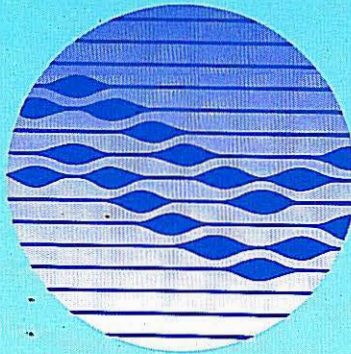




TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

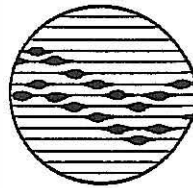
Hydrogeologisch onderzoek gipsstortplaats RPC



UNIVERSITEIT GENT

Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

HYDROGEOLOGISCH ONDERZOEK
GIPSSTORTPLAATS RPC



Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

Opdrachtgever

RPC

Leiding: Prof. Dr. W. DE BREUCK

Studie en verslag: Lic. M. VAN CAMP

Projektnummer: TGO 94/29

Datum : augustus 1995

INHOUD

INHOUD	I
LIJST VAN DE FIGUREN	II
LIJST VAN DE BIJLAGEN	III
1. Inleiding	1
2. Stijghoogtewaarnemingen	2
2.1 Tijd - stijghoogtelijnen	2
2.2 Stijghoogtekaarten	8
3. Chemische parameters	10
3.1 Tijdreeksen	10
3.2 Kwaliteitsparameters	12
3.3 Kwaliteitsevolutie rond de gipsstortuitbreidingszone	12
4. Besluit	14
5. Evaluatie van de genomen maatregelen	16
6. Aanbevelingen voor de toekomst	17

II

LIJST VAN FIGUREN

- Fig 1 Zonering van het studiegebied
- Fig 2 Stijghoogteverschillen tussen PB1 en PB2
- Fig 3 Stijghoogteverschillen tussen PB3 en PB4
- Fig 4 Stijghoogten in februari 1987 in de laag KZ1
- Fig 5 Stijghoogten in februari 1987 in de laag KZ2
- Fig 6 Stijghoogten in augustus 1990 in de laag KZ1
- Fig 7 Stijghoogten in augustus 1990 in de laag KZ2
- Fig 8 Stijghoogten in juli 1993 in de laag KZ1
- Fig 9 Stijghoogten in juli 1993 in de laag KZ2
- Fig 10 Stijghoogten in december 1993 in de laag KZ1
- Fig 11 Stijghoogten in december 1993 in de laag KZ2
- Fig 12 Stijghoogten in september 1994 in de laag KZ1
- Fig 13 Stijghoogten in september 1994 in de laag KZ2
- Fig 14 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIII-F1
- Fig 15 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIII-F2
- Fig 16 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIV-F1
- Fig 17 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIV-F2
- Fig 18 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXV-F1
- Fig 19 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXV-F2
- Fig 20 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in LO33-F1
- Fig 21 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in LO33-F2
- Fig 22 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in LO44-F1
- Fig 23 Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in LO44-F2
- Fig 24 Chemische parameters in juni 1987
- Fig 25 Chemische parameters in juni 1994

III

LIJST DE BIJLAGEN

Bijlage 1 Tijd-Stijghoogtelijnen

Bijlage 2 Tijdreeksen van de chemische parameters

1. Inleiding

Aan het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Universiteit Gent werd door Rhône-Poulenc Chemie n.v. opdracht gegeven om aan de hand van de beschikbare gegevens de huidige toestand van het grondwater rondom de gipsstortplaats te evalueren en te vergelijken met de toestand voor de pumping op de saneringsputten.

Het programma omvatte:

- het bepalen van het huidige grondwaterstromingspatroon
- het vergelijken van dit patroon met het grondwaterstromingspatroon vóór de pumping
- het bepalen van de huidige grondwaterkwaliteit
- het vergelijken van deze kwaliteit met die vóór de aanvang van de pumping
- de grafische weergave van de evolutie van de stijghoogte voor enkele representatieve putten (max 10).
- de grafische weergave van het stijghoogtepatroon op enkele representatieve tijdstippen (max 5 toestanden).
- grafische voorstelling van de evolutie van enkele specifieke kwaliteitsparameters (max 3 parameters voor max 10 putten).
- grafische voorstelling van de evolutie van enkele specifieke parameters op twee verschillende tijdstippen.

2. Stijghoogtewaarnemingen

2.1 Tijd - stijghoogtelijnen

Om de evolutie van de stijghoogten te bespreken werd het studiegebied in 5 verschillende zones ingedeeld, naargelang van hun ligging t.o.v. het gipsstort (Fig 1).

- zone 1 : tussen het gipsstort en het zeekanaal Gent - Terneuzen
- zone 2 : ten noordoosten van het gipsstort tussen de tunnel en het stort
- zone 3 : ten noorden en noordwesten van het gipsstort
- zone 4 : de zone tussen het gipsstort en de slibbergingsput en ten westen ervan
- zone 5 : het gebied rond de uitbreidingszone, ten westen van het gipsstort.

De tijd-stijghoogtegrafieken (Bijlage 1) worden besproken in de volgorde waarin zij zijn opgenomen. Van sommige metingen was enkel de maand en het jaar bekend. In dat geval is aangenomen dat de peilmeting halfweg de betreffende maand is uitgevoerd.

Bij de interpretatie van de grafieken moet men rekening houden met het in werking stellen van de drainagesystemen rond de gipsberg. Sinds 1988 is een batterij van 11 pompputten langs de gipsuitbreidingszone, aan de kant van Rieme, in gebruik. Een ondergronds drainagesysteem was toen reeds aanwezig. Aan de noordrand van het gipsstort heeft men in februari 1992 een batterij van 8 pomputten in werking gesteld. Elke pomput heeft een debiet van 4 m³/uur.

ZONE 1

LO4.1-F1 en -F2 liggen naast het kanaal Gent-Terneuzen. De waargenomen peilen liggen tot meer dan 1 m hoger dan het kanaalpeil (+4.45). Dit wijst op een grote hydraulische weerstand tussen het kanaal en het reservoir door de aanwezigheid van een kaaimuur. Het peil in de ondiepe filter staat hoger maar vertoont in 1985 en 1986 ongeveer dezelfde stijghoogten als in F1. Dit feit is moeilijk te verklaren. Vanaf 1988 is er een dalende trend merkbaar.

LO5.1-F1 en -F2 liggen naast het zeekanaal. De peilen liggen iets boven het kanaalpeil (+4.45).

In F1 werden in 1985 en 1986 abnormaal hoge peilen gemeten.

De peilbuizen BI , BII en BIII liggen op een rij tussen de gipsberg en het kanaal. Ze vertonen allemaal een dalende trend sinds 1988. Peilbuis BII werd slechts tot in 1990 opgemeten. De laagste standen in BI werd in 1993 waargenomen , in BII en BIII in 1990.

ZONE 2

De peilbuizen BIV ,BV, BVI (telkens F1 en F2) liggen ten NO van het gipsstort. BIV ligt het dichtst bij de gipsberg en tevens dicht bij de reeks pompputten van de batterij die sinds februari 1992 langs de noordzijde van het terrein in werking zijn. De stijghoogten vertonen een dalende trend sinds 1988. Bij het in werking stellen van de puttenbatterij is er een plotselinge peildaling van 0.75 m in F1 (KZ1) en 1.25 m in F2 (KZ2) merkbaar. Nadien stijgen de peilen enigszins maar blijven ongeveer 0.5 m lager dan voordien. De laagste peilen van de meetreeks worden in 1994 opgemeten , met uitzondering van de éénmalige zeer lage stand in F2 na aanvang van de pompings. In peilbuis BV is het starten van de pumping niet duidelijk te zien. Ook hier treedt vanaf 1988 een dalende trend op. De laagste stijghoogten zijn waargenomen in 1994. De peilen in BVI verlopen volledig analoog. Hier zijn de stijghoogten in 1986 en 1987 een drietal meter lager dan normaal. Het is niet uitgesloten dat men een foute omrekening van de gegevens heeft gemaakt.

De peilbuizen BVII-F1 en -F2 en BVIII-F1 en -F2 gelegen nabij het drainagesysteem van de tunnel onder het zeekanaal , hebben lage peilen (lager dan het kanaalpeil van +4.45). Ze vertonen vanaf 1988 lagere stijghoogten dan ervoor. De verhoging met ca 1 m in BVIII F2 vanaf 1993 is niet te verklaren.

BIX-F2 heeft de laagste standen in de zomers van 1989 en 1990.

ZONE 3

LO3.1-F1 en -F2 liggen tegen het zeekanaal. Ze hebben regelmatige jaarlijkse schommelingen . Deze zijn groter in F2.

LO3.3-F1 en -F2 hebben sterke seizoenschommelingen. Het laagste peil is in 1990 gemeten. Men merkt er geen dalende of stijgende trend.

BXII-F1 en -F2 vertonen zeer grote seizoenschommelingen. De peilputten lopen in de wintermaanden regelmatig over . In de zomer ligt het peil soms 1,5 m lager .

DB11-F1 en -F2 zijn slechts tot in 1990 gemeten. In 1988 en 1989 zijn de standen lager dan in de voorafgaande jaren

HB21 gelegen over de rijksweg Antwerpen - kust , vertoont grote regelmatige seizoenschommelingen. De stijghoogten liggen vanaf 1988 ongeveer 0.5 m lager dan tussen 1984 en 1987.

De peilputten BXIII-F1 en -F2 liggen 800 m ten NW van de gipsberg en zijn weinig beïnvloed door de waterhuishouding van het gipsstort. Deze peilputten tonen grote , regelmatige seizoenschommelingen. In de jaren 1989 en 1990 doen zich de laagste standen voor , maar een echte trend is niet aanwezig.

ZONE 4

BX-F1 en -F2 zijn op het gipsstort gelegen. De filters bevinden zich in het gipsmateriaal. Hier worden hoge stijghoogten gemeten. Het peil in de ondiepe filter staat ongeveer 1 m hoger dan in de diepe filter. Opmerkelijk is de sterk dalende trend die sinds het begin van de metingen in 1984 wordt waargenomen. Sindsdien zijn de peilen ongeveer 2 m gedaald. De laagste peilen werden in 1994 opgemeten. Op de dalende trend zijn de seizoenschommelingen gesuperponeerd.

De peilputten BXI-F1 en -F2 zijn tussen het gipsstort en de rijksweg Antwerpen - kust gelegen. Deze peilbuizen liggen dicht tegen pompput P1004. Het starten van de pompputten in februari 1992 is duidelijk merkbaar: de stijghoogten in de laag KZ1 dalen ongeveer 1 m. In die periode zijn geen metingen in de peilput F2 (in KZ2) beschikbaar. De stijghoogten liggen vanaf 1992 ongeveer 1 m lager dan ervoor , met uitzondering van 2 metingen . Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan een tijdelijk stoppen van de pumping in de put P 1004.

De peilputten HB12, HB13 en HB14 liggen tussen de slibbergingsput en het gipsstort. Ze vertonen alle drie een vergelijkbaar patroon met weinig uitgesproken seizoenfluctuaties. Hier komen sinds 1991 lagere peilen voor.

HB22 en HB23 liggen in het NW tussen het gipsstort en de rijksweg. Ze vertonen regelmatige maar grote seizoenschommelingen. De laagste stijghoogten komen voor in de zomers van 1993 en 1994.

De peilputten I , II en IIa zitten in het Ledo-Paniseliaan. De peilputten I en II vertonen kleine seizoenschommelingen (ca 25 cm) met enkele abnormale metingen (meetfouten?). Peilput II heeft een licht dalende trend. Peilput IIa vertoont een totaal abnormaal patroon zonder seizoenschommelingen en met 2 plotselinge stijgingen. Mogelijk heeft deze peilput geen hydraulisch contact met het reservoir. De plotselinge stijgingen kunnen veroorzaakt zijn door water dat van bovenaf is ingelopen.

De peilbuizen 1-1 , 1-2 , 1B-1 , 1B-2 , 2B-1 en 2B-2 gelegen ten NW van gipsstort , vertonen regelmatige , grote seizoenschommelingen. Er is een dalende trend in de loop der jaren te zien . De de jaarlijkse schommelingen nemen toe.

In de peilputten 2-1 en 2-2 zijn de standen gedurende een te korte periode opgemeten om konklusies te trekken.

De peilbuizen SP1 t.e.m. SP6 liggen tussen de gipsberg en de slibbergingsput. De peilput SP1 vertoont hoge peilen. Hij fluctueert , zij het niet regelmatig , met kleine jaarlijkse schommelingen. De peilputten SP2-1 en SP2-2 lopen steeds over. De stijghoogte is er steeds meer dan 9 m. De peilput SP3-1 vertoont een licht stijgende trend. De peilen in 1985 ,1986 en 1987 liggen ca 0.75 m lager. Er is zeer weinig seizoenvariatie. De peilput SP4-1 vertoont regelmatige jaarlijkse schommelingen. De peilen in 1988 en 1989 liggen lager. Zowel SP5-1 als SP5-2 vertonen snelle en plotselinge peilveranderingen. Deze peilputten liggen dicht tegen de pompput 16 , waardoor de stijghoogten sterk worden beïnvloed door de pumping. De peilputten SP6-1 en SP6-2 lopen steeds over. De stijghoogte is er steeds meer dan 9 m.

De peilputten LO4.4-F1 en -F2 en BXIV-F1 en -F2 liggen ten W van de slibbergingsput. Ze vertonen regelmatige grote seizoenschommelingen (meer dan 1 m). Hier is er geen dalende of stijgende trend waar te nemen. De laagste stijghoogten kwamen voor in 1990. De peilen in 1992, 1993 en 1994 liggen 0.25 tot 0.50 m hoger dan in de voorafgaande jaren.

ZONE 5

De peilputten HB18, HB19 en HB20 zijn slechts korte tijd gemeten vóór de aanleg van de uitbreidingszone van het gipsstort. Ze bevinden zich in de laag KZ2. De stijghoogten bedroegen er ongeveer 8 m.

De peilputten HB15, HB16, HB17 en HB17a liggen nabij pompput 8 en bevinden zich in de laag KZ2. Met uitzondering van HB17a vertonen ze hetzelfde patroon: kleine seizoenschommelingen, meestal minder dan 25 cm, met de laagste peilen in 1990, die veel lager zijn dan de andere zomerminima. Het stijghoogtepatroon van HB17a is volledig analoog aan dat van de peilputten PB1 en PB2 in KZ1, zodat de filter van HB17a waarschijnlijk ook in de laag KZ1 zit. Peilput HB17 ligt tussen de binnen- en buitengracht. Deze fluctueert weinig maar vrij regelmatig. De winterstanden in de periode 1991 - 1994 zijn hoger dan in de voorafgaande jaren. Peilputten HB16 en HB15 hebben een sterk vergelijkbaar patroon.

De peilputten PB1 en PB2, nabij pompput 8 in de laag KZ1, vertonen grote schommelingen (tot meer dan 2 m) t.g.v. de pumping. De opmerkelijk hoge standen (tot +8.50) in februari 1990 en de winter van 1992 - 1993 zijn waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de bemaling niet werkte. Van 18 november 1992 tot 18 mei 1993 is in peilbuis PB2 de stijghoogte hoger geweest dan +8.00.

De peilputten PB3 en PB4 liggen ongeveer 30 en 60 m buiten de buitengracht tussen pompputten PP13 en PP14. De filters van deze putten bevinden zich over volledige lengte in beide lagen KZ1 en KZ2. Hun stijghoogtepatroon vertoont grote plotselinge peilschommelingen t.g.v. de werking van de pompputten en reageren eerder als peilputten in de laag KZ1 alleen. Zoals voor de peilputten PB1 en PB2 komen ook hier hoge peilen voor in februari 1990. Zowel in de maand vóór als na februari 1990 worden de laagste peilen van de hele reeks waargenomen. De

laatste jaren zijn er perioden (winter 1992-1993 en winter 1993-1994) waarin de stijghoogte +7.25 tot +7.50 bedraagt , waarbij de stijghoogte in de peilput PB4 (dicht bij de pompputten) hoger staat dan in de peilput PB3 (verder van de pompputten). Gedurende deze perioden stroomt water in westelijke richting , van de gipsuitbreidingszone naar de omgeving. In peilbuis PB4 is de stijghoogte van 14 oktober 1992 tot 22 juni 1993 en van 13 oktober 1993 tot 15 juni hoger geweest dan +7.00.

Men kan de stijghoogteverschillen tussen PB1 en PB2 en tussen PB3 en PB4 uitzetten ten opzichte van de absolute stijghoogte in de peilput die het dichtst bij de pompputten gelegen is , nl PB2 en PB4 (Fig 2 en 3). Positieve waarden wijzen op een stroming naar de pompputten toe , negatieve op stroming naar de omgeving toe. Bij grote stijghoogten (gemiddeld meer dan +7.00) treedt er een stroming naar de omgeving op , bij lage (gemiddeld minder dan +7.00) is de stroming naar de pompputten gericht. Uit de stijghoogteverschillen kunnen met behulp van de wet van Darcy grondwatersnelheden berekend worden:

$$\text{grondwatersnelheid} = \frac{\text{doorlatendheid} \times \text{verhang}}{\text{porositeit}}$$

Voor een stijghoogte van +8.00 of meer treedt een stijghoogteverschil van ongeveer 0.20 m op over een afstand van ongeveer 30 m tussen PB1 en PB2 en 45 m tussen PB3 en PB4. Met een doorlatendheid van 13 m/d voor de laag KZ1 en een gemiddelde porositeit van 0.38 geeft dit een snelheid van ongeveer 7 m per maand tussen PB1 en PB2 en 4.6 m per maand tussen PB3 en PB4.

De waterpeilen in de pompputten 1 en 2 hebben een eerder onregelmatig verloop (bepaald door de andere pompputten) maar vertonen wel hetzelfde patroon.

PB1-1 , PB1-2 , PB1-3 , PB2-1 , PB2-2 , PB2-3 zijn te kortstondig opgemeten om de resultaten ervan zinvol te verklaren.

LO53-F1 en -F2 gelegen ten zuiden van het gipsstort hebben zeer lage standen in de zomer.

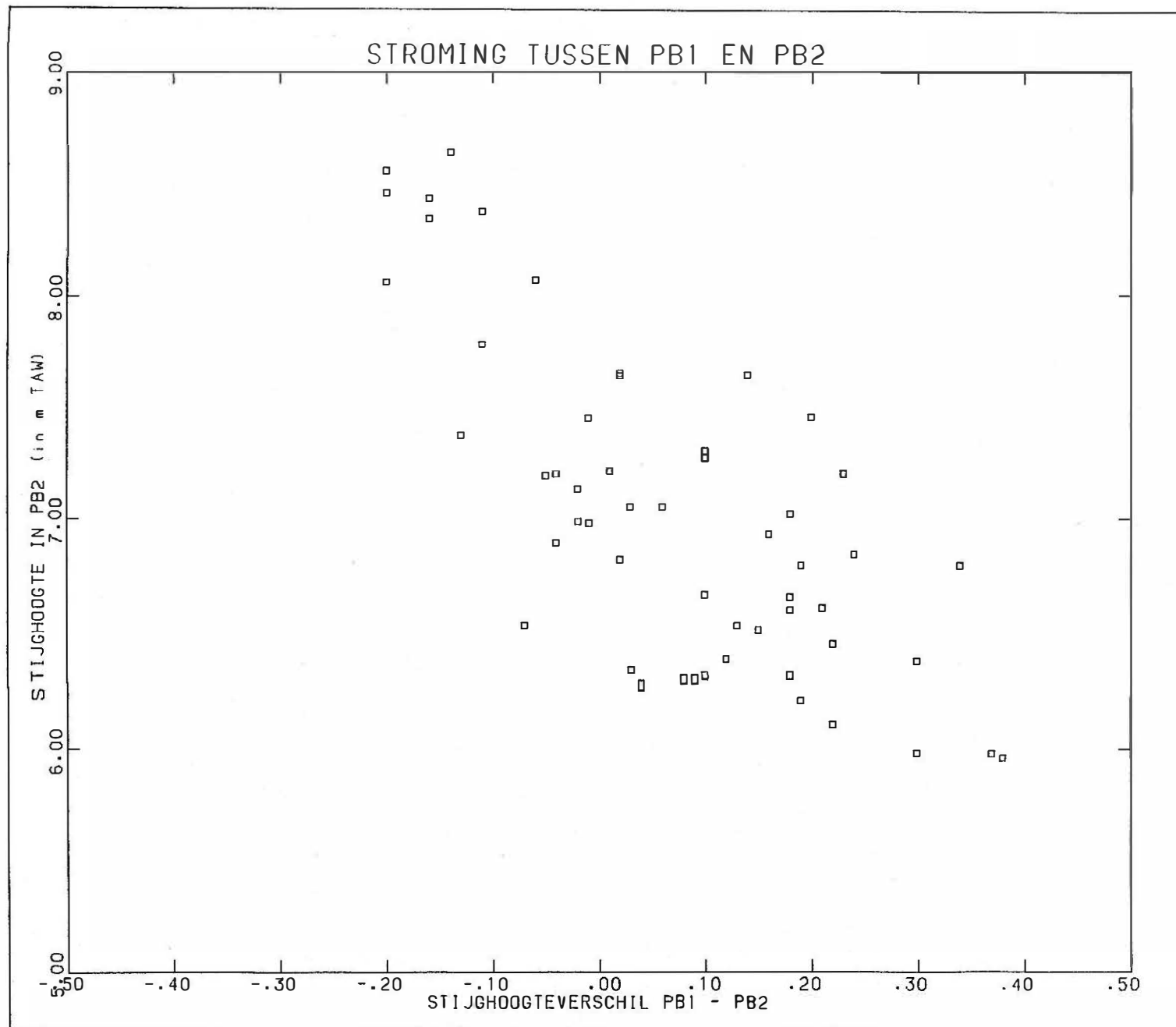


Fig. 2 - Stijghoogteverschillen tussen PB1 en PB2

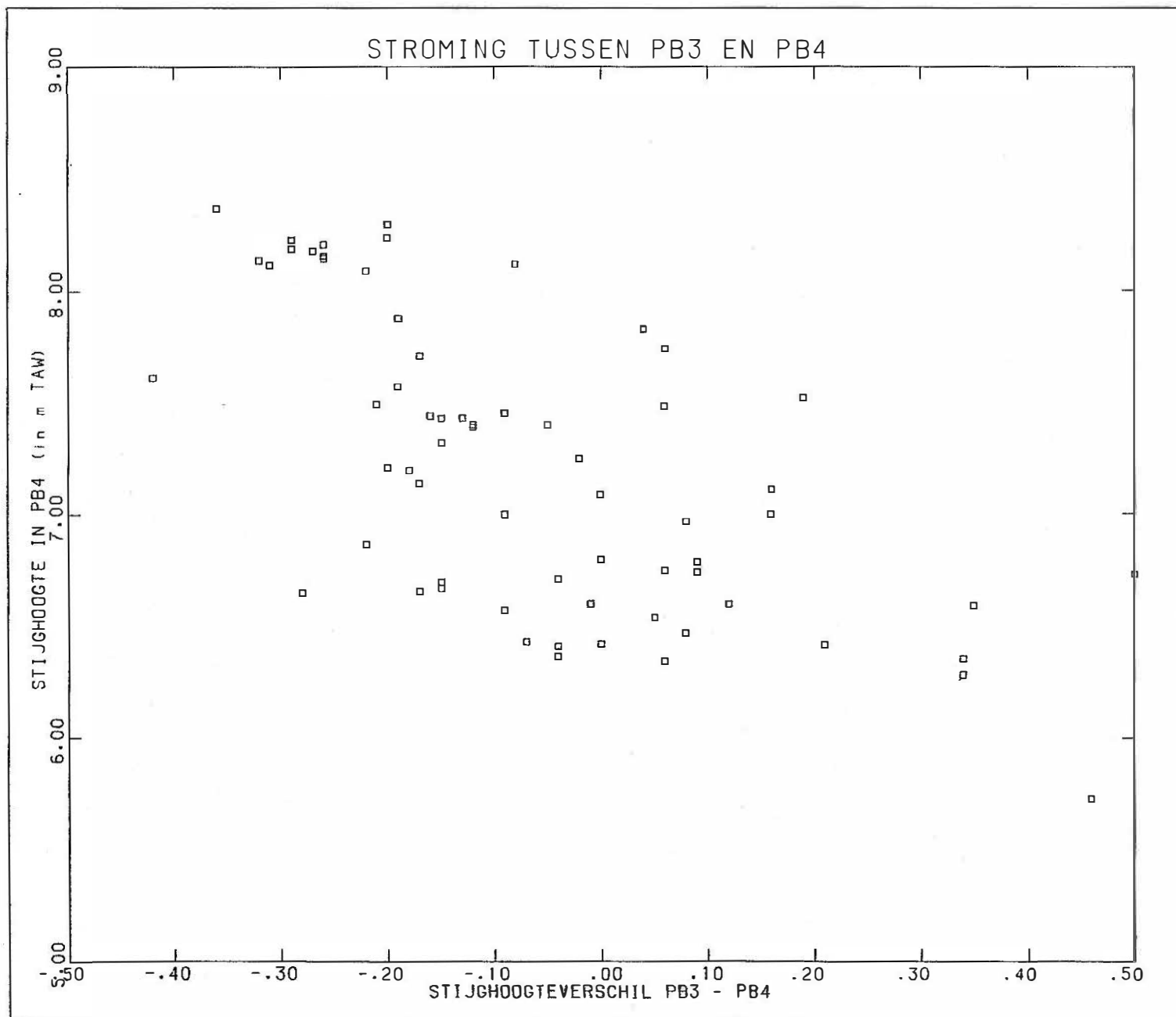


Fig. 3 - Stijghoogteverschillen tussen PB3 en PB4

BXV-F1 en -F2 liggen ongeveer 700 m ten zuidwesten van de uitbreidingszone. De waterstanden volgen een regelmatig patroon met grote seizoenfluctuaties (ca 1 m). Er is geen dalende of stijgende trend te merken. De laagste peilen deden zich voor in 1990. De winterpeilen van 1992-1993 en 1993-1994 lagen bijna 0.5 m hoger dan in de vier voorafgaande winters.

Om het gemiddeld stijghoogteverloop te kennen van peilputten die niet beïnvloed zijn door de waterhuishouding van het gipsstort werd van peilputten BXIII-F1 en -F2, BXIV-F1 en -F2, BXV-F1 en -F2, LO33-F1 en -F2 en LO44-F1 en -F2 de jaargemiddelden uitgezet in functie van de tijd (Fig 14 t.e.m. Fig 23). Alle grafieken vertonen hetzelfde patroon. De periode 1984 t.e.m. 1987 wordt gekenmerkt door hoge waterstanden, waarbij 1986 iets lager was. Hierna komen in 1988, maar vooral in 1989 en 1990, lage waterpeilen voor. De gemiddelden in 1989 en 1990 liggen minstens 0.5 m onder de peilen van 1984 - 1987. Daarna stijgen de gemiddelden met ongeveer 25 cm. In 1992 komen de hoogste waarden van de afgelopen vijf jaar voor. De gemiddelden zijn dan lager dan in de periode 1984 - 1987.

2.2 Stijghoogtekaarten

Er werden stijghoogtekaarten van vijf verschillende tijdstippen opgesteld (Fig 4 t.e.m. 13). Deze geven de grondwaterstand in de lagen KZ1 en KZ2 weer d.m.v. lijnen van gelijke stijghoogten. De lijnen werden getekend met een interval van 0.5 m. Het grondwater stroomt loodrecht op de stijghoogtelijnen van hoog naar laag. De tijdstippen werden geselecteerd op grond van de tijd-stijghoogtegrafieken. Deze zijn:

- februari 1987 : hoge stand vóór aanvang van de pumping rond de uitbreidingszone
- augustus 1990 : in vele meetreeksen is dit de laagst gemeten stand
- juli 1993 : de laagste stand van de zomer van 1993
- december 1993 : de hoogste stand van de winter van 1993 - 1994
- september 1994 : de laatste meting die beschikbaar was

De hoogste en laagste standen waren niet steeds voor alle peilbuizen gelijk. Tijdens de gekozen maanden bereikten de meeste piëzometers hun minimum of maximumstand.

Het algemeen stromingspatroon is op alle tijdstippen ongeveer hetzelfde. Het stromingspatroon in de lagen KZ1 en KZ2 is gelijk: de stijghoogteverschillen zijn klein. Rond de gipsberg treedt

