

# Wiskunde, water en maatschappelijke inzichten



**W.J.W.A. van der Zanden (0582608)**

**Wiskunde en praktijk in historisch perspectief (2H600)**

**Augustus 2007**

<b>Inhoudsopgave.....</b>	<b>2</b>
<b>1. Inleiding.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Zuiderzee</b>	
<b>2.1 Inleiding.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Methode ontwikkelt door commissie.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Methode van Gallé.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Methode van Levy uit 1921.....</b>	<b>8</b>
<b>2.5 Afronding.....</b>	<b>9</b>
<b>3. Deltawerken</b>	
<b>3.1 Inleiding.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Werkwijze van de studiegroep.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 De werkelijke bouw.....</b>	<b>12</b>
<b>4. Risicomanagement in de huidige tijd</b>	
<b>4.1 Een stukje geschiedenis.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Het huidige veiligheidsbeleid.....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 Toekomstige omgang met risico's.....</b>	<b>15</b>
<b>4.4 Maatschappelijke weerstand in de huidige tijd.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Conclusies.....</b>	<b>19</b>
<b>Bijlage 1: Voetnoten.....</b>	<b>21</b>

## 1. Inleiding

In dit paper over "Wiskunde, water en maatschappelijke inzichten" zal in het kader van het vak "Wiskunde en praktijk in historisch perspectief" worden ingegaan op het gebruik van wiskunde gedurende de laatste eeuw bij allerlei ontwikkelen op watergebied in Nederland. Dit paper zal naast een inleiding bestaan uit een viertal hoofdstukken. In Hoofdstuk 2 zal ingegaan worden op enkele wiskundige zaken betreffende de gevolgen van de aanleg voor de Afsluitdijk voor de getijbewegingen in de Waddenzee. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van het verslag van de Staatscommissie Zuiderzee. Gezien de omvangrijkheid van de berekeningen die hiervoor zijn uitgevoerd zal algemeen aangegeven worden op welke manier men deze berekeningen heeft aangepakt. Vervolgens zal ingegaan worden op een tweetal methodes die de commissie gebruikt heeft, alsmede geschetst worden wat de commissie zelf aan wiskunde ontwikkeld heeft. Net als in het rapport van de Staatscommissie Zuiderzee zal in dit hoofdstuk enkel worden ingegaan op de techniek. Zaken als de invloed van de Afsluitdijk op de natuur of uitgebreide risicoberekeningen komen hier niet in voor. Het gaat hier om zaken, die pas later een rol zijn gaan spelen in het waterbeheer.

In Hoofdstuk 3 staat een rapport van de studiegroep Zeeuwse Meer centraal. Deze studiegroep heeft begin jaren '70 een studie gemaakt over de mogelijkheid van realisatie van een stormvloedkering in de Oosterschelde. Om een beeld te geven van de veranderende maatschappelijke inzichten zal hier vooral ingegaan worden op de toenemende milieubewustheid in het Nederland van deze tijd. De wiskunde komt in dit hoofdstuk dan ook slechts zijdelings aan bod.

In Hoofdstuk 4 komt de huidige situatie aan bod. Hierbij gaat het dan vooral over het beheersen van de waterstanden in de rivieren. In dit hoofdstuk zal vooral ingegaan worden op de risico's die berekend worden bij het nemen van besluiten hierover. Het beheersen van waterstanden in rivieren zal leiden tot maatregelen als het ophogen van dijken, het creëren van overloopgebieden en het terugbrengen van de natuurlijke loop van rivieren. Op basis van een risicoberekening wordt dan b.v. gekeken welke hoogte van de rivierdijk leidt tot een acceptabel risico.

Er is in deze paper bewust voor gekozen om in de drie tijdsperiodes die besproken worden elke keer in te gaan op een specifiek aspect van waterbeheer. Bij de Afsluitdijk betreft het de techniek. Bij de Deltawerken de natuur en in de tegenwoordige tijd het berekenen van risico's. Op deze manier wordt ook een inzicht gegeven in de veranderende manier waarop gekeken wordt naar het omgaan met water. In hoofdstuk 5 zullen tot slot nog enkele afsluitende conclusies worden getrokken. Voetnoten worden als volgt weergegeven [Hoofdstuk – nummer]. In bijlage 1 wordt dan een nadere toelichting gegeven. Dit is meestal een literatuurverwijzing.

## 2 Zuiderzee

### 2.1 Inleiding [2-1]

De Staatscommissie Zuiderzee is benoemd bij koninklijk besluit van 4 juli 1918 en heeft hierbij de volgende opdracht (in de spelling van die tijd) meegekregen:

*"Te onderzoeken in hoeverre, als gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee ingevolge de wet van 14 juni 1918 (Staatsblad Nummer 354), te verwachten is, dat tijdens storm hoogere waterstanden en een grootere golfoploop, dan thans het geval is, zullen voorkomen voor de kust van het vaste land van Noord-Holland, Friesland en Groningen, alsmede voor de daarvoor gelegen Noordzee-eilanden"* [2-2]

In haar rapport stelt de Staatscommissie eerst een definitie vast van het te onderzoeken gebied. Vervolgens is het van belang dat er voldoende waarnemingen beschikbaar zijn, die gebruikt kunnen worden om de berekeningen die nodig zijn voor dit onderzoek uit te voeren. Hiervoor wordt deels gebruik gemaakt van beschikbare gegevens, deels gaat de Staatscommissie zelf gegevens verzamelen:

#### 1. Getijbeweging:

Met behulp van de methode voor de harmonische analyse kan een beeld geschetst worden van de manier waarop het getij zich in de Waddenzee/Zuiderzee gedraagt. Bij deze methode wordt het getij weergegeven als de som van een aantal sinusoiden, waarvan de perioden corresponderen met die van de bewegingen van de zon en de maan. Een sinusoïde is een harmonische component, die wordt gekenmerkt door een golflengte en een amplitude. De bewegingen van de aarde, de maan en de zon zijn bekend en dus de belangrijkste componenten (dus golflengten) van tevoren al precies gedefinieerd worden. De amplituden en fasen worden vervolgens met behulp van de kleinste kwadratenmethode afgeleid uit waterstandsmetingen. [2-3]

#### 2. Stroming van het water:

Nadat er ook gegevens zijn verzameld over de stroming van het water kijkt de commissie nader naar het verband tussen de stroming en de diepte van het water. Hierbij wordt de volgende formule gebruikt:

$$i = \frac{v^2}{C^2 q}$$

met  $v$  = stroomsnelheid,  $C$  = constante van Eytelwein,  $q$  = diepte van het water en  $i$  = verhang. [2-4]

Op basis van de waarnemingen wordt deze formule nog aangepast omdat bij een snelle verandering van het verhang het altijd enige tijd zal duren voordat de stroomsnelheid ook gewijzigd wordt. Na het verzamelen van de gegevens is enkel  $C$  nog onbekend, die vervolgens berekend kan worden.

