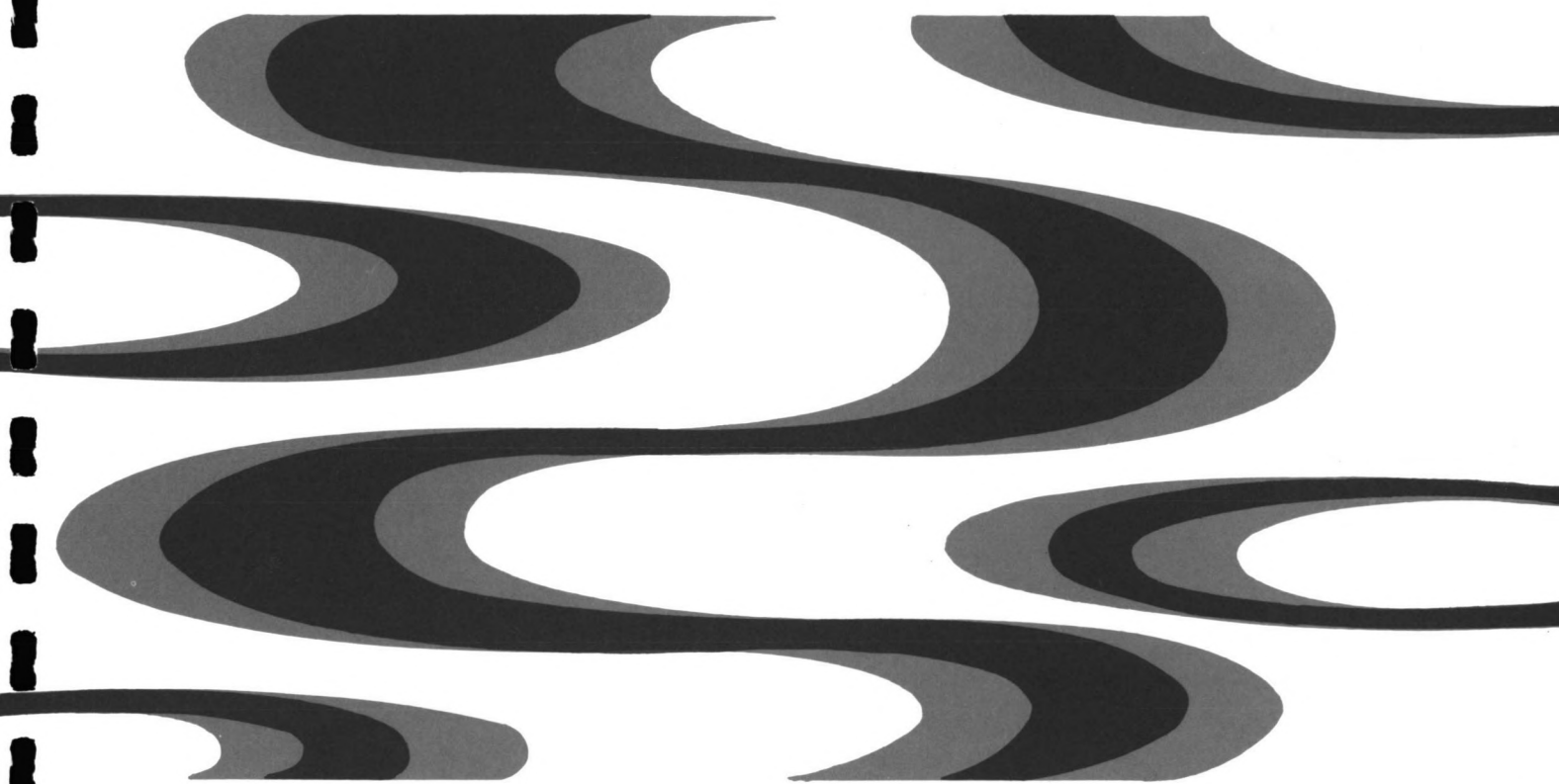


rijkswaterstaat



directie waterhuishouding
en waterbeweging
district zuidoost

Morfologische studie van
de IJssel

hoofdontwerp deel III

Flip J. M. Hoefsloot

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

Morfologische studie van de IJssel.

Hoofdontwerp deel III

Flip J.M. Hoefsloot.

Technische universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde, k. 2.91
Stevinweg 1
2628 CN DELFT

Afstudeerverslag TH-Delft.

Afdeling: Civiele Techniek

Vakgroep: Waterbouwkunde.

Docenten: Prof. Ir. J.F. Agema en

Prof. Dr. Ir. M. de Vries.

Begeleiding: Ir. J. Stuip

R.W.S. Directie Waterhuishouding en
waterbeweging, District Zuidoost.

Delft, November 1983.

Inhoudsopgave:	pagina
VII Studie Boven-IJssel	3
1 inleiding	3
2 1 detailpeilingen	4
2 verwerking detailpeilingen	5
3 meetmethode en mogelijke fouten	6
4 toevoeging van de JDP	13
5 uiteindelijke schematisatie	14
3 invloed bochtafsnijding	15
4 1 studie Waterloopkundig Laboratorium	16
2 bespreking WL-studie	20
3 vergelijking peilingen met WL-studie	21
5 model m.b.v. Ackers & White	26
6 samenvatting en conclusies	26

Bijlagen 1 t/m 52

VII Studie Boven-IJssel.

VII 1. Inleiding.

De Boven-IJssel neemt een bijzondere plaats in bij de morfologische studie. In 1969 is in dit stuk IJssel namelijk de bochtafsnijding bij Rheden-De Steeg tot stand gekomen. Met betrekking tot de morfologische gevolgen is dit een zeer interessant stuk IJssel. Aan de bochtafsnijding zijn reeds meerdere studies gewijd. Dit werd o.a. in 1970 gedaan door het Waterloopkundig Laboratorium. Door vergelijking van deze resultaten met de gedane bodempeilingen in de periode 1969-1976, kan erg veel inzicht verkregen worden in de morfologische verschijnselen.

Met name is het interessant om te weten:

- hoe groot de gemiddelde uitschuring bovenstrooms van de nieuwe bocht bedraagt;
- hoe de invloed van de bochtafsnijding zich voortplant;
- hoe snel de morfologische processen bij deze afsnijding zich voltrekken.

Tevens kan nu, achteraf, door toetsing van de resultaten bekeken worden of de destijds gedane aannamen ook tot kwantitatieve overeenstemming tussen voorspelling en werkelijk gemeten bodemliggingen hebben geleid.

Wanneer dit niet het geval zou zijn, kan dezelfde morfologische berekening opnieuw gedaan worden met andere, naar huidige inzichten betere, aannamen.

Gezien de grote hoeveelheid gegevens (met name wat betreft de bodemligging) lijkt het goed mogelijk om deze bochtafsnijding te gebruiken bij de toetsing van een morfologisch model.

VII 2. 1. Detailpeilingen

Direct na de bochtafsnijding Rheden-De Steeg (Okt. 1969), is de bodem benedenstrooms, in de nieuwe bocht en bovenstrooms tot aan de IJsselkop uitvoerig gepeild. Deze peilingen geven een uitstekend beeld van de invloed van de ingreep.

De metingen zijn gedaan van Oktober 1969 tot September 1976. Gemiddeld zijn 3 peilingen per jaar verricht, welke op dezelfde manier zijn uitgevoerd als normaal de Jaarlijkse DwarsPeilingen gedaan worden.

Op bijlag 1 is de gemiddelde bodemligging per 100 meter weergegeven voor de situatie in September 1976.

Links bevindt zich de IJsselkop, terwijl de nieuwe bocht ligt tussen km. 887 en 891. Vanaf km. 891 moet bij elke waarde op de schaal 4 km. bijgeteld worden om de juiste km.-aanduiding te krijgen, welke weer overeenkomt met de km.-aanduiding van de JDP. (voor de km.-aanduidingen zie bijlage 52).

Het bodemverloop bij deze weergave om de 100 m. is nog veel grilliger als gevolg van de duinen op de rivierbodem.

Bijlagen 2 t/m 23 geven de bodemliggingen na de bochtafsnijding weer voor diverse tijdstippen tussen Okt. 1969 en Sept. 1976. De bodemliggingen zijn per km. gemiddeld. (bijlage 23 is de gemiddelde bodemligging van bijlage 1).

Ondanks het onregelmatige verloop van de bodem op elk tijdstip, kunnen toch enkele kwalitatieve opmerkingen gemaakt worden.

- De bodem in de nieuwe bocht is niet als een rechte overgang gebaggerd, maar in een bakvorm (diepe kuil);

- In het jaar 1976 is deze diepe kuil weer opgevuld.
- Er vindt een verdieping plaats bovenstrooms van de afsnijding van ongeveer een halve meter (zeer globaal).

Om kwantitatieve conclusies te kunnen trekken zullen deze lengteprofielen verder geanalyseerd moeten worden.

VII 2. 2. Verwerking detailpeilingen.

Op bijlagen 24 t/m 26 zijn de gemiddelde bodemliggingen per km. voor de Boven-IJssel als functie van de tijd uitgezet. De gemiddelde bodemliggingen per km. variëren nogal snel in de tijd en de vraag is, door welke oorzaak dit zou kunnen komen.

Snelle veranderingen kunnen heel goed mogelijk optreden tijdens perioden van hoge afvoer.

Tussen eind 1973 en begin 1974 treden zulke snelle veranderingen op. In deze periode echter bleef de afvoer op een zeer laag niveau. Hoe kan dit verschijnsel nu wèl verklaard worden.

De bodemstijging tussen begin December 1973 en begin Maart 1974 bedraagt over 8 km. lengte ongeveer 25 cm. Bij een breedte van ongeveer 50 m. komt dit neer op een aanzanding van 100.000 m^3 in 3 maanden tijd.

Bij een aangeboden transport, dat in de orde ligt van 40.000 m^3 in een gemiddeld jaar, is deze aanzanding onmogelijk, zeker wanneer men bedenkt, dat dit juist een vrij droge periode betrof.

De enige conclusie, die hieruit getrokken kan worden, is, dat aan de uitkomsten van de peilingen geen al te grote waarde gehecht kan worden.

Opmerking:

Deze variaties in bodemligging kunnen niet verklaard worden als schijnbare veranderingen door de aanwezig-

heid van duinen. Over het eerder genoemde traject van 8 km. lengte zou dan toevallig de gemeten waterdiepte systematisch groter (of kleiner) zijn, doordat hoofdzakelijk over de dalen (resp. toppen) van de duinen wordt gepeild. Bij een duinlengte van 40 m. en een hoogte van 1,5 m. is dit wel uiterst onwaarschijnlijk. Grote aanzandingen en uitschuringen kunnen wel lokaal optreden, maar niet over grote lengten, tenzij er inderdaad sprake is van een hoge afvoer.

Grote uitschuringen kunnen ook opgetreden zijn door baggerwerkzaamheden, deze zijn echter in die tijd niet uitgevoerd in het zomerbed van de IJssel.

Om deze peilingen toch te kunnen gebruiken, moet eerst wat aandacht besteed worden aan de resultaten van de metingen.

Zoals eerder opgemerkt, treden er in sommige perioden dermate grote aanzandingen en uitschuringen op, dat de bodemligging niet juist weergegeven kan zijn.

De overblijvende conclusie moet zijn, dat dit te wijten is aan meet- of verwerkingsfouten.

Over deze meetfouten kan één en ander verteld worden, als de methode van meten bekend is.

VII 2. 3. Meetmethode en mogelijke fouten.

Voor de meting wordt een boot gebruikt, welke om de 100 m. dwars over de rivier vaart. Op een twintigtal punten wordt de diepte onder het schip gemeten m.b.v. een echolood. Deze diepten worden over de breedte gemiddeld en opgeschreven. Vóór en ná de peiling worden de peilschalen afgelezen, waarna de waterstand door lineaire interpolatie in tijd en plaats bepaald kan worden in de gevaren dwarsraai. De waterstand minus de gepeilde diepte, geeft de bodemligging in deze raai.

Zodoende wordt op elke 100 m. de gemiddelde bodemligging bepaald. Middeling over één km. vindt daarna plaats, welke gegevens als basis dienen voor de lengteprofielen.

Bij de gevolgde methode kunnen de hierna volgende fouten optreden, waarbij tevens wordt opgemerkt, welke invloed deze fouten zouden (kunnen) hebben op de bodemliggingen als onderdeel van de lengtepeilingen of de grafieken 24, 25, 26.

- Diepte onder het echolood; de geluidsgolven, welke door het echolood worden uitgezonden, worden door de bodem gereflecteerd. Bij een zachte bodem vindt deze reflectie later plaats, dan bij een hardere bodem. De te grote diepte zal echter consequent gemeten worden, uitgaande van het feit, dat het bodemmateriaal overal hetzelfde is. Deze fout kan gecorrigeerd worden door ijking en heeft geen invloed op het verloop van de bodemliggingen.
- Afstand echolood-waterspiegel; deze afstand moet regelmatig geijkt worden door op een bekende diepte onder de boot (en dus is de afstand onder de waterspiegel bekend) een stalen plaat te houden en de diepte met het echolood te bepalen. Wanneer deze afstand niet meer klopt, worden alle bodemliggingen in deze meetperiode met eenzelfde waarde verhoogd of verlaagd.
- Aflezingsfout echolood; tijdens het aflezen van het echolood kan een toevallige fout gemaakt worden, welke echter door het grote aantal middelingen (ongeveer 20 in de breedte en 10 in de lengte voor een gemiddelde bodemligging per km.) teniet gedaan wordt.
- Aflezingsfout peilschaal; de waterstand aan de peilschaal kan om diverse redenen verkeerd worden weergegeven.

Stel dat de waterstand aan een peilschaal te hoog wordt genomen (bijlage 27). De fout in de waterdiepte neemt vanaf de goede peilschaalwaarneming lineair toe tot de verkeerd afgelezen peilschaal, waar de fout in de bodemligging gelijk is aan de aflezingsfout.

Zoals uit het plaatje blijkt, strekt de fout in een peilschaalaflezing zich naar beide zijden uit. Dit hoeft echter niet per sé wanneer men bedenkt, dat het ene peilschaalvak op een andere dag gevaren kan zijn, dan het andere vak. Het is zelfs mogelijk, dat halverwege het vak de metingen worden onderbroken, zodat de toestand van bijlage 27 ook mogelijk is. Een fout zoals hier voorgesteld kan b.v. opgetreden zijn bij de metingen van Maart 1973. Hier zit vanaf km. 879-880 een toenemende deuk in de bodemliggingen t/m km. 888-889. De oorzaak hiervan zou een 0,60 m te lage waarde van de waterstand aan de peilschaal De Steeg kunnen zijn.

Met enige fantasie kunnen meerdere van deze fouten opgetreden zijn, zoals deze gehaald kunnen worden uit de grafieken 24, 25, 26. Zékerheid over het al of niet opgetreden zijn van een peilschaal fout bestaat echter niet.

Een enkele toevallige fout in de waterstand is niet aannemelijk, daar de waterstanden om de 100 m. onder elkaar worden opgeschreven en deze staat een mooi aflopende rij getallen vormt.

- Fout in de waterstand door snelle was of val; wanneer alleen de waterstand opgenomen wordt voordat de metingen beginnen, kan de waterspiegel bij snelle was of val verkeerd worden weergegeven (een stijging van 0,7 m in 24 uur kán voorkomen).

De afwijkingen tussen metingen en werkelijke waarde nemen dan in de loop van de dag toe. Het resultaat op de grafieken 24, 25, 26, is hetzelfde als een foute peilschaalweergave.

- Bij de peilingen wordt er in dwarsraaien over de rivier gevaren in principe tot aan de normaallijnen. Bij een continue oeververdediging (welke op de Boven-IJssel voor een groot deel aanwezig is) is het afhankelijk van de waterstand tot hoever er tot de normaallijn gevaren kan worden. Bij hoge waterstanden wordt dan tevens een deel van het talud gepeild, waardoor de gemiddelde bodemligging in deze raai hoger komt te liggen dan bij een lagere waterstand.

Bij het verwerken van de gegevens kunnen ook nog enkele fouten ontstaan:

- Rekenfout in de som waterstand minus waterdiepte. Een op deze manier ontstane fout wordt verwaarloosbaar door uitmiddeling.
- De resultaten van elke detailpeiling zijn in dit geval uitgezet in 4 grafieken (elke 100 m. één punt). De aflezing van deze grafieken diende weer als uitgangspunt voor verdere verwerking van de bodemliggingen. Uitzetting en aflezing van deze prenten kan (naast toevallige fouten, welke sterk gedempt worden door middeling per km.) zeer wel aanleiding hebben gegeven tot een foute weergave van het referentieniveau NAP over één hele grafiek.

De trajecten waren als volgt verdeeld:

km. 878 - 882
882 - 887
887 - 891
891 - 898

Een systematische fout in het NAP komt dus tot uit-

drukking in een gelijkmatige bodemsprong in één van deze trajecten.

- Hierna zijn de bodemliggingen m.b.v. de computer per km. gemiddeld, geplot en afgedrukt.
Bij het uitzetten van de grafieken 24, 25, 26 kunnen ook nog enkele foutjes zijn opgetreden.

Uit bovenstaande beschouwing blijkt, dat op diverse manieren de bodemligging verkeerd kan worden weergegeven.

Wanneer de grafieken 24, 25, 26 op dergelijke fouten bekeken worden, blijkt nergens met enige zekerheid, dat één van bovenstaande fouten is opgetreden.

De nauwkeurigheid van de gemiddelde bodemligging per km. is afhankelijk van:

- de peilmethode - stochastische fout 0 (0,10 m)
- systematische fout 0 (0,05 m)
- de plaatsbepalingsmethode - diepte fout
stochastisch 0 (0,50 m)
- diepte fout
systematisch 0 (0,05 m)
- middelingsmethode.

In één km. vinden 200 peilingen plaats. Hierdoor wordt de fout in de gemiddelde bodemligging als volgt opgebouwd:

- de peilmethode - stochastische fout 0 (0,007 m)
- systematische fout 0 (0,050 m)
- de plaatsbepalingsmethode - stoch.fout 0 (0,035 m)
- syst. fout 0 (0,050 m)
- Totale fout 0 (0,15 m)

Deze detailpeilingen kunnen dan ook niet zomaar dienen als basis voor een berekening of vergelijking.

Eén peiling als uitgangspunt is erg onbetrouwbaar en een vergelijking van berekende resultaten met één

peiling mag ook niet gedaan worden.

Om kwantitatieve conclusies te kunnen trekken wordt voor verschillende jaren één lengteprofiel geconstrueerd als volgt:

- In de grafieken van de gemiddelden per km. in de tijd wordt voor elke km. een lijn ingetekend, welke representatief wordt geacht voor het bodemverloop van deze km. in de tijd.
- Voor verschillende jaren wordt de bodemhoogte op 1 Juli genomen, welke bodemhoogte de gemiddelde bodemhoogte van die km. in dat jaar voorstelt.
- Op deze manier kan voor elk jaar een lengteprofiel worden samengesteld, welke redelijkerwijs representatief gesteld kan worden als de gemiddelde bodemligging van dat jaar.

De op deze manier ontstane lengteprofielen zijn getekend op de bijlagen 28 t/m 33 voor de jaren 1969, '70, '71, '72, '74 en '76. De onregelmatigheden, welke in de tijd optraden (welke onmogelijke aanzandingen en uitschuringen gaven) zijn hiermee geëlimineerd.

Om de grootte van de aanzandingen en uitschuringen te kunnen bepalen, worden ook deze lengteprofielen geschematiseerd door enkele rechte lijnen.

Boven- en benedenstrooms van de kuil wordt de bodem met één rechte lijn weergegeven, terwijl de kuil zelf door enkele rechten beschreven wordt.

Opmerkingen m.b.t. de gedane schematisatie.

De gemiddelde bodemligging per km. als functie van de tijd is geschematiseerd door enkele rechte lijnen, waarbij de volgende overwegingen een rol speelden:

- de schematisatie tot één rechte lijn is onmogelijk omdat bekend is, dat een rechtlijnige bodemverandering in de tijd fysisch onmogelijk is (juist bij een bochtafsnijding).

- Door de middeling later van de lengteprofielen van de diverse jaren zal de invloed van een foute beschrijving van het verloop van één km. in de tijd geen grote invloed hebben op het uiteindelijke lengteprofiel.
- Een schematisatie van de situatie direct na de bochtafsnijding (Okt. 1969) is wèl gemaakt, hoewel er slechts één peiling in deze periode is en een extrapolatie van 1970 naar 1969 onbetrouwbaar is, omdat in deze periode de bodemveranderingen vast en zeker snel zijn opgetreden.

De schematisatie van de lengteprofielen tot enkele rechten gebeurde op grond van de volgende overwegingen:

- In de evenwichtssituatie zal de bodemligging over een beperkt traject (b.v. 20 km.) inderdaad een rechte lijn zijn, wanneer de invloed van de breedte van het HW-bed uitgemiddeld wordt.
- De kuil moet beschreven worden zolang deze aanwezig is.
- Het belangrijkste van de beschouwing is:
 - a - Hoe groot is de gemiddelde uitschuring bovenstrooms van de bochtafsnijding;
 - b - In welk tempo voltrok zich dit proces;
 - c - Beschrijving van de verplaatsing en vervorming (opvulling van de kuil);
 - d - Zijn er invloeden te onderscheiden, welke aan de in werking getreden Rijnkanalisatie zijn toe te schrijven.
- De bodemhelling benedenstrooms van de kuil is zolang de kuil nog aanwezig is, onmogelijk nauwkeurig te schematiseren, omdat hiervoor het aantal kilometers te klein is.

VII 2. 4. Toevoeging van de JDP aan de detailpeilingen.

Behalve deze serie detailpeilingen van de Boven-IJssel zijn er nog de jaarlijkse dwarspeilingen (JDP).

Een studie van de veranderingen onder invloed van de bochtafsnijding Rheden-De Steeg, kan niet uitgevoerd worden met alléén de JDP, omdat juist in de jaren '70 t/m '76 het interessante gebied maar 3 keer gepeild is. Wel kunnen de volgende gegevens gebruikt worden:

- JDP van 1958, 1964, 1968 en 1969; hieruit kan de situatie vóór de ingreep gehaald worden. Van deze jaren zijn de bodemliggingen per km. in tabelvorm beschikbaar. (gemiddelde op bijlage 34).
- JDP van 1971, 1974, en 1975; deze peilingen kunnen ter vergelijking met de detailpeilingen gebruikt worden (bijlagen 35, 36 en 37).
- JDP van 1977 t/m 1981; aangezien het uitschuringsproces bovenstrooms van de ingreep en de aanzanding van de kuil zich al in 1976 voltrokken hebben, kan aan de hand van deze JDP een gemiddelde eindsituatie beschreven worden (gemiddelde op bijlage 38).
Daar in deze periode van 5 jaar geen systematische bodemverandering waarneembaar is, kan eenvoudig het gemiddelde genomen worden, zijnde representatief voor deze periode.

Vergelijking van de JDP met de DP in dezelfde periode, laten opmerkelijke verschillen zien (vergelijk de JDP van 1971, 1974 en 1975 met de DP uit deze jaren; resp. bijlage 8 - 17 en 20).

De jaarlijkse dwarspeilingen liggen systematisch ongeveer 30 cm. hoger dan de detailpeilingen.

Een verklaring voor dit verschijnsel zou kunnen zijn, dat de detailpeilingen niet plaatsvonden tot aan de normaallijnen van de rivier, maar over een kleinere

breedte. Op deze manier wordt bij een continue oeververdediging (wat op de Boven-IJssel voor een deel voorkomt) een lagere gemiddelde bodemligging berekend, dan wanneer er zo dicht mogelijk tot de oever gepeild wordt. De detailpeilingen passen echter wel goed bij elkáár. Aangezien de jaarlijkse dwarspeilingen over een grotere periode steeds gedaan zijn en onderling goed bij elkaar passen, is het aannemelijk, dat deze bodemliggingen juist zijn.

De bodemliggingen van alle detailpeilingen worden met 30 cm. verhoogd in de hoop, dat hiermee de werkelijkheid goed beschreven wordt.

Op de bijlagen 28 t/m 33 is de nieuwe schaalverdeling aangebracht.

VII 2. 5. Uiteindelijke schematisatie.

De geschematiseerde lengteprofielen van Okt. 1969, 1970, 1971, 1972, 1974 en 1976 zijn getekend op bijlage 39.

Bij de schematisatie van 1969 is buiten de nieuwe bocht het gemiddelde lengteprofiel van de jaren '58, '64, '68 en '69 (uit de JDP) genomen.

De schematisatie van 1976 is gelijk aan de gemiddelde bodemligging van de jaren 1977 t/m 1981 (uit de JDP)

Opmerking:

De bodemliggingen ter plaatse van de peilschalen kunnen vergeleken worden met de eerder gevonden geschematiseerde waarden (zie hoofdstuk IV 2.) bijlage 8, van deel II.

De beginsituatie in 1969 geeft aan de IJsselkop te hoge bodemliggingen, daar deze was opgehangen aan het gemiddelde van de jaren '58, '64, '68 en '69, in welke

periode de bodemligging aan de IJsselkop wat hoger was.

Aan de IJsselkop is de eindsituatie in overeenstemming met de eerder gedane schematisatie.

Bij Doesburg gaat de bodem in de beschouwde periode omlaag van 2,45 m.+ NAP tot 2,00 m.+ NAP; in de schematisatie van de JDP treedt ongeveer hetzelfde op. De bodemligging bij De Steeg is niet zo eenvoudig terug te vinden, omdat de kuil in de eerder gedane schematisatie "weggemiddeld" is.

De aannname, dat de gemiddelde bodemligging van de jaren 1977 t/m 1981 representatief is voor 1976, is niet geheel juist, zoals blijkt uit bijlage 8 van deel II, waar na 1976 nog een deel van de bodemdaling plaats vindt.

Evenzo is de beginsituatie (gem. van '58, '64, '68 en '69) ook niet helemaal reëel; voor de voortplanting en opvulling van de kuil is dit echter niet belangrijk.

