

waterloopkundig laboratorium



laboratorium voor grondmechanica



erosiebestendigheid van gras op klei taluds

verslag modelonderzoek

---

M 1930            WL  
CO 265412/15   LGM

augustus 1984

M1930

---

erosiebestendigheid van gras op klei taluds

verslag modelonderzoek

---

M 1930            WL  
CO 265412/15   LGM

augustus 1984



## INHOUD

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

LIJST VAN FOTO'S

LIJST VAN SYMBOLEN

blz.

<u>1</u>	<u>Inleiding</u> .....	1
1.1	Algemeen.....	1
1.2	Probleemstelling.....	1
<u>2</u>	<u>Samenvatting en konklusies</u> .....	3
<u>3</u>	<u>Theorie oplooptong</u> .....	4
<u>4</u>	<u>Faciliteit</u> .....	5
4.1	Stroomgoot.....	5
4.2	Golfklap installatie.....	5
<u>5</u>	<u>Proefstukken</u> .....	9
5.1	Inleiding.....	9
5.2	Steken van de monsters.....	9
5.3	De klei.....	12
5.4	Het gras.....	12
5.4.1	Wortelgegevens.....	12
5.4.2	Grassoorten-samenstelling.....	12
5.4.3	Hergroei restanten.....	14
5.5	Prepareren van de proefstukken.....	15
<u>6</u>	<u>IJKproef</u> .....	18
6.1	Inleiding.....	18
6.2	Ruwheid.....	18
6.3	Resultaten.....	20
<u>7</u>	<u>Erosie proeven</u> .....	23
7.1	Inleiding.....	23
7.2	Eerste proefstuk.....	24

INHOUD (vervolg)

7.3	Tweede proefstuk.....	26
7.4	Erosieproeven op laboratoriumschaal.....	28

LITERATUUR

APPENDIX Grondmechanische aspecten



## LIJST VAN TABELLEN

1. Theoretisch met de installatie te simuleren golfoploop
2. Vers en drooggewichten wortels
3. Doorsneden wortels buis H
4. Doorsneden wortels buis B
5. Doorsneden wortelstokken buizen H en B
6. Beoordeling bedekking 1e proefstuk 7-4-83
7. Beoordeling bedekking 2e proefstuk 7-4-83 en 8-8-83
8. Ruwheid grasmat; ruwheidselementen
9. Gebruikte simulaties

## LIJST VAN FIGUREN

1. Stroomgoot Lith met opstelling
2. Positie spuitmond en talud
3. Raaiindeling 1e en 2e proefstuk
4. Geprepareerd proefstuk
5. Details randoplossingen
6. Plaatsing ruwheidselementen en positie meetraaien
7. Snelheden en laagdikten  $H = 2,6$  m,  $T = 4,4$  s
8. Snelheden en laagdikten  $H = 2,5$  m,  $T = 5,3$  s
9. Snelheden en laagdikten  $H = 1,9$  m,  $T = 7,0$  s
10. Ontgrondingsverloop 1e proefstuk, raai 1,2
11. Slijtage                      1e proefstuk, raai 3,5
12. Slijtage                      1e proefstuk, raai 4,4
13. Langsprofiel                1e proefstuk, voor en na de proef
14. Ontgrondingsverloop 2e proefstuk, raai 2,4
15. Slijtage                      2e proefstuk, raai 4,0
16. Langsprofiel                2e proefstuk, voor en na de proef

LIJST VAN FOTO'S

1.	1e proefstuk	raai 1,2	na 0 uur
2.	1e proefstuk	raai 1,2	na 11 uur
3.	1e proefstuk	raai 1,2	na 16,5 uur
4.	1e proefstuk	raai 1,2	na 22 uur
5.	1e proefstuk	raai 3,5	na 0 uur
6.	1e proefstuk	raai 3,5	na 40 uur
7.	1e proefstuk	raai 4,4	na 0 uur
8.	1e proefstuk	raai 4,4	na 20 uur
9.	1e proefstuk	raai 4,4	na 40 uur
10.	2e proefstuk	raai 2,4	na 0 uur
11.	2e proefstuk	raai 2,4	na 15 uur
12.	2e proefstuk	raai 2,4	na 30 uur
13.	2e proefstuk	raai 2,4	na 36 uur
14.	2e proefstuk	raai 2,4	na $41\frac{3}{7}$ uur
15.	2e proefstuk	raai 4,0	na 0 uur
16.	2e proefstuk	raai 4,0	na $41\frac{3}{7}$ uur



LIJST VAN SYMBOLEN

A	doorstromingsdoorsnede onder schuif	$L^2$
C	coëfficiënt van Chézy	$L^{\frac{1}{2}} T^{-1}$
D <sub>90</sub>	equivalente korreldiameter	L
g	versnelling zwaartekracht	$L T^{-2}$
H	golfhoogte	L
h	waterlaagdikte	L
h <sub>max</sub> (x)	max. waterlaagdikte op plaats x van het talud	L
i	taludhelling	-
k	equivalente zandruwheid	L
L <sub>0</sub> = 1,56*T <sup>2</sup>	golflengte op diep water	L
n	coëfficiënt van Manning	$L^{-1/3} T$
Q	debiet	$L^3 T^{-1}$
R	hydraulische straal	L
Re	getal van Reynolds	-
T	golfperiode	T
t	periode dat schuif niet in ruststand staat	T
V	snelheid	$L T^{-1}$
V <sub>max</sub> (x)	max. oploopsnelheid langs talud op plaats x	$L T^{-1}$
V <sub>min</sub> (x)	max. afloopsnelheid langs talud op plaats x	$L T^{-1}$
V <sub>u</sub>	uitstroomsnelheid spuitmond	$L T^{-1}$
X	horizontale afstand: hart spuitmond - punt van inslag	L
x	afstand omhoog langs het talud t.o.v. snijpunt stilwaterniveau	L
Y	vertikale afstand: hart spuitmond - punt van inslag	L
α	taludhelling	-
λ	Darcy-Weisbach ruwheidsfaktor	-
ν	kinematische viscositeit	$L^2 T^{-1}$
ρ	dichtheid water	$ML^{-3}$
τ	schuifspanning	$ML^{-1} T^{-2}$

## 1 Inleiding

### 1.1 Algemeen

In zijn brief COW/22.349 dd. 17 december 1982 gaf de hoofdingenieur-directeur van de Rijkswaterstaat in de Direktie Waterhuishouding en Waterbeweging het Waterloopkundig Laboratorium opdracht tot het begeleiden van enkele oriënterende proeven betreffende de erosiebestendigheid van een kleilaag beschermd door een grasmat in het oploopegebied van een op een talud brekende regelmatige golf.

De twee in dit kader te beproeven proefstukken waren in oktober 1982 gestoken uit het talud van de zeedijk op de overgang van de Emmapolderdijk naar de Eemshavendijk te Groningen.

Sterk vertraagd door het natte voorjaar van 1983 zijn de proeven uitgevoerd in juli en augustus 1983 in de stroomgoot te Lith. Ten behoeve van deze proeven was in die goot een installatie aangebracht die zorgde voor de simulatie van de golfoplooptong.

Het onderzoek is uitgevoerd in nauw overleg en in samenwerking met ing. K.A. van den Hoek van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Delta-dienst, met ing. J. Dekker van het Laboratorium voor Grondmechanica (LGM) en met ir. J.J.W. Seijffert van het Centrum Onderzoek Waterkeringen. Van de zijde van het WL werd het onderzoek begeleid door ir. E. van Meerendonk. De verslaggeving van het onderzoek werd verzorgd door WL; de Appendix die de grondmechanische aspecten behandelt werd opgesteld door LGM.

### 1.2 Probleemstelling

Een harde taludbekleding maakt vooral bij de aanleg een aanzienlijk deel uit van de kosten van een dijk. Echter niet alleen vanwege deze kostenfaktor, maar ook uit overwegingen van landschappelijke aard is er momenteel een sterke tendens naar het toepassen van meer grasbekledingen te bespeuren.

Het probleem daarbij is, dat er zeer weinig inzicht bestaat in de bestendigheid van gras op klei tegen golfaanval. Bij opgedane ervaringen ontbreekt het steeds aan gegevens over voorgeschiedenis en de opgetreden water(golf)beweging. Metingen in de natuur zijn om praktische redenen nauwelijks mogelijk. Het nabootsen van gras in modelproeven op kleine schaal kan, juist omdat de

eigenschappen van gras op klei nauwelijks bekend zijn, evenmin.

Het feitelijke doel van het onderhavige onderzoek was de ontwikkeling van een nieuwe beproevingstechniek, die is gebaseerd op de simulatie van de waterbeweging. Een nevenprobleem daarbij is ook de beoordeling van de schadeontwikkeling.

Voorlopig werd er afgezien van een realistische simulatie van het gedrag van de brekende golf inclusief de daardoor veroorzaakte, sterk turbulente waterbeweging op het talud. Het onderzoek beperkte zich tot de simulatie van de golftong wat hoger op de helling. Waar het ging om grootschalige proeven leverde dat ook een belangrijke besparing op ten aanzien van de te reproduceren massa's.

De eis werd gesteld dat de maximale snelheden en laagdikten in de tong realistisch zouden zijn.

Ondanks het oriënterende karakter van het onderzoek moest de installatie geschikt zijn voor het doen van uitgebreidere proeven; bijvoorbeeld voor het uitvoeren van een parametrisch onderzoek, met betrekking tot o.a. klei-eigenschappen, grasdek samenstelling, taludhelling, initiële beschadigingen, etc.

Voorafgaand aan het grootschalige onderzoek was de voorstudie M 1763 [1] uitgevoerd. Als onderdeel van deze studie waren enkele schaalproeven gedaan, waarin de bij echte golven gemeten karakteristieken met betrekking tot het volledige verschijnsel van het breken en oplopen door middel van een simulatie-installatie (op dezelfde schaal) werden nagebootst. Tensamen met een aantal literatuurgegevens hebben de resultaten van deze proeven gediend als basis van het hier beschreven onderzoek.



## 2 Samenvatting en konklusies

- Het is mogelijk gebleken om grote proefstukken gras op klei te steken (voor het onderzoek:  $10 * 1 \text{ m}^2$  bij 0,5 m dik) en ongeroerd in de proefopstelling te brengen.
- In de stroomgoot te Lith is een installatie gebouwd die gebruik maakt van het verval over de stuw om een golfoploop te simuleren, door een waterstraal periodiek het talud op te laten spuiten. De karakteristieken van deze installatie zijn bij een taludhelling van 1:4:  
maximale oploop ca. 9 m langs de helling, maximale laagdikte ca. 70 cm en max. gemiddelde oploopsnelheid ca. 4 m/s.
- De proefstukken zijn zo geprepareerd, dat de randopsluiting van de klei geen aanleiding tot ongewenste verstoringen heeft gegeven.
- Er zijn twee proefstukken beproefd. Beide bestonden uit vrij zandige klei.  
1e proef: na 22 uur is onderaan het talud, bij de aansluiting op de harde bekleding een zeer sterke ontgronding opgetreden. Na reparatie is de proef nog 18 u voortgezet; in die tijd is geen noemenswaardige schade meer aan de klei toegebracht.  
2e proef: na 39 u begon zich af te tekenen waar de fatale ontgronding zou gaan plaatsvinden. Na  $41\frac{1}{2}$  u was de ontgronding zo ver doorgezet, dat de kleilaag als bezweken werd beschouwd.
- Klei reageert op twee manieren op de golfaanval:
  1. d.m.v. langzame en gelijkmatige "slijtage" (in de orde van 1 cm per 20 uur)
  2. d.m.v. "bezwijken" wanneer de stroom eenmaal een aangrijpingspunt in de vorm van een discontinuïteit in het oppervlak gevonden heeft. In enkele uren ontstaat een diep gat.
- Gras vertoont een aantal verschijnselen:
  1. na enkele uren is een groot deel van het grasdek geel (tengevolge van kneuzing)
  2. na ca. 15 u is een groot deel van de grassprietten verdwenen
  3. t.g.v. de slijtage van de klei komen over een groot gedeelte van het oppervlak de wortelnetten boven. Mede vanwege de grote onderlinge samenhang bezitten deze netten een zeer grote weerstand tegen erosie.