### 3. Stormvloeden:

Van belang zijn ook de verschijnselen die zich voordoen bij stormvloeden. Bij een stormvloed kan de wind namelijk meer invloed krijgen op het gedrag van het water dan het getij zelf. De commissie concludeert op pagina 52 dat op basis van deze gegevens te verwachten is dat na de afsluiting van de Zuiderzee bij storm het getij versterkt zal worden. Ook wordt gebruik gemaakt van de eigen waarnemingen gedaan gedurende enkele kleinere stormen na 1918. Ook heeft de commissie gekeken naar de invloed van de afsluiting van de Zuiderzee op de waterhoogtes in de zeegaten tussen de Waddeneilanden.

### 4. Laboratoriumproeven:

Bij het bepalen van het verschijnsel "opwaaiing/afwaaiing" wordt naast waarnemingen ook gebruik gemaakt van proeven in een laboratorium. Hier gaat het om het bepalen van de verhoging van de waterstand aan een oever onder invloed van de wind. In een laboratorium is het namelijk mogelijk om de voorwaarden te creëren waardoor er uitsluitend sprake is van de invloed van de wind op water om zodoende de gevolgen hiervan te bepalen.

In een volgend hoofdstuk gaat de Staatscommissie vervolgens nader in op de voornaamste stormvloeden en hun oorzaken. Een tweetal stormvloeden worden hierbij nader geanalyseerd. De Staatscommissie heeft vervolgens gebruik gemaakt van een drietal methodes [2-5] om een antwoord te geven op de aan haar meegegeven opdracht. Deze staan genoemd in de paragrafen 2.2 t/m 2.4

## **2.2 Methode ontwikkeld door commissie**

De commissie heeft een methode ontwikkeld waarbij wiskundige vergelijkingen opgesteld worden om de beweging van het water te bepalen. Deze vergelijkingen zijn bepaald door te oefenen met de waarden zoals die nu bekend zijn. Hierna kunnen de vergelijkingen gebruikt worden om de nieuwe situatie na afsluiting van de Zuiderzee te berekenen.

Bij deze methode ziet er als volgt uit:

1. Het gebied wordt in een stelsel van geulen verdeeld aangezien bij lage waterstanden de richting van de waterstromen bijna volledig bepaald zal worden door de geulen in het gebied.
2. Op het water wordt een verticale kracht uitgeoefend door de zwaartekracht en een horizontale kracht door de wind.
3. Definitie van het begrip stroomsnelheid. Als deze bekend is kan b.v. het volume water berekend worden dat door een geul met een bepaalde breedte en diepte gaat. Afhankelijk van de snelheid van het water zal er ook sprake zijn van weerstand die opgeroepen wordt. Deze weerstand werkt in een richting tegengesteld aan de stroming van het water.

4. Ook de aswenteling van de aarde oefent een zekere kracht uit op de waterstromen. De commissie geeft aan dat wanneer deze kracht wordt meegenomen er sprake is van betere resultaten.
5. In het water bevinden zich verschillende lagen die zich met verschillende snelheden en richtingen zullen voortbewegen.

Vervolgens worden er een tweetal vergelijkingen opgesteld om de beweging van het water in een geul nader te beschrijven:

$\frac{\partial s}{\partial x} = -b \frac{\partial h}{\partial t}$  met  $b$  = breedte geul,  $s$  is de stroom en  $h$  is de hoogte t.o.v. een zekere evenwichtsstand. Dit is de zogenaamde continuïteitsvergelijking.

$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = -g\rho \frac{\partial h}{\partial x} + W$  met als weerstand van de bodem en  $g$  voor de zwaartekracht. De verandering van de snelheid van het water is hier dus afhankelijk van het verhang van de waterspiegel en de weerstand van de bodem.

Een vereenvoudiging die gebruikt kan worden om deze vergelijkingen op te lossen is het superpositiebeginsel. Dit betekent dat voor een lineair systeem het resultaat van twee onafhankelijke verschijnselen die tegelijk optreden de som is van de resultaten van elk verschijnsel afzonderlijk. Hieruit volgt dat het mogelijk is het gedrag van een lineair systeem te analyseren door het gedrag van elk onderdeel van het systeem te analyseren en de aparte resultaten op te tellen. [2-6] Op deze manier kunnen dus verschillende soorten invloeden op de beweging van het water bekeken worden en vervolgens bij elkaar opgeteld worden.

Als eerste worden vervolgens de getijbewegingen berekend in een windstille situatie. Met behulp van de methode van harmonische analyse is het nu mogelijk om het getij in de Waddenzee en Zuiderzee af te leiden. Het gebied wordt hiervoor opgedeeld in een aantal geulen met elk een bepaalde breedte en diepte. Voor elke geul wordt nu de stroom  $s$  en hoogteverandering  $h$  aan het einde van deze geul bepaald. Problemen doen zich echter wel voor bij het bepalen van de weerstand van de bodem. Wanneer er sprake is van een veranderende snelheid in een geul zal deze weerstand ook afhangen van de maximale snelheid in de geul, terwijl de snelheid juist een van de zaken is die berekend zal worden. Dit betekent dat in een aantal gevallen een bepaalde waarde voor de maximale snelheid genomen moet worden, die later aangepast moet worden.

Uit de berekeningen volgt uiteindelijk dat afsluiting van de Zuiderzee zal leiden tot een verhoogde waterstand. De commissie merkt vervolgens op dat de afsluiting zal leiden tot een verandering van het geulenstelsel. Met de nodige voorbehouden geeft de commissie aan dat dit zal leiden tot een

verhoging van het getij. Iets wat ondersteund wordt door waarnemingen uit de winter van 1890 en 1891 toen de Zuiderzee dichtgevroren was. Een toestand die enigszins te vergelijken is met afsluiting.

