

Gevolgen van toekomstverandering voor het Natte Hart van Nederland in 2050

**Ontwikkeling van quickscan-repromodel PAWN – Light
en een aantal verkennende analyses**

Afstudeerverslag H. van Donk

Colofon

Titel rapport: Gevolgen van toekomstverandering voor het Natte Hart van Nederland in 2050 - Ontwikkeling van een quickscan repromodel PAWN – Light en een aantal verkennende analyses

Status: Definitief

Versie: 1.0

Omvang: 56 pagina's (exclusief bijlagen)

Datum: 30-6-2009

Auteur: H. van Donk

Studentnummer: 0005207

Emailadres: harmjanvandonk@gmail.com



Opleidingsinstituut: Universiteit Twente

Faculteit: Construerende Technische Wetenschappen (CTW)

Opleiding: Civiele Techniek

Richting: Waterbeheer

Adres: Postbus 217, 7500 AE Enschede

Website: www.cit.utwente.nl

Afstudeercommissie: Prof.ir. E. van Beek
dr.ir. M.J. Booij

In opdracht van:



Vestiging: Locatie Rotterdamseweg

Unit: Verkenning en Beleid (VEB)

Afdeling: Klimaatadaptie en Risico's (KLR)

Adres: Rotterdamseweg 185, 2629 HD , Delft

Website: www.deltares.nl

Dagelijkse begeleiding: drs. M. Haasnoot

Voorwoord

Ter afsluiting van mijn studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente heb ik deze scriptie geschreven. Dit rapport is het resultaat van een onderzoek naar de gevolgen van toekomstverandering voor het Natte Hart dat ik bij Deltares in Delft heb uitgevoerd. Hierbij is een groot deel van het onderzoek besteed aan het ontwikkelen van een repromodel. Nu dit rapport en dus het afstudeeronderzoek is afgerond, kan ik met voldoening terugkijken op een leuke en leerzame periode. Deze ervaring heb ik te danken aan een aantal personen. Daarom wil ik graag van deze gelegenheid gebruik maken om een aantal mensen te bedanken voor hun bijdrage aan mijn onderzoek.

Mijn dank gaat in de eerste plaats uit naar mijn afstudeercommissie. Eelco, hartelijk bedankt voor de mogelijkheid die je me hebt geboden om mijn afstudeeronderzoek bij Deltares uit te voeren en alle commentaren en uitleg op de moeilijke punten. Martijn, bedankt voor de goede sturing, opbouwende kritiek en de begeleiding van het proces. Mijn dagelijks begeleidster Marjolijn wil ik graag bedanken voor alle goede aanwijzingen, ideeën en sturing. Je hebt mij enorm geholpen om tot dit resultaat te komen. Je begeleiding was dan ook stimulerend, veel dank daarvoor. Daarnaast een dankwoord aan de stichting Deltares, waar ik ook werd betrokken bij andere activiteiten zoals een methodensessie verkenning en de ontwikkeling van een watergame. Dit was leuk om te doen als kennisverbreding en zo mee te kijken in de keuken van een kennisinstituut als Deltares.

Tenslotte, en zeker niet op de laatste plaats, zijn er nog vrienden, familie en andere naasten die hebben bijgedragen aan mijn onderzoek. Ieders belangstelling en aanmoediging gedurende het afstuderen hebben mij erg gesteund. Lieve ouders, zonder jullie morele en andere steun was ik nooit zover gekomen. Dank jullie wel. Ingeborg, ten eerste bedankt voor het luisteren naar mijn verhalen over modellen, parameters en calibratie maar natuurlijk vooral voor je grote liefde en support gedurende het hele afstudeerproces.

Harm-Jan van Donk, 30 juni 2009

Samenvatting

Het Natte Hart van Nederland is het gebied dat bestaat uit de Randmeren, het IJsselmeer en het Markermeer. Dit gebied is van groot belang voor de Nederlandse economie. Dit komt doordat het gebied veel functies heeft; onder meer landbouw, scheepvaart, drinkwater, recreatie, industrie en waterberging.

De maatschappij en leefomgeving zijn continu aan verandering onderhevig. Wat betreft het functioneren van het Natte Hart wordt verwacht dat zowel klimaatverandering als sociaal-economische veranderingen invloed hebben. De verwachte veranderingen zijn vastgelegd in scenario's. De huidige scenario's geven verwachtingen voor het jaar 2040 (sociaal-economische veranderingen) en 2050 (klimaatverandering).

Van de scenario's wordt verwacht dat ze verschillende gevolgen hebben voor de maatschappij. In dit onderzoeksproject is onderzocht wat de schade voor de landbouw en de schade voor de scheepvaart in het jaar 2050 zal zijn. De schade voor landbouw is het gevolg van een lage grondwaterstand en een tekort aan beregeningswater waardoor gewassen suboptimaal zullen groeien of zelfs zullen sterven. Scheepvaart kan hinder ondervinden door lagere peilen, waardoor de bevaarbaarheid beperkt wordt.

Om de gevolgen van de scenario's te kunnen kwantificeren en zodoende een verwachting te geven van de gevolgen is tijdens dit onderzoek een model ontwikkeld, genaamd het PAWN-Light model. Met dit model kunnen de verschillende scenario's voor klimaat en toekomst worden doorgerekend. De gegevens die per scenario verschillen en waar dus mee gevarieerd wordt in het model zijn evaporatie, neerslag en de Rijnafvoer (per klimaatscenario) en arealen van typen grondgebruik (per sociaal-economisch scenario). In dit model zijn de verschillende compartimenten land gekoppeld aan compartimenten oppervlaktewater. Deze zijn gekoppeld aan het IJsselmeer en Markermeer. Vervolgens wordt het peil van deze meren en de grondwaterstanden en het bodemvochtgehalte in de landelijke gebieden voorspeld. Met deze gegevens wordt de schade berekend voor zowel de landbouw als de scheepvaart.

Met het model zijn acht verkennende analyses uitgevoerd die laten zien dat er significante verschillen zijn tussen de effecten van de scenario's. De sociaal-economische scenario's laten zien dat ze een verlagend effect hebben op de schadegevolgen voor het systeem van het Natte Hart. Dit wordt veroorzaakt door afname aan landbouwareaal (-10% voor Regional Communities scenario en -17% voor het Global Economy scenario). De overlevende fractie landbouw is echter gelijk aan het referentie scenario. De sociaal-economische scenario's hebben vrijwel geen invloed op de scheepvaartbeperking. De klimaatscenario's hebben meer invloed op het systeem. Met name het meest extreme klimaatscenario W+ heeft een significant invloed op het systeem en zijn functioneren, gemiddeld is de toename van de schade voor de landbouw 31%. De eerste indicatie van het PAWN – Light model is dat het huidig beleid niet alle toekomstveranderingen aan kan.

Wat betreft het model wordt geadviseerd om verdere calibratie en validatie uit te voeren. Zo kan er gezorgd worden dat bij verdere analyse van scenario's of het implementeren van maatregelen realistische schadegetallen voor de landbouw uit het model komen. Voor de scheepvaartschade wordt geadviseerd een eenvoudige schademodule aan het PAWN – Light model te koppelen.

Summary

The Wet Heart of the Netherlands is the area that contains the IJsselmeer, Markermeer and the Randmeren. It is situated in the middle of the Netherlands and the area is of great importance to the Dutch economy. This is caused by the multifunctional characteristics of the area; the main functions are safety, agriculture, drinking water, shipping, recreation, water storage and industry.

The society and environment are subject to continual change. Considering the functioning of the Wet Heart it is expected that both climate change and social-economic change will have their influence. The possible changes are anchored in future scenarios, which have their own development directions. These scenarios give expectations for the year 2040 (social-economic changes) and 2050 (climate change). The climate and socio-economic scenarios will have different consequences for the society. In this research the damage for agriculture and shipping in 2050 has been investigated. The damage for agriculture is the consequence of low groundwater levels, low soil moisture and a shortage of irrigation water. This will cause drought damage or starvation for the crops. Shipping will suffer consequences because of low water levels in the lakes, which has a negative influence on the transport capacity of the ships.

In order to quantify and make an expectation of the scenario consequences a model has been developed; which is named the PAWN – Light model. In this model the scenarios for socio-economic changes and climate change have been implemented. The data that varies between the scenarios is evaporation, precipitation and Rijn discharge (for climate scenarios) and area surfaces for the various types of land use. In the PAWN – Light model the compartments land are connected to the compartment surface water. These are connected to the IJsselmeer and Markermeer. The level of these lakes and the groundwater levels and soil moisture content will be calculated. The damage caused to both agriculture and shipping can be derived from these predicted levels.

Using the PAWN - Light model eight scenario-runs have been carried out which show that significant effects are present in the scenario results. The socio-economic scenarios have a decreasing effect on damage consequences. This is caused by the surface decrease of the agricultural areas (-10% for the Regional Communities scenario and -17% for the Global Economy scenario). The remaining fraction agriculture is equal to the fraction in the reference scenario. The climate scenarios have a larger effect on the Wet Heart. Especially the climate scenario W+ has a large effect on the consequences for the IJsselmeer system. The increase of damage for agriculture is 31%. This first indication of the PAWN – Light model is that the current policy is not capable of correcting these consequences and adapting measures should be considered to be able to cope with future changes.

Considering the model it is advised to execute further calibration and validation. This way the model can give more realistic values for agricultural damage when implementing scenarios or measures for future analysis. To determine shipping damage it is advised to implement a basic damage module for shipping into the PAWN – Light model.

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting	iii
Summary	iv
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Studiegebied	2
1.2.1 Systeem Natte Hart	2
1.2.2 Peilbeheer	3
1.3 Probleemstelling	4
1.4 Doelstelling	5
1.5 Leeswijzer	5
2 Wateraanbod	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Wateraanbod van het Natte Hart	7
2.3 Wateraanbod en klimaatverandering	8
2.3.1 Verandering wateraanbod	8
2.3.2 Klimaatscenario's	8
2.3.3 Rekenmethode KNMI	8
2.3.4 Gebruik van de klimaatscenario's	10
3 Watervraag	11
3.1 Functie zoetwatervoorziening	11
3.1.1 Beschrijving systeem en huidige toestand	11
3.1.2 Landbouw	12
3.1.3 Doorspoeling	12
3.1.4 Industrie	13
3.1.5 Peilbeheer	13
3.1.6 Drinkwater	13
3.1.7 Zoetwatervoorziening in de toekomst	14
3.1.8 Verdringingsreeks	14
3.2 Functie Scheepvaart	15
3.2.1 Scheepvaart in het Natte Hart	15
3.2.2 Schade scheepvaart	16
3.2.3 Effecten klimaatverandering op de scheepvaartfunctie	17
3.3 Sociaal-economische toekomstscenario's	17
3.3.1 Gevolgen voor de watervraag van de landbouw	18
4 Beleidskader & analyseaanpak	19
4.1 Beleidsdoelstellingen en criteria	19
4.2 Criteria	20
4.3 Samenhang klimaat- en sociaal-economische scenario's	20
4.4 Analyse aanpak/model	21

5 Model instrumentarium PAWN – Light	22
5.1 Inleiding	22
5.2 Modeleisen	22
5.3 Tijdstappen, ruimte en rekenperiode	23
5.4 Modelbeschrijving PAWN - Light	23
5.4.1 Compartimenten principe	23
5.4.2 Grondwatermodel	24
5.4.3 Oppervlaktewater	28
5.4.4 IJsselmeergebied	31
5.4.5 Schade scheepvaart	32
5.4.6 Schade grasland & landbouw	33
5.5 Data	34
5.6 Calibratie & validatie	34
5.6.1 Inleiding en uitgangspunten	34
5.6.2 Uitvoeren calibratie en validatie	35
6 Resultaten en discussie	37
6.1 Calibratie	37
6.2 Validatie	38
6.3 Resultaten scenario-runs	39
6.3.1 Beschrijving runs	39
6.3.2 Referentiescenario	40
6.3.3 Scenario Regional Communities – W+	42
6.3.4 Overzicht scenario runs PAWN – Light	45
6.4 Discussie	47
7 Conclusies & aanbevelingen	49
7.1 Conclusies	49
7.2 Aanbevelingen	50
Lijst van figuren	51
Lijst van tabellen	52
Referenties	53
Bijlagen	55

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De verandering van het klimaat is een onderwerp dat zeer belangrijk is geworden met het oog op de ruimtelijke ontwikkeling in Nederland (Ministerie van VROM, 2006). Op het gebied van waterbeheer is deze verandering dan ook een bepalende factor voor het beleid in de komende decennia. Dit geldt ook voor het Natte Hart (IJsselmeer, Markermeer en de Randmeren) in Nederland. In dit gebied centreren zich vele functies die van belang zijn voor het functioneren van de Nederlandse maatschappij, economie en natuur. Het is dus van belang dat er ook in de toekomst voldoende gebruik gemaakt kan worden van deze functies. Bij deze functies moet gedacht worden aan; scheepvaart, zoetwatervoorziening, waterberging, recreatie, natuur en veiligheid.

Op 3 september 2008 presenteerde de commissie Veerman het rapport 'Samen werken met water' (Deltacommissie, 2008). Deze commissie is door de Nederlandse regering gevraagd om een advies te geven over de manier waarop het Nederlandse watersysteem zou moeten worden ingericht om op de lange termijn veiligheid en leefbaarheid te garanderen. Hierbij is ook gekeken naar de samenhang met functies als werken, wonen, landbouw, recreatie, natuur, infrastructuur, energie en veiligheid. Het is de bedoeling dat de adviezen van deze commissie op de langere termijn het waterbeleid gaan vormen voor het Nederlandse systeem.

Op dit moment spelen er al problemen in het Natte Hart regio op het gebied van waterkwaliteit en waterkwantiteit. Vooral voor de waterkwantiteit zal het IJsselmeergebied in de toekomst een grotere rol gaan spelen omdat het IJsselmeer ook zal gaan voorzien in de zoetwatervoorziening voor het westen van het land. In het meest extreme KNMI-scenario (zeer droog in de zomermaanden) is de huidige strategie van peilvariatie vanaf 2050 hiervoor niet toereikend. De huidige inrichting van het systeem is echter volledig ingericht op het huidige beleid met een zomerpeil van -0,20 m en een winterpeil van -0,40 m. Indien een hoger peil of een grotere peilvariatie zal worden toegestaan zullen er dus problemen ontstaan voor gemalen, havens en waterkeringen (Deltacommissie, 2008).

De commissie heeft Nederland in vijf aandachtsgebieden verdeeld. Een van deze gebieden is het Natte Hart. De adviezen die de Deltacommissie geeft voor dit aandachtsgebied zijn de volgende:

- Een peilstijging voor het IJsselmeergebied van maximaal 1,50 m vanaf 2050, zodat er tot 2100 onder vrij verval kan worden gespuid op de Waddenzee. Daarbij moet er voor gezorgd worden dat het IJsselmeergebied zijn functie als zoetwaterreservoir behoudt.
- Geen peilverhoging toepassen in het Markermeer, voornamelijk om de stedelijke ontwikkeling in Amsterdam en Almere te waarborgen.

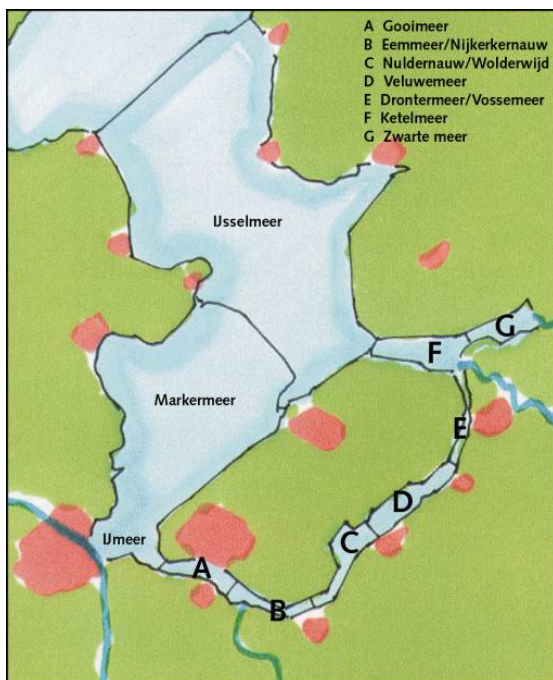
De peilstijging die de commissie voorlegt, wordt klimaatbestendig genoemd. Dit betekent dat, onafhankelijk van het klimaat, de maatregel effectief blijft. De vraag is echter of het beleid toekomstbestendig is. Hiermee wordt bedoeld dat het beleid zowel de klimaatveranderingen als sociaal-economische veranderingen kan opvangen.

Naast de verandering van het klimaat zijn er namelijk ook andere toekomstveranderingen mogelijk. Een van deze veranderingen betreffen de sociaal-economische ontwikkelingen die de maatschappij zal ondervinden. In 2005 is het rapport 'Welvaart en LeefOmgeving' (MNP, CPB EN RPB, 2005) uitgebracht. Hierin staan diverse toekomstscenario's beschreven die de mogelijke ontwikkelingsrichtingen van het sociaal-economische spectrum vertegenwoordigen.

1.2 Studiegebied

1.2.1 Systeem Natte Hart

Begin vorige eeuw lag op de plaats van het huidige Natte Hart de Zuiderzee. Omdat er regelmatig overstromingen plaatsvonden, met schade en slachtoffers als gevolg, werden er plannen gemaakt voor het afsluiten van de Zuiderzee. Bovendien was er een toename in de vraag naar landbouwgrond. In 1913 presenteerde Ir. Cornelis Lely zijn plannen en dit leidde in 1918 tot de Wet op de Afsluiting en de gedeeltelijke droogmaking van de Zuiderzee. In 1932 was de Afsluitdijk gereed, terwijl in 1930 de aanleg van de eerste polder (Wieringermeerpolder) al afgerond was. Daarna zijn nog de Noordoostpolder (1942), Oostelijk Flevoland (1957), Zuidelijk Flevoland (1968) en de Houtribdijk tussen het IJsselmeer en Markermeer (1975) aangelegd (Bureau de Ruimte/RIZA, 2007).

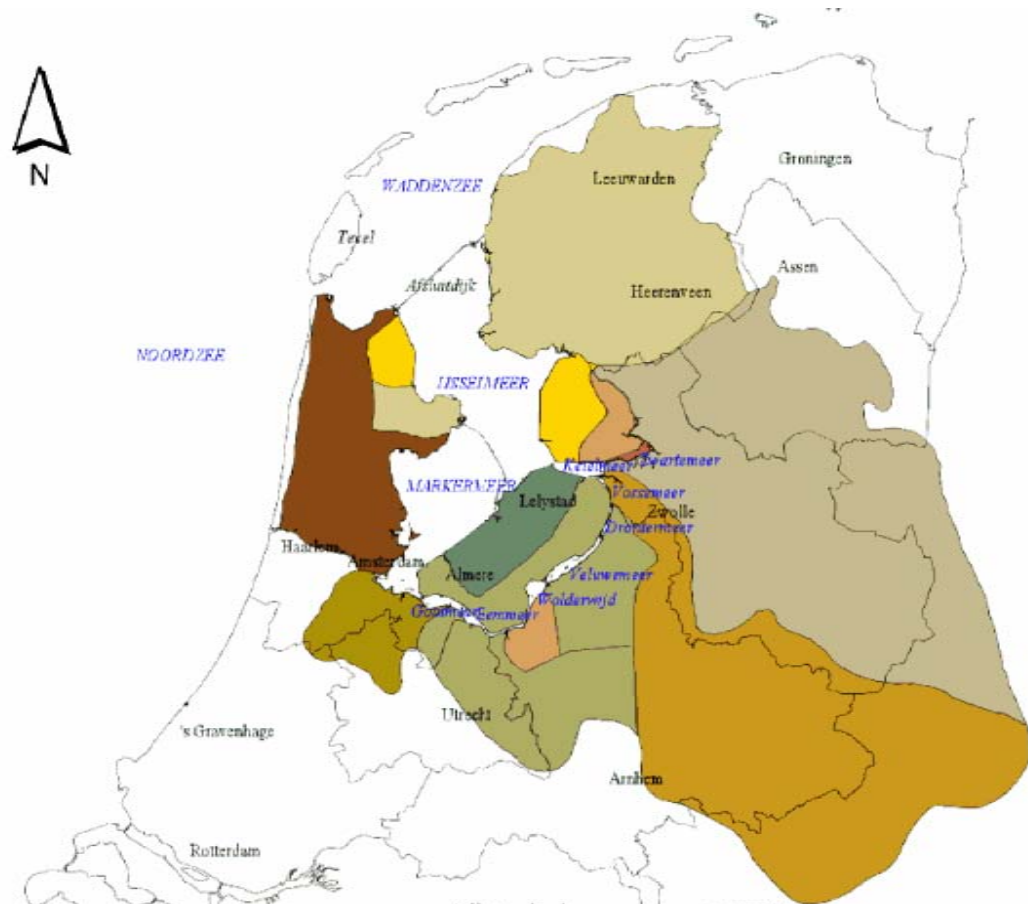


Figuur 1 Het Natte Hart

Anno 2008 is het Natte Hart (of IJsselmeergebied) het grootste merengebied van West-Europa. Het Natte Hart bestaat uit met elkaar verbonden meren (zie Figuur 1). De twee grootste meren binnen dit gebied zijn het IJsselmeer en het Markermeer. De Veluwerandmeren liggen tussen Flevoland en Gelderland in. Aan de grenzen van en in het Natte Hart liggen enkele grote woonkernen (bijvoorbeeld Amsterdam, Hoorn, Lelystad en Almere).

Het IJsselmeergebied vormt het afwateringsgebied voor een groot deel van Noord-Nederland en voor een klein deel van Duitsland. Deze afwatering komt op natuurlijke wijze tot stand, via beken en rivieren. De voornaamste aanvoer komt via de IJssel (ca 70%) en de Overijsselse Vecht in het systeem. Het gebied wordt verder gevoed door de Utrechtse Vecht, de Eem, de Hierdense Beek en de Amstel. Bovendien zijn er een aantal gemalen en uitwateringssluizen die water vanuit de polders in het gebied brengen.

Het totale oppervlak van het afwateringsgebied is ongeveer 20.000 km² (Figuur 2). De oppervlakte van het Natte Hart zelf is circa 2.000 km².



Figuur 2 Afwateringsgebied Natte Hart (Bureau de Ruimte/RIZA, 2007)

1.2.2 Peilbeheer

In de zogenaamde peilbesluiten liggen de afspraken vast voor de hoogtes van de streefpeilen voor de wateren in het Natte Hart. Deze afspraken worden vervolgens uitgevoerd door Rijkswaterstaat. In Tabel 1 staan de gegevens voor de verschillende wateren in het IJsselmeergebied. Hierbij dient er rekening mee te worden gehouden dat in de winter de Randmeren en het Markermeer onder vrij verval water afvoeren naar het IJsselmeer en dat het dus gewenst is dat hier enkele centimeters peilverschil is. In de zomer wordt het Markermeer echter doorgespoeld door water vanuit het IJsselmeer naar het Noordzeekanaal te leiden. Dan is het peil van Markermeer dus enkele centimeters lager dan dat van het IJsselmeer en hoger dan het peil van het Noordzeekanaal.

Het Natte Hart is verdeeld in drie beheersgebieden; het IJsselmeer, het Markermeer en de Randmeren. Hierbinnen wordt het waterpeil nauwkeurig gehandhaafd (Markermeer en IJsselmeer, zomerpeil: ca. -0,20 m NAP en winterpeil: ca. -0,40 m NAP) door onder vrij verval te spuien op de Waddenzee. Tijdens extreem hoog water kan er ook via het Noordzeekanaal worden afgewaterd. Op die manier wordt voorkomen dat het water enerzijds niet te hoog komt om de veiligheid te waarborgen en anderzijds niet te laag om de scheepvaart mogelijk te houden. Daarnaast dient de waterstand voldoende hoog te zijn om onder vrij verval water vanuit het Natte Hart richting de landelijke gebieden te kunnen inlaten.