### 3 Theorie oplooptong

Bij de karakterisering van de oplooptong worden de volgende grootheden in beschouwing genomen:

- $V_{\max}(x)$  : maximale snelheid in de oplooffase op plaats  $x$  (t.o.v. het snijpunt met stilwaterlijn en langs het talud gemeten) op het talud,
- $V_{\min}(x)$  : maximale snelheid in de teruglooffase op plaats  $x$ ,
- $h_{\max}(x)$  : maximale laagdikte op moment dat oploop overgaat in terugloop op plaats  $x$ .

In Lit. [2] zijn empirisch de volgende relaties afgeleid:

$$\frac{V_{\max}}{\sqrt{gH}} = 0,6 \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad \text{zolang } \frac{x}{\sqrt{HL_0}} < \approx 0,6 \quad (1)$$

$$\frac{V_{\min}}{\sqrt{gH}} = 0,7 \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad \text{zolang } \frac{x}{\sqrt{HL_0}} < \approx 0,6 \quad (2)$$

$$\frac{h_{\max}}{\sqrt{HL_0}} = 0,08 \left( 1 - \frac{x}{\sqrt{HL_0}} \right) \quad (3)$$

met  $H$  = golfhoogte op zodanige afstand van het talud, dat deze daardoor nog niet wordt beïnvloed,

$L_0$  = golflengte op diep water ( $= 1,56 * T^2$ ),

$T$  = golfperiode,

$\alpha$  = taludhelling,

$x$  = afstand omhoog gemeten langs de taludhelling; nulpunt t.p.v. snijpunt stilwaterlijn-taludhelling.

Uiteraard moet de gesimuleerde golf minstens voldoen aan het steilheids criterium op diep water:

$$\frac{H}{L_0} < 0,14 \quad (4)$$

## 4 Faciliteit

### 4.1 Stroomgoot

De goot bevindt zich in Alphen aan de Maas en is ingebouwd in een voormalige vistrap naast de stuw van Lith (zie fig. 1).

De goot is 60 m lang en 2 m breed, terwijl de normale waterdiepte ca. 2,50 m bedraagt. Onder invloed van het verval over de stuw kunnen in de goot grote debieten en snelheden worden opgewekt. In het algemeen worden in de goot dan ook grootschalige stroomproeven uitgevoerd, waarvoor een verhang over de constructie en/of een hoge stroomsnelheid essentieel is.

Ten behoeve van het erosiebestendigheidsonderzoek was midden in de goot een extra kerend schot aangebracht. De bovenschuif was gedurende de proeven geheel getrokken, terwijl ten behoeve van de gras-op-klei helling de benedenschuif (niet op de figuur aangeduid) was verwijderd.

Bovenstrooms van het schot was het waterniveau gelijk aan de stand van het bovenpand (stuwpeil ca. NAP + 4,95 m); benedenstrooms ervan liep het water weg tot aan het niveau van het benedenpand (gedurende de proeven variërend tussen NAP en NAP + 0,50 m).

### 4.2 Golfklap installatie

De installatie (zie fig. 1) bestond in principe uit een aanvoerleiding met een spuitmond waaruit onder invloed van het verval over de stuw water stortte. De grastaludhelling bevond zich direkt voor en in het verlengde van de mond. Tussen de mond en de helling was een schuifkonstruktie geplaatst. Was de schuif opgetrokken dan stroomde het water vrij het talud op; was de schuif neergelaten dan onderbrak hij de straal, zodat het water zonder het talud te bereiken langs de zij- en onderkant van de helling naar het benedenpand werd afgevoerd. Door de schuif met de periode van de te simuleren golf op en neer te bewegen kon de oploop op het grastalud veroorzaakt door die golf nagebootst worden.

Het slagen van de proeven was voornamelijk afhankelijk van de grootte van het maximaal haalbare debiet in de aanvoerbuïs. De uitstroommond mocht echter niet



te laag komen te liggen omdat dan het gevaar bestond, dat het grastalud bij hoge standen van het benedenpand zou onderlopen. Voor het ontwerp van het aanvoergedeelte van de konstruktie was daarom een schaalmodelletje gebouwd waarin een deel van het bovenstroomse gedeelte van de goot, het kerende schot, de uitstroomopening van de buis, de afsluiter in de buis en de spuitmond op een schaal 1:20 waren opgenomen. De proeven met het modelletje leidden tot de volgende konklusies:

1. Om een enigszins toereikend debiet mogelijk te maken moest de buisdiameter minimaal 80 cm zijn.
2. De uitstroommond mocht bij een breedte van 1 m een hoogte van maximaal 0,70 m hebben, wilde de stroom blijven aanliggen en het debiet niet teveel inzakken.
3. Om dezelfde reden moest het hart van de mond zich op dezelfde hoogte bevinden als het hart van de aanvoerbuis.
4. Het maximaal haalbare debiet bij geheel geopende afsluiter zou  $2,49 \text{ m}^3/\text{s}$  bedragen. De stroomlijnen in de mond zouden blijven aanliggen totdat de ruimte onder de schuif van de afsluiter nog 45 cm bedroeg. Het debiet was dan gezakt tot  $1,35 \text{ m}^3/\text{s}$  (zie tabel 1).

Het vlak waarin de schuif zich bewoog stond bijna haaks op de richting van de straal ter plaatse. De schuifkonstruktie bestond aan weerszijden van de helling uit twee vertikale geleide balken, waartussen de eigenlijke schuif bewoog. Op de schuif waren twee platen in dakvorm gelast, die er voor zorgden dat het erop gespoten water opzij geduwd werd zonder al te grote schuifkrachten tussen de schuif en de geleidingen te laten ontstaan. De onder- en bovenkant van de dakvorm waren voorzien van extra geleidingsranden. De schuif werd bewogen door een pneumatische cilinder, waarvan de slag, de snelheid en de schakeltijdstippen van de ventielen ingesteld konden worden.

De breedte van het proefstuk was 1 m. Deze resulteerde uit twee overwegingen. Ten eerste moest het monster zo breed mogelijk zijn teneinde randeffekten (zowel hydraulische als met betrekking tot de sterkte van het materiaal) te vermijden. Anderzijds moesten de proefstukken hanteerbaar blijven.

De kleilaag was gemiddeld ca. 0,5 m dik en lag op het lijf van een platliggend HE 120 profiel, dat aan weerszijden van de stukken was voorzien van een opstaande staalplaat, die ca. 1 m boven het grasoppervlak uitstak.

Bij het bepalen van de afmetingen en de plaatsingspositie van de helling met het grasmonster hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

1. Daar het hier gaat om oriënterende proeven zijn de randvoorwaarden bij de beide tests gelijk gehouden. De taludhelling bedraagt daarom in beide gevallen 1:4.
2. Het onderzoek beperkt zich tot het deel van de taludhelling van de dijk in prototype, dat zich omhoog uitstrekt vanaf het stilwaterniveau + 0.5 m.
3. In de proef raakt de straal het talud op een van ruwheidselementen voorziene opvangstrook (zie par. 6.2), die pas ca. 75 cm verder op de helling ophoudt en overgaat in gras.
4. Er wordt verondersteld dat aan het einde van de opvangstrook de maximale waterlaagdikte 70 cm, zijnde de hoogte van de spuitmond, bedraagt.
5. De maximale oploopsnelheid daar ter plaatse wordt verondersteld even groot te zijn als de uitstroomsnelheid uit de mond.
6. Er wordt verondersteld, dat de hoeveelheid water die gedurende één golfperiode onder de schuif wordt doorgelaten in zijn geheel het talud opstroomt en zodoende gelijk is aan de berging onder de lijn van maximale laagdikten op de helling ( $\int h_{\max} \cdot dx$ ) (zie fig. 6).
7. Om de afstroming niet te belemmeren, moet er tussen de onderkant van de spuitmond en het onderste gedeelte van het talud minstens 60 cm ruimte zijn.

Enige herleiding van de formules (1) en (2) geeft tesamen met bovenstaand punt 1:

$$T = \frac{V_{\max}}{0,59} \quad (4)$$

en  $T = \frac{V_{\min}}{0,68} \quad (5)$

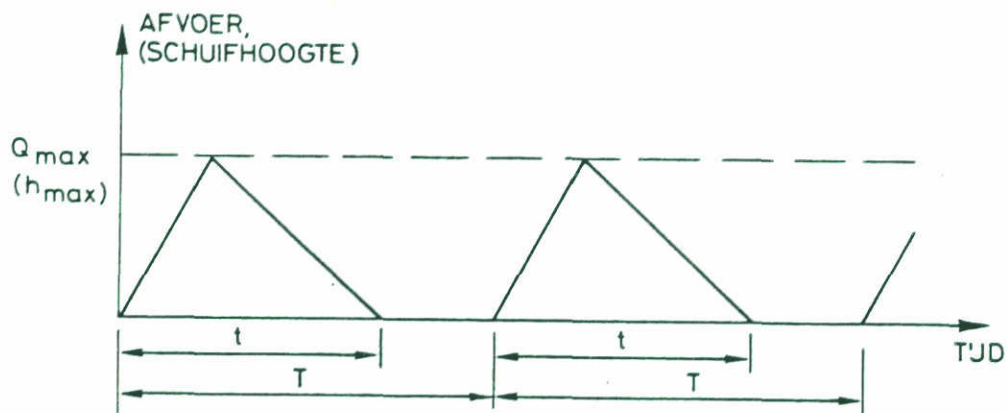
Formule (3) geeft met formule (4) en de punten 2, 3 en 4:

$$H = \frac{25,8}{V_{\max}^2} \quad (6)$$

Tenslotte leveren de formules (4) en (6) gesubstitueerd in (3):

$$x_{\max} = 10,81 \text{ m, zodat in alle gevallen een oploop van } 10,81 - \frac{0,5}{\sin(\arctg 1/4)}$$

= 10,81 - 2,06 = 8,75 m op het gras (langs de helling gemeten) wordt verwacht. Wordt verondersteld, dat de in punt 6 passerende hoeveelheid water er met de tijd als volgt uitziet:



dan bedraagt:

$$\int_L h_{\max} dx = 8,75 * 0,7 * \frac{1}{2} = 3,06 \text{ m}^3,$$

$$\text{zodat } t = \frac{6,12}{Q_{\max}} \text{ s.} \quad (7)$$

Punt 7 heeft tot gevolg dat de plaats van het hart van de inslag t.o.v. het hart van de spuitmond als functie van de uitstroomsnelheid uit de mond bekend is (X is horizontale afstand, Y is verticale afstand).

Tabel 1 geeft nu de mogelijkheden met betrekking tot de met de boven beschreven installatie te simuleren golfoploop.

Gezien het aftastende karakter van het erosiebestendigheidsonderzoek was het van belang de installatie zo te bouwen, dat van deze mogelijkheden ook zo goed mogelijk gebruik kon worden gemaakt. De stand van de afsluiter is gemakkelijk te wijzigen, maar voor de plaats van het talud ten opzichte van de mond daarentegen moet bij het ontwerp reeds een keuze worden gedaan. Gekozen is voor X = 1,10 m en Y = 0,67 m (zie tabel 1). In Fig. 2 is nu de uiteindelijke positie van het talud en van de mond aangegeven.

Ter verifikatie van de in het bovenstaande gedane aannamen en uitgevoerde berekening is in de stroomgoot, voordat de echte grasproeven zijn uitgevoerd nog een serie ijkproeven gedaan (zie hoofdstuk 6).



