

**Een Kalman filter
voor het Kuststrook model**

Project: NAUTILUS

Werkdocument: RIKZ/OS/99.154x

In opdracht van:

Directie Noordzee
Directie Zuid-Holland
Directie Zeeland
Directie Noord-Holland
Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Meetstrategie 2000+

Een Kalman Filter voor het Kuststrook model

Project:	Nautilus
Werkdocument:	RIKZ/OS-99.154X
Datum:	december 1999
Auteur:	Ing. R. Plieger

1. Inleiding

In de afgelopen jaren is binnen RWS intensief gewerkt aan een serie nieuwe waterbewegings- en -transport modellen. Een model dat binnen deze serie een centrale rol vervult is het Kuststrook model (lit 1). Het model beslaat het totale Nederlandse kustgebied van Zeebrugge in België tot Norderney in Duitsland en het aangrenzende deel van de Noordzee. Het Kuststrook model is de schakel tussen de grootschalige Noordzee - modellen (CSM8 - en Zuidelijk Noordzee model) en de kleinschalige detailmodellen van de Nederlandse Kustzone en estuaria (IJmuiden -, Zeedelta/Rijmamo -, Scalooost en Scalwest model). Het Kuststrook model wordt op de open randen aangedreven met data (tijdreeksen of componenten) afkomstig uit het Zuidelijk Noordzee model. Het Zuidelijk Noordzee model wordt op zijn beurt weer aangedreven met data vanuit het CSM8 model. Door deze vorm van nesting worden onvolkomenheden van het ene model via de randvoorwaarden overgedragen naar het onderliggende model. Met behulp van bijsturing van ruwheden en / of diepteschematisatie kunnen eventuele 'randeffekten' worden verminderd.

Vestiging Den Haag
Postadres Postbus 20907, 2500 EX 's-Gravenhage
Bezoekadres Kortenaerkade 1

Telefoon 070 311 4311
Telefax 070 311 4321

Met name in grootschalige modellen is dit een techniek welke 'legaal' is gezien de onzekerheid die ten aanzien van ruwheden en diepteschematisatie geldt. In het Kuststrook model is een belangrijk deel van de basisgegevens afkomstig uit betrouwbare bron. Manipulatie met deze data lijkt dan ook niet het aangewezen middel voor optimalisatie van het model.

Het toepassen van een Kalman filter (lit. 2) daarentegen zou voor het Kuststrook model wel een mogelijke kwaliteitsverbetering kunnen betekenen. Aangezien de open rand van het Kuststrook model min of meer de vorm van de Nederlandse kust volgt en dientengevolge de relatie / afstand tussen referentie (meestal kustlokaties) en open rand overall van dezelfde orde is, lijkt het Kuststrook model bij uitstek geschikt voor optimalisatie van de randvoorwaarden op basis van een Kalman filter. Het Kuststrook model wordt rondom gestuurd met waterstanden.

2. Kalman-simulatie

Van het Kuststrook model bestaat naast de originele (= fijne) versie ook een gereduceerde versie (lit 2). Deze versie geeft in het zeegebied een met het fijne model overeenkomstig resultaat. Het gereduceerde model is ten opzichte van het origineel in beide richtingen met een faktor twee uitgedund.

Het berekenen van een Kalman filter vergt een nogal intensief geheugen- en rekenbeslag. Met het originele model zou dit een vrijwel onmogelijke opgave zijn. Met het gereduceerde model is de aktie zeer goed mogelijk. Mede omdat de randlokaties van het fijne en het grove model identiek zijn kan een met het grove model geoptimaliseerde open rand probleemloos op het originele model worden toegepast.

In figuur 1 is het rooster van het gereduceerde model weergegeven in combinatie met de geselecteerde referentiestations. In figuur 2 is de gekozen parameter instelling weergegeven.

Als periode is gekozen voor 17 t/m 22 april 1996, een relatief rustige periode. De sturing op de open randen van het gereduceerde Kuststrook model wordt verzorgd door een set (49) harmonische konstanten. Het randsignaal is gecontroleerd op het voorkomen van rondstromingen. Het (geringe) windeffekt op het model wordt geïntroduceerd door een globale wind(snelheid/richting)reeks.

In de figuren 3 t/m 10 worden de uitkomsten van de Kalman - som vergeleken met gemeten waarden voor 20 en 21 april 1996. De overeenkomst tussen 'gemeten' en 'berekend' is goed te noemen. Het filter is weggeschreven ten tijde van 20 april '96 11.30 uur, zijnde globaal HW in het oostelijk Waddengebied.

3. Use_gain simulaties

3a. Simulatie april '96.

Teneinde het berekende filter op zijn waarde te toetsen is de onder 2. benoemde som herhaald als zgn Use_gain som, hetgeen betekent dat het filter tijdens een WAQUA som wordt gehanteerd om verschillen tussen berekening en referentie te reduceren. In de figuren 11 t/m 18 wordt een overeenkomstige vergelijking getoond als in de figuren 3 t/m 10. Vergelijking van beide serie plots leert dat het filter een 1 : 1 resultaat bewerkstelligd met de originele Kalman som.

Teneinde het filter onder meer extreme kondities te toetsen is het toegepast op een simulatie voor de volgende periode :

3b. Simulatie januari '98.

De simulatie beslaat een periode van 1 januari 1998 t/m 5 januari 1998. In deze periode is een duidelijke opzet waarneembaar. Dezelfde simulatie is tevens gedaan met het fijne Kuststrook model met gebruikmaking van een set (m.b.v. filter bepaalde) gekorrigeerde randvoorwaarden. In de figuren 19 t/m 26 worden de uitkomsten zoals bereikt met de Use_gain som vergeleken met de standaard Waqua som van het fijne Kuststrook model en met het prototype. De gekorrigeerde randvoorwaarden bewerkstelligen ook in het fijne Kuststrook model een goed resultaat.

4. Samenvatting

Uit bovengenoemde sommen is duidelijk de meerwaarde af te leiden van het toepassen van Kalman filtering. Bij toepassing hiervan worden onvolkomenheden zoals deze kunnen ontstaan door niet optimale randvoorwaarden vrijwel op geheven.

Literatuur

- 1 Kuststrook model, Bouw en eerste afregeling
Alkyon 1998
RIKZ/OS-98.110X, Alkyon A226
- 2 Users Guide Kalman-in-Waqua
A time (in)variant Kalman filter in Waqua / Triwaq
RIKZ, version 1.01, januari 1998

Lijst van figuren.

1. Rooster van het gereduceerde Kuststrook model in combinatie met de gehanteerde referentie stations.
2. Parameter instelling ten behoeve van bepaling van het Kalman-filter voor het gereduceerde Kuststrook model.

Vergelijking van uitkomsten van een "Kalman"-berekening versus het prototype (periode april 1996) voor de stations :

3. Cadzand
4. Westkapelle
5. BG-8
6. Scheveningen
7. Meetpost Noordwijk
8. Den Helder
9. Wierumergronden
10. Huibertgat

Vergelijking van uitkomsten van een "Use_Gain"-berekening versus het prototype (periode april 1996) voor de stations :

11. Cadzand
12. Westkapelle
13. BG-8
14. Scheveningen
15. Meetpost Noordwijk
16. Den Helder
17. Wierumergronden
18. Huibertgat

Vergelijking van uitkomsten van een "Use_Gain"-berekening versus het prototype (periode januari 1998) in vergelijking met het fijne Kuststrook model voor de stations :

19. Cadzand
20. Westkapelle
21. BG-8
22. Scheveningen
23. Meetpost Noordwijk
24. Den Helder
25. Wierumergronden
26. Huibertgat

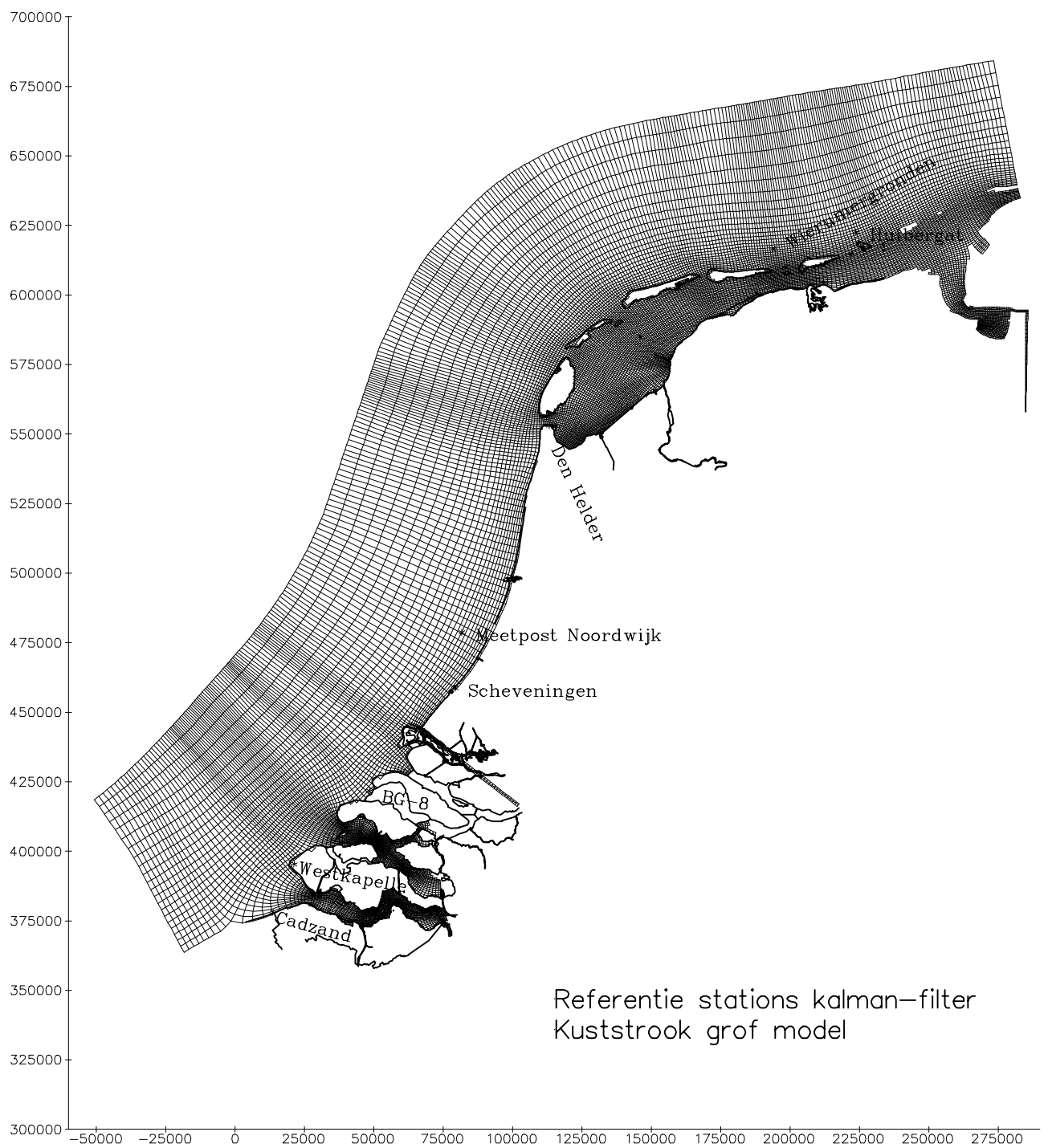


Fig. 1

KALMAN

RRSQRT

GENeral

NMODE = 50
CHAR_DIST= 60
TIKAL = 90000.
USE_ZEROS

#

WATERlevel_stations

S: (P101, STANDard_dev=0.20) # CADZAND
S: (P123, STANDard_dev=0.20) # WESTKAPELLE
S: (P132, STANDard_dev=0.20) # BG-8
S: (P115, STANDard_dev=0.20) # SCHEVENINGEN
S: (P112, STANDard_dev=0.20) # MEETPOST NOORDWIJK
S: (P102, STANDard_dev=0.20) # DEN HELDER
S: (P 53, STANDard_dev=0.20) # WIERUMERGRONDEN
S: (P 55, STANDard_dev=0.20) # HUIBERTGAT

#

BOUNDaries

STATistics

STANDard_dev = 0.30
SMOOTH = 100.0
TIME_correlation = 0.98

LINE_sections

S: SECTion=(1, 1)
S: SECTion=(2, 2)
S: SECTion=(3, 3)
S: SECTion=(4, 4)
S: SECTion=(5, 5)
S: SECTion=(6, 6)
S: SECTion=(7, 7)
S: SECTion=(8, 8)
S: SECTion=(9, 9)
S: SECTion=(10,10)
S: SECTion=(11,11)
S: SECTion=(12,12)
S: SECTion=(13,13)
S: SECTion=(14,14)
S: SECTion=(15,15)
S: SECTion=(16,16)
S: SECTion=(17,17)
S: SECTion=(18,18)
S: SECTion=(19,19)
S: SECTion=(20,20)
S: SECTion=(21,21)
S: SECTion=(22,22)
S: SECTion=(23,23)
S: SECTion=(24,24)
S: SECTion=(25,25)
S: SECTion=(26,26)
S: SECTion=(27,27)
S: SECTion=(28,28)
S: SECTion=(29,29)
S: SECTion=(30,30)
S: SECTion=(31,31)
S: SECTion=(32,32)
S: SECTion=(33,33)

