hieraan in het statistische model van de neerslag (paragraaf 6) aandacht besteed.

5. Storingen

In de inleiding is reeds naar voren gekomen dat de wateroverlast in de polder Terschelling mogelijk verband houdt met het frequent optreden van hoge buitenwaterstanden in neerslagrijke perioden. Een verhoging van de buitenwaterstand komt dus relatief vaak voor in een periode met veel neerslag. Afbeelding B4.5 illustreert dit verschijnsel.

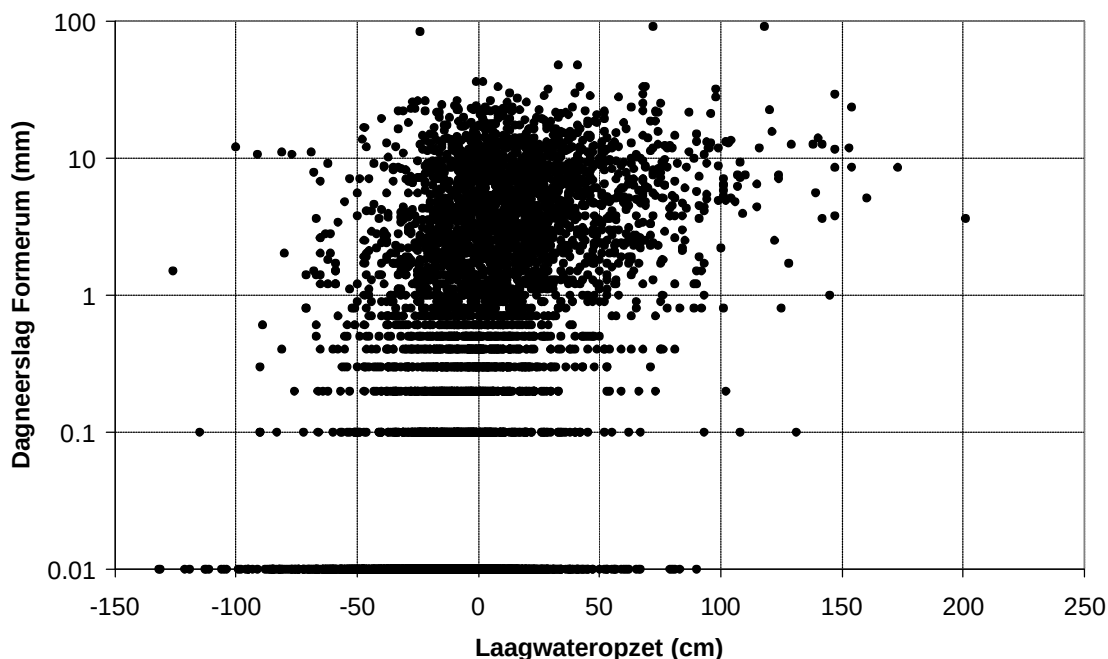
Afbeelding B4.5 Cumulatieve frequentieverdeling van de dagneerslag te Formerum (1995-2003)



In afbeelding B4.5 is met de blauwe stippen de cumulatieve frequentieverdeling weergegeven van de gemeten neerslagen te Formerum in de periode 1995-2003. Met de rode stippen zijn alleen de waarnemingen weergegeven die optreden bij een laagwateropzet ≥ 50 cm. Een laagwateropzet van 50 cm of meer komt slechts 5% van de tijd voor.

Doorgaans is er nauwelijks een verband te onderkennen tussen de verhoging van de buitenwaterstand en de neerslag. Dit blijkt uit afbeelding B4. 6 waarin beide parameters ten opzichte van elkaar zijn weergegeven.

Afbeelding B4.6 Het verband tussen de gemeten laagwateropzet (cm) en de dagneerslag van Formerum (1995-2003)



Uit het bovenstaande is geconcludeerd dat er alleen tijdens uitzonderlijke condities (storingen) sprake is van een verband tussen de laagwateropzet en de dagneerslag. In de volgende paragraaf zal worden beschreven hoe dit is verwerkt in het statistisch model van de neerslag.

6. Statistisch model

Op basis van de voorgaande analyse van de gemeten neerslag te Formerum en laagwateropzet, is een statistisch model voor de neerslag geformuleerd. Dit model houdt rekening met:

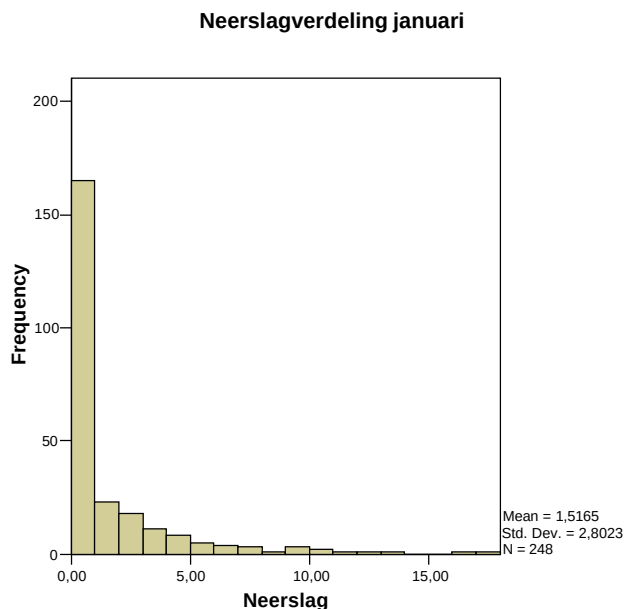
- seizoensafhankelijkheid;
- het voorkomen van zowel natte als droge perioden;
- storingen.

De seizoensafhankelijkheid is in het statistisch model verwerkt door per *maand* de volgende relaties vast te leggen:

- de (kans)verdeling van de lengte van een droge periode (dagen);
- idem, van een periode met neerslag;
- de kansverdeling van de neerslag in een periode met neerslag.

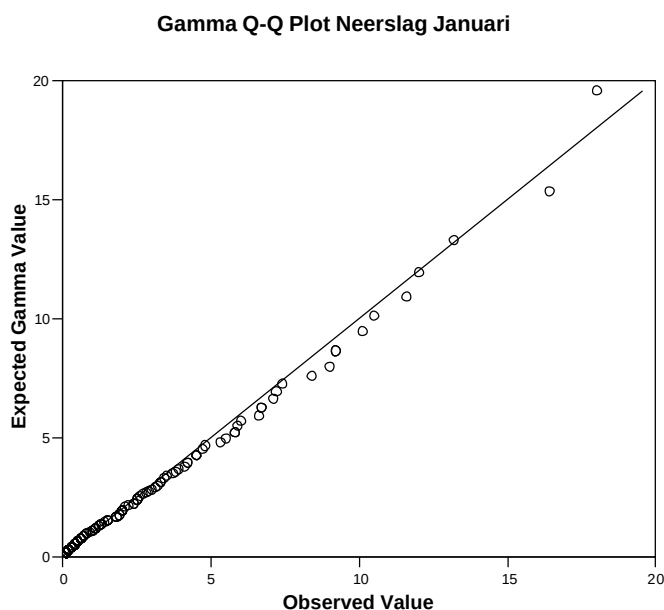
Ter illustratie toont afbeelding B4.7 een histogram van de gemeten neerslagen te Formerum in perioden met neerslag in de januari maanden van 1993-2004.