Tabel 1 Algemene gegevens wateren in en naar het Natte Hart (RWS, 2001 & Kenniskaarten, 2007)

Deelgebied	Oppervlakte (x 1000 ha)	Lengte (km)	Peilbeheer	
			Zomerpeil [m]	Winterpeil [m]
IJsselmeer	113,3	-	-0,20	-0,40
Markermeer & Ijmeer	68,5	-	-0,20	-0,40
Eemmeer & Gooimeer	1,3 2,6	-	-0,20	-0,40
Veluwerandmeren	6,1	-	-0,20	-0,30
Ketelmeer & Vossemeer	3,8	-	-0,05	-0,40
Zwarte meer	2,2	-	-0,20	-0,40
IJssel, Overijsselse Vecht, Hierdense beek	-	125 167 25	-	-
Eem, Utrechtse Vecht, De Amstel	-	18 40 31	-	-

1.3 Probleemstelling

Het probleem dat speelt is dat het onbekend is wat de gevolgen zullen zijn van de klimaatverandering voor de zoetwatervoorziening en de scheepvaart in de jaren 2050 in het Natte Hart. Hierbij geldt dus ook dat onbekend is hoe het systeem met het huidige beleid in staat is om deze veranderingen op te kunnen vangen. Daarnaast brengt het voorspellen van het klimaat voor 2050 onzekerheden met zich mee. Daarom is het belangrijk om rekening te houden met de veranderingen die *kunnen* optreden. Als het systeem deze veranderingen aankan, houdt dat in dat het systeem *robuust* is.

Aan de ene kant leiden de klimaatveranderingen dus tot een zeespiegelstijging en verhoogde rivierafvoeren in de winter. Dit heeft tot gevolg dat de spuicapaciteit van het IJsselmeer vergroot dient te worden. Er wordt verwacht dat het vanaf 2050 onvoldoende mogelijk zal zijn om onder vrij verval te spuien. Aan de andere kant wordt echter verwacht dat de droogte voor problemen zal zorgen in de zomerperiodes. Droogte zal in dit geval betekenen dat er gemiddeld langere periodes van droogte en grotere extremen in temperatuur en neerslag zullen voorkomen. In de zomerperiodes zal dus minder neerslag vallen en zal de verdamping significant toenemen, waardoor het zoetwateraanbod afneemt. Daarnaast wordt er verwacht dat de zoetwatervraag zal toenemen door onder andere de droogte maar ook vanwege het groeiende voorzieningsgebied van het Natte Hart (Deltacommissie, 2008). Dit betekent dat er ook gekeken moet worden naar de socio-economische toekomstscenario's voor 2050. Hiermee kan dan worden geïnventariseerd hoe groot deze toename zou kunnen zijn.

Gevolg van voorgaande is dat de strategische zoetwatervoorraad in het Natte Hart op termijn groter dient te worden. Het Natte Hart zal door het verschil in watervraag- en aanbod in een aantal functies minder goed kunnen voorzien. Het is belangrijk om te weten wanneer het Natte Hart deze functies niet meer voldoende kan vervullen, zodat er kan worden voorspeld wat de urgentie is van te nemen maatregelen.

In dit onderzoek zal de focus liggen op de functies zoetwatervoorziening en scheepvaart (infrastructuur). Deze functies zijn zeer belangrijk voor het functioneren van de maatschappij (Deltacommissie, 2008) en zijn gekozen omdat deze twee functies twee kanten van de problematiek vertegenwoordigen. De zoetwatervoorziening behoort namelijk tot het vergroten van de waterzekerheid. De scheepvaart echter kan door de gevolgen van het vergroten van de waterzekerheid beperkt worden in zijn ontwikkelingsmogelijkheden (Deltacommissie, 2008).

Als er geen actie wordt ondernomen, is het belangrijk te weten tot op welk moment dit geen problemen zou opleveren (het huidige beleid is dan niet meer robuust) en wanneer er dus wel eventuele ingrepen moeten plaats vinden. Mogelijke problemen zijn; verlaging van de spui capaciteit, een tekort aan zoetwater, beperking van de scheepvaartmogelijkheden of een verlaagde veiligheid. Op dit moment spelen er al een aantal problemen in het gebied, vooral op het gebied van natuur en waterkwaliteit, zowel bij hoog als bij laag water (Droogtestudie2, 2008 & Bureau de Ruimte/RIZA, 2007).

1.4 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om een indicatie te kunnen geven van de economische en sociaal-maatschappelijke gevolgen (schade) van de verschillende klimaatscenario's (KNMI, 2006) en de sociaal-economische ontwikkelingen in het Natte Hart met betrekking tot de functies landbouw en scheepvaart in het jaar 2050. Aan de hand van de vier klimaatscenario's van het KNMI voor Nederland zal voorspeld worden wat de schade per scenario zal zijn voor landbouw en scheepvaart. Er wordt tijdens het onderzoek een quick-scan repromodel ontworpen om deze berekeningen te kunnen uitvoeren.

De voornaamste onderzoeksvragen die beantwoordt zullen worden zijn de volgende:

- 1) Hoe ziet het huidige beleid binnen het Natte Hart eruit en welke aanpassingen staan er al gepland?
- 2) Wat zijn de gevolgen voor de waterbalans in het Natte Hart van de klimaat- en toekomstscenario's?
- 3) Wat zal de economische schade bedragen ten gevolge van de toekomst- en klimaatverandering voor zowel landbouw in de gebieden rondom als de scheepvaart in het Natte Hart?
- 4) Welke conclusies kunnen worden getrokken wat betreft de resultaten van het ontwikkelde model? Daarbij wordt gekeken naar de gevoeligheid van het Natte Hart voor het jaar 2050, rekening houdende met de klimaatscenario's van het KNMI en de sociaal-economische toekomstscenario's.

1.5 Leeswijzer

In de voorgaande paragrafen is uiteengezet wat er in dit onderzoek onderzocht is. Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, dient er eerst een aantal begrippen toegelicht te worden. In hoofdstuk twee zal worden beschreven wat het aanbod van water is, welke factoren dit beïnvloeden en hoe de klimaat- en toekomstscenario's invloed kunnen uitoefenen op het aanbod van het zoetwater. Daarbij wordt beschreven hoe het klimaat zal kunnen veranderen rond Natte Hart en hoe de variatie van neerslag en verdamping zal zijn. De eigenschappen en factoren die invloed hebben op de andere kant van het spectrum, de watervraag, worden in hoofdstuk drie toegelicht. Hier worden de sociaal-economische scenario's beschreven en er wordt beschreven wat de bijbehorende gevolgen voor Nederland en in het bijzonder het Natte Hart kunnen zijn.

Daarnaast is het belangrijk om te weten welk beleid er gevoerd wordt binnen het gebied. Welke plannen zijn al gemaakt, wat zijn de overwegingen hierbij, hoe wil men dat het beleid uitgevoerd wordt en waar dient men allemaal rekening mee te houden? Bovendien; hoe beoordelen we het uitgevoerde beleid en de maatregelen? In hoofdstuk vier wordt een overzicht gegeven van de aanwezige plannen en documentatie. Daarna wordt in hetzelfde hoofdstuk beschreven hoe er met de scenario's wordt omgegaan en wat de sociaal-economische scenario's concreet betekenen voor het waterbeheer. Hier wordt vervolgens uitgelegd hoe de analyse plaats heeft gevonden. Er wordt kort beschreven hoe het model eruit ziet in termen van referentie, tijdreeksen en scenario-analyse. In hoofdstuk vijf staat beschreven hoe dit repromodel is opgesteld, welke mechanismen en vergelijkingen hierin gehanteerd zijn en op welke punten aannamen en vereenvoudigingen zijn gemaakt.

In hoofdstuk zes wordt eerst de calibratie en validatie van het model besproken. Door het maken van scenarioruns in het model zijn resultaten verkregen die bepaalde voorspellingen doen. Daarbij wordt de economische schade ten gevolge van de toekomst- en klimaatverandering voor zowel landbouw in de landelijke gebieden als de scheepvaart in het Natte Hart berekend. In hoofdstuk zes worden ook de beperkingen en onzekerheden van het model besproken. Tot slot is er in hoofdstuk zeven samengevat wat de bevindingen zijn van dit onderzoek, wat de antwoorden op de onderzoeksvragen zijn en welke aanbevelingen er gedaan zijn voor vervolgonderzoek. Naast een indicatie van de schadegevolgen van de scenario's zijn er met name conclusies getrokken wat betreft de werking en de gevoeligheid van het ontworpen model.

2 Wateraanbod

2.1 Inleiding

Wateraanbod is een belangrijke factor in het vraagstuk van de gevolgen van klimaatverandering voor de zoetwatervoorziening. Met de afsluiting van de Zuiderzee is in de eerste helft van de twintigste eeuw een strategische keuze gemaakt die voor het integrale functioneren van het Nederlandse watersysteem buitengewoon grote voordelen heeft opgeleverd. Het IJsselmeergebied kan zijn functie van strategische zoetwatervoorraad blijven vervullen mits, uiteraard, de Afsluitdijk gesloten blijft, het IJsselmeergebied in het begin van het jaar voldoende gevuld wordt en het beheer wordt aangepast (Deltacommissie, 2008). In dit hoofdstuk zal worden beschreven wat de invloeden zijn op de aanbodzijde van het zoetwatervraagstuk in het Natte Hart. Hierbij wordt ook uiteengezet wat de gevolgen zijn van de verschillende klimaatscenario's voor de hoeveelheid water die gebruikt kan worden.

2.2 Wateraanbod van het Natte Hart

Het wateraanbod in een systeem wordt bepaald door de beschikbare hoeveelheid water. Het is dus vereist om te weten hoeveel water er beschikbaar is. Hiervoor dient de waterbalans van het IJsselmeer in kaart te worden gebracht. De meeste elementaire vorm van een waterbalans is de volgende: $\text{aanvoer} - \text{afvoer} + \text{bergingsverandering} = 0$

In het geval van het IJsselmeergebied bestaat de aanvoer voornamelijk uit de rivieraanvoeren van de IJssel en de (Overijsselse) Vecht. Daarnaast komt er water in het systeem door neerslag. In tijden van wateroverlast in de landelijke gebieden wordt er water afgevoerd naar het IJsselmeergebied. Aan de afvoerszijde van de balans wordt er water afgevoerd door onder vrij verval te spuien op de Waddenzee. Daarnaast vindt er met name in de zomer verdamping plaats. In tijden van droogte in het landelijk gebied wordt er ten behoeve van de landbouw beregeningswater toegevoerd vanuit het Natte Hart. Aangezien er op het IJsselmeer en Markermeer het peil wordt beheerd door te spuien is er weinig sprake van bergingsverandering. Tijdens de overgang van zomer naar winterpeil en vice versa is er wel een verandering van de berging. De peilopzet naar -0,20 m NAP(zomerpeil) heeft als doel een grotere zoetwaterbuffer te creëren voor de zomermaanden. Dit water is nodig voor de doorspoeling van kanalen, het tegengaan van verzilting en de beschikbaarheid van beregeningswater.

In dit onderzoek is vooral gekeken naar de hoeveelheid water die beschikbaar is tijdens de droge perioden. Deze hoeveelheid wordt vooral beïnvloedt door de hoogte van het IJsselmeerpeil. Onder de -0,40 m NAP wordt namelijk geen water voor beregening naar het landelijk gebied toegevoerd.

2.3 Wateraanbod en klimaatverandering

2.3.1 Verandering wateraanbod

In de droge periode van het jaar bestaat de beschikbare hoeveelheid water uit de waterschijf die boven -0.40 m NAP ligt. Er wordt verwacht dat de rivieraanvoeren, neerslag en verdamping een grotere variabiliteit zullen hebben. Omdat het wateraanbod van het Natte Hart afhankelijk is van deze factoren zal dit tot gevolg hebben dat ook het aanbod van water een grotere variabiliteit kent. Om het toekomstige wateraanbod te kunnen bepalen dient er dus gekeken te worden naar de mate waarin het toekomstige klimaat kan veranderen. Het KNMI heeft hiervoor verschillende scenario's opgesteld. Deze zullen in de volgende paragraaf nader toegelicht worden.

2.3.2 Klimaatscenario's

In dit onderzoek zal worden geanalyseerd wat de gevolgen zijn van klimaatverandering voor het wateraanbod. Deze klimaatverandering wordt gerepresenteerd door vier scenario's die door het KNMI (2006) zijn opgesteld. Deze vier scenario's zijn gebaseerd op de wereldwijde rapporten van het IPCC (International Panel on Climate Change). In 2007 heeft het IPCC zijn meest recente rapporten (IPCC, 2007) uitgebracht over de wereldwijde klimaatverandering. Deze rapporten zijn opgesteld aan de hand van eerdere onderzoeken, waardoor het KNMI al in 2006 een analyse heeft kunnen uitbrengen. Hierin worden klimaatscenario's voor Nederland gegeven voor zowel het jaar 2050 als het jaar 2100. De vier scenario's geven dus weer hoe het klimaat de komende negentig jaar in ons land zou *kunnen* veranderen. De vier scenario's zijn ontstaan aan de hand van twee mogelijke fundamentele veranderingen;

- I. Een mondiale temperatuurstijging van +1°C in 2050 (Gematigd) of +2°C in 2050 (Warm) ten opzichte van 1990.
- II. Wel (+) of geen verandering in luchtstroompatronen.

Dit betekent dat de vier scenario's kortweg worden aangeduid als G, G+, W en W+. In Tabel 2 wordt hiervan een overzicht gegeven.

	G	G+	W	W+
Wereldwijde temperatuurstijging in 2050	+1°C	+1°C	+2°C	+2°C
Wereldwijde temperatuurstijging in 2100	+2°C	+2°C	+4°C	+4°C
Verandering in luchtstromingspatronen in West Europa	nee	ja	nee	ja

Tabel 2 Uitgangswaarden voor de KNMI-'06 scenario's (KNMI, 2006)

2.3.3 Rekenmethode KNMI

Voorheen werd er aangenomen dat de luchtstromingspatronen en de relatie tussen neerslag en temperatuur niet zouden veranderen (KNMI, 2000). De scenario's die in 2006 werden uitgebracht hebben nieuwe inzichten op dit gebied meegenomen en geïnterpreteerd. Voor het bepalen van de scenario's is namelijk voor het eerst in Nederland gewerkt met de combinatie van uitkomsten uit een groot scala van mondiale en regionale klimaatmodellen en meetreeksen. Hierdoor zijn dus zowel de veranderende luchtstromen in West-Europa als de klimaatverandering geanalyseerd. Eerst zijn de GCMs (Algemene stromings modellen) als uitgangspunt gebruikt; de gegevens hieruit zijn vervolgens vertaald naar verandering in de luchtstromen en globale projecties voor West-Europa. Deze projecties geven met behulp van drie verschillende regionale klimaat

modellen (RACMO2, HadAM3 en ECHAM4) specifieke data voor West-Europa. Combinatie hiervan met data van Nederlandse meetstations leidt tot uitkomsten voor verandering van neerslag, temperatuur en verdamping voor 2050 en 2100. Het stroomschema in Figuur 3 laat zien hoe het KNMI tot de berekening van de scenario's is gekomen. De berekende zeespiegelstijgingen komen voort uit de General Circulation Models. De uitkomsten uit deze berekeningen zijn gedefinieerd in gemiddelde waarden voor neerslag, temperatuur en verdamping. Daarnaast is er een verwachte zeespiegelverandering voor zowel het gematigd als het warme scenario berekend.



Figuur 3 Stroomschema van de gebruikte methoden voor het afleiden van de KNMI-'06 scenario's (KNMI, 2006).

De landbouw in Nederland is slechts deels klimaatgebonden en kan dus ook flexibel reageren op veranderende klimaatomstandigheden. Geringere opbrengsten door droge periodes worden vaak gecompenseerd door hogere prijzen; dat betekent dat extreem weer een beperkt effect heeft op het economische succes van de sector (Nationaal Programma 'Adaptatie Ruimte en Klimaat', 2006).

Tabel 3 KNMI-'06 Scenario's - Temperatuur, neerslag, verdamping en zeespiegelstijging voor de zomer en winter in 2050 (KNMI, 2006)

Variabele		KNMI-'06 Scenarios			
		G	G+	W	W+
Zomer	Gemiddelde temperatuur (°C)	+0,9	+1,4	+1,7	+2,8
	Warmste zomerdag per jaar (°C)	+1,0	+1,9	+2,1	+3,8
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid (%)	+3	-10	+6	-19
	Aantal natte dagen (>0,1 mm) (%)				
	Dagsom van de neerslag die eens in de 10 jaar overschreden wordt (%)	+13	+5	+27	+10
	Potentiële verdamping (%)	+3	+8	+7	+15
Winter	Gemiddelde temperatuur (°C)	+0,9	+1,1	+1,8	+2,3
	Koudste winterdag per jaar (°C)	+1,0	+1,5	+2,1	+2,9
	Gemiddelde neerslaghoeveelheid (%)	+4	+7	+7	+14
	Aantal natte dagen (>0,1 mm) (%)	0	+1	0	+2
	Tiendaagse neerslagsom die eens in de 10 jaar wordt overschreden (%)	+4	+6	+8	+12
	Potentiële verdamping (%)	0	+2	-1	+4
Zeespiegel	Absolute stijging (cm)	15-25	15-25	20-35	20-35

2.3.4 Gebruik van de klimaatscenario's

De verandering van het klimaat heeft gevolgen voor de samenleving (Ministerie van VROM, 2006). Om deze reden wordt er veel onderzoek gedaan naar de consequenties van klimaatverandering. In deze onderzoeken wordt er gerekend met de data die voortkomt uit de berekeningen van het KNMI. Het is belangrijk dat hier op de juiste wijze mee om wordt gegaan. Vanuit de verschillenlaatste overheidsinstanties, verenigd in het LBOW (Landelijk Bestuurlijk Overleg Water), kwamen er naar aanleiding van de KNMI-'06 scenario's dan ook veel vragen over het gebruik hiervan. Hiervoor is een werkgroep opgezet, die een onderzoek (WL|Delft, 2007) heeft geïnitieerd naar het wettelijk vastleggen in het NBW (Nationaal Bestuursakkoord Water) van het gebruik van klimaatscenario's. Hierin worden bepalingen opgegeven waaraan instanties zich dienen te houden bij nieuw te berekenen wateropgaven.

De belangrijkste adviezen die uit dit onderzoek naar voren kwamen zijn:

- De werkgroep klimaat Regiegroep adviseert de Regiegroep om voortaan te werken met de KNMI-'06 klimaatscenario's. Hierin zijn de nieuwste, breed gedragen wetenschappelijke inzichten verwerkt.
- De werkgroep adviseert bij nieuw te starten planstudies en uitvoeringsprojecten altijd gevoeligheidsanalyses uit te voeren voor alle vier de scenario's (dus ook W+).
- Het gebruik van de KNMI-'06 scenario's moet pas worden aangepast als het IPCC met nieuwe scenario's komt die significant afwijken. De eerstvolgende IPCC-update wordt verwacht in 2012.

In dit onderzoek zal dus vanwege de bruikbaarheid en het formuleren van bruikbare conclusies worden gerekend met de vier scenario's van het KNMI.

3 Watervraag

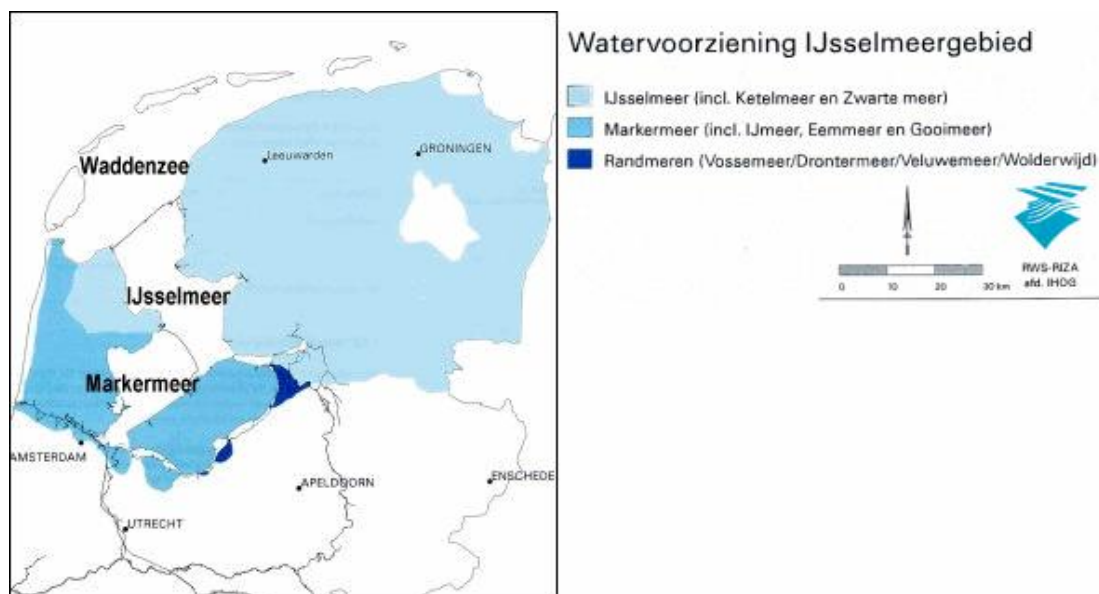
Op de aarde bevindt zich circa 1385 miljoen m³ water. Hiervan is slechts 2,5% zoet, waarvan 90% opgesloten zit in de ijskappen. Dit betekent dat we ongeveer 0,25% van het totale aanwezige water op aarde kunnen gebruiken. Zoet water is een van de meest belangrijke levensbehoeften, zowel voor drinkwater, natuur en landbouw. In de Nederlandse delta is het zoete water ook belangrijk voor de veiligheid (naast zout water), natuur, industrie, scheepvaart en energie.

Door de stijgende bevolkingsaantallen op de wereld neemt de beschikbaarheid van zoet water per persoon snel af; verwacht wordt dat dit ongeveer 5100 m³ per persoon per jaar in 2025 is tegenover 9000 m³ nu. Wereldwijd is de verdeling van zoetwatergebruik tussen industrie, landbouw en huishoudelijk gebruik respectievelijk ongeveer 23%, 69% en 8% (Lenntech, 2008).

3.1 Functie zoetwatervoorziening

3.1.1 Beschrijving systeem en huidige toestand

De meren in het Natte Hart leveren zoet water aan een groot deel van Noord-Nederland, onder meer voor de landbouw. Tijdens droge zomermaanden wordt het IJsselmeerwater gebruikt om de landbouw van zoet water te voorzien. Het zoete water wordt ook gebruikt om het waterpeil in de veengebieden in de landelijke gebieden te handhaven. Bij een lager grondwaterpeil klinkt de veenbodem meer in. Veel polders, die 's winters afwateren, laten in de zomermaanden water in voor de peilbeheersing en de waterkwaliteit. De drie belangrijkste functies zijn doorspoeling, peilbeheer en beregening. Om een beeld te krijgen van de relatieve watervraag is het belangrijk om te weten hoe groot de watervraag van de verschillende functies ten opzichte van elkaar is. In een gemiddeld jaar in Noordoost-Nederland vormen deze functies respectievelijk 60%, 12% en 25% van de totale watervraag. De overige watervraag (o.a. drinkwater) is slechts 3% Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009).



Figuur 4 Zoetwatervoorziening van het Natte Hart (RWS, 2000)

Tabel 4 Gebieden die gebruik maken van zoet water uit het Natte Hart (Min VenW, 2000)

Te voorzien gebied	Voorzien door	Oppervlakte (km²)	Inwoners (hoeveelheid personen)	Landbouw (hoeveelheid bedrijven)¹
Friesland	IJsselmeer	5.748	644.172 (31-08-2008)	5960
Groningen	IJsselmeer	2.960	572.706 (31-08-2008)	3455
Drenthe	IJsselmeer	2.680	488.920 (31-08-2008)	3960
Wieringermeerpolder	IJsselmeer	309	12.574 (30-06-2008)	5410 (incl. Wieringemeerpolder)
Noord-Holland (behalve Wieringermeerpolder)	Markermeer	3.782	2.626.668 (31-08-2008)	
Flevoland (behalve Noordoostpolder)	Markermeer	921	335.872 (31-08-2008)	2040 (incl. NO-polder)
Flevoland (Noordoostpolder)	Randmeren	595	45.788 (30-06-2008)	
Delen van Utrecht	Markermeer	± 200	± 40.000 (2000)	-
Kampen	Randmeren	161	49.655 (30-06-2008)	
Harderwijk	Randmeren	48	42.583 (30-06-2008)	
Overijssel	IJsselmeer	-	-	-

1) CBS-Statline, 2008.