COMPute_steady_state

TFKALman = 5010.0, TIKALman = 1440., TLKALman = 6450.0

end general

Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21

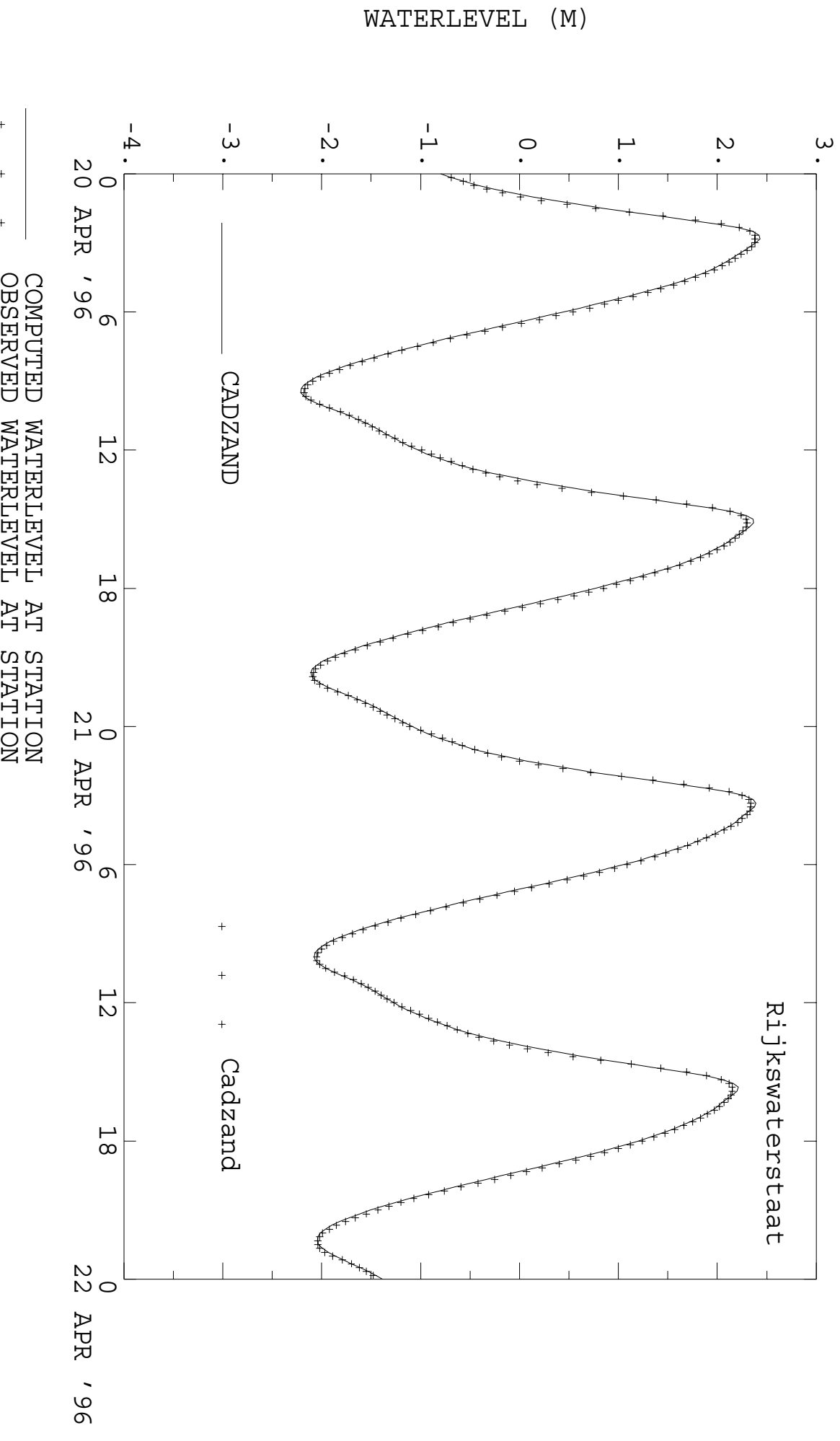


Fig. 3

Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21

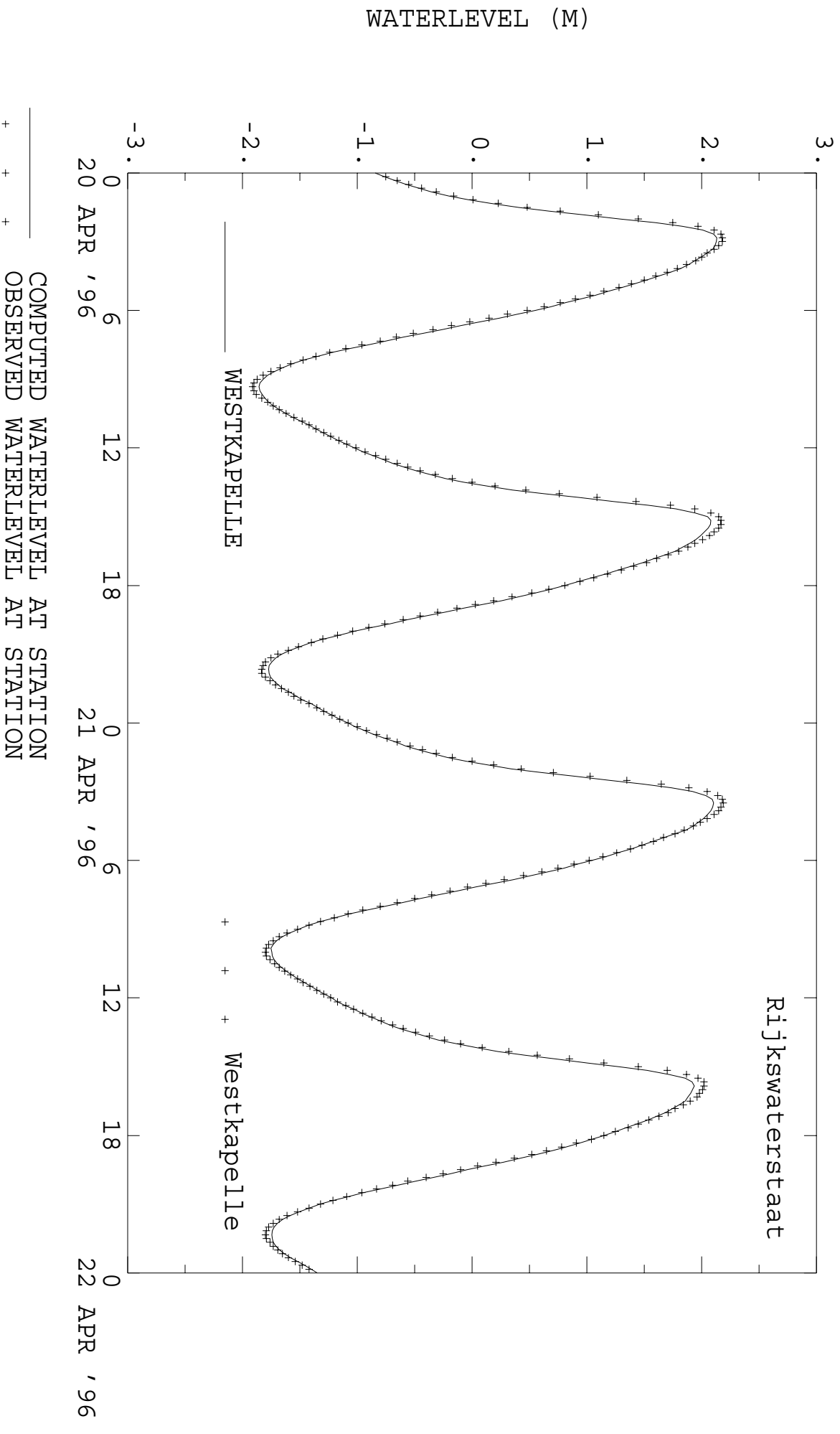
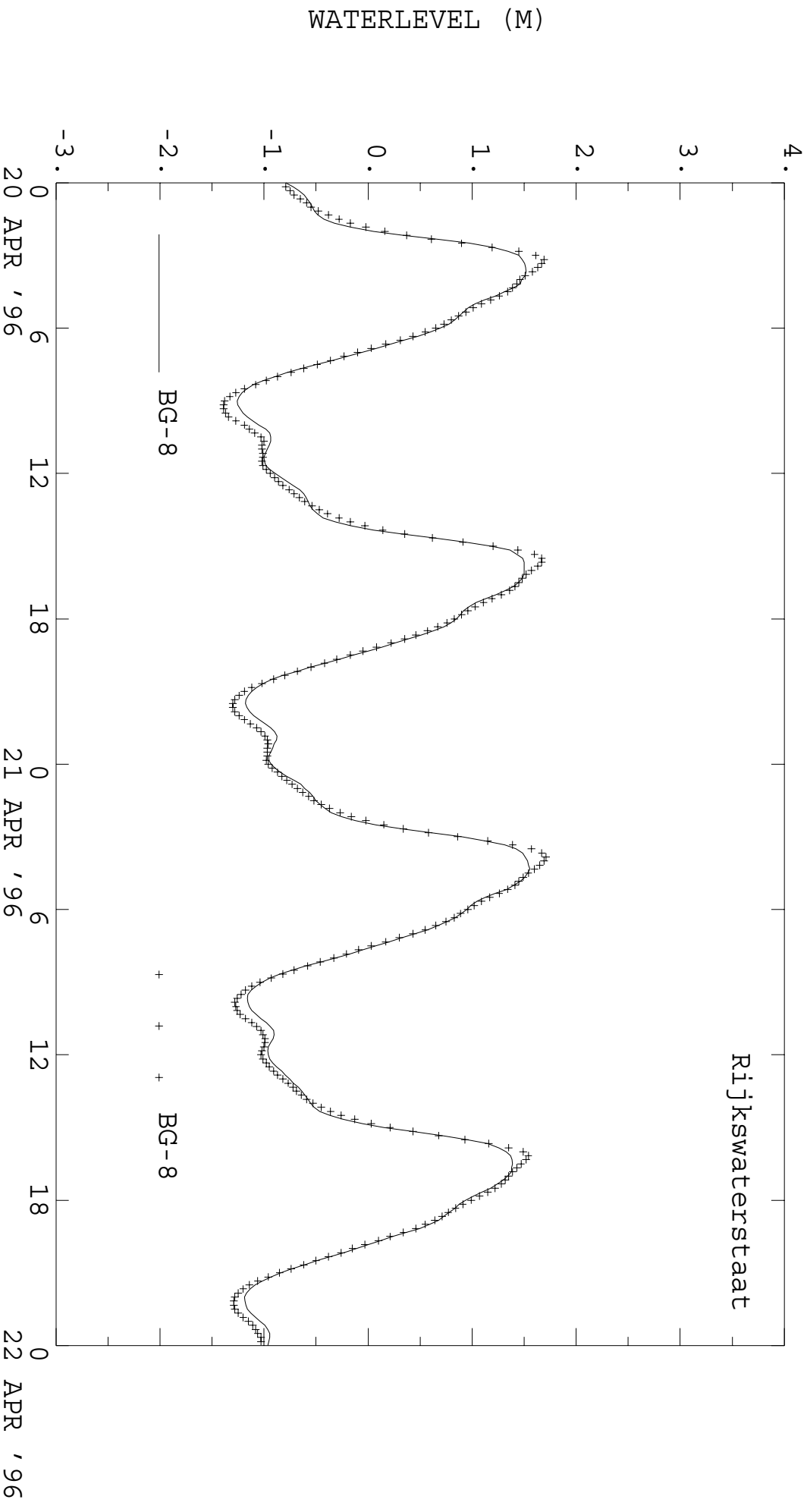


Fig. 4

Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21

Rijkswaterstaat



COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
OBSERVED WATERLEVEL AT STATION

Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21

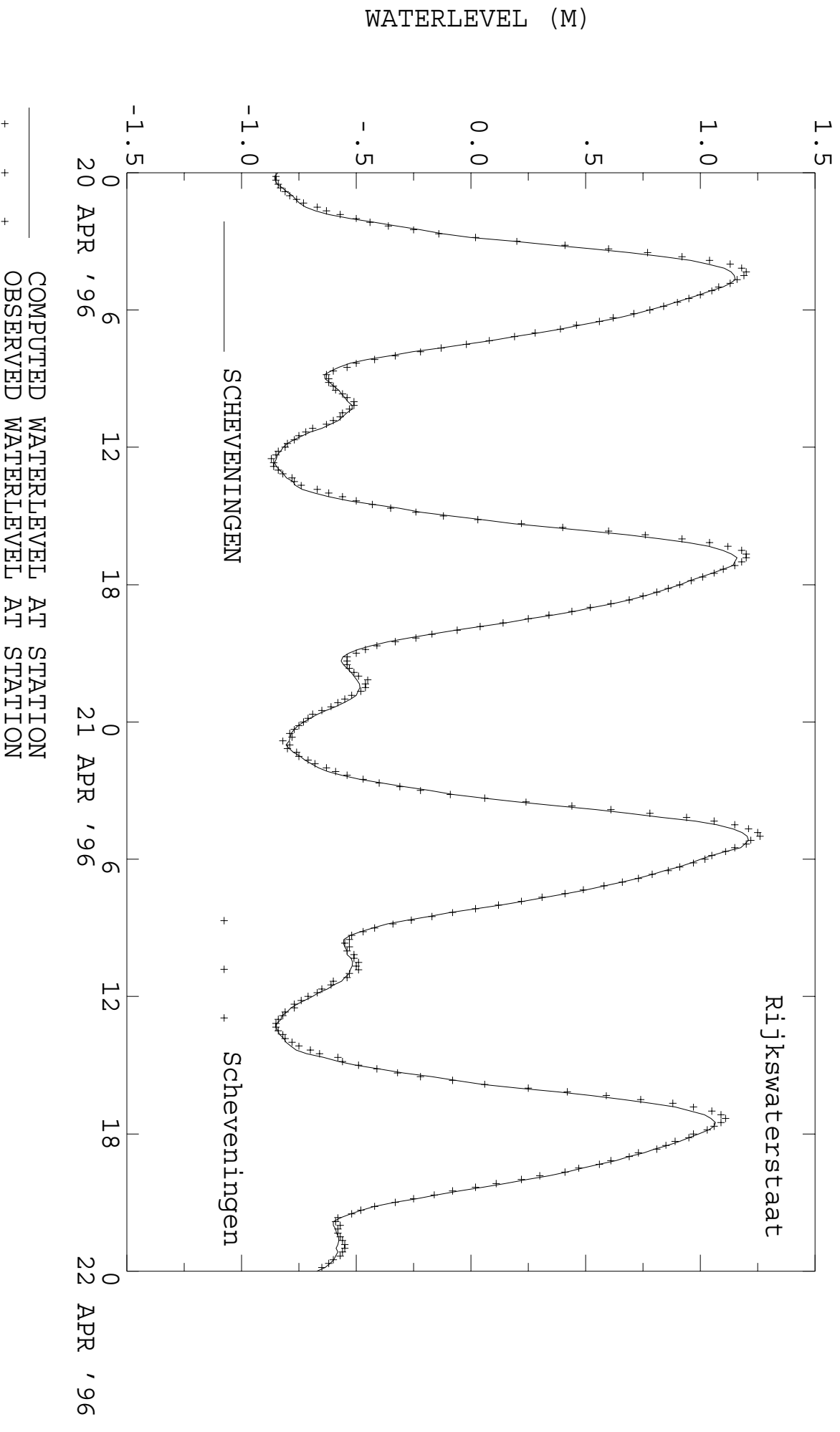


Fig. 6

Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21

1.5
1.0
.5
0.0
-.5
-1.0
-1.5

Rijkswaterstaat

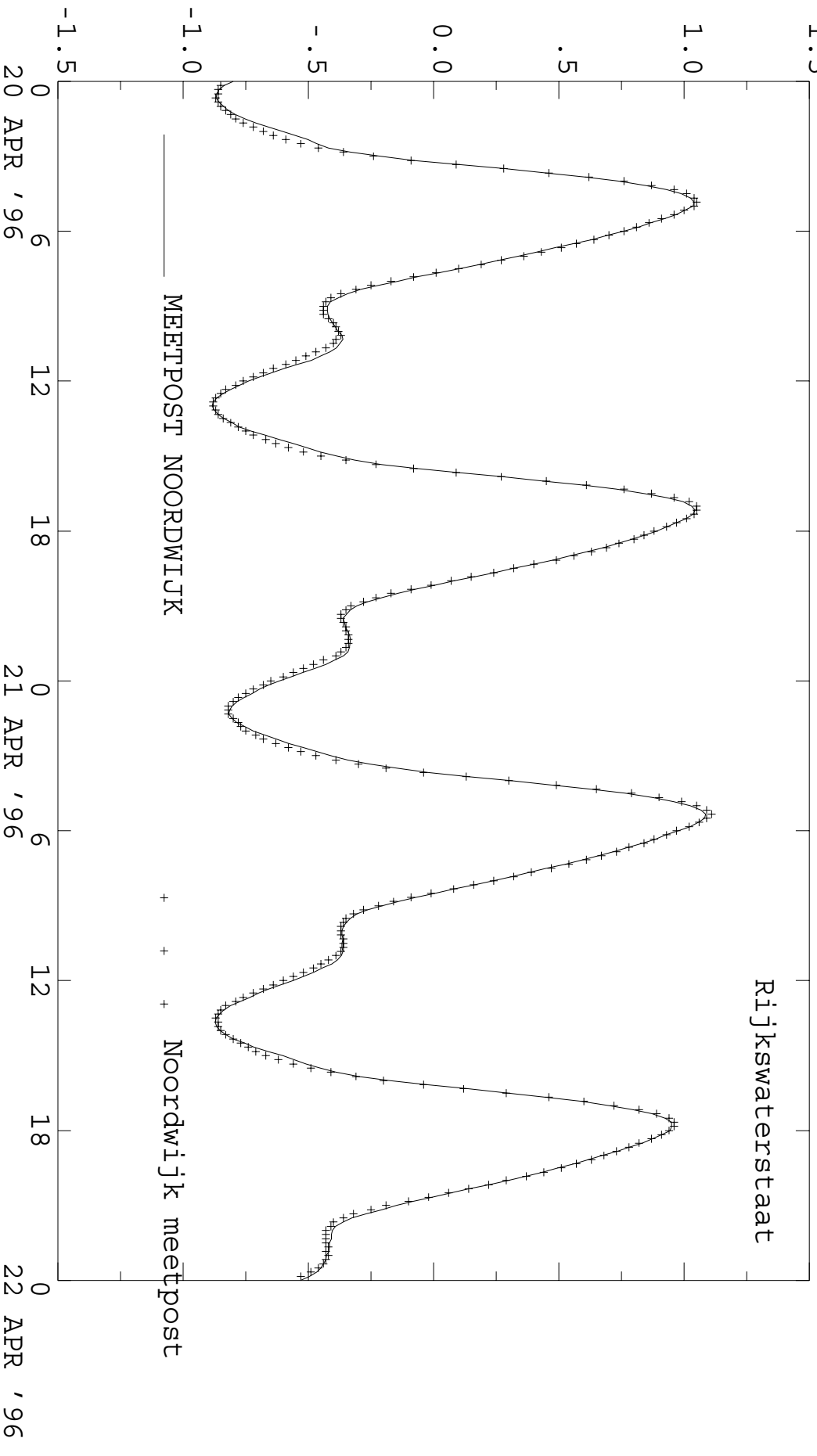
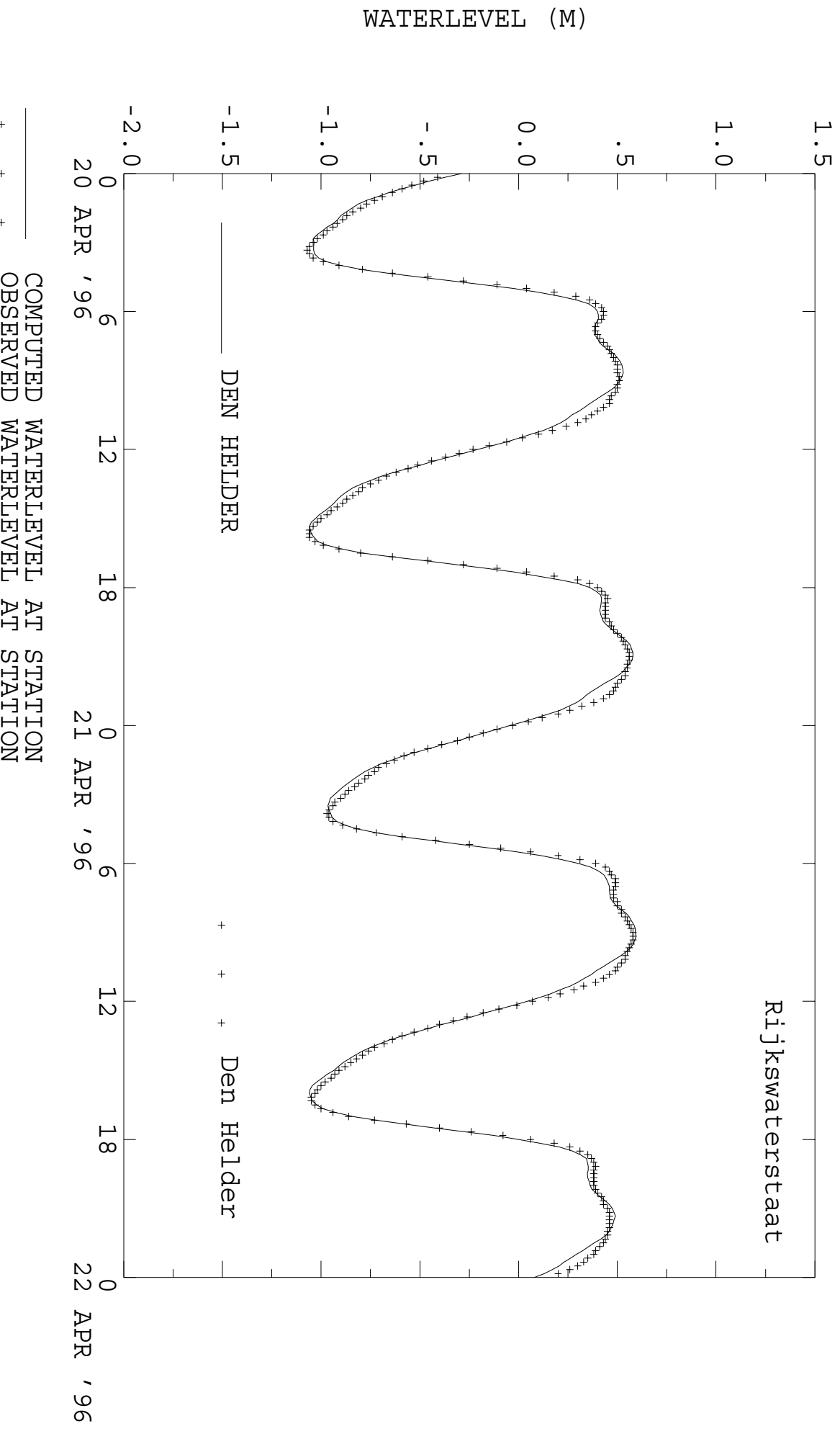


Fig. 7

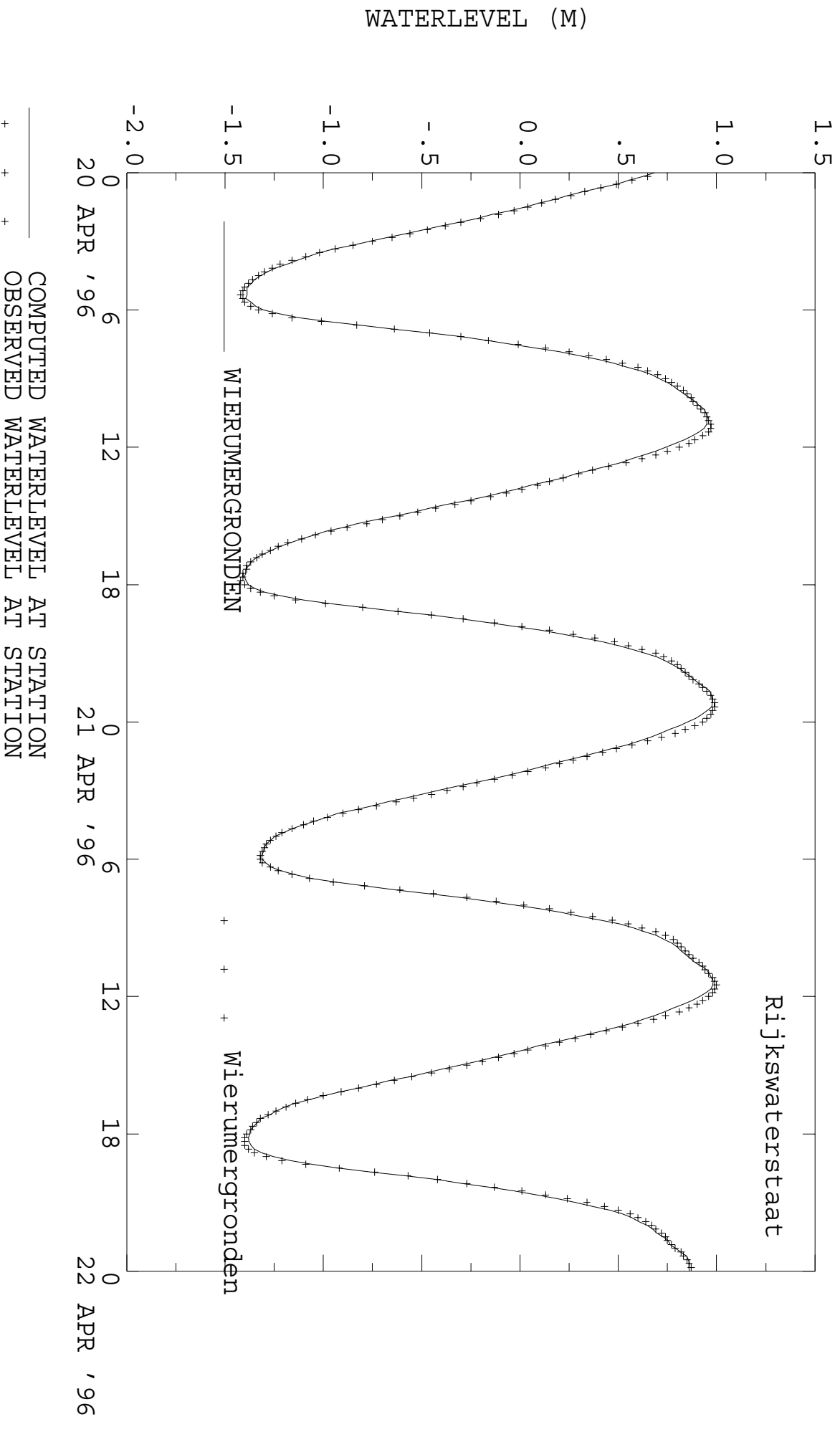
Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21



Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21



Kalman som ter bepaling van filter
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/05 08:37:29 SIM: 99/11/05 08:37
OBS: 98/06/24 16:19:21

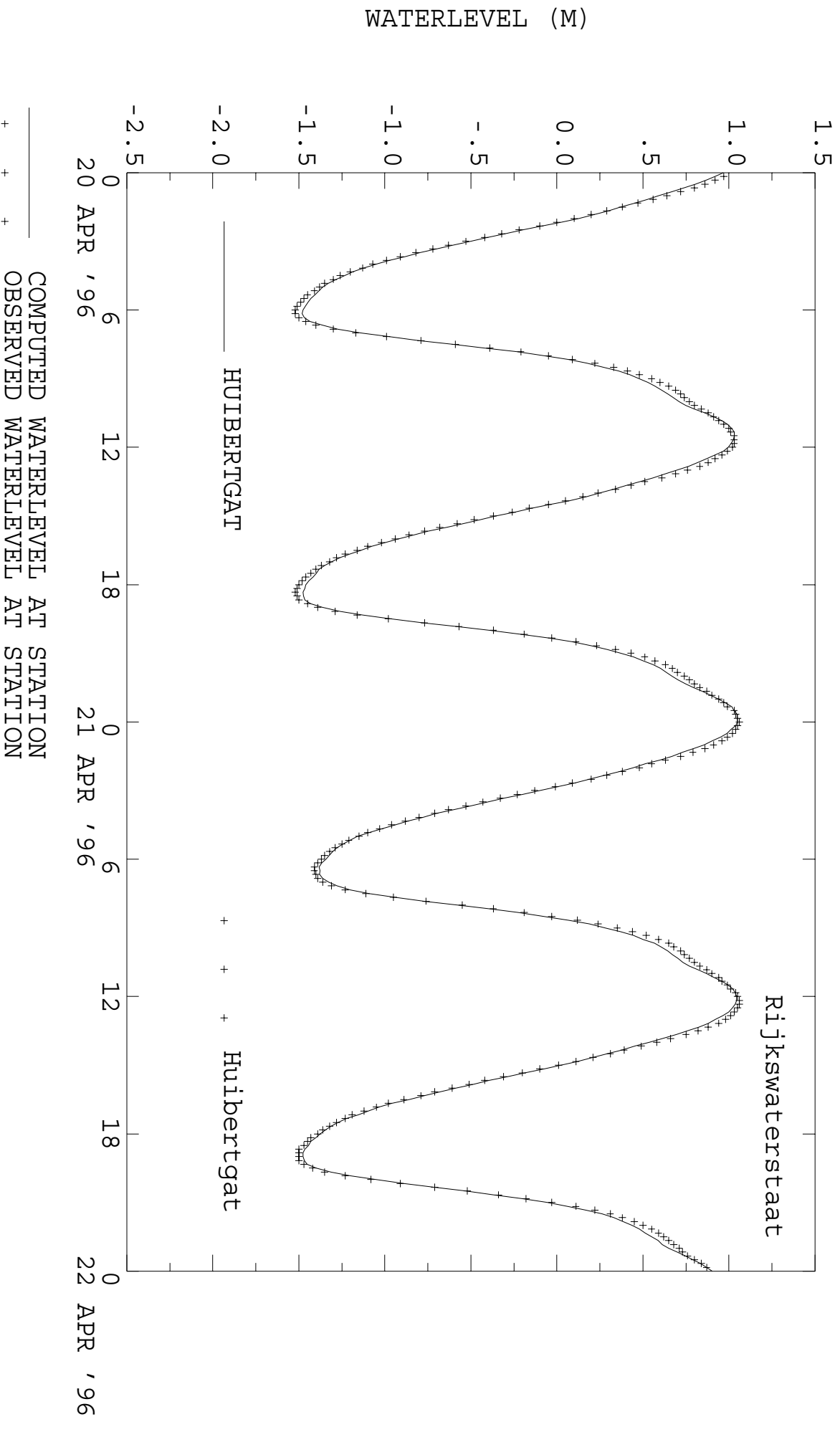
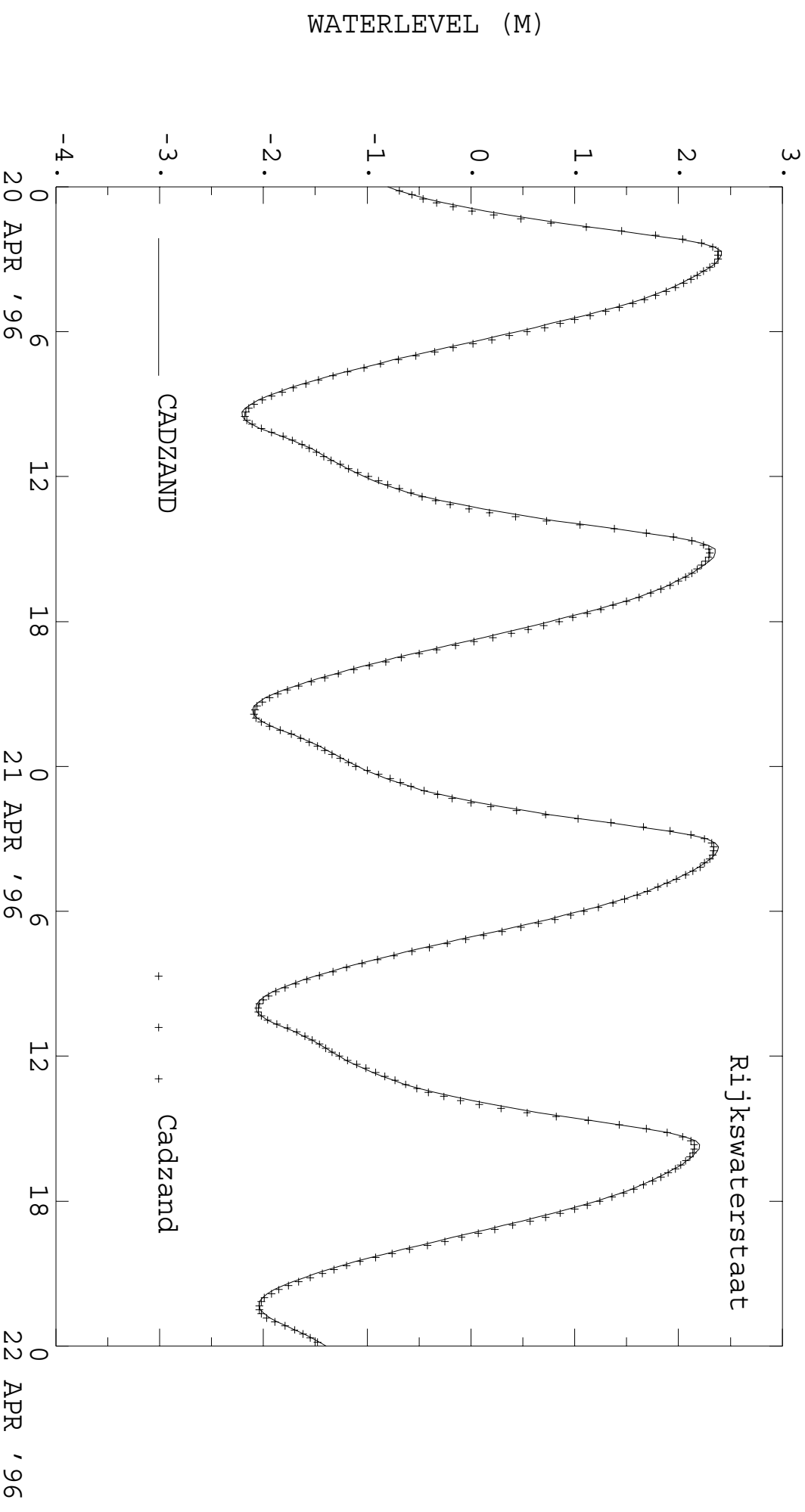


Fig. 10

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

Rijkswaterstaat



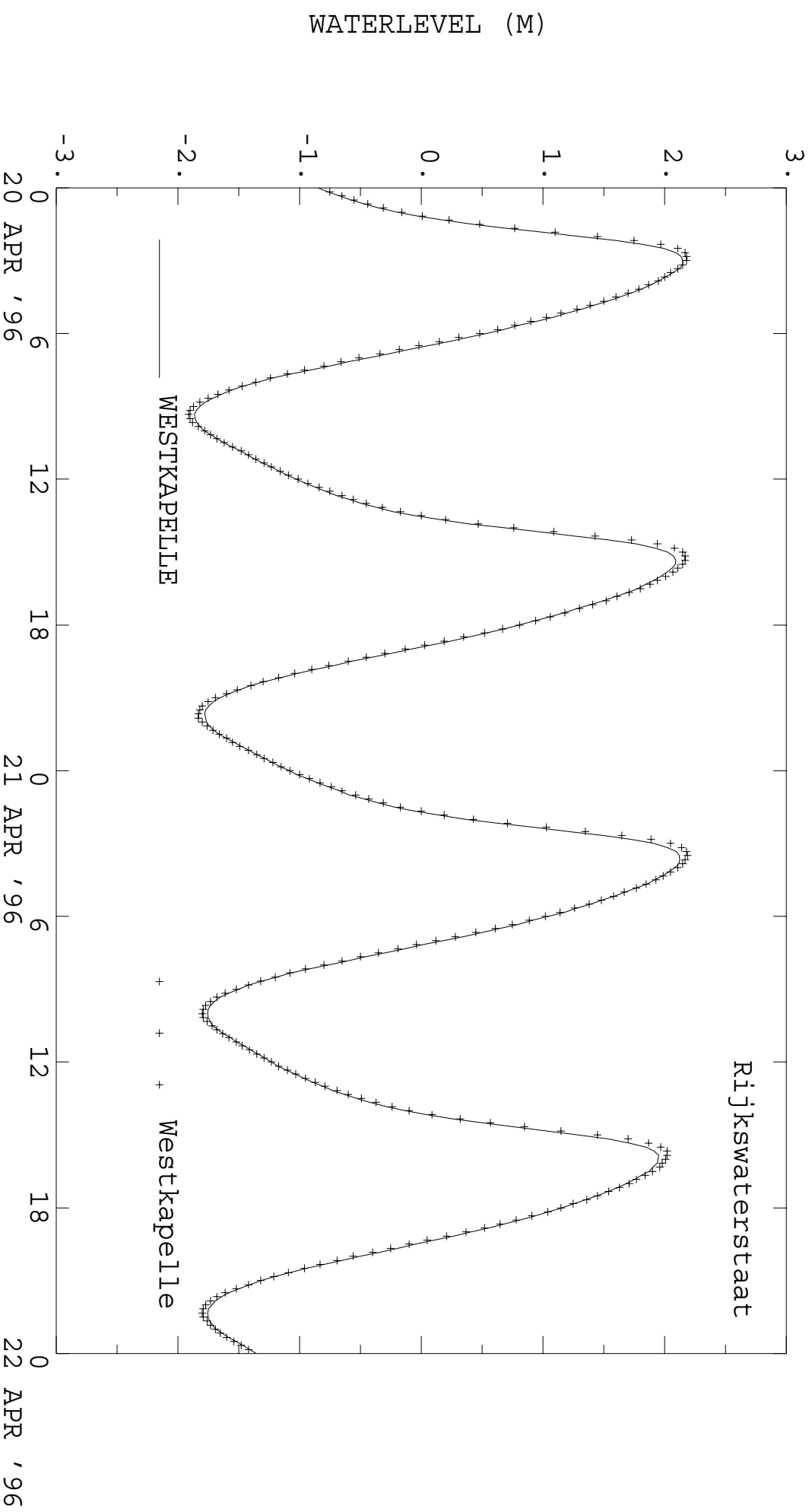
COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
OBSERVED WATERLEVEL AT STATION