Zoals eerder opgemerkt is er ook sprake van een invloed van de wind op de waterstanden. Bij een storm zal er uiteindelijk een bepaalde opwaaiing gerealiseerd worden. De commissie laat met een berekening zien dat in de huidige situatie er geen maximale opwaaiing in de Waddenzee en Zuiderzee zal plaatsvinden. Naarmate een storm langer duurt zal deze maximale opwaaiing echter wel een keer ontstaan. Wanneer de Zuiderzee wordt afgesloten zal het water dat nu nog van de Waddenzee naar de Zuiderzee gaat in de Waddenzee blijven. Het is dan ook te verwachten dat de maximale opwaaiing hierdoor eerder bereikt zal worden. De commissie geeft aan dat er echter nog veel onzekerheden zijn betreffende deze opwaaiing en dat laboratoriumproeven maar zeer beperkte resultaten geven. In de hoofdstukken 2.3 en 2.4 wordt nader ingegaan op methodes om deze opwaaiing te berekenen.

### 2.3 Methode van Gallé

Gallé definieert de volgende variabelen:

$h_p$  = Waterhoogte bij een punt P buiten de zeegaten

$h_q$  = Waterhoogte bij een punt Q in een punt aan de kust van een eiland binnen het zeegat

$h_r$  = Waterhoogte bij een punt R aan de Friese kust.

Dit zijn de waterhoogtes bij windstilte.  $h'_p$ ,  $h'_q$  en  $h'_r$  zijn de respectievelijke waterhoogtes bij storm. De verschillen  $\Delta h_p$ ,  $\Delta h_q$  en  $\Delta h_r$  geven dan de invloed van de wind weer. Een extra indices Z of A geeft aan of het gaat om een waterstand voor (Z) of na (A) afsluiting.

De volgende stappen dienen vervolgens gevolgd te worden:

- 1) Bepalen van  $h_{rz}$  en  $\Delta h_{rz}$  op basis van de bekende gegevens en berekeningen zoals die in hoofdstuk 2.1 genoemd zijn.
- 2) Met behulp van de nieuwe getijconstante die ontstaat na afsluiting van de Zuiderzee kan nu  $h_{ra}$  berekend worden.
- 3) Bepalen van  $\Delta h_{QA}$ .
- 4) Bepalen van  $\Delta h_{rA}$ . Hierbij is het nodig om de opwaaiing te berekenen die door de wind ontstaat tussen de punten Q en R.

Deze berekeningen leiden tot de conclusie dat er sprake zal zijn van hogere waterstanden bij storm op de Waddenzee ten gevolgen van de afsluiting.

Belangrijk is vervolgens om na te gaan wanneer de hierboven beschreven verschijnselen (een maximaal tij en maximale opwaaiing) zich op hetzelfde moment voordoen. Dan kunnen namelijk zeer hoge waterstanden bereikt worden. Via kansberekening is de commissie in staat

om te bepalen wat de waarschijnlijkheid is dat bepaalde zeer hoge waterstanden zich voordoen.

## 2.4 De methode van Lely uit 1921

Lely gaat bij zijn methode op de volgende manier te werk:

Allereerst worden de volgende variabelen gedefinieerd:

$z$  = verschil in waterhoogte tussen een punt A bij de Friese kust en Vlieland

$z_m$  = maximale verschil van  $z$  bij lang aanhoudende wind.

$z_m - z$  = toename die plaats moet vinden voordat het niveauverschil zijn maximum bereikt heeft.

Voor elk punt A zullen  $z$  en  $z_m$  anders zijn.

$>_m - >$  = toename die plaats moet vinden voordat het niveauverschil tussen het punt Q (zwaartepunt Zuiderzee) en het punt P (zwaartepunt Waddenzee) zijn maximum bereikt heeft.

Levy doet vervolgens de volgende aanname (die niet verder onderbouwd wordt):

$$z_m - z = a(>_m - >) \quad [1]$$

Het getal  $a$  is hierbij de verlagende invloed van de Zuiderzee

Voor de windstille situatie geldt formule [1] eveneens. Nu wordt echter overal een index 0 aan toegevoegd. Zodoende ontstaat formule [2]

$$z_{m0} - z_0 = a(>_{m0} - >_0) \quad [2]$$

[1] en [2] van elkaar aftrekken geeft:

$$z_m - z - (z_{m0} - z_0) = a[>_m - > - (>_{m0} - >_0)] \quad [3]$$

$$z_m \text{ wordt vervolgens geschreven als: } \frac{k_n}{k_7} y_r \quad [4]$$

Hierbij is  $y_r$  de opwaaiing bij windkracht 7 en  $k_n/k_7$  de verhouding tussen de opwaaiing bij de werkelijke windkracht  $n$  en windkracht 7.

$>$  is het verschil in waterhoogte tussen de punten Q en P. Hieraan wordt nu de waarde  $-V_s$  gegeven.  $>_0$  wordt als  $-V_{s0}$  weergegeven.

$>_m - >_{m0} = V_w$  geeft nu aan wat de extra opwaaiing is ten gevolgen van de lang aanhoudende wind. [3] kan nu als volgt geschreven worden:

$$\frac{k_n}{k_7} y_r - z + z_0 = a(V_w + V_s - V_{s0}) \quad [5]$$

Nadat deze formule is opgesteld worden door Levy een aantal variabelen uit bovenstaande formule berekend. Ook Levy komt uiteindelijk tot de



conclusie dat afsluiting van de Zuiderzee een verhogende invloed zal hebben op de waterstand in de Waddenzee.

## **2.5 Afronding**

De commissie gaat vervolgens verder met het berekenen van de effecten van een storm via een uitgebreide eigen methode. Het zou te ver voeren om deze in het kader van dit paper volledig te gaan beschrijven. De reden dat de commissie dit doet is vanwege het vrij algemene karakter van de in de hoofdstukken 2.3 en 2.4 beschreven methodes. Bij de eigen methode wordt o.a. gebruik gemaakt van bewegingsvergelijkingen. Ook hieruit volgt de conclusie dat afsluiting van de Zuiderzee zal leiden tot hogere waterstanden in de Waddenzee. Naar aanleiding van de verwachte verhogingen kan dus vervolgens bepaald worden op welke plaatsen dijken verhoogd zullen moeten worden en hoeveel deze verhoging zal moeten zijn.

