

Modelit
Elisabethdreef 5
4101 KN Culemborg



info@modelit.nl
www.modelit.nl

Validatiemethodiek voor Golfgegevens op het IJsselmeer

Datum 1 augustus 2009

Modelit
KvK Rivierenland 24290229

Documentatiepagina

Opdrachtgever Rijkswaterstaat - Waterdienst

Titel Validatiemethodiek voor Golfgegevens op het IJsselmeer

Oorspronkelijke datum 1 augustus 2009

Versie 0.4

Projectteam opdrachtgever P.F. Heinen
M. Bottema
H. Miedema

Projectteam Modelit N.J. van der Zijpp
K.J. Hoogland

Revisies 20100919 Hyperlinks bijgewerkt

| | |
|---|--------------------|
| Inleiding..... | 2 |
| Wavix Validatie Model voor het IJsselmeer..... | 4 |
| 1.1 De trainingsdata..... | 6 |
| 1.2 Het regressiemodel..... | 10 |
| 1.3 Neurale netwerken..... | 15 |
| 1 Uitgevoerde experimenten..... | 22 |
| 1.4 Modelvarianten..... | 22 |
| 1.5 Experimenten..... | 22 |
| 1.6 Periode 19 juli – 23 juli 2005..... | 24 |
| 1.7 Storm 18 januari 2007..... | 26 |
| 1.8 Storm 11 januari 2007..... | 28 |
| 1.9 Storm 30 december 2006..... | 30 |
| 1.10 Storm 1 november 2006..... | 32 |
| 1.11 Storm 8 januari 2005..... | 34 |
| 1.12 Storm 20 maart 2004..... | 36 |
| 1.13 Storm 27 oktober 2002..... | 38 |
| 1.14 Storm 9 maart 2002..... | 40 |
| 1.15 Storm 26 februari 2002..... | 42 |
| 1.16 Storm 28 december 2001..... | 44 |
| 1.17 Samenvatting van de resultaten voor alle experimenten..... | 46 |
| Conclusies en Aanbevelingen..... | 48 |
| Appendix A: Schattingen 19 – 23 juli 2005 met 24 uur hiaten | 50 |
| Appendix B: Schattingen 8 – 12 maart 2002 met 24 uur hiaten..... | 53 |
| Appendix C: Schattingen 10 – 13 januari 2007 met 7 keer 1 uur hiaten..... | 56 |
| Referenties..... | 59 |

Inleiding

Op het IJsselmeer worden op zes locaties golven gemeten. Ook op het Slotermeer worden op één locatie golven gemeten. De bedoeling is dat deze locaties worden opgenomen in het Landelijk Meetnet Water (LMW). Ter voorbereiding hierop dient de verwerking en validatie te worden aangepast aan de standaard methodieken die in het LMW worden gebruikt. Voor de validatie van golfgegevens wordt in het LMW gebruik gemaakt van Wavix. Dit is een softwarepakket dat geautomatiseerd golfgegevens kan valideren op basis van neurale netwerken. De belangrijkste functies van Wavix zijn:

- Het visueel inspecteren van golfdata;
- Het detecteren van outliers;
- Het bijschatten van hiaten.

Van de golfmetingen op het IJsselmeer en het Slotermeer is tien jaar data beschikbaar op een DVD, de inhoud van deze DVD is het resultaat van een uitgebreide meetcampagne van Rijkswaterstaat voor de periode 1997 – 2006 en is beschreven in [5]. Deze data dienen als basis voor de ontwikkeling van een model voor de automatische validatie van golfgegevens in het IJsselmeer.

In dit rapport worden de stappen beschreven die doorlopen zijn om een Wavix model voor het IJsselmeer samen te stellen en te kalibreren. Omdat de reeds beschikbare data (handmatig) gevalideerd zijn kan er ook een vergelijking gemaakt worden tussen deze data en de data die verkregen zijn via de automatische validatie met het Wavix model. Deze vergelijking wordt uitgevoerd aan de hand van een aantal geselecteerd testcases met stormen die zijn opgetreden in de periode 1997 – 2006.

Keuzes bij modelontwikkeling

Bij de beoordeling van de kwaliteit van een modelvariant is de nauwkeurigheid waarmee ontbrekende data worden bijgeschat bepalend. Het maakt echter verschil of een enkel ontbrekend datapunt wordt bijgeschat of een hele serie aaneensluitende periodes. In het eerste geval voldoet een simpele interpolatie in de tijd, zoals een moving average, in het tweede geval kan men wellicht beter gebruik maken van ruimtelijke samenhang. Ook maakt het uit of gegevens worden geschat op basis van alleen gegevens uit het verleden (voorspellen) of dat ook latere metingen mogen worden gebruikt (bijschatten). Samenvattend kan men zeggen dat de kwaliteit van een model alleen beoordeeld kan worden tegen de achtergrond van de toepassing die men voor het model in gedachten heeft.

Aanpak

In de huidige studie is daarom uitgegaan van een scenario dat representatief geacht wordt voor de situatie waarin het Wavix model zal worden toegepast. Dit komt neer op de situatie waarin langere reeksen van ontbrekende data moeten worden bijgeschat. Ten behoeve van de beoordeling van de te ontwikkelen modelvarianten is daarom een dataset voorbereid waarin kunstmatig hiaatreeksen met een lengte van 24 uur zijn aangebracht. De te gebruiken data zijn bovendien geselecteerd op basis van het feit dat er significante golfslag aanwezig is, zoals bij stormen. De gedachte hierachter is dat bij windstil en omstandigheden zonder golven geen enkel model zijn meerwaarde kan bewijzen.

Op te leveren producten

Als resultaat van dit project worden de volgende producten opgeleverd:

Het huidige rapport;

Een aangepaste versie van Wavix, waarin een aantal uitbreidingen en verbeteringen zijn opgenomen die naar aanleiding van de werkzaamheden binnen dit project zijn aangebracht;

Een gekalibreerd Wavix model, in de vorm van een Wavix parameterset;

Een verzameling naar DONAR geconverteerde databestanden over de periode 1997 – 2006;

Een DVD waarop de tussenresultaten voor elke stap zijn opgeslagen. Op basis hiervan kan de gehele procedure worden herhaald. Naast een controle mogelijkheid biedt dit een leidraad voor toekomstige projecten.

Toekomstig gebruik van het Wavix model

Het huidige Wavix model is gekalibreerd op de periode 1997 – 2006. Na 2006 zijn echter een aantal meetlocaties vervangen, verplaatst of zelfs verwijderd. Voor toekomstig gebruik van het Wavix model is herkalibratie dus noodzakelijk. Deze herkalibratie kan plaatsvinden als er minimaal vier maanden aan nieuwe data beschikbaar zijn.

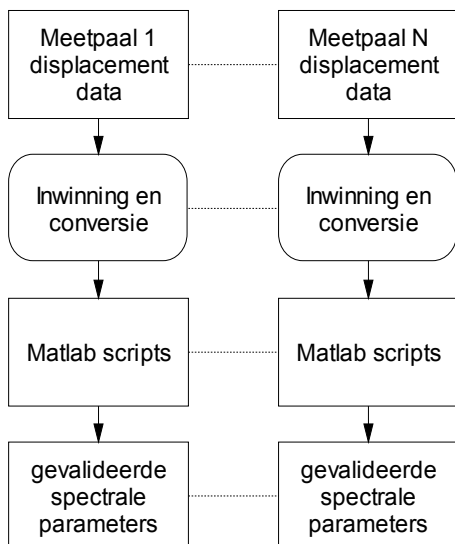
Wavix Validatie Model voor het IJsselmeer

Op het IJsselmeer en het Slotermeer zijn in de periode 1997-2007 op meerdere locaties golf- en windmetingen verricht. Voor de metingen worden meetpalen gebruikt aangezien het IJsselmeer een korte golfslag kent en boeien dit golfverloop niet goed kunnen meten.

Golfdata worden ingewonnen in de vorm van equidistante tijdreeksen met displacement data en worden opgeslagen op een logger op de meetpaal. In de logger worden een aantal gemiddelden zoals een H_{m0} en WS_{gem} en WR_{gem} berekend. Deze gegevens worden later online gepresenteerd op een website. De ingewonnen gegevens worden via een gsm verbinding een paar maal per dag van de meetpaal rechtstreeks naar een inwinpc op het kantoor van Rijkswaterstaat IJsselmeergebied gezonden.

Verwerking tot 2007

Op de inwinpc worden deze gegevens omgezet naar dagbestanden die vervolgens geconverteerd worden naar bestanden die geschikt zijn voor de verwerking met Waves. In deze conversieslagen zitten een aantal controles op volledigheid en extreme waarden. Daarnaast zorgt de verwerking ook voor enkele omzettingen (NaN waarden worden bijvoorbeeld omgezet naar -6999). Voor de periode 1997-2007 zijn de gegevens vervolgens verwerkt tot golfparameters met matlabscripts van Marcel Bottema [5]. Zie Figuur 1 voor het verwerkingsschema van golfddata in het IJsselmeer tot 2007.



Figuur 1: Verwerkingsschema golfddata van het IJsselmeer 1997-2007.

Verwerking vanaf 2007

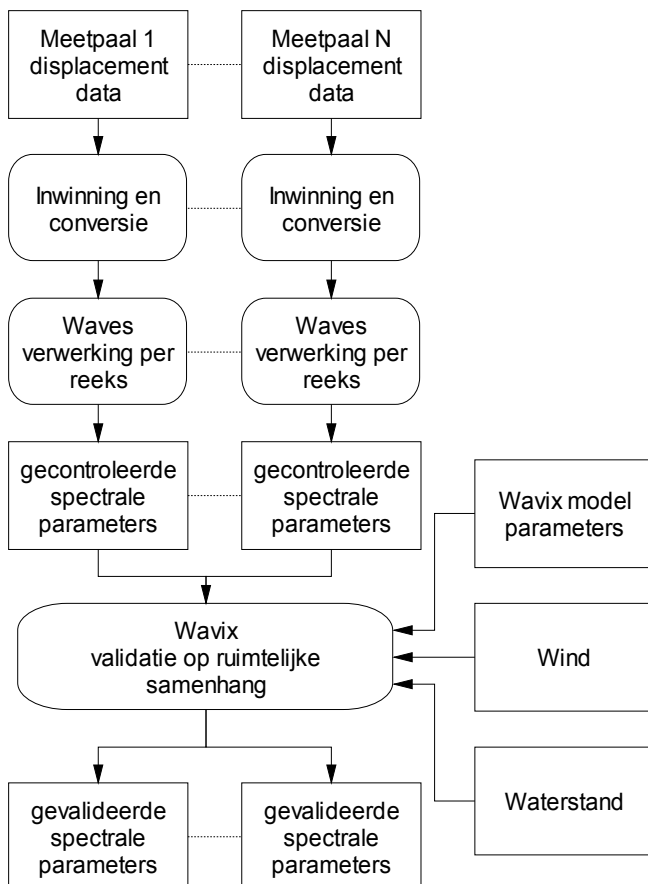
Met als doel om de datainwinning te uniformeren met de inwinning zoals deze binnen het LMW (Landelijk Meetnet Water) plaatsvindt, worden de gegevens vanaf 2007 verwerkt met Waves. Waves controleert daarbij op buiten domein waarden, plotselinge uitschieters en stagnaties en minimale beschikbaarheid per aggregatieperiode. Datapunten die niet voldoen worden als hiaat aangemerkt. Hiaten worden vervolgens door middel van interpolatie weer gevuld mits het aantal aaneengesloten hiaten niet te groot is. Na deze controles worden de tijdreeksen verwerkt tot spectrale parameters. Deze verwerking houdt tevens een aggregatie tot periodes van 20 minuten in. De verwerking met Waves leidt tot dezelfde resultaten als de RMI verwerking in het LMW.

Data die deze bewerkingen hebben ondergaan zijn dus tot op zekere hoogte gecontroleerd, maar tijdreeksen van verschillende meetinstrumenten zijn nog niet met elkaar vergeleken. Bij deze ruimtelijke validatie worden de spectrale parameters van de ene locatie voorspeld op basis van parameters van locaties waarmee zij geacht worden een relatie te hebben. Ook andere relevante

parameters zoals waterstand en wind kunnen deel uitmaken van dit model. De voorspelde waarden worden vergeleken met gemeten waarden. Grote afwijkingen kunnen aanleiding zijn om data af te keuren. Voorspelde waarden kunnen tevens gebruikt worden om langere reeksen van hiaten op te vullen met modelwaardes, zie Figuur 2 voor het verwerkingsschema van golfdata in het IJsselmeer vanaf 2007.

Voor deze ruimtelijke validatie is in 2005 in opdracht van RIKZ de applicatie Wavix ontwikkeld. De kern van deze applicatie wordt gevormd door een model dat schattingen maakt van de te valideren golfparameters door verbanden te leggen tussen deze golfparameters en parameters op andere locaties en tijdstippen. Vanwege de complexiteit van de verbanden tussen deze parameters is niet gekozen voor een expliciete fysische modellering, maar voor een beschrijvende aanpak op basis van neurale netwerken.

Op grond van de door de neurale netwerken geschatte waarden en geschatte betrouwbaarheden kunnen verdachte waarden aangewezen worden. Deze verdachte waarden vormen samen met de reeds aanwezige hiaten de verzameling van waarden die opnieuw geschat moet worden. Deze opnieuw te schatten waarden kunnen normaalgesproken niet in één keer bijgeschat worden omdat ze onderling van elkaar afhankelijk zijn. We spreken in dit geval van wederzijdse hiaten. Het kenmerkende van Wavix is dat het ook de wederzijdse hiaten op een statistisch onderbouwde manier kan bijgeschatten. De manier waarop dit gebeurt lijkt op een Maximum Likelihood schatter: De ontbrekende parameters worden zodanig gekozen dat het verschil tussen voorspelde waarde (op basis van deze aangenomen waardes voor ontbrekende parameters) en gemeten waardes zo klein mogelijk is. Hierbij worden de nauwkeurigheden uiteraard meegewogen. Een gedetailleerde numerieke verantwoording van de Wavix methode is te vinden in [6].



Figuur 2: Verwerkingsschema golfdata van het IJsselmeer vanaf 2007.

De kalibratie van een Wavix validatie model bestaat uit de volgende stappen die in de volgende secties verder worden toegelicht. Het belangrijkste onderdeel, de definitie en kalibratie van neurale netwerken is te vinden in sectie 1.3. In sectie 1.1 en sectie 1.2 wordt het voorbereidende werk gedaan zodat de neurale netwerken gebruikt kunnen worden.

1. Selecteren van de data en periode waarop het model gekalibreerd moet worden
zie sectie 1.1
2. Schatten regressiemodel voor het maken van initiële schattingen
zie sectie 1.2
3. Definiëren en kalibreren van de neurale netwerken
zie sectie 1.3
4. Selecteren van de nauwkeurigste neurale netwerken
zie sectie 1.3

1.1 De trainingsdata

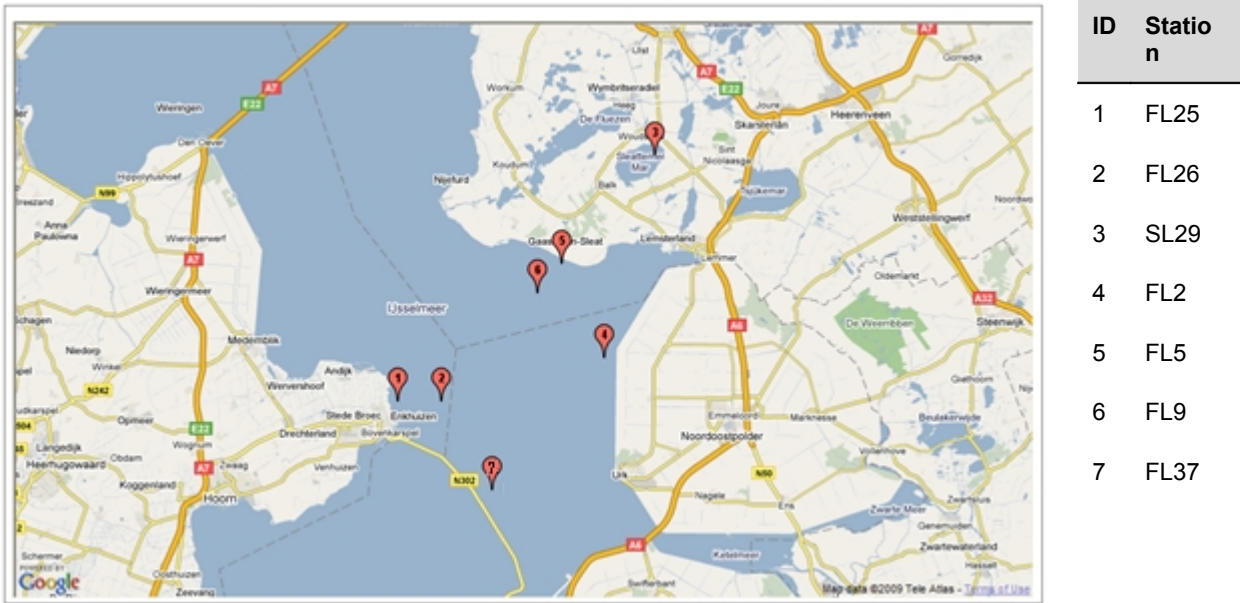
Voor zes locaties op het IJsselmeer en één locatie op het Slotermeer zijn over een periode van circa tien jaar data golfmetingen verzameld. Deze zijn samengebracht op een DVD en vormen het uitgangspunt voor het huidige project. Deze DVD met meetresultaten voor de periode 1997 – 2007 is gedocumenteerd in [5]. Deze data dienen als basis voor de ontwikkeling van een Wavix model voor de validatie van golfgegevens op het IJsselmeer en het Slotermeer. In Figuur 3 is met rode markers de ligging van de meetlocaties in het IJsselmeer en het Slotermeer aangegeven. In Tabel 1 is aangegeven welke meetinstrumenten voor welke periode op elke locatie in gebruik waren. De locatie FL37 is niet meegenomen in de kalibratie van het Wavix validatie model omdat gegevens van deze locatie pas vanaf september 2006 beschikbaar zijn.

De bronbestanden op de DVD zijn zogenaamde .xtb bestanden met equidistante tijdreeksen van golfparameters met een tijdstap van 20 minuten. Deze .xtb bestanden zijn ten behoeve van het huidige project geconverteerd naar Donar .dia bestanden. Daarbij is een subselectie gemaakt van de gemeten golfparameters, zie Tabel 2 voor de geselecteerde golfparameters en hun omschrijving.

N.B Deze geconverteerde, maar nog niet bewerkte .dia bestanden zijn inmiddels in DONAR geplaatst en vormen één van de deliverables van het project.

De coderingen van de lokaties in kolom 5 van Tabel 1 en de coderingen van de parameters in Tabel 2 komen overeen met de coderingen in dit rapport. De reeksen met golfparameters en wind zijn onvolledig, voor alle reeksen komen hiaten voor. In Figuur 4 en Figuur 5 is de databeschikbaarheid weergegeven. Daarbij zijn de metingen van de stappenbaak en capa probe samengevoegd. Ook voor de kalibratie van het Wavix model voor het IJsselmeer zijn deze tijdreeksen samengevoegd.

N.B De reeksen die met Wavix gevalideerd moeten worden zijn gespecificeerd in een stuurfile, deze stuurfile staat in het bestand hoofdsensoren.txt in de directory 'Stuurfiles' van de meegeleverde DVD. De geconverteerde .xtb bestanden zijn te vinden in directory 'Bronbestanden' van de meegeleverde DVD.



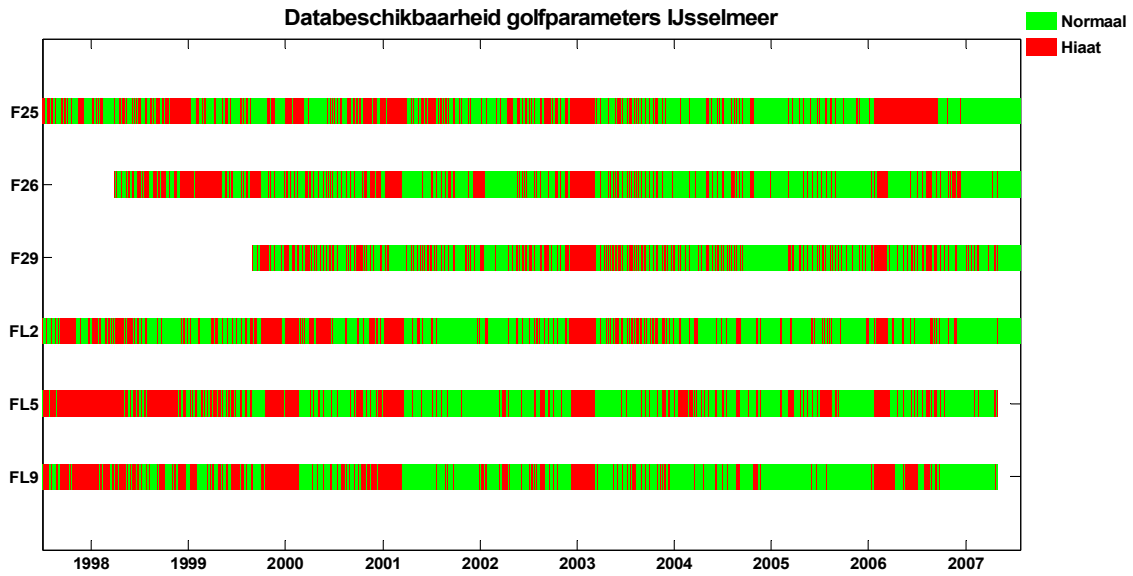
Figuur 3: Ligging van de meetlocaties in het IJsselmeer en het Slotermeer.

Tabel 1: Overzicht van de meetlocaties in het IJsselmeer en Slotermeer.

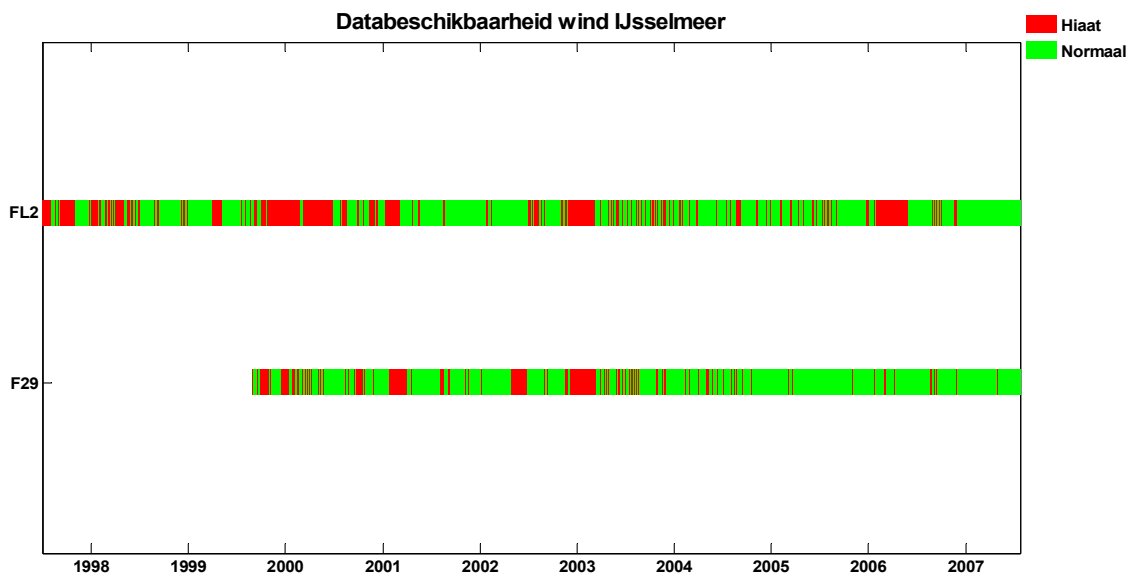
| Lokatie | Instrument | Van | Tot | Naam in dit rapport |
|---------|-------------|--------------|-------------|---------------------|
| FL25 | Capa probe | 01 jul 1997 | 24 jul 2007 | F25 |
| | Log-a-level | 02 jun 2006 | 24 jul 2007 | |
| FL26 | Capa probe | 02 mrt 2001 | 24 jul 2007 | F26 |
| | Log-a-level | 21 aug 2006 | 24 jul 2007 | |
| | Stappenbaak | 27 mrt 1998 | 01 mrt 2001 | |
| SL29 | Capa probe | 01 sep 1999 | 24 jul 2007 | F29 |
| | Log-a-level | 26 aug 2006 | 24 jul 2007 | |
| FL2 | Capa probe | 02 nov 1999 | 24 jul 2007 | FL2 |
| | Log-a-level | 01 sep 2006 | 24 jul 2007 | |
| | Stappenbaak | 01 jul 1997 | 01 nov 1999 | |
| FL5 | Capa probe | 02 mrt 2001 | 01 mei 2007 | FL5 |
| | Log-a-level | 21 aug 2006 | 01 mei 2007 | |
| | Stappenbaak | 01 jul 1997 | 01 mrt 2001 | |
| FL9 | Capa probe | 02 mrt 2001 | 01 mei 2007 | FL9 |
| | Log-a-level | 21 aug 2006 | 01 mei 2007 | |
| | Stappenbaak | 01 juli 1997 | 01 mrt 2001 | |
| FL37 | Capa probe | 26 sep 2006 | | Niet gebruikt |

Tabel 2: Verklaring van de parameters.

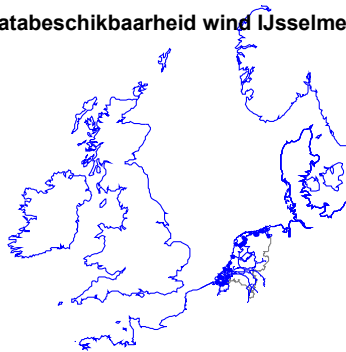
| Parameter | Omschrijving | Eenheid |
|-----------|--|---|
| H1/3 | De gemiddelde golfhoogte uit het hoogste 1/3 deel van de golven | Centimeter |
| Hm0 | Spectrale significante golfhoogte Hm0 over 0.03 - 1.5 Hz | Centimeter |
| TH1/3 | De gemiddelde golfperiode uit het hoogste 1/3 deel van de golven | Seconde |
| Tm02 | De gemiddelde golfperiode uit de spectrale momenten m_0 en m_2 van 30-1500 mHz | Seconde |
| Hmax | Maximaal gemeten golfhoogte | Centimeter |
| THmax | Golfperiode die hoort bij de maximale golfhoogte (Hmax) | Seconde |
| T1/3 | Gemiddelde golfperiode uit langste 1/3 deel van de golven | Seconde |
| Tm01 | Gemiddelde golfperiode uit de spectrale momenten m_0 en m_1 van 30-1500 mHz | Seconde |
| Tmmin10 | Gemiddelde golfperiode uit spectrale momenten m_{-1} en m_0 van 30-1500 mHz | Seconde |
| Tmax | Maximaal gemeten golfperiode | Seconde |
| Wathte | Waterhoogte | Centimeter t.o.v. Normaal Amsterdams Peil |
| Windrtg | Windrichting | Graden t.o.v. het ware noorden |
| Windshd | Windsnelheid | Meter per seconde |



Figuur 4: Databeschikbaarheid golfparameters IJsselmeer en Slotermeer.



Figuur 5: Databeschikbaarheid wind IJsselmeer en Slotermeer.



1.2 Het regressiemodel

Voordat we aan toepassing van de Neurale Netwerken toe kunnen komen dienen van alle golf parameters initiële schattingen aanwezig te zijn. Deze sectie beantwoordt de volgende vragen:

Hoe worden de initiële schattingen binnen Wavix bepaald;
Op welke wijze hebben deze schattingen invloed op het eindresultaat van de Wavix verwerking.

