

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, RIZA

Pilot Markermeer

**HANDCOLLECTIE
WD**



C26925

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, RIZA



Rijkswaterstaat/RIZA
Rijksinstituut voor
Integraal Zoetwaterbeheer en
Afwalwaterbehandeling
Documentatie
Postbus 17
6000 AA Leidschendam

Pilot Markermeer

Fase 1: Koppeling XHIRLAM aan WAQUA

Auteurs: H.J. Kalk
C.J.M. Vermeulen

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Leeswijzer.....	2
2	Koppeling WAQUA en XHIRLAM	3
2.1	Definitie WAQUA-berekening	3
2.1.1	Windgegevens in WAQUA	3
2.1.2	Rekenperiode.....	4
2.1.3	Data-assimilatie.....	4
2.2	Uitvoeren WAQUA-berekening	4
2.3	Analyse van de WAQUA uitvoer.....	5
3	Technische uitwerking.....	6
3.1	Inlezen windgegevens.....	6
3.1.1	Definitie wind zoals in bestaande WAQUA-model	6
3.1.2	Windvelden op 10 meter hoogte boven het wateroppervlak uit XHIRLAM.....	6
3.1.3	Schuifspanning berekend uit XHIRLAM	7
3.2	Specificeren Kalman filter.....	7
3.2.1	Geen Kalman filter.....	7
3.2.2	Tijdsafhankelijke Kalman filter	8
3.2.3	Tijdsonafhankelijke Kalman filter	8
3.3	Uitvoeren WAQUA-berekening	8
3.3.1	Berekening netto aanvoer op Markermeer	8
3.4	Analyse van de WAQUA uitvoer.....	12
4	Gebruikershandleiding	13
4.1	Somdefinitie.....	13
4.2	Berekening.....	15
4.3	Analyse.....	15
4.3.1	Openen nieuwe sessie.....	16
4.3.2	Tijdsgrafiek	17
4.3.3	x-y plot.....	18
4.4	Voorbeeld	19
4.4.1	Somdefinitie	19
4.4.2	Uitvoeren berekening	20
4.4.3	Analyse	20
4.5	Vergelijking van de verschillende methoden	21
5	Referenties	24
Bijlage A: Respons van commando waqrun.cmd		A-1

Lijst van figuren

Figuur 2-1:	Stroomschema WAQUA-berekening.....	5
Figuur 3-1:	Stroomschema WAQWND binnen WAQUA.....	7
Figuur 3-2:	Stroomschema WAQUA-berekening.....	8
Figuur 3-3:	Benodigde debieten om tijdens de novemberstorm het gemiddelde Markermeerpeil in het WAQUA-model overeen te laten komen met gemeten waterstanden.....	10
Figuur 3-4:	Benodigde debieten om tijdens de meistorm het gemiddelde Markermeerpeil in het WAQUA-model overeen te laten komen met gemeten waterstanden.....	11
Figuur 4-1:	Hoofdwindwindow van KALGUI.....	16
Figuur 4-2:	Tijdreeks window in KALGUI.....	17
Figuur 4-3:	X-Y plot window in KALGUI.....	18
Figuur 4-4:	WAQUA resultaten (tijdreeks en waterniveau) met een tijdsafhankelijk Kalman filter. Links met een standaard deviatie van 0.05 meter en rechts een standaard deviatie van 0.005 meter op de fout in de gemeten waterstanden.....	21
Figuur 4-5:	WAQUA resultaten (tijdreeks en waterniveau) zonder een Kalman filter (links) en met een steady state filter met een standaard deviatie van 0.005 meter op de fout in de gemeten waterstanden (rechts).	22
Figuur 4-6:	WAQUA resultaten (tijdreeks en standaard deviatie waterniveau) met een tijdsafhankelijk Kalman filter. Links met een standaard deviatie van 0.05 meter en rechts een standaard deviatie van 0.005 meter op de fout in de gemeten waterstanden.	23

Lijst van tabellen

Tabel 3-1:	Weegfactoren voor het berekenen van de fictieve debieten.....	9
Tabel 3-2:	Markermeerdebiet novemberstorm.	10
Tabel 3-3:	Markermeerdebiet meistorm.	11
Tabel 4-1:	Mogelijke extensies van het invoerbestand.	14

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Waarschuwingdienst Dijken IJsselmeer en Markermeer (WDIJM) bewaakt de dijken langs het IJsselmeer en Markermeer. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het WDIJM-toetsingssysteem. Dit toetsingssysteem is een database waarin, gegeven meerpeil, windsnelheid en windrichting, bepaald wordt hoe hoog het water tegen de dijk oploopt. Globaal bestaat het huidige instrumentarium voor de WDIJM uit:

- modellen voor het berekenen van waterstanden, golven en golfoploop met als invoer de omstandigheden wind, meerpeil en rivierafvoer;
- een methode voor het genereren van de grote database met waterstanden en golven, gebaseerd op fysische modellen (beperkt aantal combinaties) en gekalibreerde reprofuncties (uitbreiding aantal combinaties);
- een methode voor het berekenen van zogenaamde alarmpeilen;
- een waarschuwingsmodel.

Uitgaande van de (voorspelde) wind, het meerpeil, de rivierafvoer en de informatie uit de database berekent het waarschuwingsmodel het zogenaamde stormpeil (waterstand plus golfoploop) en vergelijkt dit met de alarmpeilen. Overschrijding van het alarmpeil leidt tot een waarschuwing.

De afdeling WSH van RIZA is van start gegaan met het project "WDIJM innovatie modelinstrumentarium". Onderzocht wordt of het instrumentarium kan worden verbeterd met de in de loop der jaren ontwikkelde nieuwe methoden en technieken. De WDIJM is met name geïnteresseerd in de mogelijkheden om met WAQUA niet-stationaire situaties te kunnen doorrekenen, waarbij het WAQUA-model gebruik maakt van windvelden die met het XHIRLAM-model van het KNMI worden voorspeld.

1.2 Doelstelling

Het is de bedoeling om de door XHIRLAM voorspelde windvelden on-line als invoer aan het WAQUA-model aan te bieden. Door middel van data-assimilatie worden gemeten waterstanden gecombineerd met de modelresultaten van het WAQUA-model om werkelijkheid (metingen) en model in overeenstemming te laten blijven. Voor de koppeling van XHIRLAM met WAQUA is het van belang op welke manier de windschuifspanning aan WAQUA wordt opgelegd. Aandachtspunten zijn hoe de XHIRLAM-uitvoer wordt geïnterpoleerd naar het windrooster in WAQUA en op welke manier de windschuifspanning aan het wateroppervlak wordt berekend (door WAQUA of extern berekend).

Allereerst wordt door RIZA een haalbaarheidsstudie uitgevoerd, waarbij het Markermeer als pilot is gekozen. Omdat in de haalbaarheidsstudie eerst wordt gekeken naar de meerwaarde van XHIRLAM is de koppeling tussen XHIRLAM en WAQUA off-line gerealiseerd. RIZA heeft HKV gevraagd een instrumentarium te realiseren voor de haalbaarheidsstudie, bestaande uit de volgende drie onderdelen:

1. *Realiseren van een schil rond WAQUA waarmee XHIRLAM windvelden of windschuifspanningen kunnen worden ingelezen en de WAQUA resultaten geanalyseerd.*
2. *Inventarisatie data-assimilatietechnieken voor WAQUA en realiseren van tenminste één techniek waarmee de meerwaarde van de techniek kan worden gedemonstreerd.*
3. *Analyse van de huidige en toekomstige interpolatietechnieken en berekening van de windschuifspanning bij de overgang van XHIRLAM naar WAQUA.*

Dit rapport beschrijft fase 1: de 'schil' rond WAQUA waarmee XHIRLAM windvelden of windschuifspanningen kunnen worden ingelezen en de WAQUA resultaten geanalyseerd. De andere twee fases zijn apart gedocumenteerd.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de koppeling van XHIRLAM en WAQUA op hoofdlijnen beschreven en in Hoofdstuk 3 wordt de technische uitwerking van de schil (waarin de koppeling van XHIRLAM en WAQUA is gerealiseerd) gegeven. Hoofdstuk 4 is een beknopte gebruikershandleiding. De gebruikershandleiding beschrijft de gebruikersmogelijkheden met en zonder data-assimilatie.

2 Koppeling WAQUA en XHIRLAM

Door RIZA wordt onderzocht wat de meerwaarde is van een koppeling van XHIRLAM met WAQUA. Belangrijk onderdeel van de schil is daarom om een koppeling te realiseren tussen XHIRLAM en WAQUA. De koppeling wordt off-line gerealiseerd, wat wil zeggen dat voor een aantal perioden WAQUA berekeningen kunnen worden uitgevoerd met naar keuze XHIRLAM windgegevens of uniforme wind.

Om de WAQUA-schematisatie van het Markermeer is een 'schil' gebouwd welke de volgende hoofdfuncties heeft:

1. definitie van de WAQUA-berekening,
2. uitvoeren van de WAQUA-berekening,
3. analyse van de WAQUA-resultaten.

Een detaillering van deze drie taken staat hieronder uitgewerkt.

2.1 Definitie WAQUA-berekening

Uitgangspunt voor de schil is de bestaande WAQUA schematisatie van het Markermeer. Alle berekeningen worden met dit model uitgevoerd. Voor dit model kunnen de volgende parameters worden opgegeven:

1. Windgegevens in WAQUA.
2. Rekenperiode
3. Rekenen met data-assimilatie

2.1.1 Windgegevens in WAQUA

Kern van de schil om WAQUA is de mogelijkheid om de XHIRLAM windgegevens automatisch in te lezen in WAQUA. De gebruiker heeft hierbij de keuze uit:

1. definitie wind zoals in bestaande WAQUA-schematisatie;
2. windvelden op 10 meter hoogte boven het wateroppervlak uit XHIRLAM;
3. schuifspanning berekend uit XHIRLAM.

Met de eerste optie (uniforme wind) kan de huidige WAQUA-berekening voor het Markermeer worden gereproduceerd. Bij de tweede en derde optie wordt gebruik gemaakt van de modelresultaten van XHIRLAM waarmee de windbelasting zowel in tijd als in de ruimte varieert. Bij de tweede optie wordt de schuifspanning door WAQUA zelf berekend, in de derde optie worden de schuifspanningen direct opgelegd aan WAQUA. Merk op dat de derde optie (schuifspanning) nog niet geïmplementeerd is.

2.1.2 Rekenperiode

Uit de XHIRLAM windgegevens zijn twee (vaste) rekenperioden geselecteerd welke zijn opgenomen in de schil. Met de keuze van de rekenperiode worden de desbetreffende windvelden en meetreeksen geselecteerd voor de berekening.

2.1.3 Data-assimilatie

De schil biedt de volgende mogelijkheden voor data-assimilatie:

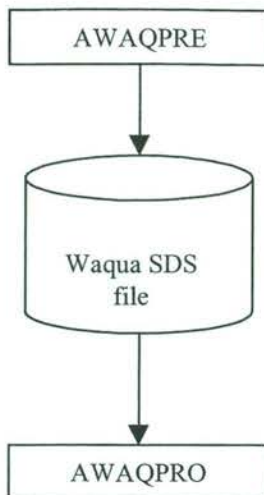
- Geen data-assimilatie
- Wel data-assimilatie
 - Tijdsafhankelijk Kalman filter
 - Tijdsafhankelijk Kalman filter

Als gekozen wordt niet met data-assimilatie te rekenen wordt een 'gewone' WAQUA-berekening uitgevoerd.

Als gekozen wordt voor data-assimilatie moeten extra gegevens worden ingevoerd. Bij data-assimilatie wordt een extra rekenstap in WAQUA uitgevoerd, namelijk het minimaliseren van het verschil tussen berekende en gemeten waterstanden in het Markermeer (zie rapportage van fase 2). Met data-assimilatie moet worden opgegeven welke meetreeks(en) in de berekening moeten worden meegenomen. Daarnaast moet de onzekerheid in de meetreeks (de standaarddeviatie) worden gespecificeerd. Wordt gekozen voor het tijdsafhankelijk Kalman filter dan wordt tevens nog gebruik gemaakt van de Kalman gain. Deze dient eerst met het tijdsafhankelijke Kalman filter bepaald te worden.

2.2 Uitvoeren WAQUA-berekening

Nadat eventueel met WAQWND een wind SDS file en met AWAQPRE een WAQUA SDS-file is gegenereerd, kan WAQUA zelf gedraaid worden. Dit gaat met behulp van AWAQPRO. Voordat WAQUA echter gestart wordt, dient nog te worden gespecificeerd of gebruik wordt gemaakt van data-assimilatie (zie rapportage fase 2 voor een uitgebreide uitleg over data-assimilatie). Indien data-assimilatie wordt gebruikt, dient de variabele KALMAN gespecificeerd te worden. Zie (J.R. Brouwer en M. Verlaan) voor een uitgebreide beschrijving van Kalman filtering binnen WAQUA.



Figuur 2-1: Stroomschema WAQUA-berekening.

Er dient opgemerkt te worden dat WAQPRE betrekking heeft op WAQUA zonder Kalman filter terwijl AWAQPRE hoort bij WAQUA met de optie van Kalman filter. Hetzelfde geldt voor WAQPRO en AWAQPRO.

2.3 Analyse van de WAQUA uitvoer

Met behulp van verschillende postprocessor programma's kunnen de resultaten worden geanalyseerd. Bijvoorbeeld WAQPAN levert een interface met o.a. Matlab en Simview.

Voor WAQUA berekeningen met Kalman filter zijn er twee programma's ontwikkeld om de resultaten te bekijken. Dit zijn 'basisanalyse' en 'KALGUI'. Deze laatste beschikt over een grafische user-interface en wordt binnen dit onderzoek gebruikt voor de analyse van de resultaten.

3 Technische uitwerking

Dit hoofdstuk beschrijft hoe de schil is gerealiseerd. Voor de schil is uitgegaan van bestaande programmatuur (rekenprogramma WAQUA met Kalman filter en grafische gebruikersinterface KALGUI). De schil zelf is in drie afzonderlijke lagen gerealiseerd die na elkaar moeten worden uitgevoerd. De schil genereert een reeks van commando's die als een script (recept, batchfile) gedraaid wordt.

3.1 Inlezen windgegevens

Met behulp van het programma AWAQPRE en indien nodig WAQWND kunnen de windgegevens worden ingelezen. Zie voor uitgebreide toelichting (EDS Rijswijk 2000). Afhankelijk van de keuze dienen één of meerdere variabelen te worden gedefinieerd.

AWAQPRE is het standaard WAQUA preprocessor programma en WAQWND is een wind conversie programma.

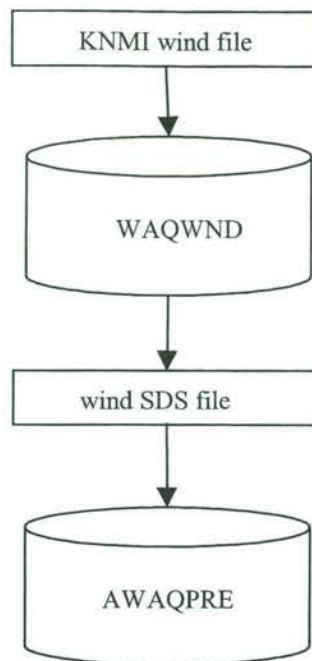
3.1.1 Definitie wind zoals in bestaande WAQUA-model

In het bestaande WAQUA-model wordt gebruik gemaakt van een uniform windveld (constant in de ruimte). Hiervoor is het nodig om in het invoerbestand van AWAQPRE (siminp file) de variabele WIND nader te specificeren. Binnen WIND dienen bijvoorbeeld de windsnelheid WSPEED en windrichting WANGLE opgegeven te worden (Zie ook EDS Rijswijk 2000, Paragraaf 2.7.3).

3.1.2 Windvelden op 10 meter hoogte boven het wateroppervlak uit XHIRLAM

Indien er gebruik gemaakt wordt van de windvelden op 10 meter hoogte boven het wateroppervlak uit XHIRLAM van het KNMI, kan geen gebruik gemaakt worden van de variabele WIND.

In dit geval dient in het invoerbestand AWAQPRE (siminp file) de variabele SPACE_VAR_WIND gebruikt te worden (zie ook EDS Rijswijk 2000, Paragraaf 2.7.4). Binnen SPACE_VAR_WIND moet echter een wind SDS file opgegeven worden. Deze wind SDS file wordt aangemaakt met behulp van het programma WAQWND. Zie voor een beschrijving van WAQWND (EDS Rijswijk 2001).



Figuur 3-1: Stroomschema WAQWND binnen WAQUA.

3.1.3 Schuifspanning berekend uit XHIRLAM

Ook voor de schuifspanning kan geen gebruik gemaakt worden van de variabele WIND.

Nu moet in het invoerbestand AWAQPRE (siminp file) voor SPACE_VAR_WIND andere variabelen worden gedefinieerd en dient weer een wind SDS file opgegeven te worden. Deze wind SDS file wordt aangemaakt met behulp van het programma WAQWND. Zie voor een beschrijving van WAQWND (EDS Rijswijk 2001).

3.2 Specificeren Kalman filter

Door de gebruiker dient te worden opgegeven of er al dan niet gebruik wordt gemaakt van Kalman filtering. Indien gebruik wordt gemaakt van kalman filtering, dient de simulatie input file voor AWAQPRE (siminp.*) de variabele KALMAN te bevatten. Zie (J.R. Brouwer en M. Verlaan) voor een uitgebreide beschrijving van Kalman filter binnen WAQUA.

3.2.1 Geen Kalman filter

Als gekozen wordt voor een WAQUA-berekening zonder Kalman filter wordt een 'gewone' WAQUA-berekening uitgevoerd.

3.2.2 Tijdsafhankelijke Kalman filter

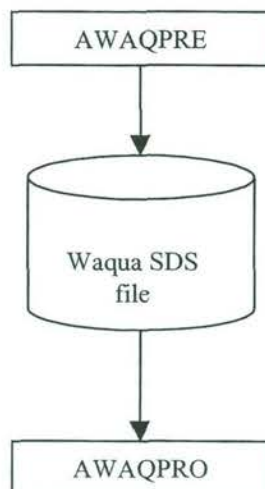
Als gekozen wordt voor een WAQUA-berekening met een tijdsafhankelijk Kalman filter, dient de sub-variabele `RRSQRT` gespecificeerd te worden. Verder dient nog te worden opgegeven welke waterstandslocaties en standaard deviatie (in meters) van de fout in de waargenomen waterstanden worden gebruikt. Merk op dat de variabele `COMPUTE_STEADY_STATE` noodzakelijk is om de Kalman gain weg te schrijven welke weer als input dient voor het tijdsonafhankelijk Kalman filter.

3.2.3 Tijdsonafhankelijke Kalman filter

Als gekozen wordt voor een WAQUA-berekening met een tijdsonafhankelijk Kalman filter, dient de sub-variabele `STEADY_STATE` gespecificeerd te worden. Verder dient nog te worden opgegeven in welke WAQUA-berekening de Kalman gain is bepaald en op welk tijdstip. Dit gebeurt automatisch in het script en hoeft dus niet door de gebruiker te worden opgegeven.

3.3 Uitvoeren WAQUA-berekening

Nadat eventueel met `WAQWND` een wind SDS file en met `AWAQPRE` een WAQUA SDS-file is gegenereerd, kan WAQUA zelf gedraaid worden. Dit gaat met behulp van `AWAQPRO`.



Figuur 3-2: Stroomschema WAQUA-berekening.

3.3.1 Berekening netto aanvoer op Markermeer

Het Markermeermodel is een gesloten model met daarin een vaste hoeveelheid water. Het basis waterpeil in deze 'bak' water is $-0,40$ m. Dit meerpeil wordt opgegeven in het WAQUA-model als initiële waterstand. In werkelijkheid stroomt er echter water in en uit het Markermeer, en zal het gemiddelde meerpeil niet altijd $-0,40$ m zijn.