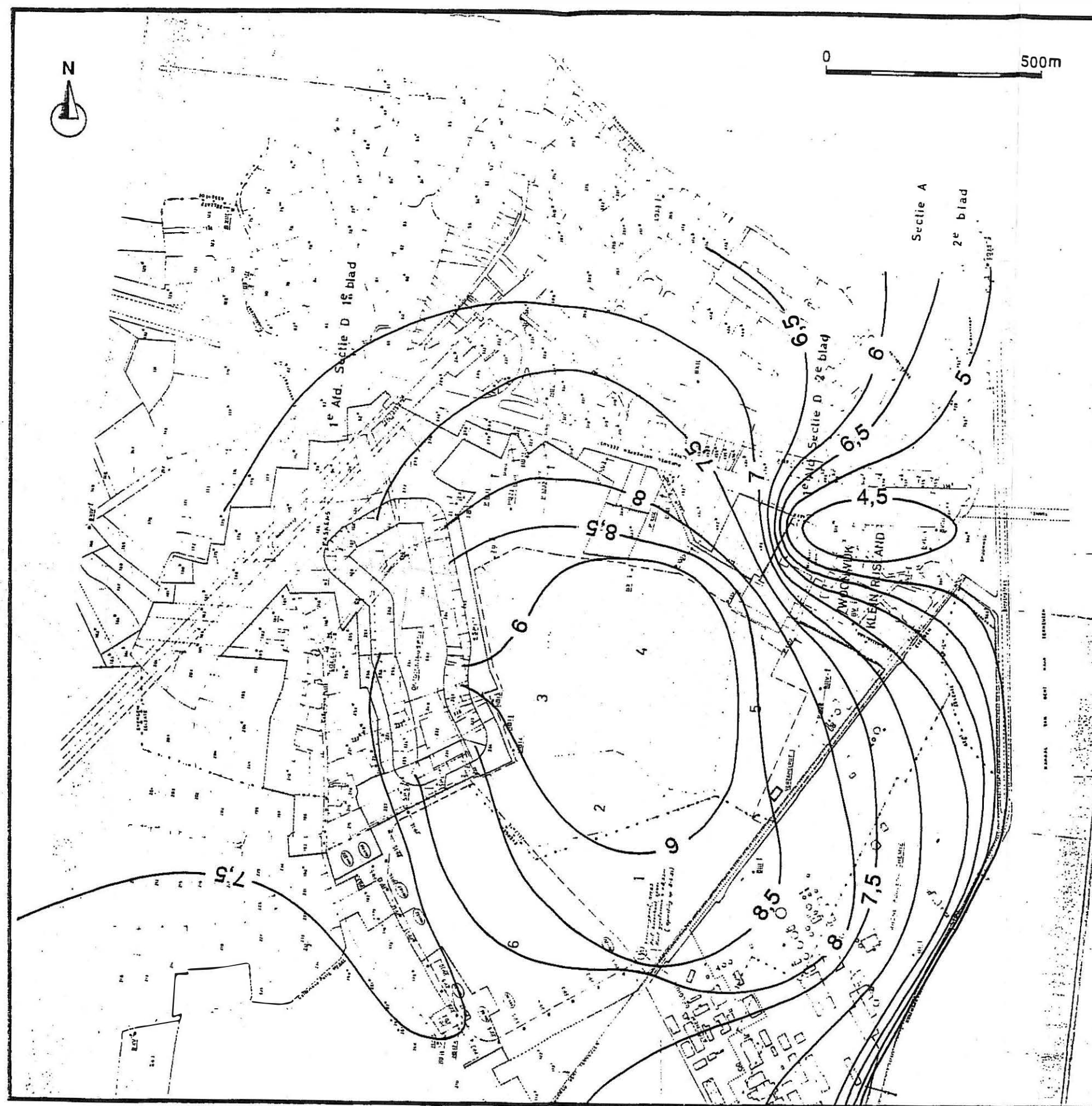


Fig. 4 - Stijghoogten in februari 1987 in de laag KZ1

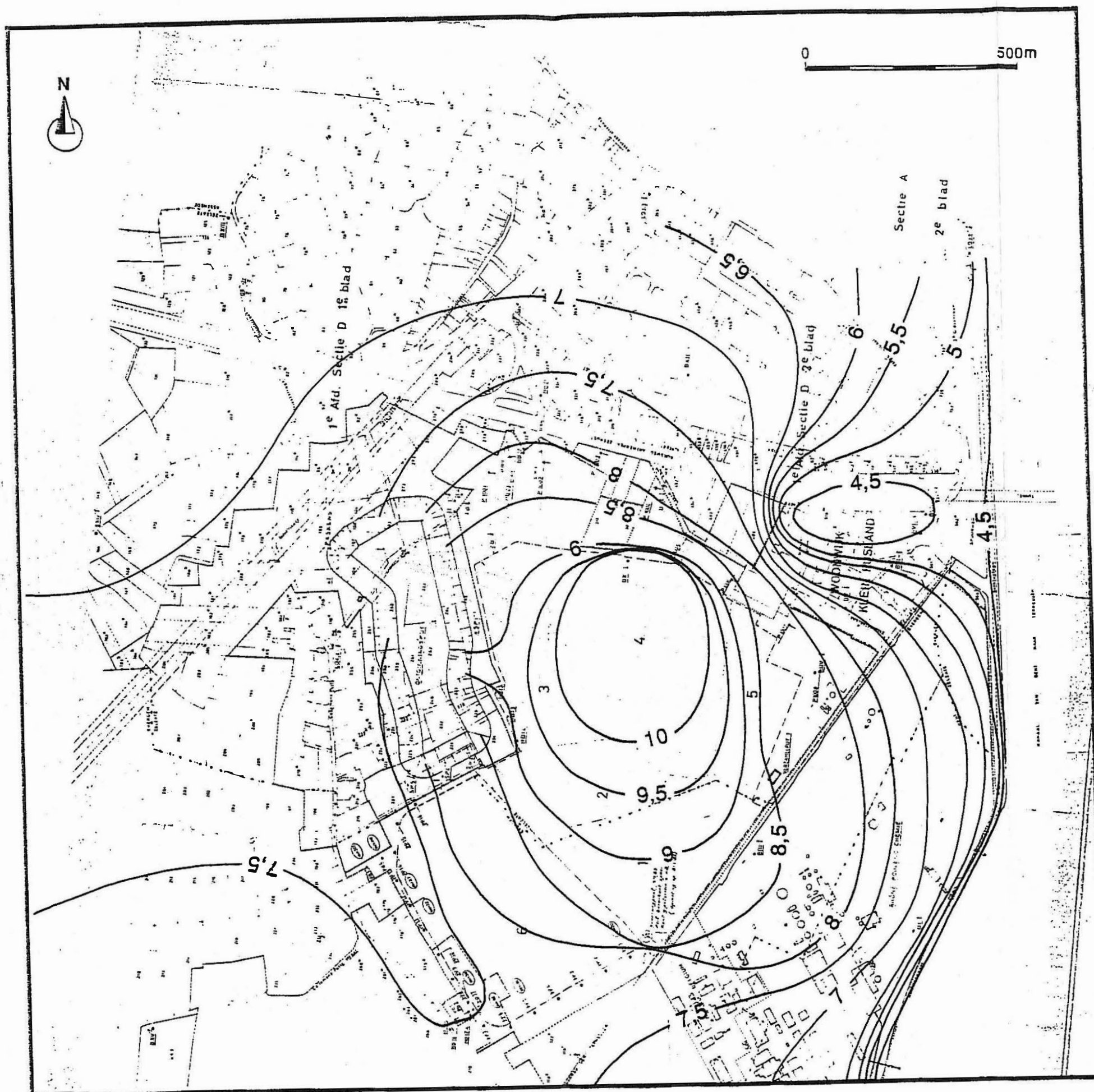


Fig. 5 - Stijghoogten in februari 1987 in de laag KZ2

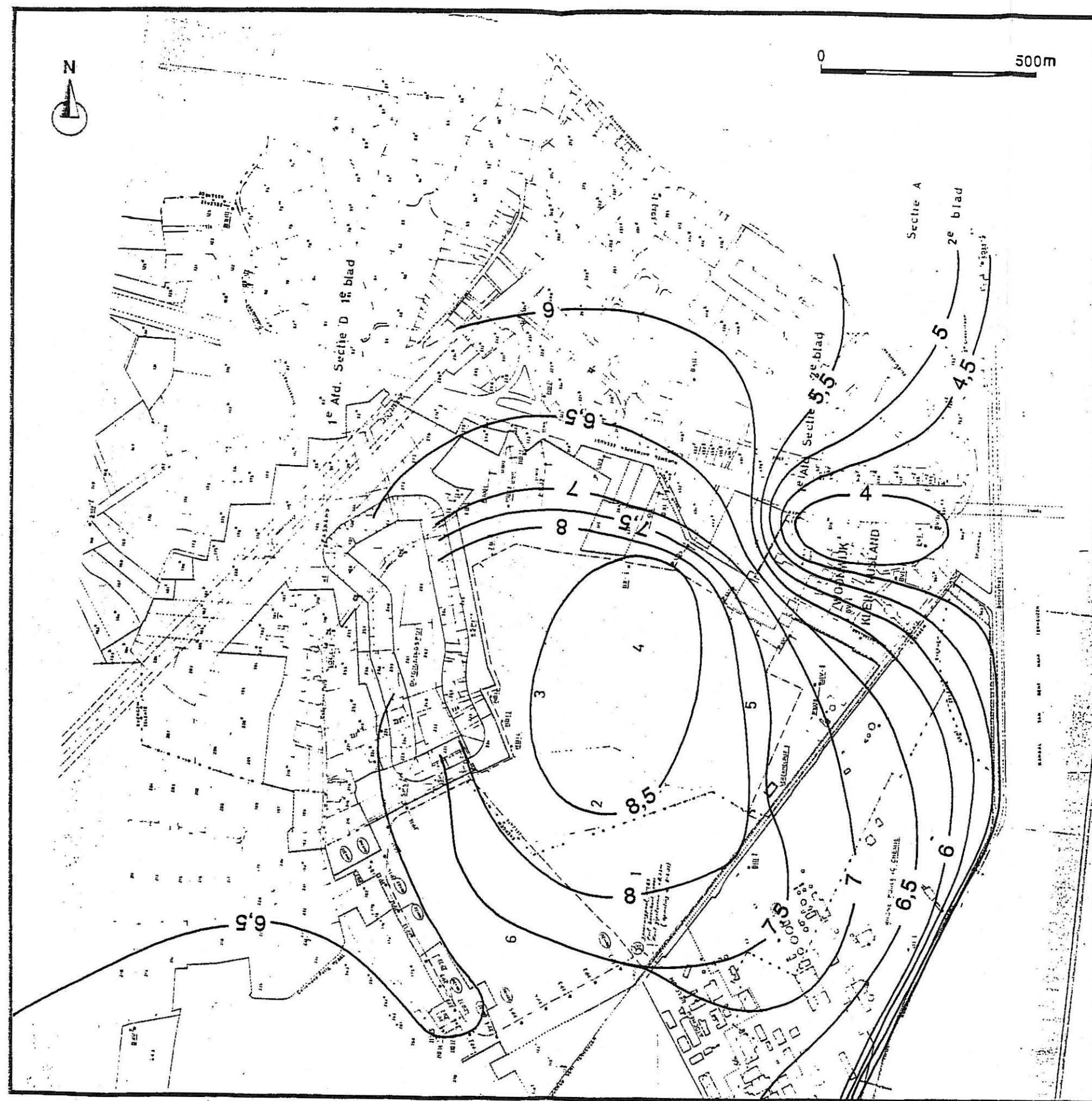


Fig. 6 - Stijghoogten in augustus 1990 in de laag KZ1

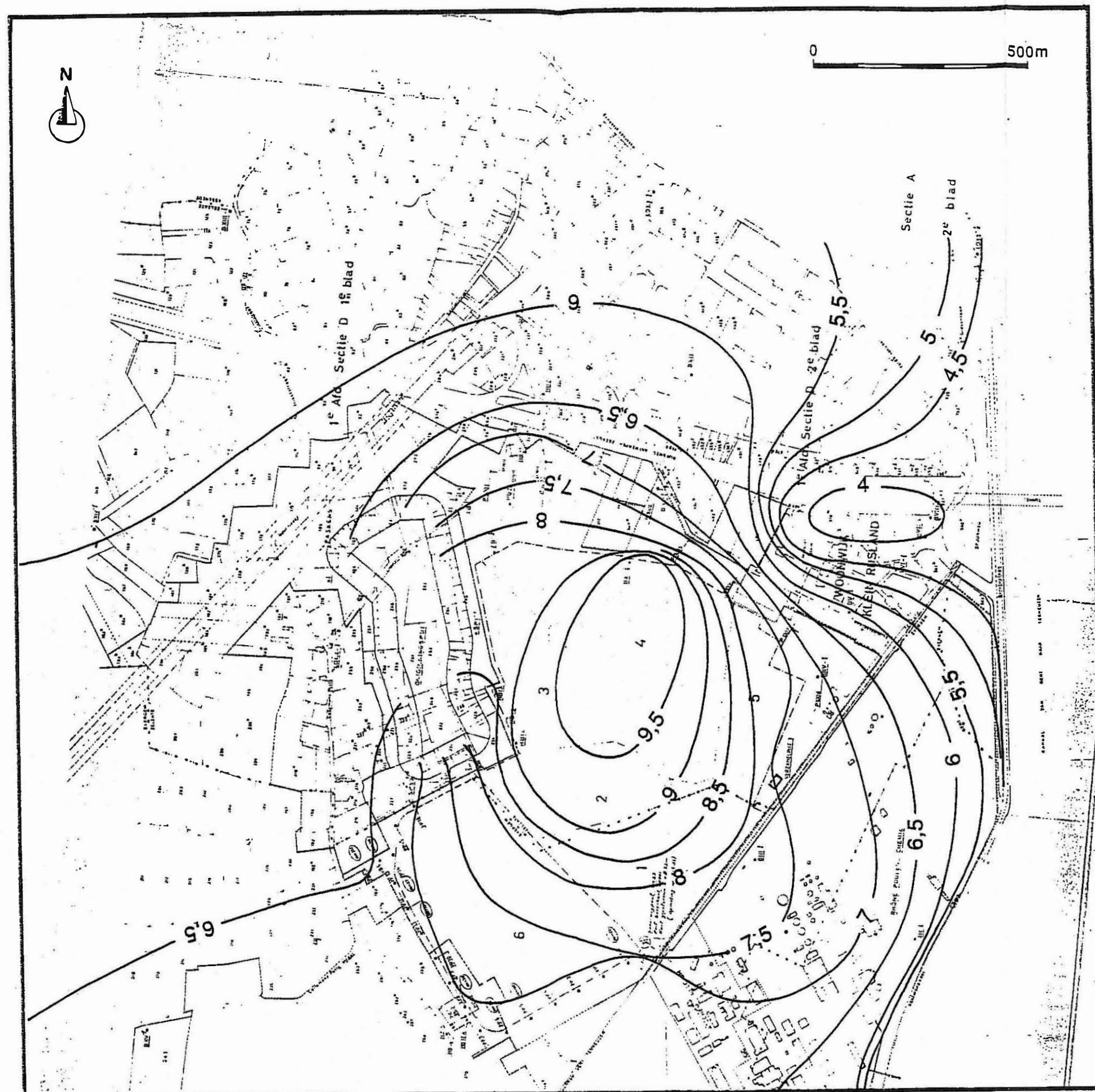


Fig. 7 - Stijghoogten in augustus 1990 in de laag KZ2

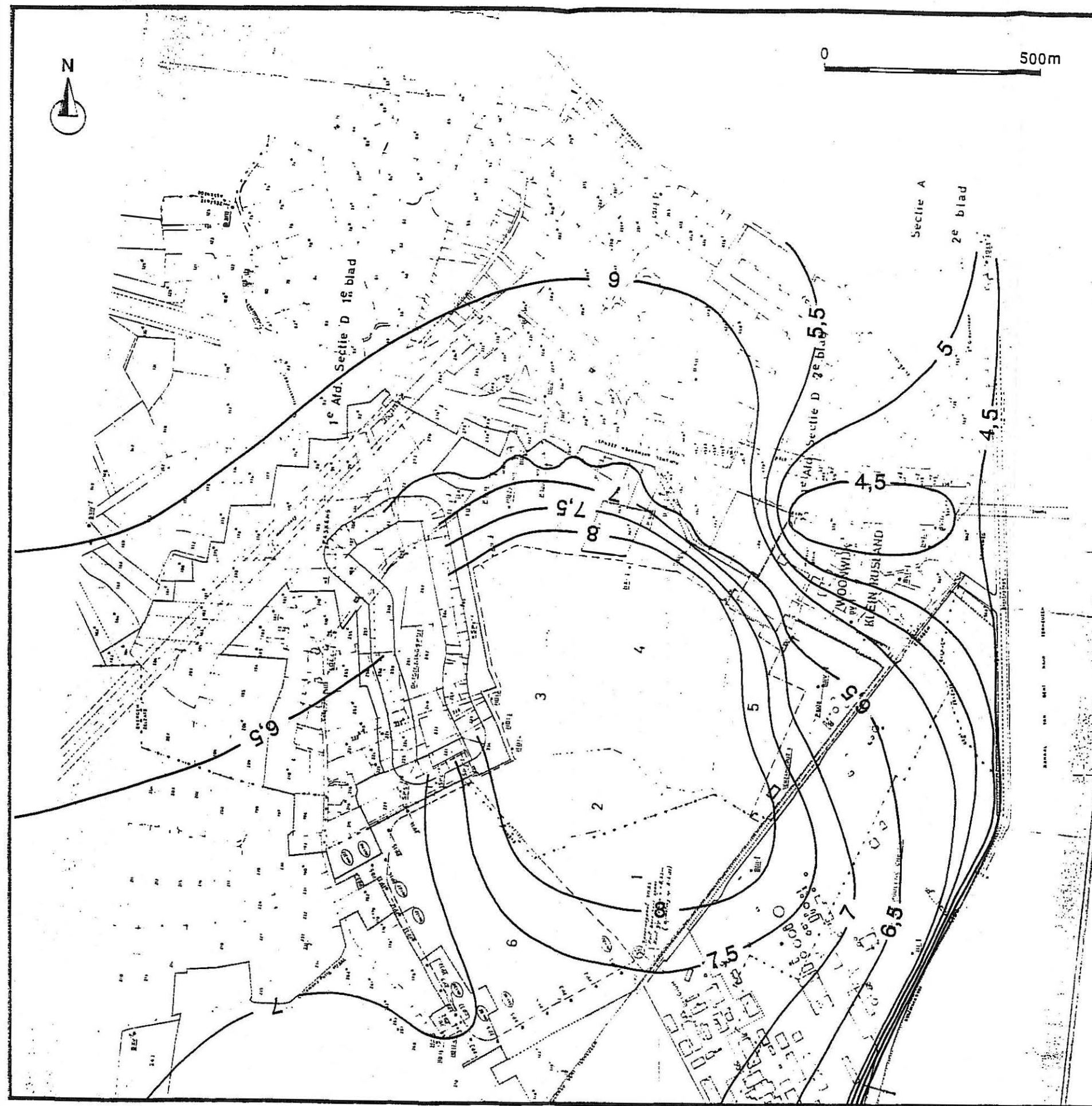


Fig. 8 - Stijghoogten in juli 1993 in de laag KZ1

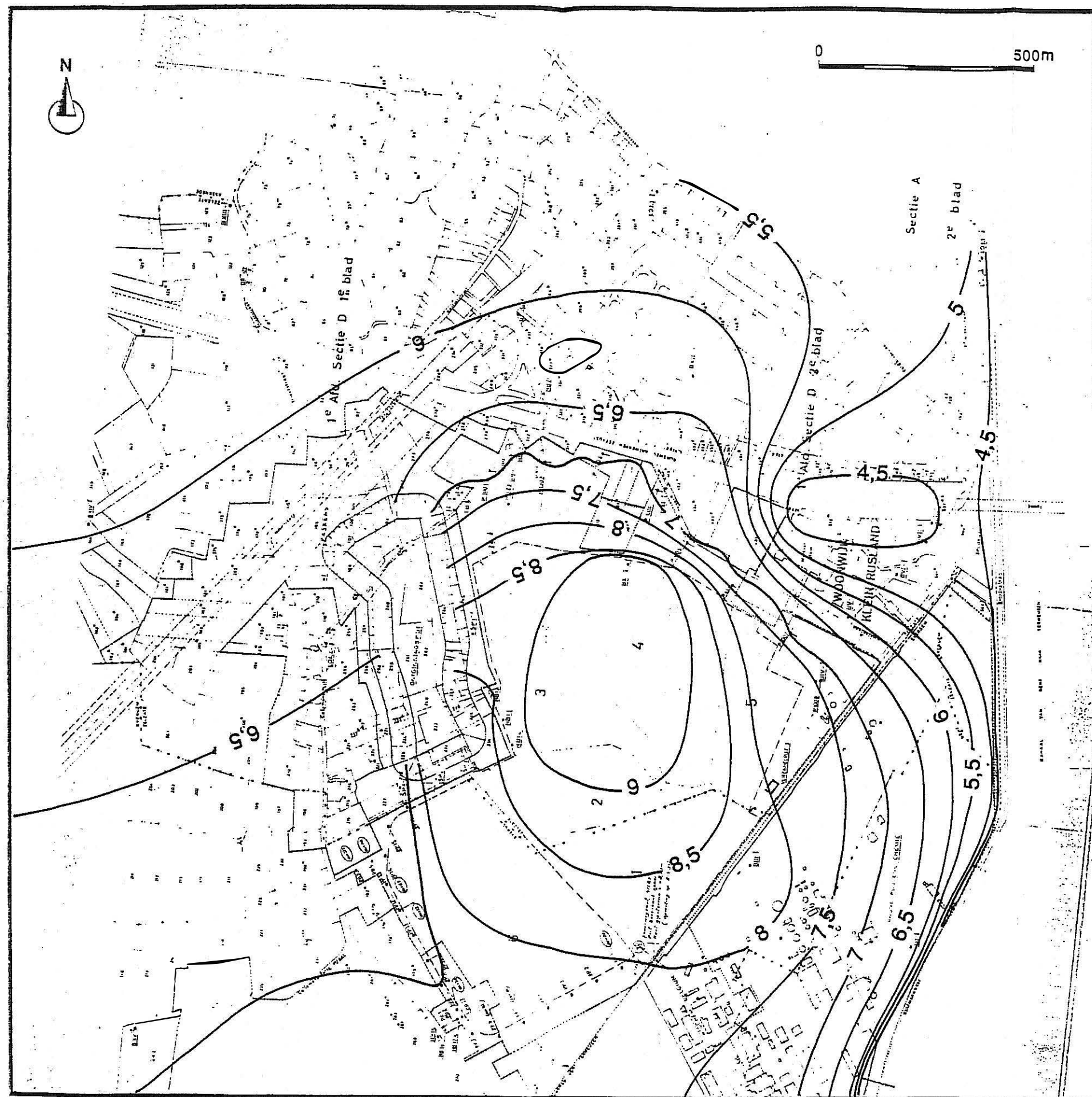


Fig. 9 - Stijghoogten in juli 1993 in de laag KZ2

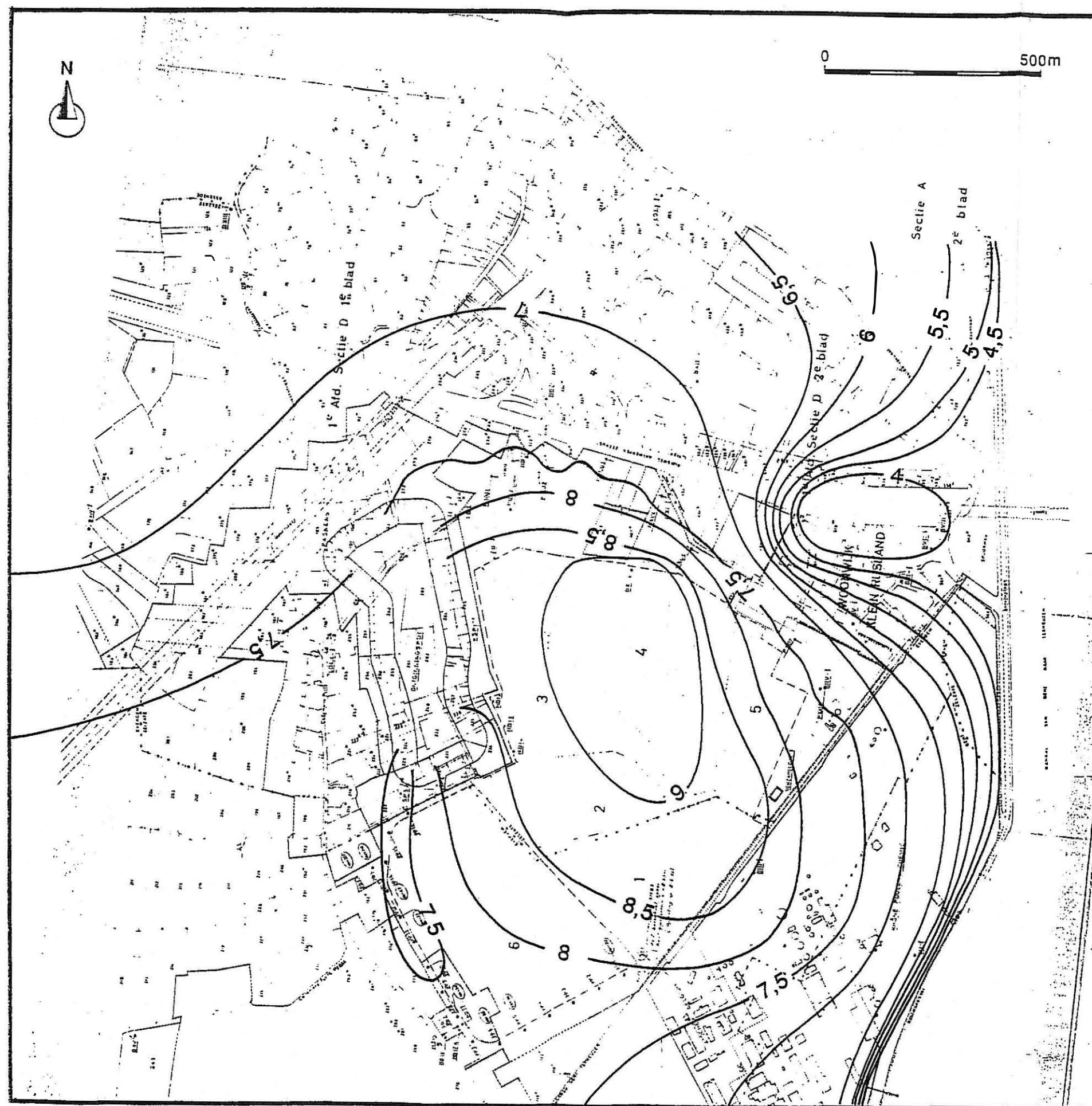


Fig. 10 - Stijghoogten in december 1993 in de laag KZ1

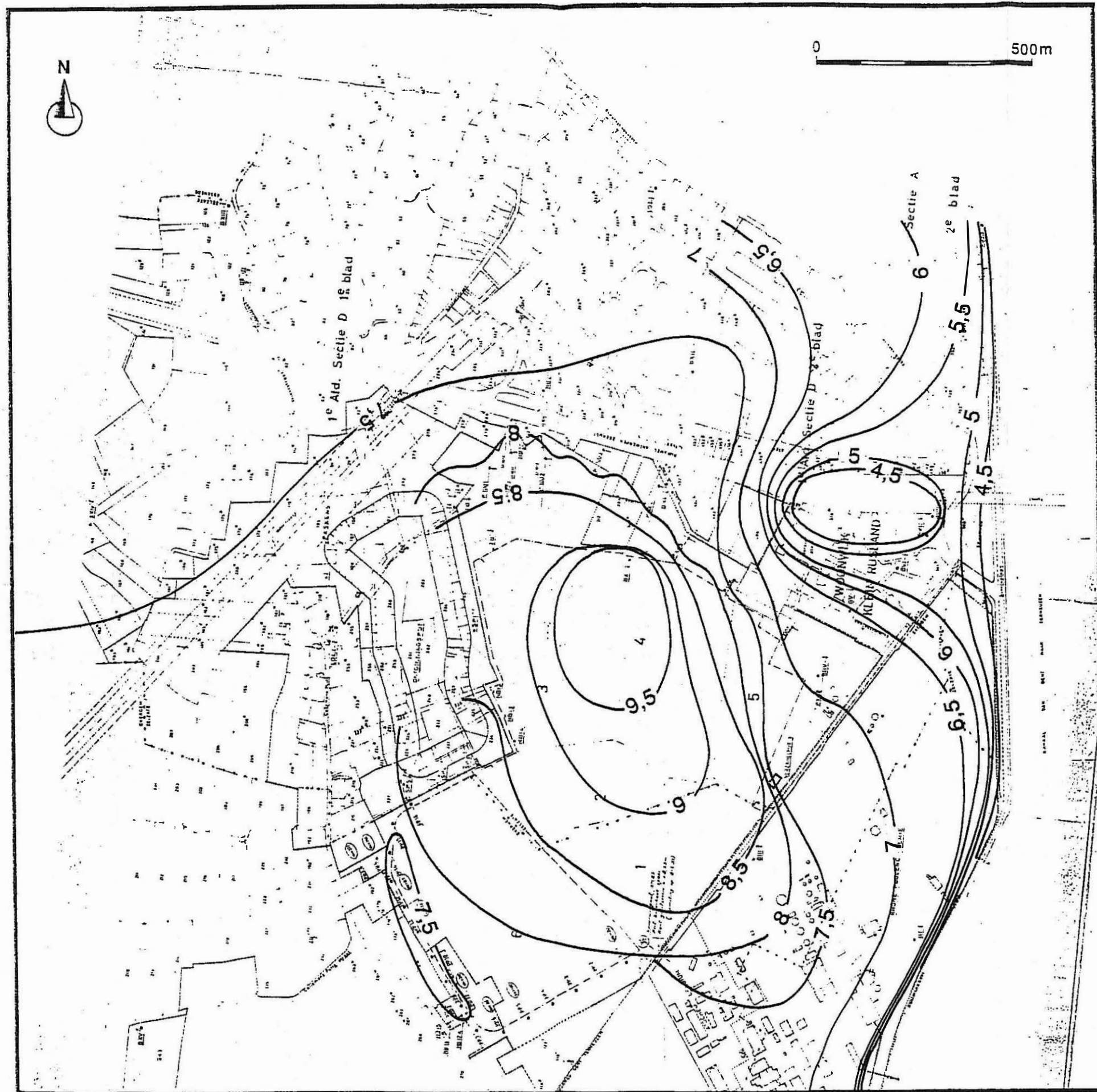


Fig. 11 - Stijghoogten in december 1993 in de laag KZ2



Fig. 12 - Stijghoogten in september 1994 in de laag KZ1

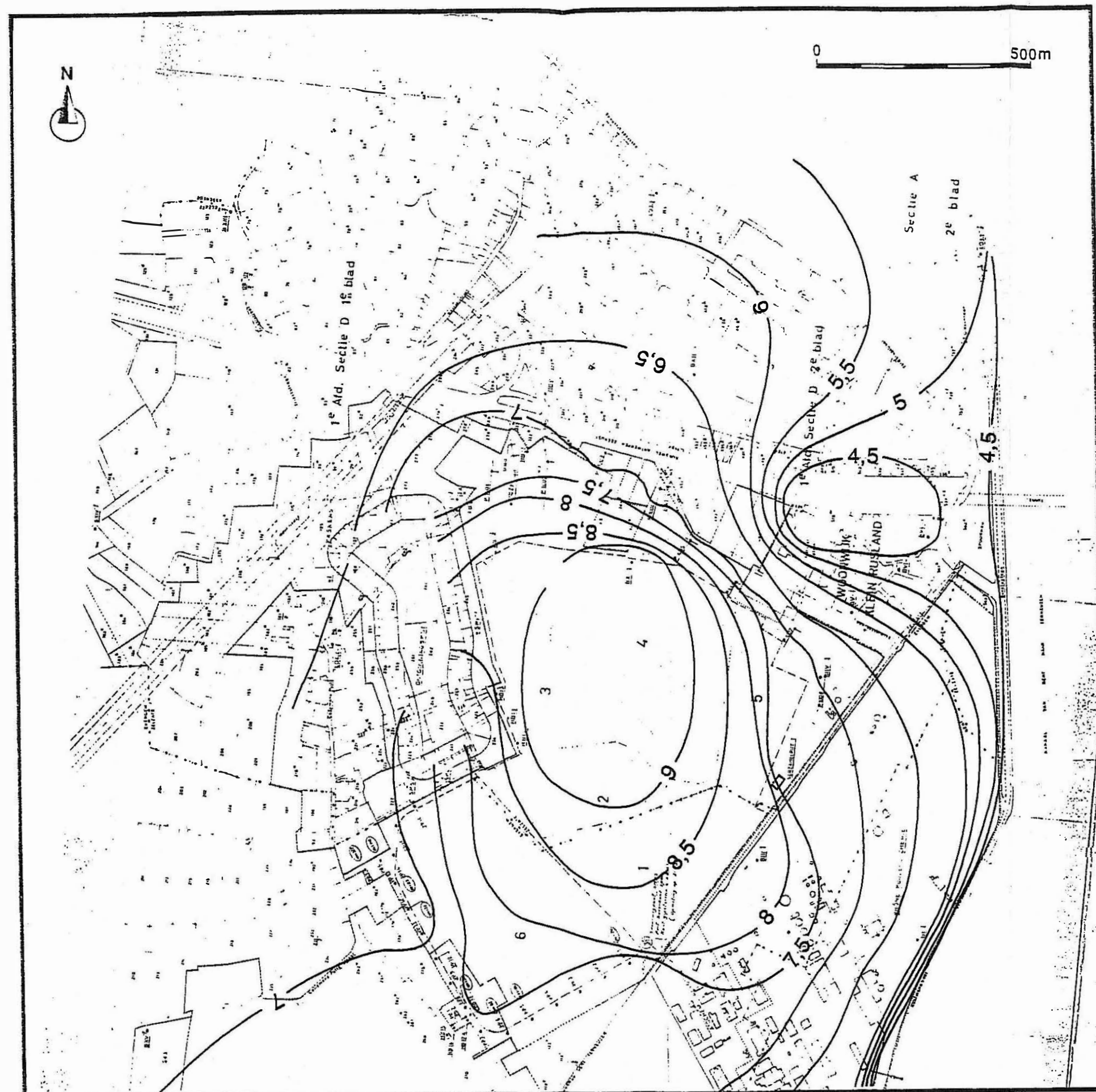


Fig. 13 - Stijghoogten in september 1994 in de laag KZ2

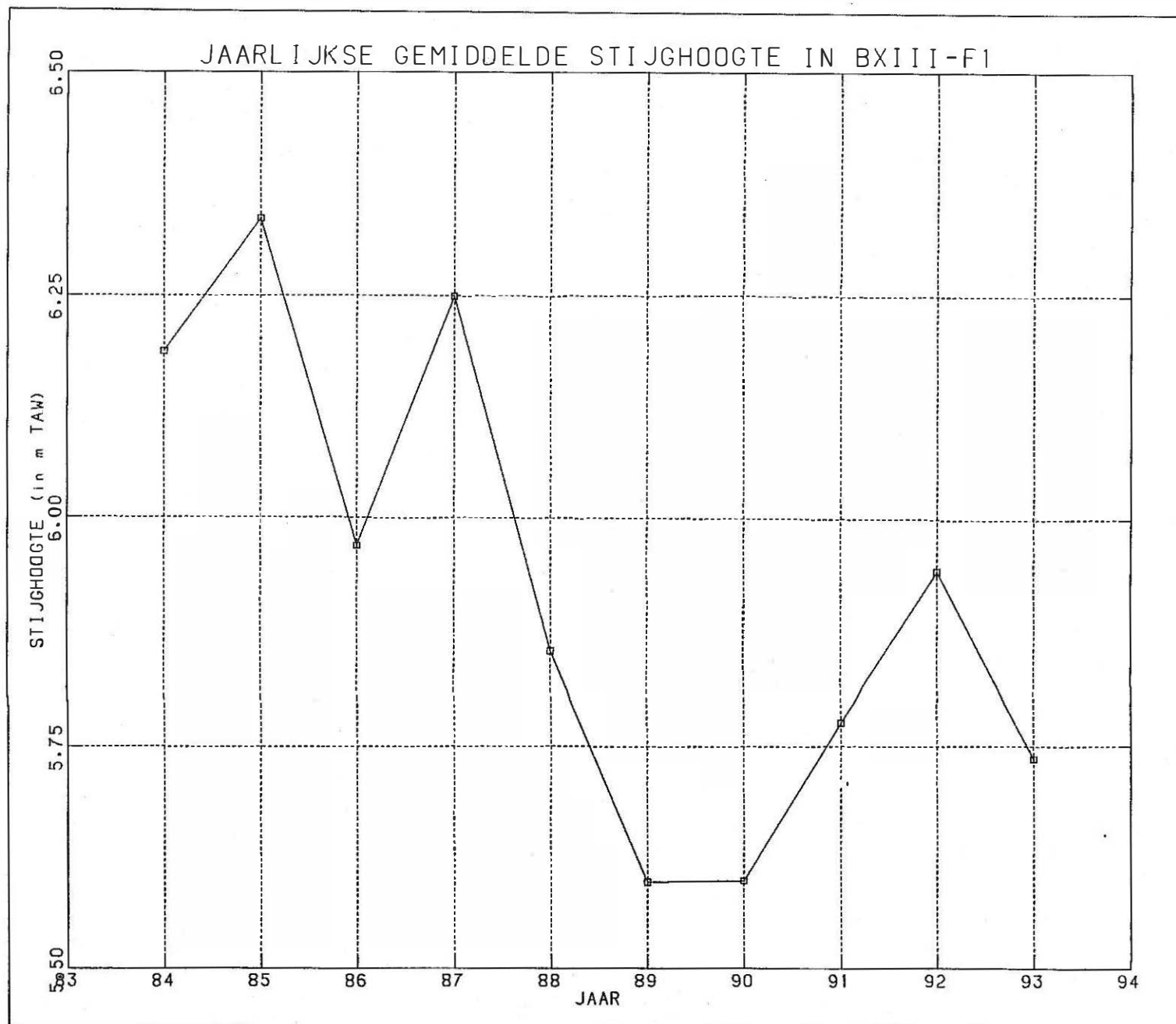


Fig. 14 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIII-F1



Fig. 15 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIII-F2

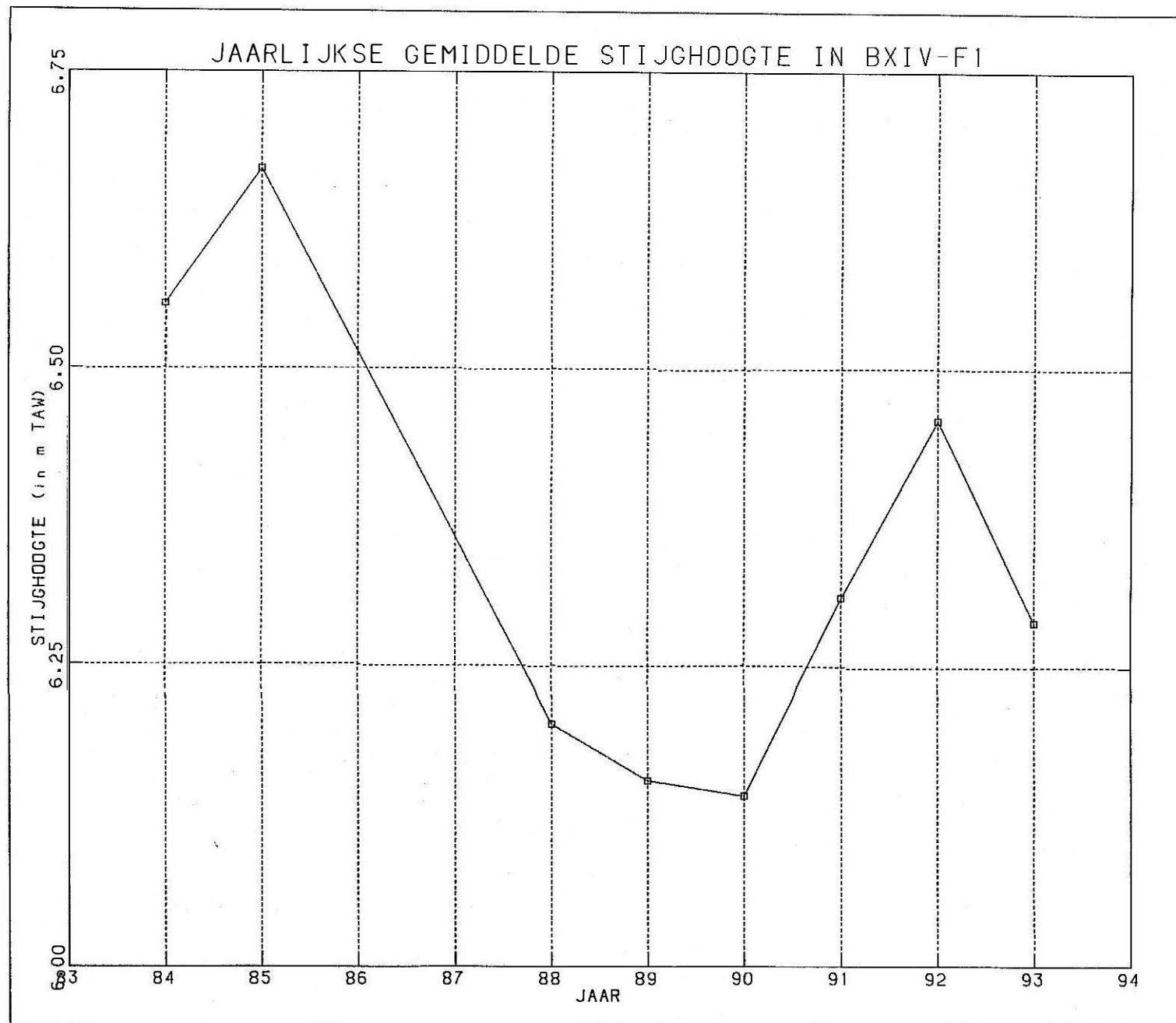


Fig. 16 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIV-F1

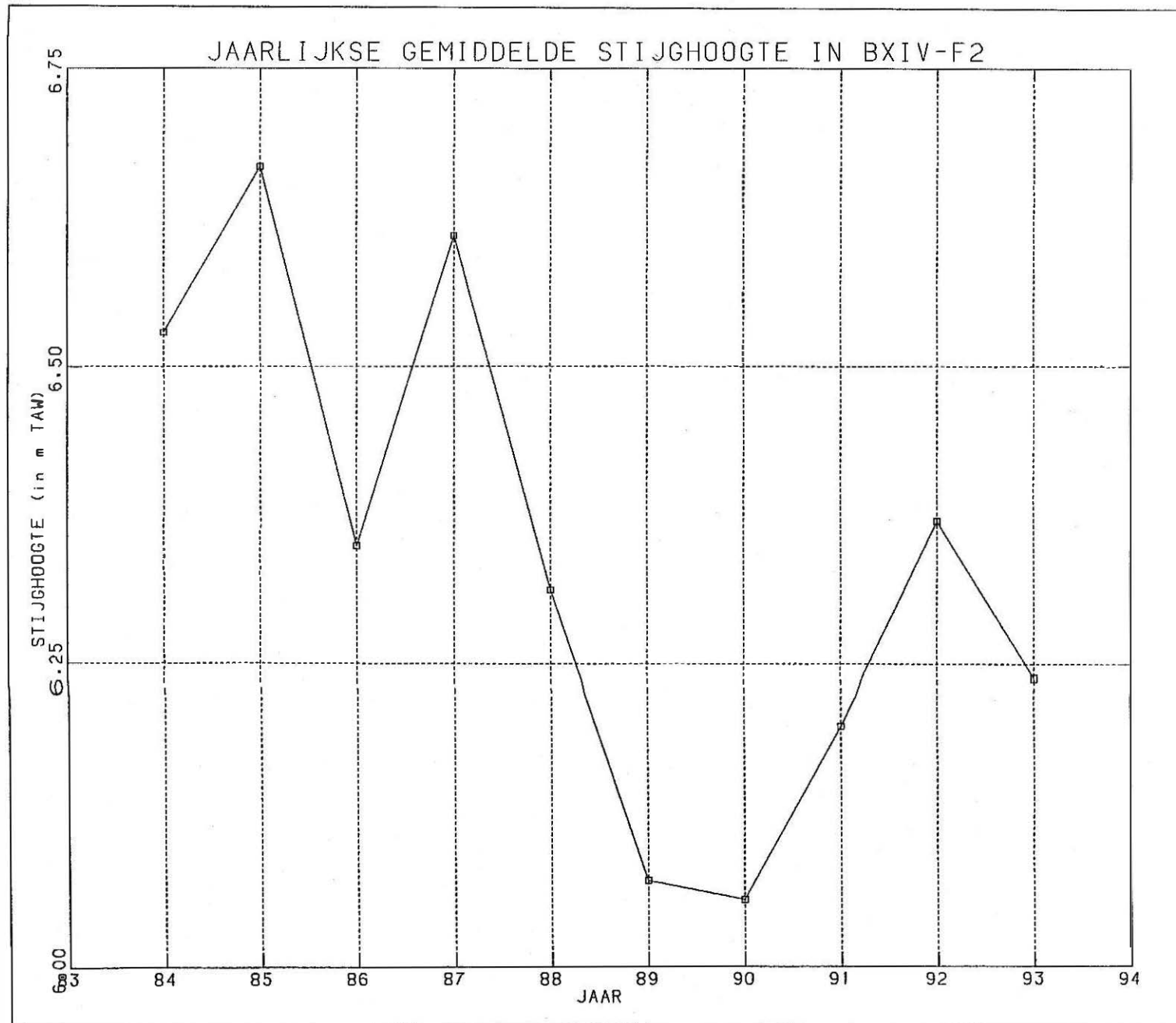


Fig. 17 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXIV-F2

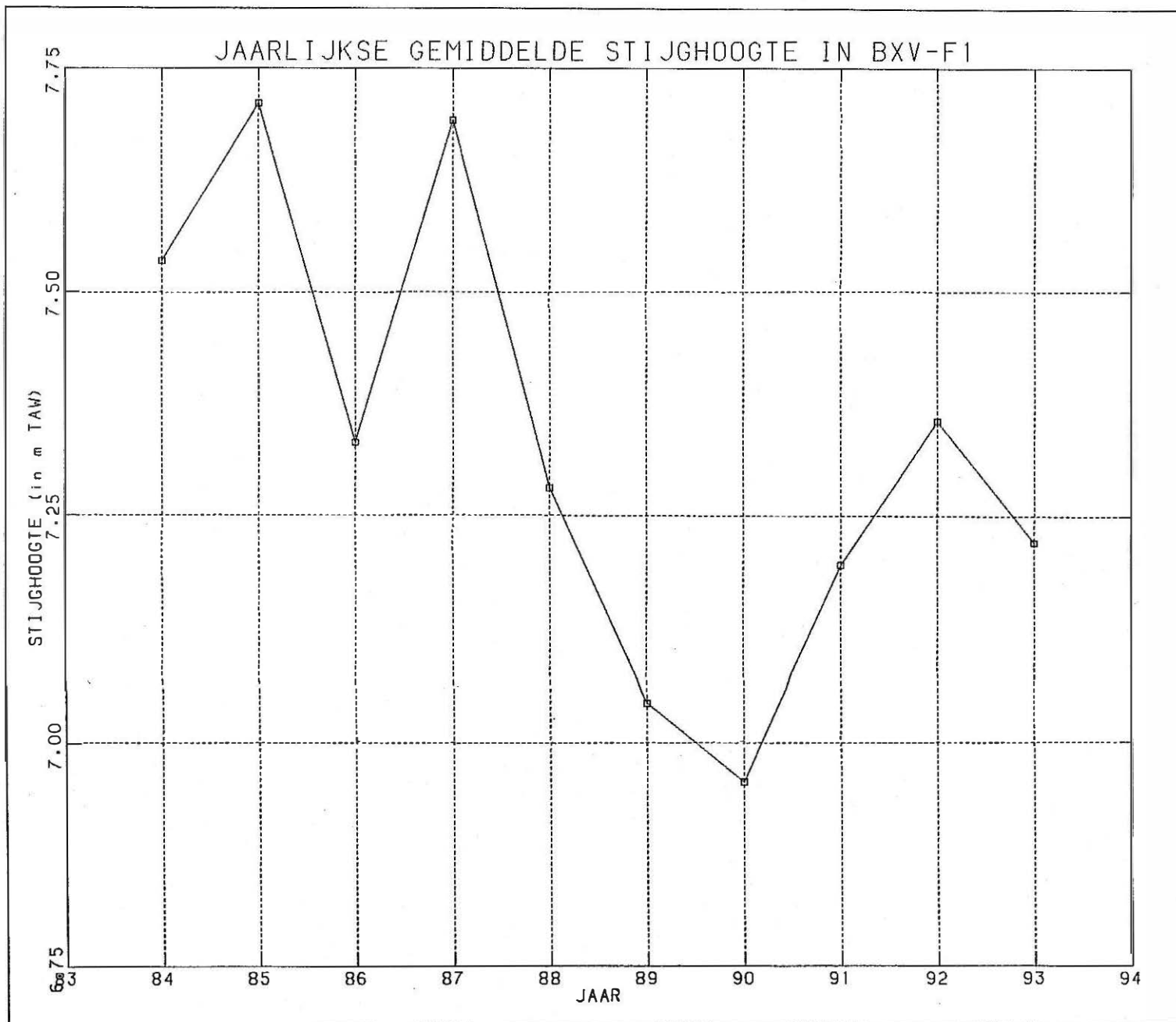


Fig. 18 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXV-F1



Fig. 19- Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in BXV-F2

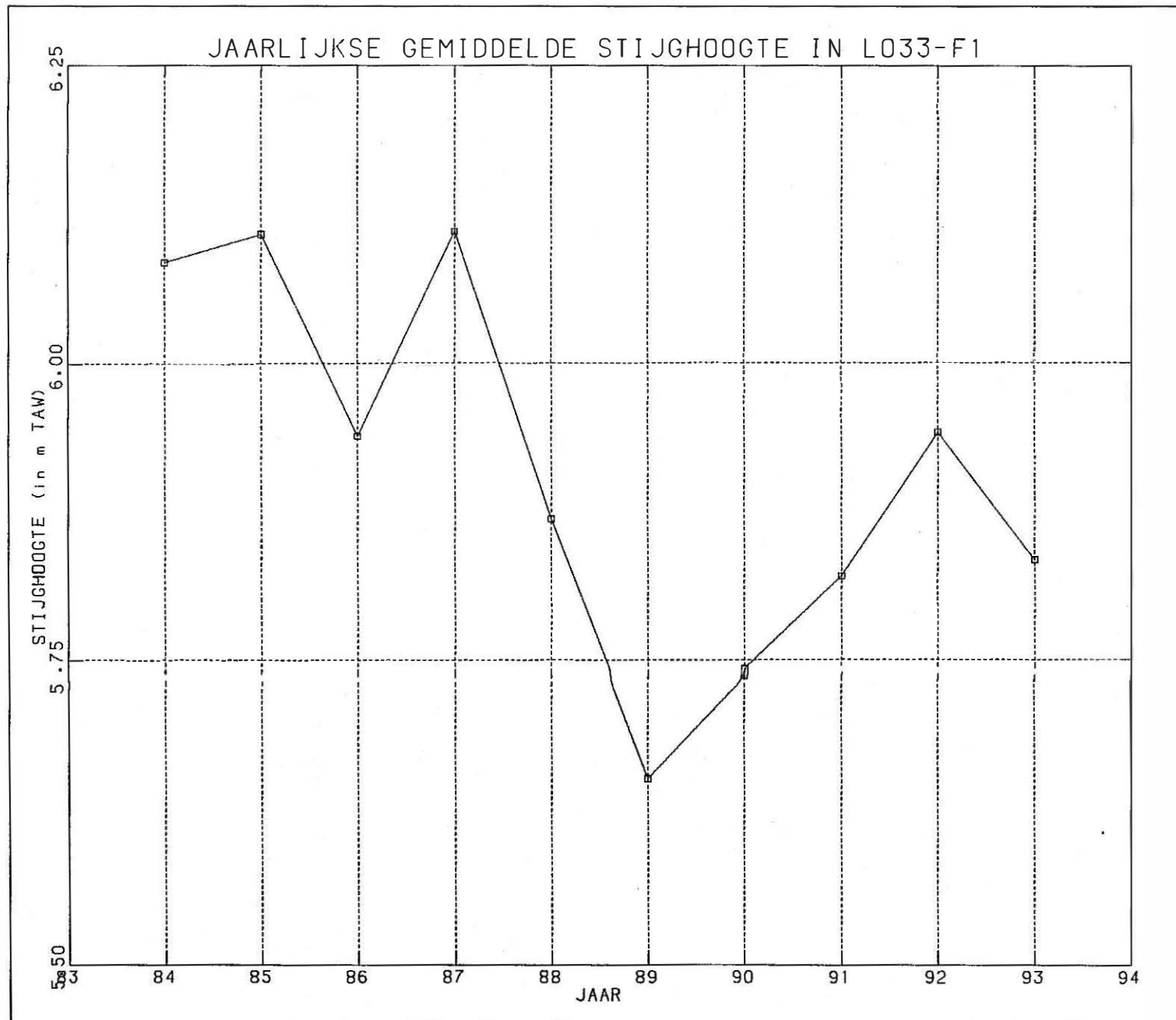


Fig. 20 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in L033-F1

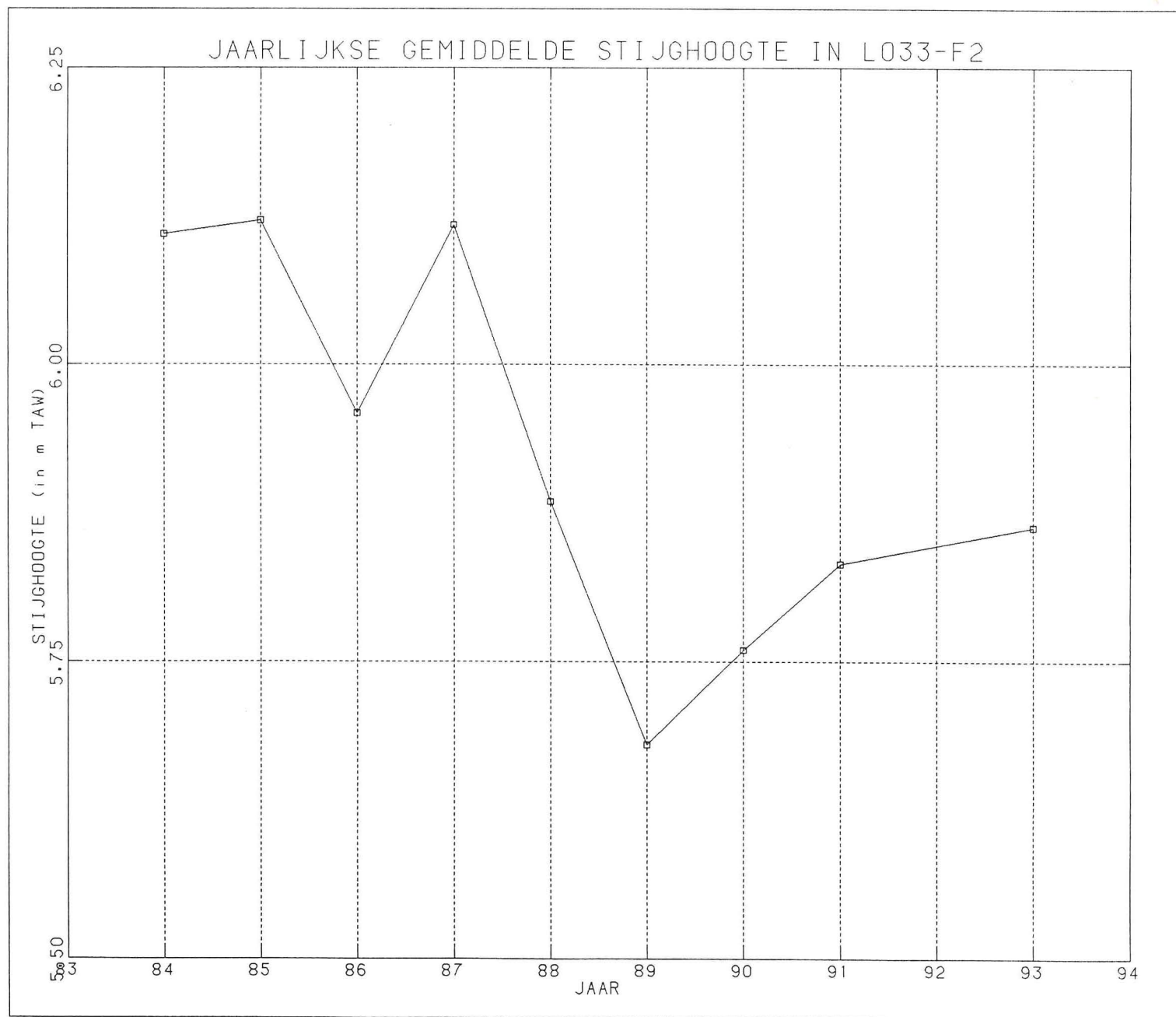


Fig. 21 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in L033-F2

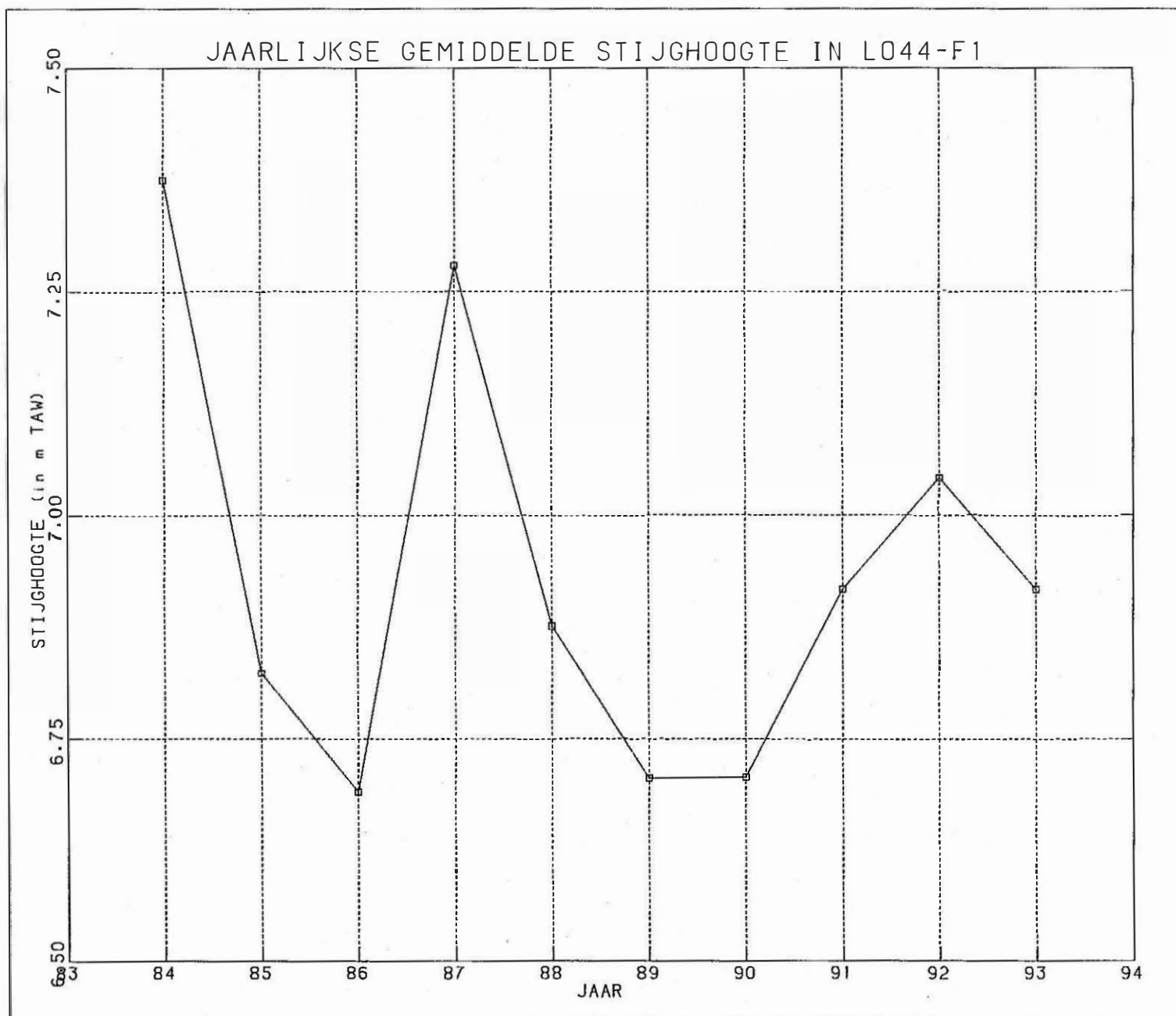


Fig. 22 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in LO44-F1

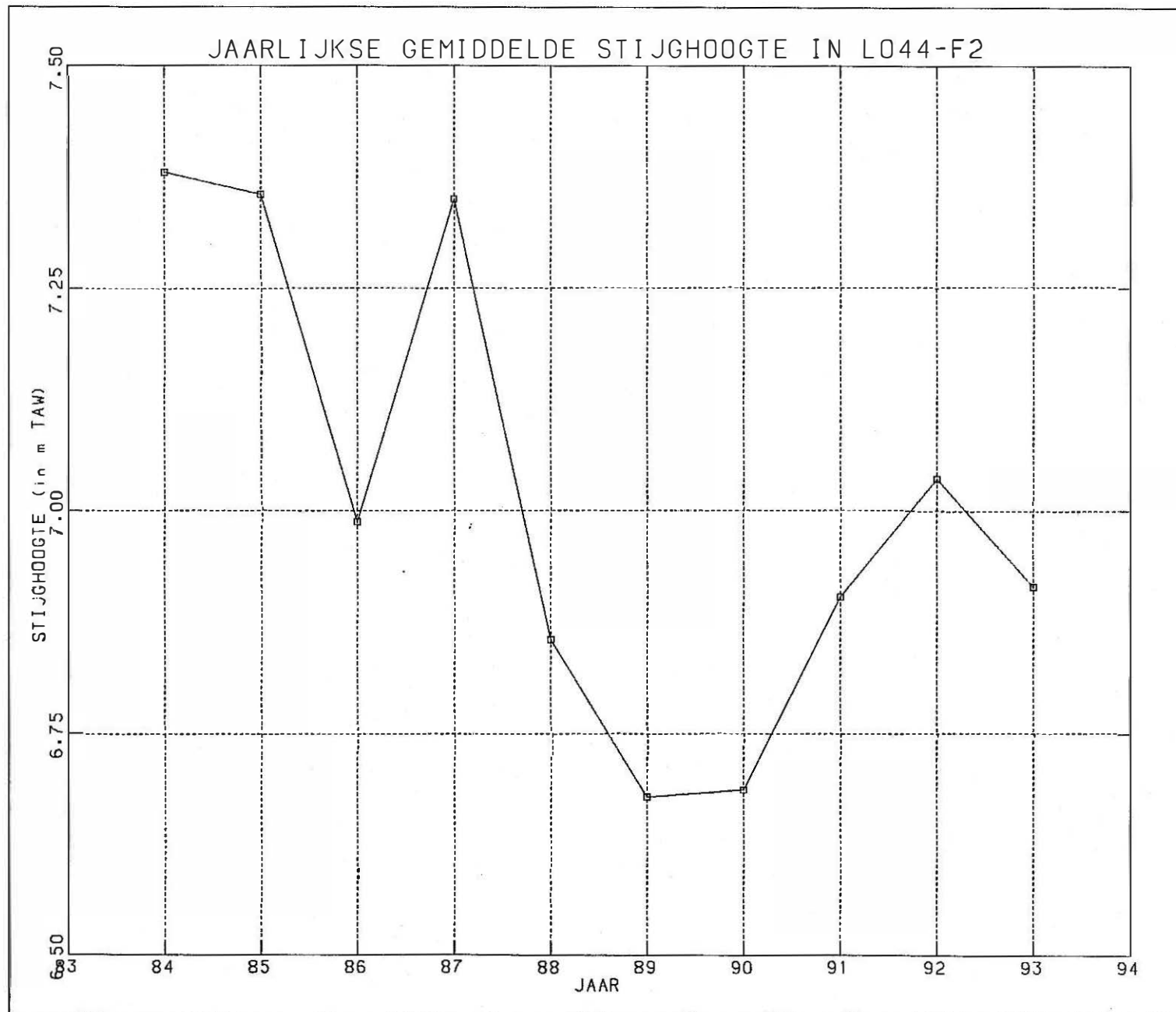


Fig. 23 - Jaarlijkse gemiddelde stijghoogte in L044-F2

een radiaal stromingspatroon op. De hoogste stijghoogten komen onder de gipsberg voor. Vanonder de gipsberg is er een stroming naar het zeekanaal in oostelijke en zuidoostelijke richting. Ten noordoosten van het gipsstort stroomt het grondwater naar de drainage van de tunnel te Zelzate. Ook vanuit het noorden is er toestroming naar de tunnel toe. Vanonder de gipsberg is er een stroming naar het noorden toe. De slibbergingsput zorgt voor een opstuwning van het grondwater , tussen de put en de gipsberg. In het zuidwesten , richting Rieme , gebeurt de stroming naar de bemaling rond de gipsuitbreidingszone.

3. Chemische parameters

3.1 Tijdreeksen

Om de evolutie van de grondwaterkwaliteit te kunnen evalueren werden de parameters geleidbaarheid en Ca^{2+} , Cl^- en SO_4^{2-} -gehalte voorgesteld in functie van de tijd. De figuren in bijlage 2 worden besproken in de volgorde waarin ze zijn opgenomen.

B1-F1 en -F2 gelegen tussen de gipsberg en het zeekanaal zijn duidelijk verontreinigd. Het aantal analyses is te beperkt om een evolutie te zien.

In de peilputten BV-F1 en -F2, gelegen in de woonwijk Klein Rusland, is duidelijk verontreiniging waargenomen met geleidbaarheden tot $10000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Er is een grote variatie in de geleidbaarheid volgens hetzelfde patroon in beide putten. In de ondiepe filter is het SO_4^{2-} -gehalte hoger, maar het Ca^{2+} -gehalte lager.

BX-F1 op de gipsberg is duidelijk verontreinigd. De waarden van de parameters variëren sterk. De geleidbaarheid en het Cl^- -gehalte evolueren van lagere naar hogere en weer naar lagere waarden. Het Ca^{2+} -gehalte neemt toe en het SO_4^{2-} -gehalte neemt af. Er is te korte tijd geanalyseerd om een trend te zien.

De peilputten BXI-F1 en -F2 ten noorden van het gipsstort zijn duidelijk verontreinigd (geleidbaarheden tot $10000 \mu\text{m}/\text{cm}$). In filter F1 stijgt vanaf 1992 het SO_4^{2-} -gehalte. In F2 daalt het Ca^{2+} -gehalte. De geleidbaarheden blijven ongewijzigd maar de hoogste waarden zijn ongeveer dubbel zo groot dan de minima.

In de peilput BXII-F1 ten noorden van de rijksweg Antwerpen - zee kust zijn de geleidbaarheid en Cl^- , Ca^{2+} en SO_4^{2-} -gehalte in 1992 en 1993 groter dan in de voorafgaande en vooral de volgende jaren. De huidige kwaliteit wijst niet op verontreiniging. Mogelijk is hier in 1992 en 1993 verontreinigd grondwater voorbij gestroomd.

In de peilput HB16 nabij de pompputten aan de uitbreidingszone bedragen de geleidbaarheden

ca 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Er is geen trend te zien. De gehalten van de overige parameters zijn laag en wijzen niet op verontreiniging.

In de peilput HB21 naast de rijksweg Antwerpen - zee kust liggen de geleidbaarheden tussen 1000 en 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en wijzen op een lichte verontreiniging. Er zijn te weinig analyses uitgevoerd om een trend te zien.

De peilput HB22 aan de noordzijde van het gipsstort is sterk verontreinigd met geleidbaarheden tot 11000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. De waarden kunnen echter sterk verschillen: het maximum in de meetreeks bedraagt ongeveer vijf maal de minimum waarde.

De peilput HB23 ten noordwesten van het gipsstort is sterk verontreinigd.

De peilputten LO 5.3-F1 en -F2 ten zuidwesten van het gipsstort , richting Rieme , zijn niet verontreinigd.

De peilput PB1 op ongeveer 45 m van de pompputten rond de uitbreidingszone was licht verontreinigd in 1988 maar daarna niet meer tot in 1993. Sindsdien is er een lichte stijging van de geleidbaarheid (tot ca 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en van Cl^- , Ca^{2+} en SO_4^{2-} -gehalten. Het laatste jaar is de kwaliteit duidelijk verslechterd.

De peilputten PB4 en PB3 liggen resp. ongeveer 30 en 60 m buiten de batterij pompputten langs de uitbreidingszone. In peilput PB4 is vanaf 1992 de geleidbaarheid en de gehalten aan Ca^{2+} , SO_4^{2-} en Cl^- duidelijk toegenomen. De geleidbaarheden zijn opgelopen tot meer dan 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. In PB3 werden in 1994 ook verhoogde waarden van alle parameters vastgesteld. Ze zijn lager dan in peilput PB4.

Uit de analyses van het opgepompte water van pompputten 1 t.e.m. 7 en 8 t.e.m. 16 blijkt de grote variatie van de parameters in de tijd. Het is duidelijk dat het verontreinigde water een sterk wisselende samenstelling heeft.

3.2 Kwaliteitsparameters

Uit de tijdreeksen van de chemische parameters blijkt dat er vaak een grote variatie optreedt in de tijd zonder dat er een duidelijke trend aanwezig is. Soms lagen de maximale waarden vijf maal hoger dan de minimale. Dit kan worden toegeschreven aan een grote variatie in samenstelling in het verontreinigd grondwaterlichaam. In een bepaalde piëzometer zal dan in de loop van de tijd grondwater met sterk wisselende samenstelling passeren. Hierdoor kan men zeer moeilijk uit twee momentopnamen een betrouwbaar beeld over de evolutie van die parameter afleiden. Men kan beter de tijdreeksen gebruiken, die een beter betrouwbaar beeld geven.

De fig 24 en 25 geven de waarden van de geleidbaarheid en de gehalten aan Cl^- , Ca^{2+} en SO_4^{2-} (in mg/l) in juni 1987 en juni 1994 weer.

3.3 Kwaliteitsevolutie rond de gipsstortuitbreidingszone

Recente analyses van water uit de peilputten PB1, PB3 en PB4 wijzen op een verslechtering van de grondwaterkwaliteit rond de uitbreidingszone, kant Rieme.

De peilput PB1 bezat tot in 1994 een goede kwaliteit. Bij de aanvang van de bemaling rond de uitbreidingszone werd hier ook reeds een slechte kwaliteit vastgesteld (monsters van 23/9/88 en 16/12/88). Nadien werd de grondwaterkwaliteit beter. Mogelijk was er voor 1988 reeds verontreinigd water in de laag KZ1 tot nabij de plaats van put PB1 doorgedrongen. Monsters die in 1984 en 1985 in de nu verdwenen peilputten HB19 en HB20, onder de huidige uitbreidingszone, werden genomen geven duidelijk verontreiniging in KZ2 aan. Gelet op de betere doorlatendheid van de laag KZ1, is het mogelijk dat in KZ1 het front verder was verplaatst. Door de bemaling kan de verontreiniging zich in omgekeerde richting naar de pompputten toe hebben verplaatst. Daarna heeft de bemaling niet verontreinigd grondwater vanuit het zuidwesten aangetrokken. De plotselinge stijging van de parameters in peilput PB1 in 1994 kan verband houden met de hoge stijghoogten die in putten PB1 en PB2 in 1992 en 1993 zijn voorgekomen (zie 2.1). Het is nuttig in de toekomst ook peilput PB2 te bemonsteren.

De stijging van de parameters in put PB4 is reeds in 1992 begonnen en verloopt geleidelijk. In

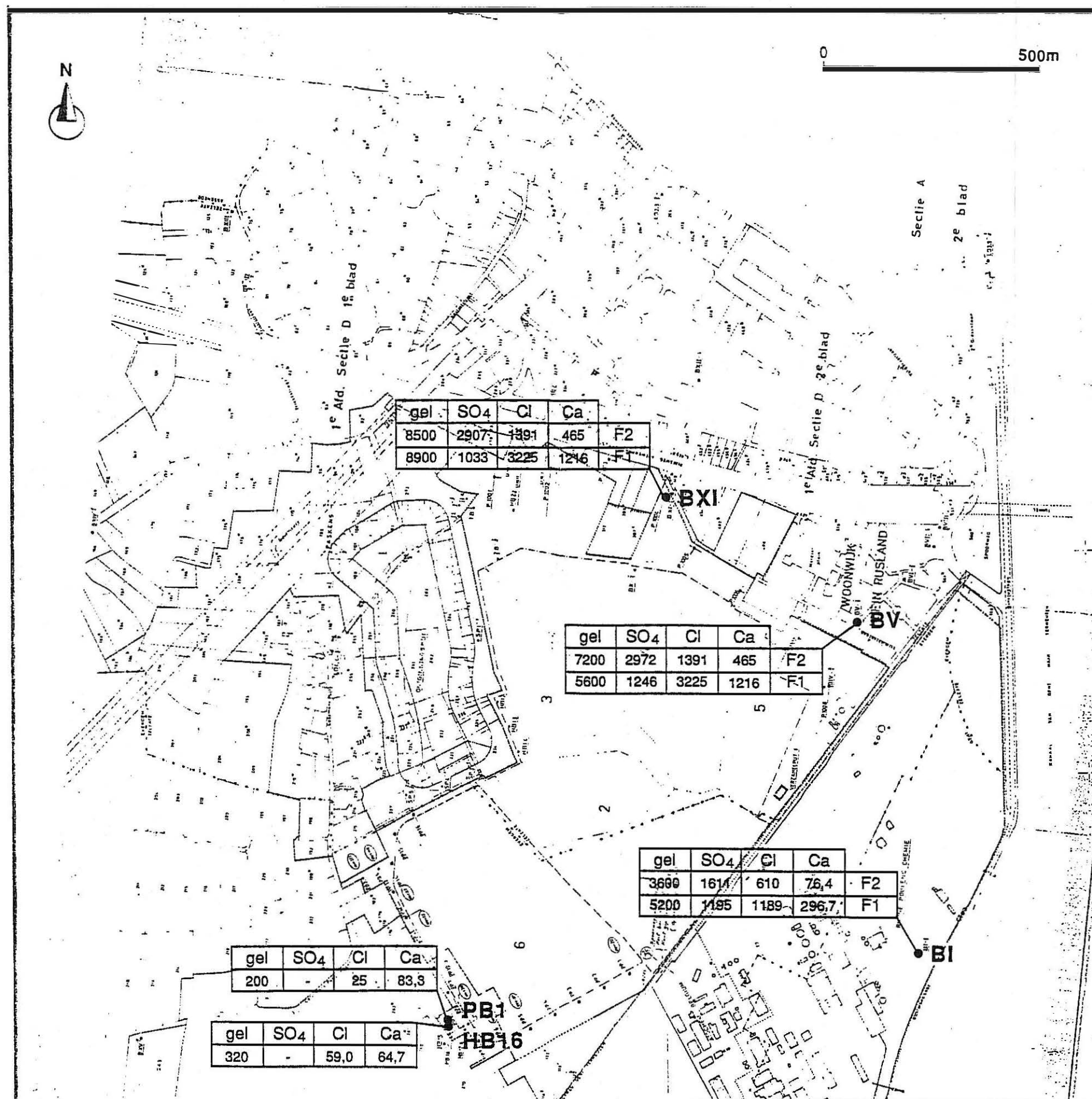


Fig. 24 - Chemische parameters in juni 1987

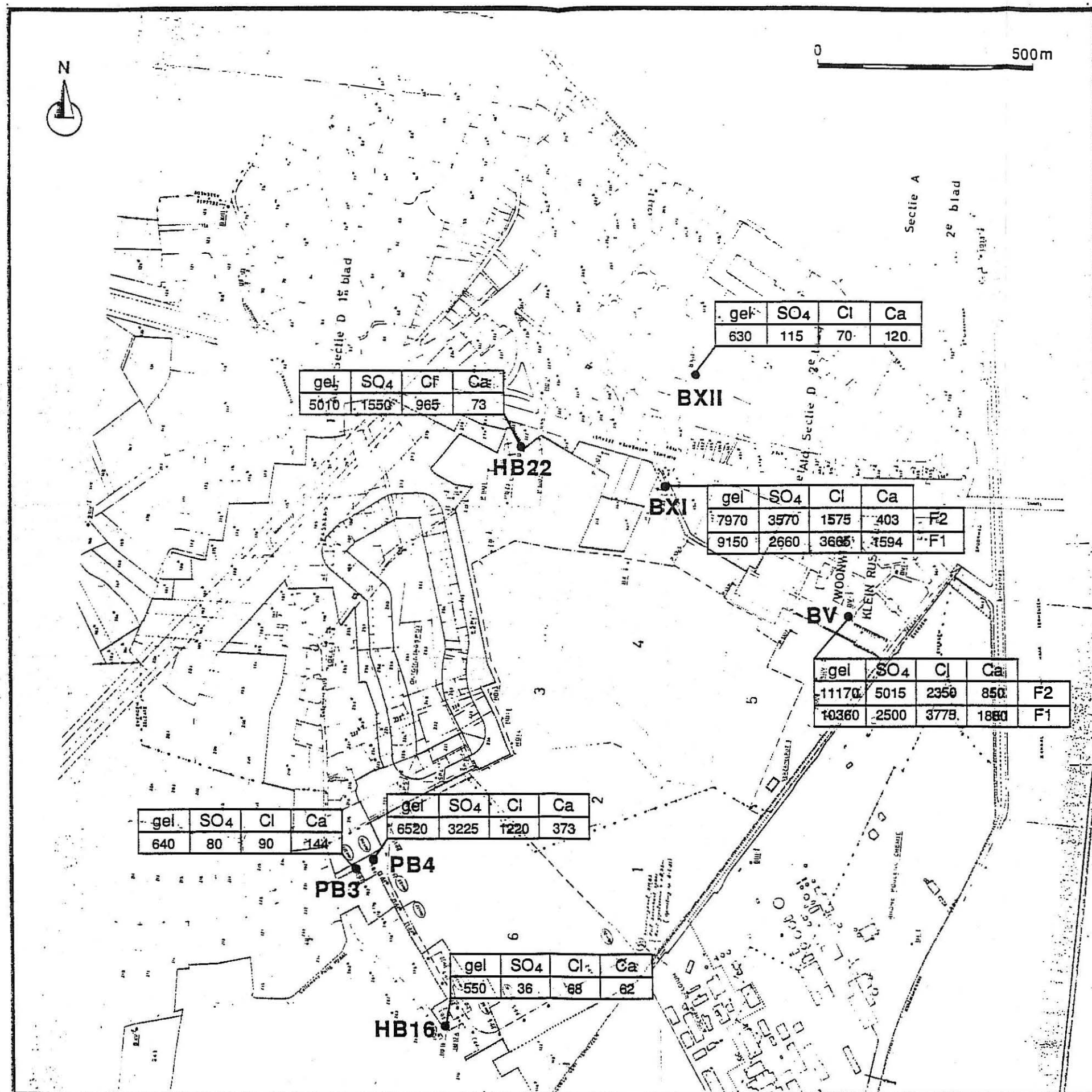


Fig. 25 - Chemische parameters in juni 1994

peilput PB3 is er in 1994 ook een stijging ingezet , maar de waarden blijven laag. Deze verslechtering in PB4 en PB3 kan te wijten zijn aan de perioden met hogere stijghoogten die sinds 1992 zijn voorgekomen.

Interpretatie van de stijghoogtegegevens van de peilputten PB1 en PB2 in de laag KZ1 , en van de ondiepe peilputten HB15 , HB 16 , HB17 en HB17a in de laag KZ2 leidt tot een andere mogelijke verklaring van de recente kwaliteitsverslechtering . Door de pumping wordt de stijghoogte in de laag KZ1 meestal tot minder dan +7.00 verlaagd. Aangezien de buitengracht een vrij konstant peil heeft , staat de watertafel in de onmiddellijke omgeving op ongeveer hetzelfde peil. Zo staat peilput HB17 , hoewel gelegen tussen pompputten PP7 en PP8 , meestal op ongeveer +7.50 en fluctueert relatief weinig. Verder van de buitengracht verwijderd , kant Rieme , zal door de pumping de peilen in laag KZ1 en daardoor ook in KZ2 verlaagd worden. Het waterpeil in HB16 , ongeveer 50 m buiten de buitengracht gelegen , staat lager dan in HB17. Hier kan in de laag KZ2 water vanuit de gracht naar de omgeving stromen. Het uitgestroomde water zal door de leemlaag KL naar KZ1 doorsijpelen en daarin dan naar de pompputten toe bewegen. De analyseresultaten van HB16 wijzen niet op een verontreiniging op die plaats in de laag KZ2.

4. Besluit

1. In de omgeving van de gipsberg is er een dalende trend in de stijghoogten waar te nemen. Sinds 1984 zijn de waterstanden in het gipsstort met minstens 2 m gedaald. De laagste peilen werden gedurende de laatste 2 jaar opgemeten.
2. In peilputten die niet of weinig door de waterhuishouding van de gipsberg zijn beïnvloed komen in de periode 1984 - 1987 hoge gemiddelde stijghoogten voor. In 1989 en 1990 liggen de jaarlijkse gemiddelden ongeveer 0.5 m lager. Sinds 1991 zijn de jaargemiddelden terug ongeveer 0.25 m hoger t.o.v. 1990.
3. Analyse van de stijghoogtegegevens in PB1 en PB2 enerzijds en PB3 en PB4 anderzijds , leert dat in de peilbuizen PB2 en PB4 de stijghoogte gemiddeld minder dan +7.00 moet bedragen om een stroming vanuit de omgeving naar de pomputten toe te verkrijgen. Wanneer de stijghoogten boven +8.00 stijgen treedt er een stroming naar de omgeving op die het verontreinigingsfront met 4.6 tot 7 m per maand doet voortschrijden. Op enkele maanden tijd bereikt het daardoor de peilputten PB2 en PB4 en na wat langere tijd ook de putten PB1 en PB3. Van 18 november 1992 tot 18 mei 1993 is in peilput PB2 de stijghoogte hoger geweest dan +8.00. In peilbuis PB4 is de stijghoogte van 14 oktober 1992 tot 22 juni 1993 en van 13 oktober 1993 tot 15 juni 1994 hoger geweest dan +7.00. Gedurende deze perioden was er waarschijnlijk een stroming naar de omgeving. Dit kan verband houden met de recente kwaliteitsverslechtering in de peilputten PB1 , PB3 en PB4.
4. De chemische parameters in de verontreinigde peilbuizen kunnen per punt sterk wisselen in de tijd zonder een echte trend aan te geven. De minimum en maximumwaarden verschillen soms een faktor vijf. Dit wijst op een zeer veranderlijke samenstelling van het verontreinigde grondwater.
5. In de omgeving van de pomputten langs de uitbreidingszone kan er water vanuit de buitengracht naar de omgeving uitstromen. Dit kan de kwaliteit van het grondwater in de omgeving van de buitengracht beïnvloeden.

6. De peilput HB 17a bevindt zich niet in de laag KZ2 maar in de laag KZ1.

7. De invloed van de pompputten aan de noordkant van het gipsstort is slechts waar te nemen in peilputten , die zeer dicht bij de pomputten gelegen zijn. Het is weinig waarschijnlijk dat deze pompingen het stromingspatroon voldoende beïnvloeden om het naar het noorden stromend verontreinigd water volledig op te vangen.

5. Evaluatie van de genomen maatregelen

Uit de stijghoogtemetingen en grondwateranalysen uitgevoerd nabij de bemaling rond de gipsstortuitbreidingszone kant Rieme blijkt er tot 1992 waarschijnlijk geen stroming naar de omgeving te zijn opgetreden. Doordat in 1992 en 1993 de bemaling gedurende enkele maanden niet werkte heeft verontreinigd grondwater zich snel naar de omgeving kunnen verspreiden. Het is daarom van belang dat de pompputten steeds in werking blijven.

Uit de stijghoogtemetingen blijkt de bemaling langs de noordzijde van het gipsstort slechts een lokaal effect te hebben. Met het huidige aantal pompputten kan de grondwaterstroming naar het noorden niet worden verhinderd.

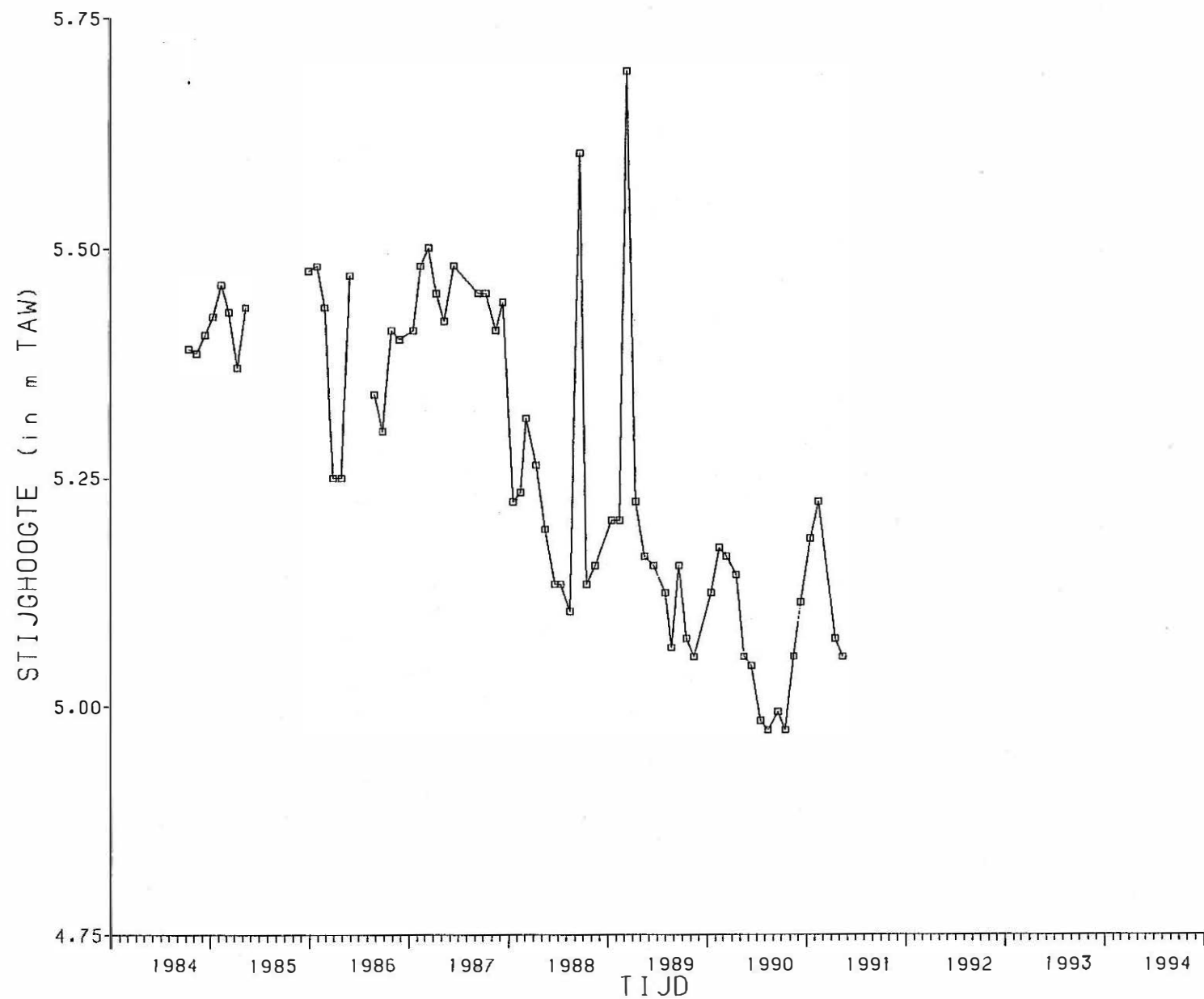
6. Aanbevelingen voor de toekomst

1. Om een juist beeld van de verspreiding van de verontreiniging en van de stijghoogten rond PB3 en PB4 te hebben is het aan te raden hier afzonderlijke peilputten in de lagen KZ1 en KZ2 aan te brengen.
2. Aangezien de peilput HB17a zich niet in de laag KZ2 maar wel in de laag KZ1 bevindt, is het gewenst er een filter in KZ2 te plaatsen.
3. De peilput PB2 zou kunnen bemonsterd worden.
4. Om de mogelijkheid van neerslag van gips en andere precipitanten in de pompputten te evalueren kunnen berekeningen uitgevoerd worden met een programma om geochemisch reacties te modelleren. Dit laat toe om voor gekende of geschatte grondwatersamenstellingen de precipitatie te berekenen na drukveranderingen (t.g.v. het oppompen) of na menging met andere watertypen (b.v. niet verontreinigd water dat uit de omgeving wordt aangetrokken).
5. Met het bestaande stromingsmodel van de omgeving van de gipsberg kunnen tijdsafhankelijke simulaties uitgevoerd worden. Hiermee is het mogelijk de invloed van droge en natte jaren op de evolutie van de stijghoogten te bepalen. Bij deze berekeningen wordt gebruik gemaakt van de neerslaggegevens van de afgelopen jaren.