## 5 Proefstukken

### 5.1 Inleiding

Ten behoeve van de oriënterende proeven met gesimuleerde golven in de stroomgoot bij Lith op grote grasmonsters zijn in de tweede helft van oktober 1982 twee grote proefstukken gestoken uit het buiten talud van de zeedijk op de overgang van de Emmapolderdijk naar de dijk langs de Eemshaven te Groningen (zie ook bijlagen 1 en 1A van de Appendix). De stukken hebben een afmeting van ca. 1 m breed, 10 m lang en 0,5 m dik; ze zijn dwars op de dijk gestoken. Het betreffende dijkvak loopt daar ongeveer in N-Z richting. Het proefstuk van de eerste proef was de meest noordelijke van de twee; de tussenruimte in situ bedroeg enkele meters.

De lokatie op de Eemshavendijk was gekozen om de volgende redenen:

1. Voor een eerste proef lijkt het gewenst te beschikken over een monster dat representatief is voor gras op zeedijken. Daarom is gekozen voor een echte zeedijk. (Denk aan taludhelling, milieu van wind en zout, onderhoudswijze).
2. Het monster moet zoveel mogelijk reproduceerbaar zijn, d.w.z. het moet mogelijk zijn om in de toekomst weer monsters te vinden van ongeveer gelijke samenstelling. In dit verband is duidelijk de voorkeur gegeven aan de Groningse of Friese dijk, omdat het beheer van de grasmat daar meer doelgericht en uniform plaatsvindt dan in Zeeland. Een goede reden voor dit verschil tussen Zeeland en Noord-Nederland is overigens tot nu toe nooit gevonden.
3. De dijkbeheerder moest bereid zijn het stuk gras uit zijn dijk te laten halen. De direktie Groningen had deze bereidheid in principe.
4. Voor de praktische uitvoerbaarheid had de koppeling met een in uitvoering zijnd werk de voorkeur. Eind oktober 1982 zou de verzwaring van de Emmapolderdijk haar voltooiing naderen.

### 5.2 Steken van de monsters

Bij het steken is gebruik gemaakt van een HE proefiel met een lengte van 10 m. Daarvan was één flens verwijderd en het lijf ter plaatse van de snede scherp afgewerkt.

In de dijk werd naast de lange kant van het te steken proefstuk een ca. 2 m

brede gleuf gegraven. Daarin werd het HE profiel plat, met scherpe kant van het lijf op het vlak van de ernaast te maken snede neergelegd. Tegen de nog aanwezige flens werden een aantal vijzels aangebracht, die op de andere kant van de gleuf werden afgestempeld. Aan de beide einden van het profiel was een geleiding aangebracht die tot doel had bij het indrukken het profiel te kunnen bijsturen. Nadat het monster zo met zijn onderzijde uit de dijk was losgesneden werd de andere zijkant ervan vrijgegraven. Om het tegen uiteenvallen te beschermen werden tegen beide zijkanten van het nu losliggende proefstuk houten schotten aangebracht. Het profiel werd van hijsogen voorzien, waarna het geheel m.b.v. een kraan met evenaar vanuit de oorspronkelijke positie op een dieplader werd geladen.

Om het monster niet te beschadigen hebben ook de proeven plaatsgevonden met het monster liggend in het bij de ontgraving gebruikte profiel.

Tijdens het steken vond overigens nog een voorval plaats, dat in dit kader niet onvermeld mag blijven en dat door ir. J.J.W. Seijffert van het COW in een notitie is vastgelegd. Een citaat uit deze notitie:

"Volgens afspraak zou de afdeling ONW (Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden) van de Deltadienst te Burghsluis met medewerking van de aannemer Bitumarin en met ondersteuning van aanwezig materiaal t.b.v. de dijkverzwaring, de monsters steken. De uitvoerende ploeg had ervaring met werk aan dijken in zuidwest Nederland.

Op 21 oktober kwam er van de medewerkers van de afdeling ONW een melding van een onverwachte ervaring tijdens het vrijgraven van de monsters: de klei onder het gras bevatte een zodanig hoog zandgehalte dat de verticale snedes enigszins afbrokkelden en er werd getwijfeld aan de representativiteit van het monster. De vraag werd gesteld of het steken van het monster niet afgebroken zou moeten worden. De klei zou nauwelijks geschikt zijn voor een dijk.

Daarop is door het COW contact opgenomen met de opzichter van de dijkversterking van de Emmapolder ter plaatse, die ook bij het ontgraven aanwezig is geweest.

Aan hem (de heer Huisman) is de vraag gesteld of de klei in het monster representatief was voor de klei op Groningse dijken.

Hierin was de heer Huisman zeer positief: dit is de schorklei die veelvuldig in Groningse dijken is toegepast.

Echter ook de klei die soms binnendijks voor de dijkbouw wordt gewonnen wijkt



er voor wat betreft de samenstelling maar weinig van af.

Daarop is besloten met het steken van de monsters normaal door te gaan. De hiervoor beschreven gebeurtenis is als onderdeel van de akties tot het verkrijgen van grasmonsters voor erosieproeven nauwelijks van belang.

Het gebeuren werpt echter een duidelijk licht op een verschijnsel dat tot nu toe nauwelijks werd beseft: Er kan een wezenlijk verschil bestaan tussen de klei die (normaal) in Zuidwest-Nederland in dijken wordt verwerkt en de klei voor dijken in Noord-Nederland.

In Zuidwest-Nederland zou beduidend zwaardere klei worden toegepast.

De vraag komt nu op of het verschil in kleisoort in verband gebracht kan worden met het verschil in benadering van het onderhoud van de grasmat.

Zoals reeds vermeld is het beheer en onderhoud aan de grasmat op de dijken in Noord-Nederland veel doelgerichter dan in Zuidwest-Nederland.

In Zeeland grazen hier en daar wel schapen op de dijk, maar het maaien is gebruikelijker. Er wordt ook vrij gemakkelijk geaccepteerd dat het gras soms vrij lang uitgroeit. Het is bekend dat de grasmat daardoor een wat minder homogene samenstelling kan krijgen en wat meer in pollen kan gaan groeien. In Groningen en Friesland wordt een dergelijke grasmat een "holle" grasmat wordt genoemd. Men zweert daar bij een intensief beweide steeds kort gehouden grasmat, terwijl alleen in Friesland incidenteel aanvullend maaien wordt toegepast. Er wordt intensief gejaagd op mollen en muizen en oneffenheden worden regelmatig uitgevlakt. Ook opvallend is het schadepatroon aan de grasmat van de Emmapolder in 1962, toen grote gaten in het buitentalud zijn ontstaan (tot meer dan 1 m diep). In deze gaten ziet men dat hier en daar de klei onder het gras is uitgespoeld, terwijl de grasmat als een samenhangend kleed van 10 à 20 cm dikte enigszins over de rand van het gat naar beneden hangt.

Het lijkt erop dat de filosofie van het onderhoud van de grasmatten in Groningen (en ook Friesland) sterk wordt beheerst door de gedachte dat als de grasmat het tijdens de storm begeeft de voornaamste verdedigingslinie doorbroken is, terwijl in Zeeland veel meer de gedachte kan bestaan dat de verdediging van de dijk vooral bestaat uit de erosiebestendigheid van de afdekende kleilaag zelf.

Het lijkt van belang om bij het verdere onderzoek naar de erosiebestendigheid van gras op klei met het vorenstaande terdege rekening te houden."

### 5.3 De klei

Teneinde de klei, naast de visuele verkenning gedurende het steken van de proefstukken, op een objektieve manier te karakteriseren, werden naast de lokaties der proefstukken boringen uitgevoerd, waarbij diverse ongeroerde monsters werden gewonnen.

Op basis van de in het Laboratorium voor Grondmechanica bepaalde kleikarakteristieken en andere grootheden werd een prognose gedaan t.a.v. de te verwachten erosie in de stroomgoot.

De verslaglegging van dit laboratoriumonderzoek is weergegeven in het LGM rapport Co 247312/11 "Erosieproeven grasmat op klei", deel 1, dat als appendix aan dit rapport is toegevoegd.

### 5.4 Het gras

Om de karakteristieken van het gras, zoals dat op de proefstukken aanwezig was, zo goed mogelijk vast te leggen zijn in de loop van het onderzoek een aantal bepalingen gedaan.

#### 5.4.1 Wortelgegevens

Op de kernen B en H (zie fig. 1 van de Appendix), die door het LGM uit de dijk naast de proefstukken zijn gestoken, zijn door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren een serie wortelgegevens bepaald. De resultaten hiervan zijn in de vorm van de tabellen 2 t/m 5 in dit rapport opgenomen. Tabel 2 geeft voor de beide kernen de verdelingen van de vers en drooggewichten (van wortels en wortelstokken) over de kernhoogte. Tabel 3 en 4 geven de doorsneden van de wortels op de diverse hoogten. Tabel 5 tenslotte geeft de doorsneden van de wortelstokken.

#### 5.4.2 Grassoorten samenstelling

Gedurende de periode dat de proefstukken in opslag lagen heeft de heer ing. P.J. Huesmann van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders het gras enkele malen gedetamineerd. Zijn bevindingen zijn weergegeven in de tabellen 6 en 7 (fig. 3 geeft de voor beide proefstukken gedurende de gehele proef gebruikte



raaiindeling).

Tabel 6 bevat gegevens betreffende het stuk, dat het eerst beproefd is. Hier- van is slechts éénmaal de grassamenstelling bepaald. Van het tweede stuk is tweemaal het grasdek gedetermineerd (tabel 7). De laatste maal was enkele dagen voor dat de erosiebestendigheidspreef erop begon.

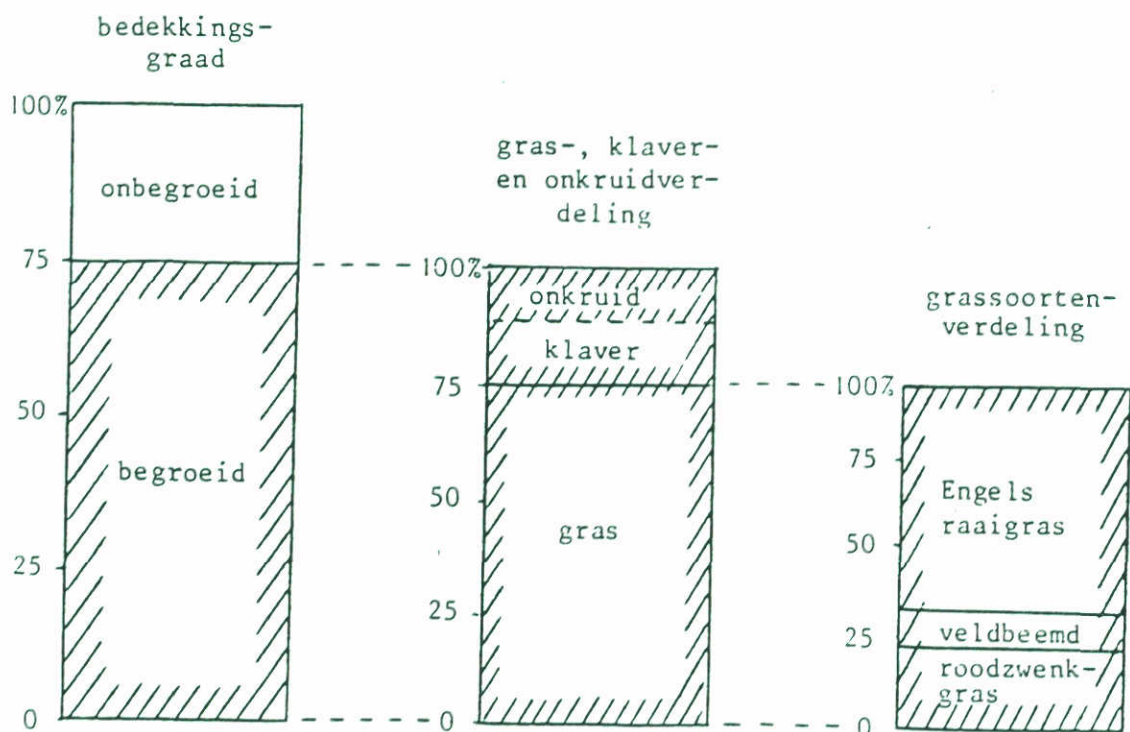
Een verklaring van de cijfers zoals ze in de tabellen voorkomen wordt hierna uiteengezet.