VII 3. Invloed bochtafsnijding.

Uit de lengteprofielen kunnen de volgende invloeden van de bochtafsnijding (eventueel inclusief invloed Rijnkanalisatie) gehaald worden:

- De gebaggerde nieuwe bocht, welke als een kuil in de lengteprofielen tot uitdrukking komt, is na een periode van 6 jaar weer geheel opgevuld.
- Bovenstrooms van de nieuwe bocht vindt een gemiddelde uitschuring plaats van 70 cm. in 6 jaar.
- Benedenstrooms vindt een gemiddelde uitschuring plaats van 25 cm. in 6 jaar.
- Bij een gemiddeld verhang van $i = 1,3 \cdot 10^{-4}$ zou een uitschuring, bovenstrooms, te verwachten zijn van 50 cm. (inkorting 4020 m). Dit is ongeveer het verschil tussen de boven- en benedenstroomse

uitschuring, zodat geconcludeerd kan worden, dat:

- bovenstrooms van de nieuwe bocht heeft een uitschuring van 50 cm. plaats gevonden als gevolg van de inkorting; én
 - de hele Boven-IJssel is in deze periode 20 à 25 cm. uitgeschuurd.
- De vervorming van de kuil vindt in grote lijnen plaats zoals op theoretische gronden en soortgelijke computerberekeningen te verwachten was (bijlage 40 geeft een soortgelijke berekening met programma "Benue").

VII 4. 1. Studie Waterloopkundig Laboratorium.

Zoals eerder vermeld heeft het WL een studie verricht naar de morfologische gevolgen van de bochtafsnijding Rheden-De Steeg in 1970 (rapport W 30 II 1970).

In dit rapport worden de resultaten gegeven van een wiskundig morfologische berekening welke dus direct getoetst kunnen worden aan de uitgevoerde peilingen. Aangezien de resultaten van dit rapport niet los gezien kunnen worden van de gedane aannamen en de gebruikte randvoorwaarden, volgt hier eerst een bespreking (van een gedeelte) van het rapport.

Het onderzoek heeft als doel een antwoord te krijgen op de volgende vragen m.b.t. de bochtafsnijding Rheden-De Steeg:

- welke zijn de veranderingen in bodemhoogte en waterdiepte;
- Op welke plaats in de tijd treedt de maatgevende ondiepte op;
- welke tijd zal er verlopen tot de nieuwe evenwichtssituatie, die is voorzien in het kader van de Rijnkanalisatie, bereikt is.

Uit het onderzoek bleek, dat op de eerste twee vragen een éénduidig antwoord kan worden gegeven. Het antwoord op de laatste vraag bleek onmogelijk in verband met de onzekerheid ten aanzien van de zand- en waterverdeling aan de IJsselkop.

Het onderzoek beperkt zich alléén tot de eerste fase van de bochtafsnijding. Dit betreft km. 887-889 N.

De gebruikte prototype gegevens zijn:

- gemiddeld lengteprofiel n.a.v. de Jaarlijkse Dwars-Peilingen van 1960, 1964, 1966.
- lengteprofiel nieuwe bocht (km. 887-889 N) uit tek. 64.166 afd. Studiedienst.
- afvoerkrommen voor de peilschalen. Bepaling gemiddeld verhang in de oorspronkelijke evenwichtssituatie.
- zandtransportkromme en gegevens betreffende de bedvormende afvoer, ontleend aan nota's 56,9 en 64,8 (nota's RWS directie Bovenrivieren afd. Studiedienst).
- diameter bodemmateriaal.
- normaalbreedten en waterstanden, waarbij de rivierbreedte op de waterspiegel tussen de kribben gelijk is aan de normaalbreedte. Hiermee kan bij bedvormende afvoer de rivierbreedte op de waterspiegel tussen de kribben worden bepaald.

Dit geeft de volgende gegevens:

- afvoer: bedvormend $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$
- breedte: $B_q = 70 \text{ m}$
 $B_s = 65 \text{ m}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{constant in tijd en plaats} \end{array} \right.$
- ruwheid: $C = 47,7 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ ontleend aan het gemiddeld verhang bij bedvormende afvoer voor de oorspronkelijke evenwichtssituatie ($I_w = 1,23 \cdot 10^{-4}$).
 C is constant in tijd en plaats.
- korreldiameter: $D = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. constant.
- stuwkromme: $\frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{2} v^2 + \frac{gq}{v} + gz \right\} = -gW$

- zandtransport: $s = f(v)$ alléén
bijlagen 42 en 43.

$$s = A'v \exp(-B'/v^2) \quad A', B' \text{ zijn const.}$$

$$A' = 7,2 D \sqrt{\epsilon \gamma} \quad C^{-1}$$

$$B' = 0,27 \Delta D C^2 \gamma^{-1}$$

Opmerking: A' en B' zijn bepaald uit de oorspronkelijke evenwichtssituatie bij bedvormende afvoer

$$Q_b = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_b = 110 \text{ m}^3/\text{etm.} \quad (= 40.000 \text{ m}^3/\text{jaar})$$

voor een tweede berekening zijn A' en B' nogmaals bepaald met:

$$Q_b = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_b = 220 \text{ m}^3/\text{etm.} \quad (= 80.000 \text{ m}^3/\text{jaar})$$

A' en B' zijn constant gedurende de hele berekening.

- bodemligging: differentie benadering.

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ f(v) \right\} = \frac{(\Delta x)^2}{2\Delta t} \left\{ \alpha - \left(c \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2 \right\} \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$$

$$1 \geq \alpha \geq \left(c \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2$$

$$\alpha = \left(c \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)^2 + \beta$$

$$\beta = 0,01$$

De randvoorwaarden zijn:

- benedenstroomse rand: waterstand constant en gelijk aan die in de oorspronkelijke situatie bij bedvormende afvoer.
- bovenstroomse rand: constante bodemligging aan de IJsselkop.

Het resultaat van de bodemligging na 0, 2, 3 en 4 jaar staat gegeven op bijlage 41 voor een jaartransport van 40.000 m³.

Hierna volgt in het rapport de discussie en interpretatie van de resultaten.

Er bestaat vooral onzekerheid m.b.t. de afvoer, randvoorwaarden en het zandtransport.

- afvoer:

1. nabijheid splitsingspunt Westervoort;

2. regime;

Bij grotere afvoer, zal het proces zich sneller voltrekken.

- Bovenstroomse randvoorwaarde:

De invloed van de bovenstroomse randvoorwaarde strekt zich uit zoals aangegeven op bijlage 41; een betrouwbare prognose op langere termijn, zal slechts mogelijk zijn op grond van de resultaten van de onderzoeken in de modellen van de splitsingspunten Westervoort (M 395) en Pannerden (M 932).

- Benedenstroomse randvoorwaarde:

waterstand constant; deze aanname is juist, zolang het hier niet aanzandt.

- Zandtransport:

Het vermoeden bestaat, dat met $S_b = 110 \text{ m}^3/\text{etm.}$ een vertraagde weergave ontstaat, omdat geen rekening is gehouden met debietverhoging t.g.v. het in werking treden van de stuw bij Driel en t.g.v. de bochtafsnijding.

$S_b = 220 \text{ m}^3/\text{etm.}$ zal vermoedelijk een versnelde weergave van het proces geven.

VII 4. 2. Bespreking WL rapport.

Naar aanleiding van deze door het Waterloopkundig Laboratorium verrichte studie, kan een aantal opmerkingen gemaakt worden:

- Het WL-rapport beperkt zich alleen tot de eerste fase van bochtafsnijding, zodat voorzichtigheid geboden is met de vergelijking van de resultaten met de gepeilde bodemligging.
- Op bijlage 41 is de uitgangsbodemligging getekend, evenals de berekende bodemligging na 2, 3 en 4 jaar, bij een aangenomen transport van 40.000 m³/jaar. De aangenomen beginbodemligging buiten de nieuwe bocht stemt goed overeen met de gemeten bodemligging. (Dit mag niet vreemd zijn, want het WL baseerde deze aanname op de JDP van 1960, 1964 en 1966, terwijl in deze studie uitgegaan is van het gemiddelde van de JDP uit 1958, 1964, 1968 en 1969, welke de detailpeiling van Oktober 1969, na correctie, goed beschreef.) De in de nieuwe bocht aangenomen bodemligging stemt in de verste verte niet overeen met de gepeilde ligging van Oktober 1969 (zie bijlage 2. Voor vergelijking moeten de detailpeilingen nog met 0,3 m verhoogd worden.)
- Aan de bovenstroomse zijde wordt in het model de randvoorwaarde opgelegd, dat de bodem daar ter plaatse onveranderd blijft. Met deze randvoorwaarde kan dus nooit een bodemdaling aan de IJsselkop uit de berekening rollen. Bij de berekeningsresultaten staat aangegeven, tot hoever de invloed van deze randvoorwaarde zich uitstrekt.
- In het programma is gebruik gemaakt van een constante diameter van het bodemmateriaal. In werkelijkheid heeft het bodemmateriaal over het hele traject zeker geen

constante afmetingen, deze aanname is echter gedaan, omdat men toendertijd nog niet beschikte over een programma, waarin deze grootte gevarieerd kan worden.

VII 4.3 Vergelijkingen peilingen met resultaten WL-studie.

De opgetreden bodemveranderingen welke uit de peilingen volgden zijn getekend op bijlage 39. Op bijlage 41 staan de resultaten weergegeven, welke volgden uit de WL-studie. Vanwege de totaal verschillende uitgangssituatie in het WL-rapport in vergelijking met de gepeilde bodemligging in de nieuwe bocht, is een kwantitatieve vergelijking tussen berekening en meting onmogelijk.

Kwantitatief kan nog wel een vergelijking gemaakt worden, waarbij de volgende aspecten een rol spelen:

- de tijd, die nodig is om de evenwichtssituatie te bereiken;
- het minimale transport over de bovenstroomse rand van de kuil;
- de voortplantingssnelheid van de kuil.

Tijdschaal:

Op bijlage 41 is de evenwichtssituatie, waar het model na zeer lang rekenen op uitkomt, ingetekend (berekening op bijlage 44). Hieruit blijkt, dat na 4 jaar de evenwichtssituatie al voor een groot deel bereikt is. Uit de peilingen op bijlage 39 blijkt dit inderdaad het geval te zijn, terwijl na 6 jaar een rechte bodemligging wordt bereikt. Wat dit betreft, stemt het model goed overeen met de werkelijkheid.

Minimum transport:

Door de opvulling van de kuil in elke periode te bepalen, is het minimum transport direct bovenstrooms

van de kuil te bepalen. Dit levert voor beide gevallen het volgende op:

periode	model	werkelijkheid
1e en 2e jaar	40.000 m ³ /jaar	35.000 m ³ /jaar
3e jaar	30.000 "	30.000 "
4e jaar	20.000 "	30.000 "
5e jaar		35.000 "
6e jaar		40.000 "

(Bij de berekening van de minimale transporten uit het model is een zandtransporterende breedte van 65 m gebruikt, terwijl in het tweede geval een breedte van 54 m is genomen).

De orde van grootte van beide minimum transporten is gelijk ; in het model neemt het minimum transport echter direct bovenstrooms van de kuil af in de tijd, terwijl dit in werkelijkheid niet gebeurde. Dit komt, omdat in het model de transportcapaciteit in de kuil wél een rol speelt, terwijl deze in werkelijkheid gelijk aan nul verondersteld kan worden, zolang de kuil nog vrij diep is (1 meter of meer).

Wel moet worden opgemerkt, dat in werkelijkheid de afvoer varieert en deze zal in één jaar nooit gelijk zijn aan de gemiddelde bedvormende afvoer.

Voortplanting van de kuil:

Wat betreft de voortplanting van de kuil, laten model en werkelijkheid grote verschillen zien.

Volgens de berekeningen met het model (bij een jaartransport van 40.000 m³) verplaatst de kuil zich veel sneller stroomafwaarts, dan dat in werkelijkheid geconstateerd is.

De volgende theoretische beschouwing geeft hiervoor een verklaring.

De voortplanting en vervorming van een kuil wordt bepaald door het transport en de voortplantingssnelheid van een bodem verstoring, waarvoor algemeen geldt:

$$c_b = \frac{u}{a} \cdot \frac{\partial s}{\partial u} - \frac{\partial s}{\partial a}$$

ofwel als $s = \alpha u^b$,

$$\text{dan } c_b = b \cdot \frac{su}{q}$$

de factor b is afhankelijk van de gebruikte transportformule (en kan afhankelijk zijn van alle transportparameters).

Voor de bepaling van de voortplantingssnelheden voor de formules van Frijlink en Ackers & White zie resp. bijlagen 45 en 46.

Op bijlage 48 zijn twee kuilen weergegeven, waarvan de verplaatsing en vervorming getekend is.

In het eerste geval is de kuil zo diep, dat hierin géén transport optreedt; dit in tegenstelling tot het tweede geval.

Opmerkingen bij bijlage 48:

- De discontinuïteiten verplaatsen zich met de bijbehorende voortplantingssnelheden; door verschillende voortplantingssnelheden vervormt de kuil in de loop van de tijd, waarbij echter de inhoud t.o.v. de oorspronkelijke situatie onveranderd blijft. Dit laatste in tegenstelling tot de gebaggerde kuil in de IJssel, omdat hier (in de Boven-IJssel) de transportcapaciteit bovenstrooms van de kuil groter was, dan benedenstrooms i.v.m. de bochtafsnijding.

- In het geval van de ondiepe kuil bestaat er nog een transportcapaciteit in de kuil, zodat de punten C en D ook verplaatsen in de tijd.
- In het geval van de diepe kuil verplaatsen de punten C en D in eerste instantie niet.

Het punt F verplaatst wél met een bepaalde snelheid; dit heeft benedenstrooms van de kuil een uitschuring tot gevolg.

Het punt E ligt op een zodanige diepte, dat de bij deze diepte behorende snelheid juist geen transport oplevert.

Uitgaande van een rechte bodemligging tussen de punten E en F op tijdstip $t = 1$, betekent dit dat in deze periode hier de inhoud van de driehoek $E - F_0 - F_1$ is uitgeschuurd.

Deze inhoud is inderdaad precies gelijk aan het ongestoorde transport wat op bijlage 49 m.b.v. de formule van Ackers & White is gecontroleerd.

- Aan de bovenstroomse zijde van de diepe kuil gebeurt in eerste instantie hetzelfde:

Punt A verplaatst met dezelfde voortplantingssnelheid als punt F, terwijl punt B (welke op dezelfde diepte ligt als punt E) en punt C niet verplaatsen.

Bovenstrooms van de kuil moet echter de restrictie gemaakt worden, dat stuweffecten onder invloed van de kuil klein blijven; wanneer dit niet het geval is, vindt er vanaf het begin tevens een uitschuring bovenstrooms en beginnende bij A plaats, welke na verloop van tijd weer aanzandt.

Benedenstrooms van de kuil beginnen de stuweffecten pas bij punt F, zodat het benedenstroomse front hiervan geen invloed ondergaat.

Na verloop van tijd (ongeveer op tijdstip $t = 1,1$ voor de diepe kuil en $t = 5$ voor de ondiepe kuil) wordt het natuurlijk talud van het bedmateriaal

tussen A en B bereikt. Wegens het niet meer continu zijn van de parameter S, mag de eerder genoemde voorplantingssnelheid (c_p) niet meer gebruikt worden. Het front A - B verplaatst zich nu evenwijdig met een snelheid

$$c_{\max} = \frac{\Delta S}{\Delta Z}$$

waarbij z de grootte van de bodemsprong tussen A en B is. De voortplantingssnelheid van dit bovenstroomse front wordt dus na enige tijd alléén bepaald door de diepte van de kuil en het verschil in transport bovenstrooms van- en in de kuil.

Opmerking:

Zowel in een numeriek als analitisch model behoeft geen beschrijving van het natuurlijk talud te worden ingevoerd.

- In een numeriek model wordt het natuurlijk talud nooit bereikt, als gevolg van de stapgrootte, welke in de orde van 500 m ligt. Wanneer de verhouding bodemsprong/stapgrootte groter wordt dan het natuurlijk talud, kan eenvoudig de stapgrootte vergroot worden; dit komt echter in reële situaties nooit voor.
- In een analitisch model kan, zonder de werkelijkheid geweld aan te doen, het maximale bodemverhang (natuurlijk talud) overschreden worden, zodat er een discontinuïteit in de bodemligging optreedt welke zich voortplant met $c_{\max} = \frac{\Delta S}{\Delta Z}$

Dit is mogelijk, omdat de lengteafmeting van zo'n probleem veel en veel groter is, dan de eventuele bodemsprong.

VII 5. Model m.b.v. de transportformule van Ackers & White.

Aangezien de transportformule van Ackers & White de meest betrouwbare schattingen geeft omtrent de omvang van het zandtransport op de IJssel, is het wenselijk om deze formule te toetsen aan de opgetreden bodemveranderingen bij de bochtafsnijding Rheden-De Steeg. Behalve dezelfde orde grootte van het transport is ook de bodemvoortplantingssnelheid bij de formules van Ackers & White en die van Frijlink ongeveer gelijk. In beide gevallen bedraagt de factor b ongeveer 10. (zie bijlagen 45 en 46).

Wegens tijdgebrek is de morfologische computerberekening m.b.v. Ackers & White in deze studie niet uitgevoerd.

Aanbevolen wordt om deze berekening alsnog uit te voeren. De voorgestelde gegevens en randvoorwaarden voor een computermodel staan vermeld op bijlage 51.

VII 6. Samenvatting en conclusies.

De door het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerde studie m.b.t. de te verwachte bodemligging op de Boven-IJssel na de bochtafsnijding bij Rheden-De Steeg, heeft geleid tot een voorspelling van deze bodemligging. Door een uitgebreid meetprogramma kon de bodemligging als functie van de tijd goed nagegaan worden.

De kwantitatieve overeenstemming tussen voorspelling en meting is bijzonder slecht; dit wordt in de eerste plaats sterk bepaald door een hele andere aanname omtrent de bodemligging in de nieuwe bocht direct na afsnijding, welke in de vorm van een diepe kuil was gebaggerd.

Om deze reden is een kwantitatieve vergelijking niet mogelijk. Kwalitatief kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De tijdschaal, waarin de nieuwe evenwichtssituatie bereikt wordt, is voor model en werkelijkheid gelijk.
- De grootte orde van het sedimenttransport is in model en werkelijkheid gelijk.
- In het model is de voortplantingssnelheid van de kuil veel (2 à 4 keer) groter, dan in werkelijkheid geconstateerd.

Met betrekking tot dit laatste punt is de voorspelling m.b.v. het morfologisch model ook kwalitatief niet uitgekomen. Dit verschil in voortplantingssnelheid is overigens een gevolg van de onjuist aangenomen bodemligging.

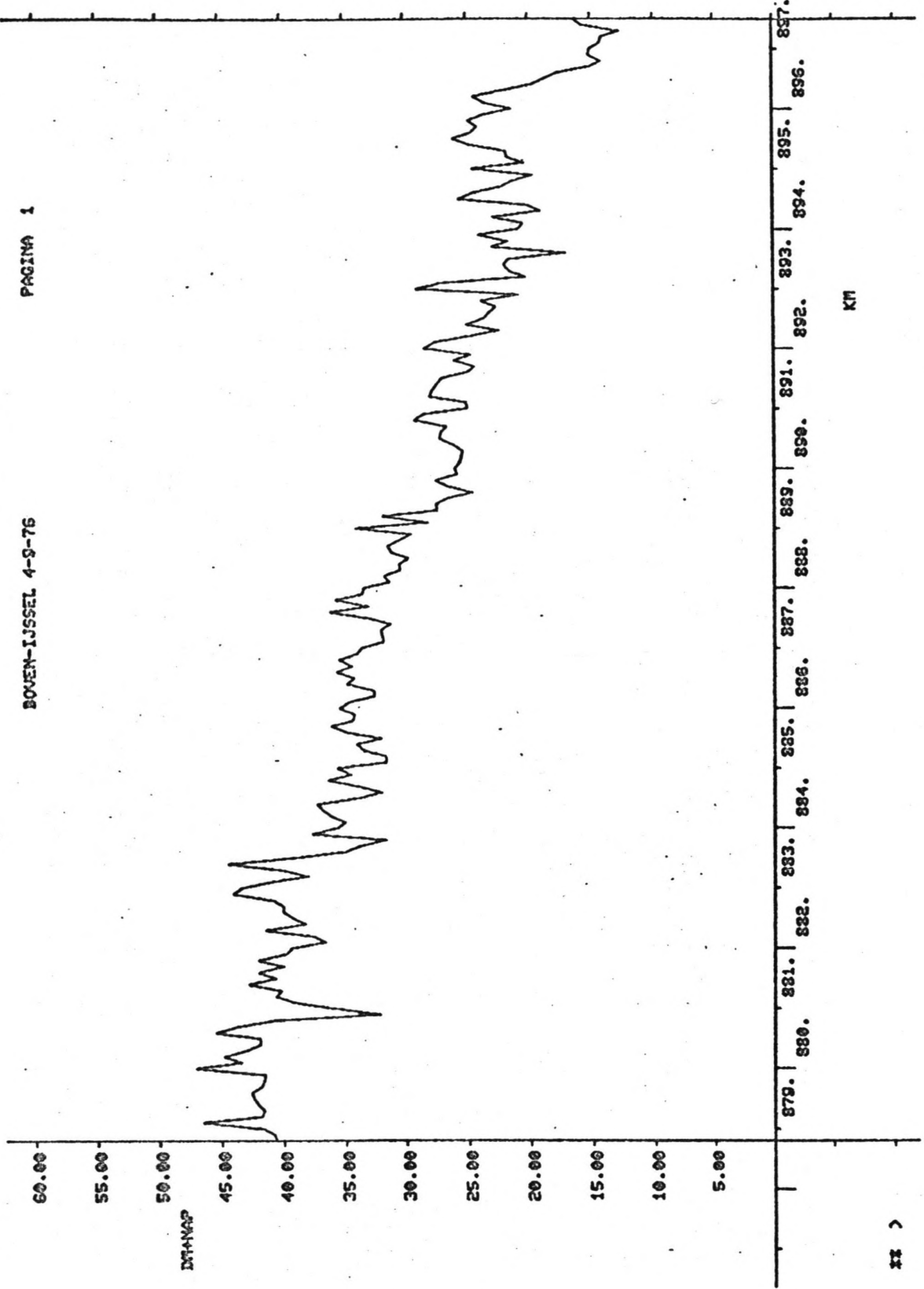
Wanneer door het WL de juist beginbodemligging was gehanteerd, was de overeenkomst tussen voorspelling en werkelijkheid goed geweest.

Dit wil overigens niet zeggen, dat de door het WL gebruikte formule van Frijlink het sedimenttransport op de IJssel goed beschrijft; de constanten in de formule zijn namelijk zo bepaald (door aan de ribbelfactor een bepaalde waarde te geven), dat in de evenwichtssituatie een vooraf vastgestelde hoeveelheid transport optreedt.

Wegens tijdgebrek is een morfologische computerberekening m.b.v. de formule van Ackers & White in deze studie niet uitgevoerd.