In het Markermeermodeel met Kalman filtering zorgt het Kalman filter ervoor dat de door WAQUA berekende waterstanden op enkele punten zo goed mogelijk overeenkomen met metingen op diezelfde punten. Als de gebruikte metingen echter gemeten zijn met een gemiddeld meerpeil van bijvoorbeeld $-0,30$ m, terwijl het WAQUA-model uitgaat van $-0,40$ m komt het model dus 10 cm water tekort. Het Kalman filter zal toch proberen om op alle meetpunten de berekende waarden zo dicht mogelijk bij de metingen te krijgen. Dit zal leiden tot een onrealistisch Kalman filter of het model kan zelfs crashen.

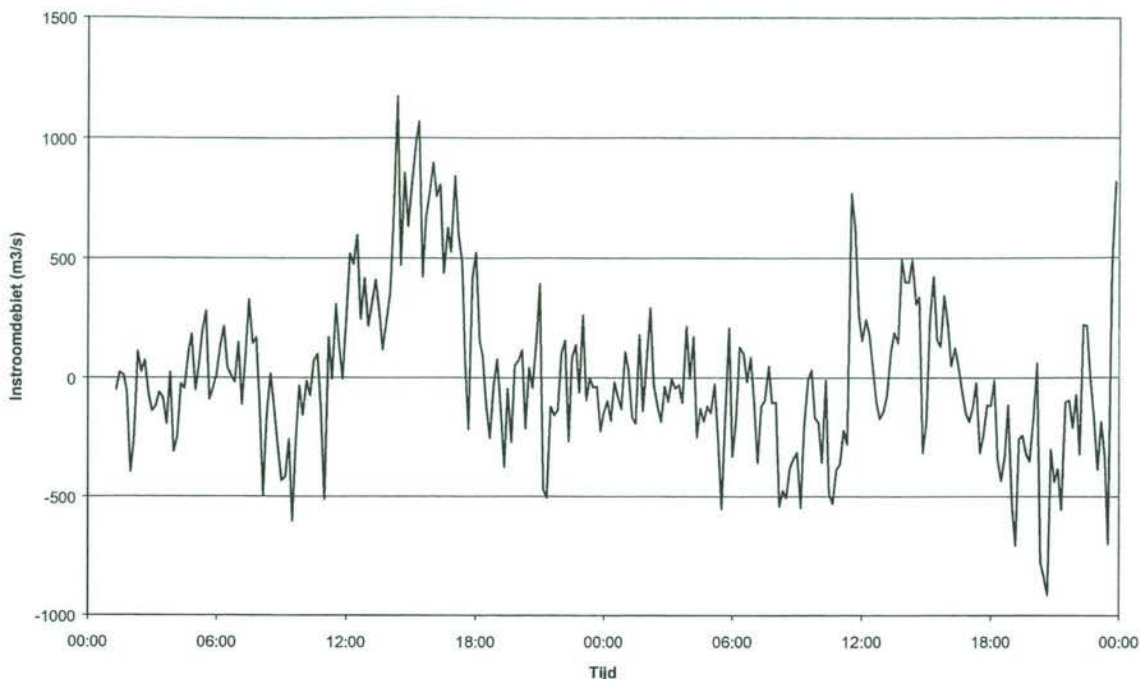
Dit probleem is op te lossen door ervoor te zorgen dat ook in het WAQUA-model steeds de juiste hoeveelheid water aanwezig is. Om te weten hoeveel water er in het WAQUA-model aanwezig moet zijn, moet bekend zijn wat het gemiddelde meerpeil was op elk tijdstip waarover metingen zijn. Je zou het gemiddelde peil van alle 6 de meetstations (Hollandse brug, Edam, Houtribsluizen, Nijkerkersluis, Krabbersgatsluizen en Markermeer midden) kunnen gebruiken, maar omdat veel van deze punten ten zuiden van het zwaartepunt van het Markermeer liggen zou dat bij Zuidenwind tot een te laag meerpeil en bij Noordenwind tot een te hoog meerpeil leiden.

Om dit te voorkomen zijn er weegfactoren voor ieder station bepaald. Hiervoor is het WAQUA-model gebruikt. Eerst is bij alle 6 stations de waterstand berekend bij 8 verschillende windrichtingen (N, NO, O etc.) en een windsnelheid van 10 m/s. Dit alles met een gemiddeld meerpeil van $-0,40$ m zoals opgegeven in WAQUA. Vervolgens moesten weegfactoren voor de 6 meetstations worden bepaald waarbij het gewogen gemiddelde bij alle 8 verschillende windrichtingen leidde tot een waarde van $-0,40$ m. Hiervoor is met Matlab een optimalisatie algoritme gebruikt om weegfactoren te bepalen (Tabel 3-1). Met deze weegfactoren kan uit de metingen op de meetstations het gemiddelde meerpeil worden bepaald.

Lokatie	Weegfactoren
Hollandse brug	0.0813
Edam	0.2531
Houtribsluizen	0.1413
Nijkerkersluis	0.0076
Krabbersgatsluizen	0.0177
Markermeer midden	0.4991

Tabel 3-1: Weegfactoren voor het berekenen van de fictieve debieten.

Op basis van de metingen zijn de verschillende meerpeilen in het Markermeer in de tijd bepaald. Voorts is het waterbergend oppervlak van het Markermeer in het WAQUA-model bepaald ($715,4 \text{ km}^2$). Met deze twee getallen kan het gewenste instroom of uitstroom debiet worden bepaald. De zo ontstane debietreeks is voor november weergegeven Figuur 3-3 en voor mei in Figuur 3-4.



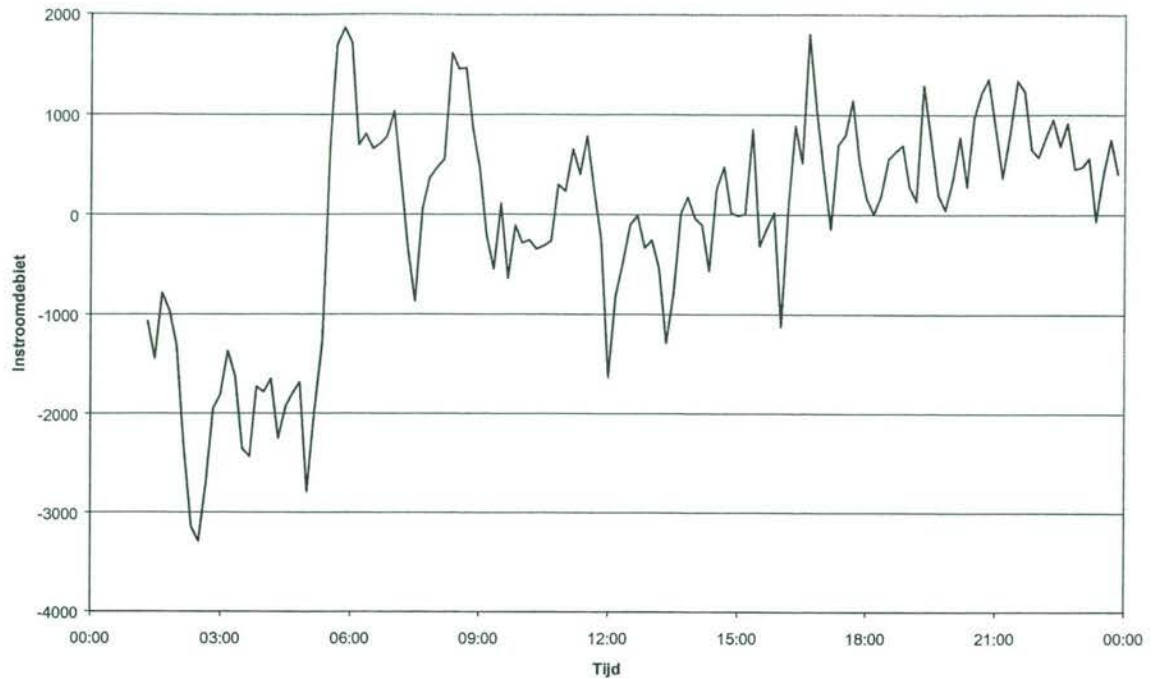
Figuur 3-3: Benodigde debieten om tijdens de novemberstorm het gemiddelde Markermeerpeil in het WAQUA-model overeen te laten komen met gemeten waterstanden.

Deze figuur is te gedetailleerd en is daarom samengevat in de onderstaande tabel:

```
# Debiet Oranjesluizen
# NOTE positieve waarden zijn debieten van Oost naar West
# Het Markermeer IN
S: P031 TID = 0
SERIES = 'irregular'
TIME_AND_VALUES=(0 11:00) 0
TIME_AND_VALUES=(0 15:00) 900
TIME_AND_VALUES=(0 19:00) 0
TIME_AND_VALUES=(1 08:00) -250
TIME_AND_VALUES=(1 14:00) 500
TIME_AND_VALUES=(2 00:00) -250
# Debiet Houtribsluizen
# NOTE positieve waarden zijn debieten van Zuid naar Noord
# Het Markermeer UIT !!!!
S: P033 TID = 0
SERIES = 'irregular'
TIME_AND_VALUES=(2 00:00) 0
```

Tabel 3-2: Markermeerdebiet novemberstorm.

In deze tabel (Tabel 3-2) is ervoor gekozen om alle in- en uitstroom van water te laten plaatsvinden bij de Oranjesluizen. Voor de storm in mei is dezelfde procedure (zie Tabel 3-3) aangehouden.



Figuur 3-4: Benodigde debieten om tijdens de meistorm het gemiddelde Markermeerpeil in het WAQUA-model overeen te laten komen met gemeten waterstanden.

```
# Debiet Oranjesluizen
# NOTE positieve waarden zijn debieten van Oost naar West
# Het Markermeer IN
S: P031 TID = 0
SERIES = 'irregular'
TIME_AND_VALUES = (0 11:00) 0
TIME_AND_VALUES = (0 15:00) 0
TIME_AND_VALUES = (0 19:00) 0
TIME_AND_VALUES = (1 00:00) 0
# Debiet Houtribsluizen
# NOTE positieve waarden zijn debieten van Zuid naar Noord
# Het Markermeer UIT !!!!
S: P033 TID = 1000
SERIES = 'irregular'
TIME_AND_VALUES = (0 05:00) 2000
TIME_AND_VALUES = (0 07:00) -1500
TIME_AND_VALUES = (0 09:00) 0
TIME_AND_VALUES = (0 14:00) 0
TIME_AND_VALUES = (0 21:00) -1000
TIME_AND_VALUES = (1 00:00) 0
```

Tabel 3-3: Markermeerdebiet meistorm.

Opmerking:

Deze fictieve debieten volstaan voor de stormen in het model en voor de toepassing in deze haalbaarheidsstudie. In operationele omstandigheden moet echter gewerkt worden met gemeten (of berekende cq. afgeleide) debieten op het Markermeer. Bijvoorbeeld door de belangrijkste posten te bemeten en de overige posten hieruit af te leiden (reprofuncties). Het gebruiken van de waterstandsmetingen om de waterbalans voor het meer te bepalen heeft als nadeel dat die metingen ook gebruikt worden voor het Kalman filter.

3.4 Analyse van de WAQUA uitvoer

De berekeningen met WAQUA, inclusief de voorbereidingen worden uitgevoerd in een LINUX-omgeving. Voor de analyse van de WAQUA-berekeningen met of zonder Kalman filter wordt gebruik gemaakt van het (Matlab georiënteerde) programma KALGUI op de PC. KALGUI beschikt over een grafische user-interface.

De WAQUA-berekening wordt uitgevoerd binnen de LINUX-omgeving en de analyse van de resultaten (met KALGUI) op de PC. De uitvoer van de WAQUA-berekening (de *.mat bestanden) moeten, bijvoorbeeld met een FTP-programma, op de PC gezet te worden. Vanaf de PC kan nu KALGUI gestart worden.

Om vanuit een willekeurige directory KALGUI op te kunnen starten, is het noodzakelijk om de directory waarin alle benodigde KALGUI *.mat files staan toe te voegen aan het zoekpad van Matlab met behulp van het commando 'addpath' in de startup.m file. Deze startup file dient in de directory 'toolbox\local' binnen Matlab aanwezig te zijn.

4 Gebruikershandleiding

De schil is in drie lagen opgebouwd:

1. Somdefinitie
Specificeren van een berekening:
 - Wat voor wind?
 - welke periode?
 - Wel of geen Kalman filtering?
 - Welke meetstations?
 - Welke standaarddeviatie?
2. Uitvoeren berekening
Opstarten van de WAQUA-berekening
3. Analyse rekenresultaten
 - *.mat files FTP'en naar de PC
 - Opstarten KALGUI voor de analyse.

Er is bewust gekozen om voor elke laag een aparte 'applicatie' te maken. De berekening kost namelijk nogal wat tijd en door aparte lagen te gebruiken kunnen de berekeningen 's avonds of in het weekend worden uitgevoerd. Ook is het mogelijk om na de somdefinitie nog parameterinstellingen te wijzigen, middels het bestand siminp.***

De eerste twee lagen zijn geïmplementeerd op een LINUX machine, de derde laag is een PC-applicatie.

4.1 Somdefinitie

Het programma dient te worden opgestart in de home directory van Jeroen Ligtenberg met behulp van het commando

```
./waqstart ***
```

In plaats van *** dient een naam van een directory te worden opgegeven welke zal worden aangemaakt. Vervolgens worden er een aantal vragen gesteld die betrekking hebben op de wind en op Kalman filtering.

Voor wind komen de volgende vragen:

- Wat voor wind moet worden gebruikt? (uniform/KNMI)
Er kan nu gekozen worden uit uniforme wind waarbij men zelf een windsnelheid en -richting op kan geven of een (XHIRLAM) windveld berekend door het KNMI. Ongeacht de gemaakte keuze, wordt er om een periode gevraagd.

Indien voor uniforme wind wordt gekozen, komen de volgende vragen

- Welke periode moet worden gebruikt?
Men kan nu kiezen uit 2 perioden, te weten november 1999 en mei 2000. Deze perioden hebben alleen betrekking op de gemeten waterstanden en niet op de wind!
- Windsnelheid? (m/s)
- Windrichting? (0 is noord, 90 is oost etc.)

Kiest men voor windvelden afkomstig van het KNMI (XHIRLAM), dan komen de vragen:

- Welke periode moet worden gebruikt?
Men kan nu kiezen uit 2 stormen, te weten november 1999 en mei 2000. Nu worden behalve de metingen ook de wind van deze periode gebruikt.

Met betrekking tot het Kalman filter komen de vragen:

- Wordt er gebruik gemaakt van Kalman filter?
Indien deze vraag met ja wordt beantwoordt, komt de vraag:
 - Welk algoritme wilt u? (Tijdsafhankelijk of Steady state)
Indien deze vraag met 1 (Tijdsafhankelijk) wordt beantwoordt, komen de vragen:
 - Welke meetstations tellen mee voor de Kalman filter?
Hier kan men kiezen uit de 6 stations waarvoor metingen (waterstanden) beschikbaar zijn. Er wordt geverifieerd of de gekozen stations correct zijn doorgekomen.
 - Standaard deviatie? (de standaard deviatie in meters van de fout van de waargenomen data)
Voor een toelichting op de standaard deviatie wordt verwezen naar het rapport over fase 2 "Inventarisatie Data-assimilatietechnieken" (Hoofdstuk 3).

Bij de keuze 2 (Steady state) of geen Kalman filtering wordt het programma beëindigd.

Indien men Steady state Kalman filtering wil draaien, is het noodzakelijk dat een som met een tijdsafhankelijk filter al heeft plaatsgevonden. Verder dient men bij het commando **"/waqstart ***"** dezelfde directory te kiezen als waarin het tijdsafhankelijke filter heeft gedraaid. Het commando **"/waqrun.cmd"** wordt gegeven in de directory waar de resultaten van de tijdsafhankelijke berekening staan, dus *niet* in het subdirectory 'steady'. De resultaten komen dan in een subdirectory "steady". Bij een berekening met een steady state moeten dezelfde meetstations worden gekozen als bij de tijdsafhankelijke berekening.

Om achteraf nog eens terug te kunnen kijken welke opties gekozen zijn, wordt er in de opgegeven directory een text-bestand (invoer.****) gemaakt waarin deze opties staan. De extensie van dit bestand is afhankelijk van de gekozen opties (zie Tabel 4-1).

Extensie	Gekozen opties
***	u: uniforme wind d: wind van het KNMI
,	O: zonder kalman filtering t: tijdsafhankelijk Kalman filter s: steady state Kalman filter
**,	n: periode november 1999 m: periode mei 2000

Tabel 4-1: Mogelijke extensies van het invoerbestand.

4.2 Berekening

Nadat de somdefinitie is gemaakt kan de berekening worden gestart. Hiervoor is het noodzakelijk om naar de opgegeven directory (***) te gaan door middel van het commando:

```
cd ***
```

en nu met het volgende commando de WAQUA-berekening te starten:

```
./waqrun.cmd
```

Let op: dat er een spatie tussen de eerste twee punten staat!

De respons van het WAQUA-programma staat vermeld in Bijlage A.

Opmerking:

Afhankelijk van de gekozen opties kunnen de volgende meldingen bij de WAQUA-berekening genegeerd worden:

- *rm: cannot remove 'SDS-knmiwind': No such file or directory*
/app/datasm/bin/adobs.run: /app/datasm/sdsexp: No such file or directory (paden afhankelijk van de installatie op het LINUX-werkstation).
- *rm: cannot remove metingen*
- *ERROR: file 'meting.txt' does not exist*

Daarnaast wordt gevraagd om het bestand met metingen (die niet nodig zijn voor de berekening zonder Kalman filter. Er kan dan op <enter> worden gedrukt.

Merk op dat het steady state Kalman filter alleen kan worden aangeroepen indien het tijdsafhankelijk Kalman filter al gedraaid heeft.

Als de simulatie is afgelopen worden de resultaten omgezet naar het Matlab formaat. Deze bestanden moeten worden overgezet naar een netwerkschijf zodat de PC-applicatie deze kan benaderen.

4.3 Analyse

Als deze simulatie is afgelopen worden de resultaten omgezet naar het Matlab formaat zodanig dat de resultaten eenvoudig grafisch in Matlab kunnen worden weergegeven. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van KALGUI. Voor een gedetailleerde beschrijving van KALGUI wordt verwezen naar (Rijkswaterstaat RIKZ, 2000). Om vanuit een willekeurige directory KALGUI op te kunnen starten, is het noodzakelijk om de directory waarin alle benodigde KALGUI *.m files staan, toe te voegen aan het zoekpad van Matlab met behulp van het commando 'addpath' in de startup.m file. Deze startup file dient in de directory 'toolbox\local' binnen Matlab aanwezig te zijn.

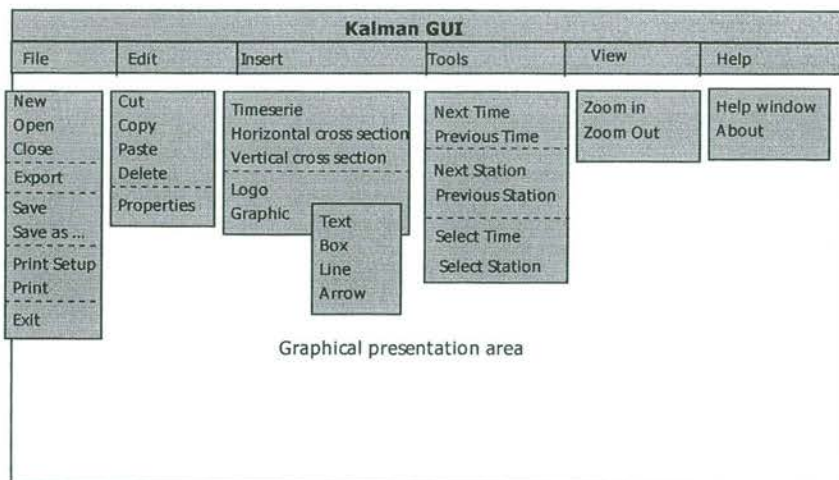
Opmerking:

KALGUI kan géén directorypaden met spaties aan. Directories dienen als gevolg hiervan uit een aanééngesloten tekst te bestaan.

