

# Scenario's externe krachten voor WB21

A.G. Kors  
F.A.M. Claessen  
**RIZA**

J.W. Wesseling  
**WL | Delft Hydraulics**

G.P. Können  
**KNMI**

**augustus 2000**



## Inhoudsopgave

2. De achtergrond van de scenario's	5
3 Toelichting op de cijfers	7
3.1 Temperatuur	7
3.2 Neerslag en verdamping	7
3.3 Zeespiegelrijzing	8
3.4 Rivierafvoeren	8
3.5 IJsselmeer peilen	9
3.6 IJs	9
3.7 Storm en wateropzet	9
3.8 Bodemdaling	10
4 Globale gevolgen voor grond- en oppervlaktewater	10
2. Bijlage 1. Scenario's voor 2050	12
5. Literatuur	11
Bijlage 1. Scenario's voor 2050	13
Bijlage 2. Scenario's voor 2100	16
Bijlage 3. Extreme buien	18
Bijlage 4. Bodemdaling	19

## 0 Voorwoord

Waterbeheer is een activiteit die tracht om watersystemen zo te sturen, dat ze zoveel mogelijk een gewenst gedrag gaan vertonen. Hoe dat gewenste gedrag eruit ziet wordt bepaald door de functies die door de watersystemen worden bediend.

Het waterbeheer bepaalt slechts deels het gedrag van de watersystemen. In eerste instantie wordt het gedrag van watersystemen bepaald door fysische randvoorwaarden of historische gegroeide situaties waarop men weinig invloed kan uitoefenen. Waterbeheer heeft tot doel het door die externe krachten veroorzaakt watersysteemgedrag te corrigeren, indien het watersysteemgedrag een ongewenste richting opgaat.

Veel van de externe krachten zijn niet of nauwelijks via het waterbeheer te beïnvloeden. Dit geldt niet alleen voor meteorologisch gerelateerde factoren, maar ook voor factoren die gerelateerd zijn aan bijvoorbeeld landgebruik.

In het verleden zijn reeds vele studies uitgevoerd naar de invloed van verschillende externe krachten op onderdelen van de Nederlandse watersystemen. Vooruitlopend op voorliggende studie is, in opdracht van Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw, door RIZA en WL/Delft Hydraulics geïnventariseerd welke aannamen de verschillende studies gedaan hebben voor de verschillende externe krachten. Deze inventarisatie is in 1999 uitgemond in het rapport "Uitgangspunten recente studies waterbeheer".

Voorliggend rapport gaat een stap verder. Voor de aandrijvende externe krachten van fysische aard hebben RIZA en WL/Delft Hydraulics scenario's samengesteld voor reëel te achten ontwikkelingen in die krachten gedurende de 21<sup>e</sup> eeuw. Aangezien ontwikkelingen in het klimaat van grote invloed zijn op de ontwikkeling in die krachten is aan het KNMI gevraagd een kwaliteitstoets uit te voeren op de gehanteerde klimaatscenario's. E.e.a. heeft geresulteerd in scenario's die gezamenlijk worden gedragen.

RIZA,  
drs F.A.M. Claessen

WL|Delft Hydraulics  
ir J.W. Wesseling

KNMI,  
dr G.P. Können

## 1. Inleiding

Dit rapport beschrijft een aantal scenario's t.a.v. externe fysische krachten die van belang zijn voor studies die in het kader van Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw zullen worden uitgevoerd. De waarden die voor de verschillende variabelen zijn gekozen zijn vooral gebaseerd op het eerder verschenen rapport "Uitgangspunten recente studies waterbeheer" (Claessen en Dijkman (1999)). Voor meer detailinformatie zij naar dat rapport verwezen.

## 2. De achtergrond van de scenario's

De scenario's m.b.t. de externe fysische krachten, die vooral de aanbodzijde van het waterbeheer bepalen, zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op veranderingen van het klimaat. Daarbij is voor het Nederlandse klimaat de temperatuur een sleutelvariabele. Voor het waterbeheer belangrijke variabelen als neerslag en verdamping zijn sterk aan de temperatuur gecorreleerd. Uit de neerslag zijn vervolgens weer afvoeren van de grote rivieren te berekenen.

Daarnaast zijn zeespiegelrijzing en bodemdalingen voor een deel van de temperatuur afhankelijk.

Halverwege de jaren negentig heeft het IPCC een gezaghebbende studie uitgebracht (IPCC (1995)) waarin de resultaten gepresenteerd van een studie naar de verandering van het klimaat onder invloed van verschillende emissiescenario's. Het IPCC voorspelt dat tegen het eind van de komende eeuw de wereldwijd gemiddelde temperatuur met 1 à 3,5 °C gestegen zal zijn, met als centrale schatting ongeveer 2 °C. In Können et al (1997) is dit interval beschouwd als 95% betrouwbaarheidsinterval.

De voorspellingen van het IPCC zijn neer te schalen naar gebieden met een omvang van continenten. Voor een klein land als Nederland, dat bovendien nog op de overgang ligt van de Atlantische Oceaan en het Euro-Aziatische continent, zijn uit de voorspellingen van het IPCC niet direct conclusies t.a.v. het klimaat te trekken.

Om toch tot uitspraken voor Nederland te komen is een belangrijke aanname gedaan: de luchtcirculatie boven Noord-West Europa zal zich niet wijzigen in de door IPCC voorspelde verandering van het klimaat. Die aanname houdt in dat het Nederlandse weer gekenmerkt blijft door een grote natuurlijke variabiliteit en dat de frequentie van de verschillende weertypen niet verandert. Onder deze aannamen is af te leiden dat in 2050 de temperatuurverhoging op 0,5 à 2 °C uitkomt en dat in 2100 de temperatuurverhoging op 1 à 4 °C uitkomt. Können et al (1997) beschouwt die bandbreedte als een 80% betrouwbaarheids-interval. Onder de aanname van een normale verdeling, houdt dit in dat de kans 10% is dat de temperatuurverandering lager uitkomt dan de ondergrenswaarden. En evenzo is de kans 10% dat de temperatuurverandering hoger uitkomt dan de bovengrenswaarden.

Een belangrijke consequentie van deze aanname is dat er een direct verband ontstaat tussen neerslag en andere meteorologische grootheden enerzijds en temperatuur anderzijds. Dit maakt het mogelijk ook schattingen te maken over veranderingen van extreme gebeurtenissen.

De aanname dat de luchtcirculatie boven Noord-West Europa niet verandert staat centraal. Treedt in die luchtcirculatie wel enige verandering op dan zijn de uitkomsten voor Nederland mogelijk geheel anders. Tevens gaat het directe verband tussen temperatuur en andere meteorologische grootheden verloren. Hoewel de grootschalige klimaatmodellen in de meeste gevallen geen grote veranderingen in de luchtcirculatie berekenen is de aanname dat de luchtcirculatie wel verandert in theorie niet uit te sluiten.

Voor Nederland moeten de uitkomsten van de temperatuurveranderingen en de daaraan gekoppelde veranderingen in neerslag en verdamping dan ook niet als voorspellingen worden gezien, maar als scenario's! Deze scenario's weerspiegelen wel de stand der wetenschap.