BOVEN-IJSSEL 4-3-76

PAGINA 1

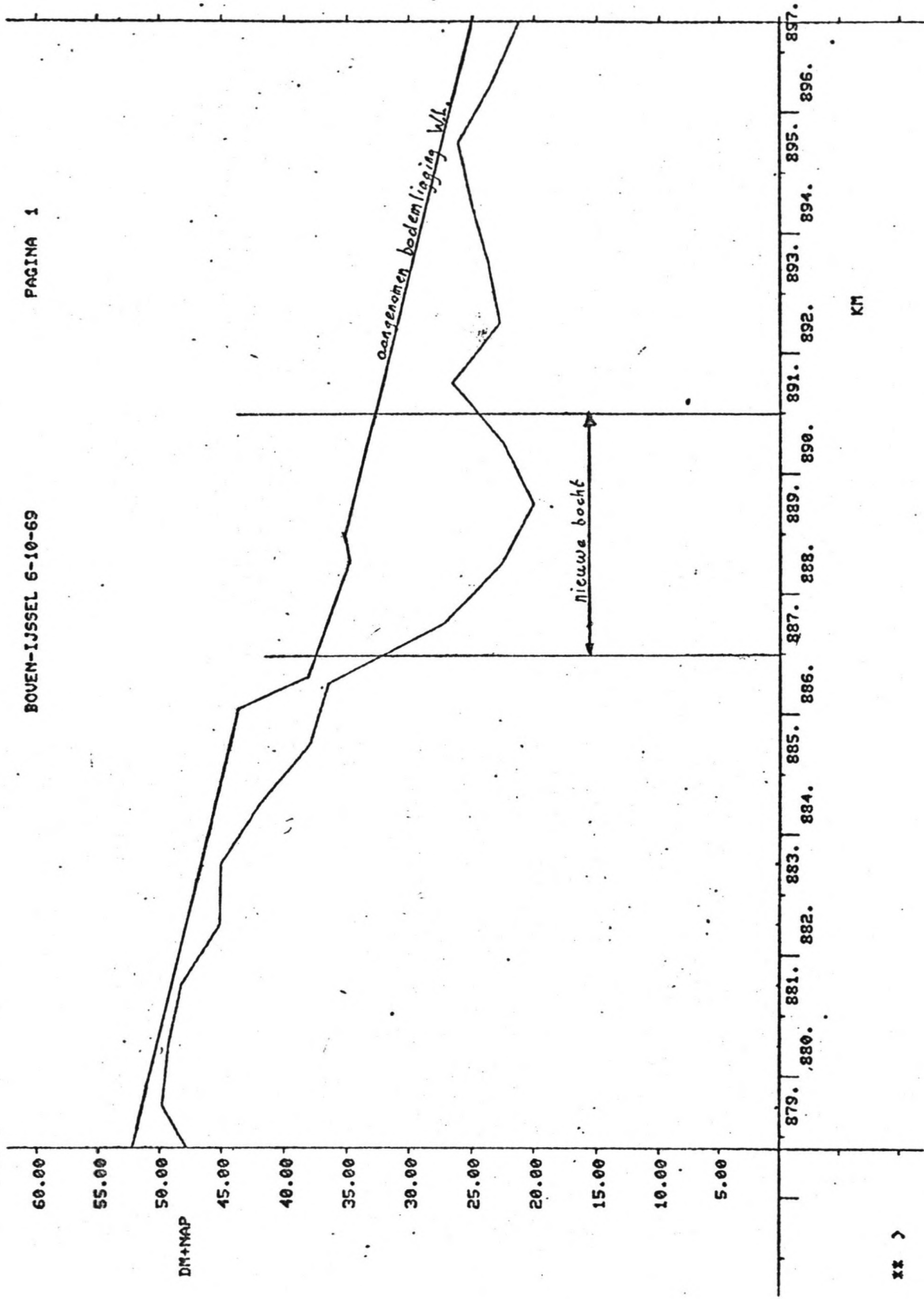


xx >

4 4

PAGINA 1

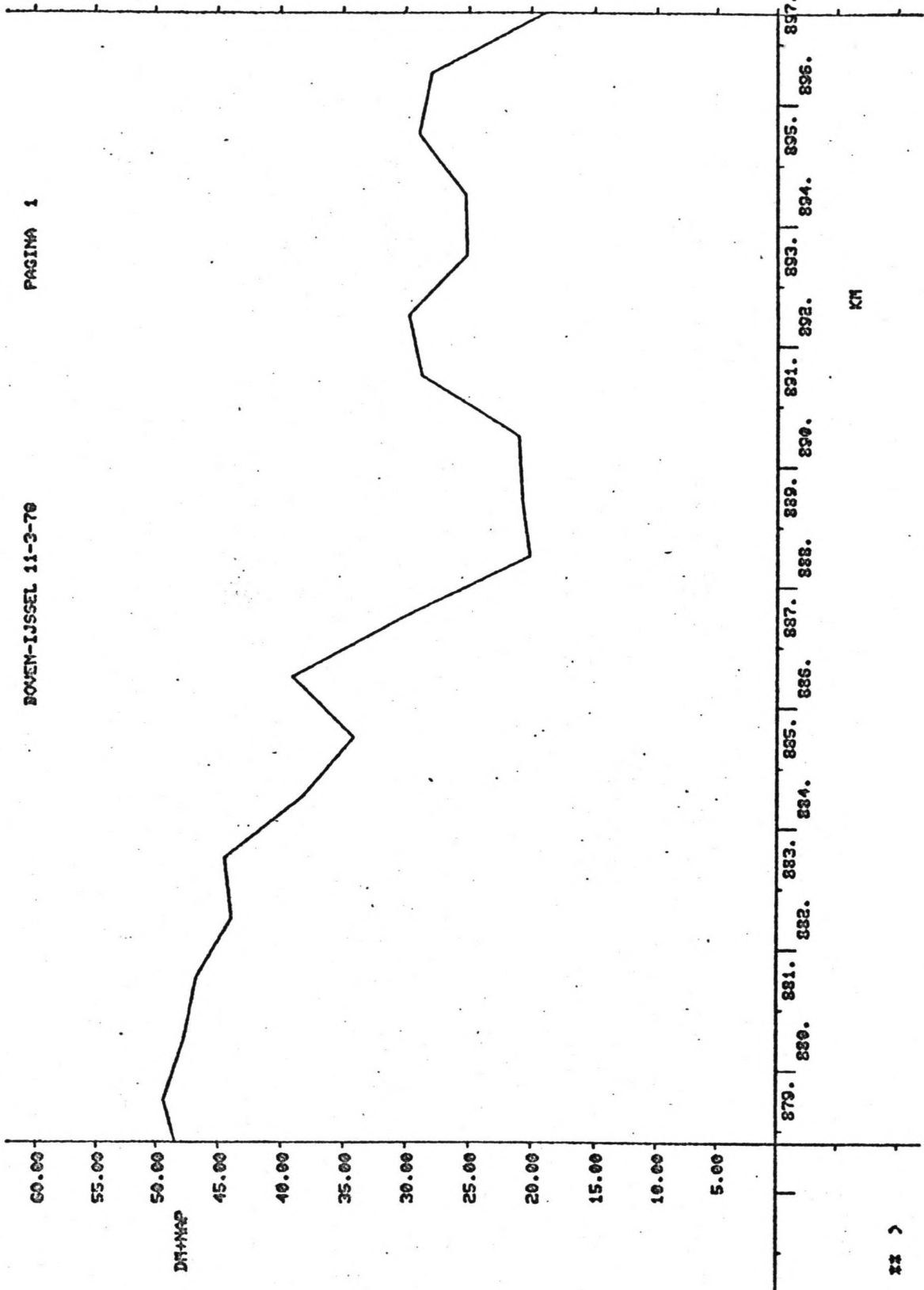
BOUEN-IJSSEL 6-10-69



xx >

PASINA 1

BOVEN-IJSSEL 11-3-70

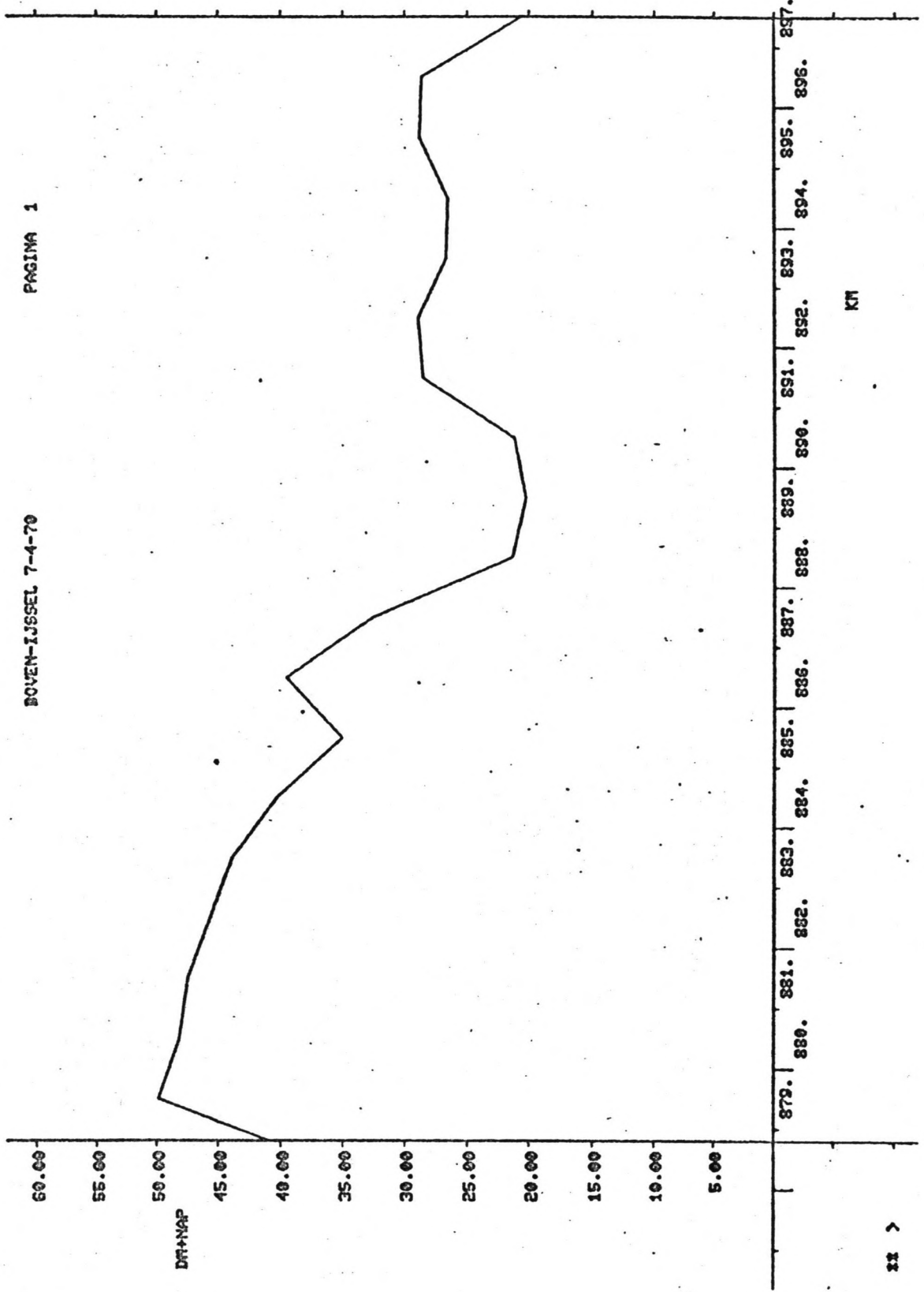


KM

XX >

PASINA 1

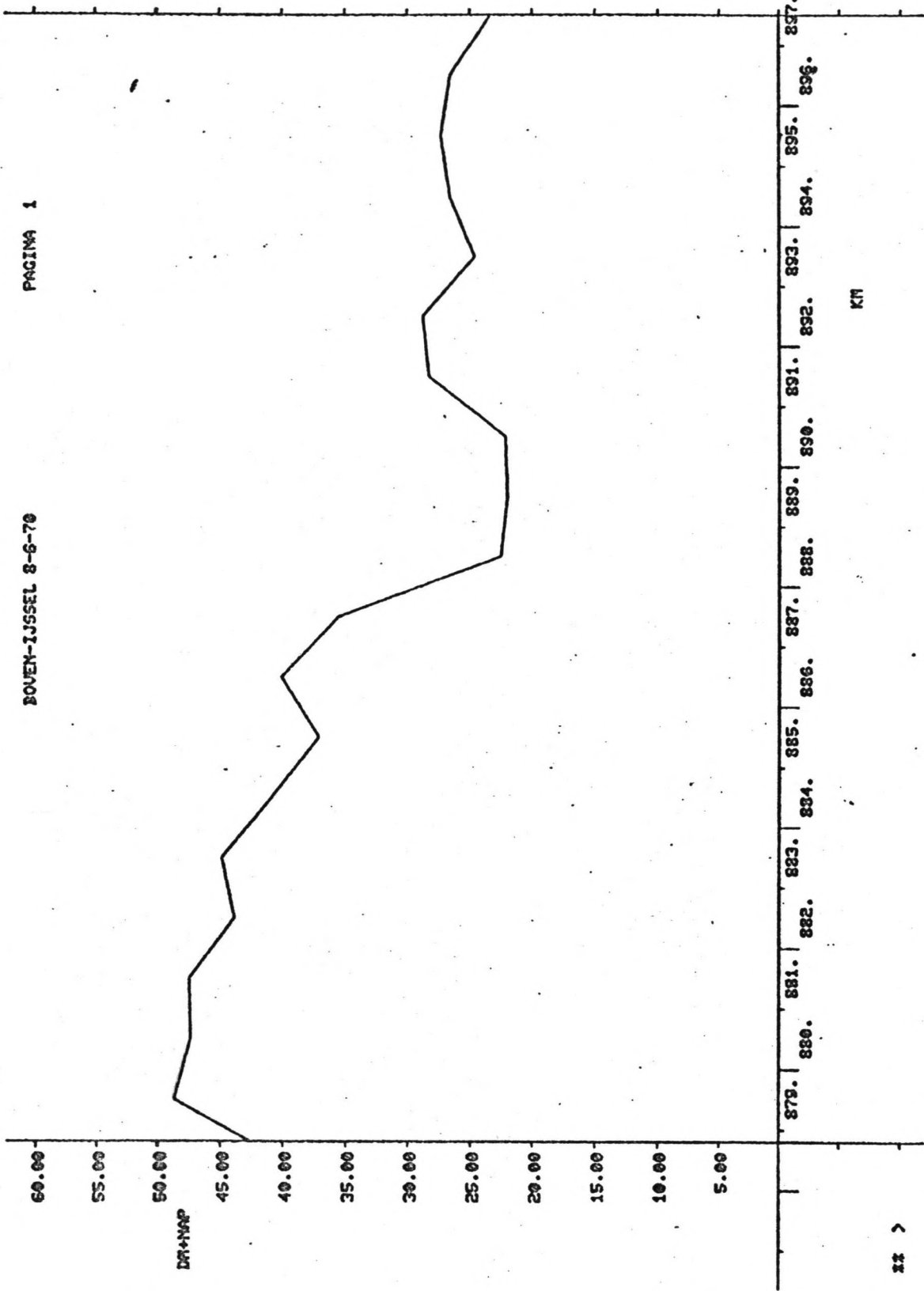
BOVEN-IJSSEL 7-4-70



11 >

BOVEN-IJSSEL 8-6-70

PAGINA 1

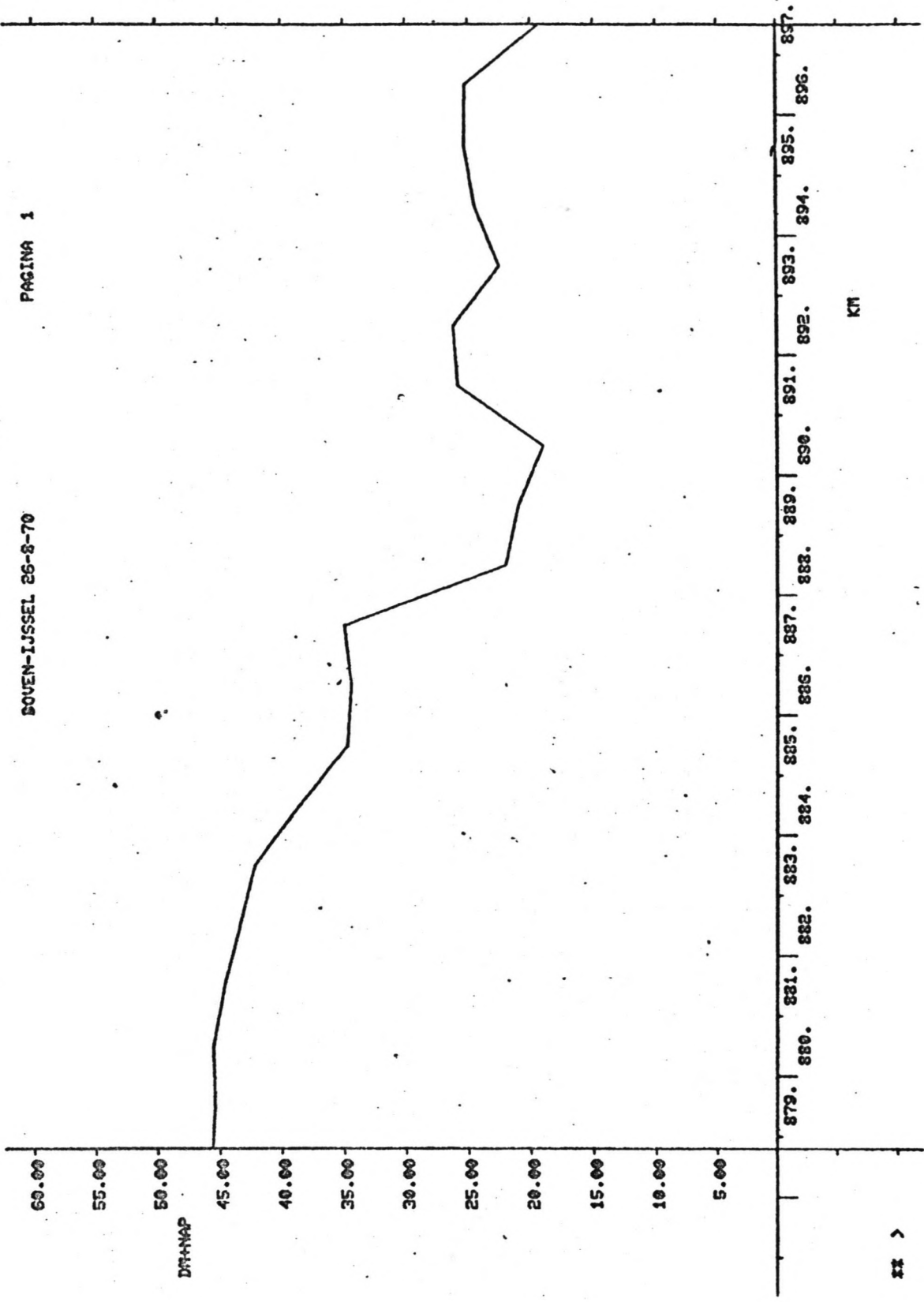


22 >

KIN

DOVEN-IJSSEL 26-8-70

PAGINA 1

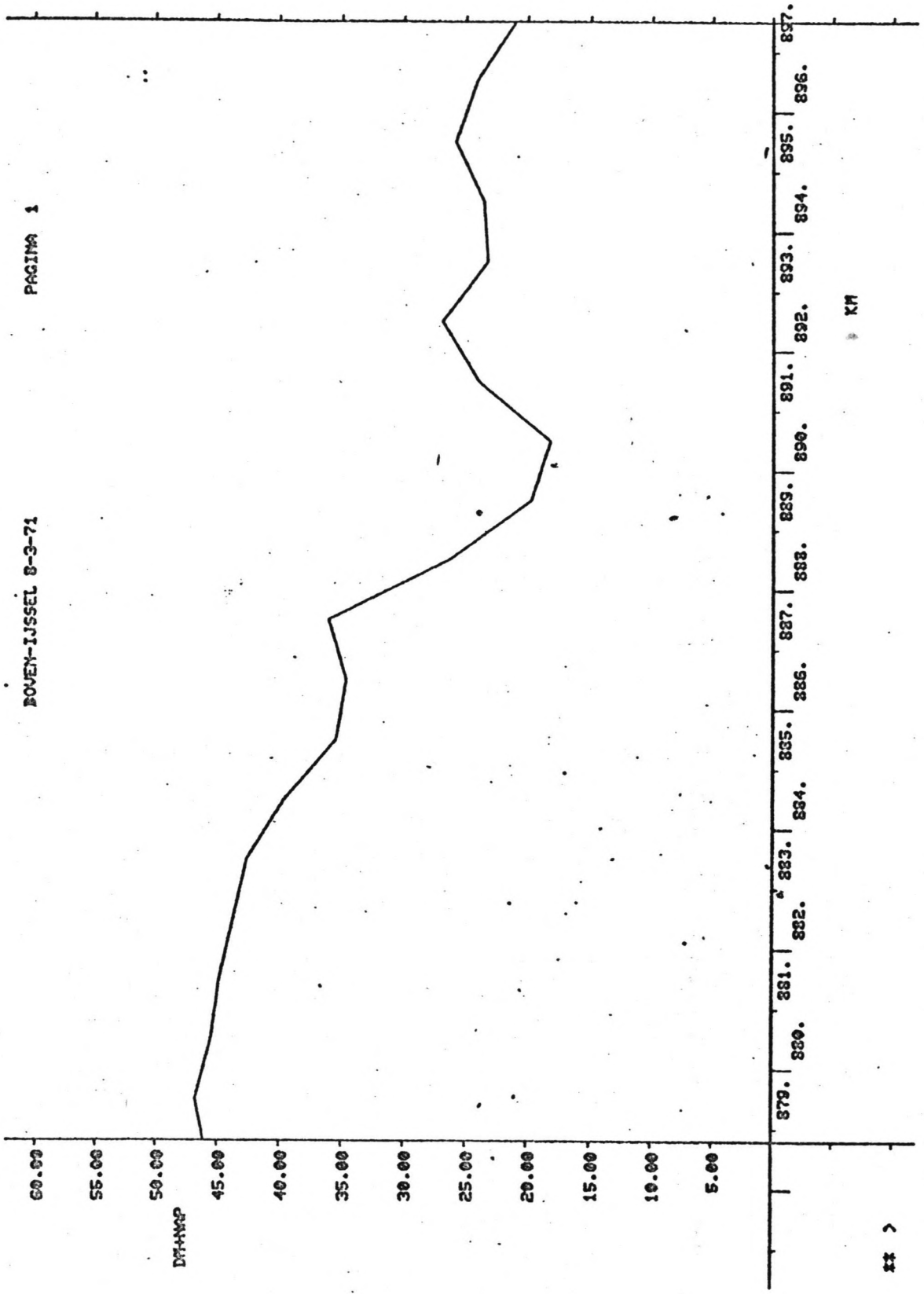


KM