Afbeelding B4.7 Histogram van de gemeten neerslagen te Formerum (in perioden met neerslag) in de januari maanden van 1993-2004



De neerslagverdeling die is weergegeven in afbeelding B4.7 kan goed worden beschreven met een Gamma-verdeling. Dit blijkt uit de Gamma Q-Q plot in afbeelding B4.8.

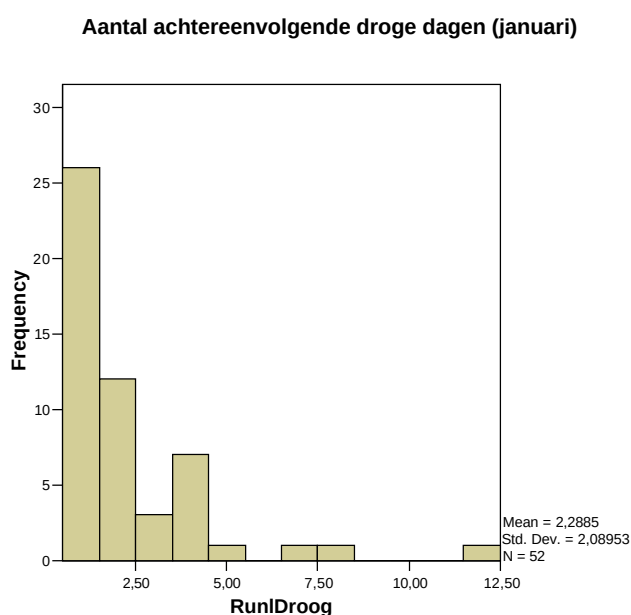
Afbeelding B4.8 Gamma Q-Q plot van de gemeten neerslagen te Formerum (in de perioden met neerslag) in de januari maanden van 1993-2004



Een Gamma Q-Q toont het verband tussen de waargenomen neerslag (x-as), en de *verwachte* neerslag als er sprake zou zijn van een Gamma kansverdeling (y-as).

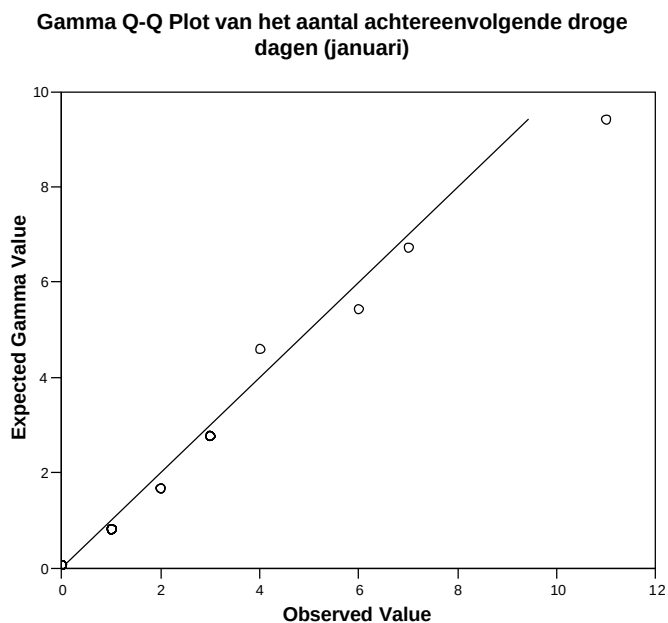
Afbeelding B4.9 toont een histogram van het aantal achtereenvolgende droge dagen in een januari maand op basis van de neerslaggegevens van Formerum (1993-2004).

Afbeelding B4.9 Aantal het aantal achtereenvolgende droge dagen in een januari maand op basis van de neerslaggegevens van Formerum (1993-2004)



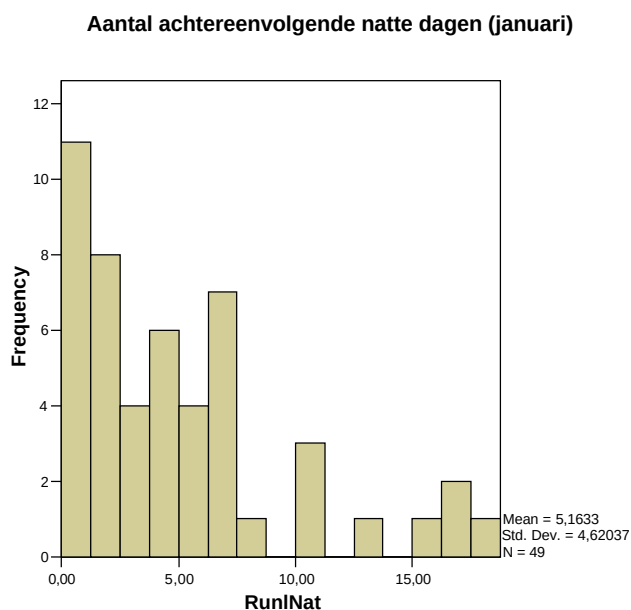
Ook het aantal achtereenvolgende droge dagen laat zich goed beschrijven met een Gamma verdeling. Dit blijkt uit afbeelding B4.10, waarin de Gamma Q-Q plot is weergegeven van het aantal achtereenvolgende droge dagen in een januari maand.

Afbeelding B4.10 Gamma Q-Q plot van het aantal achtereenvolgende droge dagen in een januari maand op basis van de neerslaggegevens van Formerum (1993-2004)

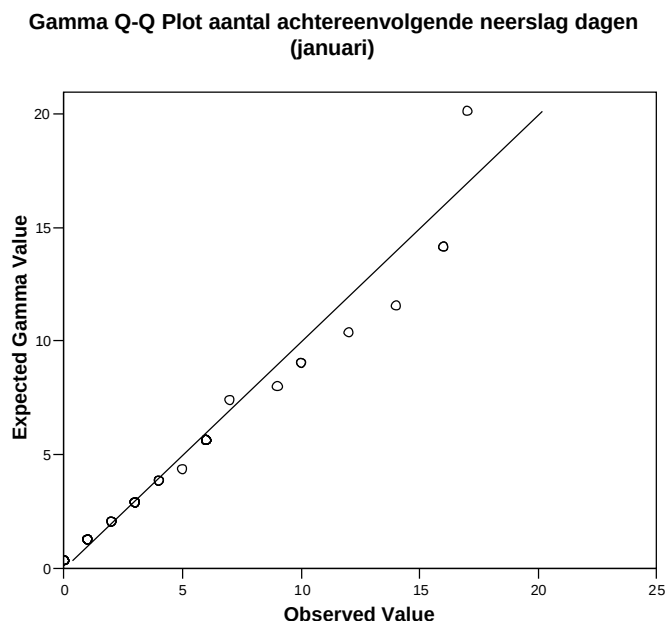


Ook de lengte van het aantal achtereenvolgende natte dagen in een januari maand laten zich goed door een Gamma verdeling beschrijving. Dit blijkt uit de afbeelding B4.11 en B4.12.

