

STROOMGOOTONDERZOEK FUNDERING  
BUITENHAVENDAMMEN ZEEBRUGGE

---

MOD. 419

TUSSENTIJD'S VERSLAG

---

## INHOUD

### 1. INLEIDING

1.1. Doel van het onderzoek

1.2. Onderwerp van het onderzoek

1.2.1. Damprofiel

1.2.2. Hydraulische omstandigheden

1.2.3. Materialen

1.3. Modelschalen

1.3.1. Hydraulische modelschalen

1.3.2. Sedimentologische modelschalen

a. Begin van beweging

b. Frijlink - Bijker

c. Meyer - Peter

d. Ribbelfactor

e. Lengte der duinen

f. Steilheid der duinen

g. Schaal voor de ribbelfactor

h. Transportschalen

1.4. Bepalen van sedimenttransport in model

1.4.1. Erosie en afzetting

1.4.2. Zandvorming

1.4.3. Verplaatsing der duinen

1.5. Aanstroming over de zeebodem

1.6. Snelheidsmetingen

### 2. PROEFSITUATIE T1 : EROSIEGRINT

2.1. Stroming over het grint

2.2. Beweging van het grint o.i.v. stroming

2.3. Beweging van het grint o.i.v. stroming en golven

## 2.4. Grintransport

### 2.4.1. Methodiek

### 2.4.2. Grintransport i.f.v. oppervlaktesnelheid van de zeebodem

## 2.5. Erosies

## 3. PROEFSITUATIE T2 : KERNGRINT

### 3.1. Stroming over de damfundering

### 3.2. Beweging van het grint

### 3.3. Grintransport

### 3.4. Erosie

## 4. VERGELIJKING TUSSEN GEMETEN EN BEREKEND GRINT-TRANSPORT

## BIBLIOGRAFIE

## SYMBOLLEN

|         |   |
|---------|---|
| TABEL 1 | Hydraulische gegevens T1                      |
| TABEL 2 | Verplaatsing duinen T1                        |
| TABEL 3 | Sedimentologische gegevens T1                 |
| TABEL 4 | Hydraulische en sedimentologische gegevens T2 |

## 1. INLEIDING.

### 1.1. Doel van het onderzoek.

Bij de bouw van de buitenhavendammen van de nieuwe voorhaven te Zeebrugge wordt in het damtracé een grondverbetering toegepast. De minder draagkrachtige bodem wordt weggebaggerd en de sleuf wordt terug gevuld met grof zand. Teneinde erosie van dit zand te voorkomen wordt het door een grintlaag van 1 m afgedekt.

Aangezien gesteld wordt dat het grint niet meer dan 0.5 m mag eroderen dient het na korte tijd met zinkstukken en tout-venant stortsteen afgedekt. Tussen de zinkstukken wordt in de NW-dam een grintlaag van 1 m aangebracht (kerngrint), af te dekken met T.V.

Om de verliezen van het niet afgedekte grint te bepalen werd gebruik gemaakt van de bodemtransportformule van Frijlink - Bijker.

Het onderhavig onderzoek betreft dan ook in de eerste plaats het gedrag van het erosiegrint onder invloed van stroming, met en zonder golven, inclusief het bepalen van het grintransport. De metingen op model moeten met de formule van Bijker vergeleken worden. Ook dient het gedrag en transport van het kerngrint onderzocht.

Bij de verdere damopbouw worden sterke turbulenties gecreëerd door de buitenbermen en binnenbermen. In een tweede fase van het onderzoek zullen de snelheidsprofielen van de stroming over de damfundering opgemeten worden en de turbulenties gevisualiseerd. Tevens wordt nagegaan in hoeverre het nog blootgestelde grint geërodeerd wordt.

### 1.2. Onderwerp van het onderzoek.

#### 1.2.1. Damprofiel.

Uit de damprofielen van de westdam (ref. plan TVZ2 I.45-208-1 en 2) werd een typeprofiel samengesteld dat representatief is voor de Zuidelijke en Noordelijke Westdam. Er zijn zodoende 5 situaties die onderzocht worden :

- eerste fase (zie bijlage 1)
  - situatie 1 : erosiegrint (1 m dik) op getrapte grondverbetering;
  - situatie 2 : erosiegrint afgedekt door zinkstukken en kerngrint (laag 1 m dik) tussen de zinkstukken;
- tweede fase (zie bijlage 2)
  - situatie 3 : zoals situatie 2 plus tout-venantfilterlaag van 1 m;
  - situatie 4 : situatie 3 plus buitenberm 3 à 6 ton;
  - situatie 5 : situatie 4 plus binnenberm 1 à 3 ton, waarbij de kerngrintlaag en daarop gelegen tout-venantfilter vervangen zijn door T.V.-filter van 1 m (situatie ZW dam).

### 1.2.2. Hydraulische omstandigheden.

- Waterstanden van 8, 10 en 12 meter boven de zeebodem worden gecombineerd met stroomsnelheden van 1.5 tot 2.7 m/s (oppervlaktesnelheden in aanstromend profiel, zoals genomen uit stroomatlassen tijverzichtsmodel), in stappen van 0.30 m/s.
- Voor zover het kleine golfschot voorzien op de proefgoot het toeliet werden ook proeven uitgevoerd waarbij regelmatige golven op de stroming gesuperponeerd werden, om de invloed van deze golven op het grinttransport te onderzoeken. Een golfperiode van 6 seconden werd aangenomen, voor golfhoogten van 0.5 m, 1 m en 1.75 m.

### 1.2.3. Materialen.

In prototype worden de verschillende damonderdelen uitgevoerd in volgende materialen :

- erosie- en kerngrint :  $D_{50} = 15 \text{ mm}$   
 $D_{90} = \text{circa } 30 \text{ mm}$

- bestorting zinkstukken : stenen 80 à 300 kg
- tout-venant filter : stenen 2 à 300 kg
- binnenberm : rotsblokken 1 à 3 ton
- buitenberm : rotsblokken 3 à 6 ton.

### 1.3. Modelschalen.

#### 1.3.1. Hydraulische modelschalen.

Gezien de noodzaak o.a. turbulenties, die veroorzaakt worden door verticale hindernissen, te onderzoeken, leek het ons noodzakelijk het model van het damprofiel zonder vertrekking te bouwen.

Omwille van de maximale waterdiepte in de stroomgoot werd een geometrische schaal  $N_x = 1/16$  gekozen. Hieruit volgt volgens Froude een snelheidsschaal  $N_u = 1/4$  en een hydraulische tijdschaal  $N_t = 1/4$ .

#### 1.3.2. Sedimentologische modelschalen.

##### a. Begin van beweging.

Als belangrijkste parameter in dit onderzoek kan men de aanvang van de erosie van het grint, d.w.z. de aanvang van de beweging, beschouwen.

Uit talrijke experimenten, waarvan de recentste uitgevoerd door Yalin en Karahan,<sup>[1]</sup> blijkt dat men het begin van beweging vaststelt wanneer bij een bepaald korrelreynolds getal (symbolen: zie tabel in bijlage)

$$X = \frac{U_* D_{50}}{V}$$

de kritische waarde van de dimensieloze schuifspanning (Shields - parameter)

$$Y = \frac{\rho U_*^2}{\gamma_s D_{50}}$$

wordt bereikt. In bijlage 3 wordt het verband

$$Y_{cr} = f(X_{cr})$$

weergegeven. Op het diagramma vinden we voor grint ( $\gamma_s = 9.81 \times (2650 - 1000) \text{ N/m}^3$ ) met  $D_{50} = 15 \text{ mm}$  dat  $Y_{cr} = 0.045$ , d.w.z. dat  $U_{*cr} = 0.104 \text{ m/s}$ .

Welnu, zand met een  $U_{*cr} = 0.104/4 = 0.026 \text{ m/s}$  heeft een gemiddelde doormeter  $D_{50} = 1.1 \text{ mm}$ . Door dus aan te nemen dat de schaal van de kritische schuifspanning gelijk is aan de snelheidsschaal werd de doormeter van het zand bepaald dat in model het zeegrint dient voor te stellen. De schaal der korreldiameters is dus 1/13.6.

b. Frijlink - Bijker.  
=====

Vervolgens dient de schaal voor het sedimenttransport bepaald. Hiervoor zal hier de formule van Frijlink-Bijker en in een volgende paragraaf de formule van Meyer-Peter (E.T.H.-formule) beschouwd worden, telkens voor transport onder invloed van stroming alleen.

De formule van Frijlink luidt :

$$S_b = 5 \cdot D_{50} \cdot U_* \cdot \exp \left[ -0.27 \frac{\gamma_s D_{50}}{\mu \rho U_*^2} \right]$$

Het transport  $S_b$  is uitgedrukt in volume (inclusief poriën) met eenheid van tijd en breedte ( $\text{m}^2/\text{s}$ ). De schuifspanning  $\mu \rho U_*^2$  in de exponent wordt in geval van stroming met golven uitgebreid tot een "resultierend schuifspanning" veroorzaakt door vectoriële sommatie van orbitaalsnelheid en snelheid bij de bodem omwille van de stroming. Verdere details in [2], [3] en [4].

De formule kan herleid worden tot een dimensieloze voorstelling

$$\frac{S_b}{5v} = X \cdot \exp \left[ -0.27 / \mu Y \right]$$

De schaal van X is

$$N_X = \frac{X_{\text{model}}}{X_{\text{natuur}}} = N_d \cdot N_u = \frac{1}{13.6} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{54.4}$$

en de schaal van Y is

$$N_Y = \frac{N_u^2}{N_d} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times 13.6 = \frac{1}{1.18}$$

Zodoende is de transportschaal een functie van snelheid (via Y) en bodemvorm (via  $\mu$ ). Opdat dit niet zo zou zijn moet  $(\mu Y)_{\text{model}} = (\mu Y)_{\text{natuur}}$ . De "ribbelfactor" geeft aan hoeveel van het vermogen van de stroming wordt aangewend voor het transport. In het geval  $\mu = 1$  neemt men aan dat het transport geschiedt over een laagdikte  $r = 2D_{90}$ , wat overeenkomt met een vlakke bodem.

De transportschaal luidt dus

$$\begin{aligned} N_{sb} &= N_X \cdot \frac{\exp \left[ -0.27 / (\mu Y)_{\text{mod}} \right]}{\exp \left[ -0.27 / (\mu Y)_{\text{nat}} \right]} \\ N_{sb} &= N_X \frac{\exp \left[ -0.27 / (\mu Y)_{\text{mod}} \right]}{\exp \left[ -0.27 / (\mu Y)_{\text{mod}} \cdot N_\mu \cdot N_Y \right]} \\ &= N_X \exp \left\{ \left[ -0.27 / (\mu Y)_{\text{mod}} \right] \left[ 1 - \frac{1}{N_\mu \cdot N_Y} \right] \right\} \end{aligned}$$

c. Meyer - Peter.  
=====

De formule voor bodemtransport van Meyer - Peter luidt [5] en [6] :

$$\frac{\rho u_*^2 \mu}{\gamma_s D_{50}} = 0.047 + 0.25 \rho^{1/3} \frac{Q_s^{2/3}}{\gamma_s D_{50}}$$



Het transport  $Q_s$  ( N / (m.s) of  $kg/s^3$  ) is uitgedrukt in gewicht, onder water gewogen. Deze formule kan geschreven

$$\mu Y = 0.047 + 0.25 Y \cdot \frac{Q_s^{2/3}}{\rho U_*^2}$$

Als  $Q_s = 0$  is  $Y = Y_{cr} = 0.047$  en  $\mu = 1$ . De formule kan zodoende veralgemeend worden tot

$$\mu Y = \mu Y_{crit} + 0.25 Y \frac{Q_s^{2/3}}{\rho U_*^2}$$

of

$$\frac{Q_s}{\rho U_*^3} = 8\mu \left[ 1 - \frac{Y_{cr}}{Y} \right]^{3/2}$$

De transportschaal wordt dan

$$N_{Q_s} = N_u^3 \left[ \frac{\mu_{mod}}{\mu_{nat}} \right]^{3/2} \frac{\left[ 1 - \frac{Y_{cr}}{Y} \right]^{3/2}_{mod}}{\left[ 1 - \frac{Y_{cr}}{Y} \right]^{3/2}_{nat}} = N_u^3 N_\mu^{3/2}$$

d. Ribbelfactor.  
=====

Uit de hierboven afgeleide formules blijkt de waarde van de 'Ribbelfactor'  $\mu$  van belang in het afleiden van de transportschalen.

Nu [ 2, 3, 4 ]

$$\mu = \left[ \frac{C_M}{C_{d90}} \right]^{3/2} = \left[ \frac{(18 \log 12 H/r)}{(18 \log 12 H/D_{90})} \right]^{3/2}$$

met  $r = \Delta/2$ , de halve ribbelhoogte, waarover het transport geschiedt. Er dient hierbij opgemerkt bij materiaal met  $D_{50} > 0,7$  mm er geen ribbelvorming meer plaats heeft, en enkel vlakke bodem of duinvorming optreedt. In bijlage 3 is dit weergegeven door de begrenzing die de overgang van ribbels naar duinen geeft (proeven van Hill, e.a. [7] )

op het Shields-diagramma, en in bijlage 4 op het diagramma vermogen versus diameter van Simons en Richardson.

De schaal van  $\mu$  zal afhangen van de gelijkvormigheid tussen duinen in model en in natuur. Daarom zal dan nagegaan worden in hoeverre in model en in natuur duinen tot ontwikkeling komen.

e. Lengte der duinen.

=====

In model is  $X = \frac{U_* D_{50}}{v}$  begrepen tussen 20 en 50, dus gelegen in het overgangsgebied, terwijl in de natuur dit schuifspanningskorrelgetal circa 1200 tot 3000 zal bedragen. De lengte van duinen is volgens Yalin [6] voor  $X = 45$  enkel functie van de waterdiepte :  $\Lambda = 2\pi H$  indien de duin volledig ontwikkeld is.

De proeven geschieden met een materiaal en waterdiepte waarbij de verhouding  $Z = H/D_{50}$  varieert tussen 340 en 625. Uit de analyse van Yalin [6] blijkt dat in dit gebied, voor  $18 < X < 43$  geldt dat

$$2\pi H \leq \Lambda \leq 8H$$

Rekening houdende met de spreiding die in deze zone van  $X$  en  $Z$  optreedt, mag men stellen dat de lengte van de duinen in model en natuur overeen zullen stemmen op circa 20 % na.

f. Steilheid der duinen.

=====

Uit proeven in verband met de steilheid van de duinen

$$\delta = \Delta/\Lambda \quad \text{blijkt dat voor} \quad Z > 100 \text{ à } 400$$

$$\delta = 0.0127 \eta \exp(-\eta/12.84)$$

$$\text{waarin } \eta = Y/Y_{cr} = U_*^2 / U_{*cr}^2$$

Uit de proeven blijkt dat  $\eta < 3$  in de onderzochte toestanden T1 en T2

| $\eta =$   | 1     | 1.5   | 2     | 2.5   | 3     |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\delta =$ | 0.012 | 0.017 | 0.022 | 0.026 | 0.030 |

Aangezien door keuze van het modelgrint de schaal van  $U_{*cr}$  gelijk is aan de snelheidsschaal zal  $\eta$  zowel voor model als prototype dezelfde waarde hebben, en is dus ook de steilheid gelijk.

g. **Schaal van de ribbelfactor.**

=====

Zodoende kan men stellen dat in model de duinen lichtelijk langer en dus hoger kunnen zijn dan in natuur. Evenwel is deze conclusie pas gegrond in een regimesituatie, die niet optreedt in de werkelijkheid

- omwille van de niet-permanente stroming
- omwille van de eindigheid van het profiel.

Aangenomen kan echter dat in de ontwikkeling van de duinen ongeveer dezelfde relatie model - natuur voorkomt als in regimetoestand. We mogen dan aannemen dat  $C_{Hmod}$  iets kleiner is dan  $C_{Hnat}$ , en dus  $\mu$  model iets kleiner dan  $\mu$  natuur, gemiddeld circa 9% <sup>\*)</sup>. Zodoende is  $(\mu Y)_{mod} \approx \frac{1}{1.18} \cdot \frac{1}{1.09} \cdot (\mu Y)_{nat} \approx 0.8 (\mu Y)_{nat}$ , op voorwaarde dat zich duinvorming voordoet, anders is  $N_{\mu} = 1$ .

h. **Transportschalen.**

=====

Zodoende kan in de 2 veronderstellingen

---

\*) Bij 8 m diepte

$$i) N_{\mu} = 1 \quad N_Y = 1/1.18$$

$$ii) N_{(\mu Y)} = 1/1.28$$

de transportschaal worden uitgedrukt als

Bijker

$$i) N_{sb} = \frac{1}{54.4} \exp \left[ - 0.0486 / Y_{\text{mod}} \right]$$

$$\text{of } N_{sb} = \frac{1}{54.4} \left[ \frac{S_b}{5D_{50} U} \right]_{\text{mod}}^{0.18}$$

$$ii) N_{sb} = \frac{1}{54.4} \left[ \frac{S_b}{5D_{50} U} \right]_{\text{mod}}^{0.28}$$

Meyer - Peter

$$i) N_{qs} = \frac{1}{64}$$

$$ii) N_{qs} = \frac{1}{64} \cdot \frac{1}{1.09} = \frac{1}{70}$$

Voor de verdere omrekeningen van transporten in model naar transporten natuur zal  $N_{sb} = N_{qs} = 1/64$  gehanteerd worden. Daaruit volgt een sedimentologische tijdsschaal 1/4.

#### 1.4. Bepalen van het sedimenttransport in model.

##### 1.4.1. Methode 1 - "Erosie en afzetting".

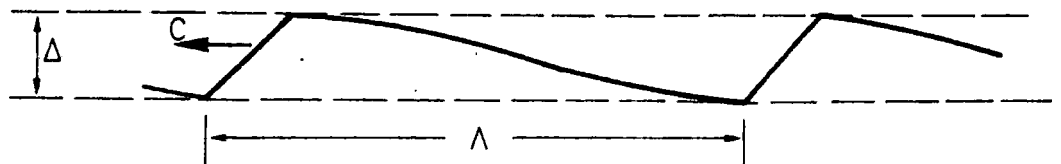
Voor elke proef wordt het theoretische profiel hersteld. Na de proef, meestal na 1 uur stroming bij ingestelde waterstand en debiet, wordt de bodem gepeild. Zodoende kunnen de erosies en afzettingen bepaald worden. Voor de transporten op b + 1 m werd steeds de erosie van het aanstromend talud beschouwd. In de gevallen waar op b + 1 m geen beweging was, is de erosie van het zeewaarts talud naar b + 2 m een maat voor het transport.

Het transport op  $b + 2$  m wordt ook weergegeven door de hoeveelheid materiaal afgezet buiten profiel aan de landzijde.

#### 1.42. Methode 2 - Zandvang.

Een aantal proeven bij situatie T1 is hernomen met een zandvang (in de bodem gewerkte bak met dwars schotten en een gaasdraad (8 x 8 mm) gelijk met de grintbodem). Uit de waarneming bleek deze zandvang bij de hele grote transporten te klein voor langdurige proeven. De zandbak werd ingeplant juist opwaarts meetpunt 4. Bij deze proeven werd het snelheidsprofiel in meetpunt 1 opgemeten ter controle.

#### 1.4.3. Methode 3 - Verplaatsing van de duinen.



De duinen verplaatsen zich met snelheid  $C$  m/s. De hoogte van de duin is  $\Delta$ , de golflengte  $\lambda$ . Op elke plaats langs één golflengte is het transport verschillend (groot op de kruin, klein in de trog). We bepalen dus een gemiddeld transport over een golflengte :

$$\text{transport} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\lambda \Delta}{2} \cdot C = \frac{\Delta \cdot C}{2}$$

Bij een groot aantal proeven werden de verplaatsingen van de duinkruinen opgemeten. Hieruit kan de duinverplaatsings-snelheid bepaald worden en op elk ogenblik dat ook de duin-hoogte  $\Delta$  gekend is kan alzo het transport berekend.

#### 1.5. Aanstroming over de zeebodem.

Volgens de Side-scan-sonar waarnemingen van de Meetdienst TVZ2 (plan I 42 / 2419-1/1) zijn bodemribbels met golflengte 4-25 m en hoogte 0.22 m aanvaardbare gemiddelden voor de zeebodem nabij de

de havendammen. Om hiermede rekening te houden in de snelheidsverdeling van het aanstroomprofiel (MP1) is een kunstmatige ruwheid (kippenaas) aangebracht, die een equivalente ruwheidshoogte van 0.3 m geeft.

#### 1.6. Snelheidsmetingen.

Snelheidsprofielen werden met Ott-molens opgemeten in de profielen MP1 ... MP5 (zie bijlagen 1 en 2). De gemiddelde snelheid werd bepaald alsook de schuifnelheid  $U_*$  door opmeten van de helling van de regressierechte

$$U = a + U_* \log(\text{afstand tot bodem}) .$$

De snelheidsprofielen werden in de as van de stroomgoot opgemeten. Bij de grote diepten die beschouwd werden (even groot als de breedte van de goot) is de stroming op enige afstand van de bodem niet langer zuiver tweedimensionaal.

De stroming werd ingesteld met een debiet

$$Q = (\text{waterdiepte}) \times (\text{breedte goot}) \times 0.8 \times V$$

waarin  $V$  de nominale oppervlaktesnelheid in de aanloop is, die van 1.5 tot 2.7 m/s verloopt, en 0.8 de omrekeningsfaktor van oppervlaktesnelheid naar gemiddelde snelheid is.

## 2. PROEFSITUATIE T1 : EROSIEGRINT

### 2.1. Stroming over het erosiegrint.

Een overzicht van de ingestelde snelheden en waterstanden vindt men in tabel 1. De snelheidsprofielen zijn weergegeven in bijlagen 5, 6 en 7 voor waterdiepten van resp. 8, 10 en 12 m. De snelheden  $V$  die in de tabel en op de bijlagen vermeld staan zijn de nominale oppervlaktesnelheden.

De bijlagen 5, 6 en 7 tonen aan dat de stroming boven het erosiegrint op 70 m voorbij de as (MP5) een luwe zone nabij de bodem veroorzaakt. Het is op deze plaats dat het grint wordt afgezet, zodat er uiteindelijk slechts weinig grint uit het profiel wordt verplaatst.

### 2.2. Beweging van het grint onder invloed van stroming.

Bij toenemende snelheid zal er eerst geen beweging van bodemmateriaal zijn, nadien een voortschuiven van enkele of kleine groepjes korrels terwijl de bodem vlak blijft. Vervolgens zullen, bij het optreden van groter transport, duinen gevormd worden. Deze fenomenen werden op model vastgesteld en weergegeven in bijlage 4 op het diagramma van Simons en Richardson.

Uit deze proeven (zie tabel 3) kan afgeleid worden dat de kritische snelheid  $U_{cr}$  ongeveer 0.10 m/s bedraagt.

Voor de kritische snelheid waarbij grove materialen in beweging worden gebracht werd door C.R. Neill [9] gevonden :

$$\frac{\rho \bar{U}_{cr}^2}{\gamma_s D_{50}} = 2 \left( \frac{D_{50}}{H} \right)^{-1/3}$$

Voor  $\gamma_s = 1650 \times 9.81 \text{ N/m}^3$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

en  $D_{50} = 0.015 \text{ m}$

is in bijlage 21 deze kritische vertikaal gemiddelde snelheid boven

het grint tegen de waterdiepte uitgezet, met daarbij de resultaten van proef T1. De formule van Neill is slechts geldig voor  $H = 3 D_{50}$  tot  $100 D_{50}$ , maar de resultaten van T1 bewijzen haar bruikbaarheid bij grotere waterdiepten. Een voordeel van deze formule is het gebruik van de gemiddelde snelheid.

De eindsituatie na elke proef is weergegeven in de bijlagen 8, 9 en 10. De tijdsduur die erbij vermeld is zijn uren model (1 h model = 4 h natuur, bij aanname van de transportschaal 1/64).

Uit de verplaatsing van de duinen tijdens de proef (bijlagen 11 en 12) kan men afleiden dat bij het einde van de proef een regimetoestand was ontstaan. De afstand tussen de duinen blijft konstant.

De duinen die optreden hebben een golflengte van gemiddeld 20 m en een hoogte van 0.3 tot 1.5 m. In elke situatie treedt echter één uitzonderlijk grote duin op, nl. deze gevormd door de erosie van het talud tussen grint op bodem + 1 m ( $b + 1$ ) en bodem + 2 m ( $b + 2$ ).

### 2.3. Beweging van het grint onder invloed van stroming en golven.

Teneinde na te gaan in hoeverre de verplaatsingen van het grint toenemen o.i.v. golven werden in de stroomgoot bij een waterdiepte van 8 m regelmatige golven met een periode van 6 seconden en een golfhoogte  $h = 0.5$  m en  $h = 1$  m ingesteld. Bij 10 m waterdiepte bedroegen de golfhoogten  $h = 1$  m en  $h = 1.75$  m.

Door de superpositie van orbitaalsnelheid  $U_o$  en stroomsnelheid  $U_b$  boven de bodem ontstaan volgende vormen van beweging bij toenemende stroomsnelheid

a. geen beweging :  $(U_o)_{\max} + U_b < U_{bcrit}$

b. enkel beweging op een fractie van de golfperiode :

$$U_b < U_{bcrit} < U_b + (U_o)_{\max}$$

c. altijd beweging :

$$U_{bcrit} < U_b - (U_o)_{\max}$$



- d. indien in situatie b. en d. de golfhoogte wordt opgedreven en dus ook  $U_0$ , keert men terug naar een voorgaand stadium (resp. a. en b.).

De duinvorming vertoont bij kleine golven (vb.  $h = 0.5$  m, zie bijlage 13) nog gelijkenis met de situatie zonder golven, hoewel de golflengte van de duinen afneemt. Bij golven van 1 m en hoger (bijlagen 14, 15, 16) zijn de zandgolven veel steiler en korter. Tevens wordt door de golfwerking het grint dat op het afstroomse talud wordt afgezet over de zeebodem verspreid. De beweging van de duinen tijdens de proef zijn weergegeven in bijlagen 17, 18, 19 en 20.

#### 2.4. Grintransport.

In tabel 2 is de berekening van het grintransport m.b.v. de duinverplaatsing weergegeven. In tabel 3 zijn de sedimentologische gegevens van de proevenreeks T1 samengebracht.

##### 2.4.1. Methodiek.

De drie methoden waarmee het transport bepaald werden zijn vergeleken in bijlage 22. Hieruit blijkt dat de drie transporten niet significant van elkaar verschillen. Men zou uit deze grafieken wel kunnen afleiden dat het transport gemeten met de zandvang (b.v. omwille van pakkingsdichtheid) iets onderschat is.

##### 2.4.2. Grintransport in functie van de oppervlaktesnelheid boven de zeebodem.

De transporten zijn t.o.v. de nominale oppervlaktesnelheid uitgezet op bijlage 23.

## 2.5. Erosies.

De erosie van het profiel op 12 m opwaarts de damas, ter plaatse van de knik in het profiel wordt hier beschouwd.

Uit de opmetingen van het damprofiel werd de erosie bepaald na 1 h stromen in de goot, t.t.z. na 4 h natuur. Als maat van de erosieverwekkende stroming is de gemiddelde snelheid in MP2, boven het erosiegrint op bodem + 1 m gekozen. In bijlage 24 wordt aangetoond dat de erosie o.i.v. stroming bij 2.2 m/s (2.65 m/s aan de oppervlakte) tot 60 cm na 4 h beperkt blijft.

De bijdrage van de golfwerking is slechts belangrijk waar zonder golven minder dan 0.2 m erosie zou optreden. Bij grote erosie lijkt de golfwerking zonder invloed.

Tijdens de proeven werd vastgesteld dat in de eerste ogenblikken van de proef het hoekige theoretische profiel niet werd afgerond. De erosie is dan ook wat groter in de eerste ogenblikken van de proef.

### 3. PROEFSITUATIE T2 : KERNGRINT.

#### 3.1. Stroming over de damfundering.

In tabel 4 is een overzicht gegeven van de onderzochte combinatie van waterdiepte, snelheid en golven. Ook hier werden gemiddelde snelheid  $\bar{U}$  en schuifsnelheid  $U_s$  bepaald.

In bijlagen 25 en 26 zijn de snelheidsprofielen getekend. In bijlage 25, meetpunt 3 en 4 zijn de onregelmatigheden bij  $V = 2.1$  en  $V = 2.4$  m/s te wijten aan de erosie en duinvorming, waardoor de bodemligging en dus de waterdiepte en gemiddelde snelheid veranderen.

De stroming boven het zinkstuk is zeer turbulent nabij de bodem, wat zich vertaalt in grote waarden van  $U_s$ . Het kerngrint wordt geërodeerd en vertoont t.p.v. MP3 een vlakke bodem. Hierdoor, en tevens door de contractie vertoont het snelheidsprofiel een kleinere gradiënt nabij de bodem, dus een geringere  $U_s$ .

Het grint afwaarts het 2e zinkstuk wordt door de turbulenties boven het zinkstuk in zeer geringe mate aangetast (lokaal 1 à 2 dm). Afwaarts meetpunt 5 raakt de stroming de bodem niet (tot as + 85 m).

#### 3.2. Beweging van het grint.

In bijlagen 27, 28 (stroming zonder golven) en bijlage 29 (stroming met golf  $h = 1$  m) is het eindprofiel weergegeven. De verplaatsing van de duinen tijdens de proef zijn gegeven in bijlagen 30, 31 en 32.

Het grint verplaatst zich door het zinkstuk onder vorm van een duin (zoals op bijlage 28,  $V = 2.4$  m/s, nog te zien is). Na verloop van tijd wordt het kerngrint verder aangetast, terwijl het zinkstuk door

dit grint wordt afgedekt. Als dit voltooid is, treedt er transport op onder vorm van kleinere duinen die zich zeer snel (45 m/h) verplaatsen (vb. :  $H = 8$  m,  $V = 2.4$  m/s zonder golven en met golf  $h = 1$  m).

### 3.3. Grintransport.

Het volume kerngrint dat geërodeerd werd is t.o.v. de nominale oppervlakesnelheid  $V$  uitgezet in bijlage 33. Het transport bij  $H = 10$  m bedraagt 60 % van het transport bij  $H = 8$  m. Door golven  $h = 1$  m bij waterdiepte  $H = 8$  m wordt het transport 25 % verhoogd.

### 3.4. Erosie (zie bijlagen 23 en 24).

De erosie ter plaatse van het profiel P - 12 (zie bijlage 1) werd gedurende de proeven opgetekend, en neemt toe, evenredig met de tijd. De erosies na 4 h natuur nemen toe evenredig met de gemiddelde snelheid in MP2. Het feit dat de erosie reeds bij 1.5 m/s aanvangt t.o.v. 1.7 m/s voor situatie T1 kan verklaard worden door de grotere turbulentie bij T2, omwille van het zinkstuk.

Een gemiddelde snelheid van 2.2 m/s (in natuur : een oppervlakesnelheid van 2.65 m/s) veroorzaakt een erosie van 1 m op 4 h.

Onder invloed van golven neemt de erosie met circa 4 dm toe. Ook hier dient opgemerkt dat de erosie tijdens de eerste ogenblikken van de proef wat groter is.