Bepaling van de initiële schatting binnen Wavix

Het regressiemodel is bedoeld om initiële schattingen te kunnen maken van de golfparameters. Deze initiële schattingen zijn noodzakelijk omdat de neurale netwerken alleen voorspellingen kunnen doen als de invoerreeksen geen hiaten bevatten. Door nu deze initiële schattingen te gebruiken voor de hiaten in de invoerreeksen kunnen de neurale netwerken voorspellingen doen voor alle tijdstippen.

De regressieanalyse die wordt uitgevoerd is gebaseerd op een methode van het RIKZ, waarbij gebruik wordt gemaakt van verhoudingsgetallen tussen twee golfparameters die gelden op verschillende windklassen gedifferentieerd naar windsnelheid en windrichting. Om ook onder totale uitval nog schattingen te kunnen maken zijn hieraan de verhoudingsgetallen toegevoegd tussen de betreffende golfparameter en de windsnelheid op dezelfde locatie. De gebruikte windsnelheid- en windrichtingsklassen zijn gegeven in Tabel 3.

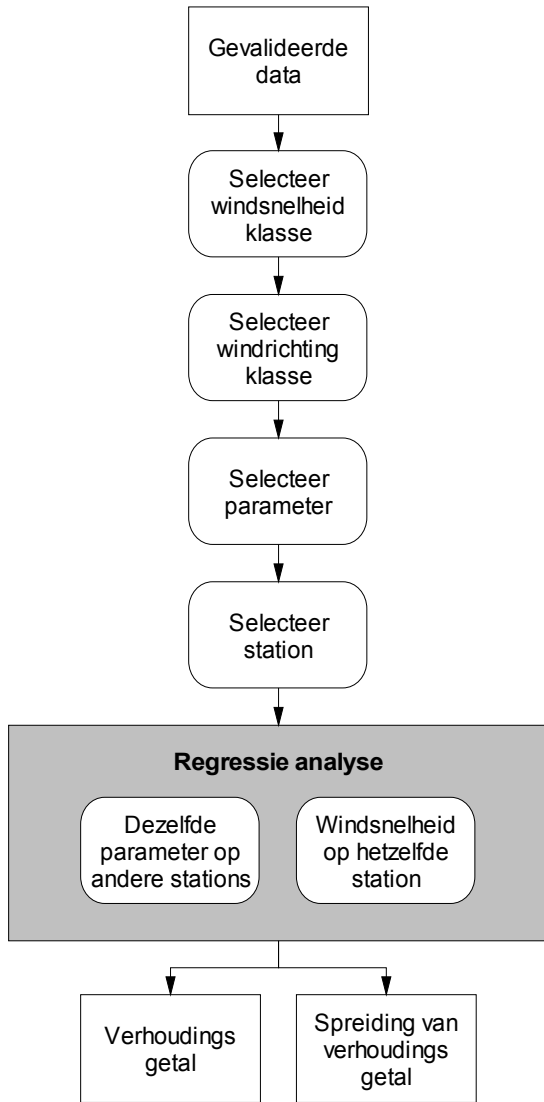
De schattingen komen vervolgens tot stand als gemiddelden over alle aanwezige stations gewogen naar de spreiding van het verhoudingsgetal. De schattingsnauwkeurigheden komen tot stand door de fouten in de golfparameters en de spreidingen in de verhoudingsgetallen door te rekenen. In Tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de prestaties van het geschatte regressiemodel; voor elke locatie-parameter combinatie wordt de RMSE (Root Mean Squared Error) van het verschil van de voorspellingen en de waargenomen waarden weergegeven.

Op de locaties waar golfparameters worden gemeten wordt over het algemeen geen wind gemeten. In de stuurfile is daarom voor elke golfparameter meetlocatie gespecificeerd van welk station de windgegevens gebruikt moeten worden, zie Tabel 4. Voor de meetlocaties in het IJsselmeer is gekozen voor de windlocatie FL2 omdat de metingen daar betrouwbaarder zijn dan op de andere windlocaties in het IJsselmeer, zie [5].

Alhoewel de beschikbare dataset ongeveer tien jaar beslaat is er voor twee van deze windklassen geen data beschikbaar. Voor deze twee klassen is de regressieanalyse uitgevoerd op grond van de gehele dataset. Op deze manier kan het regressiemodel later toch gebruikt worden als metingen in één van deze klassen vallen. Voor de volgende twee klassen waren geen data beschikbaar:

1. Windsnelheid > 12 m/s en windrichting 45-90 graden;
2. Windsnelheid > 12 m/s en windrichting 90-135 graden.

N.B Het geschatte regressiemodel staat in de directory 'Regressiemodel' van de meegeleverde DVD in het bestand ijsselmeer.vhg en in ASCII formaat in het bestand ijsselmeer_vhg.txt.



Figuur 6: Schema kalibreren regressiemodel.

Tabel 3: Gebruikte windrichtingklassen(kolommen) in graden en windsnelheidklassen(rijen) in m/s.

| | | N - NO | NO - O | O - ZO | ZO - Z | Z - ZW | ZW - W | W - NW | NW - N |
|--------|--------|--------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 0 - 45 | 45 - 90 | 90 - 135 | 135 - 180 | 180 - 225 | 225 - 270 | 270 - 315 | 315 - 360 |
| < 3Bft | 0-6 | | | | | | | | |
| < 6Bft | 6-12 | | | | | | | | |
| > 6Bft | 12-inf | | | | | | | | |

Tabel 4: Gebruikte wind lokatie per meetlokatie.

| Lokatie | Wind lokatie |
|---------|--------------|
| F25 | FL2 |
| F26 | FL2 |
| F29 | F29 |
| FL2 | FL2 |
| FL5 | FL2 |
| FL9 | FL2 |

Invloed van de initiële schatting op het eindresultaat

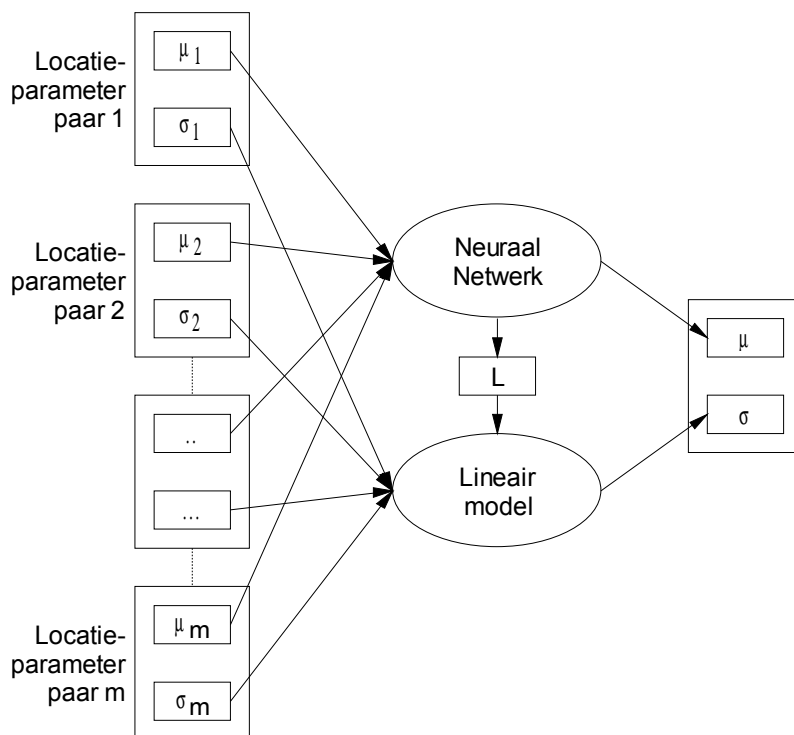
Een initiële schatting bestaat uit geschatte waarden en bijbehorende betrouwbaarheden van alle golfparameters. De initiële schatting wordt gebruikt als startpunt voor de minimalisatie van de Wavix doelfunctie. Deze drukt het verschil tussen de voorspelde en gemeten waarde gedeeld door de vermeende betrouwbaarheid uit.

De initiële schatting zou in theorie op twee manieren invloed kunnen hebben op de eindoplossing:

Als de doelfunctie meerdere lokale minima kent dan is het denkbaar dat bij verschillende startoplossingen een iteratieve oplosprocedure ook eindigt in verschillende eindoplossingen;

De vermeende betrouwbaarheid is afhankelijk van de gekozen startoplossing. De startoplossing beïnvloed derhalve de vorm van de doelfunctie.

Het 2^e aspect is toegelicht in Figuur 7. Uit dit figuur is af te leiden dat de betrouwbaarheden in de invoerreeksen van de neurale netwerken invloed hebben op de betrouwbaarheden van de geschatte waarden die in de doelfunctie gebruikt worden.

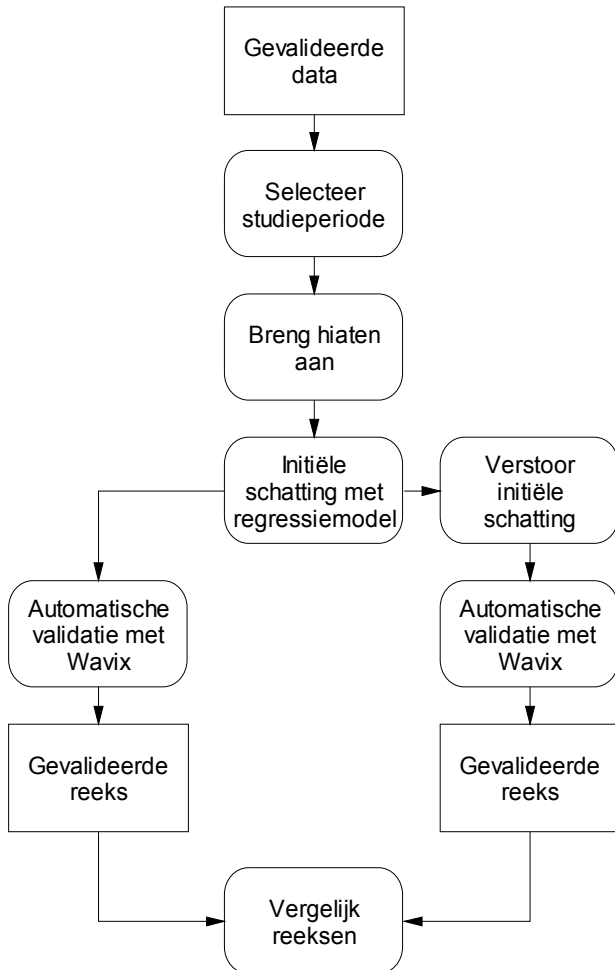


Figuur 7: Schematische werking van de neurale netwerken.

De vraag is nu:

Hoe verandert het eindresultaat van de Wavix verwerking als de initiële oplossing anders gekozen wordt?

Om deze vraag te beantwoorden zijn drie runs gemaakt waarbij de initiële schattingen en betrouwbaarheden verstoord zijn met random waarden van respectievelijk 10%, 25% en 50%. De eindresultaten van de Wavix verwerking zijn vervolgens vergeleken met het eindresultaat dat verkregen is met de originele (niet verstoorde) initiële oplossing. Zie Figuur 8 voor een schematische weergave van dit proces.



Figuur 8: Schematische weergave gevoeligheidsanalyse m.b.t. de initiële oplossing.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6. In deze tabel is voor elke parameter en locatie de RMSE als percentage van de gemiddelde waarde van de betreffende reeks te zien. Te zien is dat het verschil groeit naarmate de verstoring groter is gekozen, de gemiddelde procentuele fout groeit van 1.47% bij een verstoring van 10%, 2.79% bij een verstoring van 25% naar 4,37% bij een verstoring van 50%. Echter het verschil blijft binnen de perken, 90% van de reeksen bij een verstoring van 10% laat een verschil zien dat kleiner dan 5% is en bij een verstoring van 50% is dat percentage nog steeds 80%, zie ook Tabel 5. Over het algemeen kan gesteld worden dat de gevoeligheid afhangt van de kwaliteit van het gekalibreerde neurale netwerk. Met name voor parameters zoals T_{max} en Th_{max} zijn de neurale netwerken minder nauwkeurig (zie ook Tabel 13) en dit resulteert in een grotere gevoeligheid voor verstoringen.

Tabel 5: Resultaten gevoeligheidsanalyse m.b.t. de initiële oplossing.

| Verstoring | Percentage reeksen met fout < 5% | Gemiddelde fout | Minimale fout | Maximale fout |
|------------|----------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| 10% | 90% | 1.47% | 0% | 9.09% |
| 25% | 86.7% | 2.79% | 0.22% | 28.87% |
| 50% | 80% | 4.37% | 0.52% | 33.79% |

Tabel 6: Invloed van een verstoring van de initiële schatting op het eindresultaat als percentage van de gemiddelde waarde van de reeks.

| Locatie | Variabele | 10% verstoring | 25% verstoring | 50% verstoring |
|---------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| F25 | H1/3 | 1.08 | 0.72 | 1.67 |
| | Hm0 | 1.88 | 1.56 | 2.71 |
| | Hmax | 1.11 | 0.89 | 1.63 |
| | T1/3 | 0.41 | 0.37 | 2.79 |
| | TH1/3 | 9.0 | 6.98 | 10.89 |
| | THmax | 0.36 | 0.28 | 0.52 |
| | Tm01 | 0.28 | 0.22 | 2.24 |
| | Tm02 | 2.67 | 2.04 | 3.35 |
| | Tmax | 0.65 | 0.53 | 0.97 |
| | Tmmin10 | 0.67 | 0.4 | 1.47 |
| F26 | H1/3 | 0.33 | 1.47 | 1.38 |
| | Hm0 | 0.31 | 1.2 | 1.52 |
| | Hmax | 0.25 | 1.37 | 1.95 |
| | T1/3 | 0.18 | 1.89 | 2.52 |
| | TH1/3 | 0.21 | 2.07 | 2.03 |
| | THmax | 1.29 | 13.45 | 11.25 |
| | Tm01 | 0.24 | 1.88 | 2.46 |
| | Tm02 | 0.15 | 1.91 | 1.6 |
| | Tmax | 0.84 | 17.06 | 14.68 |
| | Tmmin10 | 0.2 | 1.86 | 2.36 |
| F29 | H1/3 | 0.42 | 0.98 | 2.15 |
| | Hm0 | 0.38 | 0.69 | 2.0 |
| | Hmax | 0.27 | 0.56 | 1.37 |
| | T1/3 | 0.18 | 0.3 | 1.03 |
| | TH1/3 | 1.6 | 0.65 | 3.43 |
| | THmax | 3.97 | 12.64 | 9.11 |
| | Tm01 | 0.3 | 0.46 | 1.53 |
| | Tm02 | 0.48 | 0.32 | 0.97 |
| | Tmax | 0.44 | 1.13 | 1.29 |
| | Tmmin10 | 0.05 | 0.27 | 1.14 |
| FL2 | H1/3 | 0.38 | 1.85 | 3.55 |
| | Hm0 | 0.4 | 1.62 | 6.49 |
| | Hmax | 0.37 | 1.01 | 4.56 |
| | T1/3 | 0.08 | 1.08 | 1.42 |
| | TH1/3 | 9.09 | 28.87 | 33.79 |
| | THmax | 8.88 | 17.36 | 28.24 |
| | Tm01 | 3.51 | 5.99 | 10.14 |
| | Tm02 | 0.42 | 1.17 | 2.45 |
| | Tmax | 8.96 | 3.66 | 13.27 |
| | Tmmin10 | 0.88 | 5.38 | 6.7 |
| FL5 | H1/3 | 0.61 | 0.85 | 1.51 |
| | Hm0 | 0.6 | 0.73 | 1.76 |
| | Hmax | 0.86 | 0.6 | 1.61 |
| | T1/3 | 1.06 | 0.98 | 1.57 |
| | TH1/3 | 1.04 | 0.62 | 1.5 |
| | THmax | 7.68 | 0.85 | 4.33 |
| | Tm01 | 1.6 | 1.1 | 1.95 |
| | Tm02 | 1.14 | 0.6 | 1.69 |
| | Tmax | 6.0 | 0.83 | 3.34 |
| | Tmmin10 | 2.01 | 0.9 | 1.37 |
| FL9 | H1/3 | 0.23 | 0.78 | 1.41 |
| | Hm0 | 0.32 | 0.74 | 1.9 |
| | Hmax | 0.31 | 0.67 | 1.48 |
| | T1/3 | 0.33 | 0.84 | 5.31 |
| | TH1/3 | 0.25 | 0.96 | 3.73 |
| | THmax | 0.0 | 4.59 | 4.89 |
| | Tm01 | 0.33 | 1.0 | 4.64 |
| | Tm02 | 0.25 | 0.76 | 2.2 |
| | Tmax | 0.05 | 3.9 | 7.73 |
| | Tmmin10 | 0.46 | 1.21 | 3.52 |

1.3 Neurale netwerken

De kern van het Wavix validatiemodel wordt gevormd door een set van neurale netwerken die schattingen kunnen maken van de te valideren golfparameters en de bijbehorende betrouwbaarheden door verbanden te leggen tussen deze golfparameters en parameters op andere locaties en andere tijdstippen. Na vergelijking van gemeten en geschatte waarden kunnen met een statistisch model incorrecte en ontbrekende data automatisch opgespoord en gecorrigeerd worden. Deze methode is uitgebreid gedocumenteerd in [1], [2] en [3]. Een beknopte engelse samenvatting is te vinden in [4].

Generaliserend vermogen van Neurale Netwerken

Voor het bijschatten van golfparameters kunnen in Wavix feedforward neurale netwerken gedefinieerd worden. Een belangrijke eigenschap die deze neurale netwerken moeten bezitten is *generaliserend vermogen*. De netwerken worden getraind op een set historische gegevens en de fout op deze set wordt geminimaliseerd. Het is daarbij betrekkelijk eenvoudig om precies deze gegevens te laten reproduceren door de neurale netwerken (simpelweg door voldoende neuronen en lagen in het netwerk op te nemen). Doorslaggevend is echter of het model in staat is om in nieuwe situaties nauwkeurige schattingen af te leveren.

Overfitting

De prestaties van de neurale netwerken zijn onder andere afhankelijk van de hoeveelheid trainingsgegevens en de netwerk topologie (aantal lagen, aantal neuronen en type overgangsfuncties). Als een netwerk te groot is en er te veel parameters (gewichten) geoptimaliseerd moeten worden, kan *overfitting* optreden. Als een netwerk echter te klein is, zal het niet in staat zijn om de trainingsdata voldoende nauwkeurig te reproduceren, laat staan goede voorspellingen af te leveren. Bij *overfitting* zal de fout op de trainingsset heel klein worden, maar wanneer met nieuwe gegevens en voorspelling gedaan moet worden zal de fout groot zijn. Het netwerk heeft een functie 'geleerd' die specifiek is voor de trainingsset, maar niet een afspiegeling is van het onderliggende 'fysische' model en is dus niet in staat goed te generaliseren.

Early stopping

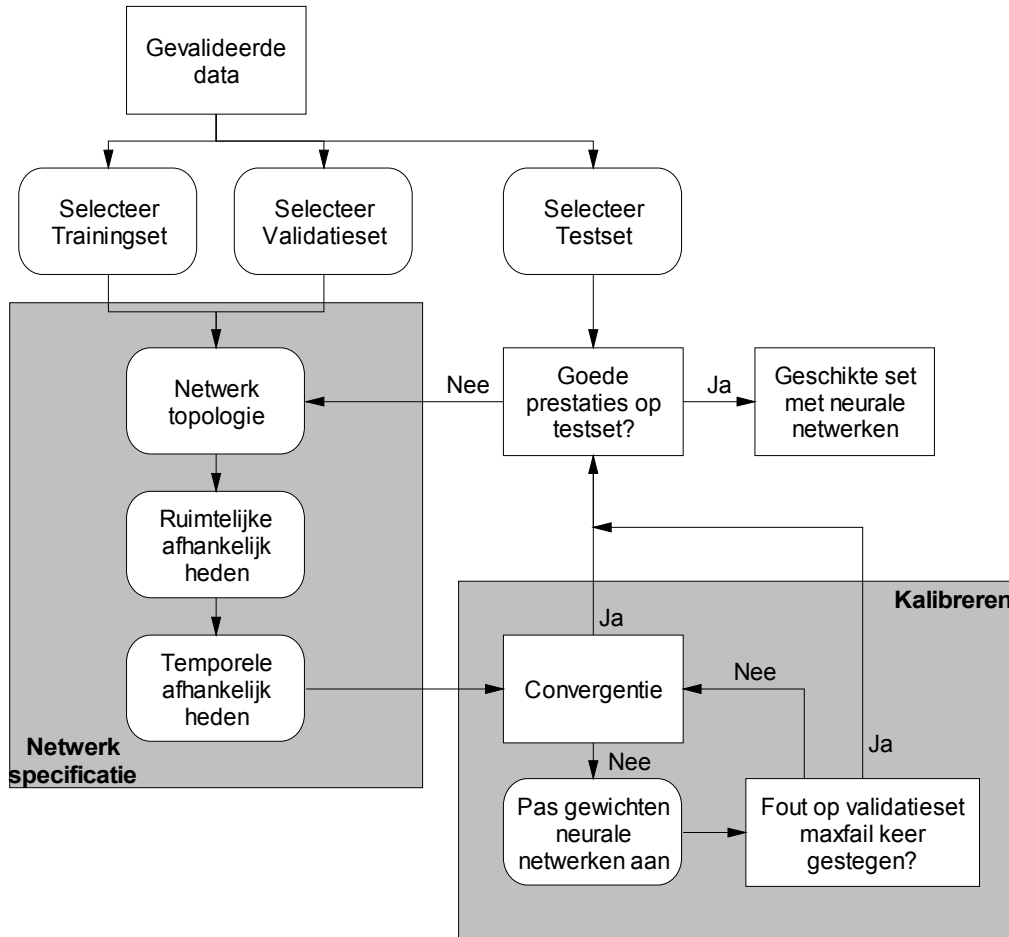
De methode die gebruikt is om overfitting te voorkomen en de generalisatie te verbeteren is de *early stopping* methode. De beschikbare gegevens worden in een *trainingsset* een *testset* en een *validatieset* opgedeeld. De netwerken worden getraind met data uit de *trainingsset* en tijdens het trainen wordt de fout op de *validatieset* gecontroleerd. Tijdens de training zal de fout op de *validatieset* net als de fout op de *trainingsset* afnemen. Als het netwerk echter begint te *overfitten*, zal de fout op de *trainingsset* blijven afnemen, terwijl de fout op de *validatieset* toeneemt. Als deze stijging voortzet, zal het trainen stoppen (na *max_fail* (zie Tabel 8) keer een stijging van de fout op de *validatieset*) en de gewichten gekozen worden behorende bij het minimum van de fout op de *validatieset*.

Selectie van de meest geschikte set met neurale netwerken

De kwaliteit van een Wavix model wordt bepaald door de nauwkeurigheid van de door de neurale netwerk geschatte waarden. Deze nauwkeurigheid wordt getest met de testset, de neurale netwerken zijn immers onafhankelijk van deze set gekalibreerd. Door nu de netwerk topologie (aantal neuronen per laag, aantal lagen, overgangsfuncties etc.) de afhankelijkheden tussen de verschillende locaties en de tijdsverschuivingen te variëren kan de best presterende set met neurale netwerken bepaald worden. Zie Figuur 9 voor een schematische weergave van de methode. In Tabel 13 is te zien is dat voor alle parameters en locaties set 1 beter presteert dan set 2 en ook beter is dan de schatting op basis van de geschatte verhoudingsgetallen.

Naast de prestaties van de neurale netwerken op de testset is het ook van belang in hoeverre de algemene Wavix validatie procedure in staat is om gemeten waarden terug te schatten. Er zijn

daarvoor twee sets met neurale netwerken gekalibreerd. Deze twee sets verschillen in de gedefiniëerde afhankelijkheden; in set 1 wordt het station zelf meegenomen in set 2 worden alleen de overige stations meegenomen. Het idee hierachter is dat de neurale netwerken dan minder afhankelijk zijn van geschatte waarden als het station niet functioneert. In sectie 1.3 wordt getest welke van deze twee sets het meest nauwkeurig de gevalideerde data benadert.



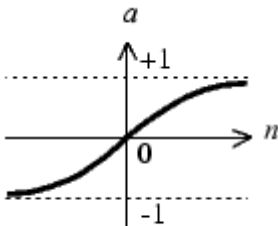
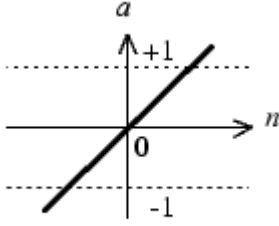
Figuur 9: Schematische weergave van de kalibratie van neurale netwerken in Wavix.

N.B In de directory 'Trainingsdata' van de meegeleverde DVD bevindt zich het werkgebied ijsselmeer_training.wv4 met de data waarop de neurale netwerken gekalibreerd zijn. De complete specificatie van de neurale netwerken is te vinden in de directory 'Netwerken' van de meegeleverde DVD in het bestand ijsselmeer1.asc en ijsselmeer2.asc. De getrainde netwerken hebben extensie .net en staan in dezelfde directory.

SET 1

De eerste set met feedforward neurale netwerken is gekozen met de configuratie gespecificeerd zoals in Tabel 7, de belangrijkste algemene instellingen zoals gespecificeerd in Tabel 8 en de veronderstelde afhankelijkheden van de data zoals beschreven in Tabel 9 en verschilt van de neurale netwerken uit set 2 vooral omdat de lokatie waarvoor de voorspelling wordt gedaan zelf ook onderdeel is van de gedefinieerde afhankelijkheden.

Tabel 7: De netwerkconfiguratie voor set 1.

| Laag 1 | Laag 2 |
|--|--|
| Aantal neuronen: 10 Overgangsfunctie: tansig | Aantal neuronen: 1 Overgangsfunctie: purelin |
|  <p>$a = \text{tansig}(n)$</p> |  <p>$a = \text{purelin}(n)$</p> |

Tabel 8: De belangrijkste algemene netwerkinstellingen voor set 1.

| Parameter | Waarde | Commentaar |
|------------------|---------|---|
| Trainingsfunctie | trainlm | Levenberg-Marquardt optimalisatie algoritme |
| Doelfunctie | MSE | Mean Squared Error |
| Pca drempel | 0 | Er wordt geen dimensie reductie uitgevoerd op de trainingsdata |
| Testset | 20 | 20 procent van de data wordt gebruikt voor het meten van de prestaties van de netwerken. De netwerken zijn geheel onafhankelijk van deze data getraind. |
| Validatieset | 20 | 20 procent van de data wordt gebruikt om tijdens de training de prestaties van de netwerken te bepalen. Als de prestaties van de netwerken verbeteren op de trainingsset maar verslechteren op de validatieset wordt gestopt. |
| Max_fail | 20 | Aantal keren (iteraties) dat de fout op de validatieset mag stijgen t.o.v. de trainingset. |

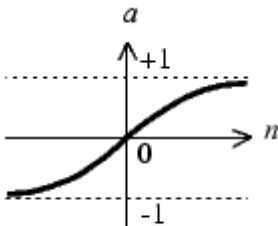
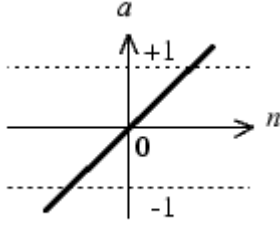
Tabel 9: Veronderstelde afhankelijkheden per golfparameter voor set 1.

| Variabele | Afhankelijkheden | Relatieve tijdstippen (20 min) |
|-----------|---|--|
| Hm0 | H1/3 op zelfde station Wathe op zelfde station Hm0 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| H1/3 | Hm0 op zelfde station Wathe op zelfde station H1/3 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Hmax | Hm0 op zelfde station Wathe op zelfde station Hmax op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tm01 | T1/3 op zelfde station Wathe op zelfde station Tm01 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tm02 | TH1/3 op zelfde station Wathe op zelfde station Tm02 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tmmin10 | T1/3 op zelfde station Wathe op zelfde station Tmmin10 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| T1/3 | Tm01 op zelfde station Wathe op zelfde station T1/3 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| TH1/3 | Tm02 op zelfde station Wathe op zelfde station TH1/3 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tmax | THmax op zelfde station Wathe op zelfde station Tmax op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| THmax | Tmax op zelfde station Wathe op zelfde station THmax op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |

SET 2

De tweede set met feedforward neurale netwerken is gekozen met de configuratie gespecificeerd zoals in Tabel 10, de belangrijkste algemene instellingen zoals gespecificeerd in Tabel 11 en de veronderstelde afhankelijkheden van de data zoals beschreven in Tabel 12 en verschilt van de neurale netwerken uit set 1 vooral omdat de lokatie waarvoor de voorspelling wordt gedaan zelf geen onderdeel is van de afhankelijkheden.