De laatste tien jaar is er ook aandacht geweest voor de gevolgen van structurele veranderingen door het extra broeikaseffect in de frequentie van optreden van weercirculatiepatronen op de Atlantische oceaan en Europa. Maar de resultaten van de diverse berekeningen uitgevoerd met klimaatmodellen door instituten in Engeland, Duitsland en Frankrijk zijn niet eensluidend. De meeste berekeningen leiden niet tot significante veranderingen in het optreden van de weercirculatiepatronen. Enkele recente berekening geven wel veranderingen op langere termijn in de frequentie van de circulatietypen (sommige geven een versterking te zien maar andere verzwakking van de zogenaamde Noord

Atlantische Oscillatie van West circulations (zie 'De Toestand van het Klimaat in Nederland 1999', KNMI)). De richting van de eventuele verandering is dus voornamelijk onduidelijk.

Op grond van de diverse modelberekeningen is wel een alternatief extreem 'What-If' scenario op te stellen dat mogelijk in de tweede helft van de 21<sup>e</sup> eeuw kan optreden: een extreem warm scenario, gelijk aan het IPCC scenario, maar met 10 % minder neerslag over het hele jaar heen. Een mechanisme hiervoor kan gevonden worden in een eventuele structurele noordwaartse verschuiving van het subtropisch gebied van hoge luchtdruk in de richting van Centraal Europa. Onder die omstandigheden zijn de regenfronten in onze streken minder actief en zijn zware zomerbuien zeldzamer. Vergeleken met het natte scenario wordt het verband tussen neerslag en temperatuur verzwakt. In de tabellen is de afname van 10% voor cumulatietijden van 24 uur of meer aangehouden. Gezien de 10% per °C toename in intensiteit van zware buien, is voor cumulatietijden van een uur of korter als nulhypothese geen verandering aangenomen in het extreem droog scenario ten opzichte van het extreem warm/nat scenario.

Een extreem warm en droog scenario ligt minder in de lijn van de verwachtingen dan een situatie zonder verschuiving van de circulatiepatronen (de verhouding tussen de kans op warm en nat en warm en droog wordt indicatief geschat op 80%/20%).

Zoals bovenstaand reeds is opgemerkt, blijkt de temperatuur een centrale variabele te zijn in de beschrijving van het klimaat (Können et al (1997)). Onderstaande variabelen zijn direct of indirect gecorreleerd aan de temperatuur<sup>1</sup> (en veranderingen daarin).

- Neerslag en verdamping; Deze variabelen zijn voor vele functies belangrijk. Landbouw en natuur behoeven nauwelijks toelichting. Ook voor stedelijk gebied (dimensionering afwatering) en recreatie zijn beïnvloede functies. Verder zal bij een toename van het neerslagoverschot de grondwateraanvulling toe kunnen nemen. Kortom neerslag en verdamping zijn cruciale variabelen.
- Neerslaghoeveelheden blijken in hoge mate gecorreleerd te zijn aan de temperatuur. Gebruikmakend van de temperatuurscenario's voor Nederland en gebruikmakend van correlaties tussen temperatuur en neerslag, zijn in de klimaatscenario's waarden te geven voor verschillende soorten neerslag (zomer - en winterneerslag, verschillende typen buien).
- Verdamping is een iets gecompliceerder verhaal dan neerslag. De verdamping is niet alleen afhankelijk van de temperatuur, maar ook van bijv. het landgebruik. De in de gepresenteerde scenario's gehanteerde waarden voor de verdamping volgen dan ook uit gecompliceerde hydrologische modelberekeningen (t.b.v. NW4 en Nationaal Onderzoeksprogramma Klimaatverandering).
- Hoofdstuk 3 gaat dieper in op de getalwaarden.
- Rivierafvoeren; Veranderingen in de temperatuur in de stroomgebieden van Rijn en Maas hebben tot gevolg dat het neerslagpatroon verandert. Daarnaast verandert het afsmelten van sneeuw en gletsjers. De effecten van die veranderingen op de afvoer van Rijn en Maas zijn doorgerekend met stroomgebiedmodellen (Rhineflow en Meuseflow). Veranderingen in de rivierafvoeren zijn van groot belang voor de waterhuishouding. De Rijn is een belangrijke waterleverancier, die twee keer zoveel water naar Nederland voert, als door de neerslag wordt geleverd. De Nederlandse rivieren vormen een waterbron voor drinkwater, koelwater en wateraanvoer voor landbouw en natuur (zij het dat dit laatste niet onomstreden is). Daarnaast zijn het belangrijke vaarwegen. Veranderingen in de piekafvoeren zijn van invloed op de veiligheid langs de grote rivieren.
- IJsselmeerpeilen; Evenals de rivierafvoeren zijn dit van temperatuur en neerslag afgeleide grootheden. Daarnaast heeft de zeespiegelrijzing een grote invloed op de peilen.
- De zomerpeilen van het IJsselmeer zijn van groot belang voor wateraanvoer t.b.v. de landbouw en de scheepvaart. Verder zijn de extremen in de winterpeilen van belang voor de veiligheid rond (een deel van) het IJsselmeer. De peildynamiek, d.w.z. de variatie in peilen (zowel dagelijks als over seizoenen), is van belang voor de natuur.
- In de gepresenteerde scenario's worden IJsselmeerpeilen gehanteerd die volgen uit berekeningen met een model van het IJsselmeer. In deze berekeningen is voorlopig uitgegaan van een handhaving van het huidige beheer, als eerste werkschatting. Wanneer in WB21 een ander beheer van het IJsselmeer wordt overwogen leidt dit mogelijk tot andere peilen!
- Zeespiegelrijzing; Veranderingen in de gemiddelde zeestand worden bepaald door vier factoren:
  - ⇒ thermische expansie van oceaanwater
  - ⇒ verandering in het landijs van Groenland

---

<sup>1</sup> Ten minste bij de aanname dat de circulatiepatronen niet structureel veranderen.

- ⇒ verandering van het landijs van Antarctica
- ⇒ veranderingen in kleinere ijskappen en gletsjers
- De IPCC berekeningen t.a.v. de verandering van de gemiddelde zeestand zijn voor de Nederlandse situatie gecorrigeerd door het RIKZ. Die waarden zijn gebruikt bij de voorbereiding van NW4 en ook later in het Nationaal Onderzoeksprogramma Klimaatverandering. Er zijn nog geen nieuwe waarden berekend.
- Ijsdikte; De luchttemperatuur bepaald in hoge mate ijsvorming en de dikte die het ijs daarbij aanneemt. Door het KNMI zijn berekeningen uitgevoerd waarbij temperatuurverandering is vertaald in veranderingen in het aantal dagen dat bepaalde ijsdikten optreden. Hierbij zijn ijsdikten genomen die relevant zijn voor recreatie (7 cm; hierop kun je veilig schaatsen) en scheepvaart (12, 15 cm; werken belemmerend).
- Wind en storm; Uit de tot nu toe uitgevoerde klimaatstudies zijn weinig aanwijzingen te vinden voor eventuele veranderingen van het windklimaat. Bij gebrek aan beter wordt de, mede door het KNMI gehanteerde, werkschatting gebruikt dat het windklimaat niet meer dan + of - 5% verandert. Ongeacht de verandering in temperatuur.
- Bodemdaling.