#### 4. VERGELIJKING TUSSEN GEMETEN EN BEREKEND GRINTTRANSPORT

In dit hoofdstuk worden de grinttransporten, berekend met de formule van Bijker ten behoeve van de materiaalverliezen in de damfundering (nota TVZ2 81.052 - Damfundering, uitvoeringsplanning en materiaalverliezen, 1e aanvulling) vergeleken met de modelproeven.

De oppervlaktesnelheden  $V_{opp}$ , gehanteerd in bovenvermelde nota hebben betrekking op het snelheidsprofiel boven het grint. De oppervlaktesnelheden tot hiertoe vermeld in dit rapport zijn nominale oppervlaktesnelheden  $V$  in de aanstroming, boven de zeebodem. De snelheden werden naar oppervlaktesnelheden boven het grint herleid.

Modelresultaten en berekening zijn aldus weergegeven in bijlagen 36, 37 en 38. Onderzoek van deze figuren leidt tot volgende bedenkingen

- het verschil tussen berekening en meting is groter voor transporten gemeten op bodem + 2 m dan op bodem + 1 m. Het effect van de contractie is hiervan wellicht de oorzaak;
- de afwijkingen nemen toe met toenemend transport. In model worden de duinen dan ook hoger, terwijl in de berekeningen de ribbelhoogte op 10 cm wordt gehouden;
- de overeenkomst model-berekeningen is meestal behoorlijk bij snelheden  $V_{opp}$  kleiner dan 2.7 m/s.

Borgerhout, september 1981

ir. E. LAFORCE

## BIBLIOGRAFIE

1. YALIN en KARAHAN "Inception of sediment transport". Proc. ASCE, Vol. 105, n° HY11, nov. 1979.
2. Model van de Kust en het Scheldeëstuarium. Model 265/4. "Zandtransportberekeningen". Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout - Antwerpen. 1975.
3. T.O.W. Coastal Sediment Transport "Computation of longshore transport" R.968 part 1. Waterloopkundig Laboratorium Delft, september 1976.
4. BIJKER, E.W. "Some considerations about scales for coastal models with movable bed." Delft Hydraulics Laboratory. Publ. n° 50. 1967.
5. GRAF, W.H. "Hydraulics of Sediment Transport". Mc Graw-Hill. 1971.
6. YALIN, M.S. "Mechanics of Sediment Transport", Pergamon Press. 1972.
7. HILL, ROBINSON, SRINIVASAN "On the Occurrence of Bed Forms in Alluvial Channels". I.A.H.R. Congres 1971, Paper C12.
8. YALIN, M.S. "Steepness of Sedimentary Dunes". Proc. ASCE. vol. 105, n° HY4, April 1979.
- 9.(a) NEILL, C.R. "Mean-Velocity criterion for scour of coarse uniform bed-material". I.A.H.R. Congres 1967.
9. (b) NEILL, C.R. "Note on Initial Movement of Coarse Uniform Bed-Material". Journal of Hydraulic Research. 6 (1968) n° 2.
10. SIMONS, D.B. & RICHARDSON, E.V. "Resistance to Flow in Alluvial Channels". Geological Survey. Prof. paper 422-J. VS.Gov. Printing Office, Washington 1966.
11. ALLEN, J.R.L. "Current Ripples" (fig. 6.9). North Holland Publishing Company, Amsterdam 1968.

## LIJST DER SYMBOLEN

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| $C_{d90}$                        | Chezy coëff. t.g.v. zandruwheid  |
| $C_H$                            | Chezy coëff. t.g.v. bodemvormen (ribbels)  |
| $C$                              | duinverplaatsingssnelheid (m/h)  |
| $D_{50}$                         | gemiddelde korreldiameter (m)  |
| $f(\dots)$                       | functie van ...  |
| $h$                              | golfhoogte (m)   |
| $H$                              | waterdiepte (m)  |
| $N_x$                            | afstandsschaal   |
| $N_u$                            | snelheidsschaal  |
| $N_t$                            | tijdsschaal  |
| $N_x$                            | schaal voor X  |
| $N_y$                            | schaal voor Y  |
| $Q$                              | debiet ( $m^3/s$ )   |
| $Q_s$                            | sedimenttransport volgens Meyer - Peter ( $kg/s^3$ )   |
| $\bar{U}$                        | gemiddelde snelheid over de vertikaal (m/s)  |
| $U_s$                            | schuifspanningsnelheid (m/s)   |
| $U_b$                            | snelheid bij de bodem (m/s)  |
| $U_o$                            | orbitaalsnelheid bij de bodem (m/s)  |
| $r$                              | h alve ribbelhoogte (m)  |
| $S_b$                            | transport volgens Freylink - Bijker ( $m^2/s$ )  |
| $T_{b+1}, T_{b+2},$<br>$T_{b+3}$ | gemeten grintransport op resp. bodem + 1 m, bodem + 2 m, ... bepaald m.b.v. kubering ( $m^2/h$ ) |
| $T'_{b+2}$                       | id., bepaald met zandvang ( $m^2/h$ )  |
| $T''_{b+2}$                      | id., bepaald aan de hand der duinverplaatsing ( $m^2/h$ )  |

## LIJST DER SYMBOLEN (vervolg)

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| $V$                                | nominale oppervlaktesnelheid in aanloop (m/s)       |
| $V_{\text{opp}}$                   | oppervlaktesnelheid boven het grint (m/s)           |
| $X = U_* D_{50} / \nu$             | korrel-schuifspanning-Reynoldsgetal                 |
| $Y = \rho U_*^2 / \gamma_s D_{50}$ | Shields parameter                                   |
| $Z = (H/D_{50})$                   | dimensieloze diepte                                 |
| $\gamma_s$                         | gewicht van sediment onder water ( $\text{N/m}^3$ ) |
| $\mu$                              | ribbelfactor  |
| $\rho$                             | soortelijke massa van water ( $\text{kg/m}^3$ )     |
| $\nu$                              | kinematische viscositeit                            |
| $\Lambda$                          | golflengte der duinen (m)                           |
| $\Delta$                           | golfhoogte der duinen (m)                           |
| $\delta$                           | steilheid der duinen ( $\Delta / \Lambda$ )         |
| $\eta = Y / Y_{\text{cr}}$         | relatieve Shieldsparameter                          |
| index $_{\text{cr}}$               | critische waarde (begin van beweging)               |
| mod                                | model waarde  |
| nat                                | natuur waarde                                       |



TABEL 1

T1 HYDRAULISCHE GEGEVENS

| Proef  |          | MP1 (b)          |              | MP2 (b+1)        |              | MP3 (b+2)        |              | MP4 (b+2)        |              | MP5 (b+1)        |              | Verval<br>cm/m |
|--------|----------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|----------------|
| H<br>m | V<br>m/s | $\bar{U}$<br>m/s | $U_0$<br>m/s | $\bar{U}$<br>m/s | $U_0$<br>m/s | $\bar{U}$<br>m/s | $U_0$<br>m/s | $\bar{U}$<br>m/s | $U_0$<br>m/s | $\bar{U}$<br>m/s | $U_0$<br>m/s |                |
| 8      | 1.5      | 1.23             | .108         | 1.40             | .064         | 1.66             | .088         | 1.72             | .084         | 1.52             | .134         | 0.026          |
|        | 1.8      | 1.50             | .134         | 1.71             | .088         | 1.94             | .100         | 1.99             | .100         | 1.96             | .222         | 0.022          |
|        | 2.1      | 1.74             | .134         | 1.98             | .108         | 2.27             | .112         | 2.26             | .160         | 2.28             | .252         | 0.041          |
|        | 2.4      | 1.96             | .172         | 2.22             | .136         | 2.52             | .110         | 2.68             | .174         | 2.72             | .256         | -              |
| 10     | 1.8      | 1.50             | .112         | 1.69             | .090         | 1.86             | .090         | 1.87             | .094         | 1.68             | .256         | 0.020          |
|        | 2.1      | 1.74             | .125         | 2.01             | .035         | 2.18             | .100         | 2.13             | .108         | 1.93             | .192         | 0.018          |
|        | 2.4      | 1.99             | .146         | 2.12             | .120         | 2.48             | .124         | 2.36             | .144         | 2.47             | .228         | 0.055          |
|        | 2.7      | 2.20             | .148         | 2.46             | .130         | 2.77             | .180         | 2.72             | .219         | 2.77             | .240         | 0.088          |
| 12     | 1.8      | 1.72             | .108         | 1.72             | .088         | 1.80             | .090         | 1.76             | .101         | 1.76             | .136         | 0.019          |
|        | 2.1      | 1.77             | .136         | 1.90             | .118         | 2.13             | .098         | 2.08             | .122         | 2.00             | .136         | 0.023          |
|        | 2.4      | 2.06             | .140         | 2.20             | .124         | 2.47             | .136         | 2.39             | .152         | 2.36             | .248         | 0.041          |
|        | 2.7      | 2.23             | .153         | 2.44             | .160         | 2.69             | .156         | 2.74             | .166         | 2.60             | .208         | 0.065          |

TABEL 2

TI VERPLAATSING DUINEN

| H  | V   | Golf<br>hoogte | bodem + 1 m |          |                     |                   | bodem + 2 m |          |                     |                   |
|----|-----|----------------|-------------|----------|---------------------|-------------------|-------------|----------|---------------------|-------------------|
|    |     |                | C           | $\Delta$ | $\frac{C\Delta}{2}$ | $T''_{b+1}$       | C           | $\Delta$ | $\frac{C\Delta}{2}$ | $T''_{b+2}$       |
| m  | m/s | m              | m/h         | m        | m <sup>2</sup> /h   | m <sup>2</sup> /h | m/h         | m        | m <sup>2</sup> /h   | m <sup>2</sup> /h |
| 8  | 2.4 | 0              | 4           | 0.2      | 0.4                 | 0.4               | 4.25        | 0.8      | 1.7                 | 2.1               |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 6.25        |          | 2.5                 |                   |
| 10 | 2.4 | 0              | 2.5         | 0.3      | 0.4                 | 0.4               | 5.75        | 0.8      | 2.3                 | 1.61              |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 5.25        |          | 1.05                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 6.5         |          | 1.63                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 3.25        |          | 1.46                |                   |
| 12 | 2.4 | 0              | 2           | 0.25     | 0.25                | 0.25              | 2.75        | 0.5      | .69                 | .97               |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 5           | 0.35     | .88                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 5.75        | 0.3      | .86                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 4.75        | 0.6      | 1.43                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 1.5         | 1.3      | .98                 |                   |
| 10 | 2.7 | 0              | 2.5         | 0.7      | 0.88                | 0.95              | 3           | 1.5      | 2.25                | 3.68              |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 4.5         | 0.4      | 0.9                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 7.5         | 0.3      | 1.12                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 7.5         | 0.24     | 0.9                 |                   |
| 12 | 2.7 | 0              | 3.75        | 0.5      | .94                 | 0.76              | 6.75        | 0.9      | 3.04                | 2.56              |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 5.25        | 0.22     | .58                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 6.5         | 0.7      | 2.34                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 7           | 0.7      | 2.45                |                   |
| 8  | 2.1 | 0.5            | 3.5         | 0.2      | 0.35                | 0.35              | 4.75        | 0.6      | 1.43                | 2.11              |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 6           | 0.7      | 2.1                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 7.5         | 0.5      | 1.88                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 5.5         | 1.1      | 3.03                |                   |
| 8  | 2.4 | 0.5            | 3.5         | 0.5      | 0.88                | 0.88              | 7           | 1.6      | 5.6                 | 7.38              |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 13.5        | 1.2      | 8.1                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 13          | 1.1      | 8.45                |                   |
| 8  | 1.8 | 1              | -           | -        | -                   | -                 | 4.75        | 0.25     | 0.59                | 0.65              |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 5.75        | 0.2      | 0.58                |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 6           | 0.2      | 0.6                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 3.25        | 0.5      | 0.81                |                   |
| 8  | 2.1 | 1              | 5           | 0.6      | 1.5                 | 1.5               | 2.5         | 1.2      | 1.5                 | 3.3               |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 11          | 0.6      | 3.3                 |                   |
|    |     |                |             |          |                     |                   | 10          | 1.0      | 5                   |                   |

TABEL 2 (vervolg)

| H  | V   | Golf<br>hoogte | bodem + 1 m |          |                     |                   | bodem + 2 m |          |                     |                   |
|----|-----|----------------|-------------|----------|---------------------|-------------------|-------------|----------|---------------------|-------------------|
|    |     |                | C           | $\Delta$ | $\frac{C\Delta}{2}$ | $T''_{b+1}$       | C           | $\Delta$ | $\frac{C\Delta}{2}$ | $T''_{b+2}$       |
| m  | m/s | m              | m/h         | m        | m <sup>2</sup> /h   | m <sup>2</sup> /h | m/h         | m        | m <sup>2</sup> /h   | m <sup>2</sup> /h |
| 10 | 1.8 | 1              | -           | -        | -                   | -                 | 4.00        | 0.3      | 0.6                 | } 0.43            |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 3.25        | 0.15     | 0.24                |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 1.75        | 0.5      | .44                 |                   |
| 10 | 2.1 | 1              | -           | -        | -                   | -                 | 3           | 0.6      | 0.9                 | } 0.76            |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 4.75        | 0.25     | 0.59                |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 5.25        | 0.3      | 0.79                |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 2.5         | 0.6      | 0.75                |                   |
| 10 | 2.4 | 1              | 2.5         | 0.7      | .88                 | } .91             | 5.00        | 1.5      | 3.75                | } 4.62            |
|    |     |                | 3.75        | 0.5      | .94                 |                   | 6.95        | 1.4      | 4.38                |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   |                   | 8.00        | 1.2      | 4.8                 |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   |                   | 9.15        | 1.2      | 5.55                |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   |                   | -           | -        | -                   |                   |
| 10 | 1.8 | 1.75           | -           | -        | -                   | -                 | 4.5         | 0.6      | 1.35                | } 1.36            |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 5.5         | 0.5      | 1.38                |                   |
|    |     |                | -           | -        | -                   | -                 | 6.75        | 0.4      | 1.35                |                   |

TABEL 3

## T1 SEDIMENTOLOGISCHE GEGEVENS

| Proef |     |      | Kubering          |                   | Zand-<br>vang     | Beweging duinen    |                    | Erosie<br>P-12 | Bodemvorm <sup>o)</sup> |       |
|-------|-----|------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|-------------------------|-------|
| H     | V   | h    | T <sub>b+1</sub>  | T <sub>b+2</sub>  | T <sub>b+2</sub>  | T'' <sub>b+1</sub> | T'' <sub>b+2</sub> |                | b + 1                   | b + 2 |
| m     | m/s | m    | m <sup>2</sup> /h | m <sup>2</sup> /h | m <sup>2</sup> /h | m <sup>2</sup> /h  | m <sup>2</sup> /h  | m              |                         |       |
| 8     | 1.5 | 0    | 0                 | 0                 | 0                 | 0                  | 0                  | 0              | GB                      | GB    |
| 8     | 1.8 | 0    | 0                 | 0.39              | 0.14              | -                  | -                  | 0.05           | VB                      | VB    |
| 8     | 2.1 | 0    | 0.42              | 1.50              | 1.30              | 0.4                | 2.1                | 0.40           | VB                      | D     |
| 8     | 2.4 | 0    | 0.49              | 3.08              | 3.35              | -                  | -                  | 0.75           | D                       | D     |
| 10    | 1.8 | 0    | 0                 | 0                 | 0.08              | 0                  | -                  | 0              | GB                      | GB    |
| 10    | 2.1 | 0    | 0                 | 0.40              | 0.40              | -                  | -                  | 0.08           | GB                      | VB    |
| 10    | 2.4 | 0    | 0.56              | 1.83              | 1.82              | 0.4                | 1.61               | 0.55           | D                       | D     |
| 10    | 2.7 | 0    | 1.53              | 3.88              | 2.93              | 0.95               | 3.68               | 1.00           | D                       | D     |
| 12    | 1.8 | 0    | 0                 | 0                 | 0                 | -                  | -                  | 0              | GB                      | GB    |
| 12    | 2.1 | 0    | 0                 | 0.12              | 0.29              | -                  | -                  | 0.2            | GB                      | VB    |
| 12    | 2.4 | 0    | 0.52              | 1.32              | 0.84              | 0.25               | 0.97               | 0.5            | D                       | D     |
| 12    | 2.7 | 0    | 1.06              | 2.99              | 2.39              | 0.76               | 2.56               | 0.8            | D                       | D     |
| 8     | 1.5 | 0.5  | 0                 | 0                 | -                 | -                  | 0                  | 0              | GB                      | GB    |
| 8     | 1.8 | 0.5  | 0                 | 0.53              | -                 | -                  | -                  | 0.15           | BB                      | VB    |
| 8     | 2.1 | 0.5  | 0.4               | 1.75              | -                 | 0.35               | 2.11               | 0.45           | D                       | D     |
| 8     | 2.4 | 0.5  | 1.05              | 5.41              | -                 | 0.88               | 7.38               | 0.64           | D                       | D     |
| 8     | 1.5 | 1    | 0                 | 0.38              | -                 | -                  | -                  | 0.30           | GB                      | V     |
| 8     | 1.8 | 1    | 0.15              | 1.45              | -                 | -                  | 0.65               | 0.40           | V                       | D     |
| 8     | 2.1 | 1    | 0.60              | 4.85              | -                 | 1.5                | 3.3                | 0.38           | D                       | D     |
| 8     | 2.4 | 1    | 0.93              | 6.33              | -                 | -                  | -                  | 0.64           | D                       | D     |
| 10    | 1.5 | 1    | 0                 | 0                 | -                 | -                  | -                  | 0              | GB                      | BB    |
| 10    | 1.8 | 1    | 0                 | 0.56              | -                 | -                  | 0.43               | 0.32           | VB                      | D     |
| 10    | 2.1 | 1    | 0.49              | 1.38              | -                 | -                  | 0.76               | 0.50           | D                       | D     |
| 10    | 2.4 | 1    | 1.16              | 3.96              | -                 | 0.91               | 4.62               | 0.70           | D                       | D     |
| 10    | 2.7 | 1    | 2.13              | 7.08              | -                 | -                  | -                  | 0.80           | D                       | D     |
| 10    | 1.5 | 1.75 | 0.25              | 1.57              | -                 | -                  | -                  | 0.25           | VB                      | D     |
| 10    | 1.8 | 1.75 | 0.56              | 2.09              | -                 | -                  | 1.36               | 0.40           | D                       | D     |

- <sup>o)</sup> GB : geen beweging  
 VB : vlakke bodem, transport  
 D : duinen  
 BB : begin van beweging

TABEL 4

## T2 HYDRAULISCHE EN SEDIMENTOLOGISCHE GEGEVENS

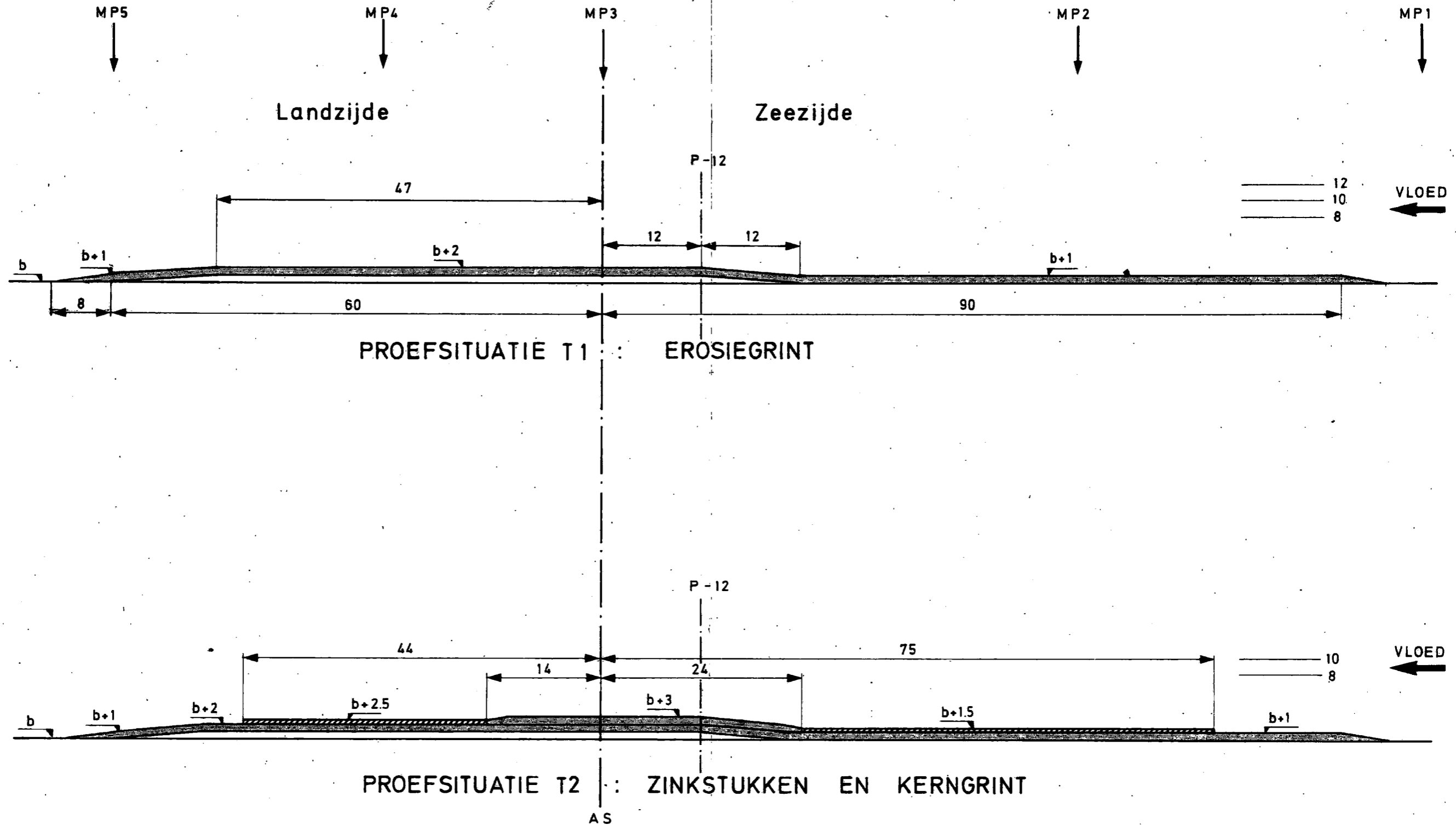
| Proef |     |   | MP1       |       | MP2       |       | MP3       |       | MP4       |       | MP5       |       | verval | $T_{b+3}$<br>(erosie) | erosie<br>P - 12<br>na 4 h<br>natuur |
|-------|-----|---|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------|-----------------------|--------------------------------------|
| H     | V   | h | $\bar{U}$ | $U_c$ | $\bar{U}$ | $U_c$ | $\bar{U}$ | $U_c$ | $\bar{U}$ | $U_c$ | $\bar{U}$ | $U_c$ |        |                       |                                      |
| m     | m/s | m | m/s       | m/s   | m/s       | m/s   | m/s       | m/s   | m/s       | m/s   | m/s       | m/s   | cm/m   | $m^2/h$               | m                                    |
| 8     | 1.5 | 0 | 1.19      | 0.108 | 1.60      | 0.160 | 2.00      | 0.111 | 1.89      | 0.143 | 1.67      | 0.292 | 0.049  | 0.19                  | 0.20                                 |
|       | 1.8 | 0 | 1.46      | 0.118 | 1.85      | 0.198 | 2.44      | 0.101 | 2.19      | 0.205 | 1.92      | 0.348 | 0.070  | 2.52                  | 0.48                                 |
|       | 2.1 | 0 | 1.71      | 0.136 | 2.20      | 0.240 | 2.82      | 0.115 | 2.59      | 0.299 | 2.27      | 0.358 | 0.108  | 4.80                  | 1.00                                 |
|       | 2.4 | 0 | 1.91      | 0.139 | 2.46      | 0.320 | 2.87      | 0.100 | 3.24      | 0.063 | 2.51      | 0.466 | 0.122  | 7.97                  | 1.40                                 |
| 10    | 1.5 | 0 | 1.26      | 0.101 | 1.50      | 0.146 | 1.79      | 0.098 | 1.73      | 0.146 | 1.49      | 0.268 | 0.040  | 0.22                  | 0                                    |
|       | 1.8 | 0 | 1.54      | 0.122 | 1.82      | 0.157 | 2.21      | 0.101 | 1.88      | 0.174 | 1.73      | 0.219 | 0.038  | 1.23                  | 0.34                                 |
|       | 2.1 | 0 | 1.78      | 0.122 | 2.10      | 0.268 | 2.56      | 0.167 | 2.49      | 0.230 | 2.04      | 0.317 | 0.057  | 2.91                  | 0.80                                 |
|       | 2.4 | 0 | 1.97      | 0.129 | 2.34      | 0.289 | 2.80      | 0.139 | 2.84      | 0.160 | 2.26      | 0.344 | 0.066  | 4.61                  | 1.15                                 |
|       | 2.7 | 0 | 2.20      | 0.143 | 2.57      | 0.306 | 3.05      | 0.111 | 2.96      | 0.306 | 2.65      | 0.296 | 0.086  | 7.36                  | 1.35                                 |
| 8     | 1.5 | 1 | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -      | 1.26                  | 0.50                                 |
|       | 1.8 | 1 | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -      | 3.10                  | 0.90                                 |
|       | 2.1 | 1 | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -      | 6.21                  | 1.20                                 |
|       | 2.4 | 1 | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -         | -     | -      | 10.05                 | 1.60                                 |



Schaal: 1/500 natuur  
maten in m<sub>nat.</sub>

ONDERZOEK OP DE STABILITEIT VAN HET GRINT  
ONDER INVLOED VAN STROMING EN GOLVEN

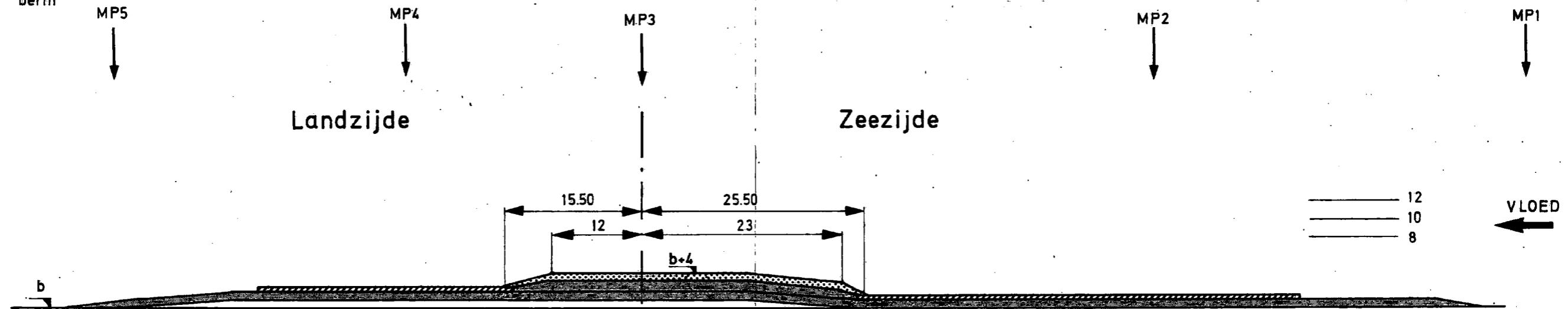
grint  
zinkstuk



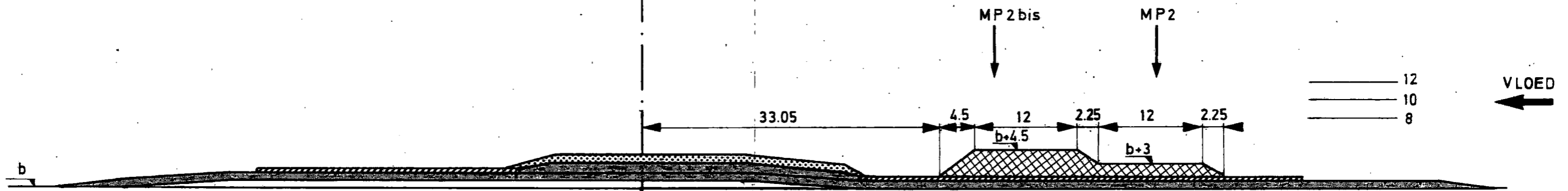
Schaal : 1/500. natuur  
maten in m<sub>nat.</sub>

ONDERZOEK VAN DE STROMING OVER DE DAMFUNDERING.

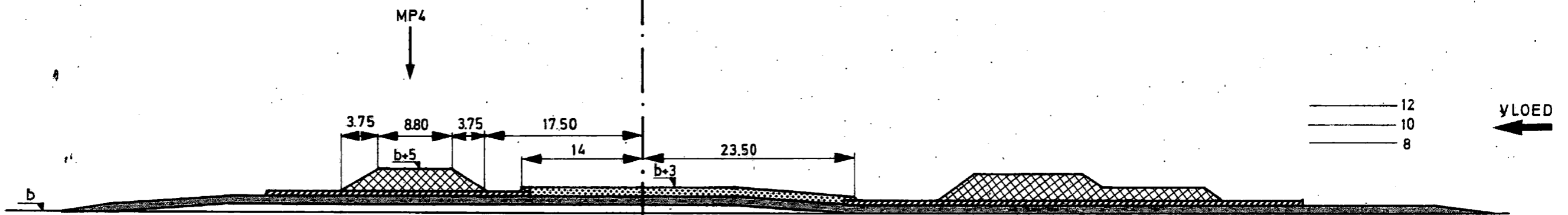
-  grint
-  zinkstuk
-  T.V.-filter
-  berm



PROEFSITUATIE T3 : KERNGRINT AFGEDEKT DOOR T.V.