Tabel 10: De netwerkconfiguratie voor set 2.

| Laag 1 | Laag 2 |
|--|--|
| Aantal neuronen: 10 Overgangsfunctie: tansig | Aantal neuronen: 1 Overgangsfunctie: purelin |
|  <p>$a = \text{tansig}(n)$</p> |  <p>$a = \text{purelin}(n)$</p> |

Tabel 11: De belangrijkste algemene netwerkinstellingen voor set 2.

| Parameter | Waarde | Commentaar |
|------------------|---------|---|
| Trainingsfunctie | trainlm | Levenberg-Marquardt optimalisatie algoritme |
| Doelfunctie | MSE | Mean Squared Error |
| Pca drempel | 0 | Er wordt geen dimensie reductie uitgevoerd op de trainingsdata |
| Testset | 20 | 20 procent van de data wordt gebruikt voor het meten van de prestaties van de netwerken. De netwerken zijn geheel onafhankelijk van deze data getraind. |
| Validatieset | 20 | 20 procent van de data wordt gebruikt om tijdens de training de prestaties van de netwerken te bepalen. Als de prestaties van de netwerken verbeteren op de trainingsset maar verslechteren op de validatieset wordt gestopt. |
| Max_fail | 20 | Aantal keren (iteraties) dat de fout op de validatieset mag stijgen t.o.v. de trainingset. |

Tabel 12: Veronderstelde afhankelijkheden per golfparameter voor set 2.

| Variabele | Afhankelijkheden | Relatieve tijdstippen (20 min) |
|-----------|---|--|
| Hm0 | H1/3 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station Hm0 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| H1/3 | Hm0 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station H1/3 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Hmax | Hm0 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station Hmax op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tm01 | T1/3 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station Tm01 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tm02 | TH1/3 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station Tm02 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tmmin10 | T1/3 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station Tmmin10 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| T1/3 | Tm01 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station T1/3 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| TH1/3 | Tm02 op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station TH1/3 op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| Tmax | THmax op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station Tmax op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |
| THmax | Tmax op dichtstbijzijnde station Wathe op dichtstbijzijnde station THmax op stations in hetzelfde meer Wind (FL2 voor IJsselmeer, SL29 Slotermeer) | -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 -2 -1 1 2 3 -3 0 3 |

Tabel 13: Prestaties van de neurale netwerken en regressiemodel op de testset.

| Locatie | Variabele | RMSE set 1 | RMSE set 2 | RMSE vhg |
|---------|-----------|------------|------------|----------|
| F25 | H1/3 | 1.40 | 4.49 | 10.77 |
| | Hm0 | 1.44 | 4.89 | 11.22 |
| | Hmax | 5.77 | 9.96 | 20.83 |
| | T1/3 | 0.15 | 0.95 | 2.48 |
| | TH1/3 | 0.12 | 0.59 | 2.13 |
| | THmax | 1.34 | 3.31 | 10.74 |
| | Tm01 | 0.07 | 0.28 | 0.87 |
| | Tm02 | 0.06 | 0.18 | 0.71 |
| | Tmax | 3.14 | 10.74 | 21.04 |
| | Tmmin10 | 0.31 | 1.01 | 2.04 |
| F26 | H1/3 | 2.09 | 5.77 | 16.16 |
| | Hm0 | 2.08 | 5.86 | 16.92 |
| | Hmax | 7.81 | 11.73 | 29.55 |
| | T1/3 | 0.09 | 0.16 | 1.23 |
| | TH1/3 | 0.07 | 0.13 | 1.06 |
| | THmax | 0.33 | 1.27 | 3.61 |
| | Tm01 | 0.06 | 0.11 | 0.81 |
| | Tm02 | 0.04 | 0.09 | 0.74 |
| | Tmax | 1.45 | 2.04 | 6.25 |
| | Tmmin10 | 0.13 | 0.20 | 1.15 |
| F29 | H1/3 | 1.22 | 1.24 | 5.57 |
| | Hm0 | 1.30 | 1.30 | 5.95 |
| | Hmax | 4.23 | 4.23 | 11.46 |
| | T1/3 | 0.12 | 0.12 | 0.96 |
| | TH1/3 | 0.09 | 0.09 | 0.96 |
| | THmax | 0.74 | 0.74 | 4.07 |
| | Tm01 | 0.04 | 0.04 | 0.51 |
| | Tm02 | 0.03 | 0.03 | 0.45 |
| | Tmax | 2.89 | 2.89 | 11.23 |
| | Tmmin10 | 0.25 | 0.25 | 1.38 |
| FL2 | H1/3 | 1.99 | 5.35 | 10.17 |
| | Hm0 | 2.05 | 5.88 | 11.16 |
| | Hmax | 8.28 | 13.13 | 19.01 |
| | T1/3 | 0.11 | 0.38 | 1.17 |
| | TH1/3 | 0.11 | 0.33 | 1.00 |
| | THmax | 0.82 | 1.24 | 4.96 |
| | Tm01 | 0.08 | 0.16 | 0.52 |
| | Tm02 | 0.06 | 0.11 | 0.46 |
| | Tmax | 1.26 | 3.07 | 9.58 |
| | Tmmin10 | 0.13 | 0.44 | 1.13 |
| FL5 | H1/3 | 1.51 | 6.22 | 12.13 |
| | Hm0 | 1.51 | 6.40 | 12.43 |
| | Hmax | 5.40 | 12.26 | 21.95 |
| | T1/3 | 0.23 | 0.35 | 0.99 |
| | TH1/3 | 0.22 | 0.36 | 0.86 |
| | THmax | 1.49 | 1.81 | 2.92 |
| | Tm01 | 0.05 | 0.13 | 0.65 |
| | Tm02 | 0.04 | 0.11 | 0.59 |
| | Tmax | 3.21 | 4.80 | 6.10 |
| | Tmmin10 | 0.14 | 0.41 | 1.00 |
| FL9 | H1/3 | 2.18 | 5.29 | 14.12 |
| | Hm0 | 2.13 | 5.56 | 14.76 |
| | Hmax | 9.27 | 11.44 | 27.22 |
| | T1/3 | 0.10 | 0.22 | 1.11 |
| | TH1/3 | 0.09 | 0.16 | 0.91 |
| | THmax | 1.34 | 1.63 | 2.56 |
| | Tm01 | 0.04 | 0.09 | 0.73 |
| | Tm02 | 0.04 | 0.08 | 0.67 |
| | Tmax | 1.64 | 2.60 | 5.83 |
| | Tmmin10 | 0.09 | 0.28 | 1.07 |

1 Uitgevoerde experimenten

1.4 Modelvarianten

In de vorige sectie zijn twee parameter sets beschreven die 2 modelvarianten beschrijven. Set 1 representeert een model waarin naast ruimtelijke samenhang ook samenhang in de tijd wordt benut. Set 2 representeert een model dat vooral is gebaseerd op ruimtelijke samenhang. De veronderstelling is dat set 1 vooral in staat zal zijn om kortstondige uitval te remediëren, terwijl set 2 beter kan omgaan met langere periodes van uitval, of serieel gecorreleerde afwijkingen. Het is ook duidelijk dat set 2 minder invoergegevens impliceert, bij gelijke performance van set 1 en set 2 zal set 2 daarom de voorkeur genieten.

1.5 Experimenten

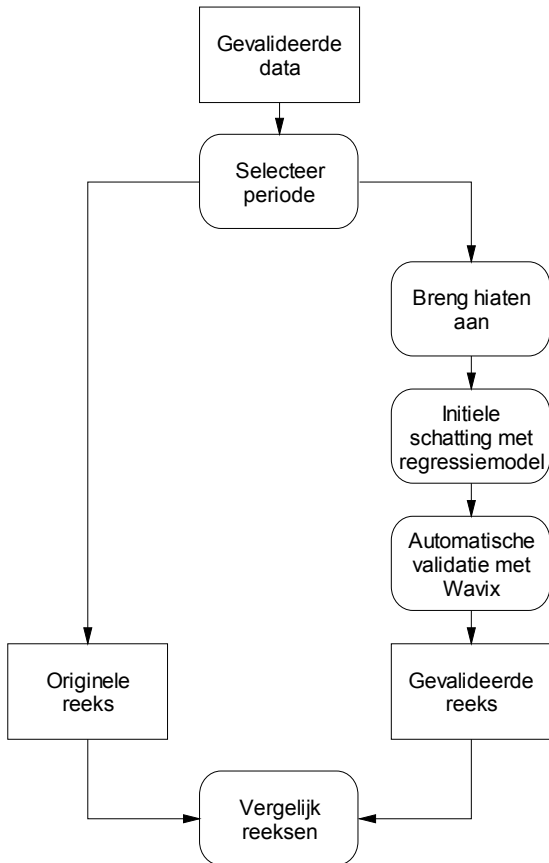
Eén van de doelen van dit project is om te bepalen in hoeverre de voorspellingen van het Wavix validatie model overeenkomen met de reeds door de directie IJsselmeergebied gevalideerde data. Op grond van dit criterium kan tevens de meest geschikte set van neurale netwerken geselecteerd worden.

Om deze set van neurale netwerken te bepalen is de volgende procedure gevolgd zoals weergegeven in Figuur 10:

1. Zet voor elke periode uit Tabel 14 een aantal periodes met een lengte van 24 uur op hiaat.
2. Voer een complete validatie met Wavix uit voor elke set met neurale netwerken.
3. Selecteer de set met neurale netwerken dat de weggelaten metingen zo goed mogelijk terugschat. Gebruik als norm de (R)oot (M)ean (S)quared (E)rror van het verschil tussen de voorspelling van de neurale netwerken en de gevalideerde waarden uit de originele dataset.

Tabel 14: Geselecteerde periodes voor de analyse van de kwaliteit van het Wavix model.

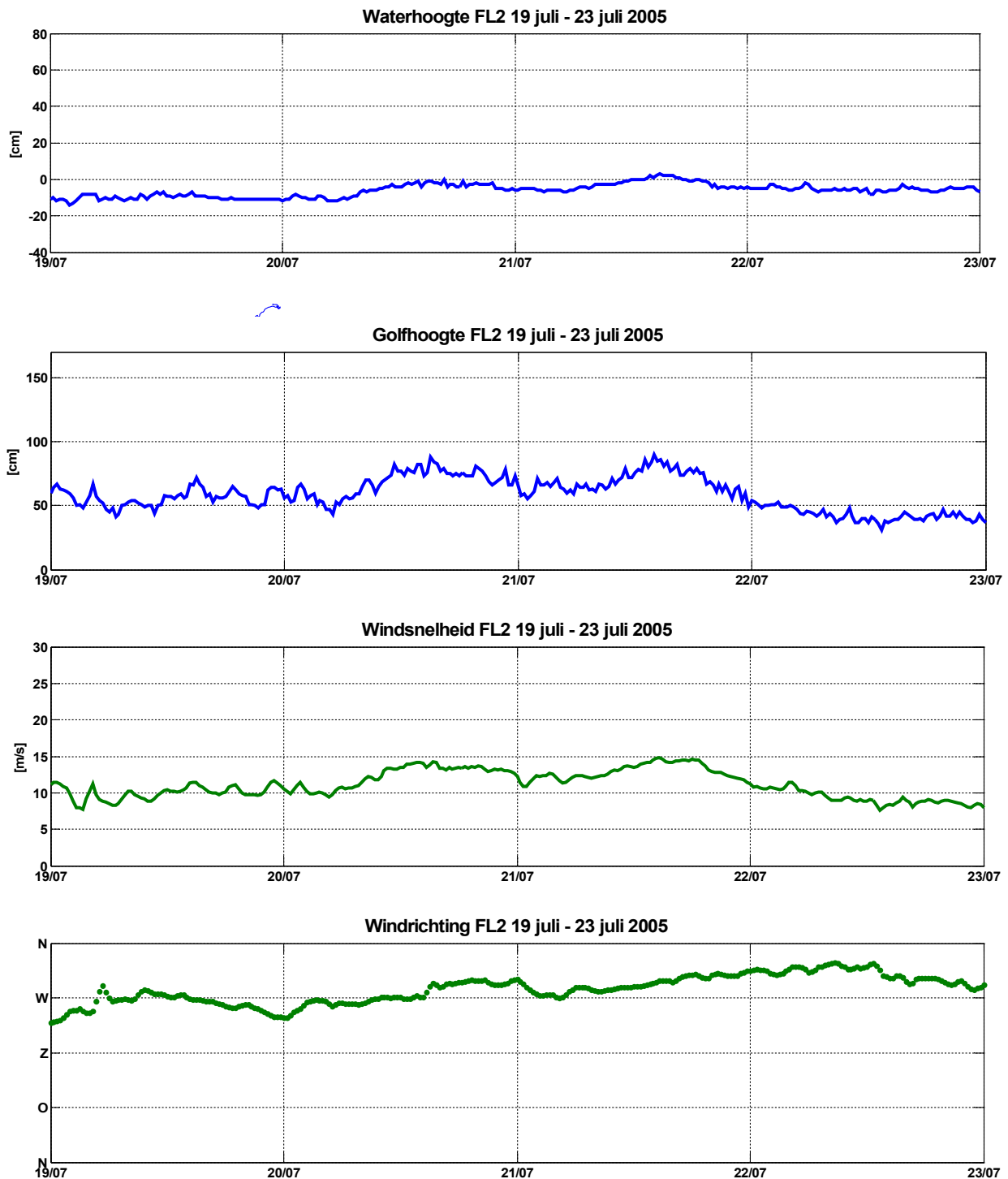
| Sectie | Datum | Jaar | Windrichting | Windkracht | Hiaten |
|--------|-------------------|------|--------------|-------------|-----------------|
| 1.6 | 19 juli – 23 juli | 2005 | W | < 5 Bft | 24 uur |
| 1.7 | 18 januari | 2007 | ZW&W | 9 Bft | 24 uur |
| 1.8 | 11 januari | 2007 | ZW | 8 Bft | 24 uur, één uur |
| 1.9 | 30 december | 2006 | ZW | 8 Bft | 24 uur |
| 1.10 | 1 november | 2006 | NNW | 8 Bft | 24 uur |
| 1.11 | 8 januari | 2005 | WZW | 8 Bft | 24 uur |
| 1.12 | 20 maart | 2004 | ZW | 8 Bft | 24 uur |
| 1.13 | 27 oktober | 2002 | ZW->WNW | piek 23 m/s | 24 uur |
| 1.14 | 9 maart | 2002 | ~W | 9 Bft | 24 uur, één uur |
| 1.15 | 26 februari | 2002 | WZW | 9 Bft | 24 uur, één uur |
| 1.16 | 28 december | 2001 | W-WNW | 8 Bft | 24 uur |



Figuur 10: Schematische weergave analyse kwaliteit van een Wavix validatie model.

De resultaten van bovenstaande procedure zijn weergegeven in secties 1.6 tot 1.16. In elke sectie is een figuur van de waterhoogte, golfhoogte en wind opgenomen alsmede tabellen met daarin de RMSE van het verschil van de originele data en het Wavix eindresultaat voor set 1 en 2 met neurale netwerken en het regressiemodel. In appendices A-C zijn bovendien van een drietal stations en voor een viertal parameters de grafieken weergegeven van de gemeten en voorspelde waarden.

1.6 Periode 19 juli – 23 juli 2005



De periode 19-23 juli 2005 werd gekenmerkt door veel algengroei en daardoor kans op fouten. De periode werd gekenmerkt door een windsterkte variërend tussen windkracht 5 Bft (8-11 m/s) tot windkracht 7 Bft (14-17 m/s). De windrichting was overwegend west. Ondanks het feit dat de meetlocatie van de waterstand in het oostelijk deel van het IJsselmeer ligt was er geen sprake van een significante opzet.



Tabel 15: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de periode 19 juli – 23 juli 2005.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 0.529 | 0.527 | 3.123 | 0.121 | 0.116 | 0.444 | 0.028 | 0.020 | 1.982 | 0.099 |
| F26 | 3.056 | 3.456 | 8.041 | 0.145 | 0.182 | 0.152 | 0.098 | 0.120 | 0.156 | 0.142 |
| F29 | 0.682 | 0.716 | 3.132 | 0.163 | 0.037 | 0.312 | 0.060 | 0.082 | 1.406 | 0.153 |
| FL2 | 1.534 | 1.503 | 6.513 | 0.114 | 0.103 | 0.193 | 0.067 | 0.066 | 0.417 | 0.079 |
| FL5 | | | | | | | | | | |
| FL9 | 3.847 | 3.513 | 7.889 | 0.107 | 0.036 | 0.139 | 0.130 | 0.029 | 0.361 | 0.073 |

Tabel 16: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de periode 19 juli – 23 juli 2005.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 4.301 | 4.650 | 7.074 | 0.370 | 0.258 | 1.002 | 0.081 | 0.096 | 3.865 | 0.652 |
| F26 | 1.824 | 2.545 | 6.730 | 0.071 | 0.084 | 0.171 | 0.067 | 0.052 | 0.150 | 0.079 |
| F29 | 0.708 | 0.719 | 3.003 | 0.128 | 0.036 | 0.361 | 0.103 | 0.084 | 1.170 | 0.075 |
| FL2 | 4.068 | 6.893 | 7.495 | 0.174 | 0.079 | 0.308 | 0.037 | 0.046 | 1.499 | 0.097 |
| FL5 | | | | | | | | | | |
| FL9 | 4.273 | 4.966 | 8.689 | 0.049 | 0.048 | 0.149 | 0.038 | 0.039 | 0.240 | 0.048 |

Tabel 17: Prestaties van het regressiemodel voor de periode 19 juli – 23 juli 2005.

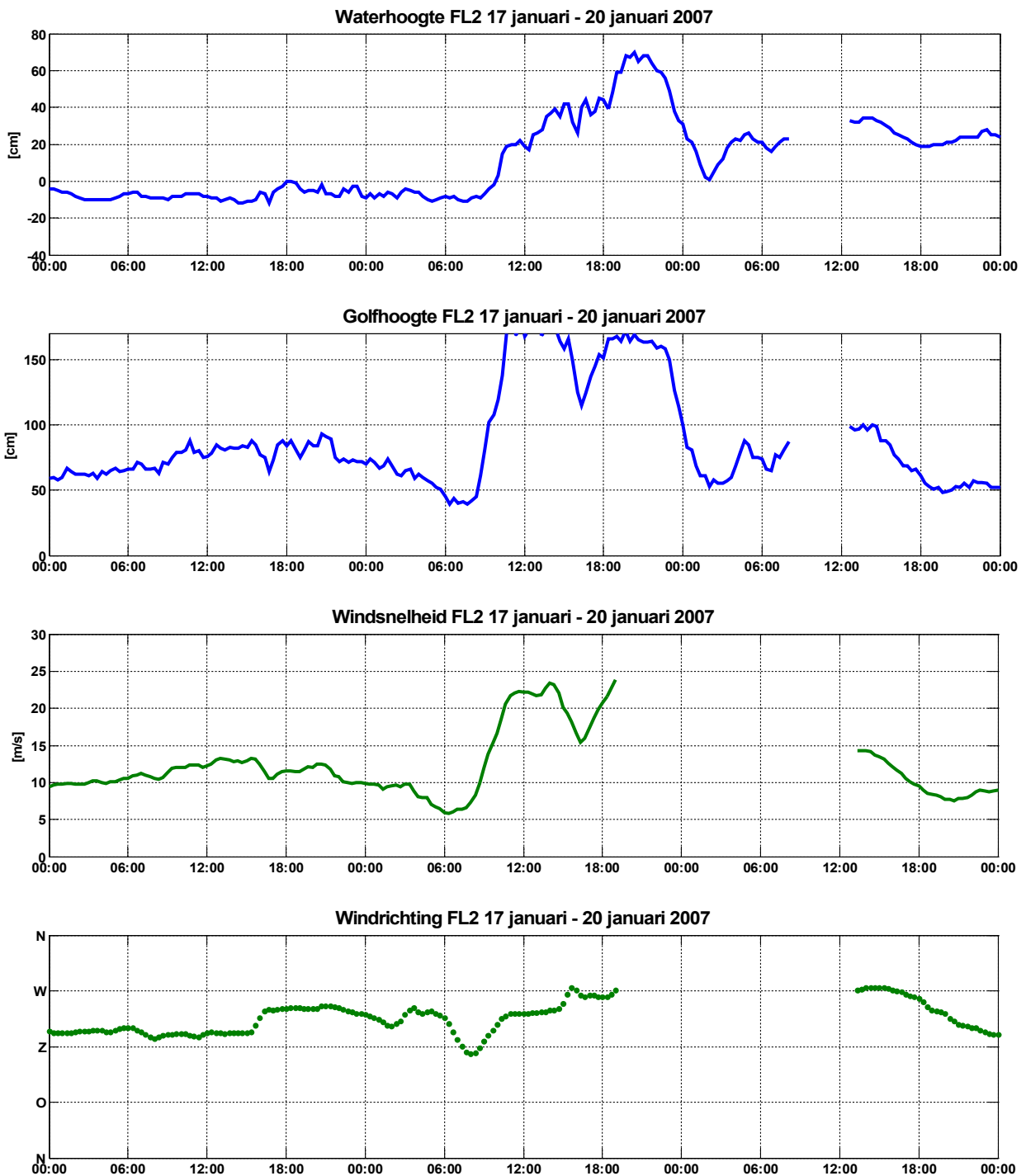
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 8.01 | 8.53 | 14.87 | 0.45 | 0.41 | 1.07 | 0.23 | 0.16 | 5.05 | 0.63 |
| F26 | 10.58 | 11.56 | 17.95 | 0.22 | 0.23 | 0.60 | 0.20 | 0.19 | 0.77 | 0.22 |
| F29 | 6.69 | 7.04 | 11.10 | 0.32 | 0.10 | 0.30 | 0.17 | 0.18 | 3.91 | 0.27 |
| FL2 | 14.18 | 13.08 | 21.79 | 0.19 | 0.09 | 0.40 | 0.08 | 0.10 | 0.57 | 0.13 |
| FL5 | | | | | | | | | | |
| FL9 | 2.70 | 4.13 | 6.69 | 0.10 | 0.04 | 0.32 | 0.03 | 0.03 | 0.32 | 0.08 |

Tabel 18: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de periode 19 juli – 23 juli 2005.

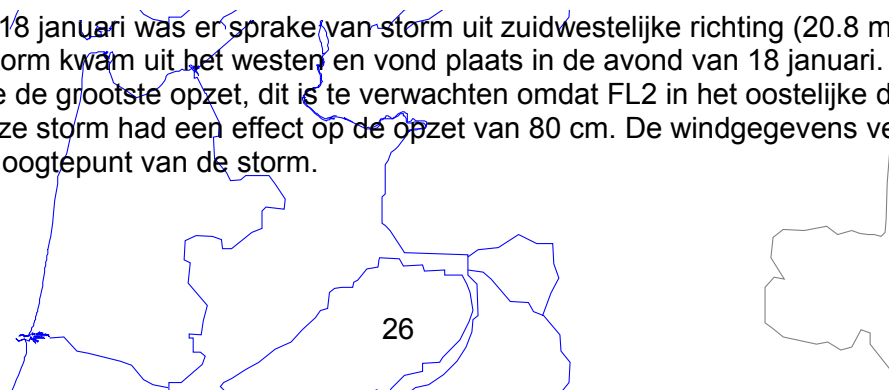
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 19.296 | 19.430 | 57.396 | 0.1300 | 0.0948 | 0.2480 | 0.0766 | 0.0634 | 0.8644 | 0.1092 |
| Set 2 | 30.348 | 39.546 | 65.982 | 0.1584 | 0.1010 | 0.3982 | 0.0652 | 0.0634 | 13.848 | 0.1902 |

De tabelcellen die de kleinste afwijking representeren zijn in bovenstaande tabellen groen gekleurd. Set 1 presteert in 29 van de 50 (58%) gevallen beter dan set 2. Dit percentage reflecteert niet de grootte van de verschillen. Met name in gevallen waarin set 1 beter presteert dan set 2 zijn veel voorbeelden te vinden waarbij het verschil zeer overtuigend is. Voor 8 van de 10 parameters (80%) is ook de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2. Opvallend is dat voor locatie F25 set 1 voor alle parameters significant beter voorspelt dan set 2.

1.7 Storm 18 januari 2007



In de ochtend van 18 januari was er sprake van storm uit zuidwestelijke richting (20.8 m/s - 24.4 m/s). De tweede storm kwam uit het westen en vond plaats in de avond van 18 januari. Deze storm veroorzaakte de grootste opzet, dit is te verwachten omdat FL2 in het oostelijke deel van het IJsselmeer ligt. Deze storm had een effect op de opzet van 80 cm. De windgegevens vertonen hiaten tijdens het hoogtepunt van de storm.



Tabel 19: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 18 januari 2007.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 16.350 | 20.046 | 25.343 | 0.428 | 0.327 | 2.161 | 0.294 | 0.143 | 3.892 | 0.493 |
| F26 | 5.191 | 4.487 | 10.384 | 0.251 | 0.199 | 0.264 | 0.064 | 0.113 | 0.495 | 0.507 |
| F29 | 2.293 | 4.462 | 5.295 | 0.328 | 0.094 | 0.366 | 0.069 | 0.051 | 1.833 | 0.317 |
| FL2 | 9.757 | 12.297 | 13.228 | 0.155 | 0.448 | 0.593 | 0.271 | 0.139 | 1.490 | 0.343 |
| FL5 | 6.010 | 7.396 | 9.452 | 0.223 | 0.129 | 0.505 | 0.065 | 0.068 | 0.849 | 0.285 |
| FL9 | 5.123 | 4.482 | 9.021 | 0.114 | 0.110 | 1.986 | 0.163 | 0.061 | 0.741 | 0.113 |

Tabel 20: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 18 januari 2007.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 19.205 | 13.670 | 23.833 | 0.703 | 0.592 | 2.534 | 0.475 | 0.308 | 3.984 | 0.489 |
| F26 | 9.220 | 10.617 | 36.160 | 0.144 | 0.136 | 0.273 | 0.110 | 0.132 | 0.474 | 0.138 |
| F29 | 1.940 | 2.071 | 4.959 | 0.094 | 0.104 | 0.346 | 0.099 | 0.094 | 2.222 | 0.374 |
| FL2 | 7.007 | 19.671 | 35.958 | 0.267 | 0.261 | 0.612 | 0.085 | 0.260 | 3.480 | 0.291 |
| FL5 | 9.761 | 4.183 | 20.107 | 0.130 | 0.180 | 0.373 | 0.123 | 0.071 | 0.508 | 0.112 |
| FL9 | 5.480 | 6.673 | 11.208 | 0.088 | 0.122 | 0.671 | 0.083 | 0.065 | 0.639 | 0.095 |

Tabel 21: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 18 januari 2007.