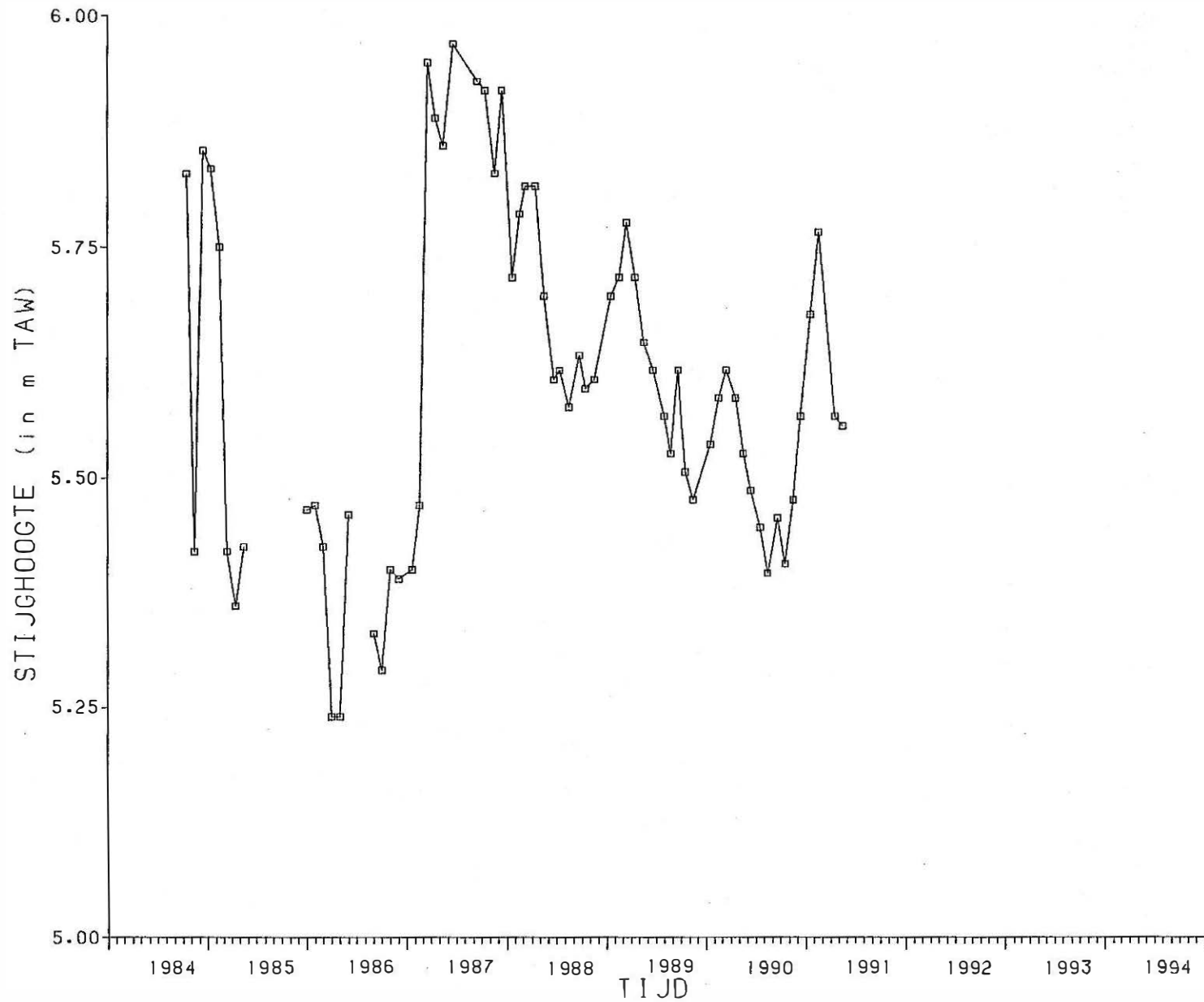
BIJLAGE 1

ZONE 1

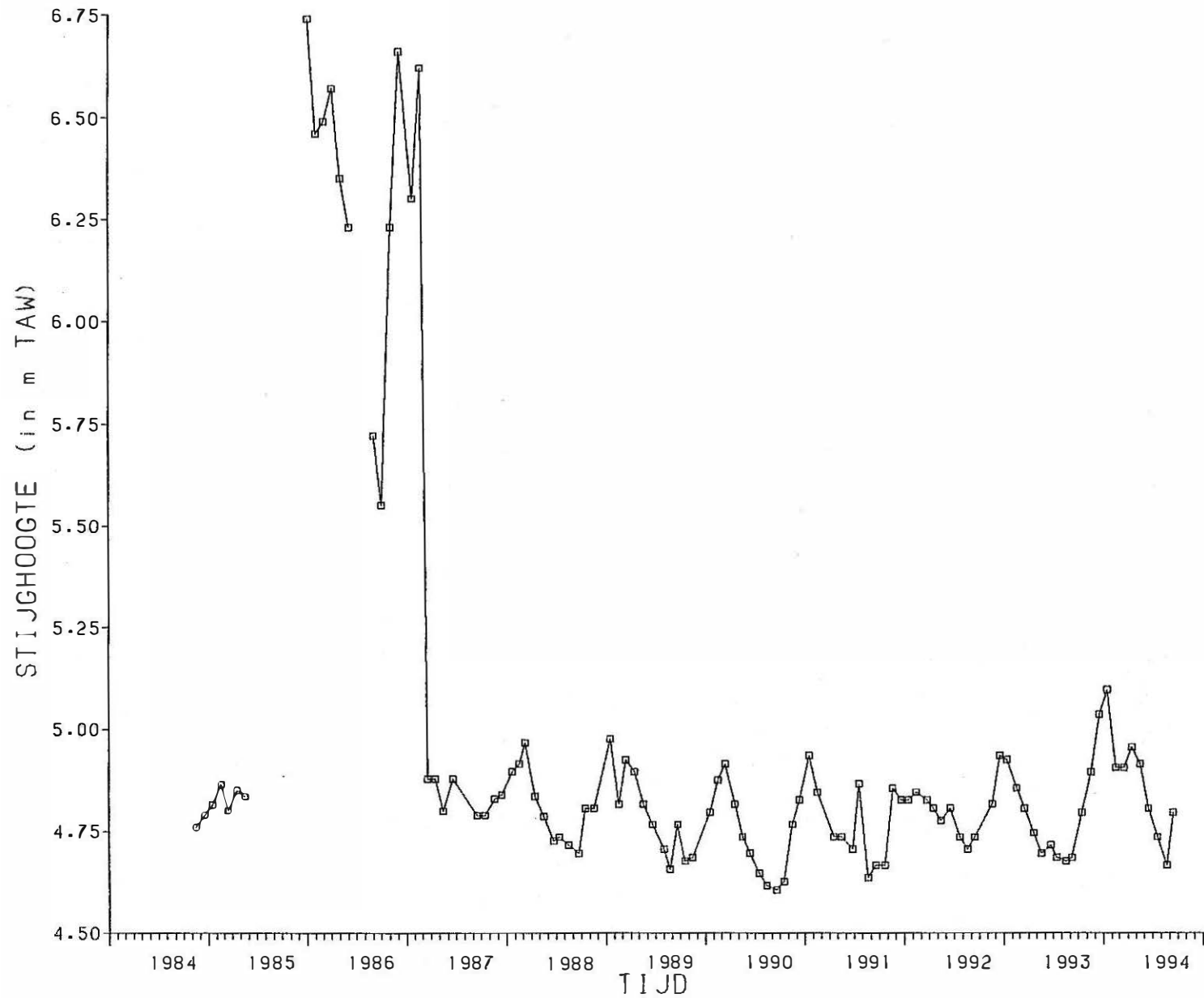
PIEZOMETER L041-F1



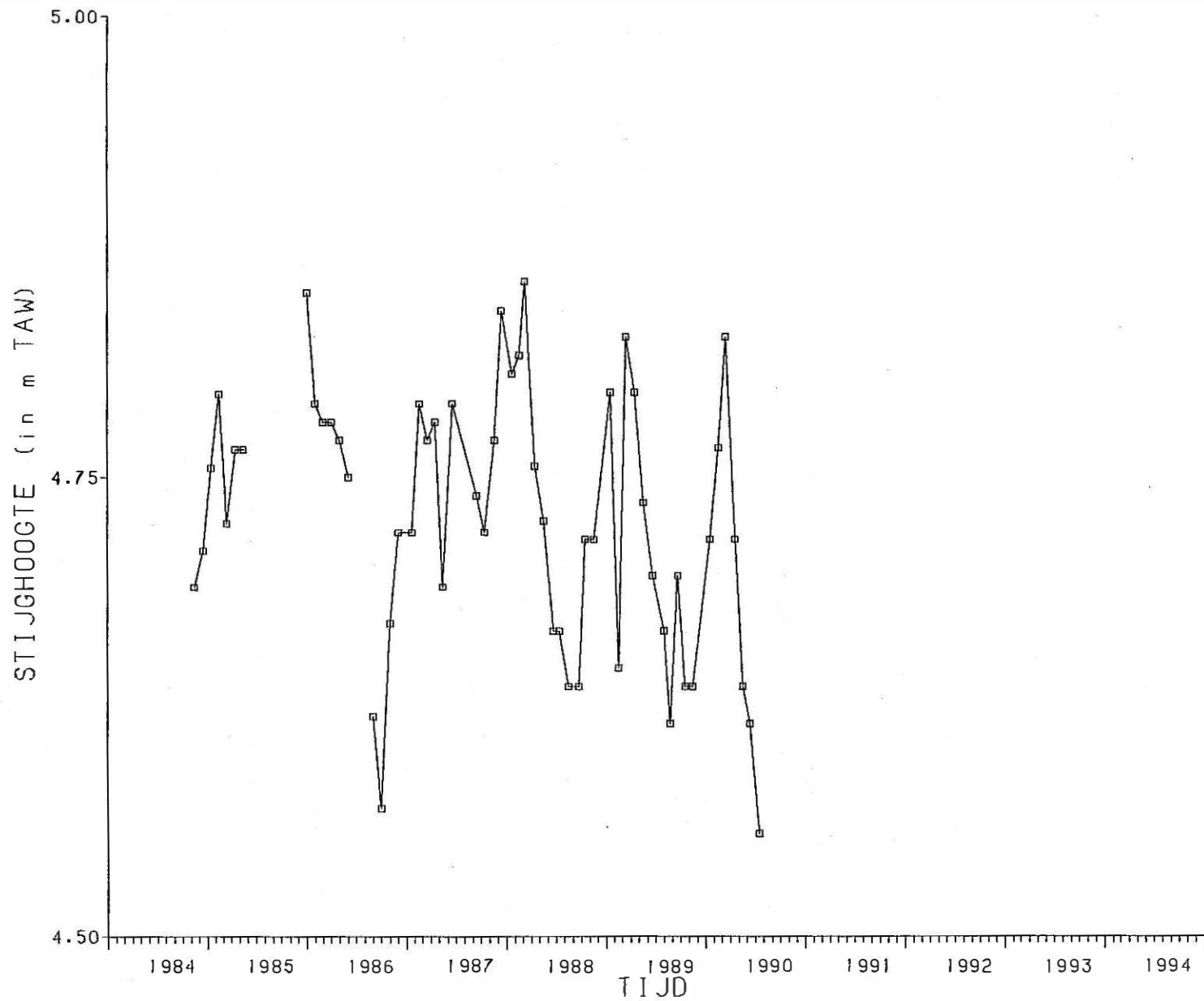
PIEZOMETER L041-F2



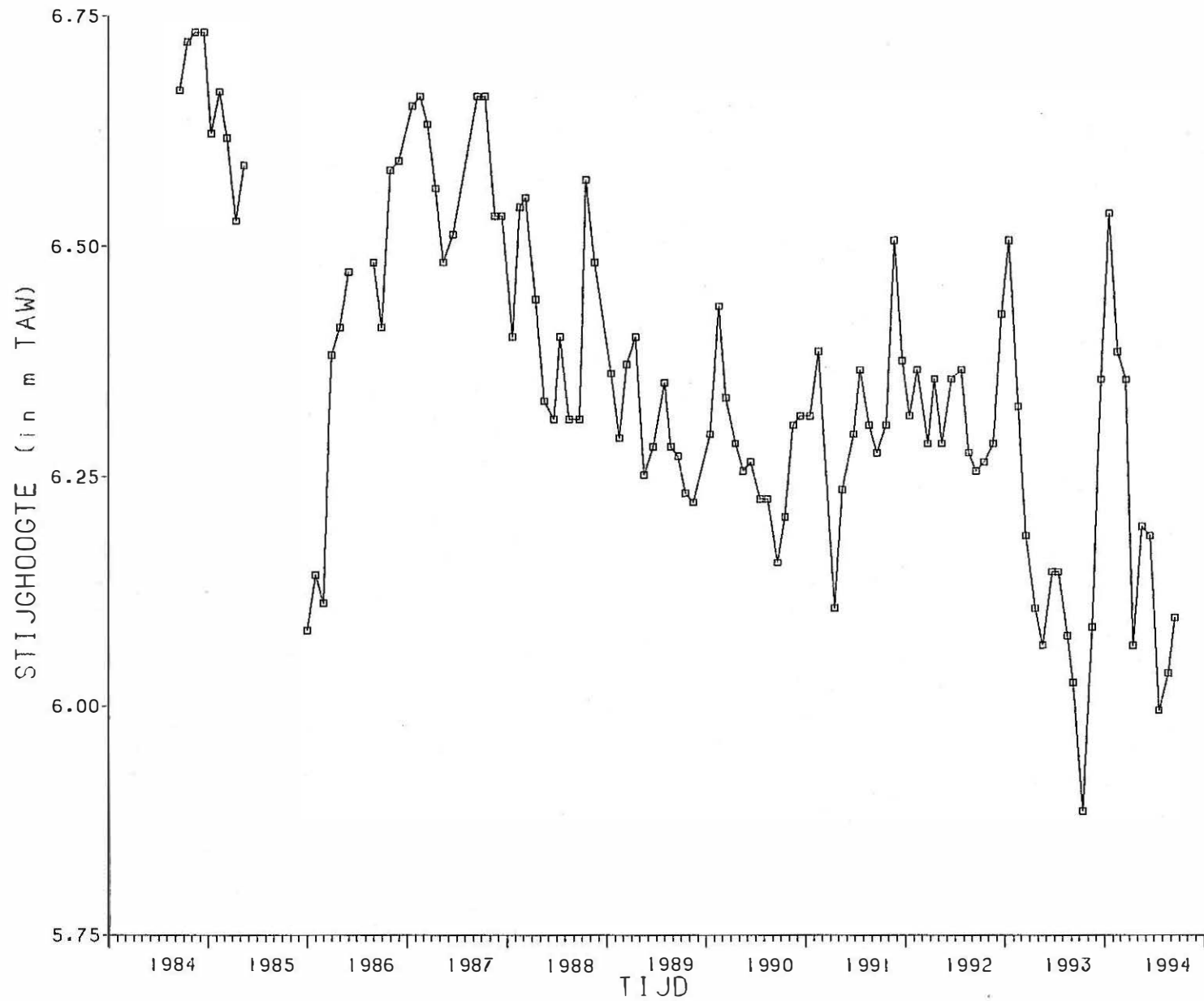
PIEZOMETER L051-F1



PIEZOMETER L051-F2



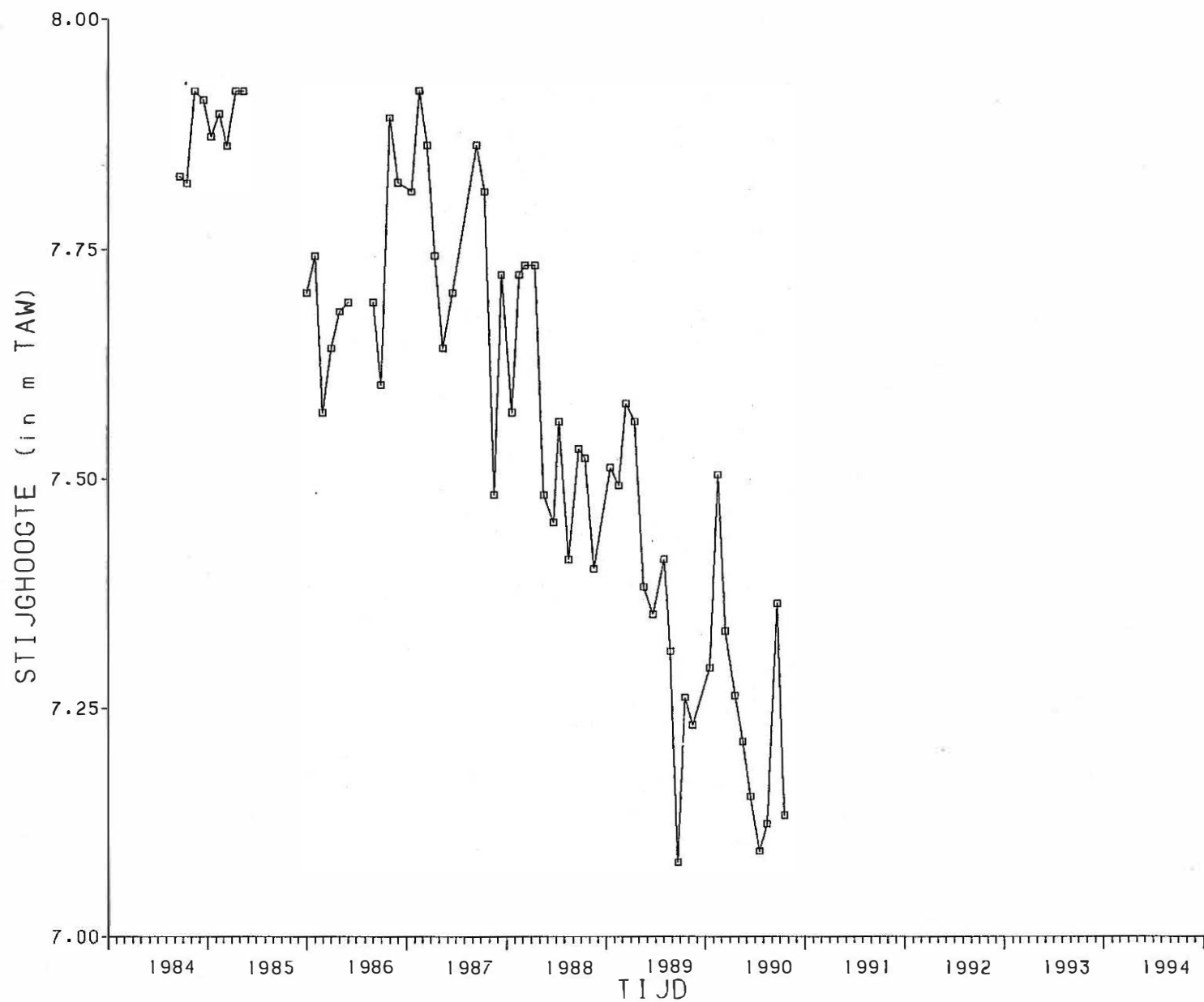
PIEZOMETER BI-F1



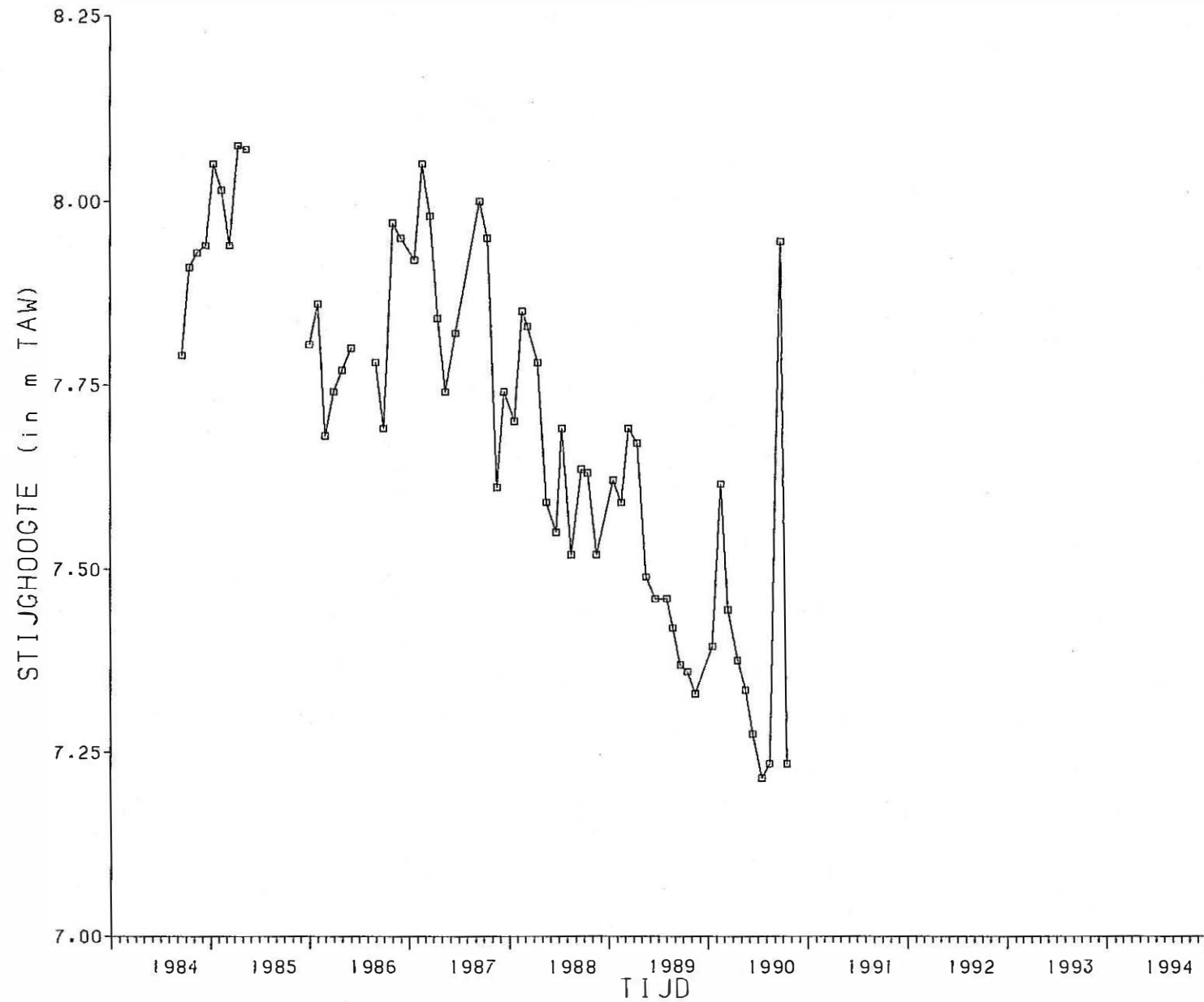
PIEZOMETER BI-F2



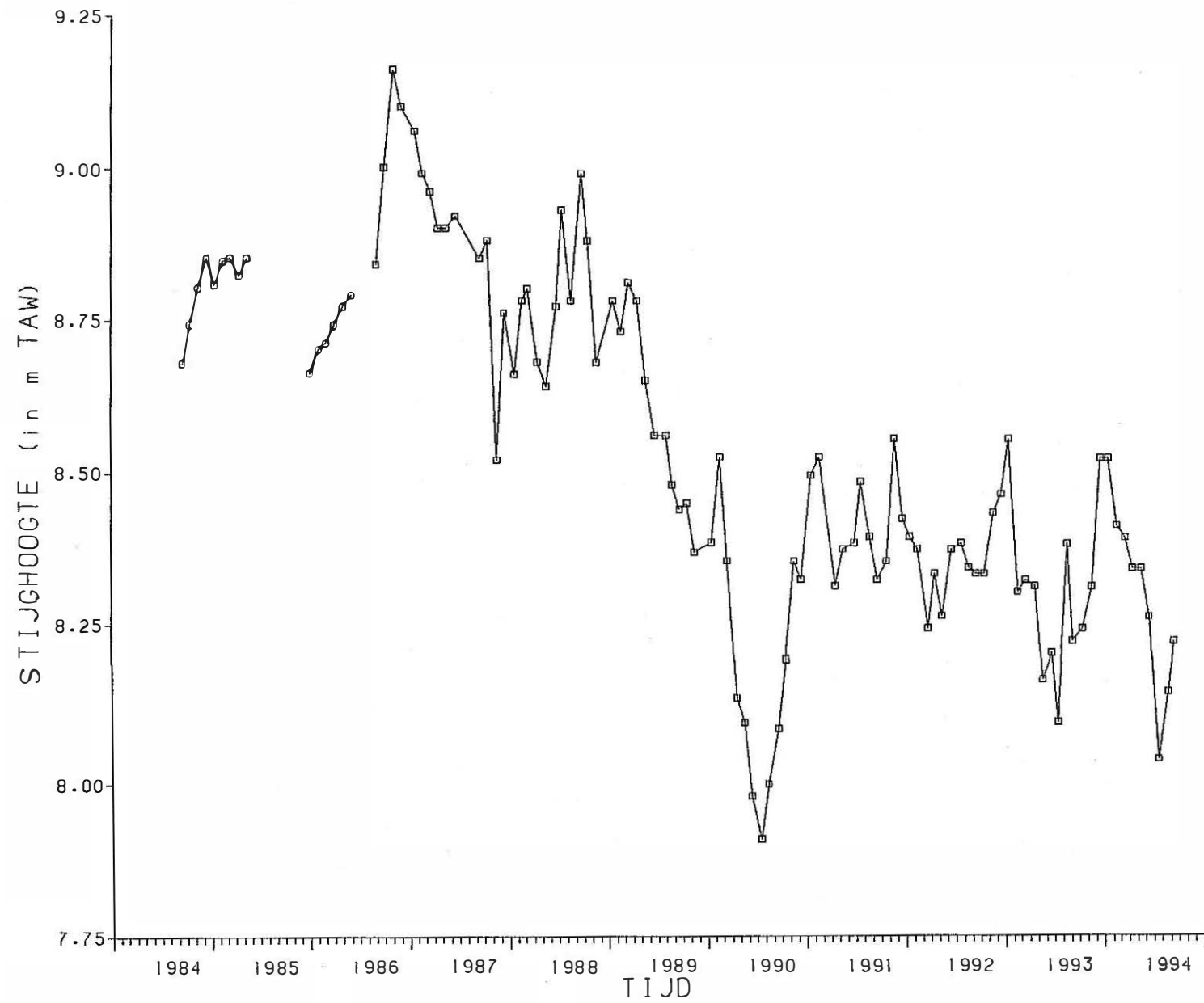
PIEZOMETER BII-F1



PIEZOMETER BII-F2



PIEZOMETER BIII-F1

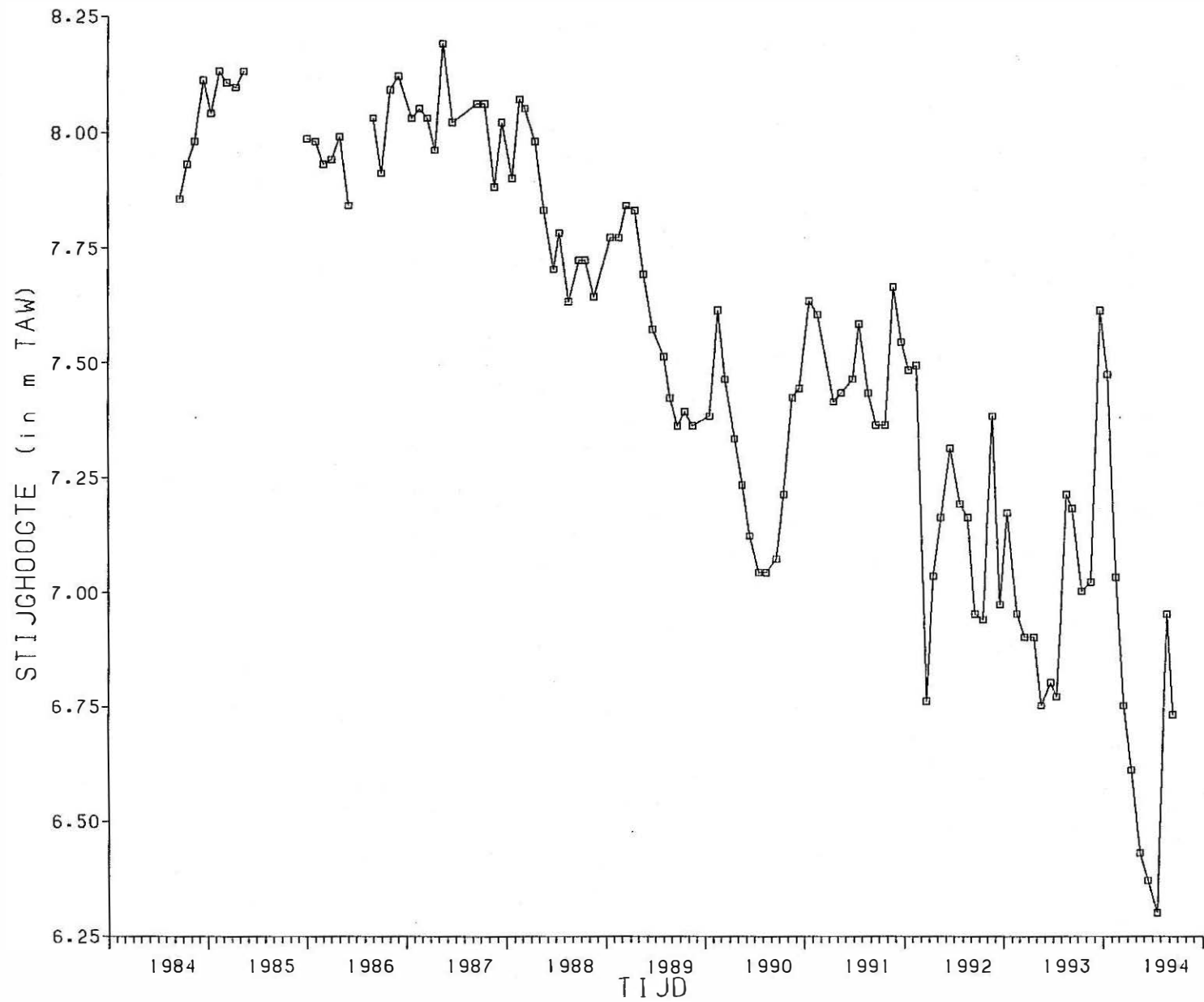


PIEZOMETER BIII-F2

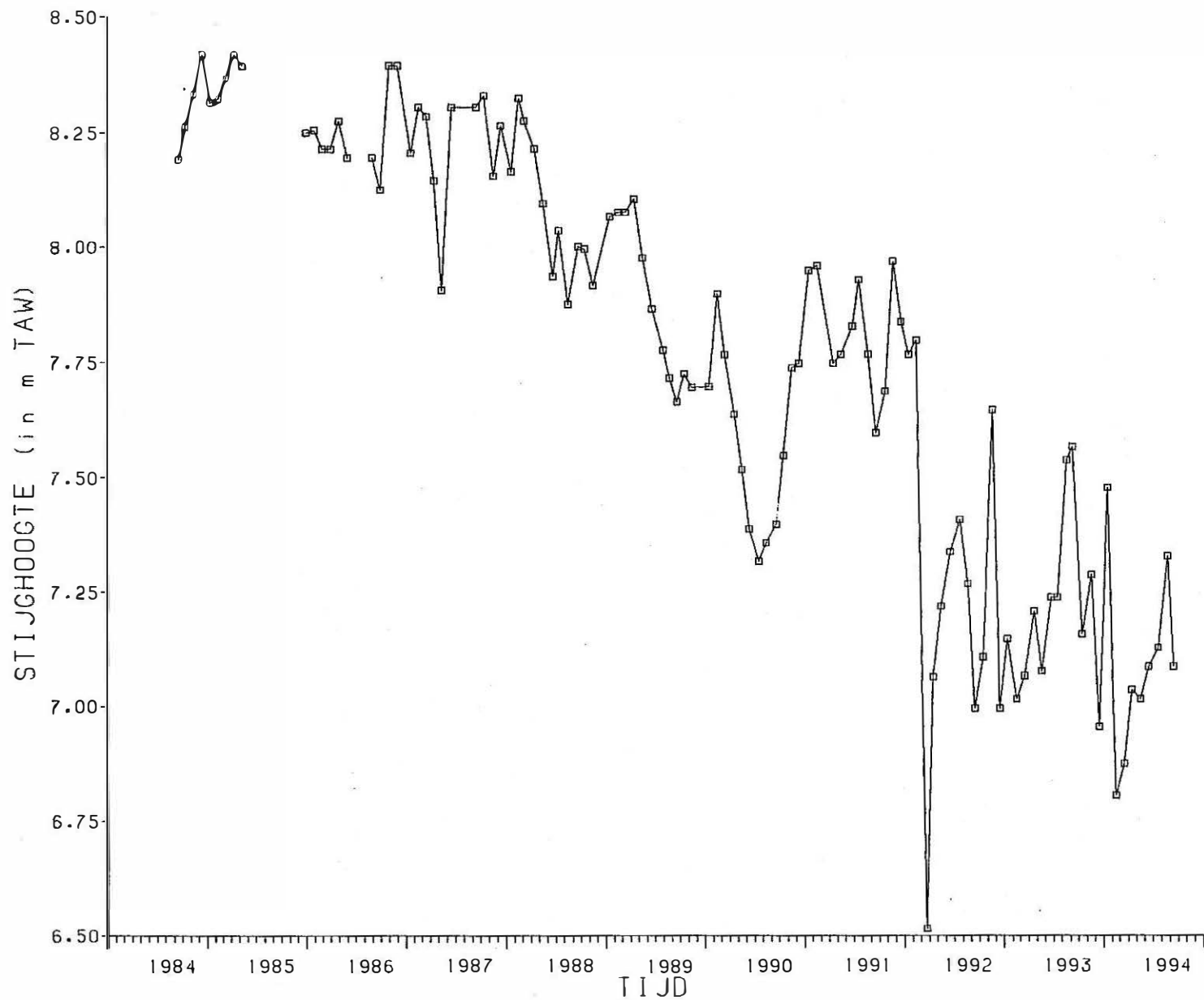


ZONE 2

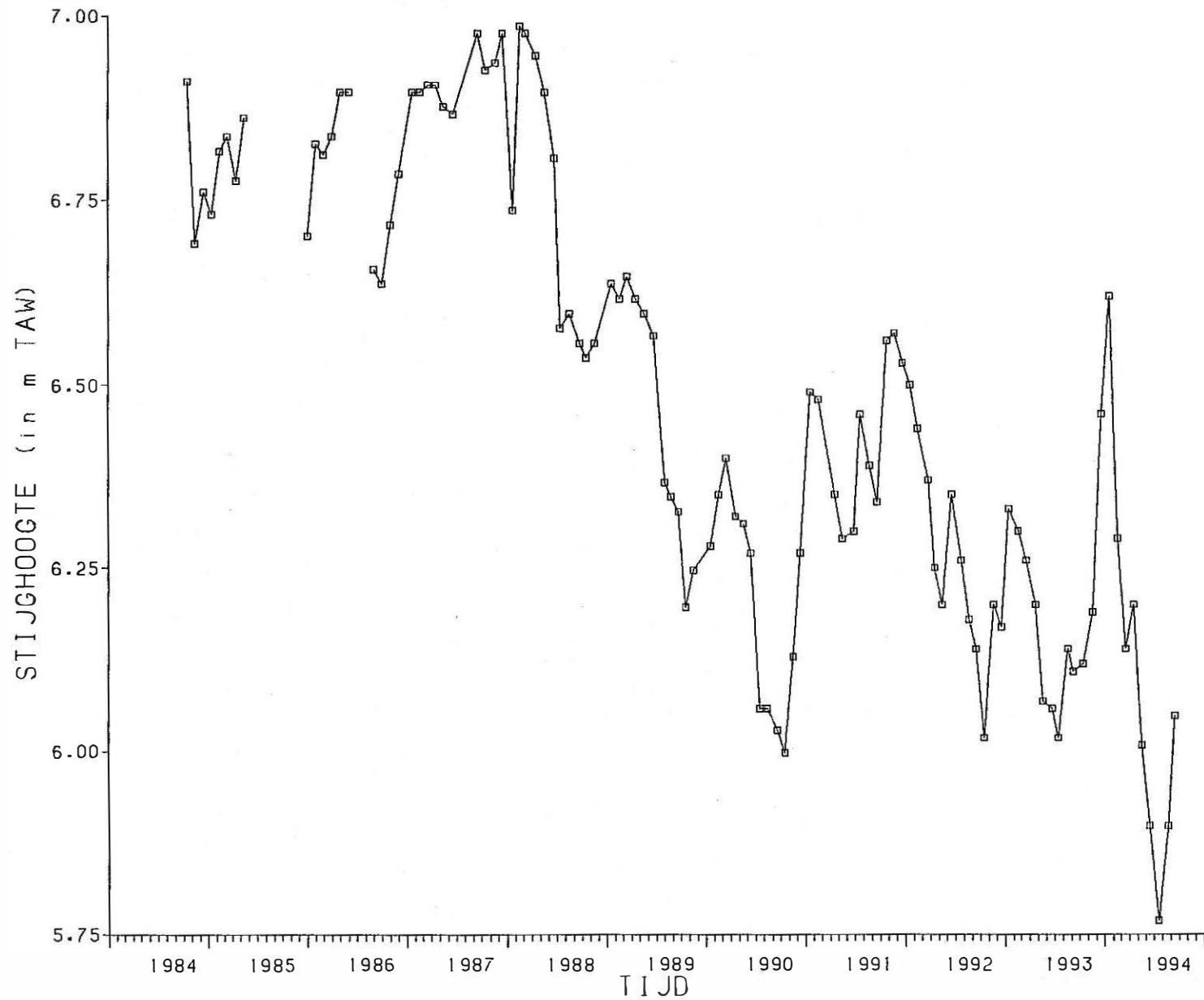
PIEZOMETER BIV-F1



PIEZOMETER BIV-F2



PIEZOMETER BV-F1



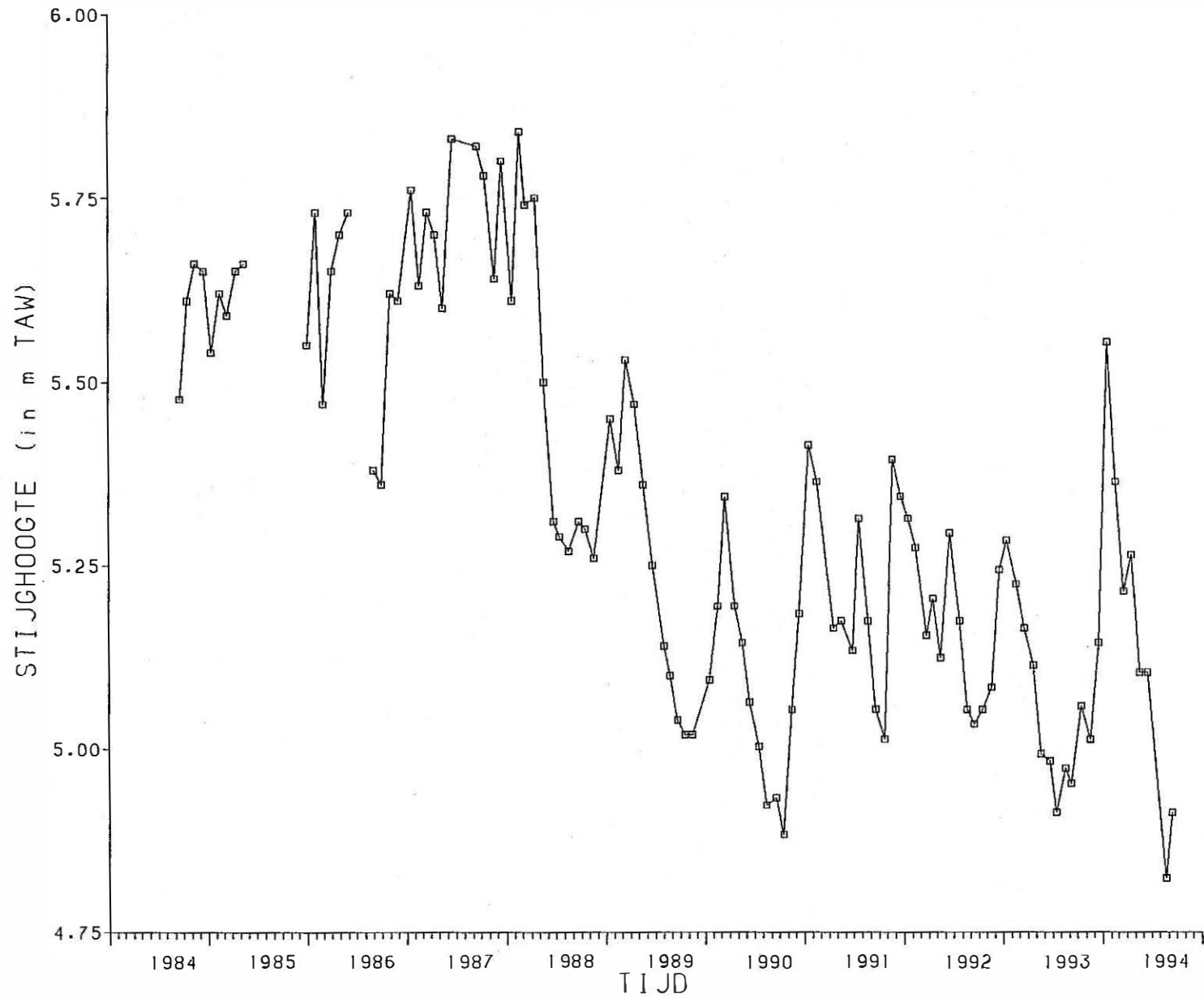
PIEZOMETER BV-F2



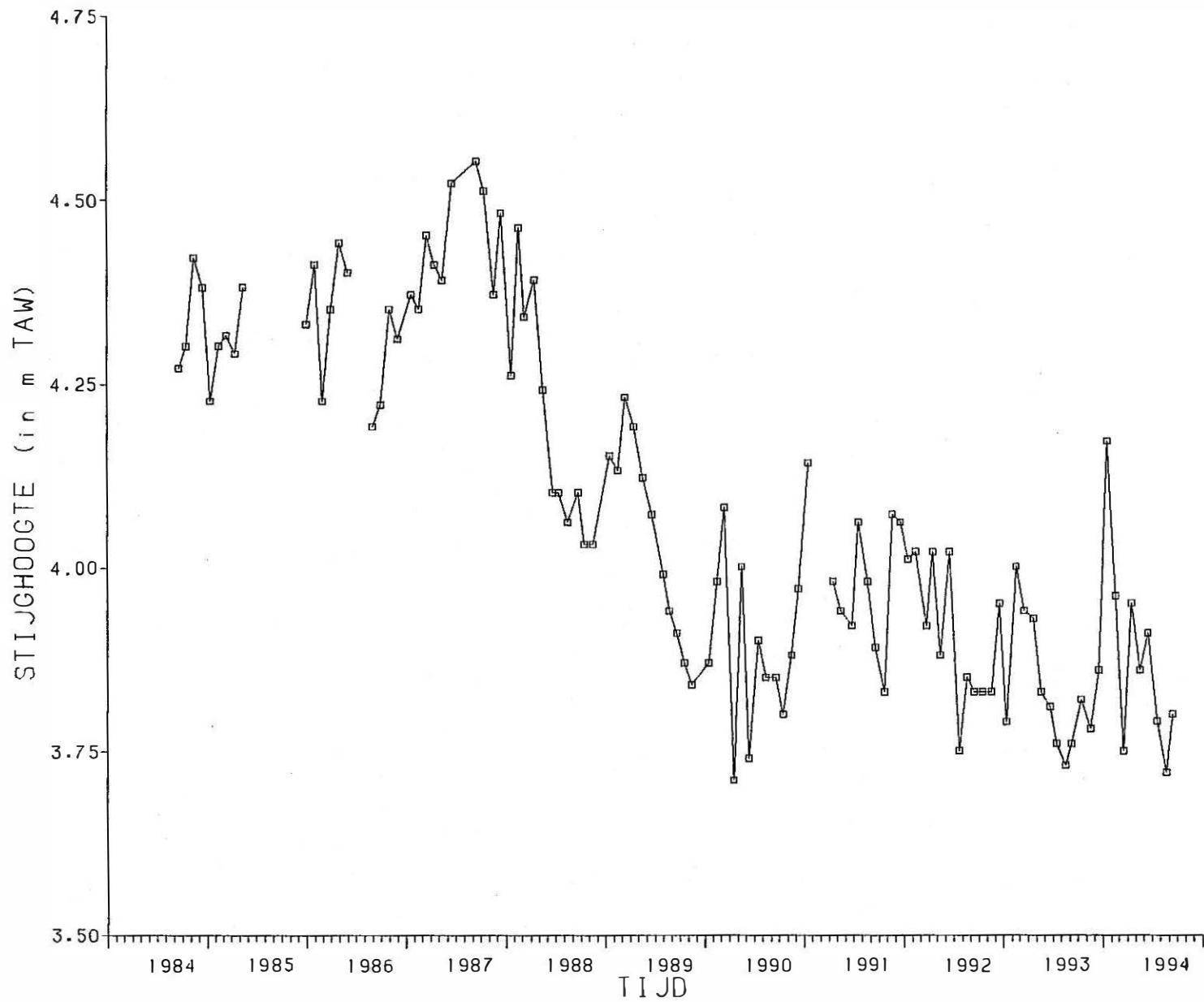
PIEZOMETER BVI-F1



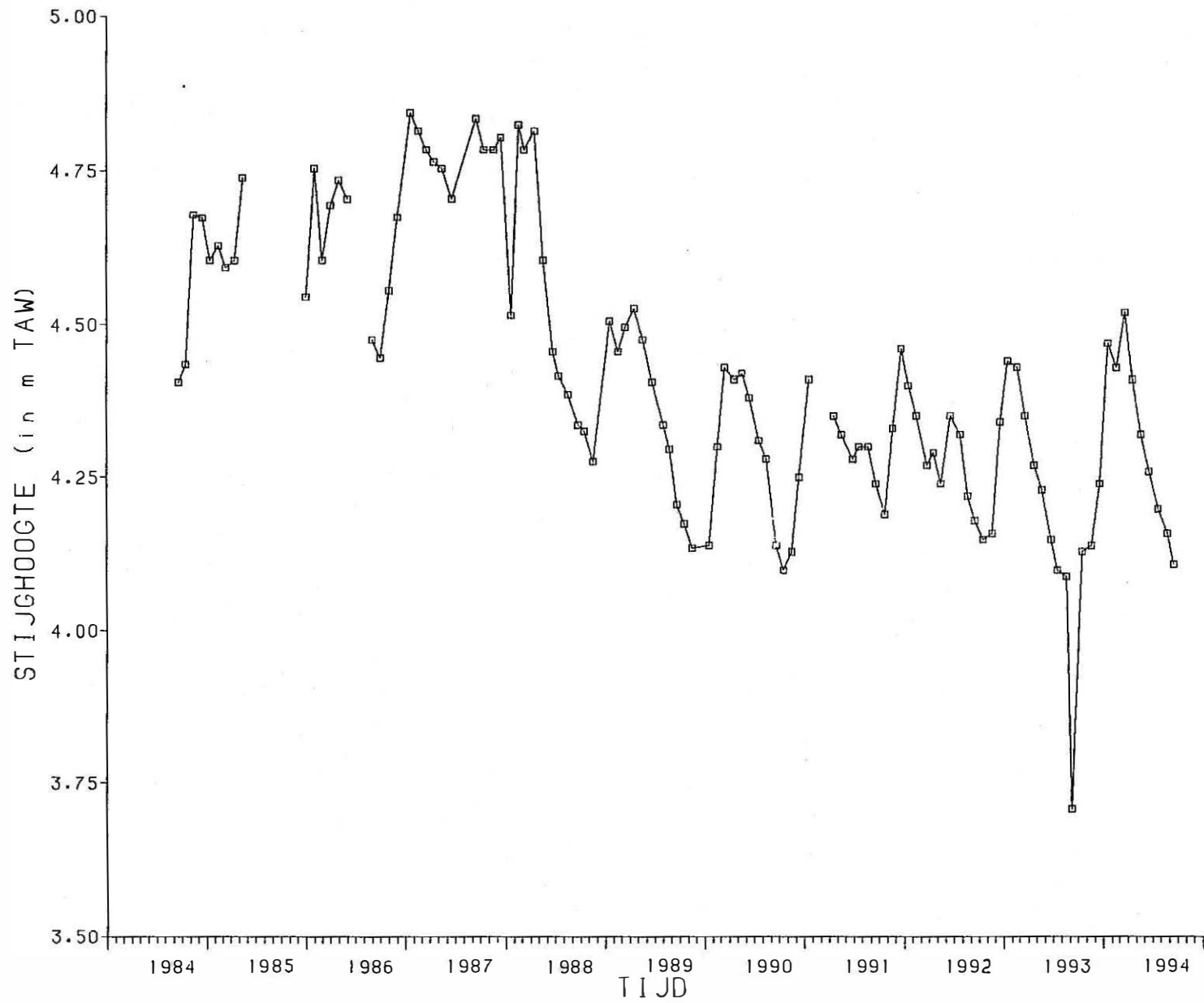
PIEZOMETER BVI-F2



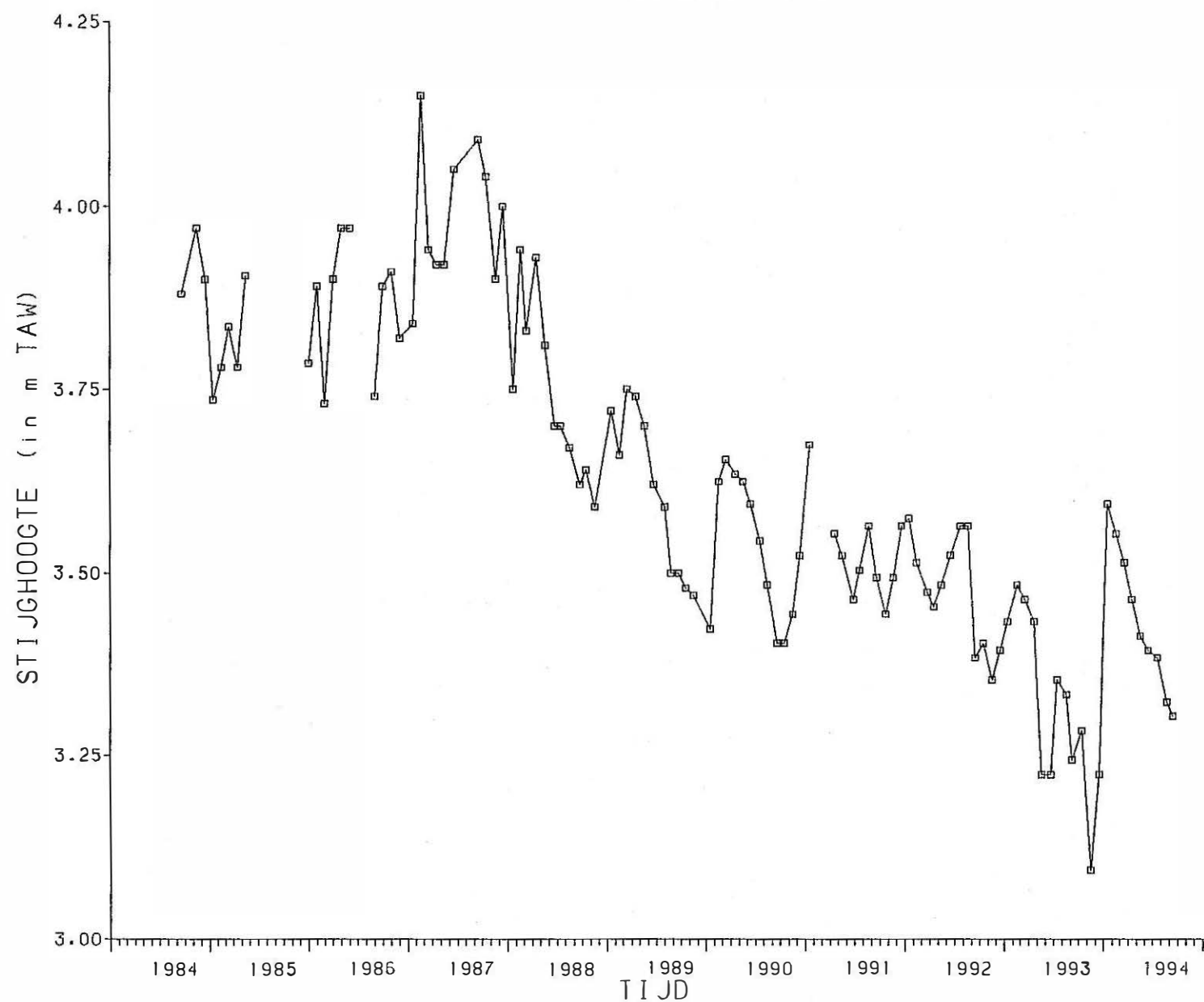
PIEZOMETER BVII-F1



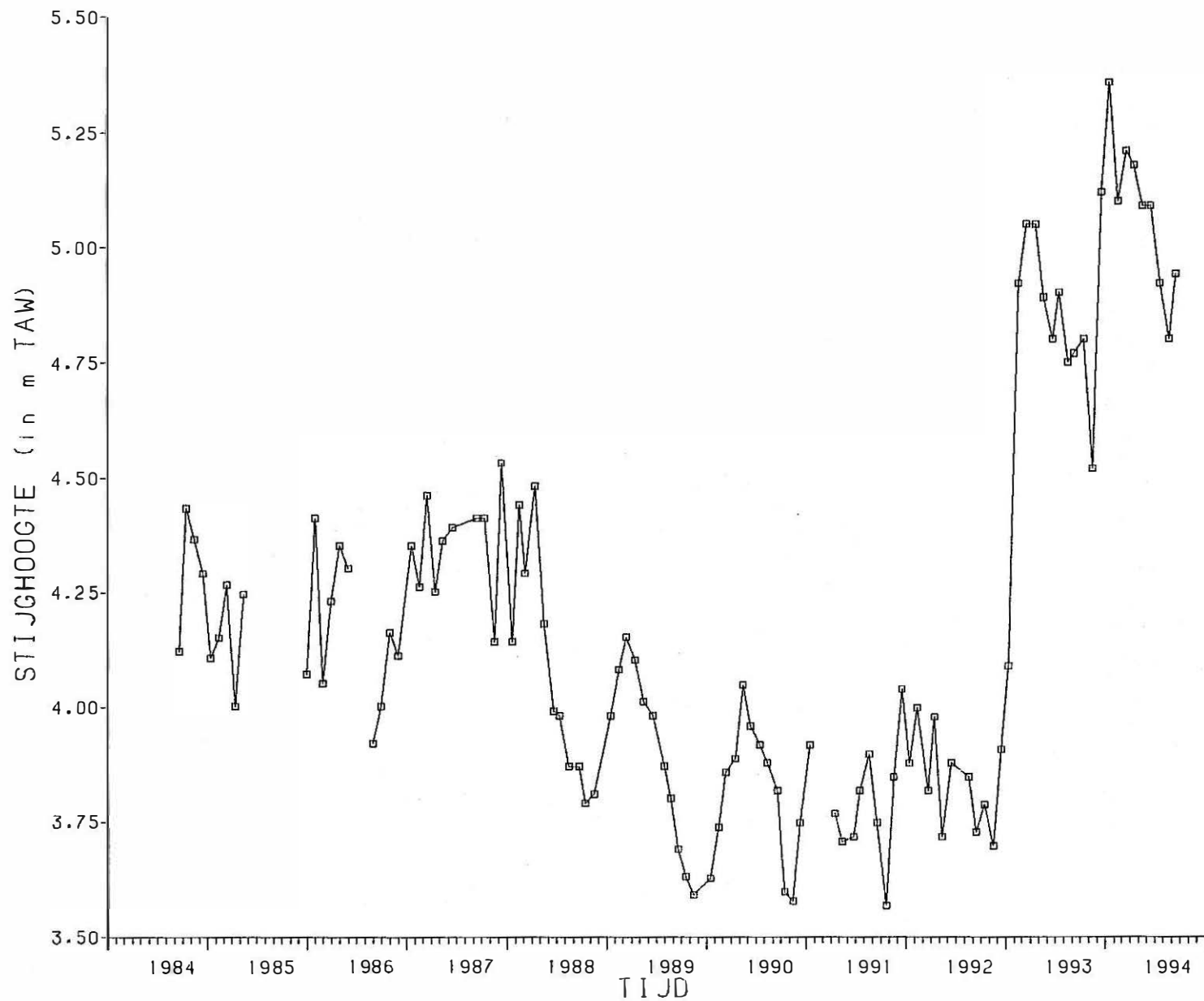
PIEZOMETER BVII-F2



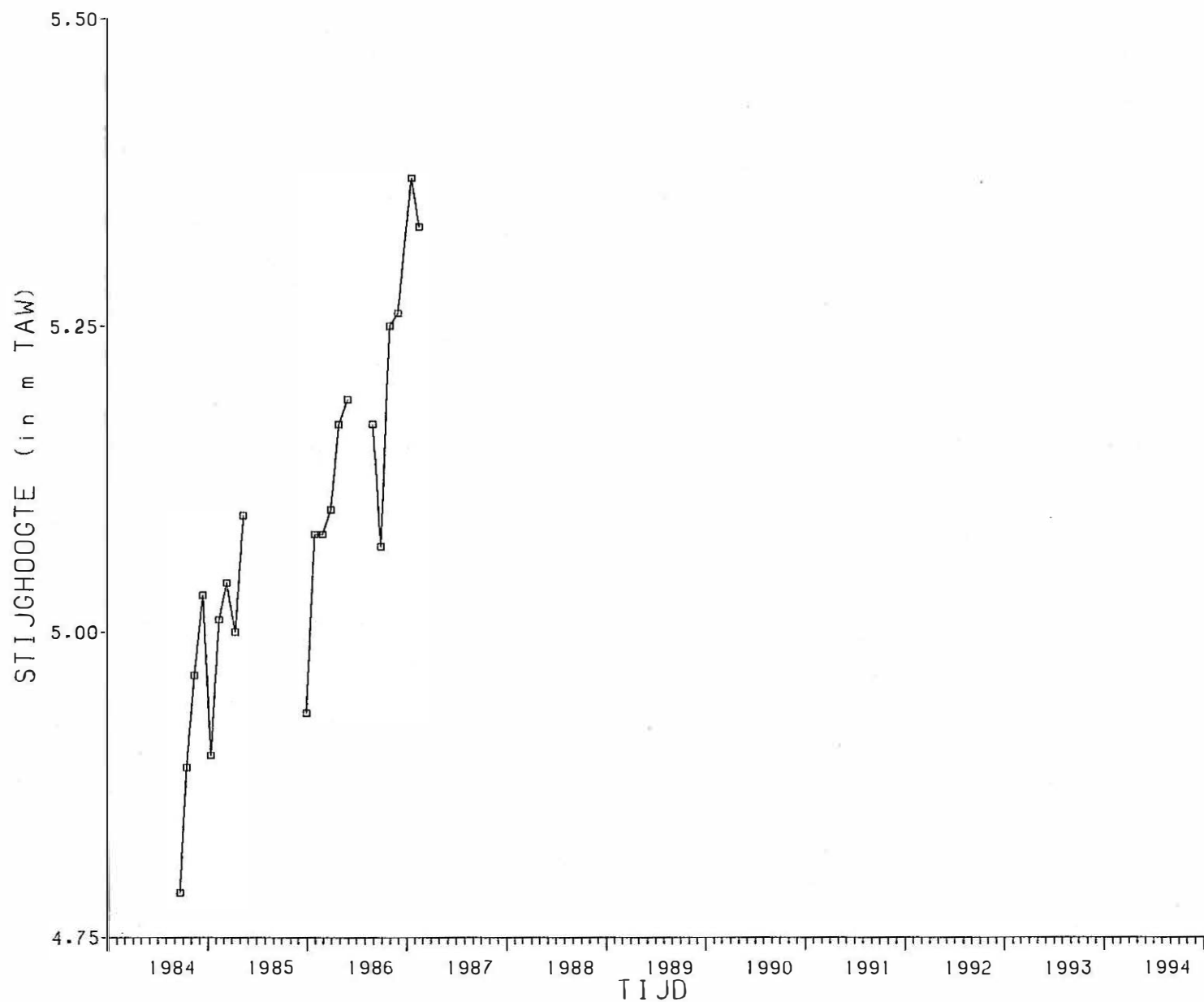
PIEZOMETER BVIII-F1



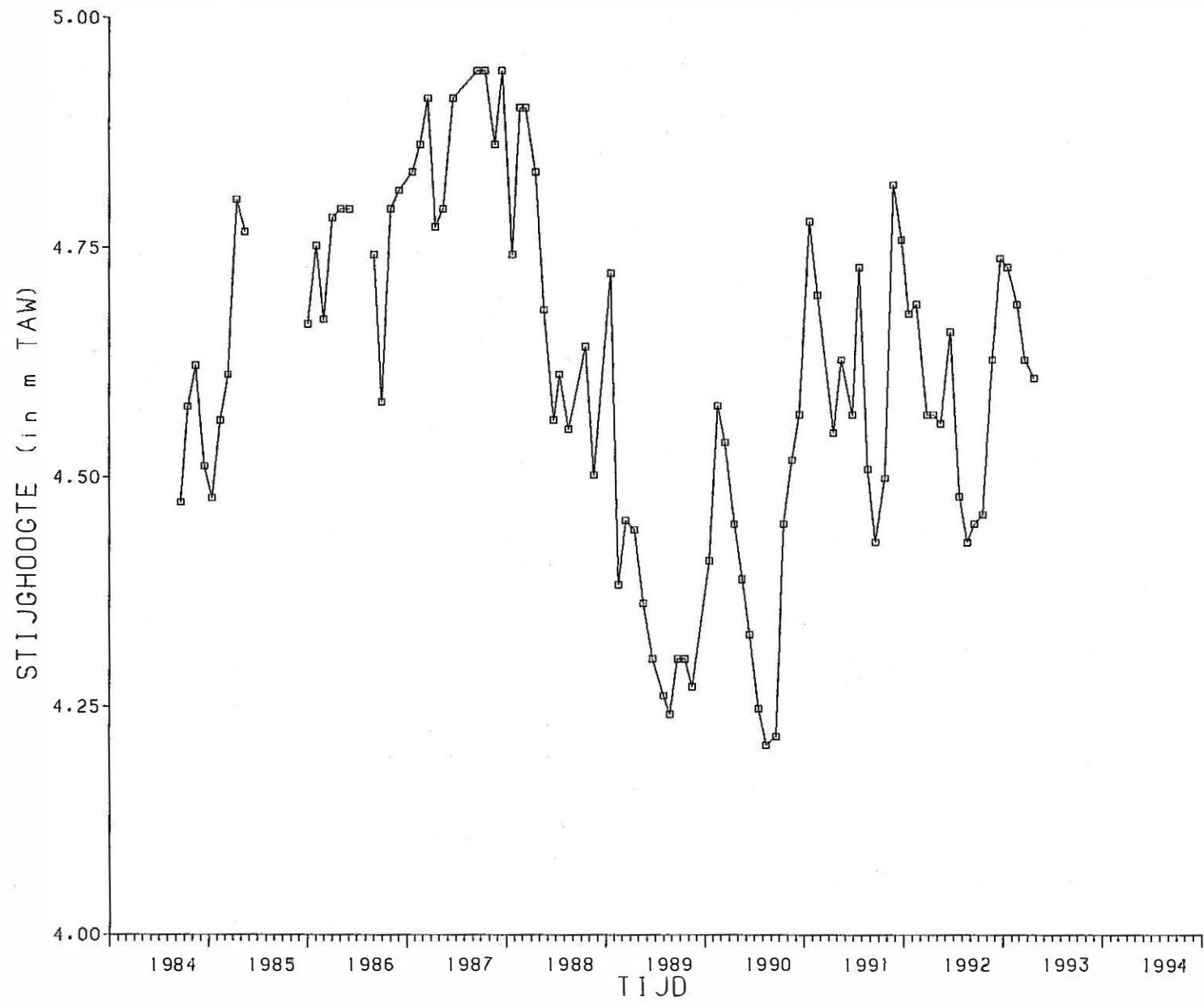
PIEZOMETER BVIII-F2



PIEZOMETER BIX-F1

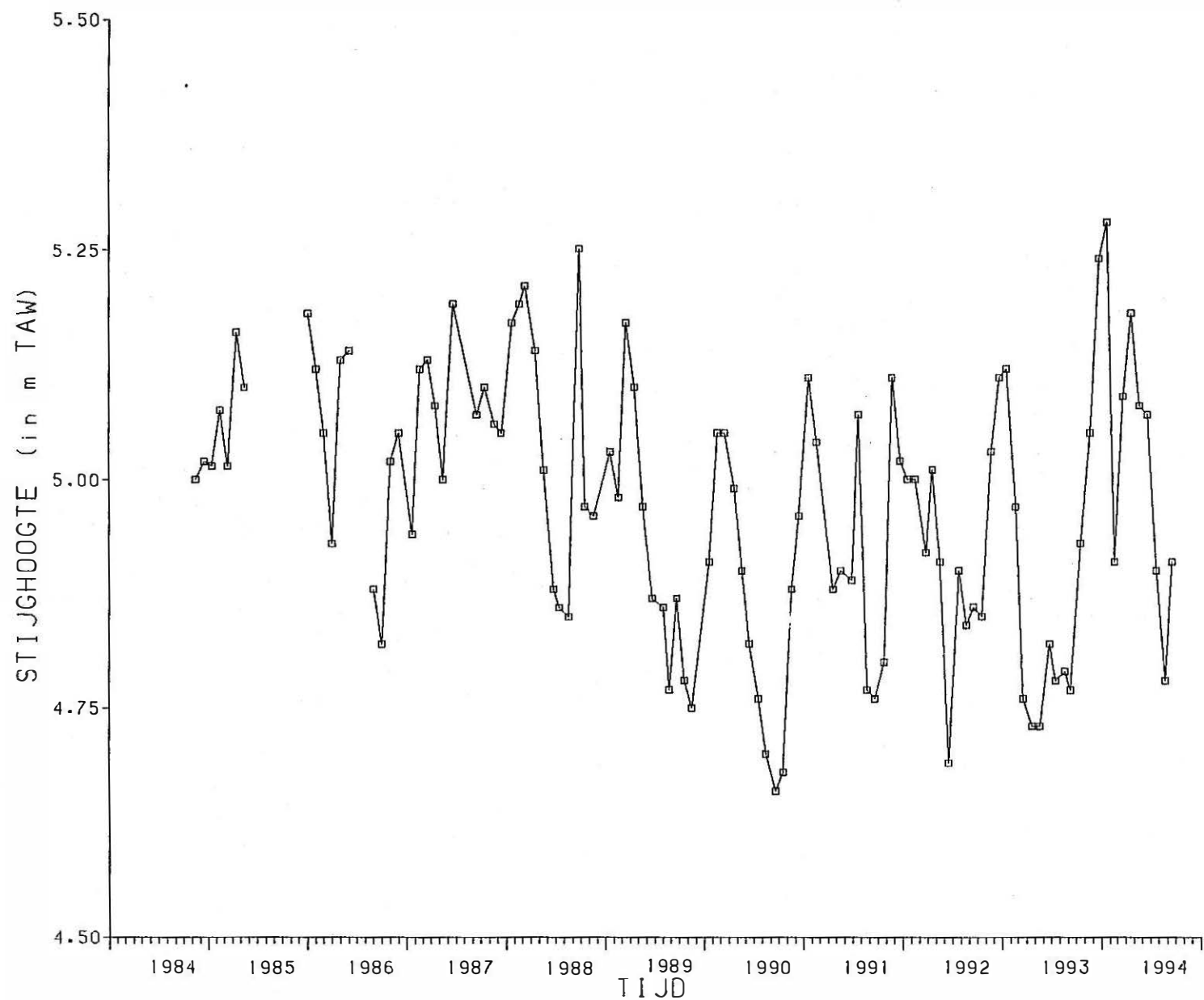


PIEZOMETER BIX-F2

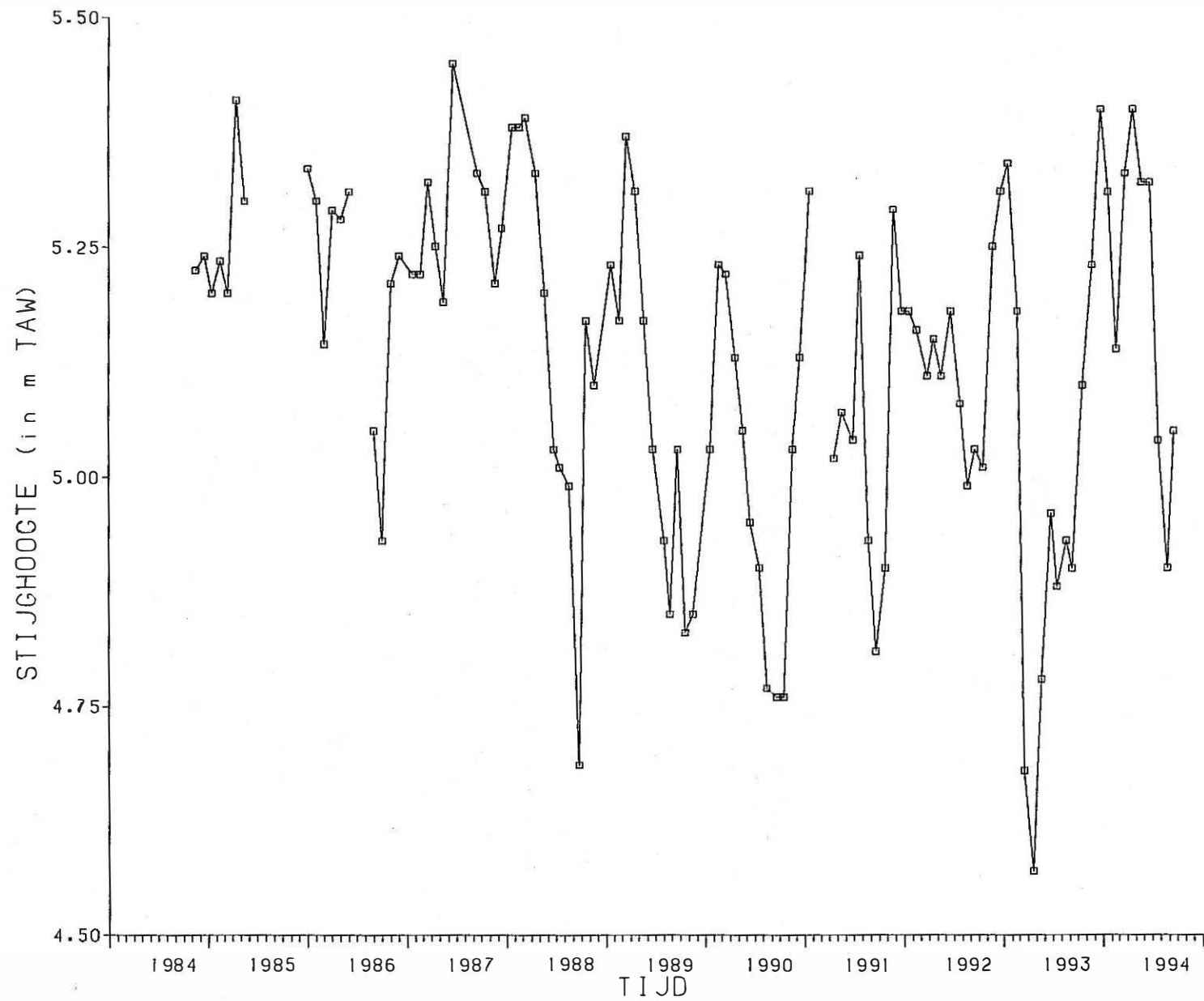


ZONE 3

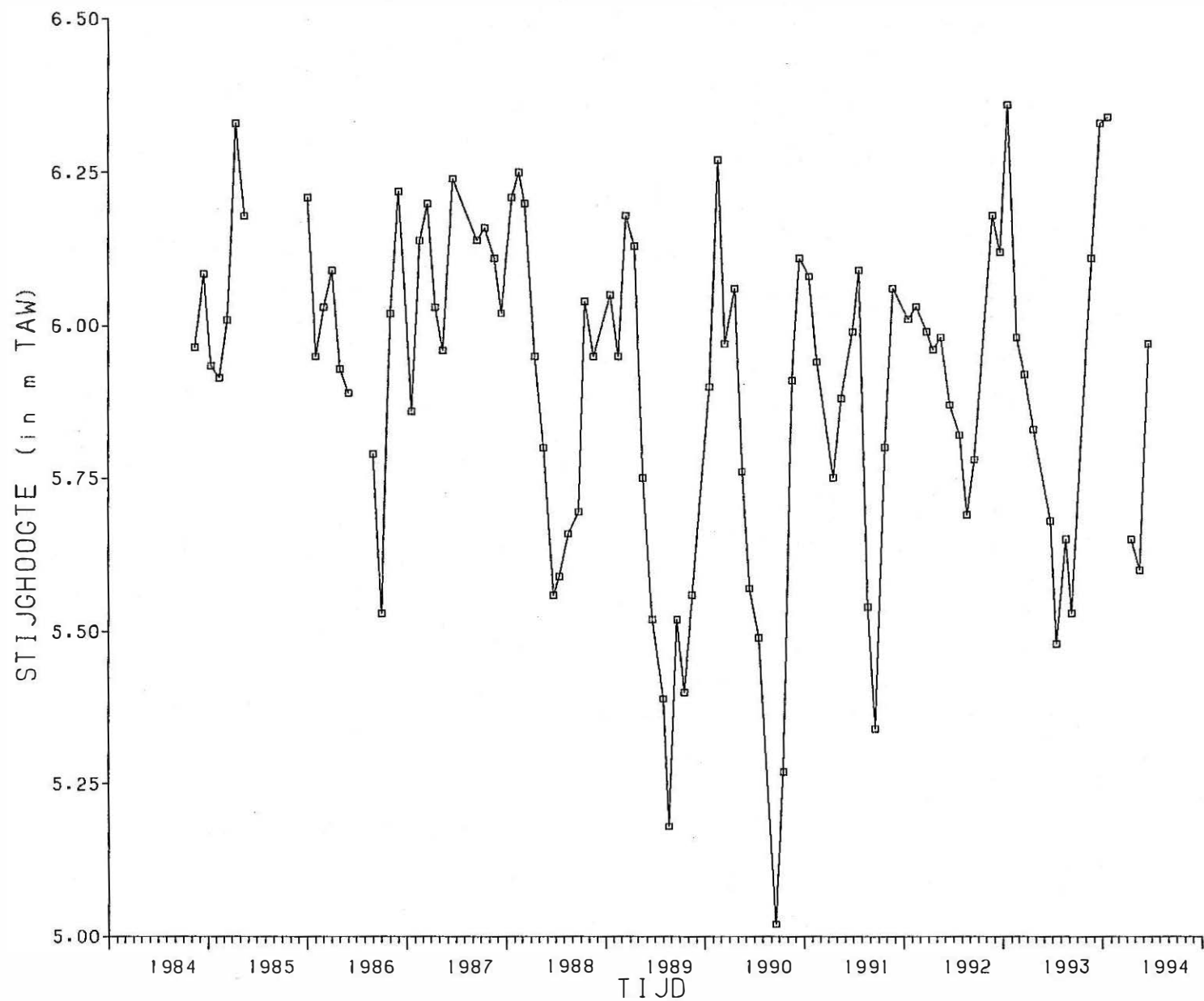
PIEZOMETER L031-F1



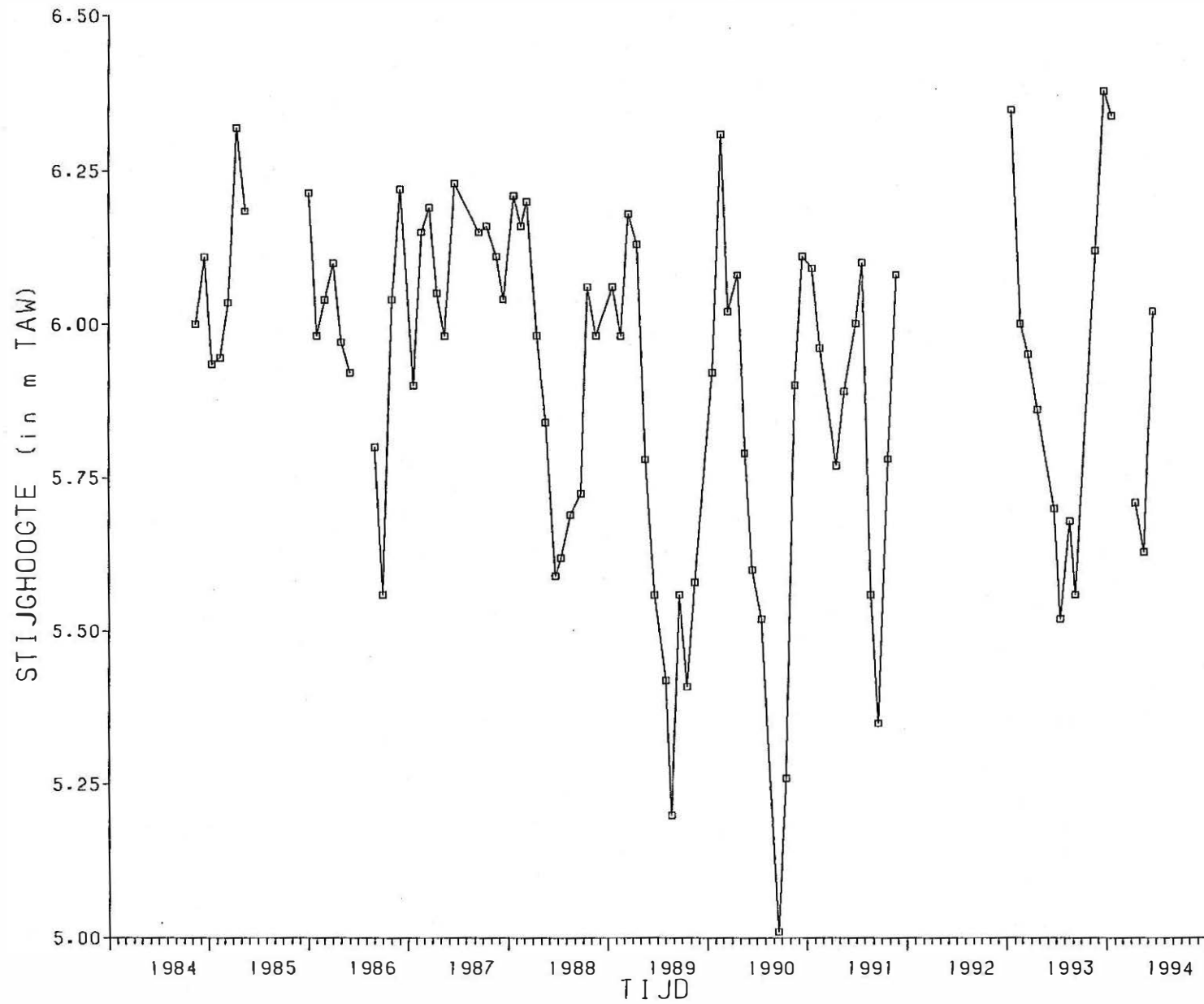
PIEZOMETER L031-F2



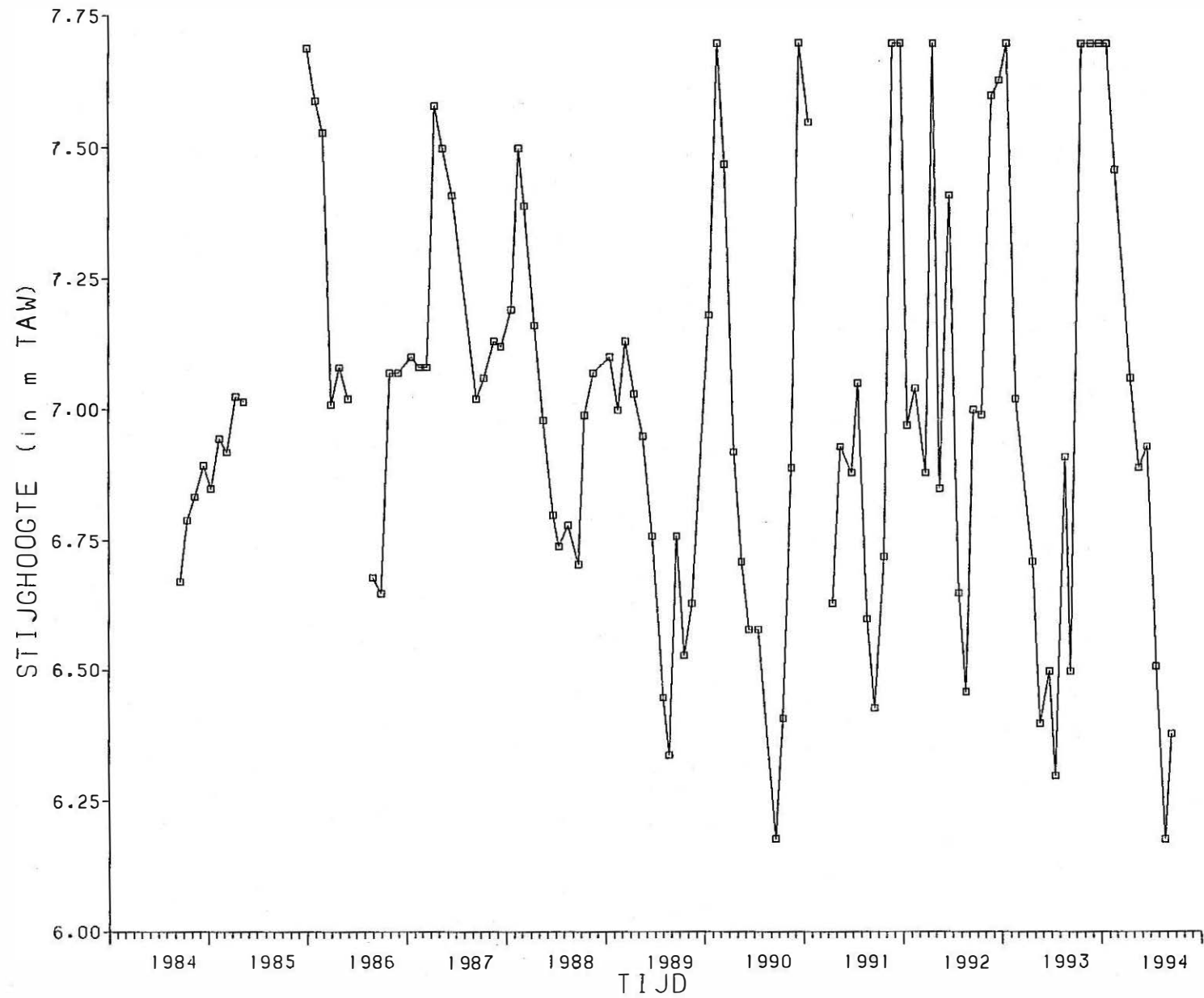
PIEZOMETER L033-F1



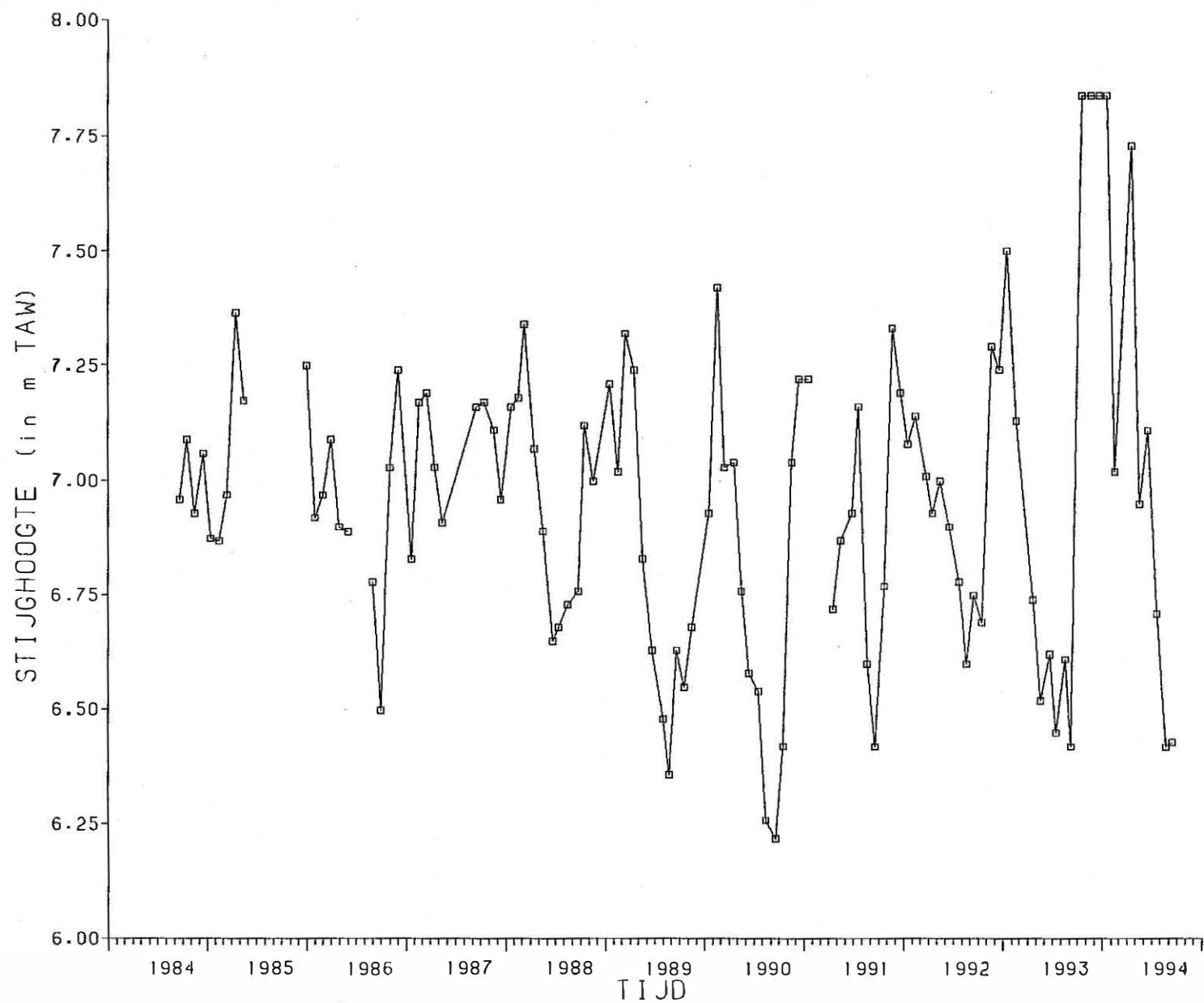
PIEZOMETER L033-F2



PIEZOMETER BXII-F1



PIEZOMETER BXII-F2



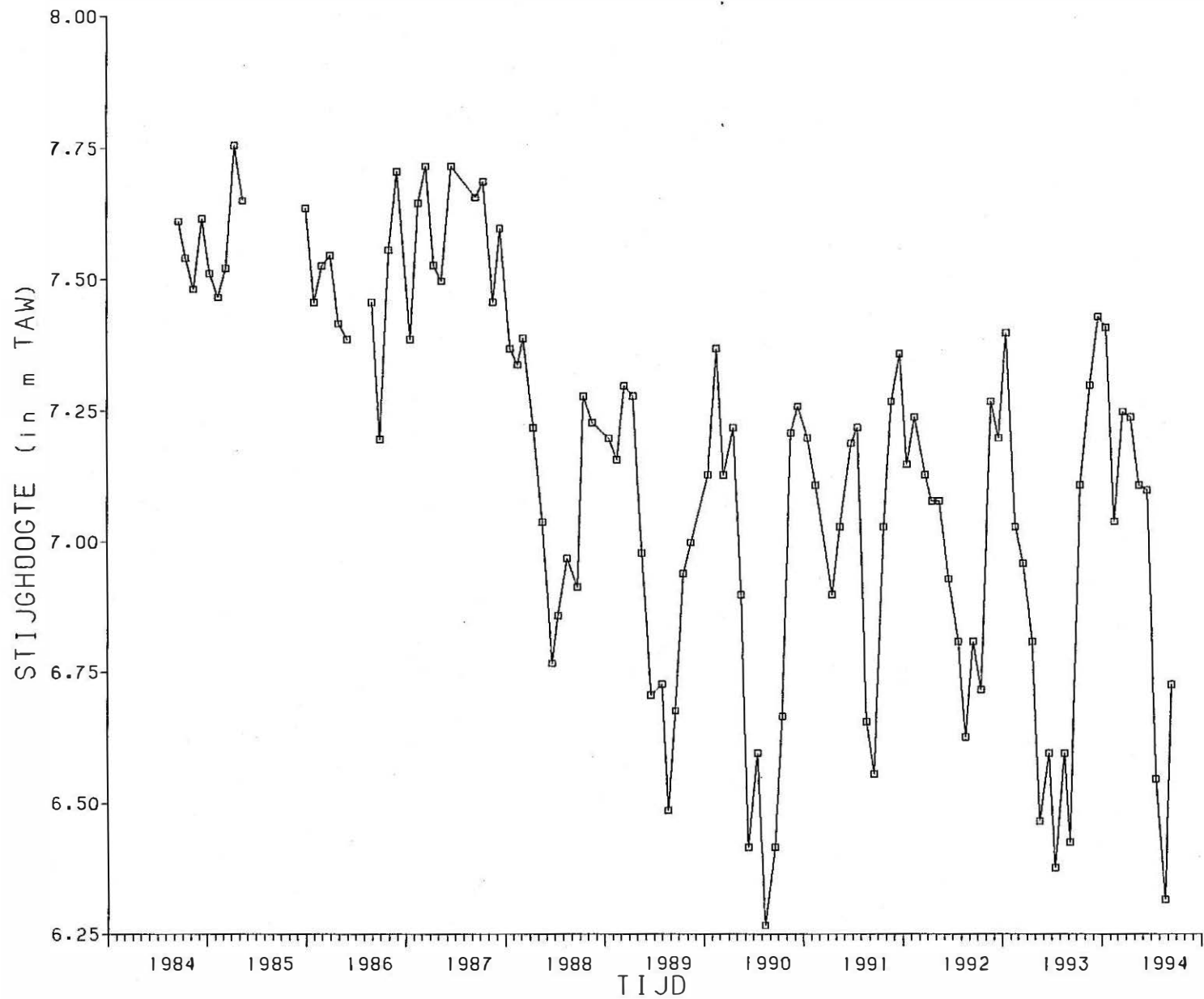