In Groningen, Friesland en Noord-Holland wordt water ingelaten voor de doorspoeling van het boezemwater. Dit om de waterkwaliteit te handhaven en te verbeteren (bijvoorbeeld om een hoog chloride- en fosfaatgehalte tegen te gaan en overmatige algengroei te voorkomen). De zoetwaterbuffer heeft ook een industriële functie; proces-, koel- en spoelwater wordt uit het IJsselmeer gehaald voor een groot aantal bedrijven in het IJsselmeergebied. Voor Noord-Holland, vooral voor het gebied ten noorden van het Noordzeekanaal, is het IJsselmeer indirect van groot belang voor de drinkwatervoorziening. Het water wordt gezuiverd tot drinkwater voor meer dan een miljoen mensen. De Randmeren worden ook gebruikt als toevoer van indirect water voor de drinkwatervoorziening. In Figuur 4 kan worden afgelezen welke gebieden voor het zoete water afhankelijk zijn van het Natte Hart.

3.1.2 Landbouw

In Nederland wordt het meeste irrigatiewater gebruikt voor het verbouwen van fruit. Daarna gaat het meeste water naar de tuinbouw en akkerbouw. Daarom is de aanwezigheid van zoet water erg belangrijk voor de landbouwsector. Klimaatveranderingen leiden over het algemeen tot betere gemiddelde condities voor de landbouwsector. Gemiddeld hogere temperaturen leiden tot een verlenging van het groeiseizoen, waardoor de gewasopbrengst toe kan nemen. Energiekosten voor de verwarming van kassen nemen af door de hogere wintertemperaturen (WLO, 2005). Er komen echter ook drogere jaren voor en dat is geen gunstige conditie voor de landbouw. In dit onderzoek zal landbouw worden gebruikt om te bepalen wat de gevolgen zijn van de verschillende scenario's te kunnen kwantificeren. Hierbij zal voornamelijk naar de droge jaren gekeken worden.

3.1.3 Doorspoeling

Doorspoelen is het doorstromen met water of het vergroten van de afvoercapaciteit van het systeem om een versnelde uitspoeling van nutriënten, zouten en fytoplankton te bewerkstelligen. In het Natte Hart wordt doorspoelen vooral gebruikt om het indringen van zout (kwel)water te voorkomen. In Zuid-Flevoland zijn veel poldergronden nog zout (als restant van de vroegere Zuiderzee). Het brakke grondwater dat hier uit komt wordt afgewaterd naar het Markermeer, met

als gevolg dat het water in het Markermeer te veel zout bevat om te gebruiken voor landbouw. In Tabel 5 staan gegevens over de benodigde hoeveelheden water voor de doorspoeling in de drie noordelijke provincies van Nederland.

Tabel 5 Gegevens doorspoeling Noord-Nederland (Friesland, Groningen, Drente) (HKV, 2006)

Boezem	Kenmerken doorspoeling		
	Periode	Hoeveelheid (m ³ /s)	Prioritering
Friese boezem	Zomer	8	1. Peilbeheer 2. Doorspoeling
Eemskanaal	Hele jaar	1,65	1. Peilbeheer 2. Doorspoeling
Westerwoldse Aa	Hele jaar	0,5	1. Peilbeheer 2. Doorspoeling
Noord-Willemskanaal	Alleen bij hoge afvoer vanaf W. Aa.	Onbekend	1. Peilbeheer 2. Doorspoeling
Mussel-Aa kanaal	Alleen bij lozingen ACB ¹	0,3	1. Peilbeheer 2. Doorspoeling
Linthorst Homankanaal /Beilervaart	Vroeg voorjaar + zomer	0,5	1. Peilbeheer 2. Doorspoeling

1) Lokale Aardappelfabriek

3.1.4 Industrie

In bijna alle bedrijven wordt van water gebruik gemaakt, bijvoorbeeld als koelvloeistof, procesmiddel, vervoermiddel of als oplosmiddel. Deze worden gezamenlijk proceswater genoemd. Over het algemeen wordt oppervlakte- en grondwater gebruikt om de industrie van proceswater te voorzien. Corus (Hoogovens) in IJmuiden maakt bijvoorbeeld gebruik van water uit het IJsselmeer.

De industrie is dus voor zijn proceswater afhankelijk van de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater en grondwater. Op het moment dat er minder oppervlaktewater beschikbaar is kan dit schadeconsequenties hebben voor de industrie. Hiervoor zijn enkele voorspellingen gedaan aan de hand van de KNMI scenario's (KNMI, 2006). De schade voor de industrie zou volgens deze berekeningen bij het W+ scenario voor 2050 toenemen met 17% (Droogtestudie2, 2008).

3.1.5 Peilbeheer

Van de meeste oppervlaktewateren in Nederland is het peil regelbaar. Voor het analysegebied Noord-Nederland is in Tabel 5 af te lezen dat in al deze wateren het peil wordt geregeld. Peilbeheer wordt zo geregeld dat het zo voordelig mogelijk is voor de functies tezamen. Hierbij is het peil dus niet voor elke functie optimaal maar wordt er een afweging gemaakt tussen de belangen. In het IJsselmeer is Rijkswaterstaat verantwoordelijk voor het peilbeheer en de waterschappen zijn verantwoordelijk voor het peilbeheer in de landelijke gebieden.

3.1.6 Drinkwater

Drinkwater is ook een gebruiksfunctie van het zoete water. Al het water dat in huishoudens wordt gebruikt wordt drinkwater genoemd. Het IJsselmeergebied levert grote hoeveelheden water aan Friesland, Groningen en de kop van Noord-Holland, maar ook aan grote delen van Drenthe en Overijssel. In het Natte Hart wordt aan de westkant drinkwater ingenomen bij de inlaatpunten Enkhuizen en Andijk. Het gaat echter om relatieve geringe hoeveelheden vergeleken bij de overige zoetwatervraag (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009).

3.1.7 Zoetwatervoorziening in de toekomst

In de toekomst kan de watervraag veranderen. Oorzaak hiervan is enerzijds de verandering in landgebruik en anderzijds door veranderende watertoevoer via neerslag en rivieren. De verwachting is dat de vraag naar water zal toenemen. In alle KNMI-scenario's (hoofdstuk 2) neemt de benodigde waterschijf op het IJssel- en Markermeer toe (zie Tabel 6). Er is zelfs al gesproken over een ophoging van maximaal 1,50 m voor het jaar 2100 (Deltacommissie, 2008). In Tabel 6 staan verwachtingen weergegeven voor de benodigde watervoorraad in het Natte Hart in het geval van een extreem droog jaar in het W+ scenario voor het jaar 2050 (Droogtestudie2, 2008).

Tabel 6 De groeiende waterbehoefte in het Natte Hart in een extreem droog jaar (Droogtestudie2, 2008)

	Huidig	G+ Scenario 2050	W+ Scenario 2050
Neerslagtekort in mm(april-augustus)	325	365	405
Aan te vullen			
in mm	275	315	355
in miljoen m ³	2624	3006	3388
IJssel*			
in miljoen m ³	2606	2402	2197
resterend (Mm ³)	18	604	1191
Benodigde water- voorraad			
IJsselmeer + Markermeer (cm) ¹⁾	33	68	103
alleen IJsselmeer (cm) ²⁾	34	87	140

1) in periode van neerslagtekort

2) inclusief eigen verdamping meren

3.1.8 Verdringingsreeks

Om de schade door zoetwatertekort te kunnen analyseren dient er gekeken te worden naar de zogenaamde verdringingsreeks. In tijden van droogte wordt dit landelijke instrument gebruikt om te bepalen welke belanghebbenden voorrang hebben om het beschikbare zoetwater te gebruiken. In Figuur 5 staat de verdringingsreeks afgebeeld.

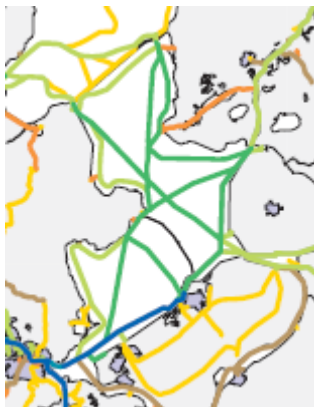


Figuur 5 Landelijke verdringingsreeks (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008)

Als er dus een tekort aan zoetwater is, dan zullen de belanghebbenden in de rechter kolom hier als eerste last van ondervinden. Dat betekent dus dat de landbouw, industrie, scheepvaart, visserij, recreatie en natuur (alleen herstelbare schade) de meeste hinder zullen ondervinden in tijden van droogte. Voor een meer gedetailleerdere analyse van de waterverdeling zijn er ook regionale verdringingsreeksen beschikbaar.

3.2 Functie Scheepvaart

Scheepvaart is een van de gebruiksvormen in het Natte Hart, zowel voor binnenvaart als recreatie. De vaarroutes in het Natte Hart zijn te zien in Figuur 6. De donkergroene lijnen geven aan dat de meeste vaarroutes in de meren van het IJsselmeergebied geschikt zijn voor minimaal vaarklasse Vb (duwstel van max. 185 m). Het vrachtvervoer vindt plaats op de grotere meren en de kanalen. Recreatievaart is in alle deelgebieden aanwezig. Scheepvaart wordt hier als functie toegelicht omdat er in dit onderzoek naast landbouw als schadepost ook de schade voor de scheepvaart geanalyseerd wordt.



Figuur 6 Scheepvaarroutes in het Natte Hart (Ministerie van Verkeer en Waterstaat/CBS, 2003)

3.2.1 Scheepvaart in het Natte Hart

De hoeveelheid goederen die met schepen vervoerd wordt over het IJsselmeer, Markermeer en Randmeren wordt vastgelegd door bij de sluisen te meten hoeveel schepen er passeren en hoeveel vracht deze vervoeren. In het jaar 2001 bedroeg de totale hoeveelheid goederenvervoer in het Natte Hart 48,38 miljoen ton. Meer gegevens betreffende de hoeveelheid vracht staan in Tabel 7.

Tabel 7 Ladingvervoer in het IJsselmeergebied 2001 (RWS, 2002)

Deelgebied	Ladingvoerend			Niet-Ladingvoerend	Totaal	Percentage
	Aantal	Laadvermogen				
		(mln ton)	Gem/schip (ton)			
IJsselmeer/ Markermeer	33265	38,00	1142	10796	44061	73,3
Randmeren	12220	10,38	849	3803	16023	26,7
IJsselmeer- gebied(totaal)	45485	48,38	1064	14599	60084	100
Percentage (%)	75,7	-	-	24,3	100	-

In het Natte Hart vindt naast goederenvervoer ook recreatie plaats, met als voornaamste vormen zeilen, surfen en de toervaart. Peilveranderingen zouden in zowel kanalen als meren grote invloed hebben op de recreatiemogelijkheden. Het passeren van vaste bruggen wordt moeilijker en stranden kunnen vernat of vervuild raken. De steigers in de havens moeten eventueel ook aangepast worden (RWS, 2000).

3.2.2 Schade scheepvaart

De verwachting is dat de klimaatverandering minder invloed heeft op de scheepvaartskosten dan de verandering in de scheepvaart zelf. De stijging in de jaarlijks verwachte waarde voor vervoerskosten door klimaatverandering is namelijk minimaal ten opzichte van de te verwachten veranderingen in de scheepvaartsector, bijvoorbeeld verandering van de vlootsamenstelling of een andere vervoersvraag. Als de scheepvaartsector gelijk blijft, dan stijgen de vervoerskosten in de laagwaterjaren met 2 tot 4% voor heel Nederland. Daar staat tegenover dat er in gemiddelde jaren minder vaak sprake is van laagwater. De gemiddelde vervoerskosten worden daarom lager. Als wordt uitgegaan van het extreem droge klimaatscenario zijn de consequenties wel zeer groot. Bovendien is de trend dat schepen groter worden en dus meer hinder van laagwater ondervinden (Droogtestudie, 2005).

In tijden van droogte zullen vaargeulen en de sluisdrempels relatief minder diep zijn waardoor er om gevaren moet worden of er minder lading moet worden getransporteerd. In natte periodes echter, als de waterstand hoger is, kunnen de hoogtes van de schepen problemen geven bij bruggen of sluizen. De breedte van de vaarwegen en de hoogte van de schutsluizen kunnen ook beperkende factoren zijn. Daarnaast zijn de wachttijden bij de sluizen van belang (schutduur).

Er is dus een aantal factoren waarvan de scheepvaart afhankelijk is. Deze voorwaarden voor het optimaal functioneren van de scheepvaart in het Natte Hart zijn in de WINBOS-studie vertaald naar de volgende parameters (Iedema en Breukers, 1997):

- de waterdiepte en breedte in de vaarwegen
- de waterdiepte in de schutsluizen
- de doorvaarthoogte van bruggen
- de schutduur bij schutsluizen
- de sluitfrequentie van de balgstuw Ramspol

In het droge jaar 2003 bedroeg de schade voor de scheepvaartsector in Nederland 111 miljoen euro. Uit berekeningen blijkt dat deze schade gemiddeld eens in de vijf jaar optreedt. De jaarlijkse verwachte waarde (JVW) is 72 miljoen euro en de hieruit berekende totale schadepost over 100 jaar (contante waarde) is 1,8 miljard euro (Droogtestudie, 2005).

Tabel 8 Schadecijfers scheepvaart voor Nederland (Droogtestudie, 2005)

	Schade (€)
Droog jaar 2003	111 miljoen
Jaarlijks Verwachte Waarde (JVW)	72 miljoen
Contante waarde (totaal van 100 jaar)	1,8 miljard

De verwachte toename van de schade voor de scheepvaart in 2050 is circa 10%. Het droge scenario echter geeft een toename van 100%. Uit Droogtestudie 1 (2005) is gebleken dat wijziging van de vlootsamenstelling een veel grotere impact heeft dan de wijziging van rivierafvoeren ten gevolge van klimaatverandering. De toekomstige vlootsamenstelling wordt echter te onzeker geacht om te kwantificeren.

Eventuele aanpassingen zouden effectief kunnen zijn. Naast aanpassingen aan de vaarwegen zijn dit lichtere schepen of minder diep 'stekende' schepen bij gelijk laadvermogen. Er kan ook worden gekozen voor andere vormen van vervoer of het tijdens reguliere vaarperiodes aanleggen van hogere voorraden. Dit valt echter buiten het blikveld van dit onderzoek.

3.2.3 Effecten klimaatverandering op de scheepvaartfunctie

Door de klimaatverandering zullen er veranderende omstandigheden ontstaan voor de binnenvaart in de Nederlandse oppervlaktewateren (Bosschieter, 2005). Voor binnenlandse vaarwegen heeft de klimaatverandering een zeer merkbaar effect; de lage en hoge waterstanden zullen vaker voorkomen, de eerste waarschijnlijk vaker dan de laatste. De laatste jaren is het bewustzijn met betrekking tot het Natte Hart gegroeid (RWS, 2008 & Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2008). Als er tijdelijk hogere of lagere peilen zijn in het Natte Hart zal de scheepvaart problemen ondervinden, bijvoorbeeld door te lage bruggen en ondiepe havens, vaargeulen en sluisdrempels. De verwachting is dat ook zeehavens slechter bereikbaar zullen worden, door de extremere hoog- en laagwaterstanden uit de binnenwateren en de veranderende zeespiegel. De binnenvaart ondervindt op dit moment al hinder, maar de mate van hinder zal waarschijnlijk stijgen in de komende decennia (Bosschieter, 2005).

3.3 Sociaal-economische toekomstscenario's

Om een oordeel te kunnen vellen over de robuustheid van het huidige systeem en beleid is het nodig om niet alleen te kijken naar de klimaatveranderingen, maar ook een indicatie te hebben van overige relevante veranderingen in Nederland die invloed hebben op de watervraag. Door deze veranderingen mee te nemen in het onderzoek wordt niet alleen de klimaatbestendigheid, maar ook de *toekomstbestendigheid* van Nederland beoordeeld. In 2006 is in de studie Welvaart en Leefomgeving (MNP, CPB en RPB, 2006) onderzocht hoe Nederland zich zou kunnen ontwikkelen tot het jaar 2040. Hierbij spelen vooral trends als vergrijzing, individualisering, migratie en economische ontwikkeling een rol.



Figuur 7 De vier scenario's binnen het spectrum van de sleutelonzekerheden (MNP, CPB en RPB, 2006)

Hieronder zullen kort de verschillende scenario's uit de Welvaart en LeefOmgeving (WLO) studie beschreven worden. Deze zijn gebaseerd op de in 2003 door het CPB uitgebrachte 'Four futures of Europe' studie. De scenario's zijn gebaseerd op twee sleutelonzekerheden;

- De mate waarin landen bereid zijn en in staat zijn samen te werken.
- De verdeling tussen publieke en private verantwoordelijkheden; wordt de overheid meer of minder sturend?

Dit principe staat grafisch weergegeven in Figuur 7.

Het Global Economy scenario

In het GE-scenario is de bevolkingsgroei het grootst (+22%). Er is sprake van een terugtrekkende overheid en meer privatisering. De uitbreiding van de EU verloopt succesvol en er ontstaat één Europese markt. De kernpunten van dit scenario zijn: Marktwerving, mondiale oriëntatie, mondiale milieuproblemen worden groter, een grotere economische groei ($\pm 2,5\%$), een lagere werkloosheid ($\pm 5\%$), grotere inkomensverschillen en minder sociale voorzieningen.

Het Strong Europe scenario

De economie ontwikkelt zich minder goed dan in het GE-scenario; de werkloosheid is twee maal zo hoog en de economische groei is gehalveerd. De overheid blijft zowel nationaal als internationaal een aansturende rol spelen. Het SE-scenario kenmerkt zich verder door: Mondiale oriëntatie, sociaal-culturele en ecologische oriëntatie (equity), het sterke Europa wordt na de VS één van de supermachten der wereld, matige economische groei (gemiddeld 1,5%), middelmatige werkloosheid ($\pm 6,5\%$), beperkte inkomensverschillen en veel aandacht voor (sociale) voorzieningen.

Het Transatlantic Market scenario

Dit scenario is qua economische groei gelijkwaardig aan het GE-scenario. De inkomensverdeling is echter schever dan de overige scenario's, waardoor de lagere sociale klassen relatief minder te besteden hebben. Regionale oriëntatie, marktgericht, vrij hoge economische groei (gemiddeld 1,8%), lage werkloosheid (gemiddeld 5,0%), grootste inkomensverschillen en een laag niveau van (sociale) voorzieningen zijn de belangrijkste kenmerken van dit scenario.

Het Regional Communities scenario

In dit scenario raakt de wereld verdeeld in handelsblokken, met onder andere een kern van rijke Europese landen. De belangrijkste punten van dit scenario zijn: Regionaal gericht, sociaal-cultureel en ecologisch gericht, lage economische groei laag (gemiddeld 0,6%), hoge werkloosheid (8,4 %), geringere inkomensverschillen, aandacht voor (sociale) voorzieningen. In Tabel 9 staan de belangrijkste gegevens per scenario voor Nederland genoemd. De bevolking neemt af met 2,5%.

Tabel 9 Kengetallen ruimtegebruik voor de WLO-scenario's (WLO, 2006)

Kengetallen WLO-scenario's		Basisjaar ¹	WLO-scenario's 2040			
		2002	Global Economy	Strong Europe	Transatlantic Market	Regional communities
Bevolking (in miljoen inwoners)		16,2	19,7	18,9	17,2	15,8
Ruimte-gebruik (in ha* 1000)	Wonen ³	307,5	+94	+49	+47	+11
	Werken ³	74,9	+45	+23	+20	-2
	Recreatie ³	29,6	+49	+31	+22	+12
	Landbouw-areaal ²	1949,4	1609,7	1573,7	1671,3	1761,4
	Natuur ³	507	(+115) 630	(+140) 647	(+98) 605	(+123) 630

1) CBS Statline, 2008.

2) WLO, 2006.

3) In verandering ten opzichte van het basisjaar 2002 (Riedijk et al, 2007)

3.3.1 Gevolgen voor de watervraag van de landbouw

Aan de hand van de verschillende WLO-scenario's kan een inschatting gemaakt worden hoe de toekomstige waterbehoefte in Nederland verdeeld zal zijn. De vier WLO-scenario's schetsen zeer diverse beelden voor de landbouw: de sector is gevoelig voor de hoofdvariabelen van de scenario's: internationale samenwerking en marktliberalisatie. Afzetmarkten raken verzadigd en het landbouwareaal in Nederland krimpt. Marktliberalisatie (in twee van de vier scenario's) zorgt voor een groei van de melkveehouderij maar ook voor een afname van de akkerbouw en de intensieve veehouderij.

4 Beleidskader & analyse aanpak

Voordat het beleid kan worden beoordeeld dient eerst bekend te zijn wat het beleid inhoudt. Voor elk deelgebied binnen Nederland worden door de Nederlandse overheid doelstellingen opgesteld betreffende landschapsindeling, ecologie, woonruimte, landbouw, water en infrastructuur. Aan de hand van deze doelstellingen kan er beleid worden 'gemaakt'. In verschillende nationale en regionale analyses, visies en andere beleidsdocumenten zijn deze doelstellingen vastgelegd. Over het algemeen zijn de doelstellingen gericht op duurzaam beleid; dat wil zeggen de kwaliteit van leven en de mogelijkheden om die kwaliteit te handhaven. De beheersdoelstellingen hebben verschillende aandachtsgebieden; economisch, sociaal-cultureel en ecologisch, zowel op de korte als op de lange termijn. De beheersdoelstellingen kunnen geëvalueerd worden aan de hand van evaluatiecriteria die in Tabel 10 worden gedefinieerd. Zoals beschreven in hoofdstuk 3 zal dit onderzoek zich vooral richten op de zoetwatervoorziening en de scheepvaart in het jaar 2050. De beheersdoelstellingen en evaluatiecriteria zullen zich hier vooral op richten. Daarnaast mag ook de veiligheid niet uit het oog worden verloren. Met behulp van de criteria die in dit hoofdstuk worden gevormd en de kennis uit de voorgaande hoofdstukken wordt in dit hoofdstuk ook een analyse aanpak opgesteld.

4.1 Beleidsdoelstellingen en criteria

In bijlage 1 staat een overzicht van de beleidsdoelstellingen die voortkomen uit verschillende documenten en beleidsrichtingen, zoals de WIN-rapportage, de Nota Ruimte, Integrale Visie IJsselmeergebied, Natura2000 en de KaderRichtlijn Water. In deze bijlage wordt ook de inhoud die betrekking heeft op het Natte Hart van deze documenten uitgebreider beschreven.

Tabel 10 Evaluatiecriteria voor zoetwatervoorziening & scheepvaart

Functie	Scheepvaart	Zoetwatervoorziening
Doelstelling	- Scheepvaart is één van de belangrijke functies van het Natte Hart en mag niet negatief worden beïnvloedt. - Scheepvaart ontwikkelt zich verder en moet gebruik kunnen maken van de potenties van het Natte Hart, binnen de randvoorwaarden voor veiligheid en drinkwatervoorziening.	- Vergroten van de strategische zoetwatervoorraad. - Huidige omvang aanvoer zoet water naar regio's blijft mogelijk door hogere peilen - Voldoende water beschikbaar voor: - Doorspoelen - Peilbeheer - Infrastructuur - Landbouw
Eisen	- Scheepvaartmogelijkheden blijven minimaal gelijk aan de huidige situatie. De schade mag dus niet stijgen. - Er moeten mogelijkheden zijn voor de scheepvaart om te kunnen uitbreiden als dat gewenst is.	- Zoetwatervoorziening voldoet aan de watervraag (in m³) in een bepaalde periode. - Aanvoer zoet water naar regio's voldoet aan de watervraag in m³. - Beschikbare buffer is voldoende om de landbouw de hele zomer te voorzien en scheepvaart mogelijke te houden (m³) (afhankelijk van watervraag). - De buffer voldoet aan de stijgende watervraag.

Bovenstaande criteria zouden aan de hand van de modellen voor elk van de klimaat- en toekomstscenario's moeten kunnen weergegeven tot welk moment tussen nu en 2050 (eventueel in een later stadium van onderzoek ook 2100) nog aan de criteria voldaan kan worden. Dit betekent dat de uitkomsten van de modellen een waarde moeten kunnen geven voor de beschikbaarheid van scheepvaart (schadepost als gevolg van droogte) en een waardeoordeel voor de hoeveelheid beschikbaar zoet water (schadepost watertekort). Door het bepalen van de schade kan in een later stadium gerekend worden met maatregelen die de schade (deels) voorkomt. De maatregelen

dienen kosten-efficiënt te zijn en daarom is het vereist inzicht te hebben in de schade. Bij beide schadeposten gaat het niet om een gemiddelde waterhoeveelheid over een jaar, maar het gaat om die situaties waarin het IJsselmeergebied niet meer aan de gebruikerseisen voldoet. Het te gebruiken model (zie hoofdstuk 5) zal hiervoor geschikt moeten zijn.