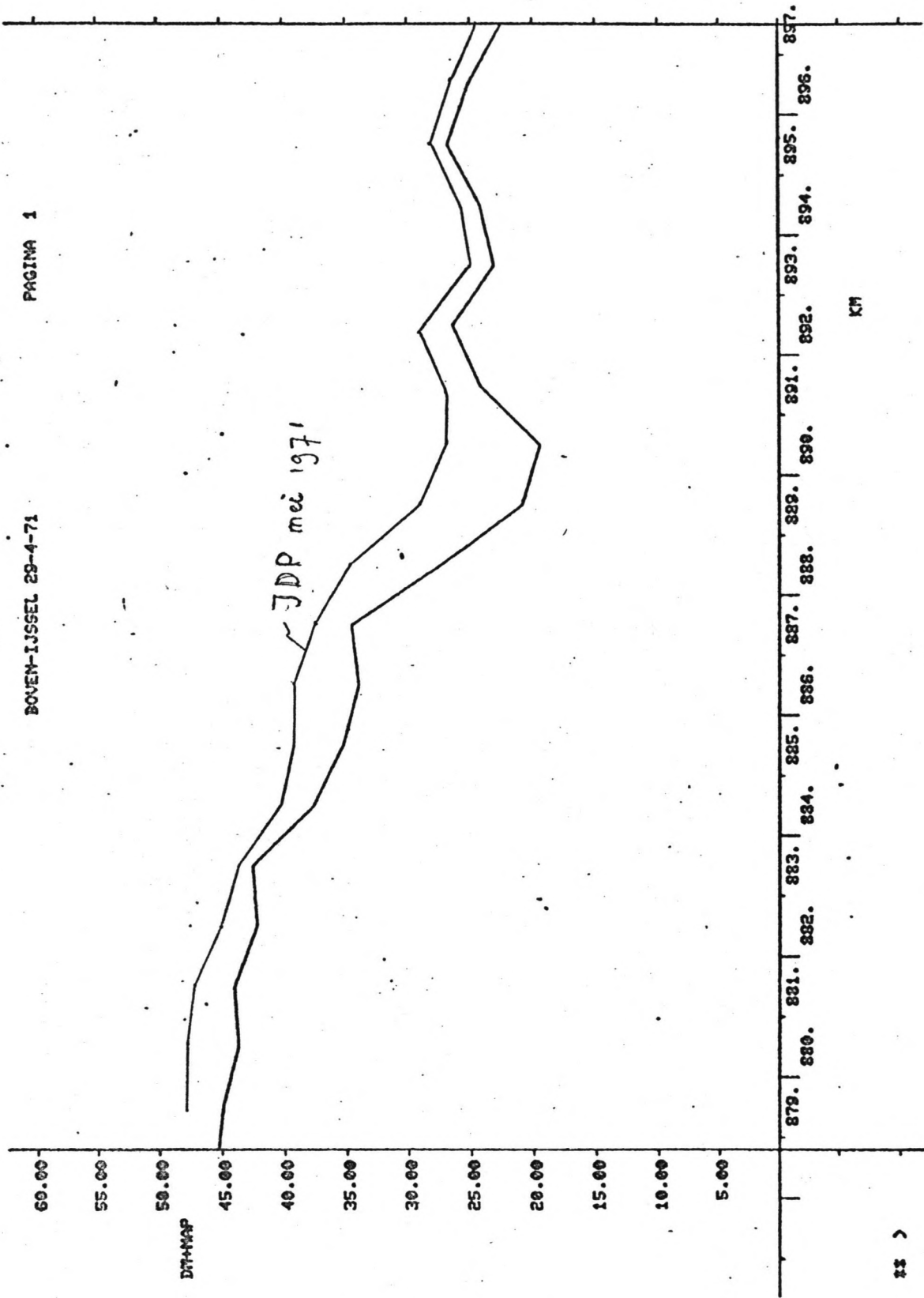
xx >

BOVEN-IJSSEL 8-3-71

PAGINA 1

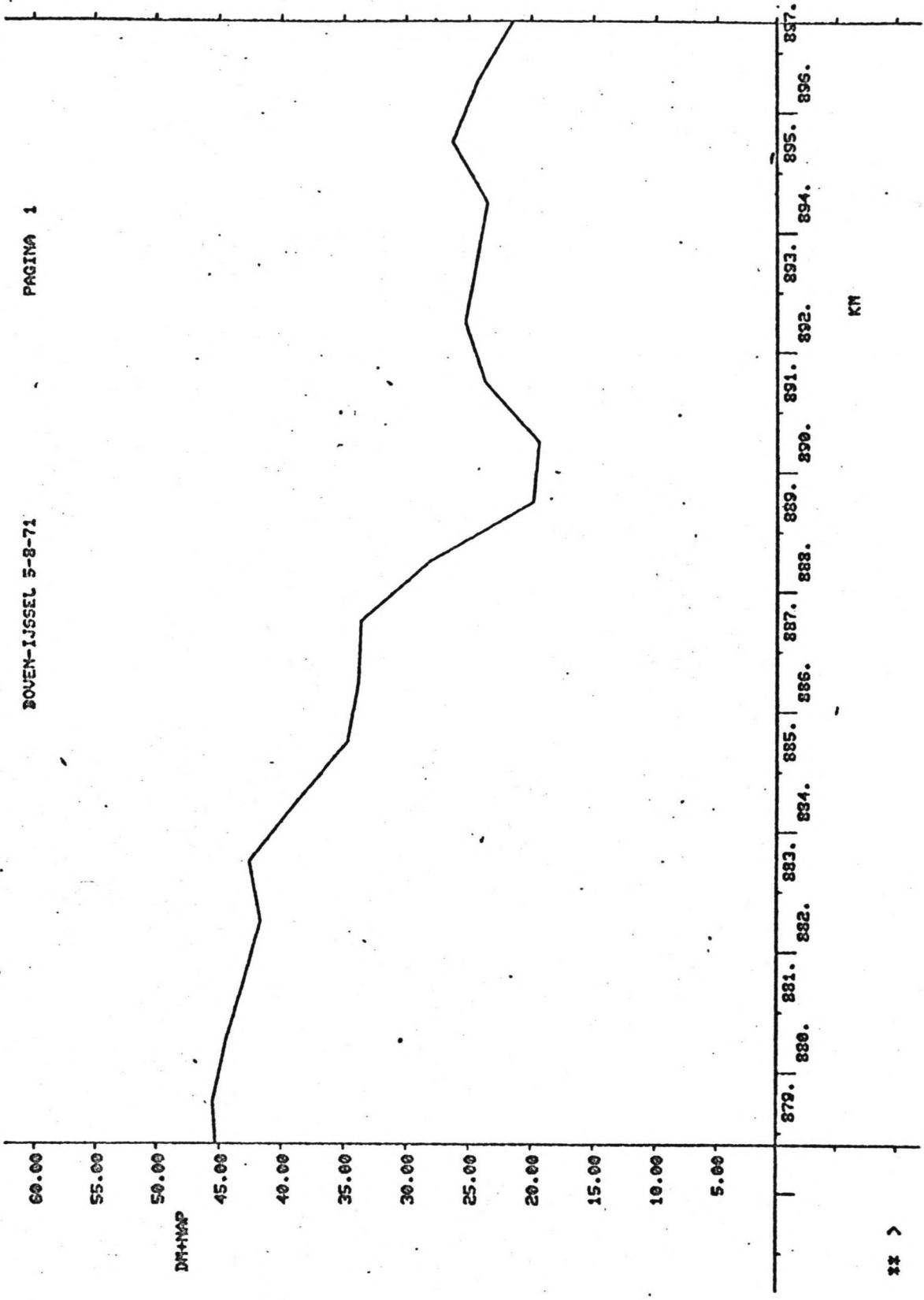


xx >



BOVEN-IJSSEL 5-8-71

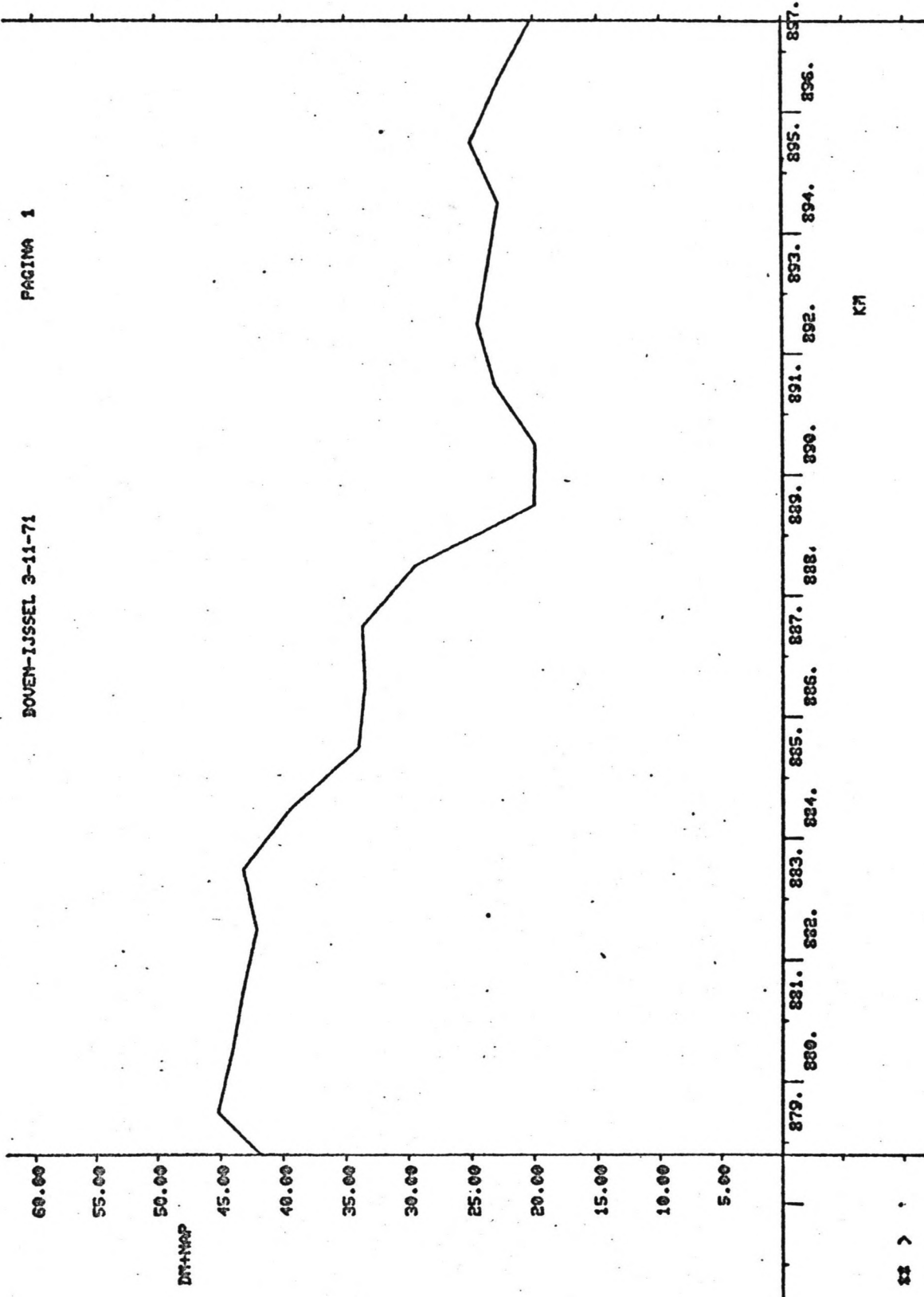
PAGINA 1



** >

PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 3-11-71

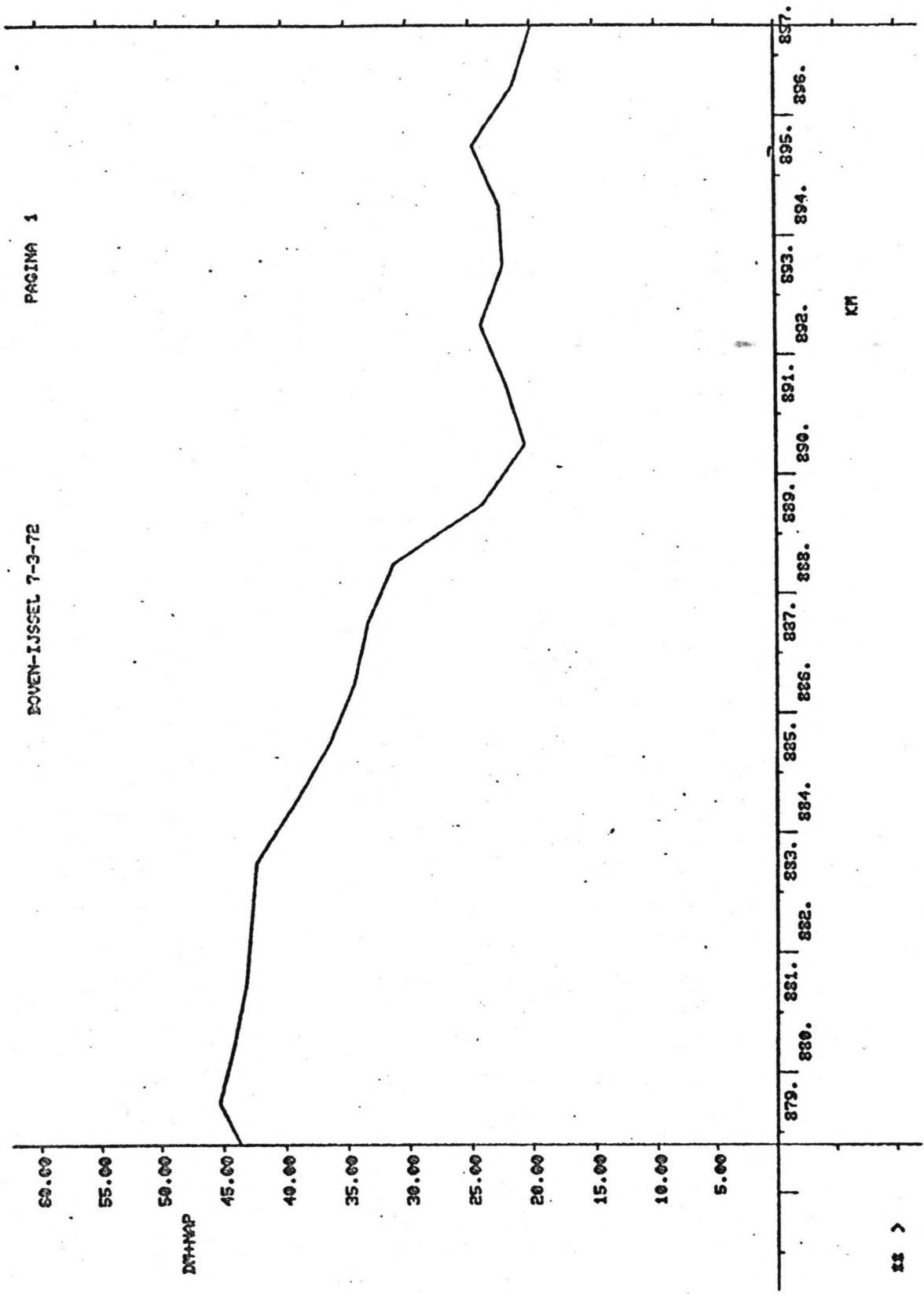


K71

88 >

PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 7-3-72



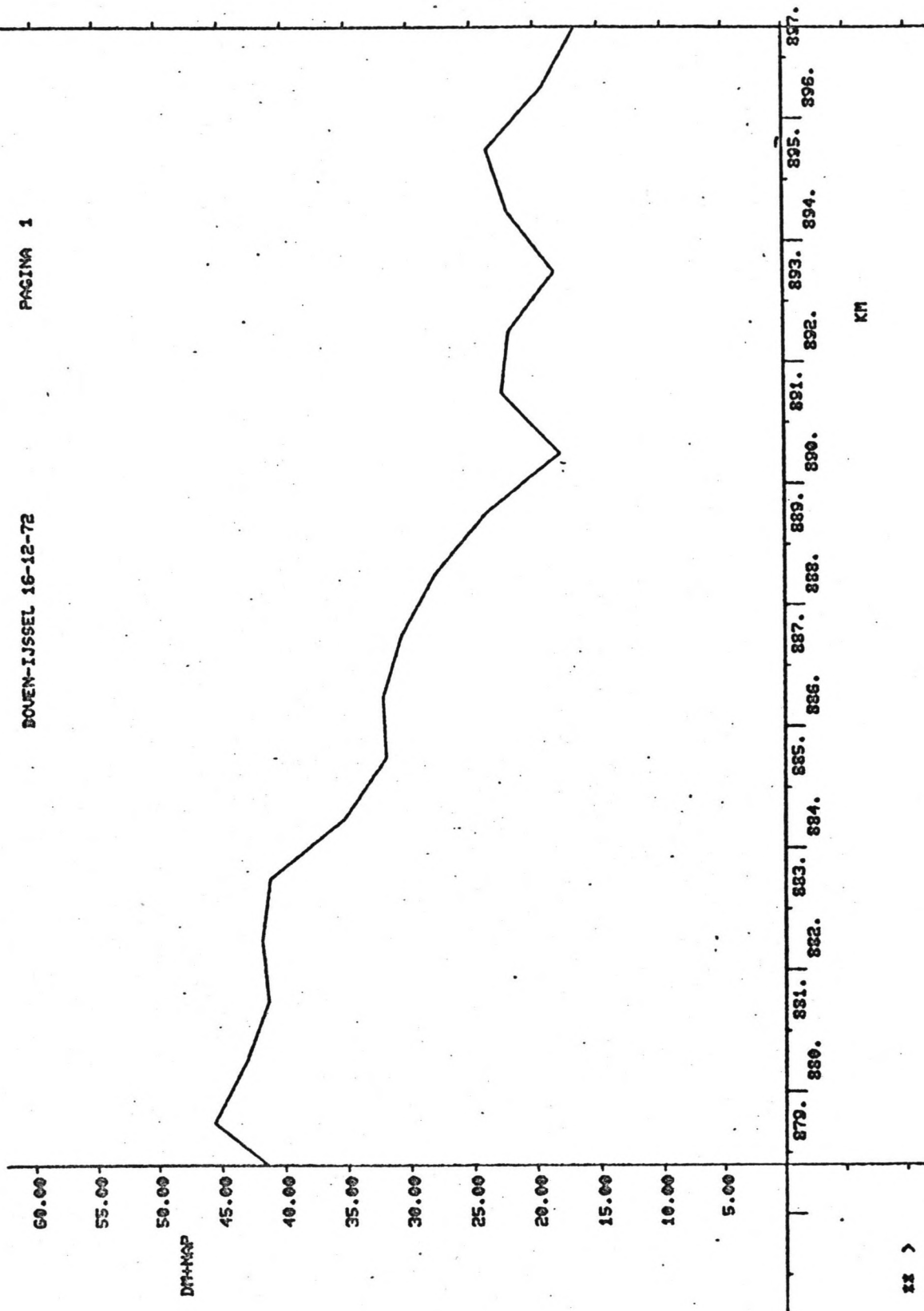
PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 28-8-72