PIEZOMETER DB11-1



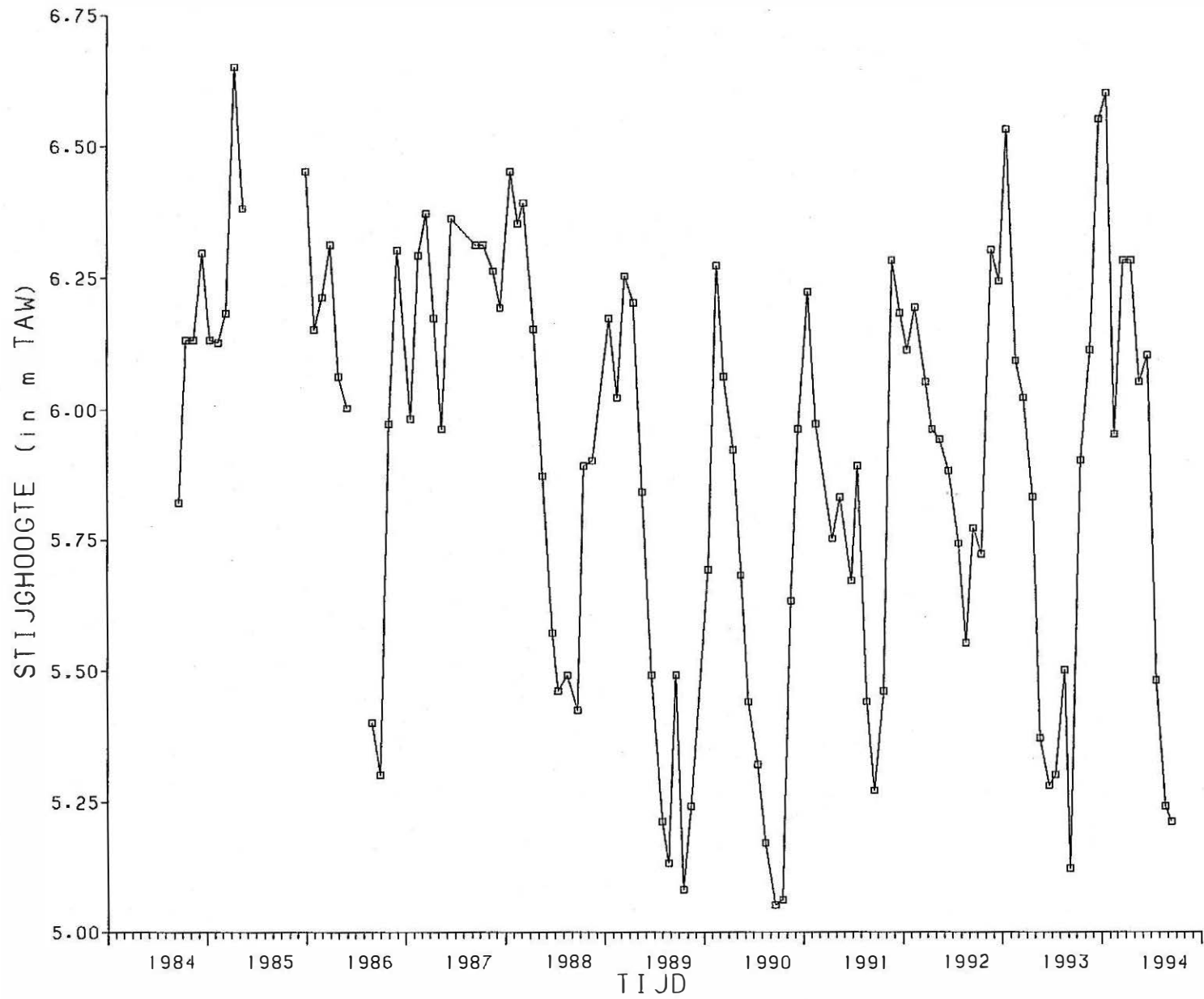
PIEZOMETER DB11-2



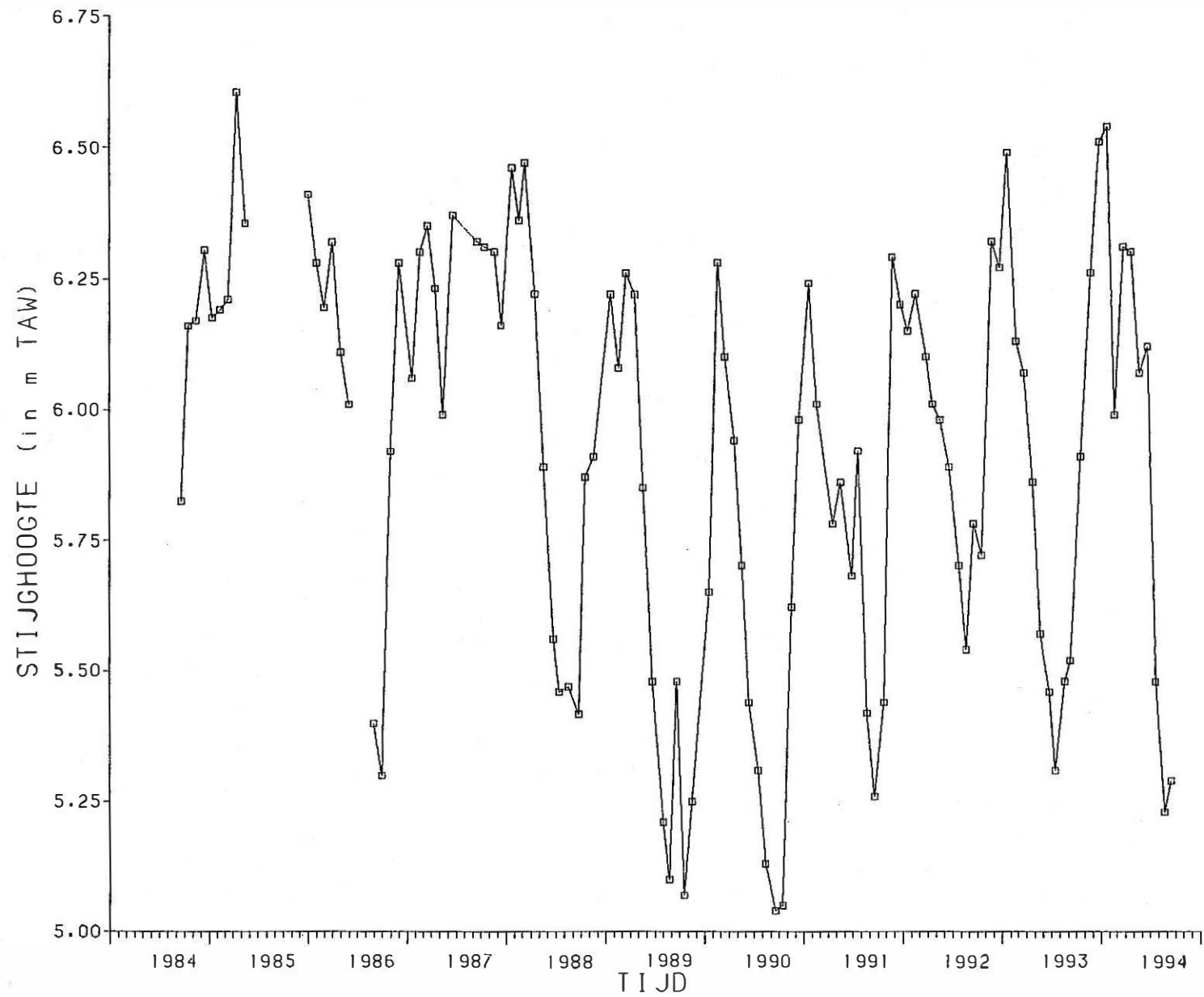
PIEZOMETER HB21



PIEZOMETER BXIII-F1

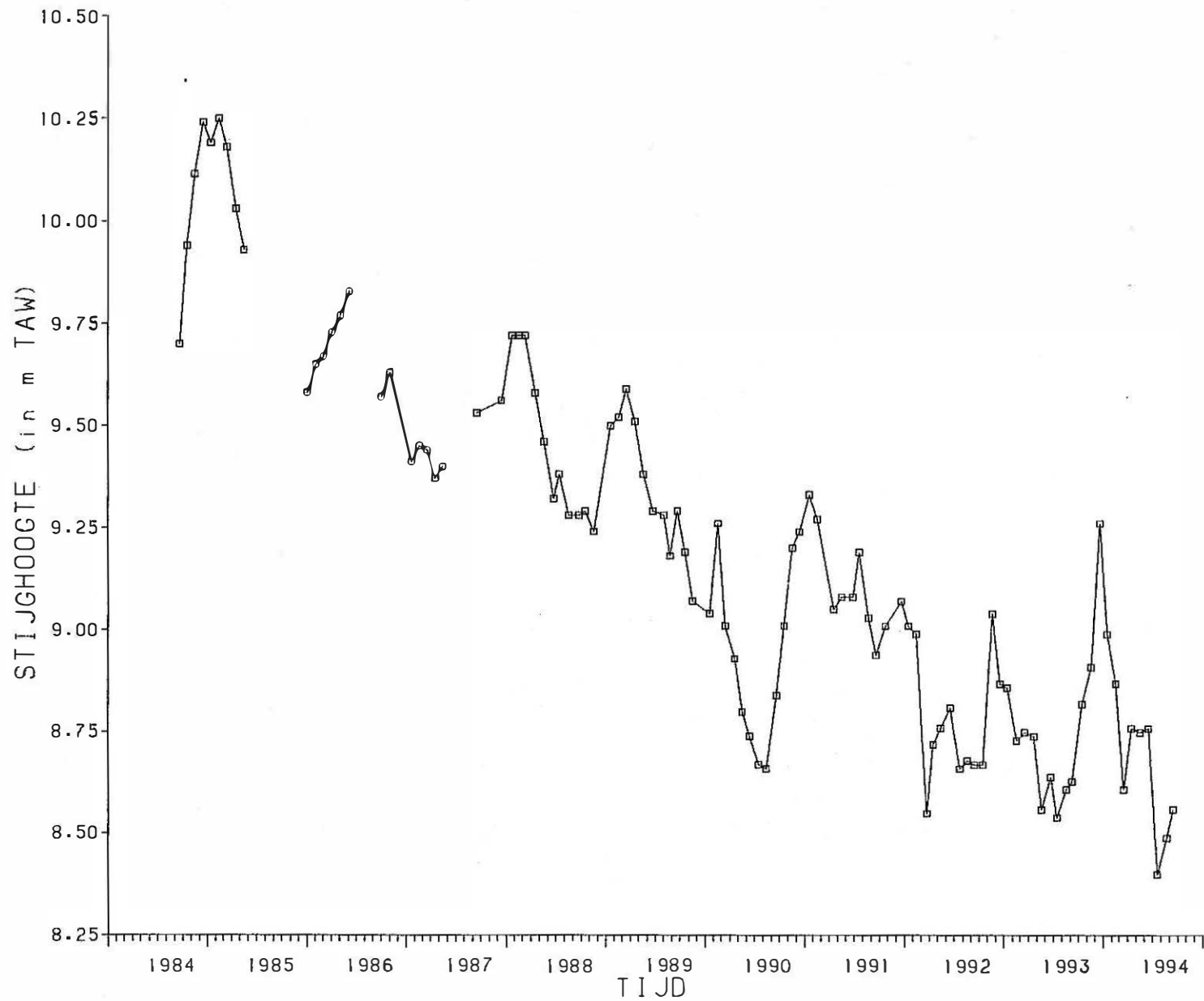


PIEZOMETER BXIII-F2

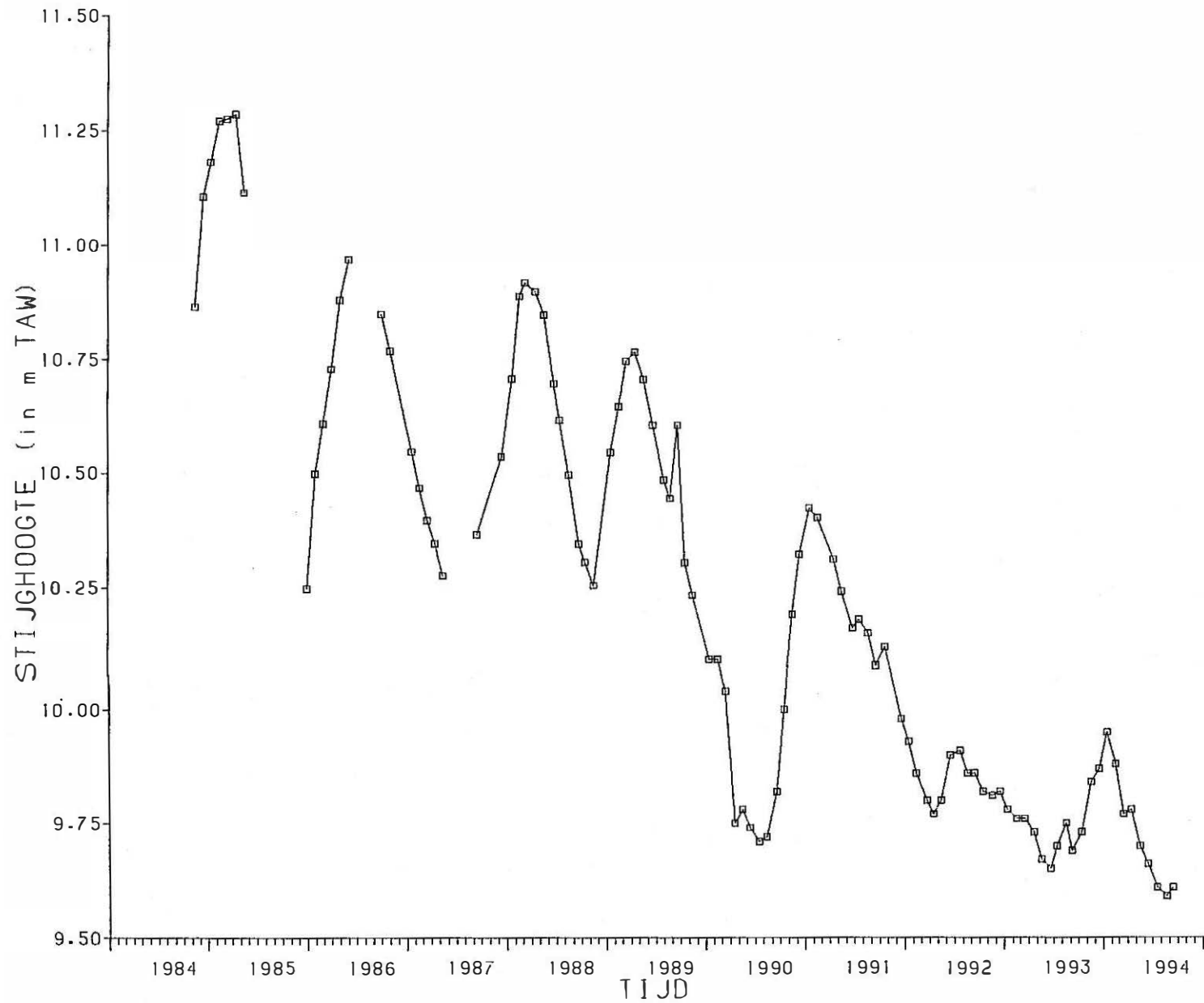


ZONE 4

PIEZOMETER BX-F1



PIEZOMETER BX-F2



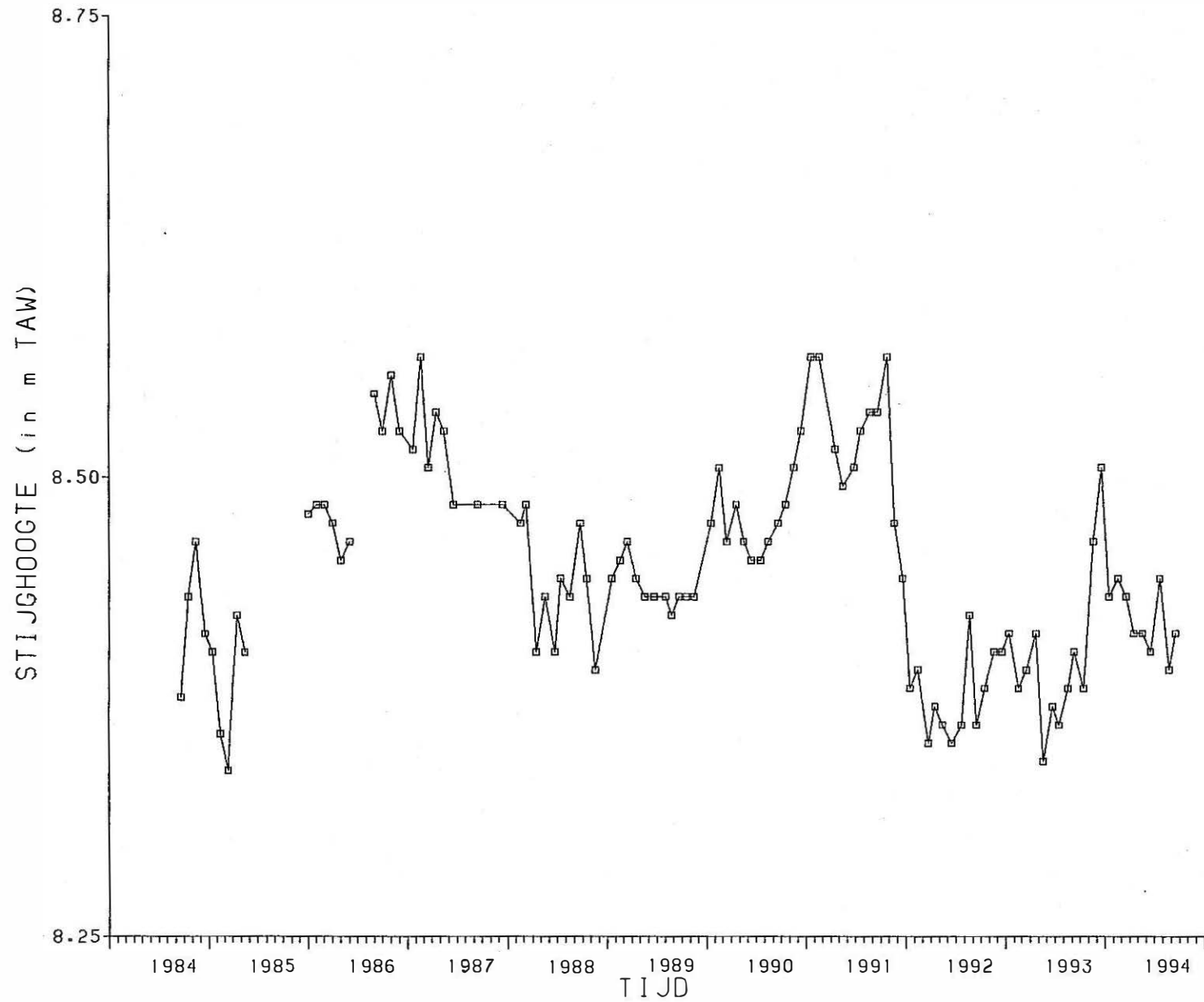
PIEZOMETER BXI-F1



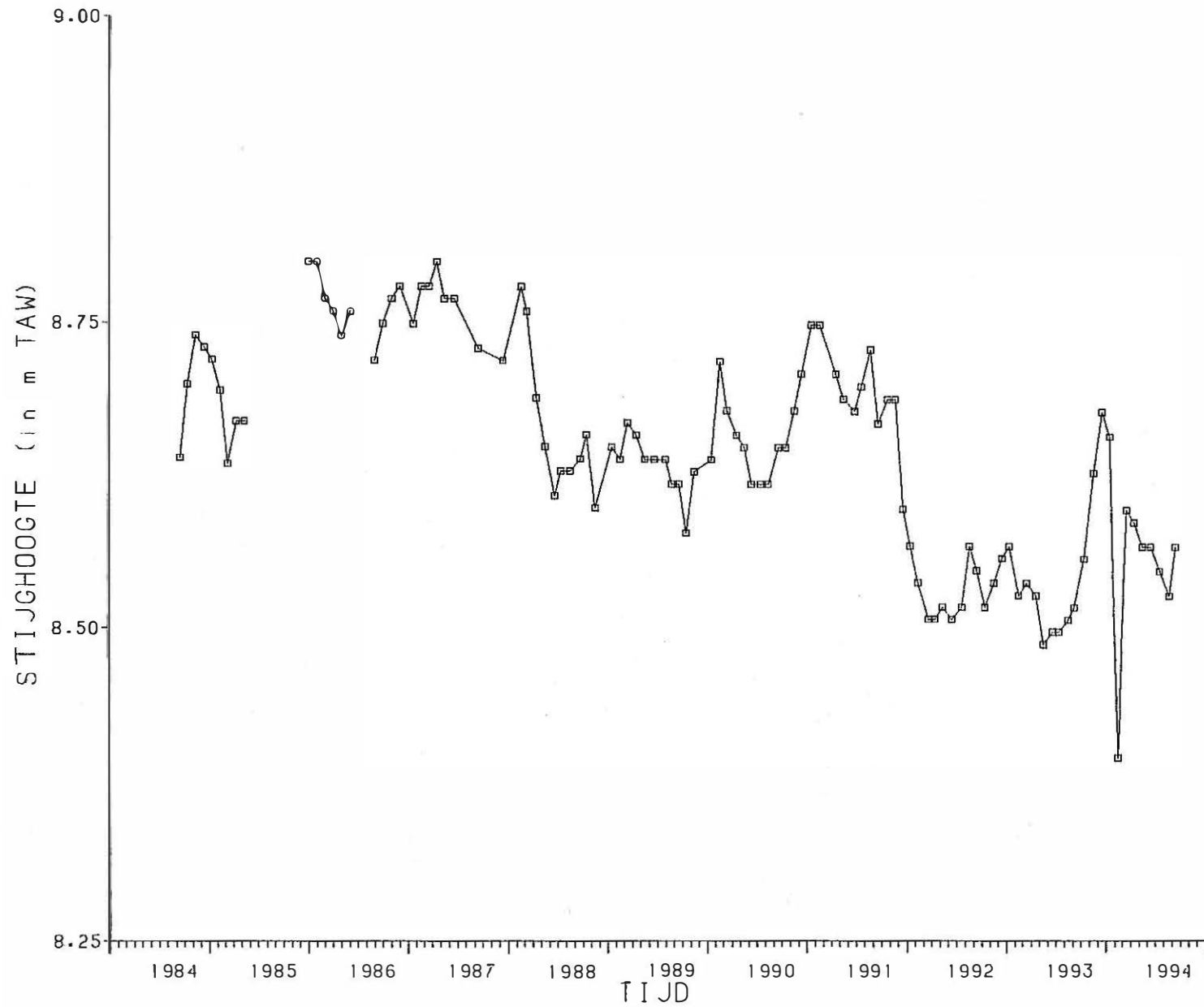
PIEZOMETER BXI-F2



PIEZOMETER HB12



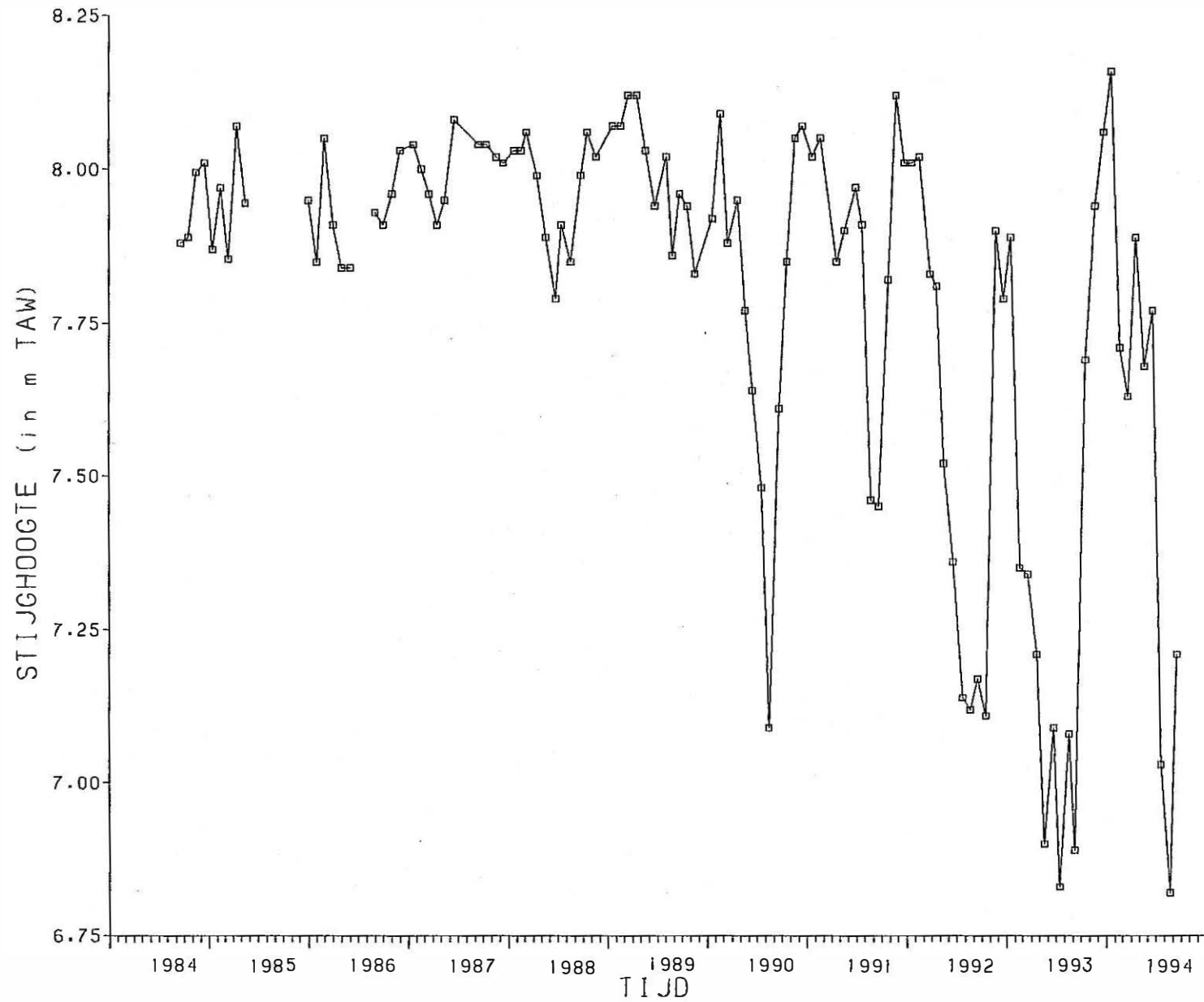
PIEZOMETER HB13



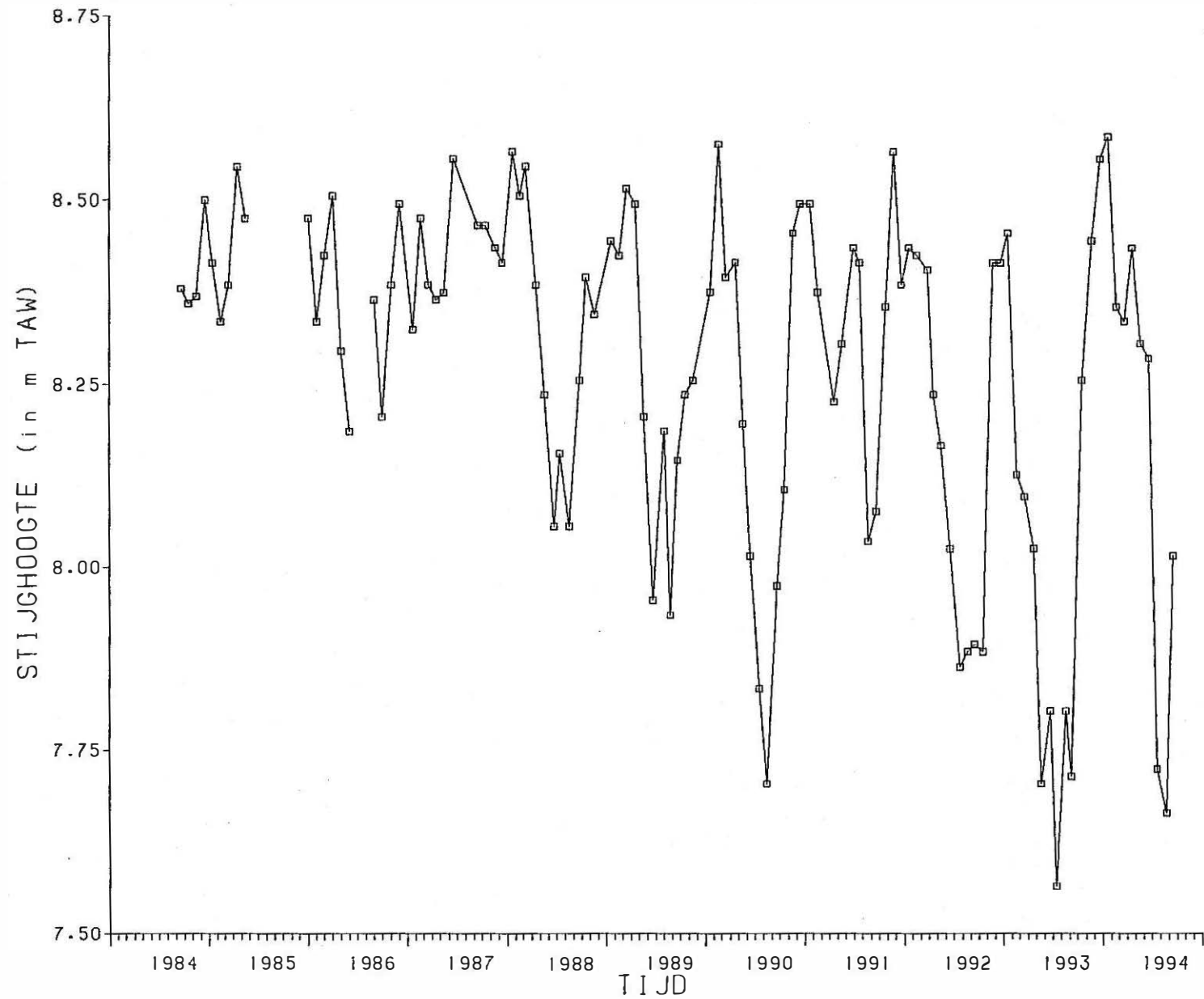
PIEZOMETER HB14



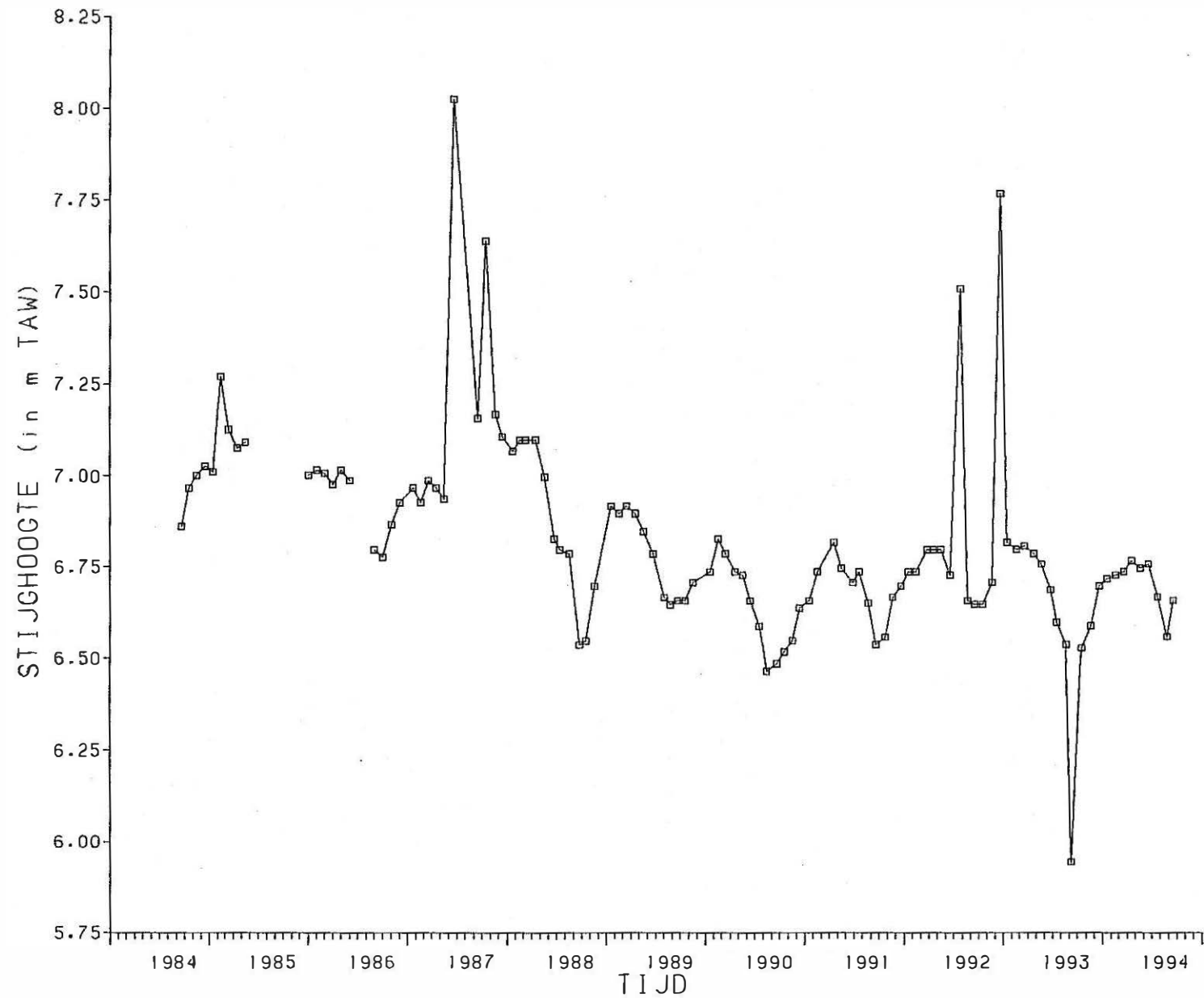
PIEZOMETER HB22



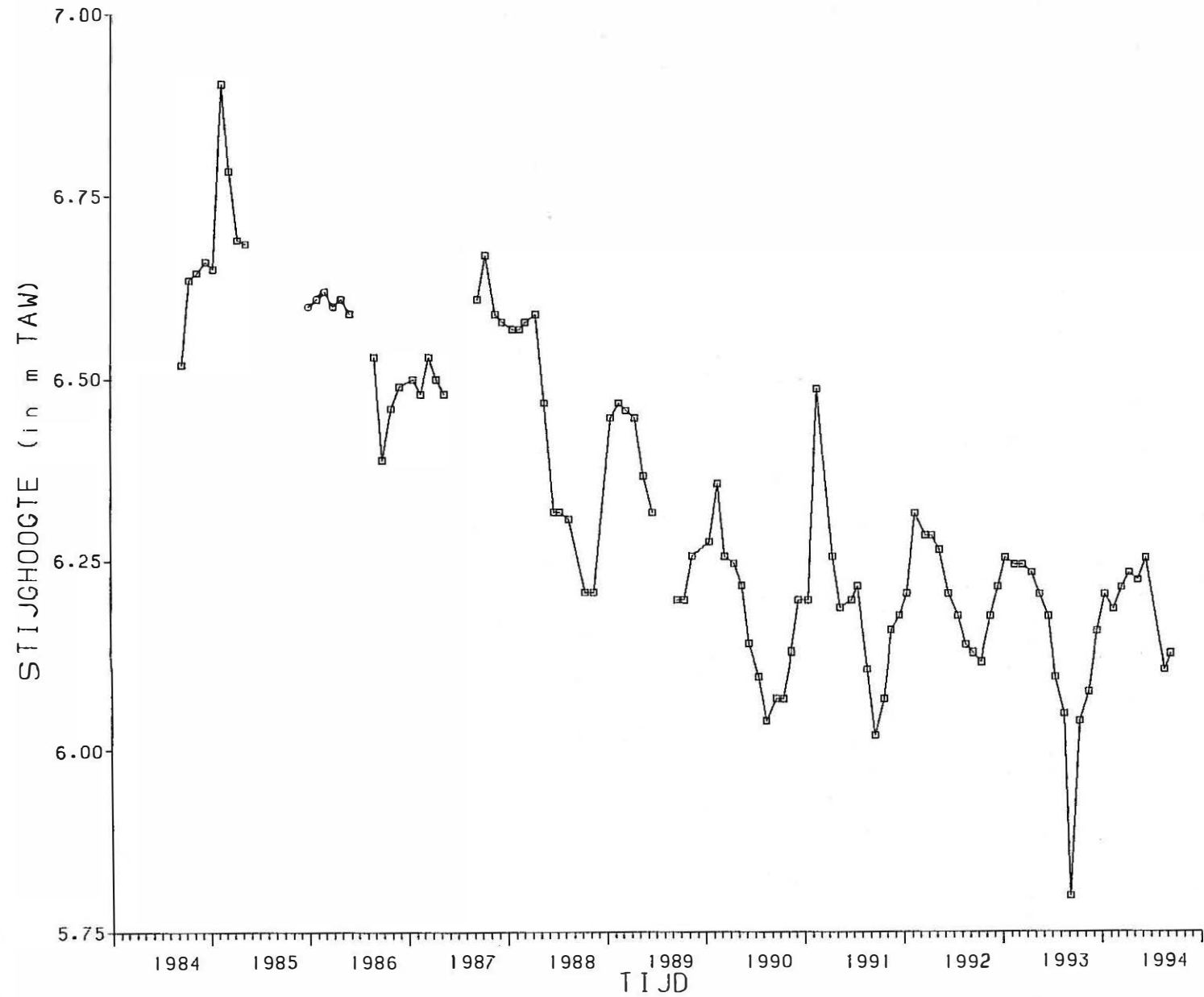
PIEZOMETER HB23



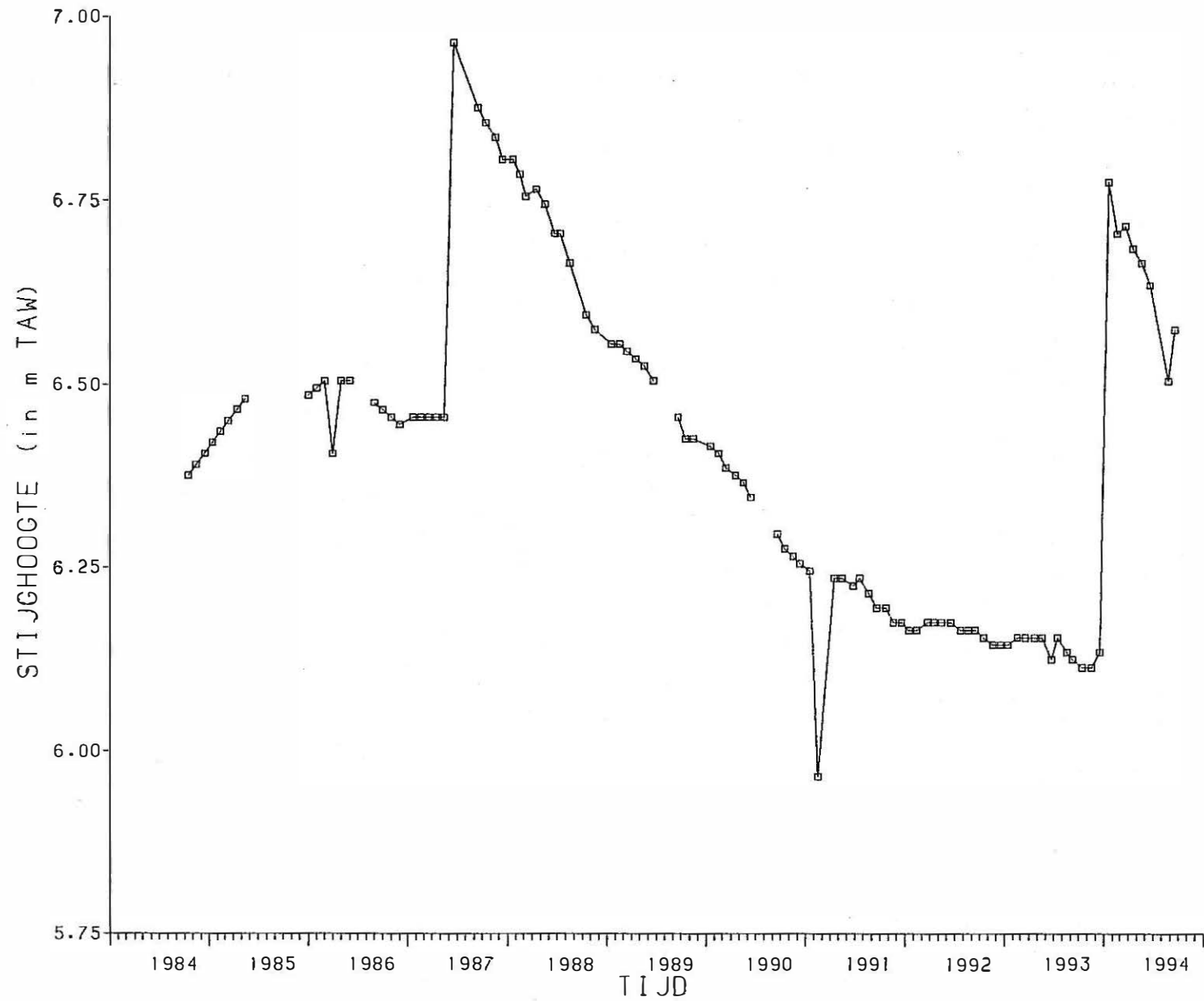
PIEZOMETER I



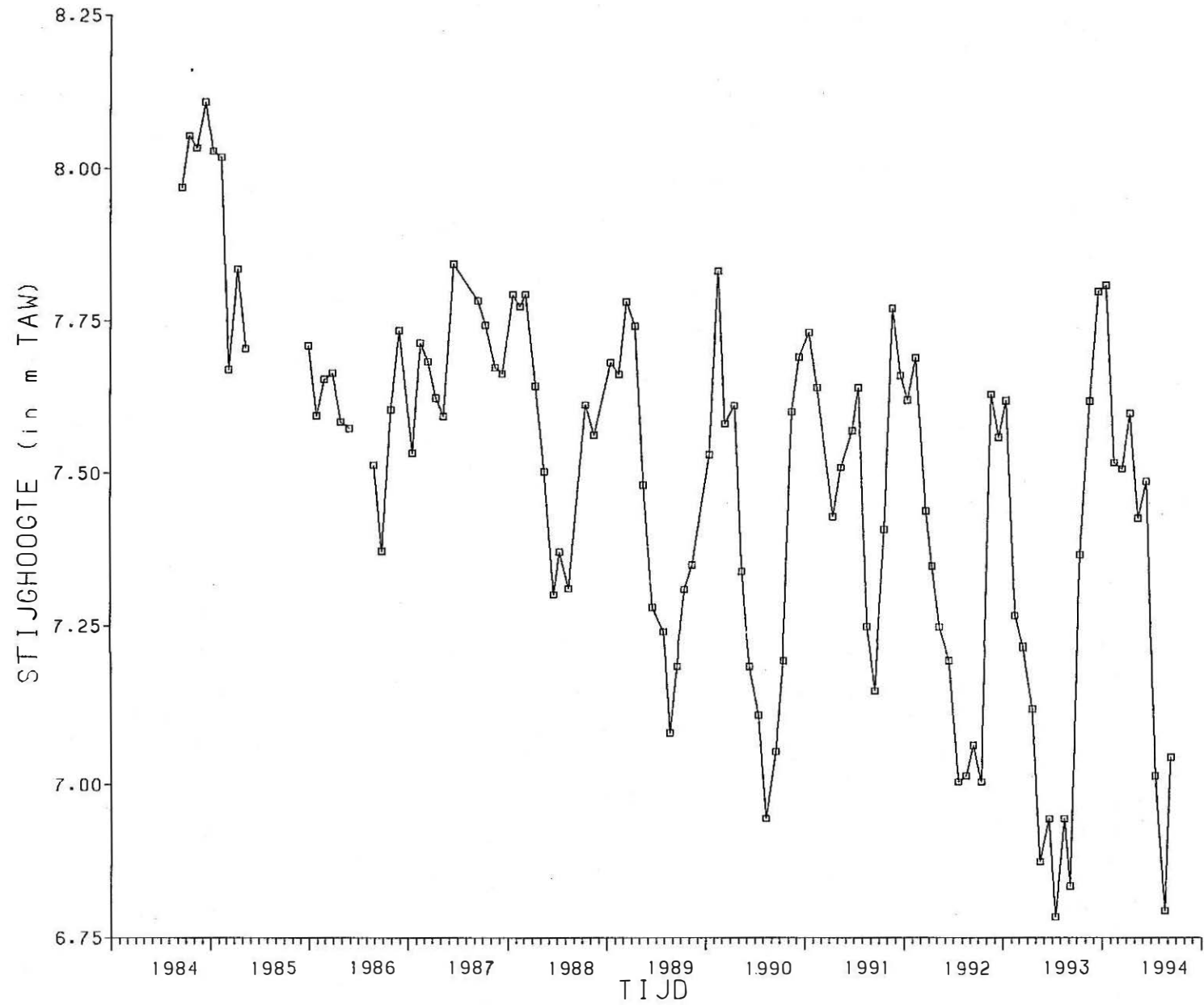
PIEZOMETER II



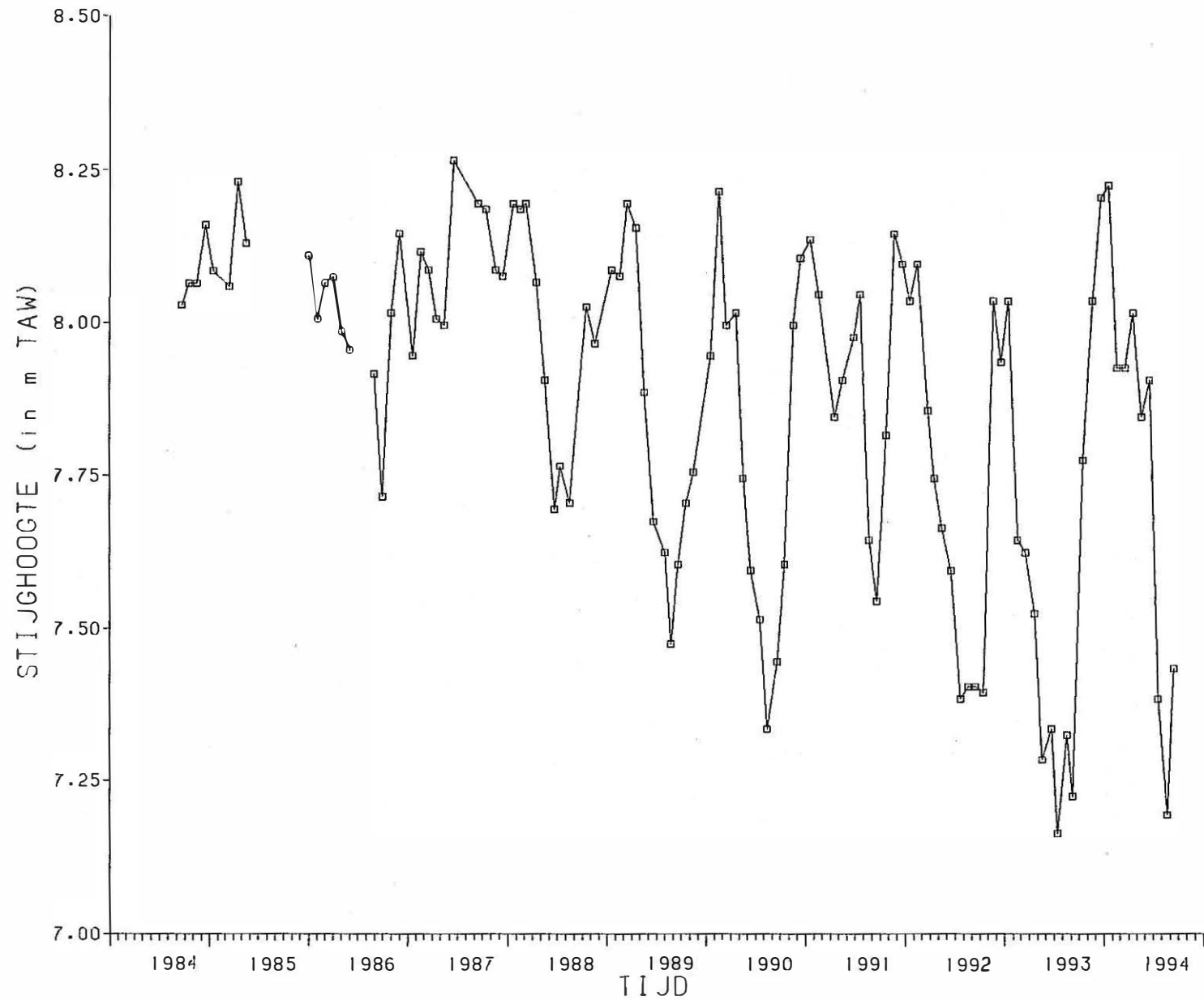
PIEZOMETER IIA



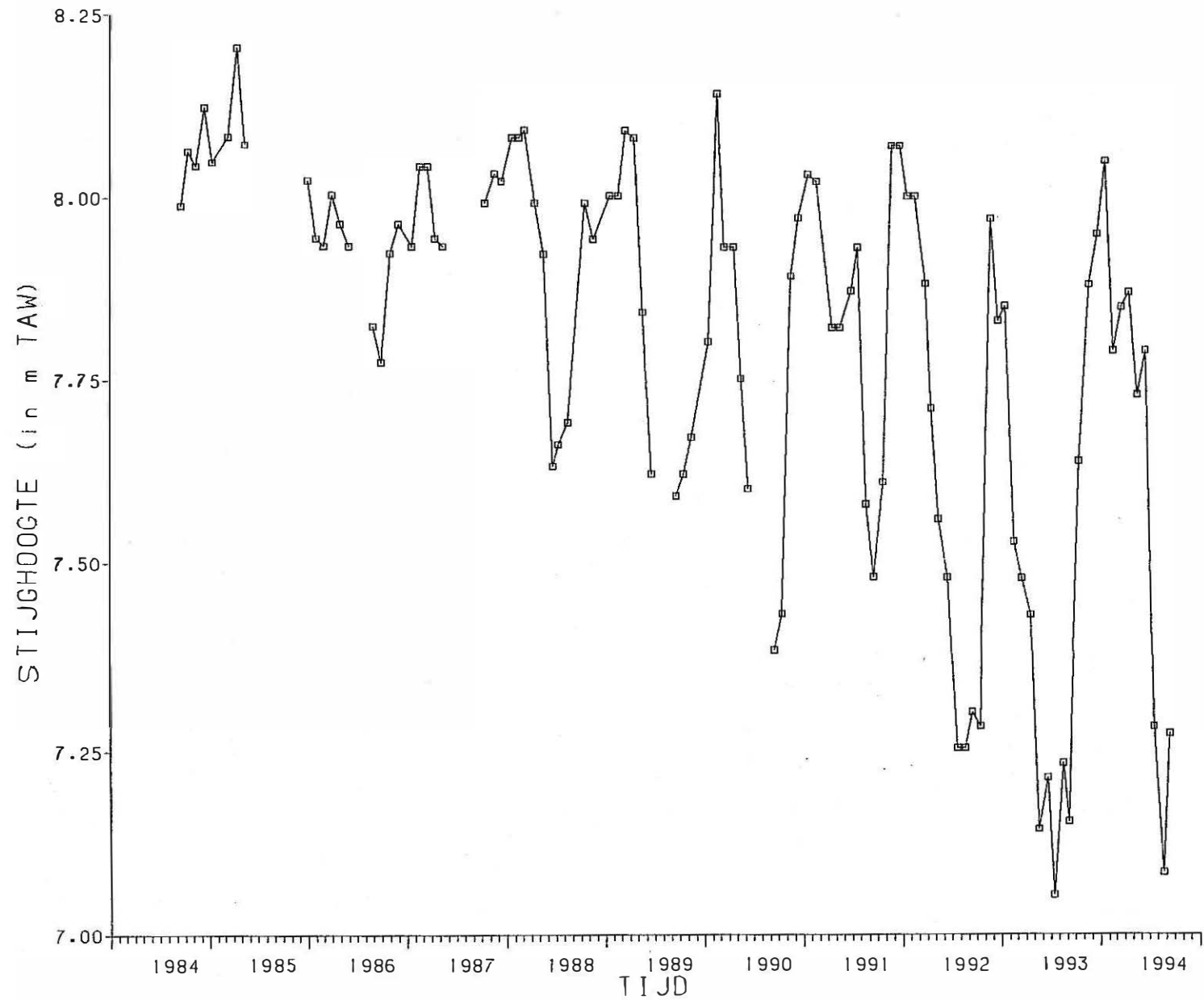
PIEZOMETER 1-1



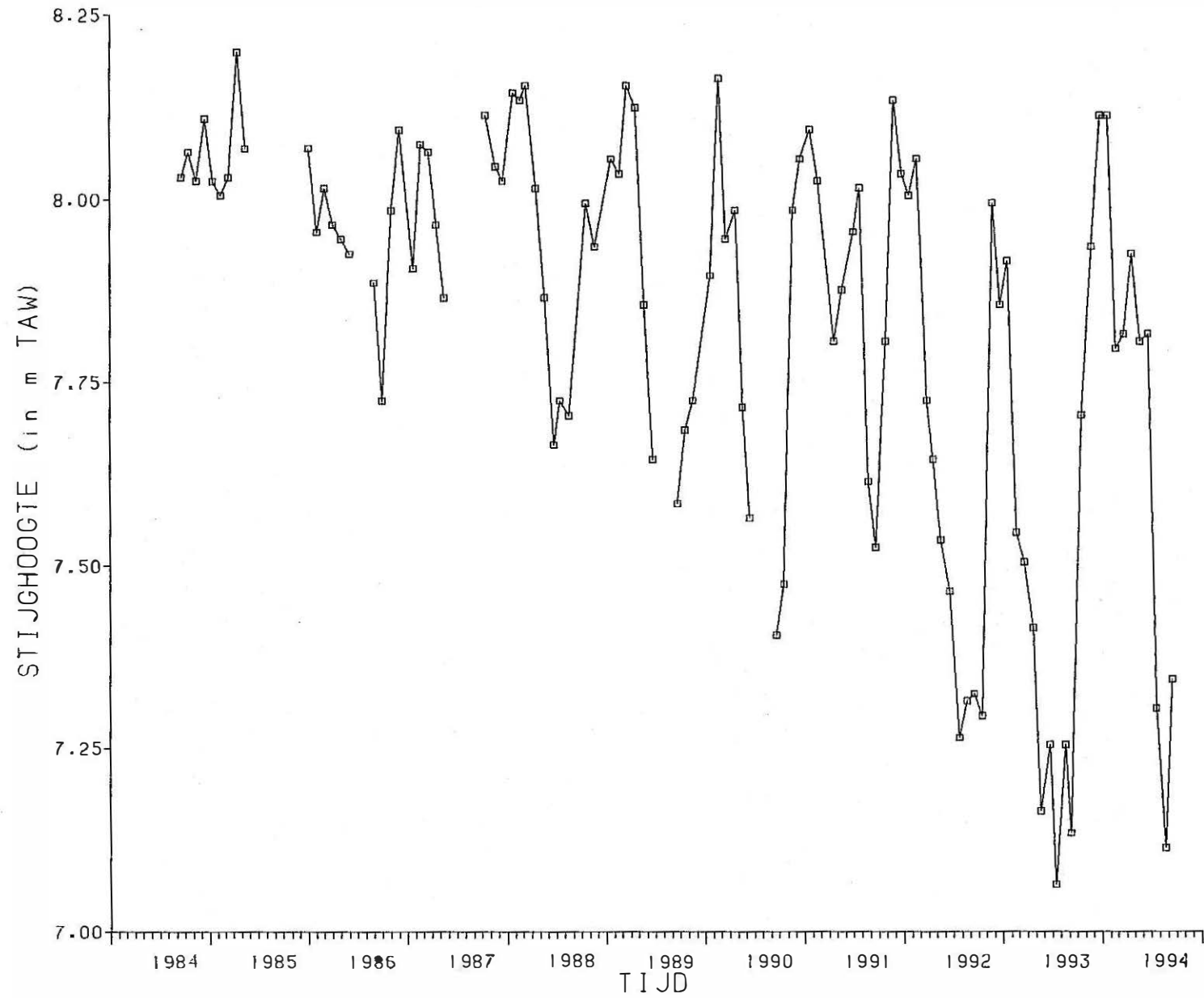
PIEZOMETER 1-2



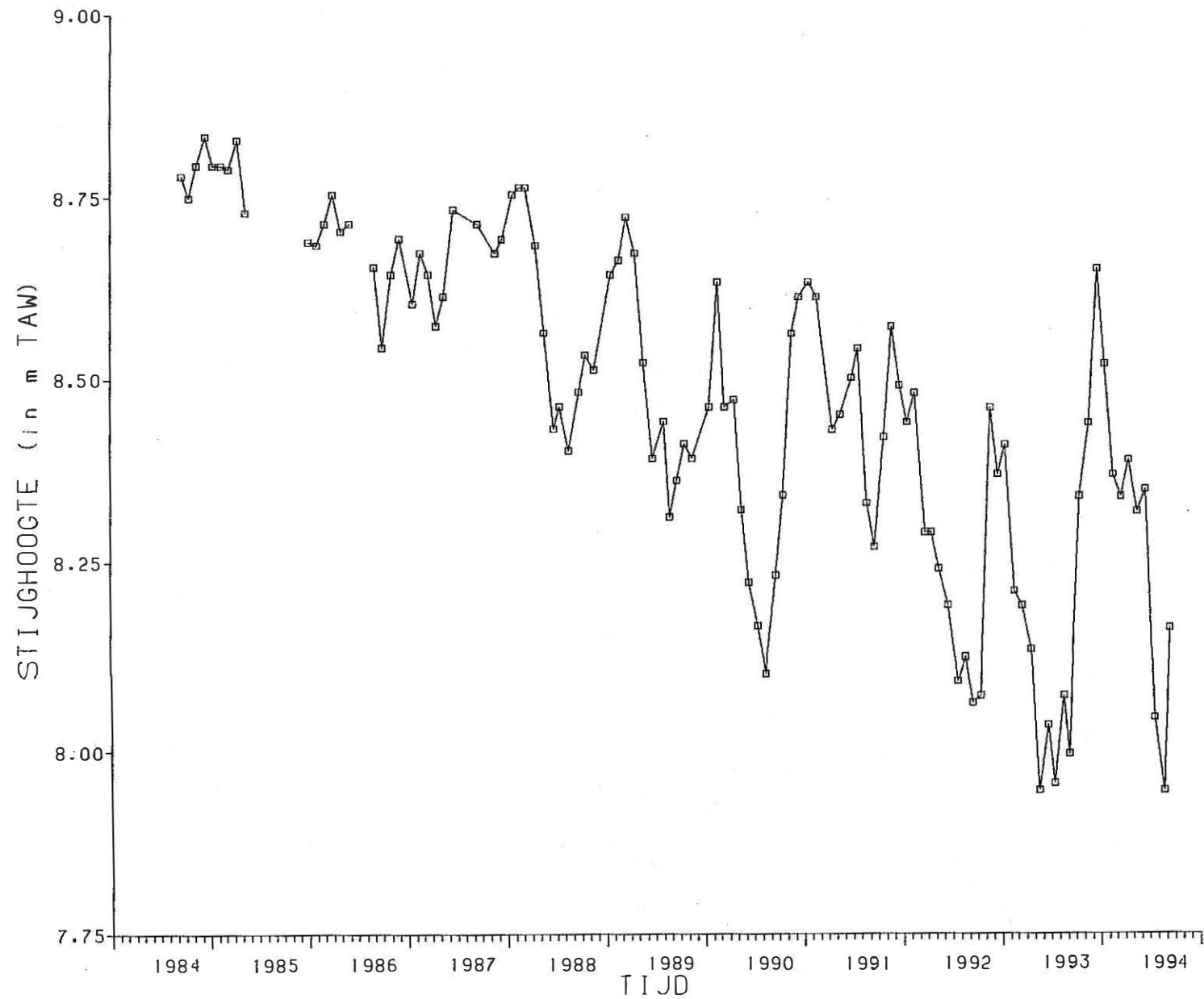
PIEZOMETER 1B-1



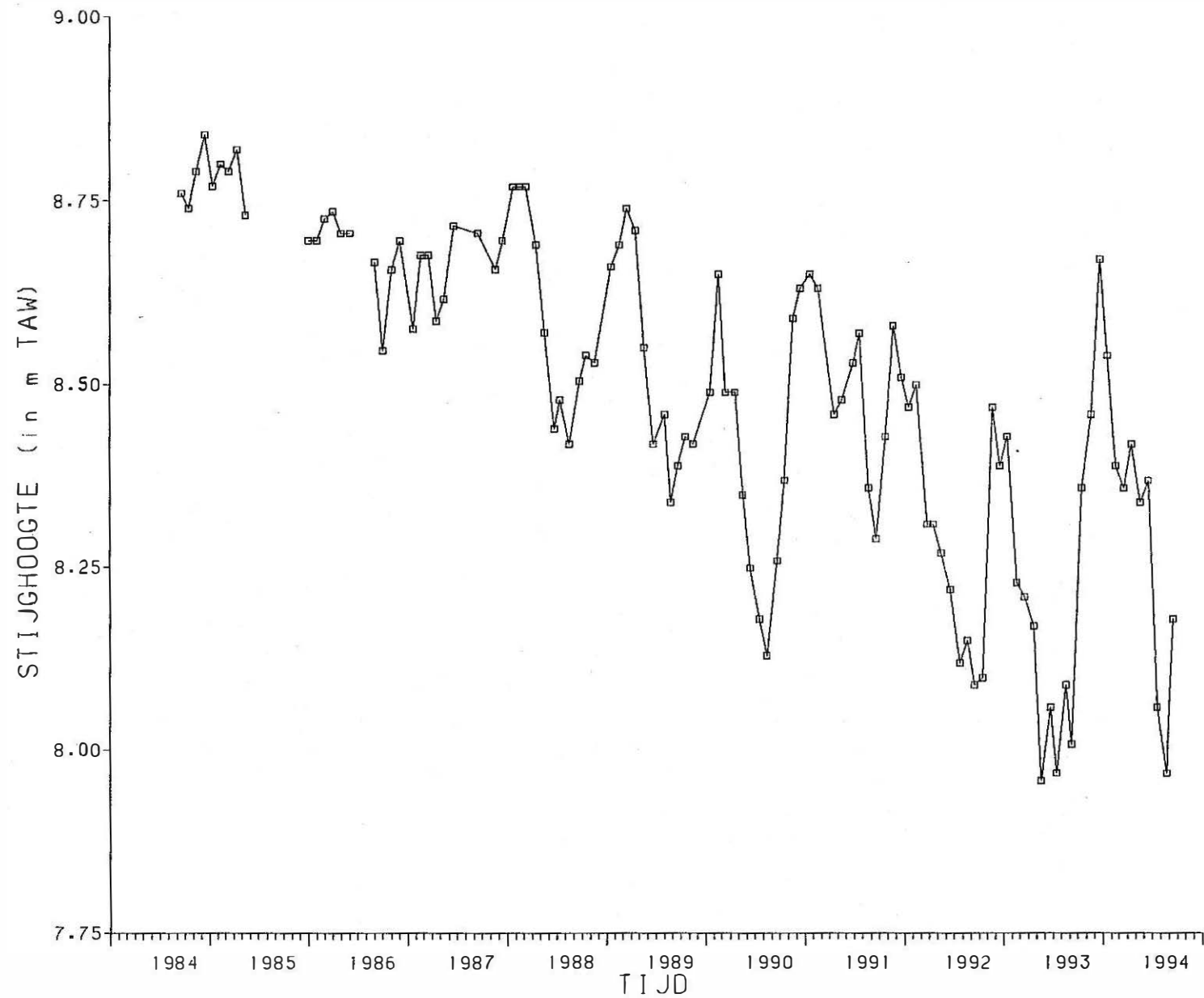
PIEZOMETER 1B-2



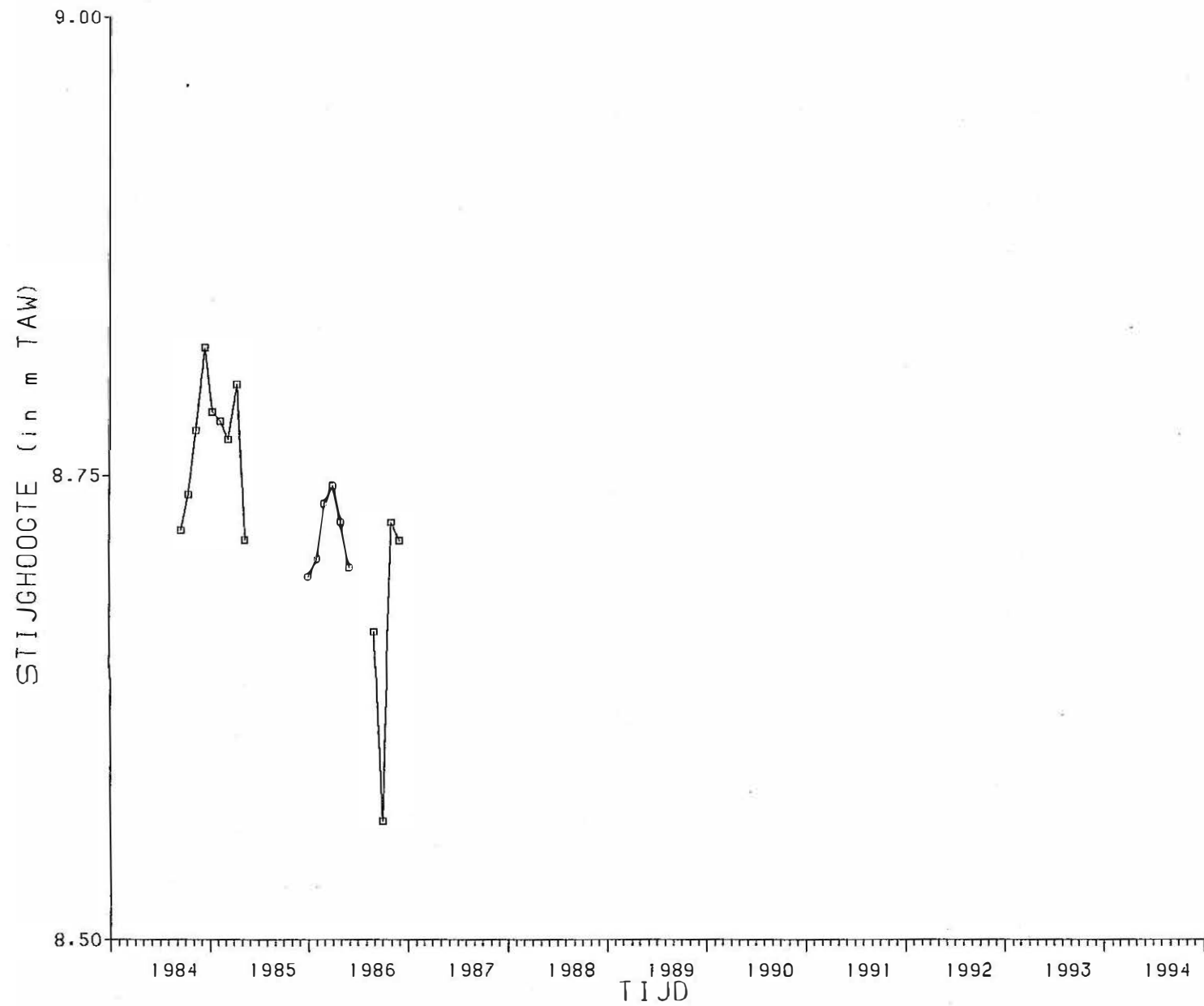
PIEZOMETER 2B-1



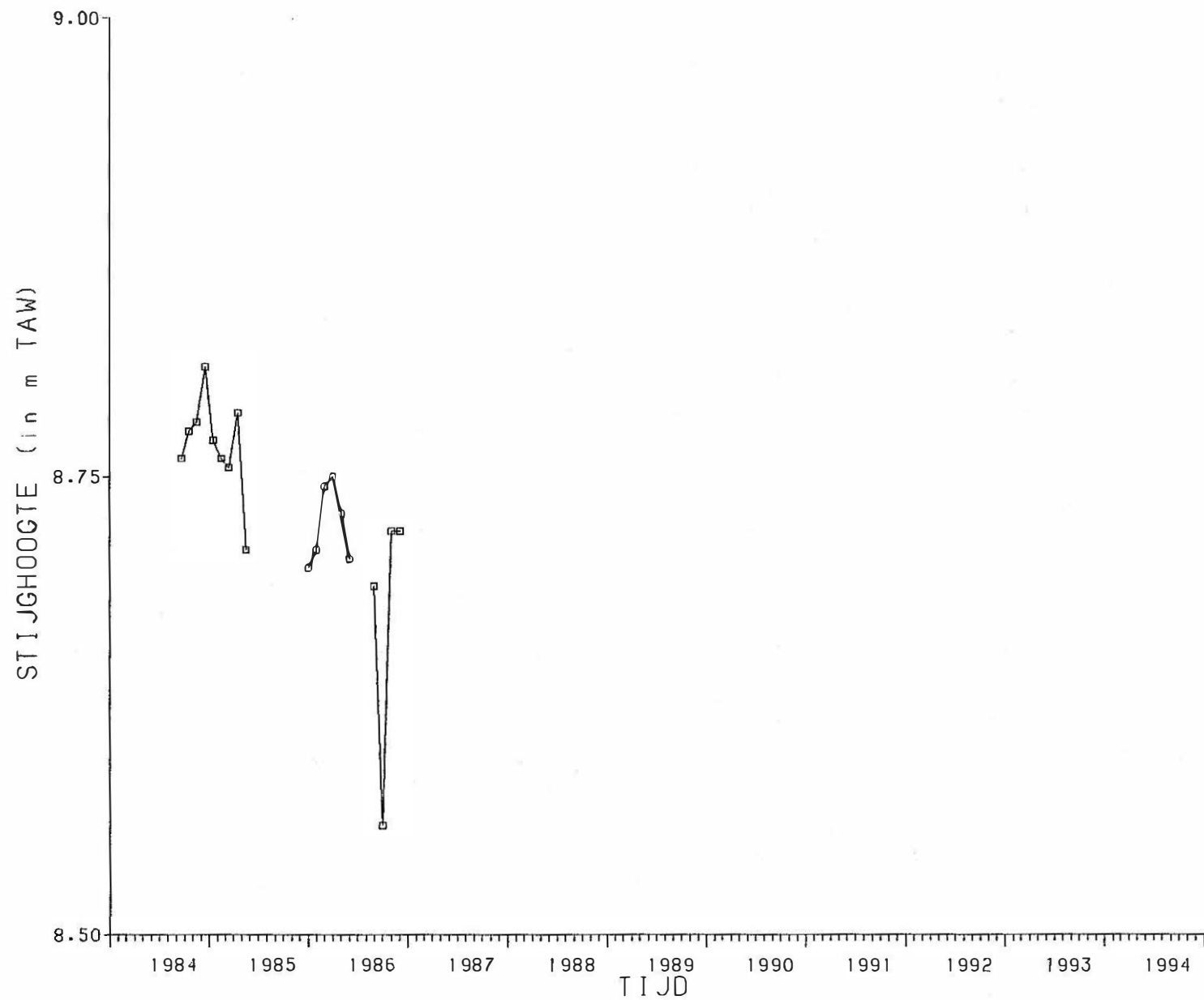
PIEZOMETER 2B-2



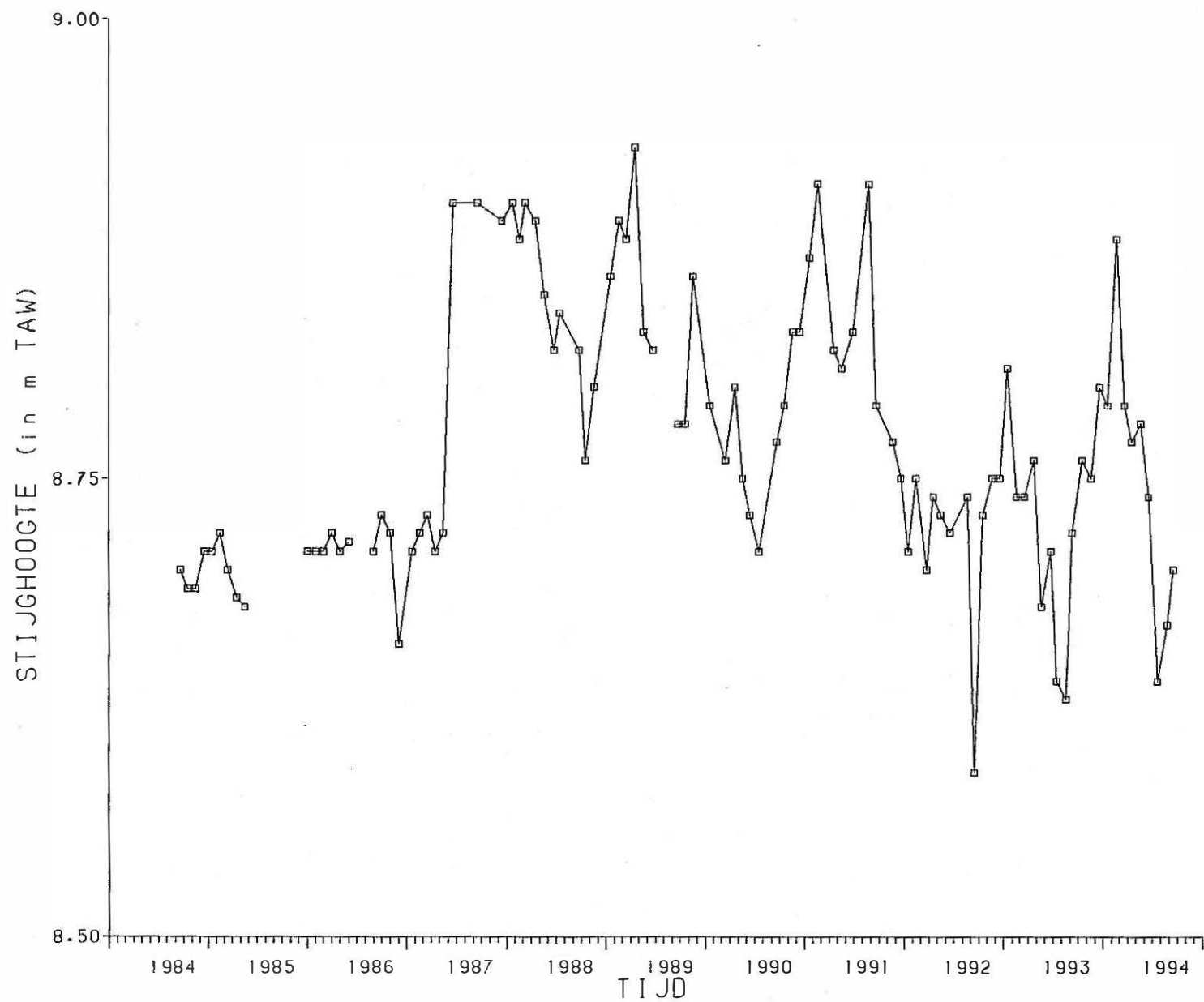
PIEZOMETER 2-1



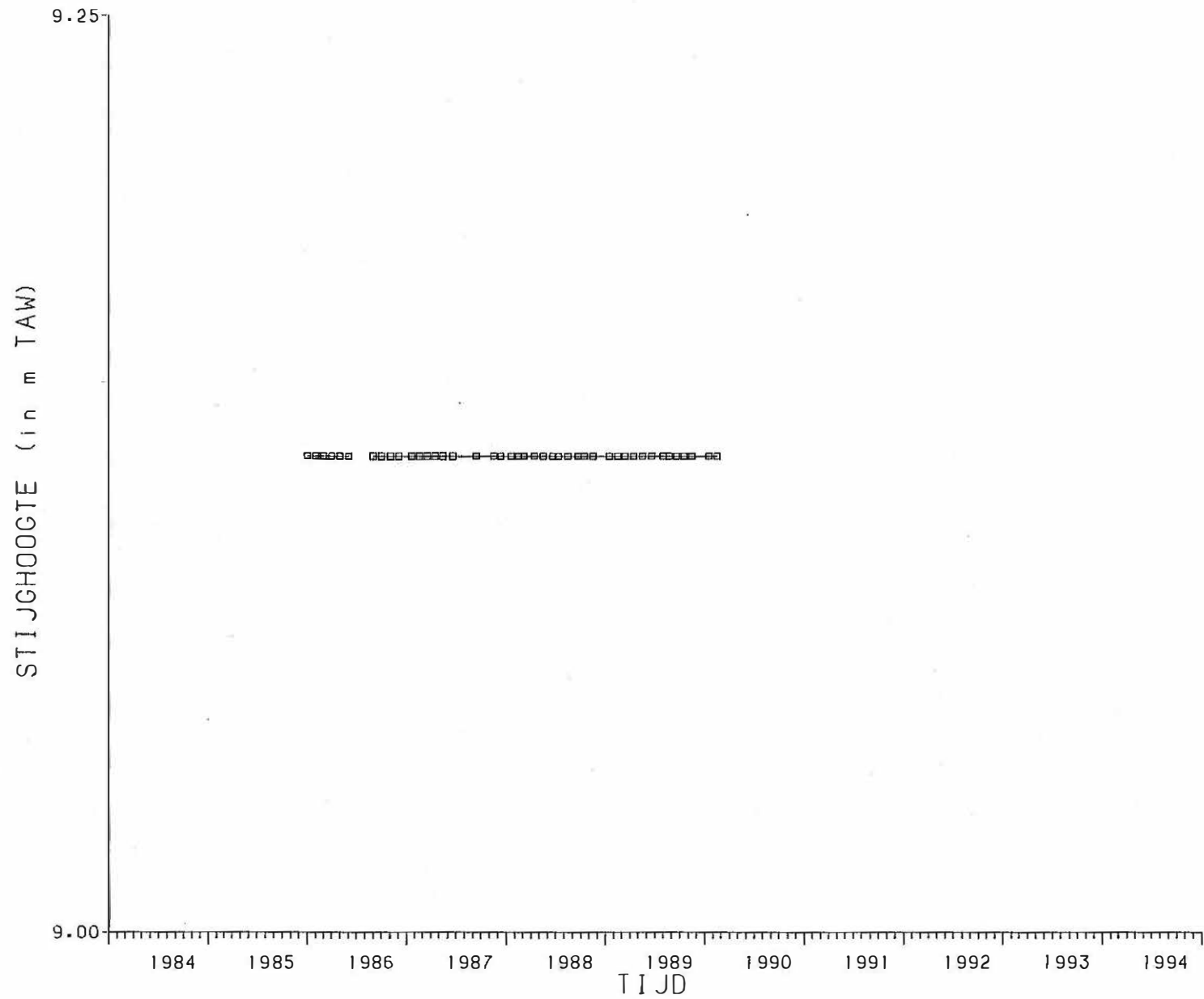
PIEZOMETER 2-2



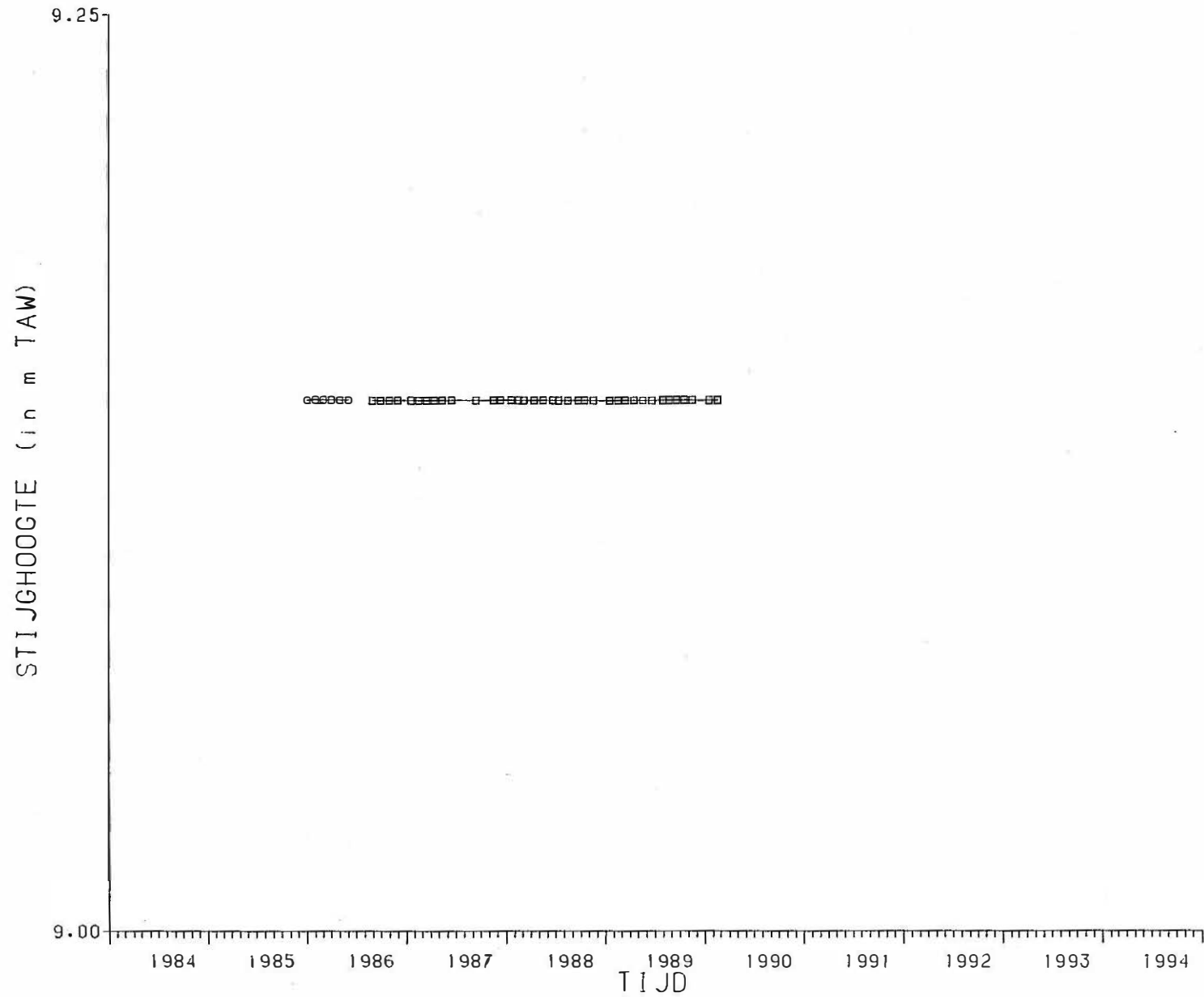
PIEZOMETER SP1-1



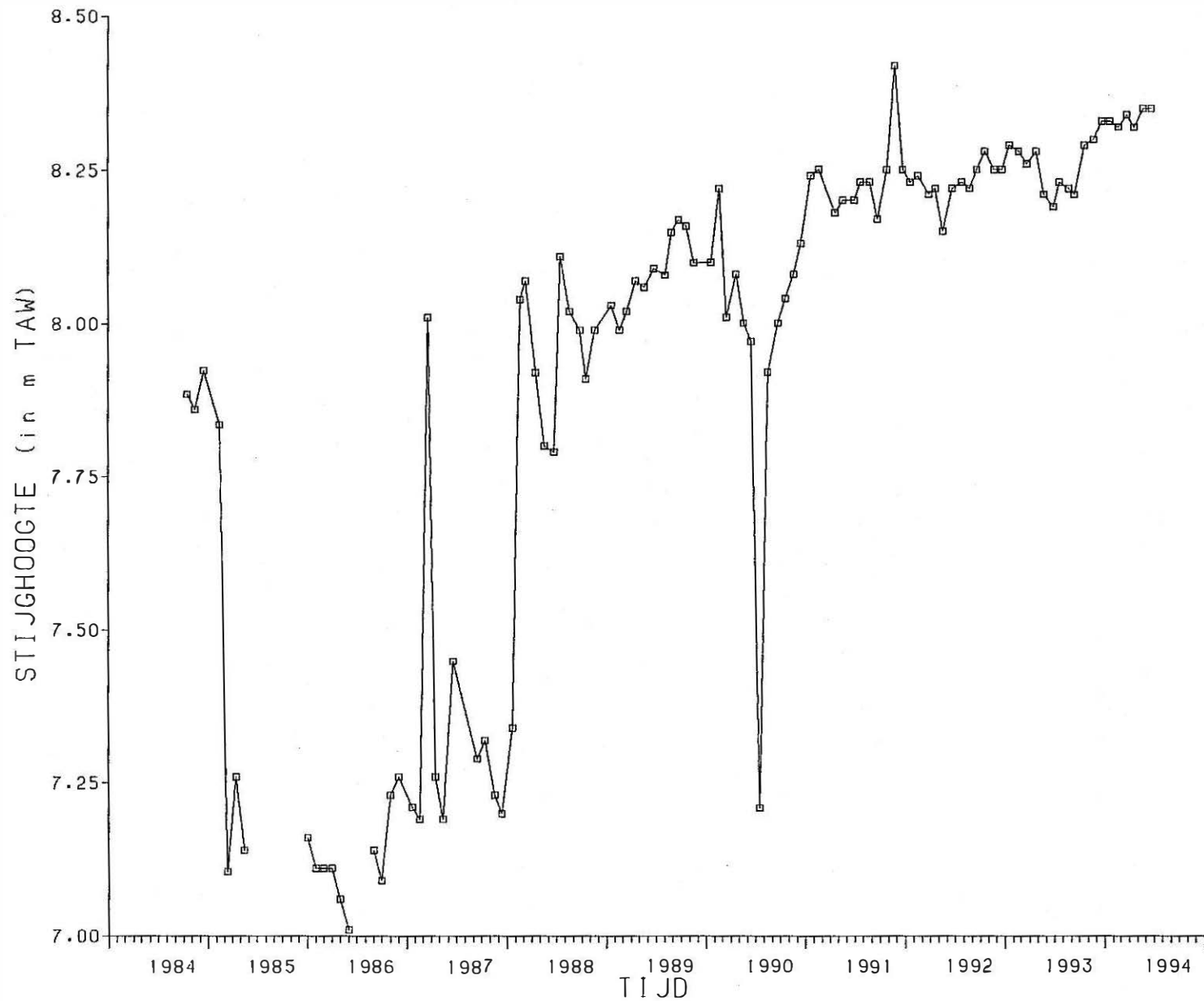
PIEZOMETER SP2-1



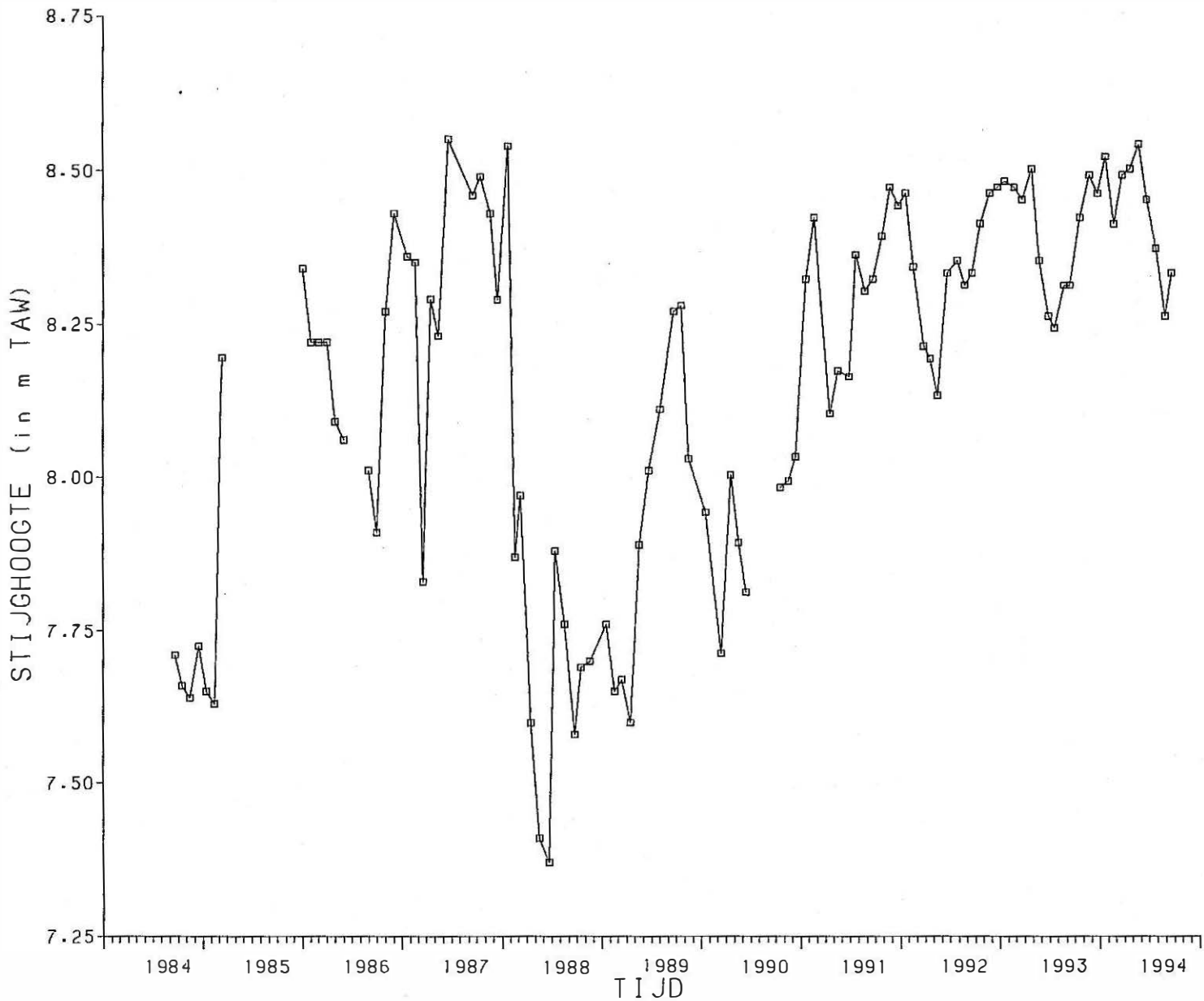
PIEZOMETER SP2-2



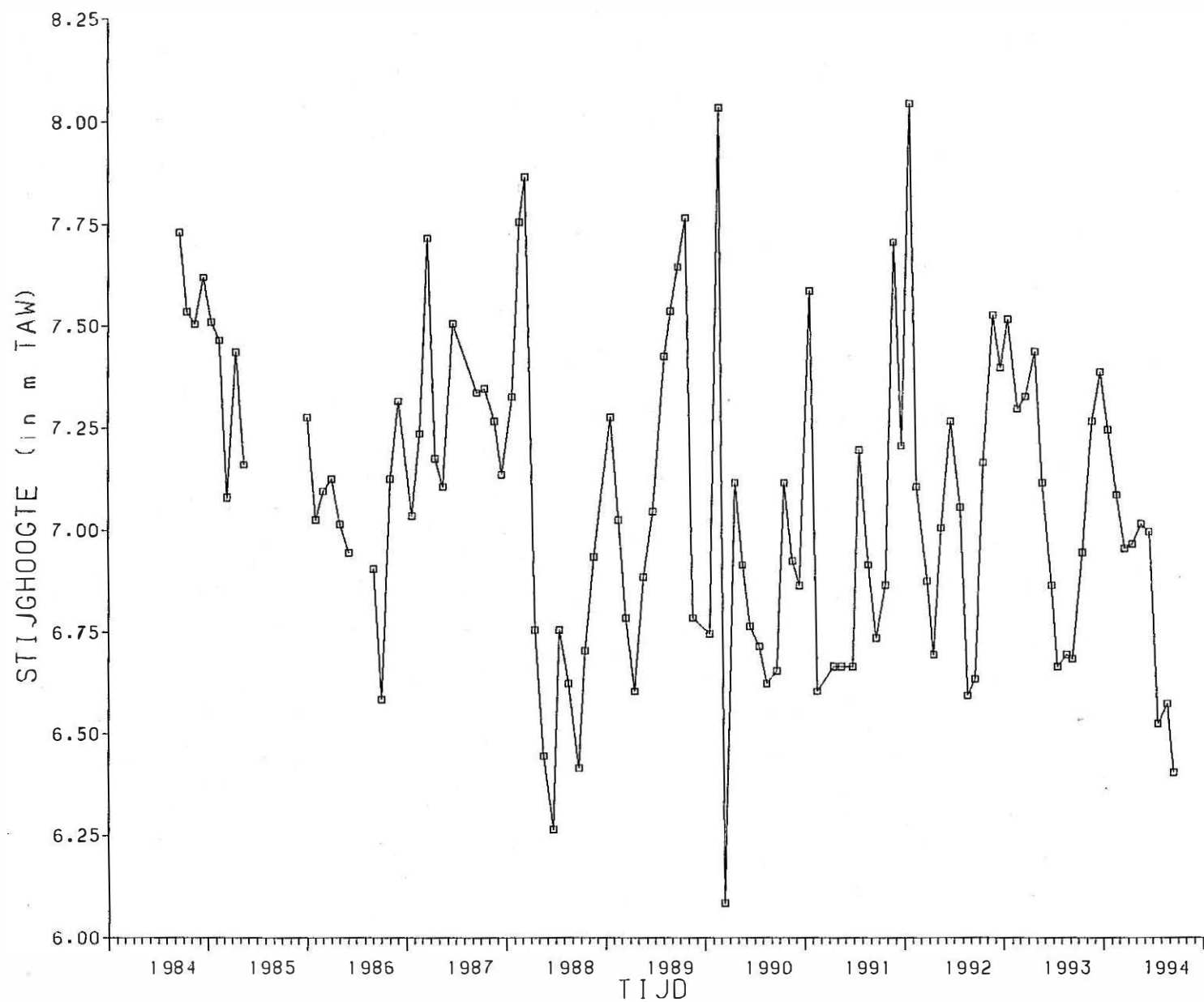
PIEZOMETER SP3-1



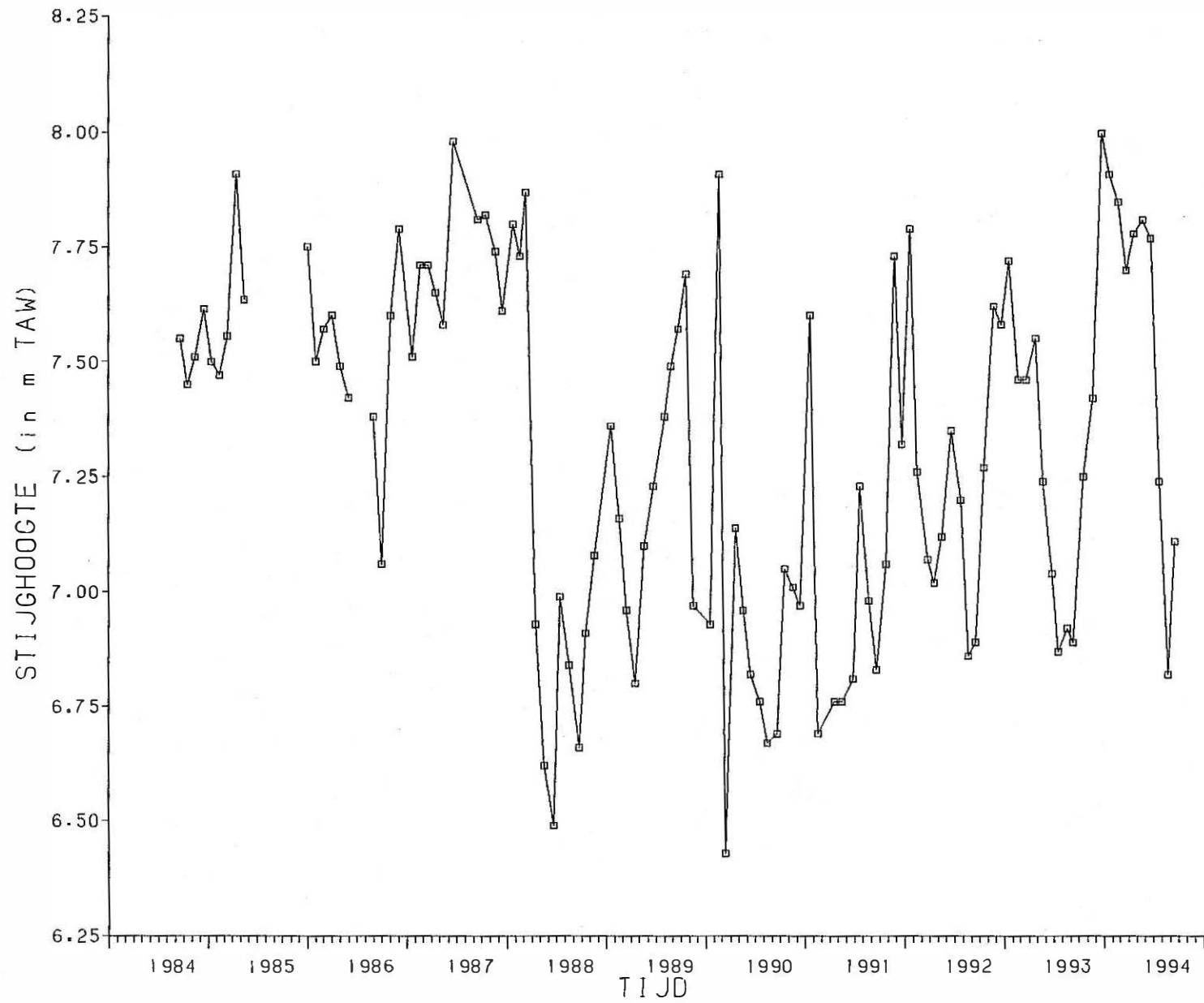