4.2 Criteria

De criteria die gebruikt worden in dit onderzoek zijn de droogteschade voor de landbouw en de schade van watertekort voor de scheepvaart. De droogteschade voor de landbouw geeft aan wat het economische gevolg is van de verschillende scenario's voor de landbouw. De droogteschade is hierbij gedefinieerd als de oppervlakte areaal landbouw die sterft door droogte vermenigvuldigt met de economische waarde van het areaal.

De scheepvaartbeperking wordt uitgedrukt in een tijdsperiode per jaar dat de bevaarbaarheid beperkt wordt. Hierbij wordt gesteld dat de scheepvaart beperkt wordt als het IJsselmeerpeil lager is dan -0,40 m NAP.

4.3 Samenhang klimaat- en sociaal-economische scenario's

In studies waar zowel de WLO als de KNMI-'06 scenario's bij betrokken zijn, is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om deze te combineren. In het project "Integrated scenarios of socio-economic and climate change" (LANDS, Riedijk *et al*, 2007) wordt het jaar 2040 als richtjaar genomen. Verondersteld wordt dat de klimaatverandering die berekend is voor 2050, ook voor 2040 gebruikt kan worden (aangezien de berekening voor 2050 een gemiddelde is van de periode 2035 – 2065). Het koppelen van de scenario's zou dus leiden tot zestien combinaties. Dit zou overvloedige informatie leveren aan toekomstige projecten en daarom is dan ook besloten om enkel met de meest extreme WLO-scenario's (Global Economy en Regional Communities) te rekenen. Vanuit de SRES-scenario's (IPCC, 2007) wordt GE geassocieerd met hoge temperatuursstijging (W en W+, 2 scenario's) en RC met de lagere temperatuursverandering (G en G+, 2 scenario's). Door deze aanpassing worden er dus vier scenario's berekend in plaats van zestien, waarbij wel de bandbreedte van ontwikkelingen in stand wordt gehouden.

In 'Applying WLO for climate change' (van Drunen & Berkhout, 2008) wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden van het combineren van de WLO en KNMI-scenario's. Hierin wordt gesteld dat beleidsmakers en onderzoekers de voorkeur hebben voor een tijdshorizon van 2100. Als discussiepunt wordt aangedragen dat er in de WLO-scenario's vanuit wordt gegaan dat de structuur van de samenleving niet verandert en dat de kwantitatieve modellen uit de WLO-studie een beperkende tijdsfactor hebben omdat deze zijn gekalibreerd met historische datasets (dit geldt overigens ook voor de gebruikte klimaatmodellen). Het wordt geadviseerd om simpelere modellen te ontwerpen die rekening houden met de onzekerheden op lange termijn. Tijdens workshops met experts in januari 2007 is geconcludeerd dat alleen het Regional Communities scenario afwijkt van 'business-as-usual' (van Drunen & Berkhout, 2008). Daarom wordt geconcludeerd dat het advies dat voortkwam uit het LANDS-project (Riedijk *et al*, 2007) bruikbaar is, omdat dan in ieder geval het RC-scenario gebruikt wordt. Het Global Economy scenario ligt aan de andere kant van het spectrum en zal dus ook worden berekend om beide kanten van het spectrum te bereiken. Een andere belangrijke factor is de tijdshorizon; veel aannames die gedaan zijn zullen in 2040 niet meer gelden (geldt ook voor de klimaatscenario's). De overheid dient dus rekening te houden met trends in de samenleving en bijbehorende beleidsveranderingen op de wijze die in 'Nederland Later' (Milieu- en Natuurplanbureau, 2007) is gebruikt. Voor het tweede

deel van deze eeuw wordt aangeraden een 'backcasting approach' te gebruiken, zoals in de Routeplanner(Klimaat voor Ruimte, 2006). Een backcasting approach houdt in dat er gewerkt wordt met een gewenst toekomstbeeld. Vanuit dit beeld wordt terug geredeneerd naar de huidige situatie en ontwikkelingen. Deze kunnen dan aangepast worden aan de ontwikkeling naar het streefbeeld. In deze aanpak is het ook nodig om te kijken naar uiteenlopende toekomstige scenario's, zodat er *robuust* beleid kan worden ontwikkeld. Door naar deze uiteenlopende scenario's te kijken kan er geleerd worden hoe gevoelig het systeem is voor extreme veranderingen.

Door de gevolgen van de scenario's mee te nemen in de watervraag voor het jaar 2050 kan er beoordeeld worden bij welke verandering van economische en sociale situatie het Natte Hart 'problemen' zou gaan ondervinden van bepaalde klimaatscenario's.

Over het algemeen betekenen de klimaatscenario's dat er een grotere variabiliteit zal zijn in zowel neerslag als evaporatie. De sociaal-economische scenario's hebben een kleine areaalvermindering van landbouw tot gevolg. Natuur- en recreatiegebieden zullen in oppervlak toenemen, waardoor de watervraag van deze gebieden zal stijgen. Daarnaast nemen ook de woon- en werkgebieden in oppervlakte toe. Het aantal bewoners neemt in de meeste scenario's toe. De bevolking groeit met 22% in het Global Economy scenario en neemt 2,5% af in het Regional Communities scenario.

4.4 Analyse aanpak/model

Voor het maken van deze voorspelling is een eenvoudig modelinstrumentarium ontwikkeld. In dit model dienen zowel de waarden van de klimaatscenario's te kunnen worden ingevoerd als de toekomstige veranderingen in onze leefomgeving. De uitkomsten van het model dienen aan te geven wat de schade zou zijn die ontstaat per scenario in termen van de criteria uit paragraaf 4.2. Het model heeft als doel een snelle en eenvoudige scan te kunnen maken van toekomstige gebeurtenissen in het Natte Hart-systeem. De belangrijkste variabele invoergegevens zijn de klimaatscenario's berekend door het KNMI (2006) en de toekomstscenario's berekend door het WLO (2005). De tijdshorizon waarmee in dit onderzoek gewerkt wordt is het jaar 2050. De reden hiervoor is dat ten grondslag liggende literatuur (bijvoorbeeld; KNMI, 2006) dit ook als tijdshorizon heeft, wat de werkzaamheid bevordert.

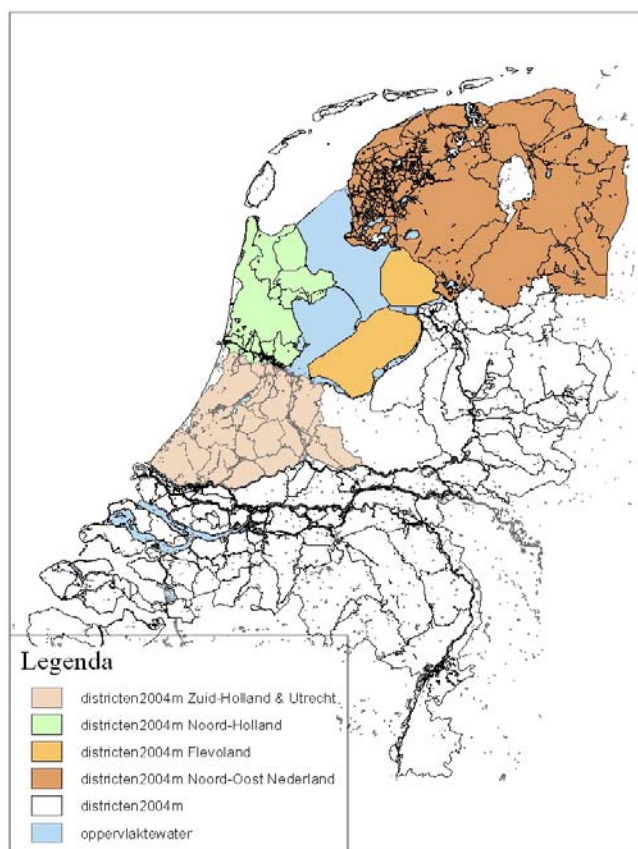
Het gebruikte referentiescenario bestaat uit het huidige WLO-scenario en het huidige KNMI-scenario. Voor het huidige WLO-scenario worden de gegevens van Nederland uit het basisjaar 2002 gebruikt. Het huidige KNMI-scenario houdt in dat de werkelijk gemeten gegevens wat betreft neerslag en evaporatie over de gehele rekenperiode worden gebruikt. Voor de Rijnafvoer geldt hetzelfde. In eerste instantie worden er berekeningen uitgevoerd voor het extreem droge jaar(1976) en het gemiddelde over de gehele rekenperiode. Als dit gemiddelde praktisch niet uitvoerbaar is in het model dan wordt er gekeken naar het gemiddelde klimaatjaar 1967. Eventueel kan er in een later onderzoeksstadium ook worden gekeken naar het zeer droge jaar 1959 en het droge jaar 1995. De uitkomsten van de scenario's kunnen worden beoordeeld aan de hand van de criteria die zijn opgesteld in 4.2.

5 Model instrumentarium PAWN – Light

5.1 Inleiding

Om de robuustheid van het huidige beleid voor zoetwatervoorziening en scheepvaart te analyseren dient er gekeken te worden naar de mogelijke veranderingen van zowel watervraag en wateraanbod. Watervraag en wateraanbod worden beïnvloed door zowel klimaat- als landgebruik scenario's. Er wordt dus gekeken naar de mogelijke gevolgen van deze veranderingen. Het bestaande PAWN instrumentarium heeft een rekentijd van circa drie weken en kan daardoor niet snel gebruikt worden om veel situaties en tijdseries te verkennen. Dit is nodig voor het analyseren van de robuustheid van het beleid. Om hier verkennende berekeningen voor uit te kunnen voeren is een model ontworpen tijdens het onderzoek. Het doel van dit quick-scan model is dat er snel situaties kunnen worden berekend die wel een soortgelijk resultaat geven. Het ontworpen programma wordt het PAWN – Light model genoemd. De afkorting PAWN staat voor Policy Analysis of Water management in the Netherlands (WL|Delft Hydraulics, 1995(b)).

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de eisen aan het model zijn (5.2) en hoe het model is opgebouwd en wat de voornaamste kenmerken van het model zijn (5.3). Aansluitend zal in 5.4 beschreven worden welke formules gebruikt zijn en welke berekeningen in het model worden uitgevoerd.



Figuur 8 Overzicht afhankelijke gebieden

5.2 Modeleisen

Het doel van het model is dat er berekend kan worden hoeveel schade voor de landbouw en scheepvaart zou kunnen optreden bij zowel een veranderend klimaat als veranderend landgebruik in de toekomst. Hierbij dient het model te kunnen berekenen wat de watervraag en het wateraanbod zijn. In tijden van watertekort, dus op het moment dat het wateraanbod niet meer kan voldoen aan de watervraag, treedt er schade op. Deze schade zal door het model berekend moeten worden voor de landbouw en de scheepvaart. Daarmee dient PAWN - Light inzicht te verschaffen in de gevolgen van de klimaatscenario's en de WLO-scenario's. In het model zal het mogelijk moeten zijn om met tijdseries te rekenen, zodat klimaatvariabiliteit en diverse droge jaren

meegenomen kunnen worden. Hierdoor worden niet alleen gemiddelde maar ook extremere situaties geanalyseerd.

De voornaamste eisen waaraan het model dient te voldoen zijn de volgende:

- Rekening houden met verschillende typen landgebruik en bodemkenmerken.
 - o Variatie in verdampingswaarden (per gewas en per decade)
 - o Variatie in wortelzones (per landgebruik)
 - o Variatie in dieptes van de grondlagen (per bodemtype)
- Rekening houden met rivieraanvoeren (Rijnaanvoer omrekenen naar IJsselaanvoer).
- De verdringingsreeks in acht nemen.
- Rekening houden met de maximale capaciteiten van gemalen en sluizen.
- Het kunnen berekenen van de watervraag bij veranderende arealen.
- Het kunnen berekenen van het wateraanbod bij veranderende klimaatverandering.
- De twee bovenstaande entiteiten met elkaar kunnen combineren naar een indicatie voor de schade voor landbouw en scheepvaart die bij bepaalde scenario's zal optreden.
- Doorrekenen van tijdseries (met minimaal tijdstappen van decades).
- In vervolgstudies dient het model maatregelen te kunnen analyseren zoals uitbreiding van de spuicapaciteit, boezem- en polderwater als zoetwaterbuffer gebruiken of seizoensgebonden streefpeilen.

5.3 Tijdstappen, ruimte en rekenperiode

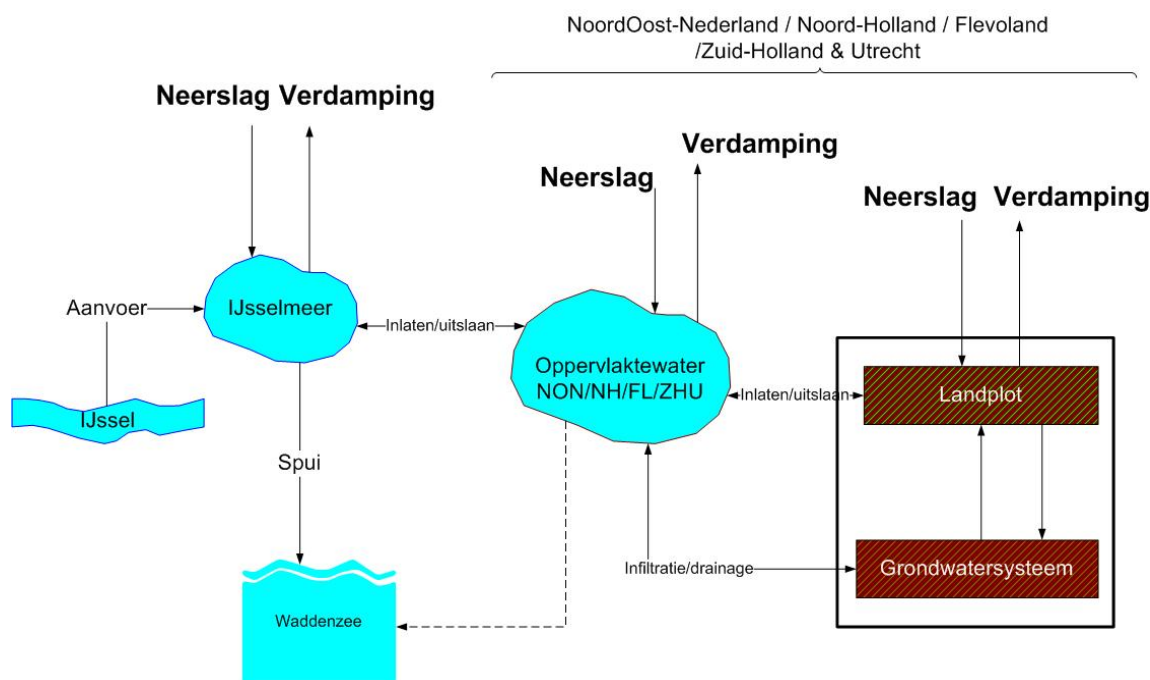
In het model worden tijdstappen van decades (perioden van circa 10 dagen) doorlopen. Aan het eind van elke tijdstap wordt de uitvoerdata geëxporteerd naar de dataopslag en doorgegeven aan de volgende tijdstap om daar als initiële waarde te functioneren. De berekeningen zullen worden uitgevoerd worden over een periode van vijftig jaar. Dit wordt geacht een voldoende periode te zijn om voldoende droge jaren te berekenen en voldoende rekening te houden met de variabiliteit in het klimaat om een oordeel te kunnen geven over de gevolgen van de scenario's (Mondelinge communicatie, van Beek, 2009).

Het zichtjaar voor de berekeningen is nu 2050. In het referentiescenario wordt gerekend met de werkelijk gemeten klimaatdata tussen 1954 tot en met 2003. Deze datareeks is vervolgens bewerkt om een datareeks te verkrijgen voor de verschillende klimaatscenario's (KNMI, 2006). De bewerking hiervoor is uitgevoerd bij Deltares en leidt tot datareeksen voor evaporatie en neerslag. Deze data wordt vervolgens als invoer gebruikt voor de desbetreffende scenarioberekening. Een voordeel van deze reeks is dat de droge jaren 1959 (zeer droog), 1976 (extreem droog) en 2003 zich alle drie in de tijdserie bevinden. Uit de eerste testruns is gebleken dat het model ongeveer twee jaar inlooptijd nodig heeft en daarom is het vereist dat in 1959 het model deze inlooptijd voorbij is om afwijkingen te voorkomen.

5.4 Modelbeschrijving PAWN - Light

5.4.1 Compartimenten principe

Het model is opgebouwd uit een aantal compartimenten; IJsselmeer en Markermeer, land en oppervlaktewater in het landelijke gebied. Dit principe is weergegeven in Figuur 9. Het landcompartiment bestaat uit een bodemvochtbalans en een grondwaterbalans. Deze hebben interactie met elkaar. Het compartiment oppervlaktewater heeft zowel een verbinding met land als met het Natte Hart. Het Natte Hart compartiment heeft dus verbindingen met het oppervlaktewater van de landelijke gebieden, de rivieren en de Waddenzee.

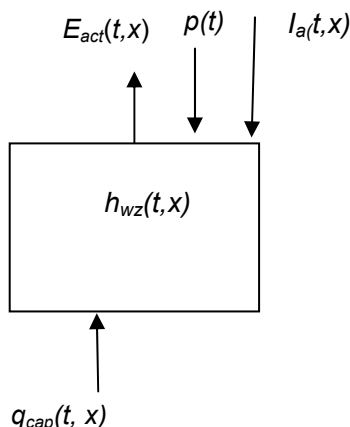


Figuur 9 Grafische weergave van het PAWN - Light model

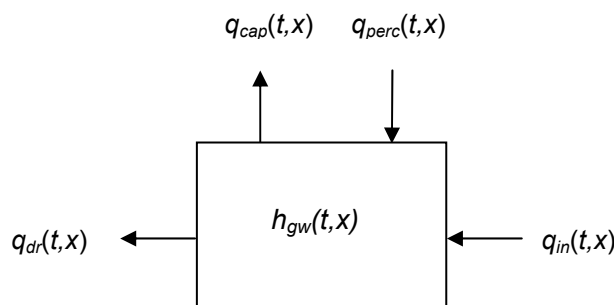
5.4.2 Grondwatermodel

In dit modelonderdeel wordt een balans bijgehouden voor het water in de bodemlagen. Deze balans wordt dus bijgehouden voor zowel de wortelzone als de verzadigde zone. Hierbij geldt de ondoorlaatbare laag als bodem. Water kan dus ook in de wortelzone komen te staan (als de ondergrond volledig verzadigd is). Daarnaast wordt er een balans bijgehouden van het volume vocht in de wortelzone.

In het grondwatermodel wordt de grondwaterstand in elke tijdstap berekend. Met behulp hiervan wordt vervolgens bepaald hoeveel de capillaire stijging of de percolatie bedraagt en wat als gevolg hiervan de grondwaterstand in de volgende tijdstap is. Met deze grondwaterstand en de data voor neerslag, verdamping en kenmerken van het gebied kan worden berekend wat de watervraag is. De landbouw vraagt dan een bepaalde hoeveelheid water aan het compartiment land, dat dit op zijn beurt weer aan het IJsselmeer vraagt (indien nodig). In tijden van droogte zal er echter een maximum zitten aan deze hoeveelheid water waarin kan worden voorzien, vanwege het vastgestelde beheer of vanwege capaciteit van de aanvoer. Op dat moment zal het bodemvochtttekort toenemen waardoor schade aan de gewassen kan optreden. Uit het model zal dus voor elke tijdstap moeten volgen wat het bodemvochtttekort is en met behulp daarvan de schade berekend moeten worden. In deze paragraaf staat een beschrijving van de stappen in dit proces met behulp van de theoretische onderbouwing. Deze berekening wordt per karakteristiek plot en voor elke tijdstap uitgevoerd. In figuur 10 en 11 worden de stroomschema's van bodemvocht en grondwater getoond.



Figuur 10 Stroomschema bodemvocht



Figuur 11 Stroomschema grondwater

Potentiële evapotranspiratie

De potentiële evapotranspiratie per plot en per decade wordt als volgt berekend:

$$E_p(x, t) = E_{ref}(t) * C_f(x, t) \quad (1)$$

Met: $E_p(x, t)$ = potentiële evapotranspiratie karakteristieke plot x in decade t [mm/decade]
 $E_{ref}(t)$ = referentieverdamping in decade t [mm/decade]
 $C_f(x, t)$ = Gewasfactor in plot x in decade t [-]

Horizontale waterbeweging

De horizontale waterbeweging (afvoer of infiltratie) die plaatsvindt tussen landelijk gebied en het oppervlaktewater wordt bepaald aan de hand van de standen van het grondwater en het oppervlaktewater. Daaruit wordt berekend hoeveel de stand van het grondwater en van het oppervlaktewater verandert afhankelijk van deze horizontale waterbeweging. In vergelijking (25) komt de hoogteverandering van het oppervlaktewater terug in het model.

$$\begin{aligned} q_{dr}(t, x) &= (h_{opp}(t, x) - h_{gw}(t, x)) / R_{dr}(x) & h_{opp}(t, x) < h_{gw}(t, x) \\ q_{in}(t, x) &= 0 \\ q_{dr}(t, x) &= 0 & h_{opp}(t, x) > h_{gw}(t, x) \\ q_{in}(t, x) &= (h_{opp}(t, x) - h_{gw}(t, x)) / R_{in}(x) \\ q_{dr}(t, x) &= 0 & h_{opp}(t, x) = h_{gw}(t, x) \\ q_{in}(t, x) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$Q_{dr}(t, x) = q_{dr}(t, x) * A(x) / T_{dag} \quad (3)$$

$$Q_{in}(t, x) = q_{in}(t, x) * A(x) / T_{dag} \quad (4)$$

$$\Delta h_{gw}(t, x) = (q_{in}(t, x) + q_{dr}(t, x)) * T_{dec} \quad (5)$$

Met: $q_{dr}(t, x)$ = hoeveelheid water per dag die vanuit grondwater naar oppervlaktewater afvoert voor plot x in decade t [m/d]
 $h_{opp}(t, x)$ = oppervlaktewaterstand [m]
 $h_{gw}(t, x)$ = grondwaterstand [m]
 $R_{dr}(x)$ = afvoerweerstand [dag] in plot x

$q_{in}(t,x)$ = hoeveelheid water per dag die vanuit oppervlaktewater naar grondwater infiltreert voor plot x in decade t [m/d]

$R_{in}(x)$ = intreeweerstand [dag] in plot x

$Q_{dr}(t,x)$ = totale hoeveelheid water die zijdelings wordt afgevoerd [m^3/s]

$Q_{in}(t,x)$ = totale hoeveelheid water die zijdelings infiltreert [m^3/s]

$A(x)$ = Areaal x [m^2]

T_{dag} = 86400 [s] (aantal seconden in een dag)

T_{dec} = 864000 [s] (aantal seconden in een decade)

Percolatie

De percolatie is het water dat wegzakt vanuit de wortelzone naar het grondwater. Deze is afhankelijk van de afmetingen van de wortelzone, de porositeit van de bodemsoort en de neerslag. Percolatie is in het model nooit groter dan 0, aangezien het gaat om water dat een neerwaartse beweging. De opwaartse beweging wordt capillaire stijging genoemd en wordt in vergelijking (9) berekend.

$$\Delta h_{Perc}(t,x) = \max(h_{wz}(t,x) + p(t) - f(x) * H_{wz}(x), 0) \quad (6)$$

Met: $\Delta h_{Perc}(t,x)$ = percolatie op plot x in decade t [mm]

$h_{wz}(t,x)$ = bodemvocht van plot x in decade t [mm]

$p(t)$ = neerslag in decade t [mm]

$f(x)$ = porositeit van de bodem in plot x [-]

$H_{wz}(x)$ = diepte van de wortelzone in plot x [mm]

Capillaire factor

Een belangrijke factor die het geheel aanstuurt is de capillaire factor. Deze is afhankelijk van zowel het vochtvolume in de wortelzone als van de grondwaterstand en bepaalt de mate van capillaire stijging vanuit het grondwater naar het vocht in de wortelzone. De capillaire factor wordt berekend. Deze factor bepaalt in welke mate water zal gaan stijgen door de capillaire werking. Eerst wordt het deel van de capillaire factor berekend dat afhankelijk is van de hoeveelheid water in de wortelzone:

$$F_{C_{gw}}(t,x) = 1 \quad h_{gw}(t,x) < \frac{1}{2} * H_{wz}(x)$$

$$F_{C_{gw}}(t,x) = 0 \quad h_{gw}(t,x) > H_{wz}(x)$$

$$F_{C_{gw}}(t,x) = 1 - \frac{h_{gw}(t-1,x) - \frac{1}{2} H_{wz}}{H_{sat} - \frac{1}{2} H_{wz}} \quad \frac{1}{2} * H_{wz}(x) < h_{gw}(t,x) < H_{wz}(x) \quad (7)$$

De rootzone en ondergrens verzadigde zone verschillen per karakteristiek plot.