## **3 Deltawerken**

### **3.1 Inleiding [3-1]**

Bij de ontwikkeling van de Deltawerken na de watersnoodramp van 1953 kwam er na verloop van tijd steeds meer aandacht voor andere aspecten dan enkel het nemen van technische maatregelen om zeearmen af te sluiten. Dit kan het beste geïllustreerd worden aan de hand van een rapport van de stedenbouwkundige studiegroep "Zeeuwse Meer". Een studiegroep die begin 1971 is opgericht om te kijken naar de ontwikkelingen bij de Oosterschelde uit onvrede met de plannen zoals die door Rijkswaterstaat ontwikkeld zijn. De studiegroep was namelijk van mening dat het door Rijkswaterstaat ontwikkelde plan de veiligheid verhoogde maar het huidige rijke biologische milieu ernstig aantaste. De studiegroep wil dan ook zelf met plannen komen voor de Oosterschelde waarbij de huidige aanwezige natuurlijke rijkdom gehandhaafd dient te worden. Bij deze plannen kijkt de studiegroep steeds naar de confrontatie tussen milieu en veiligheid om uiteindelijk met het voorstel van een stormvloedkering te komen.

### **3.2 Werkwijze van de studiegroep**

#### 1. Inventarisatie

De studiegroep begint allereerst met een inventarisatie van het gebied. De recreatieve mogelijkheden en de infrastructuur van Zeeland worden beschreven.

#### 2. Veiligheids- en milieukundige overwegingen

De studiegroep gaat voor wat betreft de veiligheid uit van de normen zoals die door de Deltacommissie vastgelegd zijn. Langs de kust wordt uitgegaan van een waterstand van 5 meter boven NAP die zich 1 keer in de 10000 jaar voordoet. Vervolgens worden een aantal mogelijkheden doorgelopen. Op milieukundig gebied moeten de ingrepen in de Oosterschelde dusdanig zijn dat de huidige situatie zoveel mogelijk behouden blijft.

#### **a. Dijkverzwaring**

De studiegroep heeft grote twijfels bij het nut van dijkverzwaringen. Niet overall is de ondergrond sterk genoeg om deze zware dijken te kunnen dragen. De dijken zullen verder veel onderhoud vergen en de kustlijn zal er niet door verkort worden. Iets wat bij het afsluiten van zeearmen wel het geval is. Op milieugebied zal dijkverzwaring weinig negatieve gevolgen hebben.

#### **b. Afsluiting**

De studiegroep zit dit als een eenvoudige variant. De kustlijn wordt verkort en een verdere verhoging van een afsluiting is altijd mogelijk. Dijken in het achterland zullen nu als een soort tweede dijk dienen. De volledige zoutwater flora zal echter verloren gaan en vervangen worden

door zoetwater flora. Verwacht wordt dat de nieuwe flora van een duidelijk mindere waarde is.

### ***c. Doorspoelmogelijkheid***

In de model worden er enkele sluzen aangelegd om zout Noordzee water de Oosterschelde binnen te laten. Ook hier is er sprake van een fysieke afsluiting waardoor het getij zal verdwijnen. Waarnemingen uit het gebied de Grevelingen geven in elk geval aan dat er negatieve gevolgen zijn aan een dergelijk scenario.

### ***d. Stormvloedkering***

Een stormvloedkering moet bestand zijn tegen zware golven. Ook zal er het risico zijn dat een van de schuiven niet dicht of open gaat op het moment dat, dat nodig is. Door het blijven bestaan van een zekere mate van getij zullen de bestaande dijken dus verbeterd moeten worden. De Oosterschelde wordt getypeerd als een gebied met een unieke hoeveelheid natuur. Het bouwen van een stormvloedkering wordt milieukundig gezien als de beste oplossing (naast de niet realistische optie van dijkverzwaring).

### **3. Confrontatie van veiligheid en milieu:**

De studiegroep kiest vervolgens een principe-oplossing die aan de milieu- en veiligheidseisen voldoet. Als beste mogelijkheden komen c en d uit de bus. Vanwege het sterker aanwezig blijven van het getij wordt optie d als de beste betiteld. Een echt duidelijke onderbouwing wordt hiervoor echter niet gegeven.

### **4. Onderzoek naar eb en vloed:**

De hoeveelheid water die bij vloed naar binnenstroomt in de Oosterschelde en bij eb weer naar buiten bedraagt 1100 miljoen kubieke meter met een gemiddeld getijverschil van 2,80 meter. In de Oosterschelde zijn verder een drietal werkeilanden aanwezig op het moment dat de studiegroep met haar onderzoek bezig is. Deze worden daarom dan ook als een gegeven beschouwd. In totaal moet een afstand van negen kilometer afgesloten worden. Hierna gaat de studiegroep verder met het bepalen van de globale afmetingen van de doorlaatopeningen van de stormvloedkering. Allereerst bepaald de studiegroep het gebied waarin het getij gehandhaafd blijft. Dit is een gebied dat beperkter is dan de gehele Oosterschelde omdat de grootte van dit gebied invloed heeft op de afmetingen van de stormvloedkering. Een grotere doorstroomopening van de stormvloedkering zorgt voor een groter gebied waar het getij gehandhaafd kan worden. De grootte van de doorstroomopening heeft vervolgens weer een gevolg voor de maximale snelheid waarmee het water door de openingen in de stormvloedkering stroomt.

Voor de stormvloedkering geldt dezelfde veiligheidsnorm als voor de rest van de kust. De kans op een doorbraak mag dus maximaal 1 op 10000

zijn. Op basis van de snelheid waarmee het water door de openingen in de stormvloedkering stroomt kan dus bepaald worden wanneer sluiting noodzakelijk is.

De studiegroep gaat vervolgens in op een aantal mogelijke manieren waarop de dam te bouwen is, de manier waarop de hele bouw begeleid dient te worden, de Deltacommissie [Zie hiervoor hoofdstuk 4 van dit paper] en de recreatiemogelijkheden op het eiland Neeltje Jans. Hier zal verder niet op ingegaan worden aangezien dat buiten het onderwerp van dit paper ligt.