De in de scenario's te hanteren waarden zijn in de bijlagen 1 t/m 3 opgenomen. Een toelichting op die waarden wordt in hoofdstuk 3 gegeven.

Bodemdaling wordt in afzonderlijke kaarten in beeld gebracht. Een toelichting wordt gegeven in hoofdstuk 3 en bijlage 4.

Tot slot nog een opmerking over de naamgeving van de scenario's. In workshops waarin diverse aspecten over de in WB21 te hanteren scenario's zijn afgestemd (klimaat en daarvan afgeleide factoren, stedelijke ontwikkeling en landgebruik), zijn voor de scenario's 4 namen bedacht: Trend, Erger en Extreem nat en Extreem droog. De laatste zal enkel in de marge worden bekeken. De naamgevingen moeten nog definitief met het project team worden afgestemd.

Nu geven de temperatuurscenario's de bandbreedte aan waarbinnen de temperatuur zich, gegeven een aantal cruciale aannamen, zou kunnen ontwikkelen. De drie gepresenteerde temperatuur ontwikkelingen kunnen als een trend gezien worden waarbij wat onder Trend wordt gepresenteerd een benedenschatting is, wat onder Erger wordt gepresenteerd een centrale schatting is en wat er onder Extreem nat of droog wordt gepresenteerd een bovengrens schatting is. Redenerend vanuit het klimaat en de daaruit afgeleide variabelen zou de benaming van de scenario's wellicht beter kunnen zijn: benedenschatting, centrale schatting en bovenschatting. Des al niet te min zullen we voor de duidelijkheid in de verder tekst de in de workshops gehanteerde aanduidingen gebruiken.

## 3 Toelichting op de cijfers

### 3.1 Temperatuur

De veranderingen in de temperatuur zoals hier behandeld volgen uit mogelijke veranderingen in klimaat. In welke mate klimaatverandering optreedt is onzeker, evenals de daaruit voortvloeiende verandering in temperatuur. De keuzes voor verandering in temperatuur impliceren de volgende fundamentele keuzes:

- Trend; de huidige trend in het klimaat zet ook de komende eeuw door. Dit leidt tot een verandering in temperatuur is 0,5 °C in 2050 en van 1 °C in 2100 (de zogenaamde benedenschatting schatting).
- Erger; er treedt een gematigde verandering op in klimaat (de zogenaamde centrale schatting), ofwel de temperatuur verandert in 2050 met 1 °C en in 2100 met 2 °C.
- Extreem; er treedt een sterke verandering op in klimaat (de zogenaamde bovenschatting), ofwel de temperatuur verandert in 2050 met 2 °C en in 2100 met 4 °C.

Deze cijfers weerspiegelen een what-if karakter en zijn zeker geen voorspellingen!

### 3.2 Neerslag en verdamping

Door het KNMI zijn voor de bovenstaande drie scenario's de neerslaghoeveelheden gecorreleerd aan de daggemiddelde temperatuur. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat in de 21<sup>e</sup> eeuw de circulatietypen en

hun frequentie van voorkomen niet of nauwelijks veranderen. In het geval Extreem Droog geldt die aanname niet en is er geen simpel verband tussen temperatuur en neerslag. Veranderingen in temperatuur werken volgens die correlatie door in de neerslag. Het gaat hier om een significante invloed met zeer grote gevolgen voor de waterhuishouding. Bijlage 3 geeft veranderingen in herhalingstijd van zware neerslag over verschillende accumulatieperiodes bij gelijkblijvende frequentie. De fysische basis van de toename van 5-min neerslag ( $10\%/^{\circ}\text{C}$ ) is sterk. De betrouwbaarheid van de overige neerslag schattingen is lager dan die van de temperatuur cijfers. Opgemerkt moet nog worden dat de in de tabellen gepresenteerde neerslag cijfers gelden voor zogenaamde punt neerslagen. Dit betekent dat ze niet zonder meer te vertalen zijn naar gebiedsneerslagen. Het is bekend dat de kans op een bepaalde hoeveelheid snel afneemt als het beschouwde gebied groter wordt. Dit geldt vooral voor buiige neerslag en minder voor neerslag die aan frontpassages gekoppeld is en is ook afhankelijk van het jaargetijde. Een laatste kanttekening bij deze neerslagcijfers is dat ze gebaseerd zijn op historische KNMI gegevens, waarbij die van de laatste 20 jaar er nog niet in zijn verwerkt. Actualisering van deze getallen door het KNMI ten behoeve van de commissie WB21 is nu niet op tijd mogelijk.

De waarden voor verdamping zijn zeer grove inschattingen. In feite handelt het hier om zeer gecompliceerde processen, waarbij o.a. de temperatuur, het  $\text{CO}_2$ -gehalte, bewolgingsgraad en de luchtvochtigheid van invloed zijn. Echter ook het landgebruik (bijv. het soort begroeiing) beïnvloedt de verdamping. In Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw te evalueren maatregelen, maar ook scenario's t.a.v. grondgebruik leiden mogelijk tot verdampingswaarden die verschillen van de waarden die in de tabel zijn gegeven.

In feite is verdamping een grootheid die uit gecompliceerde berekeningen afgeleid zou moeten worden. De onzekerheid in de ingangsparameters van zo'n berekening is groot. De waarden in de tabel zijn te beschouwen als een grove indicatie.

### **3.3 Zeespiegelrijzing**

Uit waarnemingen volgt een relatieve zeespiegelrijzing van ca. 20 cm over de afgelopen eeuw. Uit berekeningen van RIKZ blijkt hiervan ca. 10 cm verklaard te kunnen worden door klimaatverandering die reeds is opgetreden (afgelopen eeuw steeg de gemiddelde temperatuur met ca.  $1^{\circ}\text{C}$ ). De overige ca. 10 cm zijn niet door de klimaatmodellen te verklaren en zijn het gevolg van andere oorzaken, waaronder ca. 5 cm t.g.v. de tectonische bodemdaling. Kortom, de zeespiegelrijzing zonder antropogene klimaatinvloeden bedraagt ca. 10 cm/eeuw. In de scenario's wordt bij die waarde de zeespiegelrijzing t.g.v. de klimaatverandering in die scenario's opgeteld. Het gaat hierbij om de volgende waarden:

- temperatuurstijging in 2050 van  $0,5^{\circ}\text{C}$  geeft 5 cm zeespiegelrijzing t.g.v. versterkt broeikaseffect, waardoor de totale zeespiegelrijzing:  $\frac{1}{2} \cdot 10$  cm/eeuw autonome zeespiegelrijzing + 5 cm klimaat invloed = 10 cm wordt.
- temperatuurstijging in 2050 van  $1^{\circ}\text{C}$  geeft 20 cm zeespiegelrijzing t.g.v. versterkt broeikaseffect, waardoor de totale zeespiegelrijzing:  $\frac{1}{2} \cdot 10$  cm/eeuw autonome zeespiegelrijzing + 20 cm klimaat invloed = 25 cm wordt.
- temperatuurstijging in 2050 van  $2^{\circ}\text{C}$  geeft 40 cm zeespiegelrijzing t.g.v. versterkt broeikaseffect, waardoor de totale zeespiegelrijzing:  $\frac{1}{2} \cdot 10$  cm/eeuw autonome zeespiegelrijzing + 40 cm klimaat invloed = 45 cm wordt.
- temperatuurstijging in 2100 van  $1^{\circ}\text{C}$  geeft 10 cm zeespiegelrijzing t.g.v. versterkt broeikaseffect, waardoor de totale zeespiegelrijzing: 10 cm/eeuw autonome zeespiegelrijzing + 10 cm klimaat invloed = 20 cm wordt.
- temperatuurstijging in 2100 van  $2^{\circ}\text{C}$  geeft 50 cm zeespiegelrijzing t.g.v. versterkt broeikaseffect, waardoor de totale zeespiegelrijzing: 10 cm/eeuw autonome zeespiegelrijzing + 50 cm klimaat invloed = 60 cm wordt.
- temperatuurstijging in 2100 van  $4^{\circ}\text{C}$  geeft 100 cm zeespiegelrijzing t.g.v. versterkt broeikaseffect, waardoor de totale zeespiegelrijzing: 10 cm/eeuw autonome zeespiegelrijzing + 100 cm klimaat invloed = 110 cm wordt.

### **3.4 Rivierafvoeren**

Veranderingen in de afvoeren van de rivieren worden bepaald door enerzijds klimaatveranderingen en anderzijds door beheers- en inrichtingsmaatregelen in het stroomgebied van die rivieren. Voor de Rijn en de Maas ligt een zodanig groot deel van het stroomgebied buiten de grenzen van Nederland, dat de

beheersmaatregelen in die stroomgebieden als externe factoren gezien kunnen worden. Nederland oefent hierop wel invloed uit, maar kan niet geheel naar eigen inzicht ingrepen doorvoeren. Voor een rivier als de Overijsselse Vecht is de greep van Nederland op het beheer veel groter. In feite zijn de in de tabel gegeven waarden daarom een eerste schot om de gedachten te bepalen. In de loop van WB21 moeten deze afvoeren nog eens tegen het licht worden gehouden, gegeven de in WB21 aan de orde gestelde maatregelen.

In bijlage 1 en 2 worden in de zomer- en winterafvoeren van Rijn en Maas marges aangegeven. Met welk percentage deze afvoeren veranderen is afhankelijk van de beschouwde maand. De waarden voor de Maas zijn overigens voorlopige resultaten van in oktober 1999 uitgevoerde berekeningen met Meuseflow, en dienen met grote omzichtigheid gehanteerd te worden! (Buiteveld, 1999)

De betrouwbaarheid rond deze afvoeren is kleiner dan die van de klimaatveranderingen. De waarden zijn daarom, nog meer dan voor het klimaat, te beschouwen als what-if scenario's.

Voor de huidige gemiddelde afvoeren van Rijn en Maas zijn waarden ingevuld die volgen uit een middeling over de periode 1901-1999 voor de Rijn en 1911-1999 voor de Maas. Het maakt voor het bepalen van deze waarden echter nogal wat uit over welke periode precies wordt gemiddeld. Zo is voor bijv. de zomerafvoer van de Rijn het voortschrijdend gemiddelde over de afgelopen 10 jaar 1813 m<sup>3</sup>/s, terwijl het voortschrijdend gemiddelde over de afgelopen 20 jaar 2162 m<sup>3</sup>/s bedraagt (van Vuuren (1999a)). Voor de Maas is het verschil nog groter: over de afgelopen 10 jaar is het voortschrijdend gemiddelde van de zomerafvoer 102,5 m<sup>3</sup>/s en over de afgelopen 20 bedraagt dit 143 m<sup>3</sup>/s (van Vuuren (1999b)). Uit dit voorbeeld moge duidelijk worden dat als de gehele meetreeks bijv. 10 jaar langer geweest zou zijn, de waarden die uit de gehele meetreeks volgen ook nogal van de opgegeven waarden kunnen verschillen.

De invloed van de veranderingen in de rivierafvoeren op de waterhuishouding in Nederland is zeer groot, zowel wat betreft de watervoorziening, als ook t.a.v. wateroverlast en veiligheid.

De thans vigerende maatgevende afvoeren bedragen resp. 15.000 en 3.650 m<sup>3</sup>/s voor Rijn en Maas. In het kader van het randvoorwaarde boek 2001 worden die waarden mogelijk bijgesteld. Hoewel hierover nog geen beslissingen zijn genomen lijkt het erop dat de maatgevende afvoer van de Rijn 16.000 m<sup>3</sup>/s zal gaan bedragen en dat de maatgevende afvoer van de Maas verandert in 3.800 m<sup>3</sup>/s.

Over de gevolgen van klimaatveranderingen voor de temperatuur van het water in de Nederlandse beken en rivieren is met de huidige stand der kennis weinig zinvols te zeggen.

### **3.5 IJsselmeer peilen**

IJsselmeerpeilen zijn afgeleide grootheden van zowel klimaatinvloeden (via neerslag en verdamping) als van beheersmaatregelen. De in bijlage 1 en 2 gegeven waarden zijn richtwaarden om de gedachten te bepalen. Uitgangspunt bij het bepalen van die IJsselmeerpeilen was dat het huidig beheer wordt voortgezet. Gedurende het WB21 traject zouden deze waarden, afgezet tegen in WB21 geëvalueerde maatregelen, nog eens tegen het licht gehouden moeten worden.

De in bijlage 1 en 2 gepresenteerde waarden volgen uit berekeningen in het kader van het WIN-project zijn uitgevoerd.

### **3.6 IJs**

De vorming van ijs is direct te correleren aan de temperatuur. IJs is van belang in recreatieve zin en voor de scheepvaart. Bij temperatuurstijging zal er minder lang op open water geschaatst kunnen worden. Voor de scheepvaart wordt bij temperatuurstijging het aantal dagen met stremmingen minder, hetgeen een voordeel is.

### **3.7 Storm en wateropzet**

De voor Nederland en omliggende landen gehanteerde klimaatscenario's gaan uit van een min of meer gelijkblijvende luchtcirculatie boven Noord West Europa. Een direct gevolg hiervan is dat er in de stormfrequenties waarschijnlijk weinig zal veranderen. In de tabellen is de natuurlijke variabiliteit voor de huidige situatie als marge opgenomen voor een toekomstig klimaat (-5% tot +5%). Indien deze marge op alle windsterkten wordt toegepast en het windrichtingsklimaat onveranderd blijft, dan is de

verandering in de hoogten van de wateropzet als gevolg van deze windsnelheidsverandering twee maal de verandering in stormintensiteit (-10% tot +10%).