Voor de analyse moet op de PC Matlab (versie 5.3) worden opgestart. Vervolgens wordt KALGUI getart met

kalgui

Het openingsscherm wordt nu zichtbaar en is analoog aan Figuur 4-1. De menubar bevat naast de getoonde opties in Figuur 4-1 nog de mogelijkheden 'Format' (lettertype instellingen) en 'Opties' (Grid mogelijkheden).



Figuur 4-1: Hoofdwinkel van KALGUI.

Standaardbewerkingen met KALGUI zijn:

1. Openen nieuwe sessie
2. Tijdsgrafiek
3. X-Y plot

Opmerking:

Er kunnen geen foutenmarges rondom de voorspelde waterstanden – in de tijdreeksen – geplotted worden. De foutenmarge kan alleen met de xy-plot worden gevisualiseerd.

4.3.1 Openen nieuwe sessie

De analyse start door binnen KALGUI een nieuwe sessie te beginnen. Bestaande resultaten worden dan van het scherm verwijderd. Dit wordt gedaan met de optie 'File → New'. Indien men een al eerder gemaakte sessie wil open kan dit met 'File → Open'.

4.3.2 Tijdsgrafiek

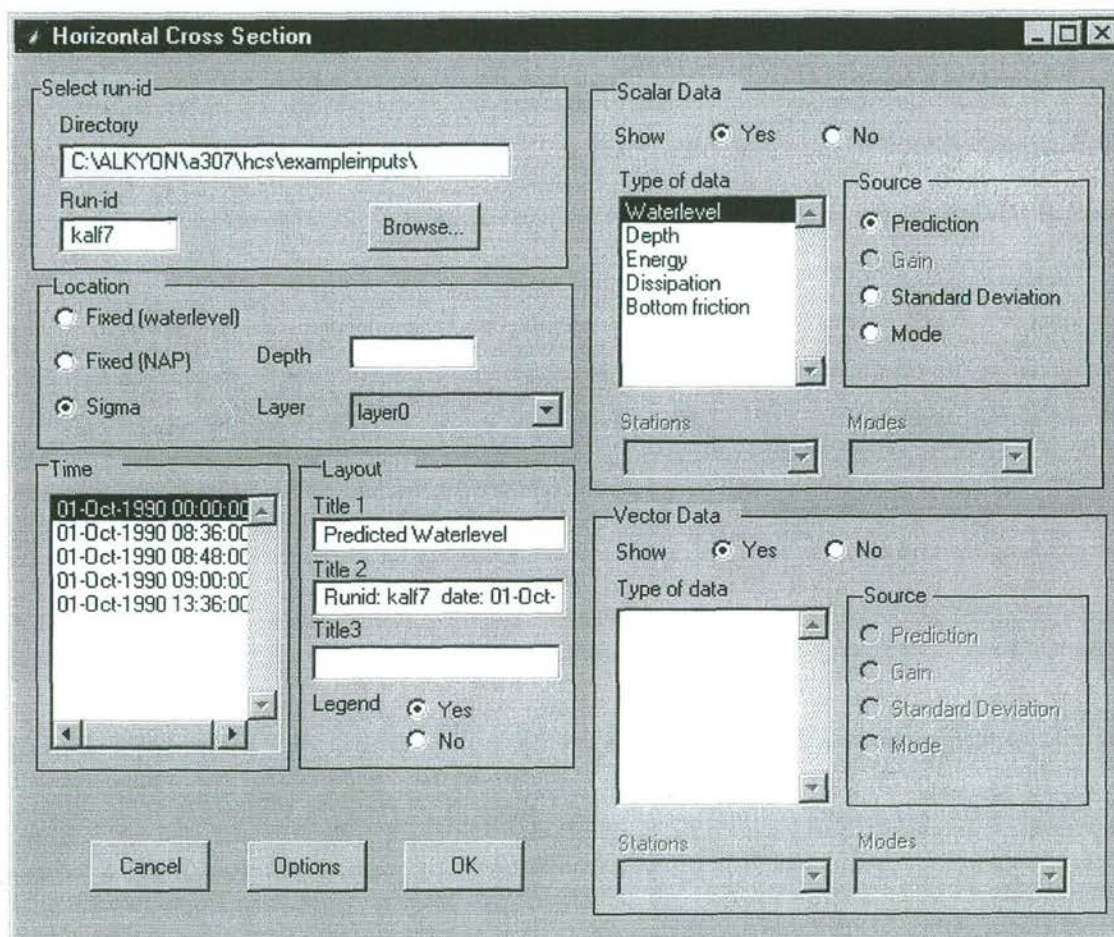
Om een tijdsgrafiek te maken wordt eerst een tijdreeks toegevoegd met de optie 'Insert → TimeSeries'. Er verschijnt een window (zie Figuur 4-2) waarin de gewenste opties geselecteerd kunnen worden. Hier dient de subdirectory te worden geselecteerd waarin de rekenresultaten van de berekening zijn weggeschreven (zie Paragraaf 4.2).

Figuur 4-2: Tijdsreeks window in KALGUI.

Hier kan voor verschillende meetstations een tijdreeks worden geselecteerd met behulp van de optie Add. Door dit te herhalen kunnen meerdere stations in een grafiek worden weergegeven. Ook is het mogelijk om extra tijdreeksen in de figuur toe te voegen door op de grafiek te klikken met de rechtermuisknop en vervolgens voor 'properties' te kiezen. Door op de buttons met de blokjes (links bovenaan) te klikken nadat een tijdreeks is weergegeven kan men door de verschillende meetstations lopen.

4.3.3 X-Y plot

Een XY-plot wordt toegevoegd met de optie 'Insert → Horizontal Cross Section'. Er verschijnt een window waarin de gewenste opties geselecteerd kunnen worden. Zie Figuur 4-3.



Figuur 4-3: X-Y plot window in KALGUI.

Door op de buttons met het klokje te klikken nadat het x-y plot is weergegeven kan vooruit (of achteruit) in de rekenperiode worden gestapt, een tijdlooptje worden gestart en naar het eerste of laatste tijdstip gegaan worden.

Zie voor een uitgebreide beschrijving van KALGUI (Rijkswaterstaat RIKZ, 2000).

4.4 Voorbeeld

Ter illustratie wordt een eenvoudig voorbeeld uitgewerkt.

4.4.1 Somdefinitie

Nadat op de LINUX-machine is ingelogd worden achtereenvolgens de volgende commando's uitgevoerd:

- `.\waqstart voorbeeld`
(de som wordt in subdirectory 'voorbeeld' weggeschreven)
- `1`
(berekening met uniforme windgegevens)
- `1`
(berekening voor periode november 1999)
- `10`
(windsnelheid in m/s)
- `25`
(windrichting in graden)
- `1`
(Gebruik van Kalman filtering)
- `1`
(Tijdsafhankelijk Kalman filter)
- `101010`
(Meetstations: Hollandse brug, Houtribsluizen en Krabbergatsluizen)
- `1`
(juiste stations geselecteerd)
- `0.05`
(Standaard deviatie in meters)

In \voorbeeld staat nu bestand invoer.*:

```
WIND=UNIFORM
PERIODE=NOVEMBER 1999
WINDSNELHEID= 0.1000000E+02 m/s
WINDRICHTING= 0.2500000E+02 °
KALMANFILTERING
    TIJDSAFHANKELIJK
    STATIONS=101010
    STANDAARD DEVIATIE VAN DE RUIS= 0.5000000E-01
```

4.4.2 Uitvoeren berekening

Om de berekening te kunnen opstarten, is het noodzakelijk om in de directory voorbeeld te staan.

cd voorbeeld

Nu kan met het volgende commando de WAQUA- berekening worden opgestart:

./waqrun.cmd

Vervolgens komen op het beeldscherm de 'gewone' WAQUA-meldingen voorbij.

4.4.3 Analyse

Voordat de analyse kan worden gestart, dienen de *.mat files naar de PC te worden gezet met bv. FTP. Vervolgens kan Matlab worden opgestart.

Binnen Matlab wordt het volgende commando gegeven:

Kalgui (opstarten KALGUI)

KALGUI wordt nu opgestart en het openingsscherm verschijnt. Om de resultaten te analyseren dienen de volgende handelingen te worden uitgevoerd:

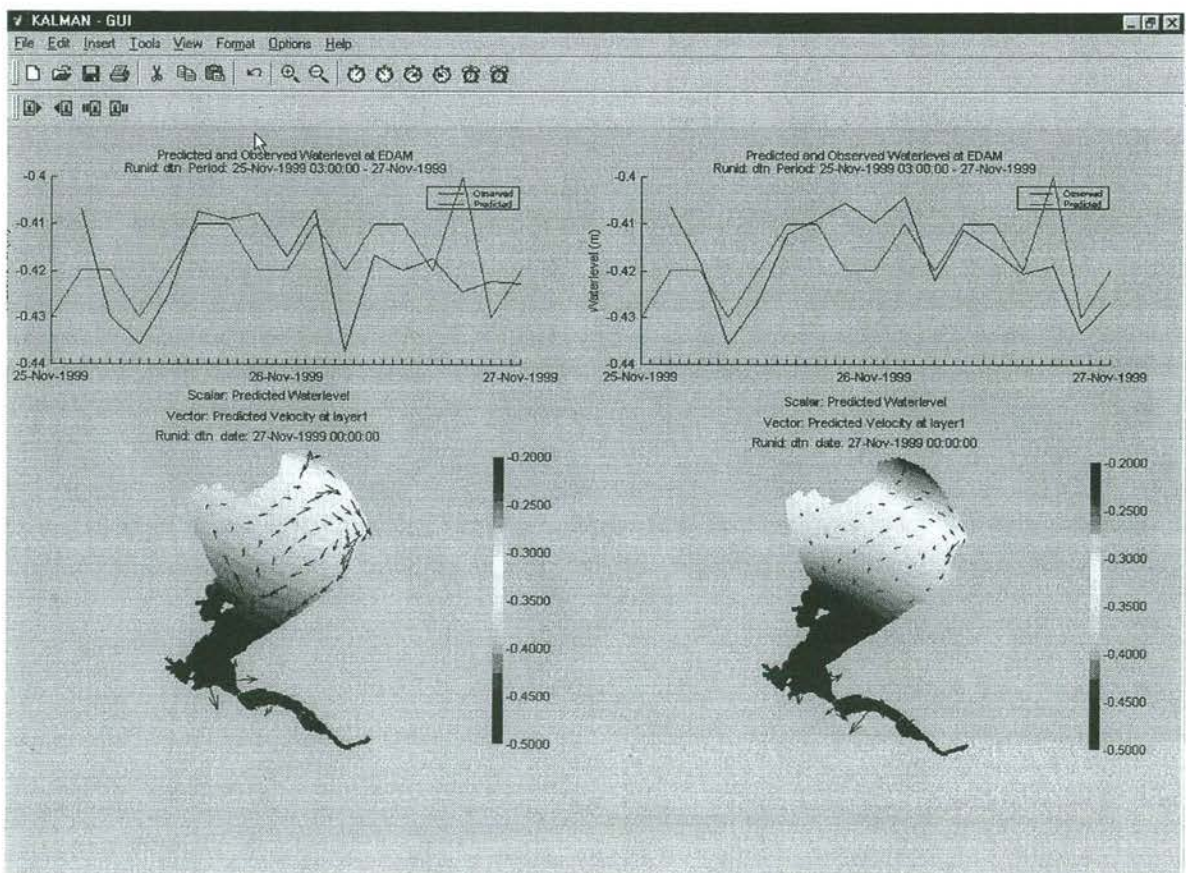
- Klik 'File → New' om een nieuwe sessie te starten.
- Klik 'Insert → TimeSeries', selecteer de juiste directory (voorbeeld), het station Hollandse brug en klik bij 'Source' op prediction. Klik vervolgens op 'Add' om deze tijdreeks toe te voegen aan het figuur en 'OK'.
- Vervolgens kan bij 'Source' voor measurement gekozen worden, en tevens een ander lijntype en klik weer op 'Add' en klik 'OK'. Het figuur bevat nu de gemeten en voorspelde waterstanden van het station Hollandse brug.
- Klik 'Insert → Horizontal Cross Section', selecteer de juiste directory (voorbeeld), de juiste vector en scalaire data en klik 'OK'.

4.5 Vergelijking van de verschillende methoden

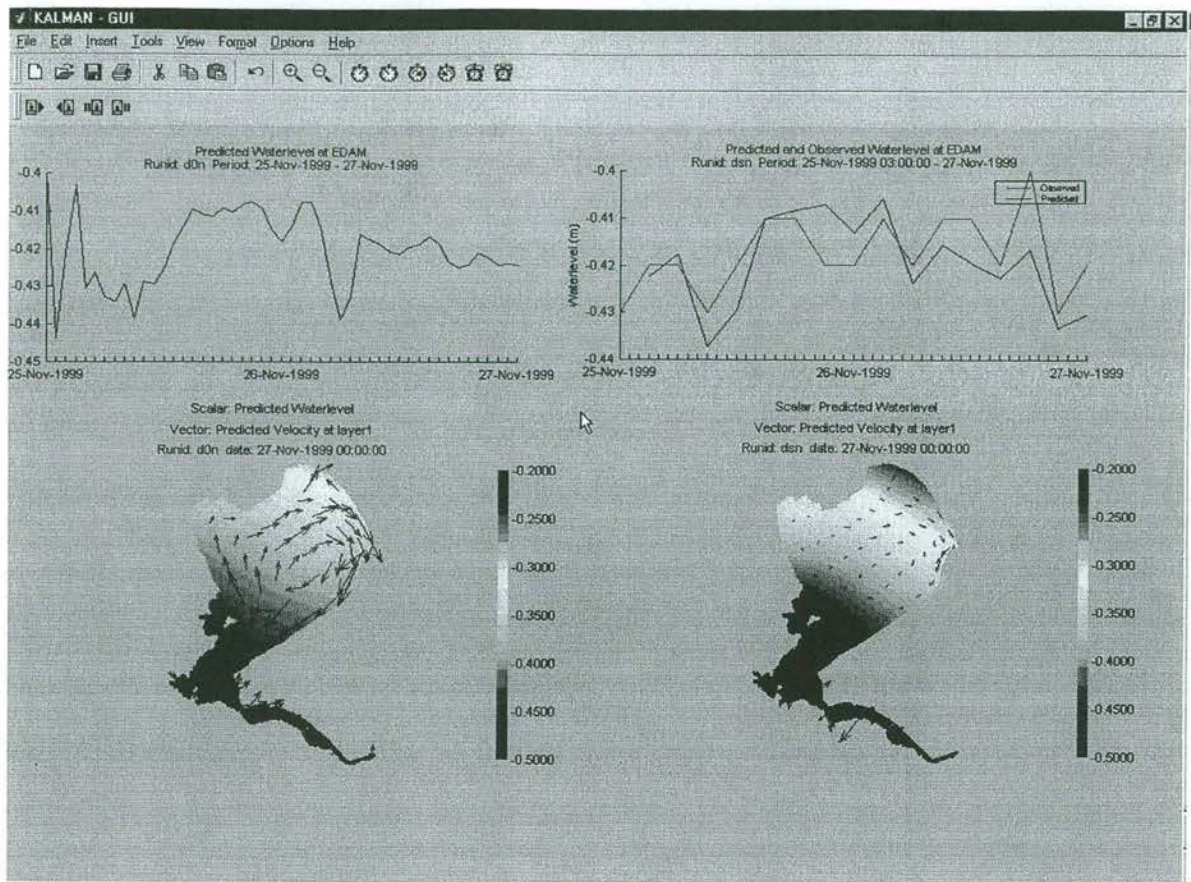
Er zijn verschillende WAQUA-berekeningen uitgevoerd, waarin de verschillende Kalman filter methoden aan bod zijn gekomen:

1. Een simulatie zonder Kalman filter,
2. Een simulatie met het tijdsafhankelijke Kalman filter (met een standaarddeviatie van 0.05 meter),
3. Een simulatie met het tijdsafhankelijke Kalman filter (met een standaarddeviatie van 0.005 meter),
4. Een simulatie met het steady state Kalman filter (steady state gebaseerd op de tweede berekening (standaarddeviatie 0.05 meter)).

Hieronder staan een aantal figuren met tijdreeksen en x-y plots van bovengenoemde simulaties. Uit Figuur 4-4 en Figuur 4-6 blijkt bijvoorbeeld dat bij een kleinere standaard deviatie de voorspelde waterstanden dichter bij de gemeten waarden liggen. Dit wordt ook verwacht omdat het Kalman filter bij een kleinere standaard deviatie meer 'geloof hecht' aan de metingen. Als gevolg hiervan is het bereik van het waterniveau bij kleinere standaard deviatie wel iets groter.

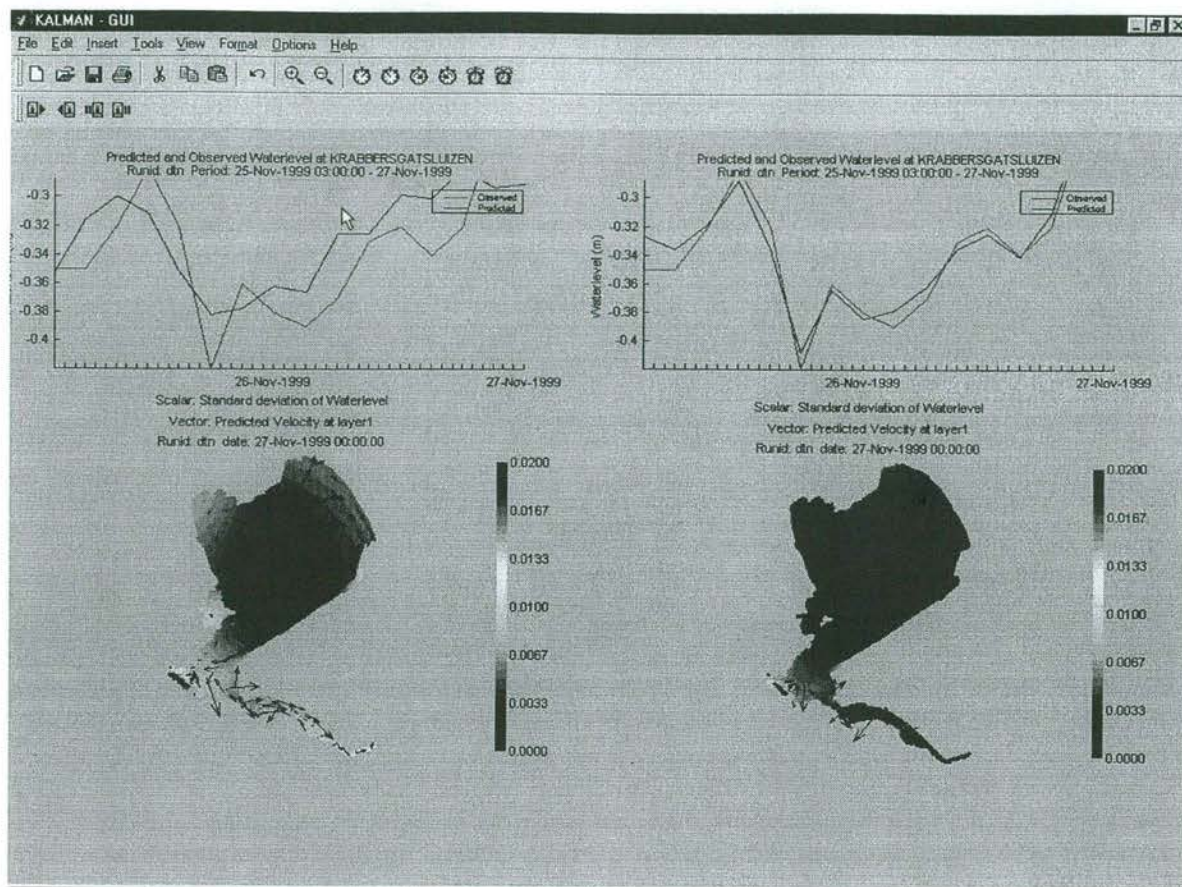


Figuur 4-4: WAQUA resultaten (tijdreeksen en waterniveau) met een tijdsafhankelijk Kalman filter. Links met een standaard deviatie van 0.05 meter en rechts een standaard deviatie van 0.005 meter op de fout in de gemeten waterstanden.