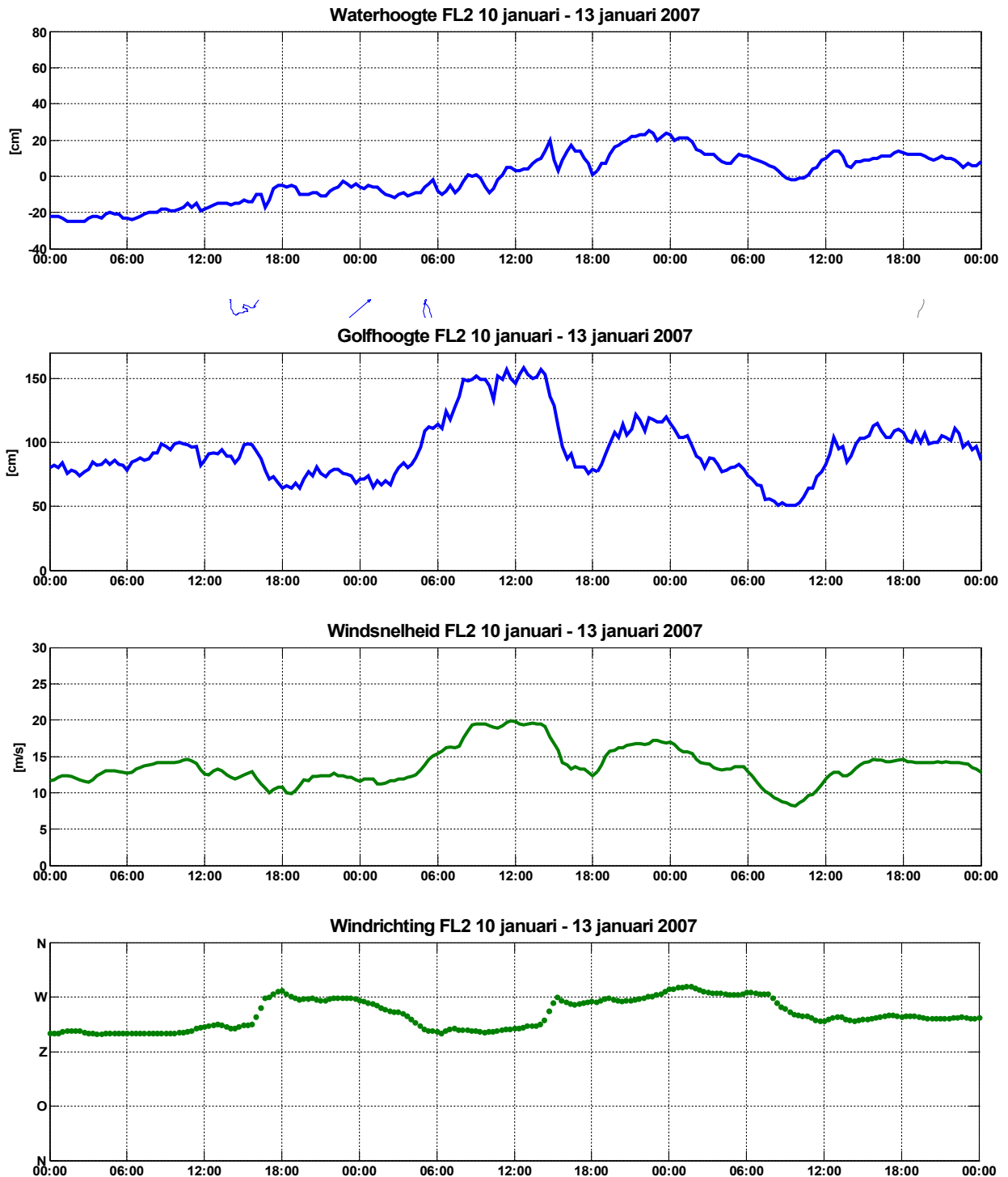
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 30.46 | 32.74 | 48.48 | 0.55 | 0.39 | 0.99 | 0.21 | 0.20 | 5.18 | 0.61 |
| F26 | 16.85 | 16.82 | 27.28 | 0.64 | 0.58 | 0.60 | 0.46 | 0.41 | 0.87 | 0.49 |
| F29 | 9.11 | 9.97 | 15.80 | 0.24 | 0.20 | 0.39 | 0.22 | 0.21 | 2.85 | 0.48 |
| FL2 | 11.35 | 12.15 | 22.94 | 0.31 | 0.27 | 0.56 | 0.22 | 0.18 | 0.80 | 0.28 |
| FL5 | 19.56 | 19.74 | 34.11 | 0.28 | 0.21 | 0.75 | 0.18 | 0.20 | 1.02 | 0.21 |
| FL9 | 11.86 | 11.62 | 27.97 | 0.21 | 0.20 | 0.63 | 0.15 | 0.13 | 0.65 | 0.21 |

Tabel 22: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 18 januari 2007.

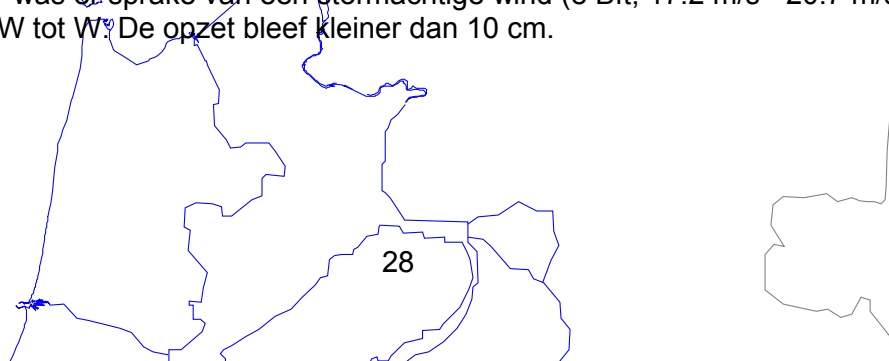
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 74.540 | 88.617 | 121.205 | 0.2498 | 0.2178 | 0.9792 | 0.1543 | 0.0958 | 15.500 | 0.3430 |
| Set 2 | 87.688 | 94.808 | 220.375 | 0.2377 | 0.2325 | 0.8015 | 0.1625 | 0.1550 | 18.845 | 0.2498 |

De tabelcellen die de kleinste afwijking representeren zijn in bovenstaande tabellen groen gekleurd. Set 1 presteert in 34 van de 60 (57%) gevallen beter dan set 2. In 7 van de 10 (70%) gevallen is ook de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2. Opvallend is dat voor parameter Tm02 set 1 voor alle locaties beter voorspelt dan set 2.

1.8 Storm 11 januari 2007



Op 11 januari 2007 was er sprake van een stormachtige wind (8 Bft, 17.2 m/s - 20.7 m/s). De windrichting was ZW tot W. De opzet bleef kleiner dan 10 cm.



Tabel 23: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 11 januari 2007.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 10.847 | 11.401 | 18.501 | 0.482 | 0.400 | 1.535 | 0.227 | 0.182 | 4.730 | 0.486 |
| F26 | 9.581 | 8.149 | 16.067 | 0.198 | 0.136 | 0.304 | 0.093 | 0.144 | 0.478 | 0.163 |
| F29 | | | | | | | | | | |
| FL2 | 10.687 | 12.315 | 16.930 | 0.070 | 0.190 | 0.439 | 0.086 | 0.041 | 0.693 | 0.207 |
| FL5 | 7.110 | 7.040 | 11.372 | 0.162 | 0.128 | 0.563 | 0.040 | 0.048 | 0.920 | 0.301 |
| FL9 | 5.628 | 5.279 | 12.834 | 0.064 | 0.062 | 1.631 | 0.085 | 0.069 | 0.516 | 0.088 |

Tabel 24: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 11 januari 2007.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 8.326 | 11.428 | 16.138 | 0.502 | 0.485 | 2.353 | 0.328 | 0.210 | 1.879 | 0.653 |
| F26 | 15.508 | 14.349 | 19.362 | 0.144 | 0.131 | 0.236 | 0.127 | 0.161 | 0.274 | 0.119 |
| F29 | | | | | | | | | | |
| FL2 | 7.129 | 16.182 | 23.111 | 0.385 | 0.188 | 0.503 | 0.074 | 0.172 | 0.437 | 0.096 |
| FL5 | 4.376 | 4.533 | 23.880 | 0.148 | 0.134 | 0.388 | 0.072 | 0.075 | 0.364 | 0.066 |
| FL9 | 5.014 | 4.459 | 12.885 | 0.074 | 0.060 | 0.546 | 0.045 | 0.041 | 0.319 | 0.070 |

Tabel 25: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 11 januari 2007.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 30.42 | 32.65 | 48.64 | 0.64 | 0.49 | 1.65 | 0.23 | 0.20 | 6.12 | 0.82 |
| F26 | 13.05 | 12.50 | 19.85 | 0.47 | 0.44 | 0.54 | 0.34 | 0.30 | 0.89 | 0.37 |
| F29 | | | | | | | | | | |
| FL2 | 13.44 | 14.02 | 25.77 | 0.21 | 0.19 | 0.62 | 0.18 | 0.16 | 0.71 | 0.19 |
| FL5 | 19.49 | 19.67 | 33.66 | 0.29 | 0.22 | 0.83 | 0.17 | 0.19 | 1.23 | 0.26 |
| FL9 | 10.14 | 9.45 | 25.62 | 0.18 | 0.18 | 0.69 | 0.12 | 0.11 | 0.88 | 0.20 |

Tabel 26: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 11 januari 2007.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 87.706 | 88.368 | 151.408 | 0.1952 | 0.1832 | 0.8944 | 0.1062 | 0.0968 | 14.674 | 0.2490 |
| Set 2 | 80.706 | 101.902 | 190.752 | 0.2506 | 0.1996 | 0.8052 | 0.1292 | 0.1318 | 0.6546 | 0.2008 |

Set 1 presteert in 23 van de 50 (46%) gevallen beter dan set 2. In 6 van de 10 (60%) gevallen is ook de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2. Opvallend is dat voor parameter Tmax set 2 voor alle locaties beter voorspelt dan set 1.

Hiaatperiode beperken tot 1 uur

Voor deze periode is bij wijze van experiment ook de situatie doorgerekend waarin de lengte van de hiaten is beperkt tot 1 uur. In dit geval is set 1 heel duidelijk superieur.

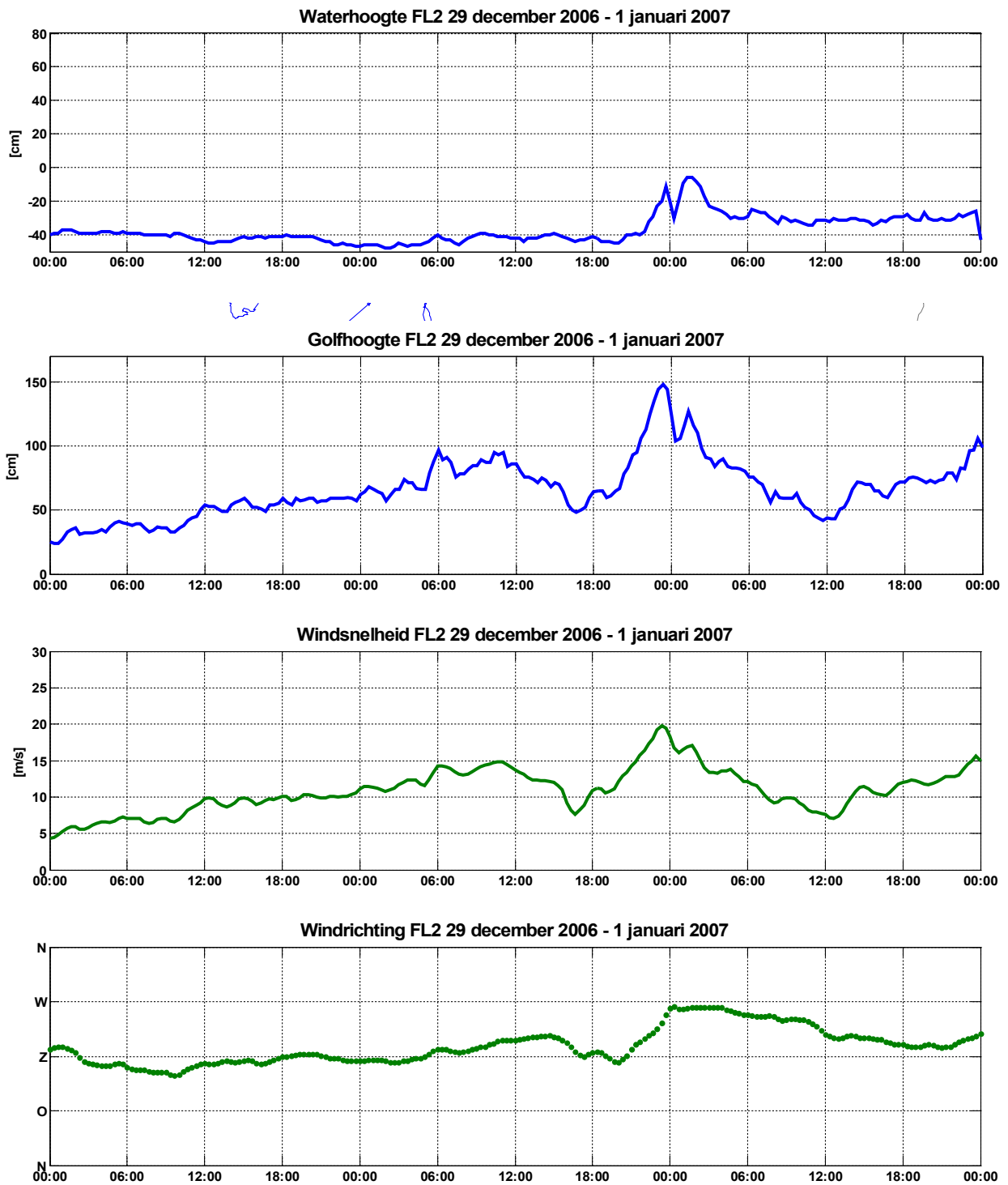
Tabel 27: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 11 januari 2007 met hiaten van één uur.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 1.183 | 1.467 | 5.024 | 0.031 | 0.039 | 0.149 | 0.020 | 0.023 | 0.629 | 0.019 |
| F26 | 1.931 | 1.827 | 4.544 | 0.041 | 0.035 | 0.149 | 0.028 | 0.024 | 0.203 | 0.029 |
| F29 | 1.131 | 1.022 | 1.866 | 0.036 | 0.021 | 0.345 | 0.023 | 0.018 | 0.121 | 0.083 |
| FL2 | 1.599 | 1.902 | 5.896 | 0.037 | 0.046 | 0.181 | 0.018 | 0.018 | 0.312 | 0.031 |
| FL5 | 1.118 | 1.171 | 3.470 | 0.064 | 0.036 | 0.241 | 0.017 | 0.013 | 0.212 | 0.029 |
| FL9 | 1.791 | 1.698 | 5.121 | 0.030 | 0.032 | 0.835 | 0.034 | 0.021 | 0.450 | 0.037 |

Tabel 28: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 11 januari 2007 met hiaten van één uur.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 5.240 | 6.692 | 9.981 | 0.252 | 0.134 | 0.897 | 0.184 | 0.126 | 1.354 | 0.314 |
| F26 | 7.210 | 6.728 | 9.972 | 0.064 | 0.048 | 0.118 | 0.055 | 0.067 | 0.226 | 0.054 |
| F29 | 0.658 | 0.722 | 1.834 | 0.022 | 0.013 | 0.346 | 0.014 | 0.010 | 2.730 | 0.023 |
| FL2 | 4.856 | 8.396 | 12.167 | 0.186 | 0.103 | 0.363 | 0.041 | 0.080 | 0.314 | 0.061 |
| FL5 | 1.897 | 2.000 | 9.835 | 0.075 | 0.066 | 0.221 | 0.040 | 0.041 | 0.173 | 0.041 |
| FL9 | 3.153 | 2.410 | 5.720 | 0.032 | 0.028 | 0.228 | 0.028 | 0.024 | 0.142 | 0.038 |

1.9 Storm 30 december 2006



Op 30 december 2006 was kortstondig sprake van een stormachtige wind uit westelijke richting (9 Bft, 17.2 m/s - 20.7 m/s). Dit had een opzet van circa 30 cm tot gevolg.



Tabel 29: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 30 december 2006.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 7.739 | 8.868 | 13.666 | 0.334 | 0.306 | 2.532 | 0.124 | 0.057 | 5.604 | 0.482 |
| F26 | 6.038 | 4.175 | 8.334 | 0.092 | 0.100 | 0.186 | 0.122 | 0.077 | 0.662 | 0.076 |
| F29 | 1.870 | 1.456 | 3.264 | 0.180 | 0.082 | 0.248 | 0.083 | 0.020 | 0.432 | 0.190 |
| FL2 | 5.012 | 6.210 | 10.280 | 0.063 | 0.144 | 0.355 | 0.045 | 0.052 | 0.826 | 0.204 |
| FL5 | 5.380 | 5.019 | 9.430 | 0.189 | 0.054 | 0.704 | 0.045 | 0.056 | 0.723 | 0.191 |
| FL9 | 6.494 | 5.435 | 15.525 | 0.067 | 0.072 | 0.617 | 0.070 | 0.072 | 0.546 | 0.069 |

Tabel 30: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 30 december 2006

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 7.145 | 12.179 | 12.318 | 0.600 | 0.790 | 1.069 | 0.179 | 0.129 | 3.385 | 0.414 |
| F26 | 8.630 | 9.870 | 13.746 | 0.078 | 0.059 | 0.216 | 0.087 | 0.118 | 0.607 | 0.137 |
| F29 | 1.960 | 1.875 | 3.522 | 0.068 | 0.062 | 0.254 | 0.056 | 0.029 | 0.608 | 0.133 |
| FL2 | 7.866 | 7.981 | 13.475 | 0.251 | 0.262 | 0.348 | 0.069 | 0.128 | 1.282 | 0.206 |
| FL5 | 5.084 | 4.537 | 7.280 | 0.105 | 0.098 | 0.271 | 0.032 | 0.049 | 0.435 | 0.054 |
| FL9 | 6.869 | 3.817 | 16.975 | 0.074 | 0.068 | 0.324 | 0.047 | 0.075 | 0.342 | 0.078 |

Tabel 31: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 30 december 2006.

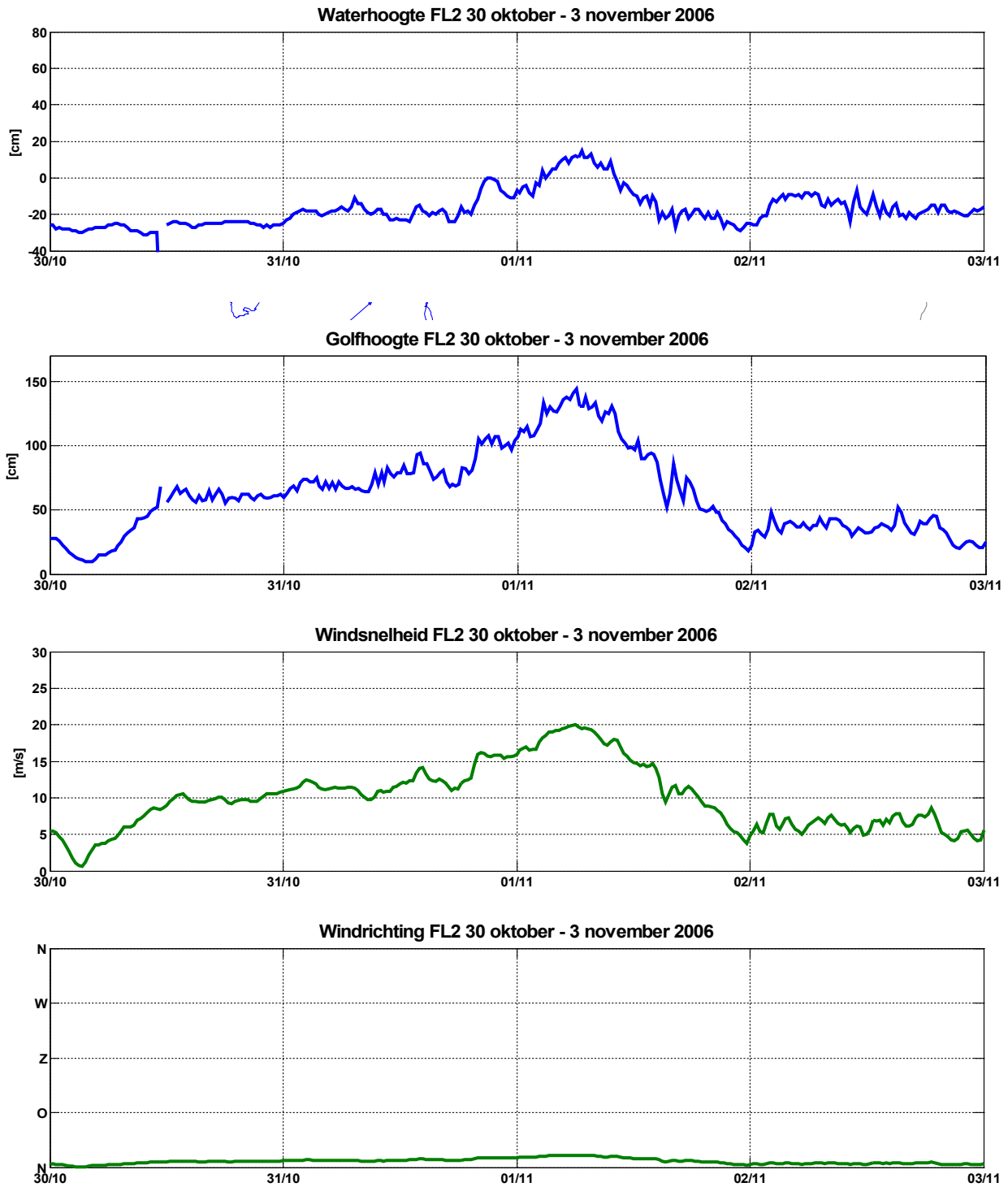
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 13.58 | 14.87 | 22.80 | 0.82 | 0.65 | 1.17 | 0.23 | 0.19 | 4.92 | 0.76 |
| F26 | 12.71 | 13.08 | 15.10 | 0.22 | 0.17 | 0.47 | 0.11 | 0.13 | 1.95 | 0.38 |
| F29 | 2.91 | 2.91 | 6.11 | 0.12 | 0.12 | 0.30 | 0.10 | 0.10 | 0.66 | 0.09 |
| FL2 | 14.41 | 13.87 | 25.12 | 0.16 | 0.10 | 0.40 | 0.09 | 0.10 | 0.62 | 0.17 |
| FL5 | 8.09 | 7.70 | 17.57 | 0.12 | 0.10 | 0.61 | 0.09 | 0.11 | 0.88 | 0.10 |
| FL9 | 13.44 | 11.01 | 29.46 | 0.15 | 0.14 | 0.47 | 0.14 | 0.15 | 0.74 | 0.10 |

Tabel 32: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 30 december 2006.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 54.222 | 51.938 | 100.832 | 0.1542 | 0.1263 | 0.7737 | 0.0815 | 0.0557 | 14.655 | 0.2020 |
| Set 2 | 62.590 | 67.098 | 112.193 | 0.1960 | 0.2232 | 0.4137 | 0.0783 | 0.0880 | 11.098 | 0.1703 |

Set 1 presteert in 32 van de 60 (53%) gevallen beter dan set 2. In 6 van de 10 (60%) gevallen is ook de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2.

1.10 Storm 1 november 2006



Op 1 november 2006 nam de wind in de ochtend toe tot stormachtig uit noordelijke richting (windkracht 9, 17.2 - 20.7 m/s). Doordat de wind uit het noorden kwam ontstond slechts een kleine opzet van 20 cm bij locatie FL2.



Tabel 33: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 1 november 2006.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|
| F25 | 19.485 | 20.266 | 26.377 | 0.921 | 0.825 | 1.777 | 0.234 | 0.232 | 6.954 | 1.031 |
| F26 | 40.601 | 40.501 | 65.257 | 8.014 | 7.239 | 51.439 | 0.451 | 0.379 | 76.692 | 3.173 |
| F29 | 2.588 | 3.922 | 8.217 | 0.249 | 0.227 | 1.874 | 0.176 | 0.079 | 6.328 | 0.894 |
| FL2 | 8.031 | 9.731 | 12.213 | 0.543 | 0.567 | 3.321 | 0.127 | 0.196 | 6.724 | 0.292 |
| FL5 | 5.491 | 4.537 | 8.468 | 0.445 | 0.342 | 0.916 | 0.180 | 0.152 | 3.578 | 0.318 |
| FL9 | 3.286 | 3.020 | 7.475 | 0.448 | 0.318 | 3.807 | 0.085 | 0.051 | 5.955 | 0.244 |

Tabel 34: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 1 november 2006.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|---------|
| F25 | 28.72 | 25.990 | 29.804 | 1.185 | 1.571 | 2.686 | 0.285 | 0.434 | 10.557 | 1.512 |
| F26 | 41.544 | 45.766 | 80.656 | 7.348 | 7.103 | 51.149 | 0.386 | 0.316 | 68.343 | 2.560 |
| F29 | 2.223 | 3.278 | 6.942 | 0.261 | 0.198 | 0.834 | 0.117 | 0.053 | 4.940 | 0.528 |
| FL2 | 11.672 | 40.043 | 46.508 | 1.101 | 0.668 | 1.986 | 0.092 | 0.207 | 7.790 | 1.196 |
| FL5 | 4.619 | 4.975 | 51.601 | 0.439 | 0.518 | 1.069 | 0.140 | 0.098 | 1.922 | 0.283 |
| FL9 | 5.266 | 4.548 | 9.544 | 0.300 | 0.321 | 0.287 | 0.066 | 0.075 | 0.584 | 0.275 |

Tabel 35: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 1 november 2006.