Met: $F_{C_{gw}}$ = capillaire factor afhankelijk van grondwater in de wortelzone [-]

$h_{gw}(t-1,x)$ = grondwaterstand, met $h_{gw}(0,x) = h_{gwini}$ [m]

H_{wz} = ondergrens rootzone [m]

H_{sat} = ondergrens saturatiezone [m]

Bepalen van de afhankelijkheid capillaire factor van het volume in de wortelzone

Hier wordt de capillaire factor als volgt berekend:

$$F_{C_{wz}}(t,x) = 1 - h_{wz}(t,x) / (f(x) * H_{wz}(x)) \quad (8)$$

Met: $F_{c_{wz}}(t,x)$ = capillaire factor afhankelijk van water in de wortelzone [-]
 $h_{wz}(t,x)$ = diepte water in de wortelzone [m]
 $f(x)$ = porositeit van bodemtype in plot x [-]
 $H_{wz}(x)$ = ondergrens rootzone van de gewassen in plot x [m]

De factoren uit vergelijkingen (7) en (8) zijn beide factoren die de hoeveelheid capillaire stijging verminderen (tenzij $F_c = 1$). Daarom worden ze hier met elkaar vermenigvuldigd om op die manier de totale capillaire factor te berekenen. Deze methode komt uit de documentatie van het programma Saltmod (ILRI, 2002).

$$F_c(t,x) = F_{c_{gw}}(t,x) * F_{c_{wz}}(t,x) \quad (9)$$

Met: $F_c(t,x)$ = capillaire factor in plot x in decade t [-]

Berekenen capillaire stijging

Hier wordt eerst geanalyseerd of er al dan niet percolatie (vergelijking (6)) plaatsvindt. Als dat het geval is, wordt gesteld dat capillaire stijging gelijk aan nul is. Als percolatie echter niet plaats vindt, dan is de capillaire stijging gelijk aan de maximale capillaire stijging maal de capillaire factor (vergelijking (9)):

$$\Delta h_{Cap}(t,x) = Cap_{max} * F_c(t,x) \quad (10)$$

Met: $\Delta h_{Perc}(t,x)$ = percolatie [m]
 $\Delta h_{Cap}(t,x)$ = capillaire stijging [m]
 $F_c(t,x)$ = capillaire factor, bepaald in vergelijking (9)
 Cap_{max} = maximale capillaire stijging per tijdseenheid [m/decade]

De parameter Cap_{max} is in eerste instantie een aanname, hier zal het model op gecalibreerd worden.

Reductiefactor bepalen

In deze stap wordt de reductiefactor bepaald. Hiermee kan in vergelijking (16) de actuele evaporatie worden bepaald. Er wordt berekend met het volumewater in de wortelzone hoeveel water zich in de wortelzone bevindt.

$$pF_{reduce} = 2 \quad (11)$$

$$pF_{max} = 4.2 \quad (12)$$

$$\Psi = h_{wz} * 1000 \quad (13)$$

$$pF = \log(\Psi) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} F_{reduc} &= 1 & 0 < pF < pF_{reduce} \\ F_{reduc} &= (pF - pF_{max}) / (pF_{max} - pF_{reduce}) & pF_{reduce} < pF < pF_{max} \\ F_{reduc} &= 0 & pF > pF_{max} \end{aligned} \quad (15)$$

met: Ψ = gemiddelde zuiging in de wortelzone [mm]
 F_{reduc} = reductiefactor [-]

Actuele evaporatie bepalen

De actuele evaporatie wordt berekend door de vraag- en de aanbodkant van de verdamping te berekenen. De vraag is de hoeveelheid die maximaal kan verdampen, afhankelijk van de verdampingsfactor en de potentiële verdamping. De aanbodkant wordt bepaald door de hoeveelheid bodemvocht, neerslag en capillaire stijging.

$$E_{act}(t,x) = \min((h_{wz}(t,x) + p(t) + \Delta h_{cap}(t,x)), F_{reduc} * E_p(t)) \quad (16)$$

Met: $E_{act}(t,x)$ = actuele verdamping [m/decade]

Bepalen berekening

De berekening wordt bepaald door het verschil te berekenen tussen de actuele en de potentiële evapotranspiratie.

$$I_a(t,x) = E_p(t) - E_{act}(t,x) \quad \begin{matrix} h_{ijssm} > -0,40 \text{ m} \\ h_{ijssm} \leq -0,40 \text{ m} \end{matrix} \quad (17) I_a(t,x) = 0$$

Met: $I_a(t,x)$ = berekening [m/decade]
 h_{ijssm} = IJsselmeerpeil [m]

Bepalen bodemvocht

In vergelijking (18) wordt de hoeveelheid bodemvocht bijgehouden.

$$h_{wz} = h_{wz}(t-1,x) + P(t) + \Delta h_{cap}(t,x) - E_{act}(t,x) + I_a(t,x) \quad (18)$$

Berekenen grondwaterstand

Hier wordt de nieuwe grondwaterstand bepaald aan de hand van de oude stand en de optredende capillaire stijging of percolatie, de evaporatie, de neerslag en de horizontale waterbeweging.

$$h_{gw}(t,x) = h_{gw}(t-1,x) - (\Delta h_{perc}(t,x) - \Delta h_{cap}(t,x))/f(x) + \Delta h_{gw-hor}(t,x) \quad (19)$$

Watervraag bepalen

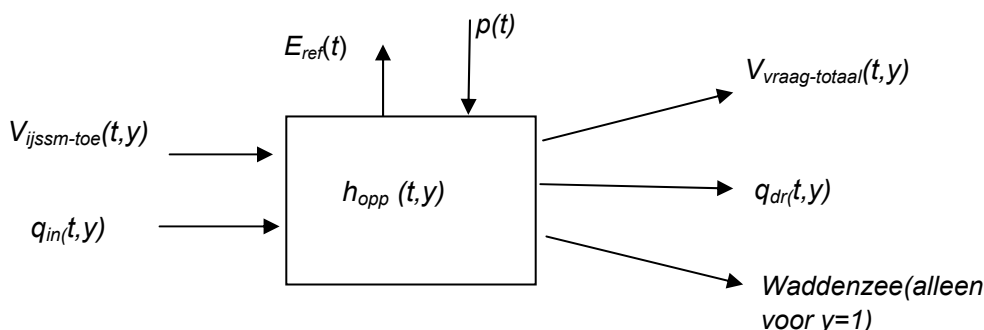
In deze stap wordt de watervraag bepaald afhankelijk van het berekening en de oppervlakte van het gebied.

$$V_{vraag}(t,x) = I_a(t,x) * A(x) \quad (20)$$

Met: V_{vraag} = Watervraag aan het oppervlaktewater [m³/decade]

5.4.3 Oppervlaktewater

In dit gedeelte van het model wordt berekend wat er gebeurt in het oppervlaktewater systeem. In het oppervlaktewater onderdeel van het model zijn de lokale oppervlaktewateren gemodelleerd. Hieronder vallen zowel de boezem- als de polderwateren. Deze functioneren als een reservoir in het model waaruit water wordt gevraagd vanuit het landelijk gebied. Het reservoir wordt dan weer aangevuld door op zijn beurt water te vragen uit het IJsselmeergebied. Afhankelijk van het peil in het IJsselmeer en de gemaalcapaciteiten wordt voldaan aan deze watervraag. In Figuur 12 staat het stroomschema van het oppervlaktewater afgebeeld.



Figuur 12 Waterbalans oppervlaktewater

Bepalen totale watervraag voor elke tijdstap

De watervraag wordt bepaald (per tijdstap). De watervragen uit de plots landelijke gebied worden bij elkaar opgeteld. Voor de vier landelijke gebieden (Noord-Oost Nederland ($y=1$), Flevoland ($y=2$), Noord-Holland ($y=3$) en Zuid-Holland & Utrecht ($y=4$)) wordt de watervraag berekend.

$$V_{vraag-totaal}(t,y) = \sum_{x=[(1*y,..13*y)]} V_{vraag}(t,x) \quad (21)$$

Met: $V_{vraag-totaal}(t,y)$ = de totale watervraag van het landelijke gebied y in decade t

Bepalen totale horizontale waterbeweging per gebied

In vergelijking (5) is bepaald hoeveel water zich horizontaal verplaatst door het niveauverschil tussen grondwater en oppervlaktewater. In vergelijking (22) wordt bepaald in welke mate de peilhoogte van het oppervlaktewater als gevolg van deze beweging verandert binnen een plot x . In vergelijking (23) wordt de totale hoeveelheid verplaatst water binnen een gebied y bepaald.

$$v_{hor}(t,x) = \Delta h_{gw}(x,t) * A(x) \quad (22)$$

$$V_{hor}(t,y) = \sum_{x=[(1*y,..13*y)]} v_{hor}(t,x) \quad (23)$$

Met: $v_{hor}(t,x)$ =hoeveelheid water in gebied x die verplaatst door horizontale waterbeweging [$m^3/decade$]

$V_{hor}(t,y)$ = hoeveelheid water in gebied y

Hoeveelheid beschikbaar water voor landelijk gebied vaststellen

De hoeveelheid water die per decade naar het achterland kan worden ingelaten wordt beperkt door zowel de gemaalcapaciteiten als de peilhoogte van het IJsselmeer. Onder de peilhoogte van -0,40 m NAP wordt er geen water meer ingelaten naar het landelijk gebied. Boven deze peilhoogte neemt de capaciteit lineair toe tot de peilhoogte wordt bereikt waarop de maximale gemaalcapaciteiten kunnen worden benut.

$$\begin{aligned} V_{ijssm-toemax}(t) &= q_{gemalen-max} * T_{dec} & h_{ijssm}(t-1) &\geq h_{sluis-max} \\ V_{ijssm-toemax}(t) &= (q_{gemalen-min} + (h_{ijssm}(t-1) - h_{sluis-min}) / & h_{sluis-min} &\leq h_{ijssm}(t-1) \leq h_{sluis-max} \\ & (h_{sluis-max} - h_{sluis-min}) * q_{gemalen-max}) * T_{dec} & h_{ijssm}(t-1) &< h_{sluis-min} \quad (24) \\ V_{ijssm-toemax}(t) &= 0 \end{aligned}$$

Met: $Q_{ijssm-toemax}(t,y)$ = maximum hoeveelheid ingelaten water in decade t [m^3]
 $q_{gemalen-max}(t,y)$ = de maximale afvoercapaciteiten van de gemalen [m^3/s]

$q_{\text{gemalen-min}}(t,y)$ = de minimale afvoercapaciteiten van de gemalen [m^3/s]
 $h_{\text{sluis-min}}(t)$ = de peilhoogte waarop de capaciteit van de gemalen minimaal is [m]
 $h_{\text{sluis-max}}(t)$ = de peilhoogte waarop de capaciteit van de gemalen maximaal is [m]

De parameters $h_{\text{sluis-min}}$ en $h_{\text{sluis-max}}$ worden gecalibreerd worden in 0.

Balans bijhouden van het oppervlaktewater

De aanname is gedaan dat de peilen in de oppervlaktewateren constant blijven. Aan dit binnenwater wordt echter wel een watervraag gesteld door de landelijke gebieden. Daarnaast vindt er verdamping en neerslag plaats. Als gevolg hiervan verandert het peil. Dit peil zal dus weer op zijn streefwaarde worden gebracht door water in of uit te laten vanuit het IJsselmeer of naar de Waddenzee.

$$\Delta V(t,y) = P(t) - E_{\text{ref}}(t) * A_{\text{water}}(y) - V_{\text{vraag}}(t,y) - V_{\text{hor}}(t,y) \quad (25)$$

$$\Delta h_{\text{opp}}(t,y) = \Delta V(t,y) / A_{\text{water}}(y) \quad (26)$$

$$h_{\text{opp}}(t,y) = h_{\text{opp}}(t-1,y) + \Delta h_{\text{opp}}(t,y) \quad (27)$$

met: $\Delta V(t,y)$ = Volume verandering oppervlaktewater in gebied y [m^3]
 $A_{\text{water}}(y)$ = oppervlakte van het oppervlaktewater in gebied y [m^2]
 $\Delta h_{\text{opp}}(t,y)$ = Verandering van het oppervlaktewaterpeil in gebied y [m]

Als het water in de binnenwateren is afgenomen ($\Delta V(t,y)$ in landelijk gebied is kleiner dan 0) en de gevraagde hoeveelheid kan worden geleverd door het IJsselmeer, dan wordt dit geleverd. Er is echter wel een maximum aan gesteld; $V_{\text{ijssm-toemax}}$ (afhankelijk van peilhoogte en capaciteit gemalen).

$$\begin{aligned} V_{\text{ijssm-toe}}(t,y) &= -\Delta V(t,y) & \Delta V(t,y) \leq 0 \ \& \ V_{\text{ijssm-toemax}}(t,y) > -\Delta V(t,y) \\ V_{\text{wad}}(t) &= 0 \\ V_{\text{ijssm-toe}}(t,y) &= V_{\text{ijssm-toemax}}(t,y) & \Delta V(t,y) \leq 0 \ \& \ V_{\text{ijssm-toemax}}(t,y) \leq -\Delta V(t,y) \\ V_{\text{wad}}(t) &= 0 \\ V_{\text{ijssm-toe}}(t,y) &= 0 & \Delta V(t,y) > 0 \\ V_{\text{wad}}(t) &= \Delta V(t,y) \end{aligned} \quad (28)$$

Met: $V_{\text{ijssm-toe}}(t,y)$ = de hoeveelheid water die wordt ingelaten vanuit het IJsselmeer naar landelijk gebied y in decade t [m^3]
 $V_{\text{wad}}(t)$ = de hoeveelheid water uit landelijk gebied NoordOost-Nederland naar de Waddenzee in decade t [m^3].

Vaststellen peilbeheer oppervlaktewater

Met behulp van de volgende vergelijkingen wordt gecontroleerd of het beheer in het gebied het gewenste effect heeft gehad zodat het peil in het boezem- en polderwater gelijk is aan het streefpeil. De grootte $V_{\text{control}}(t,y)$ in vergelijking (30) dient daarom zo dicht mogelijk bij 0 te liggen. Dat betekent dat er geen volumeverandering in de hoeveelheid oppervlaktewater heeft plaatsgevonden.

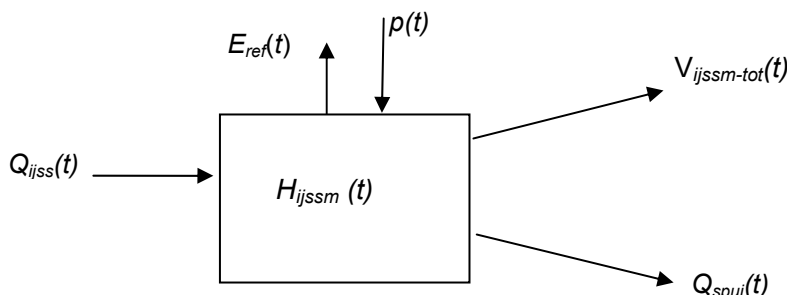
$$Q_{\text{man}}(t,y) = Q_{\text{ijssm-toe}}(t,y) - Q_{\text{wad}}(t,1) \quad (29)$$

Met: $Q_{\text{man}}(t,y)$ = Hoeveelheid water die door beheer in of uit het systeem is gebracht in gebied y in decade t [m^3/decade]

$$V_{\text{control}}(t,y) = (P(t) - E_{\text{ref}}(t)) * A_{\text{water}}(y) - V_{\text{vraag}}(t,y) + Q_{\text{man}}(t,y) \quad (30)$$

5.4.4 IJsselmeergebied

Het compartiment IJssel- en Markermeer is het centrale onderdeel van het model. Het compartiment staat in verbinding met alle compartimenten oppervlaktewater, de Waddenzee en de aanvoer van de IJssel komt er binnen. De aansturing van het model is voor een groot deel afhankelijk van het IJsselmeerpeil. Daarmee wordt bepaald of er al dan niet gespuid wordt en of er water wordt toegedeeld aan de landgebieden. Deze relaties worden beschreven in vergelijkingen (31) t/m (40). Het IJssel- en Markermeer worden in verband met de werkzaamheid in eerste instantie als een geheel in het model opgenomen. In een later stadium is het, indien gewenst, mogelijk om hier een splitsing tussen te maken. In Figuur 13 staat het stroomschema voor het IJsselmeergebied afgebeeld.



Figuur 13 Waterbalans IJsselmeergebied

Vaststellen streefpeil IJsselmeer

In deze vergelijking wordt het streefpeil vastgesteld. Normaal gesproken vinden de overgangen tussen winter- en zomerpeil plaats rond decade 7/8 (half maart) en 28/29 (1 oktober).

$$\begin{aligned}
 h_{ijssm-streef}(t) &= -0.20 \text{ m NAP} & 7 < t_{decade} < 28 \\
 h_{ijssm-streef}(t) &= -0.40 \text{ m NAP} & t_{decade} > 27 \text{ \& } t_{decade} < 7
 \end{aligned} \quad (31)$$

Met: $h_{ijssm-streef}(t)$ = streefpeil IJsselmeer in decade t [m NAP]

IJsselaanvoer berekenen

Met de relatie tussen de Rijn en de IJsselaanvoer wordt dan berekend hoeveel water de IJssel aan het IJsselmeer levert. De waarden hieronder zijn afkomstig uit het Water Distribution Model(volume XII) van het PAWN-instrumentarium (Wegner, 1981).

$$\begin{aligned}
 Q_{ijss}(t) &= 280 + (420-280) \cdot (Q_{rijn}(t) - 1900) / (3000-1900) & Q_{rijn}(t) > 1900 \\
 Q_{ijss}(t) &= 75 + (280-75) \cdot (Q_{rijn}(t) - 600) / (1300-600) & Q_{rijn}(t) < 1300 \\
 Q_{ijss}(t) &= 280 & 1300 \leq Q_{rijn}(t) \leq 1900
 \end{aligned} \quad (32)$$

Met: $Q_{ijss}(t)$ = IJsselaanvoer in decade t [m³/s]
 $Q_{rijn}(t)$ = Rijnaanvoer in decade t [m³/s]

Bepaling verandering IJsselmeerpeil voor spui

$$V_{ijssm-tot}(t) = \sum_{i=1}^{y=[1..4]} V_{ijssm-toe}(t, y) \quad (33)$$

$$\Delta V_{ijssm-vp}(t) = (P(t) - E_{ref}(T) \cdot A_{ijssm} + Q_{ijss}(t) \cdot T_{dec} - Q_{doorsp} \cdot T_{dec} - V_{ijssm-tot}(t) \quad (34)$$

met: $V_{ijssm-tot}(t)$ = de totale toevoer water aan het landelijk gebied vanuit het IJsselmeer [m³]
 $\Delta V_{ijssm-vp}(t)$ = volumeverandering van water in het IJsselmeer voor spui [m³]

A_{ijssm} = oppervlakte van het IJsselmeer [m^2]

Vervolgens wordt het verschil in peilhoogte berekend:

$$\Delta h_{ijssm-vp}(t) = \Delta V_{ijssm-vp}(t) / A_{ijssm} \quad (35)$$

$$h_{ijssm-vp}(t) = \Delta h_{ijssm}(t-1) + \Delta h_{ijssm-vp}(t) \quad (36)$$

Bepaling spui

In deze stap wordt bepaald hoeveel m^3 er gespuid dient te worden. Deze hoeveelheid wordt beperkt door de maximale spuicapaciteit. Hierbij wordt uitgegaan van een spuicapaciteit van maximaal 500 minuten per dag (2 spuiperioden) en 44 miljoen m^3 /dag. Dit resulteert in een maximum hoeveelheid spui per seconde van 1466,7 m^3 (mailwisseling met Han Berger en Dirk van Hoorn, WaterDienst).

$$Q_{spui}(t) = (A_{ijssm} * (h_{ijssm-vp}(t) - h_{ijssm-streef}(t))) / T_{dec} \quad \begin{array}{l} h_{ijssm-vp}(t) > h_{ijssm-streef}(t) \& \\ A_{ijssm} * (h_{ijssm-vp}(t) - h_{ijssm-streef}(t)) < Q_{spuimax} * \\ T_{decade} \end{array}$$

$$Q_{spui}(t) = Q_{spuimax} \quad \begin{array}{l} h_{ijssm-vp}(t) > h_{ijssm-streef}(t) \& \\ A_{ijssm} * (h_{ijssm-vp}(t) - h_{ijssm-streef}(t)) > Q_{spuimax} * T_{decade} \end{array}$$

$$Q_{spui}(t) = 0 \quad h_{ijssm-vp}(t) \leq h_{ijssm-streef}(t) \quad (37)$$

Met: $Q_{spuimax}$ = de hoeveelheid spui per seconde, uitgaande van een beschikbaarheid van 500 minuten per dag over 10 dagen en een maximum spuicapaciteit per dag van 44 miljoen m^3 voor Den Oever en Kornwerderzand [m^3/s]

Bepaling IJsselmeerpeil na spui

Als de hoeveelheid spui die gevraagd wordt onder het maximum spuicapaciteit blijft, zal het IJsselmeerpeil op het streefpeil komen te liggen.

$$\Delta V_{ijssm}(t) = (P(t) - E_{ref}(t)) * A_{ijssm} + Q_{ijss}(t) * T_{dec} - Q_{doorsp} * T_{dec} - V_{ijssm-tot}(t) - Q_{spui}(t) * T_{dec}; \quad (38)$$

met: $\Delta V_{ijssm}(t)$ = verandering water volume in het IJsselmeer in decade t na spui

het uiteindelijke peilverschil ten opzichte van de vorige tijdstap($t-1$) wordt berekend door de uitkomst van vergelijking (38) te delen door de oppervlakte van het IJsselmeer.

$$\Delta h_{ijssm}(t) = \Delta V_{ijssm}(t) / A_{ijssm} \quad (39)$$

met: $\Delta h_{ijssm}(t)$ = verandering IJsselmeerpeil in decade t

Het nieuwe peil van het IJsselmeer wordt bepaald door het oude peil (tijdstap $n-1$) met het verschil in tijdstap t te sommeren.

$$h_{ijssm}(t) = h_{ijssm}(t-1) + \Delta h_{ijssm}(t) \quad (40)$$

met: $h_{ijssm}(t)$ = IJsselmeerpeil in decade t

5.4.5 Schade scheepvaart

Om de schade voor de scheepvaart weer te geven is gekozen om aan te geven hoeveel dagen het IJsselmeerpeil onder het niveau van -0.40 m NAP zal liggen. Onder dit peil is het namelijk niet

meer mogelijk voor beladen klasse Vb schepen(>3000 ton) om gebruik te maken van het IJssel- en Markermeer. Voor elk scenario wordt dit getal bepaald. Op die manier wordt er inzicht gekregen in de verandering voor de scheepvaart als gevolg van de toekomst- en klimaatscenario's. Het schadegetal wordt dus weergegeven in het gemiddelde aantal dagen per jaar.

5.4.6 Schade grasland & landbouw

Voor elke karakteristieke plot landbouw en grasland volgt een overlevingsfractie per decade uit het model. De overlevingsfractie aan het eind van het jaar (decade 36) wordt bepaald. Daarmee wordt berekend wat de schade is aan een bepaald plot in een bepaald jaar door de overlevingsfractie te vermenigvuldigen met het areaal en de schade per oppervlakte.