Fig. 11

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

Rijkswaterstaat



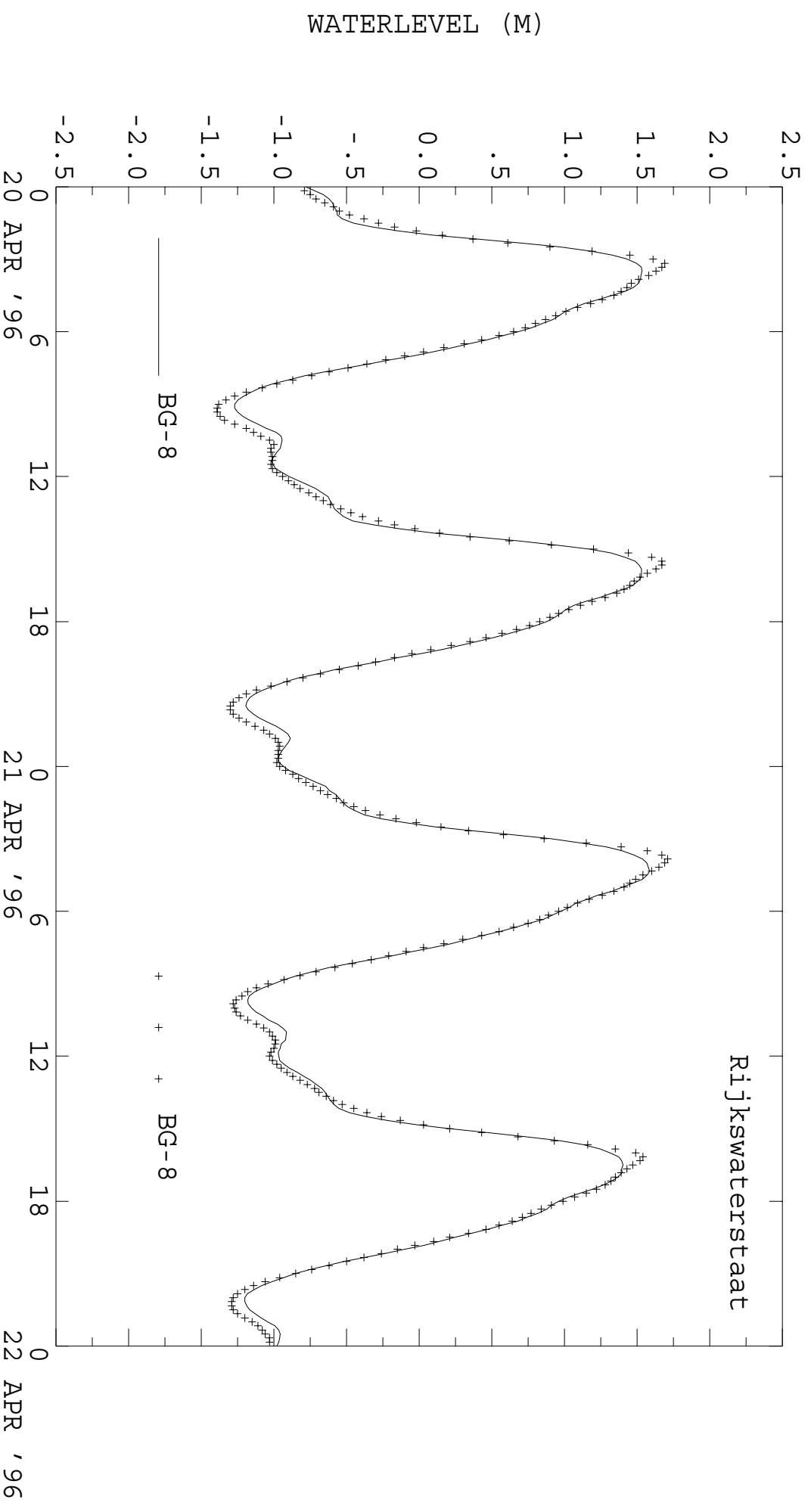
COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
OBSERVED WATERLEVEL AT STATION

Fig. 12

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

Rijkswaterstaat



COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
OBSERVED WATERLEVEL AT STATION

Fig. 13

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

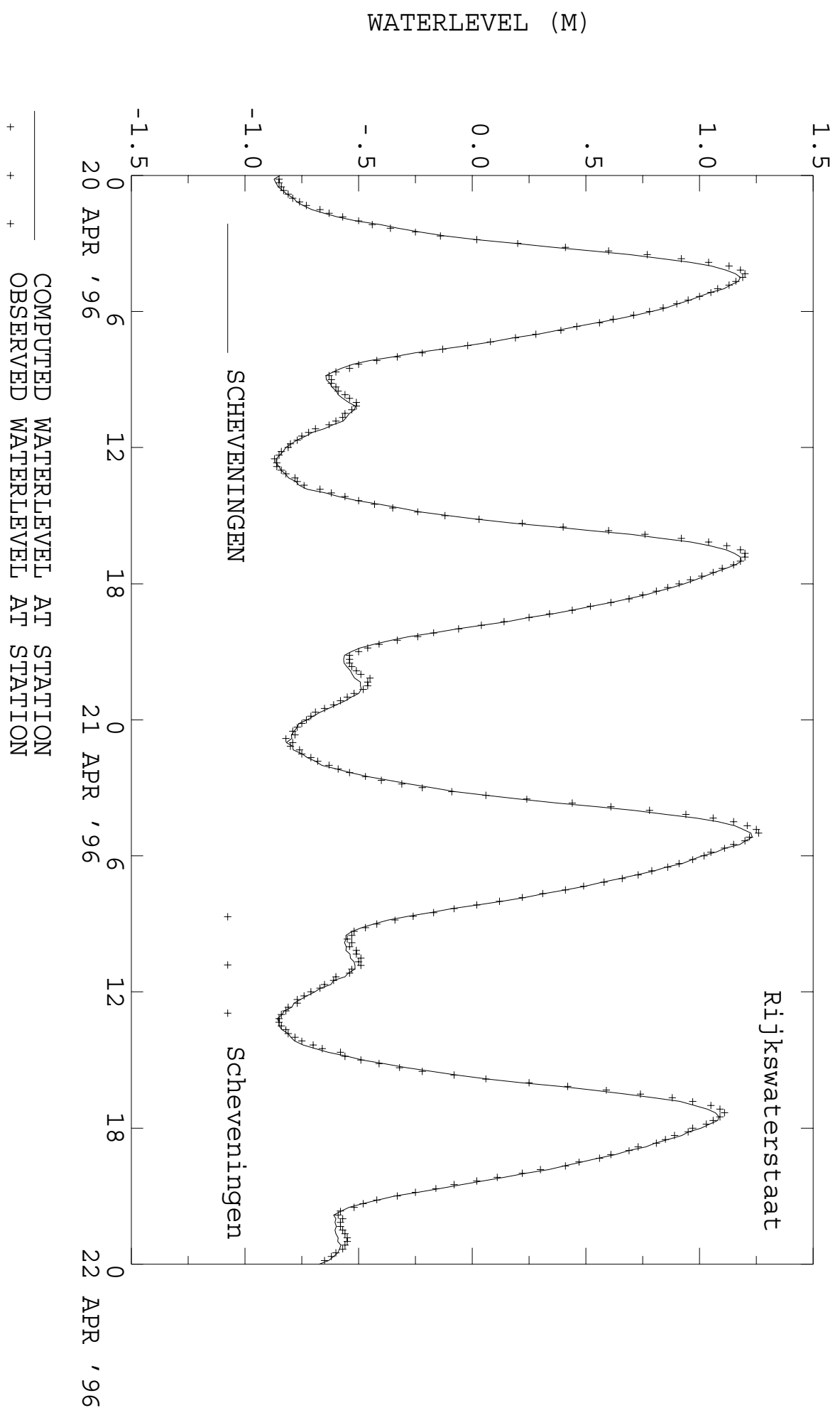


Fig. 14

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

Rijkswaterstaat

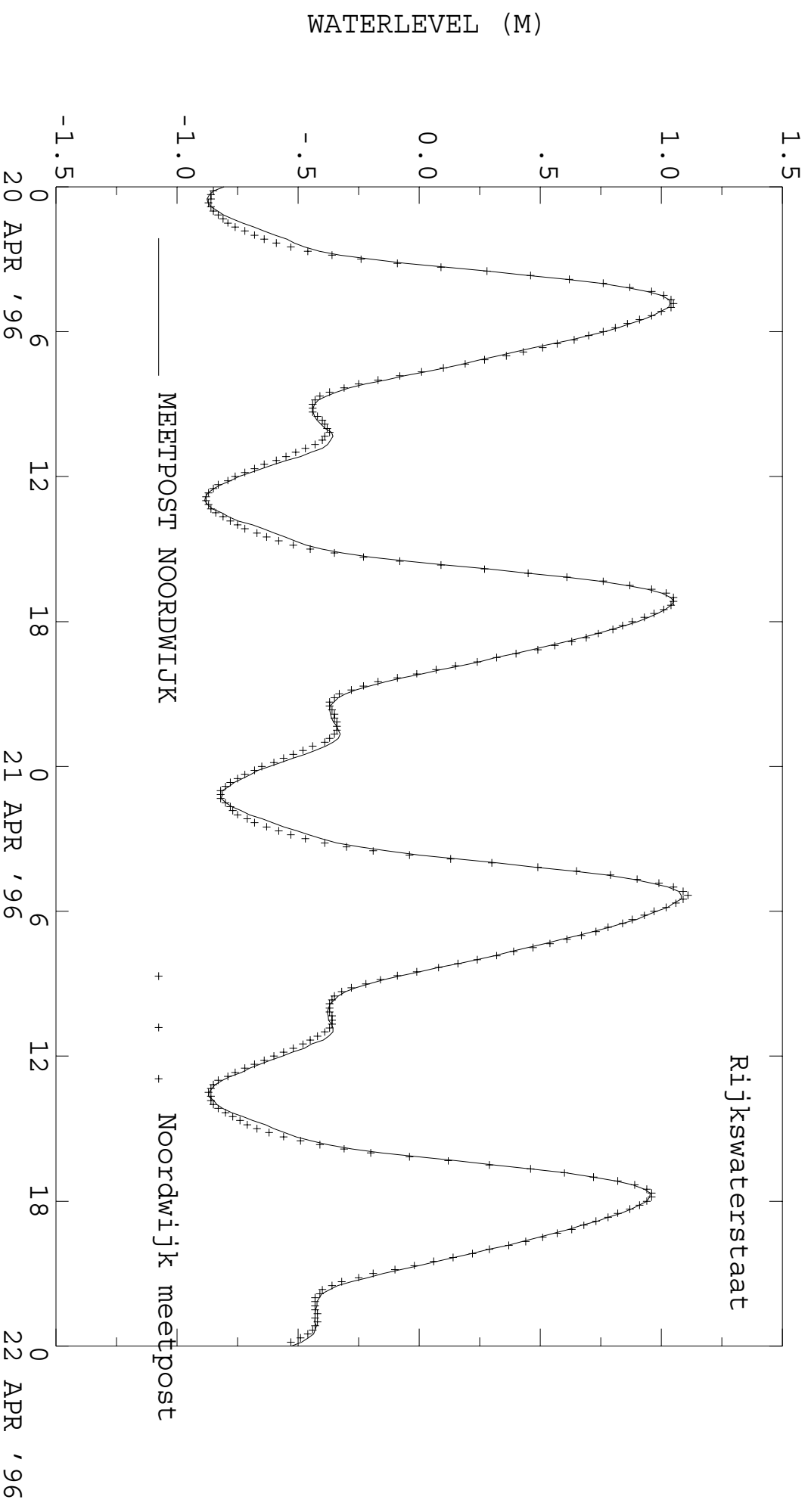
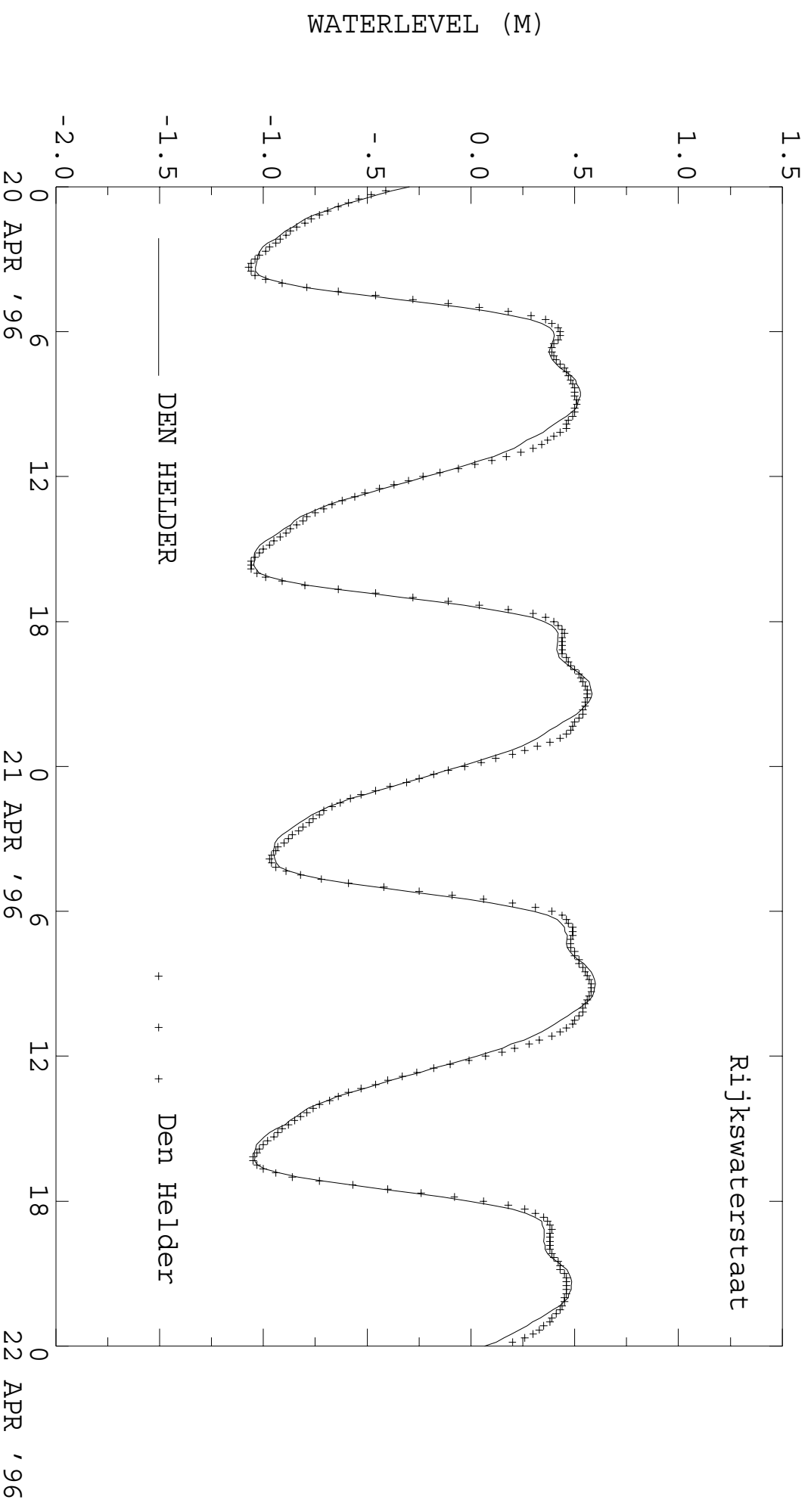