Afbeelding B4.11 Aantal het aantal achtereenvolgende natte dagen in een januari maand op basis van de neerslaggegevens van Formerum (1993-2004)

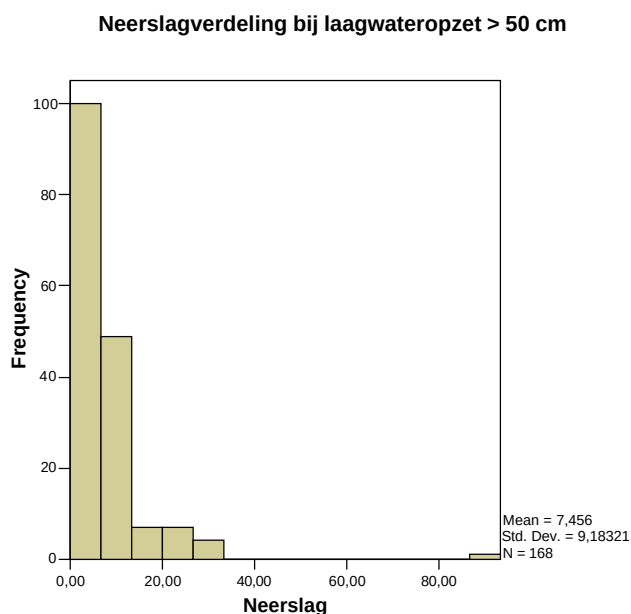


Afbeelding B4.12 Gamma Q-Q plot van het aantal achtereenvolgende neerslagdagen in een januari maand op basis van de neerslaggegevens van Formerum (1993-2004)



In paragraaf 5 is reeds ter sprake gekomen dat er tijdens storingen een verhoogde neerslagkans bestaat. Er wordt van uitgegaan dat een storingsperiode gekenmerkt wordt doordat er tenminste één dag sprake is van een laagwateropzet van 50 cm. Afbeelding B4.13 toont de gemeten dagneerslag te Formerum in perioden met een laagwateropzet van tenminste 50 cm (1993-2004).

Afbeelding B4.13 Gemeten dagneerslag te Formerum in perioden met een laagwateropzet van tenminste 50 cm (1993-2004)

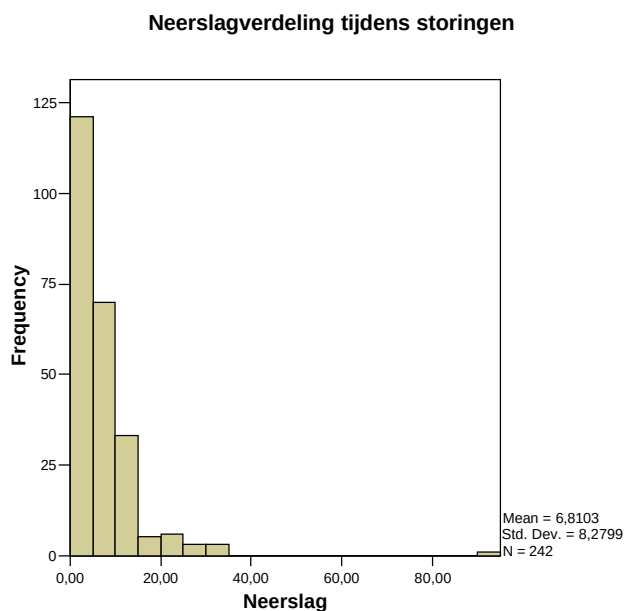


Het ligt voor de hand om te veronderstellen dat de dagen direct volgend en voorafgaand aan de dag met een laagwateropzet van tenminste 50 ook onder invloed staan van de storing. Als grens is een laagwateropzet gehanteerd van 30 cm. Er is dus sprake van een storingsperiode als:

- op de dag (/dagen) dat er sprake is van een laagwateropzet van tenminste 50 cm;
- op de dag (/dagen) direct hierop volgend en voorafgaand waar de laagwateropzet tenminste 30 cm bedraagt.

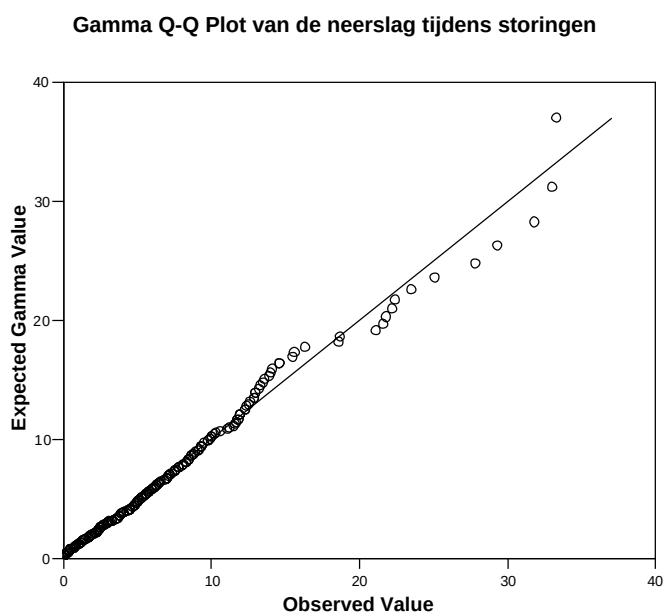
De neerslagverdeling van de aldus geformuleerde storingsperioden kennen een neerslagverdeling die vergelijkbaar is met de neerslagverdeling op dagen met een laagwateropzet van tenminste 50 cm. Dit blijkt bij vergelijking van afbeelding B4.13 met afbeelding B4.14 waarin het histogram van de gemeten dagneerslag in deze 'storingsperioden' is weergegeven.

Afbeelding B4.14 De dagneerslagverdeling tijdens storingen



De neerslagverdeling tijdens storingen (afbeelding B4.14) kan goed worden beschreven door een Gamma verdeling. Dit blijkt uit de Gamma Q-Q plot in afbeelding B4.15.

Afbeelding B4.15 Gamma Q-Q plot van de neerslag tijdens storingen



Op basis van het bovenstaande is de volgende procedure gehanteerd voor het genereren van een 100-jarige (dag)neerslagreeks:

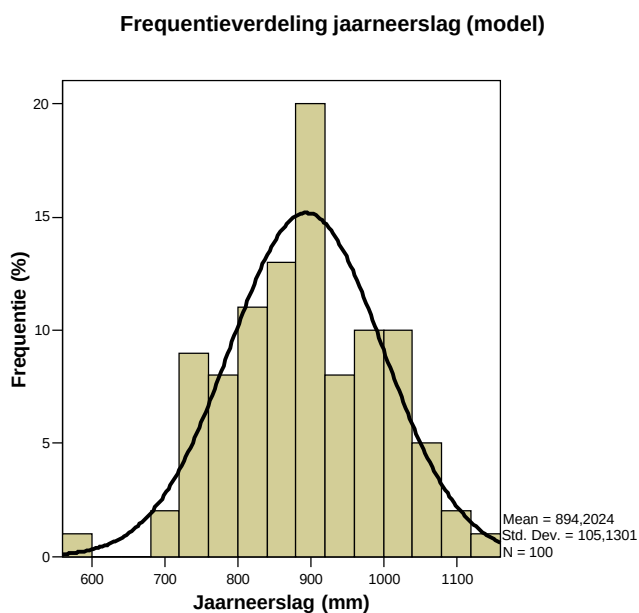
1. Genereren van een 100-jarige reeks met (daggemiddelde) wateropzet.
2. Identificatie van de dagen met storingen in deze reeks.
3. Bepaal steeds de lengte van een neerslagperiode (of droge periode).
4. Indien een neerslagperiode: bepaal per dag de neerslag; indien droge periode: neerslag = 0 (mm).
5. Als er sprake is van een storingsperiode: vervang de bovenstaande waarde(n) door per dag de neerslag die correspondeert met een storingsperiode.