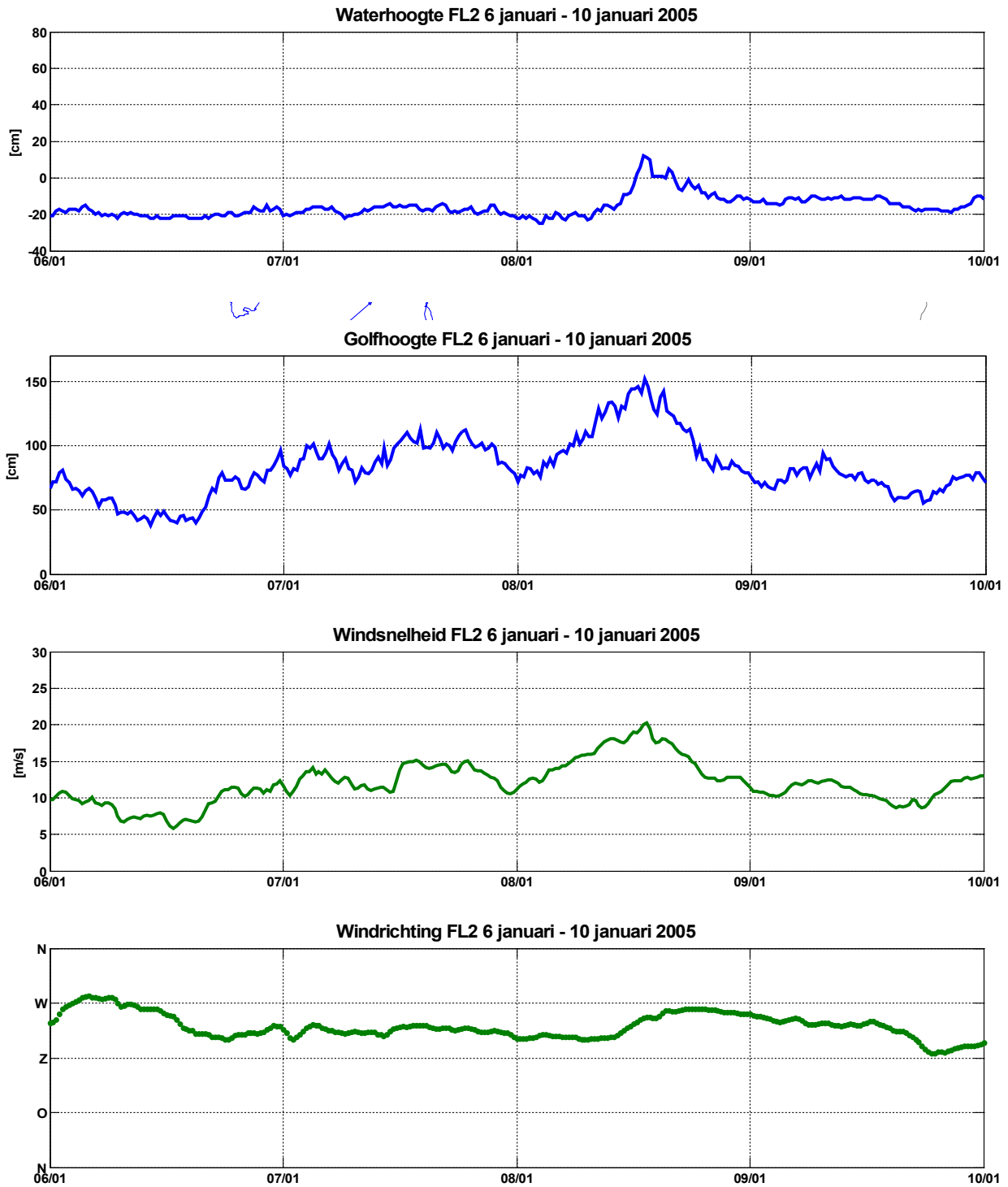
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|---------|
| F25 | 44.61 | 47.06 | 72.20 | 2.04 | 2.07 | 14.59 | 0.51 | 0.47 | 23.31 | 0.92 |
| F26 | 55.52 | 56.96 | 89.17 | 10.77 | 10.44 | 74.71 | 0.56 | 0.43 | 99.79 | 3.88 |
| F29 | 10.05 | 10.32 | 20.00 | 1.14 | 1.05 | 8.75 | 0.20 | 0.16 | 20.28 | 0.97 |
| FL2 | 17.73 | 17.23 | 41.17 | 1.75 | 1.68 | 12.97 | 0.15 | 0.13 | 19.69 | 0.72 |
| FL5 | 13.09 | 12.94 | 21.50 | 1.29 | 1.18 | 7.23 | 0.38 | 0.32 | 11.89 | 0.62 |
| FL9 | 7.94 | 6.98 | 20.06 | 1.90 | 1.96 | 15.62 | 0.16 | 0.13 | 15.52 | 0.64 |

Tabel 36: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 1 november 2006.

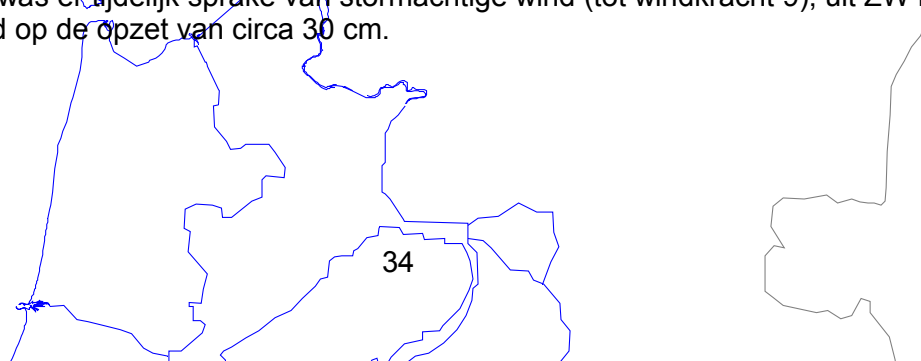
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|
| Set 1 | 132.470 | 136.628 | 213.345 | 17.700 | 15.863 | 105.223 | 0.2088 | 0.1815 | 177.052 | 0.9920 |
| Set 2 | 156.740 | 207.667 | 375.092 | 17.723 | 17.298 | 96.685 | 0.1810 | 0.1972 | 156.893 | 10.590 |

Set 1 presteert in 32 van de 60 (53%) gevallen beter dan set 2. In 7 van de 10 (70%) gevallen is ook de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2. Opvallend is dat voor locatie F25 set 1 voor alle parameters beter voorspelt dan set 2.

1.11 Storm 8 januari 2005



Op 8 januari 2005 was er tijdelijk sprake van stormachtige wind (tot windkracht 9), uit ZW richting. Dit had een invloed op de opzet van circa 30 cm.



Tabel 37: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 8 januari 2005.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 2.305 | 2.373 | 3.880 | 0.530 | 0.399 | 0.665 | 0.078 | 0.089 | 3.101 | 0.415 |
| F26 | 4.338 | 4.968 | 9.114 | 0.137 | 0.100 | 0.190 | 0.092 | 0.076 | 0.360 | 0.097 |
| F29 | 1.211 | 1.350 | 2.717 | 0.210 | 0.051 | 0.210 | 0.102 | 0.023 | 0.425 | 0.150 |
| FL2 | 7.347 | 7.995 | 12.280 | 0.131 | 0.177 | 0.281 | 0.064 | 0.097 | 0.418 | 0.156 |
| FL5 | 2.761 | 1.276 | 7.852 | 0.200 | 0.084 | 0.423 | 0.045 | 0.029 | 0.533 | 0.201 |
| FL9 | 4.767 | 4.906 | 12.682 | 0.062 | 0.058 | 0.987 | 0.104 | 0.061 | 0.418 | 0.118 |

Tabel 38: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 8 januari 2005.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 3.733 | 2.454 | 6.018 | 0.397 | 0.190 | 1.948 | 0.165 | 0.066 | 3.832 | 0.750 |
| F26 | 6.836 | 3.282 | 8.093 | 0.067 | 0.061 | 0.144 | 0.069 | 0.063 | 0.198 | 0.062 |
| F29 | 1.136 | 1.366 | 3.165 | 0.058 | 0.059 | 0.250 | 0.026 | 0.030 | 0.815 | 0.062 |
| FL2 | 4.246 | 7.331 | 20.605 | 0.212 | 0.122 | 0.250 | 0.067 | 0.064 | 0.693 | 0.104 |
| FL5 | 10.017 | 9.064 | 16.179 | 0.080 | 0.064 | 0.321 | 0.046 | 0.029 | 0.389 | 0.082 |
| FL9 | 4.723 | 5.148 | 12.877 | 0.058 | 0.059 | 0.511 | 0.060 | 0.045 | 0.248 | 0.061 |

Tabel 39: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 8 januari 2005.

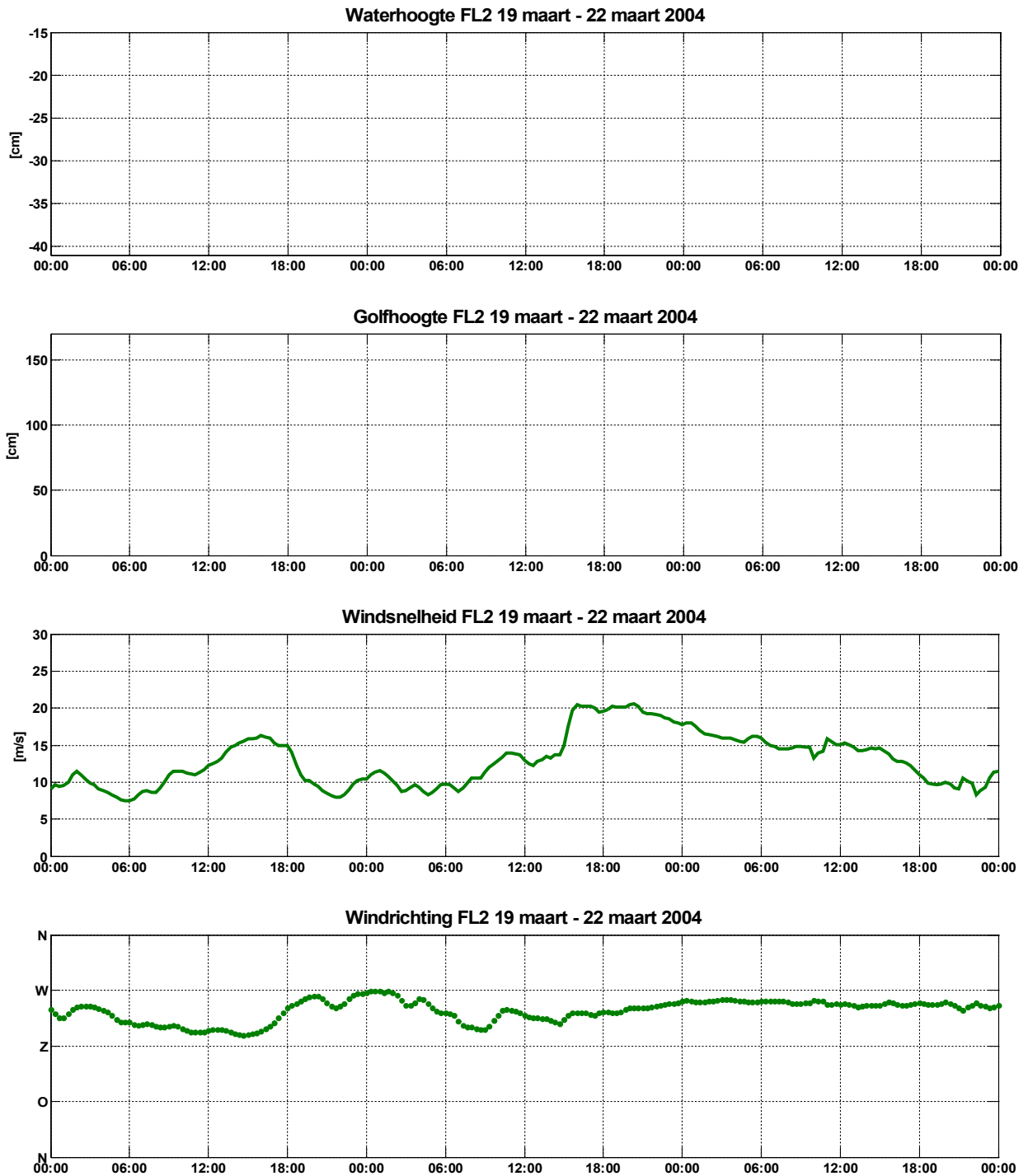
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 5.00 | 4.96 | 9.24 | 1.00 | 0.82 | 1.63 | 0.25 | 0.17 | 5.58 | 0.91 |
| F26 | 9.42 | 10.17 | 18.09 | 0.26 | 0.22 | 0.38 | 0.17 | 0.16 | 0.71 | 0.21 |
| F29 | 3.58 | 3.49 | 6.97 | 0.13 | 0.11 | 0.30 | 0.09 | 0.08 | 0.59 | 0.17 |
| FL2 | 15.64 | 16.65 | 25.05 | 0.13 | 0.12 | 0.45 | 0.13 | 0.15 | 0.70 | 0.09 |
| FL5 | 20.69 | 19.24 | 35.52 | 0.13 | 0.11 | 0.85 | 0.12 | 0.15 | 1.00 | 0.14 |
| FL9 | 9.19 | 9.86 | 21.41 | 0.13 | 0.13 | 0.55 | 0.14 | 0.13 | 0.66 | 0.12 |

Tabel 40: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 8 januari 2005.

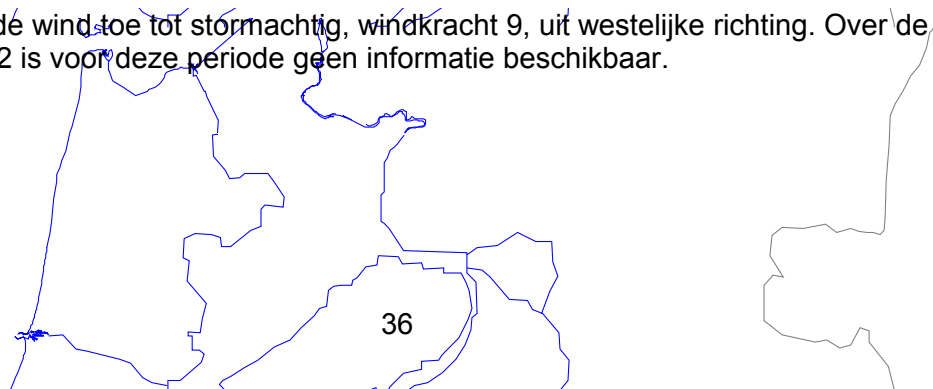
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 37.882 | 38.113 | 80.875 | 0.2117 | 0.1448 | 0.4593 | 0.0808 | 0.0625 | 0.8758 | 0.1895 |
| Set 2 | 51.152 | 47.742 | 111.562 | 0.1453 | 0.0925 | 0.5707 | 0.0722 | 0.0495 | 10.292 | 0.1868 |

Set 1 presteert in 25 van de 60 (42%) gevallen beter dan set 2. In 5 van de 10 (50%) gevallen is ook de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2.

1.12 Storm 20 maart 2004



Op 20 maart nam de wind toe tot stormachtig, windkracht 9, uit westelijke richting. Over de waterhoogte bij FL2 is voor deze periode geen informatie beschikbaar.



Tabel 41: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 20 maart 2004.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 4.573 | 5.119 | 6.609 | 0.569 | 0.498 | 0.832 | 0.145 | 0.143 | 3.769 | 0.494 |
| F26 | 5.580 | 7.060 | 9.325 | 0.291 | 0.177 | 0.235 | 0.102 | 0.150 | 0.295 | 0.193 |
| F29 | 1.563 | 3.852 | 3.908 | 0.167 | 0.078 | 0.227 | 0.072 | 0.024 | 0.623 | 0.290 |
| FL2 | 2.476 | 2.193 | 1.839 | 0.176 | 0.055 | 0.101 | 0.004 | 0.018 | 0.421 | 0.111 |
| FL5 | 15.580 | 14.667 | 23.351 | 0.274 | 0.080 | 0.433 | 0.093 | 0.067 | 0.979 | 0.191 |
| FL9 | 9.766 | 10.802 | 14.976 | 0.101 | 0.097 | 1.100 | 0.115 | 0.060 | 0.789 | 0.181 |

Tabel 42: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 20 maart 2004.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 4.393 | 2.468 | 6.789 | 0.621 | 0.572 | 2.997 | 0.247 | 0.060 | 4.341 | 0.987 |
| F26 | 8.724 | 5.433 | 8.173 | 0.105 | 0.072 | 0.175 | 0.066 | 0.074 | 0.185 | 0.102 |
| F29 | 2.003 | 3.649 | 3.997 | 0.080 | 0.050 | 0.288 | 0.043 | 0.042 | 1.987 | 0.089 |
| FL2 | 6.090 | 14.535 | 17.430 | 0.185 | 0.240 | 0.446 | 0.036 | 0.039 | 1.374 | 0.223 |
| FL5 | 12.757 | 16.481 | 26.035 | 0.105 | 0.105 | 0.377 | 0.073 | 0.094 | 0.814 | 0.116 |
| FL9 | 12.666 | 10.146 | 16.487 | 0.079 | 0.086 | 0.771 | 0.076 | 0.055 | 0.366 | 0.089 |

Tabel 43: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 20 maart 2004.

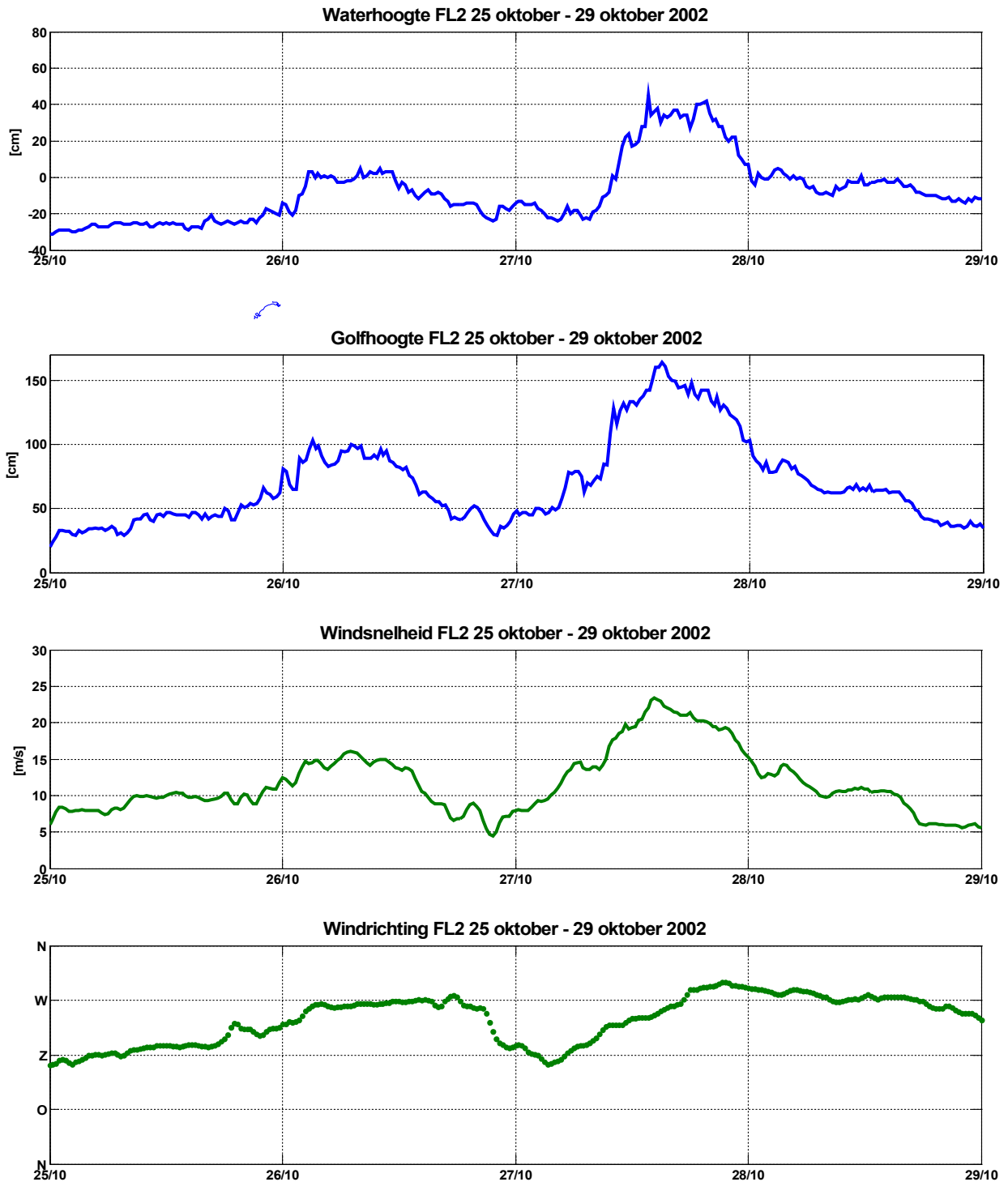
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 9.42 | 10.28 | 13.83 | 0.80 | 0.66 | 1.53 | 0.27 | 0.23 | 4.60 | 0.45 |
| F26 | 14.87 | 15.50 | 25.59 | 0.22 | 0.20 | 0.31 | 0.11 | 0.10 | 0.40 | 0.20 |
| F29 | 9.17 | 9.51 | 13.19 | 0.12 | 0.09 | 0.36 | 0.07 | 0.07 | 0.67 | 0.17 |
| FL2 | 15.34 | 18.97 | 20.72 | 0.16 | 0.15 | 0.19 | 0.05 | 0.09 | 0.74 | 0.14 |
| FL5 | 24.63 | 25.19 | 41.80 | 0.15 | 0.12 | 0.69 | 0.23 | 0.23 | 1.06 | 0.12 |
| FL9 | 15.72 | 17.89 | 27.95 | 0.12 | 0.14 | 0.77 | 0.12 | 0.10 | 0.51 | 0.13 |

Tabel 44: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 20 maart 2004.

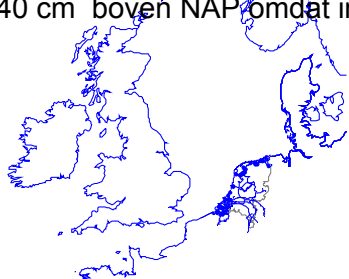
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 65.897 | 72.822 | 100.013 | 0.2630 | 0.1642 | 0.4880 | 0.0885 | 0.0770 | 11.460 | 0.2433 |
| Set 2 | 77.722 | 87.853 | 131.518 | 0.1958 | 0.1875 | 0.8423 | 0.0902 | 0.0607 | 15.112 | 0.2677 |

Set 1 presteert in 29 van de 60 (48%) gevallen beter dan set 2. Toch is voor 8 van de 10 (80%) gevallen de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2. Opvallend is dat voor locatie FL2 set 1 voor alle parameters beter voorspelt dan set 2.

1.13 Storm 27 oktober 2002



Op 27 oktober 2002 was er sprake van storm (windkracht 10, 20.8-24.4 m/s). Tijdens de storm was de windrichting west. De impact op de opzet was circa 70 cm. De waterhoogte bleef beperkt tot circa 40 cm boven NAP omdat in de rustsituatie de waterhoogte circa 30 cm onder NAP bedroeg.



Tabel 45: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 27 oktober 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 4.830 | 4.841 | 6.950 | 0.495 | 0.385 | 2.006 | 0.133 | 0.138 | 4.274 | 0.370 |
| F26 | 4.733 | 5.486 | 9.290 | 0.201 | 0.113 | 0.214 | 0.056 | 0.074 | 0.378 | 0.090 |
| F29 | 1.313 | 2.292 | 4.473 | 0.308 | 0.101 | 0.995 | 0.089 | 0.041 | 1.238 | 0.432 |
| FL2 | 3.503 | 4.288 | 8.775 | 0.117 | 0.301 | 0.917 | 0.132 | 0.069 | 1.051 | 0.172 |
| FL5 | 2.996 | 3.699 | 5.404 | 0.173 | 0.107 | 0.337 | 0.049 | 0.030 | 0.673 | 0.213 |
| FL9 | 4.057 | 4.151 | 7.585 | 0.068 | 0.061 | 1.454 | 0.094 | 0.047 | 0.555 | 0.147 |

Tabel 46: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 27 oktober 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 2.104 | 2.656 | 6.686 | 0.436 | 0.355 | 2.823 | 0.143 | 0.081 | 3.998 | 0.553 |
| F26 | 4.430 | 3.538 | 8.369 | 0.117 | 0.079 | 0.222 | 0.065 | 0.059 | 0.385 | 0.128 |
| F29 | 1.597 | 2.382 | 4.659 | 0.061 | 0.071 | 1.060 | 0.122 | 0.056 | 1.242 | 0.354 |
| FL2 | 3.991 | 4.483 | 8.157 | 0.144 | 0.141 | 1.319 | 0.064 | 0.106 | 2.726 | 0.200 |
| FL5 | 2.875 | 3.480 | 6.042 | 0.096 | 0.118 | 0.279 | 0.054 | 0.078 | 0.436 | 0.068 |
| FL9 | 4.649 | 3.022 | 8.576 | 0.078 | 0.053 | 0.583 | 0.047 | 0.035 | 0.333 | 0.113 |

Tabel 47: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 27 oktober 2002.

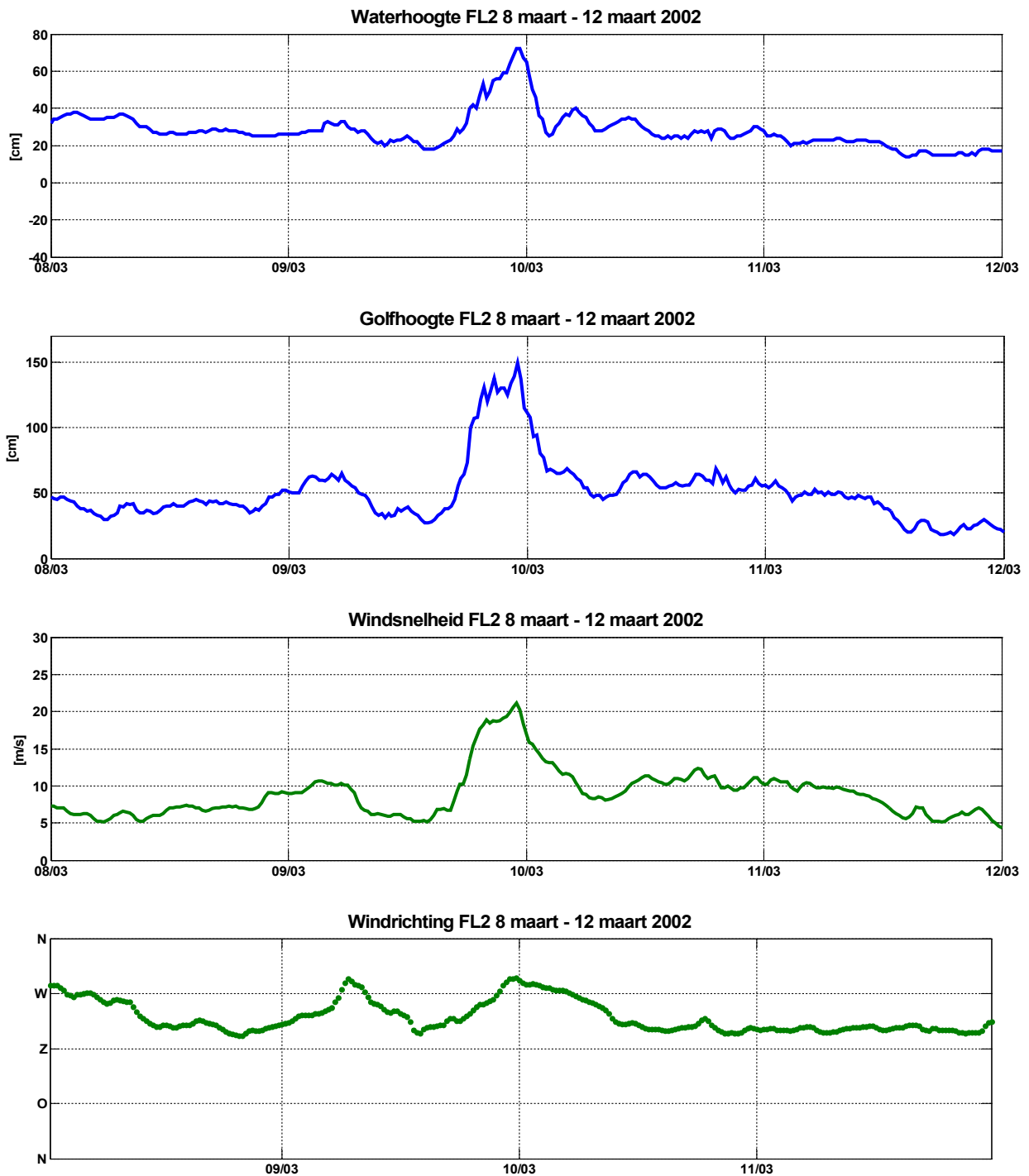
| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 9.43 | 9.95 | 13.75 | 0.92 | 0.73 | 3.42 | 0.33 | 0.26 | 7.62 | 0.71 |
| F26 | 12.99 | 11.92 | 25.64 | 0.24 | 0.22 | 0.51 | 0.14 | 0.12 | 0.80 | 0.20 |
| F29 | 5.87 | 5.96 | 9.88 | 0.14 | 0.12 | 2.00 | 0.12 | 0.09 | 2.18 | 0.58 |
| FL2 | 10.29 | 13.36 | 28.33 | 0.14 | 0.15 | 1.70 | 0.15 | 0.14 | 1.59 | 0.21 |
| FL5 | 8.41 | 8.49 | 13.83 | 0.18 | 0.12 | 0.56 | 0.17 | 0.18 | 0.92 | 0.12 |
| FL9 | 9.47 | 9.87 | 20.27 | 0.16 | 0.14 | 0.60 | 0.13 | 0.12 | 0.75 | 0.18 |

Tabel 48: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 27 oktober 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 35.720 | 41.262 | 70.795 | 0.2270 | 0.1780 | 0.9872 | 0.0922 | 0.0665 | 13.615 | 0.2373 |
| Set 2 | 32.743 | 32.602 | 70.815 | 0.1553 | 0.1362 | 10.477 | 0.0825 | 0.0692 | 15.200 | 0.2360 |

Set 1 presteert in 28 van de 60 (47%) gevallen beter dan set 2. Slechts in 4 van de 10 (40%) gevallen is de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2.