PROEFSITUATIE T4 : NA BOUW BUITENBERM 3 à 6 TON

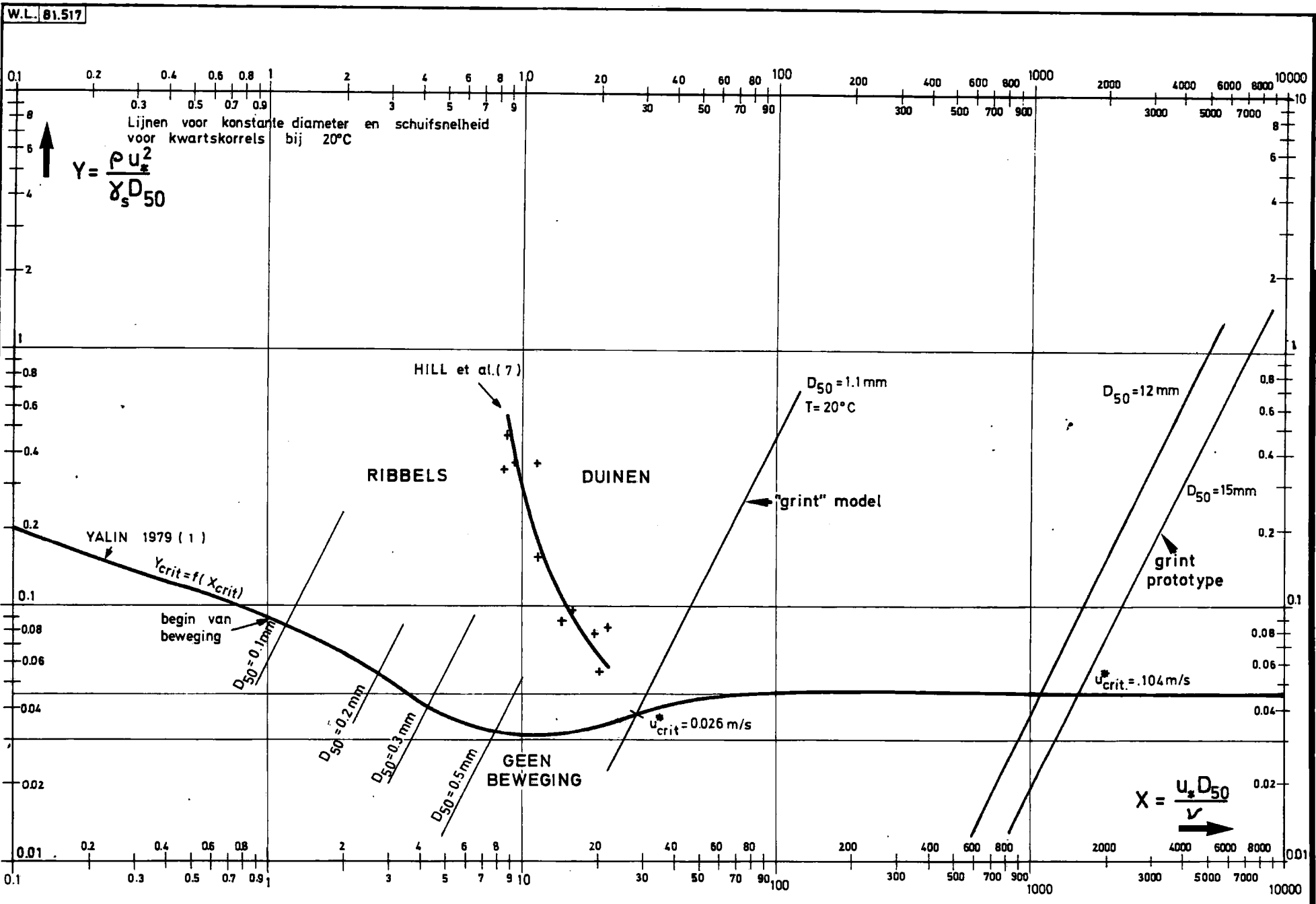


PROEFSITUATIE T5 : NA BOUW BUITENBERM 1 à 3 TON

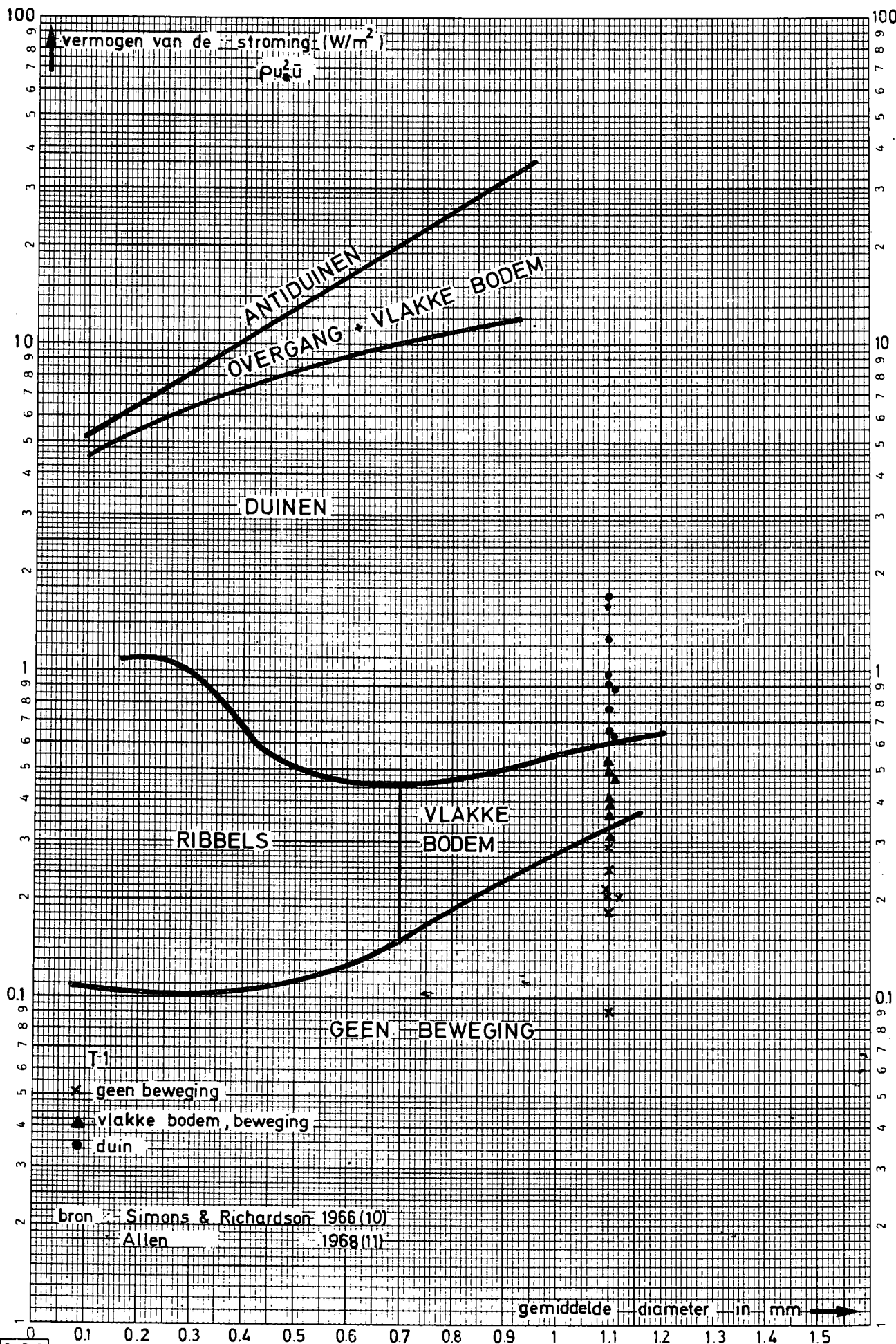
AS



SHIELDS - DIAGRAMMA



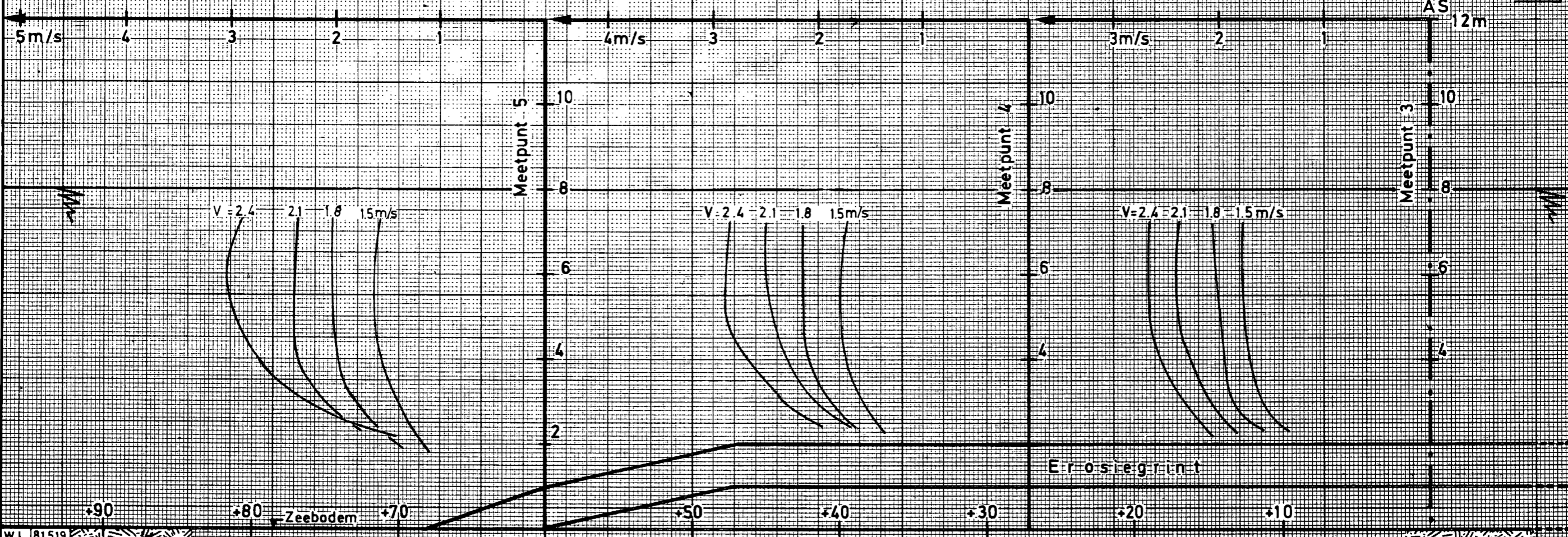
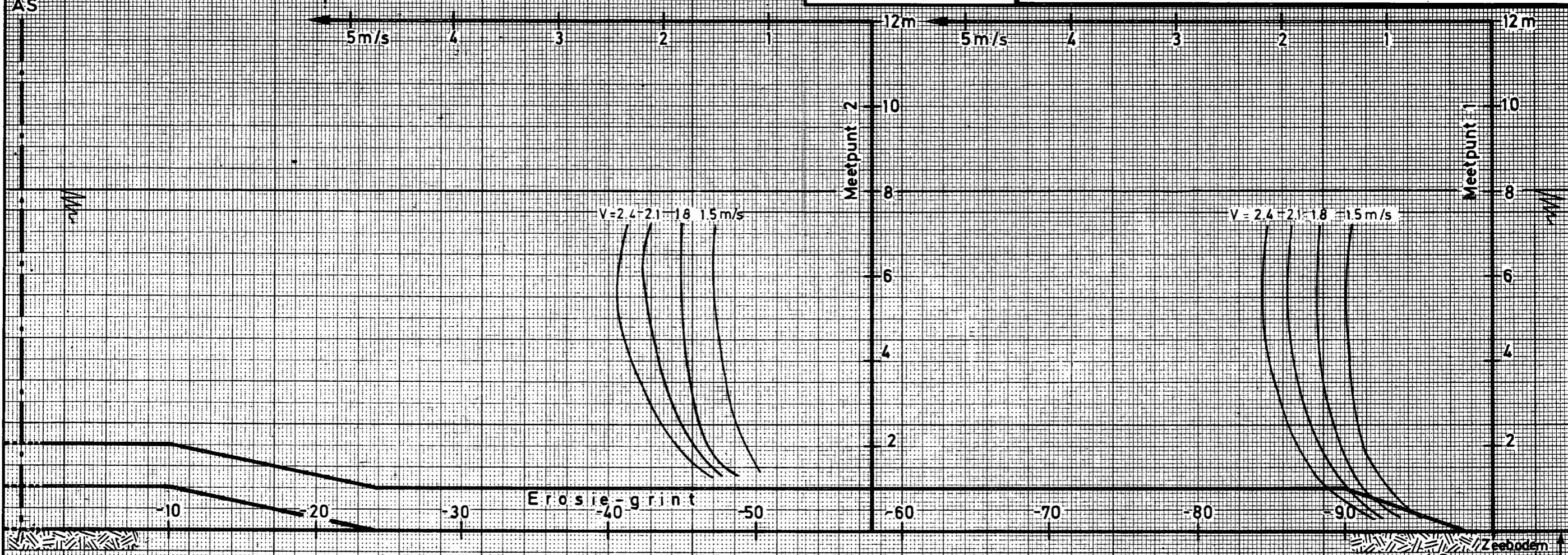
VOORKOMEN BEDVORMEN MODELPROEVEN T1



MP 5      MP 4      MP 3      MP 2      MP 1

SITUATIE T1 - SNELHEIDSVERLOOP OVER DE DAMFUNDERING

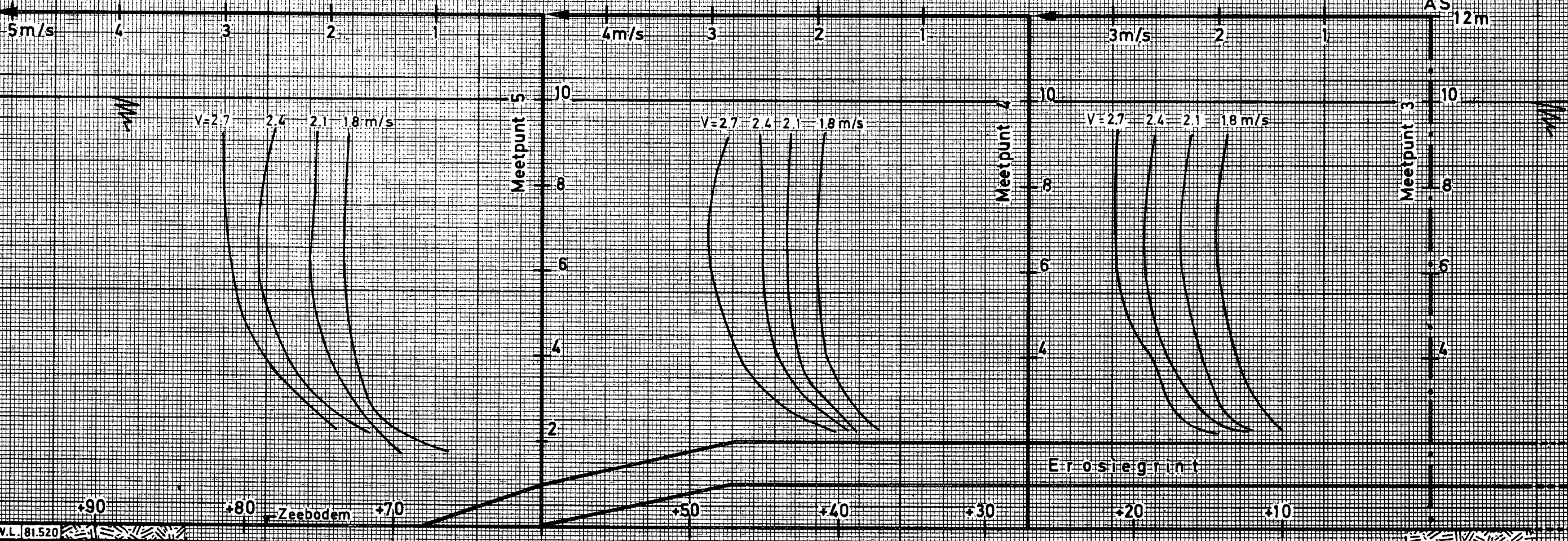
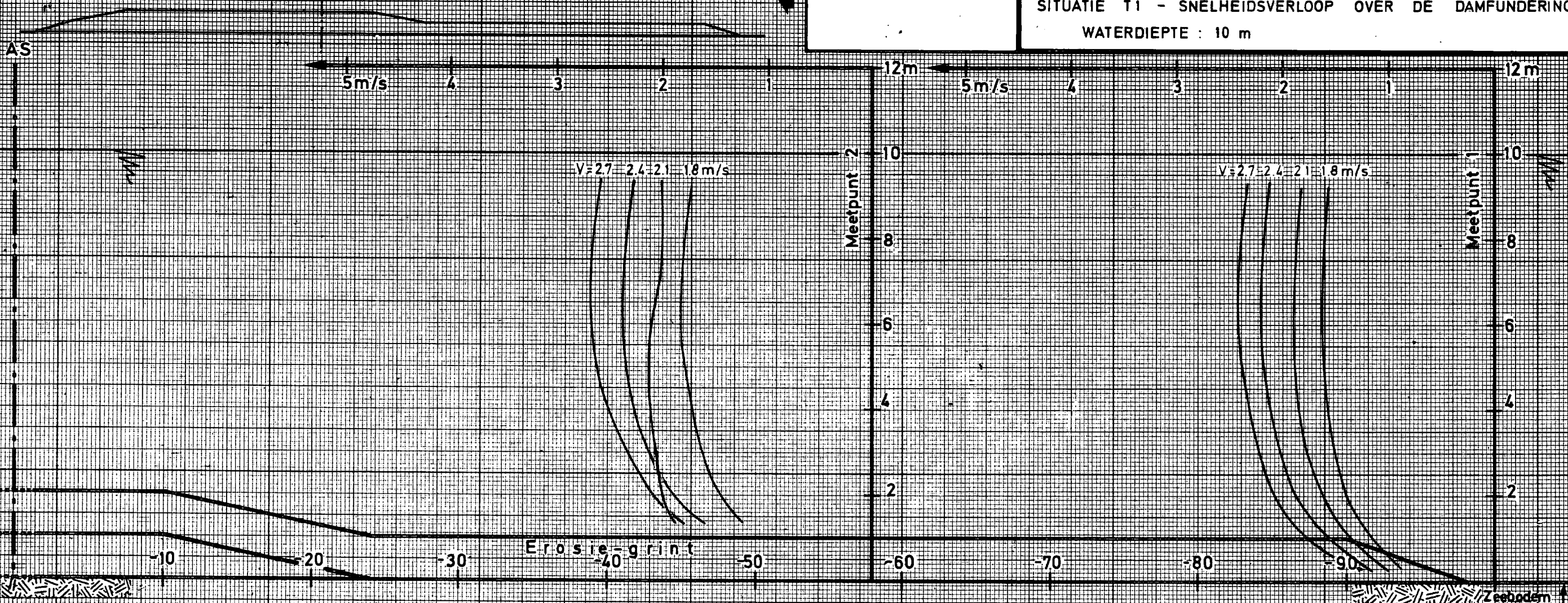
WATERDIEPTE : 8 m





MP 5 MP 4 MP 3 MP 2 MP 1

SITUATIE T1 - SNELHEIDSVERLOOP OVER DE DAMFUNDERING WATERDIEPTE : 10 m





MP 5

MP 4

MP 3

MP 2

MP 1

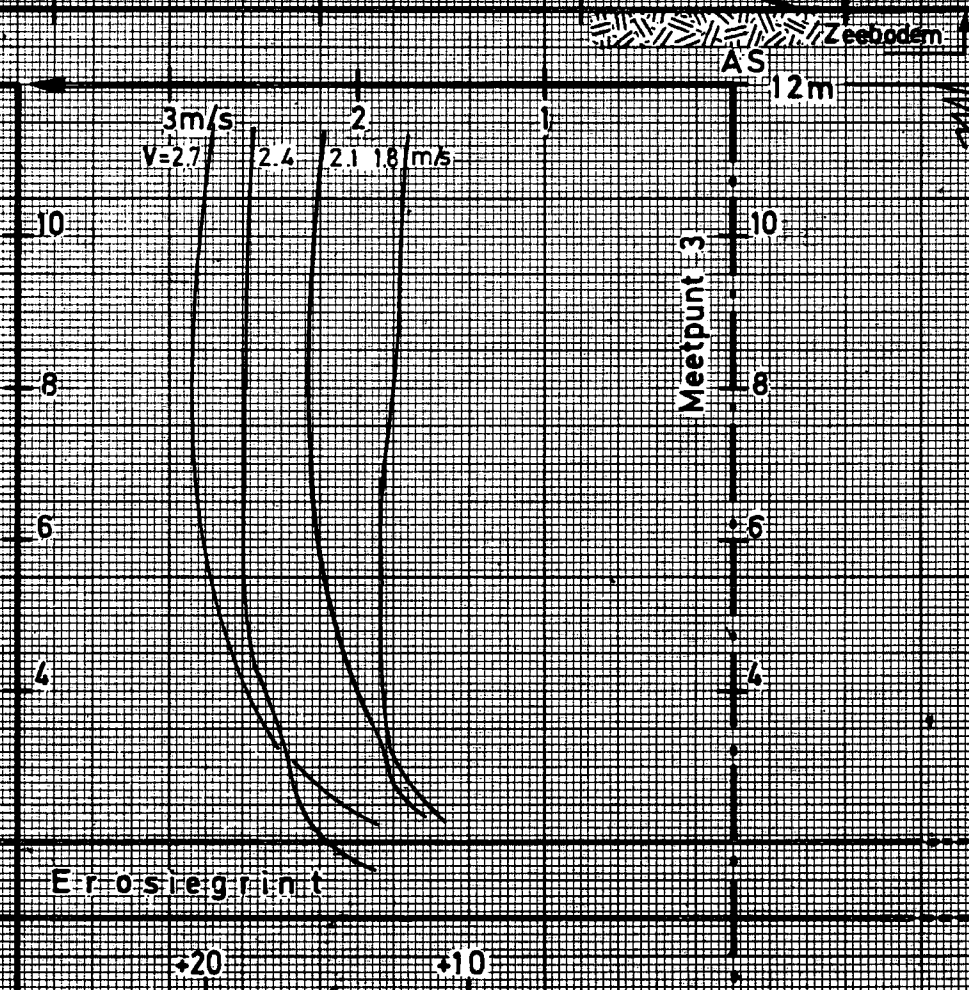
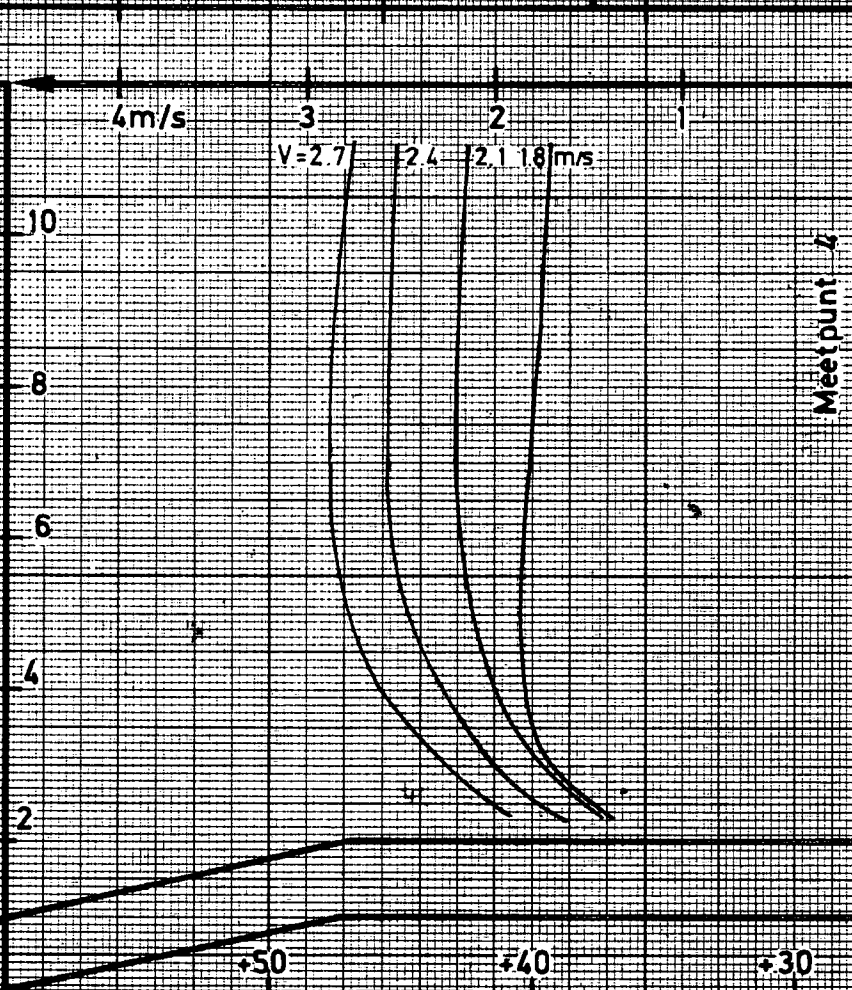
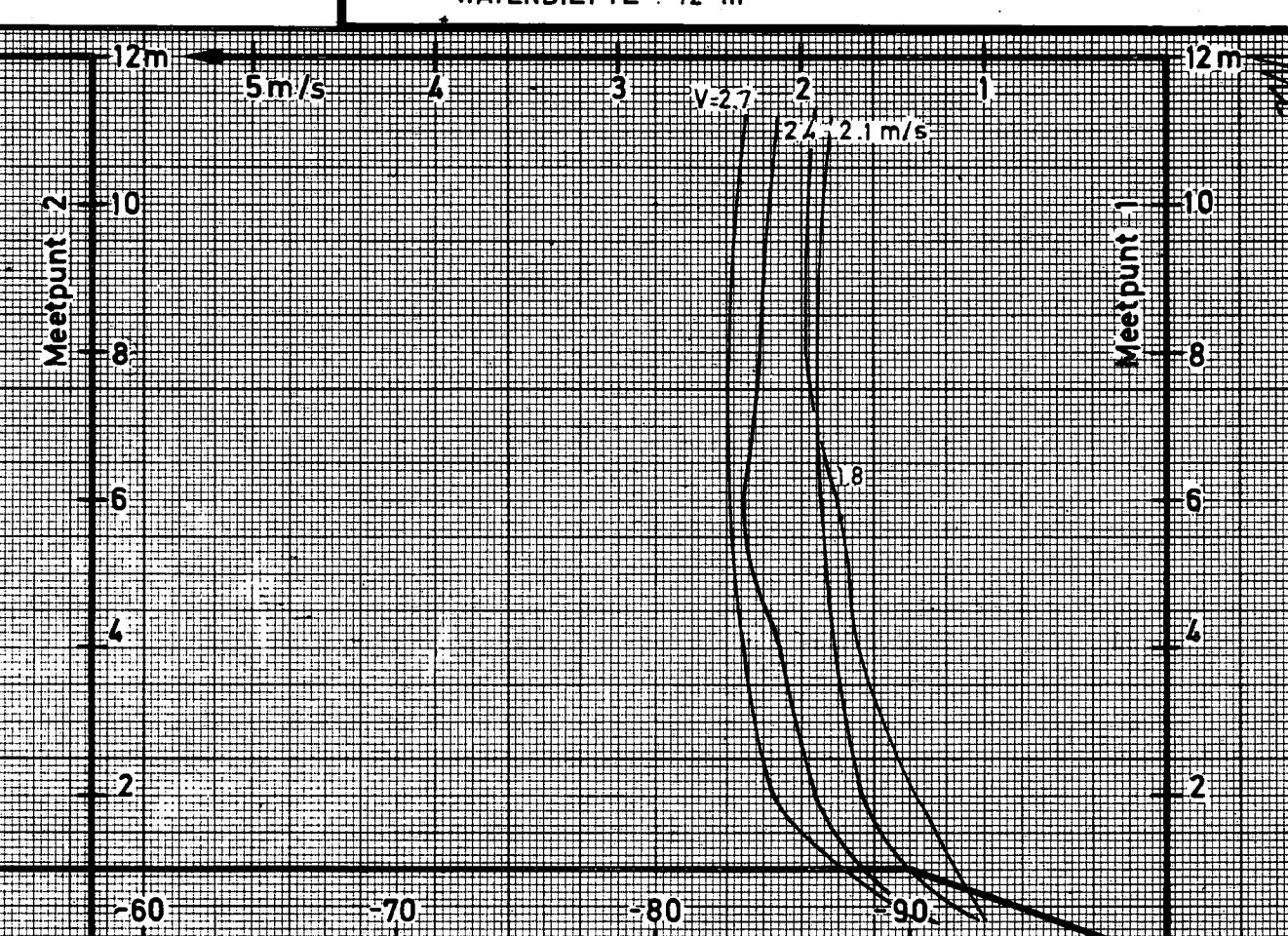
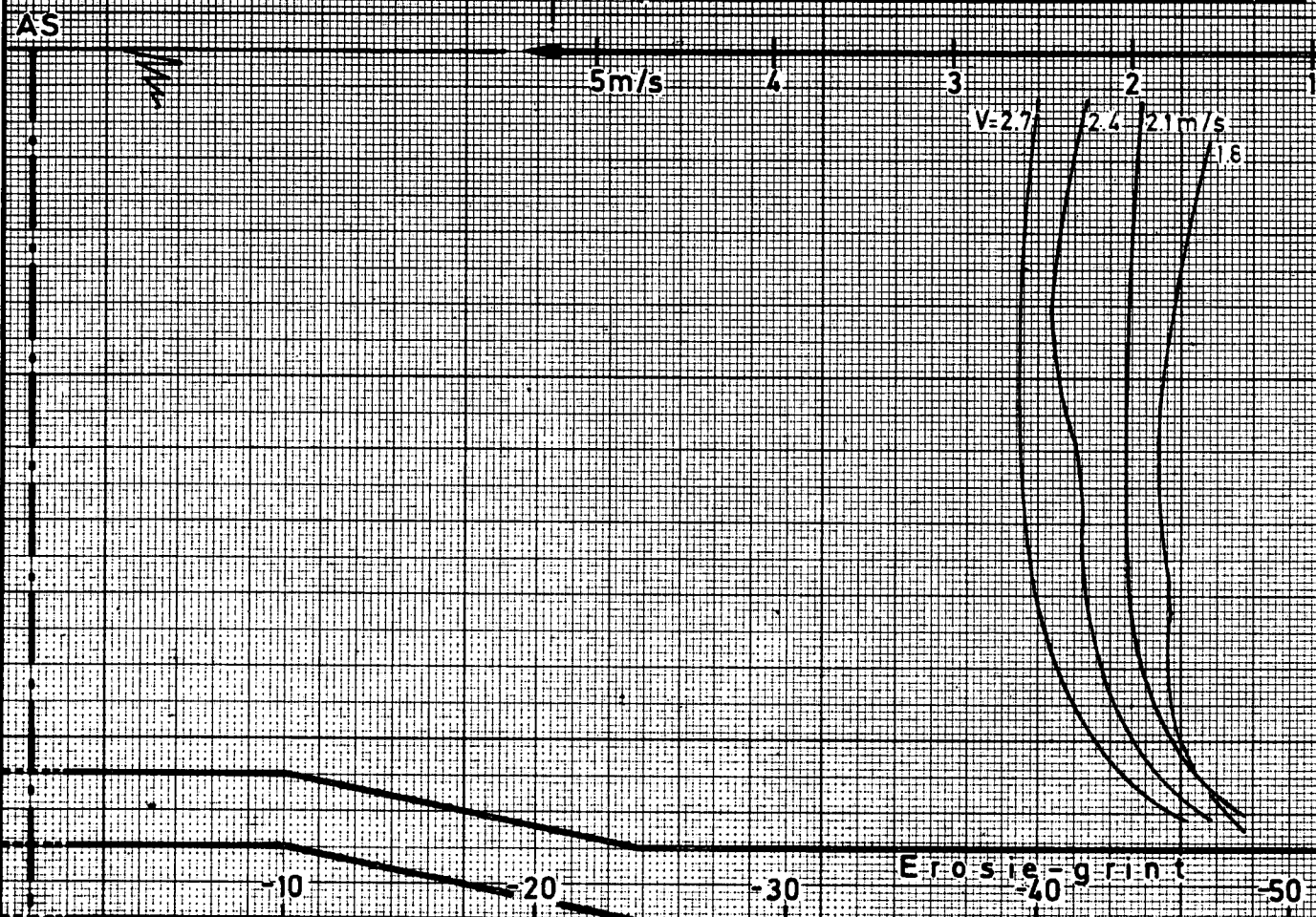