PIEZOMETER SP4-1



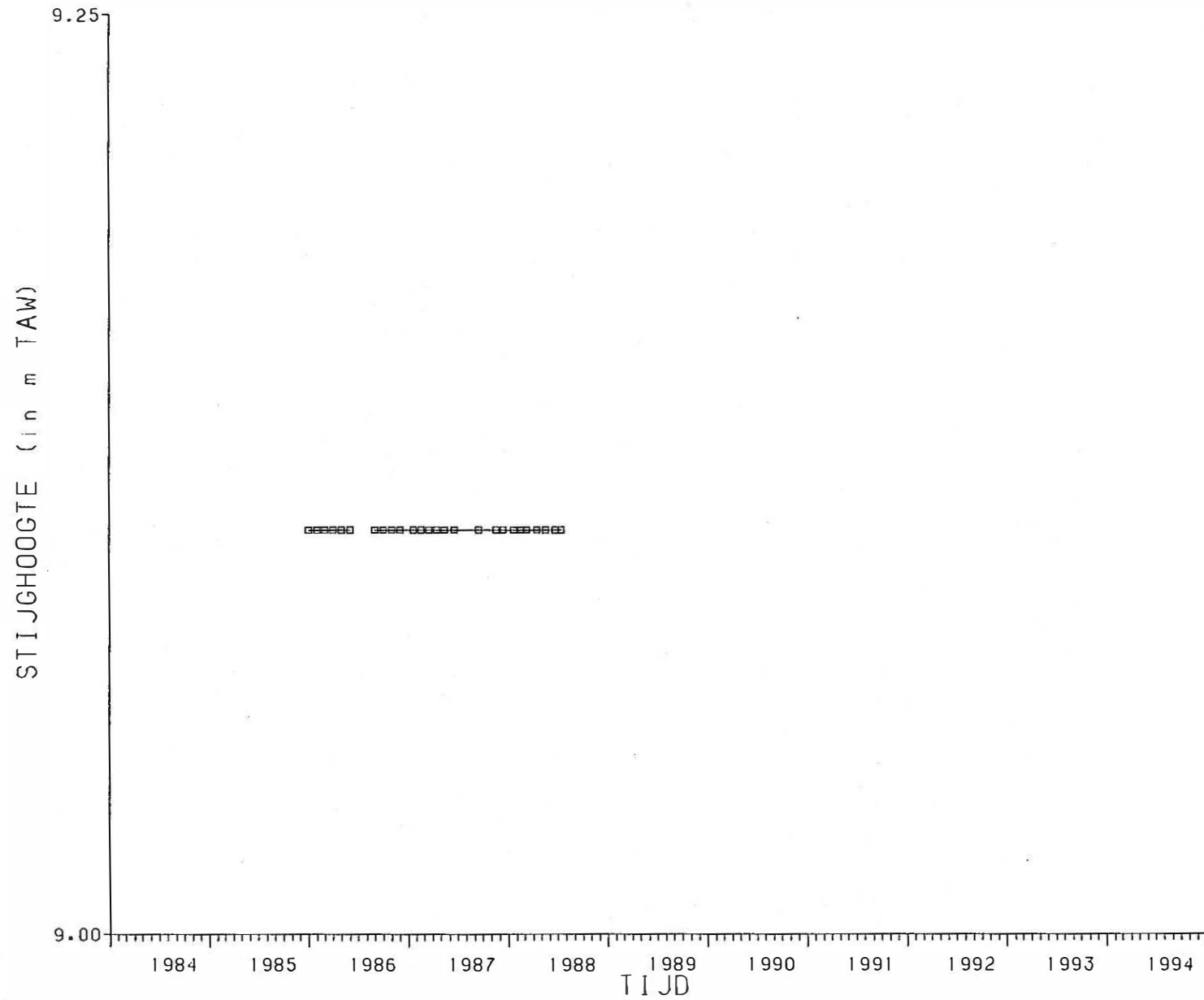
PIEZOMETER SP5-1



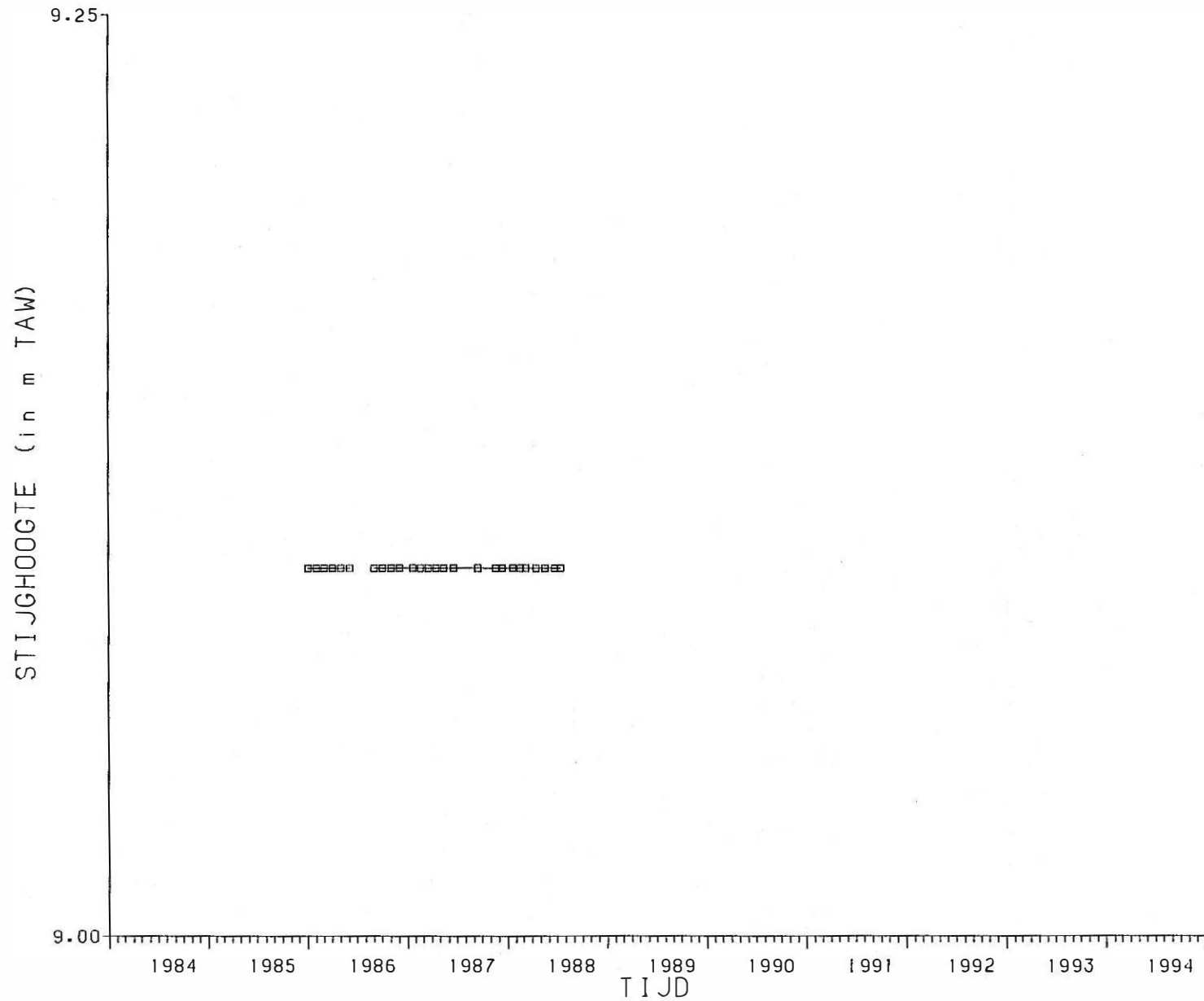
PIEZOMETER SP5-2



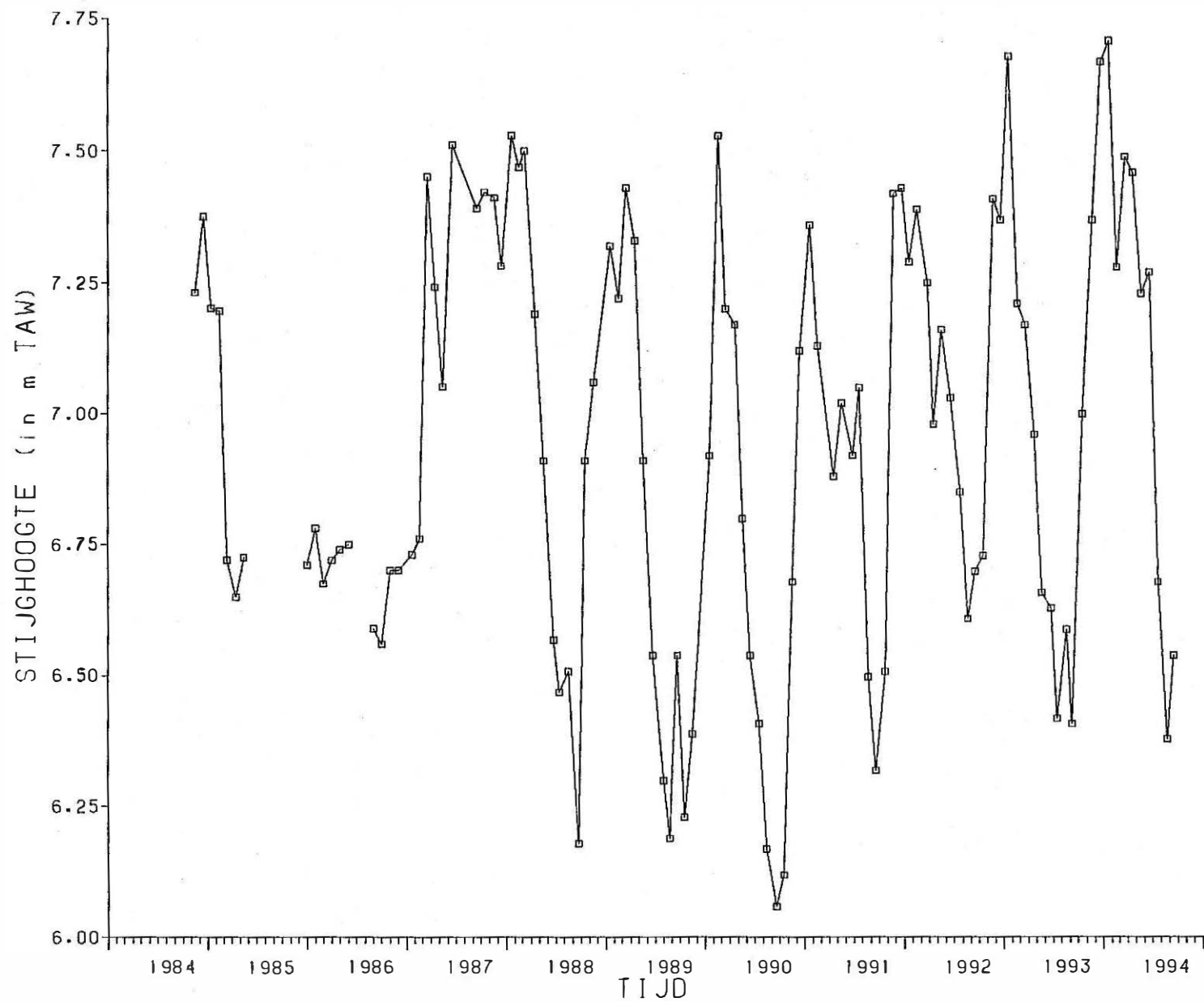
PIEZOMETER SP6-1



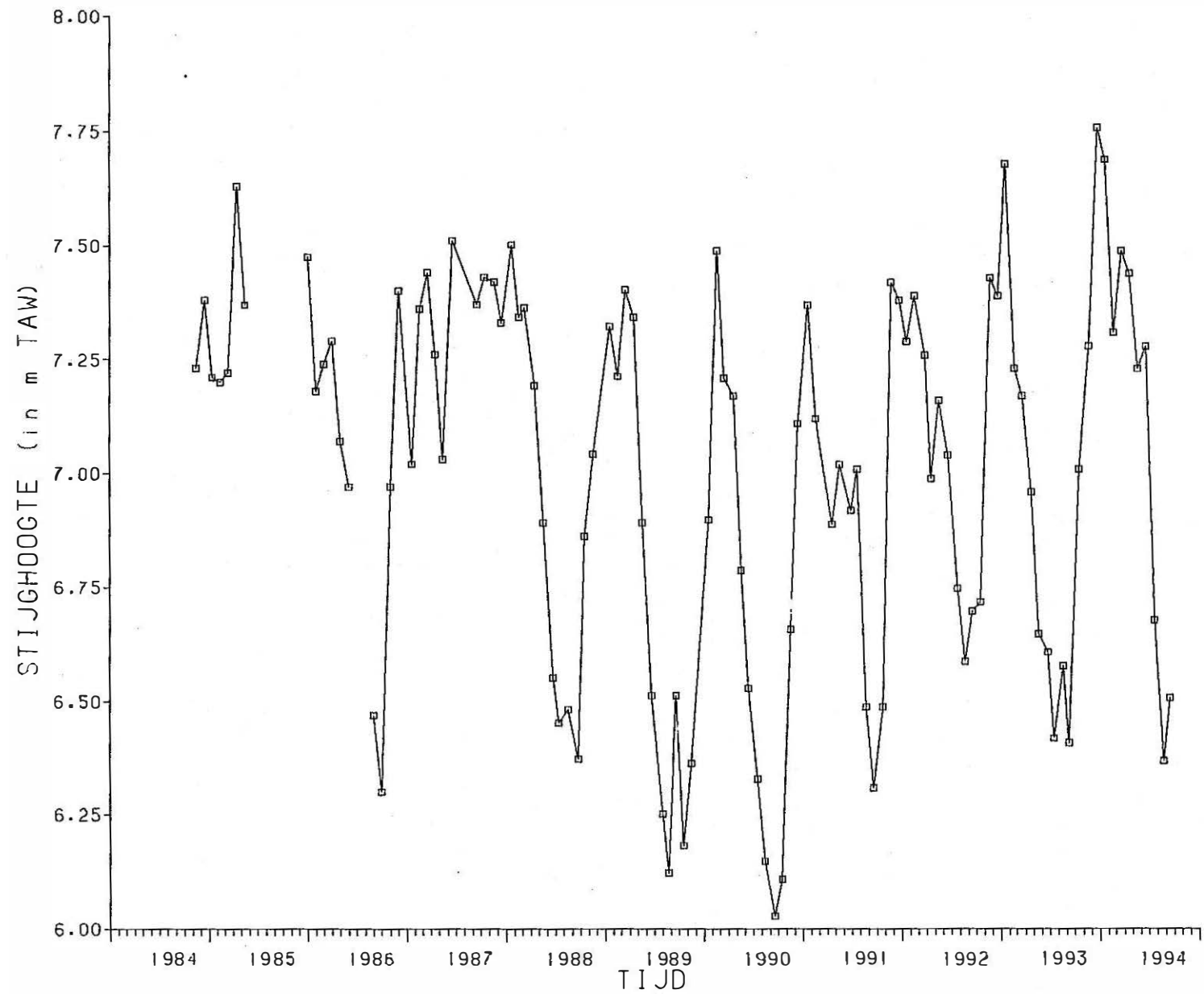
PIEZOMETER SP6-2



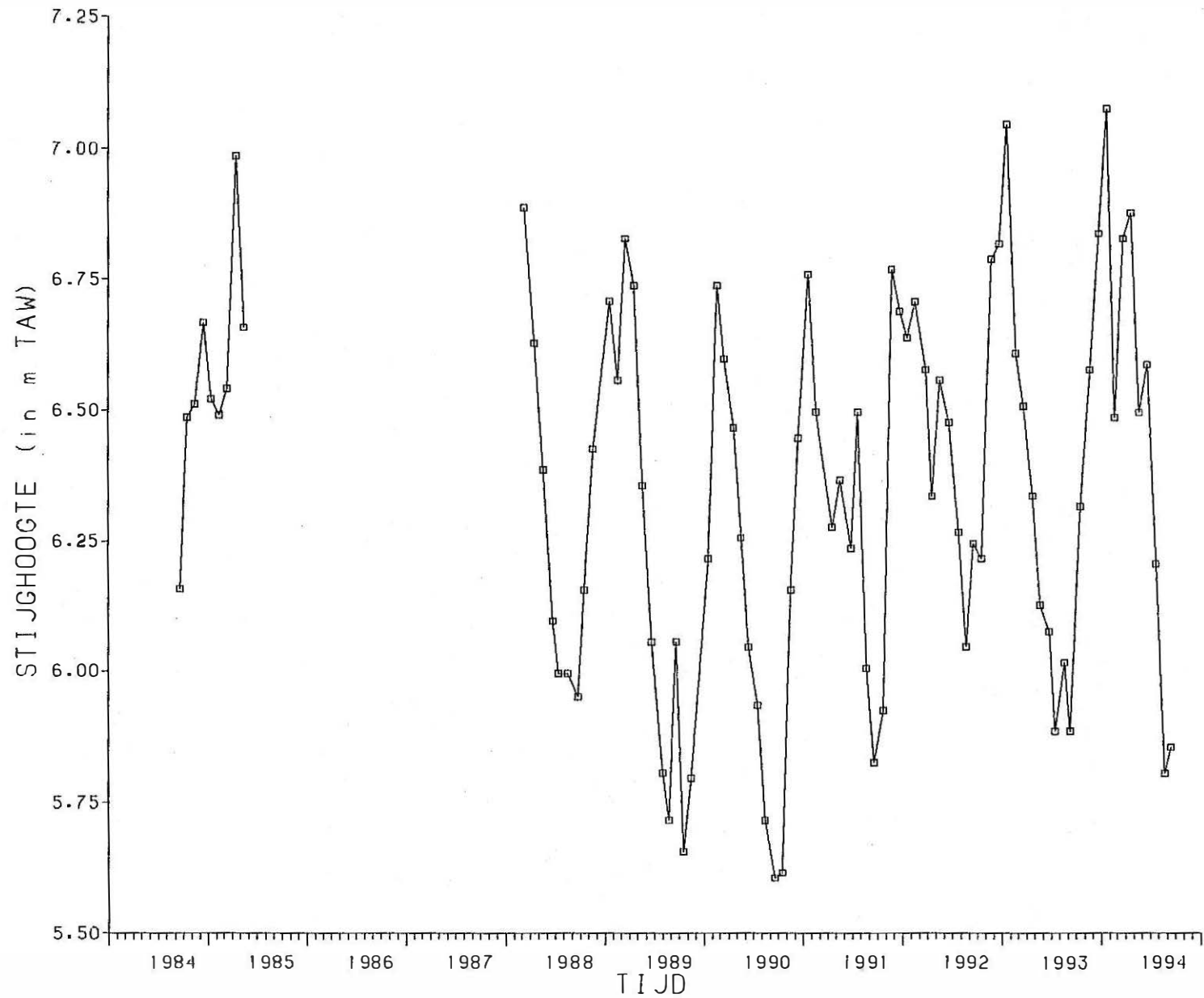
PIEZOMETER L044-F1



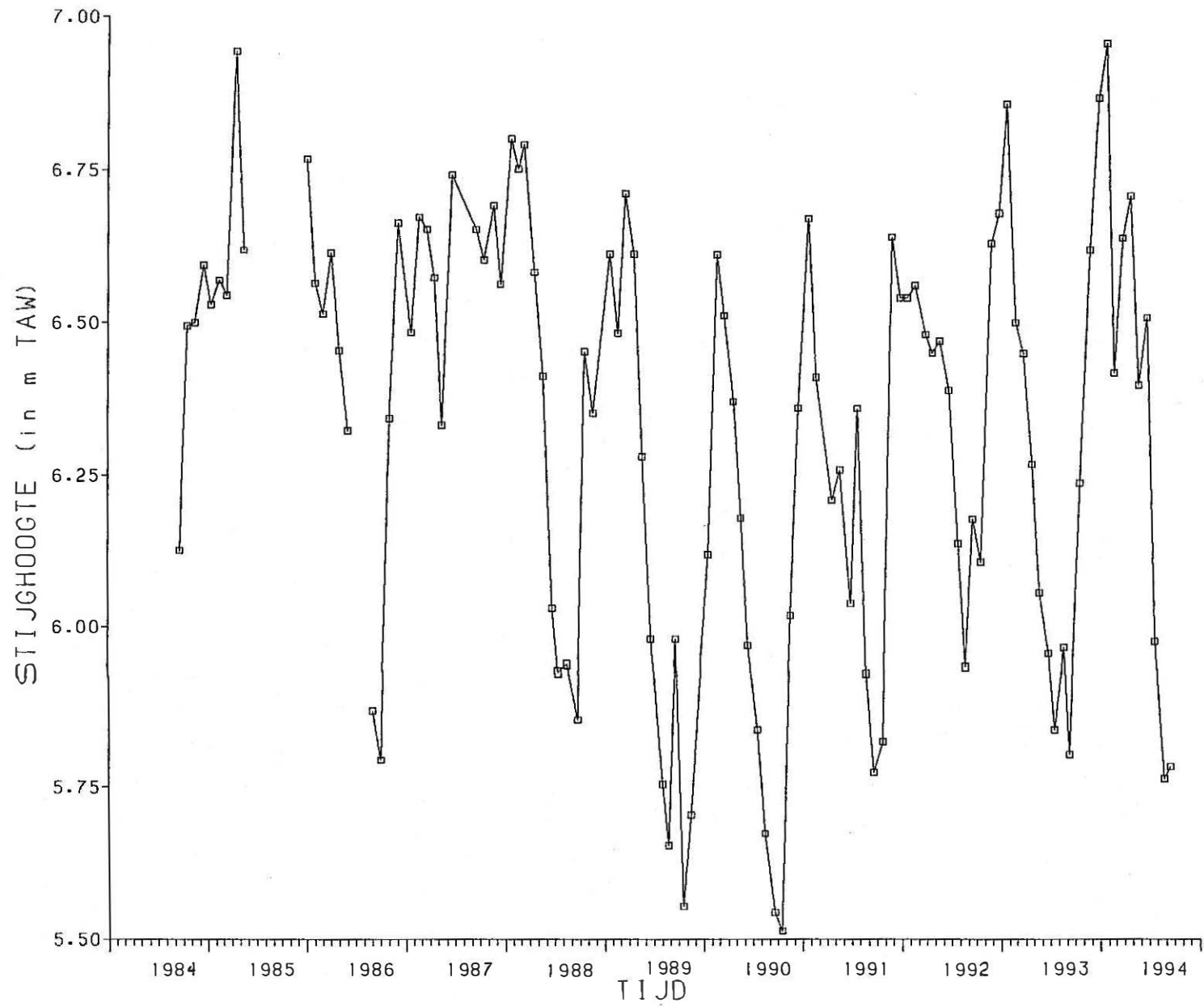
PIEZOMETER L044-F2



PIEZOMETER BXIV-F1

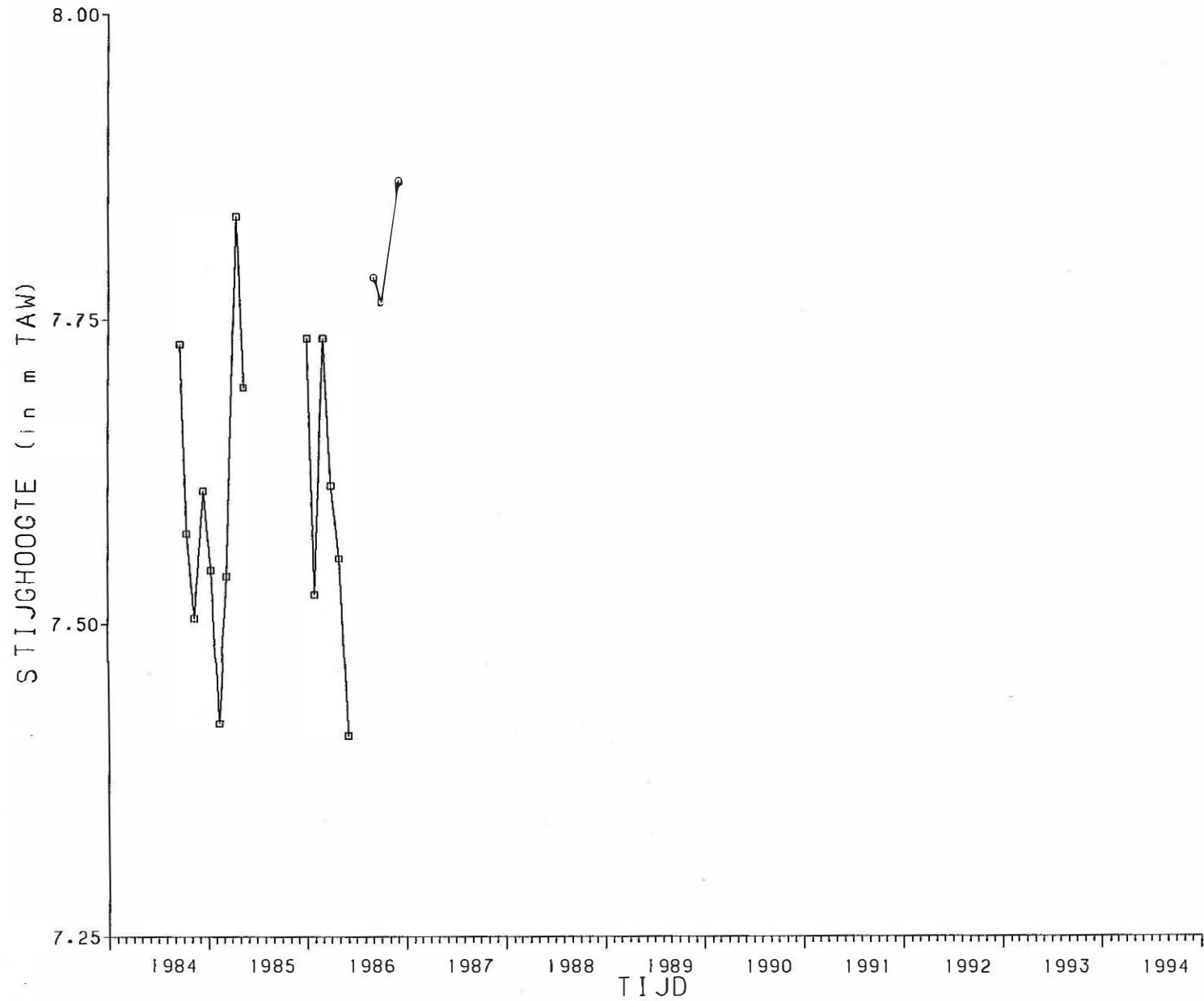


PIEZOMETER BXIV-F2

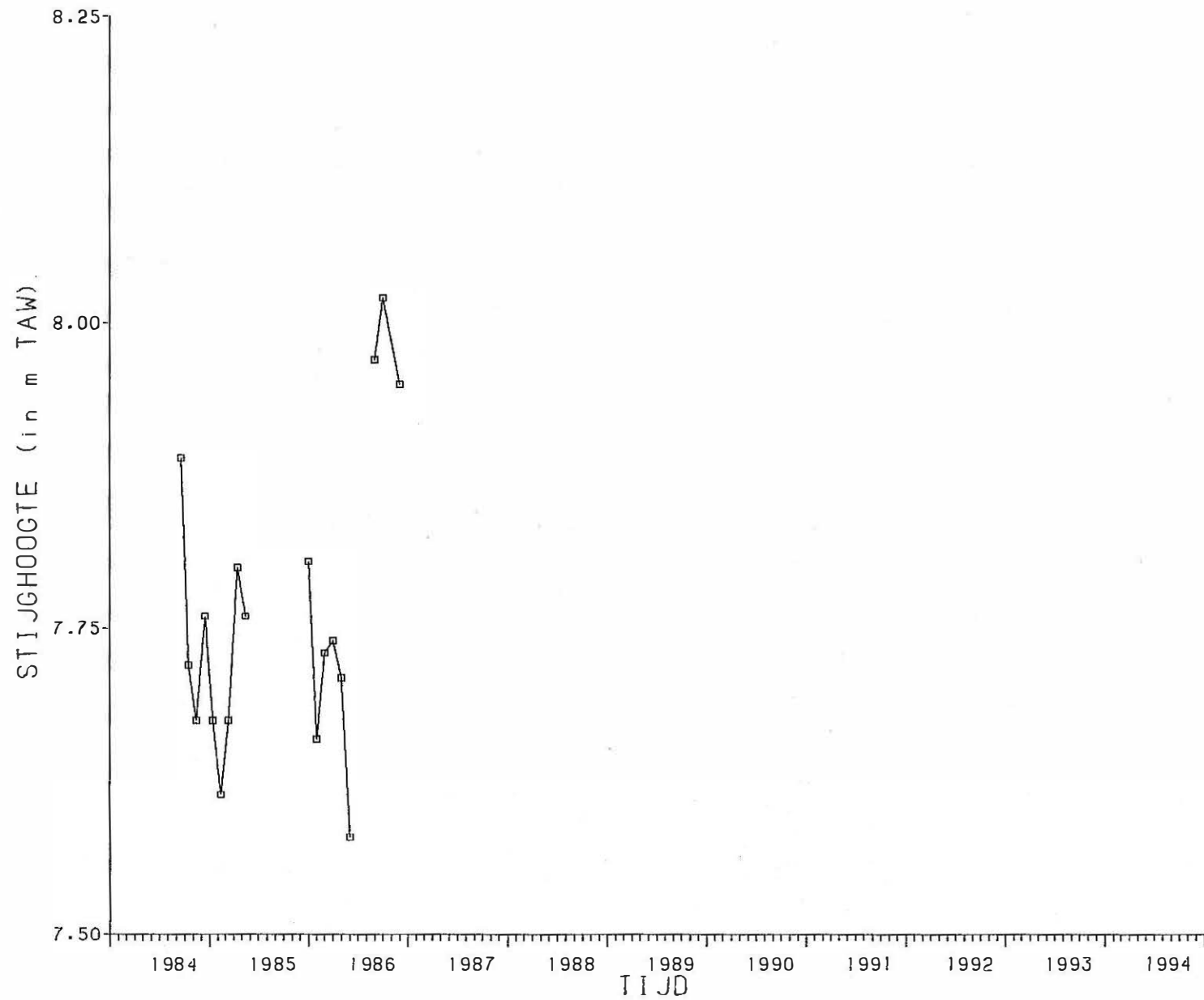


ZONE 5

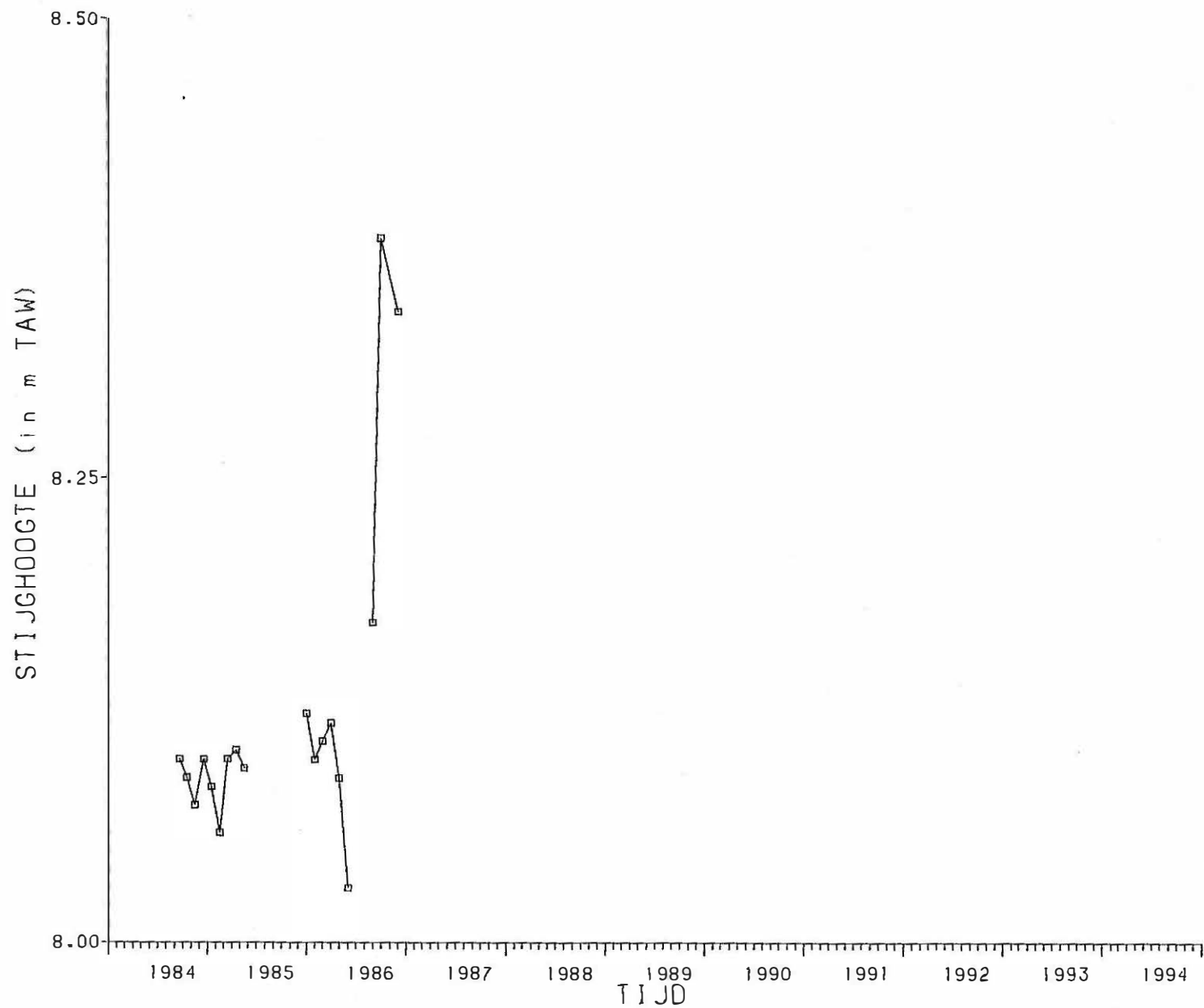
PIEZOMETER HB18



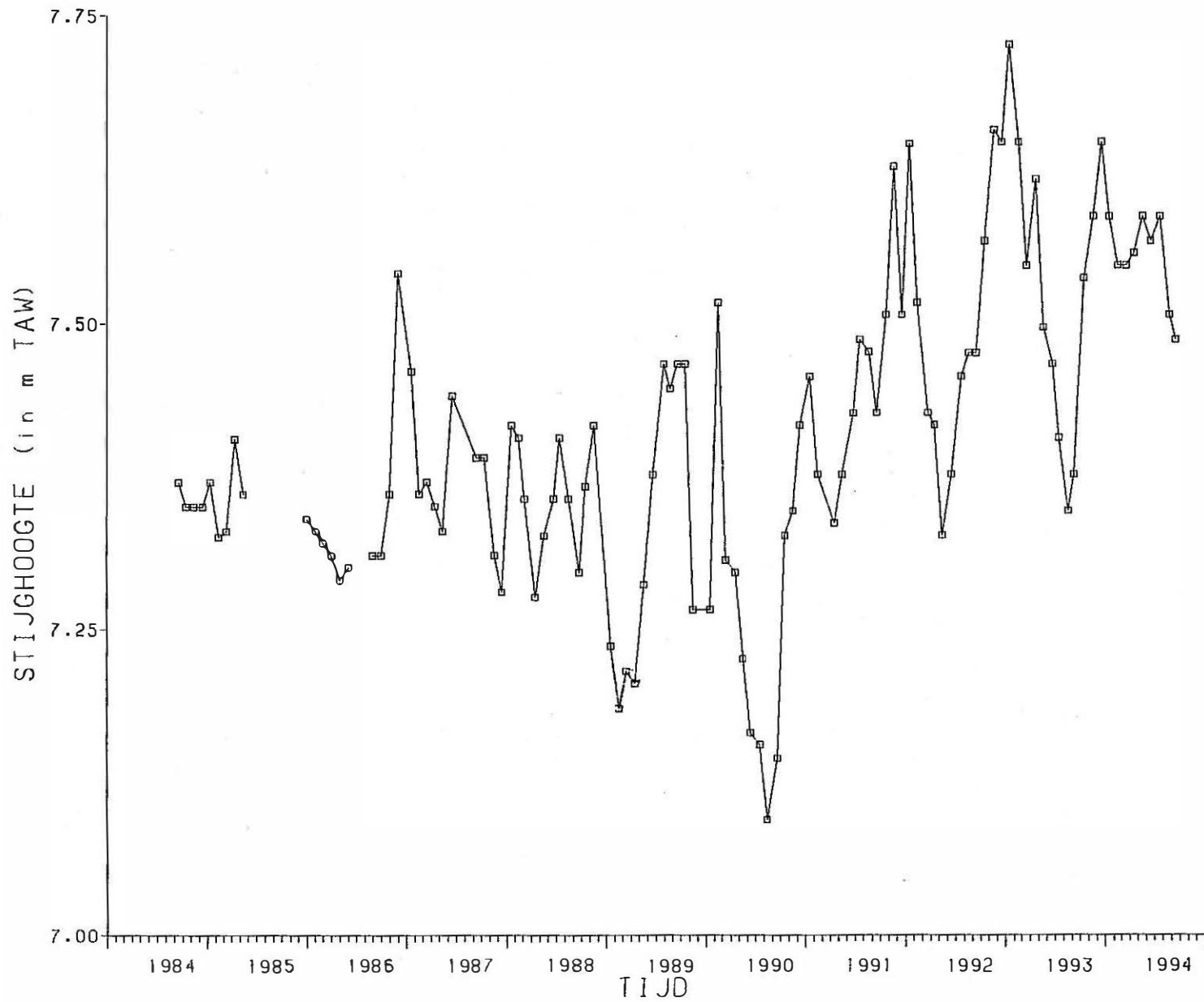
PIEZOMETER HB19



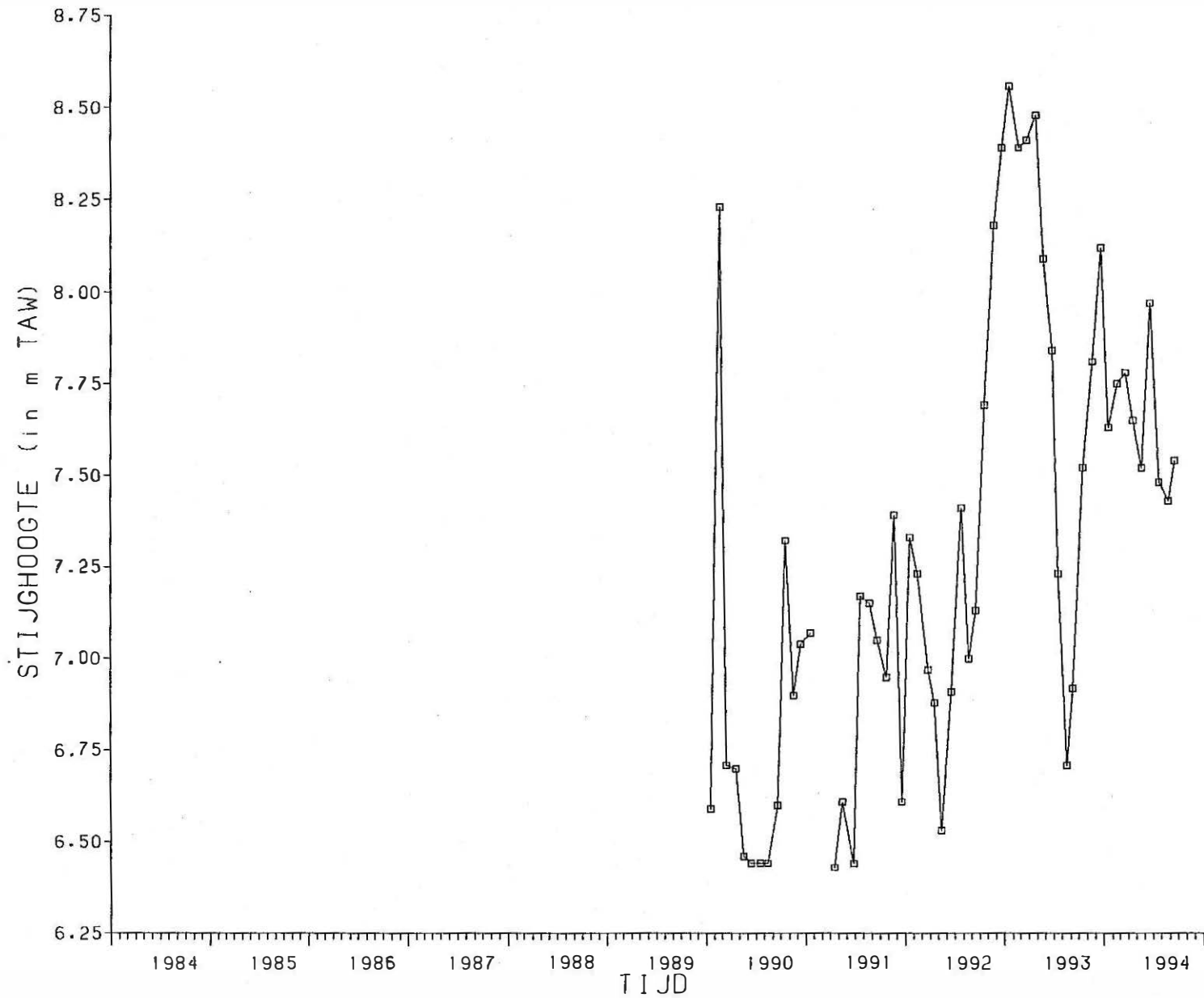
PIEZOMETER HB20



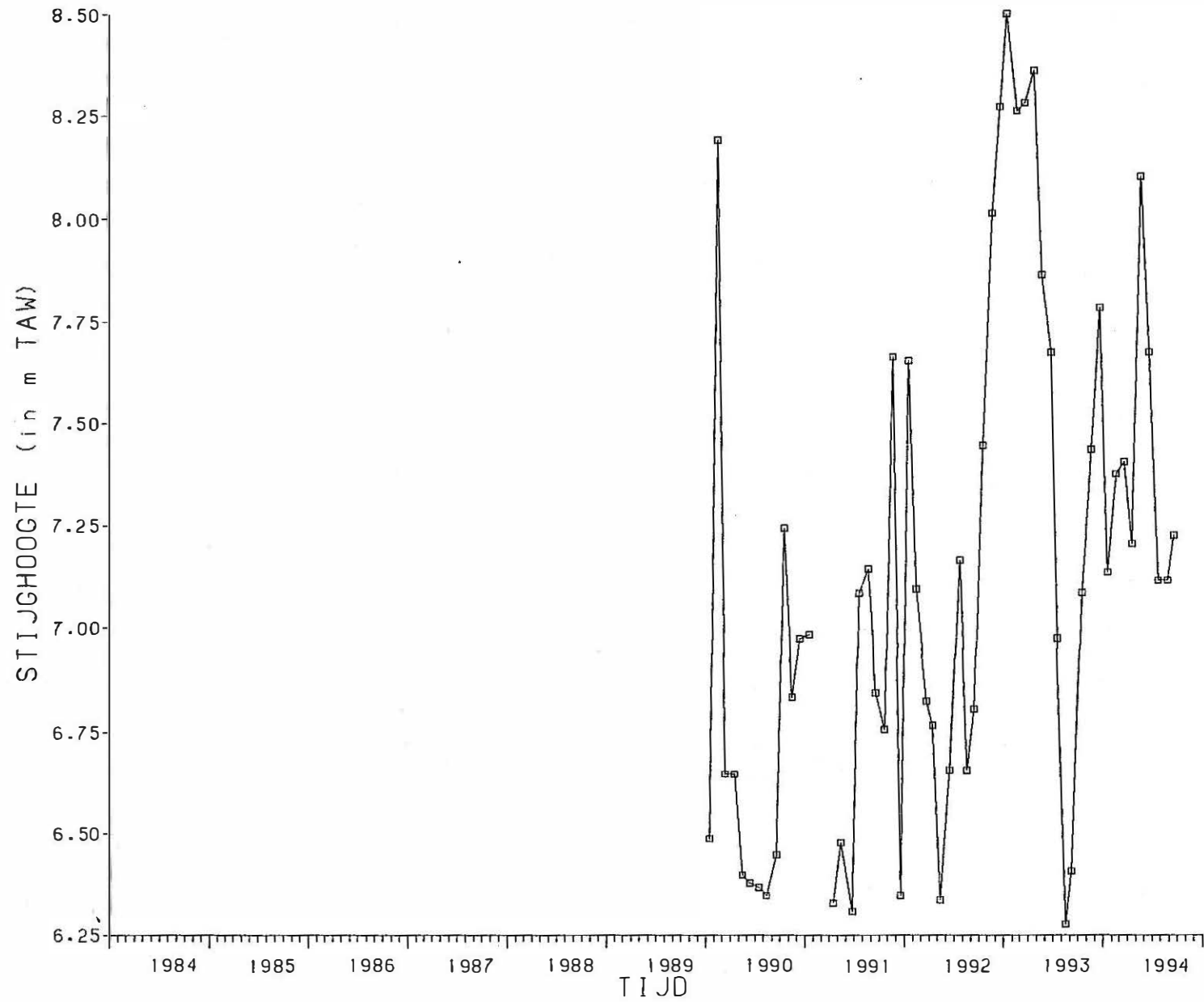
PIEZOMETER HB17



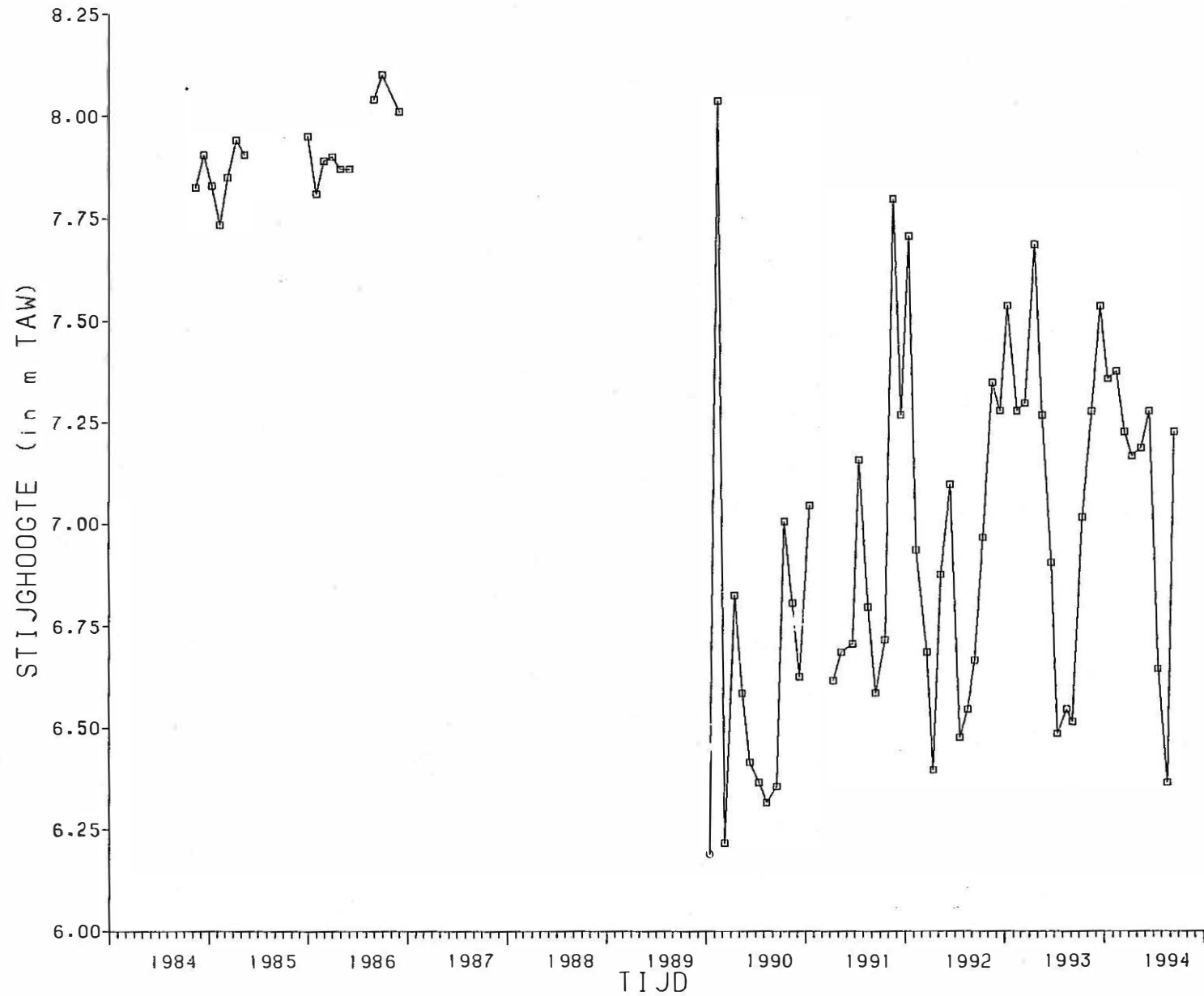
PIEZOMETER HB17A



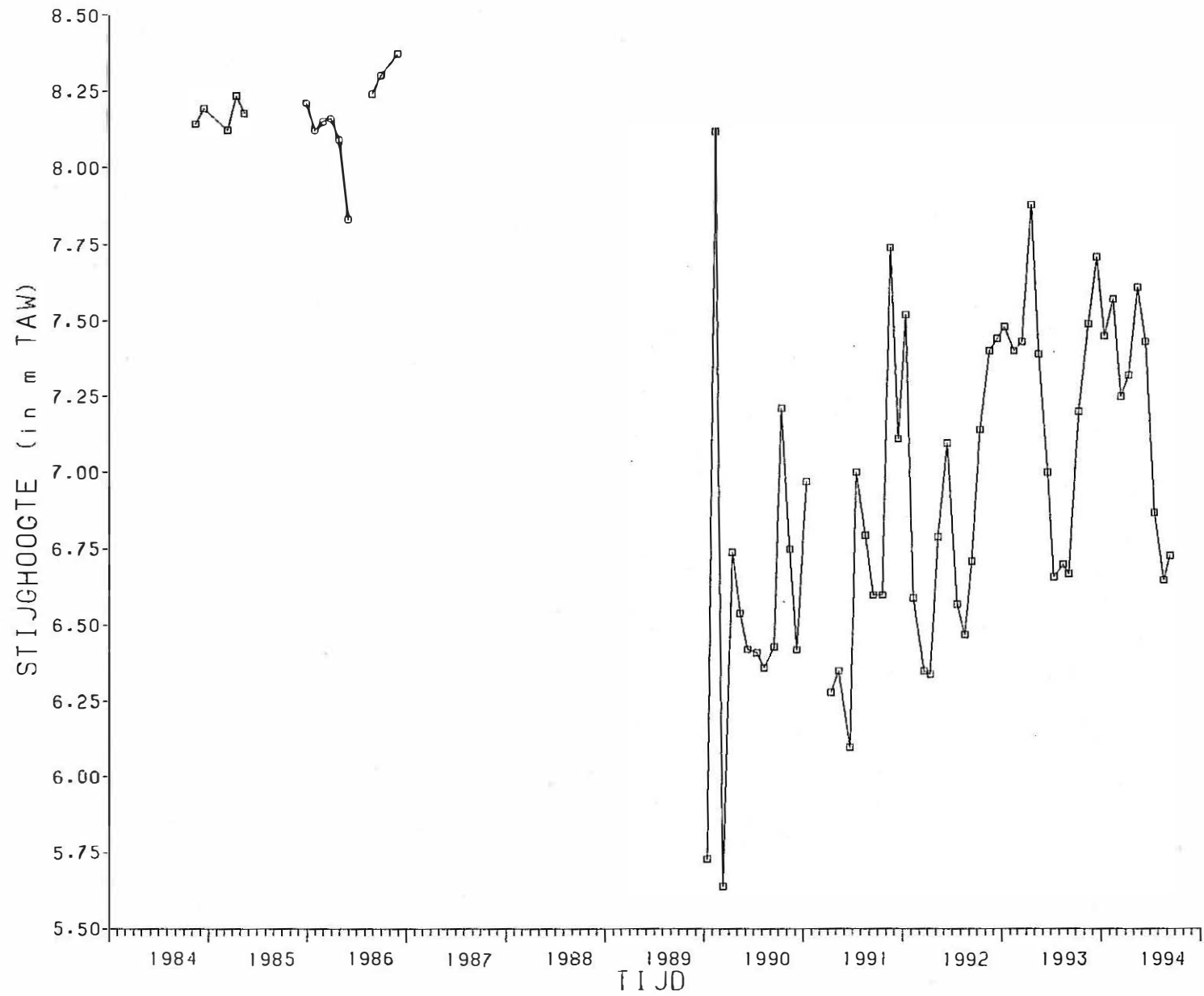
PIEZOMETER PB1



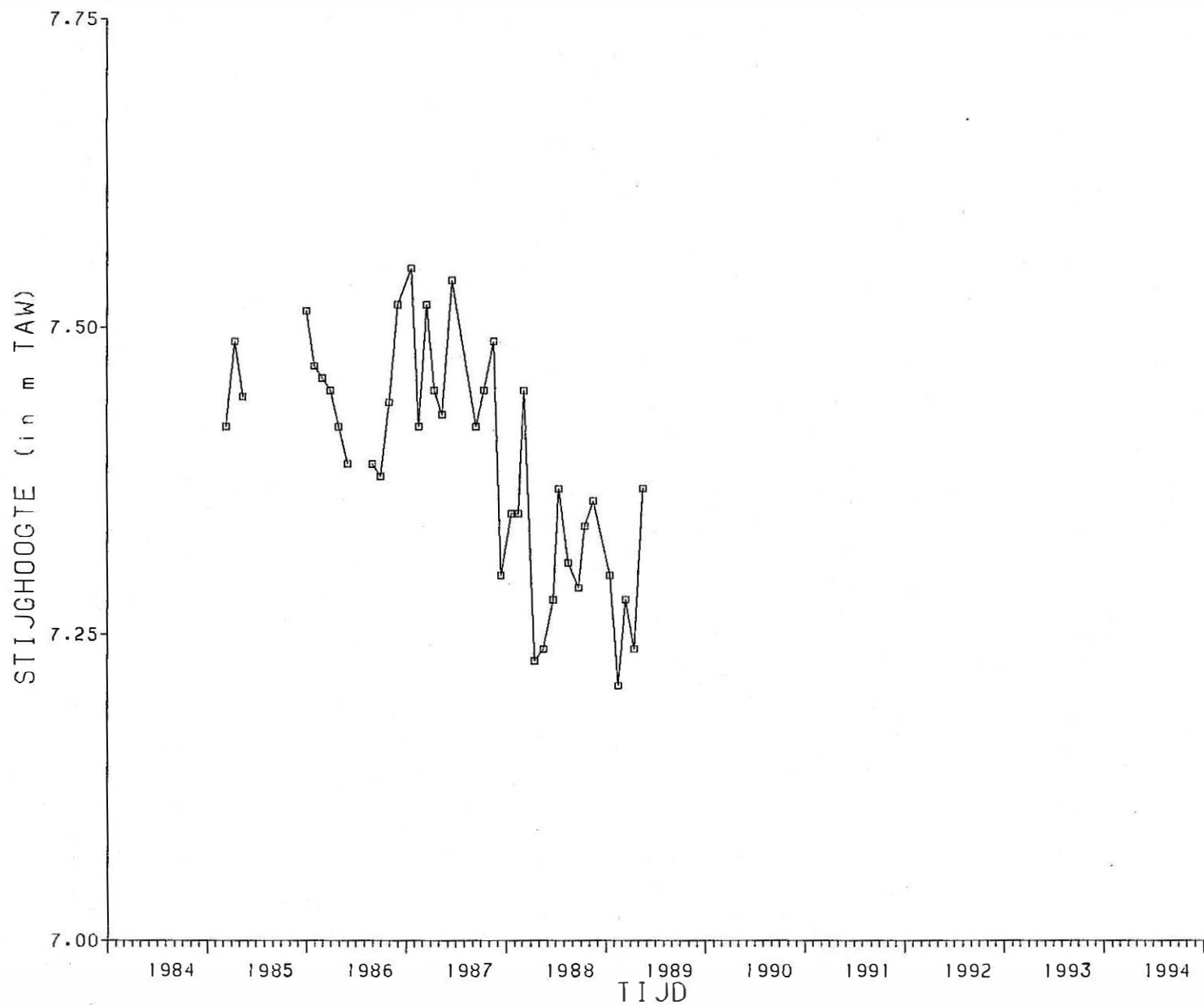
PIEZOMETER PB3



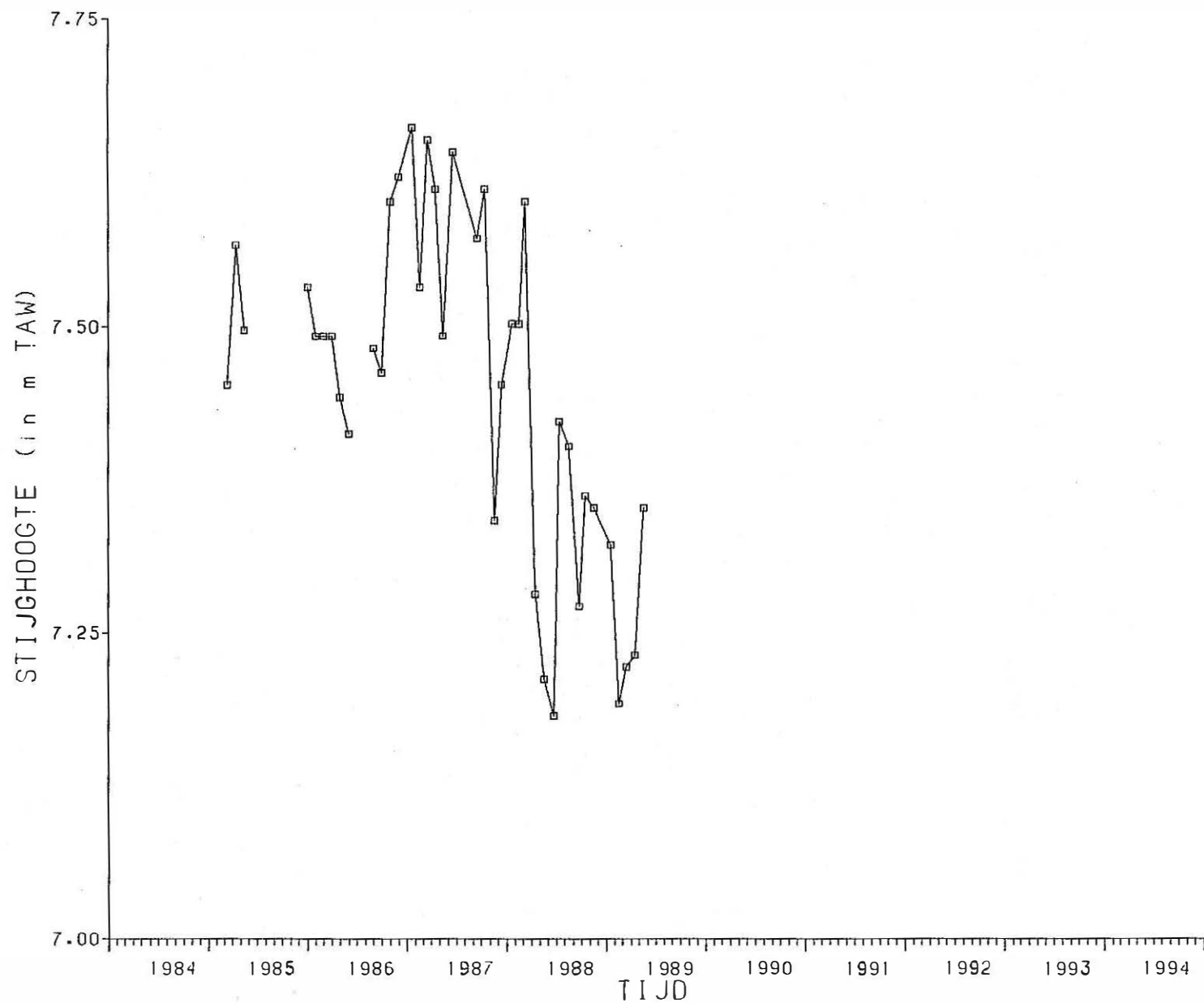
PIEZOMETER PB4



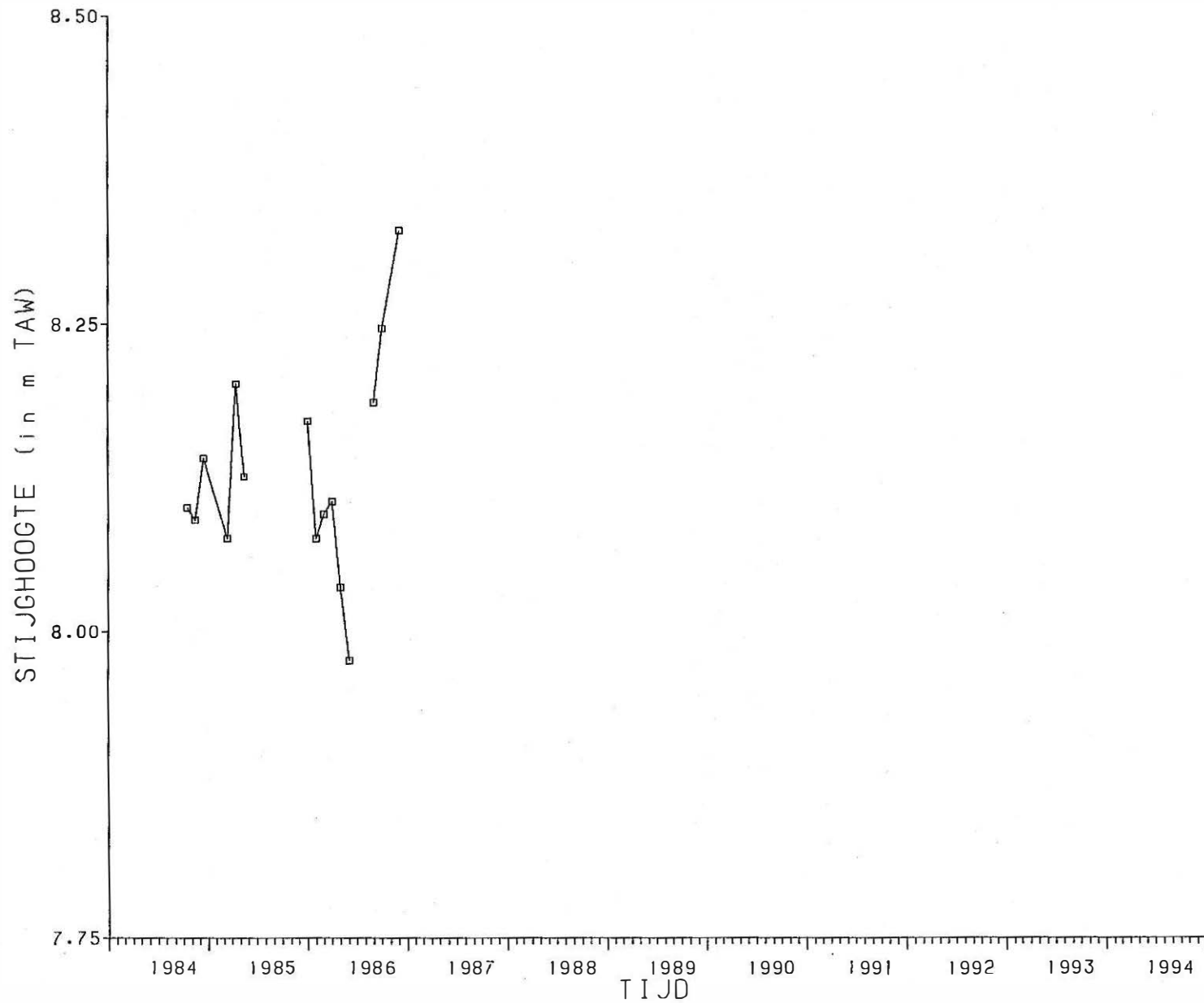
PIEZOMETER POMPPUT1



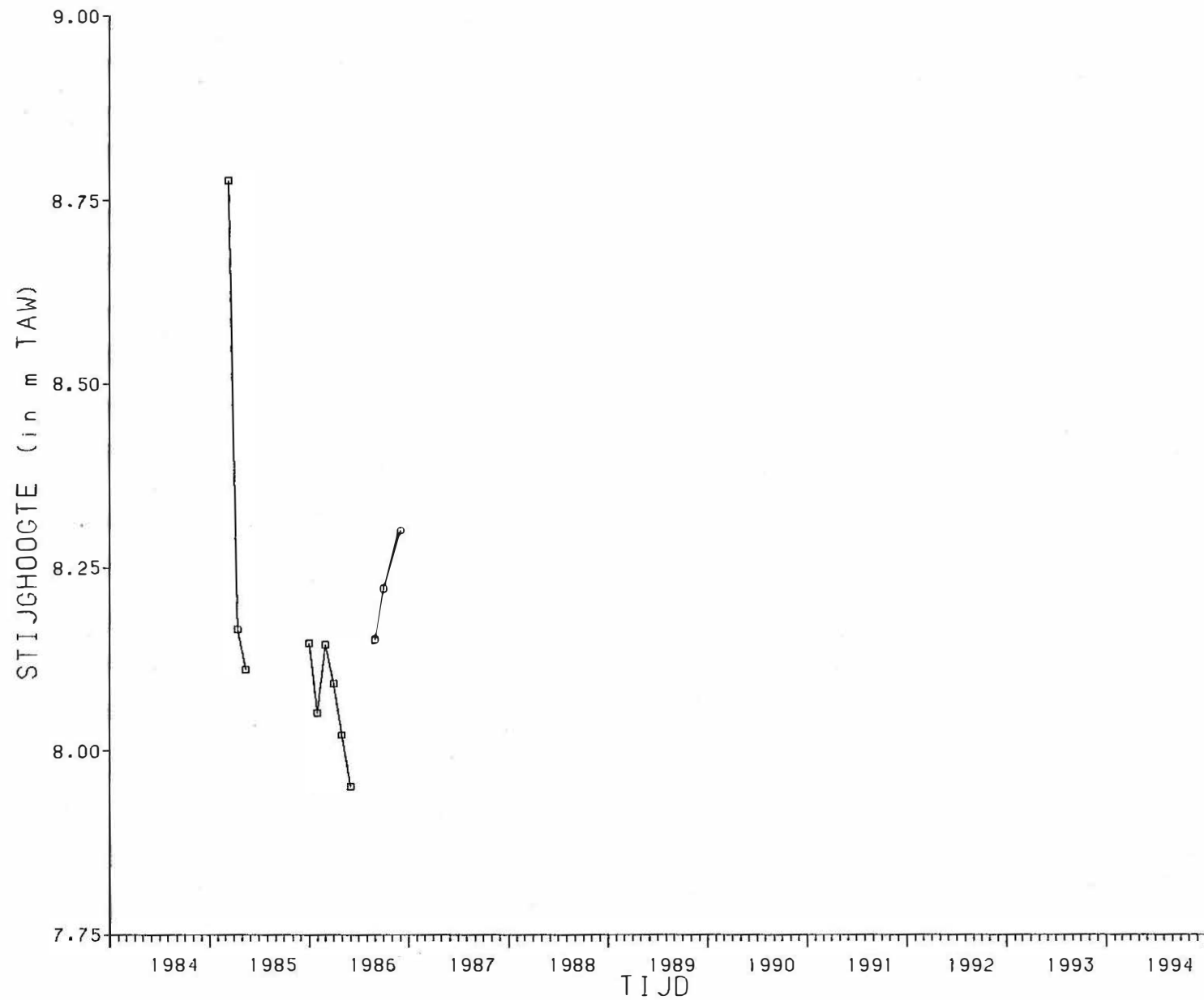
PIEZOMETER POMPPUT2



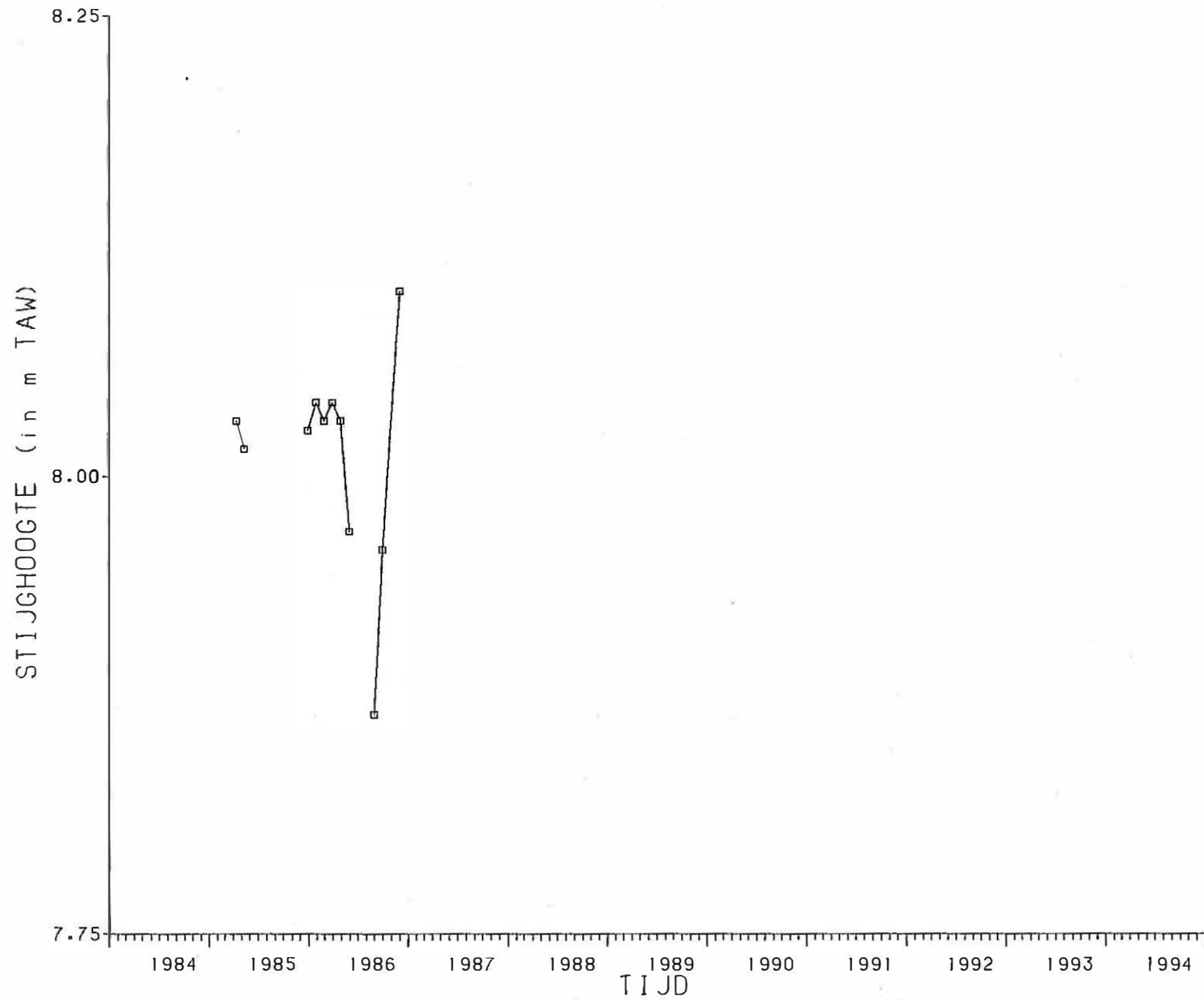
PIEZOMETER PB1-1



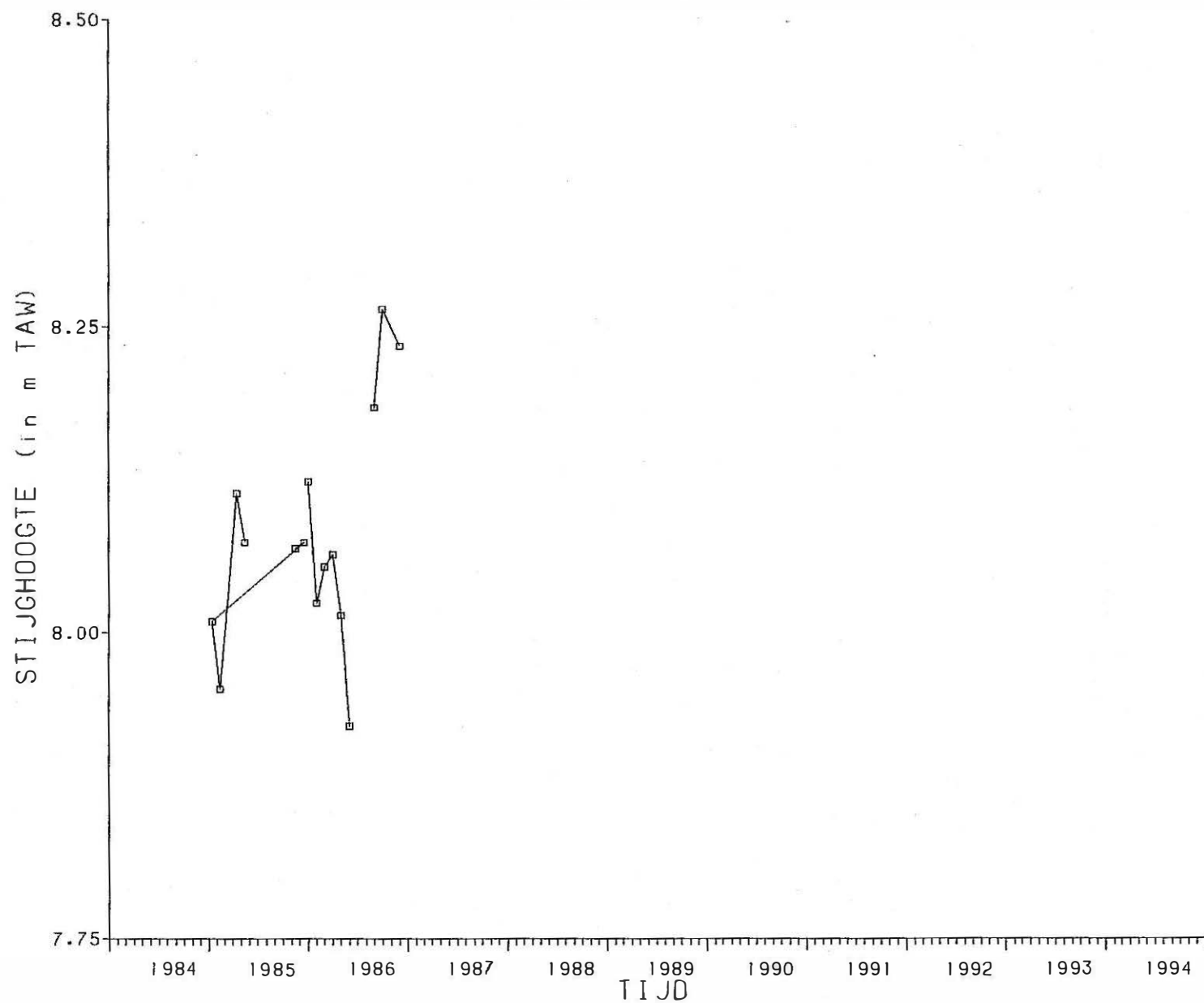
PIEZOMETER PB1-2



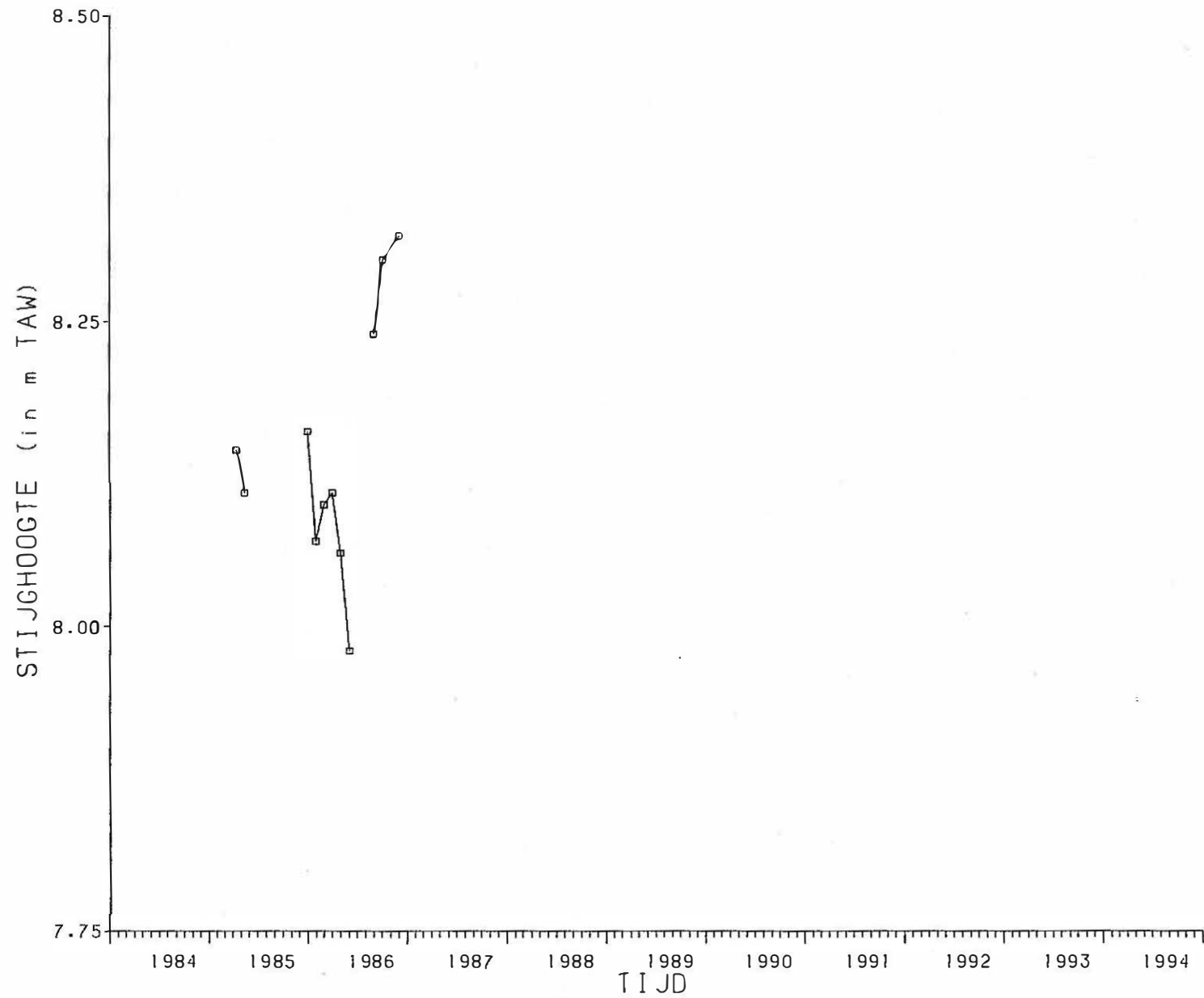
PIEZOMETER PB1-3



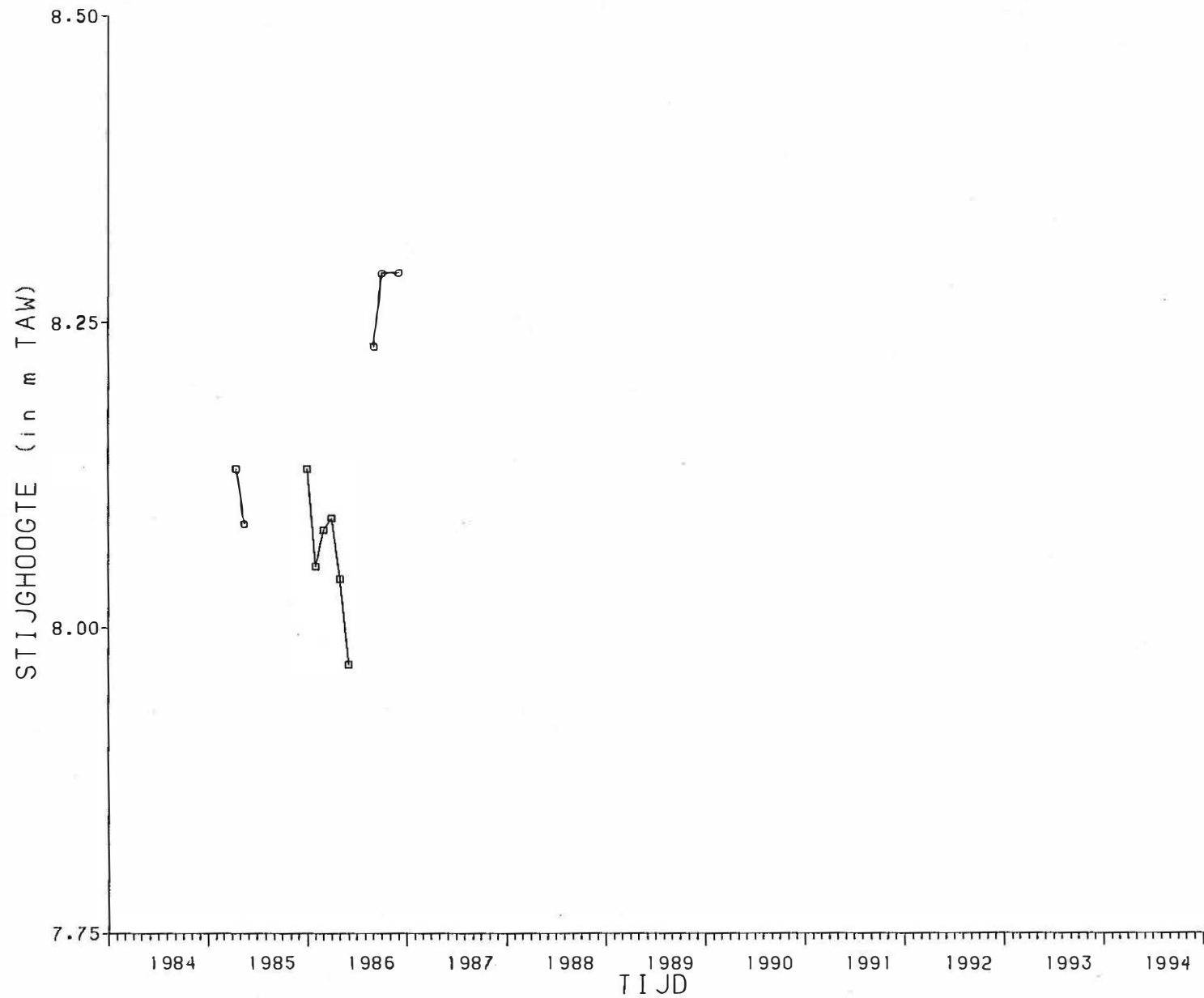
PIEZOMETER PB2-1



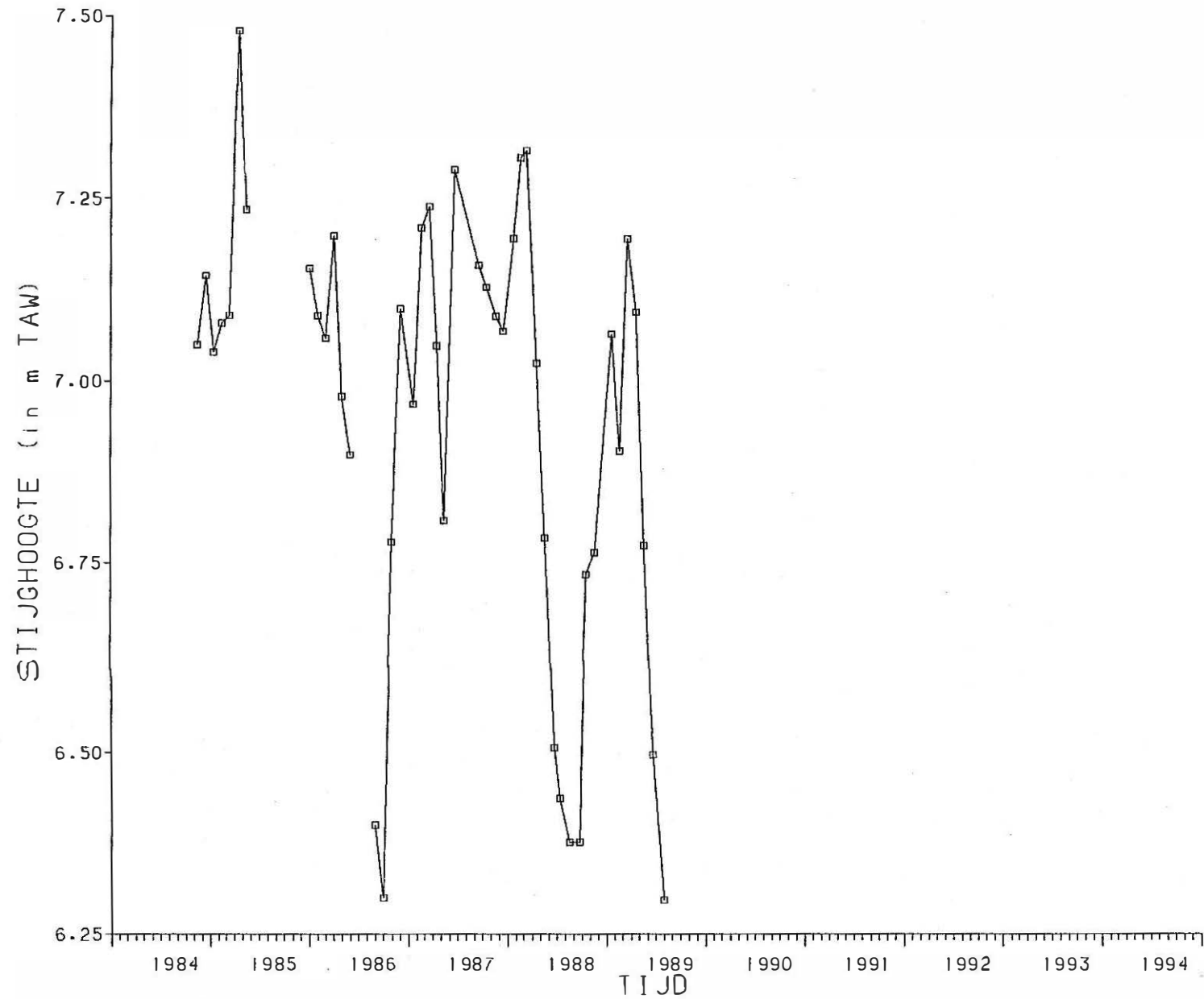
PIEZOMETER PB2-2



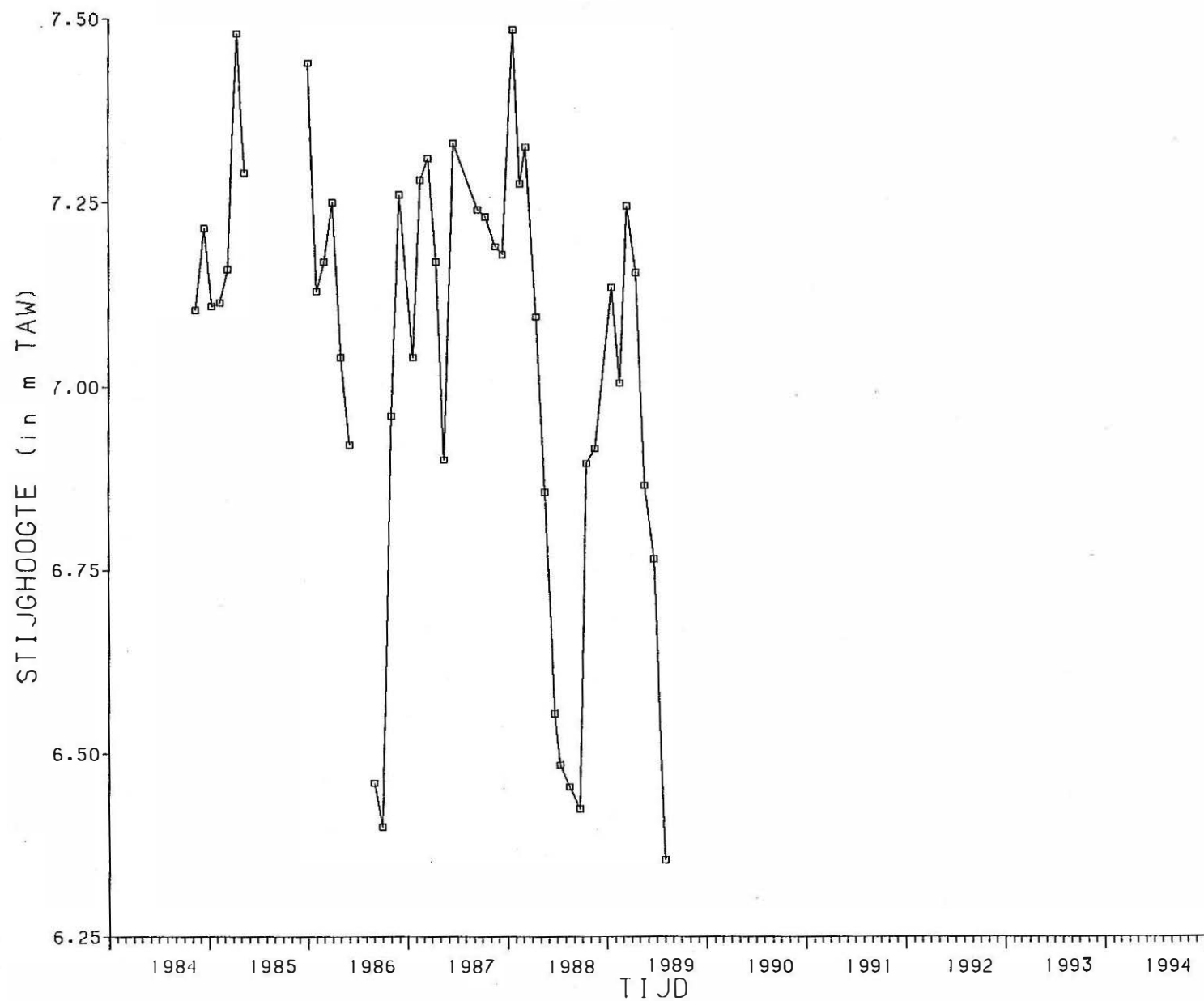
PIEZOMETER PB2-3



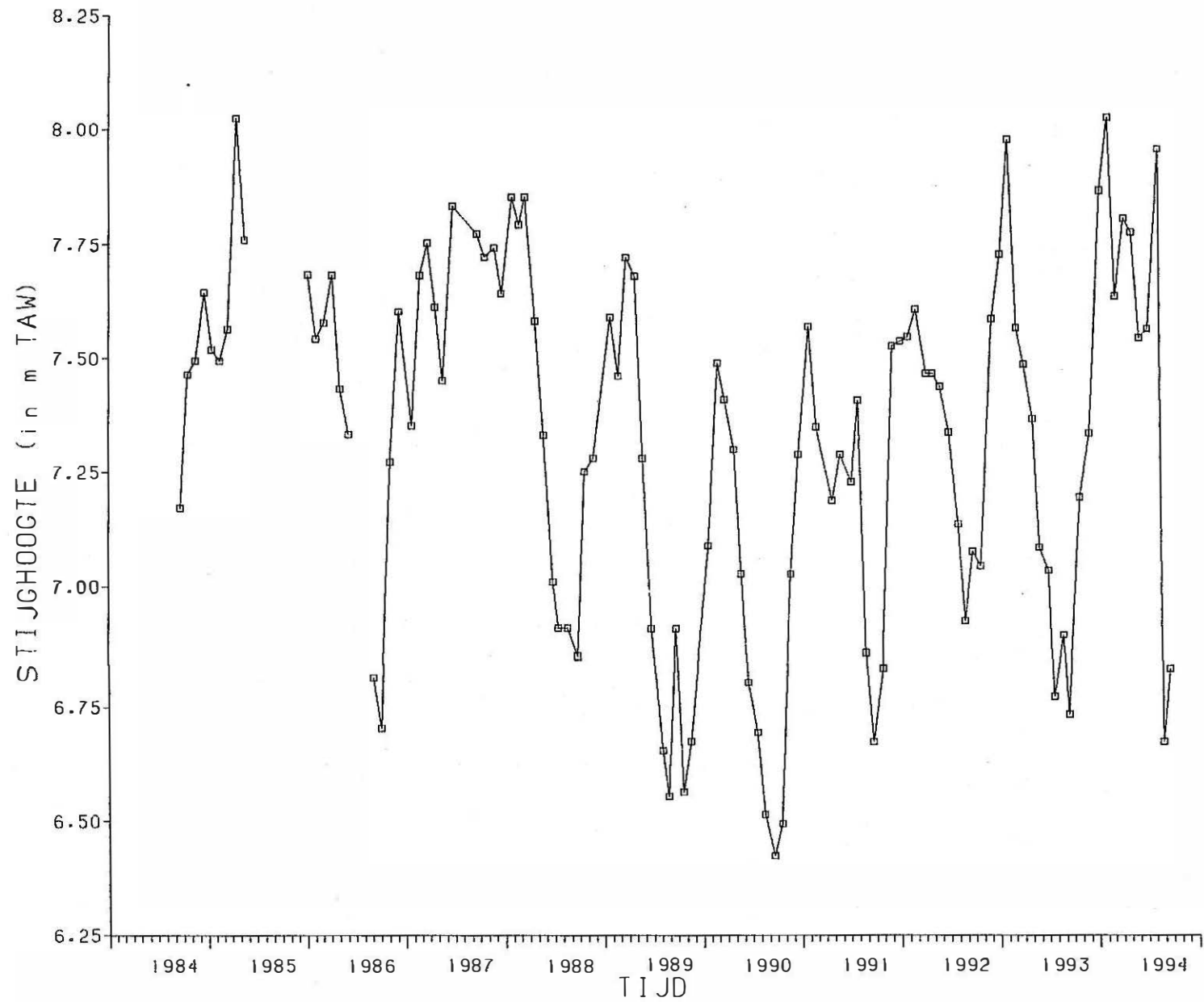
PIEZOMETER L053-F1



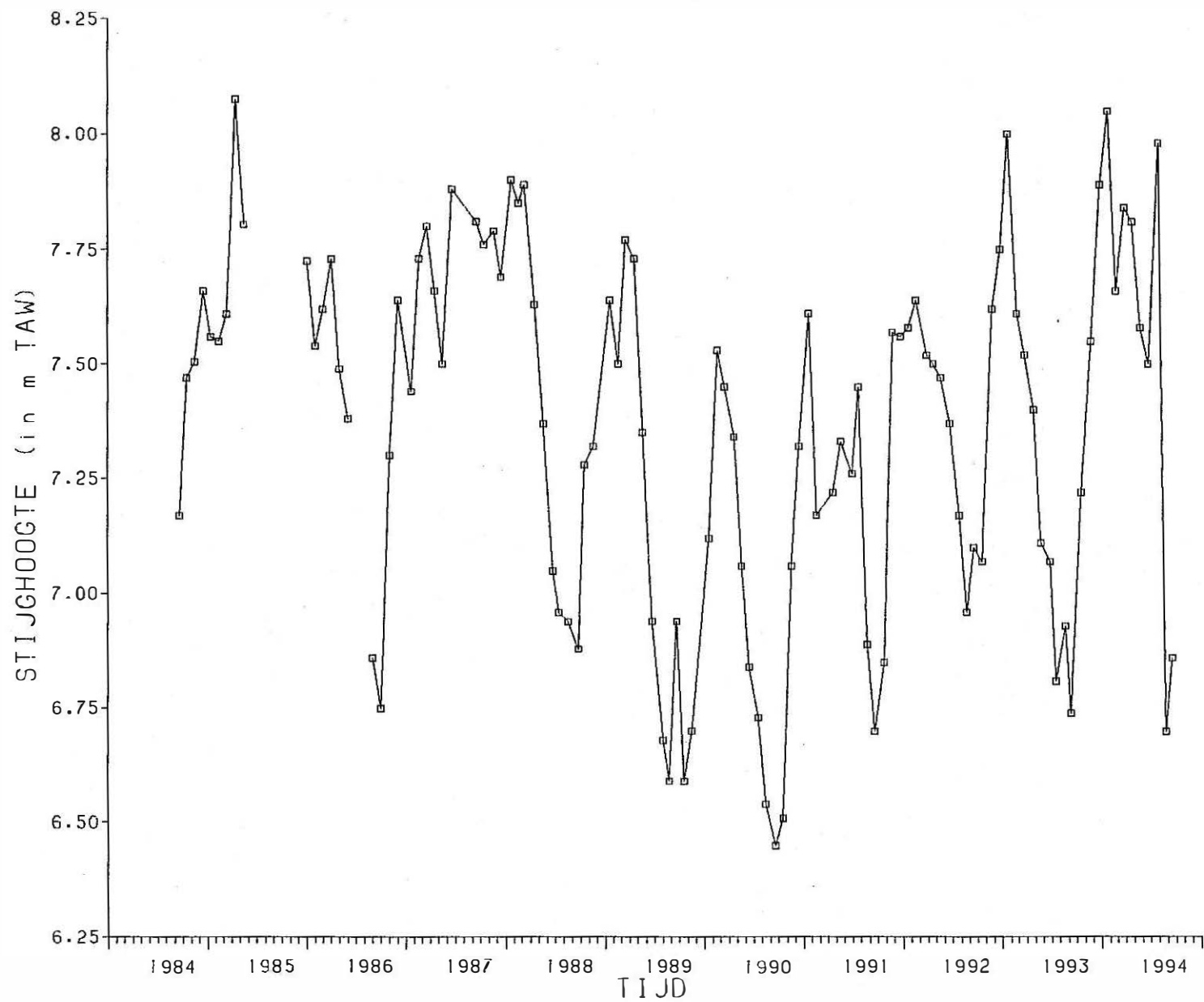
PIEZOMETER L053-F2



PIEZOMETER BXV-F1