De grondbedekking - ook wel bedekkingsgraad genoemd - door de graskruidenvege- tatie ingenomen wordt geschat en in procenten uitgedrukt, bv. 75%. Dit percen- tage geeft aan dat 75% van de grond werkelijk begroeid is met gras en onkruid, d.w.z. dat de stengels hiervan verankerd zitten in de grond. Dit cijfer is een maatstaf voor de dichtheid van de zode. Als alle gras- en onkruidstengels stijf tegen en naast elkaar zouden staan, dan zou in theorie van een 100% grasbedekking sprake zijn. In de natuur komt dit niet voor, de onderlinge concurrentie is zo groot, dat de planten erg zwak zijn door gebrek aan licht en voeding en afsterven. Op sommige hele dichte gazons worden dichtheden van 95% gevonden.

Wat nu precies onder een goede dichte grasmat wordt verstaan is moeilijk aan te geven; de dichtheid op zich is met moderne technieken wel te meten, maar de erosiebestendigheid die met de dichtheid verband houdt is moeilijk meetbaar. Het ligt voor de hand dat een kale grond minder erosiebestendig is dan een begroeide. Het laat zich ook verklaren dat hoe dichter begroeid, hoe beter de beschermende werking. Maar waar nu precies de grens ligt is zeer moeilijk aan te geven. Het is uit de praktijk wel gebleken dat een slecht begroeide grond de golfaanvallen toch nog uren kan doorstaan. Aangenomen wordt, en dit wordt ook enigszins gestaafd door enkele erosieproeven, dat een redelijk goede dichtheid begint bij 75% grondbedekking, oplopend tot 90% voor een zeer dichte stand. Van de hierbij als voorbeeld gestelde 75% grondbedekking bestaat die begroeiing uit een mengsel van grassen, klavers en kruiden tot een totaal van 100%.

Vervolgens worden de grassen weer onderverdeeld in de soorten grassen die totaal ook weer 100% zijn. Het + teken wordt vermeld als de betreffende soort wel aanwezig is, maar beneden 1% blijft. Bij dit alles moet worden bedacht,

dat het schattingen zijn. Eén en ander nog eens schematisch voorgesteld geeft het volgende beeld:



#### 5.4.3 Hergroei restanten

Na afloop van de proef op het tweede proefstuk zijn uit de resten van dat stuk door dr.ir. J.W. Minderhoud van de vakgroep Landbouwplantenteelt en Graslandkunde van de Landbouw Hogeschool Wageningen enkele grasmonsters genomen. In het navolgende citaat geeft hij zijn beoordeling van de monsters:

"Op 25 augustus 1983 werden op de afstanden 1,20 m, 3,20 m, 4,20 m, 5,20 m, 6,20 m, 7,20 m en 8,20 m monstertjes gestoken ( $\emptyset$  6,6 cm en 5 cm diep) ter beoordeling van de (restanten van de) grasmat. In principe werden 5 monstertjes per afstand genomen. Op 3,20 m konden echter slechts 3 monstertjes worden



gestoken (er bevond zich daar een gat) terwijl er op 2,20 m geen enkel monster te verzamelen viel (groot gat).

De 33 monstertjes werden bekeken en tot 26 september (34 dagen) in een kas geplaatst bij vochtige omstandigheden om hergroei van het gras te kunnen waarnemen. Het onderzoek leverde de volgende resultaten op.

1. Op 25 augustus waren er pas vanaf 7,20 m zoveel groene grasspruiten aanwezig dat nog van een enigszins levende grasmat gesproken kon worden. Dit betrof in volgorde van aanwezigheid de soorten Engels raaigras, tuintjesgras, veldbeemdgras, rood zwenkgras en fiorien. Dit stemt overeen met de beoordeling op 8 augustus, zij het dat fiorien toen niet is waargenomen. Verscheidene groene grasspruiten waren bij de proef echter zo beschadigd dat ze een week nadien afgestorven waren.
2. Van het voorste deel van het blok waren alle groene grassdelen "afgeschaafd". Het grondoppervlak was bij het beëindigen van de proef bedekt met een "netje" van resten van graswortels (veelal vertikaal gericht) en uitlopers (veelal horizontaal gericht). Na 34 dagen waren knoppen op deze uitlopers tot ontwikkeling gekomen en hadden nieuwe spruiten gevormd. De uitlopers hadden dus de proef overleefd en de nieuwe spruiten gaven aan dat het bijna uitsluitend (uitlopers van) ruwbeemdgras betrof. Deze soort was bij de beoordeling van 7 april tot 2% in de zode aanwezig en was op 8 augustus niet meer waargenomen.
3. Uit zaad kwamen over de gehele lengte van het blok de soorten tuintjesgras en liggende vetmuur tot ontwikkeling.

#### Conclusies

Waar het geweld van het water het grootst was, overleefde geen enkele groene grasspruit. Hoger op het blok bleven enige grassen in leven en wel, in grote lijnen, naar ratio van hun aanwezigheid bij het begin van de proef. De stolonen (bovengrondse uitlopers) van ruwbeemdgras die een rol gespeeld moeten hebben bij het bijeen houden van de kleideeltjes, bleven vitaal en vormden (in het klimaat van de kas) nieuwe spruiten. Dit mechanisme werd niet waargenomen bij de uitlopersvormende soorten veldbeemdgras en roodzwenkgras, soorten die blijkens de beoordeling van 8 augustus eveneens in de grasmat aanwezig waren.

#### Naschrift

De drie na het beëindigen van de proef verzamelde penwortels waren (inderdaad)

van paardebloem afkomstig."

### 5.5 Prepareren van de proefstukken

Voordat de proefstukken werden beproefd waren ze ca. 8 resp. ca. 10 maanden op het terrein van de stuw opgeslagen geweest. In de opslag lagen de moten onder een helling op een zandbed; hun oriëntatie was overeenkomstig hun oorspronkelijke positie in Groningen. Om uitdrogen te voorkomen was ook tegen de zij-kanten zand gestort; er is echter voortdurend op gelet, dat er geen stuifzand tussen het gras terecht kwam, daar dit de grasmat had kunnen vernietigen.

Als voorbereiding op de erosieproeven is veel aandacht besteed aan het prepareren van de proefstukken. Zo moest voor de geleiding van de stroming aan beide zijden van de moot een stalen wand met een hoogte van ca. 1,50 m geplaatst worden (zie fig. 4). Daar echter de zijkanten van de moot niet precies recht afgestoken konden worden ontstond er een ruimte tussen klei en staalplaat, die op een zodanige manier opgevuld moest worden, dat zowel de vulling als het direkt daarop aansluitende kleideel zo min mogelijk kans had onder de invloed van de stroming te worden beschadigd. Een beschadiging in dit gebied zou namelijk als randeffekt kunnen worden opgevat en als zodanig het schadebeeld kunnen vertroebelen. Ook moest het monster aan de benedenzijde van het talud door een staalplaat worden opgesloten, daar anders het afstromende water het monster snel van beneden af zou doen afkalven. Het monster bevond zich dus in een geheel waterdichte bak, wat gevaar voor verweken opleverde.

Tenslotte moest een goede aansluiting worden ontworpen tussen de eerder genoemde opvangstrook, waar de straal op het talud viel en het begin van de eigenlijke grashelling. Ook in dat gebied zou voortijdige beschadiging de proef gemakkelijk kunnen verstoren.

De figuren 4 en 5 geven weer hoe bovenvermelde moeilijkheden het hoofd is geboden.

De wanden zijn overal 1 m uit elkaar geplaatst. Om verweken van het monster te voorkomen was onderin de gleuf tussen proefstuk en stalen wand een drain met een diameter van 3 cm aangebracht. Op de drain bevond zich een laagje kif ( $d_{50} \approx 4$  mm) dat in dikte varieerde van 10 tot 15 cm. De eigenlijke vulling van de gleuf bestond uit een bentoniet-cement mengsel (1 kg hoogovencement op



5 l aangemaakte bentoniet), dat in vloeibare toestand tussen de wand en de moot was ingegoten. Na de eerste maal ingieten kromp het mengsel zodanig, dat het bovenoppervlak ca. 12 cm wegzakte en een tweede maal vullen noodzakelijk was. Het oppervlak toonde na gedeeltelijke verharding nog veel krimpscheuren. De bovenste centimeters werden daarom weggesneden en er werd ten derde male gevuld. Ca. 6 u later werd in de bovenlaag van de bentoniet een versterking aangebracht door er steenslag-steentjes ( $d_{50} \approx 4$  cm) in te drukken. Deze werden 12 u later nog met een dun laagje bentoniet afgegoten. Na weer 12 u later de laatste scheurtjes met bentoniet te hebben gedicht, werd het geheel afgedekt met een Enka-mat (nr. 7020) ter dikte van 18 mm. De mat sloot aan op de stalen wand en overlapte de grasmat 5 à 10 cm. Hij werd bevestigd met "haarspelden" met een lengte van 20 à 25 cm, die zowel in de bentoniet als in de klei gestoken werden.

Om de aansluiting van de Enka mat op de stalen wand te beschermen werd op ca. 4 cm boven de mat een stalen hoekprofiel (5 cm) op de bakwand gelast. Deze strip deed tegelijkertijd dienst als referentiehoogte bij het peilen van de dwarsraaien tijdens de proeven, terwijl tijdens de ijkproef de afdekking van het gras erop steunde.

Aan de benedenzijde was het kleimonster schuin afgestoken. De ruimte tussen de klei en de wand was opgevuld met in de lengte liggende houten balken 30 x 30 cm<sup>2</sup>. De overblijvende ruimte was ook weer opgevuld met het cement-bentoniet mengsel. De afdekking van het geheel (de opvangstrook) bestond uit baddingen, die dwars over de bak lagen en van ruwheidselementen (zie hoofdstuk 6) waren voorzien. De aansluiting op de klei was ook versterkt met Enka mat (zie fig. 5).

Tenslotte werd de drain van buitenaf op een aantal plaatsen aangeboord.

De bovenbeschreven voorbereidingen hebben gedurende de proeven bewezen, wanneer ze nauwgezet zijn uitgevoerd, voldoende garantie te bieden tegen ongewenste bijverschijnselen, die tot verstoring van de proef zouden kunnen leiden.

## 6 IJkproef

### 6.1 Inleiding

Voordat de eerste erosieproef werd uitgevoerd is er een ijkproef gedaan om te verifiëren of aan de veronderstellingen die ten grondslag lagen aan het ontwerp van de installatie werd voldaan.

Tijdens deze proef was het eerste proefstuk reeds in de goot geplaatst. Het grasdek werd echter beschermd door een planken vloer, waarvan de onderzijde enkele cm's boven het kleioppervlak lag. De bovenzijde was voorzien van ruwheidselementen (zie par. 6.2). Het oppervlak van de helling lag dus enkele cm's hoger dan in de uiteindelijke proef.

De ijking vond plaats aan de hand van de bepaling van de volgende grootheden:

- debiet in de aanvoerbuis,
- laagdikten en snelheden (op ca. 6 cm boven het helling oppervlak) op twee plaatsen op het talud: resp. 1 m en 4 m vanaf begin gras, dwz.:  
raai I:  $x_1 = 2,06 + 1,00 = 3,06$  m resp.  
raai II:  $x_2 = 2,06 + 4,00 = 6,06$  m,
- oplooptijd langs de helling (visueel).

### 6.2 Ruwheid

Gras:

Om de goede kunstmatige ruwheid op de houten vloer te kunnen aanbrengen, moet een schatting worden gemaakt van de ruwheid van het op de helling aanwezige grasdek. Over de hydraulische ruwheid van grasmatten zijn een aantal publicaties verschenen. Slechts twee daarvan geven onafhankelijke en algemeen bruikbare resultaten (zie [3] en [4]). De rest behandelt steeds een bijzonder geval en onderzoekt dan de mate van overeenkomst met de resultaten uit [4]. Overigens blijkt er wel steeds een behoorlijke mate van consistentie te zijn. De presentatie van de resultaten is analoog:

Dimitriev [3] geeft ruwheidsfactor  $\lambda$  ( $= \frac{8g}{C^2}$ ) als functie van het Reynoldsgetal  $Re$  en de graslengte ( $C$  is koëfficiënt van Chézy). Hij beperkt zich daarbij echter tot een waterdiepte van ca. 25 cm.