### **3.3 De werkelijke bouw**

Het oorspronkelijke plan om de Oosterschelde volledig af te sluiten is uiteindelijk dus niet uitgevoerd. Tussen 1969 en 1971 zijn allereerst een drietal werkeilanden aangelegd. Eind 1973 was vijf van de negen kilometer van de Oosterschelde afgesloten door middel van een dam. Naar aanleiding van protesten vanuit de milieubeweging zijn in juli 1974 de werkzaamheden stopgezet en is door de regering de Commissie Klaasesz benoemd. Deze komt in 1976 met het advies om de overige vier kilometer af te sluiten door middel van schuifdeuren, die gesloten kunnen worden bij storm. Op deze manier blijft de Oosterschelde zout en worden de getijden behouden. In de loop van 1976 wordt de bouw dan ook hervat om op 4 oktober 1986 officieel geopend te worden door Koningin Beatrix. Sindsdien zijn de schuifdeuren 23 keer gesloten in verband met storm en hoog water. [3-2]

## **4 Risicomanagement in de huidige tijd [4-1]**

In de inleiding van het rapport "Risico's in bedijkte termen" wordt aangegeven dat veel van de normen die op dit moment gebruikt worden voor de sterkte van dijken stammen uit de periode 1953 – 1960. Sindsdien is er veel veranderd. De bevolking is toegenomen, delen land die toen nog onbebouwd waren zijn nu ontwikkeld en de bevolking accepteert overstromingen niet meer als een natuurverschijnsel, maar als iets waar de mens invloed op heeft. Iets wat hij dus kan voorkomen. Daarnaast laat ook het veranderende klimaat zijn invloed merken. De zeespiegel gaat stijgen en het smelten van gletsjers in b.v. de Alpen zal leiden tot hogere waterstanden in de rivieren.

### **4.1 Een stukje geschiedenis**

De Deltacommissie die is opgericht naar aanleiding van de Watersnoodramp van 1953 heeft zich voor het eerst echt bezig gehouden met het bepalen van een optimale dijkhoogte langs de Hollandse kust. De Deltacommissie ontwikkelt hiervoor de volgende begrippen:

Basispeil: De waterstand die door de waterkeringen in een gebied veilig moet kunnen worden gekeerd. Dit is de waterstand waarbij de kans op een doorbraak 1/10000 per jaar is.

Ontwerppeil: De waterstand die door de waterkering in werkelijkheid kan worden tegengehouden. Deze varieert al naar gelang de economische waarde van het te beschermen gebied. Bij een hoge waarde is het ontwerppeil gelijk aan het basispeil. Bij een lage waarde is het ontwerppeil lager.

Economisch optimum: De totale kosten voor bescherming tegen overstromingen bestaan uit de investeringen die gedaan moeten worden in dijken en een schaderisico wanneer een dijk doorbreekt. Dit schaderisico is dan de contante waarde van een denkbeeldige verzekeringspremie die nodig zou zijn om de resterende risico's te dekken. De investeringen zullen toenemen als de dijkhoogte hoger wordt. Het schaderisico zal afnemen wanneer de dijkhoogte hoger wordt. Deze afname zal echter steeds minder worden. Vervolgens valt nu de dijkhoogte te berekenen waarbij de totale kosten minimaal zullen zijn.

Bij de rivieren kijkt de Deltacommissie naar de maximale hoeveelheid kubieke meters die per seconde afgevoerd moet worden. Deze wordt in 1956 vastgesteld op 18.000 met een overschrijdingskans van 1/3000 per jaar. In 1977 komt de Commissie Brecht met aangepaste normen. De maximale hoeveelheid kubieke meters per seconde wordt op 16.500 gesteld met een overschrijdingskans van 1/1250 per jaar. De commissies Boertin stellen de norm in 1993 en 1994 bij naar 15.000. Het gaat hierbij om de gegevens betreffende de Rijn. In 1996 komt er een Wet op de waterkering tot stand.

## **4.2 Het huidige veiligheidsbeleid**

In de Wet op de Waterkering uit 1996 is de maatregel die genomen wordt om het achterland te beschermen het verhogen van de dijken. Men komt echter tot de conclusie dat het steeds verder verhogen van de dijken geen oplossing zal bieden. Er zullen dus andere oplossingen nodig zijn:

### *1. Niet afvoeren maar vasthouden*

Er komt een ombuiging waardoor het beleid er niet meer op gericht is om water zo snel mogelijk af te voeren, maar om het langer vast te houden. Ook kan de capaciteit van rivieren vergroot worden door deze weer hun natuurlijke loop terug te geven en worden er zogenaamde overloopgebieden gecreëerd.

### *2. Noodoverloopgebieden*

Door het kabinet zijn inmiddels een aantal gebieden aangewezen die gecontroleerd onder water gezet kunnen worden bij een dreigende overstroming. Overstromingen kunnen op deze manier dus "gecontroleerd" worden.

De normen die in 1996 in de Wet zijn vastgelegd kennen verder een grote onzekerheid. Allereerst zijn slechts data van 100 jaar aanwezig. Dit betekent dat bepaalde extreme situaties berekend dienen te worden door het extrapoleren van bekende gegevens. Dit leidt naarmate de situatie extremer wordt tot grotere onzekerheden. Uit nader onderzoek blijkt verder dat het 95% betrouwbaarheidsinterval betreffende de afvoer van de Rijn ligt tussen 13.000 en 18.000 kubieke meters per seconde. Opgemerkt wordt dat het voldoen aan de Wet uit 1996 feitelijk gezien niet mogelijk is. In deze Wet is een 5-jarige cyclus opgenomen van toetsing en eventuele verbetering van dijken. In 2001 bleek zo dat slechts 50% aan de wettelijke normen voldeed. Uit rijksbegrotingen van latere jaren blijkt volgens het RIVM rapport dat naar de volgende doelstellingen gestreefd wordt wat de waterstanden in rivieren betreft:

1. Het op peil houden en versterken van de waterkeringen met het oog op het voldoen aan de veiligheidsnormen;
2. Het verlagen van de hoogwaterstanden op de grote rivieren met het oog op het voldoen aan de veiligheidsnormen.