### **3.8 Bodemdaling**

Uit metingen is een t.o.v. de andere externe factoren relatief betrouwbare schatting te geven van de snelheid waarmee de bodem daalt. Bodemdaling omvat een aantal componenten:

- tectonische beweging waardoor Nederland kantelt; langs de kust daalt Nederland enkele centimeters per eeuw en Zuid-Oost Nederland stijgt met enkele centimeters per eeuw
- menselijke activiteiten als zout- en gaswinning, hetgeen vooral in Noord Nederland speelt
- ontwatering van veen- en kleigebieden in holoceen Nederland.

Voor de tectonische beweging van de bodem is gebruik gemaakt van metingen van de Meetkundige Dienst. Bodemdaling als gevolg van delfstoffenwinning is ontleend aan metingen van de NAM en van NITG-TNO.

Bodemdaling in de Holocene veen- en kleigebieden is ontleend aan door provincies en LNV-DLG verzamelde waarnemingen t.a.v. zettingen. Op de verwerking van temperatuurverandering in de zakkings van veengronden wordt in bijlage 4 uitgebreid ingegaan.

## **4 Globale gevolgen voor grond- en oppervlaktewater**

De in dit rapport beschreven scenario's hebben nogal wat gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland, en daarmee op allerlei van het water afhankelijke functies (landbouw, natuur, wonen, scheepvaart, recreatie). In Haasnoot et al (1999) en Projectteam NW4 (1997) wordt voor een aantal van de in dit rapport beschreven scenario's uitgebreid beschreven wat de gevolgen voor het waterbeheer inhouden. Dit hoofdstuk kan niet meer dan een globale samenvatting zijn. Overigens is een kwantificering van de effecten van de in dit rapport beschreven scenario's onderwerp van studie in de thema's 1 en 2 van het onderzoeksprogramma van Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw.

Een belangrijke conclusie uit genoemde studies is dat de bodemdaling (zonder correctie voor veranderde temperatuur!) veel minder effect heeft op de waterhuishouding dan verandering van klimaat. Hoe groot de effecten zijn van bodemdaling met medeneming van temperatuur effecten in de zettingssnelheid van veen, is tot nu toe niet onderzocht.

Hoewel over heel Nederland de invloed van het klimaat groter is dan de bodemdaling, zijn er op plaatsen met grote bodemdaling uiteraard grote effecten te verwachten. Vooral in de Noord Nederland, Flevoland en het Groene Hart zijn er significante effecten t.g.v. bodemdaling. Aangezien is aangenomen dat de peilen de maaiveldsdaling volgen zijn de effecten op de grondwaterstanden gering. Kwel en infiltratie kunnen echter aanzienlijk veranderen.

Gegeneraliseerd over geheel Nederland is er t.g.v. bodemdaling een toename van infiltratie in pleistoceen Nederland en een toename van kwel in holoceen Nederland (vanwege toegenomen hoogte verschillen).

In het algemeen leidt klimaatverandering tot een toename van de grondwaterstanden. Hoeveel is afhankelijk van het scenario. Haasnoot et al (1997) noemt een gemiddelde stijging van 4 à 5 cm voor de centrale schatting in 2050 en een gemiddelde stijging van 10 à 15 cm voor de bovenschatting in 2100. Dit zijn echter gemiddelde waarden met een grote spreiding afhankelijk van de lokale waterhuishoudkundige situatie. Globaal zullen in de vrij afwaterende gebieden de effecten groter zijn dan in de peilbeheerste gebieden, waar met peilbeheer een grotere invloed op de grondwaterstanden wordt uitgeoefend. Naast een stijging van de grondwaterstand is er t.g.v. klimaatverandering ook sprake van een toename van het verschil tussen de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand.

Ook infiltratie en kwel veranderen t.g.v. klimaatverandering. In de huidige infiltratiegebieden neemt de infiltratie toe en in de huidige kwelgebieden neemt de kwel toe.

Wat betreft de gebiedsafvoeren kan nog worden opgemerkt dat voor centrale schatting in 2050 een toename te verwachten is van grofweg 5 à 20%, terwijl voor de bovenschatting in 2100 toenamen worden berekend in de orde van grootte van 10 à 50%.

T.g.v. zeespiegelrijzing zijn veranderingen te verwachten in zowel grondwaterstanden als ook in de kwel. Deze effecten treden overigens alleen op in een zone van beperkte omvang langs de kust, het IJsselmeer en langs het getijde gebied van de grote rivieren.

De klimaatscenario's die in Haasnoot et al (1997) worden beschreven leiden in de kustzone tot een (lichte) toename van de zoutlasten. Deze toename wordt vooral toegeschreven aan bodemdaling (in de veengebieden; over het algemeen minder dan 100 kg/ha/jaar) en zeespiegelrijzing (vooral in Zeeland; tot meer dan 500 kg/ha/jaar).

## Literatuur

Buiteveld, H., H. Middelkoop, G. Arnold, M. Haasnoot (1999);  
Effecten van klimaatverandering voor het Natte Hart; RIZA rapport 99.???,nog te verschijnen.

Buiteveld, H. (1999);  
Mondelinge mededelingen van H. Buiteveld, RIZA.

Claessen, F.A.M. en J. Dijkman (1999);  
Uitgangspunten recente studies waterbeheer; RIZA, WL/Delft Hydraulics; juli 1999.

Haasnoot, M., J.A.P.H. Vermulst, H. Middelkoop (1999);  
Impacts of climate change and land subsidence on the water systems in the Netherlands; NRP project 952210; RIZA rapport 99.049; ISBN 9036952786; 1999.

Hendriks, R.F.A. en J. Vermeulen (1997);  
Effect of temperature on the decomposition of organic matter in Dutch peatsoils; Bijdrage aan: Peat in horticulture, Proceedings of the International Peat Conference; IPS; november 1997.

Hendriks, R.F.A. (1999);  
Mondelinge mededelingen van R.F.A. Hendriks, Alterra.

IPCC (1995);  
Second Assessment Report of Working Group I; Cambridge University Press; Cambridge.

Können, G.P., W. Fransen, R. Mureau (1997);  
Meteorologie ten behoeve van de 'Vierde Nota Waterhuishouding'; januari 1997

Können, G.P. et al. (1999) de Bilt, KNMI.  
De Toestand van het klimaat in Nederland 1999.

European Climate Support Network, National Meteorological Services.  
Climate of Europe, recent variation, present state and Future prospects  
ECNS, 1995, 1<sup>st</sup> European Assessment

Projectteam NW4 (1997);  
Klimaatverandering en bodemdaling: gevolgen voor de waterhuishouding van Nederland; Den Haag; juli 1997.

Vuuren, W.E. van (1999a);  
Jaarverlopen dagafvoer Lobith 1901-1999 en inpassing in langjarige variaties. Werkdocument 99.###X; Nog te verschijnen.

Vuuren, W.E. van (1999b);  
Jaarverlopen dagafvoer Borgharen 1911-1999 en inpassing in langjarige variaties. Werkdocument 99.###X; Nog te verschijnen.

Werkgroep herziening Cultuurtechnisch vademecum (1988);  
Cultuurtechnisch vademecum, Cultuurtechnische vereniging; 1988.