U.S. Soil Conservation Service [4] geeft ruwheidsfactor  $n$  ( $= \frac{R^{1/6}}{C}$ ) als functie van  $V * R$  en de graslengte ( $R$  = hydraulische straal). Opvallend is dat de



diverse grassoorten weinig verschillen geven. Dat de ruwheidscoëfficiënt C niet alleen van R maar ook van snelheid V afhangt komt doordat grotere snelheden het gras neerdrukken en dus de ruwheid verlagen.

Vanwege het alternerende karakter van de oplooptong is het de vraag welke snelheden en laagdikten in de grafieken moeten worden ingevoerd. De volgende criteria zouden m.b.t. het bepalen van de ruwheid van het grasdek t.b.v. het dimensioneren van de kunstmatige ruwheidselementen moeten worden aangelegd:

- $V_{\max}$  en  $h_{\max}$  moeten kloppen (daarop wordt geijkt),
- de oploop moet kloppen, d.w.z. in iedere doorsnede dwars op de helling moet kloppen:

$$\int_T Q dt = \int_T CR^{3/2} dt \text{ of wel } \int_T CR^{3/2} dt \text{ moet kloppen.}$$

Daar  $h * V (= Q)$  voortdurend verandert zou voldoen aan het tweede criterium betekenen, dat voor kleine waarden van  $(h*V)$  C te groot wordt en voor grote waarden van  $(h*V)$  C te klein (te ruw). Bij kloppende oploop zou dus  $(h*V)_{\max}$  en dus waarschijnlijk ook  $h_{\max} * V_{\max}$  te hoog uitvallen. Er kan dus alleen aan het eerste criterium worden voldaan, met als gevolg, dat gedurende de ijking de oploop te hoog uitvalt.

In Tabel 8 is voor een aantal plaatsen op het talud via beide methoden de ruwheid berekend (zie fig. 6). De resultaten blijken elkaar niet veel te ontlopen.

#### Ruwheidselementen:

Vanwege de uitvoerbaarheid is gekozen voor het aanbrengen van een regelmatig patroon van kubusjes. De WL-publicatie Kunstmatige Bodemruwheid (Informatie No. U14:Lit. [5]) geeft grafieken, die de resultaten van metingen op dat gebied weergeven.

Tabel 8 geeft, uitgaande van de grasruwheid volgens U.S. Soil Conservation Service het benodigde aantal blokjes in de diverse doorsneden weer. In figuur 6 is aangegeven hoe de blokjes zijn aangebracht.

N.B. Tijdens de erosieproeven zijn op de opvangstrook dezelfde ruwheidselementen toegepast als tijdens de ijkproef op het onderste deel van de afdekking.

### 6.3 Resultaten

Er zijn een groot aantal ijkingen gedaan. Daarbij bleek, dat de in paragraaf 4.2 gedane aannamen redelijk overeenkwamen met de werkelijkheid, wanneer inderdaad het aangegeven schuifprogramma werd ingesteld. De vorm van de kromme bleek echter eenvoudig te veranderen (trapezia of lagere driehoeken, dan de in de figuur aangegeven driehoeken), hetgeen veel meer mogelijkheden deed ontstaan dan in tabel 1 zijn aangegeven.

De installatie bleek de volgende eigenschappen te hebben:

- maximaal debiet ca.  $2,65 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
- maximale laagdikte in raai I: 70 cm,
- maximale laagdikte in raai II: 40 cm,
- maximale oploopsnelheid t.p.v. beide meetraaien: 4,5 m/s,
- maximale oplooptegte op gras: ca. 8,90 m,
- ook al is er een stationaire toestand ingesteld dan fluktuieren de laagdikten en snelheden nog met maximaal ca. 15%. Voor de oploophoogte zijn de maximale fluktuaties ca. 10%.
- T moet steeds wel zo lang worden ingesteld, dat de afloop telkens zo goed als verdwenen is. Is er nog meer dan ca. 10 cm water op het talud aanwezig als de nieuwe golf komt, dan heeft deze niet genoeg kracht om voldoende op te lopen. Een en ander beperkt bij een bepaalde H de keuze mbt. de instelbare periode T.
- In hoofdstuk 5 is aangegeven, dat de oploopsnelheid ca. 15% kleiner moet zijn dan de afloopsnelheid. Het blijkt niet mogelijk om dat in te stellen. De oploopsnelheid is steeds tussen 0% en 20% groter dan de afloopsnelheid. Daarnaast bleek het niet mogelijk om t.p.v. de spuitmond de bovenkant van de waterstraal blijvend te laten aanliggen. Waarschijnlijk was de afronding van de randen van de mond in het prototype minder goed dan in het model. De resultaten van de ijkproeven waren echter zodanig, dat het niet noodzakelijk leek om pogingen te ondernemen om dit te veranderen.
- Tijdens de erosieproeven zijn nog enkele checks uitgevoerd omdat het oppervlak van de helling wat lager lag.  
Behalve de laagdikten, die 5 à 10 cm lager werden, veranderde geen der andere karakteristieken.

In tabel 9 zijn de gegevens opgenomen van de 3 simulaties, die voor de uit-

eindelijke proeven zijn gebruikt. Met behulp van de formules (3) en (4) is aan te tonen, dat het gaat om de simulaties van de combinaties:  $H = 2,6$  m,  $T = 4,4$  s (zij het dat de oploop wat laag is),  $H = 2,5$  m,  $T = 5,3$  s en  $H = 1,9$  m en  $T = 7,0$  s.

De figuren 7 t/m 9 geven de registraties van de snelheden en de laagdikten in de twee meetraaien voor deze 3 condities.

N.B. - In verband met de in een later stadium bij LGM uitgevoerde kleinschalige erosieproeven op kleimonsters is aan de hand van de gegevens als gepresenteerd in figuur 9 een grove schatting gemaakt van de top- en dalwaarden van de schuifspanningen, die als gevolg van de waterbeweging aan de oppervlakte van de klei gedurende de proeven te Lith optreden.

Daartoe wordt de algemene formule:

$$\tau = \rho g \frac{V^2}{C^2} \quad (\text{Chezy}) ,$$

met  $C = 18 \log \frac{12R}{D_{90}}$  gebruikt.

Wordt gesteld:  $D_{90} = 0,01$  m, dan volgt voor  $H = 1,9$  m,  $T = 7,0$  s:

Raai I : oploop:  $R = 0,2$  m,  $V_{\max} = 4,0$  m/s:  $\tau = 90$  N/m<sup>2</sup>

afloop:  $R = 0,2$  m,  $V_{\min} = 3,0$  m/s:  $\tau = 50$  N/m<sup>2</sup>

Raai II: oploop:  $R = 0,05$  m,  $V_{\max} = 3,4$  m/s:  $\tau = 115$  N/m<sup>2</sup>

afloop:  $R = 0,12$  m,  $V_{\min} = 2,2$  m/s:  $\tau = 30$  N/m<sup>2</sup>

Er wordt op gewezen dat de gebruikte formules alleen geldig zijn onder omstandigheden waar er sprake is van een stationaire, uniforme stromingstoestand. In het onderhavige geval kunnen de uitkomsten dus slechts als zeer grove benaderingen van de werkelijke schuifspanningen worden beschouwd.

- De ijkproeven zijn in twee series uitgevoerd. Voor de eerste serie is de afdekking ca. 22 u achtereen aanwezig geweest. Na het weghalen van de planken was duidelijk te zien, dat het gras te lijden had gehad: het was gedeeltelijk geel en had z'n veerkracht verloren. De volgende



afdekking heeft dan ook slechts 4 u geduurd. Dat veroorzaakte geen verdere verslechtering.

Voordat de proeven werden gestart had het gras zich gedeeltelijk hersteld; ook kwamen er tegen die tijd weer wat nieuwe groene sprietten op.



## 7 Erosie proeven

### 7.1 Inleiding

Aan het begin van beide proeven zijn enkele controles uitgevoerd, omdat de ijkingen hadden plaatsgevonden bij een wat hogere ligging van het oppervlak (zie par. 6.3). Dat is echter zo gebeurd, dat het grasdek er geen schade van ondervond.

Gedurende de proeven zijn regelmatig dwarsprofielen genomen. Daarvoor werd een meetkam met peilstaafjes om de 4 cm gebruikt. In principe vond het peilen iedere 2 uur plaats; de raaien hadden een tussenafstand van 50 cm. Bij het begin van de eerste proef en wanneer er zich op een bepaalde plaats duidelijk een versnelling in de ontgronding voordeed is er vaker en in meer raaien gepeild.

Ook is de toestand van het talud voortdurend fotografisch vastgelegd.

Gedurende de eerste 20 uur van de eerste proef zijn continu filmopnamen gemaakt van de eerste 6 m van het proefstuk. Iedere periode werd juist op het moment dat de watertong tot de laagste stand was afgestroomd, een beeldje belicht.

De bedoeling was, dat op deze wijze de ontwikkeling van de schade goed zichtbaar gemaakt zou worden. Het ontstaan van enige noemenswaardige schade duurde echter zolang, dat uit kostenoverwegingen halverwege de eerste proef werd besloten om het filmen te staken. De resultaten toonden echter aan dat deze methode in principe goed bruikbaar is.

Na afloop van beide proeven zijn op een aantal plaatsen profielen van het proefstuk bloot gegraven. Ook daarbij is duidelijk geworden dat er zich in de klei van beide monsters grote zandlenzen bevonden. Het is zeer waarschijnlijk, dat wanneer zo'n zandpakketje gedurende de proef met het stromende water in contact zou komen, het bijna direkt zou worden weggeërodeerd. Alhoewel niet visueel waargenomen, is er een gereede kans, dat dit gedurende de proeven in de ontstane ontgrondingsgaten ook werkelijk is gebeurd. De gaten kunnen zo zelfs geïnitieerd zijn.

In de volgende twee paragrafen worden beide proeven, zoals uitgevoerd in de stroomgoot beschreven. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan enkele bij LGM op kleine grondmonsters uitgevoerde erosieproeven.

## 7.2 Eerste proefstuk

De eerste proef werd gestart op 11 juli 1983. Achtereenvolgens zijn ingesteld:

H = 2,6 m,	T = 4,4 s	gedurende 1 uur
H = 2,5 m,	T = 5,3 s	gedurende 1 uur
H = 1,9 m,	T = 7,0 s	gedurende 38 uur.

De eerste twee instellingen zijn slechts zo kort gebruikt, omdat zich daarbij geen erosie voordeed (vergelijk de drie nulpunten in de figuren 10, 11 en 12). De proefnemingen hebben niet aan één stuk plaatsgevonden; 's nachts en in het weekend werd gestopt.

Op 22 juli 1983 is de proef gestopt.

Bij het begin van de proef was de grasmat nog niet helemaal hersteld van de bij de ijking opgelopen schade. Bovendien bevonden zich op twee plaatsen (t.p.v. de raaien 1,2 en 9,0 m) kale stroken dwars over het monster. Deze waren veroorzaakt door de dwarsbalken, die tijdens het vervoer en de opslag op een afstand van ca. 12 cm boven het kleioppervlak aanwezig waren geweest. Ter plaatse raai 6,5 was in het midden van het monster een mollegat ( $\emptyset$  4 cm) aanwezig.

Na 25 minuten met de zwaarste conditie te hebben gedraaid, raakten de bovenste twee planken van de aanloopstrook los. De kracht van het water duwde ze omhoog, daarbij de eerste 20 cm van het grasdek vernielend. Het ontstane gat is met twee componenten schuim gedicht, nadat de planken weer op hun oude plaats waren bevestigd.