Fig. 15

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

Rijkswaterstaat



COMPUTED WATERLEVEL AT STATION
OBSERVED WATERLEVEL AT STATION

Fig. 16

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

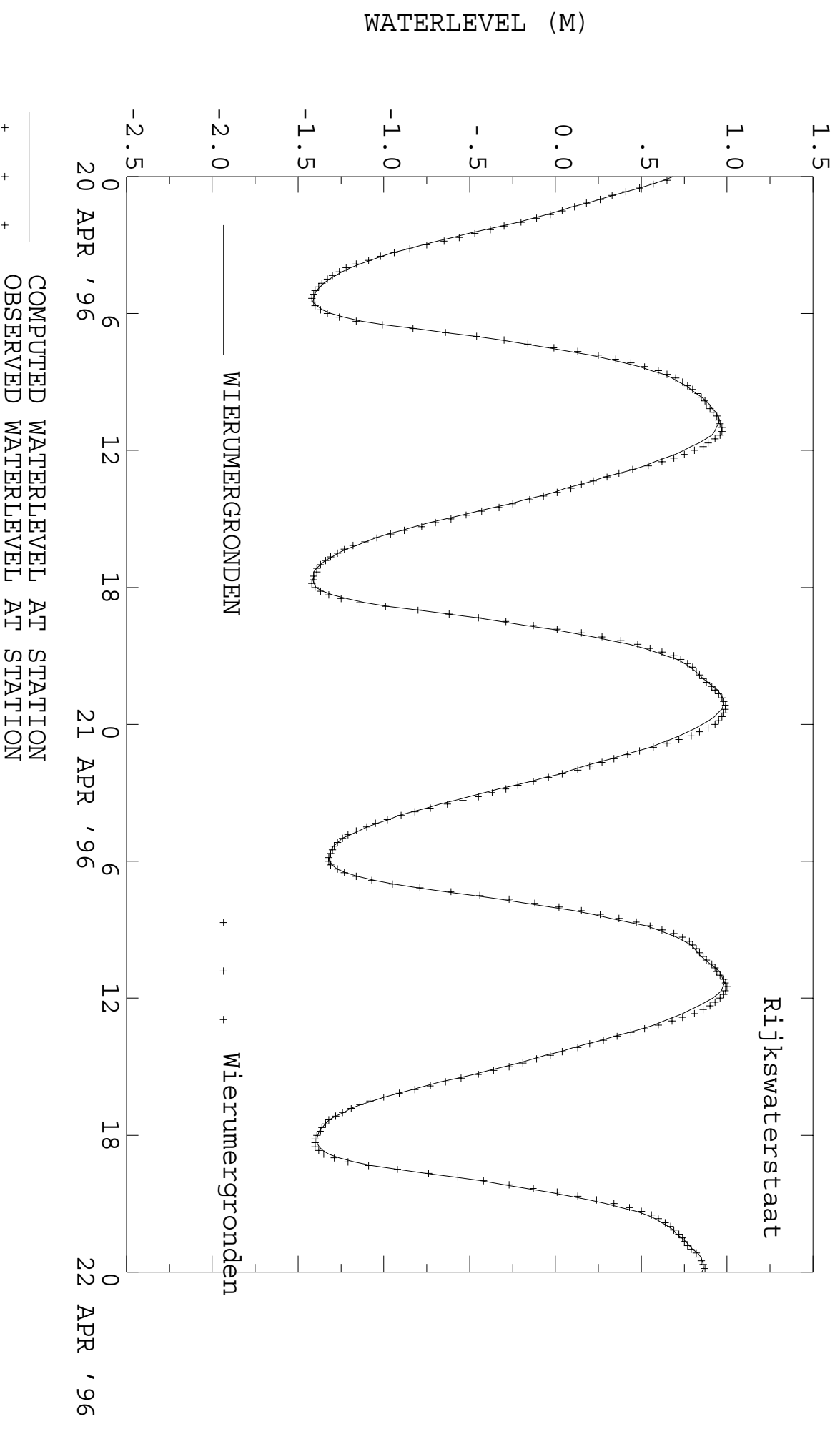


Fig. 17

Use_gain som
donar gegevens 17 april 0:00 t/m 22 april 24:00 1996

IDP: 99/11/08 16:09:43 SIM: 99/11/08 16:09
OBS: 98/06/24 16:19:21

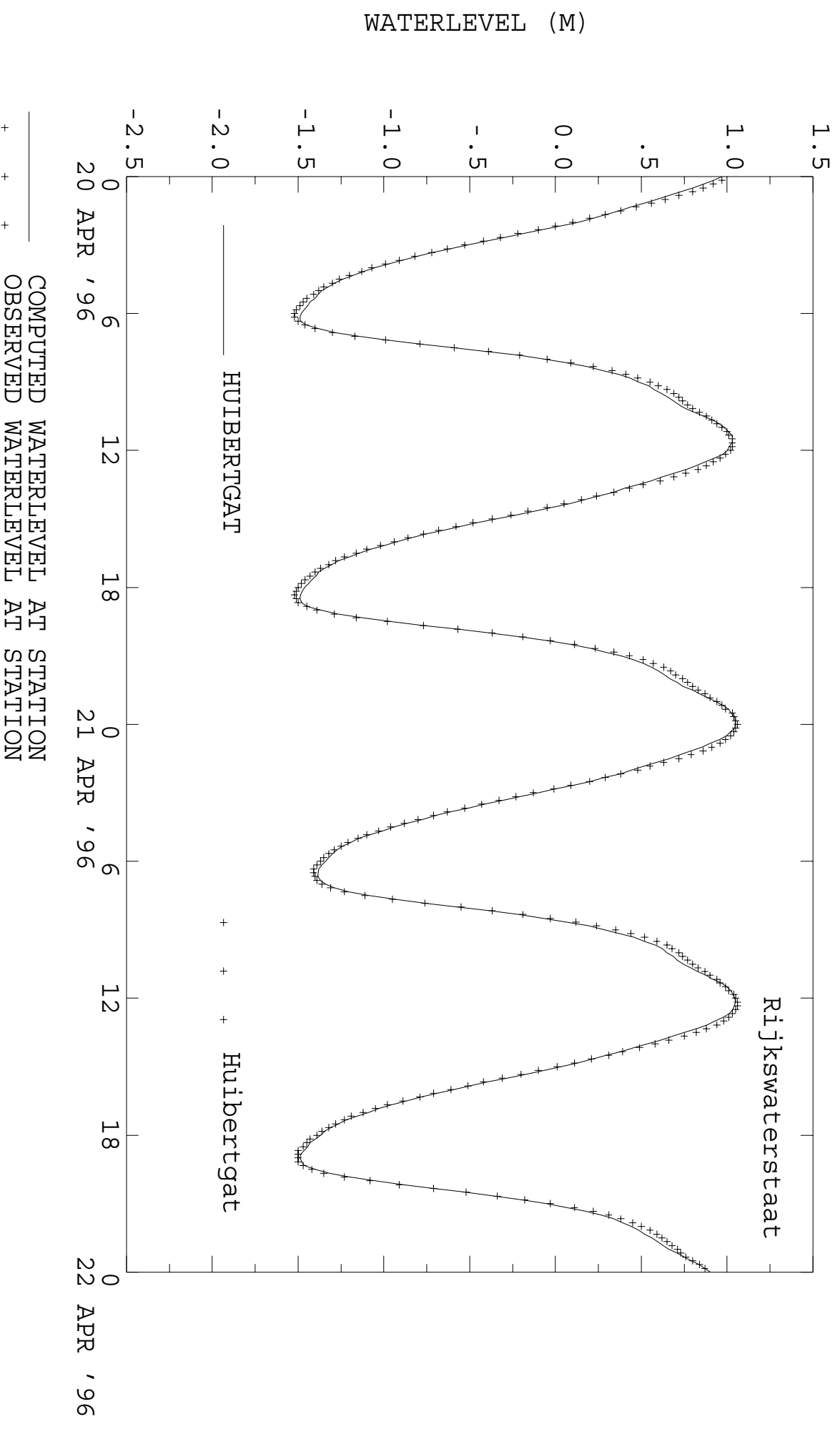


Fig. 18

kuststrook Fijn
Use_gain som kuststrook grof
donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
OBS: 99/11/09 11:34:02