## 2. Bijlage 1. Scenario's voor 2050

	huidige toestand	trend	erger	extreem nat	extreem droog	beïnvloede watersystemen	beïnvloede functies	soort effect
temperatuur		+ 0,5 °C	+ 1 °C	+ 2 °C	+ 2 °C	N&K, Riv, Reg, NHa <sup>2</sup>	landbouw, recreatie, natuur	
jaarneerslag	700 à 900 mm <sup>3</sup>	1,5 %	+ 3 %	+ 6 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateraanvoer, wateroverlast
neerslag zomer totaal	350 à 475 mm <sup>2</sup>	+ 0,5 %	+ 1 %	+ 2 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateraanvoer
neerslag winter totaal	350 a 425 mm <sup>2</sup>	+ 3 %	+ 6 %	+ 12 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
neerslagintensiteit in buien	hoeveelheid afhankelijk van duur van de bui, zie bijlage 3	+ 5 %	+ 10 %	+ 20 %	-10%	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
5 minuten neerslag NL	hoeveelheid afhankelijk van frequentie, zie bijlage 3	+ 5 %	+ 10 %	+ 20 %	- 10%	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
10 daagse neerslagsom winter NL	hoeveelheid afhankelijk van frequentie, zie bijlage 3	+ 5 %	+ 10 %	+ 20 %	-10 %	Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
10 daagse neerslagsom winter B	hoeveelheid afhankelijk van frequentie, zie bijlage 3	+ 5 %	+ 10 %	+ 20 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	veiligheid, wateroverlast
verdamping zomer	540 à 600 mm <sup>2</sup>	+ 4 %	+ 4 %	+ 8 %	+ 8 %	NHa, Reg, GW	Landbouw, natuur	Wateraanvoer
verdamping winter	(ca. 100 mm)	+ 4 %	+ 4 %	+ 8 %	+ 8 %	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	Wateraanvoer
verdamping jaar	620 à 720 mm <sup>2</sup>	+ 4 %	+ 4 %	+ 8 %	+ 8 %	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateraanvoer
absolute stijging zeespiegel		+ 10 cm	+ 25 cm	+ 45 cm	+ 45 cm	N&K, NHa, Riv, Reg, GW	landbouw, natuur stedelijk gebied	veiligheid, wateraanvoer, wateroverlast

<sup>2</sup> N&K = Noordzee en Kust, Riv = rivieren, Reg = regionale wateren, NHa = natte hart, GW = grondwater

<sup>3</sup> Uit Cultuur Technisch Vademecum, spreiding is afhankelijk van plaats in Nederland

	huidige toestand	trend	erger	extreem nat	extreem droog	beïnvloede watersystemen	beïnvloede functies	soort effect
absolute stijging hoogwater		+ 12,5 cm	+ 27,5 cm	+ 47,5 cm	+ 47,5 cm	N&K	landbouw, natuur stedelijk gebied	veiligheid, wateraanvoer, wateroverlast
absolute stijging laagwater		+ 7,5 cm	+ 22,5 cm	+ 42,5 cm	+ 42,5 cm	N&K, Riv	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateraanvoer, wateroverlast
Rijnafvoer gemiddeld	2214 m <sup>3</sup> /s					Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Rijnafvoer zomer	2103 m <sup>3</sup> /s	mei-nov: -1 á -4%	mei - nov.: -3 à -9%	mei - nov. - 5 à -19%	- 20 %	Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Rijnafvoer winter		dec-apr: +1 á +4%	dec. - april: +2 à +9%	dec. - april +4 à +20%		Riv, NHa	natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
Rijnafvoer maatg. Afvoer	15.000 / 16.000 m <sup>3</sup> /s	+ 2,5 %	+ 5 %	+ 10 %	- 10 %	Riv, NHa	landbouw, natuur, stedelijk gebied	veiligheid
Maasafvoer gemiddeld	243 m <sup>3</sup> /s					Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Maasafvoer zomer	142 m <sup>3</sup> /s	apr-jul: +1 á +8% aug-sept: -1 á -2%	apr.-juli: +1 à +17% aug.-sept: -1 à -3%	apr.-juli: +3 à +34% aug.-sept: -1 à -7%	- 17 á -25%	Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Maasafvoer winter		okt-mrt: +1 á 9%	okt.-mrt: +3 à 17%	okt.-mrt: +7 à 34%		Riv, NHa	natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
Maasafvoer maatg afvoer	3650 / 3800 m <sup>3</sup> /s	+ 5%	+ 10 %	+ 20 %	- 15 %	Riv, NHa	landbouw, natuur, stedelijk gebied	veiligheid
afvoer Vecht gemiddeld	40 m <sup>3</sup> /s		+ 10 %		- 10 %	Riv, NHa, Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	wateroverlast, wateraanvoer
gem zomerpeil IJsselmeer	NAP -0.15 m	0 cm	+ 0 cm	+ 4 cm	WINBOS??	NHa, Reg, GW	landbouw, recreatie, scheepvaart, natuur	wateraanvoer
gem winterpeil IJsselmeer	NAP -0,29 m	+ 4 cm	+ 13 cm	+ 27 cm	WINBOS??	NHa, Reg, GW	landbouw, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
piekpeilen winter IJsselmeer	NAP +0.32 m	+ 7 cm	+ 23 cm	+ 46 cm	WINBOS??	NHa, Reg	landbouw, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
ijsdagen > 7 cm > 12 cm > 15 cm	180 d/decenium 119 d/decenium 90 d/decenium	-17 % -18 % -19 %	- 33 % - 34 % - 37 %	- 54 % - 60 % - 63 %	- 54 % - 60 % - 63 %	Riv, NHa, Reg	scheepvaart, recreatie, natuur	
Wind en storm		+/- 5 %	+/- 5 %	+/- 5 %	0 á - 10%	K&Z, Riv, NHa	recreatie, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid

	huidige toestand	trend	erger	extreem nat	extreem droog	beïnvloede watersystemen	beïnvloede functies	soort effect
bodemdaling		zie bijlage 4	zie bijlage 4	zie bijlage 4	zie bijlage 4	Reg, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast, wateraanvoer