PAGINA 1

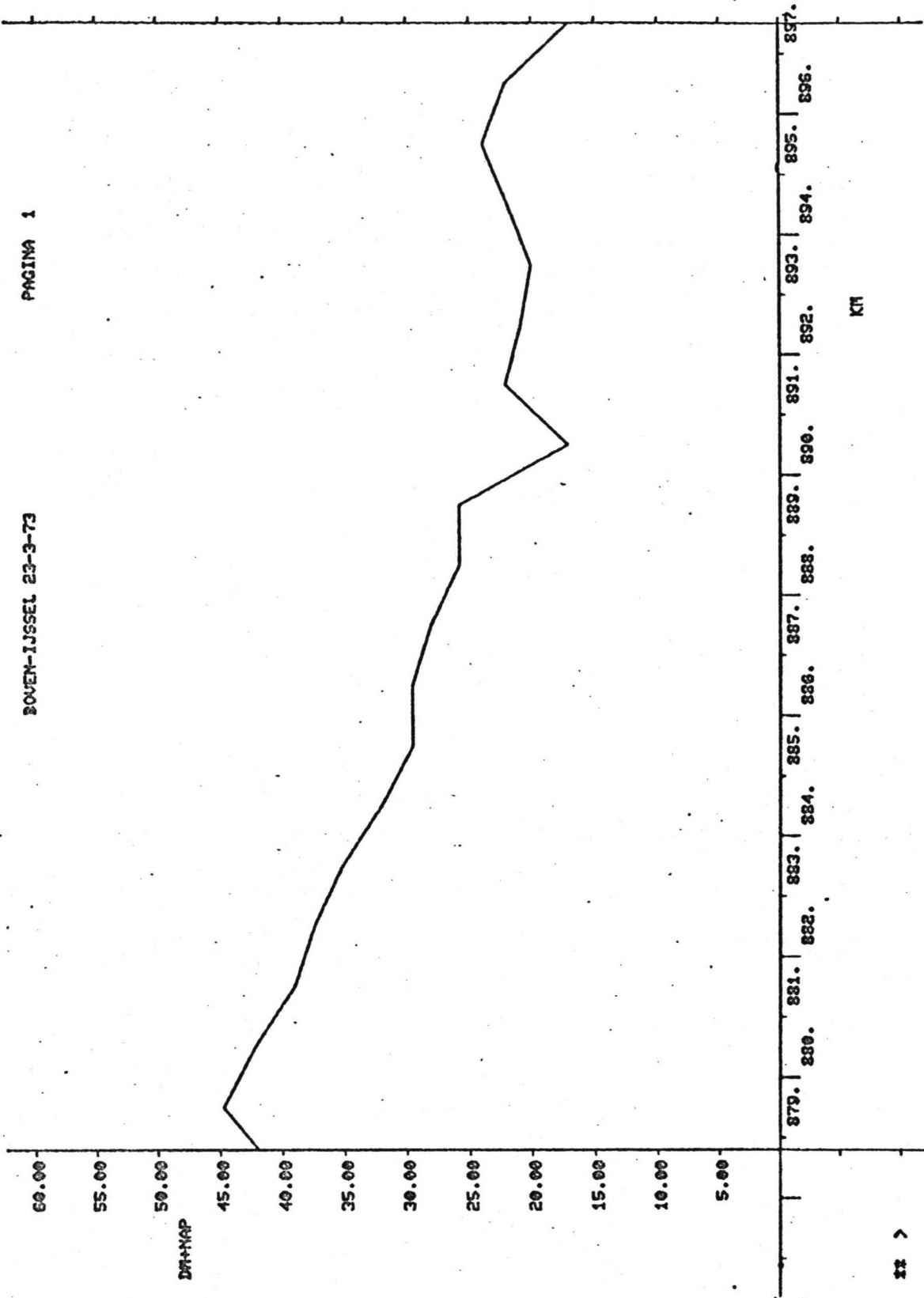
BOVEN-IJSSEL 16-12-72



22 >

BOVEN-IJSSEL 23-3-73

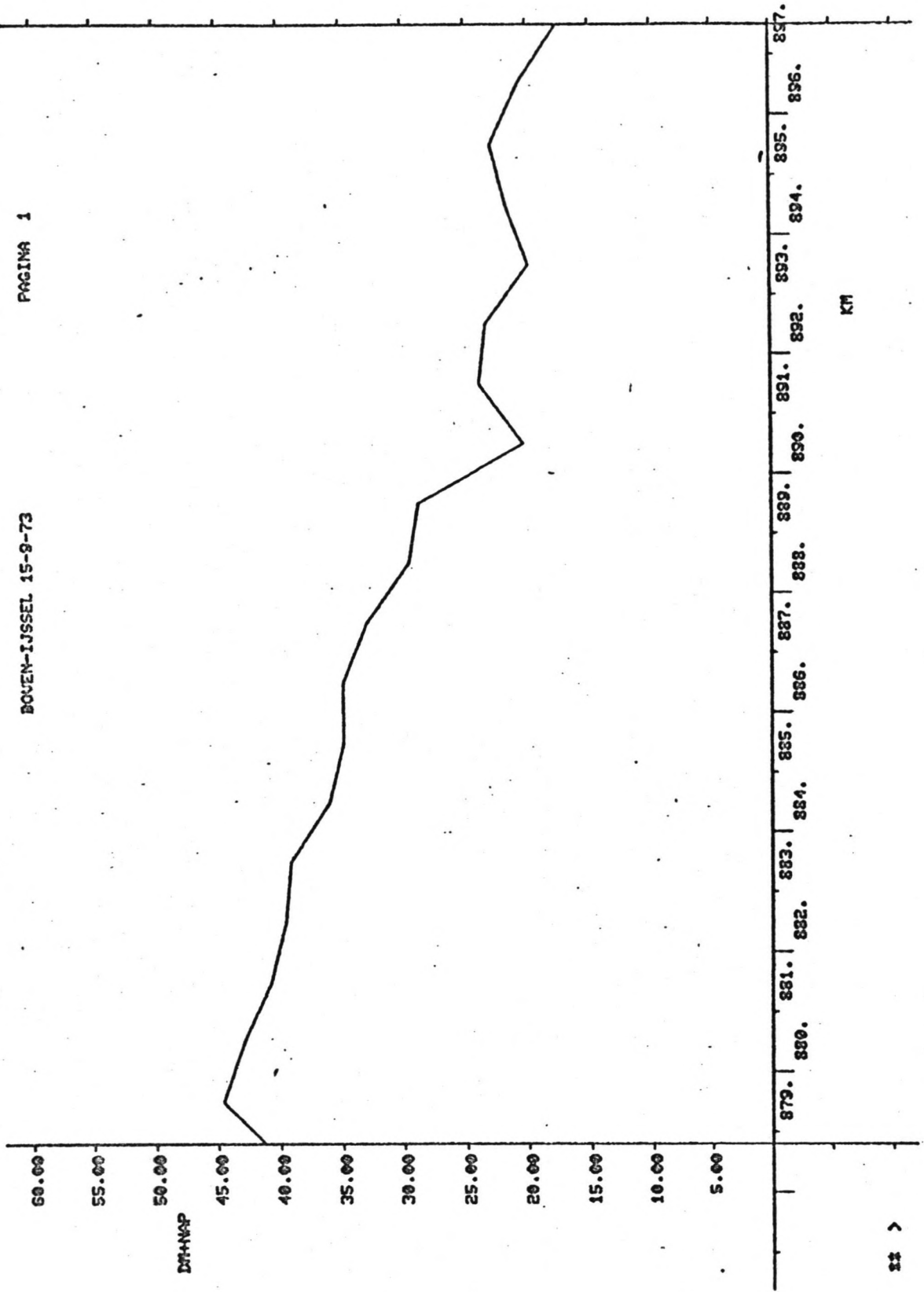
PAGINA 1



11 >

PAGINA 1

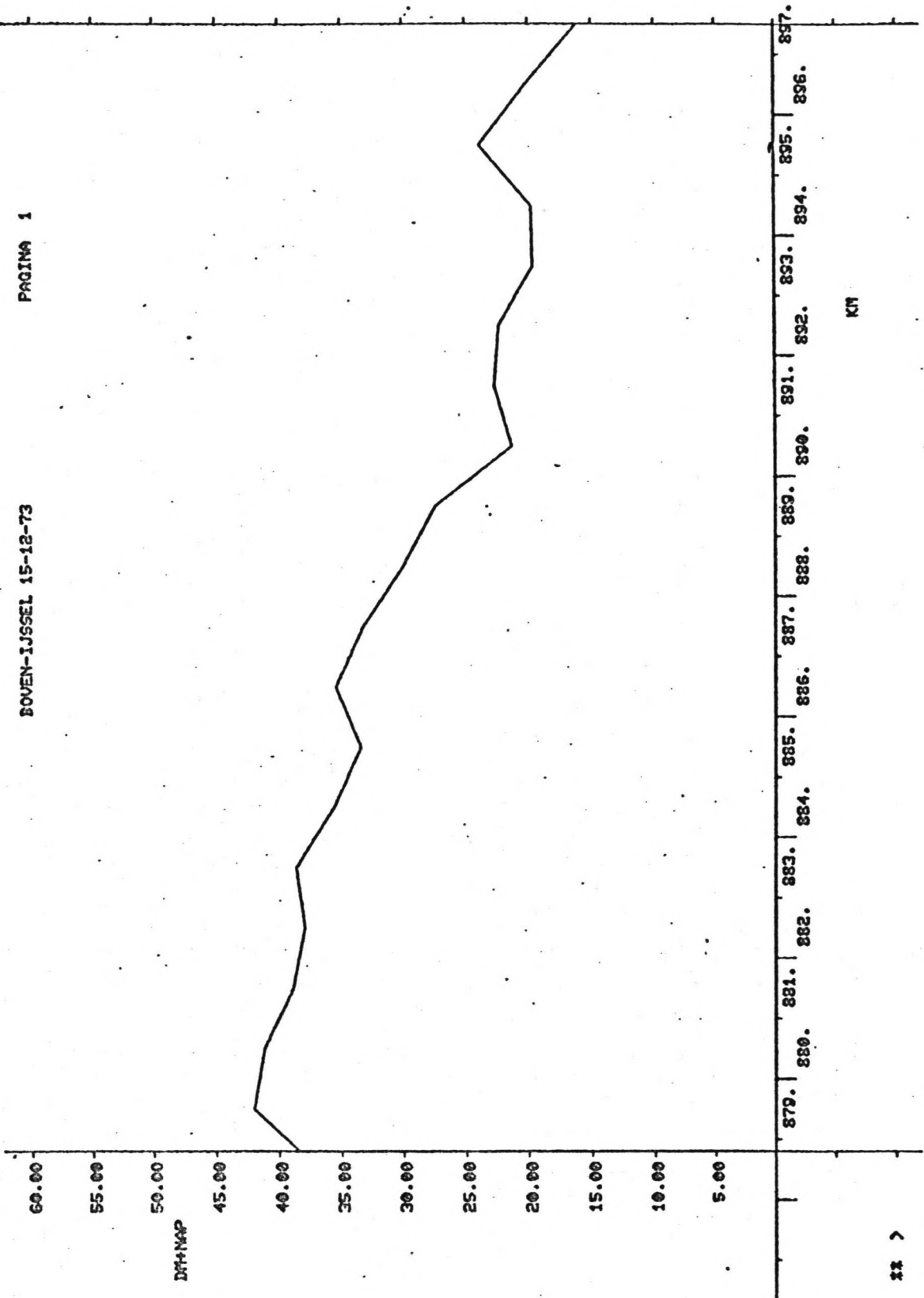
BOVEN-IJSSEL 15-9-73



** >

BOVEN-IJSSEL 15-12-73

PAGINA 1

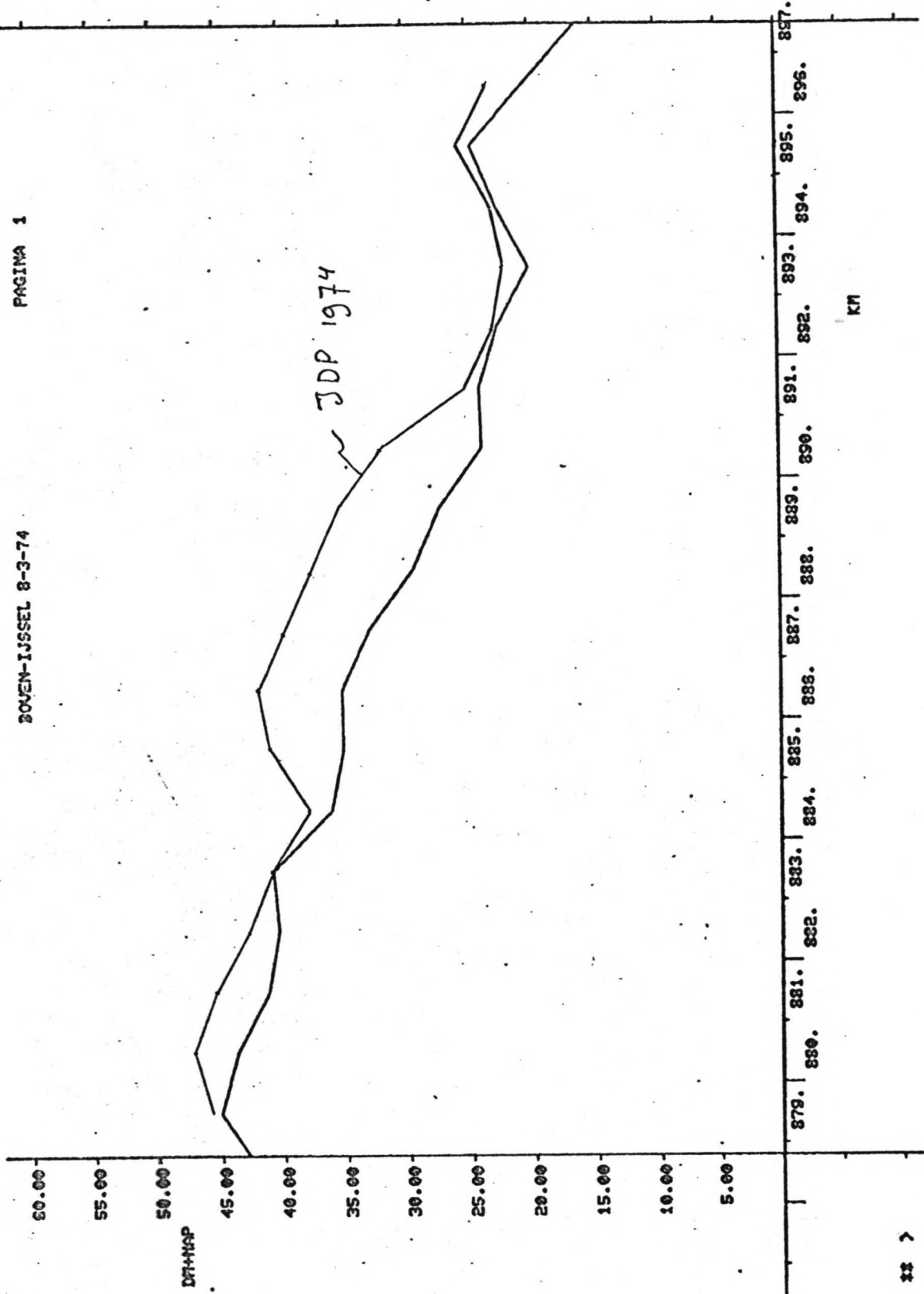


K11

11 >

PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 8-3-74



11 >

KPI

PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 27-7-74

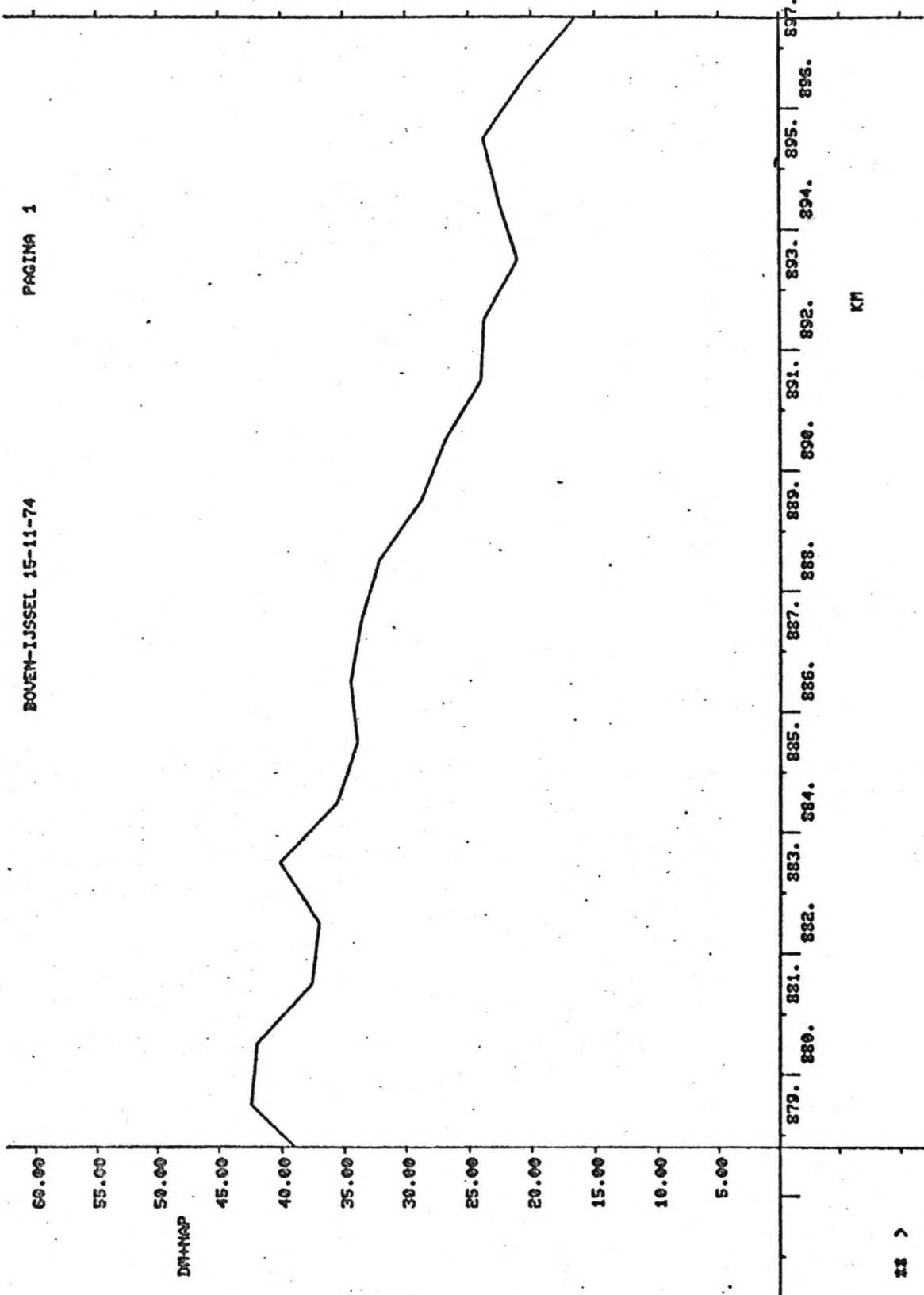


K11

22 >

BOVEN-IJSSEL 15-11-74

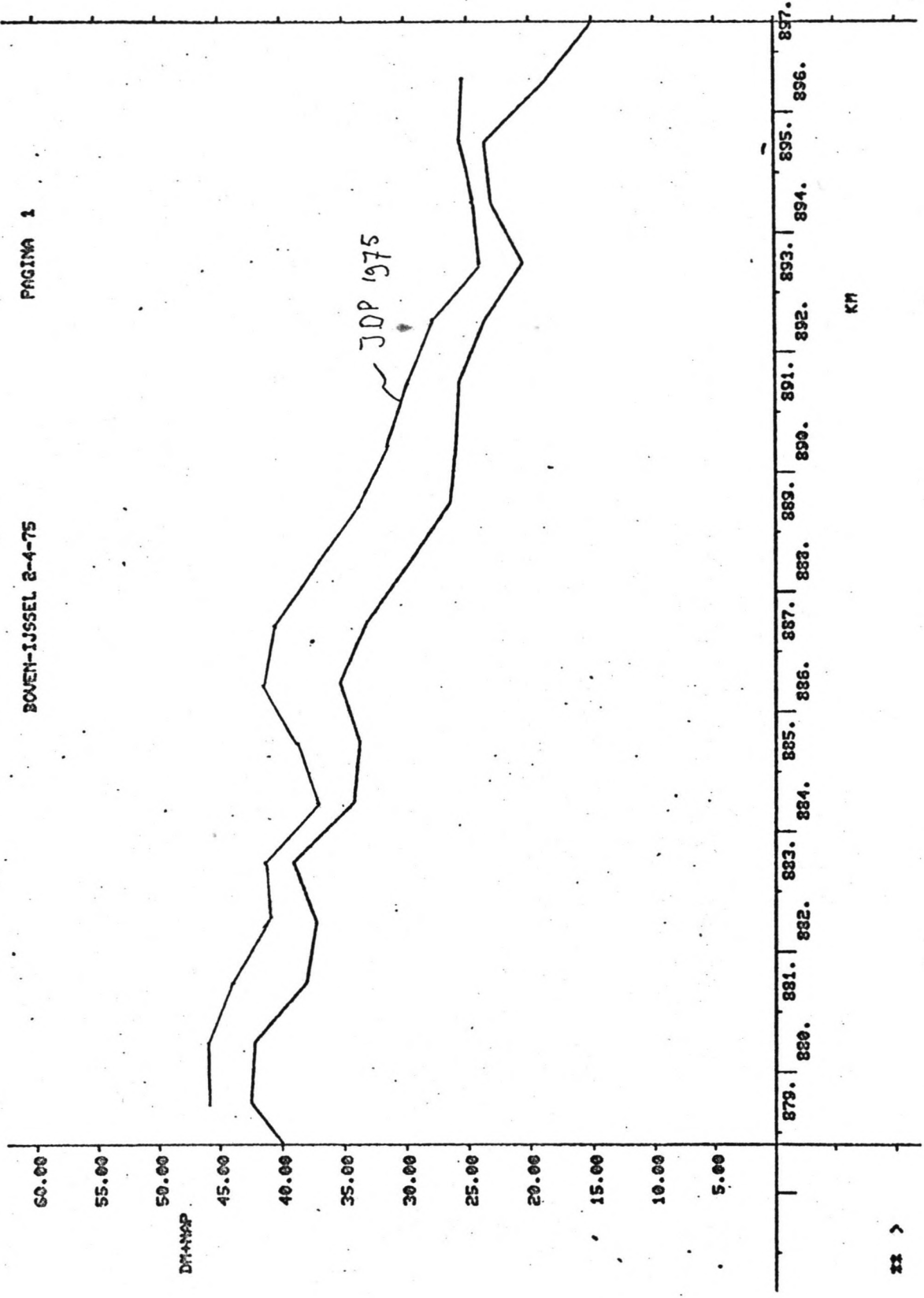
PAGINA 1



22 >

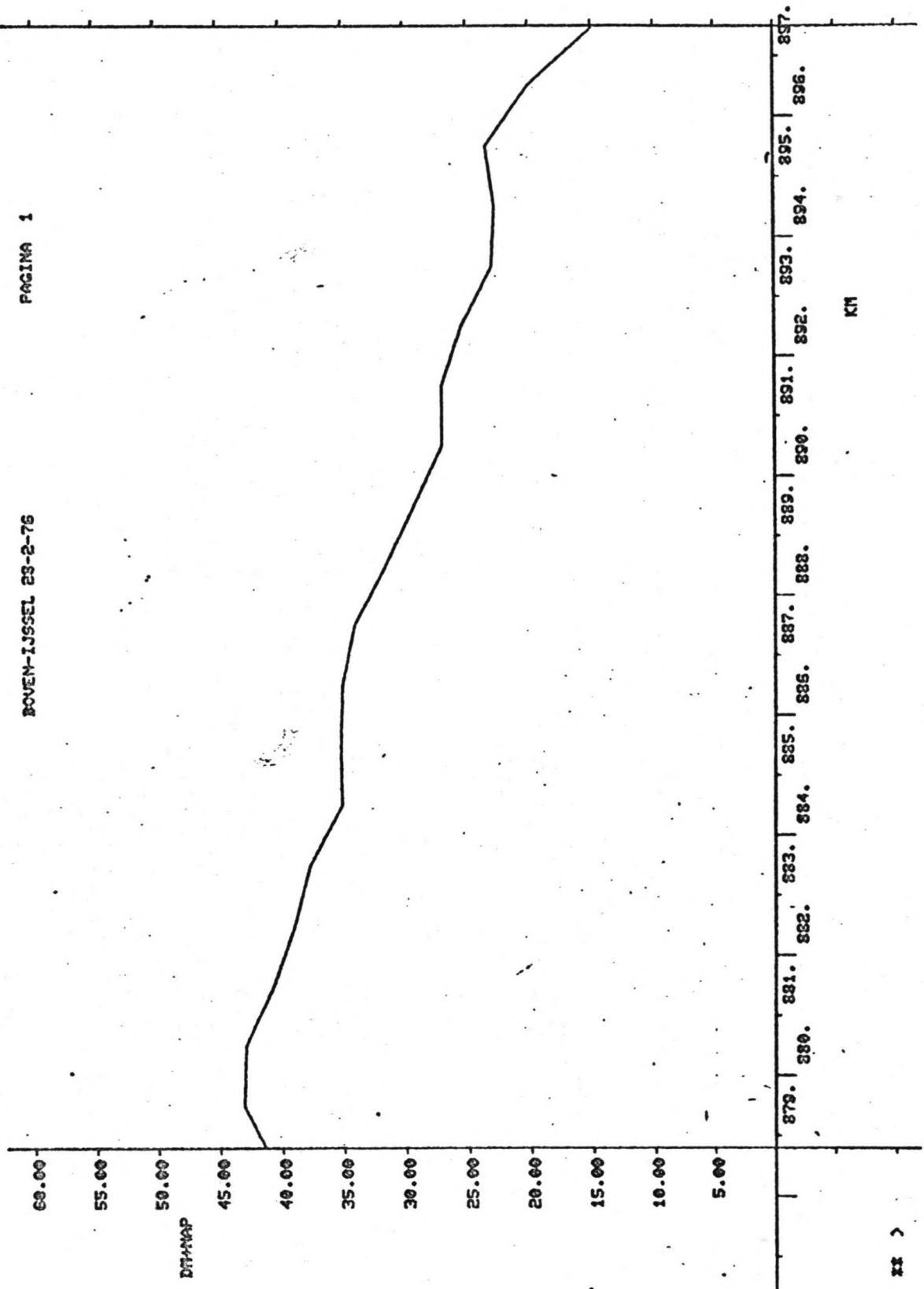
PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 2-4-75



PAGINA 1

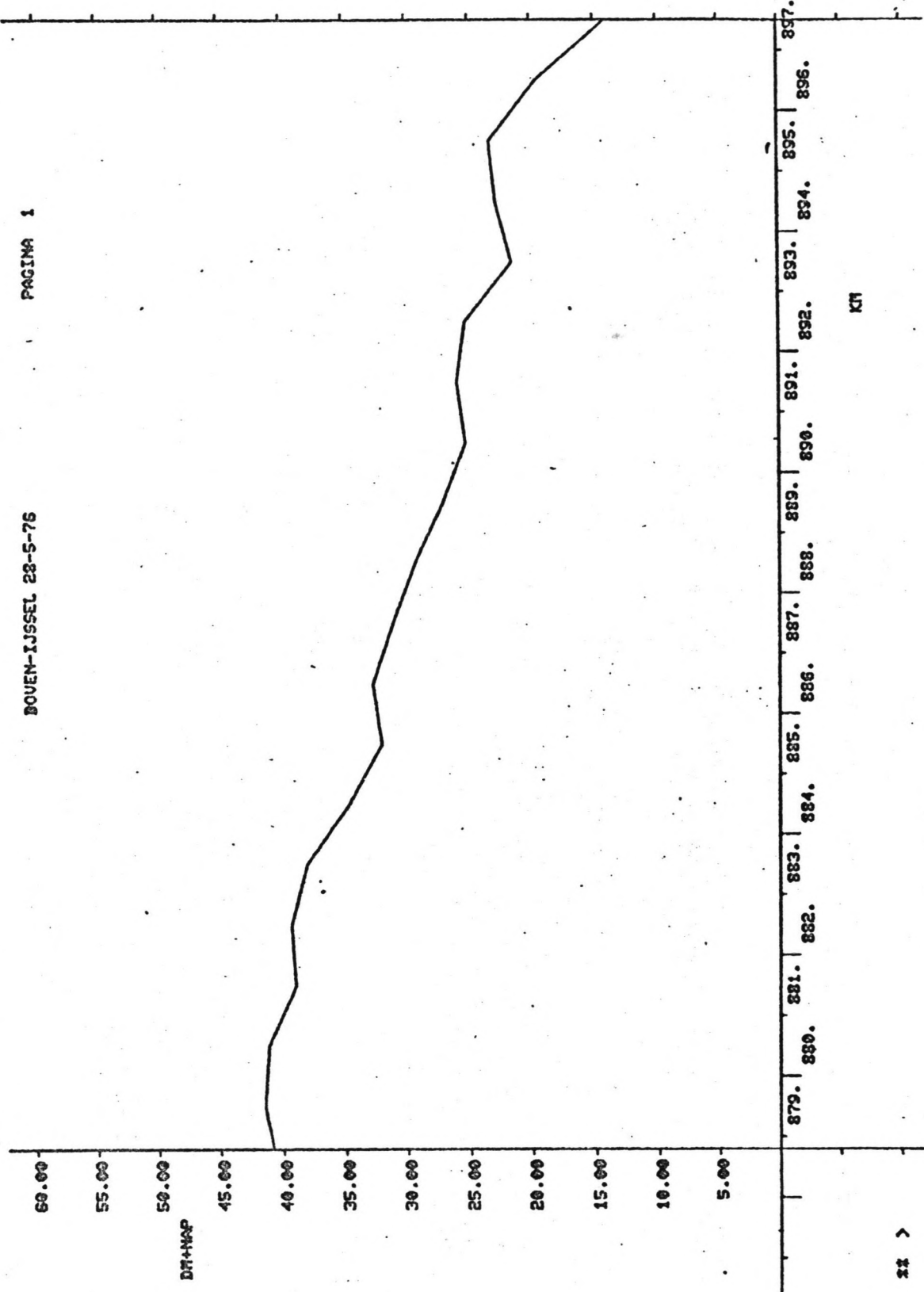
BOVEN-IJSSEL 23-2-76



22 >

PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 28-5-76

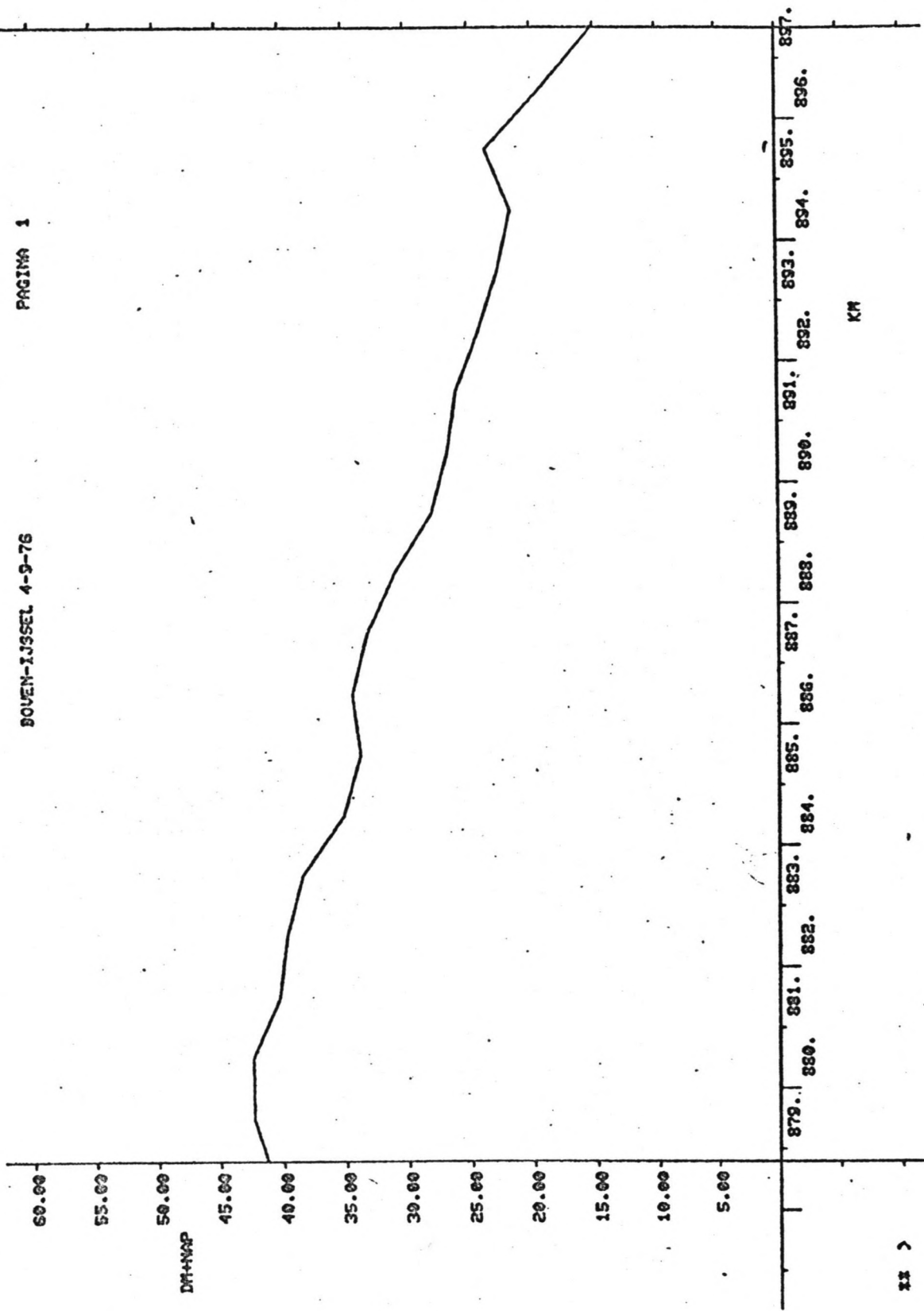


K11

22 >

PAGINA 1

BOVEN-IJSSEL 4-9-76



33 >

+ NAP.