Schadefunctie landelijk gebied

In dit onderdeel wordt de schade fractie bepaald die optreedt aan de gewassen. Dit is zo gedimensioneerd dat een gewas door het jaar steeds meer schade kan oplopen. Aan het begin van het jaar wordt de schade fractie weer op 1 gesteld, zodat er voor het volgende jaar een nieuwe schadeberekening start. De schade fractie is afhankelijk van de ratio tussen actuele en potentiële evapotranspiratie. Voor elk gewas gelden andere waarden wat betreft schade en sterfte.

$$Ratio(t,x) = E_{act}(t,x) / E_p(t) \quad (41)$$

Met: $Ratio(t,x)$ = verhouding potentiële en actuele verdamping [-]

$$\begin{aligned} DDF &= 0 & Ratio &\geq 1 \\ DDF &= RD * (1 - Ratio) / (1 - RP) & RP < Ratio &\leq 1 \\ DDF &= RD + (DDF_{max} - RD) * (RP - Ratio) / (RP - DP) & DP < Ratio &\leq RP \\ DDF &= DDF_{max} & Ratio &\leq DP \end{aligned} \quad (42)$$

Met: DDF_{max} = maximale schade fractie door droogte [-]
 RD = Reductie schade droogte, uit Mozart [-]
 RP = Reductie punt droogte, uit Mozart [-]
 DP = Dood punt droogte, uit Mozart [-]
 DDF = schade fractie door droogte [-]

$$OF(t,x) = (DDF_{max} - DDF) * OF(t-1,x) \quad (43)$$

Met: $OF(t,x)$ = Overlevingsfractie in decade t en gebied x [-]

$$S_{gras}(t,year) = (1 - OF(t,x)) * A(x) * K_{gras} \quad (44)$$

$$S_{lb}(t,year) = (1 - OF(t,x)) * A(x) * K_{lb} \quad (45)$$

met: $S_{gras}(year)$ = schade grasland
 $S_{lb}(year)$ = schade landbouw
 K_{gras} = schade per hectare gras [€]
 K_{lb} = schade per hectare landbouw [€]

De getallen die de schade per hectare weergeven zijn ingeschat op basis van het Agricom model (RIZA, 1996). De schadegetallen zijn dus een indicatie om de schade tussen de verschillende scenario's te kunnen vergelijken.

5.5 Data

In de technische modelomschrijving zijn de verschillende stappen in het PAWN – Light model beschreven en toegelicht. Voor alle plots worden de gewasfactoren (bijlage 2), wortelzones, afmetingen van de verzadigde zone, de porositeit en de areaalafmetingen gebruikt. Daarnaast zijn de referentieverdamping, neerslag en Rijnafoer invoerdata van het model.

Klimaatdata

De klimaatscenario's hebben elk een andere dataset. Deze dataset bestaat uit de referentieverdamping, de neerslag en de Rijnafoer. Alle drie grootheden worden per decade opgegeven.

Kenmerken van landelijk gebied

Binnen de 'bakjes' landelijk gebied worden karakteristieke plotten gedefinieerd. Deze karakteristieke plotten hebben elk unieke waarden wat betreft verdampingsfactoren, wortelzones, porositeit en schadeparameters. In het software programma ArcGIS zijn karakteristieke plotten gemaakt door kaarten met bodemtypen en landgebruiksvormen over elkaar te leggen. Hierbij worden als bodemtypen zand, klei en veen onderscheiden. De landgebruiksvormen zijn opgedeeld in de groepen grasland, landbouw, natuur, bos en stedelijk gebied. Stedelijk gebied wordt hierbij als aparte categorie gezien, vanwege de afwijkende afwateringssysteem. Het stedelijke gebied wordt dus ook niet gecombineerd met de verschillende bodemtypen en er wordt vanuit gegaan dat het water wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. De overige landgebruiksvormen (vier) worden wel gecombineerd met de bodemtypen (drie). Samen met het stedelijke gebied leidt dit dus tot een dertiental gebiedstypen. Dit aantal zou kunnen worden uitgebreid in het model als een verdere differentiatie binnen de gebieden gewenst is. De arealen van deze dertien karakteristieke plotten kunnen in de toekomst wijzigen door aangepaste landgebruik- en inrichting. In de scenario's waarin gerekend gaat worden aan de toekomstverandering (WLO, 2006) van Nederland worden de afmetingen van de gebiedstypen dus aangepast aan de hand van de WLO-scenario's.

5.6 Calibratie & validatie

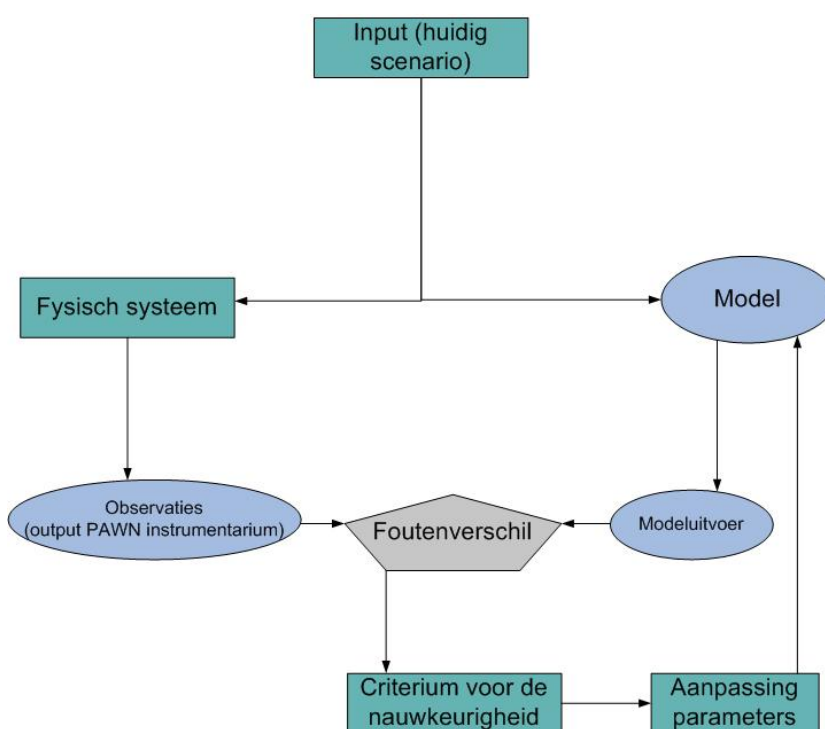
5.6.1 Inleiding en uitgangspunten

Modellen zijn slechts benaderingen van de complexe realiteit. Formules en relaties worden vaak toegepast op een grotere schaal dan de schaal waarop ze zijn gemeten. Daardoor ontstaan onzekerheden, onnauwkeurigheden en fouten. Daarnaast worden er veel aannames gedaan om het model voldoende snel en werkbaar te houden. Dit betekent dat niet alle ruimtelijke en temporele variaties van parameters en variabelen worden meegenomen in de berekeningen. Daarnaast worden er aan sommige onderdelen van het systeem beperkingen (bijvoorbeeld sluiscapaciteiten) gesteld. Omdat er aannames en vereenvoudigingen in het model verwerkt zijn is het mogelijk dat het model niet optimaal functioneert. Om het model zo optimaal mogelijk te laten functioneren dienen parameters aangepast te worden. Dit gebeurt door middel van calibratie.

De calibratie vindt plaats tijdens de modelontwikkeling voor het instellen van interne modelparameters. Op basis van empirische data worden modelparameters geschat, ingesteld en dus geijkt. Zoals beschreven in Laf & Kenton (2000) wordt de calibratie uitgevoerd met een bepaalde dataset, waarna er eventueel parameters aangepast kunnen worden. Daarna wordt er onderzocht of deze dataset niet de parameters dusdanig heeft aangepast, dat het model voor andere datasets niet meer geldig is. Daarom wordt het model na de calibratie gevalideerd. Validatie vindt dus plaats na de calibratie en wordt uitgevoerd met een andere dataset. Een model

van het bestaande systeem wordt als valide beschouwd als de twee data sets (output en observaties) 'dichtbij' elkaar liggen. Hoe dicht dit zou moeten zijn, is afhankelijk van het type model, de hoeveelheid aan parameters en variabelen en de mening van de experts (Law & Kenton, 2000).

Het PAWN – Light model wordt gecalibreerd en gevalideerd op resultaten van het PAWN instrumentarium (RIZA, 2003). Dat er vergeleken wordt met de resultaten van een ander instrumentarium en niet met de werkelijkheid komt door de eisen aan het model. De uitkomsten voor een aantal jaren zullen dus met elkaar worden vergeleken aan de hand van calibratieformules. In Figuur 14 staat afgebeeld hoe het calibratieproces verloopt.



Figuur 14 Schema van het calibratieproces (Fleming, 1975)

Echter geldt wel dat wanneer er meer parameters gecalibreerd dienen te worden, dat het model dan onzekerder kan worden. De calibratiedata moet dus informatie bevatten die geschikt is om om te gaan met alle parameters die voor calibratie gekozen zijn. Als dit niet zo is, zullen de parameters onzekerder zijn en dientengevolge ook de modeluitvoer. Er zal overigens altijd een bepaalde onzekerheid in het model blijven bestaan, ook bij een optimaal calibratieproces.

5.6.2 Uitvoeren calibratie en validatie

De calibratie is uitgevoerd met behulp van een calibratieformule: De modefficiëntie (Nash & Sutcliffe, 1970). De parameters waarop het model gecalibreerd gaat worden zijn de peilhoogtes van het IJsselmeer/Markermeer. Het IJsselmeerpeil is zeer belangrijk voor het systeem omdat daarmee gekwantificeerd wordt hoe groot het beschikbare zoetwaterreservoir is. De voorraad van het reservoir is dus een bepalende factor in het bepalen van de schade door zoetwatertekort. Daarnaast wordt de schade voor de scheepvaart bepaald, deze is volkomen afhankelijk van het IJsselmeerpeil. Hieronder zullen de gebruikte formules aan de hand van de doelvariabele IJsselmeerpeil worden toegelicht.

De calibratie is uitgevoerd met de data uit het jaar 1976 uit resultaten van het PAWN-instrumentarium. Het is van belang dat het model goed het systeem simuleert in droge jaren omdat dan de maximale schade optreedt. Het jaar 1976 is dus gekozen omdat dit jaar een droog jaar is. Er zijn een aantal runs gemaakt om de parameters zo optimaal mogelijk in te stellen. Een overzicht van deze runs staat in bijlage 5. De resultaten hiervan zijn te zien in paragraaf 6.1.

De validatie is uitgevoerd met data van het jaar 1959 omdat dit ook een droog (in KNMI-terminologie 'zeer droog') jaar is. Doordat de calibratie parameters zijn afgesteld op de peilen van 1976 zal de modefficiëntie waarschijnlijk lager zijn dan bij de calibratie. De resultaten van de validatie staat in paragraaf 6.2.

Modefficiëntie (Nash-Sutcliffe)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (46)$$

n = aantal tijdstappen

P_i = IJssMpeil_i (PAWN – Light 1976/1959)

O_i = PAWN-resultaten IJsselmeerpeil/Markermeerpeil (1976/1959)

$\bar{O}$ = gemiddelde geobserveerde waarden

De modefficiëntie (ook wel Nash-Sutcliffe coëfficiënt genoemd) schat de voorspelbaarheidskracht van hydrologische modellen in. De uitkomst van het model kan liggen tussen $-\infty$ en 1. Een efficiëntie van 1 betekent dat het model perfect de metingen voorspelt (Feyen, 1999). In hoofdstuk 6 wordt voor zowel de calibratie als de validatie de modefficiëntie gebruikt om de voorspelbaarheidskracht van het PAWN – Light model te bepalen.

6 Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het PAWN – Light model beschreven. In paragraaf 6.1 wordt het resultaat van de calibratie op het IJsselmeerpeil in 1976 beschreven. Vervolgens wordt het in paragraaf 6.2 het resultaat van de validatie besproken. In de daaropvolgende paragraaf worden de resultaten getoond en toegelicht van de scenario-runs die in het PAWN – Light model zijn uitgevoerd. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een discussie, waarin de beperkingen en kanttekeningen van het model en de resultaten wordt besproken.

6.1 Calibratie

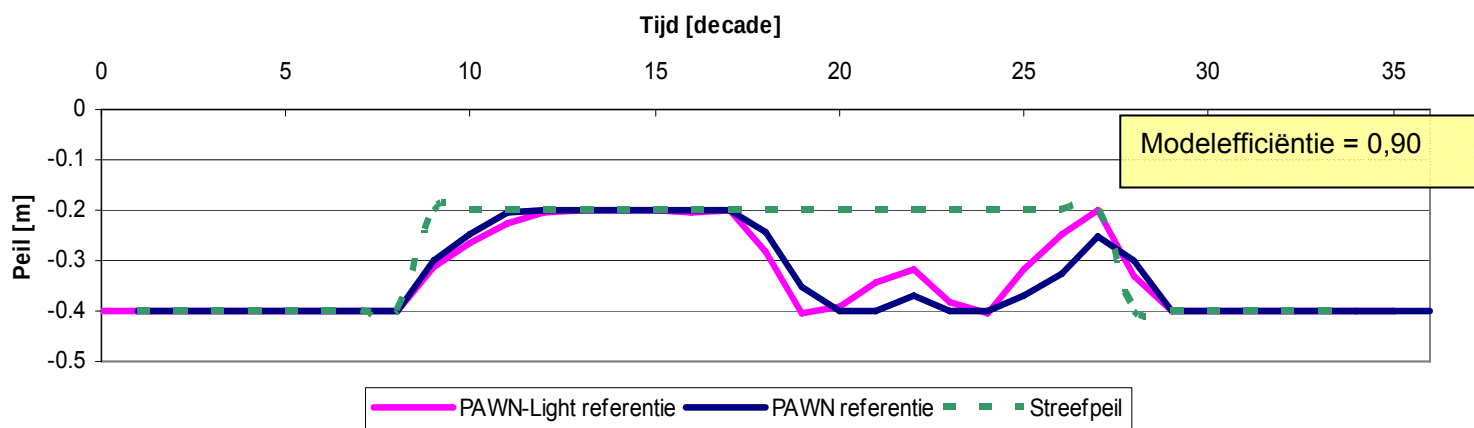
Voor aanvang van de calibratieruns hadden de te calibreren parameters de volgende waarden:

- Sluisdrempels min: -0,40 m
- Sluisdrempels max: -0,20 m
- Capmax: 0,001 m/decade
- Weerstandsfactor horizontale waterbeweging R: 100 [/dag]
- Factor sluiscapaciteiten: 1 [-]

Tabel 11 Verandering parameters na calibratie

Parameters	Cap_{max} [m/decade]	Sluisdrempels [m]	Factor sluiscapaciteiten [-]	Weerstandsfactor R [dag]
oorspronkelijk	0,001	-0,20 en -0,40	1	100
na calibratie	0,0017	-0,35 en -0,40	2	100

In bijlage 5 wordt een overzicht gegeven van de gemaakte calibratieruns. Naar aanleiding van deze runs zijn de te calibreren parameters ingesteld op de waarden die in Tabel 11 genoemd staan. Als het model met deze waarden ook valide (zie paragraaf 6.2) is, kan er gesteld worden dat het model betrouwbare uitkomsten geeft.

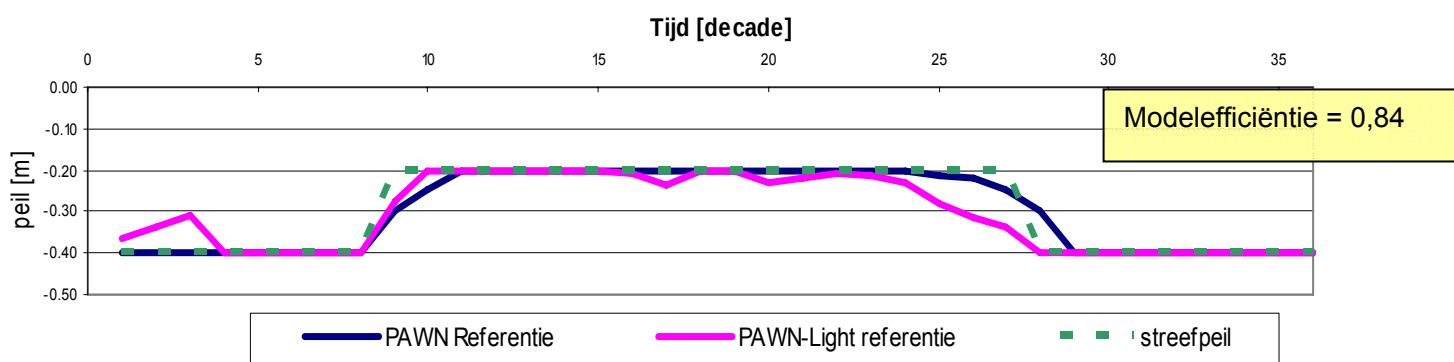


Figuur 15 Calibratie PAWN – Light op het PAWN IJsselmeerpeil van 1976

In Figuur 15 is duidelijk te zien dat de peilen uit beide modellen elkaar niet veel ontlopen. Er zijn een aantal verschillen zichtbaar tussen de pieken in de grafieken rond decade 22 en 27. Rond decade 22 geldt dat het PAWN – Light model grover reageert omdat er de veronderstelling is gedaan dat de hoeveelheid water in het oppervlaktewater constant blijft. Dat betekent dat er in de referentie situatie een aanvulling van het binnenwater nodig is, terwijl dat in PAWN – Light al is opgevangen. In decade 27 wordt in PAWN al rekening gehouden met het aankomende winterpeil, in PAWN – Light is dit nog niet ondervangen. Daarom gaat het PAWN – Light peil nog naar een hoogte van -0.20 m NAP toe. De uiteindelijke modelefficiëntie na calibratie van het model is 0,90 (Nash-Sutcliffe).

6.2 Validatie

Omdat er gecalibreerd wordt op het PAWN – instrumentarium is hiermee ook gevalideerd voor het jaar 1959. De modelefficiëntie die is berekend voor het PAWN – Light model heeft een waarde van 0,84 (Nash-Sutcliffe). Hierbij dient nog te worden aangetekend dat een deel van de onzekerheid voortkomt uit een afwijkend peil in de winterperiode (rond decade 1 t/m 4 in Figuur 16) van het PAWN – instrumentarium en PAWN – Light. Het doel van dit model is echter te voorspellen wat de gevolgen in de (droge) zomerperiode zijn en dus is deze afwijking in het begin van het jaar minder van belang (als de beginperiode van het jaar niet wordt meegenomen is de efficiëntie 0,88).



Figuur 16 Validatie PAWN – Light op het PAWN IJsselmeerpeil van 1959

6.3 Resultaten scenario-runs

6.3.1 Beschrijving runs

Om de gevoeligheid van het Natte Hart te bepalen wat betreft de zoetwatervoorziening voor verschillende KNMI en WLO scenario's zijn er runs gemaakt met het PAWN – Light Model. De WLO-scenario's zijn in de invoerdata verwerkt door de verwachtingen uit het WLO-rapport (MNP, CPB EN RPB, 2005) van 2040 door te rekenen naar 2050. Dit betekent dat de oppervlakten van bepaalde landgebruiken toenemen en van bepaalde andere typen landgebruiken afnemen. Dit kan beide van invloed zijn op de watervraag.

De andere invoerkant van de scenario's betreft de klimaatscenario's. Hiervoor zijn de scenario's huidig, G en W+ gebruikt. Het huidige scenario wordt gebruikt om een vergelijk te kunnen maken tussen de historische en voorspelde gebeurtenissen. In Tabel 12 staat een overzicht van de scenario runs die zijn gemaakt in het PAWN – Light model. Hierbij is in eerste instantie de combinatie van scenario's aangehouden van Riedijk (2007) en van Drunen & Berkhout (2008), zie paragraaf 4.3. De runs worden gedraaid voor het jaar 1976, dit wordt verder het 'extreem droge jaar' genoemd. Daarnaast worden gemiddelden berekend over de hele rekenperiode.

Tabel 12 Overzicht scenario runs

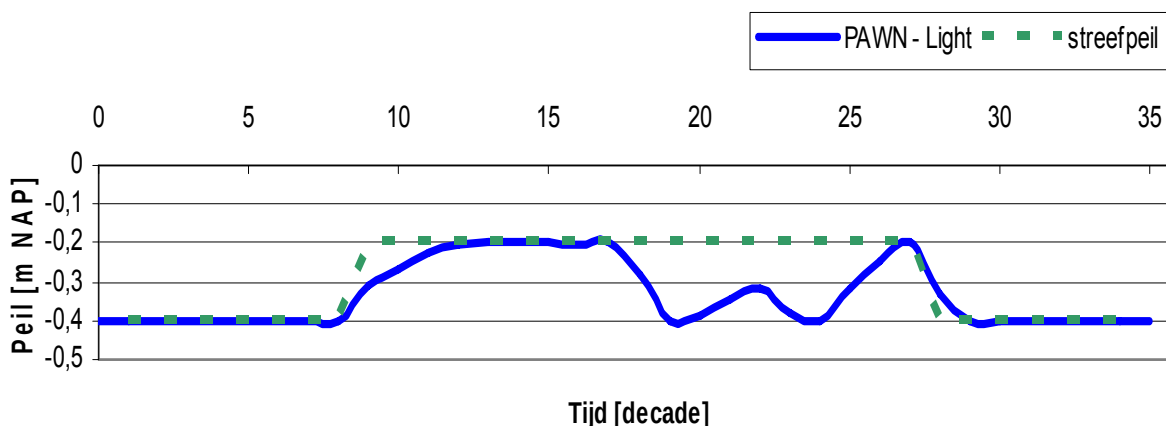
WLO KNMI	Huidig WLO	Regional Communities	Global Economy
Huidig KNMI	Referentie (Run 000)	Run 001	Run 002
G	Run 003	Run 004	-
W+	Run 005	Run 007*	Run 006

* deze run is later toegevoegd en uitgevoerd

In deze rapportage worden twee scenario's uitgebreid beschreven (par. 6.3.2 & 6.3.3), het referentiescenario (run 000) en het Regional Communities – W+ scenario (run 007). Het laatste scenario wordt verondersteld het meest extreme schadegetal te geven wat betreft de toekomst. In 6.3.4 wordt een overzicht gegeven van de effecten van alle onderzochte scenario's uit Tabel 12.

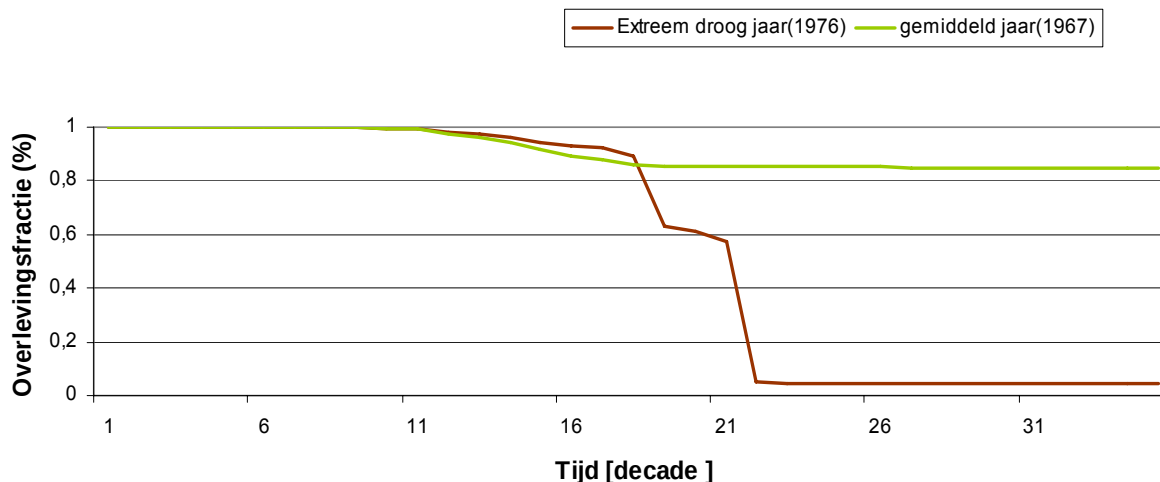
6.3.2 Referentiescenario

Om een goed beeld te krijgen van het systeem en de gevolgen van de scenario's is het vereist om eerst een referentiescenario te onderzoeken. In het referentiescenario wordt uitgegaan van het huidige KNMI-scenario en het huidige WLO-scenario. Met dit referentiescenario kan worden vastgesteld wat de schade zou zijn op dit moment. Na het invoeren van de toekomst- en klimaatscenario's kan vervolgens worden bepaald hoe groot de verandering in schade relatief gezien is ten opzichte van dit referentiescenario.