In de volgende paragraaf worden de eigenschappen van de aldus gegenereerde neerslagreeks vergeleken met de gemeten dagneerslagen te Formerum in de periode 1993-2004.

7. Resultaat

Afbeelding B4.16 geeft een belangrijk resultaat weer van de gegenereerde 100-jarige neerslagreeks: de jaarsommen.

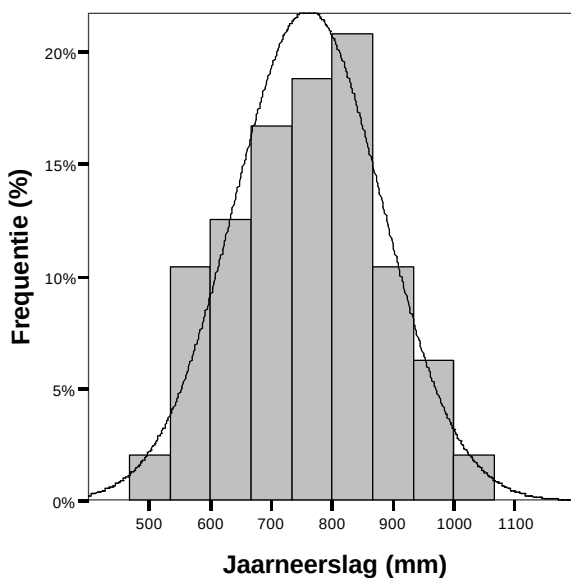
Afbeelding B4.16 Frequentieverdeling van de gegenereerde neerslag (jaarsommen)



Ter vergelijking toont afbeelding B4.17 de frequentieverdeling van de gemeten jaarneerslagen in de Kooy (1957-2004).

Afbeelding B4.17 Frequentieverdeling van de neerslag (jaarsommen de Kooy, 1957-2004)

Jaarneerslag De Kooy (1957-2004)

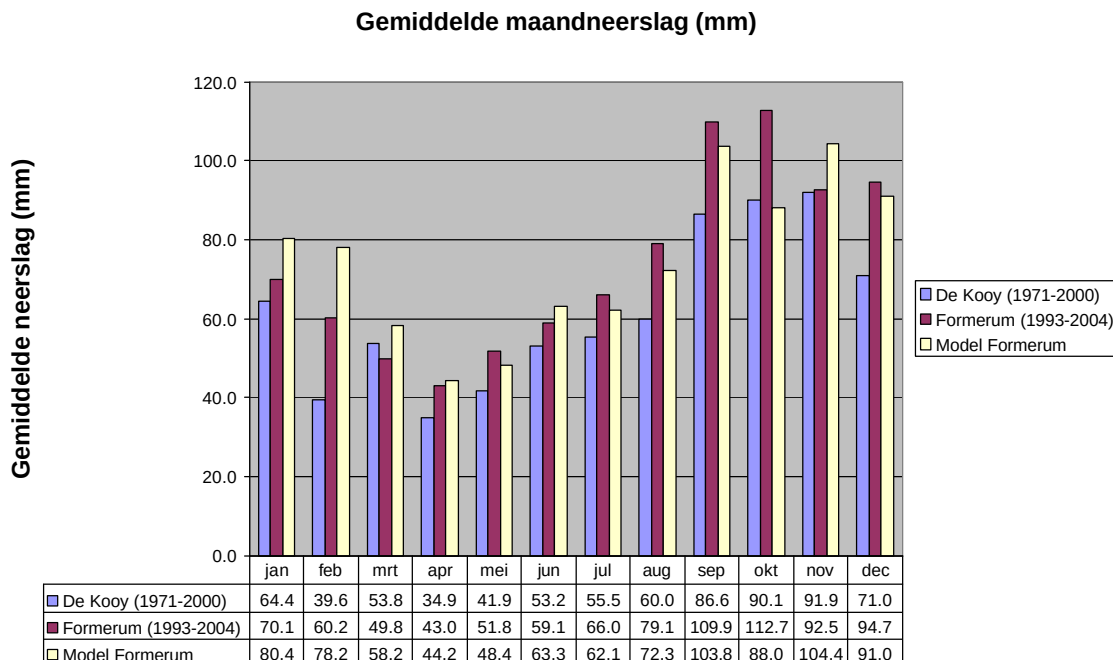


De gemiddelde jaarneerslag in de Kooy bedroeg in de periode 1957-2004 761 mm (standaardafwijking 122 mm); de gemiddelde gegenereerde jaarneerslag bedraagt 892 mm (standaardafwijking 105 mm).

Om inzicht te krijgen in de gegenereerde maandgemiddelde neerslag in vergelijking met langjarig gemeten waarden, tonen afbeelding B4.18 en B4.19 de gemiddelde- en standaardafwijking van de maandneerslag:

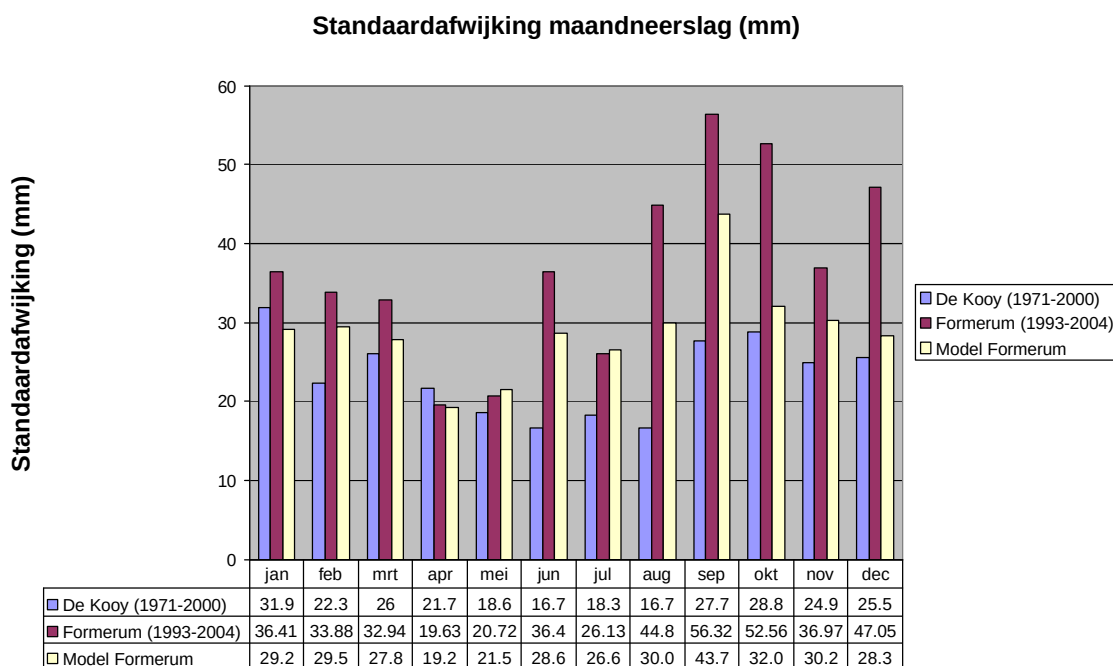
- gemeten in de Kooy (1971-2000);
- gemeten te Formerum (1993-2004);
- gegenereerd door het model (100-jarige reeks).