Het RIVM rapport gaat vervolgens verder over de onderbouwing van de huidige geldende normen. Bij het op peil houden en versterken van waterkeringen wordt tot nu toe gewerkt met de overschrijdingskans, dit is de kans dat er een hogere waterstand optreedt dan waarvan uitgegaan is bij het ontwerpen van de dijken. De kans dat een gebied achter de dijk onder water loopt is de overstromingskans. Doordat alle dijken echter een zekere veiligheidsmarge hebben zal de overstromingskans in theorie dus kleiner moeten zijn aan de overschrijdingskans. Wanneer een dijk echter slecht onderhouden is, zal echter het omgekeerde het geval zijn.

In het RIVM rapport wordt vervolgens ingegaan op enkele ontwikkelingen die zich de afgelopen eeuw hebben voorgedaan:

1. Stijging van de zeespiegel:

Vooraf veroorzaakt door menselijke ingrepen langs de kust. In de Waddenzee is de stijging van de zeespiegel het gevolg van de afsluiting van de Zuiderzee. Iets wat door de Staatscommissie Zuiderzee ook voorspeld is. Ook bodemdalingen langs b.v. de kust leiden tot een hoger niveau van de zeespiegel. Ook de voorspelde getijdeverhoging heeft zich in de Waddenzee voorgedaan. Dit is overigens ook gebeurd in andere gebieden waar menselijk ingrijpen heeft plaatsgevonden (Nieuwe Waterweg, Maasvlakte, Deltawerken)

2. Klimaatveranderingen:

De klimaatveranderingen, die op dit moment al bezig zijn, zullen leiden tot een stijging van de zeespiegel in de nabije toekomst. Hogere temperaturen zullen ook leiden tot een toename van de hoeveelheid water die door de rivieren afgevoerd moet gaan worden. Het RIVM rapport citeert een studie van Buiteveld en Schropp uit 2003 die aangeeft dat bij de Rijn de kans op een overstroming elk jaar met 1% toeneemt ten gevolge van de klimaatveranderingen.

3. Economische ontwikkelingen:

De economische ontwikkelingen leiden tot een toename van het schaderisico van 2% per jaar.

In de normen zoals die tot nu toe ontwikkeld zijn worden economische ontwikkelingen niet meegenomen. Ze hebben op de lange termijn echter wel een behoorlijke invloed op het schaderisico wat vervolgens weer nodig is om het economisch optimum te bepalen.

Het RIVM rapport heeft ook onderzocht op welke wijze economische argumenten zijn meegenomen bij het vaststellen van veiligheidsnormen voor dijken. Er wordt dan gekeken naar de relatie tussen de overschrijdingskans en de te voorkomen schade in achterland per kilometer dijk. In het RIVM rapport zijn hierover op de pagina's 125 en 126 een tweetal tabellen terug te vinden. Hieruit blijkt dat er geen enkel verband is tussen de vastgestelde veiligheidsnorm en de te voorkomen schade in het achterland per kilometer dijk.

### **4.3 Toekomstige omgang met risico's**

In hoofdstuk 4.2 is kort ingegaan op de beperkingen die het gebruik van overschrijdingskansen met zich meebrengt. Het RIVM geeft op pagina 133 van haar rapport een eerste aanzet tot het gaan werken met overstromingsrisico's. Er worden schattingen gemaakt van overstromingskansen, economische schade en slachtoffers. Door deze schattingen van de overstromingskansen te vermenigvuldigen met de gevolgen voor slachtoffers is een groepsrisico voor overstromingsgevaar te berekenen. Dit is de kans per jaar dat in één keer een groep mensen

van een bepaalde grootte dodelijk slachtoffer wordt van een overstroming. Een ander voordeel van het werken met een overstromingsrisico is dat ook op andere gebieden betreffende de veiligheid van burgers gewerkt wordt met groepsrisico's. Op deze manier zijn risico's van verschillende soorten rampen (overstromingen, ontsporing van treinen, ongelukken in chemische fabriek etc.) met elkaar te vergelijken.

Het RIVM heeft bij het schatten van de overstromingskansen geen nieuwe kennis ontwikkeld of modelberekeningen uitgevoerd. De overstromingskansen worden geschat door te kijken naar informatie en inzichten van deskundigen op dit gebied. Het RIVM doet dit door middel van de volgende stappen:

### **1. Definitie van overstroming [4-2]**

Er ontstaat een bres in een waterkering (bijvoorbeeld door overloop of doordat een kunstwerk het begeeft) en/of er over een grote lengte zulke grote hoeveelheden water over een kering lopen dat de instroom niet kan worden gestopt met noodmaatregelen (bijvoorbeeld met zandzakken) - kortom, als er sprake is van een onbeheerste overstroming.

### **2. Enkel de huidige situatie is meegenomen**

Ontwikkelingen die op het moment van het opstellen van het RIVM rapport nog niet uitgevoerd werden zijn niet meegenomen. Het gaat hier om de plannen in het kader van "Ruimte voor de Rivier" [4-3] en de overloopgebieden. Ook doet het RIVM een aantal andere aannames.

### **3. Het schatten van overstromingskansen**

Hiervoor worden door het RIVM een tweetal methodes gebruikt:

- a. Informatie over de belasting van waterkeringen, hoogtes van waterkeringen, faalmechanismen, het effect van noodmaatregelen en systeemwerking is gebruikt om te komen tot een schatting van overstromingskansen
- b. Op basis van gepubliceerde informatie over overstromingskansen en op grond van aannames in de rapporten waar deze informatie gepubliceerd is, is geschat wat de meest waarschijnlijke overstromingskansen voor bepaalde gebieden zijn, inclusief een bandbreedte.

Op basis van de resultaten van deze twee methodes wordt een schatting van de overstromingskansen gegeven. Het RIVM rapport geeft aan dat dit eindoordeel gebaseerd wordt op het inzicht van deskundigen na het volgen van een systematische, stapsgewijze beoordeling. Het RIVM rapport maakt wel het voorbehoud dat niet voor alle gebieden die onderzocht zijn dezelfde hoeveelheid informatie beschikbaar was.

### **4. Het schatten van de economische schade**



Hiervoor maakt het RIVM gebruik van getallen die gepubliceerd zijn door de Dienst Weg- en Waterbouw van Rijkswater. Deze getallen geven de maximale financieel-economische schades weer. Zowel de directe schade binnen het overstroomde gebied als de indirecte schade buiten het gebied zijn op deze wijze te berekenen.