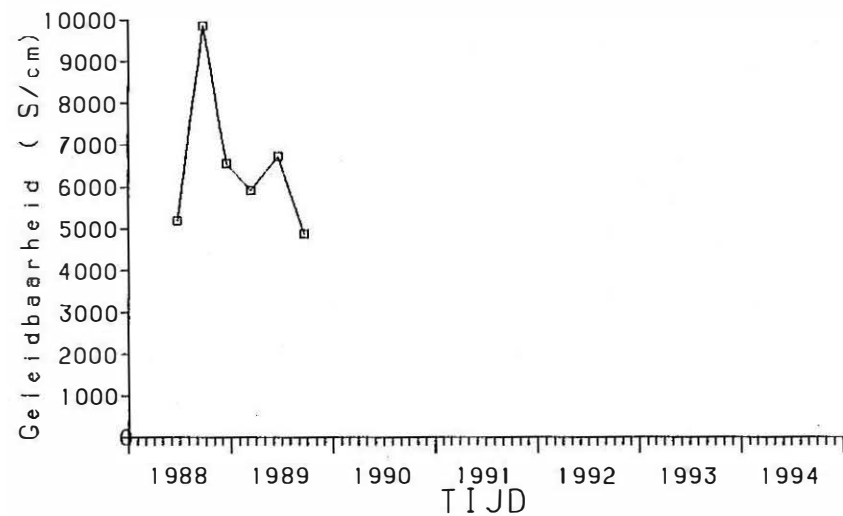


PIEZOMETER BXV-F2

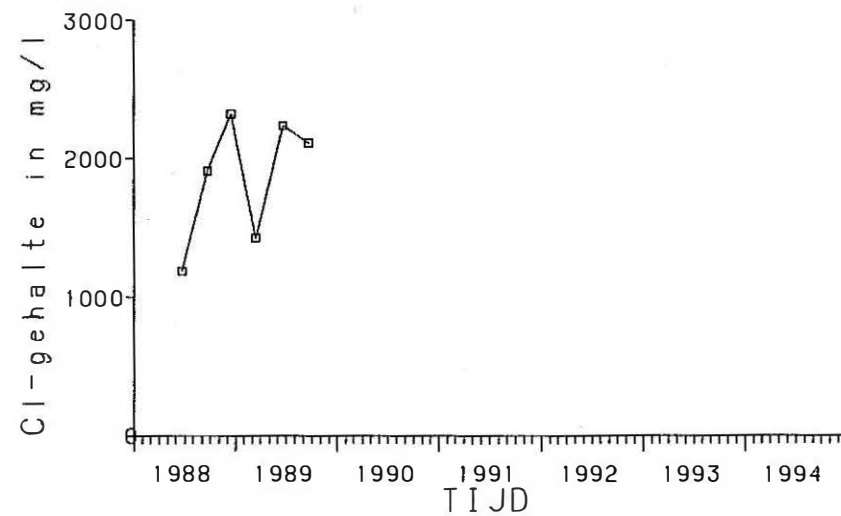


BIJLAGE 2

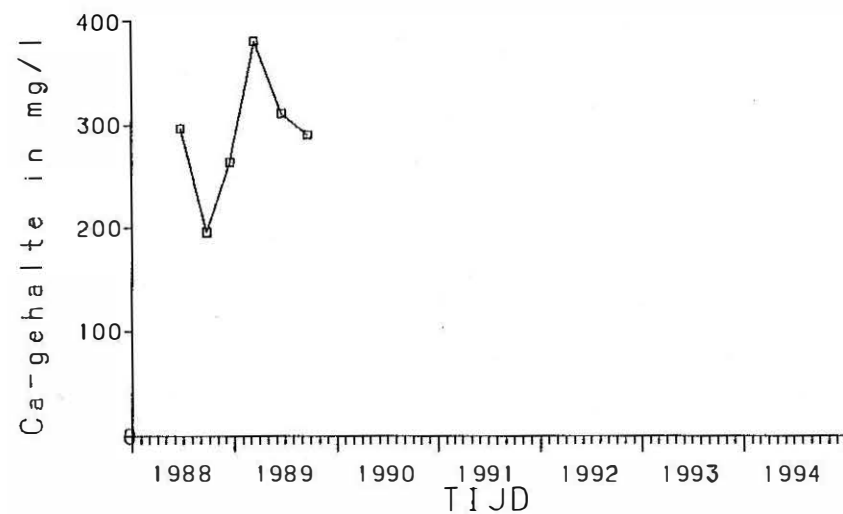
PIEZOMETER BI-F1: Geleidbaarheid



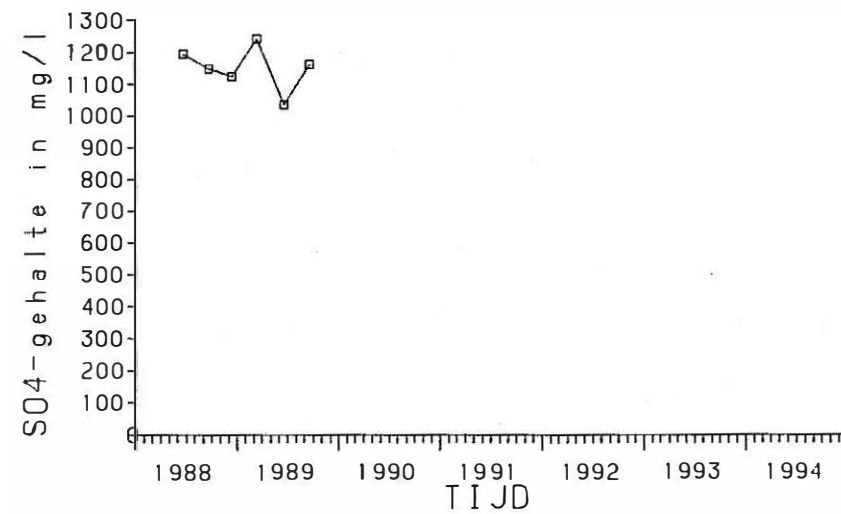
PIEZOMETER BI-F1: Cl



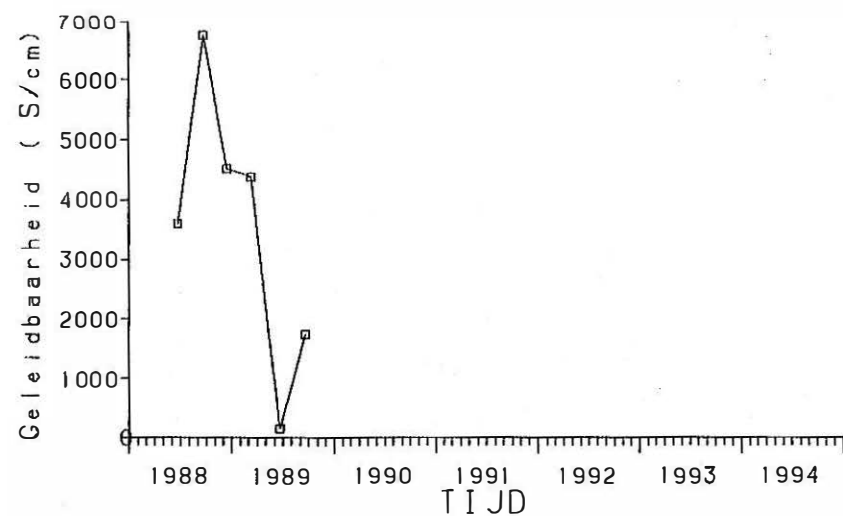
PIEZOMETER BI-F1: Ca



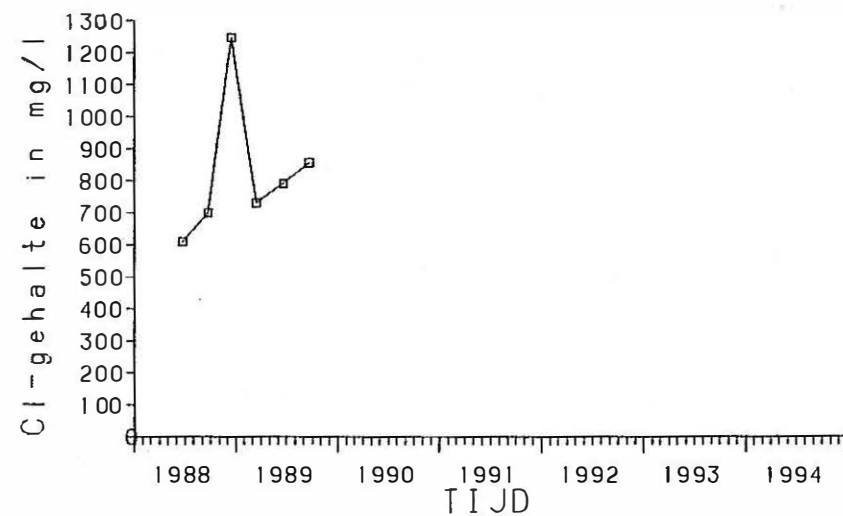
PIEZOMETER BI-F1: SO4



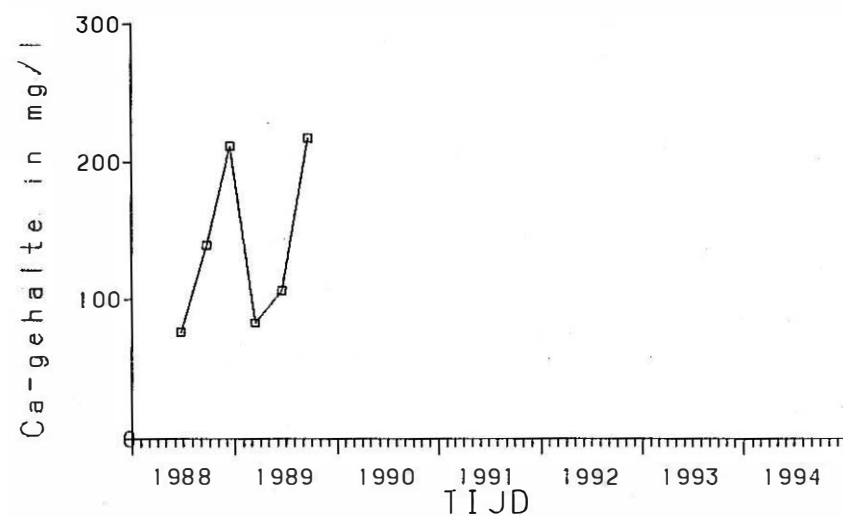
PIEZOMETER BI-F2:Geleidbaarheid



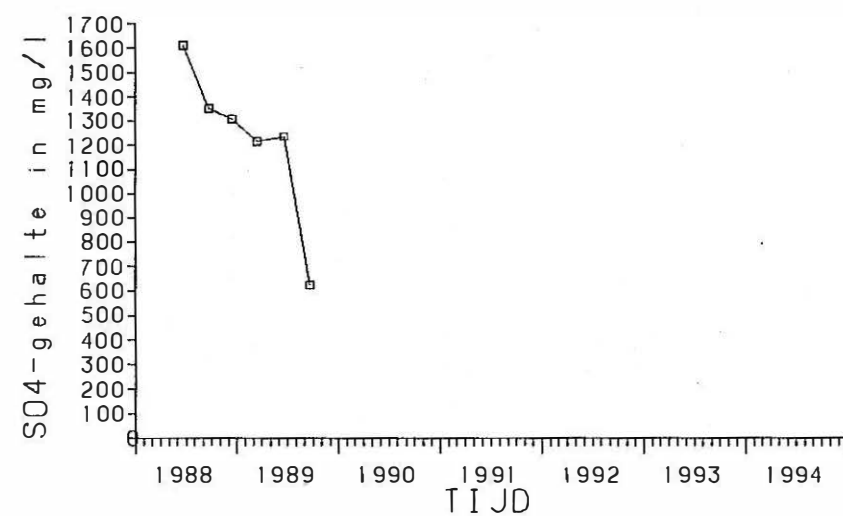
PIEZOMETER BI-F2:Cl



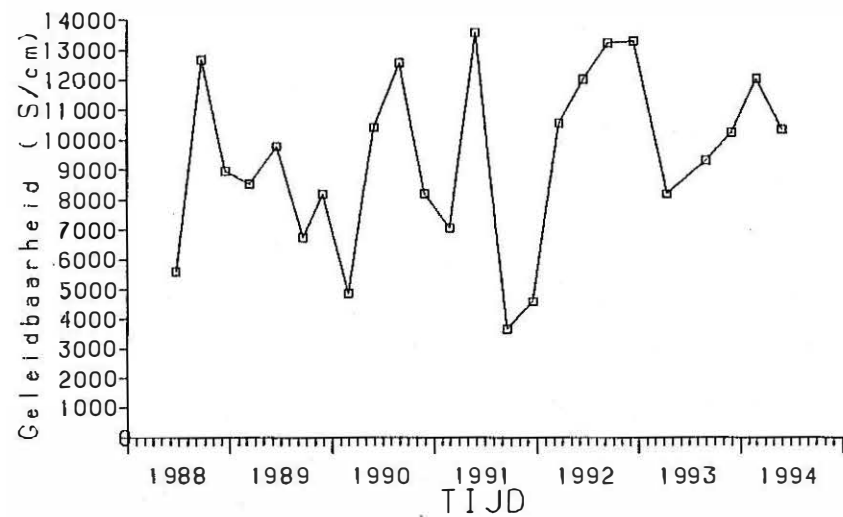
PIEZOMETER BI-F2:Ca



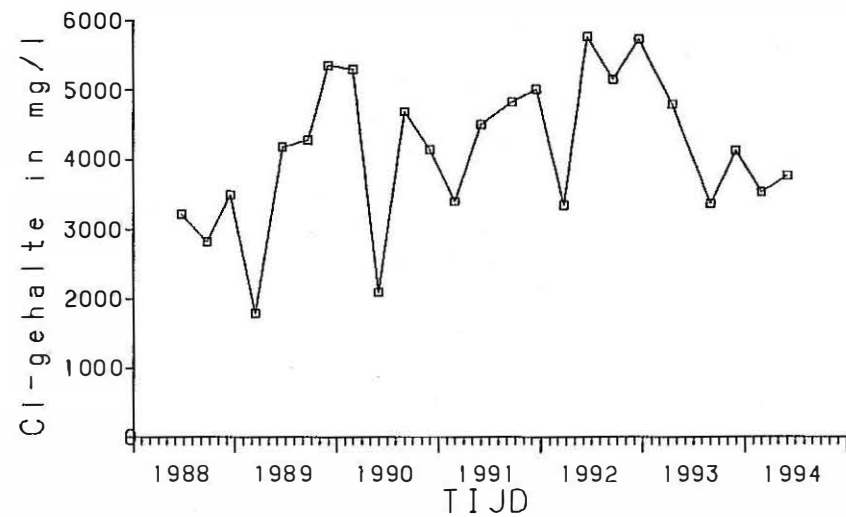
PIEZOMETER BI-F2:SO4



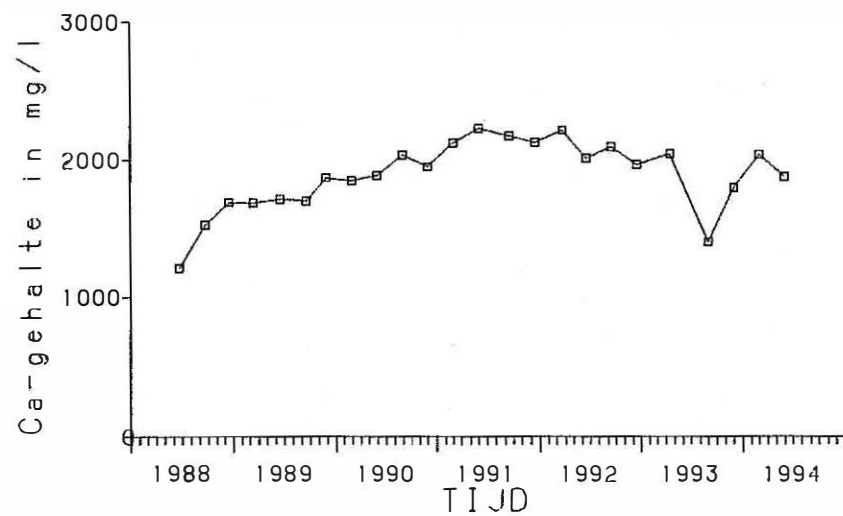
PIEZOMETER BV-F1: Geleidbaarheid



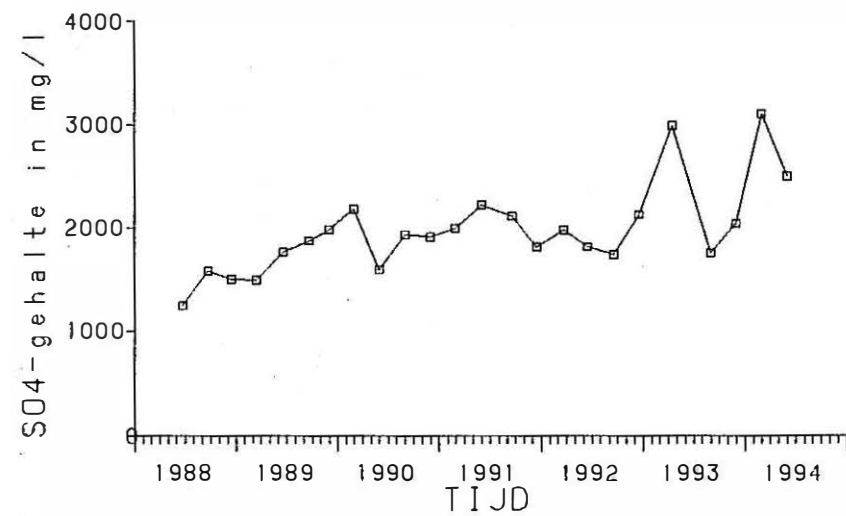
PIEZOMETER BV-F1: Cl



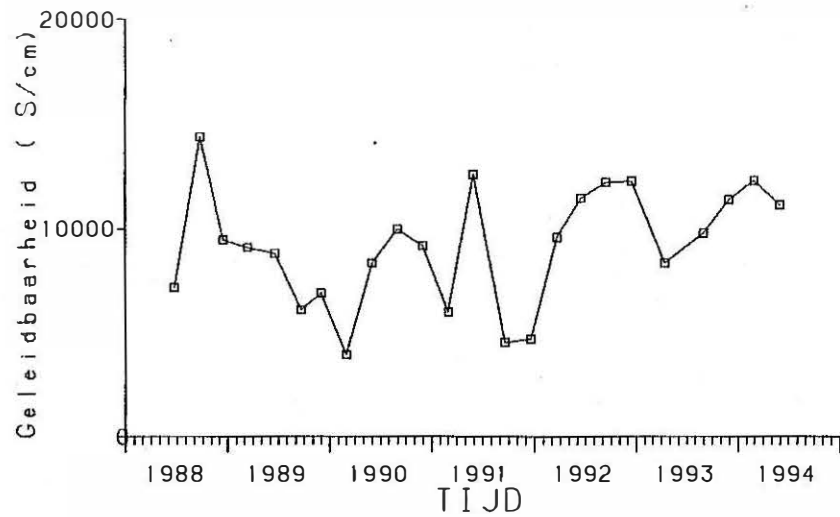
PIEZOMETER BV-F1: Ca



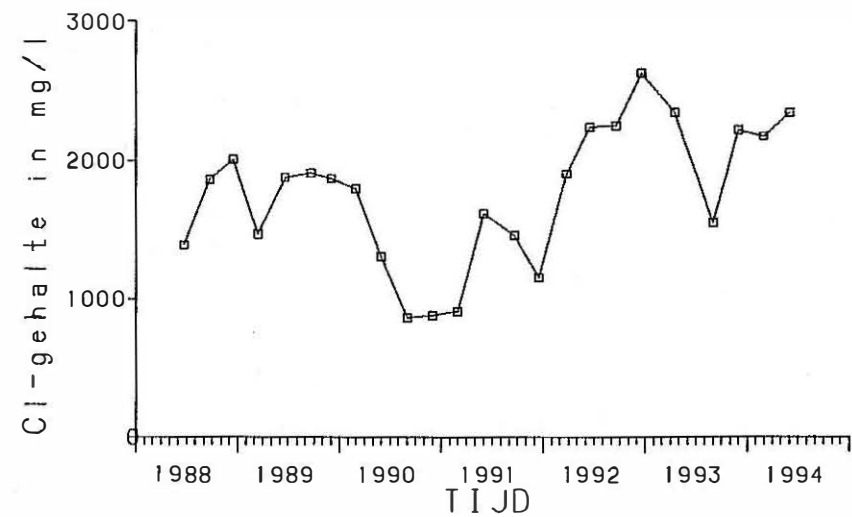
PIEZOMETER BV-F1: SO4



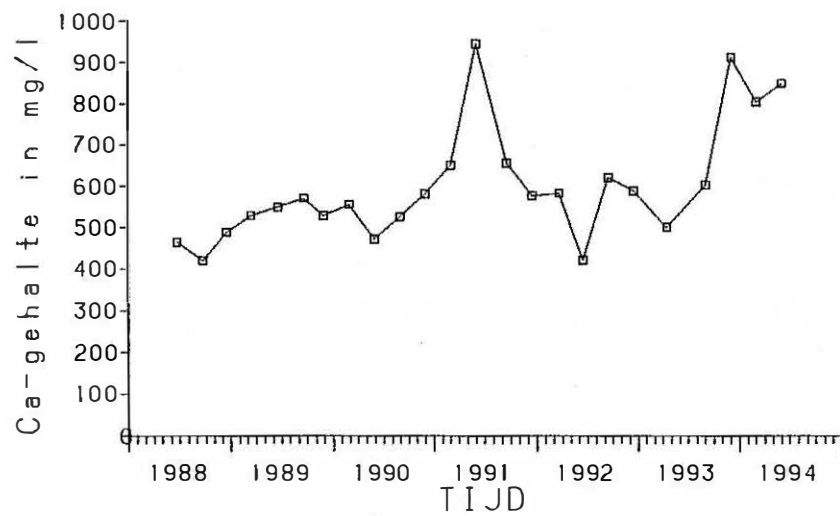
PIEZOMETER BV-F2: Geleidbaarheid



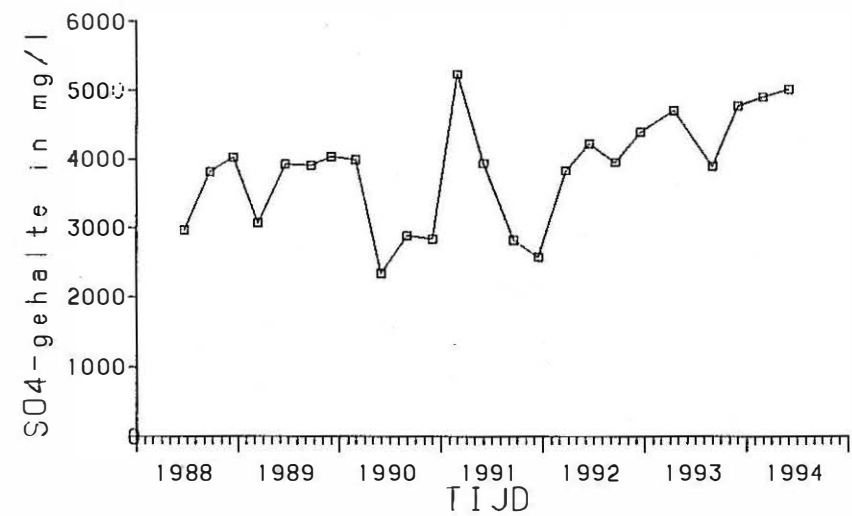
PIEZOMETER BV-F2: Cl



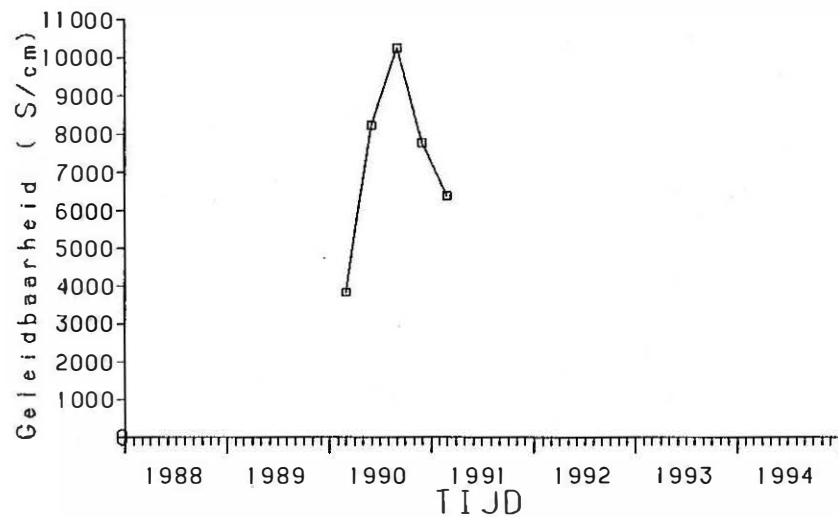
PIEZOMETER BV-F2: Ca



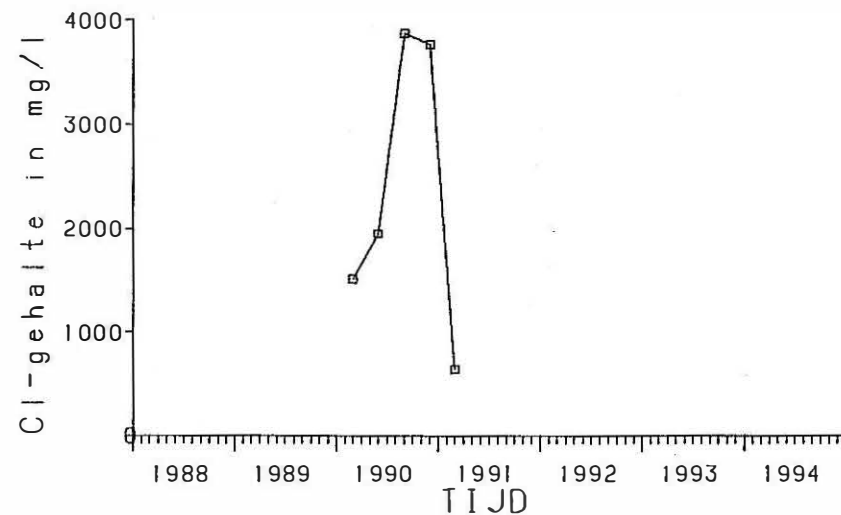
PIEZOMETER BV-F2: SO4



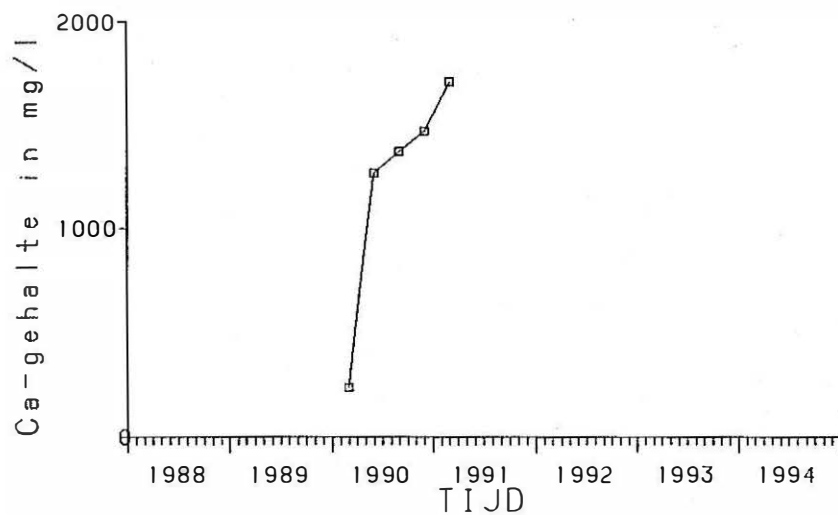
PIEZOMETER BX-F1: Geleidbaarheid



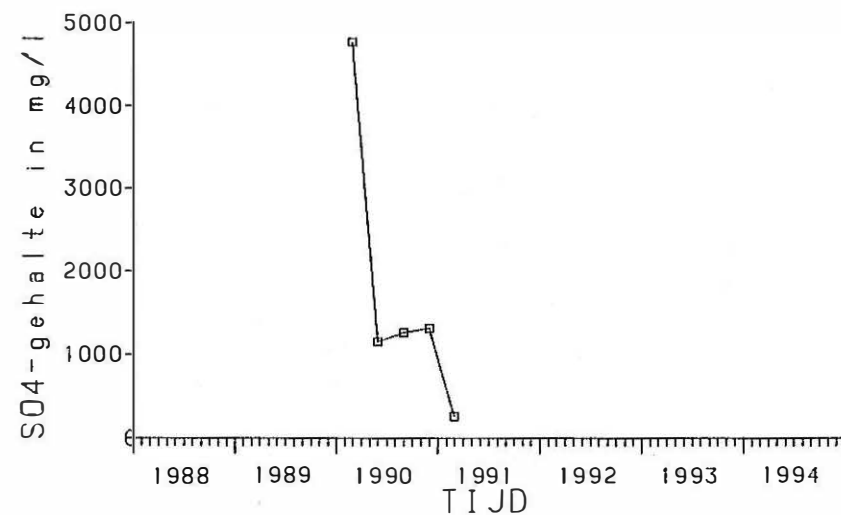
PIEZOMETER BX-F1: Cl



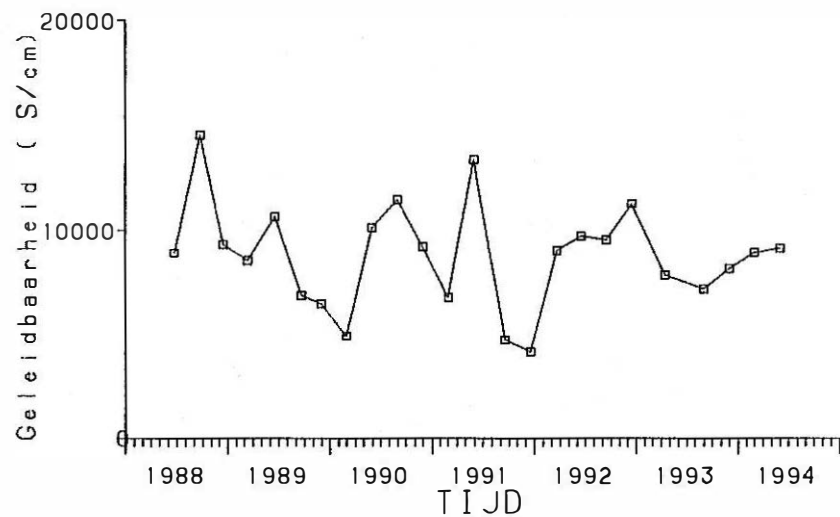
PIEZOMETER BX-F1: Ca



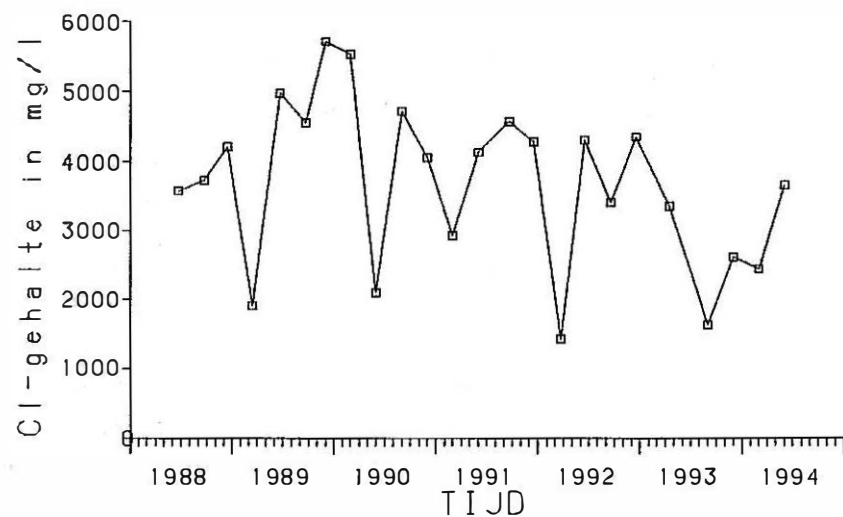
PIEZOMETER BX-F1: SO4



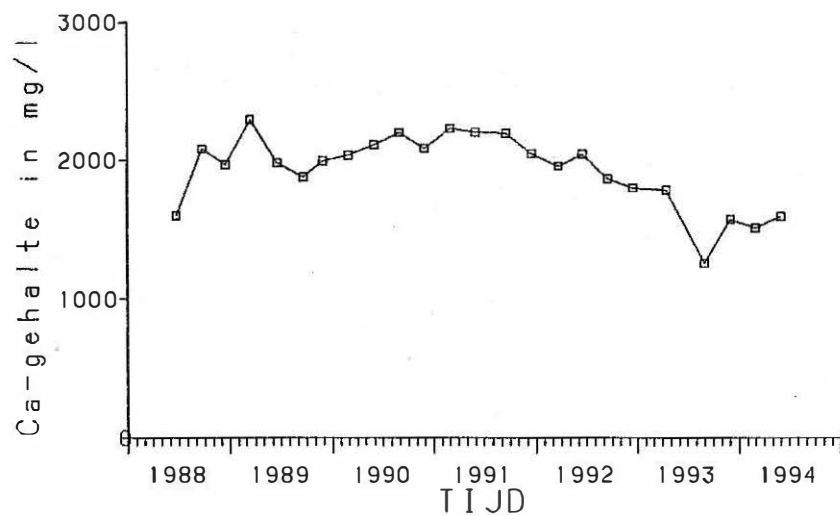
PIEZOMETER BXI-F1: Geleidbaarheid



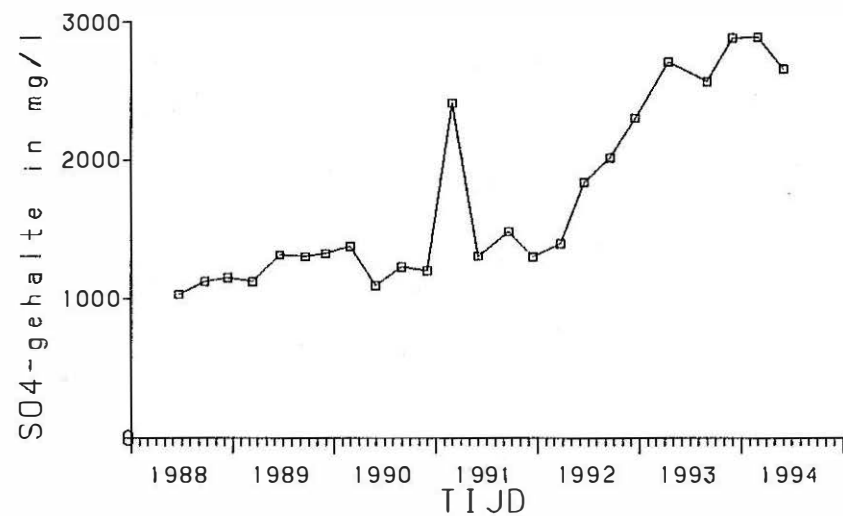
PIEZOMETER BXI-F1: Cl