Schaal voor
km 880-881

Schaal voor
km 882-883

Schaal voor
km 884-885

tijd

50

45

40

45

40

35

40

35

30

km 879-880

km 880-881

km 882-883

km 883-884

km 883-884

km 884-885

km 885-886

1976

576

1461

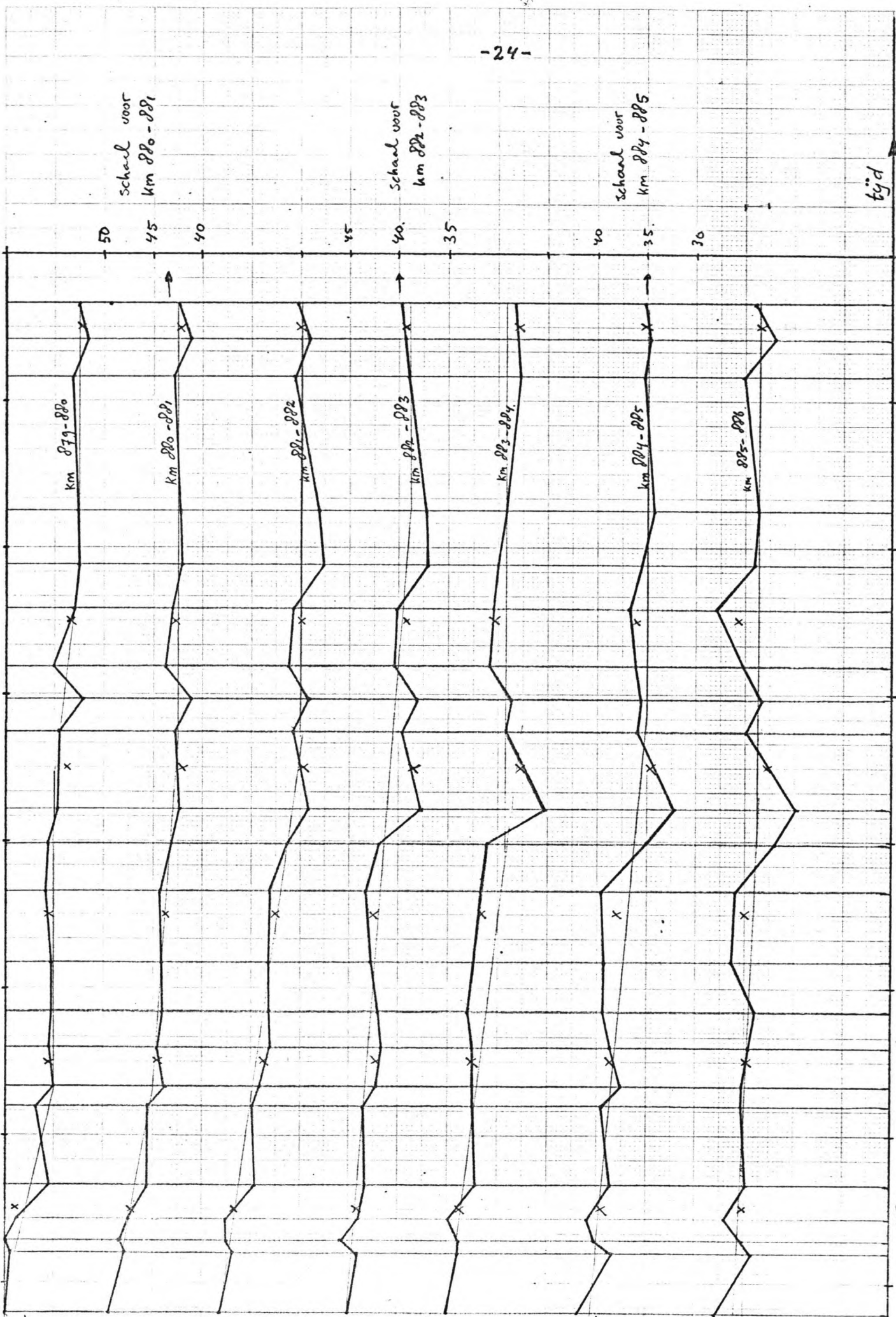
576

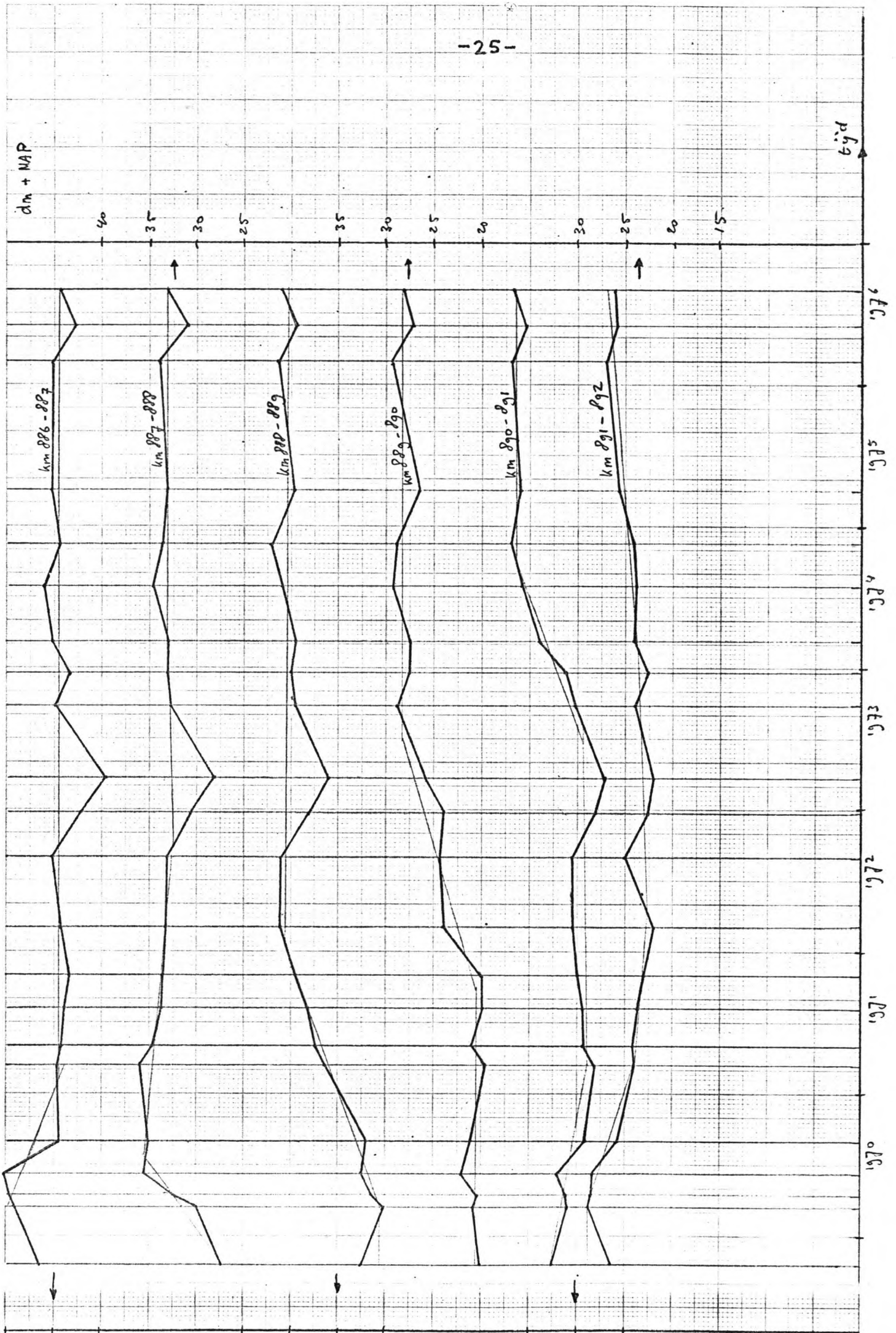
276

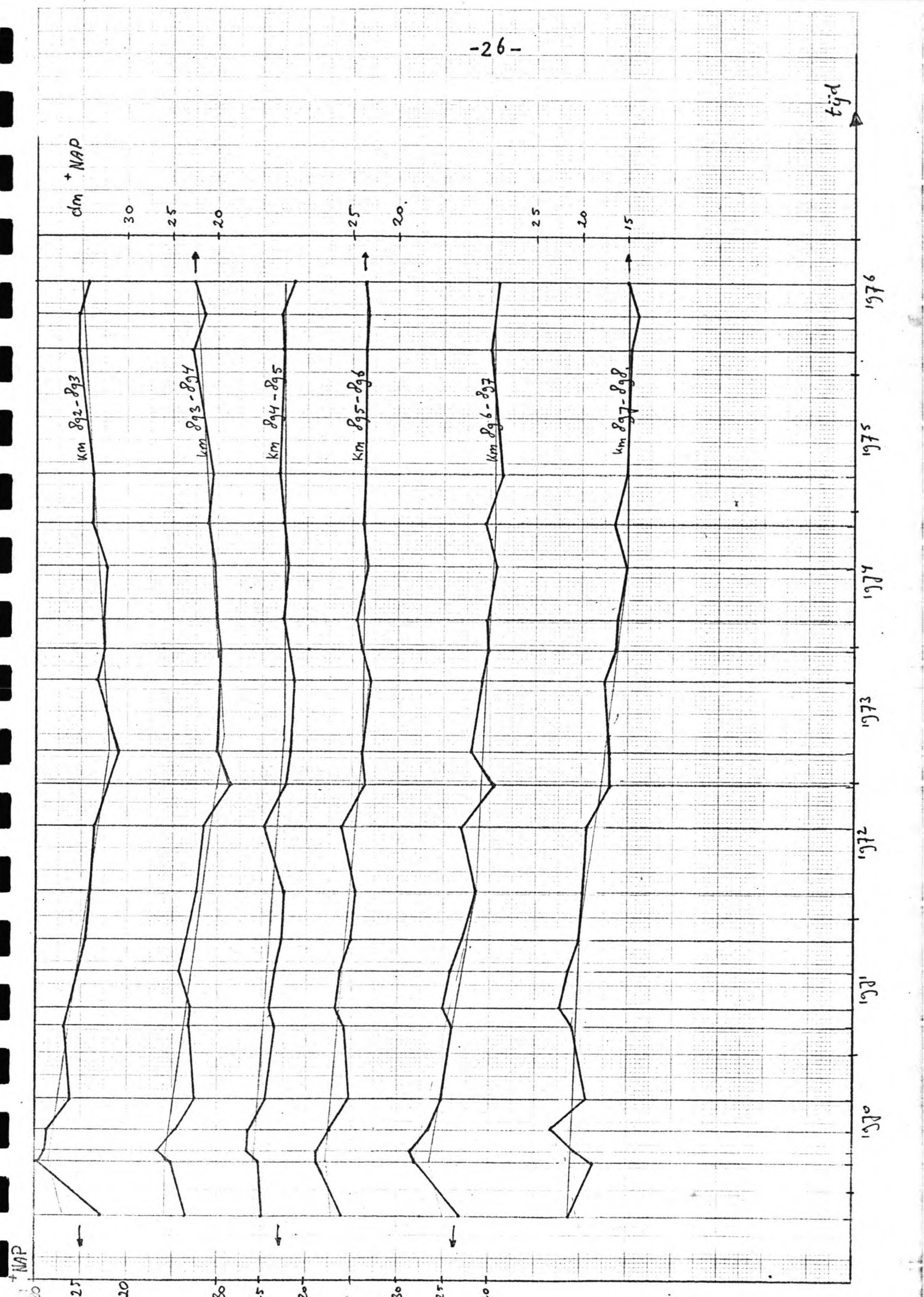
176

076

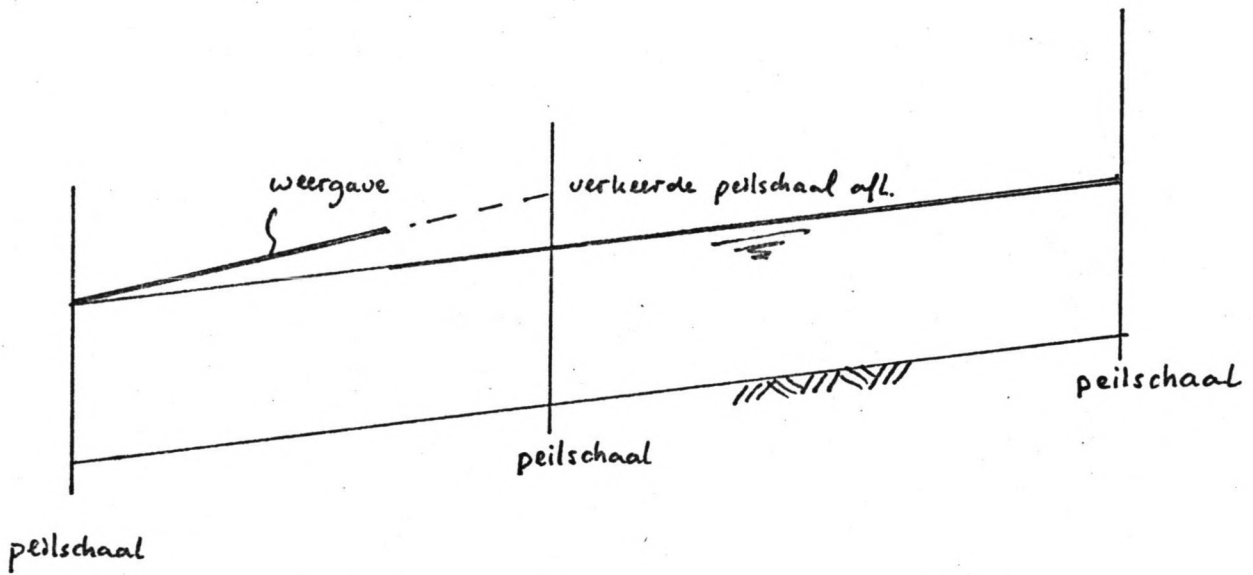
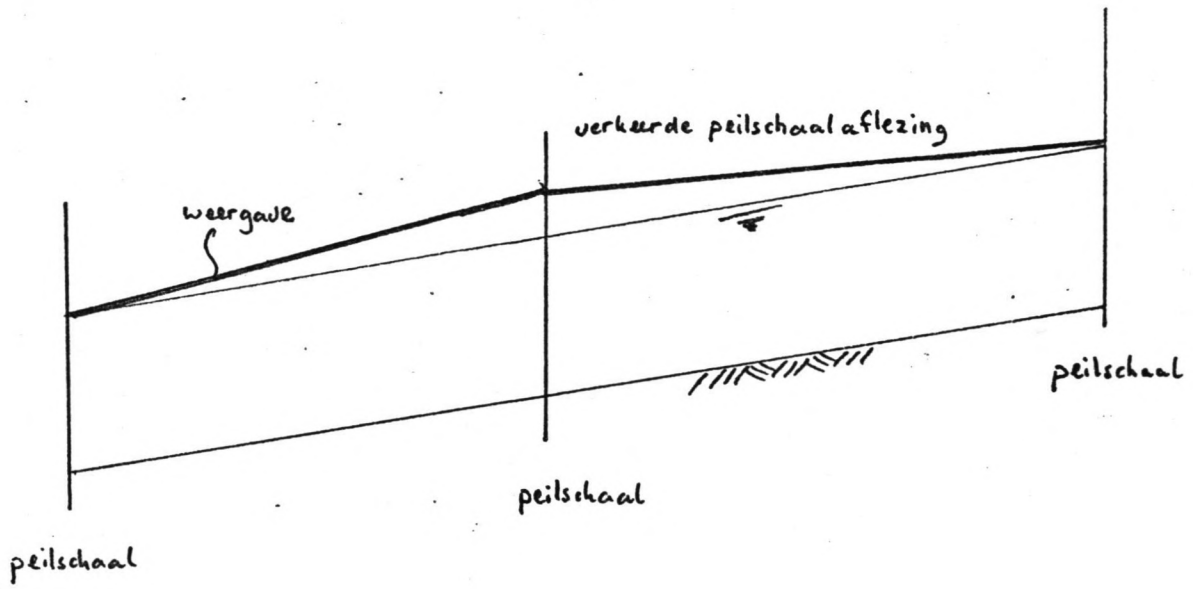
+ NAP.





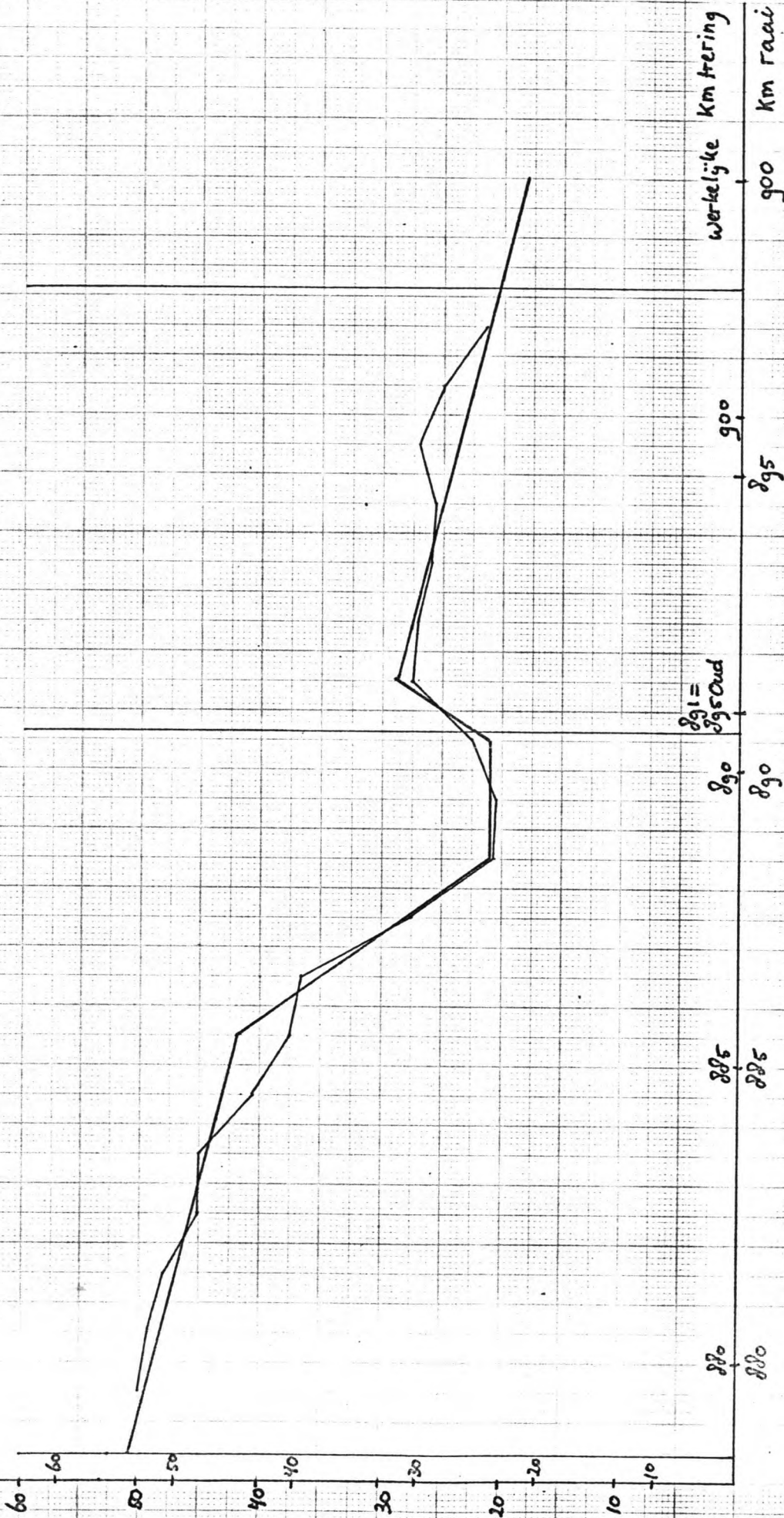


Invloed van een verkeerde peilschaalaflezing.