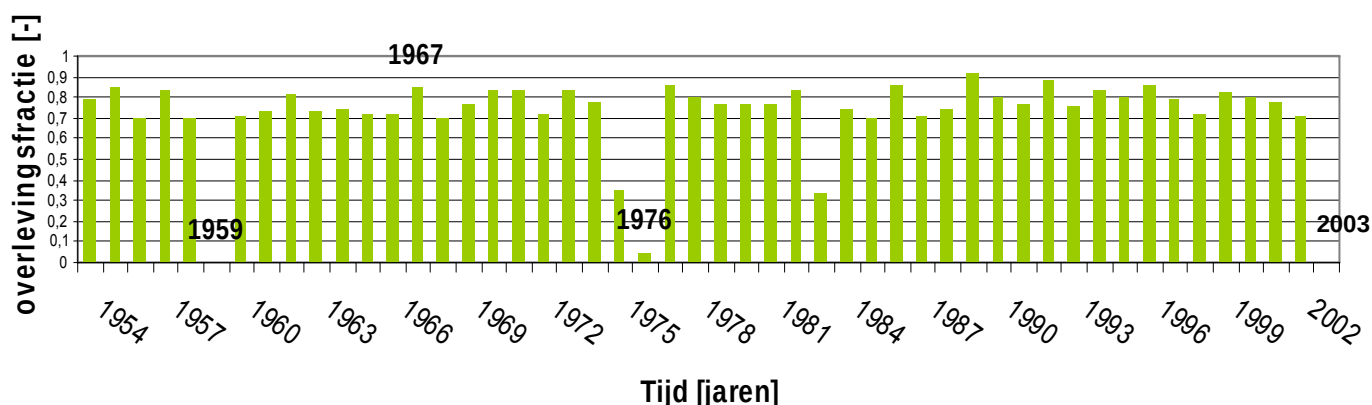
Figuur 17 IJsselmeerpeil referentie scenari in een extreem droog jaar(1976)

In Figuur 17 is te zien hoe het IJsselmeerpeil verloopt in het referentiescenario voor een extreem droog jaar. Duidelijk is te zien dat het peil grotendeels het streefpeil volgt. In de zomerperiode ontstaat er echter een peildaling door langdurige droogte. In deze droge periode heeft het landelijk gebied een grote watervraag, waaraan op een bepaald moment niet meer voldaan kan worden. Op dat moment dat er niet meer de gewenste hoeveelheid beregening kan worden aangevoerd ontstaat er schade aan de gewassen. In Figuur 18 is te zien hoe de gewassen (in dit geval landbouw als verzamelterm) reageert op de droogte. Om duidelijk te maken hoe dit verschilt met een gemiddeld jaar als 1967 is ook dit verschil weergegeven (in verband met de beschikbare modeluitvoer wordt hier de overlevingsfractie van een gemiddeld jaar gegeven en niet van het gemiddelde over de hele periode).



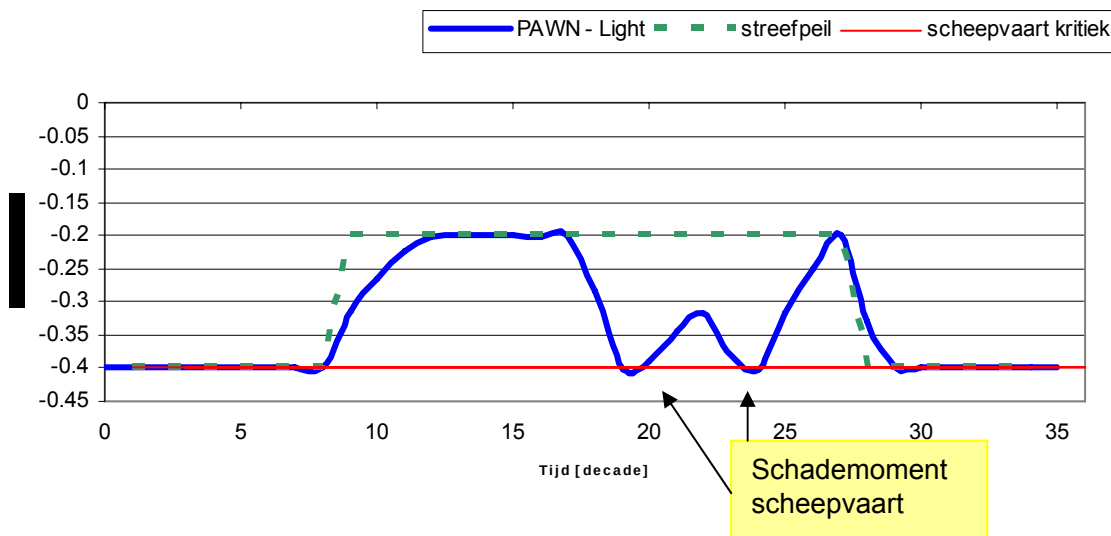
Figuur 18 Overlevingsfractie van landbouw in een droog en een gemiddeld jaar

In de grafiek is te zien dat landbouw grote schade gaat ondervinden op het moment dat het IJsselmeerpeil gaat dalen (vanaf decade 17 in Figuur 17). Daarnaast wordt duidelijk dat in een gemiddeld jaar weinig schade optreedt aan de landbouw, terwijl in het extreme geval van 1976 de schade bijna maximaal is. Aan het eind van elk jaar wordt dus een overlevingsfractie vastgelegd. De berekende overlevingsfractie aan het eind van 1976 (0,04) komt terug in de volgende grafiek. In Figuur 19 wordt namelijk de overlevingsfractie voor elk jaar voor een representatieve plot afgebeeld (in dit geval landbouw-zand). De jaren 1959, 1976 en 2003 zijn herkenbaar als droge jaren. Voor elke plot is dus een dergelijke figuur beschikbaar. Met deze overlevingsfracties kan worden berekend hoeveel gewassen er sterven en wat de schade is die hierdoor ontstaat.



Figuur 19 Overlevingsfractie alle jaren van plot landbouw – zand

Naast de schade voor landbouw wordt in dit onderzoek gekeken naar de schade die ontstaat voor scheepvaart. In Figuur 20 is gevisualiseerd wanneer er schademomenten optreden voor de scheepvaart en hoe groot deze zijn.



Figuur 20 Indicatie van de schademomenten voor scheepvaart in het referentiescenario in een extreem droog jaar (1976)

In het geval van het referentiescenario gaat het om twee decaden in 1976 waarin de benodigde peilhoogte voor de (beladen) scheepvaart niet voldoende is. Dit resultaat zal in paragraaf 0

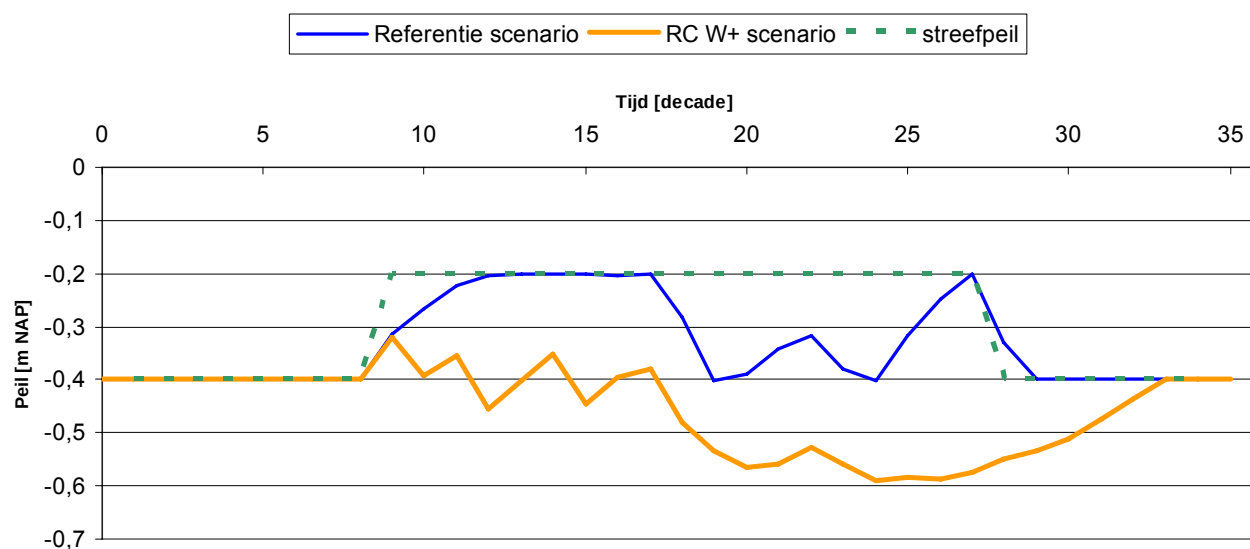
worden gebruikt om te kunnen beoordelen of dit schadegetal anders is de resultaten van de overige scenario's.

Tabel 13 Overzicht schadegevolgen referentiescenario in een extreem droog jaar

1976	Gewasschade (miljoen €)	Aantal dagen scheepvaartbeperking(d)
Referentiescenario	556	20

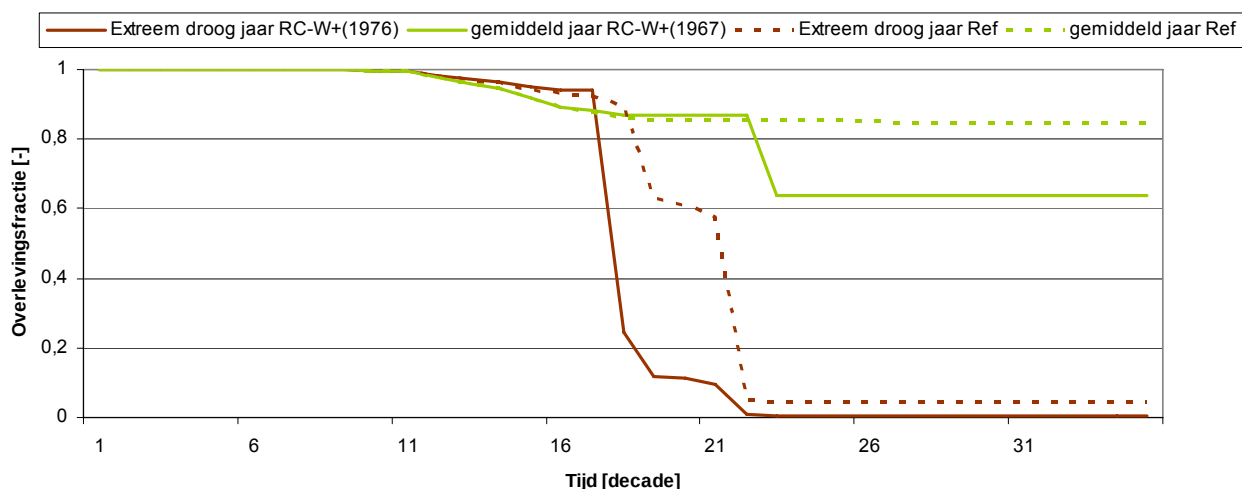
6.3.3 Scenario Regional Communities – W+

Dit scenario heeft tijdens het onderzoek laten zien dat het de grootste verandering geeft in gewassterfte en scheepvaart. Hier volgt uit dat dit scenario dan ook de grootste schade heeft vergeleken met het referentiescenario. In deze paragraaf zal door middel van figuren getoond worden hoe de consequenties van het toekomstscenario Regional Communities in combinatie met het KNMI W+ scenario zouden zijn vergeleken met het referentiescenario.



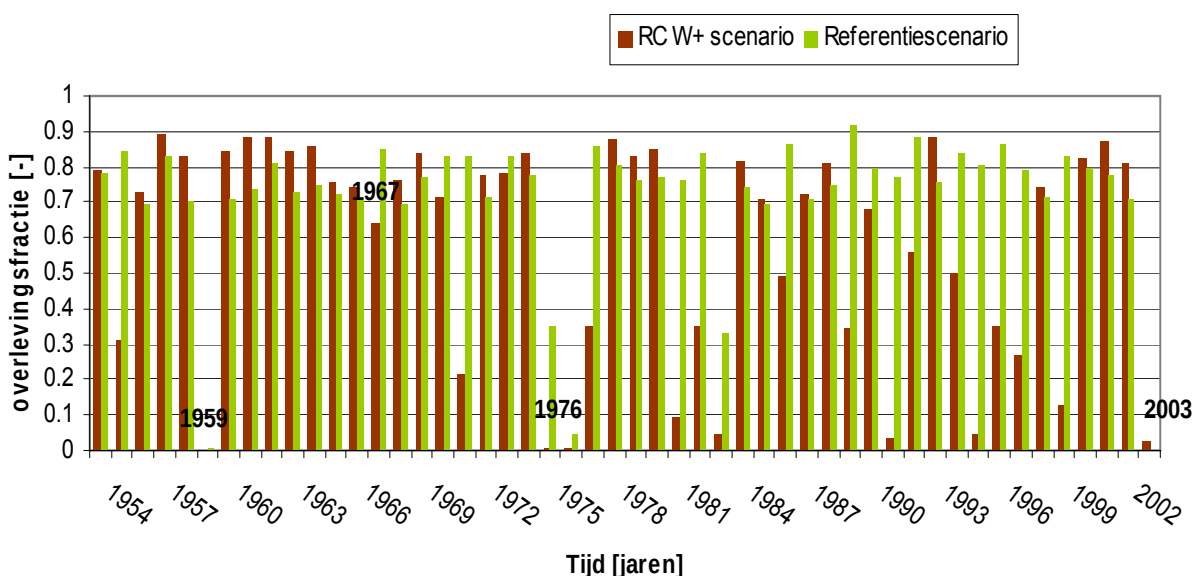
Figuur 21 IJsselmeerpeil RC – W+ scenario en Referentiescenario in een extreem droog jaar (1976)

In Figuur 21 is te zien hoe het IJsselmeerpeil verandert als gevolg van het Regional Communities W+ scenario voor een extreem droog jaar. De daling rond decade 17/18 is erg groot. De verdamping in deze periode is bijna 70 mm/decade, de neerslag is nihil en de IJsselaflow zeer laag. Dit verklaart de daling van circa 6,5 cm per decade. In deze periode wordt dus geen water ingelaten naar het achterland omdat het peil onder de -0.40 m NAP is. Het beleid is dat er beneden dat peil geen water wordt ingelaten naar het landelijk gebied.



Figuur 22 Overlevingsfractie van landbouw in een droog en een gemiddeld jaar voor het RC – W+ scenario

In Figuur 22 wordt weergegeven wat de gevolgen zijn voor het verloop van de overlevingsfractie. Er is te zien dat voor zowel het droge jaar als het gemiddelde jaar de overlevingsfractie lager is. De schade voor deze gebieden zal dan ook hoger uitvallen. Opvallend is ook dat de gewassterfte eerder begint in het extreme klimaatscenario W+.

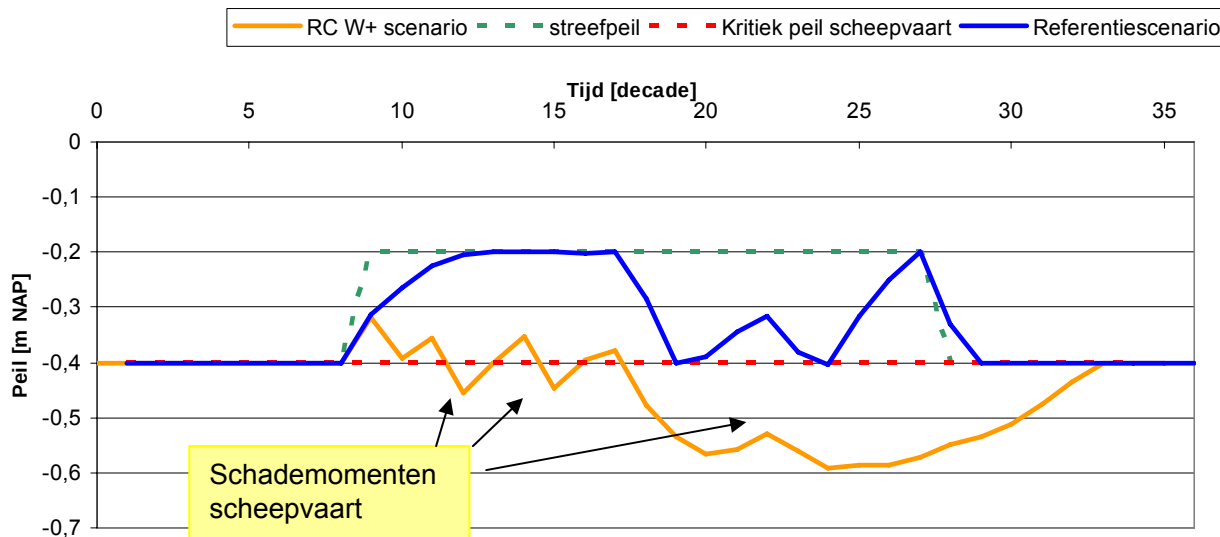


Figuur 23 Overlevingsfractie alle jaren plot landbouw – zand RC – W+ scenario en het referentiescenario

In

Figuur 23 staat de jaarlijkse overlevingsfractie afgebeeld voor zowel het referentie scenario als het RC - W+ scenario. Duidelijk is het verschil te zien tussen de verschillende jaren. Opvallend is dat niet elk jaar de overlevingsfractie lager wordt voor het extreme scenario maar dat er ook jaren zijn waarin er een hoger percentage landbouw overleeft. Dit onderzoek richt zich echter voornamelijk op de gevolgen van de scenario's in droge jaren. Voor deze jaren is in de grafiek af te lezen dat de overlevingsfractie kleiner wordt (zoals in 1959 en 1976) maar dat er ook een jaar (2003) is waarin de overlevingsfractie groter wordt. Dit komt doordat het extreme klimaatscenario niet alleen betekent dat er drogere zomers maar dat er ook perioden zullen zijn met extremere neerslag. Dit

kan ervoor zorgen dat zowel het bodemvocht als de grondwaterstand een grotere buffer opbouwen die in de zomer door de gewassen kan worden gebruikt als reservoir. Zodoende leidt dit tot een hogere overlevingsfractie en een lagere gewasschade.



Figuur 24 Indicatie schademomenten voor scheepvaart in het RC – W+ scenario in een extreem droog jaar

Het RC – W+ scenario heeft een ander effect op het IJsselmeerpeil in vergelijking met het referentiescenario. Dit betekent dat er ook gevolgen zullen zijn voor de beperkingen voor de scheepvaart. In Figuur 24 is te zien dat het RC – W+ scenario in 1976 een grote periode veroorzaakt waarin de scheepvaart op het IJsselmeer beperkt wordt in zijn mogelijkheden. In de tabellen hieronder volgt een samenvatting van de gevolgen van het RC – W+ scenario voor landbouw en scheepvaart. Hierbij wordt vergeleken met het referentiescenario. Het aantal dagen scheepvaartbeperking echter neemt juist behoorlijk toe (+ ca.800%).

Tabel 14 Schadegevolgen referentiescenario en RC – W+ scenario in een droog jaar

1976	Gewasschade (miljoen €)	Aantal dagen scheepvaartbeperking(d)
Referentiescenario	556	20
RC – W+ scenario	474 (-14%)	183 (+800%)

De afname van de gewasschade komt voort uit het feit dat de hoeveelheid afneemt in dit scenario. Interessant is het nu om te kijken wat er met de gemiddelde schade (over een tijdsbestek van 50 jaar) gebeurt. Deze resultaten staan in Tabel 15. Hier is duidelijk een toename van de schade te zien (+11%), ondanks het verminderde areaal. Dit is een interessant resultaat gezien de afname van schade in het extreem droge jaar. De verklaring hiervoor is dat de overlevingsfractie in het extreme droge jaar vrijwel nul is. Dat betekent dat de schade die in Tabel 1514 staat voor het RC W+ scenario de maximale schade is. Ondanks deze areaalafname is het gemiddelde schadegetal (Tabel 15) echter is dus wel groter geworden. Er kan dus gesteld worden dat de verandering van klimaat, resulterend in het W+ scenario, een gemiddeld groter effect dan het sociaal-economische toekomstscenario Regional Communities heeft op de landbouwschade in PAWN – Light.

Tabel 15 Gemiddelde schade referentiescenario en RC – W+ scenario

Gemiddeld jaar	Gewasschade (miljoen €)	Aantal dagen scheepvaartbeperking(d)
Referentiescenario	314	0.6
RC – W+ scenario	349 (+11%)	56

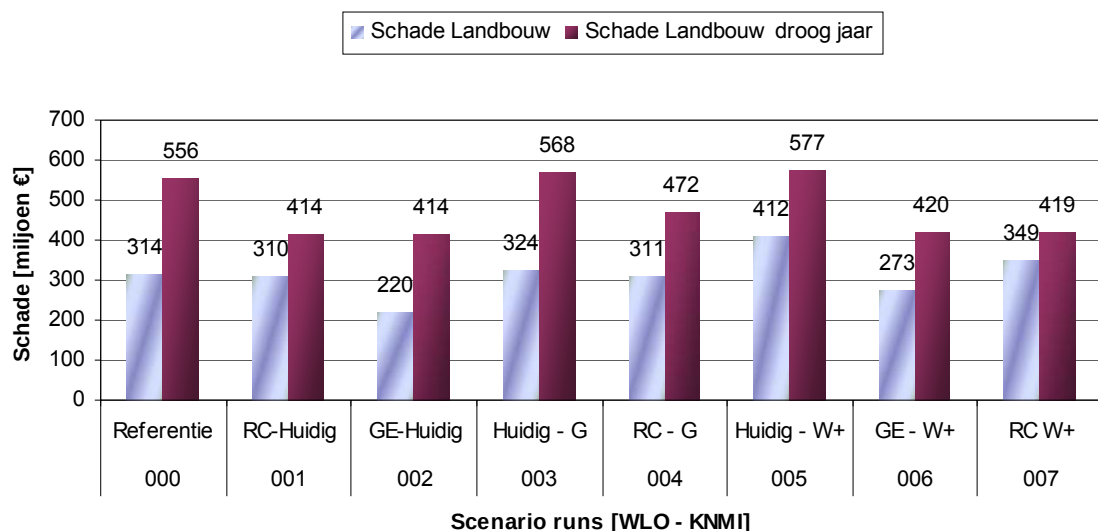
Ook is er gekeken naar een jaar met een gemiddeld klimaat, het jaar 1967. De resultaten staan in tabel 16. Hierbij is te zien dat er onder het referentiescenario geen scheepvaartbeperking was, maar dat dat nu wel het geval is voor een periode van 51 dagen. Daarnaast blijkt de gewasschade met 59% toe te nemen in het gemiddelde klimaatjaar.