MOD.419 STROOMGOOTONDERZOEK DAMFUNDERING  
BUITENHAVENDAMMEN ZEEBRUGGE

Bijlage 7

SITUATIE T1 - SNELHEIDSVERLOOP OVER DE DAMFUNDERING

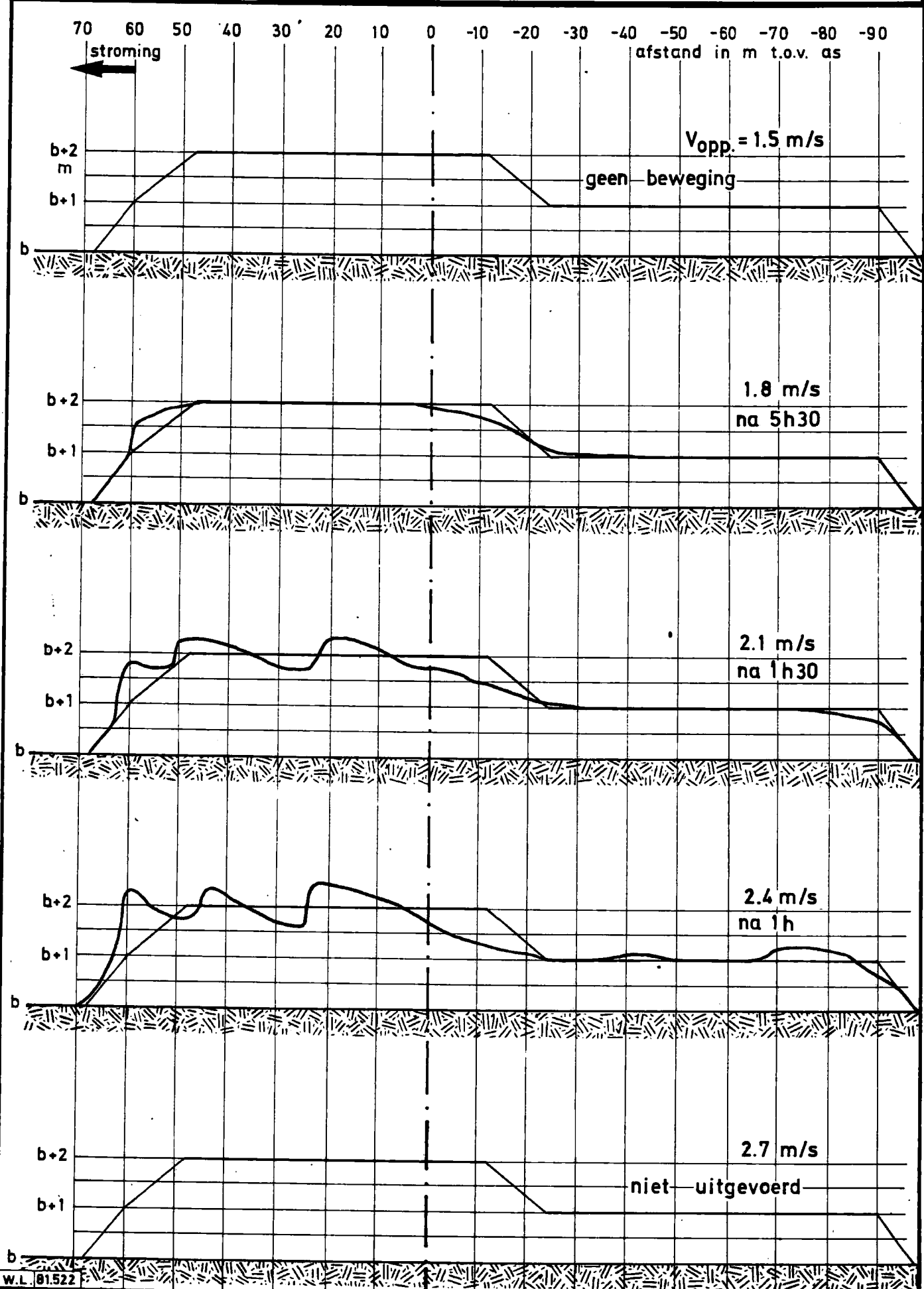
WATERDIEPTE : 12 m





BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF

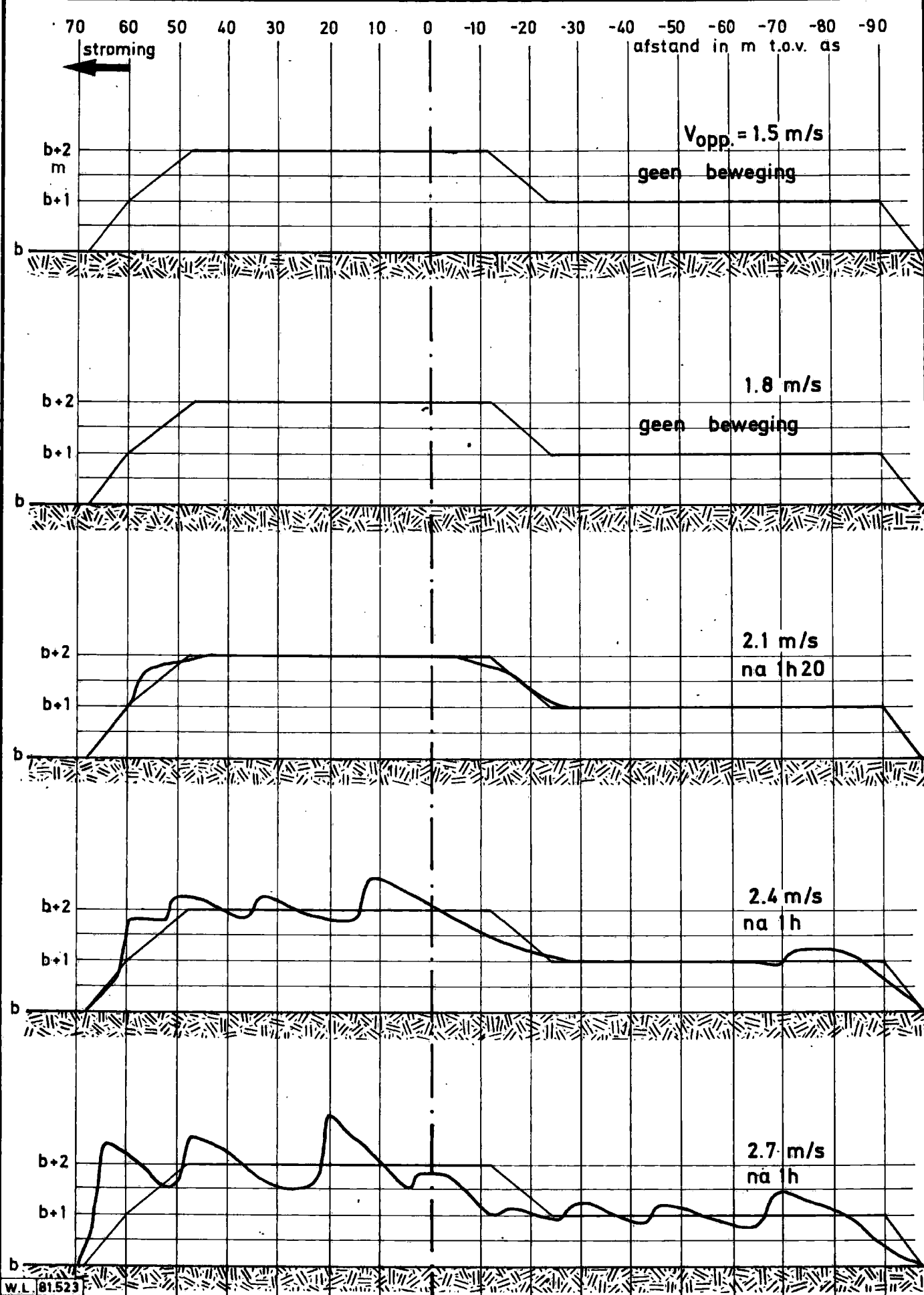
waterdiepte H = 8 m Zonder golven





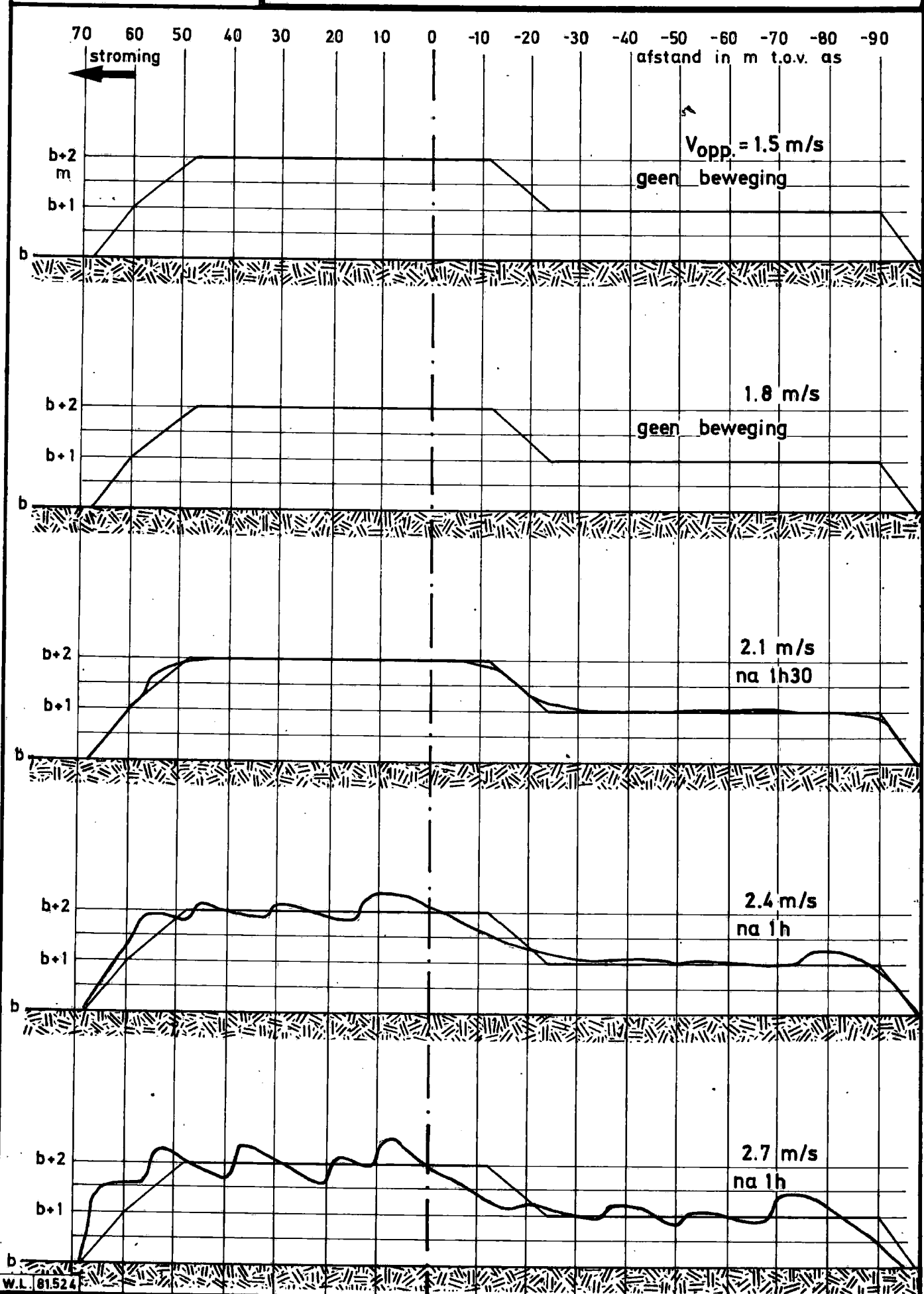
BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF

waterdiepte H = 10 m Zonder golven





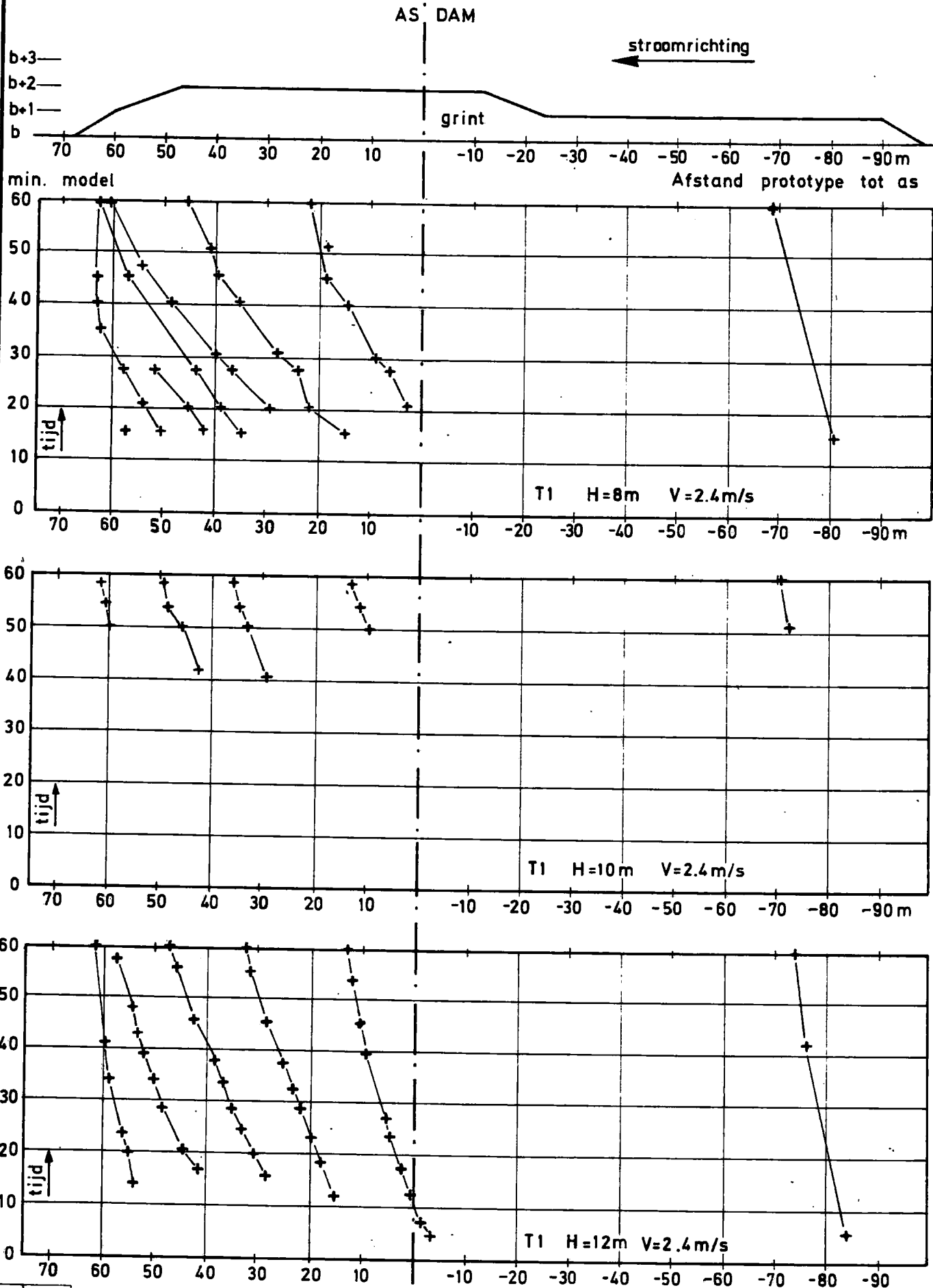
BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF  
waterdiepte H = 12 m Zonder golven





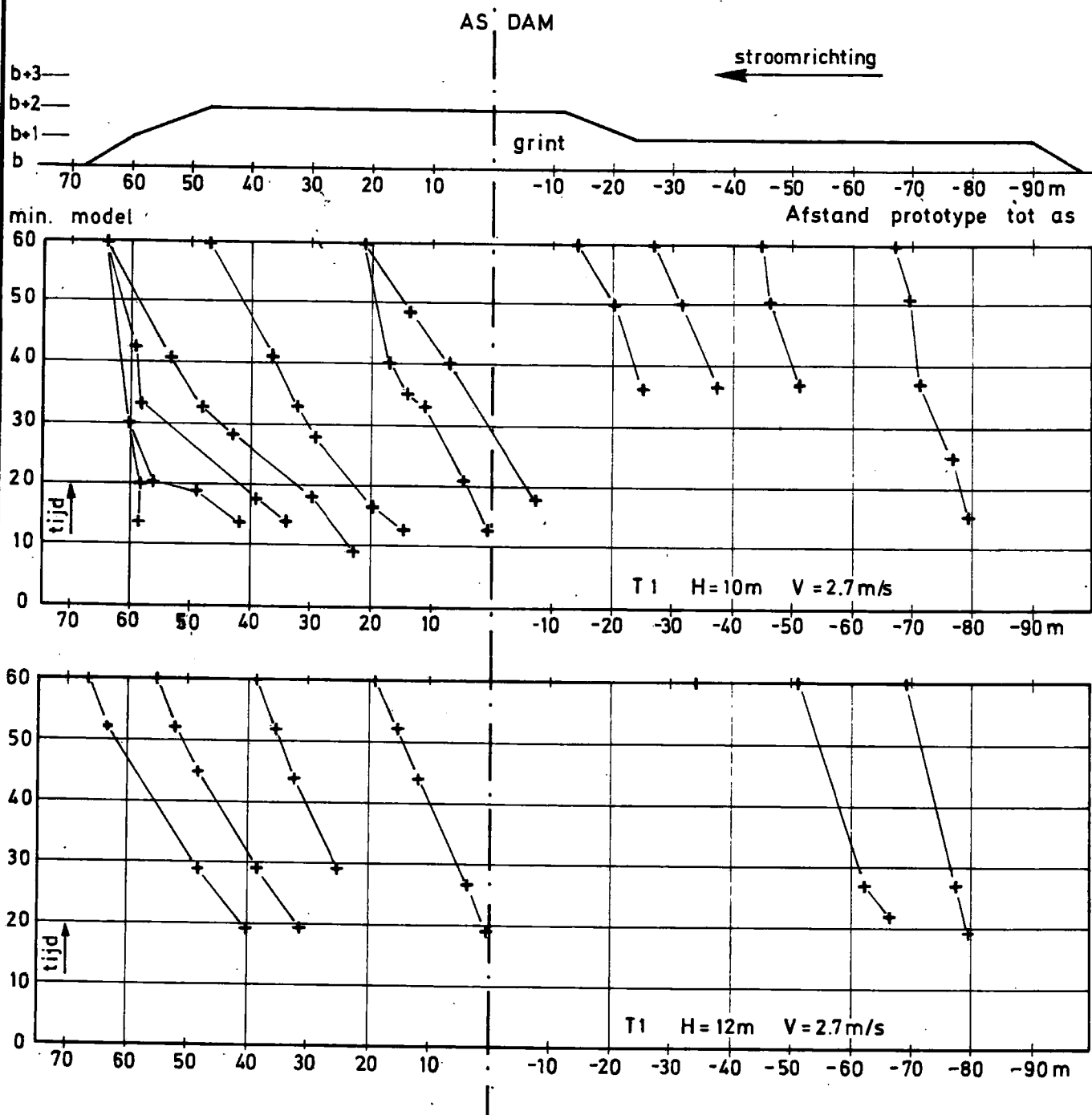


VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T1



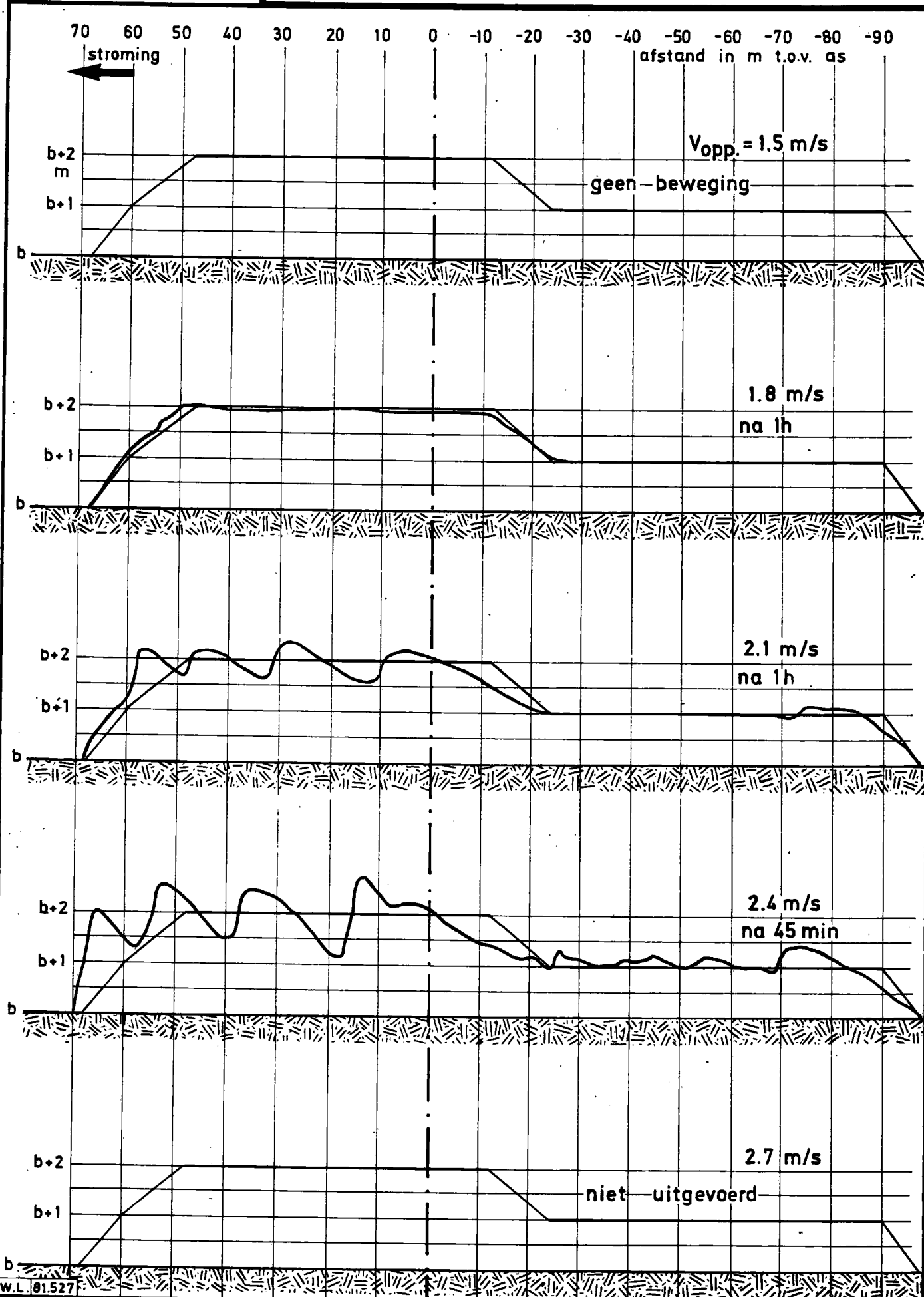


VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T1



**BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF**

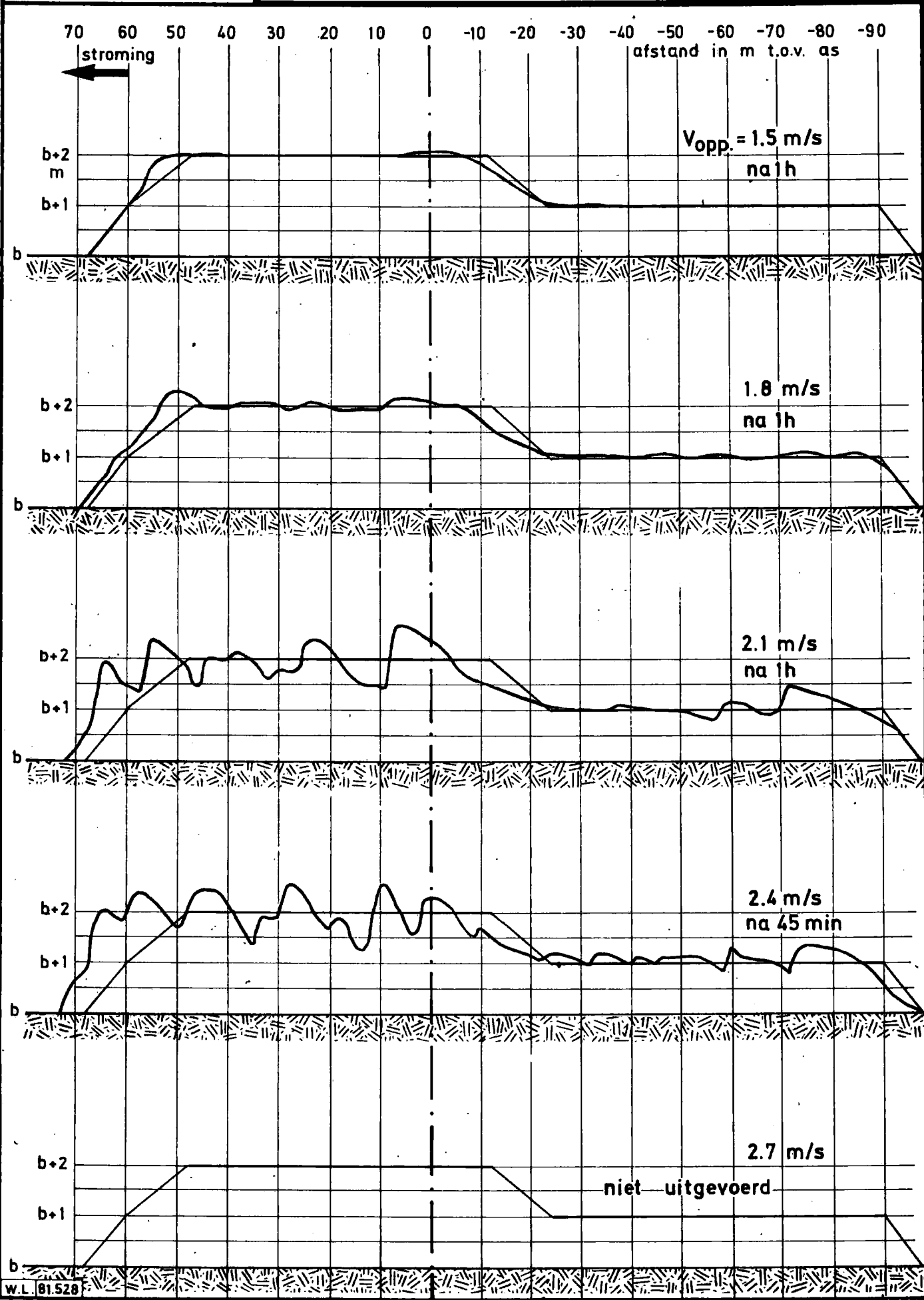
waterdiepte H = 8 m Golven : T=6sec , h=0.5m





BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF

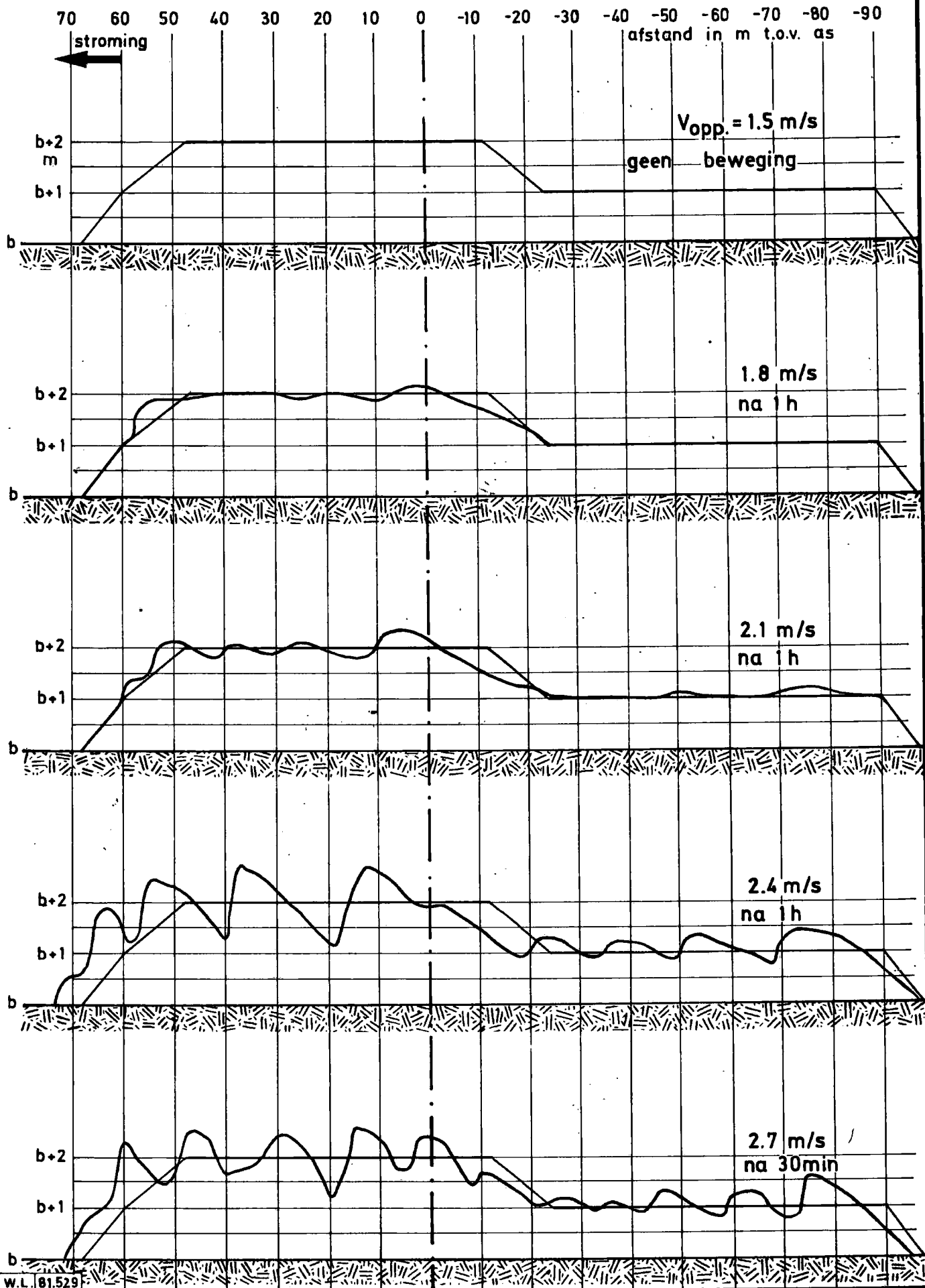
waterdiepte H = 8 m Golven : T=6 sec , h = 1 m





BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF

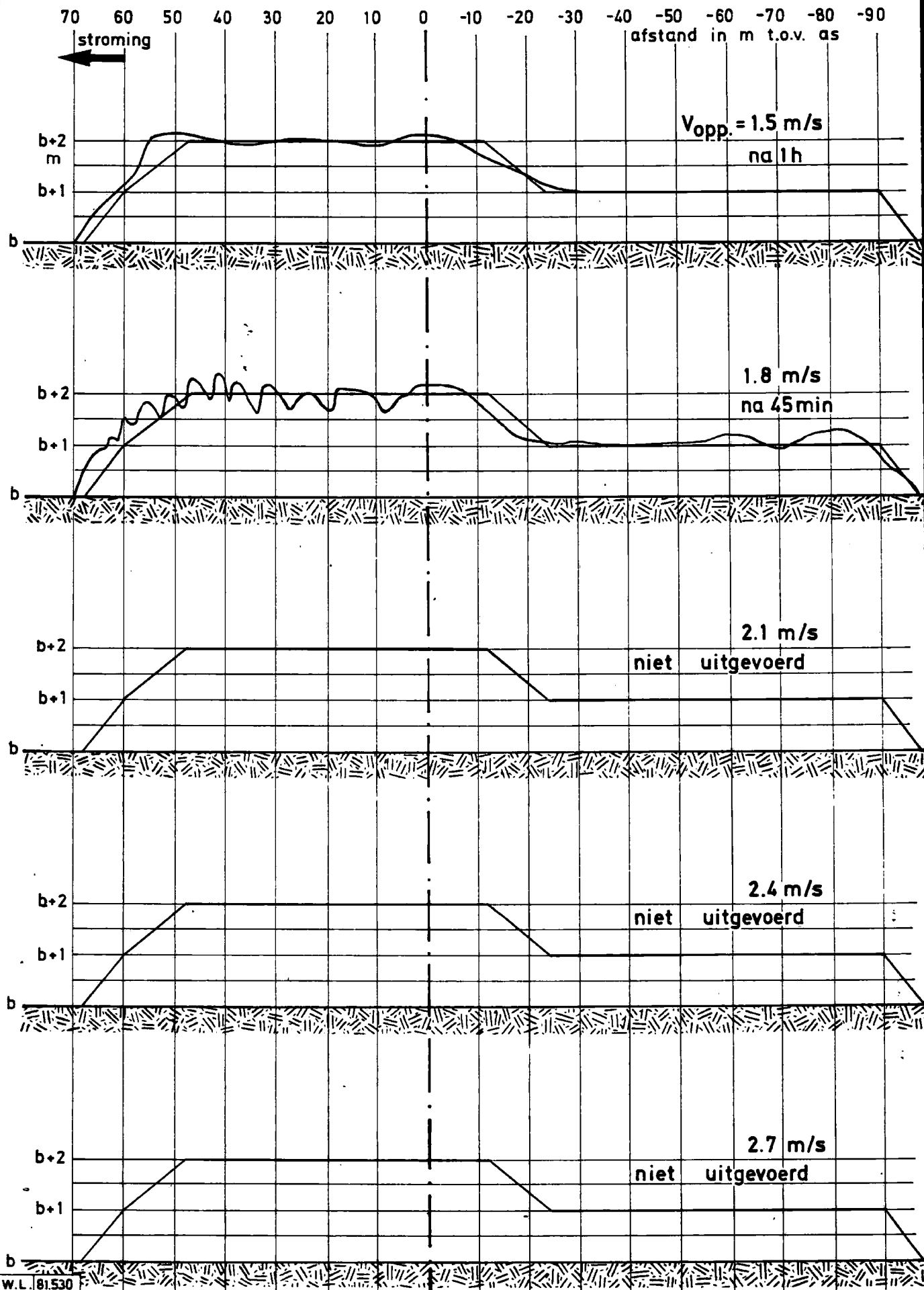
waterdiepte H = 10 m Golven : T = 6 sec , h = 1 m





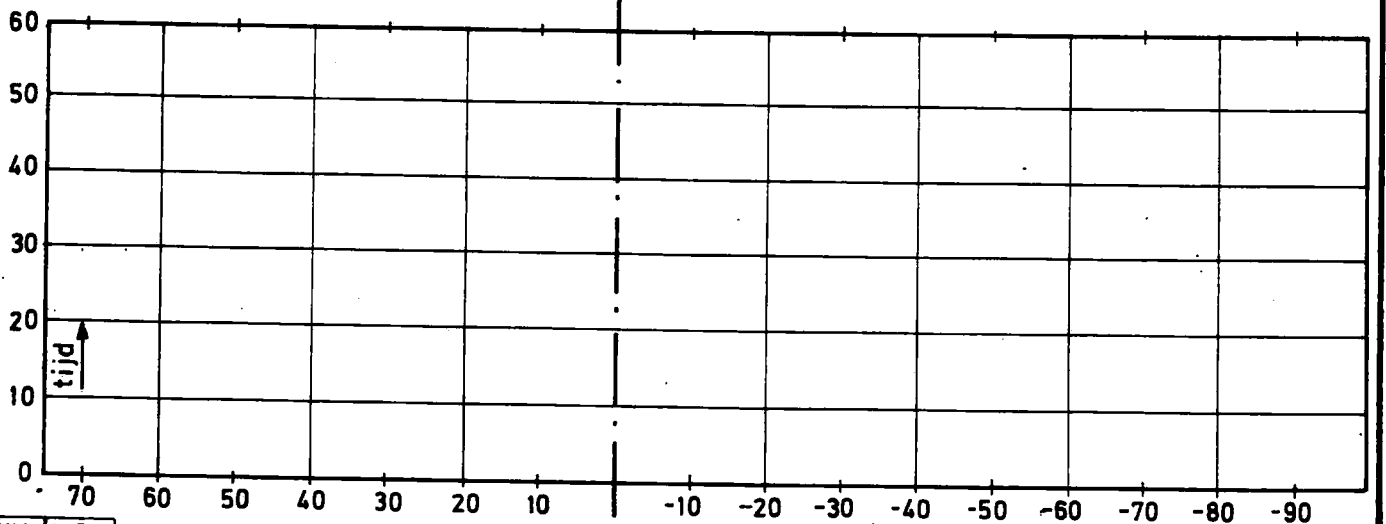
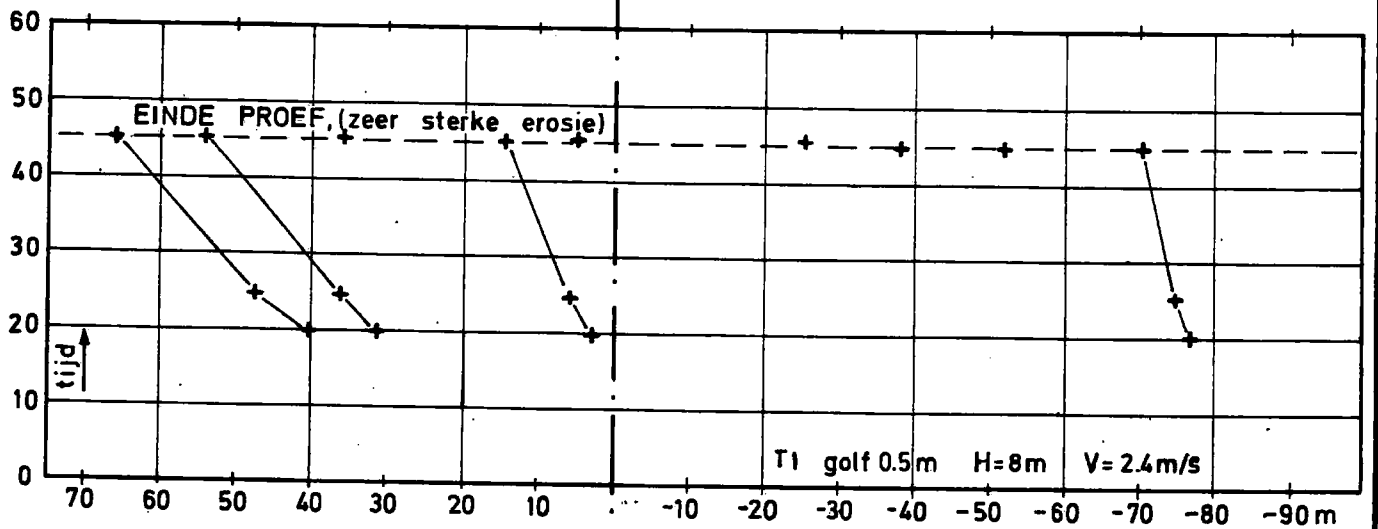
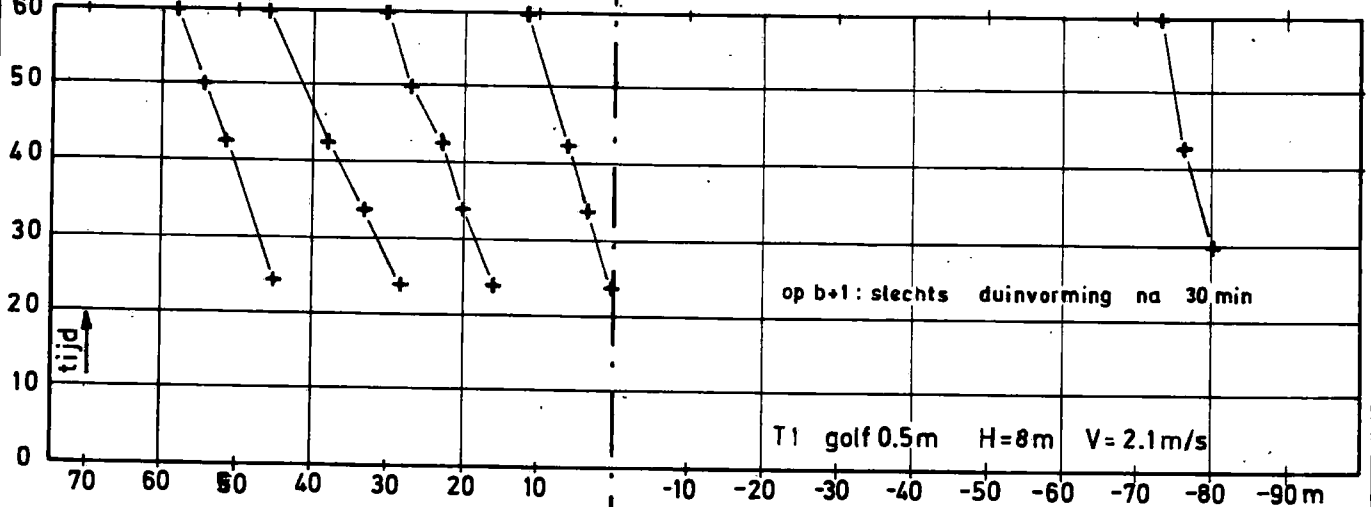
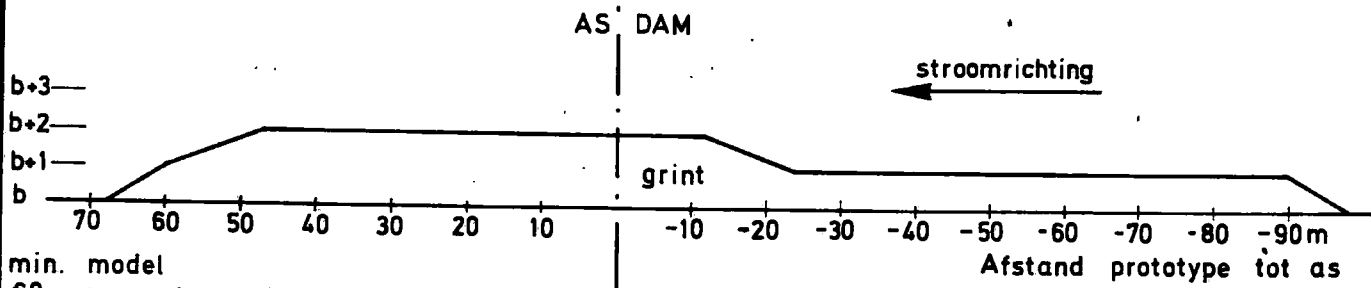
BODEMPROFIEL T1 NA EINDE PROEF

waterdiepte H = 10 m Golven : T=6 sec , h= 1m75



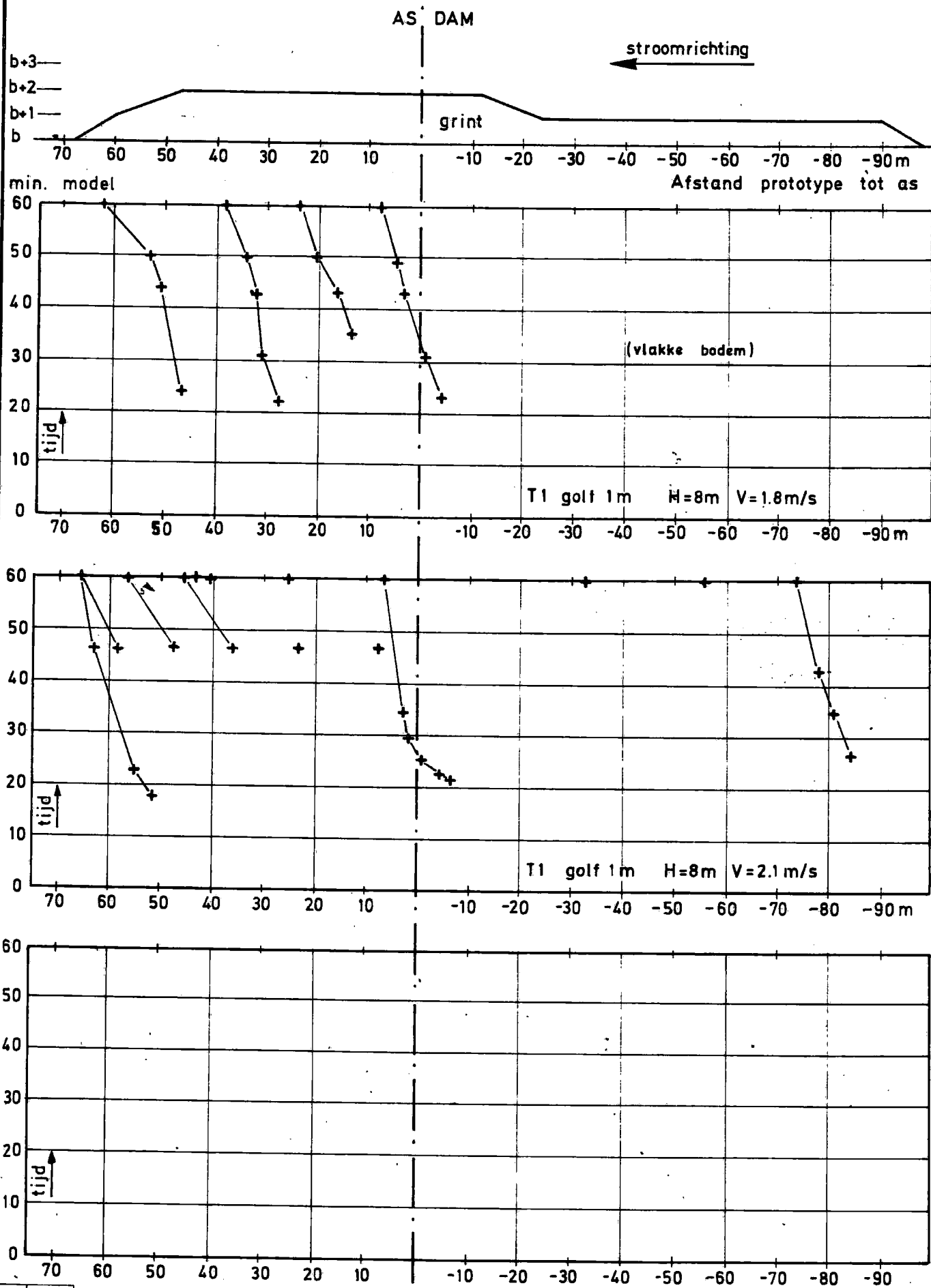


VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T1





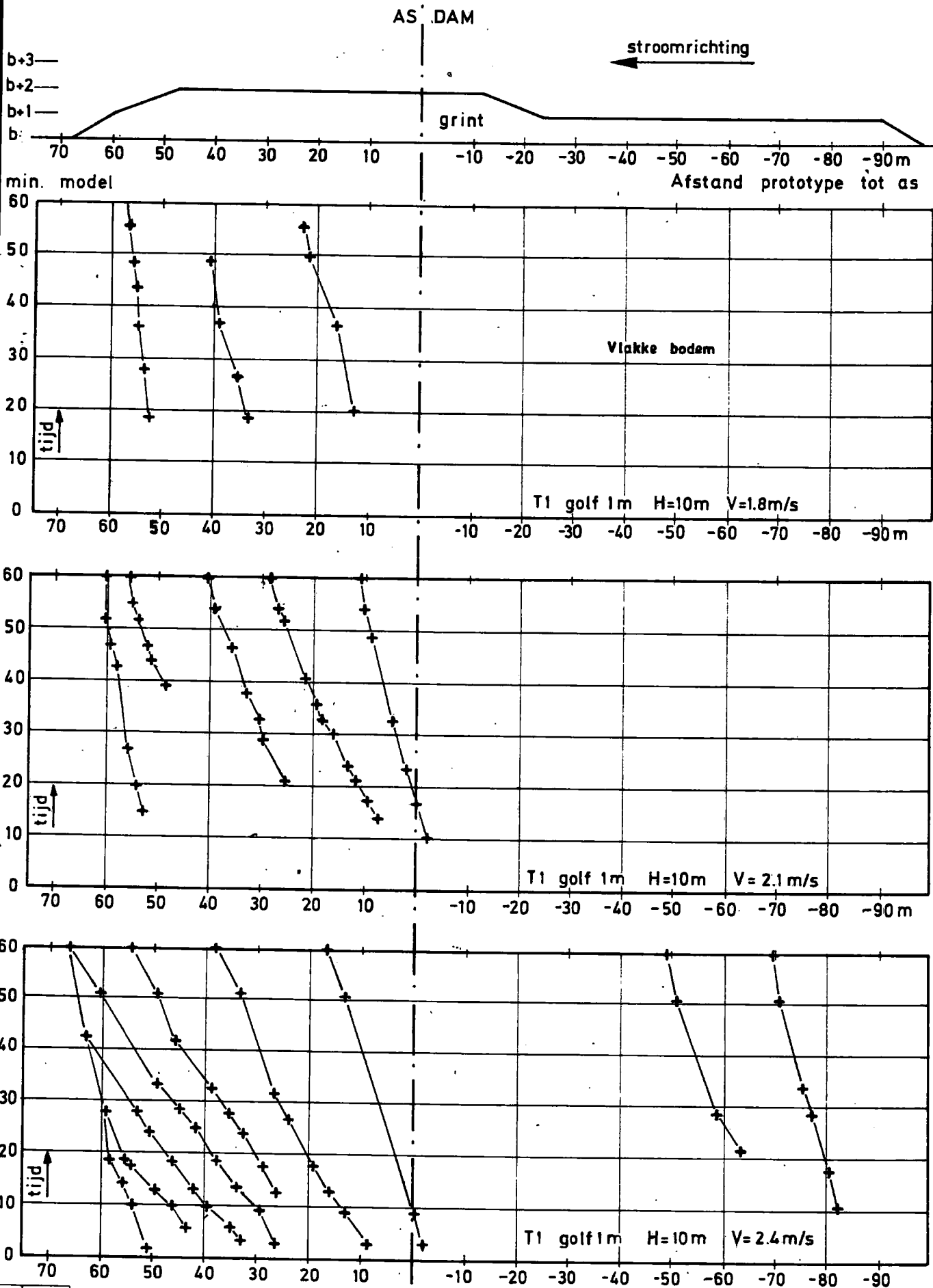
VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T1





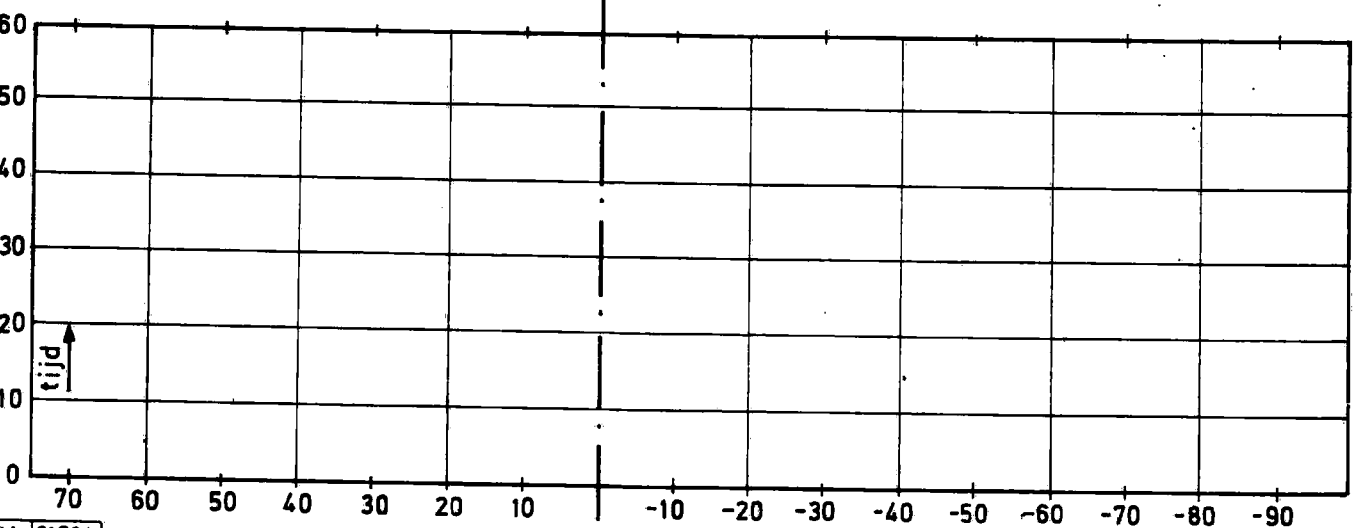
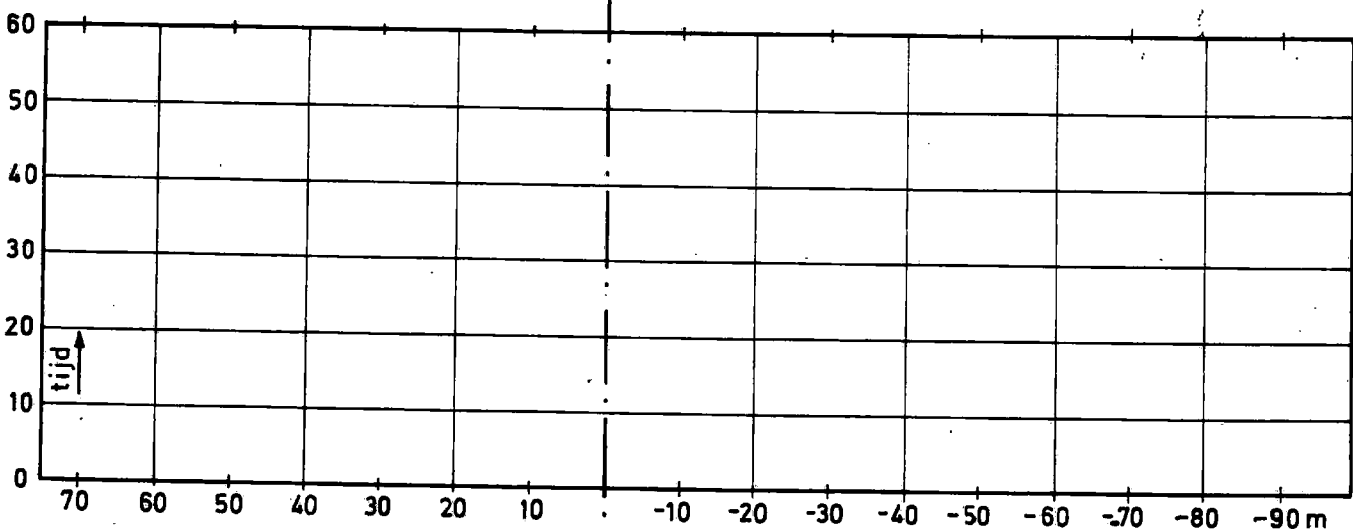
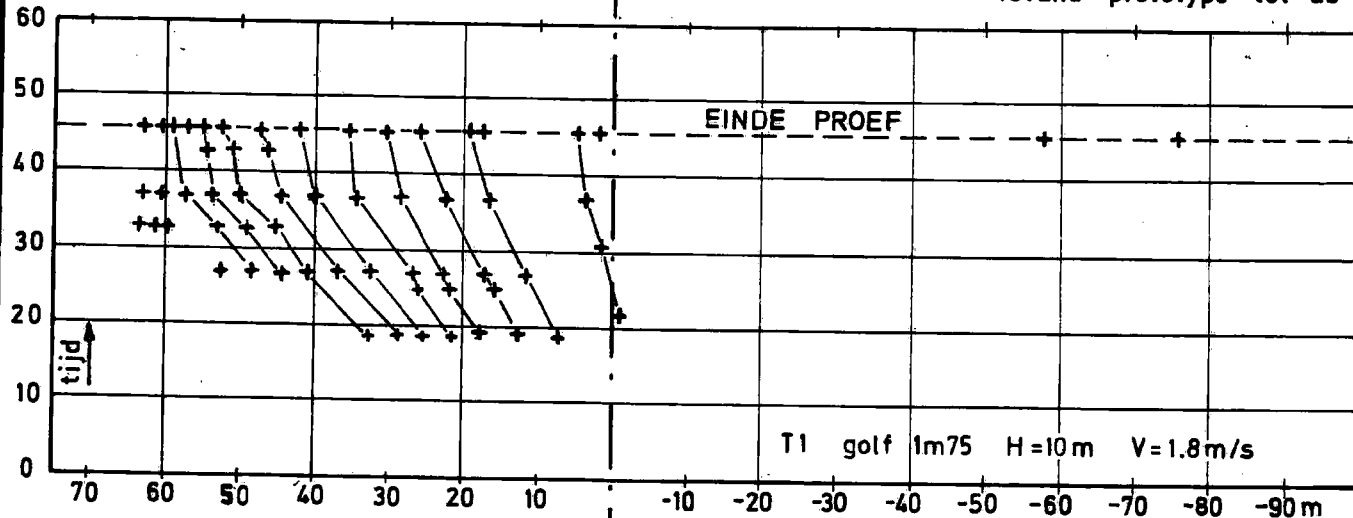
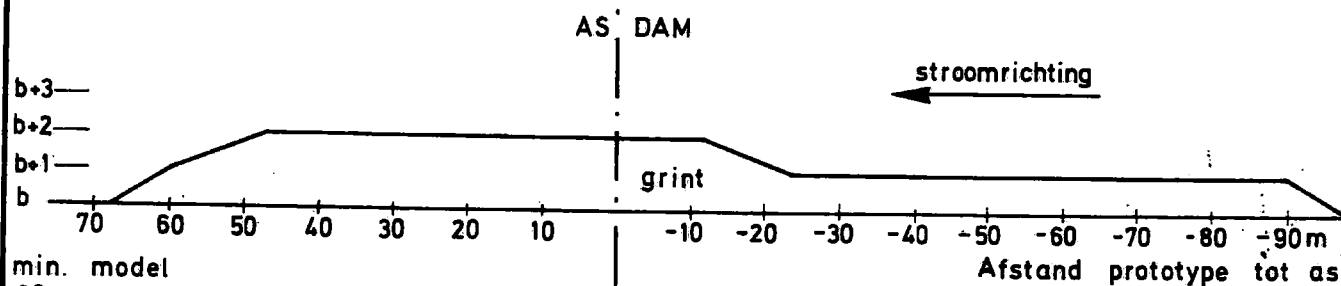


VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T1



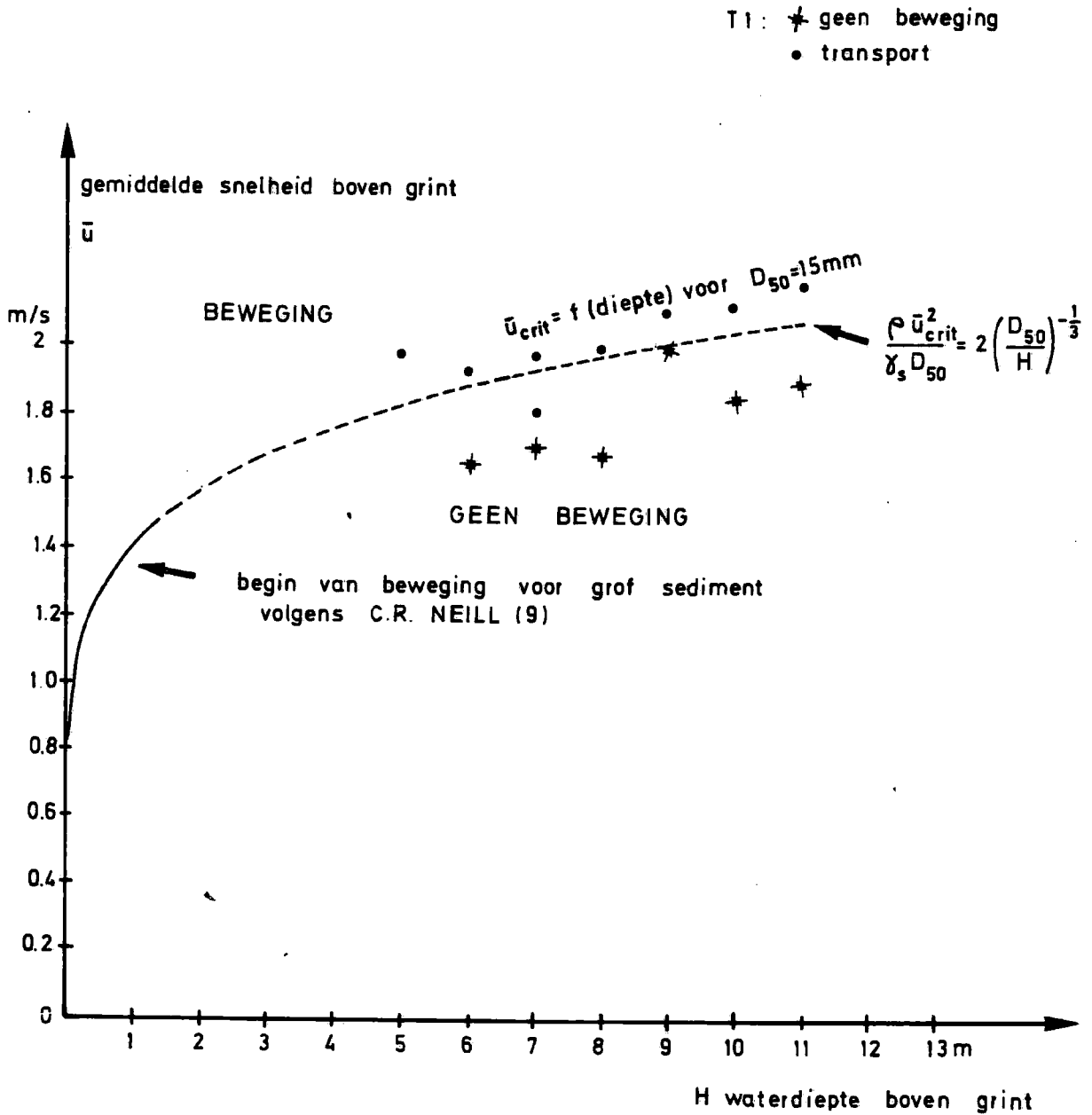


VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T1



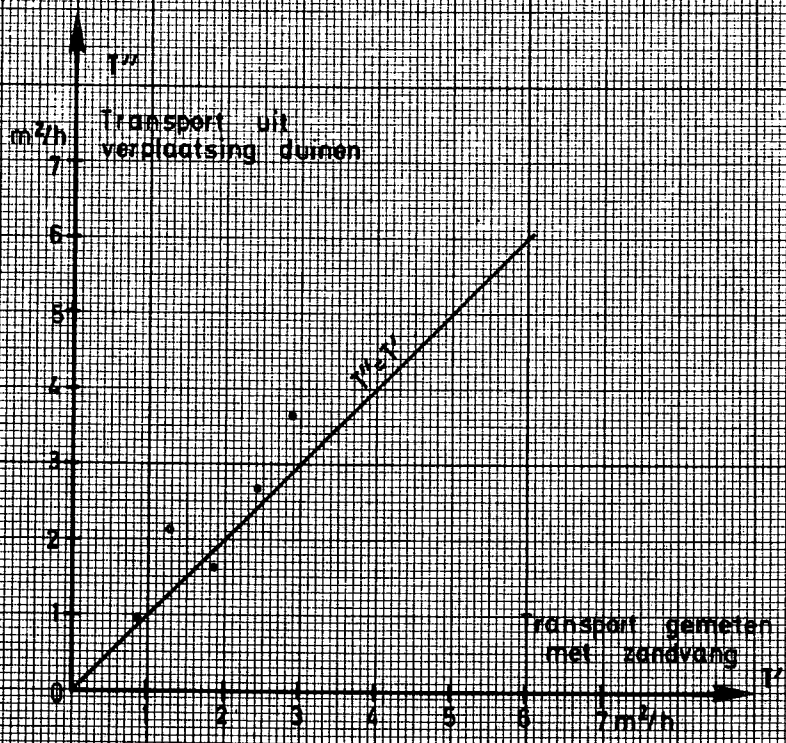
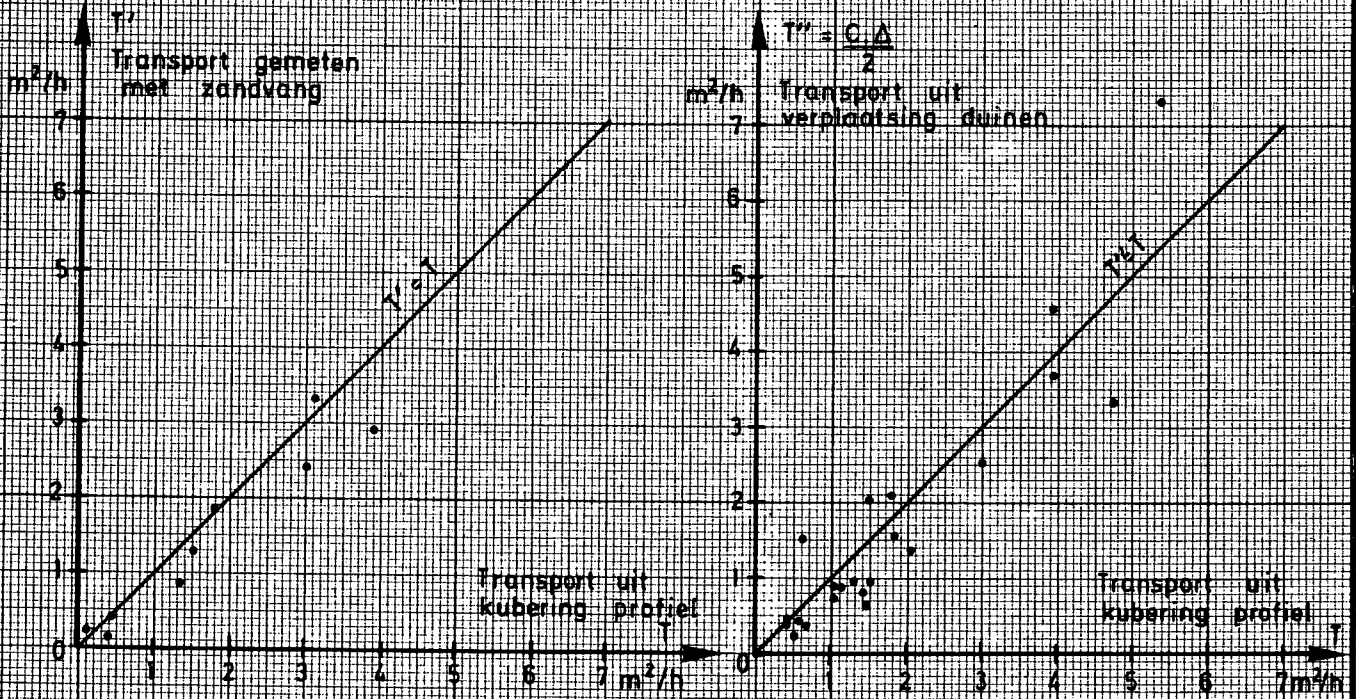