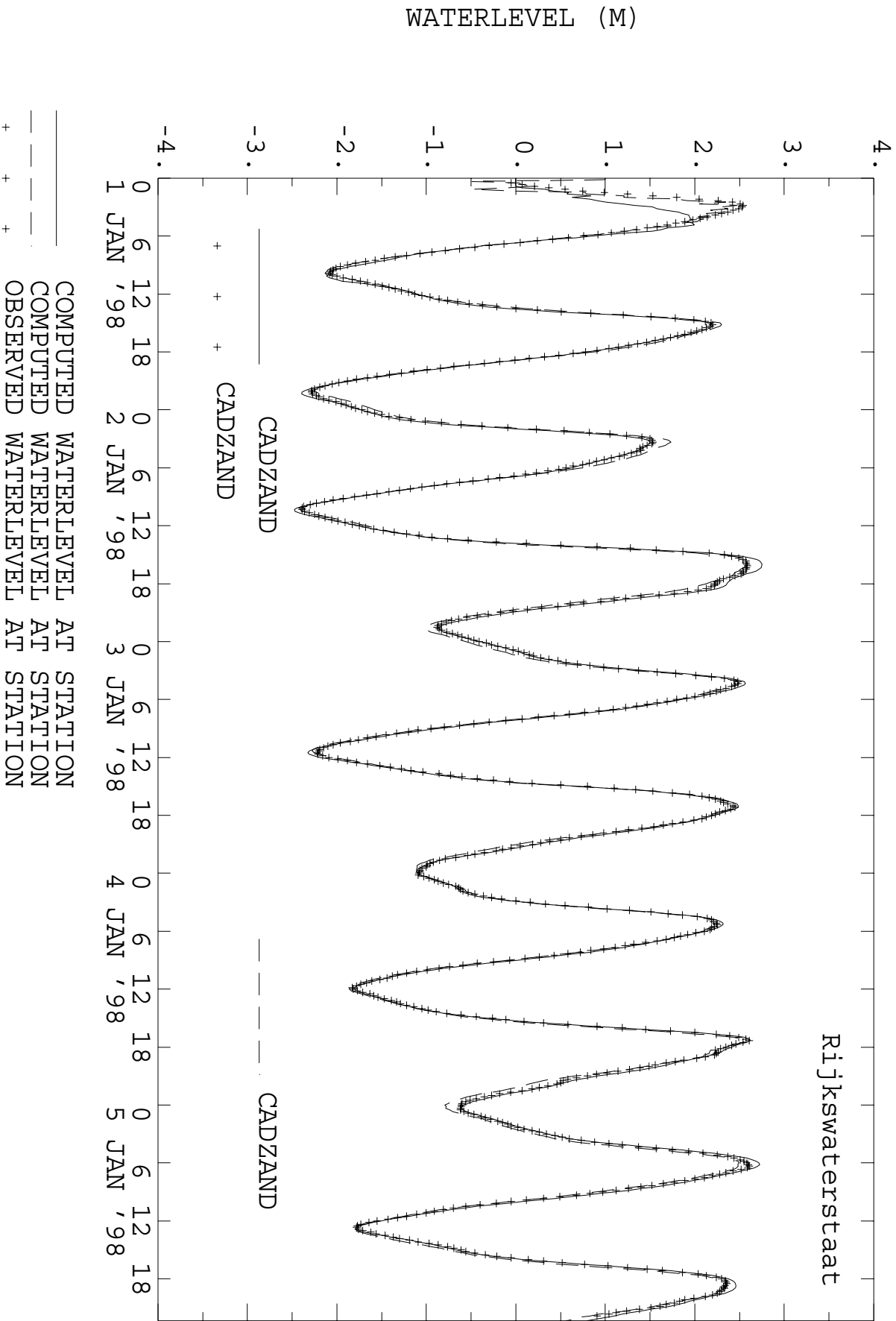


Fig. 19

kuststrook Fijn
Use_gain som kuststrook grof
donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
OBS: 99/11/09 11:34:02

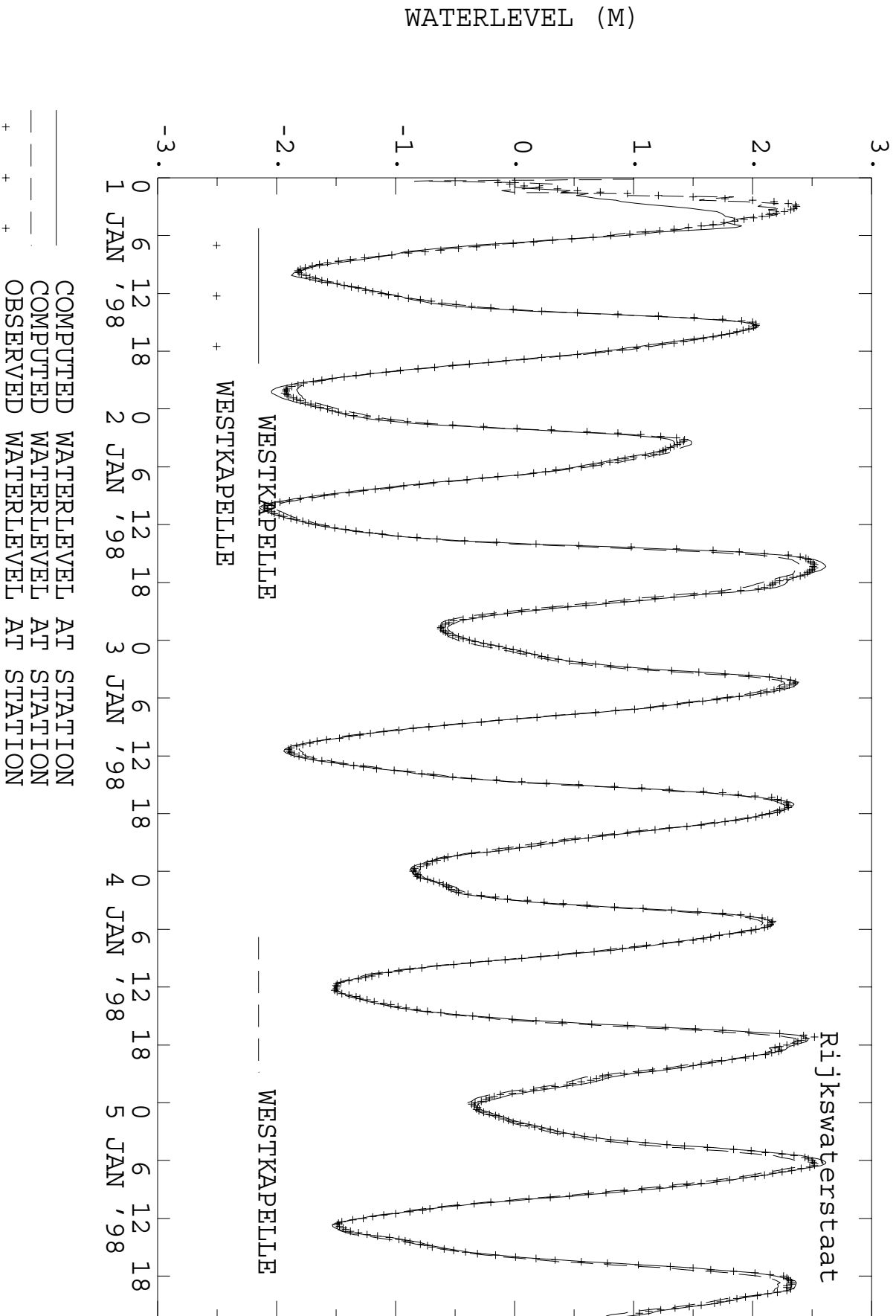


Fig. 20

kuststrook Fijn
Use_gain som kuststrook grof
donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
OBS: 99/11/09 11:34:02

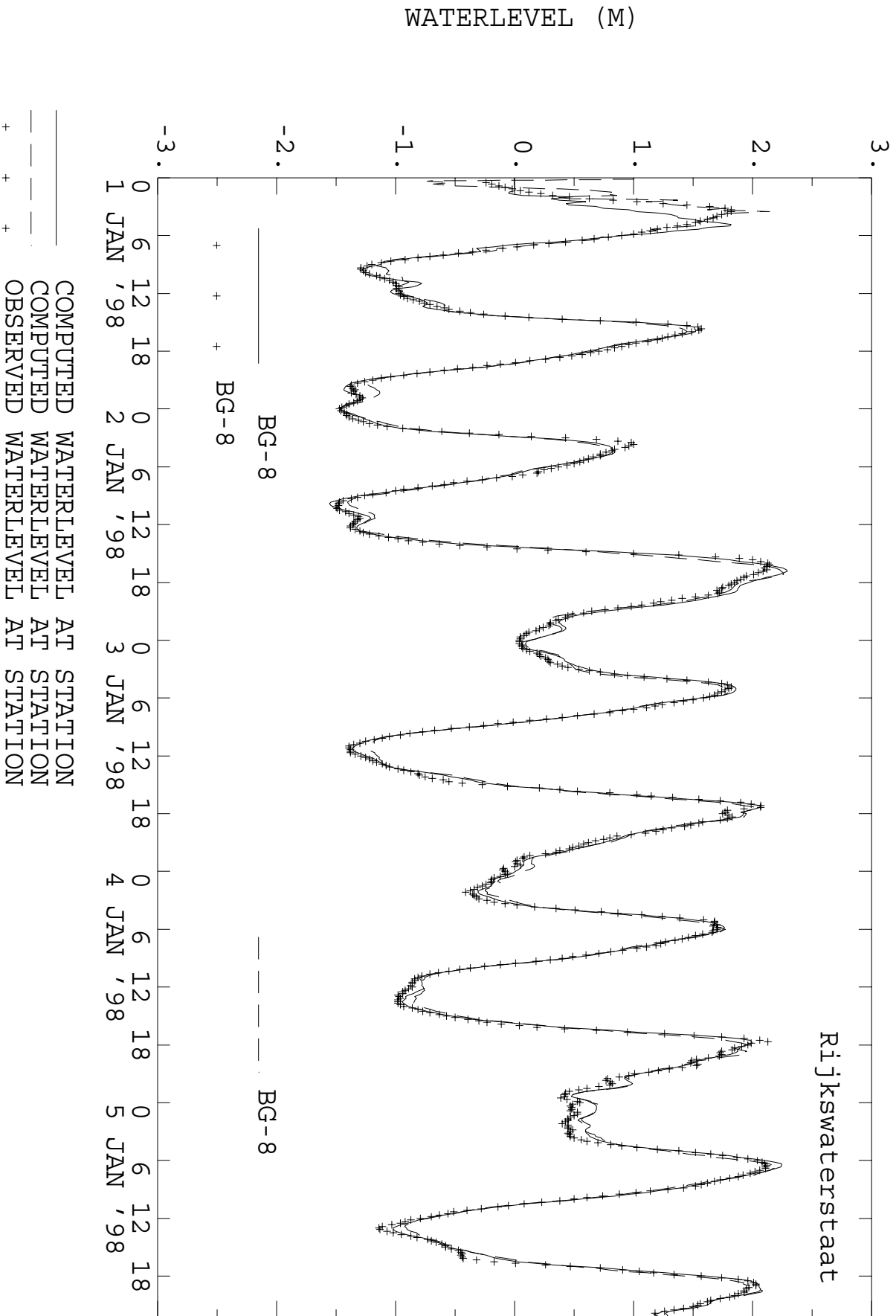


Fig. 21

kuststrook Fijn
Use_gain som kuststrook grof
donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
OBS: 99/11/09 11:34:02

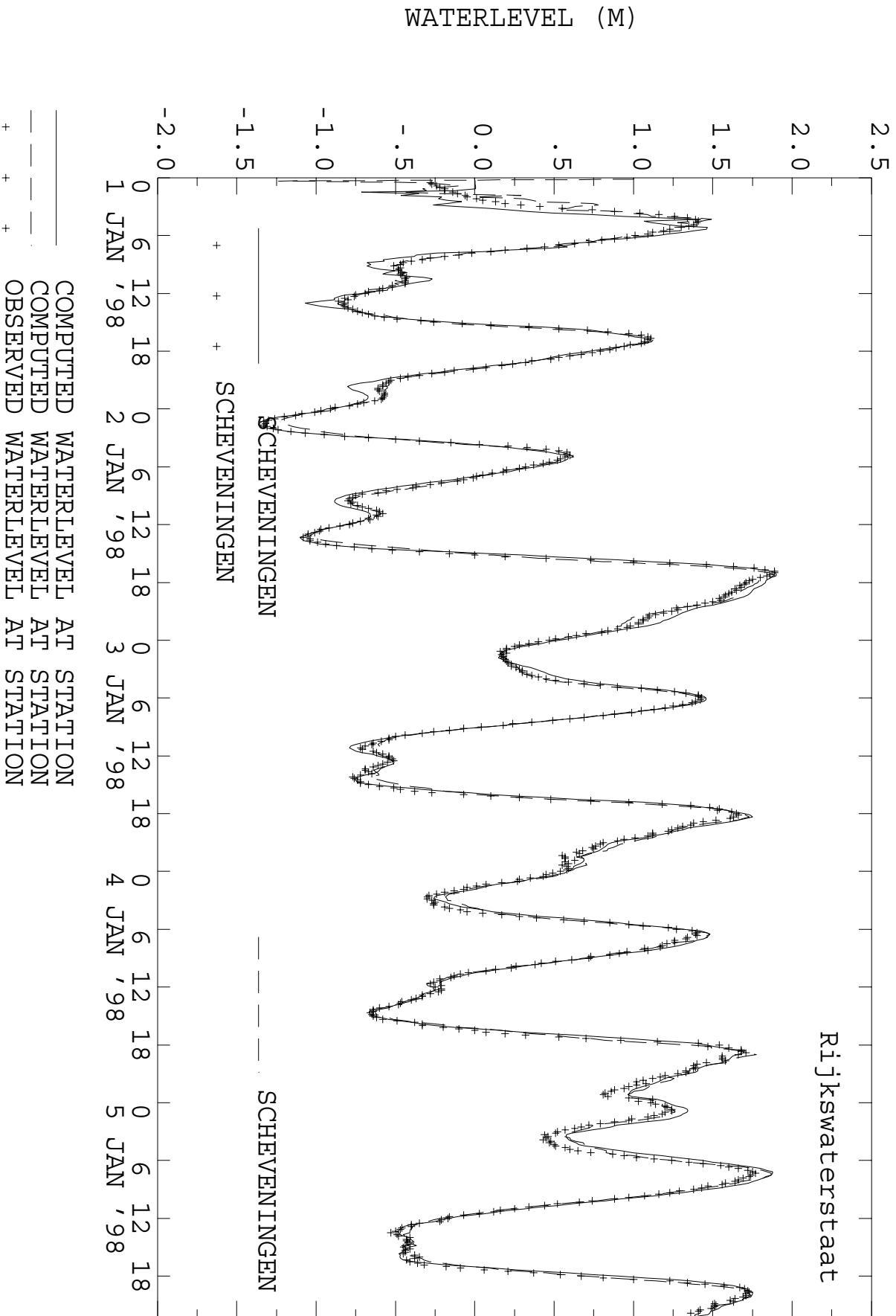


Fig. 22

kuststrook Fijn
Use_gain som kuststrook grof
donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
OBS: 99/11/09 11:34:02