## Bijlage 2. Scenario's voor 2100

	huidige toestand	trend nat	erger nat	extreem nat	extreem droog	beïnvloede watersystemen	beïnvloede functies	effect
temperatuur		+1 °C	+ 2 °C	+ 4 °C	+4°C	N&K, Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur	
jaanneerslag	700 à 900 mm	+ 3 %	+ 6 %	+ 12 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateraanvoer, wateroverlast
neerslag zomer totaal	350 à 475 mm	+ 1 %	+ 2 %	+ 4 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateraanvoer
neerslag winter totaal	350 a 425 mm	+ 6 %	+ 12 %	+ 25 %	- 10 %	Riv, Reg, NHa, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
neerslagintensiteit in buien	hoeveelheid afhankelijk van duur van de bui, zie bijlage 3	+10 %	+ 20 %	+ 40 %	0%	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
lange neerslagperiode winter		+ 10 %	+ 20 %	+ 40 %	- 10%	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
10 daagse neerslagsom winter NL	hoeveelheid afhankelijk van frequentie, zie bijlage 3	+ 10 %	+ 20 %	+ 40 %	- 10%	Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast
10 daagse neerslagsom winter B	hoeveelheid afhankelijk van frequentie, zie bijlage 3	+ 10 %	+ 20 %	+ 40 %	- 10%	Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	veiligheid, wateroverlast
verdamping zomer	540 à 600 mm <sup>1</sup>	+ 4 %	+ 8 %	+ 16 %	+16%	NHa, Reg, GW	Landbouw, natuur	Wateraanvoer
verdamping winter	(ca. 100 mm)	+ 4 %	+ 8 %	+ 16 %	+16%	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	Wateraanvoer
verdamping jaar	620 à 720 mm <sup>1</sup>	+ 4 %	+ 8 %	+ 16 %	+16%	Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateraanvoer
absolute stijging zeespiegel		+ 20 cm	+ 60 cm	+ 110 cm	+ 110 cm	N&K, NHa, Riv, Reg, GW	landbouw, natuur, stedelijk gebied	veiligheid, wateraanvoer, wateroverlast
absolute stijging hoogwater		+ 25 cm	+ 65 cm	+ 115 cm	+ 115 cm	N&K	landbouw, natuur, stedelijk gebied	veiligheid, wateraanvoer, wateroverlast
absolute stijging laagwater		+ 15 cm	+ 55 cm	+ 105 cm	+ 105 cm	N&K, Riv	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateraanvoer, wateroverlast

	huidige toestand	trend nat	erger nat	extreem nat	extreem droog	beïnvloede watersystemen	beïnvloede functies	effect
Rijnafvoer gemiddeld	2214 m <sup>3</sup> /s					Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Rijnafvoer zomer	2103 m <sup>3</sup> /s	mei-nov: -3 á -9%	mei - nov. -5 á -19%	mei - nov. -9 á -31%	- 23 %	Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Rijnafvoer winter		dec-apr: +2 á +9%	dec.-april +4 á +20%	dec.-april +9 á +37%		Riv, NHa	natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
Rijnafvoer maatg. Afvoer	15.000 / 16.000 m <sup>3</sup> /s	+ 5 %	+ 10 %	+ 20 %	- 10 %	Riv, NHa	landbouw, natuur, stedelijk gebied	veiligheid
Maasafvoer gemiddeld	243 m <sup>3</sup> /s					Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Maasafvoer zomer	142 m <sup>3</sup> /s	apr-sept: +1 á 17% aug-sept: -1 á -3%	apr.-juli: +3 á +34% aug.-sept: -1 á -7%	apr.-juli: +6 á +64% aug.-sept: -2 á -11%	-20 á -30%	Riv, Reg, NHa	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart, koelwater	wateraanvoer
Maasafvoer winter		okt-mrt: +3 á 17%	okt.-mrt: +7 á 34%	okt.-mrt: +13 á 62%		Riv, NHa	natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
Maasafvoer maatg afvoer	3650 / 3800 m <sup>3</sup> /s	+ 10 %	+ 20 %	+ 40 %	- 15 %	Riv, NHa	landbouw, natuur, stedelijk gebied	veiligheid
afvoer Vecht gemiddeld	40 m <sup>3</sup> /s				- 10 %	Riv, NHa, Reg	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied, scheepvaart	wateroverlast, wateraanvoer
gem zomerpeil IJsselmeer	NAP -0.15 m		+ 8 cm	+ 47 cm	WINBOS	NHa, Reg, GW	landbouw, recreatie, scheepvaart, natuur	wateraanvoer
gem winterpeil IJsselmeer	NAP -0,29 m	+ 9 cm	+ 38 cm	+ 85 cm	WINBOS	NHa, Reg, GW	landbouw, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
piekpeilen winter IJsselmeer	NAP +0.32 m	+ 16 cm	+ 58 cm	+113 cm	WINBOS	NHa, Reg	landbouw, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid, wateroverlast
ijsdagen								
> 7 cm	180 d/decenium	- 33 %	- 54 %	- 81 %	- 81 %	Riv, NHa, Reg	scheepvaart, recreatie, natuur	
> 12 cm	119 d/decenium	-34%	- 60 %	- 85 %	- 85 %			
> 15 cm	90 d/decenium	-37%	- 63 %	- 88 %	- 88 %			
Wind en storm		+/- 5 %	+/- 5 %	+/- 5 %	0 tot – 10%	K&Z, Riv, NHa	recreatie, stedelijk gebied, scheepvaart	veiligheid
bodemdaling		zie bijlage 4	zie bijlage 4	zie bijlage 4	zie bijlage 4	Reg, GW	landbouw, recreatie, natuur, stedelijk gebied	wateroverlast, wateraanvoer

### Bijlage 3. Zware neerslag<sup>4</sup>

	2050 scenario erger 2100 scenario trend	2050 scenario extreem nat 2100 scenario erger	2100 scenario extreem nat	2050 extreem droog	2100 extreem droog
<b>temperatuur</b>	1 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>
<b>neerslag</b>					
<b>5 minuten neerslag, NL</b>	+ 10 % bij vaste frequentie	+ 20 %	+ 40 %	0%	0 %
herhaaltijd 1 jr (6mm)	0,7 jr [bij zelfde hoeveelheid]	0,6 jr	0,5jr	1 jr	1 jr
herhaaltijd 10 jr (10 mm)	7 jr	5 jr	2 jr	10 jr	10 jr
herhaaltijd 100 jr (15 mm)	60 jr	30 jr	20 jr	100 jr	100 jr
<b>30 minuten neerslag, NL</b>	+ 10 % bij vaste frequentie	+ 20 %	+ 40 %	0%	0%
herhaaltijd 1 jr (12 mm)	0,8 jr	0,6 jr	0,5 jr	1jr	1jr
herhaaltijd 10 jr (22 mm)	7 jr	5 jr	3 jr	10 jr	10 jr
herhaaltijd 100 jr (34 mm)	53 jr	30 jr	14 jr	100 jr	100 jr
<b>24 uur neerslag, NL</b>	+ 3 % bij vaste frequentie	+ 6 %	+ 12 %	- 10 %	- 10%
herhaaltijd 1 jr (34 mm)	0,9 jr	0,8 jr	0,65jr	1.6jr	1.6 jr
herhaaltijd 10 jr (53 mm)	8 jr	7 jr	5 jr	17 jr	17 jr
herhaaltijd 100 jr (73 mm)	78 jr	62 jr	40 jr	200 jr	200 jr
<b>10-daagse neerslagsom, winter NL</b>	+ 10 % bij vaste frequentie	+ 20 %	+ 40 %	-10 %	- 10%
herhaaltijd 1 jr (62mm)	0,7 jr	0,5 jr	0,3 jr	1.5 jr	1.5 jr
herhaaltijd 10 jr (98 mm)	6 jr	5 jr	2 jr	17 jr	17 jr
herhaaltijd 100 jr (136 mm)	47 jr	25 jr	9 jr	200 jr	200 jr
<b>10 dagen neerslagsom, winter België</b>	+ 10 % bij vaste frequentie	+ 20 %	+ 40 %	- 10%	- 10%
herhaaltijd 1 jr (79mm)	0,7 jr	0,5 jr	0,35jr	1.5 jr	1.5 jr
herhaaltijd 10 jr (117 mm)	5 jr	3 jr	2 jr	20 jr	20 jr
herhaaltijd 100 jr (147 mm)	32 jr	14 jr	5 jr	300 jr	300 jr