oktober 1969

dm + NAP



werkelijke km kering

km raa

900

900

895

895

891 = 895 Oud

890

890

885

885

870

880

dm + NAP

1970

km radi

60
50
40
30
20
10

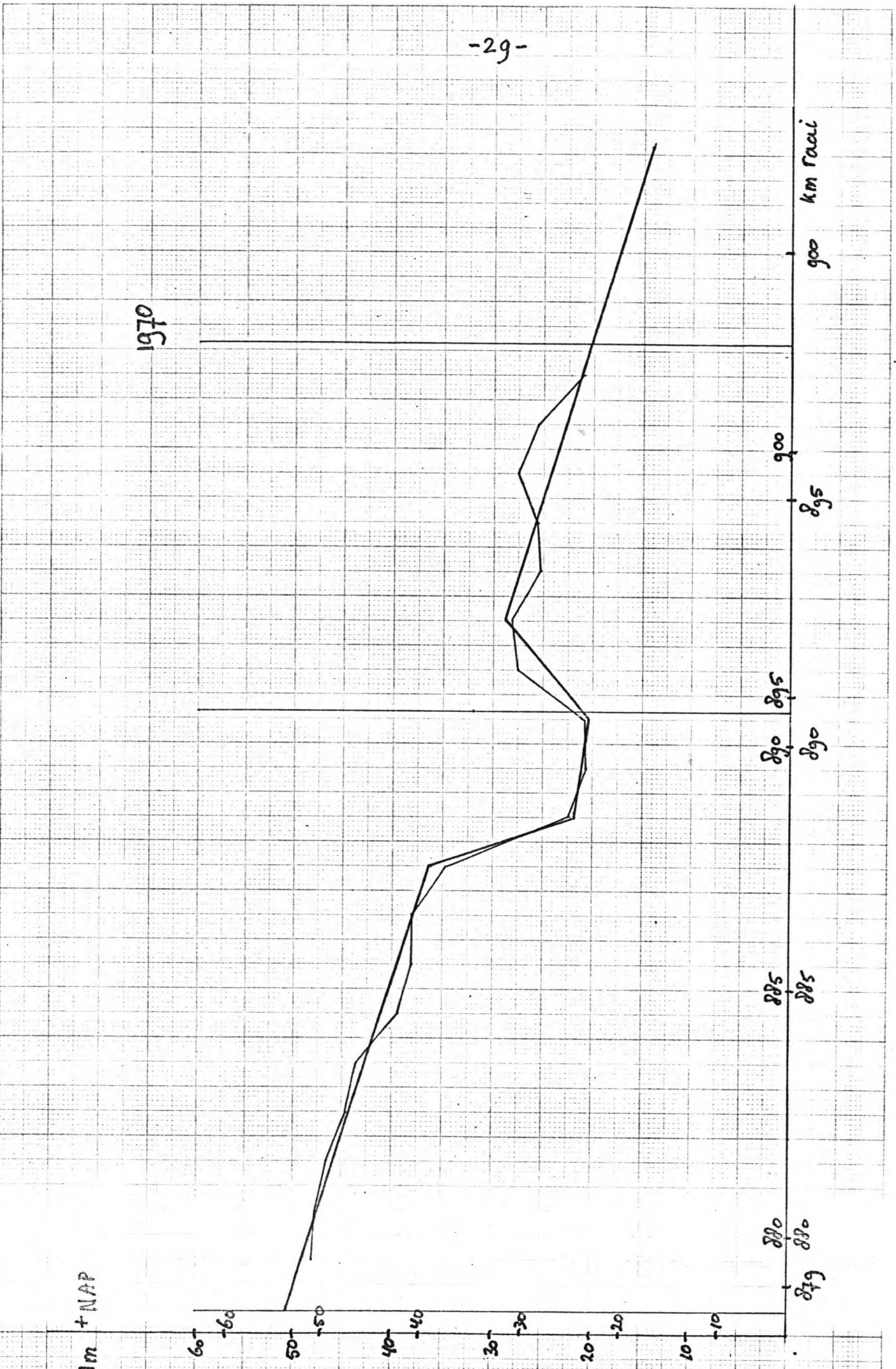
880
879

885
885

890
890

895
895

900
900



1971

dm + NAP

60
50
40
30
20
10

880
880

885
885

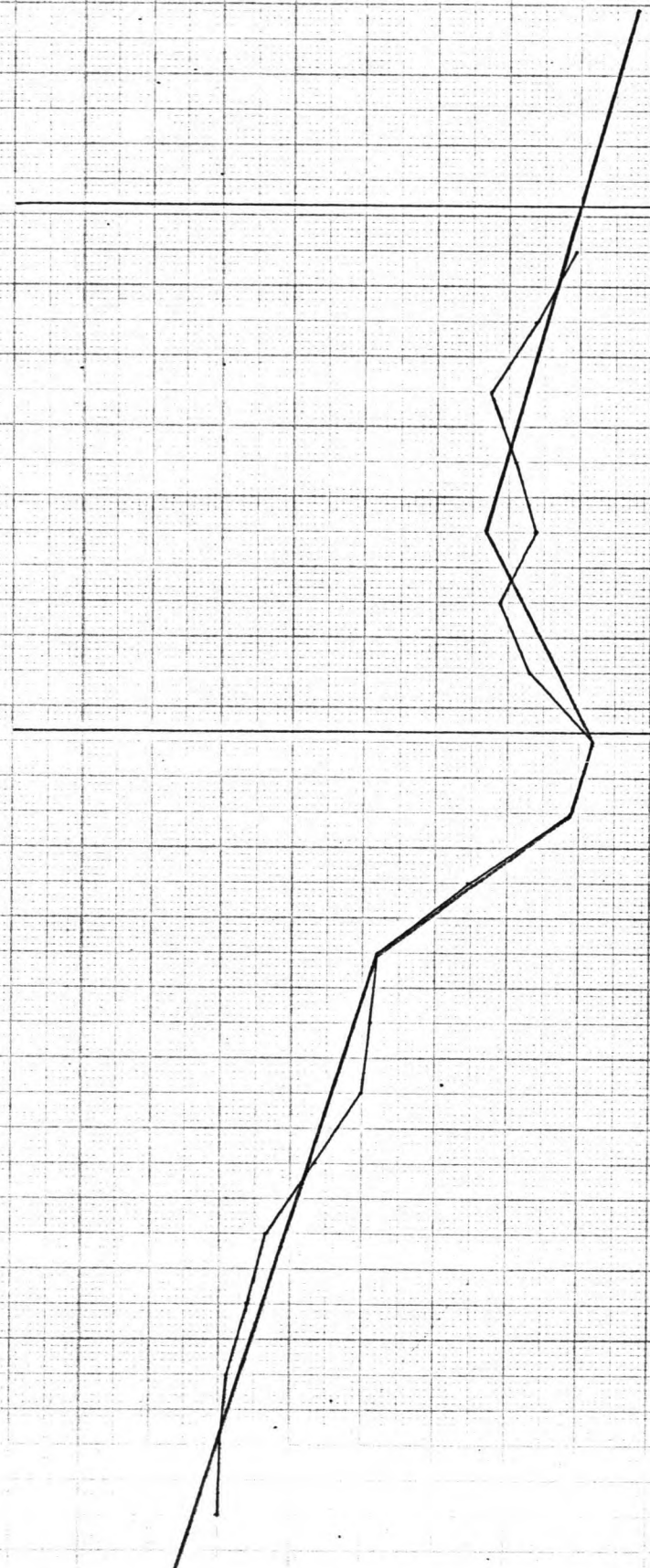
890
890

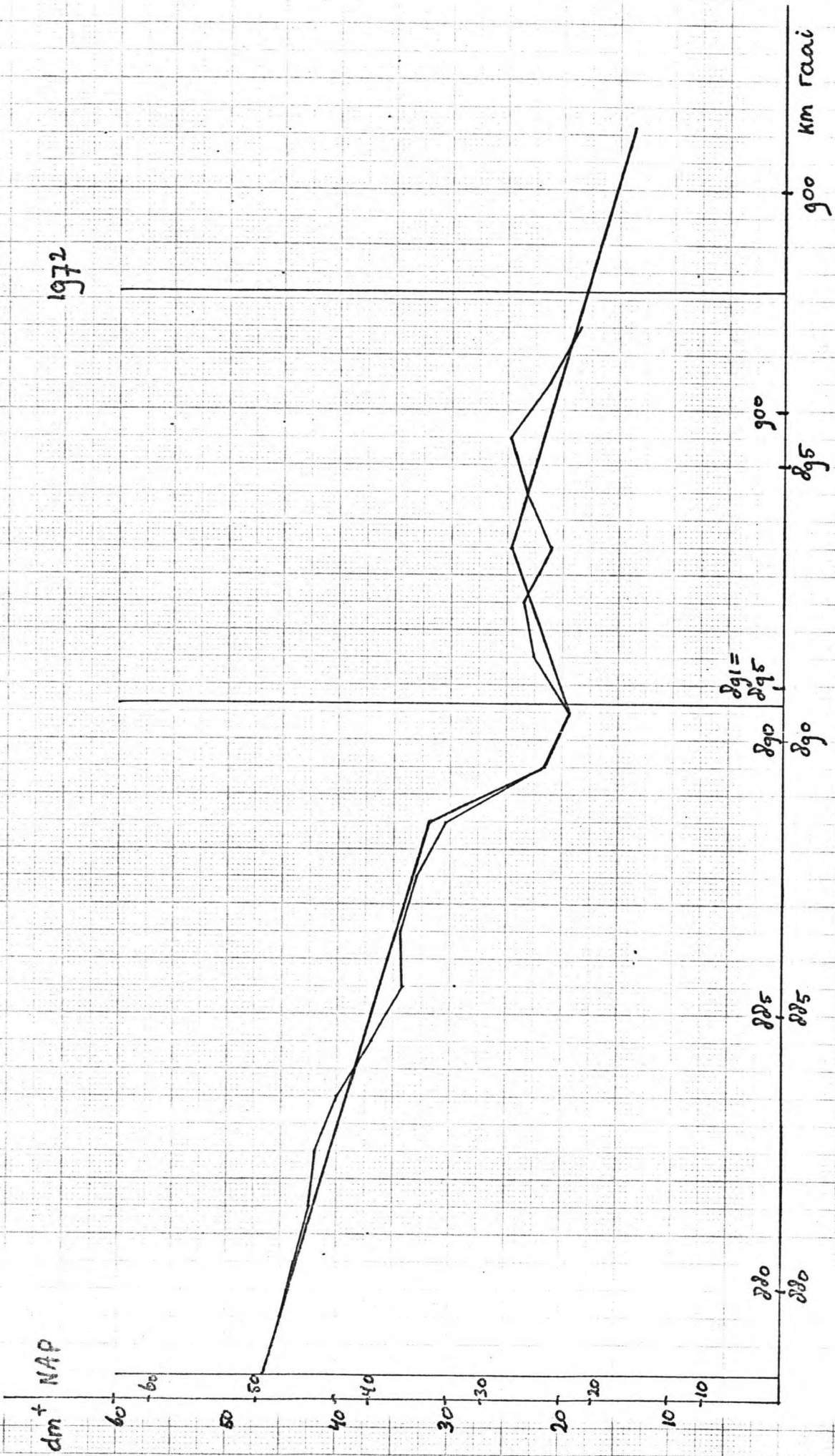
$\delta_{91} = \delta_{95 \text{oud}}$

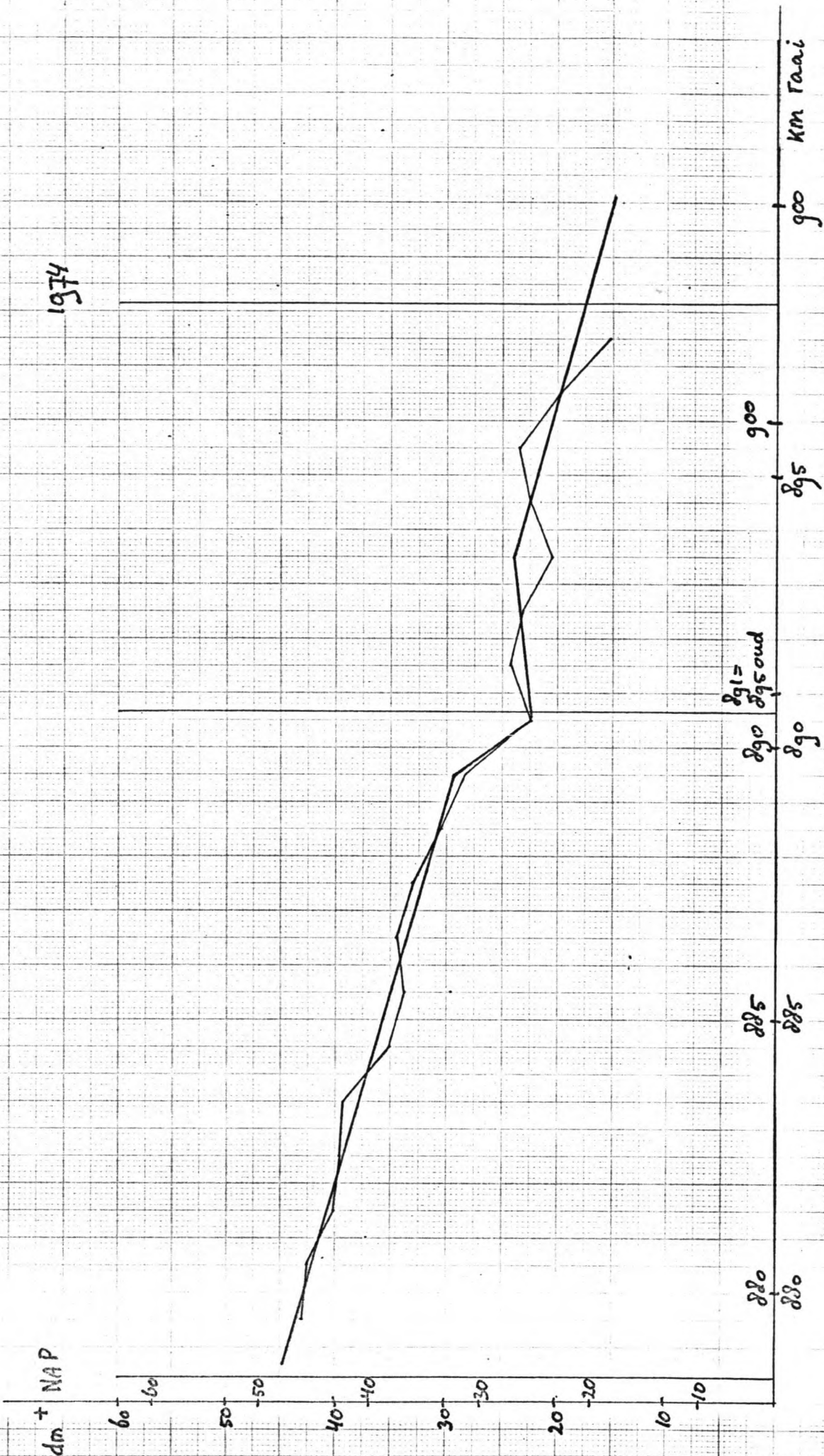
895
895

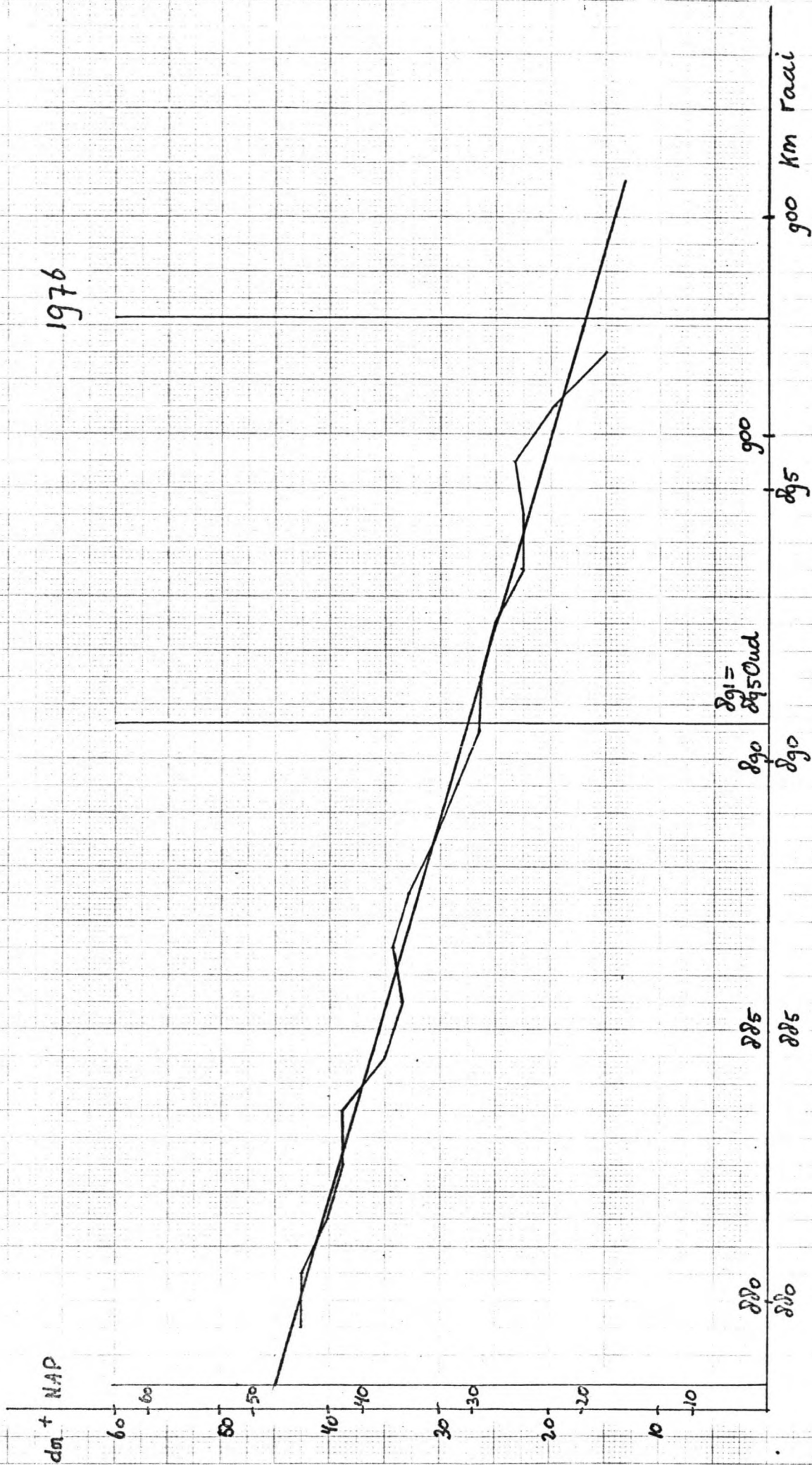
900
900

werkelijke kontreering
900 km raai









gemiddelde bodemligging 58164/68/69

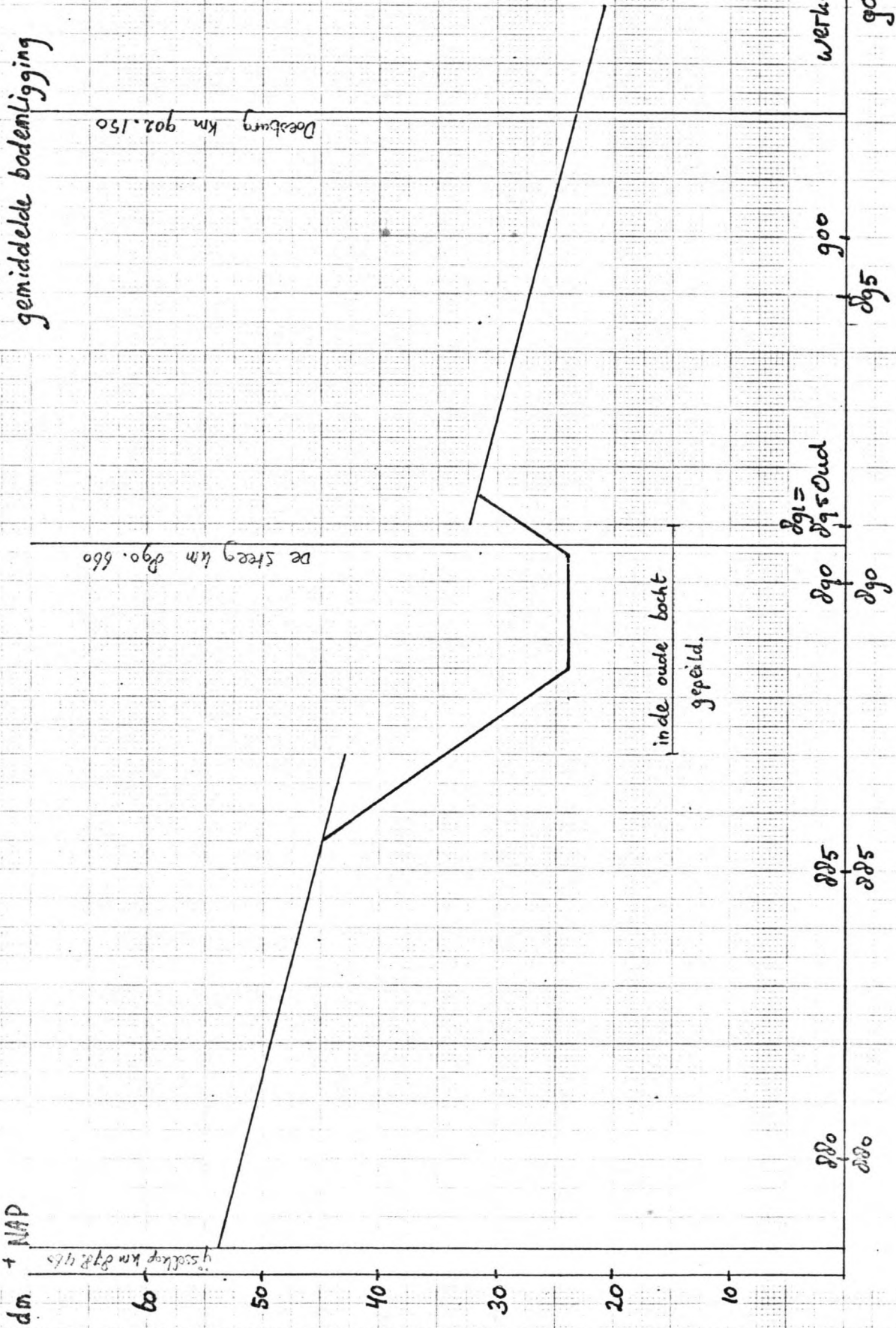
dm + NAP

h'schep km 878.975

de steeg km 890.660

Doeburg km 902.150

werkelijke km trering 900 km raai



inde oude bocht gpeild.