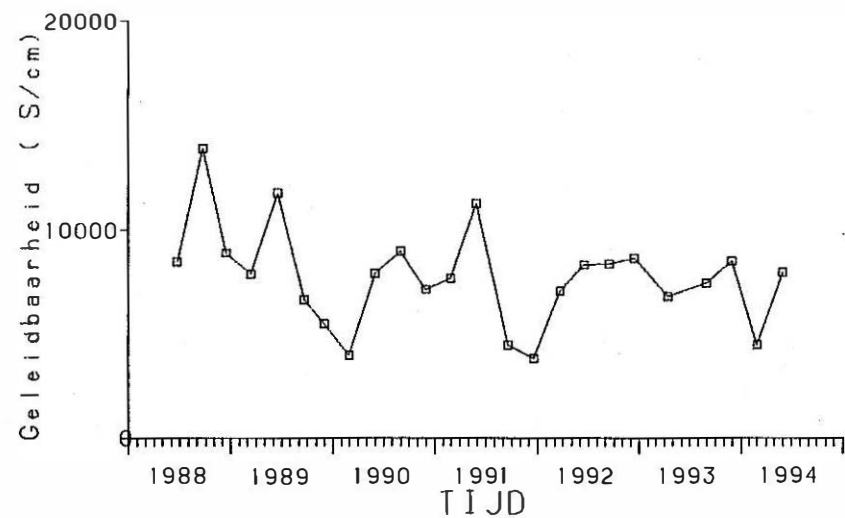
PIEZOMETER BXI-F1: Ca



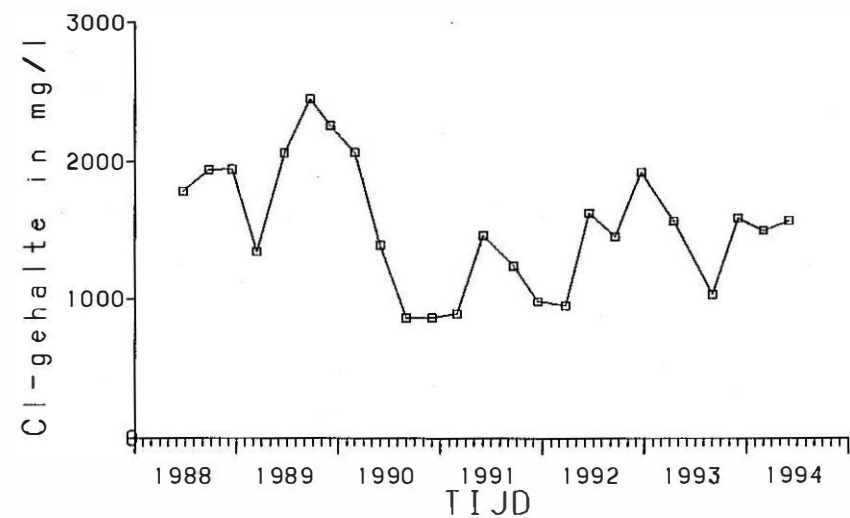
PIEZOMETER BXI-F1: SO4



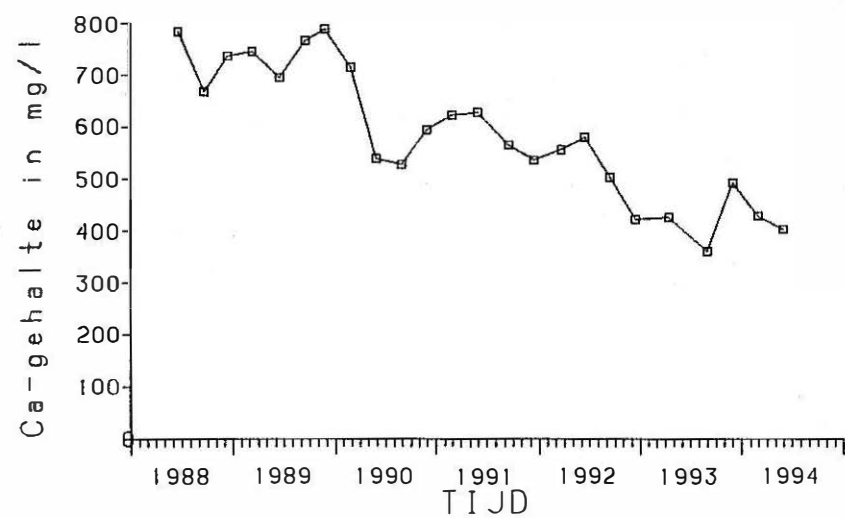
PIEZOMETER BXI-F2: Geleidbaarheid



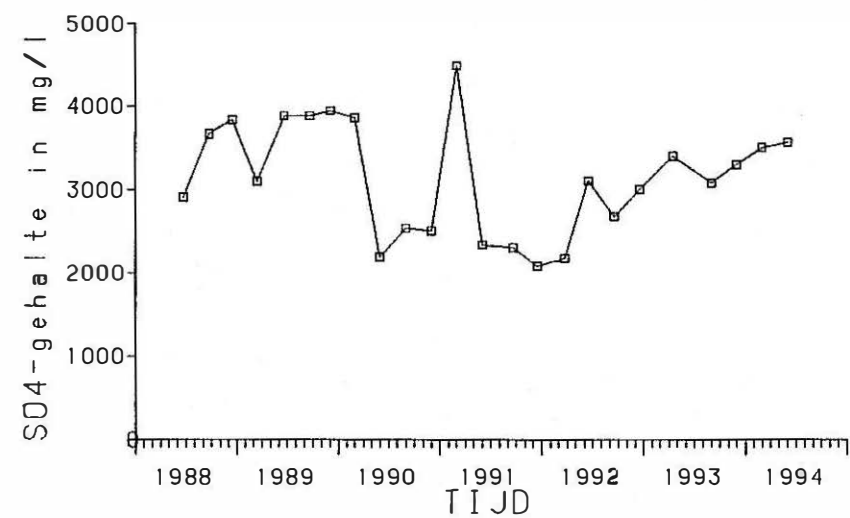
PIEZOMETER BXI-F2: Cl



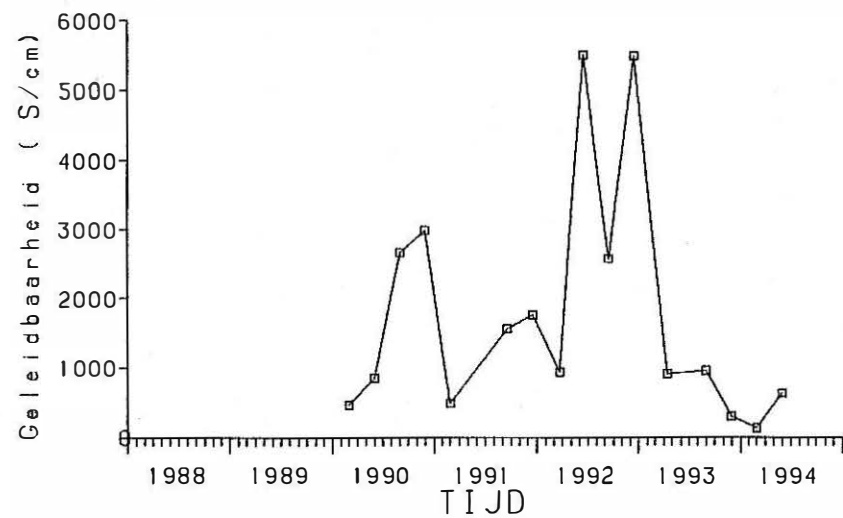
PIEZOMETER BXI-F2: Ca



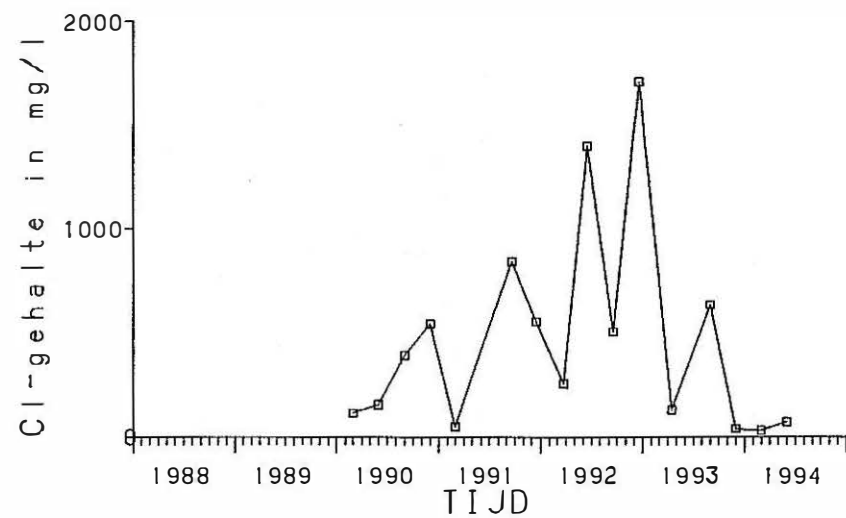
PIEZOMETER BXI-F2: SO4



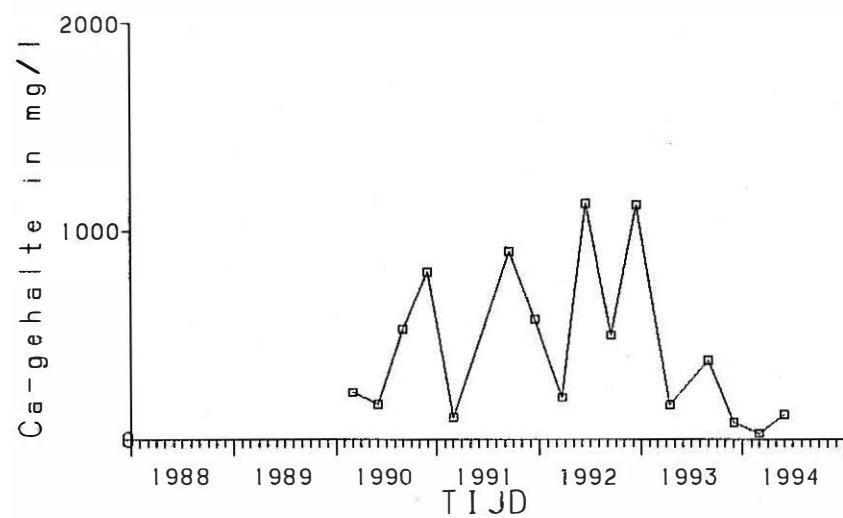
PIEZOMETER BXII-F1:Geleidbaarheid



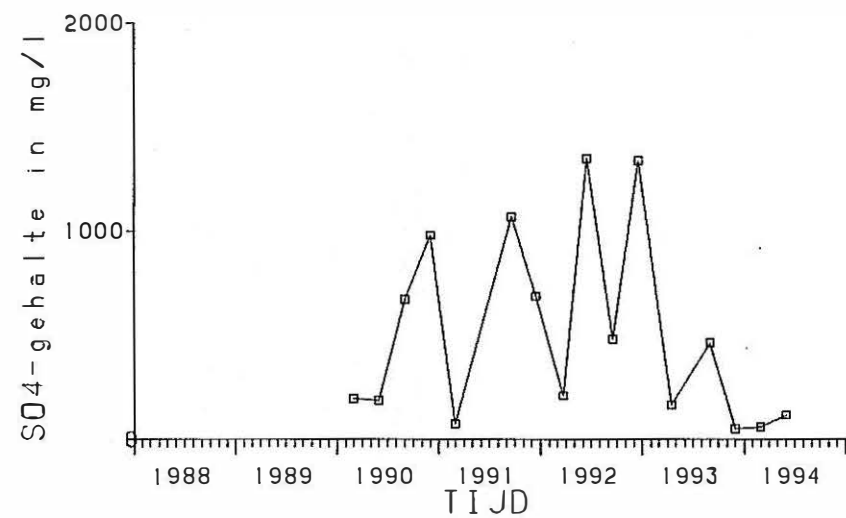
PIEZOMETER BXII-F1:Cl



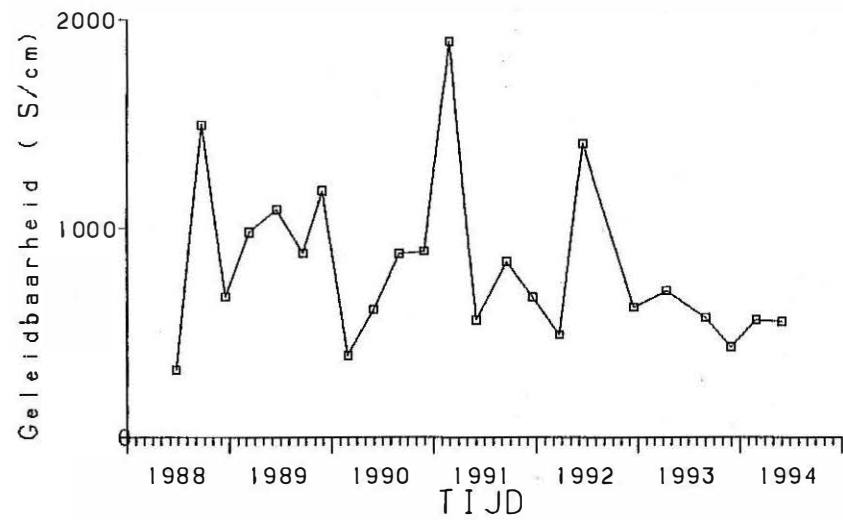
PIEZOMETER BXII-F1:Ca



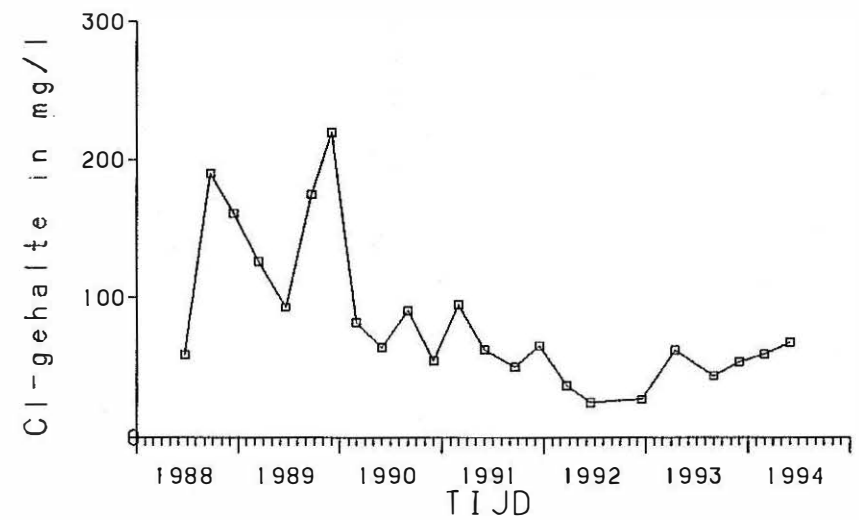
PIEZOMETER BXII-F1:S04



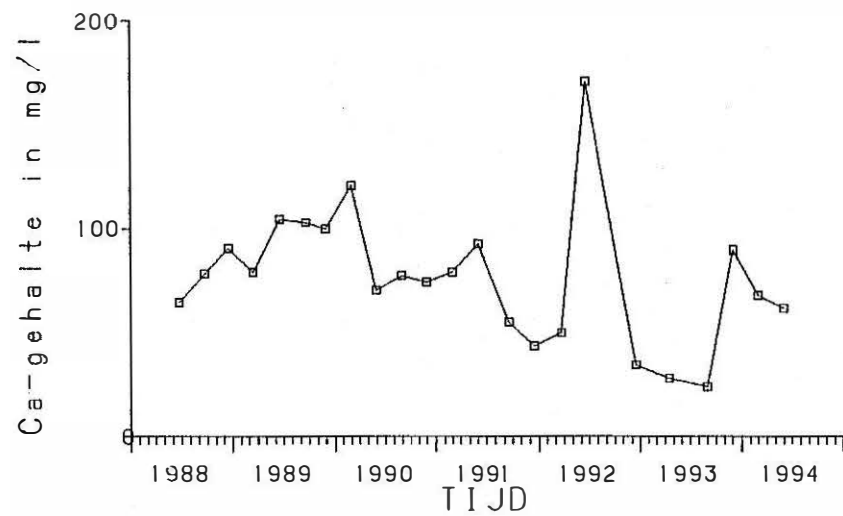
PIEZOMETER HB16: Geleidbaarheid



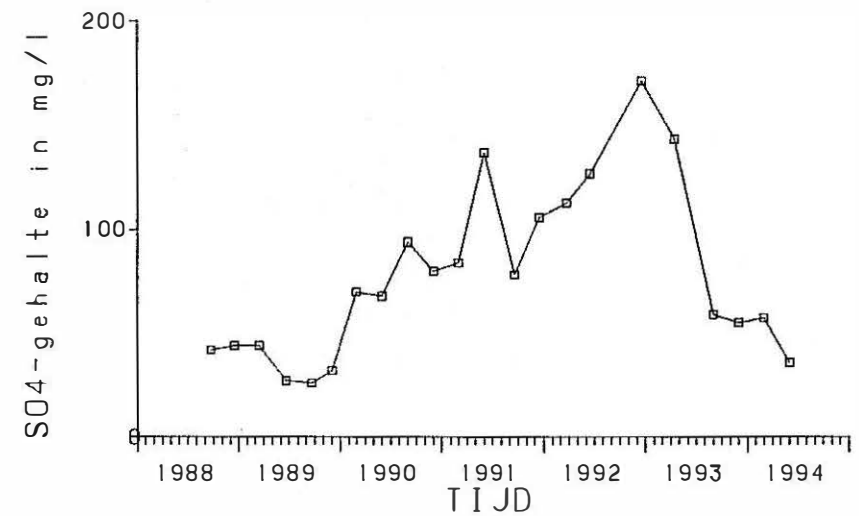
PIEZOMETER HB16: Cl



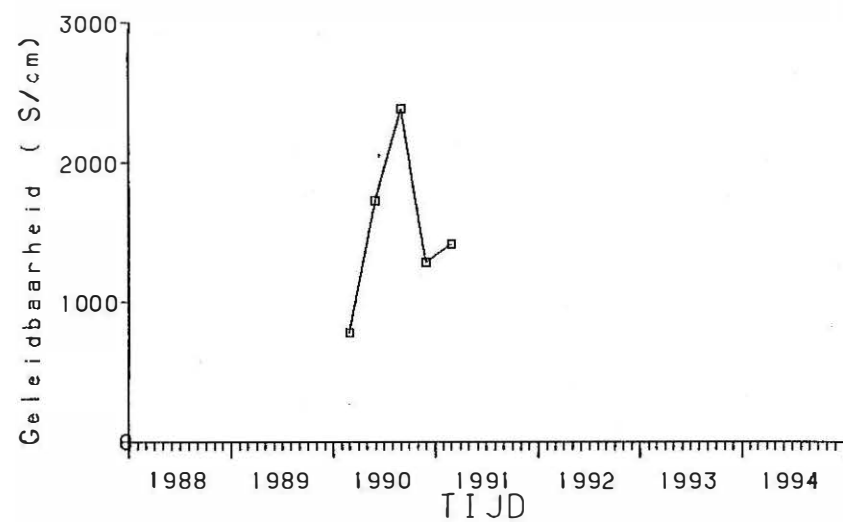
PIEZOMETER HB16: Ca



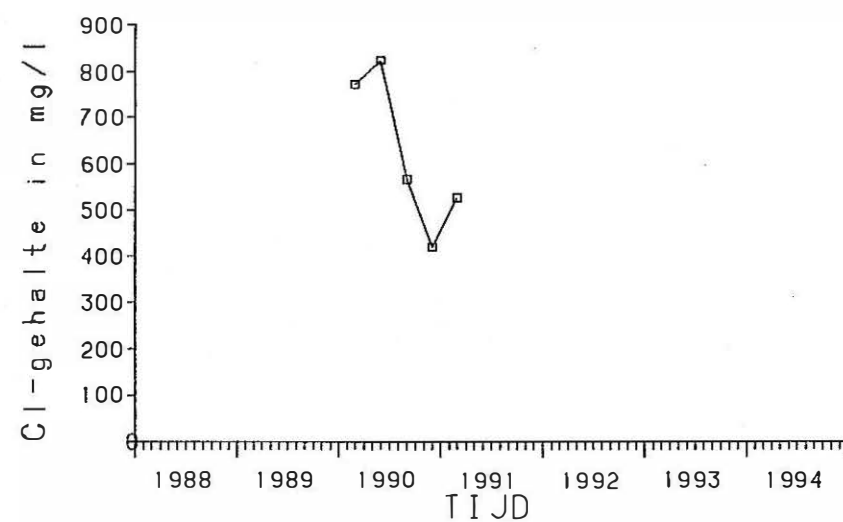
PIEZOMETER HB16: SO4



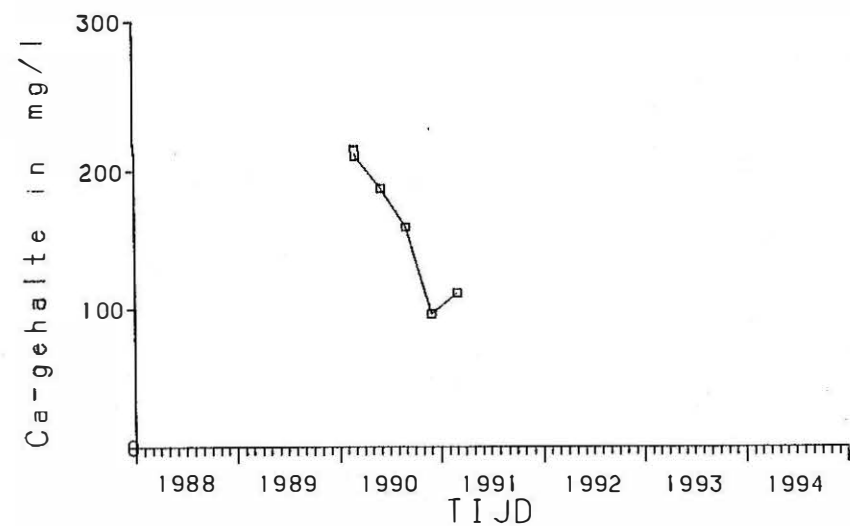
PIEZOMETER HB21: Geleidbaarheid



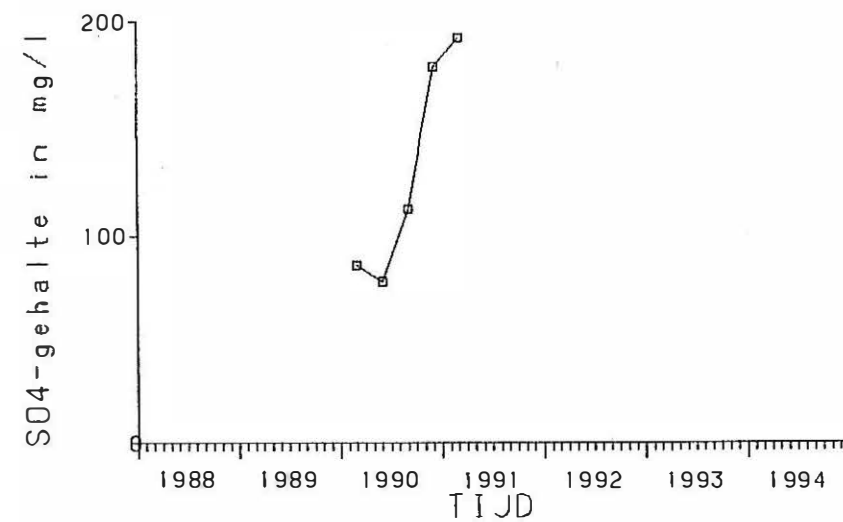
PIEZOMETER HB21: Cl



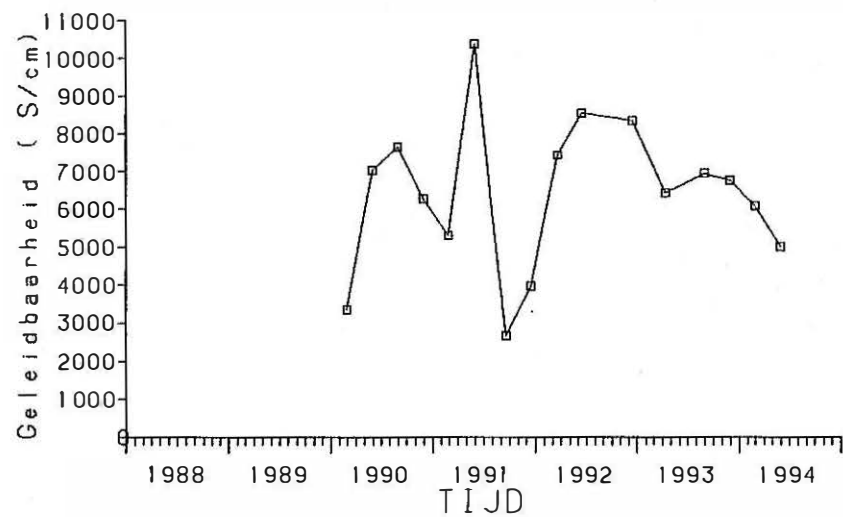
PIEZOMETER HB21: Ca



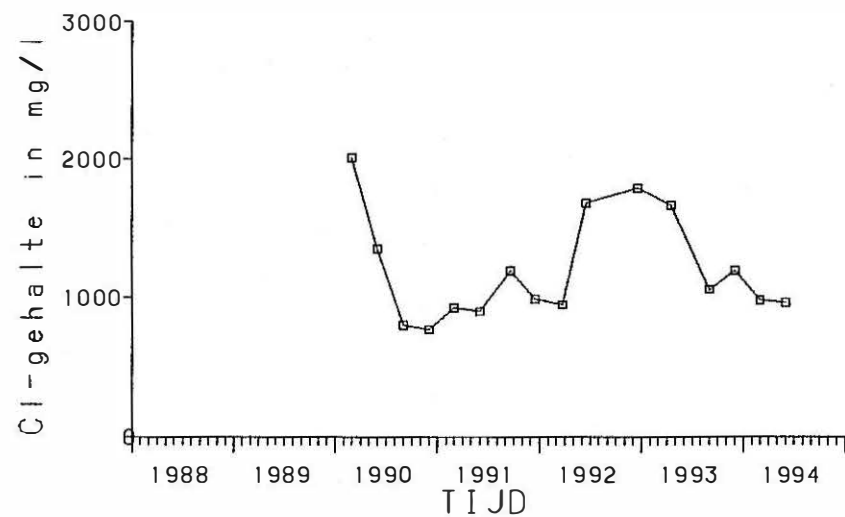
PIEZOMETER HB21: SO4



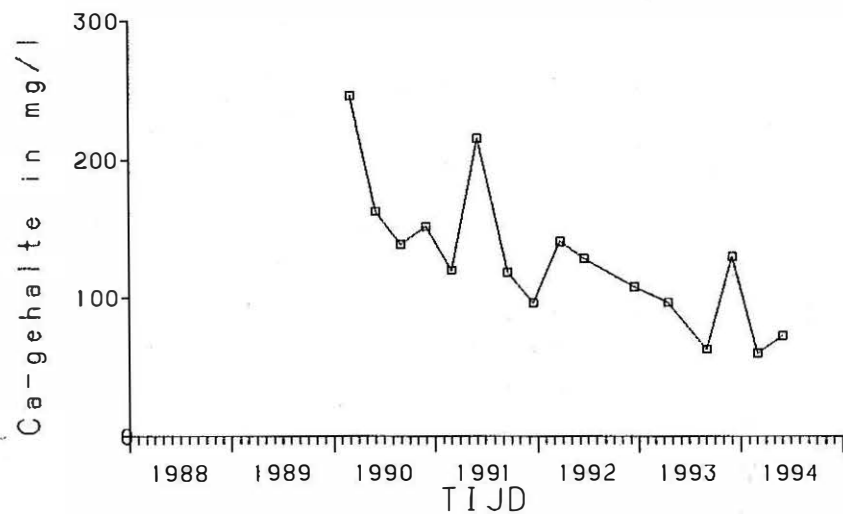
PIEZOMETER HB22: Geleidbaarheid



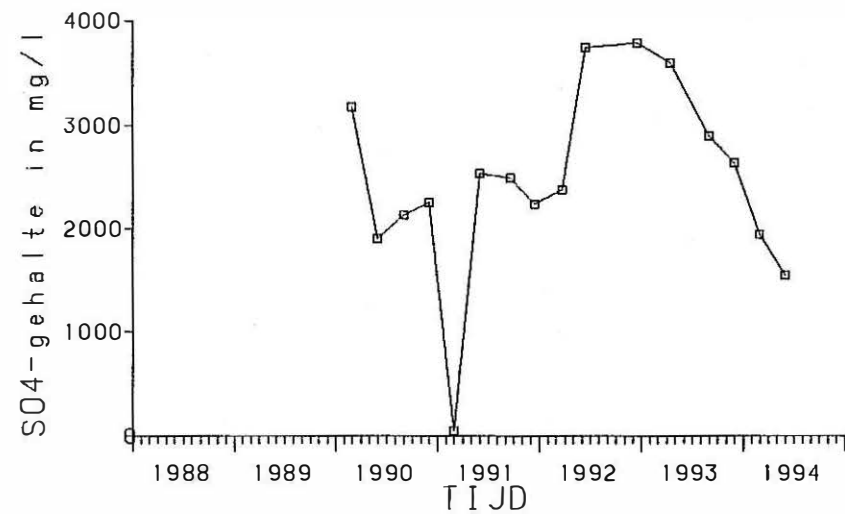
PIEZOMETER HB22: Cl



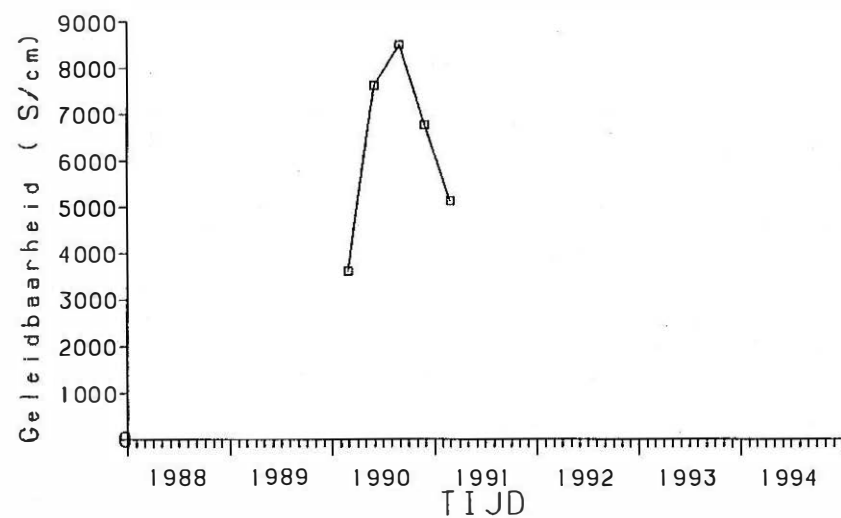
PIEZOMETER HB22: Ca



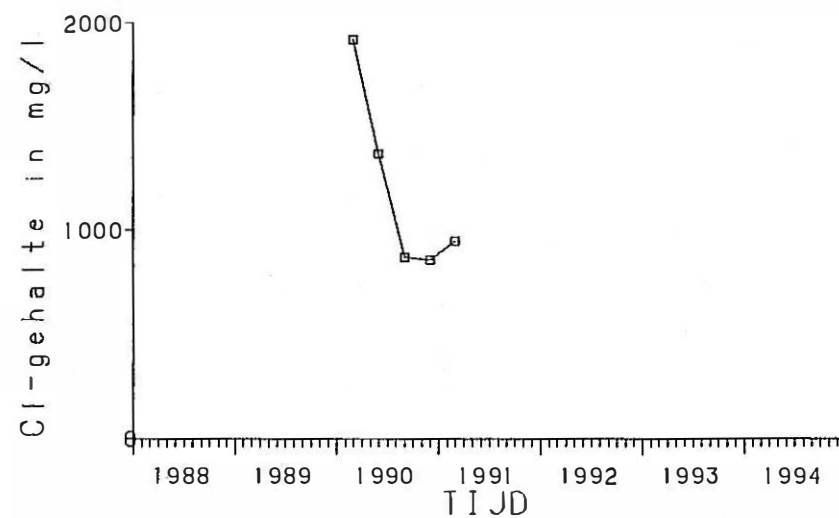
PIEZOMETER HB22: SO4



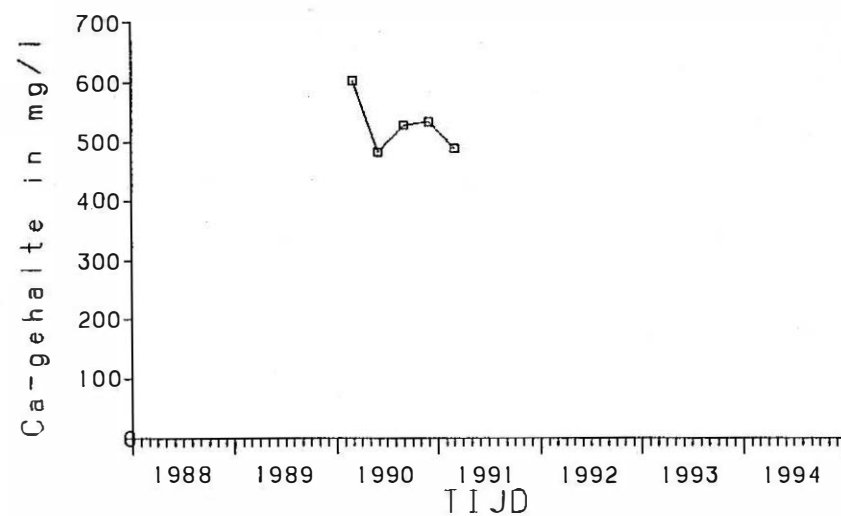
PIEZOMETER HB23: Geleidbaarheid



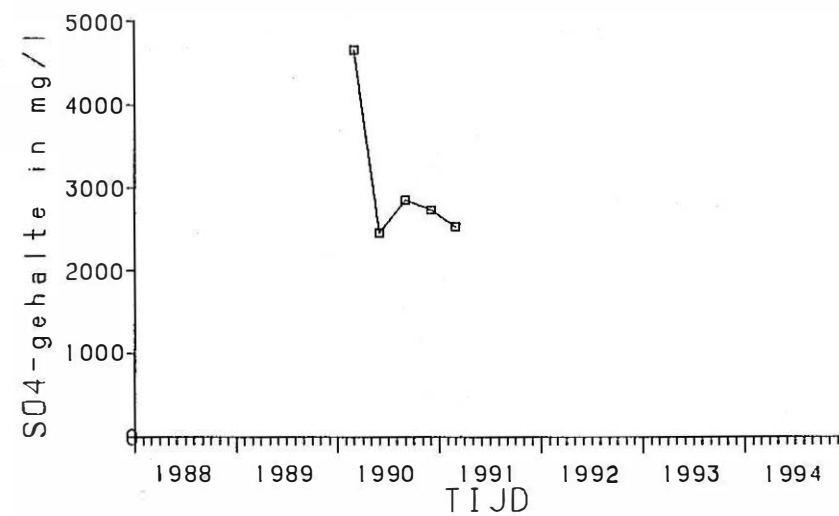
PIEZOMETER HB23: Cl