BEGIN VAN BEWEGING BIJ GROF MATERIAAL VOLGENS C.R. NEILL



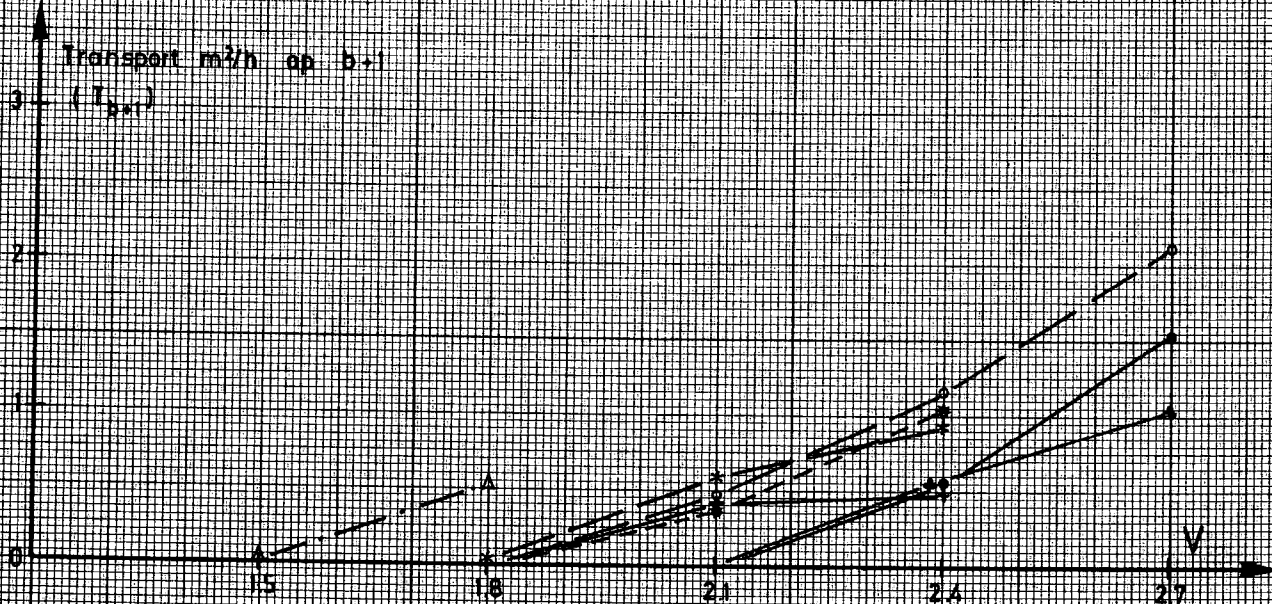
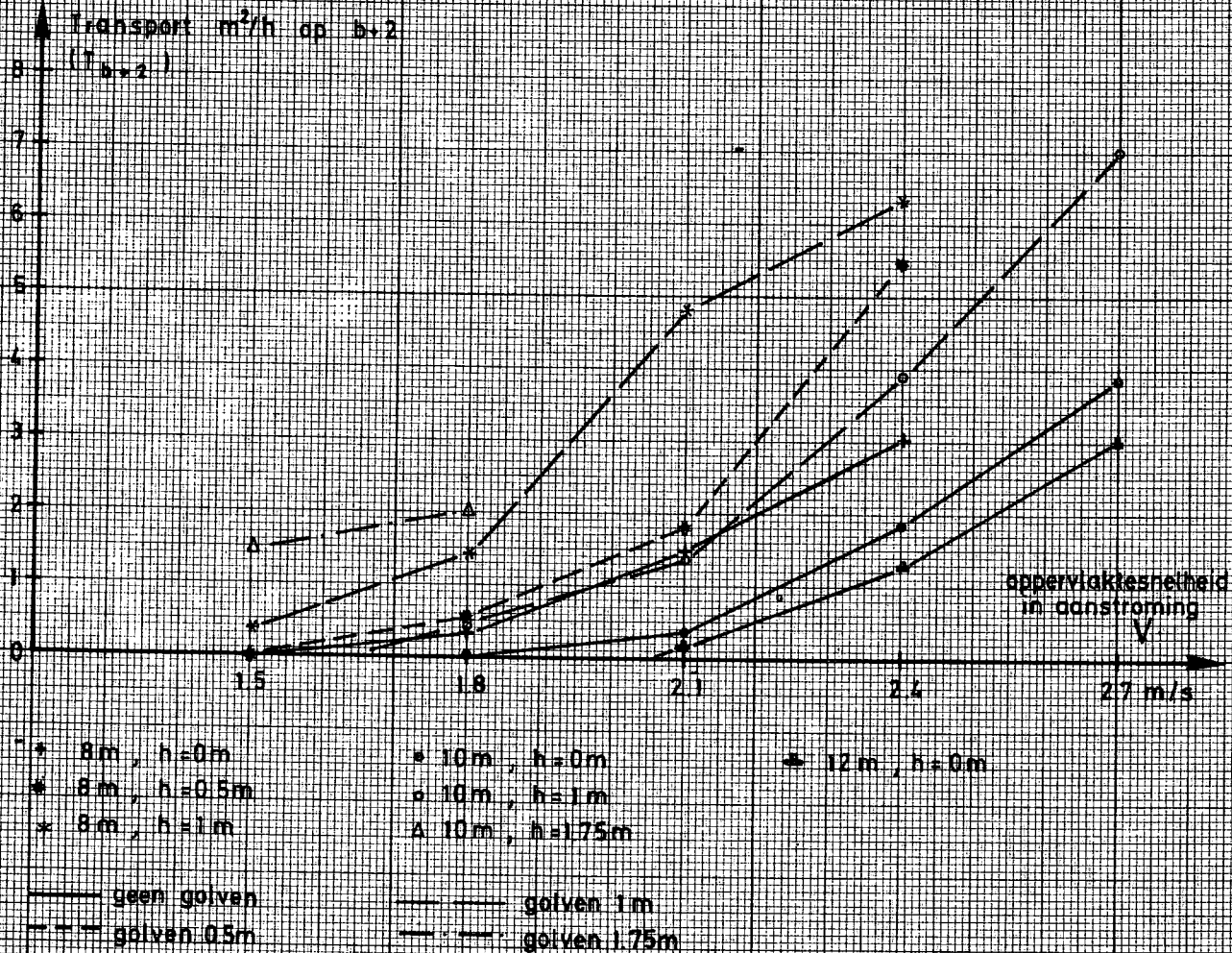


VERGELIJKING BEPALINGSWIJZEN GRINTTRANSPORT T1





GRINTTRANSPORT i.f.v. AANSTROOMSNELHEID VOOR T1

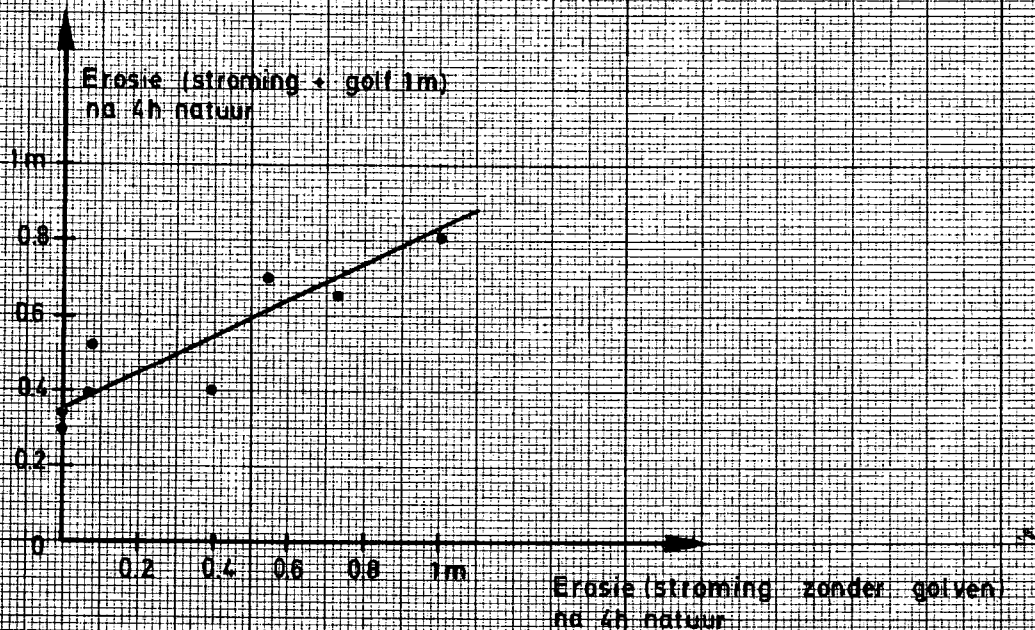
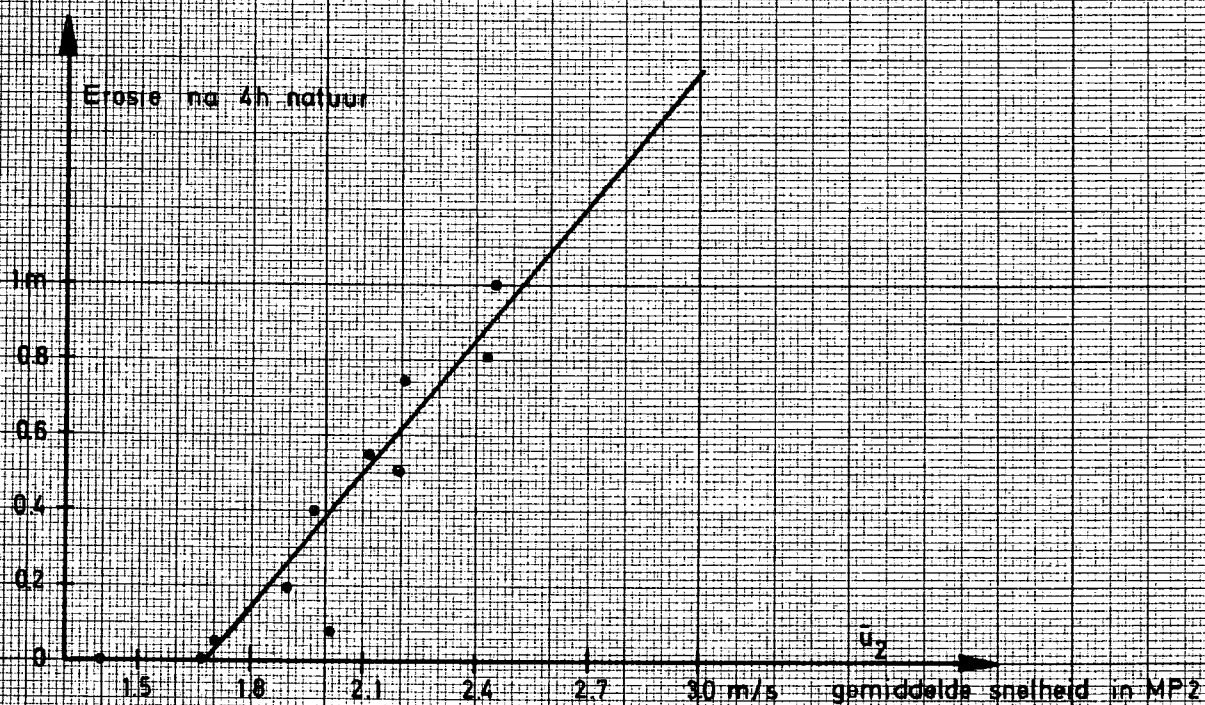






T1 - EROSIE OP DAMPROFIEL P-12

P-12: zie bijlage 1





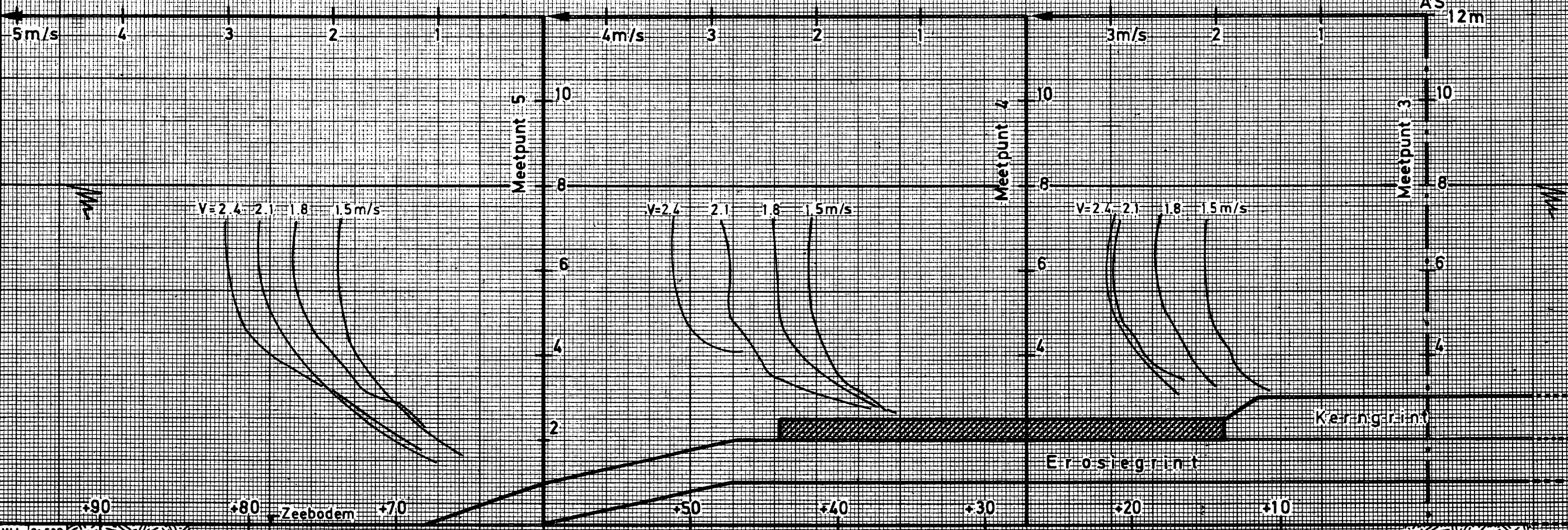
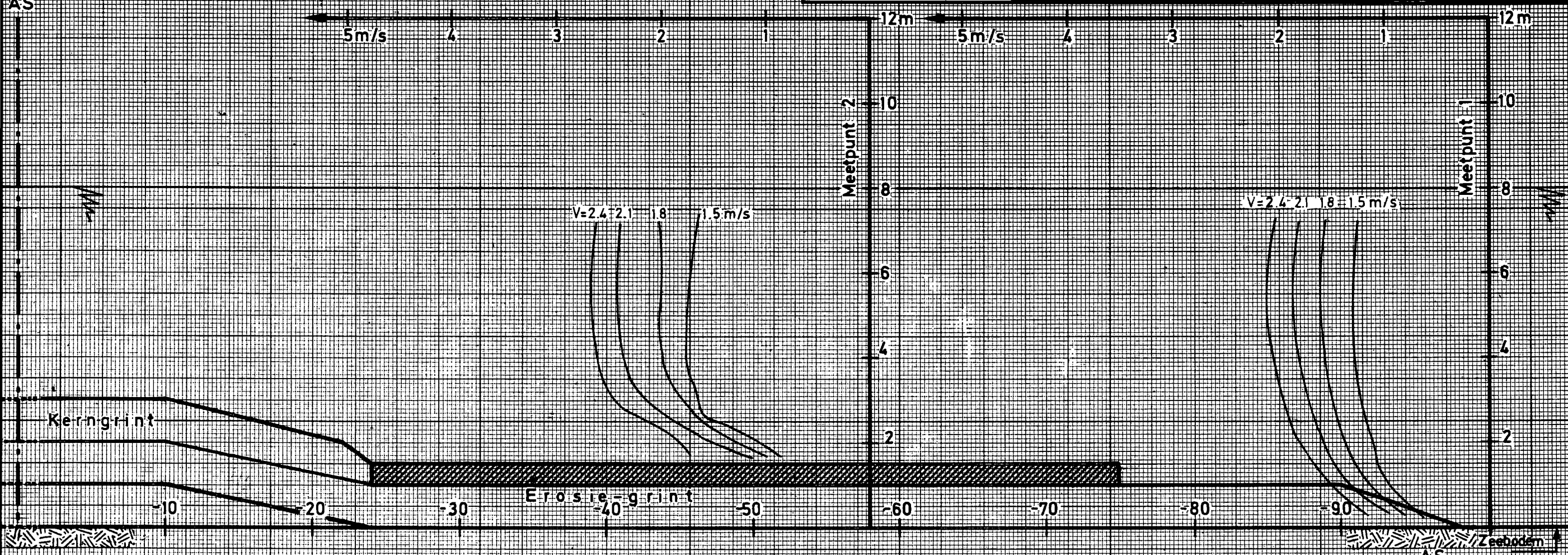
MP 5      MP 4      MP 3      MP 2      MP 1



MOD.419 STROOMGOOTONDERZOEK DAMFUNDERING  
BUITENHAVENDAMMEN ZEEBRUGGE

Bijlage 25

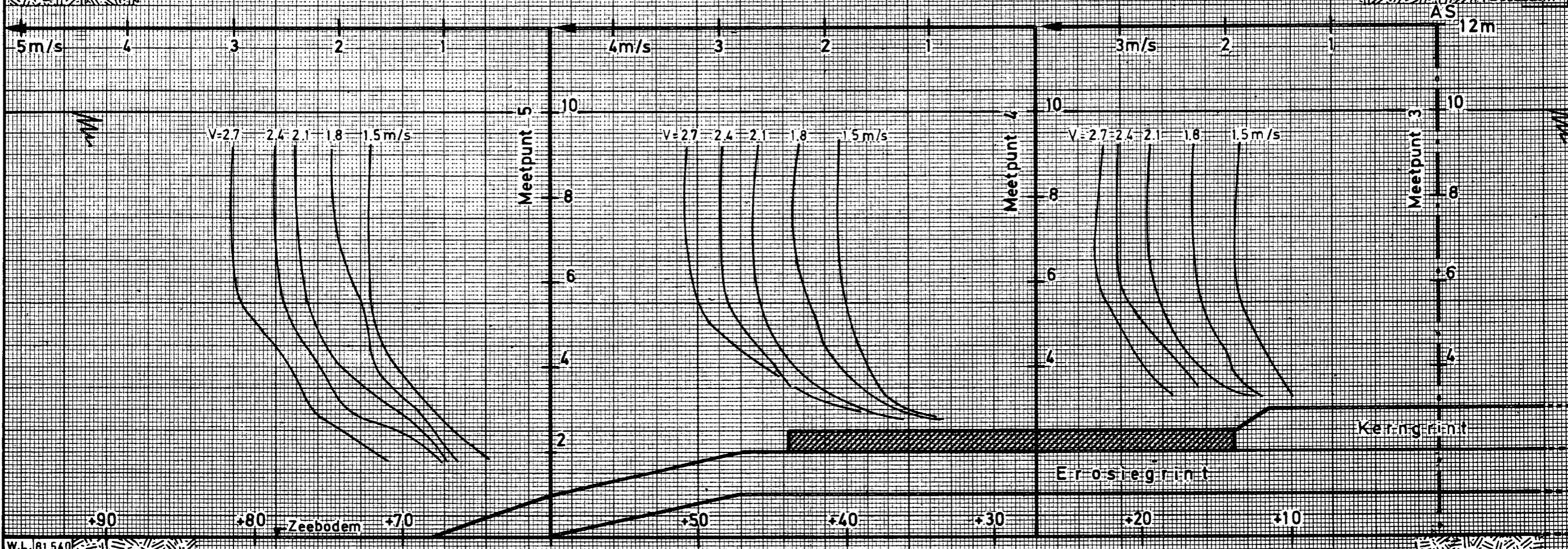
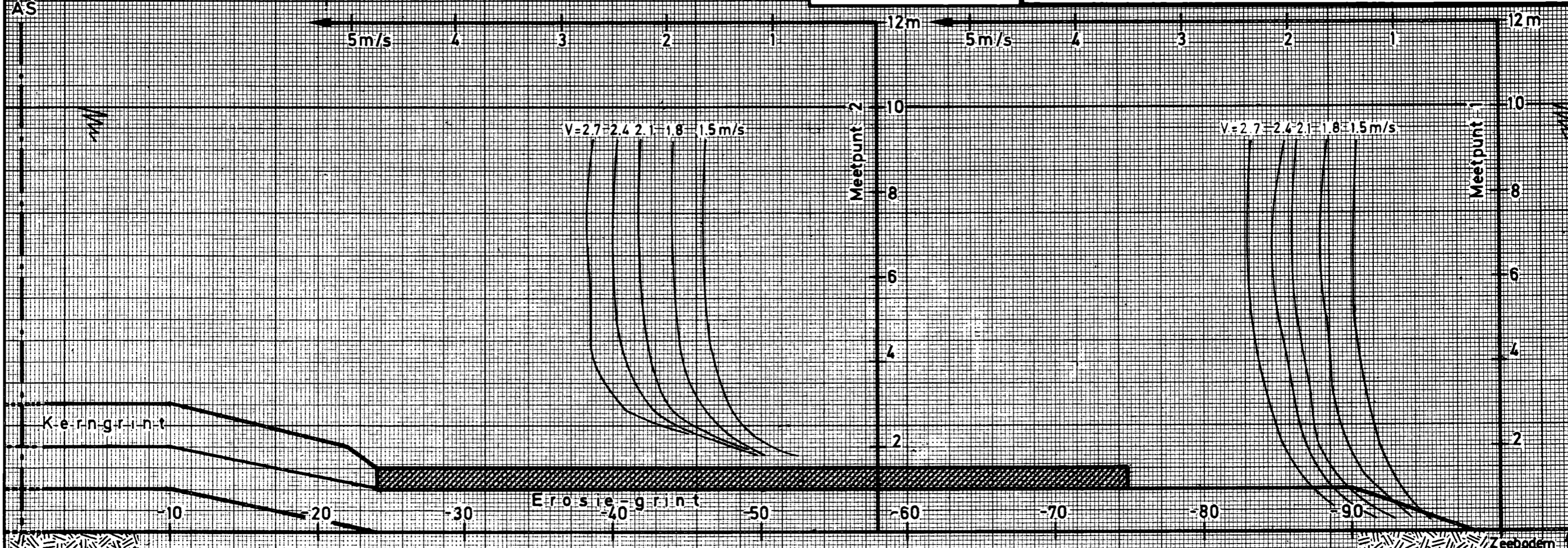
SITUATIE T2 - SNELHEIDSVERLOOP OVER DE DAMFUNDERING  
WATERDIEPTE : 8 m