Figuur 4-5: WAQUA resultaten (tijdreeks en waterniveau) zonder een Kalman filter (links) en met een steady state filter met een standaard deviatie van 0.005 meter op de fout in de gemeten waterstanden (rechts).

De vergelijking van het tijdsafhankelijke filter met het steady state filter (onder dezelfde condities) is te zien in Figuur 4-4 en Figuur 4-5. Het steady state filter volgt minder goed de metingen dan het tijdsafhankelijke filter, maar is in rekentijd veel sneller. Een tijdsafhankelijke filter duurt een aantal uren tegen een paar minuten voor een steady state filter.



Figuur 4-6: WAQUA resultaten (tijdreeks en standaard deviatie waterniveau) met een tijdsafhankelijk Kalman filter. Links met een standaard deviatie van 0.05 meter en rechts een standaard deviatie van 0.005 meter op de fout in de gemeten waterstanden.

5 Referenties

- Blake, R.A., 1991: *The dependence of wind stress on wave height and wind speed*.
J. Geoph. Res. 96 (c11), p20531-20545
- Brouwer J.R. en G.B. van Baren: 1999. *Gebruikershandleiding BASISANALYSE*.
augustus 1999.
- Brouwer J.R. en M. Verlaan, 2001: *User's Guide Kalman-in-Waqua*,
maart 2001.
- Charnock, H. 1955. *Wind stress on a water surface*.
Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 81 p639-640.
- EDS Rijswijk, 2000: User's Guide WAQPRE, version number 10.
13, oktober 2000
- EDS Rijswijk, 2001: Quick Reference Guide WAQUA, version number 10.
15, januari 2001
- Heemink, A.W. 1986: 'Storm Surge Prediction using Kalman Filtering'.
PhD-thesis, University of Twente, 1986.
- Minvenw, 2000: *HIRLAM 11km. windanalyses/prognoses, beschrijving van WP1 van windprognoses op kleine ruimtelijke schalen door KNMI*.
Nautilus-project, werkdocument RIKZ/OS/2000.155x.
- Onvlee, J.R.N., 1993: *The performance of dragrelations in the WAQUA storm surge model*.
KNMI, tech. report TR-149, De Bilt 1993.
- Rijkswaterstaat RIKZ, 2000: *Visualisation KALMAN data-assimilation (users manual)*.
december 2000.
- Smith, S.D. and E.G. Banke, 1975: *Variation of the sea surface drag coefficient with windspeed*. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 101, p665-673
- Verlaan, M en A.W. Heemink, 1995: *Tidal Flow Forecasting using Reduced Rank Square Root Filters*.
tech.report 95-75, Delft University of Technology, 1995.
- Wieringa, 1986: *Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages*.
Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 112 p.867-889.

Bijlage A: Respons van commando waqrun.cmd

R I J K S W A T E R S T A A T

S I M O N A - KALMAN

C N V O B S : Convert observed data

UNIX version

***Error: file meting.txt does not exist!

[obsfile] observed data file [<enter>=]:

INPUT FILES:

Siminp file : siminp.u0m

Observed data input file : -

Satellite data input file : leeg

OUTPUT FILES

SDS file : SDS-u0m

Observed data output file : metingen

Message print files : cnvobs-m.u0m

waqpre-m.u0m

adobs-m.u0m

R I J K S W A T E R S T A A T

S I M O N A - WAQUA

W A Q P R E : preprocessor

UNIX version

AWAQPRE input file : siminp.u0m

Message print file : waqpre-m.u0m

awaqpro.run: unknown parameter: -npart

Bijlage

R I J K S W A T E R S T A A T

S I M O N A - WAQUA/TRIWAQ
W A Q P R O : 2D and 3D - simulation

UNIX version

SDS file : SDS-u0m
Report file : waqpro-r.u0m
Message print file : waqpro-m.u0m

Attention: program WAQBHD (for blocked history data needed
while postprocessing (SIMVIEW)) will be executed
automatically after completion of AWAQPRO!!

R I J K S W A T E R S T A A T

S I M O N A - KALMAN
S D S 2 M A T : Interface from SDSfile to the Matlab Gui

UNIX version

SDS2MAT input file : kalman2mat
SDS file : SDS-u0m
Message print file : sds2mat-m.u0m

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, RIZA

Pilot Markermeer

Fase 2: Inventarisatie data-assimilatietechnieken

Auteurs: H.J. Kalk
C.J.M. Vermeulen

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding.....	1
1.2	Doelstelling	1
1.3	Leeswijzer.....	2
2	Data-assimilatietechnieken	3
2.1	Inventarisatie technieken.....	3
2.2	Kalman filtering	3
2.2.1	Tijdsonafhankelijke filters	4
2.2.2	Tijdsafhankelijke filters	4
3	Toelichting op de werking van een Kalman filter	5
4	Gerealiseerde data-assimilatietechnieken	10
5	Referenties	14

Lijst van figuren

Figuur 3-1:	Illustratie van filtering in rekenstap.	7
Figuur 3-2:	Illustratie van ruimtelijke effect van Kalman filter.....	8
Figuur 4-1:	Stroomschema voor WAQUA met een tijdsafhankelijk Kalman filter (RRSQRT).	12
Figuur 4-2:	Stroomschema voor WAQUA met een tijdsonafhankelijk Kalman filter (STEADY_STATE).	13

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Waarschuwingdienst Dijken IJsselmeer en Markermeer (WDIJM) bewaakt de dijken langs het IJsselmeer en Markermeer. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het WDIJM-toetsingssysteem. Dit toetsingssysteem is een database waarin, gegeven meerpeil, windsnelheid en windrichting, bepaald wordt hoe hoog het water tegen de dijk oploopt. Globaal bestaat het huidige instrumentarium voor de WDIJM uit:

- modellen voor het berekenen van waterstanden, golven en golfoploop met als invoer de omstandigheden wind, meerpeil en rivierafvoer;
- een methode voor het genereren van de grote database met waterstanden en golven, gebaseerd op fysische modellen (beperkt aantal combinaties) en gekalibreerde reprofuncties (uitbreiding aantal combinaties);
- een methode voor het berekenen van zogenaamde alarmpeilen;
- een waarschuwingsmodel.

Uitgaande van de (voorspelde) wind, het meerpeil, de rivierafvoer en de informatie uit de database berekent het waarschuwingsmodel het zogenaamde stormpeil (waterstand plus golfoploop) en vergelijkt dit met de alarmpeilen. Overschrijding van het alarmpeil leidt tot een waarschuwing.

De afdeling WSH van RIZA is van start gegaan met het project "WDIJM innovatie modelinstrumentarium". Onderzocht wordt of het instrumentarium kan worden verbeterd met de in de loop der jaren ontwikkelde nieuwe methoden en technieken. De WDIJM is met name geïnteresseerd in de mogelijkheden om met WAQUA niet-stationaire situaties te kunnen doorrekenen, waarbij het WAQUA-model gebruik maakt van windvelden die met het XHIRLAM-model van het KNMI worden voorspeld.

1.2 Doelstelling

Het is de bedoeling om de door XHIRLAM voorspelde windvelden on-line als invoer aan het WAQUA-model aan te bieden. Door middel van data-assimilatie worden gemeten waterstanden gecombineerd met de modelresultaten van het WAQUA-model om werkelijkheid (metingen) en model in overeenstemming te laten blijven. Voor de koppeling van XHIRLAM met WAQUA is het van belang op welke manier de windschuifspanning aan WAQUA wordt opgelegd. Aandachtspunten zijn hoe de XHIRLAM-uitvoer wordt geïnterpoleerd naar het windrooster in WAQUA en op welke manier de windschuifspanning aan het wateroppervlak wordt berekend (door WAQUA of extern berekend).

Allereerst wordt door RIZA een haalbaarheidsstudie uitgevoerd, waarbij het Markermeer als pilot is gekozen. Omdat in de haalbaarheidsstudie eerst wordt gekeken naar de meerwaarde van XHIRLAM is de koppeling tussen XHIRLAM en WAQUA off-line gerealiseerd. RIZA heeft HKV gevraagd een instrumentarium te realiseren voor de haalbaarheidsstudie, bestaande uit de volgende drie onderdelen:

1. *Realiseren van een schil rond WAQUA waarmee XHIRLAM windvelden of windschuifspanningen kunnen worden ingelezen en de WAQUA resultaten geanalyseerd.*
2. *Inventarisatie data-assimilatietechnieken voor WAQUA en realiseren van tenminste één techniek waarmee de meerwaarde van de techniek kan worden gedemonstreerd.*
3. *Analyse van de huidige en toekomstige interpolatietechnieken en berekening van de windschuifspanning bij de overgang van XHIRLAM naar WAQUA.*

Dit rapport beschrijft fase 2 'Inventarisatie data-assimilatietechnieken voor WAQUA'. De andere twee fases zijn apart gedocumenteerd.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van data-assimilatietechnieken. Een toelichting op de werking van een Kalman filter is gegeven in Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4 beschrijft de data-assimilatie opties die voor de pilot Markermeer zijn geïmplementeerd.

2 Data-assimilatietechnieken

2.1 Inventarisatie technieken

In het verleden werden de voorspellingen van waterstanden op twee manieren verkregen: ofwel berekend met behulp van een hydrodynamisch model, ofwel door gebruik te maken van meetinformatie. Door het optreden van modelfouten zijn de modelvoorspellingen echter nooit perfect. Daarnaast geven metingen zelden een volledig beeld van het proces. Om optimaal gebruik te kunnen maken van zowel metingen als modelresultaten is een techniek ontwikkeld waarmee beide worden geïntegreerd. Deze techniek heet data-assimilatie.

Er zijn verschillende benaderingen van data-assimilatie (technieken):

1. Criterium georiënteerde data-assimilatie,
2. Probabilistisch modellering georiënteerd.

De eerste maakt gebruik van de minimalisatie van een criterium eventueel met een aantal randcondities en de tweede is gebaseerd op een probabilistische beschrijving van het model en data (conditionele verdelingen gegeven de data-set). De laatste wordt de laatste jaren het meeste toegepast. Beide benaderingen verschillen o.a. in:

- snelheid (benodigde rekentijd),
- complexiteit (hoe begrijpelijk is het? Is het eenvoudig te implementeren?),
- beperkingen/flexibiliteit (eenvoudig extra data toevoegen of model wijzigen?), en
- performance.

De snelheid is een belangrijke factor welke afhankelijk is van de grootte van de data-set. Veel algoritmen kunnen eenvoudig voor kleine data-sets worden toegepast, maar voor grote data-sets kan het problemen geven i.v.m. de grote rekentijd die nodig is. Er kan dan gekozen worden om het model te vereenvoudigen, maar dit leidt ook tot verlies van nauwkeurigheid. De performance is een belangrijk aspect en kan bijvoorbeeld getoetst worden door de aanwezige data-set in tweeën te splitsen waarbij een deel gebruikt wordt voor data-assimilatie (opzetten van het model) en het tweede deel voor het vergelijken van je modeluitkomsten.

Verder is het natuurlijk mogelijk om beide methoden te combineren; een probabilistische methode uit te drukken in een optimalisatie probleem. Een voorbeeld hiervan is het maximaliseren van de likelihood functie. De laatste jaren is vooral Kalman filtering erg in opkomst.

2.2 Kalman filtering

Bij het toepassen van het Kalman filter wordt een afweging gemaakt tussen modelinformatie en meetinformatie. Metingen worden gebruikt om modelfouten te corrigeren. De modelinformatie wordt gebruikt om de metingen te corrigeren. Het Kalman filter bestaat uit een aantal recursieve vergelijkingen. Het recursieve karakter is een groot voordeel daar een nieuwe meting eenvoudig in het model gestopt kan worden zonder dat men helemaal opnieuw hoeft te beginnen. Een groot nadeel is echter dat de rekentijd voor grote modellen aanzienlijk kan toenemen, waardoor in praktische zin de berekening niet haalbaar is. Om dit probleem op te lossen kan men de Kalman filter vergelijkingen benaderen. Dit geeft dan een sub-optimaal resultaat, maar verlaagt de rekentijd behoorlijk. Dit laatste wordt ook wel tijdsafhankelijk

filter genoemd, terwijl het gebruik van de 'echte' Kalman filter vergelijkingen tijdsafhankelijk heet. Beide typen filters worden hieronder kort toegelicht.

In 1987 is in opdracht van de Directie Zeeland de eerste data-assimilatie tool ontwikkeld, gebaseerd op het Kalman filter. Deze tool filtert meet- en modelinformatie van het eendimensionale waterbewegingsmodel IMPLIC. Vanwege de goede resultaten is in 1988 in opdracht van de Bouwdienst de tool KALMAN ontwikkeld. KALMAN wordt toegepast op het tweedimensionale waterbewegingsmodel WAQUA. WAQUA met KALMAN wordt ook gebruikt bij het KNMI, die waterstandsvoorspellingen doen ten behoeve van de Stormvloedkering Nieuwe Waterweg.

Tot dan toe was KALMAN gebaseerd op een tijdsafhankelijk filter. In 1996 is in opdracht van RIKZ KALMAN aangepast door uit te gaan van een tijdsafhankelijk filter. Inmiddels is dit type filter ook toegepast op het 3-dimensionale waterbewegingsmodel TRIWAQ en verwerkt het diverse metingen: satelliet waterstanden, in-situ waterstanden en snelheden en HF-radar snelheden.

2.2.1 Tijdsafhankelijke filters

Om de rekentijd te beperken is het Kalman filter benaderd door een tijdsafhankelijk (steady state) filter (Heemink, 1986). Bij deze tijdsafhankelijke benadering worden de filter vergelijkingen slechts één keer opgelost. Dit gebeurt offline en resulteert in een steady state filter gain. Het filter wordt nu niet elke keer bepaald zodra er nieuwe metingen beschikbaar zijn. Als de filter gain bepaald is, kunnen de WAQUA schattingen verbeterd worden door dit filter te gebruiken gedurende de WAQUA voorspellingen.

Een tweede manier om een tijdsafhankelijke Kalman gain is bepalen is door gebruik te maken van 'Reduced Rank Square Root algoritme (Verlaan, 1995). Ook bij dit algoritme worden de filter vergelijkingen slechts één keer opgelost wat een steady state filter geeft. Deze gain wordt bepaald door gebruik te maken van de Kalman RRSQRT optie in WAQUA/TRIWAQ en is hierdoor bruikbaar voor zowel 2- als 3-dimensionale modellen.

2.2.2 Tijdsafhankelijke filters

Daar de computers tegenwoordig steeds sneller worden, is het inmiddels ook mogelijk om Kalman filtering on-line uit te voeren. Dit tijdsafhankelijk filter is tevens gebaseerd op het RRSQRT algoritme welke is ontwikkeld door M. Verlaan (Time varying Kalman filter for WAQUA). Gebruikmakend van dit tijdsafhankelijk filter worden de Kalman vergelijkingen on-line opgelost op elk tijdstip.

3 Toelichting op de werking van een Kalman filter

Data-assimilatie is het combineren van gegevens tot één schatting; in de pilot Markermeer het combineren van een berekende waterstand met een gemeten waterstand. Het Kalman filter is een techniek voor data-assimilatie, gericht op het combineren van modelresultaten met metingen. Basis voor het combineren van modelresultaat en meting is de onzekerheid (nauwkeurigheid) van de gegevens.

De hier gegeven toelichting is een sterk vereenvoudigde beschrijving van het Kalman filter, gericht op het illustreren van de gebruikersfunctionaliteit van het filter. Om de beschrijving eenvoudig te houden is uitgegaan van lineaire bewerkingen (niet-lineaire modellen, zoals WAQUA, moeten dus worden gelineariseerd).

In het Kalman filter voor waterbeweging wordt de toestand van het watersysteem weergegeven door vector x . De toestandsvector x bevat de waterstanden en debieten op alle berekende locaties in het model. De (sterk vereenvoudigde) modelbeschrijving is:

$$x(k) = A \cdot x(k-1) + v(k) \quad (3.1)$$

$$y(k) = C \cdot x(k) + w(k) \quad (3.2)$$

Waarin

k	tijdstip (of rekenstap)
x	toestand (waterstanden en debieten) van het systeem.
v	modelonzekerheid
y	meting van de toestand (gemeten waterstanden)
w	onzekerheid in meting
A, C	systeemparemeters

De onzekerheden v en w zijn normaal verdeeld met verwachtingswaarde nul en covariantie Q , respectievelijk R . Voor het scalaire geval zijn dit μ (de verwachtingswaarde) en σ^2 (de variantie).

Met y wordt de meting (van de waterstand) aangegeven, de meting is een lineaire bewerking op de toestandsvector.

Het Kalman filter werkt in twee stappen: eerst wordt een modelberekening uitgevoerd en vervolgens wordt het berekende resultaat gecombineerd met de meting (van de waterstand). De eerste stap wordt ook wel aangeduid met (model)voorspelling, de tweede stap is de filtering.

$P(0|0) =$ covariancematrix van initiele toestand!

$$\text{var}(Ax, Ax) = A \text{var}(x, x) A^T$$

Indien $R=0$ (geen fout in meting)

$$K(k) = C^{-1}$$

$$\Rightarrow P(k, k) = 0$$

$$x(k, k) = C^{-1} y(k)$$

gevoegt dan de meting
als nieuw!
resultaat.

Modelvoorspelling

In het Kalman filter wordt de berekende toestand weergegeven door $x(k|k)$. De notatie $(k|k)$ betekent de waarde op tijdstip k , gegeven alle metingen tot en met tijdstip k .

De onzekerheid in de toestand (onzekerheid modelresultaat) wordt aangeduid met $P(k|k)$, de covariantie van de toestand. Omdat de schatting van de toestand (de berekende waterstanden en debieten) een normale verdeling is (uitgangspunt van een Kalman filter) is met de verwachtingswaarde $x(k)$ en variantie $P(k|k)$ de kansverdeling volledig vastgelegd. In het scalaire geval ($x = \mu$ en $P = \sigma^2$) betekent dit dat de toestand (de waterstand) met 95% zekerheid ligt tussen $(\mu - 1.96\sigma)$ en $(\mu + 1.96\sigma)$.

De modelvoorspelling wordt gedaan door (met WAQUA) één rekenstap door te rekenen, in formulevorm:

$$\textcircled{1} \quad x(k|k-1) = A \cdot x(k-1|k-1) \quad (3.3)$$

$$\textcircled{2} \quad P(k|k-1) = A \cdot P(k-1|k-1) \cdot A^T + Q \quad (3.4)$$

Waarin:

$x(.|.)$ toestand (waterstanden en debieten) van het systeem.
 $P(.|.)$ covariantie (nauwkeurigheid) van de toestandsvector.
 Q covariantie van de modelonzekerheid.

*(k, k-1) met fouten
(k, k) zonder fouten*

Bovenstaande formules geven aan hoe de verwachtingswaarde verandert in de volgende rekenstap (doordat de tijd voortschrijdt) en op welke wijze de onzekerheid van de toestand verandert door het model. De onzekerheid van de toestand neemt ook toe door modelon nauwkeurigheden, gerepresenteerd door Q .