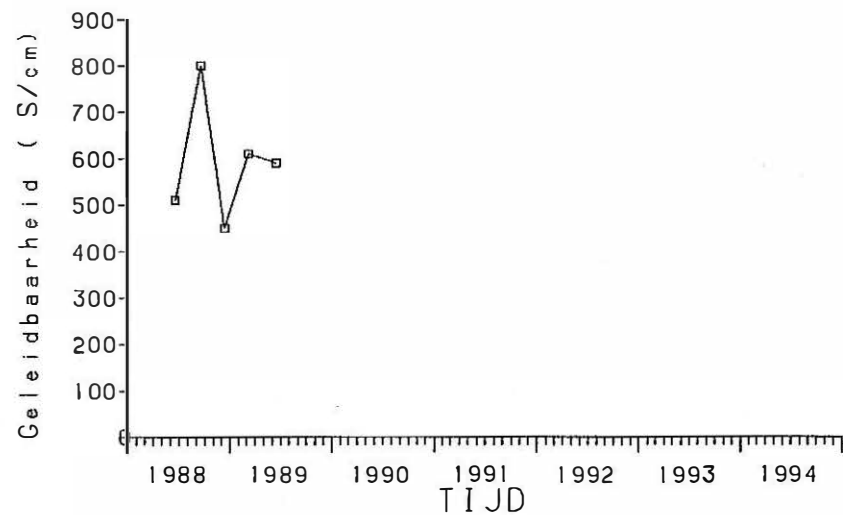
PIEZOMETER HB23: Ca



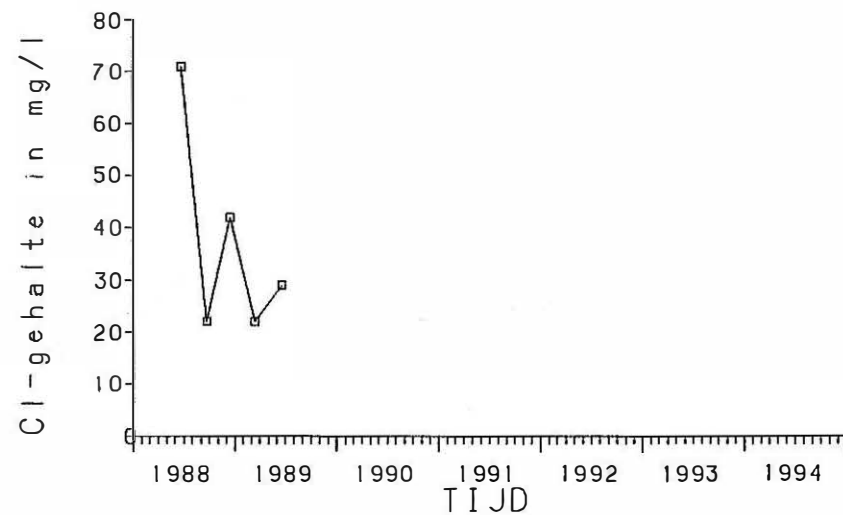
PIEZOMETER HB23: SO4



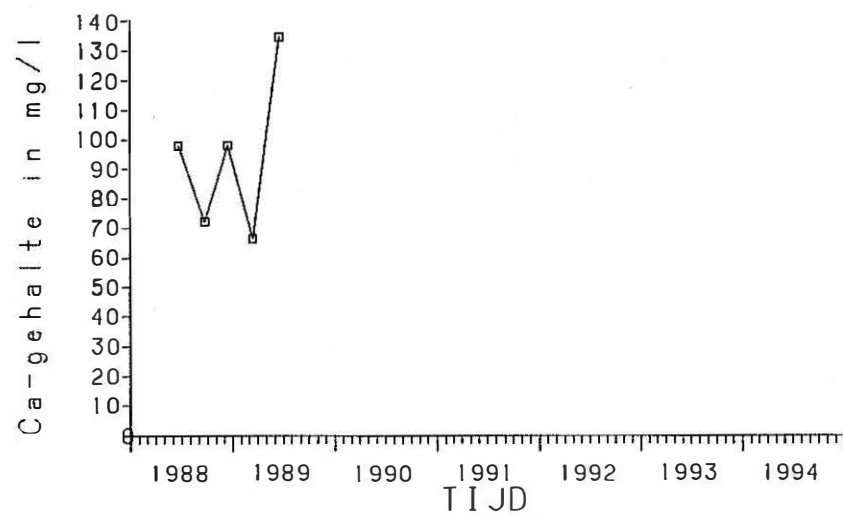
PIEZOMETER L053-F1:Geleidbaarheid



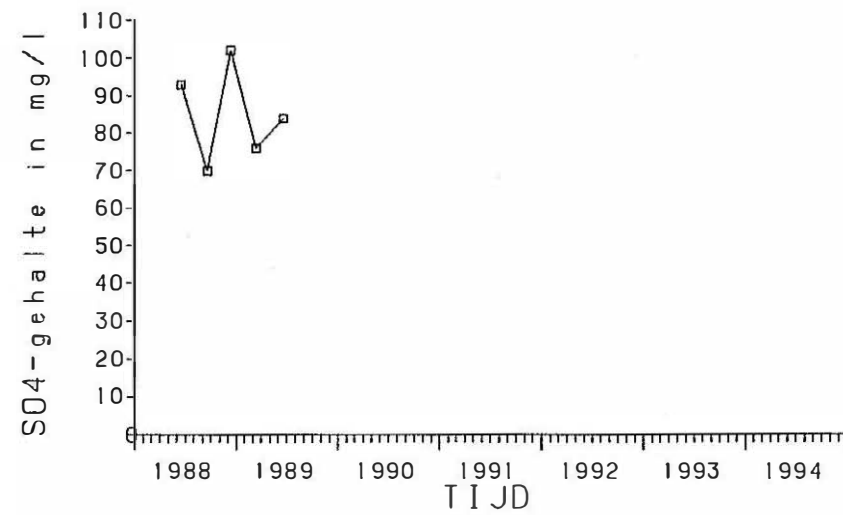
PIEZOMETER L053-F1:Cl



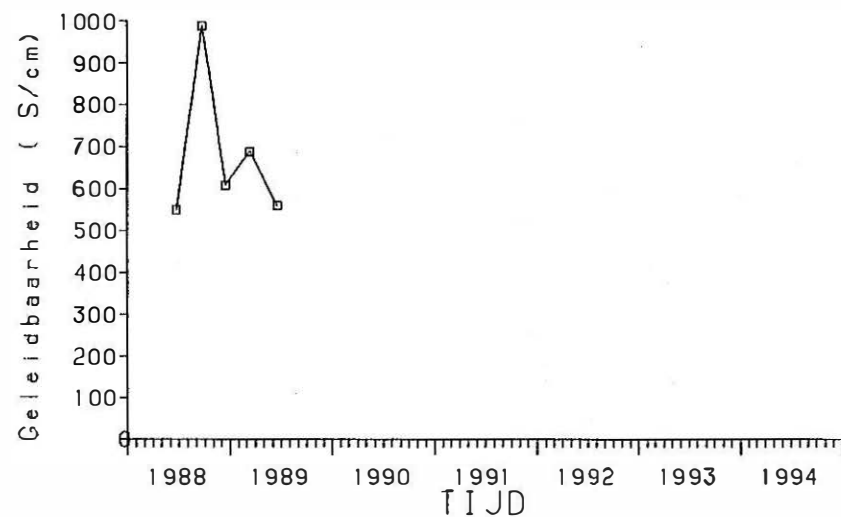
PIEZOMETER L053-F1:Ca



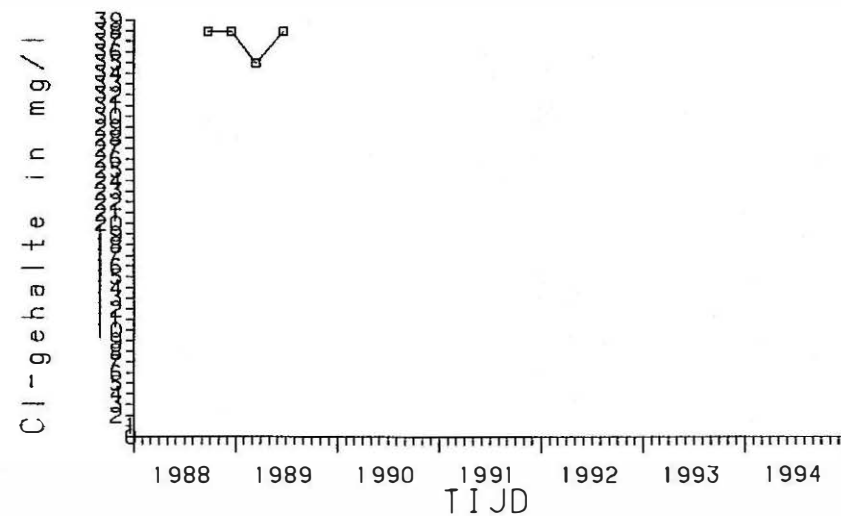
PIEZOMETER L053-F1:SO4



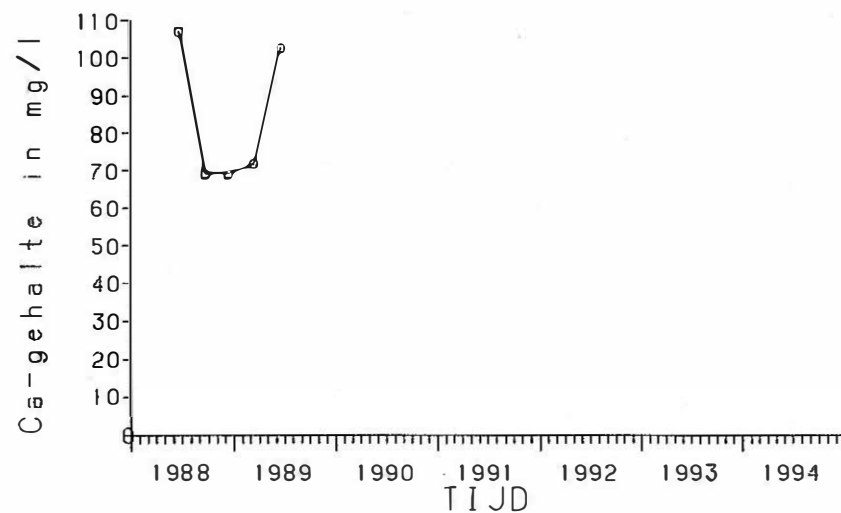
PIEZOMETER L053-F2:Geleidbaarheid



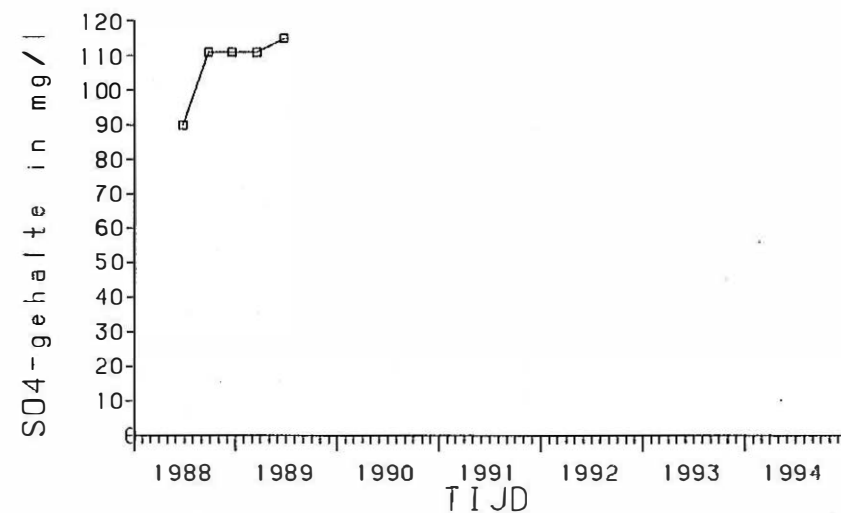
PIEZOMETER L053-F2:Cl



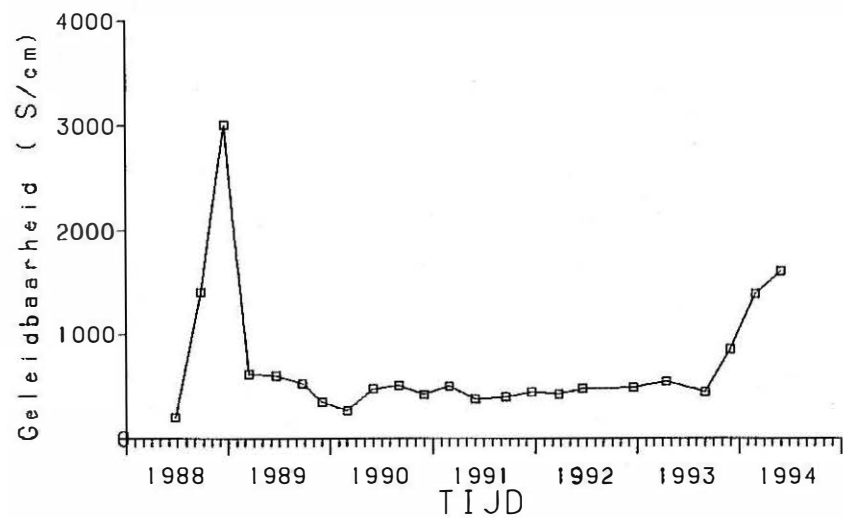
PIEZOMETER L053-F2:Ca



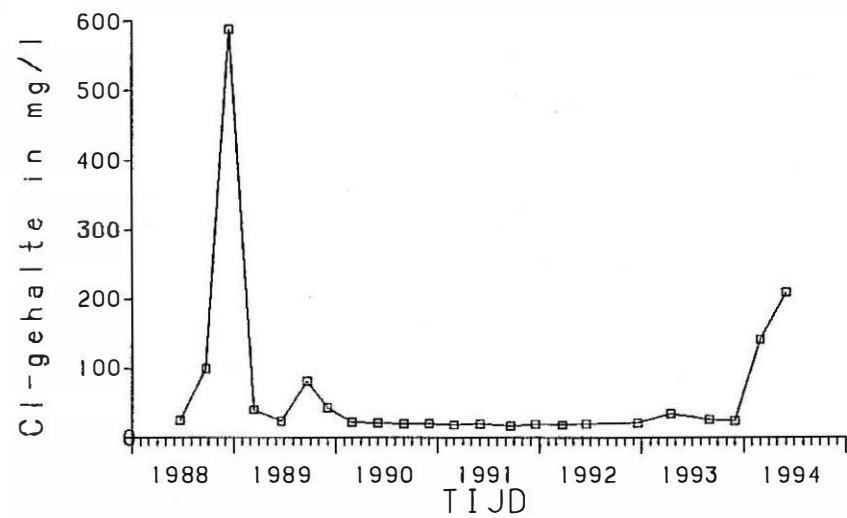
PIEZOMETER L053-F2:SO4



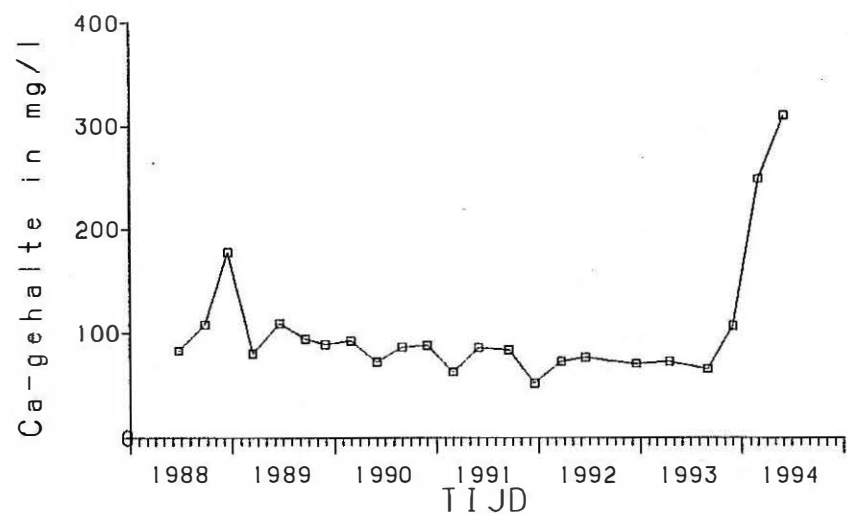
PIEZOMETER PB1: Geleidbaarheid



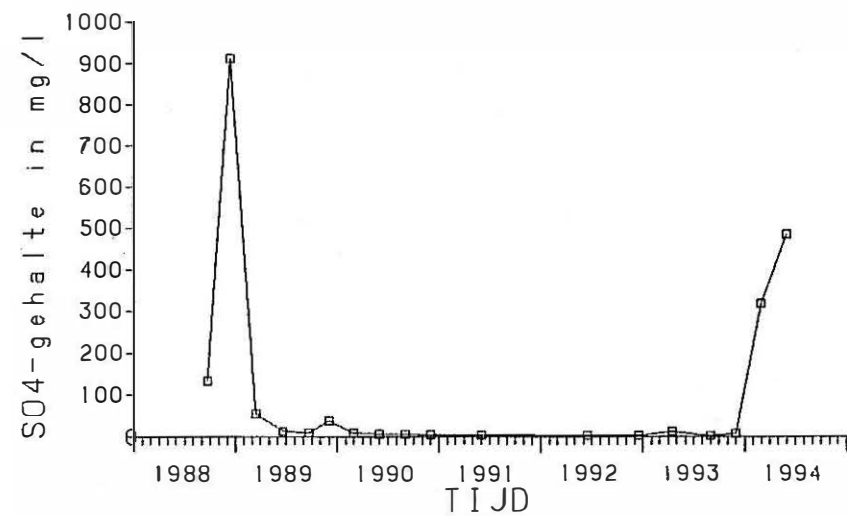
PIEZOMETER PB1: Cl



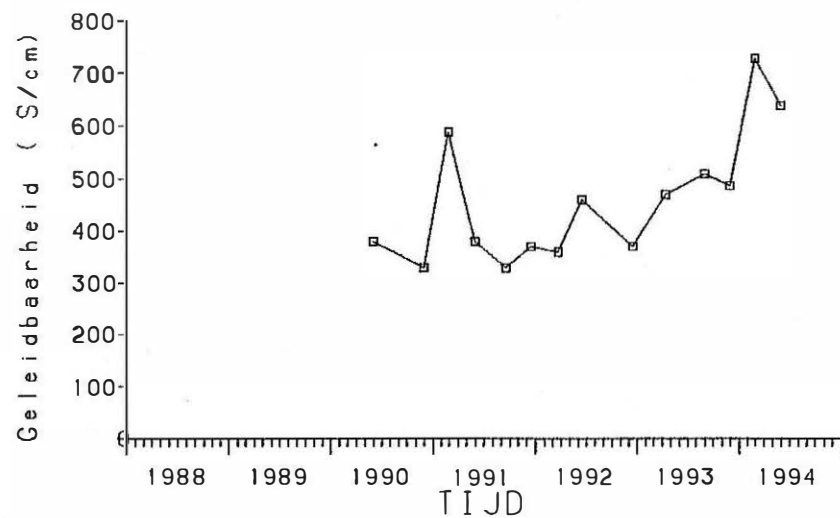
PIEZOMETER PB1: Ca



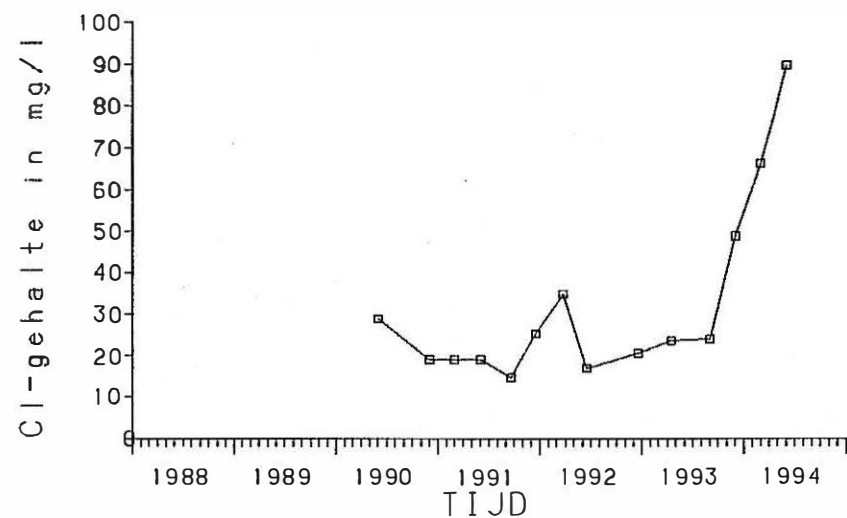
PIEZOMETER PB1: SO4



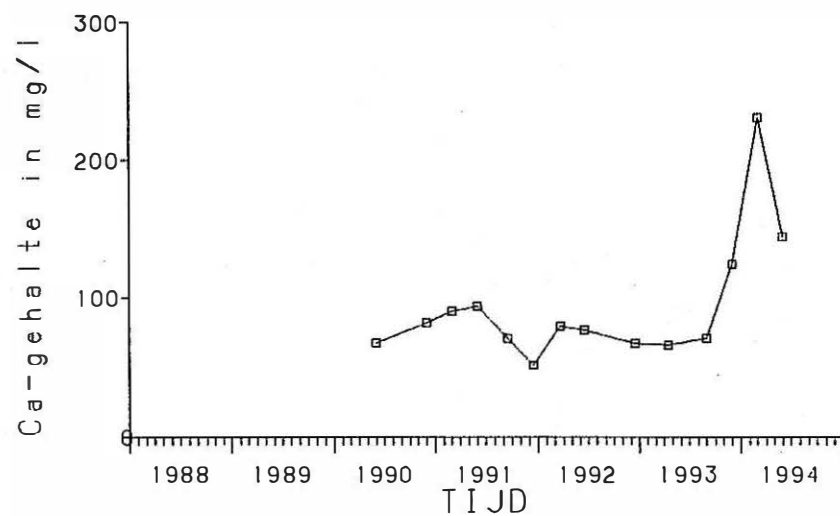
PIEZOMETER PB3: Geleidbaarheid



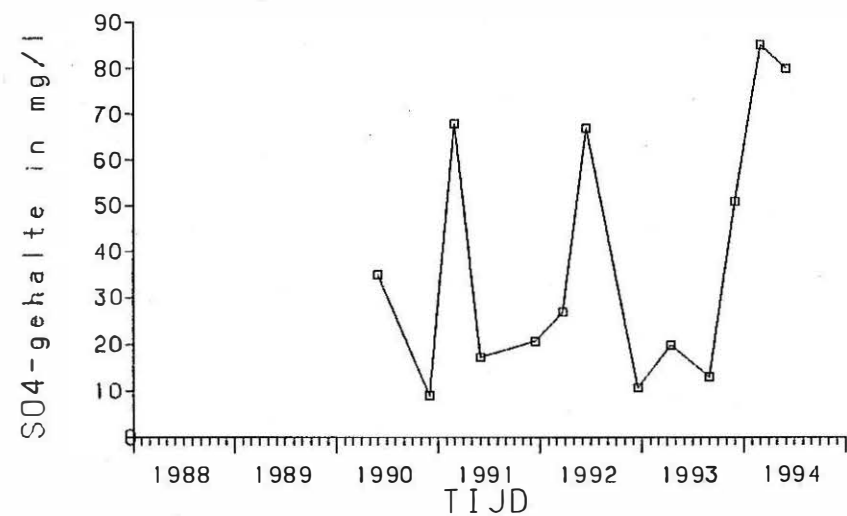
PIEZOMETER PB3: Cl



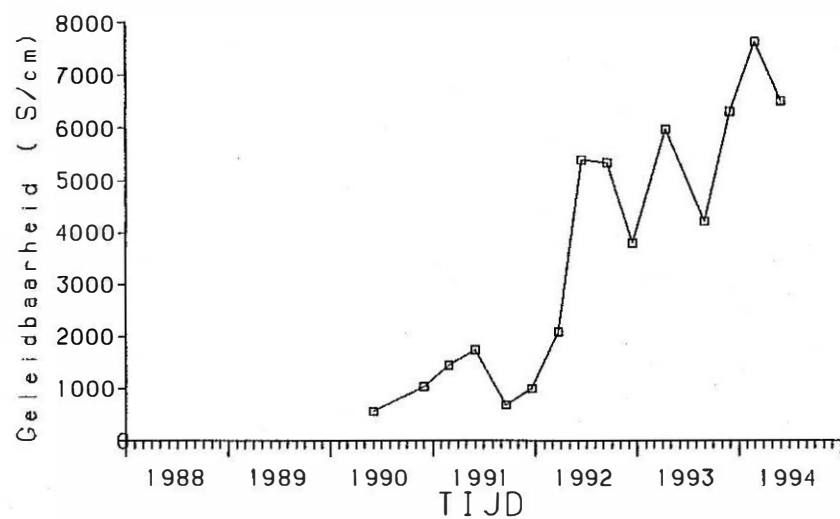
PIEZOMETER PB3: Ca



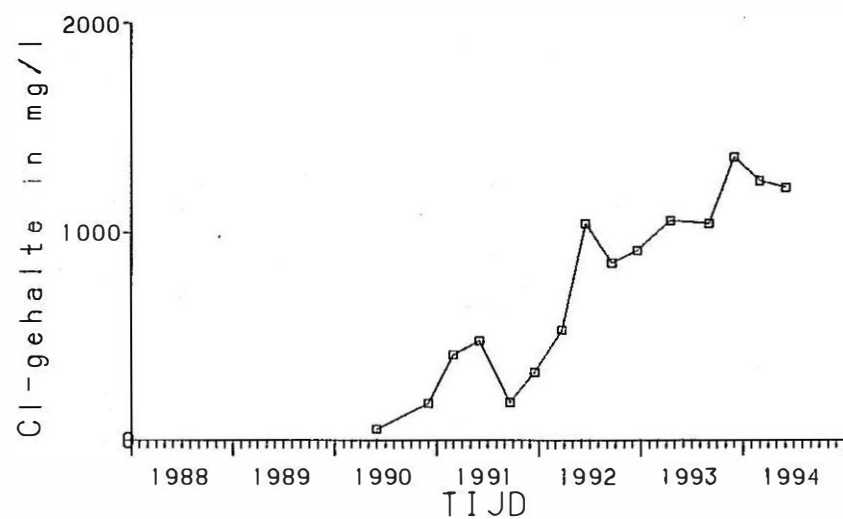
PIEZOMETER PB3: SO4



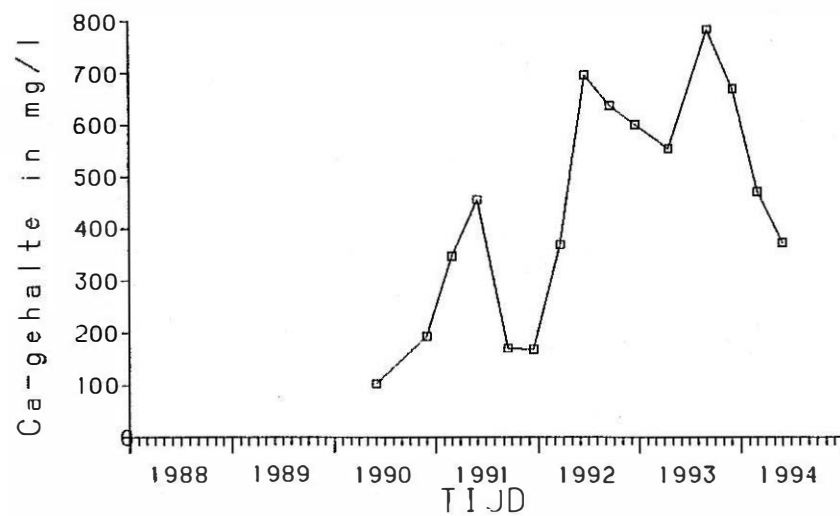
PIEZOMETER PB4: Geleidbaarheid



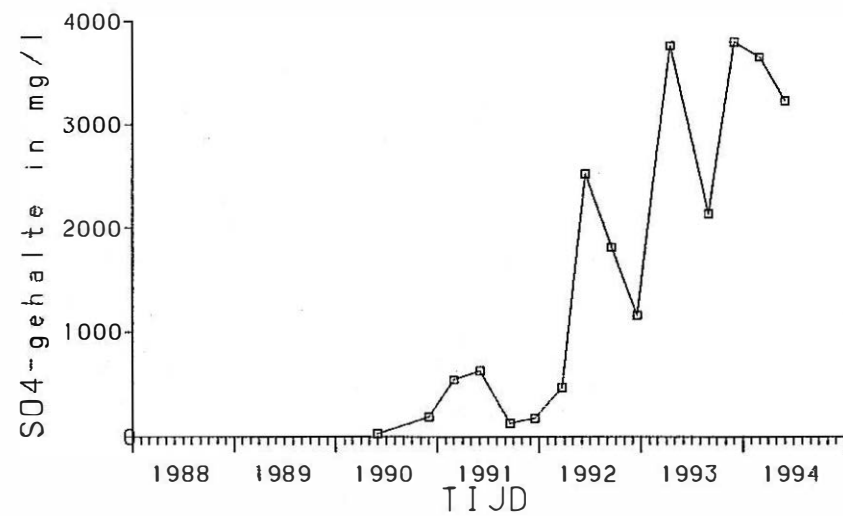
PIEZOMETER PB4: Cl



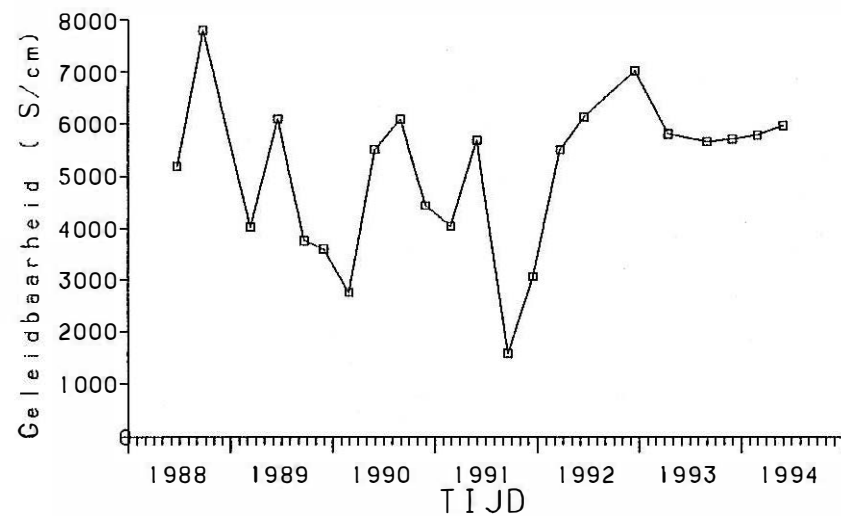
PIEZOMETER PB4: Ca



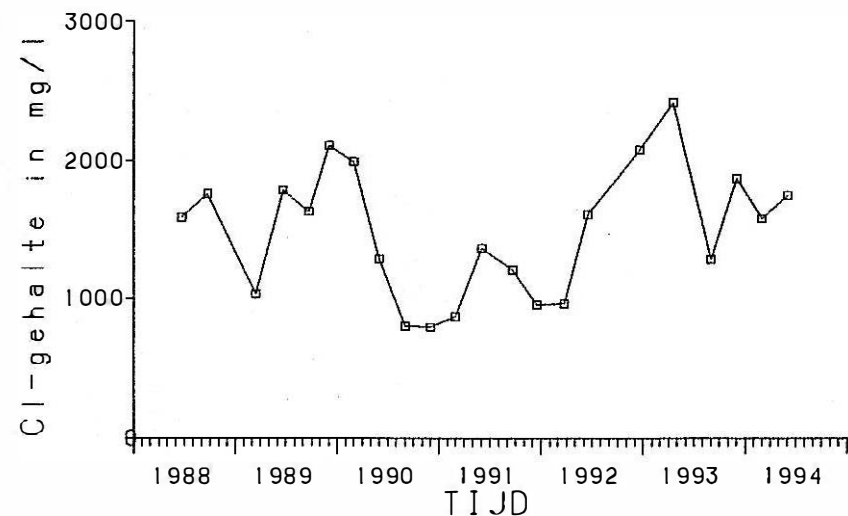
PIEZOMETER PB4: SO4



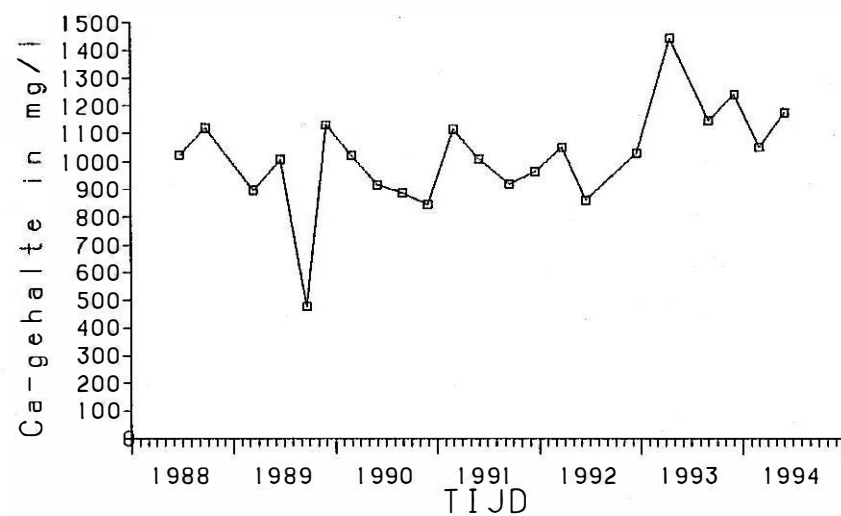
PIEZOMETER PUT8-16: Geleidbaarheid



PIEZOMETER PUT8-16: Cl



PIEZOMETER PUT8-16: Ca



PIEZOMETER PUT8-16: SO4