1.14 Storm 9 maart 2002



In de nacht van 9 op 10 maart 2002 nam de wind toe tot stormachtig, windkracht 9, uit westelijke richting. De opzet van ongeveer 50 cm was keurig zoals verwacht .



Tabel 49: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 9 maart 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 3.367 | 5.169 | 6.706 | 0.444 | 0.194 | 2.348 | 0.140 | 0.075 | 8.496 | 0.232 |
| F26 | 3.705 | 4.233 | 6.608 | 0.069 | 0.065 | 0.181 | 0.051 | 0.040 | 0.352 | 0.050 |
| F29 | 1.041 | 1.373 | 2.301 | 0.156 | 0.051 | 2.341 | 0.045 | 0.019 | 2.316 | 0.152 |
| FL2 | 2.813 | 1.830 | 7.291 | 0.070 | 0.201 | 0.313 | 0.109 | 0.069 | 0.543 | 0.234 |
| FL5 | 4.746 | 5.324 | 8.907 | 0.183 | 0.081 | 0.265 | 0.074 | 0.063 | 0.812 | 0.132 |
| FL9 | 1.889 | 1.631 | 5.311 | 0.037 | 0.046 | 1.042 | 0.064 | 0.017 | 0.444 | 0.068 |

Tabel 50: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 9 maart 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 2.259 | 2.538 | 4.754 | 0.299 | 0.687 | 1.437 | 0.201 | 0.104 | 2.492 | 0.408 |
| F26 | 3.170 | 3.249 | 5.124 | 0.060 | 0.063 | 0.156 | 0.062 | 0.044 | 0.184 | 0.067 |
| F29 | 1.203 | 1.814 | 2.620 | 0.079 | 0.051 | 2.349 | 0.038 | 0.024 | 2.272 | 0.256 |
| FL2 | 3.649 | 3.335 | 16.750 | 0.165 | 0.255 | 0.256 | 0.048 | 0.045 | 1.782 | 0.105 |
| FL5 | 4.480 | 4.770 | 7.701 | 0.066 | 0.096 | 0.174 | 0.077 | 0.040 | 0.271 | 0.086 |
| FL9 | 3.185 | 2.658 | 6.099 | 0.039 | 0.052 | 0.228 | 0.029 | 0.020 | 0.283 | 0.065 |

Tabel 51: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 9 maart 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 6.30 | 6.80 | 11.96 | 0.88 | 0.71 | 1.81 | 0.26 | 0.19 | 5.49 | 0.65 |
| F26 | 10.06 | 10.37 | 17.47 | 0.30 | 0.25 | 0.66 | 0.18 | 0.15 | 0.98 | 0.24 |
| F29 | 6.02 | 6.22 | 8.61 | 0.21 | 0.20 | 4.61 | 0.16 | 0.14 | 4.43 | 0.33 |
| FL2 | 7.07 | 6.44 | 14.32 | 0.18 | 0.15 | 0.87 | 0.11 | 0.10 | 1.31 | 0.27 |
| FL5 | 11.30 | 11.41 | 21.51 | 0.28 | 0.21 | 0.85 | 0.12 | 0.11 | 1.39 | 0.26 |
| FL9 | 6.17 | 5.46 | 16.72 | 0.17 | 0.14 | 0.73 | 0.08 | 0.07 | 1.27 | 0.18 |

Tabel 52: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 9 maart 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 29.268 | 32.600 | 61.873 | 0.1598 | 0.1063 | 10.817 | 0.0805 | 0.0472 | 21.605 | 0.1447 |
| Set 2 | 29.910 | 30.607 | 71.747 | 0.1180 | 0.2007 | 0.7667 | 0.0758 | 0.0462 | 12.140 | 0.1645 |

Set 1 presteert in 27 van de 60 (45%) gevallen beter dan set 2. Slechts in 4 van de 10 (40%) gevallen is de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2.

Resultaten bij hiaatperiodes van 1 uur

Ook voor deze periode is een experiment uitgevoerd met relatief korte hiaat periodes. Uit de resultaten blijkt ook in dit geval dat bij hiaten van maximaal 1 uur set 1 duidelijk beter presteert.

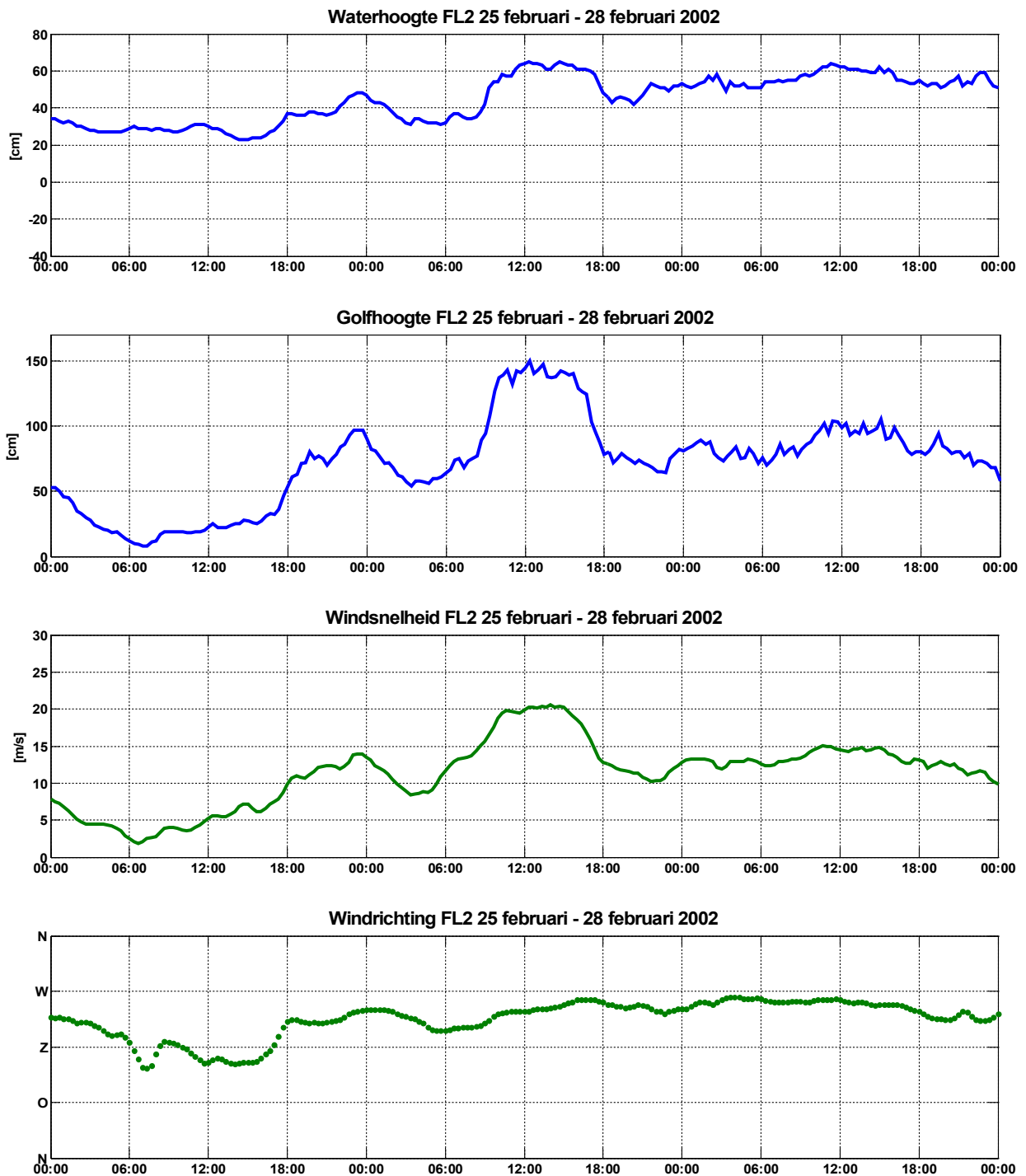
Tabel 53: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 9 maart 2002 met hiaten van één uur.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 0.783 | 0.818 | 1.631 | 0.114 | 0.104 | 0.371 | 0.052 | 0.032 | 0.995 | 0.126 |
| F26 | 2.278 | 1.851 | 4.848 | 0.039 | 0.034 | 0.075 | 0.039 | 0.033 | 0.139 | 0.031 |
| F29 | 0.622 | 0.649 | 1.690 | 0.033 | 0.017 | 0.151 | 0.015 | 0.011 | 0.472 | 0.029 |
| FL2 | 1.800 | 1.725 | 4.305 | 0.032 | 0.027 | 0.096 | 0.027 | 0.018 | 0.192 | 0.030 |
| FL5 | 1.124 | 1.311 | 3.779 | 0.027 | 0.019 | 0.109 | 0.025 | 0.019 | 0.173 | 0.030 |
| FL9 | 1.587 | 1.568 | 4.023 | 0.023 | 0.022 | 0.112 | 0.023 | 0.020 | 0.165 | 0.031 |

Tabel 54: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 9 maart 2002 met hiaten van één uur.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 0.858 | 0.812 | 1.579 | 0.227 | 0.365 | 1.121 | 0.111 | 0.057 | 1.558 | 0.200 |
| F26 | 2.442 | 2.357 | 5.035 | 0.057 | 0.032 | 0.104 | 0.045 | 0.036 | 0.162 | 0.051 |
| F29 | 0.587 | 0.663 | 1.731 | 0.024 | 0.023 | 0.219 | 0.014 | 0.012 | 0.991 | 0.032 |
| FL2 | 2.004 | 2.001 | 4.500 | 0.106 | 0.146 | 0.167 | 0.031 | 0.025 | 0.529 | 0.040 |
| FL5 | 1.850 | 1.641 | 4.547 | 0.026 | 0.034 | 0.111 | 0.026 | 0.024 | 0.176 | 0.036 |
| FL9 | 1.797 | 1.659 | 4.433 | 0.028 | 0.040 | 0.134 | 0.020 | 0.025 | 0.212 | 0.023 |

1.15 Storm 26 februari 2002



Op 26 februari 2002 was gedurende een aantal uren sprake van stormachtige wind uit zuidwestelijke richting. Het effect op de opzet bleef in dit geval beperkt, maar door de relatief hoge waterstand in de rustsituatie was er toch sprake van een waterstand van ca 60 cm boven NAP.



Tabel 55: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 26 februari 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| F25 | 4.543 | 7.836 | 11.248 | 0.876 | 0.788 | 2.468 | 0.215 | 0.182 | 13.643 | 0.242 |
| F26 | 4.515 | 5.478 | 9.651 | 0.065 | 0.077 | 0.158 | 0.083 | 0.046 | 0.421 | 0.074 |
| F29 | 1.567 | 2.183 | 4.058 | 0.213 | 0.195 | 0.624 | 0.100 | 0.074 | 0.879 | 0.496 |
| FL2 | 3.640 | 2.503 | 9.439 | 0.106 | 0.312 | 0.541 | 0.361 | 0.098 | 1.275 | 0.256 |
| FL5 | 4.977 | 6.518 | 9.149 | 0.457 | 0.247 | 1.595 | 0.164 | 0.127 | 3.475 | 0.352 |
| FL9 | 2.473 | 2.501 | 6.609 | 0.054 | 0.052 | 0.180 | 0.045 | 0.049 | 0.607 | 0.062 |

Tabel 56: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 26 februari 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 3.199 | 3.611 | 3.762 | 0.578 | 0.607 | 2.170 | 0.319 | 0.111 | 4.344 | 0.491 |
| F26 | 5.131 | 4.095 | 10.245 | 0.095 | 0.078 | 0.219 | 0.053 | 0.047 | 0.259 | 0.096 |
| F29 | 1.808 | 2.105 | 4.145 | 0.072 | 0.166 | 0.453 | 0.063 | 0.151 | 1.128 | 0.205 |
| FL2 | 5.450 | 3.746 | 14.304 | 0.187 | 0.251 | 0.382 | 0.088 | 0.103 | 1.069 | 0.202 |
| FL5 | 4.354 | 6.733 | 7.998 | 0.183 | 0.162 | 1.256 | 0.167 | 0.097 | 2.456 | 0.194 |
| FL9 | 2.661 | 3.111 | 7.192 | 0.049 | 0.045 | 0.210 | 0.039 | 0.039 | 0.308 | 0.055 |

Tabel 57: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 26 februari 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 6.60 | 8.42 | 10.87 | 0.82 | 0.64 | 2.42 | 0.18 | 0.12 | 6.50 | 0.58 |
| F26 | 8.91 | 9.84 | 20.17 | 0.18 | 0.17 | 0.60 | 0.11 | 0.09 | 1.00 | 0.16 |
| F29 | 3.82 | 3.83 | 7.05 | 0.13 | 0.11 | 0.51 | 0.10 | 0.09 | 0.89 | 0.26 |
| FL2 | 6.46 | 5.14 | 14.37 | 0.21 | 0.18 | 0.70 | 0.15 | 0.13 | 1.40 | 0.24 |
| FL5 | 9.49 | 12.06 | 21.36 | 0.35 | 0.26 | 2.25 | 0.10 | 0.09 | 4.75 | 0.32 |
| FL9 | 5.23 | 5.19 | 17.28 | 0.12 | 0.10 | 0.64 | 0.10 | 0.11 | 1.15 | 0.13 |

Tabel 58: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 26 februari 2002.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 36.192 | 45.032 | 83.590 | 0.2952 | 0.2785 | 0.9277 | 0.1613 | 0.0960 | 33.833 | 0.2470 |
| Set 2 | 37.672 | 39.002 | 79.410 | 0.1940 | 0.2182 | 0.7817 | 0.1215 | 0.0913 | 15.940 | 0.2072 |

Set 1 presteert in 24 van de 60 (40%) gevallen beter dan set 2. Slechts in 1 van de 10 (10%) gevallen is de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2.

Resultaten bij een hiaatlengte van 1 uur

Als er in plaats van hiaten van 24 uur hiaten van één uur aangebracht worden is set 1 veruit het beste.

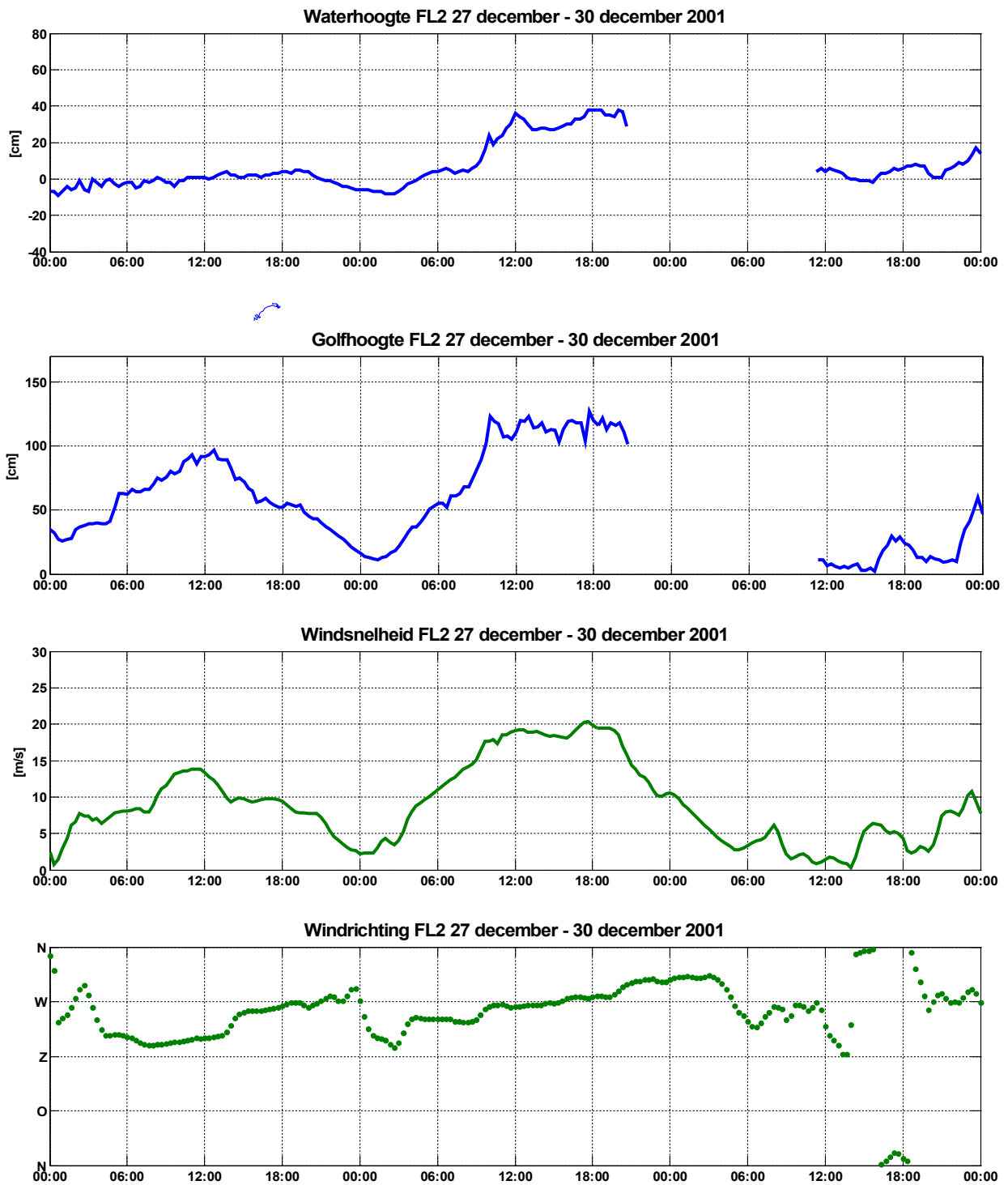
Tabel 59: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 26 februari 2002 met hiaten van één uur.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 0.581 | 0.961 | 1.519 | 0.080 | 0.034 | 0.255 | 0.019 | 0.012 | 0.833 | 0.098 |
| F26 | 1.632 | 1.466 | 5.760 | 0.028 | 0.020 | 0.067 | 0.021 | 0.019 | 0.194 | 0.026 |
| F29 | 0.676 | 0.706 | 2.294 | 0.040 | 0.022 | 0.121 | 0.014 | 0.013 | 0.230 | 0.032 |
| FL2 | 1.684 | 1.378 | 5.446 | 0.026 | 0.025 | 0.201 | 0.025 | 0.023 | 0.367 | 0.043 |
| FL5 | 1.394 | 1.598 | 3.655 | 0.029 | 0.034 | 0.382 | 0.025 | 0.024 | 0.607 | 0.037 |
| FL9 | 1.234 | 1.494 | 4.381 | 0.037 | 0.028 | 0.100 | 0.024 | 0.019 | 0.166 | 0.028 |

Tabel 60: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 26 februari 2002 met hiaten van één uur.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 1.425 | 2.199 | 1.857 | 0.356 | 0.245 | 0.680 | 0.142 | 0.050 | 1.593 | 0.273 |
| F26 | 3.647 | 2.342 | 8.713 | 0.040 | 0.030 | 0.086 | 0.028 | 0.030 | 0.155 | 0.075 |
| F29 | 0.620 | 0.637 | 2.269 | 0.021 | 0.030 | 0.160 | 0.016 | 0.013 | 0.186 | 0.029 |
| FL2 | 3.164 | 2.246 | 6.385 | 0.174 | 0.164 | 0.234 | 0.035 | 0.041 | 0.672 | 0.107 |
| FL5 | 1.878 | 2.512 | 4.321 | 0.077 | 0.069 | 0.396 | 0.083 | 0.056 | 0.330 | 0.080 |
| FL9 | 2.107 | 2.899 | 6.472 | 0.036 | 0.034 | 0.113 | 0.038 | 0.032 | 0.239 | 0.035 |

1.16 Storm 28 december 2001



Op 28 december 2001 was gedurende het grootste deel van de dag sprake van stormachtige wind (8 Bft) uit westelijke richting. Hierdoor nam de waterstand bij FL2 toe van 0 tot ca 40 cm boven NAP.



Tabel 61: Prestaties van set 1 met neurale netwerken voor de storm van 28 december 2001.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 4.082 | 4.257 | 7.117 | 0.557 | 0.468 | 1.193 | 0.175 | 0.131 | 3.502 | 0.487 |
| F26 | | | | | | | | | | |
| F29 | 2.013 | 2.542 | 4.358 | 0.279 | 0.072 | 0.567 | 0.104 | 0.035 | 1.510 | 0.324 |
| FL2 | 5.094 | 5.540 | 12.852 | 0.159 | 0.284 | 0.626 | 0.141 | 0.098 | 3.866 | 0.175 |
| FL5 | 5.168 | 4.766 | 6.843 | 0.141 | 0.087 | 0.299 | 0.065 | 0.061 | 0.816 | 0.127 |
| FL9 | 3.024 | 3.834 | 5.564 | 0.150 | 0.098 | 0.328 | 0.177 | 0.089 | 0.732 | 0.284 |

Tabel 62: Prestaties van set 2 met neurale netwerken voor de storm van 28 december 2001.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| F25 | 5.818 | 7.664 | 8.487 | 0.627 | 0.324 | 1.554 | 0.271 | 0.091 | 4.268 | 0.584 |
| F26 | | | | | | | | | | |
| F29 | 1.993 | 2.447 | 4.556 | 0.098 | 0.067 | 0.385 | 0.064 | 0.035 | 1.781 | 0.242 |
| FL2 | 7.688 | 9.310 | 17.168 | 0.272 | 0.201 | 0.665 | 0.078 | 0.078 | 1.229 | 0.127 |
| FL5 | 5.026 | 4.094 | 6.998 | 0.099 | 0.069 | 0.259 | 0.048 | 0.052 | 0.336 | 0.078 |
| FL9 | 2.605 | 3.913 | 6.178 | 0.120 | 0.060 | 0.620 | 0.074 | 0.043 | 0.379 | 0.149 |

Tabel 63: Prestaties van het regressiemodel voor de storm van 28 december 2001.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|------|---------|
| F25 | 7.29 | 7.47 | 12.54 | 0.99 | 0.80 | 1.75 | 0.31 | 0.23 | 5.23 | 0.87 |
| F26 | | | | | | | | | | |
| F29 | 4.89 | 5.18 | 10.08 | 0.17 | 0.15 | 0.40 | 0.10 | 0.09 | 2.34 | 0.23 |
| FL2 | 8.62 | 9.03 | 17.74 | 0.25 | 0.24 | 0.91 | 0.15 | 0.13 | 0.97 | 0.21 |
| FL5 | 10.72 | 10.10 | 14.93 | 0.26 | 0.21 | 0.68 | 0.17 | 0.17 | 1.21 | 0.25 |
| FL9 | 6.39 | 8.50 | 20.45 | 0.15 | 0.15 | 0.52 | 0.14 | 0.11 | 0.58 | 0.18 |

Tabel 64: Gemiddelde fout van set 1 en set 2 per parameter voor de storm van 28 december 2001.

| | H1/3 | Hm0 | Hmax | T1/3 | TH1/3 | THmax | Tm01 | Tm02 | Tmax | Tmmin10 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Set 1 | 38.762 | 41.878 | 73.468 | 0.2572 | 0.2018 | 0.6026 | 0.1324 | 0.0828 | 20.852 | 0.2794 |
| Set 2 | 46.260 | 54.856 | 86.774 | 0.2432 | 0.1442 | 0.6966 | 0.1070 | 0.0598 | 15.986 | 0.2360 |

Set 1 presteert in 19 van de 50 (38%) gevallen beter dan set 2. Slechts in 4 van de 10 (40%) gevallen is de gemiddelde fout voor alle stations van set 1 kleiner dan set 2.

1.17 Samenvatting van de resultaten voor alle experimenten

Beoordeling relatieve fouten

Terugschatten originele waarden bij hiaatperiodes van 24 uur

Op basis van de resultaten van sectie 1.6 tot 1.16 is niet direct te concluderen dat één van beide beide sets duidelijk beter presteert dan de ander. In Tabel 65 is te zien dat set 1 in ongeveer de helft van de gevallen het beste presteert en set 2 in de andere helft. Geconcludeerd kan dus worden dat beide sets ongeveer even goed presteren als de hiaten als aaneengesloten 24 uren periodes worden aangebracht.

Terugschatten originele waarden bij hiaatperiodes van één uur

Als hiaatperiodes van één uur worden aangebracht dan blijkt overduidelijk uit secties 1.8, 1.14 en 1.15 dat set 1 duidelijk beter presteert. Met set 1 kunnen dus geïsoleerde hiaten of outliers beter geschat worden en bij periodes van langere uitval zijn de prestaties vergelijkbaar met de prestaties van set 2.

Tabel 65: Samenvatting resultaten secties 1.6 tot 1.16 voor hiaatperiodes van 24 uur.

| Sectie | Datum | Jaar | Windrichting | Windkracht | Beste set |
|--------|-------------------|------|--------------|-------------|-----------|
| 1.6 | 19 juli – 23 juli | 2005 | W | < 5 Bft | Set 1 |
| 1.7 | 18 januari | 2007 | ZW&W | 9 Bft | Set 1 |
| 1.8 | 11 januari | 2007 | ZW | 8 Bft | Set 2 |
| 1.9 | 30 december | 2006 | ZW | 8 Bft | Set 1 |
| 1.10 | 1 november | 2006 | NNW | 8 Bft | Set 1 |
| 1.11 | 8 januari | 2005 | WZW | 8 Bft | Set 2 |
| 1.12 | 20 maart | 2004 | ZW | 8 Bft | Set 1 |
| 1.13 | 27 oktober | 2002 | ZW->WNW | piek 23 m/s | Set 2 |
| 1.14 | 9 maart | 2002 | ~W | 9 Bft | Set 2 |
| 1.15 | 26 februari | 2002 | WZW | 9 Bft | Set 2 |
| 1.16 | 28 december | 2001 | W-WNW | 8 Bft | Set 2 |

Beoordeling absolute fouten

Terugschatten originele waarden bij hiaatperiodes van 24 uur

Om de absolute prestatie te kunnen beoordelen is niet gekeken naar alle geschatte grootheden maar alleen naar de golfhoogte Hm0. Hiertoe zijn de berekende standaard afwijking van de Hm0 voor locatie FL2 met de gemeten werkelijk gemeten golfhoogte vergeleken. De standaard afwijking van Hm0 beweegt zich ongeveer tussen de 1 en 13 centimeter terwijl de golfhoogte tijdens de stormen varieert tussen de 120 en 170 centimeter. De relatieve fout varieert daarbij van 1 tot 8 procent.