Filtering

In de filtering wordt de modelvoorspelling gecombineerd met metingen van de toestandsvector.

$$\textcircled{4} \quad x(k|k) = x(k|k-1) + K(k) [y(k) - C \cdot x(k|k-1)] \quad (3.5)$$

meting gesimuleerde meting of gemodelleerde

$$\textcircled{5} \quad P(k|k) = P(k|k-1) - K(k) \cdot C \cdot P(k|k-1) \quad (3.6)$$

$$\textcircled{3} \quad K(k) = P(k|k-1) \cdot C^T \cdot [C \cdot P(k|k-1) \cdot C^T + R]^{-1} \quad (3.7)$$

cov. metingen

Als er geen metingen beschikbaar zijn betekent dit dat $x(k|k) := x(k|k-1)$ (en $P(k|k) := P(k|k-1)$), ofwel de Kalman gain is nul.

De gefilterde waarde (formule (3.5)) is een gewogen gemiddelde van modelberekening $x(k|k-1)$ en de meting $y(k)$, met de Kalman gain (versterkingsmatrix) als coëfficiënt (zie ook 'eigenschappen Kalman filter – scalair voorbeeld' verderop in dit hoofdstuk).

daar staat eigenlijk variatie {meting + gesimuleerde meting}

Eigenschappen Kalman filter

Scalair voorbeeld

Als twee schattingen, x en y , met variantie respectievelijk σ_x^2 en σ_R^2 worden gecombineerd tot één gezamenlijke schatting dan wordt dit, rekening houdend met de onderlinge nauwkeurigheden, als volgt berekend:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_R^2}{[\sigma_x^2 + \sigma_R^2]} \cdot x + \frac{\sigma_x^2}{[\sigma_x^2 + \sigma_R^2]} \cdot y &= \frac{\sigma_R^2 + \sigma_x^2 - \sigma_x^2}{[\sigma_x^2 + \sigma_R^2]} \cdot x + \frac{\sigma_x^2}{[\sigma_x^2 + \sigma_R^2]} \cdot y \\ &= x + \frac{\sigma_x^2}{[\sigma_x^2 + \sigma_R^2]} \cdot [y - x] \end{aligned} \quad (3.8)$$

Dit komt overeen met formule (3.5) (met $C = 1$). Het Kalman filter sluit dus aan op de manier waarop intuïtief meting en modelresultaat zouden worden gecombineerd.

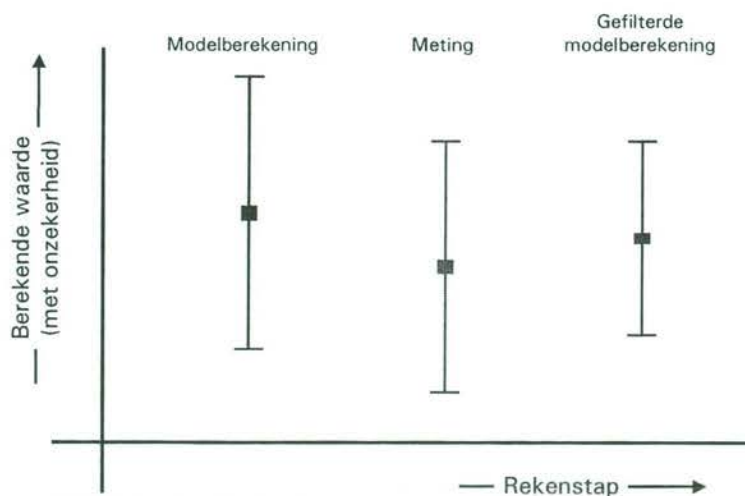
Kalman gain

Als de meetfout (veel) groter is dan de modelfout (dus $R \gg Q$) dan wordt de Kalman gain nul en wordt de gefilterde toestand gelijk de modelvoorspelling.

Als de modelfout (veel) groter is dan de meetfout (dus $Q \gg R$) dan wordt de Kalman gain gelijk aan 1 en wordt de gefilterde toestand gelijk aan de meting.

Toestandsonzekerheid

De onzekerheid van de 'Gefilterde modelberekening' is kleiner dan de onzekerheid in de 'Modelberekening' (zie Figuur 3-1). In het scalaire geval geldt bovendien dat de 'Gefilterde modelberekening' ligt tussen de 'Modelberekening' en de 'Meting' (zie ook Figuur 3-1).

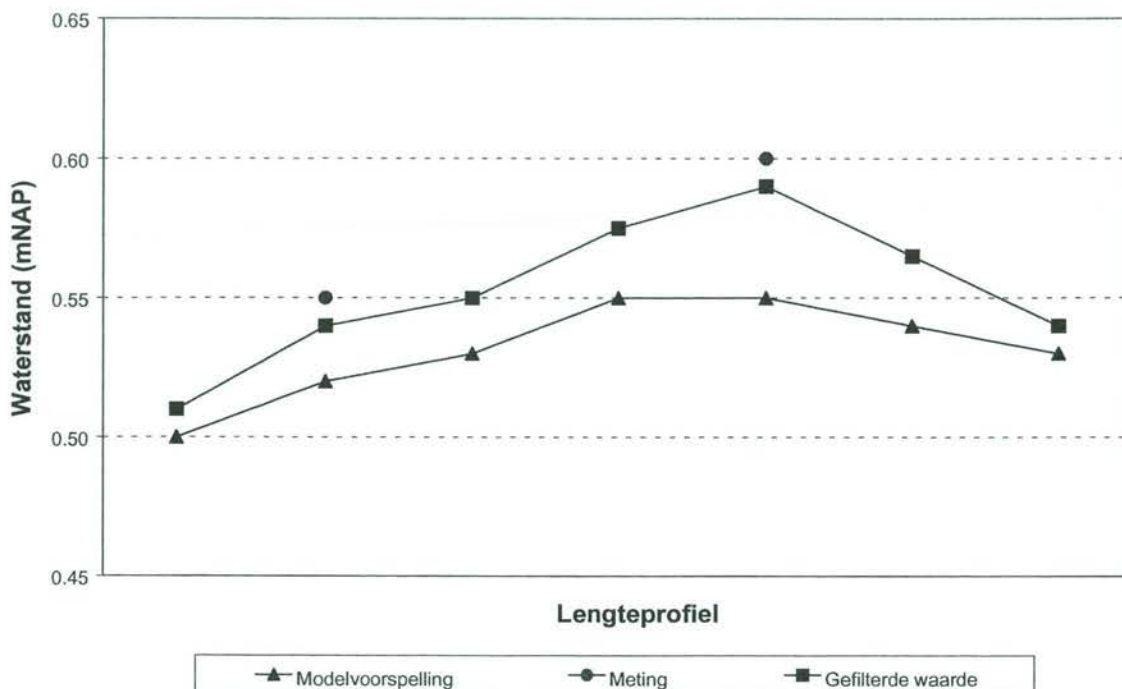


Figuur 3-1: Illustratie van filtering in rekenstap.

De breedte van het betrouwbaarheidsinterval rond de 'Modelberekening' en de 'Gefilterde modelberekening' wordt bepaald door $P(k+1|k)$ respectievelijk $P(k+1|k+1)$. De breedte van het betrouwbaarheidsinterval rond de 'Meting' wordt bepaald door R .

Modelconsistentie

Bij de filtering wordt rekening gehouden met de fysica van het model en de statistische afhankelijkheid tussen de toestandsvariabelen (waterstanden en debieten) en de meting. Dit betekent bijvoorbeeld voor WAQUA dat bij de filtering niet alleen de waterstand op de gemeten locatie wordt aangepast, maar dat ook de omliggende waterstandlocaties worden aangepast. In Figuur 3-2 is dit geïllustreerd voor waterstanden in één dimensie.



Figuur 3-2: Illustratie van ruimtelijke effect van Kalman filter.

Het Kalman filter past (in WAQUA) niet alleen de waterstand aan, maar ook het debiet op die locatie. De aanpassing van het debiet is zodanig dat de waterstand en het debiet op de locatie consistent zijn en ook op de omliggende punten.

Deze eigenschap van het Kalman filter maakt dat de gefilterde modelberekening consistent is met de fysica en dat bijvoorbeeld niet een translatiegolf wordt gecreëerd doordat de waterstand op slechts één locatie wordt aangepast.

Kalman filter parameters

Het Kalman filter wordt gestuurd door de onzekerheden in het model (de covariantiematrix Q) en de onzekerheden in de metingen (de covariantiematrix R). In de schil van de 'pilot Markermeer' ligt de onzekerheid van het model vast (covariantiematrix Q) en kan de waarde van de onzekerheid in de metingen (covariantiematrix R) gekozen worden. De meetonzekerheid in waterstandmetingen is in de orde van enkele centimeters. Door deze waarde te variëren kan meer (of minder) 'vertrouwen' aan de metingen worden gegeven. In de filtervergelijkingen is met name het relatieve verschil tussen Q en R van belang (zie formules (3.4) en (3.7)). Als deze parameters niet goed worden gekozen wordt het filter instabiel. De covarianties Q en R geven de bandbreedte aan waarbinnen de filteraanpassingen mogelijk zijn. Als deze te nauw worden gekozen (te kleine waarden) dan heeft het filter onvoldoende flexibiliteit om meting en model bij elkaar te brengen. Als de waarden te groot zijn dan heeft de filtering weinig praktisch nut. Ook moet er zorg voor gedragen worden dat de metingen en het model een goede afspiegeling van de werkelijkheid zijn en de covariantiematrices Q en R een goede representatie zijn van de onzekerheden in model en meting.

4 Gerealiseerde data-assimilatietechnieken

Voor de pilot Markermeer is uitgegaan van bestaande programmatuur van RWS voor toepassing van een Kalman filter met WAQUA. De uitgewerkte opties voor data-assimilatie zijn:

1. Tijdsafhankelijk Kalman filter (RRSQRT algoritme), en
2. Tijdsafhankelijk Kalman filter (steady state).

Hiervoor is gebruik gemaakt van de volgende programma's:

1. WAQWND

Voor de pilot zijn twee datasets met XHIRLAM windgegevens beschikbaar (een storm in november 1999 en een storm in mei 2000). Indien gekozen wordt voor KNMI windgegevens (in plaats van een uniform windveld) wordt met het programma WAQWND een SDS-bestand gegenereerd met de windgegevens voor de berekening.

2. CNVOBS

Bestaande ASCII-bestanden met de gemeten waterstanden worden met behulp van het programma CNVOBS in het juiste ASCII format gezet die noodzakelijk is voor OBS2SDS.

3. AWAQPRE

In de simulatie input file (siminp.*) de wind SDS file specificeren en aangeven of Kalman filtering gebruikt wordt. Zo ja, opgeven welke vorm van Kalman filtering. Bij het tijdsafhankelijke Kalman filter de standaard deviatie van de fout in de waterstanden geven.

4. OBS2SDS

Het ASCII-bestand met de gemeten waterstanden toevoegen aan de SDS file met behulp van programma OBS2SDS.

5. awaqpro

Uitvoeren van de daadwerkelijke WAQUA berekening.

6. SDS2MAT

Resultaten met SDS2MAT omzetten naar een Matlab format (*.mat) welke kunnen worden ingelezen in KALGUI, een programma met een grafische user interface om de resultaten weer te geven.

7. KALGUI

Postprocessing, met behulp van KALGUI kunnen de rekenresultaten worden geanalyseerd.

De berekeningen met WAQUA, inclusief de voorbewerkingen, worden uitgevoerd in een LINUX-omgeving. De postprocessing is op een PC-omgeving met het programma KALGUI. KALGUI is een op Matlab georiënteerd programma.

De eerste zes stappen worden uitgevoerd in de LINUX-omgeving. Hiervoor is een script (WAQSTART) ontwikkeld welke deze zes stappen automatisch doorloopt. Het resultaat van het script WAQSTART is een nieuw script (WAQRUN.CMD) waarmee de WAQUA-berekening wordt opgestart.

Dit WAQRUN.CMD script bevat maximaal de volgende commando's:

- *rm SDS-knmiwind*
- *waqwnd.run -runid knmiwind -exp knmiwind -KNMI*
'USER_INP_200005270000_00000_LC USER_INU_200005270000_00000_LC
USER_INV_200005270000_00000_LC ' -stress no -gridflag 2 -pgem 101325 -overwrite
yes -windidfile 'windinfo' -back no
- *rm metingen*
- *cnvobs.run -runid dtm -siminp siminp.dtm -obsfile meting.txt -satfile leeg -outfile metingen*
-back n -debug n
- *awaqpre.run -runid dtm -input siminp.dtm -bufsize 15 -back n*
- *obs2sds.run -runid dtm -exp dtm -obsfile metingen -back n -debug n*
- *awaqpro.run -back n -runid dtm -bufsize 10 -exp dtm -npart 1*
- *sds2mat.run -runid dtm -input kalman2mat -sdsid dtm -back n -debug n*

Nadat de WAQUA-berekening (op de LINUX-omgeving) is uitgevoerd moeten de resultaten van de berekening met naar de PC-omgeving worden omgezet. Met, bijvoorbeeld een FTP-programma, kunnen de '*.mat bestanden' (uitvoer WAQUA-berekening) worden overgezet.

Vanaf de PC kan nu KALGUI gestart worden.

Om vanuit een willekeurige directory KALGUI op te kunnen starten, is het noodzakelijk om de directory waarin alle benodigde KALGUI *.mat files staan toe te voegen aan het zoekpad van Matlab met behulp van het commando 'addpath' in de startup.m file. Deze startup file dient in de directory 'toolbox\local' binnen Matlab aanwezig te zijn.

Opmerking:

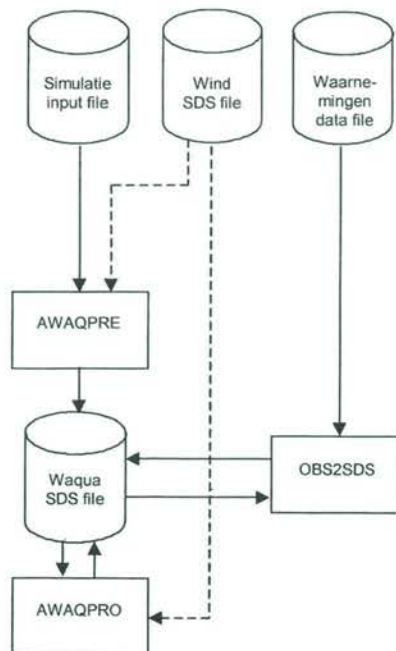
Doordat er zowel op LINUX als op PC wordt gewerkt kunnen er problemen optreden met het bestandsformaat, met name als bestanden vanaf de PC naar het LINUX platform worden gekopieerd. Om problemen te voorkomen moeten de PC-bestanden met het programma DOS2UNIX worden geconverteerd naar LINUX-bestanden.

Indien gebruik wordt gemaakt van Kalman filtering, dient de input file voor AWAQPRE (SIMINP.*) de volgende variabelen te bevatten:

```
KALMAN
|  STEADY_STATE
<
|  RRSQRT
```

Verder dient één van de sub-variabelen STEADY_STATE of RRSQRT gespecificeerd te worden.

In Figuur 4-1 staat het stroomschema voor WAQUA met een tijdsafhankelijk Kalman filter (RRSQRT).



Figuur 4-1: Stroomschema voor WAQUA met een tijdsafhankelijk Kalman filter (RRSQRT).

Kiest men voor het tijdsafhankelijk Kalman filter dan dienen naast de sub-variabele RRSQRT nog de volgende parameters te worden gedefinieerd:

GENERAL

NMODE = 75

TIKAL = 9999999 ?

USE_ZEROS

WATERLEVEL_STATIONS

S:STATION = 'Hollandse Brug' STANDARD_DEV = 0.0500

S:STATION = 'Edam' STANDARD_DEV = 0.0500

S:STATION = 'Houtribsluizen' STANDARD_DEV = 0.0500

S:STATION = 'Nijkerkersluis' STANDARD_DEV = 0.0500

S:STATION = 'Krabbersgatsluizen' STANDARD_DEV = 0.0500

S:STATION = 'Markermeer midden' STANDARD_DEV = 0.0500

WIND_NOISE

STATISTICS

CHAR_PSI = 40

CHAR_CHI = 40

GRID

M_INCREMENT = 11

N_INCREMENT = 11

COMPUTE_STEADY_STATE

TIKALMAN = 720

In het script wordt de parameter WATERSTANDEN_STATIONS aangemaakt. Hierin staan de waterstandslocaties met de standaard deviatie (in meters) van de fout in de waargenomen waterstanden.

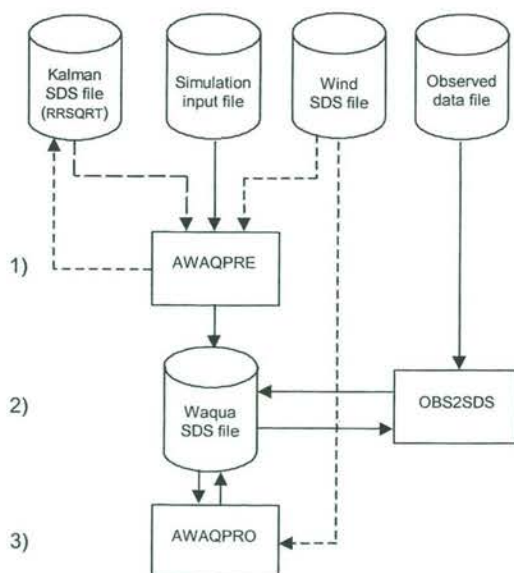
Opmerking:

Het is verstandig om de variabele COMPUTE_STEADY_STATE in te vullen zodat de Kalman gain in de berekening wordt bewaard. Deze Kalman gain dient weer als input voor het steady state Kalman filter.

In Figuur 4-2 staat het stroomschema voor WAQUA met een tijdsonafhankelijk Kalman filter (steady state). Het steady state Kalman filter heeft als input de Kalman gain nodig. Deze moet worden bepaald (weggeschreven) in een berekening met een tijdsafhankelijk Kalman filter. In deze berekening wordt de gain bepaald en het steady state Kalman filter maakt dan gebruik van deze berekende Kalman gain.

Opmerking:

Voor de berekening met het tijdsonafhankelijke Kalman filter moeten dezelfde metingen en meetlocaties worden gebruikt als voor de berekening met het tijdsafhankelijke Kalman filter waarmee de Kalman gain is berekend !



Figuur 4-2: Stroomschema voor WAQUA met een tijdsonafhankelijk Kalman filter (STEADY_STATE).

Kiest men voor het tijdsonafhankelijk Kalman filter dan dienen naast de sub-variabele STEADY_STATE nog de volgende parameters te worden gedefinieerd:

SDS_KALMAN=[text] (de naam van de SDS file waarin de Kalman filter gain is bewaard)
 EXP_KALMAN=[text] (de naam van het experiment van deze SDS file)
 GAIN_TIME=[val] (de tijd (minuten) wanneer de gain was weggeschreven)

5 Referenties

- Brouwer J.R. en G.B. van Baren, 1999. *Gebruikershandleiding BASISANALYSE*, augustus 1999.
- Brouwer J.R. en M. Verlaan, 2001. *User's Guide Kalman-in-Waqua*, maart 2001.
- EDS Rijswijk, 2000: User's Guide WAQPRE.
version number 10.13, october 2000
- EDS Rijswijk, 2001: Quick Reference Guide WAQUA, version number 10.
15, januari 2001
- Heemink, A.W. 1986, 'Storm Surge Prediction using Kalman Filtering'.
PhD-thesis, University of Twente, 1986.
- Rijkswaterstaat RIKZ, 2000. *Visualisation KALMAN data-assimilation (users manual)*.
december 2000.
- Verlaan, M en A.W. Heemink, 1995. *Tidal Flow Forecasting using Reduced Rank Square Root Filters*.
tech.report 95-75, Delft University of Technology, 1995.