Na ca. 3 uur begon zich de slijtage van de bovenste klei-laag af te tekenen. Langzaam begonnen daardoor ook de eerste graswortels zichtbaar te worden. Tevens begon het gras langzaam geel te worden; het raakte als het ware gekneusd. Opvallend was ook dat het gras onder en deels in de Enka-mat groen bleef. Het werd daar blijkbaar wat afgeschermd van de directe aanval van het water.

Terzelfder tijd begonnen ook de eerste grassprietten zichtbaar te verdwijnen. Alleen de aanzetten van de sprietten bleven als witte stoppels achter. Op de minder goed bedekte gedeelten van de klei begonnen kleine putjes ( $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$  cm<sup>2</sup>,  $\frac{1}{2}$  cm diep) te ontstaan.



Hier en daar begon ook de bentoniet uit de kantoplossing af te brokkelen. De noodzaak van de Enka-mat met steenslag eronder werd daarbij duidelijk onderstreept: de stenen kwamen los te liggen, maar de mat hield ze vast. Zodoende bleef het onderliggende deel van de betoniet vulling onaangetast.

In de volgende uren van de proef gingen de afslijting van de kleilaag, het geel worden van het gras en de uitdunning van het grasdek geleidelijk voort. Steeds duidelijker werden ook de wortelpakketjes zichtbaar. Ze hadden een netachtige structuur en waren donkerbruin tot zwart gekleurd.

Na ca. 10 uur was over het gedeelte van het talud tussen de raaien 1,5 en 3 naar schatting 30% en tussen de raaien 3 en 5 naar schatting 60% van de oorspronkelijk aanwezige grassprietten verdwenen; de overblijvende stoppels begonnen het beeld te bepalen. Ze zaten niet meer in de grond verankerd, maar hingen nog slechts aan de wortelpakketjes, die over het gedeelte t/m raai 3 compakter leken dan over het gedeelte daarboven.

Verwezen wordt naar aanleiding hiervan naar tabel 6, waar uit blijkt dat tussen de raaien 2 en 3 het roodzwenkgras overheerst, terwijl tussen de raaien 3 en 5 het Engels raaigras het meeste voorkomt. Het was overigens niet duidelijk of de aanwezigheid van wortelnetjes de erosie van de klei eronder al dan niet beperkte.

Na ca. 16 uur werd duidelijk, dat zich ter plaatse van raai 1,2 m in het midden van het monster een sterkere uitschuring begon voor te doen (zie fig. 10 en de foto's 1 t/m 3; verklaring raaiindeling als op de foto's te zien: zie fig. 3).

Na ca. 18 uur was de diepte van het gat al ca. 8 cm. De lengte van de verdieping bedroeg ca. 60 cm. Bij het terugstromen vormde het begin van de aanloopstrook nu een duidelijke barrière, waartegen het water omhoog spoot. Extra uitschuring werd duidelijk mede hierdoor veroorzaakt.

De ontwikkeling van de ontgronding ging nu zo snel dat na 22 uur de klei tot op het HE-profiel was uitgesleten (zie foto 4); onder het voorste deel van de opvangstrook was alle klei geërodeerd. Figuur 10 geeft de ontwikkeling van de ontgronding weer. Steeds is het laagste punt weergegeven.

Omdat de ontgronding zo dicht bij het begin van de grasmat was ontstaan en omdat ter plaatse al voor het begin van de proef een kale plek aanwezig was geweest werd besloten om het gat te dichten, en de opvangstrook naar boven toe uit te breiden. Het begin van de grasmat bevond zich nu ter plaatse van raai 2,1; de Enka mat liep door tot raai 2,45.



De proef is vervolgens doorgezet totdat deze 40 uur had geduurd. In die tijd is er geen echt gat meer ontstaan. Wel ging t/m raai 6,5 de slijtage geleidelijk door. Bij afloop van de proef was ca. 80% van alle gras verdwenen. Er was geen enkele groene spriet meer aanwezig. Over grote stukken waren de wortelnetten nog aanwezig. Ca. 20% van de oppervlakte was kaal.

Boven raai 6,5 was nagenoeg geen slijtage opgetreden. Ook het gras zag er daar nog goed uit. Het mollegat t.p.v. raai 6,5 had geen extra uitschuring veroorzaakt.

Boven raai 8,5 had het gras nauwelijks geleden.

Figuren 11 en 12 geven een beeld van de ontwikkeling van de slijtage in de loop van de proef. De figuren geven voor de raaien 3,5 en 4,4 de gemiddelde hoogte van de middelste 40 cm van het proefstuk. Bij deze peilingen moet wel opgemerkt worden dat gedurende lange tijd in die doorsneden nog gras aanwezig was. De staafjes van het peilapparaat kwamen dus vaak niet tot op de klei.

De foto's 5 t/m 9 laten de raaien 3,5 en 4,4 op enkele tijdstippen van de proef zien. Figuur 13 tenslotte geeft de langspatielen van het monster voor en na de proef. Het gaat om de gemiddelde hoogten van de middelste 10 cm van het proefstuk.

### 7.3 Tweede proefstuk

De tweede proef werd gestart op 18 augustus 1983. Er is gedurende  $41\frac{1}{2}$  uur een golf van  $H = 1,9$  m en  $T = 7,0$  s ingesteld geweest.

De proef is beëindigd op 24 augustus 1983.

Bij het begin van de proef zag de grasmat er uitstekend uit. Er waren slechts enkele kale plekken (maximale afmetingen  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup>) en geen intiële beschadigingen aanwezig (zie tabel 7).

Met betrekking tot het grasdek was het beeld van de schade ontwikkeling volledig analoog aan wat bij het eerste proefstuk was gebeurd. Een verschil betrof alleen de grote hoeveelheid onkruid, waaronder paardebloem in de mat (zie tabellen 6 en 7). Na ca.  $1\frac{1}{2}$  u was het blad hiervan volledig verdwenen, terwijl er aan het gras nog nauwelijks iets van schade te zien was. De erosiebestendigheid van dit materiaal is dus een orde lager dan die van gras. Toen echter veel later in de proef het slijtageproces van de klei in een vergevorderd

stadium verkeerde kwam de aanwezigheid van met name de paardebloemen alsnog op verrassende wijze naar voren. De ca. 1 cm dikke penwortels kwamen deels bloot en eromheen begon extra uitschuring op te treden. Er ontstonden hierbij geultjes van 1 à 2 dm lang, enkele cm's breed en enkele cm's diep.

Na ca 25 uur begon zich ter plaatse van zowel raai 2,4 als raai 3,6 in het midden van het monster een begin van ontgronding af te tekenen. De ontwikkeling van beide gaten ging gedurende geruime tijd gelijk op.

Na 39 uur was de ontgronding ter plaatse van raai 2,4 ca. 20 cm lang, 15 cm breed en 15 cm diep. Ter plaatse van raai 3,6 bleef de diepte met ca. 10 cm iets achter. Vanaf dat tijdstip gebeurde er in raai 3,6 nauwelijks meer iets. In raai 2,5 nam de ontgronding echter zeer snel toe. Na 40 uur waren de afmetingen van het gat:  $30 \times 20 \text{ cm}^2$  bij een diepte van 19 cm.

Na  $40\frac{1}{2}$  uur:  $40 * 30 \text{ cm}^2$  bij 20 cm diep.

Na  $41\frac{1}{2}$  uur:  $1,50 * 60 \text{ cm}^2$  en 22 cm diep. Het gat bevond zich daarbij nog steeds in het midden van de moot en de kanten waren nog volledig intact.

Na  $41\frac{3}{4}$  uur nam de diepte plotseling zo sterk toe dat de bodemplaat zichtbaar werd. De kuil was toen ca. 2 m lang en ca. 75 cm breed. De proef werd gestopt.

Een nadere beschouwing van de ontgronding leerde, dat de haarwortels van het gras nog overal in de wand van de kuil aanwezig waren. Bovendien waren rondom de hele kuil aan de bovenrand overhangende, uitgespoelde wortelnetten aanwezig, die nog zeer stevig aan de omringende vegetatie vast zaten.

De klei aan de wanden leek een wat andere structuur te hebben dan aan het oppervlak. Er waren op grote schaal scheurtjes met een breedte van  $\frac{1}{2}$  à 1 mm, en een lengte van enkele cm's tot 1 à 2 dm aanwezig. Ook was de klei in het geheel niet verweekt, alhoewel ze met water verzadigd leek te zijn. Een vermoeden dat overigens later door LGM proeven bevestigd werd. Ze kon zelfs betrekkelijk gemakkelijk verbrokken worden.

Aan de oppervlakte daarentegen had de klei vooral direkt na afloop van de proef een meer sponsachtig ( d.w.z. elastisch en zeer poreus) voorkomen. Deze laatste konstatering was overigens in overeenstemming met hetgeen reeds gedurende de pauzes in beide proeven was waargenomen. Het duidelijke structuurverschil tussen de klei van de oppervlakte en de klei van daaronder kwam nu echter pas goed tot uiting. Overigens lijkt de sponsachtige structuur de erosiebestendigheid niet nadelig te beïnvloeden.



De figuren 14 en 15 brengen (op analoge wijze als de fig. 10 t/m 12) de ontgroning ter plaatse van raai 2,4 resp. de slijtage ter plaatse van raai 4,0 in beeld.

Foto's 10 t/m 16 tonen deze doorsneden in diverse stadia van de proef. Figuur 16 geeft de langsprofielen voor en na de proef.

#### 7.4 Erosieproeven op laboratoriumschaal

Teneinde na te gaan of de tendens van de in de stroomgoot behaalde resultaten op een reproduceerbare wijze ook uit laboratoriumonderzoek zou kunnen blijken werden bij het LGM erosieproeven in het zogenaamde centrifugeapparaat uitgevoerd.

Voor het uittesten van de procedure werden monsters beproefd die waren gestoken na afloop van de proeven in de Deltagoot op de zgn. "Friesche groene dijk".

De verslaglegging van dit laboratoriumonderzoek is weergegeven in het LGM rapport Co 247312/12 "Erosieproeven grasmat op klei", deel 2.

Na vaststelling van de juiste proefprocedure werden ongeroerde monsters beproefd die kort na afloop van de stroomgootproeven uit de 2 proefstukken waren gewonnen.

De betreffende verslaglegging is weergegeven in LGM rapport Co 247312/13 "Erosieproeven grasmat op klei", deel 3.

Genoemde LGM rapporten zijn als appendix aan dit rapport toegevoegd.



## LITERATUUR

1. Waterloopkundig Laboratorium,  
Voorstudie onderzoek erosiebestendigheid van gras op  
kleitaluds. M 1763, 1981
2. J.A. Battjes Characteristics of flow in run-up of periodic waves  
A. Roos Dept. of Civil Engineering,  
Delft University of Technology, 1975
3. A.F. Dimitriev Hydraulische Untersuchungen von Rasenmatten  
Wasserwirtschaft und Wassertechnik, 1978
4. U.S. Soil Conservation Service  
Handbook of Channel Design for soil and water conservation,  
1974
5. Waterloopkundig Laboratorium,  
Kunstmatige bodemruwheid  
Informatie No. U14, 1970

Tabel 1

Theoretisch met de installatie te simuleren golfoploop

Afsluiteropening (cm)	80	65	60	55	50	45
Q (m <sup>3</sup> /s)	2,49	2,28	2,20	2,04	1,75	1,35
$V_{\max} = \frac{Q}{0,7}$ (m/s)	3,55	3,25	3,14	2,91	2,50	1,92
$H = \frac{25,8}{V_{\max}^2}$ (m)	2,04	2,44	2,61	3,04	4,12	6,99
$T = \frac{V_{\max}}{0,59}$ (s)	6,04	5,54	5,35	4,96	4,26	3,27*
$\frac{H}{L_o} = \frac{H}{1,56 T^2}$ (-)	0,036	0,051	0,058	0,079	0,146	0,419 <sup>Ø</sup>
$t = \frac{6,12}{Q}$ (s)	2,46	2,69	2,78	3,00	3,50	4,55*
X (m)	1,27	1,19	1,15	1,08	0,95	0,76
Y (m)	0,63	0,65	0,66	0,68	0,71	0,76

Symbolen: Q	debiet in toevoerleiding	(m <sup>3</sup> )
$V_{\max}$	uitstroomsnelheid uit spuitmond;	(m/s)
H	golfhoogte	(m)
T	golfperiode	(s)
$L_o$	golflengte op diep water	(m)
t	duur van periode, dat water onder schuif doorstroomt	(s)
X	horizontale afstand: hart spuitmond-inslagpunt straal	(m)
Y	vertikale afstand: hart spuitmond-inslagpunt straal	(m)

N.B.: - Afsluiteropeningen 80 en 70 cm gaven in model dezelfde waarden van Q  
 - Afsluiterstand 45 levert om twee redenen geen bruikbare straal:  
 Ø: de gereproduceerde golf kan niet bestaan gezien de waarde van H/L<sub>o</sub>  
 \*: t > T d.w.z. in het model niet instelbaar.