MP 5 MP 4 MP 3 MP 2 MP 1

SITUATIE T2 - SNELHEIDSVERLOOP OVER DE DAMFUNDERING WATERDIEPTE : 10 m

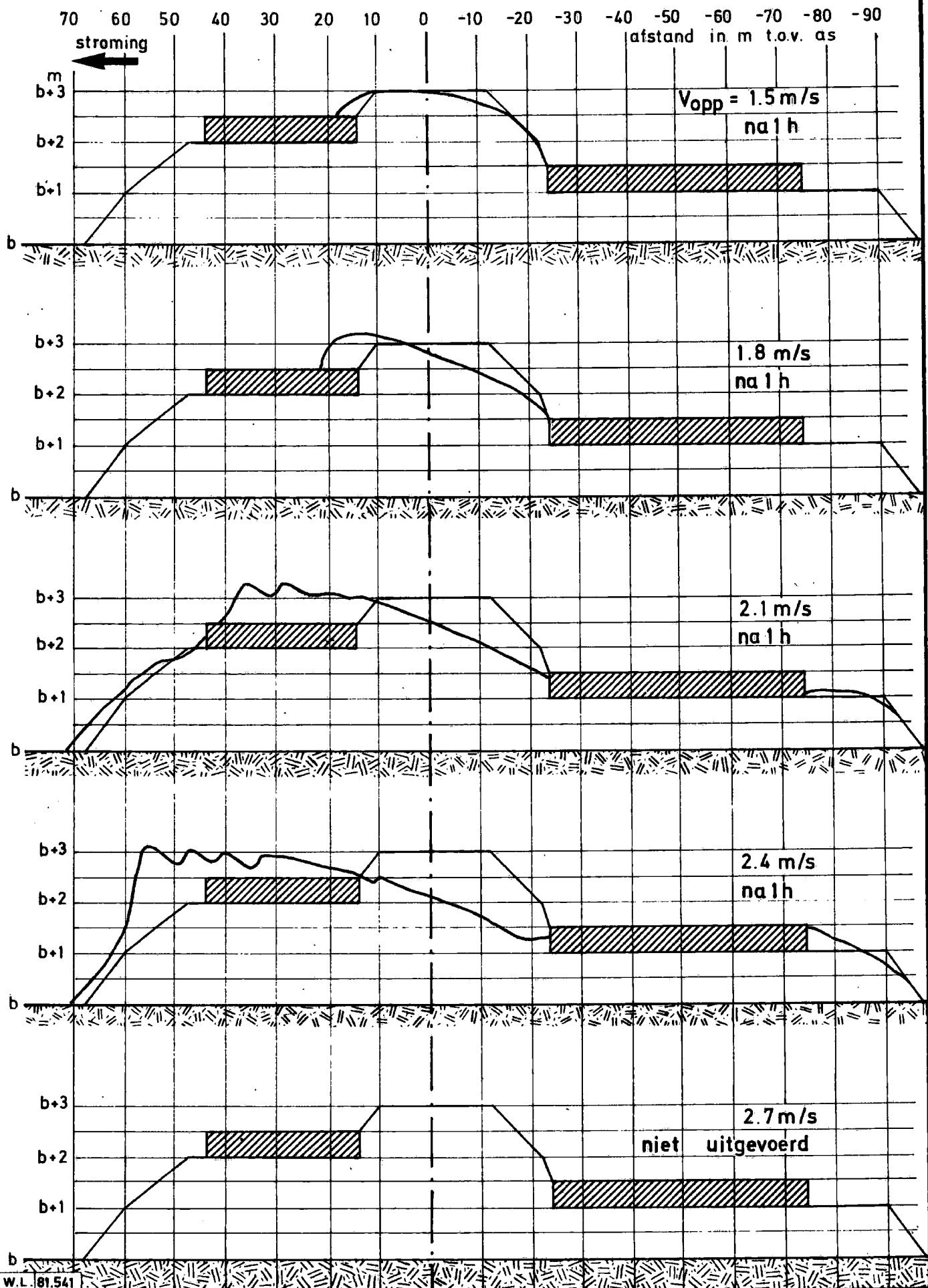






BODEMPROFIEL T2 NA EINDE PROEF

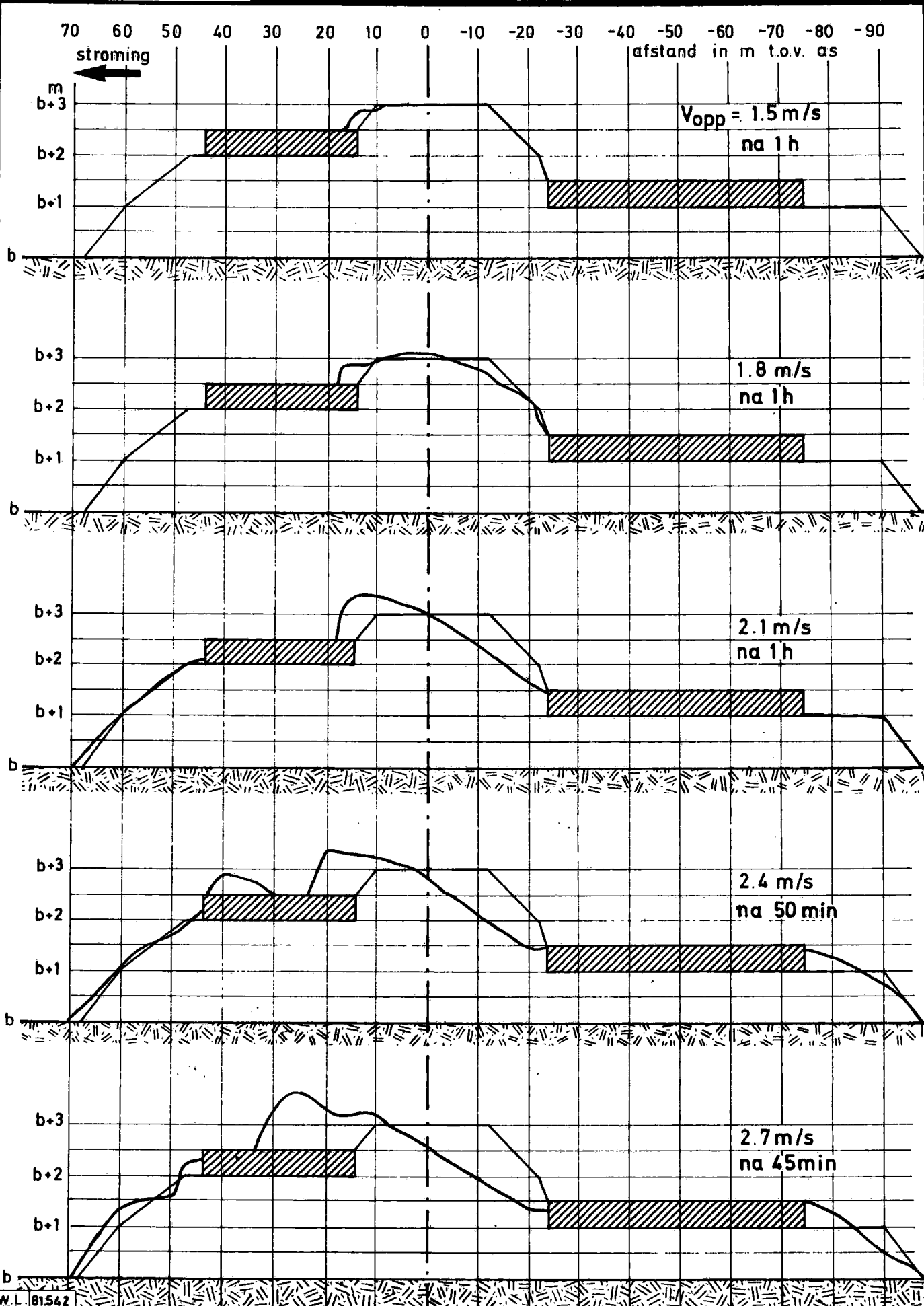
waterdiepte H = 8 m Zonder golven





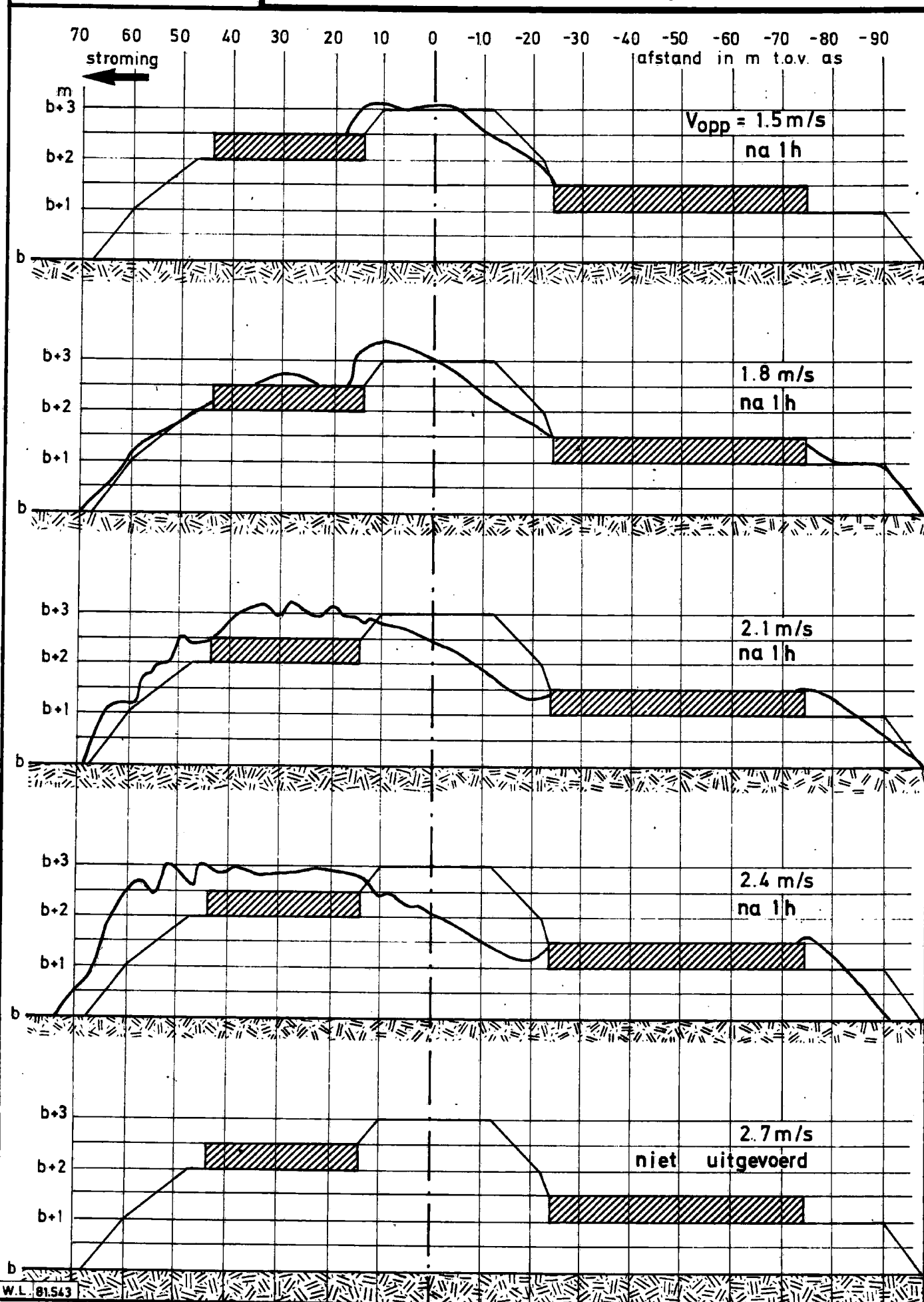
BODEMPROFIEL T2 NA EINDE PROEF

waterdiepte H = 10 m Zonder golven



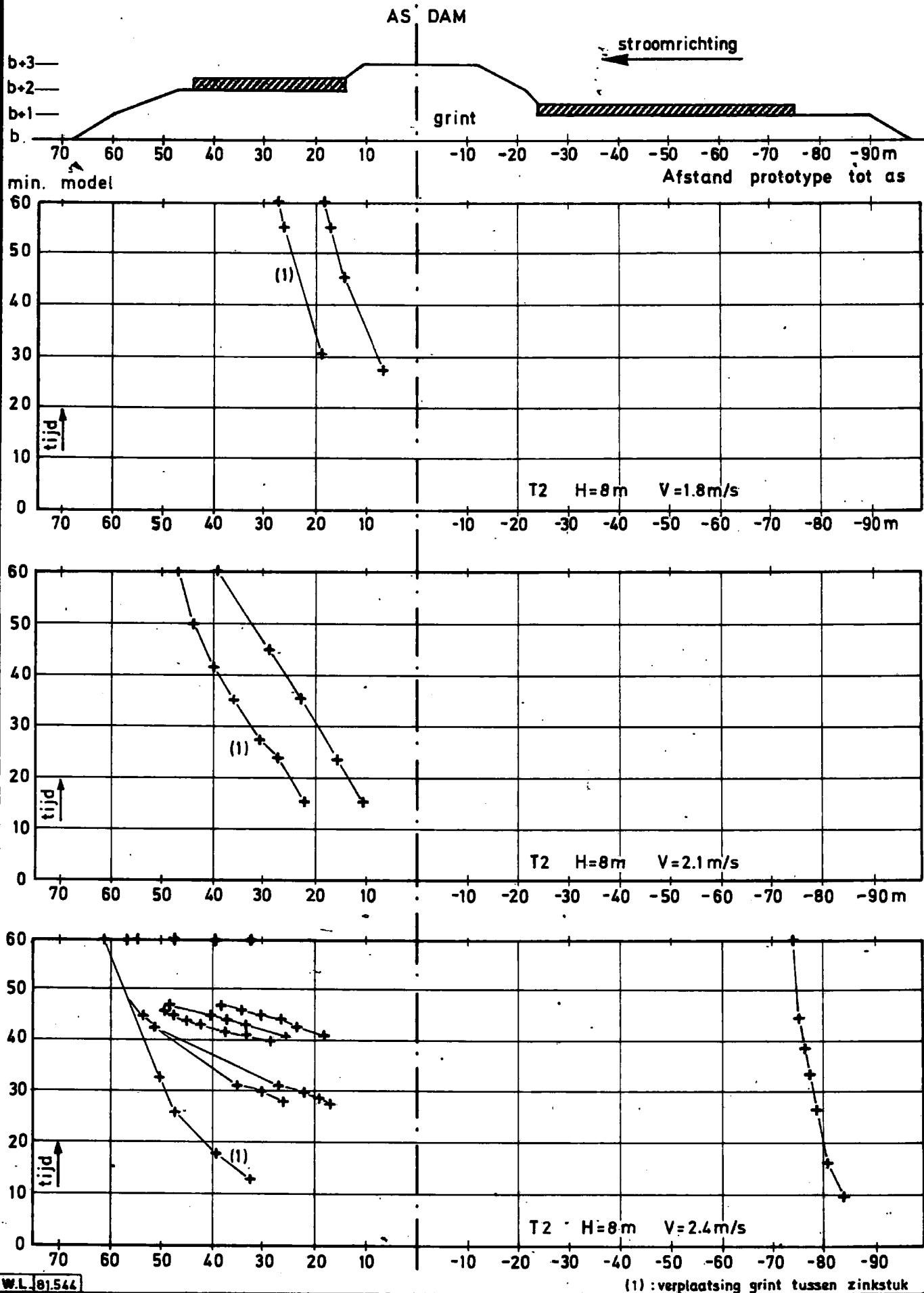
**BODEMPROFIEL T2 NA EINDE PROEF**

waterdiepte H = 8 m Golven : T=6sec , h=1 m

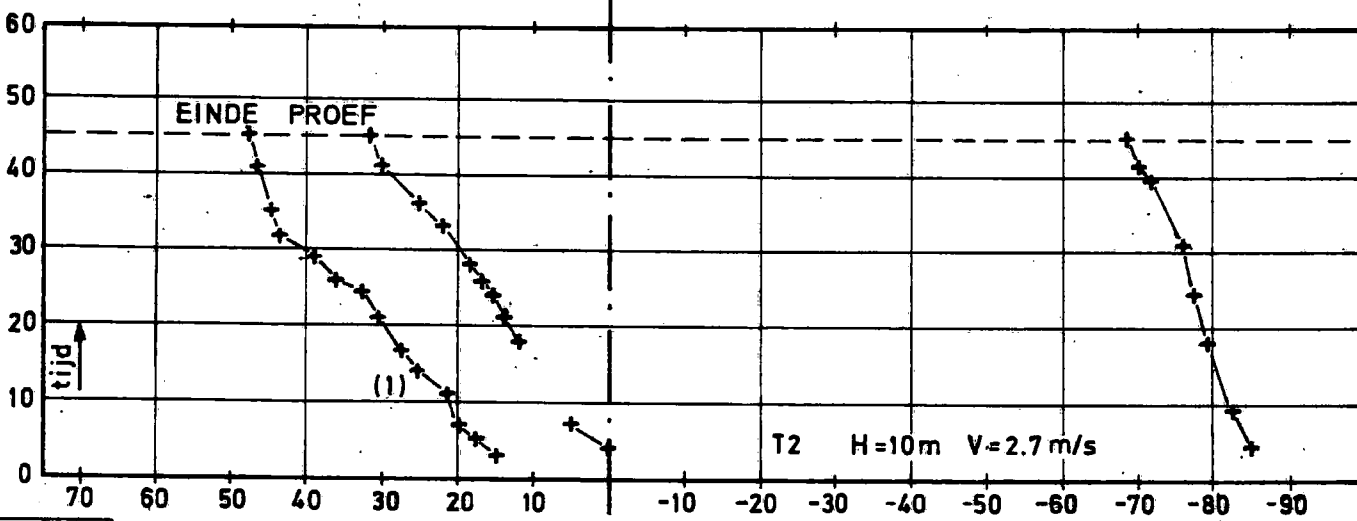
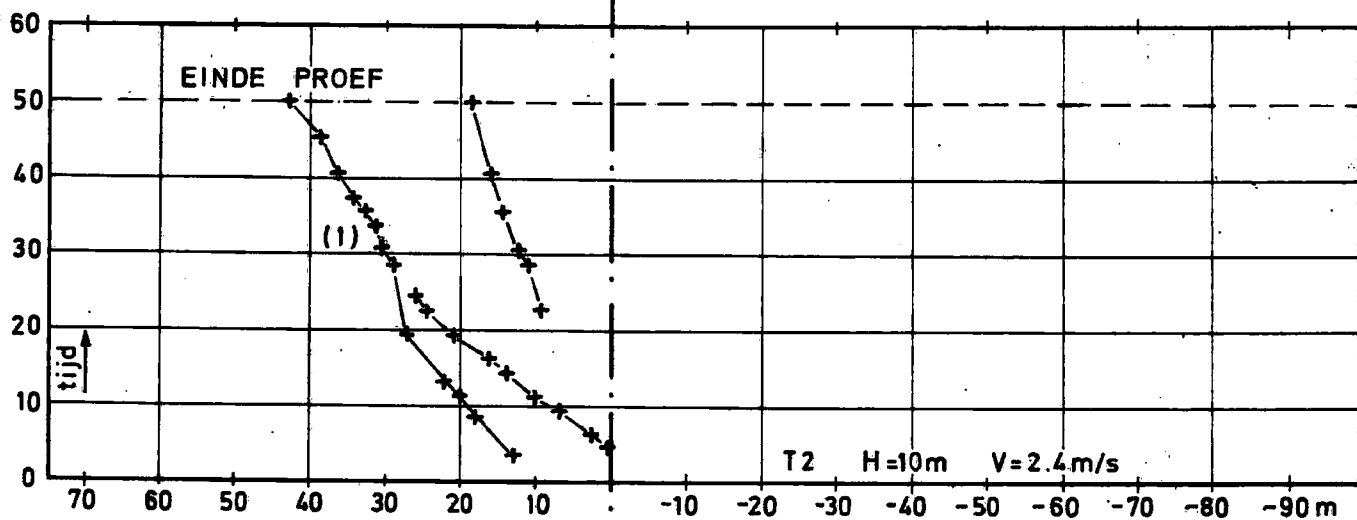
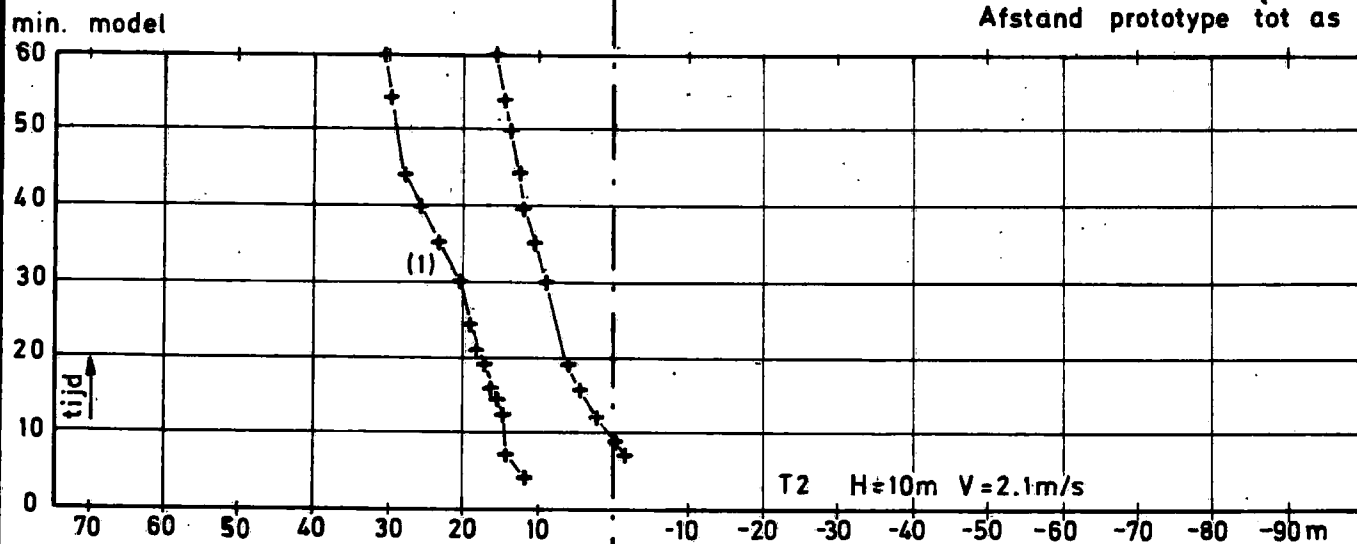
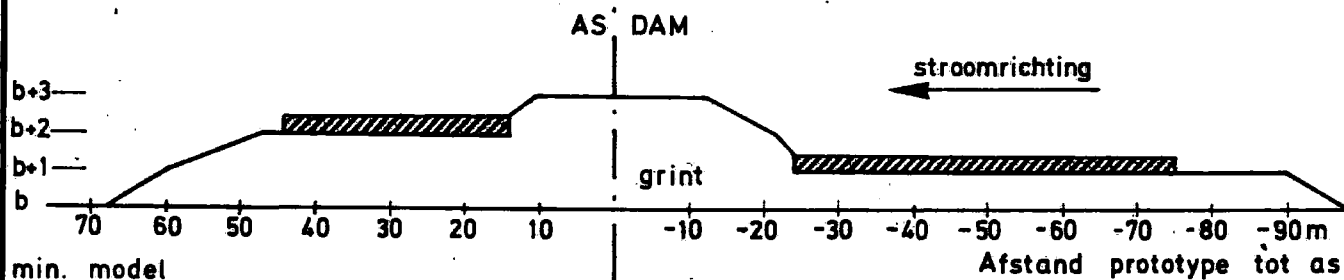




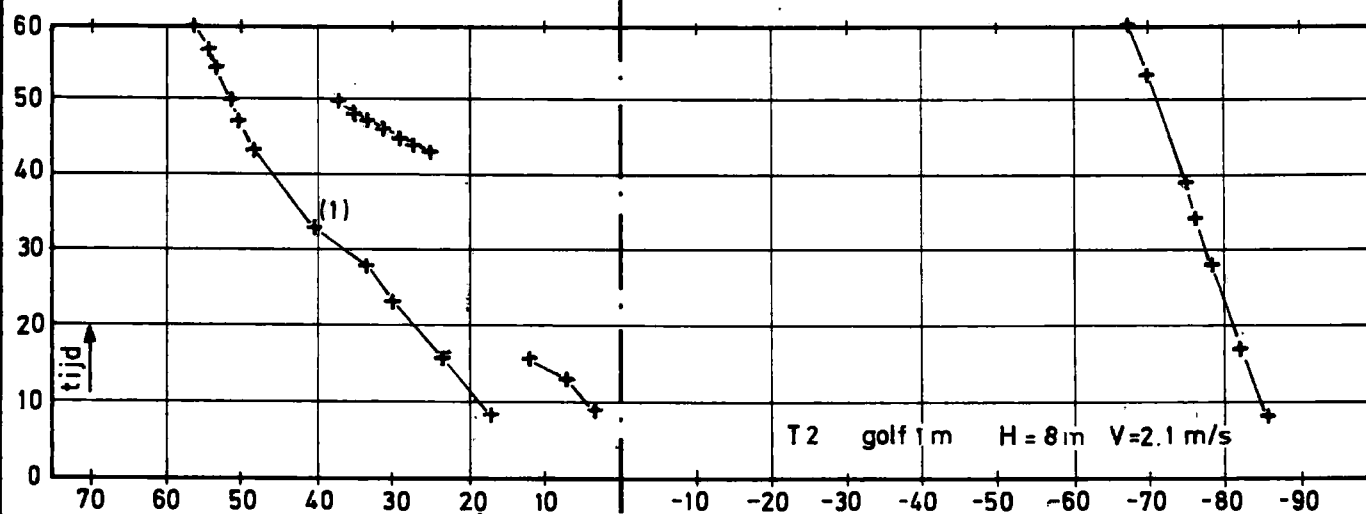
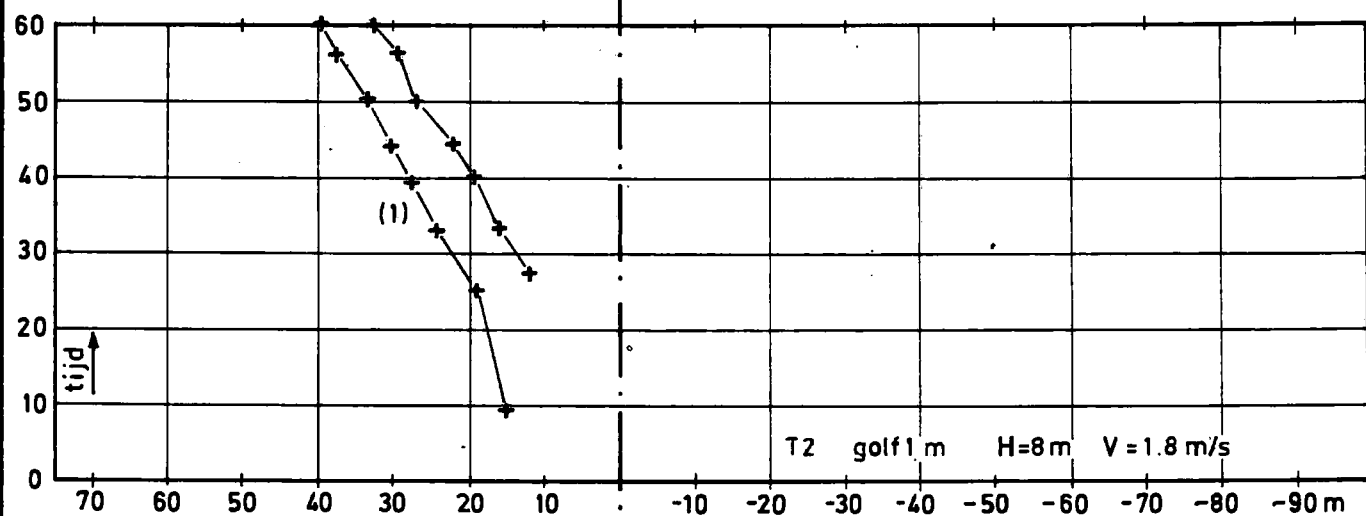
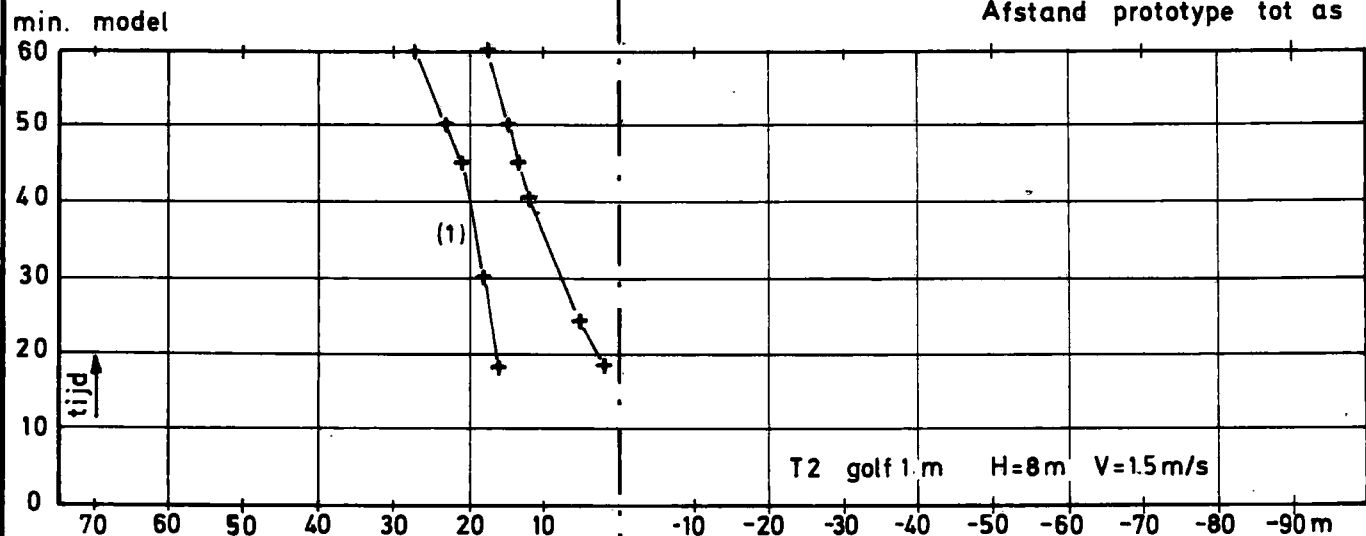
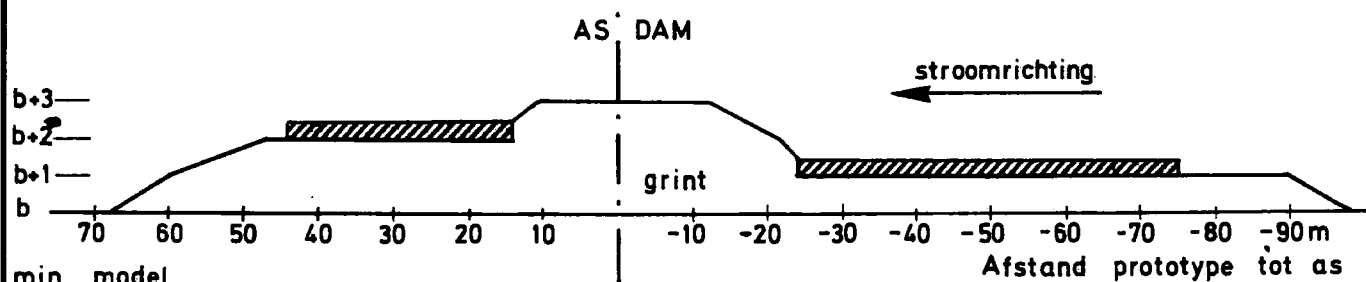
VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T2



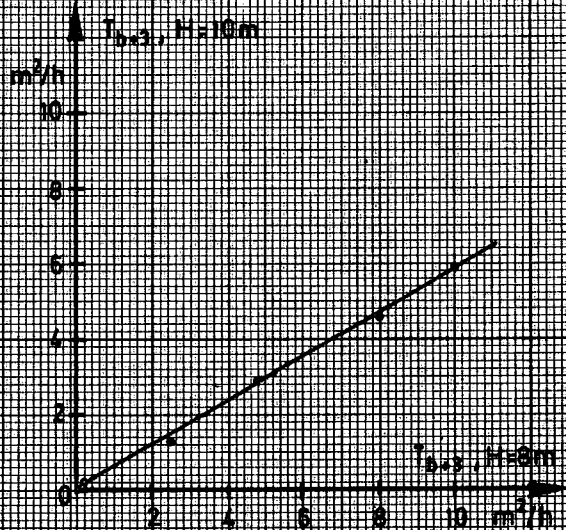
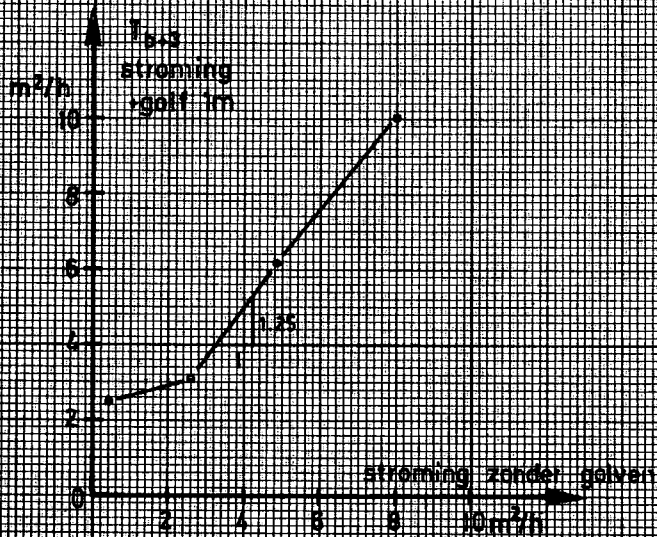
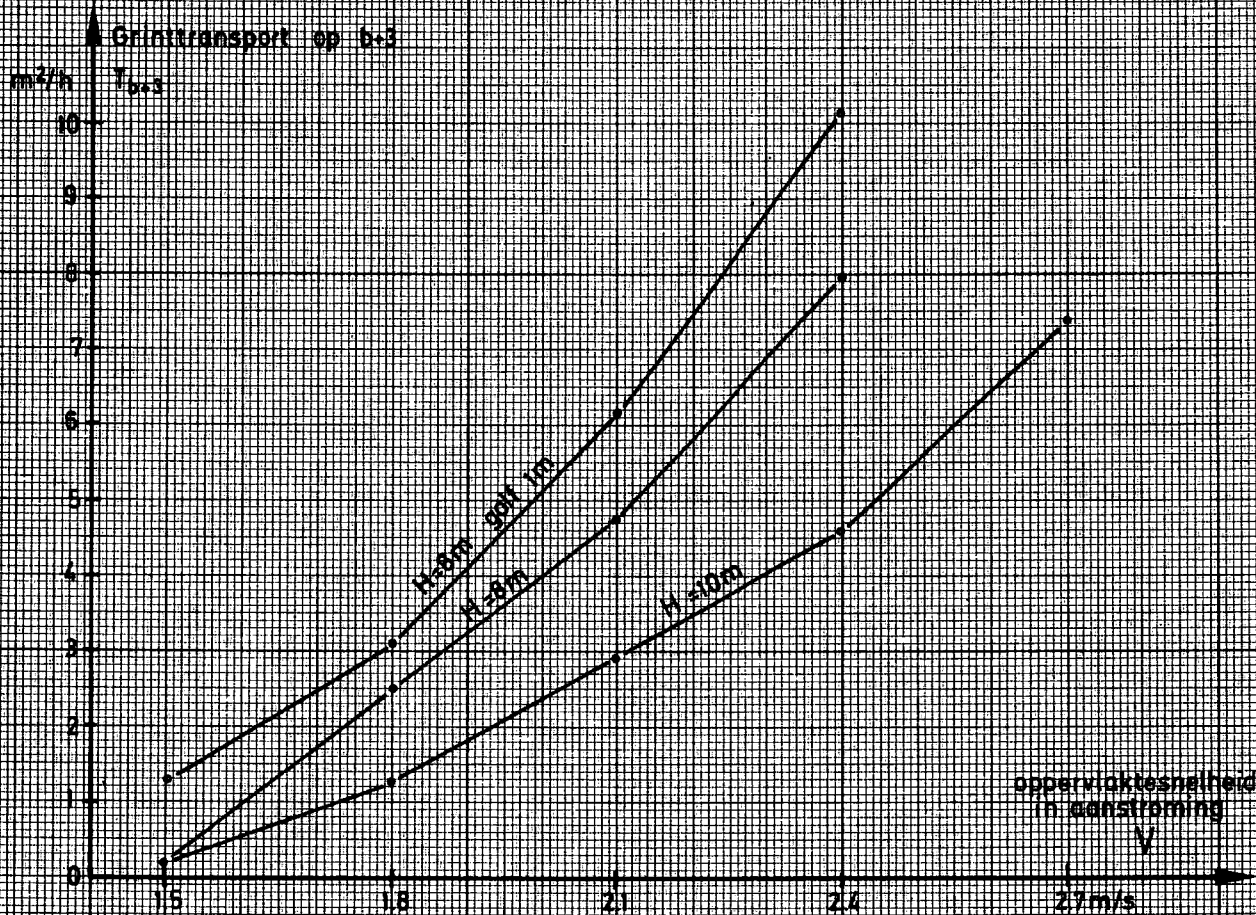
**VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T2**