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat, RIZA

Pilot Markermeer

Fase 3: Interpolatietechniek en windschuifspanning

Auteurs: I.B.M. Lammers
C.J.M. Vermeulen

Inhoud

Lijst van figuren.....	ii
Lijst van tabellen	iii
Lijst met symbolen.....	iv
1 Inleiding.....	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Leeswijzer	2
2 XHIRLAM	3
3 Interpolatie wind.....	7
3.1 De basis	7
3.2 Huidige techniek KNMI	7
3.3 Toekomstige technieken	9
3.3.1 Inleiding	9
3.3.2 Intermezzo: wind en opbouw van de atmosfeer	9
3.3.3 Geografische interpolatie van de windsnelheid: methode "Wieringa"	11
3.3.4 "Downscalingmethode"	12
4 Windstress.....	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Windstress in XHIRLAM voor de Noordzee	14
5 Offerte "Downscaling van de wind"	17
5.1 Inleiding	17
5.2 Activiteiten	17
5.3 Projectuitvoering.....	18
5.3.1 Uitgangspunten.....	18
5.3.2 Opleveringsprocedure	18
5.3.3 Toeleveringen door de opdrachtgever	18
5.3.4 Doorlooptijd en kosten	18
6 Offerte "Windstress"	20
6.1 Inleiding	20
6.2 Activiteiten	20
6.3 Projectuitvoering.....	21
6.3.1 Uitgangspunten.....	21
6.3.2 Opleveringsprocedure	21
6.3.3 Toeleveringen door de opdrachtgever	21
6.3.4 Doorlooptijd en kosten	22
7 Referenties.....	23
Bijlage A: Verklarende woordenlijst	A-1

Lijst van figuren

Figuur 2-1:	XHIRLAM grid.....	3
Figuur 2-2:	Land-zee masker XHIRLAM.....	4
Figuur 2-3:	Markermeergebied inclusief Gooi- en Eemmeer.....	5
Figuur 2-4:	Grid Markermeergebied in WAQUA.....	5
Figuur 2-5:	Grid Gooi- en Eemmeer in WAQUA.....	6
Figuur 3-1	Bilineaire interpolatie met twee donorpunten met hetzelfde karakter als het acceptorpunt	8
Figuur 3-2	Bilineaire interpolatie met alle donorpunten een ander karakter dan het acceptorpunt	8
Figuur 3-3	Opbouw atmosfeer	10
Figuur 4-1	Uit: (Onvlee, 1993). De dragcoëfficiënt als functie van de windsnelheid voor verschillende dragrelaties.	14

Lijst van tabellen

Tabel 5-1:	Geschatte inspanning voor de downscaling aanpassing per activiteit.	18
Tabel 6-1:	Geschatte inspanning voor de windstress aanpassing per activiteit.	22

Lijst met symbolen

g	de gravitatie constante
$z(0)$	de ruwheidslengte
C_D	de dragcoëfficiënt
U	de windsnelheid op 10 meter
β	de Charnock constante
ρ_a	de dichtheid van lucht op zeeniveau
τ	windstress

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De Waarschuwingdienst Dijken IJsselmeer en Markermeer (WDIJM) bewaakt de dijken langs het IJsselmeer en Markermeer. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het WDIJM-toetsingssysteem. Dit toetsingssysteem is een database waarin, gegeven meerpeil, windsnelheid en windrichting, bepaald wordt hoe hoog het water tegen de dijk oploopt. Globaal bestaat het huidige instrumentarium voor de WDIJM uit:

- modellen voor het berekenen van waterstanden, golven en golfoploop met als invoer de omstandigheden wind, meerpeil en rivierafvoer;
- een methode voor het genereren van de grote database met waterstanden en golven, gebaseerd op fysische modellen (beperkt aantal combinaties) en gekalibreerde reprofuncties (uitbreiding aantal combinaties);
- een methode voor het berekenen van zogenaamde alarmpeilen;
- een waarschuwingsmodel.

Uitgaande van de (voorspelde) wind, het meerpeil, de rivierafvoer en de informatie uit de database berekent het waarschuwingsmodel het zogenaamde stormpeil (waterstand plus golfoploop) en vergelijkt dit met de alarmpeilen. Overschrijding van het alarmpeil leidt tot een waarschuwing.

De afdeling WSH van RIZA is van start gegaan met het project "WDIJM innovatie modelinstrumentarium". Onderzocht wordt of het instrumentarium kan worden verbeterd met de in de loop der jaren ontwikkelde nieuwe methoden en technieken. De WDIJM is met name geïnteresseerd in de mogelijkheden om met WAQUA niet-stationaire situaties te kunnen doorrekenen, waarbij het WAQUA-model gebruik maakt van windvelden die met het XHIRLAM-model van het KNMI worden voorspeld.

1.2 Doelstelling

Het is de bedoeling om de door XHIRLAM voorspelde windvelden on-line als invoer aan het WAQUA-model aan te bieden. Door middel van data-assimilatie worden gemeten waterstanden gecombineerd met de modelresultaten van het WAQUA-model om werkelijkheid (metingen) en model in overeenstemming te laten blijven. Voor de koppeling van XHIRLAM met WAQUA is het van belang op welke manier de windschuifspanning aan WAQUA wordt opgelegd. Aandachtspunten zijn hoe de XHIRLAM-uitvoer wordt geïnterpoleerd naar het windrooster in WAQUA en op welke manier de windschuifspanning aan het wateroppervlak wordt berekend (door WAQUA of extern berekend).

Allereerst wordt door RIZA een haalbaarheidsstudie uitgevoerd, waarbij het Markermeer als pilot is gekozen. Omdat in de haalbaarheidsstudie eerst wordt gekeken naar de meerwaarde van XHIRLAM is de koppeling tussen XHIRLAM en WAQUA off-line gerealiseerd. RIZA heeft HKV gevraagd een instrumentarium te realiseren voor de haalbaarheidsstudie, bestaande uit de volgende drie onderdelen:

1. *Realiseren van een schil rond WAQUA waarmee XHIRLAM windvelden of windschuifspanningen kunnen worden ingelezen en de WAQUA resultaten geanalyseerd.*
2. *Inventarisatie data-assimilatietechnieken voor WAQUA en realiseren van tenminste één techniek waarmee de meerwaarde van de techniek kan worden gedemonstreerd.*
3. *Analyse van de huidige en toekomstige interpolatietechnieken en berekening van de windschuifspanning bij de overgang van XHIRLAM naar WAQUA.*

Dit rapport beschrijft fase 3; de 'Analyse van de huidige en toekomstige Interpolatietechnieken en berekening van de windschuifspanning'. De andere twee fases zijn apart gedocumenteerd.

1.3 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt XHIRLAM kort beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens de interpolatietechnieken die toegepast kunnen worden en Hoofdstuk 4 beschrijft de berekening van de windschuifspanning in XHIRLAM. Hoofdstukken 5 en 6 geven de offertes voor de realisatie van respectievelijk de interpolatietechniek en de berekening van de windschuifspanning uit XHIRLAM.

2 XHIRLAM

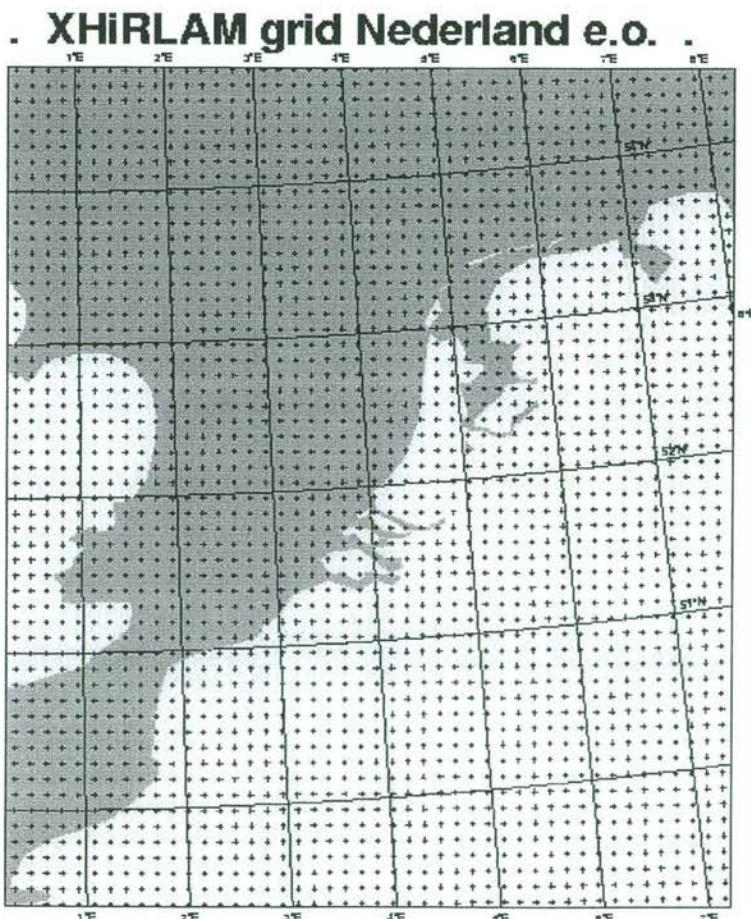
(X)HIRLAM staat voor eXtra High Resolution Limited Area Model. De nu volgende beschrijving van XHIRLAM is afkomstig uit het rapport "HIRLAM 11 km windanalyses/prognoses" voor het NAUTILUSproject (Minvenw, 2000).

Het HIRLAM is een korte termijn weersverwachtingsmodel dat op het KNMI operationeel wordt gebruikt voor het maken van weersverwachtingen tot 48 uur vooruit. Het operationele model bestrijkt een gebied dat in het westen tot aan de Canadese oostkust reikt en in het oosten tot aan de Oeral; in het noorden loopt de grens over de noordpool en in het zuiden over de Sahara.

Over dit gebied worden de "primitieve vergelijkingen" (zoals de wet van behoud van impuls, massa en de eerste wet van de thermodynamica) van de atmosfeer uitgerekend op een resolutie van 0.5x0.5 graad. Deze horizontale resolutie komt op het gekozen rekengebied overeen met een grid waarbij de roosterpunten ongeveer 55 km uit elkaar liggen.

Sinds november 1998 wordt hierin een versie van HIRLAM genest met een resolutie van 0.1x0.1 graad en een gebied dat zich uitstrekt van de Ierse westkust tot voorbij Denemarken in het oosten; de noordgrens ligt op 62 graden NB en de zuidgrens rond 48 graden NB. Dit 0.1x0.1 HIRLAM rekent tot 12 uur vooruit.

Deze versie wordt XHIRLAM genoemd. De X in XHIRLAM staat voor eXtra.

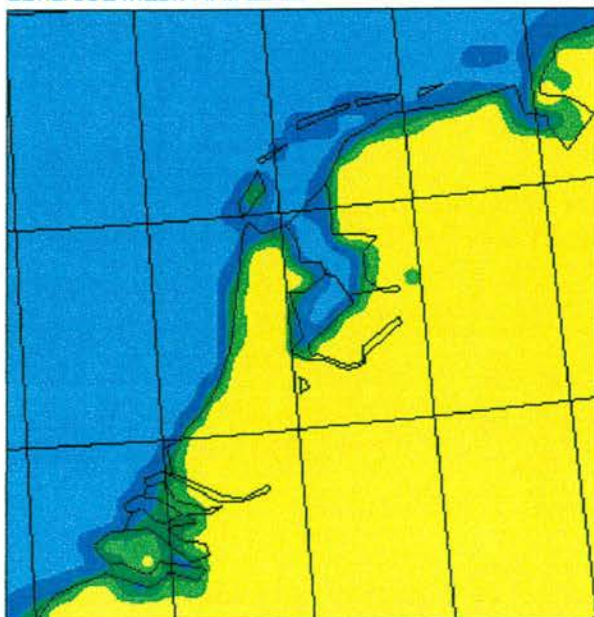


Figuur 2-1: XHIRLAM grid.

Figuur 2-1 laat het grid zien van XHIRLAM. XHIRLAM is uiteraard veel gedetailleerder dan HIRLAM. De kust is in XHIRLAM veel scherper gedefinieerd waardoor fenomenen als kustconvergentie en zeewind opgelost kunnen worden. Daarnaast heeft HIRLAM voor het IJsselmeer bijvoorbeeld geen representatieve punten terwijl XHIRLAM minimaal twee waterpunten (in de W-O richting) heeft. Doordat in HIRLAM het IJsselmeer vrijwel wegvalt is de wind vaak veel zwakker dan in werkelijkheid. Land is namelijk veel ruwer dan water waardoor de lucht nabij het oppervlak boven land veel meer wordt afgeremd dan boven water. Het XHIRLAM heeft hier veel minder problemen mee, omdat dit model twee waterpunten in heeft in het IJsselmeer. De verfijning in XHIRLAM is van groot belang wanneer de wind als input wordt gebruikt voor een waterstandsmodel in het IJsselmeer/ Markermeer (WAQUA).

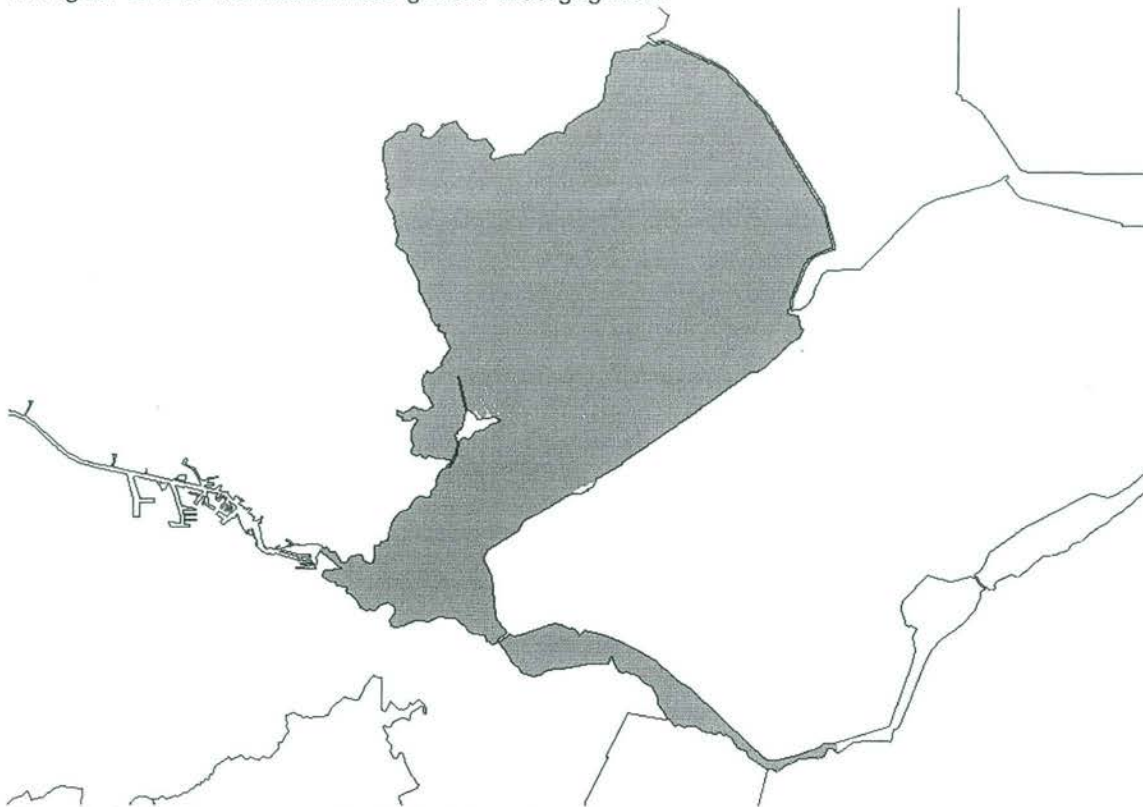
In Figuur 2-2 is het land-zee masker weergegeven van XHIRLAM. De contouren geven het percentage land aan dat zich in een modelbox bevindt. Blauw is meer dan 90% water, geel is meer dan 90% land. De hoge resolutie van XHIRLAM komt duidelijk tot uiting in de scherpe land-zee overgang van de Noordzee, maar ook in bij het IJsselmeer. In HIRLAM is het IJsselmeer niet meer dan een lichte golfing in de contouren, terwijl in XHIRLAM nog een aantal waterpunten (meer dan 90% water) terug te vinden zijn. Omdat het land-zee masker in XHIRLAM veel beter opgelost wordt, is ook de forcering aan het oppervlak in het hogere resolutiemodel veel realistischer.

Land/sea mask XHIRLAM



Figuur 2-2: Land-zee masker XHIRLAM

In Figuur 2-3 is het Markermeergebied weergegeven.



Figuur 2-3: Markermeergebied inclusief Gooi- en Eemmeer.



Figuur 2-4: Grid Markermeergebied in WAQUA.

Voor het Markermeergebied bestaat een WAQUA schematisatie waarvan het grid in Figuur 2-4 en Figuur 2-5 is weergegeven. De schematisatie is in 1997 voor het Onafhankelijk Onderzoek Markermeer door WL ontwikkeld Gooimeer en Eemmeer (WL, 1997). De schematisatie is ontwikkeld met het pakket DELFT2D/3D. De invoerfile(s) geconverteerd naar WAQUA-invoer. De schematisatie voor dit gebied is uitgevoerd op een kromlijngig rooster, waarin de gridafstanden variëren van 35m tot 600m. Het model is geijkt op waterstanden voor verschillende historische stormen.

In de pilot Markermeer wordt gewerkt met de variant waarin met het toekomstige IJburg rekening wordt gehouden.

niet te zien in 2-5

Opmerkingen bij de toegeleverde schematisatie:

- Geen open randen (dus niet spuien of lozen via een gemaal).
- Alle dammen en dijken zijn 'oneindig' hoog, dus niet overstroombaar.



Figuur 2-5: Grid Gooi- en Eemmeer in WAQUA.

Het is duidelijk dat het grid van WAQUA veel fijnmaziger is dan het grid van XHIRLAM en dat daarom interpolatie van de wind nodig is voor het WAQUA model. Dit wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

3 Interpolatie wind

3.1 De basis

Interpolatie van de windgegevens vindt plaats omdat het grid waarop de windgegevens bekend zijn (het donorgrid) grofschaliger is dan het grid waarvoor windgegevens nodig zijn (het acceptorgrid). In deze studie is het XHIRLAMgrid het donorgrid en het WAQUA grid het acceptorgrid. In de meeste gevallen wordt lineair geïnterpoleerd; omdat het hier om een oppervlak gaat bilineair. Bilineaire interpolatie betekent dat de wind op een roosterpunt uit het acceptorgrid een gewogen optelsom is van de wind van de omliggende roosterpunten uit het donorgrid. De weegfactoren zijn omgekeerd evenredig met de afstand tot het roosterpunt uit het acceptorgrid. Dit betekent dat de roosterpunten die twee keer zo dichtbij liggen, twee keer zo zwaar worden meegenomen.

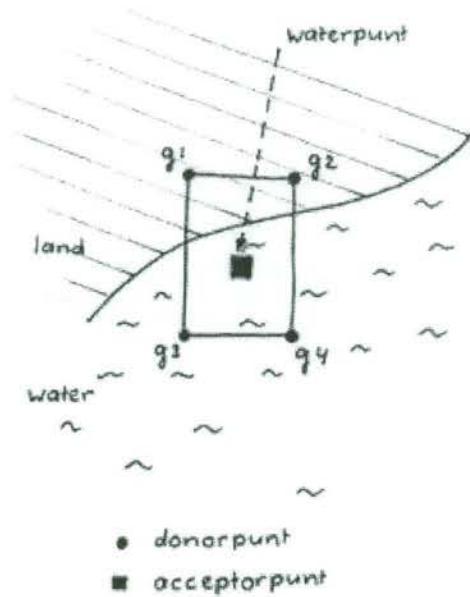
3.2 Huidige techniek KNMI

In deze paragraaf wordt de huidige interpolatietechniek voor de wind die door het KNMI wordt gebruikt beschreven. Dit is overeenkomstig de methodiek die wordt toegepast in het NAUTILUS-project.

Het gaat om de interpolatie van de u en de v-component van de 10m-wind. Wind is een vector en de u- en v-component zijn het resultaat van de ontbinding van deze vector langs de u- en v-richting.