Tabel 2

DELTADIENST RODESCHOOL 7 februari 1983 Buis H en Buis B.

Vers en drooggewichten wortels in grammen

diepte	vers	wortels	vers	wortelstokken	gruis	% dode
Buis H	gewicht	dr.gew.	gewicht	dr. gew.	dr. gew.	wortels
0- 5	1,75	0,332	0,10	0,023	0,483	0
5-10	0,68	0,130	0,10	niet aanwezig	0,181	0
10-20	0,80	0,154	0,10	"	0,276	0
20-30	0,82	0,163	0,10	"	0,501	0
30-40	0,67	0,157	0,10	"	0,255	0
40-50	0,29	0,065	0,10	"	0,561	0
50-60		0,036			0,093	
60-70		0,023			0,046	

diepte	vers	wortels	vers	wortelstokken	gruis	% dode
Buis B	gewicht	dr. gew.	gewicht	dr. gew.	dr. gew.	wortels
0 -5	3,07	0,558	0,24	0,076	0,319	0
5-10	0,81	0,143	0,24	niet aanwezig	0,107	0
10-20	0,83	0,154	0,24	"	0,109	0
20-30	0,71	0,126	0,24	"	0,128	0
30-40	0,28	0,053	0,24	"	0,062	0
40-50	0,30	0,053	0,24	"	0,099	0
50-60		0,052			0,032	
60-70		0,033			0,018	

vers gewicht = na 30 s in centrifuge tussen filtreerpapier

droog gewicht = na minimaal 24 uur bij 70°

gruis = voor 60% korte afgebroken zijworteltjes;

= voor 10% grover organisch materiaal.



Tabel 3

Doorsneden wortels Buis H in mm (individuele waarnemingen op toevallige punten in de wortelmasa)

Lagen

0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40 cm	40-50 cm
0,4	0,6	0,2	0,2	0,05	0,1
0,55	0,2	0,5	0,4	0,05	0,1
0,5	0,2	0,15	0,15	0,1	0,1
0,2	0,4	0,15	0,15	0,1	0,1
0,15	0,1	0,6	0,05	0,3	0,2
0,15	0,1	0,5	0,05	0,45	0,4
0,2	0,15	0,5	0,1	0,1	0,4
0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,15
0,05	0,25	0,1	0,25	0,2	0,15
0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,1
0,15	0,05	0,05	0,05	0,15	0,1
0,15	0,05	0,7	0,5	0,1	0,05
0,25	0,15	0,05	0,3	0,1	0,1
0,3	0,1	0,05	0,15	0,05	0,05
0,3	0,35	0,1	0,1	0,05	0,05
0,05	0,5	0,1	0,2	0,2	0,05
0,05	0,6	0,25	0,3	0,15	0,05
0,05	0,2	0,5	0,05	0,2	0,4
0,4	0,3	0,7	0,05	0,15	0,15
0,2	0,3	0,25	0,3	0,05	0,05

Tabel 4

Doorsneden wortels Buis B in mm (individuele waarneming op toevallige punten in de wortelmassa)

Lagen

0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	30-40	40-50 cm
0,6	0,5	0,5	0,2	0,3	0,3
0,35	0,4	0,4	0,1	0,3	0,05
0,35	0,05	0,2	0,1	0,25	0,05
0,25	0,05	0,1	0,15	0,4	0,2
0,6	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
0,3	0,3	0,1	0,05	0,05	0,05
0,15	0,5	0,2	0,05	0,1	0,05
0,05	0,2	0,1	0,3	0,1	0,1
0,05	0,15	0,4	0,4	0,2	0,7
0,6	0,1	0,3	0,05	0,35	0,6
0,25	0,1	0,3	0,1	0,1	0,6
0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15
0,1	0,2	0,1	0,25	0,1	0,15
0,05	0,25	0,05	0,25	0,1	0,15
0,05	0,5	0,05	0,1	0,05	0,55
0,5	0,25	0,05	0,2	0,05	0,35
0,2	0,05	0,05	0,35	0,4	0,35
0,15	0,05	0,6	0,05	0,2	0,1
0,4	0,05	0,55	0,1	0,15	0,1
0,4	0,2	0,65	0,7	0,15	0,05

Tabel 5

Doorsneden wortelstokken buizen H en B

Buis H / 0-5 cm / versgewicht 0,10 g

0,3	0,35	0,5	0,4	0,7	0,5	0,6	0,7
0,3	0,45	0,65	0,6	0,55	0,5	0,6	0,2

Buis B / 0-5 cm / versgewicht 0,24 g

0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,3	0,35
0,3	0,35	0,45	0,7	0,25	0,4	0,6	0,4





Tabel 7

Beoordeling bedekking 2e proefstuk 7-4-'83 en (8-8'83)

afstand	afstand																			
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	40										
bedekking																				
grondbedekking %	87 (80)	68 (75)	85 (80)	90 (85)	92 (85)	95 (80)	93 (78)	88 (85)	85 (85)											
grasbedekking %	98 (97)	95 (94)	95 (97)	98 (98)	98 (99)	96 (96)	98 (98)	99 (99)	98 (99)											
onkruidbed. %	2 (3)	5 (6)	5 (3)	2 (2)	2 (1)	4 (4)	2 (2)	1 (1)	2 (1)											
<u>grassoorten in %</u>																				
Engels raaigras	87 (43)	80 (38)	70 (30)	75 (40)	70 (30)	75 (40)	80 (35)	97 (83)	95 (97)											
roodzwenkgras	8 (46)	12 (57)	22 (67)	17 (58)	25 (68)	20 (59)	12 (61)	+	2 (1)											
veldbeemdgras	5 (8)	8 (1)	8 (1)	8 (2)	5 (2)	5 (+)	8 (2)	3 (2)	3 (2)											
tuintjesgras	+	(1)	+	(2)	-	(1)	+	(+)	+											
ruwbeemd	-	(2)	-	(2)	-	(1)	-	(+)	-											
klaver	-	(-)	-	(-)	-	(-)	-	(-)	+											
ooievaarsbek	+	(+)	-	(+)	+	(+)	+	(+)	+											
paardebloem	+	(+)	+	(+)	+	(+)	+	(+)	+											
madeliefje	-	(-)	+	(+)	-	(-)	-	(-)	-											
ereprijs	-	(-)	-	(+)	-	(+)	-	(-)	-											
hoornbloem	+	(-)	-	(+)	+	(-)	-	(-)	+											
mos	-	(-)	dood <sup>1)</sup>	(+)	-	(+)	-	(-)	-											
br.bl. weegbree	-	(-)	+	(-)	-	(-)	-	(-)	-											
ridderzuring	-	(-)	-	(-)	-	(-)	+	(-)	-											

graslengte 5 à 8 cm

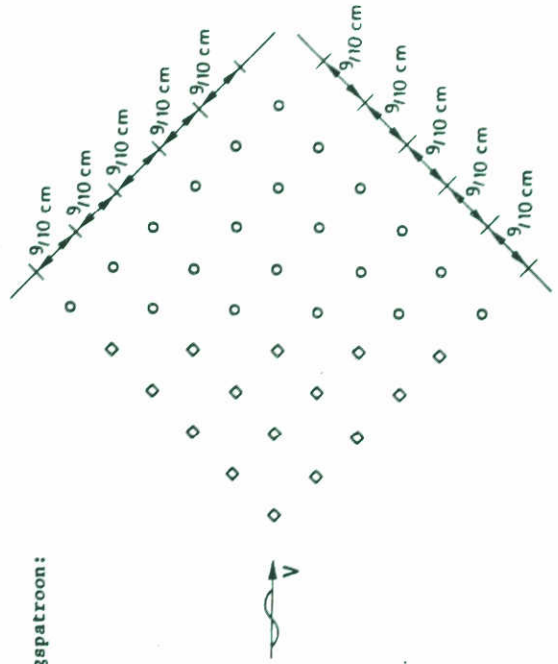
1) 1½ à 2 dm<sup>2</sup> dode mosplek

Tabel 8: Berekening: .. Ruwheden grasmat

. Aantal blokjes (3 x 3 x 3 cm) dat zelfde ruwheid geeft.

Uitgangs geg.opl. tong		C <sub>gras</sub> volgens Dimitriev			C <sub>gras</sub> volgens U.S. Soil Cons. Service			C <sub>blokjes</sub>		Aantal blokjes volgens U14		Aan te brengen aantal
h <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>	Re = $\frac{hV}{\nu}$	$\lambda$	$C_T = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$	h x V	n <sub>nikur</sub>	$C_T = \frac{h^{1/6}}{n}$	C <sub>Hout</sub>	C <sub>extra</sub> = $(\frac{1}{2} - \frac{1}{C_T^2})^{1/2}$	R/a	na <sup>2</sup>	n
(m)	(m/s)			( $\sqrt{m/s}$ )	(m <sup>2</sup> /s) (ft <sup>2</sup> /s)	(s/ft <sup>1/3</sup> ) (s/m <sup>1/3</sup> )	(m <sup>1/3</sup> /s)	(k=2.10 <sup>-3</sup> )	US.SCS		(1/m <sup>2</sup> )	(1/m <sup>2</sup> )
0,70	3,0	2,1x10 <sup>6</sup>	0,11	26,7	2,1 22,6	0,022	0,033	65,2	31,4	23,3	0,112	124
0,60	3,0	1,8x10 <sup>6</sup>	0,11	26,7	1,8 19,4	0,022	0,033	64,0	30,9	20,0	0,105	117 (om de 9 cm)
0,50	3,0	1,5x10 <sup>6</sup>	0,11	26,7	1,5 16,1	0,022	0,033	62,6	29,9	16,7	0,099	110 9 cm)
0,40	3,0	1,2x10 <sup>6</sup>	0,11	26,7	1,2 12,9	0,022	0,033	60,8	28,8	13,3	0,093	103
0,30	3,0	0,9x10 <sup>6</sup>	0,12	25,6	0,9 9,7	0,023	0,034	58,6	26,4	10,0	0,093	103 (om de 10 cm)
0,20	3,0	0,6x10 <sup>6</sup>	0,15	22,9	0,6 6,5	0,024	0,036	55,4	22,4	6,7	0,098	109
0,10	3,0	0,3x10 <sup>6</sup>	0,23	18,5	0,3 3,2	0,028	0,042	50,0	17,1	3,3	0,090	100

Plaatsingspatroon:





Tabel 9: Gebruikte simulaties (taludhelling 1:4)

<u>Instelling:</u>		1	2	3
1. afsluiteropening	(cm)	30	80	70
2. Q	(m <sup>3</sup> /s)	1,06	2,60	2,20
3. T ingesteld	(s)	4,5	5,5	7,2
4. t ingesteld	(s)	2,0	2,2	3,0
5. h <sub>maxI</sub>	(cm)	45	60	65
6. V <sub>maxI</sub>	(m/s)	2,5	3,0	4,0
7. h <sub>maxII</sub>	(cm)	-	25 à 30	40
8. V <sub>maxII</sub>	(m/s)	-	4,0 à 4,5	3,4
9. oplooplengte	(raai)	5,0	7,0	8,5 à 9,0