Afbeelding B4.18 Vergelijking van de gemiddelde maandneerslag (gegenereerd met het model en gemeten)



Over het geheel genomen zijn zowel de gemeten- als de met het model gegenereerde maandneerslagen in Formerum groter dan de meetwaarden in de Kooy.

Afbeelding B4.19 Vergelijking van de standaardafwijking van de gemiddelde maandneerslag (gegenereerd met het model en gemeten)



Uit afbeelding B4.19 blijkt dat de standaardafwijking van de, -met het model-, gegenereerde maandneerslagen over het geheel wat kleiner zijn dan de standaardafwijking op basis van de meetwaarden. De standaardafwijking van de gegenereerde maandneerslagen zijn echter over het algemeen groter dan de standaardafwijkingen op basis van de meetwaarden in de Kooy.

Tenslotte is nagegaan hoe het zit met het gemiddelde aantal dagen per jaar dat de neerslag groter is dan een gegeven waarde (gemeten in de Kooy en gegeneerd).

Neerslag (mm)	Model (& de Kooy)
> 0	222 (211)
> 0,1	217 (191)
> 1	147 (129)
> 10	24 (20)

Op basis van het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het statistische model resultaten levert die in statistisch opzicht goed te vergelijken zijn met langjarige meetreeksen. Het model vormt een voldoende basis voor het onderzoek naar de wateroverlast in de polder van Terschelling.

Bijlage 5

Beschrijving oppervlaktewatermodel

Inleiding

Voor het bepalen van de inundatie frequenties is voor het project GGOR Terschelling een oppervlaktewatermodel gemaakt. Hiervoor is gebruik gemaakt van SOBEK CF van WL|Delft Hydraulics.

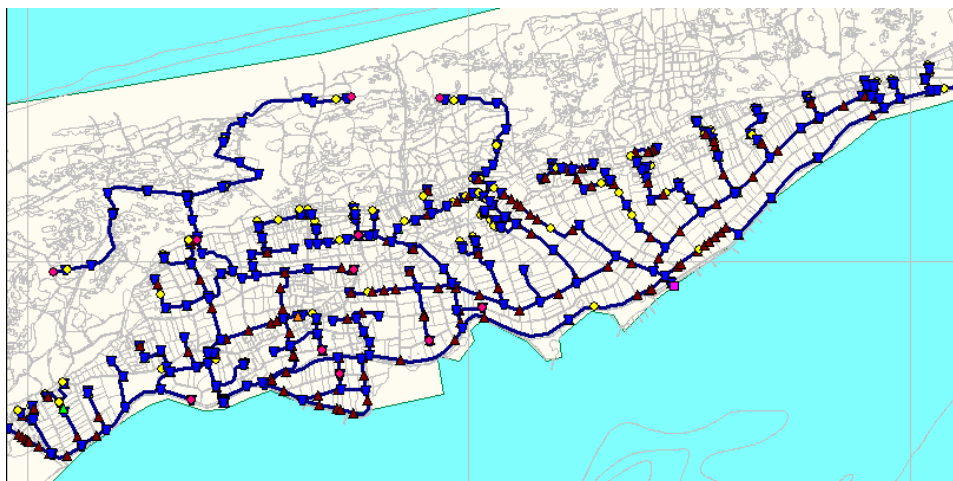
Opbouw van het model

Voor de opbouw van het oppervlaktewatermodel is gebruik gemaakt de legger van het Wetterskip. Hierin zijn de afmetingen en locatie van de waterlopen opgenomen en de hierin aanwezige kunstwerken als duikers, stuwen en gemalen.

In de legger ontbraken gegevens van waterlopen in de binnenduinrand en waterlopen in de duinen. Voor de waterlopen in de binnenduinrand zijn door het Wetterskip duikerhoogtes aangegeven. De waterloop naar de betreffende duiker is in een geleidelijke verloop in de bodemhoogte aansluitend aan de duikerhoogte gebracht. Het achterliggende peilgebied is met name gesimuleerd door een maaiveldhoogteverloop met een fictief profiel als waterloop. Aangezien het hier gaat om inschattingen en geen werkelijke waarden zal de modelfout hier groter zijn dan elders in het model.

Met betrekking tot de duinwaterlopen waren geen gegevens bekend. Speciaal voor GGOR Terschelling is de locatie van de duinwaterlopen ingemeten en zijn profielen en kunstwerken opgenomen. Deze gegevens zijn 1 op 1 overgenomen in het oppervlaktewatermodel. In afbeelding B5.1 is een beeld gegeven van het oppervlaktewatermodel met kunstwerken.