## **5. Het schatten van de aantallen slachtoffers**

In het RIVM rapport wordt hiervoor een lage en een hoge schatting gemaakt. Het aantal slachtoffers zal namelijk afhankelijk zijn van het o.a. wel of niet evacueren van personen, het verloop van de overstroming en de soort bebouwing in het gebied.

### **4.4 Maatschappelijke weerstand in de huidige tijd**

Tegen de plannen zoals die de laatste jaren zijn voorgesteld om de kwaliteit van de dijken te verbeteren en het water in de rivieren meer ruimte te geven is de nodige maatschappelijke weerstand ontstaan. Hierdoor is o.a. het Hoogwaterplatform ontstaat [4-4]. Op de website van het Hoogwaterplatform staan de volgende doelstellingen:

#### Wat willen wij?

*De vereniging heeft ten doel het behartigen van de belangen van de inwoners van de gemeenten Millingen aan de Rijn en Ubbergen en van de bewoners van het Nijmeegse gedeelte van de Ooijpolder.*

#### Hoe dat te bereiken?

*Zij tracht dit doel te bereiken door:*

- *het willen voorkomen van eventuele ongewenste binnendijkse of buitendijkse waterstaatkundige maatregelen in het werkgebied van de vereniging of de omgeving daarvan.*
- *het willen voorkomen en/of ongedaan maken van eventuele ongewenste organisatorische maatregelen die in het kader van een Rampenbeheersingsstrategie met betrekking tot de hoogwaterproblematiek genomen zouden kunnen worden.*
- *het kritisch volgen en zonodig bestrijden van (voorgenomen) waterstaatkundige maatregelen zoals die van de beleidslijn "Ruimte voor de Rivier" en van maatregelen die betrekking hebben op het gebied van de Niederrhein (BRD).*
- *het voorstellen en/of bevorderen van buitendijkse of binnendijkse maatregelen in het werkgebied van de vereniging en omgeving, zo deze gewenst zouden zijn.*
- *in het algemeen waakzaam waterstaatkundige ontwikkelingen te volgen die eventueel versturende of negatieve gevolgen kunnen hebben voor de bewoners van het werkgebied van de vereniging.*

In haar manifest [4-5] van 15 januari 2003 geeft het Hoogwaterplatform aan tegen het plan te zijn om de Ooijpolder en de Duffelt als noodoverloopgebied aan te wijzen. Men wil dat er naar alternatieven gezocht wordt en zal daarvoor ook zelf deskundigen gaan raadplegen. Door het Hoogwaterplatform wordt ook een behoorlijk angstaanjagend beeld geschetst van hetgeen de bewoners van deze gebieden in de toekomst te wachten staat. Zo zullen veel gebouwen in het gebied afgebroken moeten worden om hoger weer opgebouwd te worden. Het

platform gooit hierbij ook duidelijk emotionele argumenten in de strijd. In een publicatie van 17 januari 2004 [4-6] wordt gesproken over het creëren van vluchtelingen in eigen land. Volgens het platform wordt door de overheid vooral gekeken naar financiële, technische, waterstaatkundige en politieke zaken en is er veel te weinig aandacht voor de gevolgen die de overloopgebieden hebben voor de betrokken bevolking.

Hoogwater  
PLATFORM

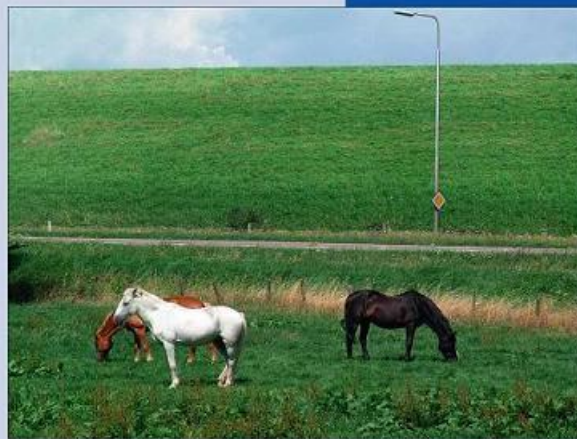
## WIST U DAT ...



- bij de aanleg van noodoverloopgebieden rondom een aantal dorpen dijken van minimaal 6 meter hoog worden aangelegd.
- de mensen uit deze dorpen bij noodoverloop toch zullen moeten evacueren voor tenminste twee maanden, omdat ze anders geen kant uit kunnen.
- in de dorpen binnen de ringdijken desondanks een halve tot een meter kwelwater zal komen te staan, met alle schade van dien.



Gezicht op Persingen vanuit Beek ...



... en het toekomstig beeld vanuit Beek volgens "Luteijn"

ontwerp Kees Nuijten  
basisfoto's Henk Baron

Men voelt zich gemarginaliseerd en behandeld als rechteloze tweederangs burgers. Door middel van een aantal posters waarvan er hier een toegevoegd is worden deze standpunten o.a. door het platform uitgedragen. Het Hoogwaterplatform zet o.a. een lobby op richting de Tweede Kamer om de geplande ontwikkelingen te voorkomen. In april 2005 blijkt dat de lobby succes heeft gehad. Door de inspanningen van het Hoogwaterplatform gesteund door de Provincie Gelderland en allerlei gemeentes besluit het kabinet uiteindelijk om de Ooijpolder en de Duffelt niet aan te wijzen als noodoverloopgebied.

## **5 Conclusies**

### **Maatschappelijke veranderingen**

De drie rapporten geven een goed inzicht in de maatschappelijke veranderingen van de afgelopen eeuw. Het rapport van de Staatscommissie Zuiderzee beschouwt het afsluiten van de Zuiderzee als een technisch verhaal. De gevolgen die dit heeft kunnen "simpelweg" opgelost worden door het verhogen van een aantal bestaande dijken. Naar natuurwaarden wordt absoluut niet gekeken. Ook de veiligheidsrisicoparagraaf is naar de maatstaven van de huidige tijd onderontwikkeld. Er wordt kort ingegaan op de kans dat bepaalde waterstanden zich voordoen, maar daar blijft het grotendeels bij. Het rapport van de studiegroep "Zeeuwse Meer" laat zien dat bij de bescherming van Nederland tegen het water de gevolgen hiervan voor de natuur ook van belang zijn. Er wordt nu niet meer naar de ogenschijnlijk "makkelijkste" oplossing gegrepen, namelijk simpelweg afsluiten. Het rapport van het RIVM laat zien dat ook sinds de jaren 70 de ontwikkelingen door zijn gegaan. De veiligheidsrisicoparagraaf is hier uitgebreid weergegeven. Er wordt nauwkeurig ingegaan op de risico's die burgers lopen. Dit gebeurt door het gebruiken van het begrip overstromingsrisico i.p.v. de tot dan toe gebruikte overschrijdingskans. Door de inmiddels hoge economische ontwikkeling van Nederland wordt de "waarde" van te beschermen objecten van belang bij het afwegen van risico's.