Tabel 66: Samenvatting resultaten secties 1.6 tot 1.16 voor hiaatperiodes van 24 uur.

| Sectie | Datum | Jaar | Windrichting | Windkracht | Hm0 tijdens storm [cm] | Stdafw Hm0 [cm] | % |
|--------|-------------------|------|--------------|-------------|------------------------|-----------------|------|
| 1.6 | 19 juli – 23 juli | 2005 | W | < 5 Bft | 90 | 1.503 | 1.67 |
| 1.7 | 18 januari | 2007 | ZW&W | 9 Bft | 170 | 12.297 | 7.23 |
| 1.8 | 11 januari | 2007 | ZW | 8 Bft | 150 | 12.315 | 8.21 |
| 1.9 | 30 december | 2006 | ZW | 8 Bft | 140 | 6.210 | 4.44 |
| 1.10 | 1 november | 2006 | NNW | 8 Bft | 140 | 9.731 | 6.95 |
| 1.11 | 8 januari | 2005 | WZW | 8 Bft | 150 | 7.995 | 5.33 |
| 1.12 | 20 maart | 2004 | ZW | 8 Bft | - | - | - |
| 1.13 | 27 oktober | 2002 | ZW->WNW | piek 23 m/s | 160 | 3.699 | 2.31 |
| 1.14 | 9 maart | 2002 | ~W | 9 Bft | 140 | 1.830 | 1.31 |
| 1.15 | 26 februari | 2002 | WZW | 9 Bft | 150 | 2.503 | 1.67 |
| 1.16 | 28 december | 2001 | W-WNW | 8 Bft | 120 | 5.540 | 4.62 |

Terugschatten originele waarden bij hiaatperiodes van één uur

Als hiaatperiodes van één uur worden aangebracht dan resulteert dat in een relatieve fout voor de golfhoogte Hm0 op locatie FL2 die varieert van 0.92 tot 1.27 procent.

Tabel 67: Samenvatting resultaten secties 1.6 tot 1.16 voor hiaatperiodes van één uur.

| Sectie | Datum | Jaar | Windrichting | Windkracht | Hm0 tijdens storm [cm] | Stdafw Hm0 [cm] | % |
|--------|-------------|------|--------------|------------|------------------------|-----------------|------|
| 1.8 | 11 januari | 2007 | ZW | 8 Bft | 150 | 1.902 | 1.27 |
| 1.14 | 9 maart | 2002 | ~W | 9 Bft | 140 | 1.725 | 1.23 |
| 1.15 | 26 februari | 2002 | WZW | 9 Bft | 150 | 1.378 | 0.92 |

Conclusies en Aanbevelingen

Achtergrond

Op het IJsselmeer worden op zes locaties golven gemeten. Ook op het Slotermeer worden op één locatie golven gemeten. Voordat deze locaties kunnen worden opgenomen in het Landelijk Meetnet Water (LMW) moet worden vastgesteld of de validatie methodiek die het LMW toepast ook geschikt is voor deze binnenwateren.

De huidige studie moet deze vraag beantwoorden. Bij een positief antwoord moet de studie resulteren in een bruikbare parameterset voor Wavix, het model dat binnen het LMW wordt gebruikt voor de validatie van golfparameters.

Beschikbare meetgegevens

Voor het bepalen van de parameterset is gebruik gemaakt van gegevens die in de periode 1997-2007 zijn verzameld door de directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat, en zijn gevalideerd met software die door de directie is ontwikkeld. Deze gegevens zijn binnen het huidige project geschikt gemaakt voor opslag in DONAR.

Met behulp van deze gevalideerde data zijn een aantal testsets gemaakt van interessante periodes, voornamelijk stormen, op grond waarvan de kwaliteit van een Wavix validatie model beoordeeld kan worden.

Modelvarianten

Na overweging van alle mogelijkheden zijn twee sets met neurale netwerken gekalibreerd. Bij set 1 is ervoor gekozen om informatie van het station van de te voorspellen reeks mee te nemen en bij set 2 om alleen gebruik te maken van informatie van andere locaties. Het idee hierachter is dat de neurale netwerken dan minder afhankelijk zijn van geschatte waarden als het station niet functioneert. Daarnaast is een regressiemodel geschat voor de bepaling van initiële waarden.

Relatieve prestatie van de modelvarianten

Zoals mag worden verwacht blijkt uit de tabellen met de prestaties van het regressiemodel bij de verschillende experimenten in secties 1.6 tot 1.16 dat het regressiemodel vrijwel nooit betere resultaten oplevert dan toepassing van de neurale netwerken, bovendien zijn in een aantal gevallen de betere prestaties van het regressiemodel te wijten aan de afronding. Dit bevestigt de meerwaarde van het gebruik van neurale netwerken in Wavix.

Er zijn twee series van experimenten uitgevoerd. In de eerste serie zijn hiaatperiodes van 24 uur gesimuleerd. In de tweede serie zijn hiaatperiodes van één uur gesimuleerd.

Op grond van de experimenten met hiaatperiodes van 24 uur is op basis van de numerieke uitkomsten geen duidelijke winaar aan te wijzen; set 1 en set 2 presteren nagenoeg even goed. Op grond van experimenten met hiaatperiodes van één uur presteert set 1 heel duidelijk beter. Bij een overall toepassing, waarbij korte en lange periodes met hiaten elkaar afwisselen, mag van set 1 daarom een betere prestatie verwacht worden. Geadviseerd wordt daarom om set 1 met neurale netwerken voor het Wavix validatie model te gebruiken.

Absolute prestatie van de modelvarianten

Om de absolute prestatie te kunnen beoordelen is niet gekeken naar alle geschatte grootheden maar alleen naar de golfhoogte H_{m0} . Hiertoe zijn de berekende standaard afwijking van de H_{m0} voor locatie FL2 met de gemeten werkelijk gemeten golfhoogte vergeleken. De standaard afwijking van H_{m0} beweegt zich tussen 1 en 13 centimeter terwijl de golfhoogte tijdens de stormen varieert tussen de 120 en 170 centimeter. De relatieve fout bij 24 uren hiaatperiodes blijft daarbij onder de 10 procent. Voor het geval van hiaatperiodes van één uur blijft de relatieve fout onder de 2 procent.

Een ander aanwijzing voor de bruikbaarheid van de schattingsmethode is dat deze niet op eenvoudige wijze kan worden verbeterd met een zogenaamd naïeve schatter. In het huidige geval mag het gekalibreerde regressiemodel als een dergelijke naïeve schatter worden beschouwd, en blijkt dat het Wavix model inderdaad beter presteert dan deze naïeve schatter.

Gevoeligheidsanalyse

Er zijn een aantal experimenten uitgevoerd om de invloed van de initiële oplossing op de eindoplossing in kaart te brengen. De conclusie is dat de beginoplossing invloed heeft op de eindoplossing omdat de daarbij horende betrouwbaarheden invloed hebben op de vorm van de te minimaliseren doelfunctie. Uit de experimenten is echter gebleken dat dit effect slechts een paar procent verschil in de eindoplossing oplevert.

Modeltoepassing

De hiaten in de golfmetingen voor de periode 1997 – 2006 zijn met behulp van het Wavix validatie model bijgeschat en zijn beschikbaar via de centrale Donar database.

Overdraagbaarheid

Het huidige Wavix model voor het IJsselmeer is gekalibreerd op de periode 1997 – 2006. Na 2006 zijn een aantal meetlocaties vervangen, verplaatst of zelfs verwijderd. Voor toekomstig (online) gebruik van het Wavix model is herkalibratie van zowel het regressie model als het model met neurale netwerken noodzakelijk. Dit is een routinetaak mits de structuur van het model bij deze hercalibratie ongewijzigd wordt gehandhaafd. De herkalibratie kan plaatsvinden als er minimaal vier maanden aan nieuwe data beschikbaar zijn.

Vervolgonderzoek

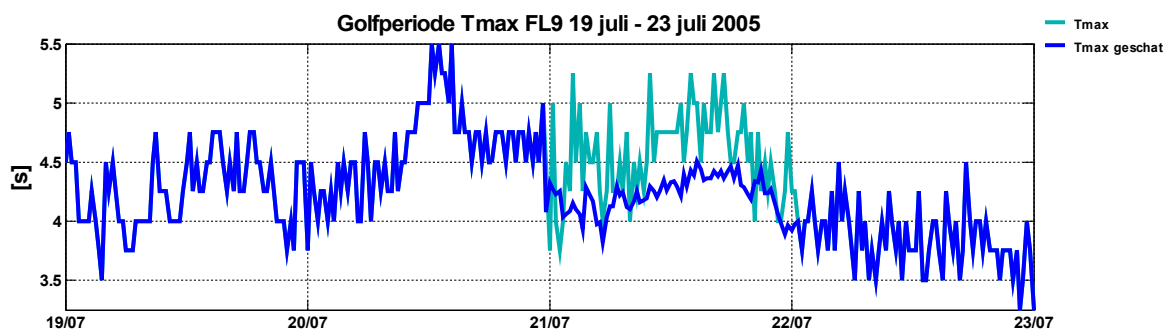
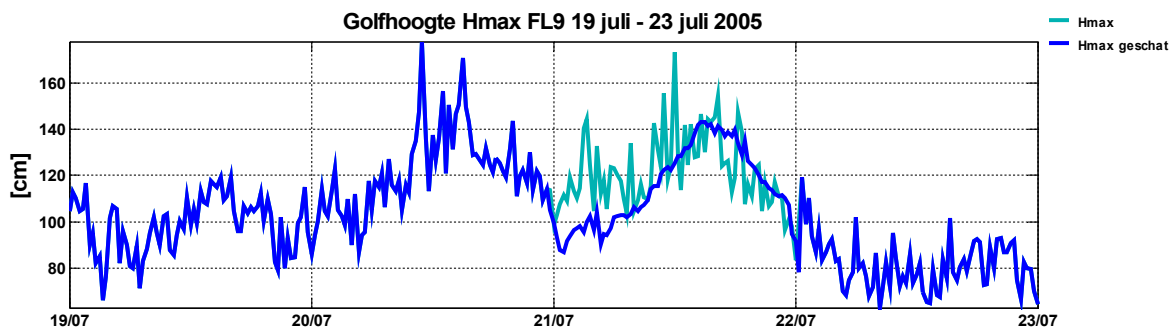
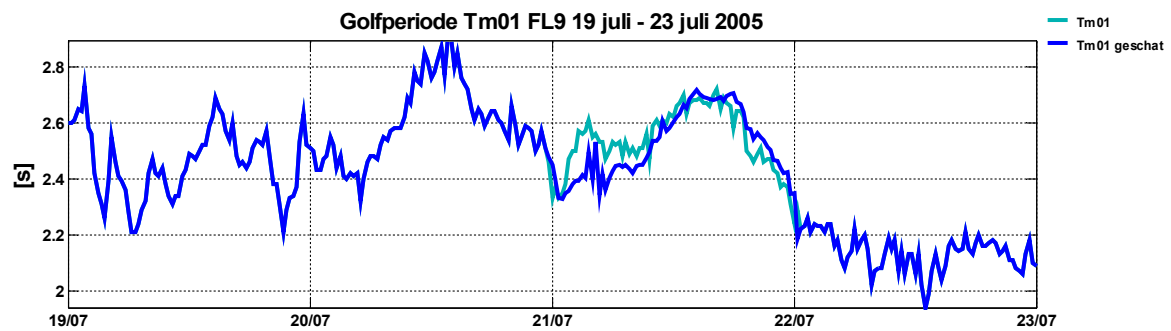
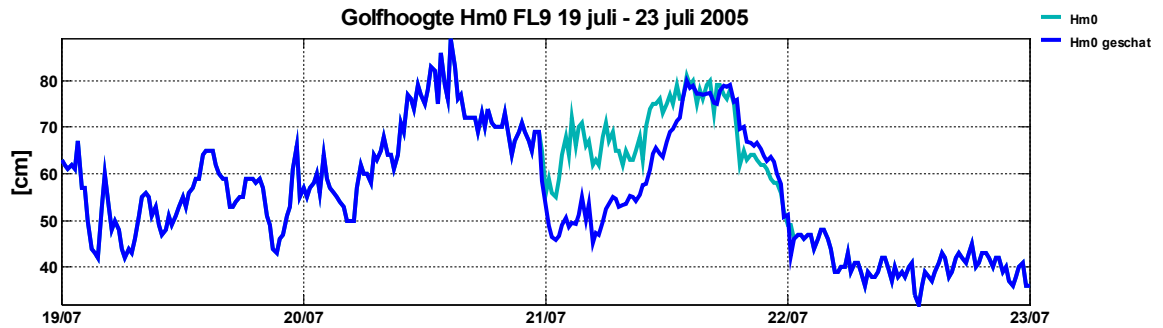
Aangezien Wavix voor het valideren van golfgegevens geen gebruik maakt van een expliciet fysisch model maar een beschrijvend model op basis van neurale netwerken gebruikt. Is het mogelijk om een soortgelijke studie als in dit rapport uit te voeren op een andere locatie en eventueel ook met andere golfparameters. Te denken valt bijvoorbeeld aan een vervolgonderzoek naar de bruikbaarheid van Wavix voor de RWS-meetcampagne in het Tai-Hu meer in China.

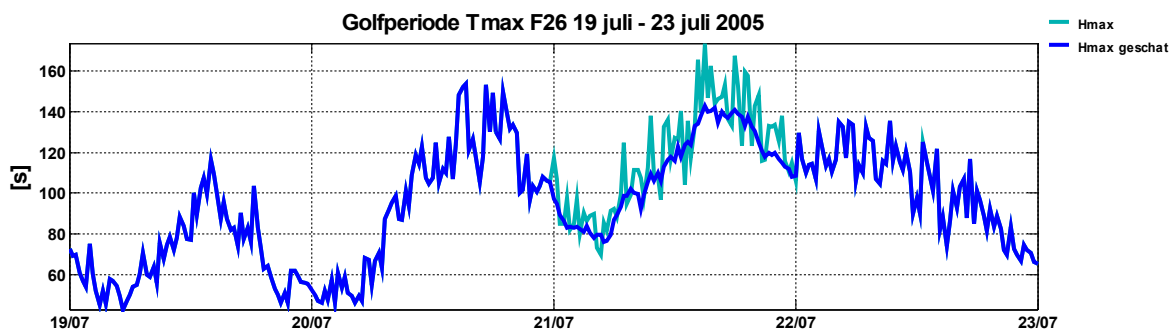
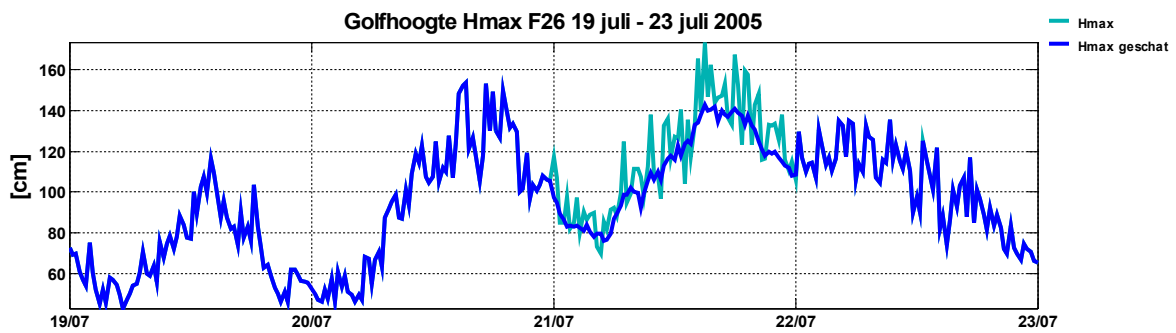
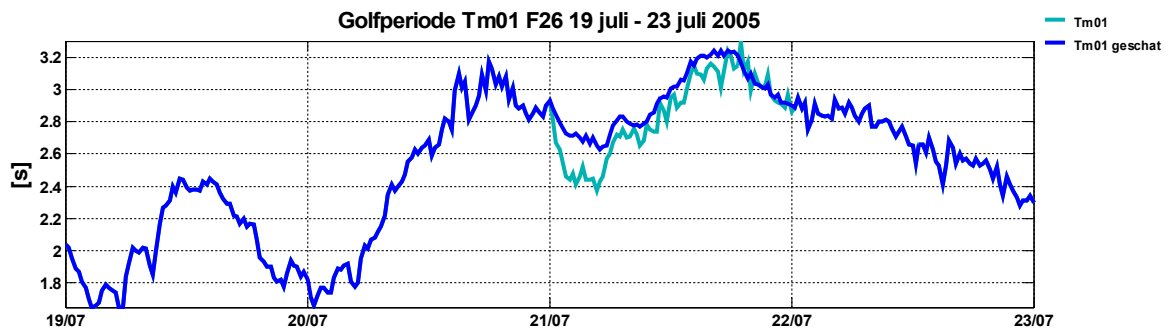
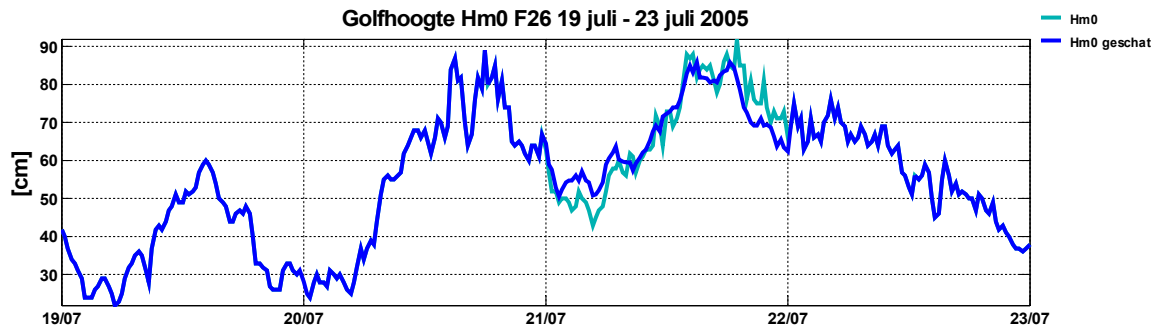
In dit rapport is een studie gedaan naar de mogelijkheid om met Wavix individuele uitschieters te detecteren en meethiaten op te vullen. Wavix beoordeelt uitschieters individueel. Hierdoor worden systematisch voorkomende meetfouten niet automatisch gedecteerd zolang het verschil tussen voorspelde en gemeten waarde onder de drempel blijft. Dergelijke fouten komen regelmatig voor als gevolg van een foute calibratiefactor, een foute offset/uitrichting, en verloop. Verloop kan ontstaan door bijvoorbeeld aangroei van algen. Fouten van dit type zijn door een deskundige wel visueel waar te nemen bij inspectie van de grafieken met meetwaardes.

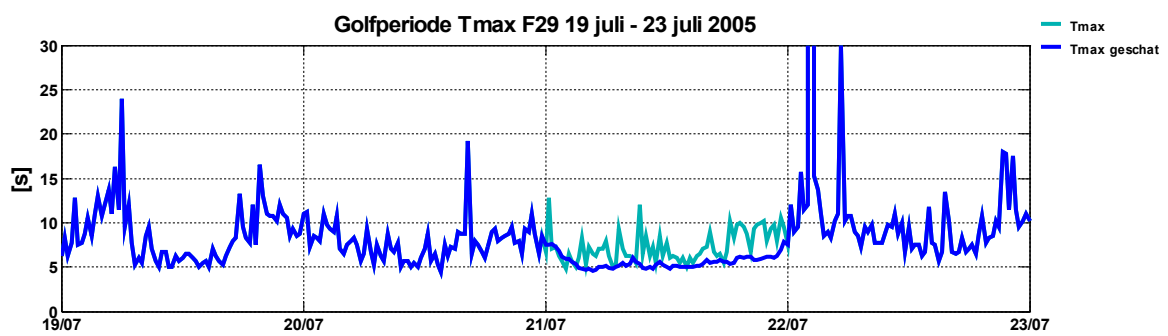
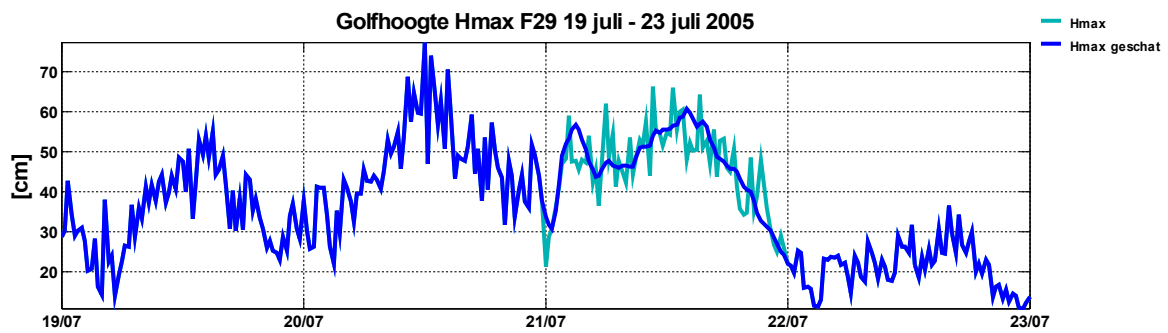
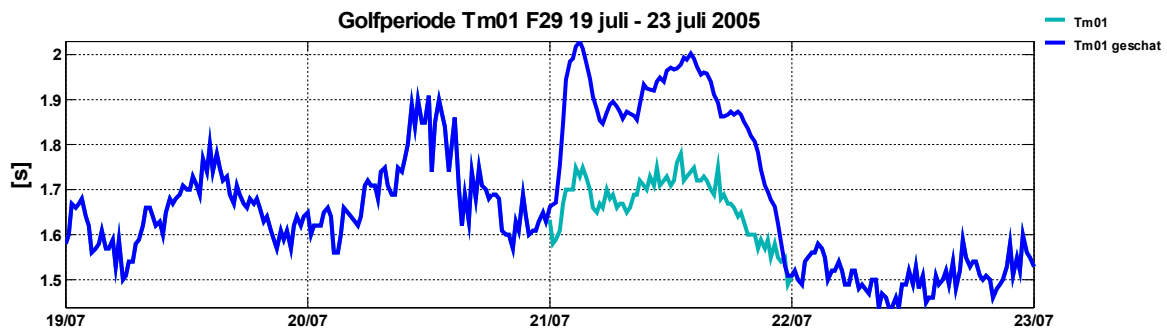
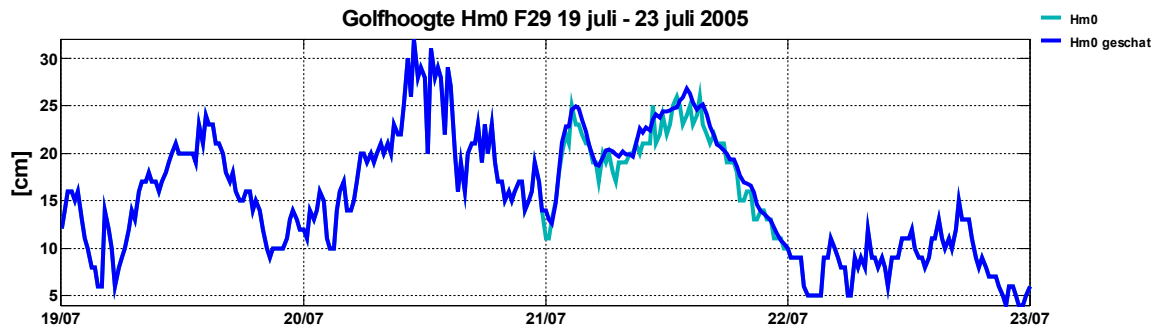
Vervolgonderzoek kan zich richten op de vraag of geleidelijk achteruitgang van de meetkwaliteit, al dan niet met systematische meetfouten tot gevolg, automatisch gedetecteerd kan worden zoals dat nu ook met individuele uitschieters gebeurt.

Appendix A: Schattingen 19 – 23 juli 2005 met 24 uur hiaten

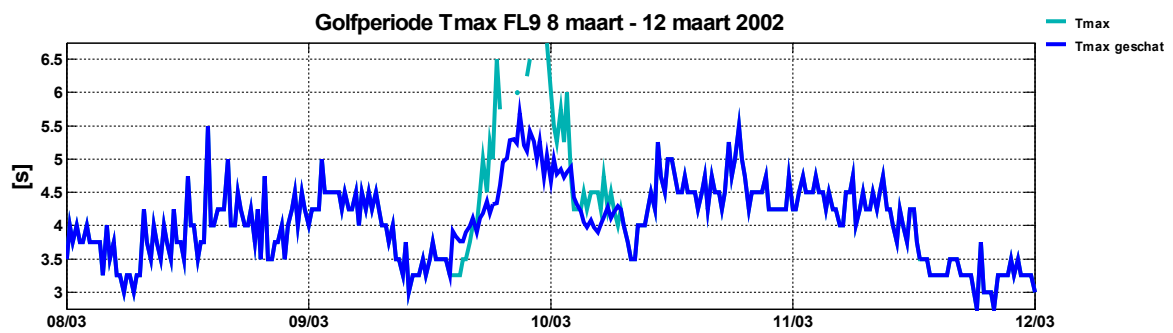
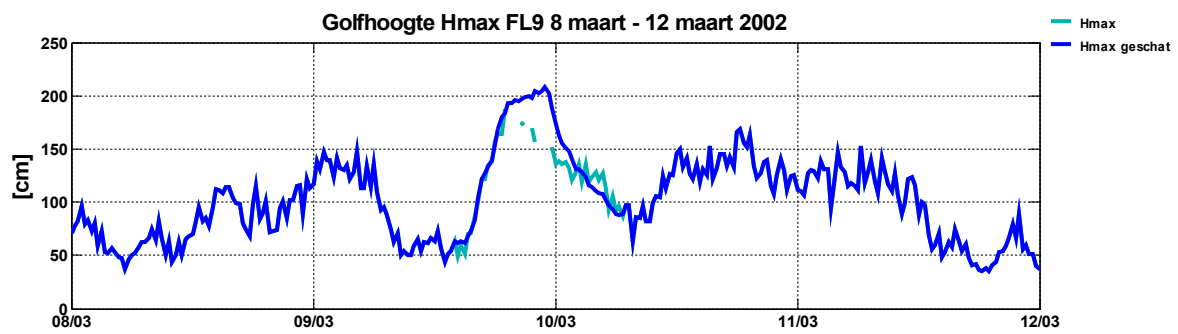
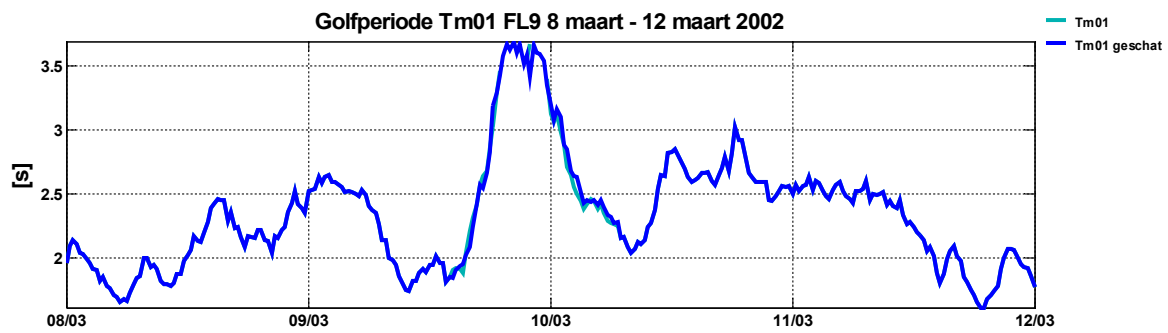
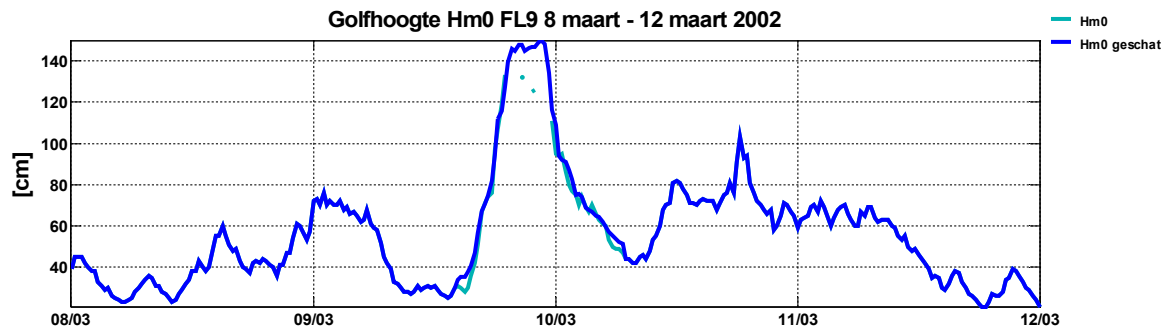
In de onderstaande grafieken zijn voor één etmaal per station de parameters geschat op basis van de waarnemingen van alle andere stations. Het beschouwde etmaal, 21-07-2005, bevat het hoogtepunt van een storm.