Afbeelding B5.1 Overzicht van het oppervlaktewatermodel

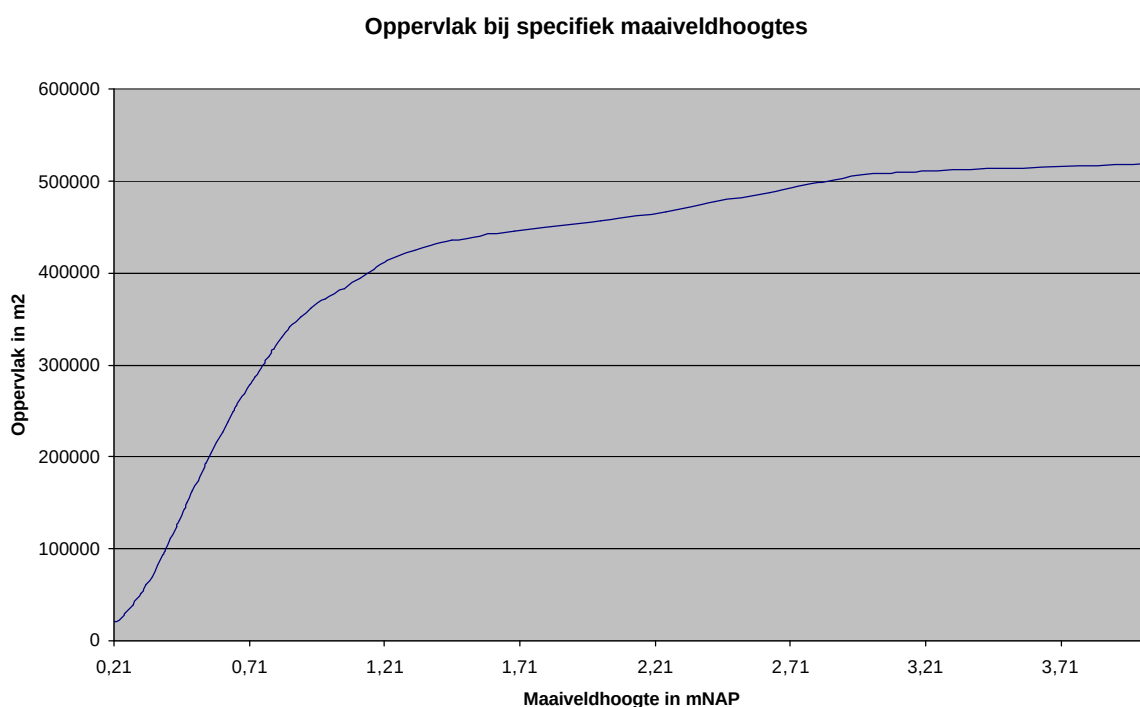


Voor het optimaliseren van het model (voorkomen van numerieke problemen) zijn lokaal wijzigingen in het model aangebracht. Overeenkomstig de onzekerheid in de profielen lagen deze locaties alle in de binnenduinrand.

Oppervlaktes gekoppeld aan het oppervlaktewatermodel

De maaiveldhoogtes ten behoeve van de inundaties zijn per peilgebieden opgenomen op basis van het AHN. De grotere peilgebieden in de polder zijn (die peilgebieden gelegen voor de beide spuisluizen) zijn opgedeeld in kleinere delen. Afbeelding B5.2 geeft een voorbeeld van een maaiveldverdeling in een peilgebied.

Afbeelding B5.2 Verdeling van maaiveldhoogtes in een peilgebied



De oppervlaktes gekoppeld aan de duinwaterlopen zijn niet gedefinieerd. Als eerste inschatting is gekozen om het hele gebied binnen 100 meter van een duinwaterloop mee te nemen. In het proces van ijking is dit oppervlak aangepast.

Kwel/wegzijging

Voor elk peilgebied is de kwel/wegzijging zoals bepaald met het grondwatermodel als constante opgenomen in de belasting van het peilgebied.

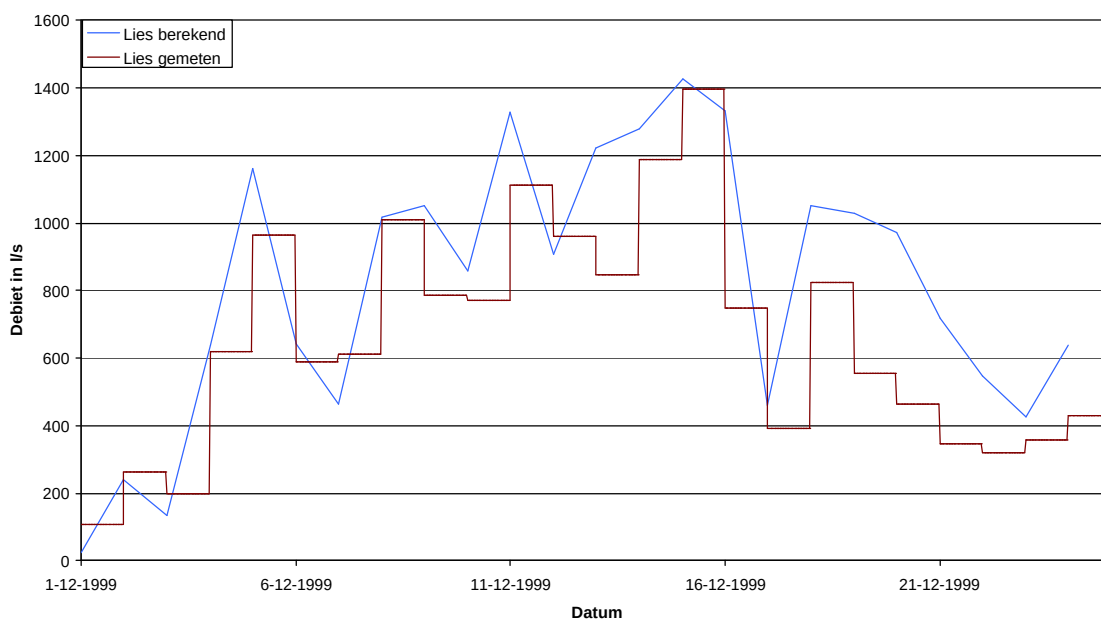
Belasting van het peilgebied

Het neerslag-afvoerproces vindt plaats per peilgebied (of delen daarvan). Het neerslag-afvoerproces wordt bepaald door het Kraijenhoff van der Leur onderdeel van het poldermodel (Zie Watersysteemanalyse Terschelling).

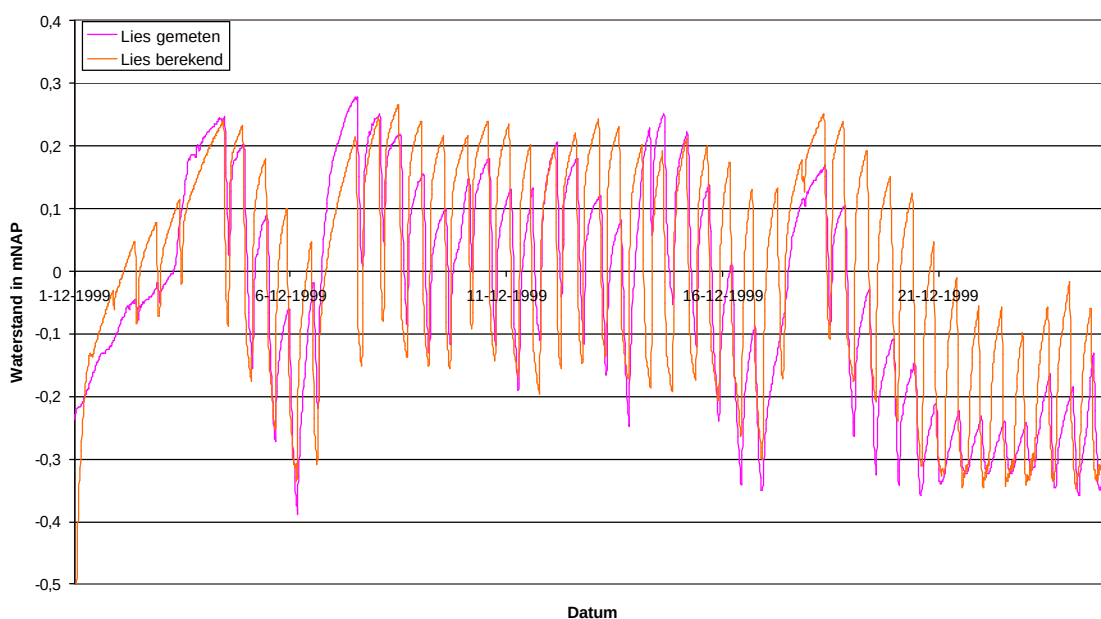
IJking

Het oppervlaktewatermodel is geijkt op de periode december 1999 (1 december tot en met 26 december). Gedurende deze periode is een fout opgetreden in het spuiproces (een spuiperiode is gemist door het falen van het geautomatiseerd systeem). Dit falen is in het model gebracht door de buitenwaterstand kunstmatig te verhogen. De uiteindelijke resultaten worden gepresenteerd in de afbeeldingen B5.3 tot en met B5.6.