### **Vormgeving van de rapporten**

Wanneer het rapport van de Staatscommissie Zuiderzee vergeleken wordt met dat van de studiegroep "Zeeuwse Meer" en "Risico's in bedijkte termen" valt onmiddellijk de grote toegankelijkheid van de laatste twee op. Beide rapporten zijn prettig leesbaar en vooral het laatste rapport is ook goed te begrijpen voor leken. In een tijd waarin aan de overheid steeds meer gevraagd wordt om haar beslissingen op een duidelijke manier richting de burgers te communiceren is dat niet meer dan gebruikelijk. Daarnaast is het tegenwoordig mogelijk om tegen allerlei beslissingen van de overheid bezwaar/beroep aan te tekenen. Een goede democratische controle is dus gebaat bij duidelijke rapporten. Het rapport van de Staatscommissie is vooral een wiskundig boekwerk. Tot in detail wordt uitgelegd op welke wijze de Staatscommissie te werk is gegaan. Voor buitenstaanders is het echter totaal onbegrijpelijk. Wiskundig gezien geeft het wel een erg goed inzicht in de verschillende stappen die gezet zijn gedurende het proces en de onzekerheden die men hierbij is tegengekomen. Bij de andere twee rapporten is de wiskunde soms behoorlijk ver naar de achtergrond geschoven en is daardoor moeilijker te bepalen welke wiskunde gebruikt is en welke stappen hierin gezet zijn.

### **Wiskundige ontwikkelingen**

De rapporten geven ook inzicht in de ontwikkelingen zoals die zich op wiskundig gebied hebben voorgedaan. Het rapport van de

Staatscommissie Zuiderzee bestaat voor een groot deel uit een precieze beschrijving van de wiskunde die gebruikt respectievelijk ontwikkeld is. Hieruit komt duidelijk naar voren dat een van de problemen, de onvolledige hoeveelheid gegevens is, die bekend zijn. Ook is de apparatuur nog niet dusdanig dat alle gegevens, die men wil hebben zomaar verzameld kunnen worden. Om dit enigszins te ondervangen voert de Staatscommissie enkele proeven uit in een laboratorium, maar dat ziet er tegen de huidige ontwikkelingen allemaal redelijk primitief uit. Een van de belangrijkste redenen die naar mijn mening gegeven kan worden voor deze opbouw van het rapport is de toen nog volledige afwezigheid van programmatuur om wiskundige berekeningen te doen. Hierdoor is het nodig om een volledig wiskundig model te ontwikkelen en vervolgens stap voor stap te beschrijven hoe dit opgelost wordt. Door de huidige aanwezigheid van dit soort programmatuur is het mogelijk om veel projectmatiger te werk te gaan. Dit is ook iets wat in het rapport van het RIVM duidelijk te merken is. In hoofdstuk 4.3 van deze paper staat beschreven op welke manier het RIVM te werk is gegaan bij het kijken naar de toekomstige omgang met risico's. De nadruk ligt op het projectmatige terwijl de wiskunde hier duidelijk meer naar de achtergrond verdwenen is. Allereerst is er meer wiskunde bekend, daarnaast wordt er nu veel met allerlei wiskundige pakketten gewerkt waarvan de ontwikkeling vaak bij private bedrijven ligt. Het is dan dus vooral een kwestie van het goed invoeren van de variabelen en het beschrijven van de huidige situatie. Ook is het veel makkelijker om verschillende scenario's te bekijken en met elkaar te vergelijken door de aanwezige rekenkracht van de huidige computers. Doordat de simulaties steeds levensechter worden zal dus steeds beter in beeld gebracht kunnen worden hoe Nederland op een goede manier tegen het water beveiligd kan worden en wat de gevolgen van een eventuele dijkdoorbraak zijn.

## **Bijlage 1: Voetnoten**

[2-1] Het merendeel van de gegevens uit dit hoofdstuk komt uit het Verslag van de Staatscommissie Zuiderzee 1918 – 1926. Wanneer een andere bron gebruikt wordt, wordt dit in een voetnoot vermeld. In enkele gevallen wordt specifiek verwezen naar de gebruikte bladzijde uit het verslag van de Staatscommissie.

[2-2] Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918 – 1926, voorblad

[2-3] <http://www.getij.nl/index.cfm?page=uitleg.methoden>

[2-4] Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918 – 1926, pagina 39

[2-5] Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918 – 1926, pagina 83

[2-6] <http://nl.wikipedia.org/wiki/Superpositiebeginsel>

[3-1] Het merendeel van de gegevens uit dit hoofdstuk komt uit het eindrapport van de stedenbouwkundige studiegroep “Zeeuwse Meer?” uit 1972.

[3-2] <http://nl.wikipedia.org/wiki/Oosterscheldekering>

[4-1] Het merendeel van de gegevens uit dit hoofdstuk komt uit het rapport “Risico’s in bedijkte termen” van het RIVM. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500799002.html>

[4-2] Risico’s in bedijkte termen, pagina 134.

[4-3] Meer informatie hierover is te vinden op de website: <http://www.ruimtevoorderivier.nl>. Onder deze noemer worden allerlei projecten uitgevoerd om meer ruimte te creëren voor het water in de rivieren.

[4-4] Meer informatie over het hoogwaterplatform is te vinden op de website <http://www.hoogwaterplatform.nl>

[4-5] <http://www.hoogwaterplatform.nl/modules.php?name=News&file=article&sid=1036>

[4-6] <http://www.hoogwaterplatform.nl/modules.php?name=News&file=article&sid=1111>