De huidige methodiek is gebaseerd op bilineaire interpolatie, waarbij rekening wordt gehouden met land-waterovergangen. Deze techniek bestaat uit 3 stappen:

1. De interpolatie is bilineair waarbij de gewichten worden bepaald door de afstand tot de omliggende roosterpunten;
2. Zet voor elk punt in het acceptorgrid (WAQUA) de gewichten (= weegfactoren) van de punten uit het donorgrid (XHIRLAM) die niet hetzelfde karakter hebben als het acceptorpunt op 0 (met uitzondering van die punten die alleen maar omliggende punten met een ander karakter hebben). Er wordt overigens geen rekening gehouden met de windrichting;
3. Herschaal alle gewichten zodat ze samen optellen tot 1.

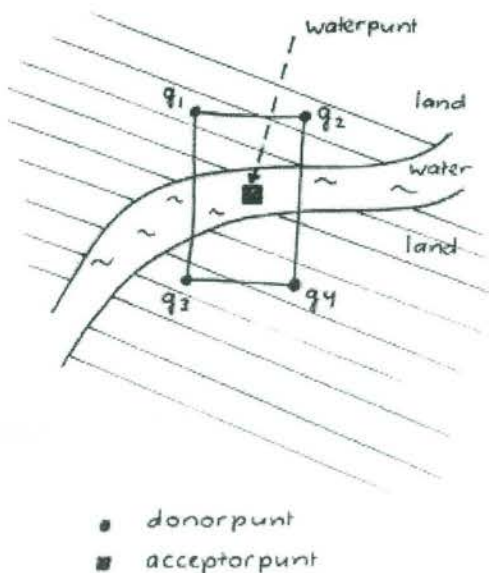


Figuur 3-1 Bilineaire interpolatie met twee donorpunten met hetzelfde karakter als het acceptorpunt

In Figuur 3-1 tellen alleen de punten met gewicht g_3 en g_4 mee, omdat deze punten hetzelfde karakter (water) hebben als het waterpunt uit het acceptorgrid. g_3 en g_4 worden herschaald zodat ze samen optellen tot 1. Dit levert g'_3 en g'_4 . Hieronder volgt de relatie:

$$g'_3 = \frac{1}{g_3 + g_4} \cdot g_3 \quad (3.1)$$

$$g'_4 = \frac{1}{g_3 + g_4} \cdot g_4 \quad (3.2)$$



Figuur 3-2 Bilineaire interpolatie met alle donorpunten een ander karakter dan het acceptorpunt

In Figuur 3-2 tellen alle landpunten van het donorgrid mee omdat er geen waterpunten zijn in het donorgrid. De gewichten g_1 t/m g_4 worden herschaald zodat ze samen optellen tot 1 (op dezelfde wijze als hierboven).

3.3 Toekomstige technieken

3.3.1 Inleiding

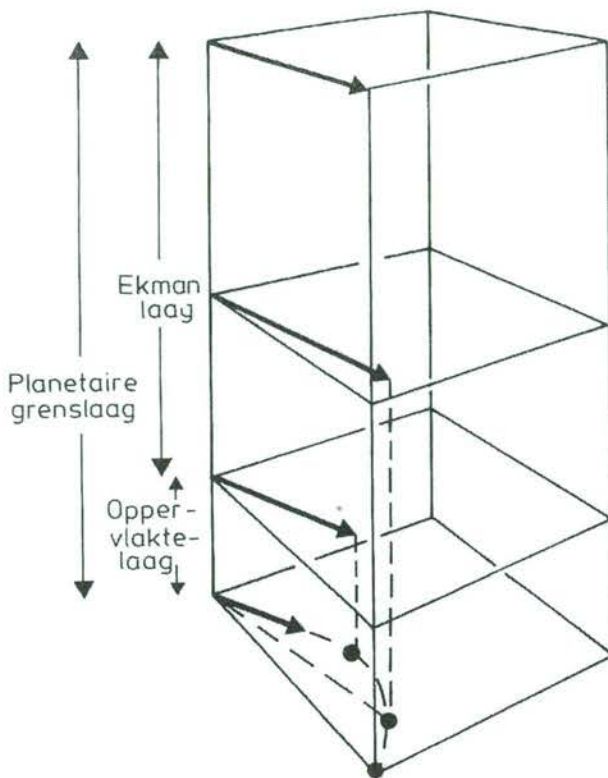
Een van de beperkingen van de huidige interpolatietechniek is dat geen rekening wordt gehouden met de ruwheid van het terrein, terwijl de ruwheid van grote invloed is op de wind. Onder ruwheid wordt verstaan de begroeiing en bebouwing van het terrein en de variatie in hoogteligging. Bijvoorbeeld de windsnelheid boven het open water van het Markermeer en met name tussen het Gooi- en Eemmeer hangt sterk af van de landschappelijke omgeving. Daarnaast is het voor het Markermeer belangrijk om rekening te houden met de windrichting. Een aflatende wind heeft een andere effect op het Markermeer dan een aanlandige wind. Voor de relevante situaties (stormen) is de wind aflatend (westelijk), waardoor op het Markermeer landeffecten een rol kunnen spelen.

In de nieuwe interpolatietechnieken wordt wel rekening gehouden met aanvullende informatie over de hoogteligging en de ruwheid van het gehele landschap en met de overgangen tussen land en water. Verfijningen worden onder meer gezocht in het werken met GIS om de ruwheden beter in kaart te brengen en mee te nemen bij de bepaling van de 10m wind.

Door het KNMI is een methode voor interpolatie van wind ontwikkeld waarbij rekening wordt gehouden met de ruwheid van het landschap en dus ook de overgangen tussen land en water. Dit is de "downscalingmethode". Hier is nog geen officieel document van verschenen. Deze methode is gebaseerd op een artikel dat Wieringa in 1986 heeft geschreven "Roughness dependent geographical interpolation of surface wind speed averages" (Wieringa, 1986). De impact van de "downscalingmethode" op de windsnelheid en overgangen land/water is groot. Of de methode juiste uitkomsten geeft wordt getest. Alvorens in te gaan op de methode van Wieringa en de "downscalingmethode" volgt eerst een paragraaf over de opbouw van de atmosfeer en de wind.

3.3.2 Intermezzo: wind en opbouw van de atmosfeer

De onderste laag van de atmosfeer (0 tot 1000 meter) wordt de planetaire grenslaag genoemd. Dit is de laag waarin de wrijvingsinvloed van het aardoppervlak duidelijk merkbaar is op de atmosferische stroming (wind). Boven de 1000 tot 1500 meter zijn de wrijvingsinvloeden klein en is de wind nagenoeg een resultante van de drukgradiënt en de Corioliskracht. Dit is de geostrofische wind. In Figuur 3-3 is de opbouw van de atmosfeer en de wind schematisch weergegeven.



Figuur 3-3 Opbouw atmosfeer

De planetaire grenslaag bestaat uit twee lagen: de oppervlaktelaag (0 tot 60 meter) en de Ekmanlaag (60 tot 1000 meter). De wind aan de top van de grenslaag wordt de macrowind genoemd. Deze wind is dus ongevoelig voor de wrijving van het aardoppervlak. In de onderliggende Ekmanlaag begint de wrijving een rol te spelen, waardoor de wind sterk krimpt (op het noordelijk halfrond) met afnemende hoogte, terwijl de windsnelheid niet veel afneemt. De wind aan de top van de oppervlaktelaag wordt de mesowind genoemd. In de oppervlaktelaag manifesteert de wrijving zich door een afname van de wind. In deze laag is de windrichting vrijwel constant met de hoogte.

Daarnaast heeft het verloop van de temperatuur met de hoogte (=temperatuurprofiel) belangrijke consequenties voor het windprofiel (=het snelheidsverloop met de hoogte). Dit geldt met name voor de lagere windsnelheden. Afhankelijk van het temperatuurprofiel bevindt de grenslaag zich in twee alternatieve toestanden, stabiel of onstabiel. Van een onstabele situatie is sprake wanneer het aardoppervlak relatief warm is en opzichte van de atmosfeer. In dat geval zal convectie optreden, waarbij verticale uitwisseling van luchtballen plaatsvindt en daarmee ook verticale uitwisseling van windsnelheid. De doorgave van windsnelheid van grote hoogte naar beneden is dan maximaal, zodat de wind nabij de grond maar weinig zwakker is dan de wind op grote hoogte. In een stabiele situatie, wanneer het aardoppervlak relatief koud is ten opzichte van de atmosfeer, vindt er geen uitwisseling van luchtballen en windsnelheid plaats. Dan kan een krachtige wind op enkele honderden meters samengaan met windstilte in de onderste tientallen meters.

De grenslaag kent een tussentoestand, zogenaamde *neutrale* stabiliteit die erdoor wordt gekenmerkt dat de effecten van verticale warmte-uitwisseling niet belangrijk zijn. Dit kan door twee redenen het geval zijn, door veel bewolking en door hoge windsnelheid. Bij neutrale stabiliteit is het windprofiel niet afhankelijk van de grootte van de verticale warmte-uitwisseling, doch slechts van de terreinruwheid.

3.3.3 Geografische interpolatie van de windsnelheid: methode "Wieringa"

In deze paragraaf wordt zeer beknopt ingegaan op een aantal aspecten van het onderzoek van Wieringa om het windklimaat in Nederland te beschrijven. Wieringa beschrijft in zijn artikel (Wieringa, 1986) het windklimaat van Nederland. Hij baseert het windklimaat op klimatologische data: een 30 jarige reeks (1951-1980) van winden van een aantal meetlocaties van Nederland. Het gaat hem om de seizoensgemiddelde en jaargemiddelde wind, niet alleen de wind aan de grond per locatie, maar ook de mesowind en de macrowind ruimtelijk over heel Nederland.

Formeel is hierbij aangenomen dat sprake is van een homogene planetaire grenslaag met een neutrale stabiliteit. Homogeniteit heeft betrekking op het terrein als de horizontale luchtdrukgradiënt. Dit laatste impliceert dat belangrijke horizontale temperatuurgradiënten niet toelaatbaar zijn, omdat deze aanleiding geven tot extra drukgradiënten. De methodiek zal dus niet toepasbaar zijn op de kustlijn, zowel vanwege de grote verandering in terreintype als vanwege de mogelijkheid van grote temperatuurverschillen tussen land en zee. Boven een 5x5 km² blok te land, mogen we deze homogeniteit wel veronderstellen. *Van de aanname van neutrale stabiliteit kan terecht worden afgeweken omdat er in dit geval sprake is van een dubbele hoogtetransformatie.* Daarmee kunnen ook landwaterovergangen meegenomen worden en is de methodiek dus niet allen toepasbaar boven land maar ook boven water. Uit het vervolg zal dit blijken.

Wieringa vertaalt de oppervlaktewind (10m) naar de mesowind (wind op 60 meter hoogte) door te corrigeren voor lokale ruwheid. Dit is de ruwheid van een terrein die wordt gevormd door obstakels op dat terrein (huizen, bomen, gras etc.). Hoe groter de ruwheid des te groter is de invloed van het terrein op de windsnelheid. De ruwheid is destijds per 5kmx5km blokje bepaald door het grondgebruik (Nederlandse topografische kaart) te analyseren. Het grondgebruik is opgedeeld in 11 klassen en aan elke klasse in een zogeheten "ruwheidslengte" (een maat voor de ruwheid) gekoppeld.

Vervolgens vertaalt hij de mesowind naar de macrowind (=wind aan de top van de planetaire grenslaag ongeveer 1000 tot 1500 meter) door te corrigeren voor globale ruwheid (=mesoruwheid). De mesoruwheid representeert niet alleen de invloed van begroeiing en bebouwing maar ook de verschillen in hoogteligging.

Vervolgens interpoleert hij de macrowind naar een ruimtelijke plaatje voor heel Nederland. Uit de macrowind leidt hij met behulp van de mesoruwheid de mesowind af voor heel Nederland en hieruit kan met behulp van de lokale ruwheid voor een willekeurige locatie de wind aan de grond worden bepaald.

Met deze methode kan dus, hoewel er alleen windwaarnemingen zijn van een beperkt aantal locaties, de wind op een willekeurige locatie worden bepaald. Let wel het gaat hier om seizoens- en jaargemiddelden. Een van de achterliggende gedachten van deze methode is dat wind op hoogte "veel gladder verloopt" dan wind aan de grond. De wind aan de grond wordt sterk bepaald door de ruwheid van het terrein en kan ruimtelijk sterk variëren. Dus wind op hoogte is veel beter te interpoleren dan wind aan de grond. Daarom wordt een vertaling gemaakt van wind aan de grond naar wind op hoogte; vervolgens wordt de wind op hoogte geïnterpoleerd en daarna weer vertaald naar wind aan de grond. In de volgende paragraaf wordt dit nader uitgewerkt. Alle windbegrippen zijn beschreven in bijlage A.

3.3.4 "Downscalingmethode"

De "downscalingmethode" is gebaseerd op methode Wieringa, maar kent 2 belangrijke verschillen:

1. er wordt uitgegaan van wind per uurvak (= uurgemiddelde wind) en niet van de seizoensgemiddelde of jaargemiddelde wind. Daarmee wordt dus niet voldaan aan de eis van een neutrale atmosfeer, hetgeen voor hogere windsnelheden geen probleem is. De uurgemiddelde wind heeft een veel grilliger ruimtelijk patroon dan de seizoens- of jaargemiddelde winden. Hierdoor moet de gebruikte interpolatiemethode veel complexere velden kunnen beschrijven.
2. de ruwheidskaart is veel meer gedetailleerd (25mx25m i.p.v. 5kmx5km) en daarmee zijn vooral de lokale ruwheden maar ook de mesoruwheden nauwkeuriger in kaart gebracht.

Ad 1.

In eerste instantie wordt uitgegaan van waarnemingen van de uurgemiddelde wind. Voor het Hydra-project wordt hiervan gebruik gemaakt. Echter een aanvullende wens vanuit het waterbeheer is om uit te gaan van modellen zodat verwachtingen kunnen worden gemaakt. De downscalingmethode is hier ook geschikt voor, omdat uitgegaan wordt van de uurgemiddelde wind en wezenlijk maakt het niet uit of deze uurwind een prognose of een waarneming is. Voor windprognoses vormen HIRLAM en XHIRLAM de basis.

Het (X)HIRLAM geeft niet alleen de 10m-wind, maar ook de wind op andere niveaus (30m, 60m, 1500m, 3000m etc). Het (X)HIRLAM levert dus ook direct de mesowind en de macrowind. Deze winden worden geïnterpoleerd en dan resteert de vertaling naar de grond. Hier is dus sprake van enkel een vertaling in één richting. Dit is wezenlijk anders dan een vertaling in twee richtingen, omdat bij twee richtingen bepaalde effecten elkaar opheffen. Een van deze effecten is de stabiliteit van de grenslaag. De stabiliteit wordt bepaald door het verloop van de temperatuur met de hoogte (= temperatuurprofiel). Echter voor hoge windsnelheden is de stabiliteit veelal neutraal tot onstabiel en kan dus toch de eenrichtingsvertaling worden toegepast..

Ad 2.

Om de ruwheid te bepalen zijn twee methoden voorhanden: wanneer uitgegaan wordt van windwaarnemingen kan uit een vlaaganalyse (= analyse van de windvlagen) de ruwheid op die locatie worden bepaald. Daarnaast kan op basis van GIS-kaarten (LGN 3+) met grondgebruik een GIS-kaart met ruwheden worden afgeleid. Er wordt uitgegaan van meer dan 40 klassen in het grondgebruik. Uiteraard moeten beide methodes op elkaar worden afgestemd, zodat er vergelijkbare ruwheden ontstaan. Voorlopige resultaten geven aan dat beide methoden redelijk overeenstemmen. Afwijkingen komen met name voor wanneer er geïsoleerde obstakels nabij de meetlocaties aanwezig zijn. Hoewel deze een grote invloed hebben op de vlaaganalyse zijn ze vaak niet aanwezig in de GIS-kaarten. Daarbij is een alternatieve methode nodig om het effect van dergelijke obstakels op de windsnelheid te beschrijven.

Toepassing "downscalingmethode"

De downscalingmethode is nog niet helemaal uitgewerkt, maar wordt al wel als eerste toegepast en getest bij de RDIJ. Hierbij gaat het om (X)HIRLAM-winden die worden gevoed aan een WAQUA-model voor het IJsselmeer om stromingspatronen en daarmee de verplaatsing van stof in het IJsselmeer te berekenen. De "downscaling module" is in oktober 2001 geïmplementeerd.

4 Windstress

4.1 Algemeen

De windstress wordt weergegeven door τ en wordt berekend uit de 10 meter wind U volgens de volgende relatie :

$$\tau = \rho_a \cdot C_D \cdot |U| U \quad (4.1)$$

met

- τ windstress
- ρ_a de dichtheid van lucht op zeeniveau
- C_D de dragcoëfficiënt, een "bulk"parameter afhankelijk van de condities van de atmosfeer en de golven, wordt vaak gebruikt als ijkingsparameter
- U de windsnelheid op 10 meter

De dragcoëfficiënt C_D kan op verschillende wijzen worden gerepresenteerd (Onvlee, 1993):

- lineair in U volgens Smith and Banke; zie ook (Smith en Banke, 1975)
- stuksgewijs lineair continu Rijkswaterstaat (RWS)
- impliciete relatie van Charnock; zie ook (Charnock, 1955)

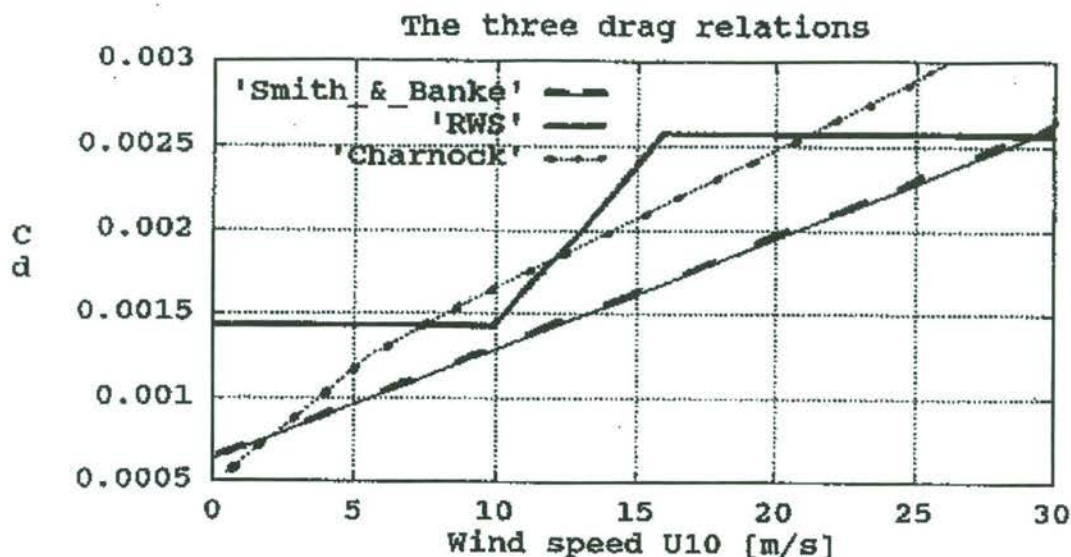
$$\frac{g \cdot z(0)}{u_*^2} = \beta \quad (4.2)$$

met:

- β de Charnock constante
- g de gravitatie constante
- $z(0)$ de ruwheidslengte

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho_a}} = \sqrt{C_D} \cdot U \quad (4.3)$$

Als β gekozen is en $z(0)$ en U gegeven zijn, dan ligt u_* vast en daarmee ook C_D .



Figuur 4-1 Uit: (Onvlee, 1993). De dragcoëfficiënt als functie van de windsnelheid voor verschillende dragrelaties.