Afbeelding B5.3 Debiet door de spuisluis Lies

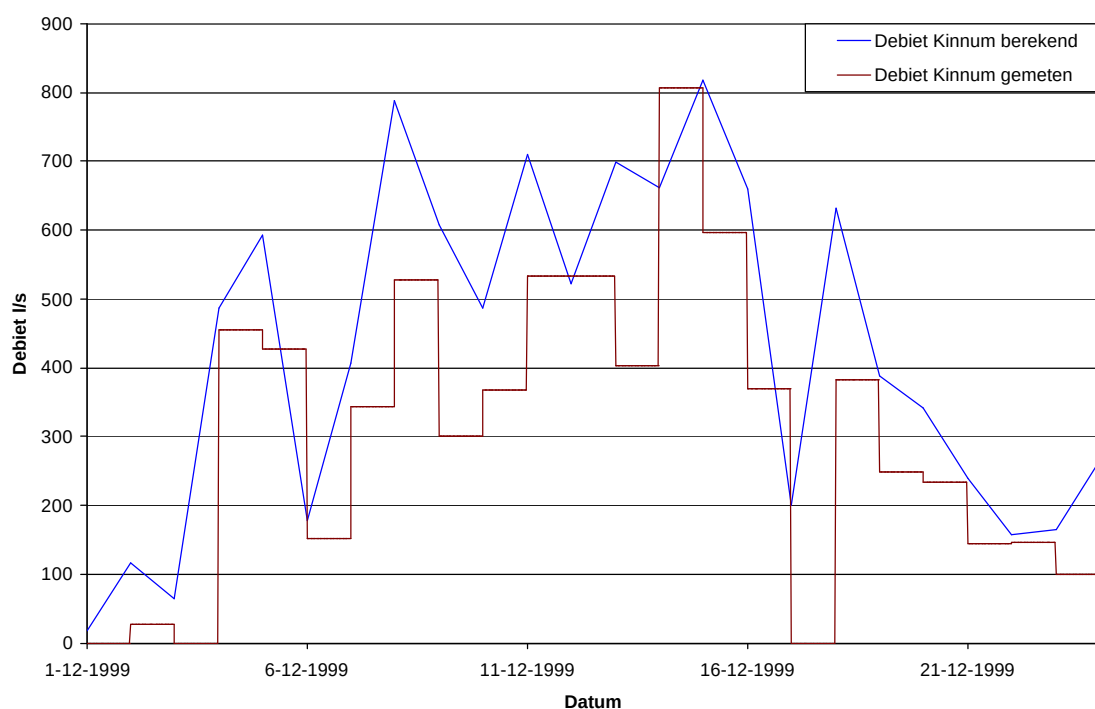


Afbeelding B5.4 Waterstanden in de polder nabij spuisluis Lies

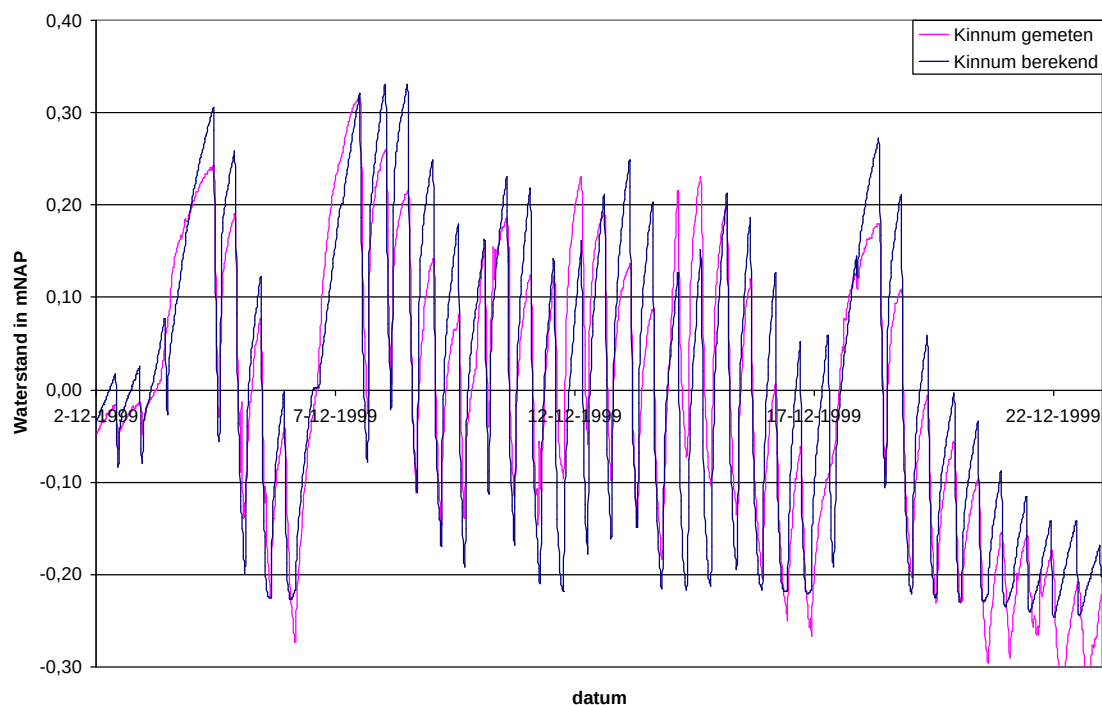


De piekwaterstanden en de debieten voor de spuisluis Lies zijn redelijk tot goed te noemen. Wel blijkt onder normale omstandigheden de amplitude berekend groter te zijn dan gemeten. Het vergroten van het wateroppervlak leidt niet tot een verbetering omdat dan de piekwaterstanden ook afnemen. Het oppervlak dat gekoppeld is aan de duinwaterlopen zal eveneens de pieken verlagen en is niet consistent met gegevens uit eerder onderzoek die juist wijzen op een groter afwaterend oppervlak.

Afbeelding B5.5 Debiet door spuisluis Kinnum



Afbeelding B5.6 Waterstanden in de polder nabij spuisluis Kinnum



Voor Kinnum geldt dat de piekwaterstanden redelijk tot goed overeen komen. Ook de amplitude komt redelijk overeen. De debieten liggen berekend iets hoger dan gemeten.