<sup>4</sup> bron KNMI, 1997

## Bijlage 4. Bodemdaling

- De daling door oxidatie en klink is afhankelijk gesteld van de drooglegging, bodemtype en temperatuur. Naarmate een groter gedeelte van de bodem droog ligt, kan er meer zuurstof in de bodem komen en zal de oxidatie sneller verlopen. Tevens kunnen bodemorganismen zich beter ontwikkelen. Hoe meer organisch materiaal in de bodem hoe groter de oxidatie. Met behulp van dalingssnelheden van de Provincie Friesland is voor een combinatie elf bodemtypen en 19 droogleggingsklassen (zie Haasnoot et al (1999)). De Provincie Friesland heeft de dalingssnelheden afgeleid van Schokking (1967,1993).
- Een hogere temperatuur verhoogt de activiteit van micro-organismen wat de oxidatiesnelheid vergroot (Hendriks en Vermeulen, 1997). Dit effect is d.m.v. een correctiefactor in de zettingssnelheden van de veenbodems verwerkt.
- Uit de literatuur (Schothorst, 1982) blijkt dat ongeveer 60% van de bodemdaling in veengebieden wordt veroorzaakt door oxidatie. Daarom is de correctie voor temperatuur toegepast op 60% van de dalingssnelheid door oxidatie en klink bij de bodemtypes met veen. Dit is niet gedaan bij bodemtypes die klei in de bovengrond hebben omdat daar het droge gedeelte veen waarschijnlijk laag is en dus ook het aandeel oxidatie.

De correcties op de zettingssnelheden voor veen voor temperatuur-veranderingen zijn als volgt doorgevoerd:

- scenario trend in 2050; dit scenario gaat uit van 0,5 °C temperatuurstijging in 2050 , d.w.z. een gemiddelde stijging van ca. 0,25 °C over de periode 1995-2050 jaar, hetgeen een tot een versnelling van de zetting leidt met een factor  $1,032 \cdot 0,6 + 0,4 = 1,019$ .
- scenario erger in 2050; dit scenario gaat uit van 1 °C temperatuurstijging in 2050 , d.w.z. een gemiddelde stijging van ca. 0,5 °C over de periode 1995-2050 jaar, hetgeen een tot een versnelling van de zetting leidt met een factor  $1,066 \cdot 0,6 + 0,4 = 1,040$ .
- scenario extreem in 2050; dit scenario gaat uit van 2 °C temperatuurstijging in 2050, d.w.z. een gemiddelde stijging van ca. 1 °C over de periode 1995-2050 jaar, hetgeen een tot een versnelling van de zetting leidt met een factor  $1,135 \cdot 0,6 + 0,4 = 1,081$ .
- scenario trend in 2100; in dit scenario wordt tot 2050 een versnelling van de zetting met een factor 1,019 aangehouden. Van 2050 tot 2100 treedt een verdere temperatuur stijging van 0,5 °C op, d.w.z. dat over de periode 2050-2100 de gemiddelde temperatuurstijging 0,75 °C bedraagt, hetgeen leidt tot een versnelling van de zetting met een factor  $1,099 \cdot 0,6 + 0,4 = 1,060$ .
- scenario erger in 2100; in dit scenario wordt tot 2050 een versnelling van de zetting met een factor 1,040 aangehouden. Van 2050 tot 2100 treedt een verdere temperatuur stijging van 1 °C op, d.w.z. dat over de periode 2050-2100 de gemiddelde temperatuurstijging 1,5 °C bedraagt, hetgeen leidt tot een versnelling van de zetting met een factor  $1,210 \cdot 0,6 + 0,4 = 1,126$ .
- scenario extreem 2100; in dit scenario wordt tot 2050 een versnelling van de zetting met een factor 1,081 aangehouden. Van 2050 tot 2100 treedt een verdere temperatuur stijging van 2 °C op, d.w.z. dat over de periode 2050-2100 de gemiddelde temperatuurstijging 3 °C bedraagt, hetgeen leidt tot een versnelling van de zetting met een factor  $1,464 \cdot 0,6 + 0,4 = 1,278$ .

Deze correcties zijn met nogal wat mitsen en maren omgeven!

Zo is bij de bepaling van de versnellingsfactoren uitgegaan van stijgingen van de jaargemiddelde temperatuur. Maar temperatuurstijgingen in de winter tellen zwaarder dan temperatuurstijgingen in de zomer (scheelt ongeveer 30%). Van verrekening van dit effect is afgezien omdat e.e.a. dan wel erg gecompliceerd wordt en nauwkeurigheden worden gesuggereerd die er niet zijn. Een andere kanttekening is dat de afbraak van veen in hoge mate wordt bepaald door de vochttoestand van de bodem. Niet alleen neerslag en verdamping zijn daarop van invloed maar ook beheersmaatregelen, zoals peilaanpassingen, die in WB21 mogelijk juist onderwerp van studie zijn. In de gehanteerde zettingssnelheden zijn de huidige grondwaterstanden en daarmee vochtcondities in het veen voor de gehele volgende eeuw constant verondersteld. Wanneer meer zicht bestaat op maatregelen die in WB21 worden voorgesteld, dan zouden de zettingssnelheden op veranderingen in vochtcondities bijgesteld kunnen worden. Het is echter de vraag of dit de moeite loont. Uit bijv. berekeningen in het kader van het onderzoeksprogramma klimaatverandering blijkt dat veranderingen in het klimaat (neerslag) een veel groter effect hebben op de waterhuishouding dan bodemdaling. Wanneer daarnaast de teneur van de in WB21 te evalueren maatregelen is dat veengronden in de loop der tijd natter worden, dan geven de hier gepresenteerde cijfers voor bodemdaling een 'worst case' benadering.

- In natuurgebieden is de daling door oxidatie en klink buiten beschouwing gelaten, omdat het peil er dermate in stand wordt gehouden dat deze vorm van bodemdaling daar minimaal is.

Schothorst C. J. (1992);  
Drainage and behaviour of peat soils. In: Proceedings of the symposium on peat lands below sea level.  
H. Bakker en M.W. van den Berg. ILRI.

Schokking (1993);  
Maaiveldalings in veenweidegebieden in de provincie Friesland, RGD, Haarlem

Schothorst (1967, 1979);  
Maaiveldalings door peilverlagingen in het westelijk veenweidegebied, Waterschapsbelangen 64,7.

Provincie Friesland (1997);  
Maaiveldsdaling in de Friese veenweidegebieden en de gevolgen voor bebouwing en  
(waterhuishoudkundige) infrastructuur.