WAQUA berekent zelf uit de 10 m wind de windstress. In WAQUA/CSM8 voor de Noordzee voor het NAUTILUS-project kan voor de dragcoëfficiënt de benadering van Rijkswaterstaat of van Charnock worden gekozen.

4.2 Windstress in XHIRLAM voor de Noordzee

Het is ook mogelijk om vanuit (X)HIRLAM direct windstress aan WAQUA aan te leveren. De windstress uit (X)HIRLAM is afgeleid op de bijbehorende atmosferische condities. De windstress wordt niet afgeleid alleen op basis van de wind op 10 meter hoogte, maar er wordt rekening gehouden met het gehele windprofiel. Een onstabiele of neutrale atmosfeer levert een hogere windstress dan een stabiele atmosfeer. Met deze invloeden wordt in WAQUA geen rekening gehouden.

De windstress in (X)HIRLAM wordt als volgt bepaald (toegespitst op de Noordzee):

De formules beschrijven de relatie tussen het logaritmische windprofiel boven zee (geldig voor neutrale stabiliteit) en de ruwheid van het zee oppervlak:

$$U(z) = \frac{u_*}{k} \cdot \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (4.4)$$

$$z_0 = \beta \cdot \frac{u_*^2}{g} \quad (4.5)$$

met:

- β de Charnock constante
- g de gravitatie constante
- k von Karman constante
- u_* friction velocity
- z_0 de ruwheidslengte zeeoppervlak

Uitgaande van de ruwheidslengte kan de gebruiker op basis van een zelf ingestelde dragcoëfficiënt (C_D), de windstress uitrekenen. Deze dragcoëfficiënt is namelijk gebiedsafhankelijk; voor de Noordzee is deze anders dan het Markermeer (andere β). Het KNMI gebruikt momenteel voor het berekenen van de windstress maar één dragcoëfficiënt en die is afgeregeld op de Noordzee. Dat betekent dat de windstress op basis van XHIRLAM voor het Markermeer onzuiver zou zijn. Voor het Markermeer zou opnieuw de dragcoëfficiënt moeten worden bepaald. De bepaling van de windstress voor de Noordzee is onderstaand beschreven. Dit is conform de e-mail van Albert Jacobs waarin de windstress in HIRLAM is beschreven.

De relatie (4.5) is de Charnock relatie. Deze geldt voor een ruwe zee. Als de zee glad is geldt een andere relatie (Onvlee, 1993):

$$z_0 = \begin{cases} \beta \cdot \frac{u_*^2}{g} & \text{voor ruwe zee} \quad (V = \sqrt{u^2 + v^2} > 5.0 \text{ m/s}) \\ \frac{(0.11 \cdot 1.5 \cdot 10^{-5})}{u_*} & \text{voor gladde zee} \quad (V = \sqrt{u^2 + v^2} < 3.0 \text{ m/s}) \end{cases} \quad (4.6)$$

Tussen deze regimes in wordt square root interpolatie toegepast.

Voor gegeven waarden van de hoogte z en bijbehorende $U(z)$ kun je nu met behulp van formule (4.4) én (4.5) zowel de u_* als de z_0 bepalen. Voor z wordt in HIRLAM de onderste modellaag genomen. De Charnock constante β is in de relatie (4.5) constant.

HIRLAM werkt met gridboxen en in iedere gridbox is aangegeven hoeveel de fractie land/zee in de box is. Als een gridbox voor 100% zee is dan geldt:

$$\beta = 0.014$$

Als er echter land invloeden zijn (zoals dat dicht bij de kust gebeurt) dan geldt:

$$\beta = 0.014 + 0.018 = 0.032$$

Uiteindelijk wil je de stress berekenen en de relatie met bovenstaande is:

$$\tau = \rho_{\text{lucht}} \cdot u_*^2 \quad (4.7)$$

met

ρ_{lucht} dichtheid van de lucht.

De relatie met de bekende C_d coëfficiënt is:

$$C_D = \frac{u_*^2}{U_{10}^2} \quad (4.8)$$

met

U_{10} windsnelheid op 10 meter boven het zeewateroppervlak.

Dus de stress is ook (U_{10} is een vector):

$$\tau = \rho_{lucht} \cdot C_D \cdot |U_{10}| U_{10} \quad (4.9)$$

5 Offerte "Downscaling van de wind"

5.1 Inleiding

Voor RWS, directie IJsselmeergebied (RDIJ) wordt een koppeling gemaakt van XHIRLAM en het "Calamiteitenmodel Scheepvaart IJsselmeer" (een WAQUA model). Daarbij wordt ook de zogenaamde "downscaling module" van het KNMI geïmplementeerd.

Doel van de downscaling module is om windvelden op 10 meter te genereren die door WAQUA als windinvoer gebruikt kunnen worden. De downscaling module werkt op zowel HIRLAM als op XHIRLAM uitvoer. De module interpoleert de windgegevens (op verschillende hoogten) van het (X)HIRLAM rekengrid naar een windrooster op 10 meter hoogte van 500 bij 500 meter.

De beoogde toepassing van de downscaling module voor RDIJ is om on-line windvoorspellingen met WAQUA door te rekenen voor het gehele IJsselmeergebied. De voorspellingsduur van HIRLAM is 48 uur, waarbij de eerste 12 uur gebaseerd is op de XHIRLAM uitvoer en de laatste 36 uur gebaseerd op HIRLAM uitvoer.

De downscaling module van RDIJ is toepasbaar en operationeel voor het gehele IJsselmeer-gebied. De downscaling module kan dus ook worden gebruikt voor het Markermeer. Voor de "Pilot Markermeer" betekent dit dat de uitvoer van de downscaling module direct gebruikt kan worden. Hiervoor is nodig dat het rekenscript wordt uitgebreid met een optie om de uitvoer van de downscaling module als windinvoer te gebruiken.

5.2 Activiteiten

De activiteiten beslaan:

1. Genereren windvelden op 500 meter rooster

De windvelden op een 500 meter rooster worden berekend met de downscaling module. Hiertoe moeten voor de desbetreffende perioden de HIRLAM gegevens worden opgevraagd bij het KNMI en vervolgens met de downscaling module worden doorgerekend. Uitgegaan wordt dat het KNMI deze gegevens (kosteloos) levert en het RDIJ de berekening met de downscaling module uitvoert.

Eindresultaat is voor elke periode een windveld op 10 meter hoogte dat met WAQUA kan worden doorgerekend.

2. Uitbreiden van het rekenscript van de pilot Markermeer

Om de meerwaarde van de downscaling module voor het WDIJM-toetsingssysteem te kunnen evalueren moet het rekenscript worden uitgebreid met een keuzemogelijkheid voor invoer uit de downscaling module. Naast het toevoegen van een extra keuze in het gebruikersscript betekent dit dat ook de aansturing van het WAQUA rekenprogramma (pre- en postprocessing WAQUA) moet worden aangepast.

3. Testen van het rekenscript

Verifiëren van de correcte werking van het rekenscript en documenteren van de wijziging. Eindresultaat is een nieuwe versie van het rekenscript plus documentatie.

5.3 Projectuitvoering

5.3.1 Uitgangspunten

Voor de realisatie van de activiteiten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Uitgegaan wordt van het rekenscript zoals beschreven in fase 1 van de "Pilot Markermeer".
- De windvelden die nodig zijn als invoer voor de downscaling module worden door het KNMI beschikbaar gesteld.
- De berekening van de windvelden op het 500 meter rooster, uitgaande van de windvelden van het KNMI, wordt door RDIJ uitgevoerd.
- Voor de documentatie wordt uitgegaan van de bestaande documentatie die wordt aangevuld met betrekking tot de wijzigingen in het rekenscript.

5.3.2 Opleveringsprocedure

Bij oplevering wordt de nieuwe versie van het rekenscript bij RIZA geïnstalleerd. De documentatie wordt tegelijkertijd in tweevoud opgeleverd. Binnen twee werkweken zal het concept worden besproken, waarbij ook de ervaringen met het rekenscript worden besproken. In dit overleg worden afspraken gemaakt met betrekking tot de afronding van de rapportage en de afhandeling van de restpunten in het modelinstrumentarium. Tekortkomingen in het modelinstrumentarium die het testen door RIZA ernstig belemmeren worden tussentijds door HKV hersteld.

De eindrapportage wordt in twintigvoud opgeleverd. Broncode en executables worden, inclusief de testbestanden, op CD in tweevoud opgeleverd.

5.3.3 Toeleveringen door de opdrachtgever

Van de opdrachtgever worden geen toeleveringen verwacht.

5.3.4 Doorlooptijd en kosten

In Tabel 5-1 staat de geschatte tijdsbesteding in mensdagen.

Activiteit	Geschatte inspanning
Genereren windvelden (coördineren activiteit)	4 dagen
Aanpassen rekenscript	5 dagen
Testen rekenscript	5 dagen
Projectleiding	2 dagen
TOTAAL	16 dagen.

Tabel 5-1: Geschatte inspanning voor de downscaling aanpassing per activiteit.

De geschatte doorlooptijd voor het genereren van de windvelden is 4 weken. De geschatte doorlooptijd voor het uitbeiden en testen van het rekenscript is vier weken. De installatie van de nieuwe versie van het rekenscript (inclusief documentatie) is in de week daarop. Totale doorlooptijd tot aan de eindoplevering is twaalf weken.

De geschatte kosten zijn 12.500,- euro (exclusief BTW).

6 Offerte “Windstress”

6.1 Inleiding

Door het KNMI wordt een routine in XHIRLAM gebouwd die de windstress zelf oplevert of parameters die gerelateerd zijn aan de windstress. In een gesprek met Albert Jacobs van het KNMI (d.d. 31 oktober 2001) kwam naar voren dat het nog steeds de vraag is wat het KNMI precies gaat opleveren met betrekking tot de windstress. Het KNMI is nog in discussie met RWS of het KNMI direct de windstress, τ , gaat leveren of dat het blijft bij het leveren van de ruwheidslengte $z(0)$.

WAQUA vereist als input direct de windstress. Als het KNMI direct de windstress gaat leveren moet er in XHIRLAM (door het KNMI) de dragcoëfficiënt voor het Markermeer worden ingebouwd. Als het KNMI de ruwheidslengte ($z(0)$) gaat leveren dan is een aanpassing nodig van het WAQUA programma zodanig dat voor de windinvoer gebruik gemaakt kan worden van de ruwheidslengte $z(0)$.

Aan het eind van 2001 levert XHIRLAM in elk geval de ruwheidslengte. In dat geval moet er nog een tussenstap worden gemaakt die $z(0)$ naar windstress kan vertalen, waarschijnlijk buiten XHIRLAM en WAQUA om. Daartoe moet ook een nieuwe dragcoëfficiënt worden bepaald. In deze offerte wordt uitgegaan dat door het KNMI de windstress wordt toegeleverd en *niet* de ruwheidslengte. Zodoende kan de windstress direct als randvoorwaarde aan WAQUA worden opgelegd. De omrekening van $z(0)$ naar windstress τ moet dan worden afgeregeld voor het Markermeer.

6.2 Activiteiten

De windstress kan direct door WAQUA worden verwerkt als randvoorwaarden voor de wind. ook het rekenscript van de “Pilot Markermeer” is voorbereid op windstress als randvoorwaarde van de wind.

Wel is nodig dat de berekening van de windstress wordt afgeregeld op de schematisatie van het Markermeer. Daarnaast moeten deze randvoorwaarden in de schil worden opgenomen en getest. De activiteiten omvatten dus:

1. Afregeling windstress berekening
De windstress moet worden afgeregeld op (de schematisatie van) het Markermeer. Eindproduct zijn afgeregelde windstress bestanden als randvoorwaarde van het WAQUA-model voor het Markermeer.
2. Uitbreiden van het rekenscript van de pilot Markermeer
Het rekenscript wordt aangepast zodanig dat ook gekozen kan worden voor windstress als randvoorwaarde voor de wind.
3. Testen van het rekenscript
Verifiëren van de correcte werking van het rekenscript en documenteren van de wijziging. Eindresultaat is een nieuwe versie van het rekenscript plus documentatie.

6.3 Projectuitvoering

6.3.1 Uitgangspunten

Voor de realisatie van de activiteiten zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Uitgegaan wordt van het rekenscript zoals beschreven in fase 1 van de "Pilot Markermeer".
- Het KNMI voert de afregeling van de windstress berekening uit¹.
- Het KNMI levert de windstress bestanden.
- Door RDIJ en waterschappen worden de benodigde gegevens (aan- en afvoer naar Markermeer en gemeten waterstanden Markermeer in calibratieperioden) toegeleverd. De calibratie wordt uitgevoerd op twee van de zeven Nautilus-stormen.
- Voor de documentatie wordt uitgegaan van de bestaande documentatie die wordt aangevuld met betrekking tot de wijzigingen in het rekenscript.

6.3.2 Opleveringsprocedure

De oplevering bestaat uit twee delen: de rapportage afregeling WAQUA model en de aanpassing van het rekenscript.

Het conceptrapport afregeling WAQUA model wordt in tweevoud opgeleverd. Binnen twee werkweken zal het concept worden besproken. In dit overleg worden afspraken gemaakt met betrekking tot de afronding van de activiteit.

Bij oplevering wordt de nieuwe versie van het rekenscript bij RIZA geïnstalleerd. De documentatie wordt tegelijkertijd in tweevoud opgeleverd. Binnen twee werkweken zal het concept worden besproken, waarbij ook de ervaringen met het rekenscript worden besproken. In dit overleg worden afspraken gemaakt met betrekking tot de afronding van de rapportage en de afhandeling van de restpunten in het modelinstrumentarium. Tekortkomingen in het modelinstrumentarium die het testen door RIZA ernstig belemmeren worden tussentijds door HKV hersteld.

De eindrapportage wordt in twintigvoud opgeleverd. Broncode en executables worden, inclusief de testbestanden, op CD in tweevoud opgeleverd.

6.3.3 Toeleveringen door de opdrachtgever

Van de opdrachtgever worden geen toeleveringen verwacht.

¹ Dit punt is nog niet kortgesloten met het KNMI en de offerte is dus onder voorbehoud dat het KNMI deze activiteit uitvoert en (tegen de door ons begrootte kosten).

6.3.4 Doorlooptijd en kosten

In Tabel 6-1 staat de geschatte tijdsbesteding in mensdagen.

Activiteit	Geschatte inspanning
Verzamelen calibratieperioden	3 dagen
Afregeling windstress berekening door KNMI	15 dagen
Ondersteunen KNMI bij afregeling	5 dagen
Aanpassen rekenscript	2 dagen
Testen rekenscript	3 dagen
Projectleiding	5 dagen
TOTAAL	33 dagen.

Tabel 6-1: Geschatte inspanning voor de windstress aanpassing per activiteit.

De geschatte doorlooptijd voor het afregelen van het WAQUA model Markermeer is 2 maanden.

De geschatte doorlooptijd voor het uitbeiden en testen van het rekenscript is vier weken. De installatie van de nieuwe versie van het rekenscript (inclusief documentatie) is in de week daarop.

De aanpassing aan het rekenscript wordt uitgevoerd nadat het nieuwe WAQUA model Markermeer is geaccepteerd door de opdrachtgever.

De geschatte kosten zijn 29.000,- euro (exclusief BTW).

7 Referenties

- Blake, R.A., 1991: *The dependence of wind stress on wave height and wind speed*.
Journal Geophysical Research 96 (c11), pages 20531-20545.
- Charnock, H. 1955: *Wind stress on a water surface*.
Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 81, pages 639-640.
- Minvenw, 2000: *HIRLAM 11km. windanalyses/prognoses, beschrijving van WP1 van windprognoses op kleine ruimtelijke schalen door KNMI*.
Nautilus-project, werkdocument RIKZ/OS/2000.155x.
- Onvlee, J.R.N., 1993: *The performance of dragrelations in the WAQUA storm surge model*.
KNMI, technical report TR-149, De Bilt 1993.
- Smith, S.D. and Banke, E. G, 1975: *Variation of the sea surface drag coefficient with windspeed*.
Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 101, pages 665-673.
- Wieringa, 1986: *Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages*.
Quarterly Journal of Royal Meteorological Society 112, pages 867-889.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1997: *Onafhankelijk onderzoek Markermeer – technisch inhoudelijke en integrerende studie, verslag fase 1b-2, bouw DELFT2D-systeem*.
Waterloopkundig Laboratorium, rapport H 3211, december 1997.

Bijlage

Bijlage A: Verklarende woordenlijst

HIRLAM	HIRLAM levert voorspellingen op een rekengrid van 55 bij 55 km. De voorspellingen worden iedere 6 uur gemaakt. De voorspellingshorizon is 48 uur met een rekenstap van 1 uur.
Macrowind	windsnelheid en richting aan de top van de planetaire grenslaag. Deze wind is berekend uit de potentiële grondwind en de mesoruwheid.
Mesoruwheid	ruwheid op meso-schaal, ter hoogte van de mesowind. Deze wordt bepaald door het totaal van de lokale terreinruwheden aan de grond plus de variatie in de hoogte van het landschap op wat grotere schaal. Op meso-schaal wordt de aanwezigheid van heuvels en dalen ook van belang voor de wisselwerking tussen wind en terrein. De maat voor de mesoruwheid is de mesoruwheidslengte (analoog aan de ruwheidslengte).
Mesowind	windsnelheid (en windrichting) op 60 meter boven de grond (of boven de verplaatsingshoogte d). De mesowind is een factor 1.31 groter dan de potentiële wind. De mesowind is vrijwel constant over een gebied van ongeveer 5x5 km ² en onafhankelijk van de lokale ruwheid van het terrein.
Openwatertransformatie	vertaling van de potentiële windsnelheid naar de werkelijke windsnelheid op 10 meter hoogte boven het wateroppervlak.
Planetaire grenslaag	<p>de onderste laag van de atmosfeer (0-1000 meter). Dit is de laag waarin de wrijvingsinvloed van het aardoppervlak duidelijk merkbaar is op de atmosferische stroming (wind). Boven de 1000-1500 meter zijn de wrijvingsinvloeden klein en is de wind nagenoeg een resultante van de drukgradiënt en de corioliskracht.</p> <p>De planetaire grenslaag bestaat uit twee lagen: de oppervlaktelaag (0-60 meter) en de Ekmanlaag (60-1000 meter). De wind aan de top van de grenslaag wordt de macrowind genoemd. In de onderliggende Ekmanlaag begint de wrijving een rol te spelen, waardoor de wind krimpt met afnemende hoogte. De wind aan de top van de oppervlaktelaag wordt de mesowind genoemd. In de oppervlaktelaag manifesteert de wrijving zich door een afname van de wind. In deze laag is de windrichting vrijwel constant met de hoogte.</p>
Potentiële wind	windsnelheid (en windrichting) op 10 meter hoogte boven een fictief terrein met een ruwheidslengte $z_0 = 0.03$ meter. De potentiële wind is onafhankelijk van de werkelijke terreinruwheid.

Ruwheid (ofwel lokale ruwheid)	de ruwheid van een terrein wordt gevormd door obstakels op dat terrein (huizen, bomen, gras etc.). Hoe groter de ruwheid des te groter is de invloed van het terrein op de windsnelheid.
Ruwheidslengte	maat voor de ruwheid van het terrein. De ruwheidslengte (uitgedrukt in meters) is groter naarmate de ruwheid groter is.
Verplaatsingshoogte	hoogte boven de grond waaronder de ruwheid gesloten is. Dat wil zeggen dat het aantal obstakels zo groot is dat de stroming bij de grond nauwelijks nog verband houdt met de gemiddelde windstroming boven de obstakels.
XHIRLAM	XHIRLAM levert voorspellingen op een rekengrid van 11 bij 11 km. De voorspellingen worden iedere 6 uur gemaakt. De voorspellinghorizon is 12 uur met een rekenstap van 1 uur.





HKV LIJN IN WATER
Postbus 2120
8203 AC Lelystad

Telefoon: 0320 294242
Telefax: 0320 253901
e-mail: info@hkv.nl

Bezoekadres:
Botter 11 nr. 29
Lelystad