**VERPLAATSING DUINEN TIJDENS DE PROEF T2**



**GRINTTRANSPORT BIJ SITUATIE T2 i.f.v. DE AANSTROOMSNELHEID**

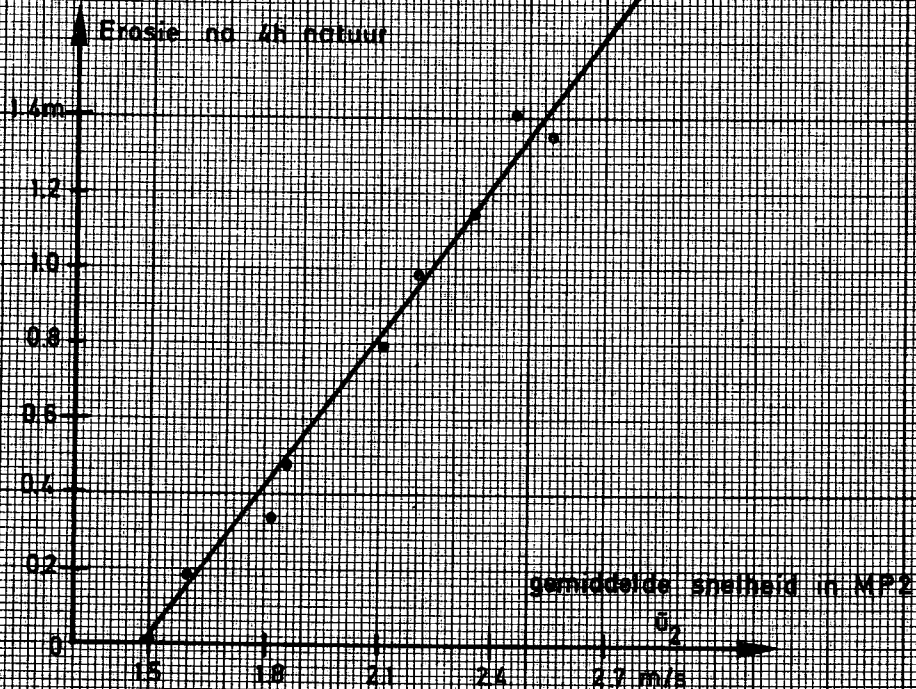
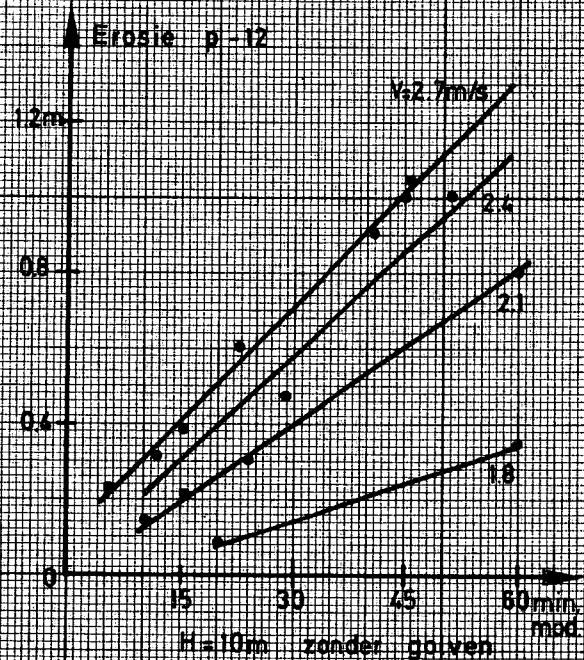
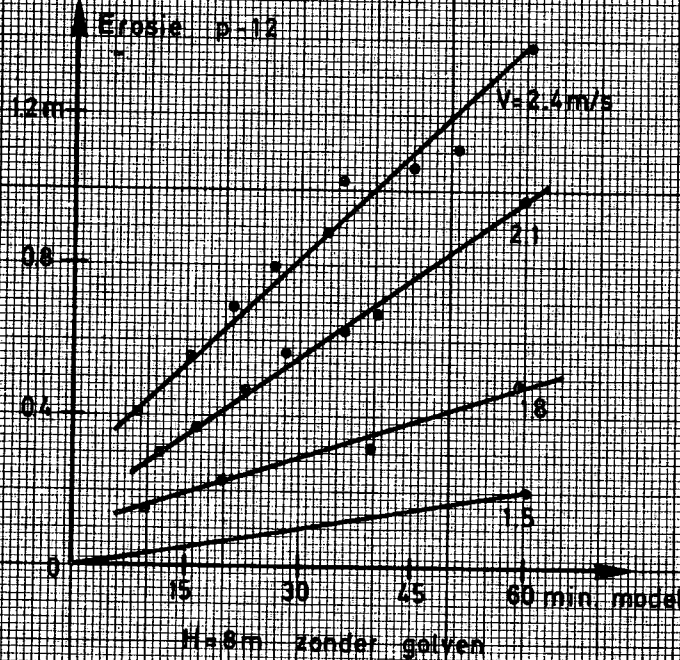






T 2 - EROSION OP DAMPROFIEL P-12

P-12 : zie bijlage 1

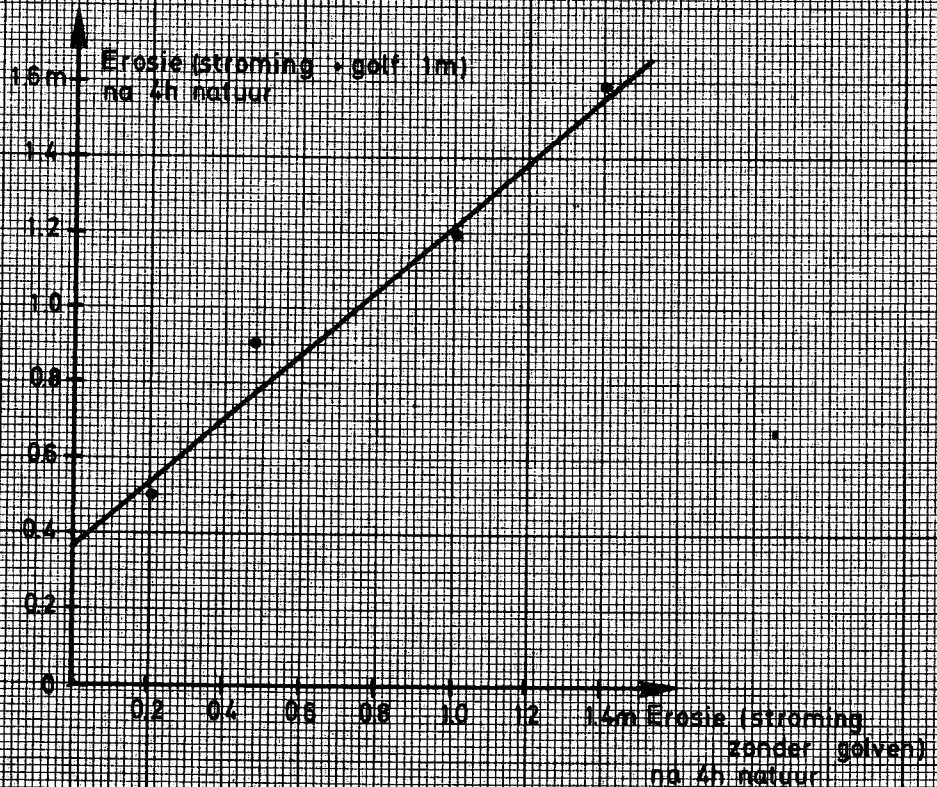
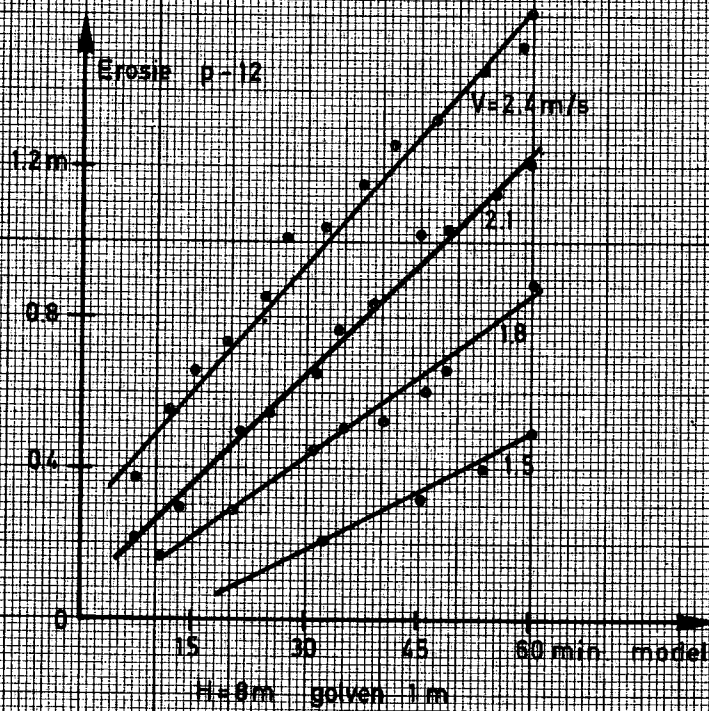






T2 - EROSIE OP DAMPROFIEL P - 12

P-12 : zie bijlage 1

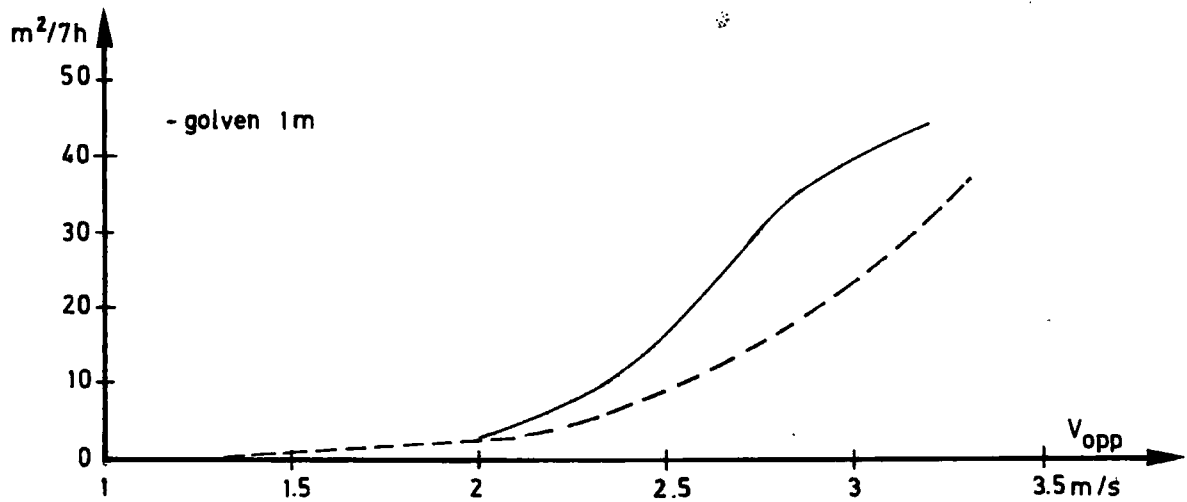
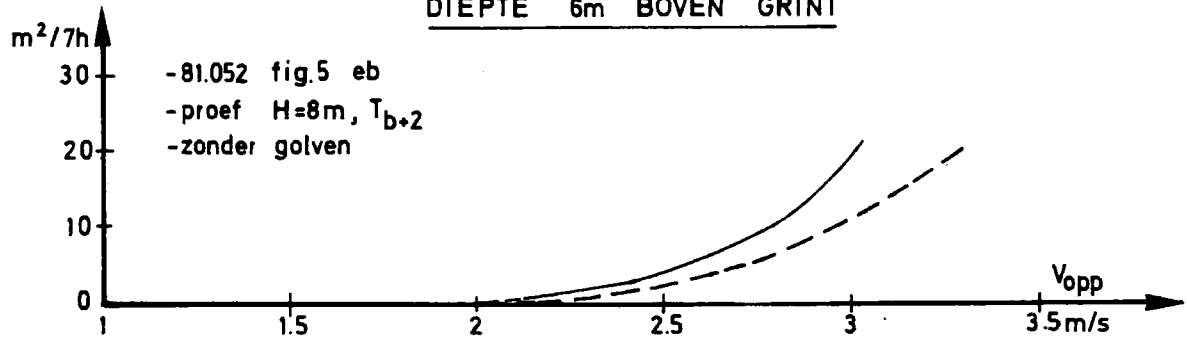




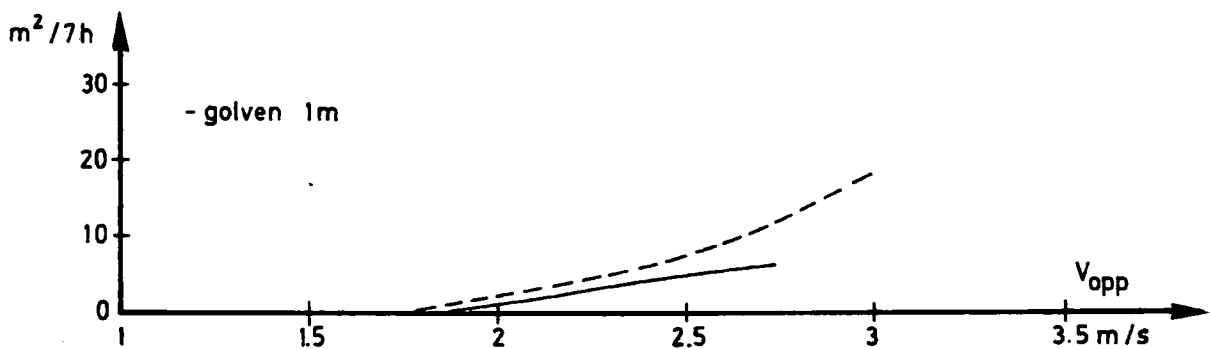
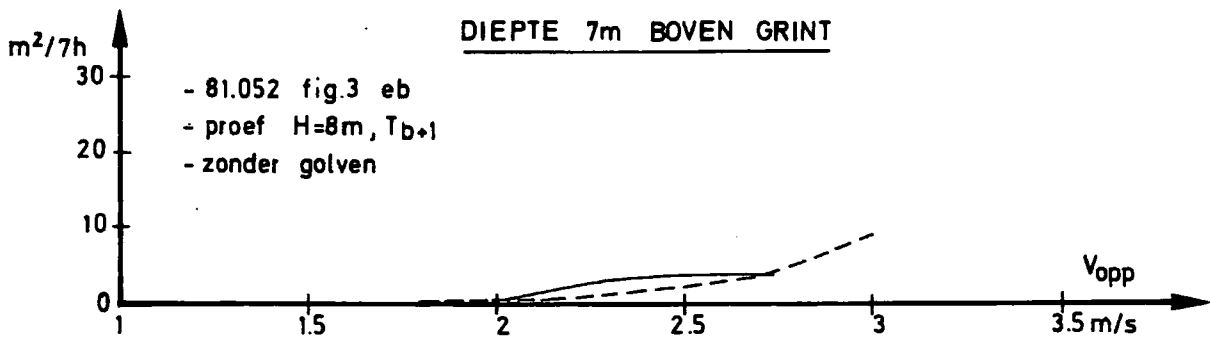
— model  
- - - berekeningen

TRANSPORT i.f.v. OPPERVLAKTESNELHEID BOVEN HET EROSGRINT  
VERGELIJKING BEREKENINGEN - MODELPROEVEN T1

DIEPTE 6m BOVEN GRINT



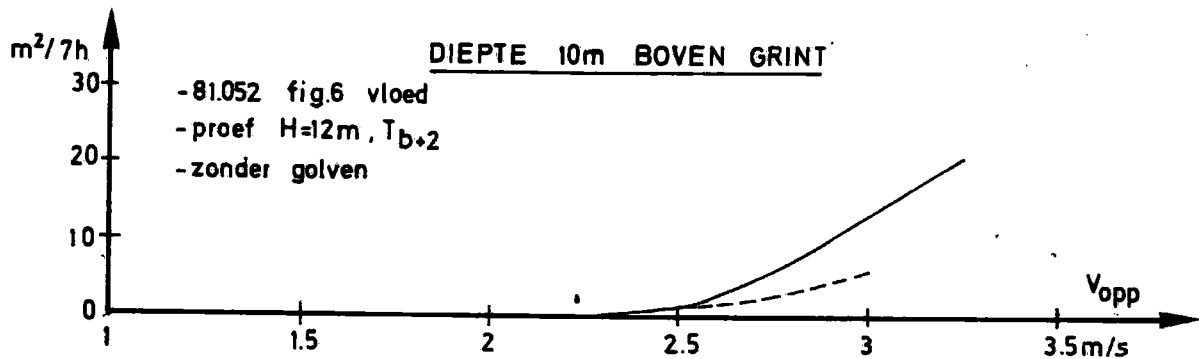
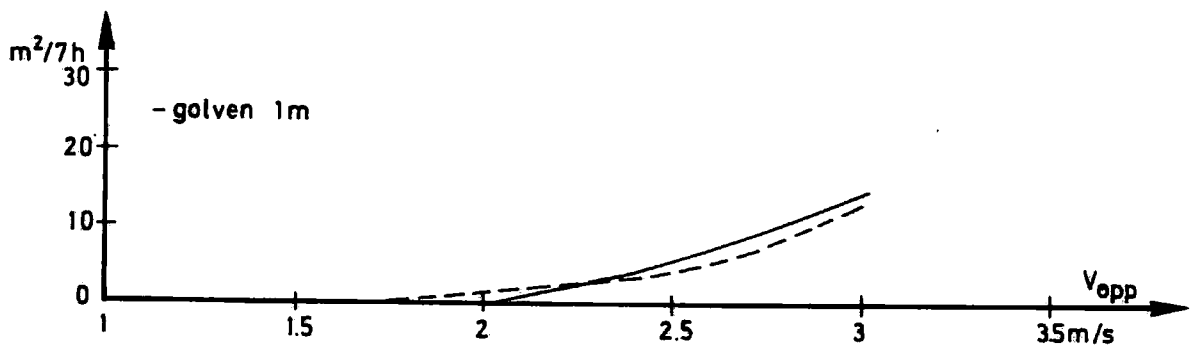
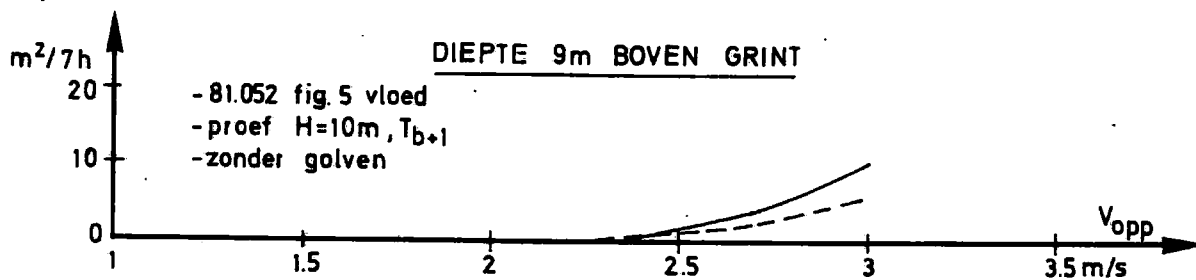
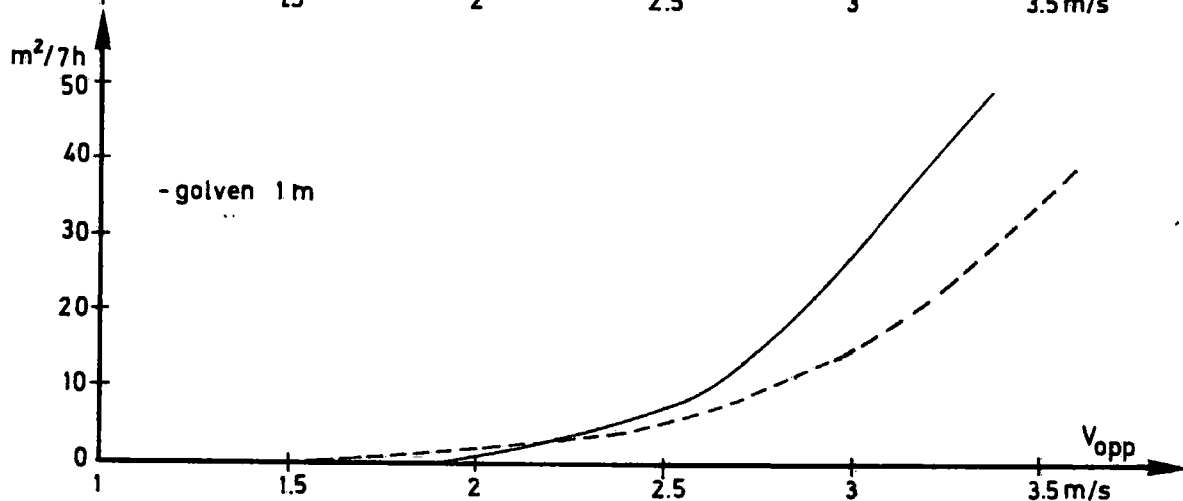
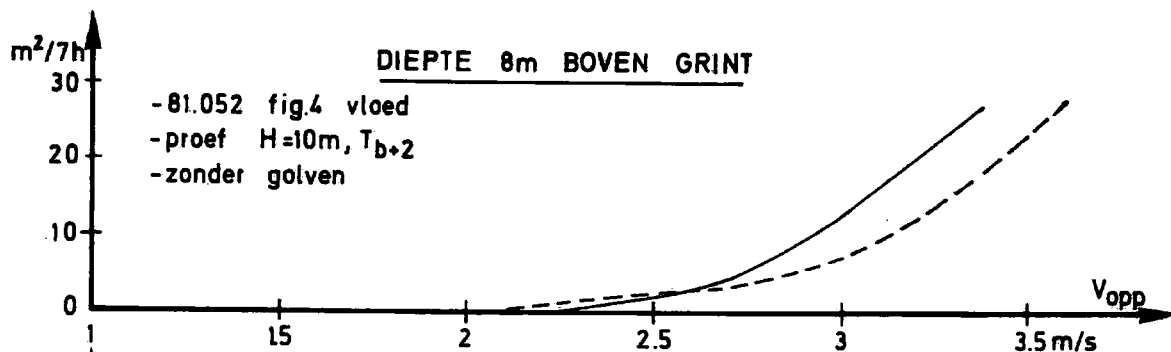
DIEPTE 7m BOVEN GRINT





— model  
- - - berekeningen

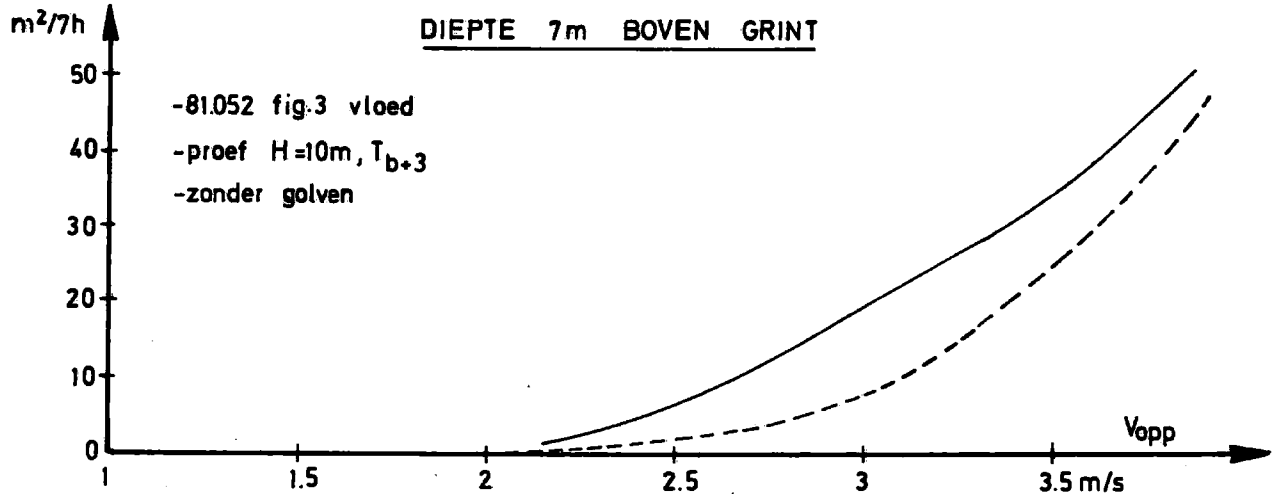
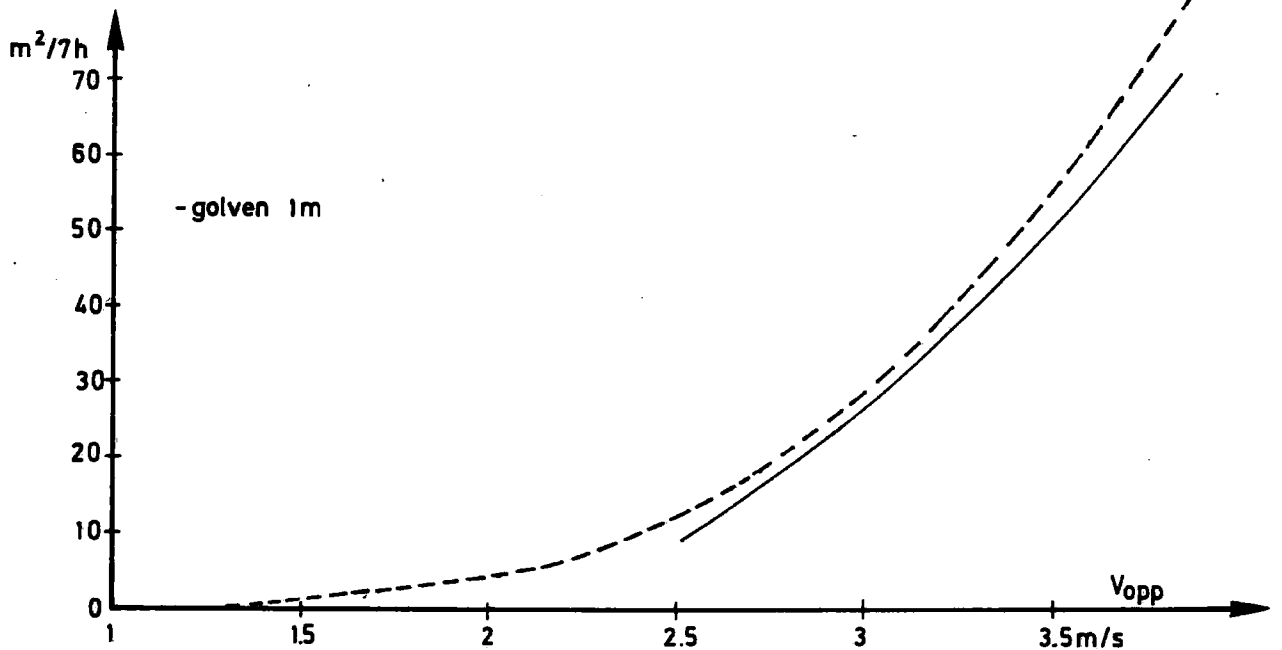
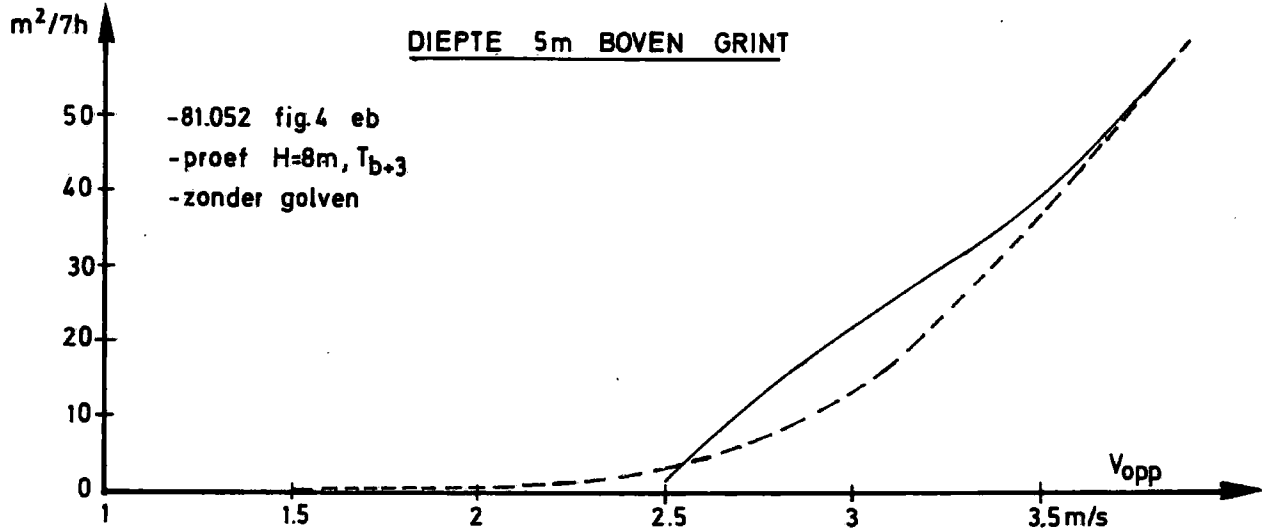
TRANSPORT i.f.v. OPPERVLAKTESNELHEID BOVEN HET EROSieGRINT  
VERGELIJKING BEREKENINGEN - MODELPROEVEN T1





— model  
- - - berekeningen

TRANSPORT i.f.v. OPPERVLAKTESNELHEID BOVEN HET KERNGRINT  
VERGELIJKING BEREKENINGEN - MODELPROEVEN T2



editie

WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM

---

BERCHEMLEI 115  
2200 BORGERHOUT  
BELGIE  
TELEFOON 031/36.18.50.