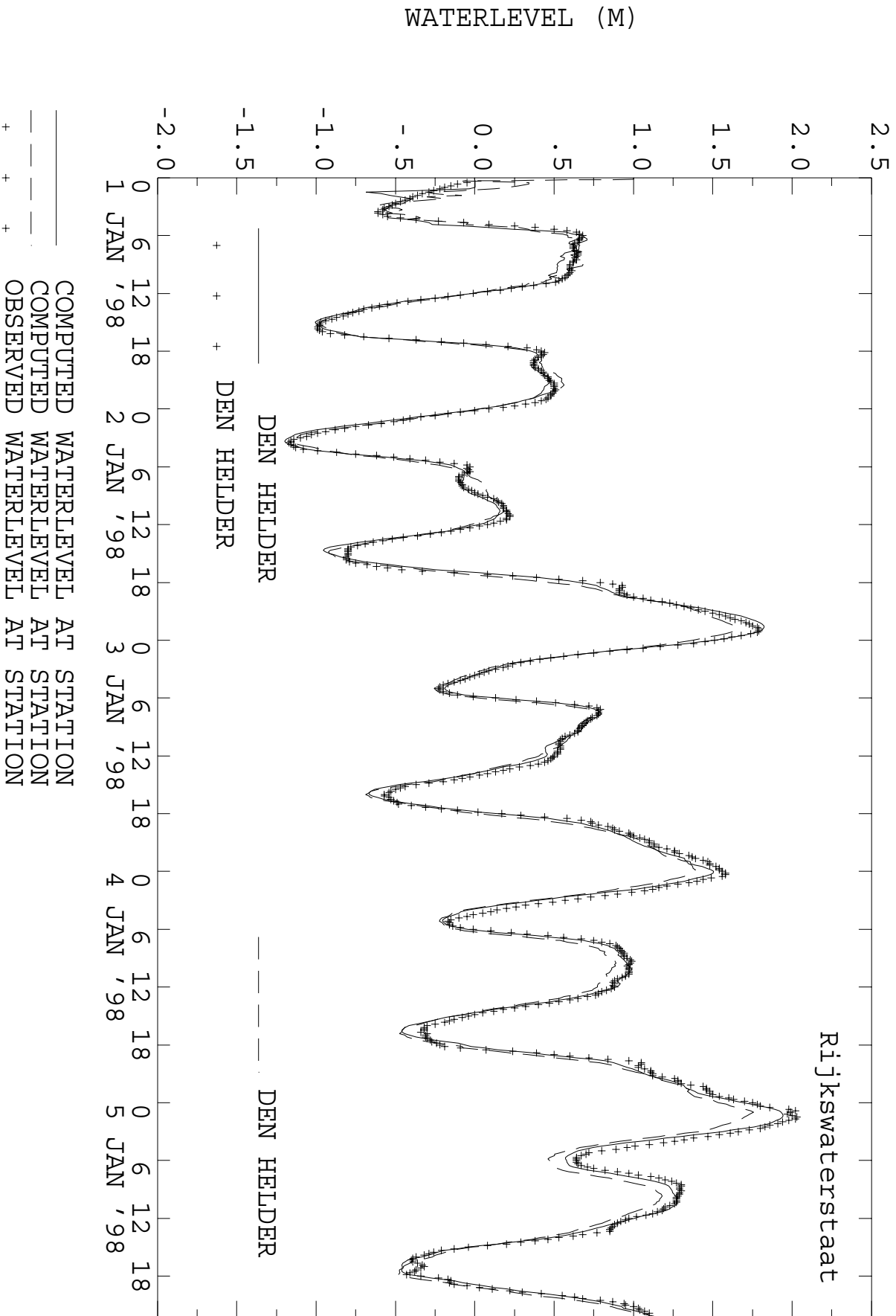


Fig. 24

kuststrook Fijn
 Use_gain som kuststrook grof
 donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
 IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
 OBS: 99/11/09 11:34:02

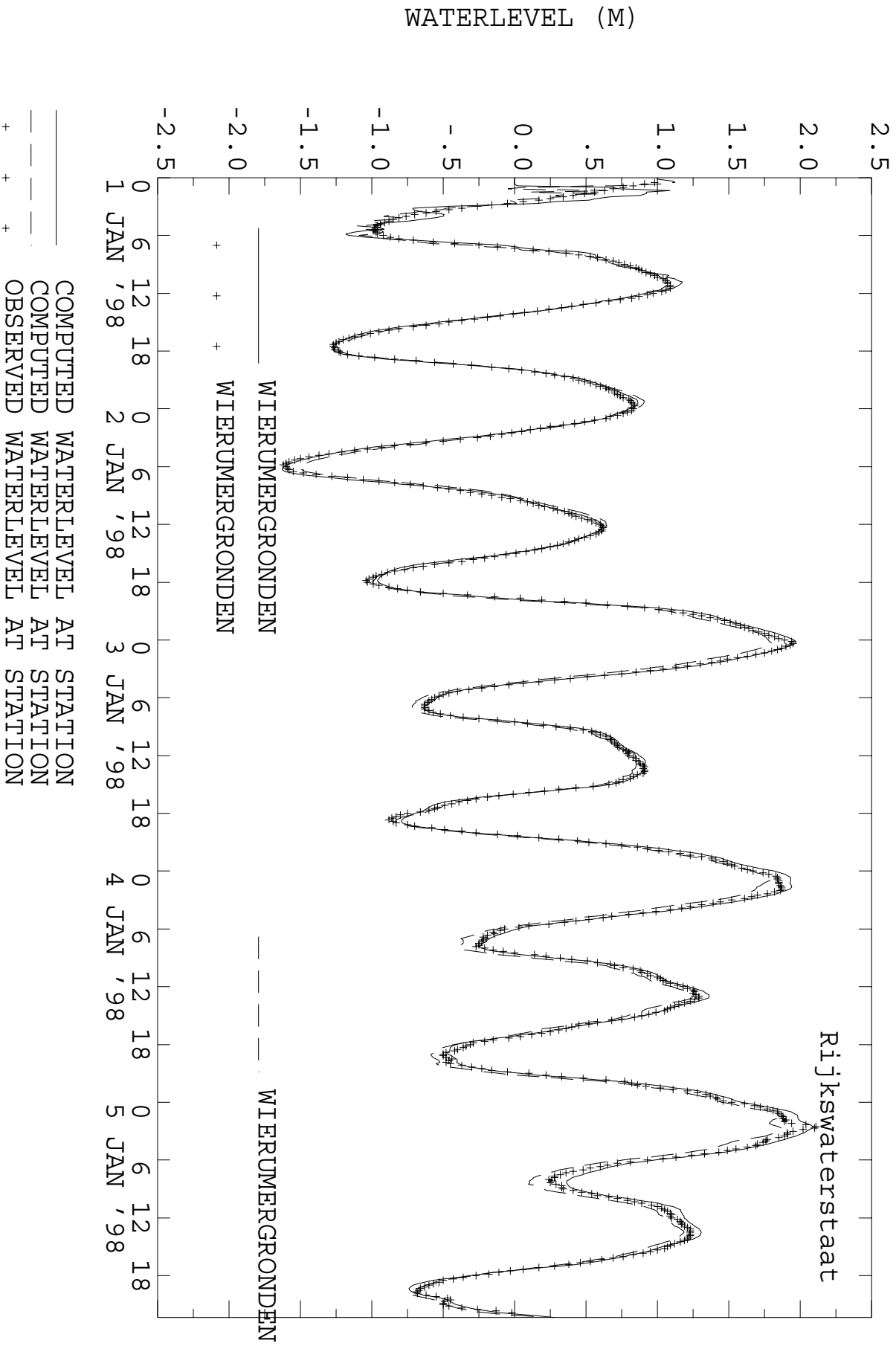


Fig. 25

kuststrook Fijn
Use_gain som kuststrook grof
donar gegevens 1998

IDP: 99/11/15 14:32:21 SIM: 99/11/15 14:32
IDP: 99/11/09 11:21:23 SIM: 99/11/09 11:21
OBS: 99/11/09 11:34:02

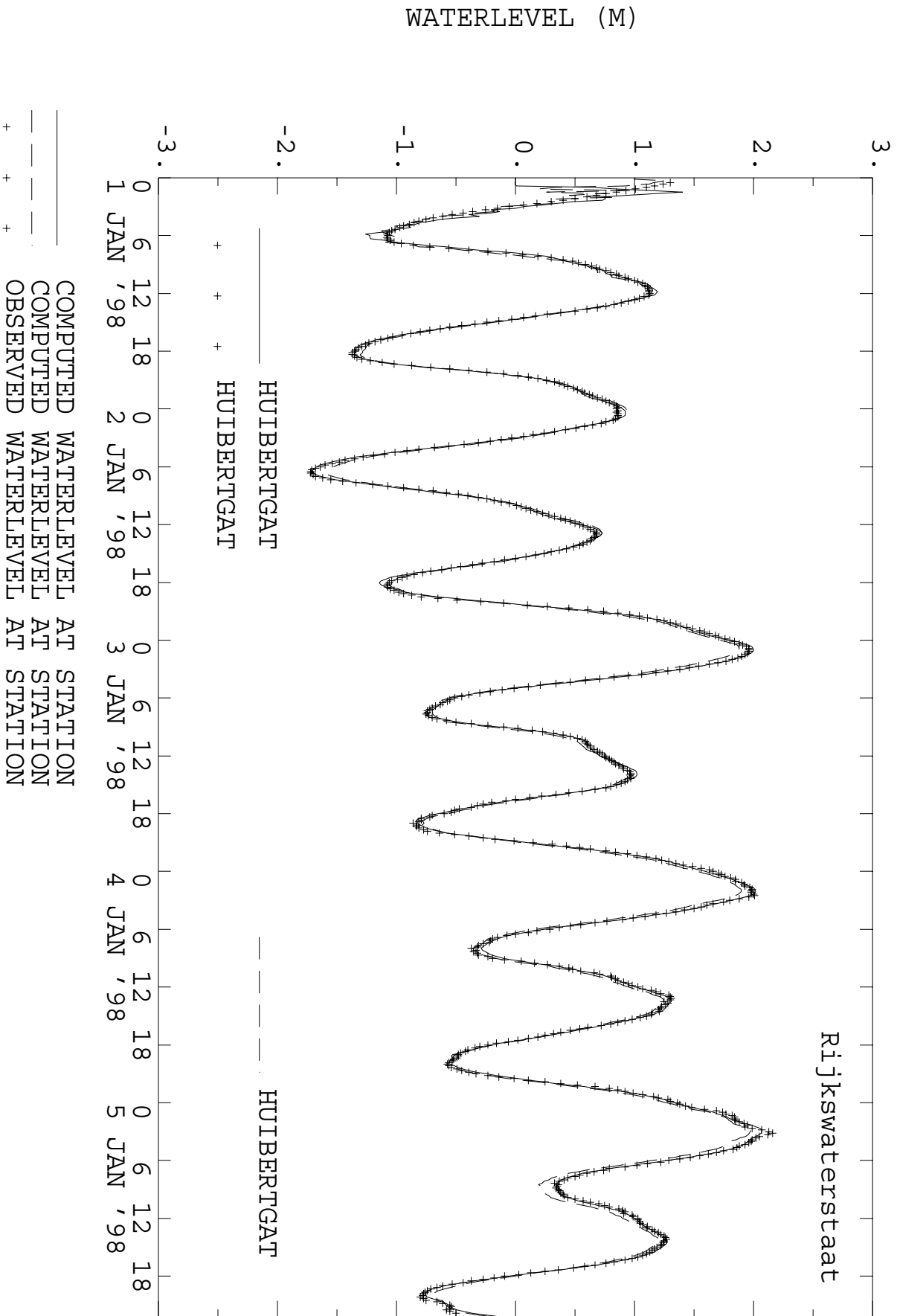


Fig. 26