Tabel 16 Schadegevolgen referentiescenario en RC – W+ scenario voor een gemiddeld klimaatjaar (1967)

1967 (gemiddeld klimaatjaar)	Gewasschade (miljoen €)	Aantal dagen scheepvaartbeperking(d)
Referentiescenario	227	0
RC – W+ scenario	361 (+59%)	51

6.3.4 Overzicht scenario runs PAWN – Light

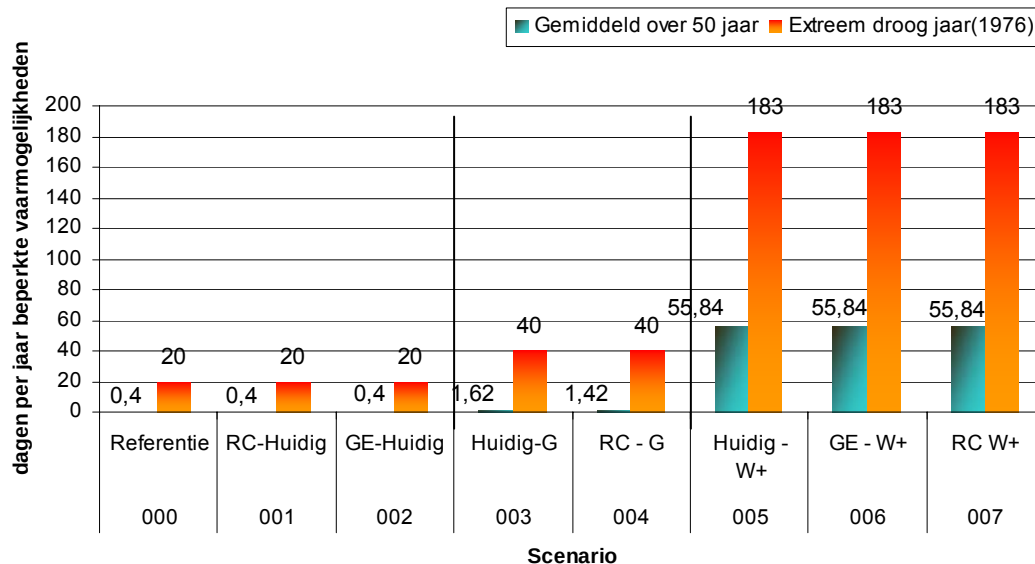
In deze paragraaf worden de belangrijkste resultaten voor alle scenario's samengevat. Hierbij worden alle scenario's meegenomen die in Tabel 12 staan weergegeven. De twee belangrijkste getallen waarop de scenario's worden beoordeeld zijn de schade voor de landbouw en het aantal dagen beperkingen voor de scheepvaart (peil < -0,40 m NAP). Aan de hand van deze resultaten kan beoordeeld worden hoe het Natte Hart systeem reageert op de sociaal-economische en klimaatscenario's en welke scenario's dan de meeste invloed hebben



Figuur 25 Landbouwschade per scenario gemiddeld over de hele periode en in een extreem droog jaar

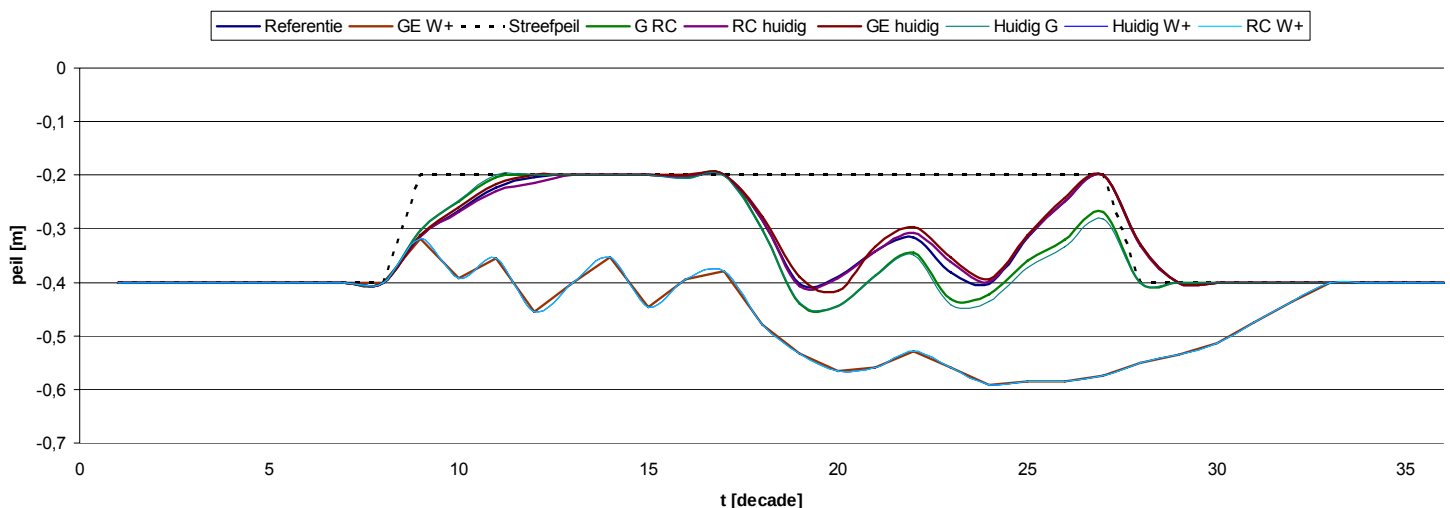
In bovenstaande figuur is af te lezen dat zowel klimaatverandering als de sociaal-economische veranderingen invloed hebben op de schade voor de landbouw. De invloed van de sociaal-economische scenario's komt vooral voort uit het feit dat de landbouwarealen kleiner zijn en dat daardoor de schadepost minder hoog is. Opvallend is echter dat voor het regional communities

scenario's de gemiddelde schade wel toeneemt. Blijkbaar is er een dusdanige toename van de watervraag van andere functies (natuur, etc) in dit scenario dat de gemiddelde schade toch toeneemt.



Figuur 26 Gemiddelde beperking scheepvaart per scenario

In Figuur 26 is de gemiddelde beperking van de scheepvaart voor alle scenario's zichtbaar. Het KNMI G-scenario heeft een vrij kleine invloed op het Natte Hart wat betreft de scheepvaart in het PAWN – Light model. De beperking van de scheepvaart neemt procentueel wel toe, maar is verwaarloosbaar vergeleken bij de effecten van het W+ scenario. Het W+ scenario heeft een significante invloed op de schade voor de landbouw en op de scheepvaart. In een gemiddeld jaar neemt de landbouwschade met 11% toe en stijgt de gemiddelde beperking van de scheepvaart van 0,4 naar 56 dagen per jaar. De grootste toename van schade vindt echter plaats bij het Huidig W+ scenario. PAWN – Light berekent een schadeverhoging van gemiddeld 31%.



Figuur 27 Overzicht IJsselmeerpeil in extreem droog jaar voor alle scenario's

In Figuur 27 staat een overzicht van het IJsselmeerpeil voor 1976 van alle scenario's. Het huidig klimaatscenario en de G-scenario's laten zien dat de verschillen voor het peil in een droog jaar niet significant groot zijn. Er zijn ook kleine verschillen waarneembaar tussen de sociaal-economische scenario's en de referentie scenario's. Dit wordt veroorzaakt door de afgenomen landbouwarealen.

Tabel 17 Schadegetallen voor een extreem droog jaar en voor het gemiddelde van de hele rekenperiode

Scenario \ Schade	1976(droog jaar)			gemiddelde over 50 jaar		
	Gewasschade (miljoen €)	gewasschade (%)	Aantal dagen scheepvaartbeperking(d)	Gewasschade (miljoen €)	gewasschade (%)	Aantal dagen scheepvaartbeperking(d)
Referentie						
001 – RC Huidig						
002 – GE Huidig						
003 – Huidig G						
004 – RC G						
005 – Huidig W+						
006 – GE W+						
007 – RC W+						

In Tabel 17 is een overzicht te zien van de schadegetallen die berekend zijn uit de scenario runs. In de conclusie (hoofdstuk 7) zal hier op terug worden gekomen.

6.4 Discussie

Het PAWN – Light model

Er is een aantal aannamen gedaan in het model. Hiervoor zijn verschillende redenen. Enkele modelonderdelen zijn vereenvoudigd om het model snel te laten rekenen en inzichtelijk te houden. Andere aannamen zijn gedaan omdat er geen gegevens beschikbaar zijn of vanwege beperkte blikveld van het onderzoek. Uiteindelijk is het doel van het model dat de gevoeligheid van het systeem getoetst wordt en hiervoor zijn dan ook zo correct mogelijke aannamen gedaan, al dan niet met behulp van de calibratie. Voor de belangrijkste aannamen wordt hier een korte toelichting gegeven.

De meteodata (neerslag en evaporatie) zijn de gegevens gebruikt van locatie Leeuwarden. Daarnaast zijn de IJsselaanvoeren voor de KNMI-scenario's uit andere modellen afkomstig en geldt er een lineaire functie met enkele knikpunten voor de verhouding tussen Rijnaafvoer en de IJsselaafvoer (zie modelbeschrijving in paragraaf 5.4). Daarnaast is er ook aangenomen dat de verschillende gebieden(bijvoorbeeld zand-grasland en klei-natuur) evenveel grenzen aan oppervlaktewater. In werkelijkheid zal dit niet altijd correct zijn.

Onzekerheid toekomstvoorspellingen WLO & KNMI

In de scenarioberekeningen wordt uitgegaan van de KNMI en WLO-scenario's en dat er hiertussen een koppeling bestaat. Deze scenario's en hun onderlinge verbanden zijn ook afkomstig uit modellen en bevatten daarom ook onzekerheden die voortkomen uit die modellering. Ook de koppeling tussen de KNMI en WLO-scenario's bevat onzekerheden. In de scenario-runs is bijvoorbeeld W+ (KNMI) gekoppeld aan Global Economy (WLO). Deze koppeling komt ook voort uit een bepaalde modellering (zie paragraaf 4.3) en brengt daarom ook onzekerheid met zich mee. Een nieuwe generatie van geactualiseerde klimaatscenario's zal beschikbaar komen rond 2012/2013. Onderzoek is momenteel gaande op weg naar deze nieuwe KNMI '12 scenario's

(KNMI, 2008). Deze scenario's zullen anders zijn dan de KNMI '06 scenario's en de resultaten die nu worden berekend zullen dan niet meer actueel zijn. Echter kan met het PAWN – Light model een snelle scan worden gemaakt als deze nieuwe scenario's beschikbaar zijn. Hetzelfde geldt voor nieuwe WLO-scenario's.

Onzekerheid calibratie & validatie op PAWN

Het calibreren en valideren vindt plaats door middel van het PAWN – instrumentarium. Dit model is gecalibreerd en gevalideerd op gemeten data en wordt daarom als valide beschouwd. Het is echter wel mogelijk dat ook in het PAWN – instrumentarium nog een bepaalde mate van onzekerheid zit en dat deze doorwerkt in de onzekerheid van het PAWN – Light model.

Onzekerheid schademodule

De schademodule van het model is nog niet gecalibreerd en gevalideerd. De schadecijfers dienen daarom ook puur ter indicatie van de onderlinge verschillen tussen de scenario's, waarbij het referentiescenario als uitgangspunt geldt. Voor eventueel vervolgonderzoek en scenario-analyse dient de schademodule eerst te worden gecalibreerd en gevalideerd.

Gevolgen scheepvaart

In de evaluatiecriteria (Tabel 10) staat onder meer de doelstelling dat scheepvaart een van de belangrijke functies van het Natte Hart is en dat deze niet negatief mag worden beïnvloedt. De aansluitende eis is dat de scheepvaartmogelijkheden gelijk blijven aan de huidige situatie en dat er mogelijkheden zijn voor uitbreiding. Uit de resultaten van de scenario's blijkt dat dit niet voor alle scenario's het geval is.

Gevolgen zoetwatervoorraad

Wat betreft de zoetwatervoorziening wordt er in de evaluatiecriteria aangegeven dat de strategische zoetwatervoorraad dient te worden vergroot. Deze buffer dient er zorg voor te dragen dat de landbouw de hele zomerperiode voldoende van zoet water kan worden voorzien. Bovendien dient er ook voldoende water over te blijven voor andere functies zoals doorspoelen, peilbeheer en infrastructuur. In de berekende scenario's in het PAWN – Light model blijken niet alle scenario's hieraan te voldoen.

7 Conclusies & aanbevelingen

7.1 Conclusies

Om aan de doelstellingen van het onderzoek te kunnen voldoen dienen de onderzoeksvragen beantwoord worden. De onderzoeksvragen zijn:

- 1) Hoe ziet het huidige beleid binnen het Natte Hart eruit en welke aanpassingen staan er al gepland?
- 2) Wat zijn de gevolgen voor de waterbalans in het Natte Hart van de klimaat- en toekomstscenario's?
- 3) Wat zal de economische schade bedragen ten gevolge van de toekomst- en klimaatverandering voor zowel landbouw in de gebieden rondom als de scheepvaart in het Natte Hart?
- 4) Welke conclusies kunnen worden getrokken wat betreft de resultaten van het PAWN – Light model? Daarbij wordt gekeken naar de gevoeligheid van het Natte Hart voor het jaar 2050, rekening houdende met de klimaatscenario's van het KNMI en de sociaal-economische toekomstscenario's.

Het huidige beleid houdt zoveel mogelijk rekening met alle belangen die spelen binnen het Natte Hart. De voornaamste beleidsdoelstellingen die in dit onderzoek worden gebruikt betreffen het voorkomen van schade voor de landbouw en de scheepvaart.

De veranderingen van klimaat en de sociaal-economische situatie heeft gevolgen voor de waterbalans in het Natte Hart. Zowel de vraag als het aanbod van water veranderen. Door de kleinere landbouwarealen en grotere natuurarealen in de toekomstscenario's verandert de watervraag. Het aanbod van water wordt door de klimaatverandering beïnvloedt. Door een grotere variabiliteit in neerslag en verdamping wordt het aanbod in droge jaren kleiner. Dit heeft gevolgen voor de zoetwatervoorraad in het Natte Hart. Over het algemeen geldt dat de klimaatverandering tot verhoging van de schade leidt maar dat de sociaal-economische scenario's een verlaging van de schade tot gevolg hebben. Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de arealen landbouw in de sociaal-economische scenario's afnemen. De schaderesultaten die volgen uit het ontwikkelde PAWN – Light model blijken dus gevoelig te zijn voor zowel klimaatscenario's als sociaal-economische scenario's.

Voor droge perioden geven de klimaatscenario's dus een lagere watertoevoer dan in het referentiescenario en daalt het zoetwateraanbod. Als de hoeveelheid zoetwatervoorraad kleiner is dan de vraag raakt de voorraad op en kan er op een bepaald moment geen beregeningswater meer worden toegevoerd naar het landelijk gebied. Hierdoor ontstaat er een tekort aan bodemvocht en daalt de grondwaterstand. Als gevolg hiervan sterven of beschadigen planten en treedt er schade op. Volgens het PAWN – Light model kan als gevolg van het meest extreme klimaatscenario W+ de schade in een gemiddeld jaar met 31% toenemen.

Het lagere IJsselmeerpeil heeft ook effect op de scheepvaartmogelijkheden. In het PAWN – Light model is de scheepvaart niet gevoelig voor de sociaal-economische scenario's. De klimaatscenario's echter hebben een grote invloed op de scheepvaartbeperking, zowel in droge jaren en gemiddelde jaren als voor het gemiddelde over de hele rekenperiode. Voor een gemiddeld jaar neemt de beperking toe van 0,4 dagen per jaar naar 56 dagen per jaar en in een extreem droog jaar stijgt de beperking van 20 naar 183 dagen.

Uit de scenarioruns en de resultaten blijkt dat er niet altijd voldaan kan worden aan de evaluatiecriteria. Met name in het geval van de W+ scenario's ontstaan er problemen voor de scheepvaart en de landbouw. De sociaal-economische scenario's hebben wat betreft de landbouw wel een afzwakkend effect op deze schadestijging.

7.2 Aanbevelingen

Uit de conclusie blijkt dat het model voorspelt dat zowel sociaal-economische als klimaatverandering invloed hebben op het watersysteem van het Natte Hart. Wat betreft de beleidsvorming en uitvoering in dit gebied is het dan ook belangrijk dat met deze invloeden rekening wordt gehouden.

De conclusies uit dit onderzoek komen voort uit scenarioberekeningen voor de toekomst. Dit betekent dat er met verschillende ontwikkelingsrichtingen rekening wordt gehouden. Met deze richtingen kan worden bekeken hoe ingrijpend de veranderingen zouden kunnen zijn en op welke schaal er dan maatregelen genomen kunnen worden. Het gaat er dan ook vooral om dat de gevoeligheid van het IJsselmeersysteem bekend en kwantificeerbaar is. Om het ontwikkelde model hierop aan te laten sluiten dient er nog uitgebreider te worden gecalibreerd. Dit zal gedaan moeten worden op schadegetallen. Daarna zal een gevoeligheidsanalyse moeten worden uitgevoerd om de kennis over het model te vergroten.

Groot voordeel van het ontwikkelde PAWN – Light model is dat dankzij de vele aannames er een werkbaar systeem is neergezet voor quick-scans, dat met een beknopte gebruikershandleiding en voldoende achtergrondkennis zeer snel te begrijpen en te gebruiken is. Hierbij kunnen naast de sociaal-economische en klimaatscenario's ook andere veranderingen in en rond het Natte Hart eenvoudig in PAWN – Light worden geïmplementeerd. Hierbij kan gedacht worden aan seizoensgebonden peilen, verandering van de spui- of sluiscapaciteit of een loskoppeling van peilen tussen het IJsselmeer en Markermeer. Ook kan er onderzocht worden in hoeverre het nuttig is om een grotere buffer aan te leggen, om op die manier een grotere watervoorraad te creëren.

Wat betreft het model wordt geadviseerd om verdere calibratie en validatie uit te voeren. Zo kan er gezorgd worden dat bij verdere analyse van scenario's of het implementeren van maatregelen realistische schadegetallen voor de landbouw uit het model komen. Voor de scheepvaartschade wordt geadviseerd een eenvoudige schademodule aan het PAWN – Light model te koppelen.

Lijst van figuren

Figuur 1 Het Natte Hart	2
Figuur 2 Afwateringsgebied Natte Hart (Bureau de Ruimte/RIZA, 2007)	3
Figuur 3 Stroomschema van de gebruikte methoden voor het afleiden van de KNMI-'06 scenario's (KNMI, 2006)	9
Figuur 4 Zoetwatervoorziening van het Natte Hart (RWS, 2000)	11
Figuur 5 Landelijke verdringingsreeks (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2008)	14
Figuur 6 Scheepvaartroutes in het Natte Hart (Ministerie van Verkeer en Waterstaat/CBS, 2003)	15
Figuur 7 De vier scenario's binnen het spectrum van de sleutelonzekerheden (MNP, CPB en RPB, 2006)	17
Figuur 8 Overzicht afhankelijke gebieden	22
Figuur 9 Grafische weergave van het PAWN - Light model	24
Figuur 10 Stroomschema bodemvocht	25
Figuur 11 Stroomschema grondwater	25
Figuur 12 Waterbalans oppervlaktewater	29
Figuur 13 Waterbalans IJsselmeergebied	31
Figuur 14 Schema van het calibratieproces (Fleming, 1975)	35
Figuur 15 Calibratie PAWN – Light op het PAWN IJsselmeerpeil van 1976	38
Figuur 16 Validatie PAWN – Light op het PAWN IJsselmeerpeil van 1959	39
Figuur 17 IJsselmeerpeil referentie scenari in een extreem droog jaar (1976)	40
Figuur 18 Overlevingsfractie van landbouw in een droog en een gemiddeld jaar	40
Figuur 19 Overlevingsfractie alle jaren van plot landbouw – zand	41
Figuur 20 Indicatie van de schademomenten voor scheepvaart in het referentiescenario in een extreem droog jaar (1976)	41
Figuur 21 IJsselmeerpeil RC – W+ scenario en Referentiescenario in een extreem droog jaar (1976)	42
Figuur 22 Overlevingsfractie van landbouw in een droog en een gemiddeld jaar voor het RC – W+ scenario	43
Figuur 23 Overlevingsfractie alle jaren plot landbouw – zand RC – W+ scenario en het referentiescenario	43
Figuur 24 Indicatie schademomenten voor scheepvaart in het RC – W+ scenario in een extreem droog jaar	44
Figuur 25 Landbouwschade per scenario gemiddeld over de hele periode en in een extreem droog jaar	45
Figuur 26 Gemiddelde beperking scheepvaart per scenario	46
Figuur 27 Overzicht IJsselmeerpeil in extreem droog jaar voor alle scenario's	46

Lijst van tabellen

Tabel 1 Algemene gegevens wateren in en naar het Natte Hart (RWS, 2001 & Kenniskaarten, 2007).....	4
Tabel 2 Uitgangswaarden voor de KNMI-'06 scenario's (KNMI, 2006).....	8
Tabel 3 KNMI-'06 Scenario's - Temperatuur, neerslag, verdamping en zeespiegelstijging voor de zomer en winter in 2050 (KNMI, 2006)	10
Tabel 4 Gebieden die gebruik maken van zoet water uit het Natte Hart (Min VenW, 2000)	12
Tabel 5 Gegevens doorspoeling Noord-Nederland (Friesland, Groningen, Drente) (HKV, 2006)	13
Tabel 6 De groeiende waterbehoefte in het Natte Hart in een extreem droog jaar (Droogtestudie2, 2008) ...	14
Tabel 7 Ladingvervoer in het IJsselmeergebied 2001 (RWS, 2002).....	15
Tabel 8 Schadecijfers scheepvaart voor Nederland (Droogtestudie, 2005).....	16
Tabel 9 Kengetallen ruimtegebruik voor de WLO-scenario's (WLO, 2006)	18
Tabel 10 Evaluatiecriteria voor zoetwatervoorziening & scheepvaart.....	19
Tabel 11 Verandering parameters na calibratie.....	37
Tabel 12 Overzicht scenario runs	39
Tabel 13 Overzicht schadegevolgen referentiescenario in een extreem droog jaar	42
Tabel 14 Schadegevolgen referentiescenario en RC – W+ scenario in een droog jaar.....	44
Tabel 15 Gemiddelde schade referentiescenario en RC – W+ scenario	45
Tabel 16 Schadegevolgen referentiescenario en RC – W+ scenario voor een gemiddeld klimaatjaar (1967).....	45
Tabel 17 Schadegetallen voor een extreem droog jaar en voor het gemiddelde van de hele rekenperiode...	47

Referenties

Abrahamse, A.H, G. Baarse, E. van Beek, Policy Analysis of Water Management for the Netherlands, vol XII, Model for regional hydrology, agricultural water demands and damages from drought and salinity, 1981.

Berkhout, F., Van Drunen, J., Applying WLO for Climate Assessments, Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, 2008.

Bosschieter, C.G., Klimaatverandering en binnenvaart, Effecten op de binnenvaart van meer extreem lage (en hoge) waterstanden op de Rijn, december 2005.

Centraal Bureau voor de Statistiek (www.cbs.nl, 18 november 2008)

Dam, van, N., en J. Marcus, Een praktijkgerichte benadering van organisatie en management, Wolters-Noordhoff, 2005.

Deltacommissie, Samen Leven met Water, Den Haag, september 2008.

Droogtestudie, Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland, september 2005.

Droogtestudie2 (www.droogtestudie.nl, 12 november 2008)

Drunen, van, M., F. Berkhout, Applying WLO for Climate Change, Institute for Environmental Studies, Amsterdam, 2008.

Fleming, G., Computer simulation techniques in hydrology, American Elsevier Environmental Sciences Series, 1975.

KNMI, KNMI Climate change scenarios 2006 for the Netherlands, de Bilt, mei 2006.

Oosterbaan, R.J., Saltmod, Description of Principles, User Manual, and Examples of Application, ILRI, Wageningen, mei 2002.

MNP, CPB en RPB, Janssen, L.H.J.M., V.R. Okker en J. Schuur, Welvaart en Leefomgeving, een scenariostudie voor Nederland in 2040, Achtergronddocument, 2006.

Law, A.M., Kelton, W.D., Simulation Modeling and Analysis, 3rd edition, 2000.

Lentech (www.lennotech.com, 12 november 2008)

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Waterhuishouding en waterverdeling in Nederland, 2009.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Functioneel Detailontwerp MOZART, juni 2006(a).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Gebruikershandleiding MOZART, juni 2006(b).

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Scheepvaart IJsselmeergebied, Jaaroverzicht 2000 en 2001, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied-Lelystad, 2002.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Waterhuishouding in het Natte Hart (WIN) Achtergrondrapport, Lelystad, 2000.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Waterhuishouding in het Natte Hart(WIN) Eindnota, Lelystad, 2000.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat en het Centraal Bureau voor de Statistiek, Nederland en de scheepvaart op de binnenwateren, 2003.

Ministeries van V&W, LNV, EZ en VROM, Integrale visie IJsselmeergebied 2030, Den Haag, 2002.

Ministeries van Vrom, Nota Ruimte – Katern over nieuw Ruimtelijk beleid in 2006, Den Haag, 2006.

Nash, J. E. and J. V. Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290, 1970.

Riedijk, A., R. van Wilkenburg, E. Koomen, J. Horsboom-van Beurden, Integrated scenarios of socio-economic and climate change, A framework for the 'Climate changes Spatial Planning' programme, Vrije Universiteit, Amsterdam, 2007.

RIZA, PAWN-instrumentarium, Technisch Spoor: Eindrapport Fase 1, 2003.

Wegner, L.H., Policy Analysis of Water Management for the Netherlands, Vol. XI, Water Distribution Model, 1981.

WL|Delft Hydraulics, Perspective Based Scenarios, Augustus 2000.

WL|Delft Hydraulics, Agricom Gebruikershandleiding, November 1995 (a).

WL|Delft Hydraulics, MOZART Gebruikershandleiding, Rapport 1606, maart 1995 (b).

Bijlagen

Bijlage 1	Beleidsdoelstellingen
Bijlage 2	Gewasfactoren
Bijlage 3	Stroomschema PAWN – Light grondwatermodel
Bijlage 4	Stroomschema PAWN – Light Natte Hart
Bijlage 5	Calibratie en Validatie