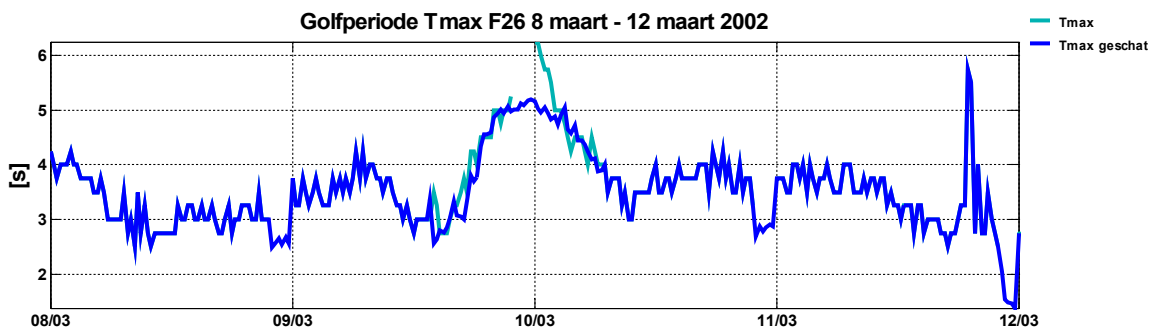
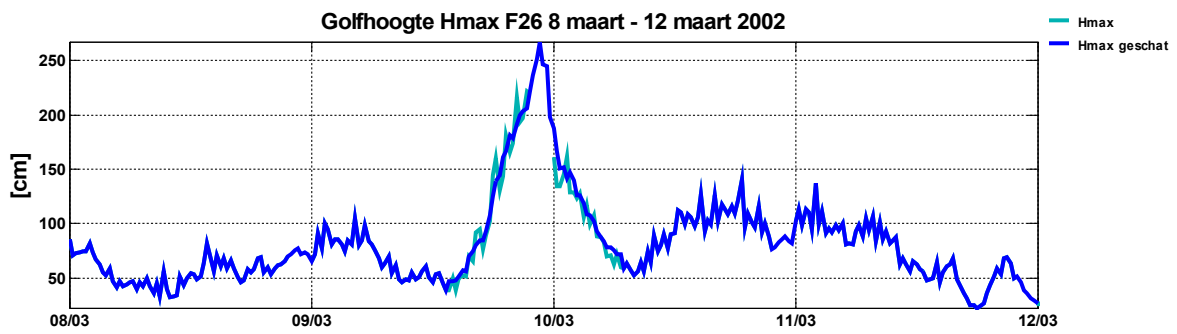
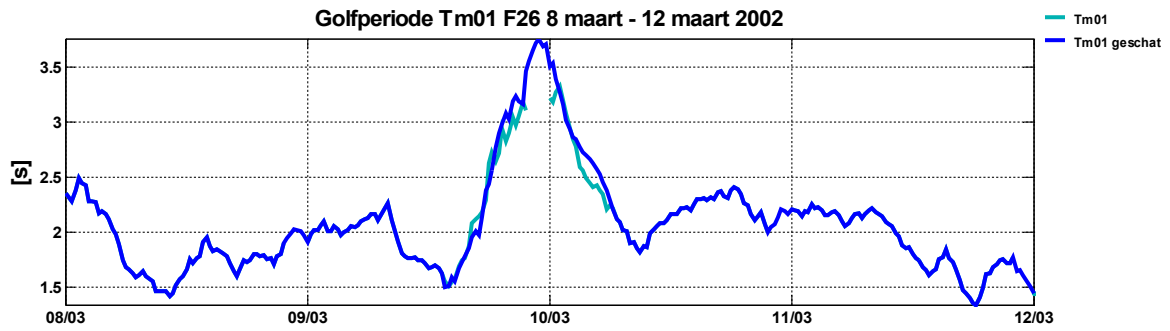
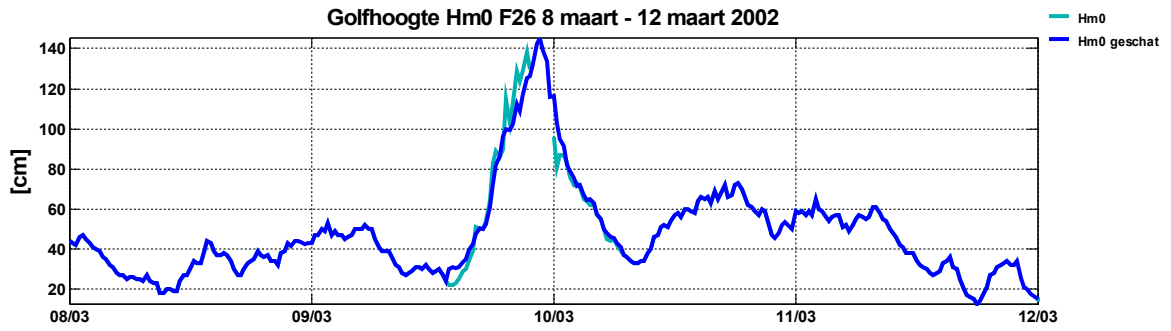


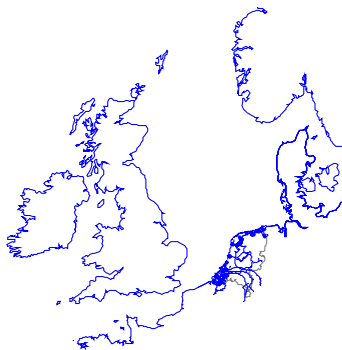
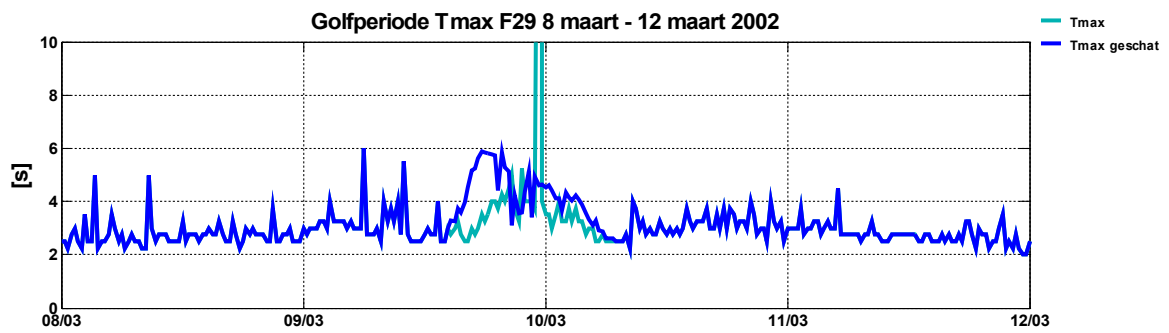
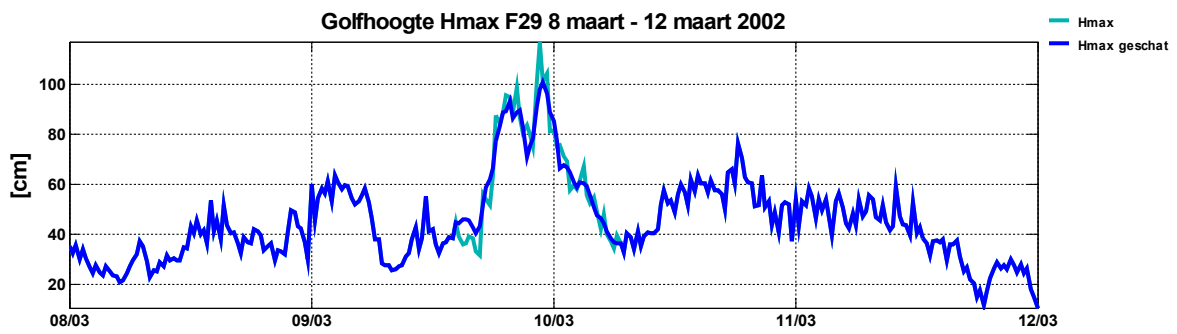
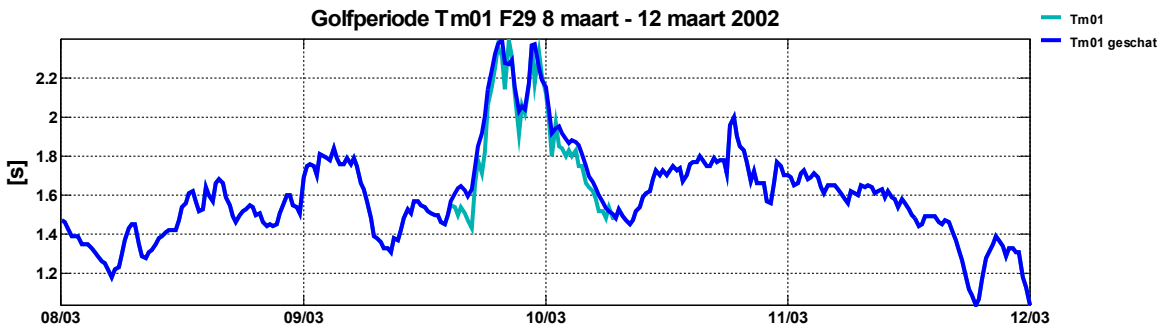
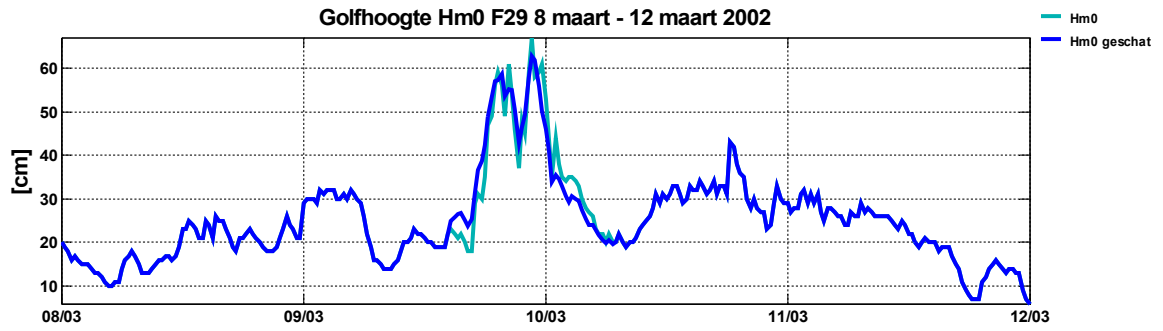




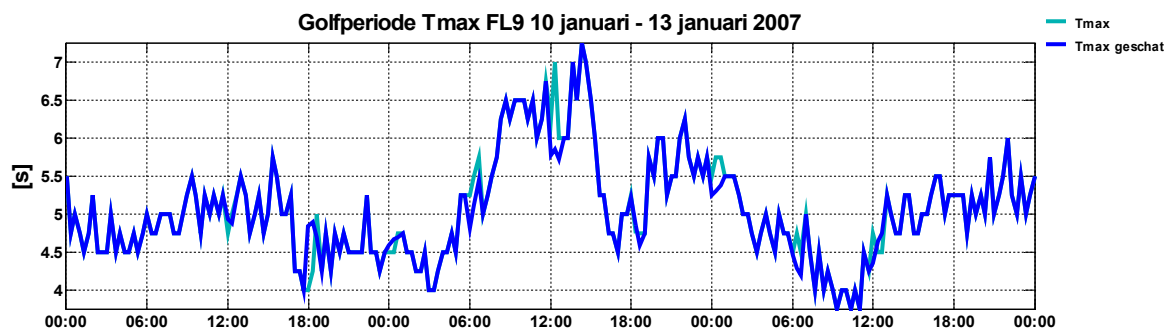
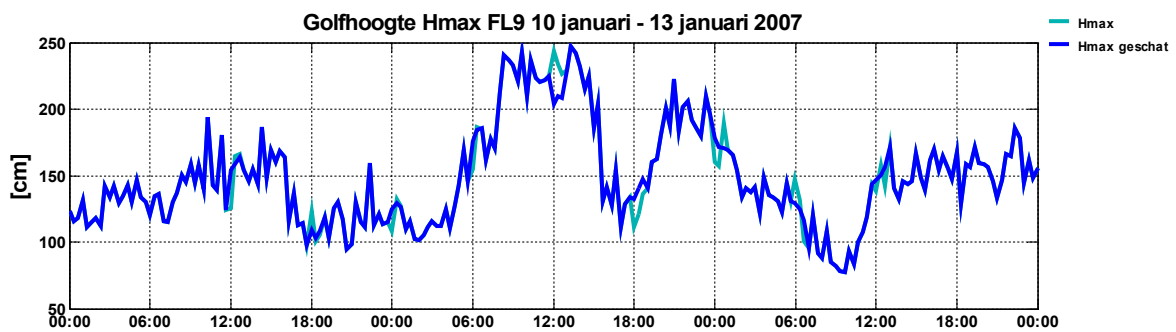
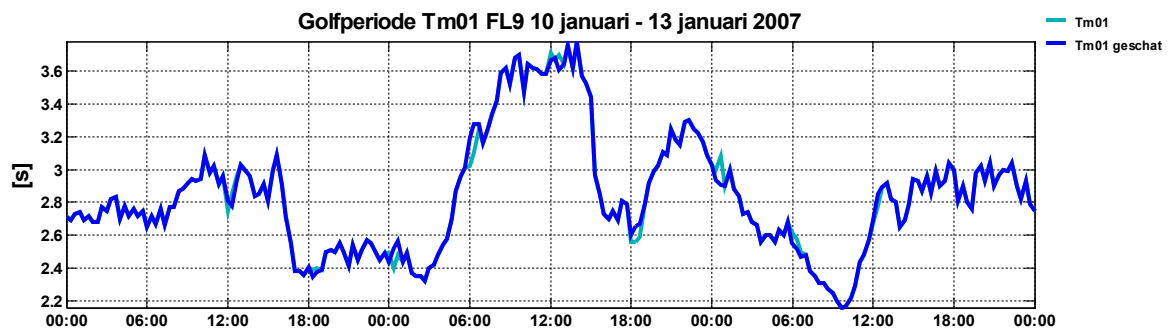
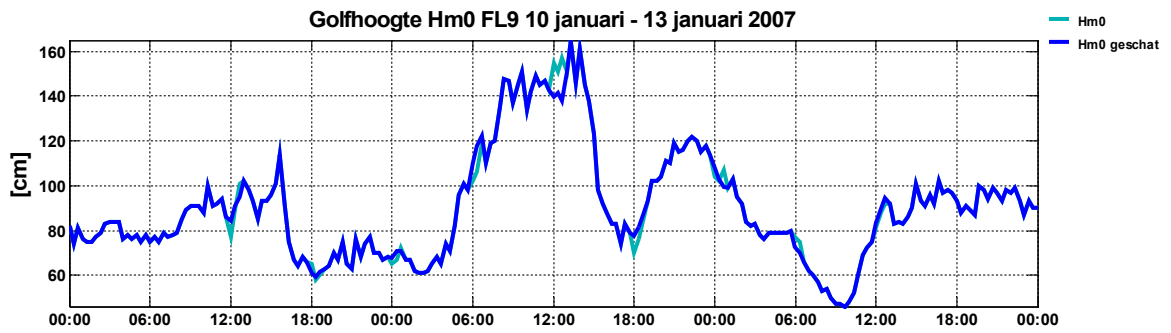
Appendix B: Schattingen 8 – 12 maart 2002 met 24 uur hiaten

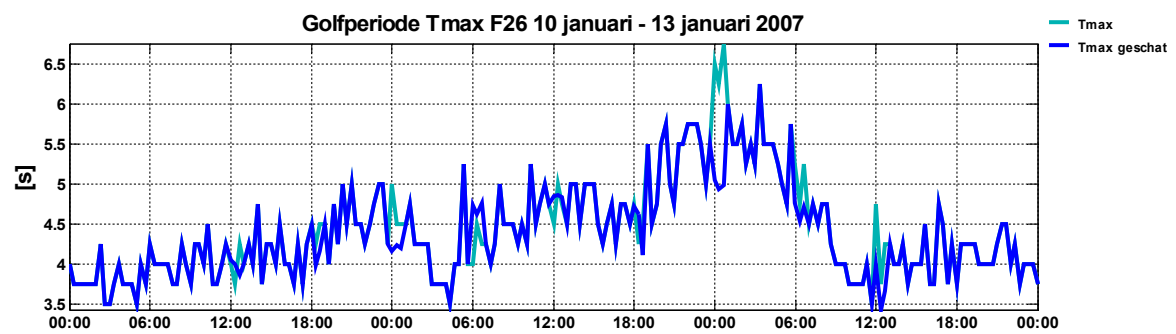
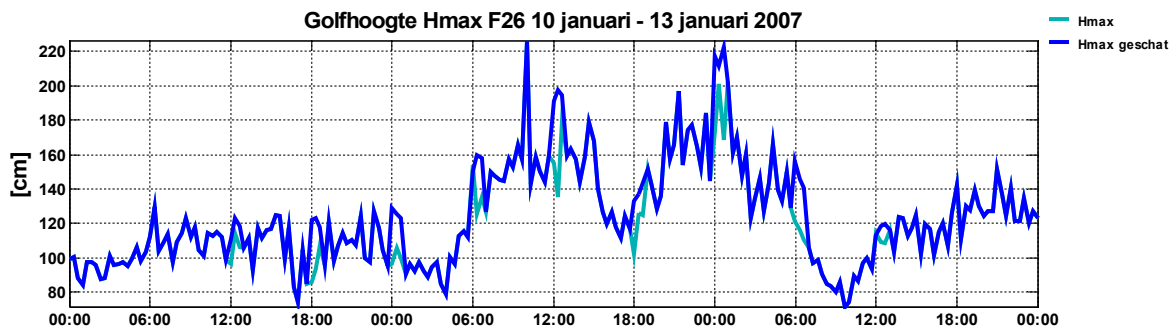
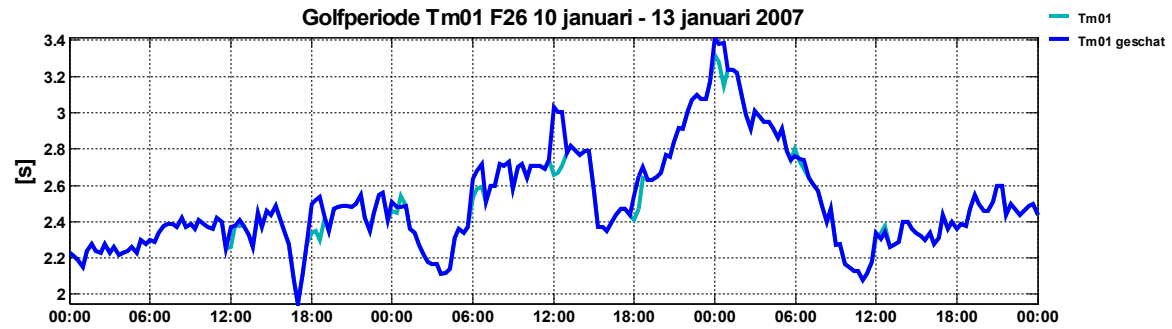
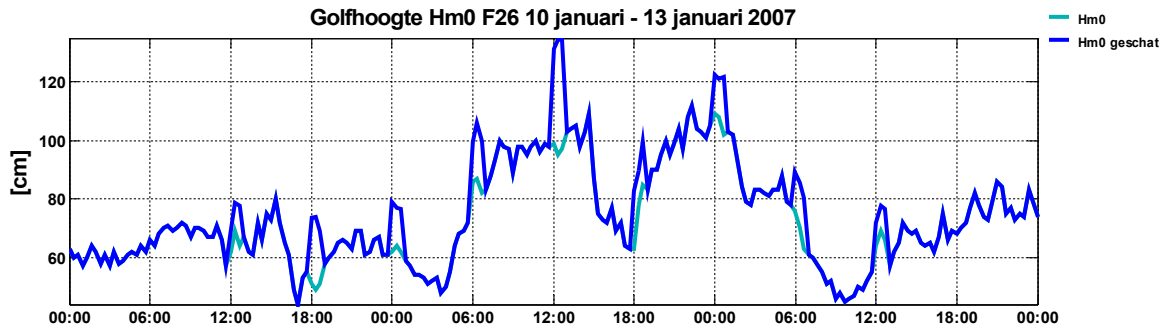


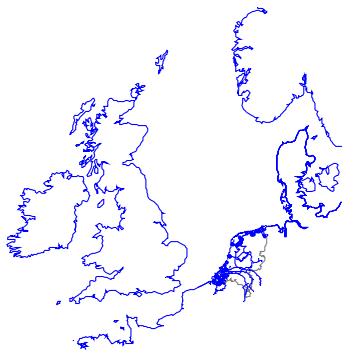
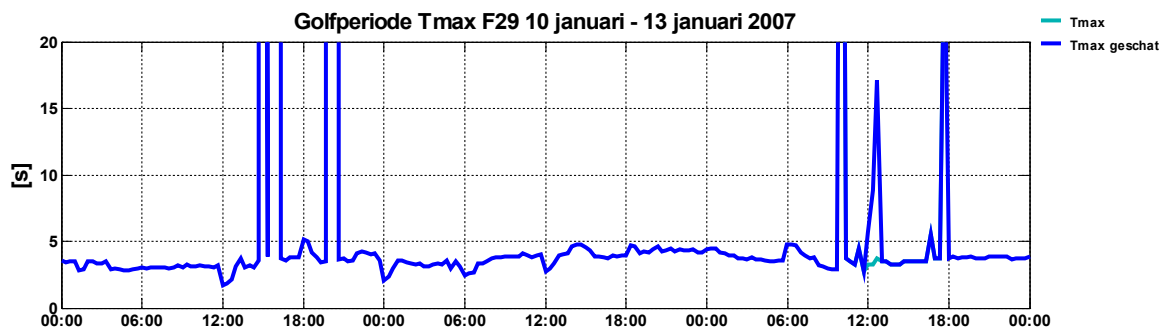
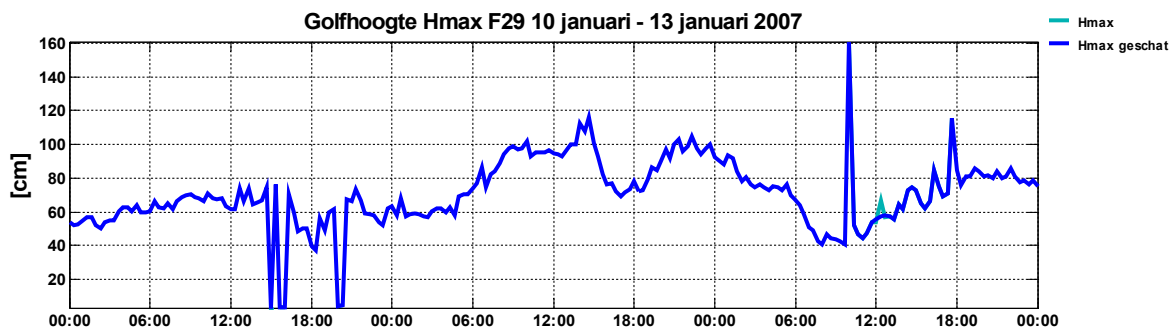
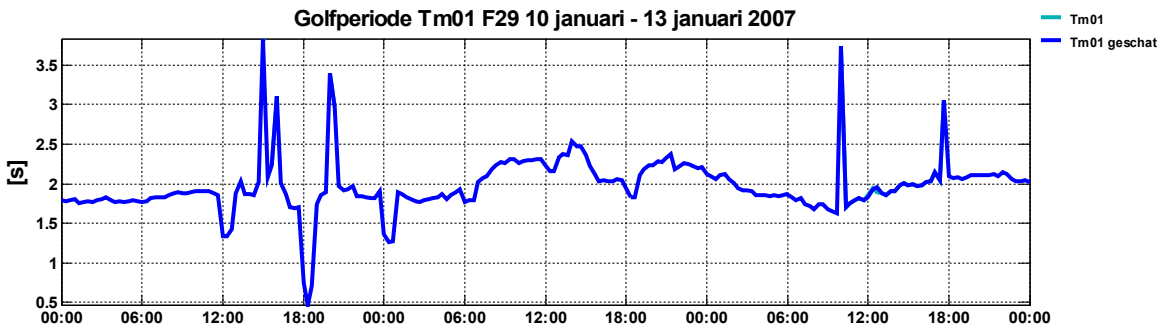
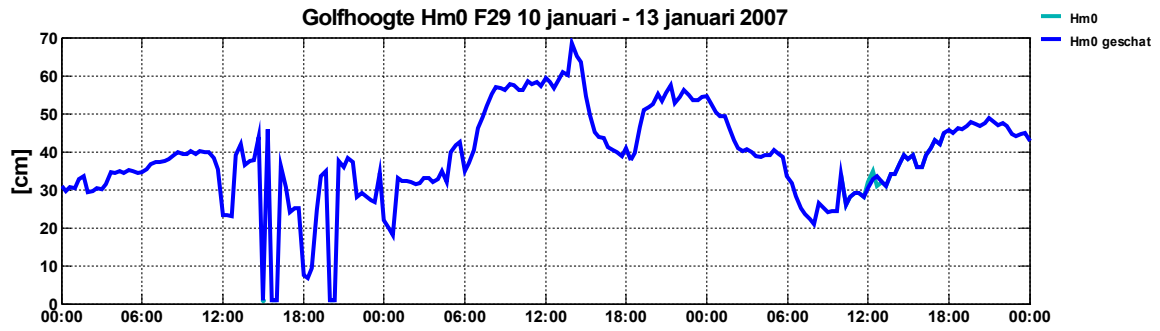




Appendix C: Schattingen 10 – 13 januari 2007 met 7 keer 1 uur hiaten







Referenties

- [1] [Handleiding Wavix IV](#), Modelit, september 2005, i.o.v. Rijkswaterstaat – RIKZ.
- [2] Wavix 2004 Functioneel ontwerp, Modelit, 30 september 2003, i.o.v. Rijkswaterstaat – RIKZ.
- [3] [De bepaling van ontbrekende golfparameters op basis van Neurale Netwerken](#), 2 oktober 2004, Modelit, i.o.v. Rijkswaterstaat – RIKZ.
- [4] Neural Network Based Validation of Wave Data, Proceedings of the Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES 2005 - Madrid, Spain, 3rd-7th July 2005.
- [5] Measured wind-wave climatology Lake IJssel (NL), Report RWS RIZA 2007.020, Dr. M. Bottema, 4 juli 2007.
- [6] N.J. van der Zijpp en K.J. Hoogland (2004) De bepaling van ontbrekende golfparameters op basis van Neurale Netwerken, Rapport in opdracht van Rijkswaterstaat-RIKZ.