891 = 895 Oud

895 900

885 885

880 880

890 890

JDP 1974

+ NAP

dm

60

50

40

30

20

10

880

880

885

885

890

890

895

895

900

900

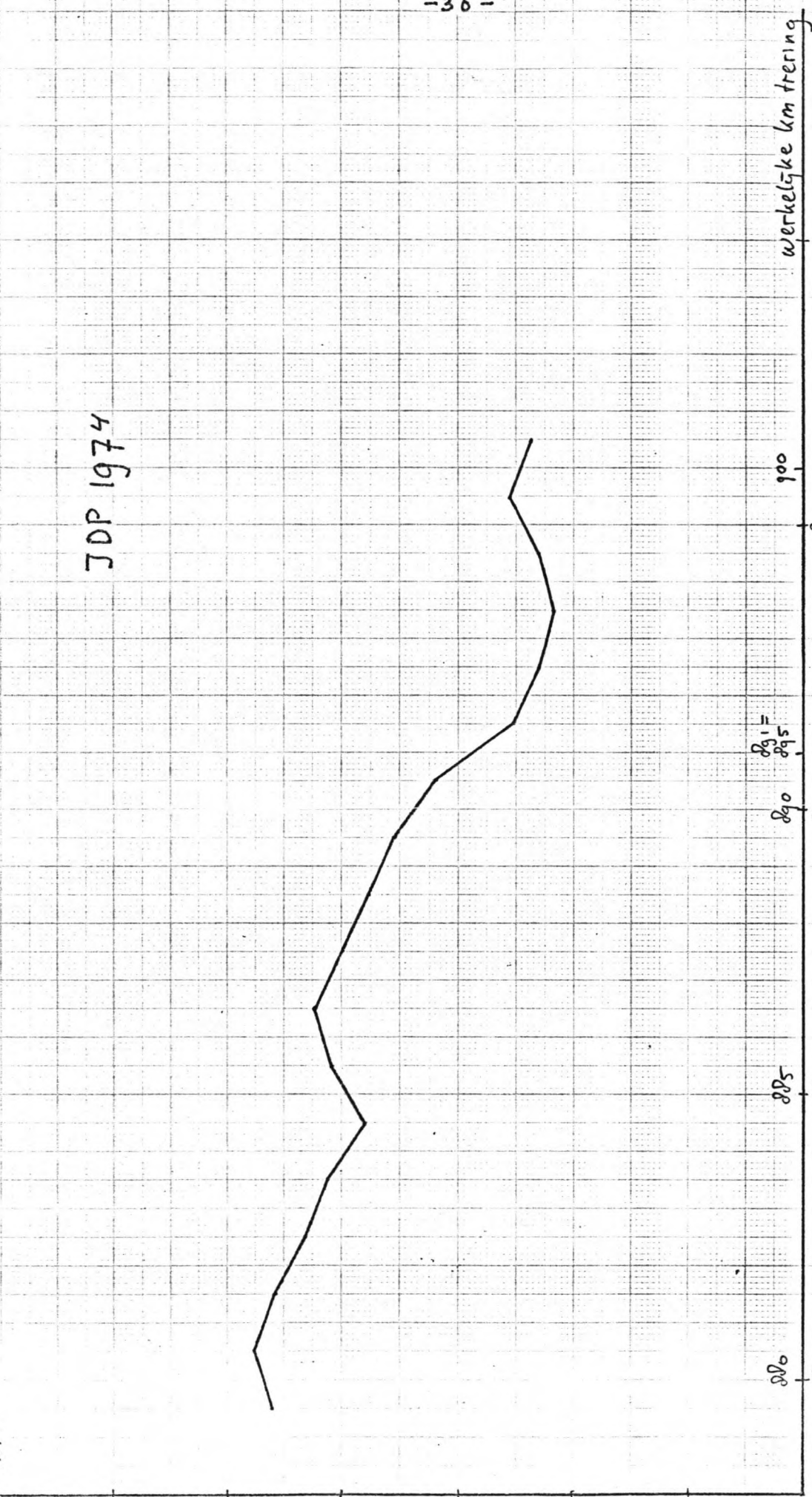
905

900

900

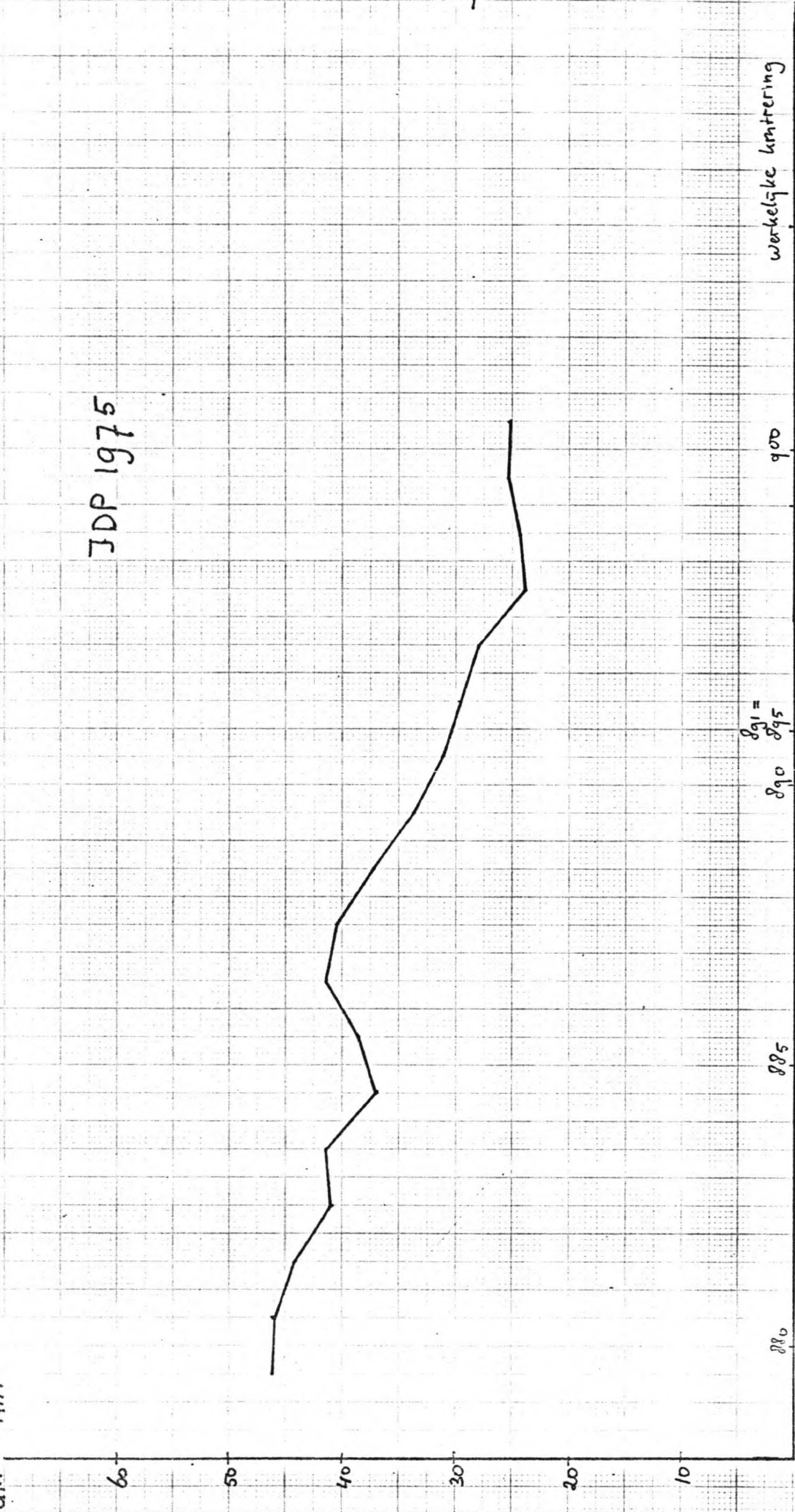
werkelijke km trering

km raai



dm + NAP

JDP 1975

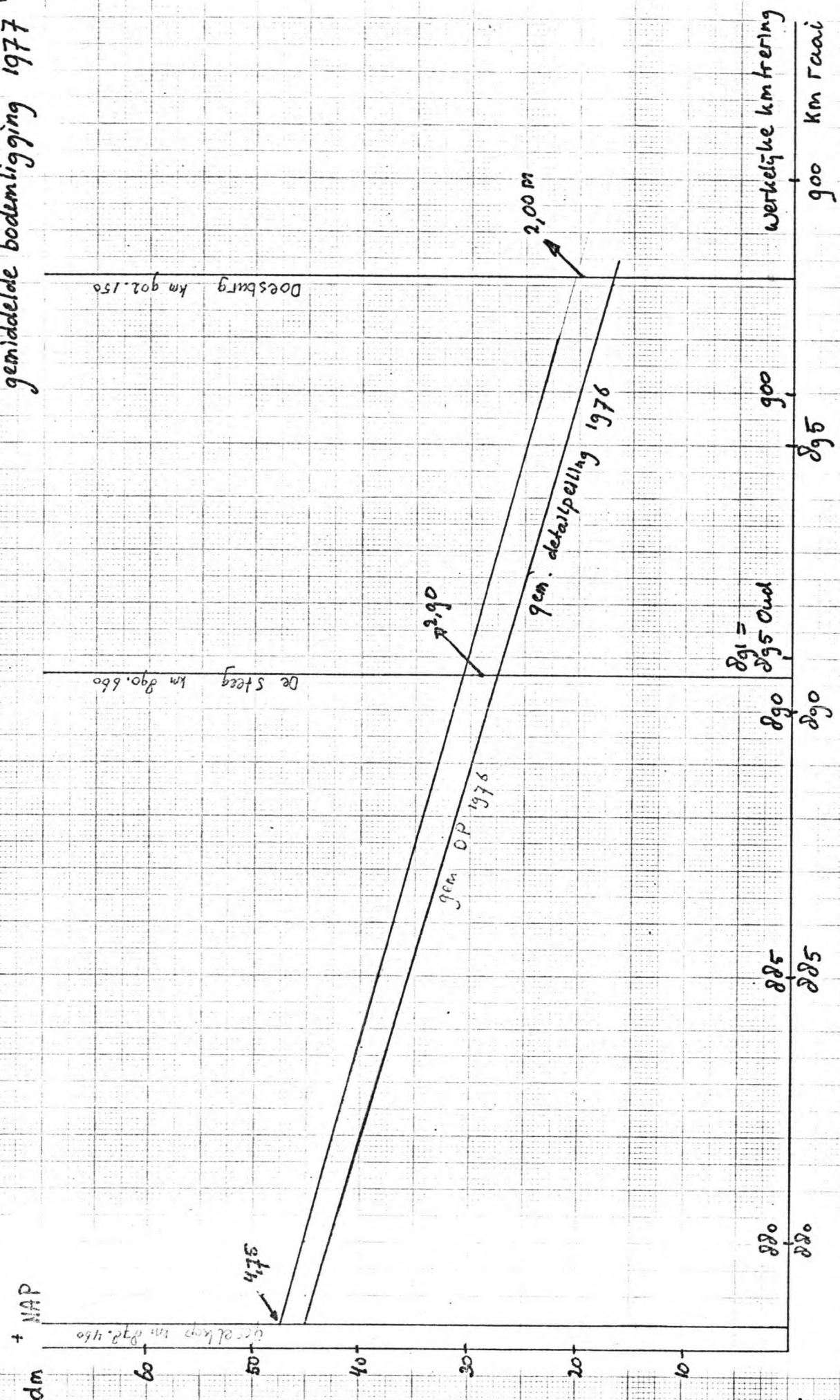


$\frac{\delta 91}{\delta 95}$

werkelijke kmitring

880 885 890 895 900 Km Taai

gemiddelde bodemligging 1977 $\pm 1m$ d1



+ NAP

De Steeg km 890.660

Doesburg km 902.150

2.90

2.00 m

gem. detailpelling 1976

gem. OP 1976

891 = 895 Oud

880

885

890

895

900

werkelijke km trering

Km Gaai

900

1969 oktober
1970 juni
1971 juni
1972 juni
1974 juni
1976 juni

dm + NAP

60
50
40
30
20
10

880
880

885
885

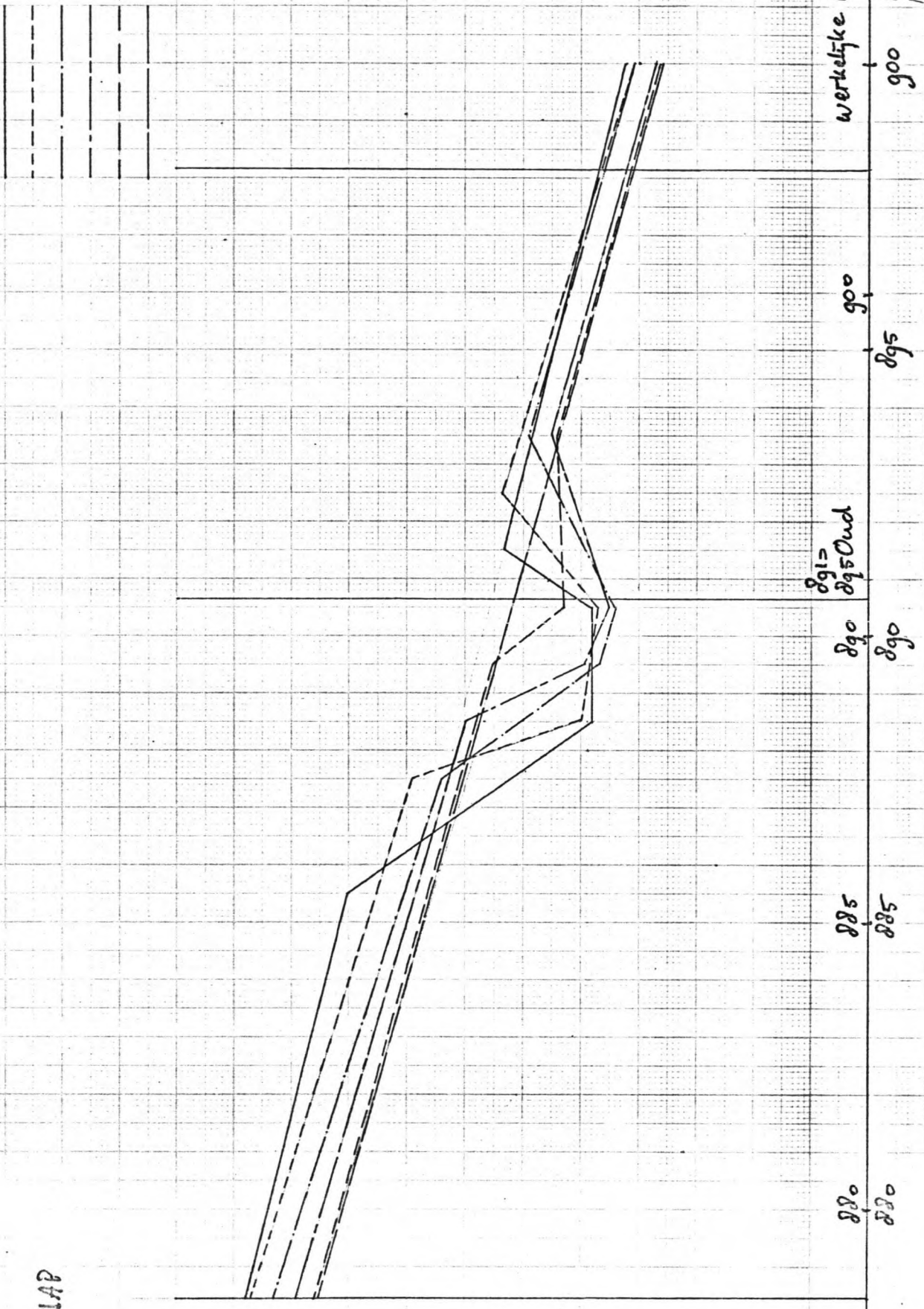
890
890

891 =
895 Oud

895
895

900
900

werkelijke kartering
900 km
900 km

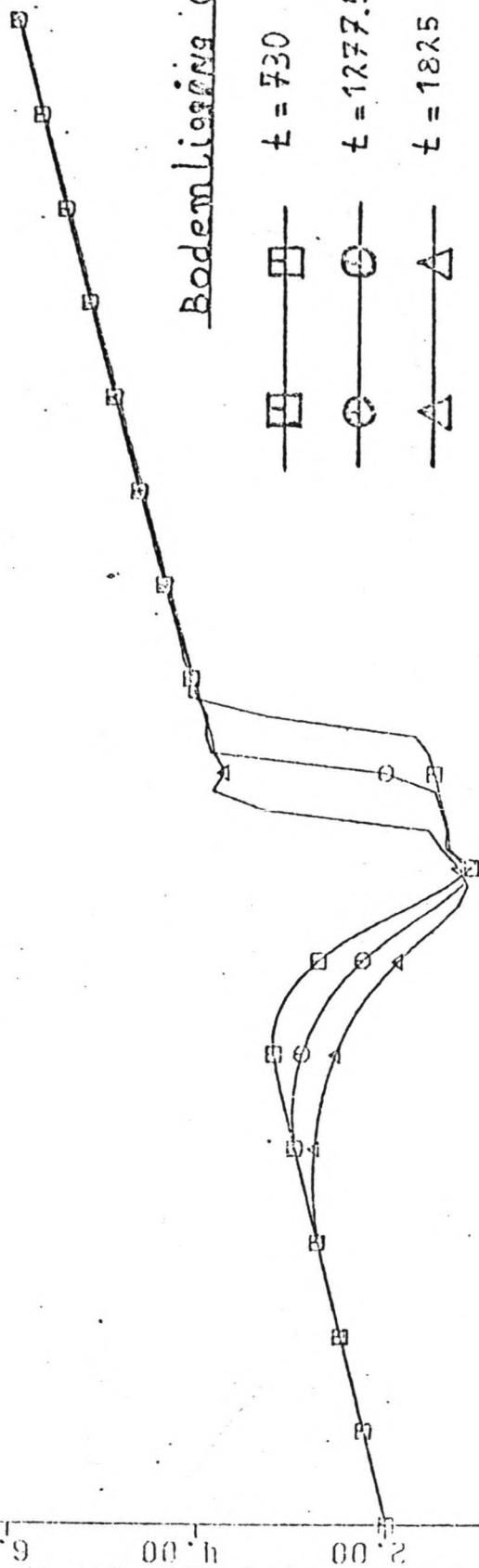


JOB 4205

$dx = 500 \text{ m}$

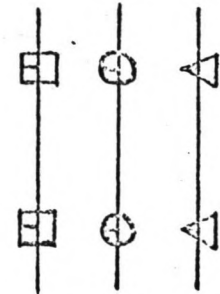
$\beta = 0.01$

BODEMHOGHTES IN M T.O.V. REFERENTIE N



-40-

Bodem Lijning OP



t = 730 etmalen
t = 1277.5 etmalen
t = 1825 etmalen

AFSTAND TOT BFNDFNRAND IN M $\times 10^2$

400.00

350.00

300.00

250.00

200.00

150.00

100.00

50.00

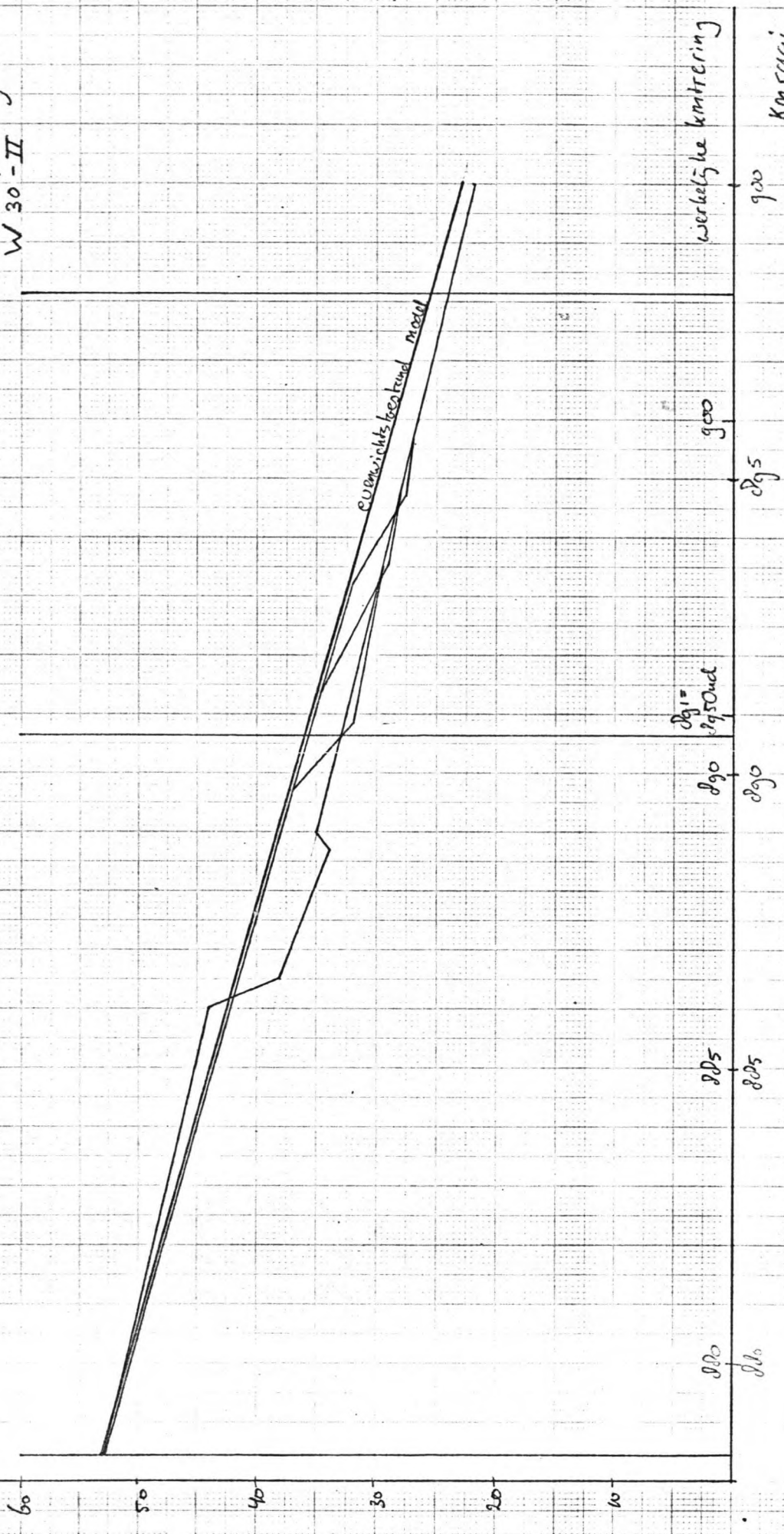
0.00

Berekende bodembelasting
 NO_2 , 3 en 4 jaar
 $S_b = 110 \text{ m}^3/\text{km} (40.000 \text{ m}^3/\text{jaar})$
 door:
 Waterlooplekundig Laboratorium
 W 30-II

grens invloed bovengrond.
 2 jaar 3 jaar 4 jaar

+ NAP

dm



vergelijking zandtransportformule met formule van Frjlink

$$S = A' u \exp(-B'/u^2)$$

$$A' = 7,2 D \sqrt{g \mu} c^{-1}$$

$$B' = 0,27 \Delta D c^2 \mu^{-1}$$

$$s = 7,2 D \sqrt{g \mu} c^{-1} u \exp\left[0,27 \Delta D c^2 \mu^{-1} / u^2\right]$$

$$\frac{S}{\sqrt{g \Delta D^3}} = \frac{7,2 D \sqrt{g \mu}}{\sqrt{g \Delta D^3}} \sqrt{a i} \exp\left[0,27 \frac{\Delta D}{\mu} \frac{1}{a i}\right]$$

$$\frac{S}{\sqrt{g \Delta D^3}} = 7,2 \left(\frac{\mu a i}{\Delta D}\right)^{1/2} \exp\left[0,27 \frac{\Delta D}{\mu a i}\right]$$

$$X = 7,2 Y^{-1/2} \exp 0,27 Y$$

formule van Frjlink $X = 5 Y^{-1/2} \exp 0,27 Y$

Op de constante na zijn deze formules identiek.

Bepaling parameters A' en B' voor $S = 40.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$

$$Q = 250 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu = \left(\frac{C}{C_{90}} \right)^{3/2}$$

$$i = 1,23 \times 10^{-4}$$

$$C = 47,7 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$C_{90} = 10 \log \frac{12a}{D} = 73,4 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$$

$$B_q = 70 \text{ m}$$

$$B_s = 65 \text{ m}$$

$$D = 0,0026 \text{ m}$$

$$\mu \approx 0,52$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= B_q a \bar{u} \\ \bar{u} &= C \sqrt{a i} \end{aligned} \right\} \bar{u} = \left(\frac{Q C^2 i}{B_q} \right)^{1/3}$$

$$u = 1,00 \text{ m/s}$$

$$a = 3,57 \text{ m}$$

$$s = \frac{S}{B_s \cdot 1 \text{ jaar}} = 0,0000195 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$s = A' u \exp(-B'/u^2)$$

$$A' = 7,2 D \sqrt{g \mu} C^{-1}$$

$$B' = 0,27 \Delta D C^2 \mu^{-1}$$

door keuze van μ kunnen A' en B' zo bepaald worden dat het transport $40.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ bedraagt.

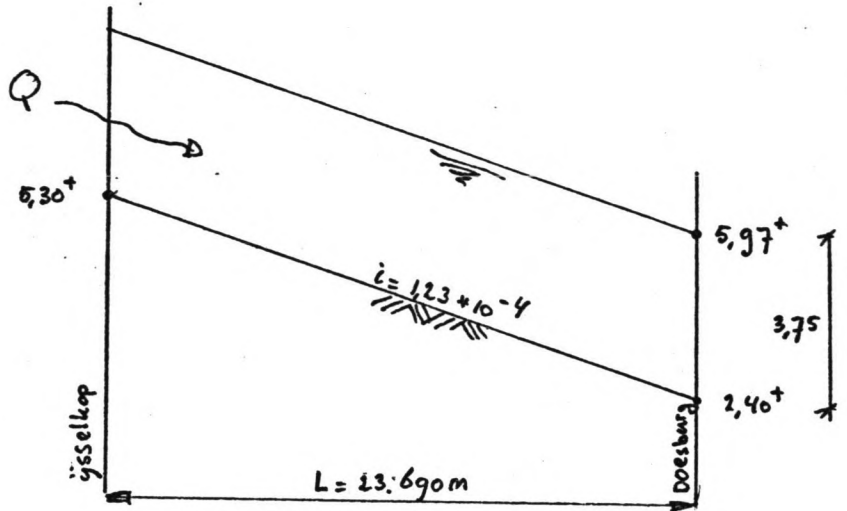
$$\Rightarrow \mu = 0,83$$

$$A' = 0,00155 \text{ m}$$

$$B' = 4,40 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Berekening evenwichtssituatie model W.L.

toestand voor
bochtafsnijding



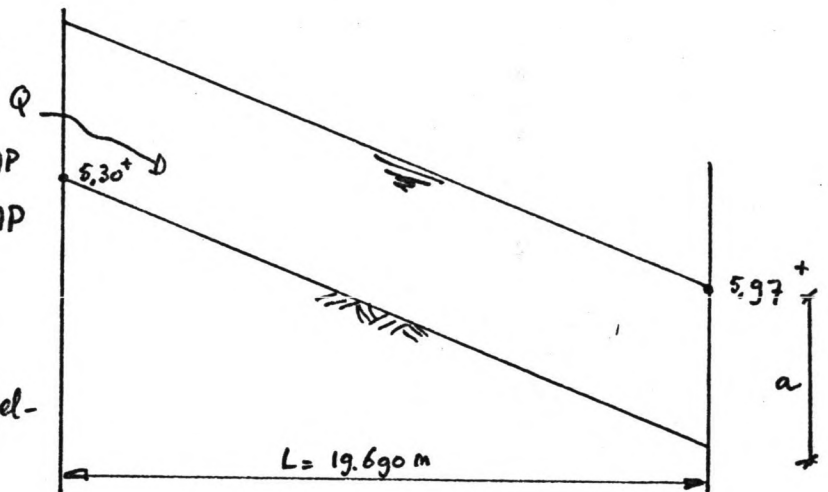
na inkorting onveranderd:

debiet $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$

benedenwst $5.97 \text{ m} + \text{NAP}$

bodeml. jk. $5.30 \text{ m} + \text{NAP}$

in de evenwichtssituatie
lopen bodem- en waterspiegel-
lijn evenwijdig



$$i = \frac{a - 0.67}{19.690}$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= B_q a \bar{u} \\ \bar{u} &= C \sqrt{ai} \end{aligned} \right\} Q = B_q C a^{3/2} i^{1/2}$$

$$\begin{aligned} B_q &= 70 \text{ m} \\ Q &= 250 \text{ m}^3/\text{s} \\ C &= 47.7 \text{ m}^{1/2}/\text{s} \end{aligned}$$

hieruit volgt:

$$\begin{aligned} a &= 3.42 \text{ m} \\ \bar{u} &= 1.044 \text{ m}/\text{s} \\ i &= 1.40 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Doesburg}} = 2.55 \text{ m} + \text{NAP}$$

Bepaling voortplantingssnelheid bodemverstoring voor de formule van Frjlink.

$$X = 5 Y^{-1/2} e^{-0,27 Y}$$

$$X = \frac{s}{\sqrt{g \Delta D^3}} \quad Y = \frac{\Delta D}{\rho a i} = \frac{\Delta D C^2}{\rho u^2}$$

wanneer de parameters C , ρ en D constant verondersteld worden is het transport alléén een functie van de snelheid.

Voor de voortplantingssnelheid van een kleine bodemverstoring geldt:

$$c_b = \frac{ds}{du} \cdot \frac{u}{a} \quad \text{of} \quad c_b = \frac{ds}{dy} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{u}{a}$$

$$c_b = \sqrt{g \Delta D^3} \left[-\frac{1}{2} \cdot 5 Y^{-3/2} e^{-0,27 Y} - 0,27 \cdot 5 \cdot Y^{-1/2} e^{-0,27 Y} \right] + 2u^3 \frac{\Delta D C^2}{\rho} \cdot \frac{u}{a}$$

$$c_b = \left(-\frac{1}{2} Y^{-1} - 0,27 \right) s + \frac{-2Y}{a}$$

$$c_b = (1 + 0,54 Y) \frac{s}{a}$$

s in m^2/jaar

c_b in m/jaar

$$c_b = (1 + 0,54 Y) \frac{s \cdot u}{q}$$

orde van grootte $Y = \frac{\Delta D}{\rho a i} = 16,3 \quad (\text{bij } Q = 250 \text{ m}^3/\text{s})$

$$c_b = (1 + 0,54 \cdot 16,3) \frac{599 \cdot 1,00}{3,75} = 1645 \text{ m/jaar}$$

Bepaling voortplantingssnelheid bodemverstoring voor de formule van Ackers en White.

Wanneer de transportformule behalve de stroomsnelheid de waterdiepte ook als parameter heeft geldt:

$$\psi = \frac{1}{a} \frac{\partial S}{\partial u} - \frac{1}{u} \frac{\partial S}{\partial a} \quad (\text{de Vries 1975})$$

er geldt $C_b = \psi \cdot u$

$$S_x = \frac{D_{35}}{\rho} \cdot \text{const} \cdot u \left(\frac{u}{u \sqrt{g/c}} \right)^n \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$$

$$F_{gr} = \left[\frac{\bar{u}}{\sqrt{g \Delta D_{35}} \sqrt{32} \log \frac{10a}{D_{35}}} \right] \cdot \left[\frac{\sqrt{g'}}{C} \sqrt{32} \log \frac{10a}{D_{35}} \right]^n$$

ofwel:

$$S_x = \text{const} \cdot u \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$$

$$F_{gr} = \text{const} \cdot u \left(\log \frac{10a}{D_{35}} \right)^{n-1}$$

$$\frac{\partial S}{\partial u} = \frac{S_x}{u} + \frac{S_x m}{A \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)} \cdot \frac{\partial F_{gr}}{\partial u}$$

$$\frac{\partial F_{gr}}{\partial u} = \frac{F_{gr}}{u}$$

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \frac{S_x m}{A \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)} \cdot \frac{\partial F_{gr}}{\partial a}$$

$$\frac{\partial F_{gr}}{\partial a} = \text{const} \cdot u \cdot \left(\log \frac{10a}{D_{35}} \right)^{n-2} \cdot \frac{n-1}{a} = \frac{n-1}{a} \frac{F_{gr}}{\log \frac{10a}{D_{35}}}$$

$$C_b = \frac{u}{a} \frac{\partial S}{\partial u} - \frac{\partial S}{\partial a}$$

$$C_b = \frac{u}{a} \left[\frac{S_x}{u} + \frac{S_x}{u} \cdot \frac{m F_{gr}}{(F_{gr}-A)} \right] - \left[\frac{S_x m F_{gr}}{a (F_{gr}-A)} \frac{n-1}{\log \frac{10a}{D_{35}}} \right]$$

$$C_b = \frac{S_x u}{a u} \left[1 + \frac{m F_{gr}}{(F_{gr}-A)} - \frac{m F_{gr}}{(F_{gr}-A)} \cdot \frac{n-1}{\log \frac{10a}{D_{35}}} \right]$$

$$C_b = \left[1 + \frac{m F_{gr}}{F_{gr}-A} \left(1 - \frac{n-1}{\log \frac{10a}{D_{35}}} \right) \right] \frac{S_x u}{Q}$$

C_b	in	m/jaar
S	in	m^3/jaar
u	in	m/s
Q	in	m^3/s

voorbeeld bodemvoortplantingssnelheid Ackers en White

$$Q = 335 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$a = 4,45 \text{ m}$$

$$B_s = 52 \text{ m}$$

$$B_q = 68 \text{ m}$$

$$\bar{u} = 1,1 \text{ m/s}$$

$$C = 45 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$D_{35} = 0,0030 \text{ m}$$

$$q = \frac{Q}{B_q} = 4,93 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S_x = 501 \text{ m}^2/\text{jaar}$$

$$S = 30.200 \text{ m}^2/\text{jaar}$$

$$D_{gr} \geq 60$$

$$m = 1,5$$

$$n = 0,00$$

$$A = 0,17$$

$$\log \frac{10a}{D_{35}} = 4,17$$

$$F_{gr} = 0,214$$

$$C_b = (1 + 7,295 \times 1,240) \frac{S_x u}{q}$$

$$C_b = 10,04 \cdot \frac{S_x u}{q}$$

$$C_b = 1315 \text{ m}^2/\text{jaar}$$

$$\begin{aligned} \text{stel } Q &= 250 \text{ m}^2/\text{s} \\ C &= 45 \text{ m}^{1/2}/\text{s} \\ D_{35} &= 0,0030 \text{ m} \end{aligned}$$

bij een waterdiepte van $a = 4,27 \text{ m}$
en $\bar{u} = 0,87 \text{ m/s}$
 $Bq = 66,9 \text{ m}$ vindt er precies geen
transport meer plaats

Voor de ongestoorde toestand benedenstrooms van F_0 gelden de
waarden op bijlage 50 waarbij $a = 3,57 \text{ m}$

de afstand $F_0 - E$ bedraagt dus $0,70 \text{ m}$ ($4,27 - 3,57$)

In een periode Δt is punt F verplaatst over $C_b \cdot \Delta t$
waarbij $C_b = 1675 \text{ m/jaar}$ (bijlage 50)

er moet dus gelden $\Delta t \cdot \Delta S = \frac{1}{2} C_b \Delta t (F_0 - E)$

$$\begin{aligned} \text{of } \Delta S &= \frac{1}{2} 1675 \cdot 0,70 \\ \Delta S &= 586 \text{ m}^3/\text{jaar} \end{aligned}$$

Aangezien S_{kuil} gelijk is aan nul moet ΔS gelijk
zijn aan het ongestoorde transport van $591 \text{ m}^3/\text{jaar}$
(bijlage 50)

Uit deze beschouwing blijkt dat het rechtlijnig aan-
genomen bodemverloop tussen E en F_1 goed de werke-
lijkheid beschrijft.

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$a = 3,57 \text{ m}$$

$$B_s = 52 \text{ m}$$

$$B_q = 64,5 \text{ m}$$

$$\bar{u} = 1,09 \text{ m}$$

$$D = 0,0036 \text{ m}$$

$$C = 45 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{stel } D_{35} = 0,0030 \text{ m}$$

$$q = \frac{Q}{B_q} = 3,88 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S_x = 591 \text{ m}^2/\text{jaar}$$

$$S = B_s S_x = 30.700 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

$$D_{gr} \geq 60$$

$$m = 1,5$$

$$n = 0,00$$

$$A = 0,17$$

$$\log \frac{10a}{D_{35}} = 4,08$$

$$F_{gr} = \frac{\bar{u}}{\sqrt{gAD_{35}} \sqrt{32} \log \frac{10a}{D_{35}}} = 0,214 \quad (\text{voor } D_{gr} \geq 60)$$

$$C_b = \left[1 + \frac{m F_{gr}}{F_{gr} - A} \left(1 - \frac{n-1}{\log \frac{10a}{D_{35}}} \right) \right] \frac{S_x \bar{u}}{q}$$

$$C_b = (1 + 7,295 * 1,245) * \frac{S_x \bar{u}}{q}$$

$$C_b = 1675 \text{ m}^3/\text{jaar}$$

morfologische computerberekening Bovenijssel

beginbodempligging: bijlage toestand oktober 1969

gemiddelde afvoer: $285 \text{ m}^3/\text{s}$

stroomvoerende breedte: 67 m

zandtransporterende breedte: 52 m

korreldiameter d_{35} : 0,0025 m

Chézy-waarde: $49,0 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

randvoorwaarden:

benedenstroomse rand: $a = 3,92 \text{ m}$

bovenstroomse rand: $S = 45.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$

stuwkromme
$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{2} u^2 + ga + gz \right] = -g \frac{u^2}{Ca}$$

continuiteitsvergelijking
$$u = \frac{Q_{\text{gem}}}{a \cdot B_q}$$

zandtransportformule van Ackers en White

kilometeraanduiding detailpeilingen

886.000 = 886.000 oud
887.000 = 887.000 N
888.000 = 888.000 N
889.000 = 889.000 N
890.000 = 890.000 N
891.000 = 895.020 oud
892.000 = 896.000 oud
893.000 = 897.000 oud
894.000 = 898.000 oud
895.000 = 899.000 oud
896.000 = 900.000 oud
897.000 = 901.000 oud

inkorting van 4020 m geschematiseerd tot een inkorting van 4000 m.

peilschalen:

IJsselkop 878.460
de Steeg 890.660
Doesburg 902.150 komt overeen met 898.150