Bijlage 6

Kostenraming maatregelenpakketten

Maatregelenpakket 1	aantal	eenheid	prijs in €	totaal in €	
Bemaling Midsland aan Zee					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10000	10.000	
Aanbrengen drainage rond 100 mm incl. herstel groen	1.000	m	20	20.000	
Aanbrengen verzamelleiding rond 160	100	m	50	5.000	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	25	st	150	3.750	
Pompput + voeding	1	st	10.000	10.000	
Duikers rond 20cm (lengte 10 meter)	7	st	550	3.850	
Sloot (1,2 meter diep)	1.500	m	12	18.000	
Voedingskabel voor gemaaltje	100	m	45	4.500	
Gemaaltje 0,9m3/min	1	st	25.000	25.000	
Besturingskast	1	st	3.000	3.000	
Totaal bemaling Midsland aan Zee					103.100
Detail ontwatering recreatieterreinen					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	30000	30.000	
Greppels en draingreppels	12.800	m1	7	89.600	
Duikers	250	st	250	62.500	
Totaal ontwatering recreatieterreinen					182.100
Drainage Midsland					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	25.000	25.000	
Drainage in weg 1,1 m-mv (klinkers) (aansluiting percelen mogelijk)	2.800	m1	40	112.000	
Duikers	200	st	550	110.000	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	60	st	150	9.000	
Totaal drainage Midsland					256.000
Drainage Baaiduinen					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10.000	10.000	
Drainage in fietspaden (aansluiting percelen mogelijk) incl. herstel groen	1.000	m1	20	20.000	
Duikers	35	st	550	19.250	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	20	st	150	3.000	
Totaal onderbemaling Baaiduinen					52.250

Drainage Hoorn					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10.000	10.000	
Drainage in fietspaden (aansluiting percelen mogelijk) incl. herstel groen	2.500	m1	20	50.000	
Duikers	55	st	550	30.250	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	50	st	150	7.500	
Totaal drainage Hoorn					97.750
Dempen sloten in duinen					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	25.000	25.000	
Dempen sloten incl herstel groen	1	post	100.000	100.000	
P.M. compenserende maatregelen	1	post	50.000	50.000	
Totaal dempen sloten					175.000
Aanpassingen Europalaan					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10.000	10.000	
Drainage in weg (klinkers) (aansluiting percelen mogelijk)	1.700	m1	20	34.000	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	35	st	150	5.250	
Duikers wegen	4	st	3.000	12.000	
Kleine duikers	25	st	550	13.750	
Watergang (1,5 m)	700	m1	20	14.000	
Aankoop grond watergang	1	ha	20.000	20.000	
Totaal aanpassing Europalaan					109.000
Zeegemalen					
Pomp 81 m3/min incl. aanpassing constructie	1	st	700000	700000	
Pomp 55 m3/min incl. aanpassing constructie	1	st	600000	600000	
besturingskast	2	st	15000	30000	
Kabel 4 x 6mm2	2000	m	50	100000	
Totaal zeegemalen					1.430.000
Precario					
Aanpassingen kabels en leidingen / herstel eigendommen / aankoop grond	1	post	100.000	100.000	
Totaal precario					100.000
Subtotaal					2.405.200
Onvoorzien	10	%			240.520
Subtotaal					2.645.720
AK, winst,risico	10	%			264.572
Totaal excl. bestek en dir.voering					2.910.292
Directievoering en toezicht	7	%			203.720
Engineering en bestek	10	%			291.029
Totaal algemeen in €					3.405.042

Maatregelenpakket 2	aantal	eenheid	prijs in €	totaal in €	
Bemaling Midsland aan Zee					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10000	10.000	
Aanbrengen drainage rond 100 mm incl. herstel groen	1.000	m	20	20.000	
Aanbrengen verzamelleiding rond 160	100	m	50	5.000	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	25	st	150	3.750	
Pompput + voeding	1	st	10.000	10.000	
Duikers rond 20cm (lengte 10 meter)	7	st	550	3.850	
Sloot (1,2 meter diep)	1.500	m	12	18.000	
Voedingskabel voor gemaaltje	100	m	45	4.500	
Gemaaltje 0,9m3/min	1	st	25.000	25.000	
Besturingskast	1	st	3.000	3.000	
Totaal bemaling Midsland aan Zee					103.100
Detail ontwatering recreatieterreinen					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	30000	30.000	
Greppels 0,7 meter diep / draingreppels	12.800	m1	7	89.600	
Duikers	250	st	250	62.500	
Totaal ontwatering recreatieterreinen					182.100
Onderbemaling Midsland					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	30.000	30.000	
Drainage in weg 1,1 m-mv (klinkers) (aansluiting percelen mogelijk)	2.800	m1	40	112.000	
Duikers	200	st	550	110.000	
Onderbemaling met gemaal 6,95m3/min	1	st	100.000	100.000	
Aanleg voedingskabel	100	m1	50	5.000	
Besturingskast	1	st	6.000	6.000	
Aanleg waterloop 1,5 meter diep en kade	3.000	m1	15	45.000	
Duikers wegen ringsloot	11	st	3.000	33.000	
Kleine duikers ringsloot	25	st	1.000	25.000	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	55	st	550	30.250	
Aankoop grond ringsloot / kade	5	ha	20.000	100.000	
Totaal onderbemaling Midsland					596.250
Onderbemaling Baaiduinen					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10.000	10.000	
Drainage in fietspaden (aansluiting percelen mogelijk) incl. herstel groen	1.000	m1	20	20.000	
Duikers voor drains	35	st	550	19.250	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	20	st	150	3.000	
Onderbemaling met gemaal 1,28m3/min	1	st	30.000	30.000	
Aanleg voedingskabel	100	m1	50	5.000	
Besturingskast	1	st	3.000	3.000	
Aanleg waterloop 1,5 meter diep en kade	1.300	m1	15	19.500	
Duikers wegen ringsloot	6	st	3.000	18.000	
Kleine duikers ringsloot	15	st	1.000	15.000	
Aankoop grond ringsloot	2	ha	20.000	40.000	
Totaal onderbemaling Baaiduinen					182.750

Drainage Hoorn					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10.000	10.000	
Drainage in fietspaden (aansluiting percelen mogelijk) incl. herstel groen	2.500	m1	20	50.000	
Duikers	55	st	550	30.250	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	50	st	150	7.500	
Totaal onderbemaling Hoorn					97.750
Dempen sloten in duinen					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	25.000	25.000	
Dempen sloten incl. herstel groen	1	post	100.000	100.000	
P.M. compenserende maatregelen	1	post	50.000	50.000	
Totaal dempen sloten					175.000
Aanpassingen Europalaan					
Vooronderzoek en monitoring	1	post	10.000	10.000	
Drainage in weg (klinkers) (aansluiting percelen mogelijk)	1.700	m1	20	34.000	
Inspectieputten (doorspuitpunten)	35	st	150	5.250	
Duikers wegen	4	st	3.000	12.000	
Kleine duikers	25	st	550	13.750	
Watergang (1,5 m)	700	m1	20	14.000	
Aankoop grond watergang	1	ha	20.000	20.000	
Totaal aanpassing Europalaan					109.000
Precario					
Aanpassingen kabels en leidingen / herstel eigendommen / aankoop grond	1	post	100.000	100.000	
Totaal precario					100.000
Subtotaal					1.545.950
Onvoorzien	10	%			154.595
Subtotaal					1.700.545
AK, winst,risico	10	%			170.055
Totaal excl. bestek en dir.voering					1.870.600
Directievoering en toezicht	7	%			130.942
Engineering en bestek	10	%			187.060
Totale kosten ingrepen waterhuishouding in €					2.188.601
Compensatie landbouw					
Uitkopen landbouwfunctie	200	ha	16.000	3.200.000	
Totaal compensatie landbouw					3.200.000
Totale kosten maatregelenpakket 2 in €					5.388.601

Figuren