Reproductie:

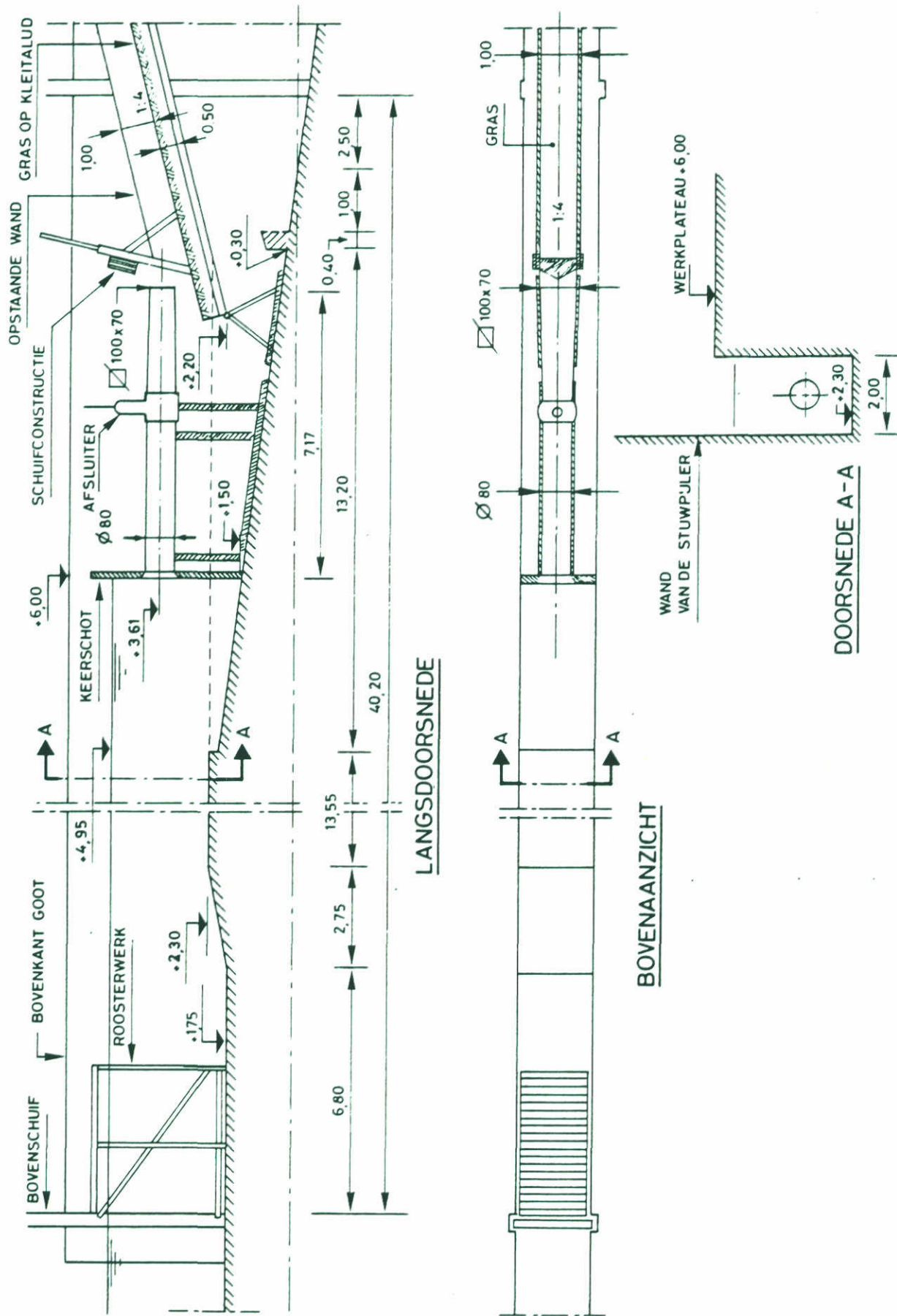
10. Tuit V <sub>maxI</sub>	(s)	4,26	5,11	6,8
11. Huit h <sub>max</sub> en (Tuit V <sub>maxI</sub> )	(m)	2,6	2,7	1,9
12. Huit h <sub>maxII</sub> en (Tuit V <sub>maxII</sub> )	(m)	-	2,4	1,9
13. H <sub>gereproduceerd</sub>	(m)	2,6	2,5	1,9
14. T <sub>gereproduceerd</sub>	(s)	4,4	5,3	7,0
15. H/L <sub>o</sub>		0,086	0,057	0,025

Opm.: 10 : m.b.v. formule (4):  $T = \frac{V_{\max}}{0,59}$

11 en 12 : m.b.v. formule (3):  $\frac{h_{\max}}{\sqrt{H L}} = 0,08 \left(1 - \frac{x}{\sqrt{H L}}\right)$   
voor<sup>o</sup>de raaien I en II

13 : gemiddelde van 11 en 12

14 : gemiddelde van 3 en 10



STROOMGOOT TE LITH MET OPSTELLING

SCHAAL 1:150

WK

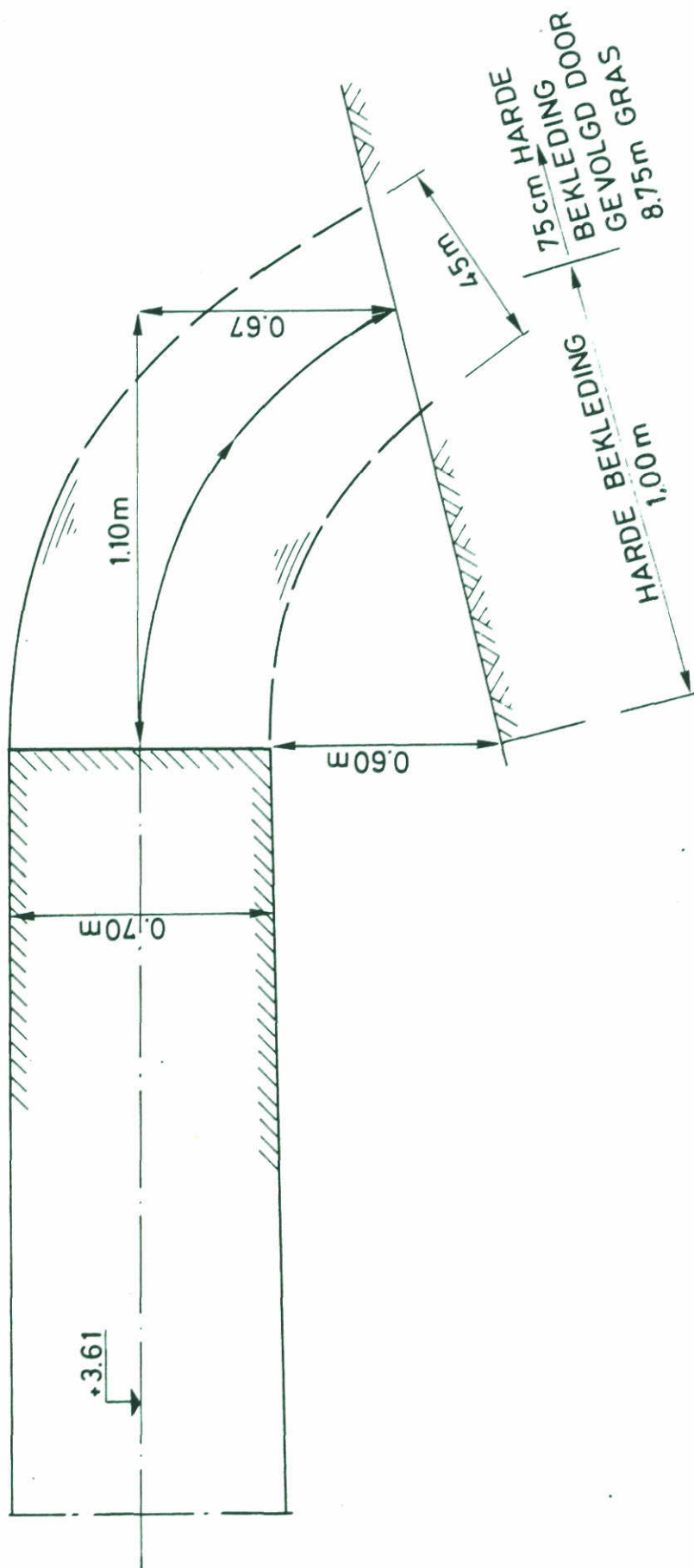
MATEN IN m  
PROTOTYPE

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1930-1001

FIG.1



POSITIE SPUITMOND EN TALUD

JB

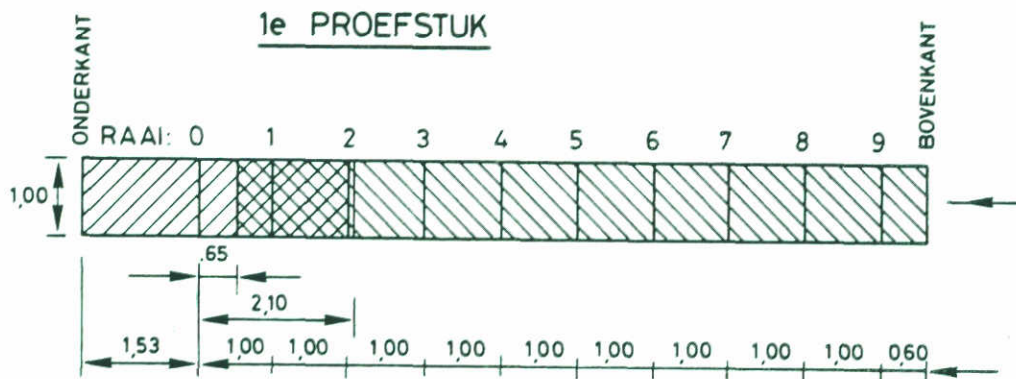
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1930 - 1002

FIG. 2





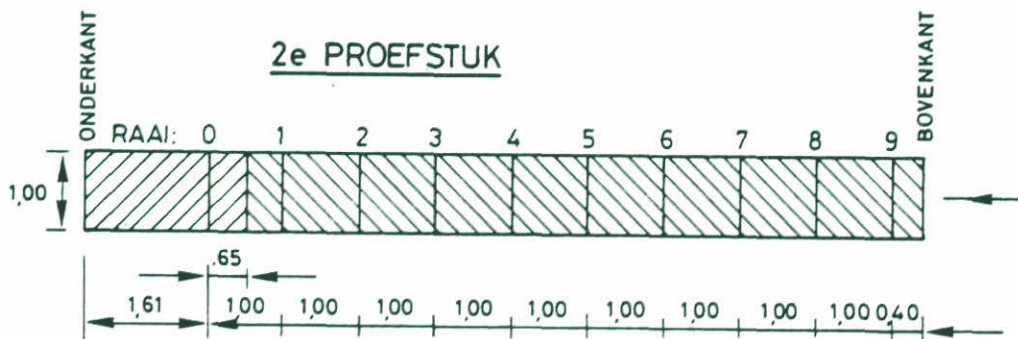
GEDURENDE HELE PROEF: HARDE BEKLEDING



GEDURENDE EERSTE 24 u VAN DE HOOGSTE GOLF: GRAS  
DAARNA: HARDE BEKLEDING



GEDURENDE GEHELE PROEF: GRAS



GEDURENDE GEHELE PROEF: HARDE BEKLEDING



GEDURENDE GEHELE PROEF: GRAS

RAAIINDELINGEN 1e EN 2e PROEFSTUK

MATEN IN m

WK

SCHAAL 1: 100

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M.1930 - 1003

FIG. 3

HOUTEN OPVANGCONSTRUCTIE  
BEZET MET BLOKJES  $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$   
OM DE  $9 \times 9 \text{ cm}^2$

BENTONIET, KANTOPSLUITING MET VARIABELE BREEDTE  
(AFH. VAN MOOTBREEDTE TER PLAATSE)

RAND AANSLUITEND  
OP SCHUIF

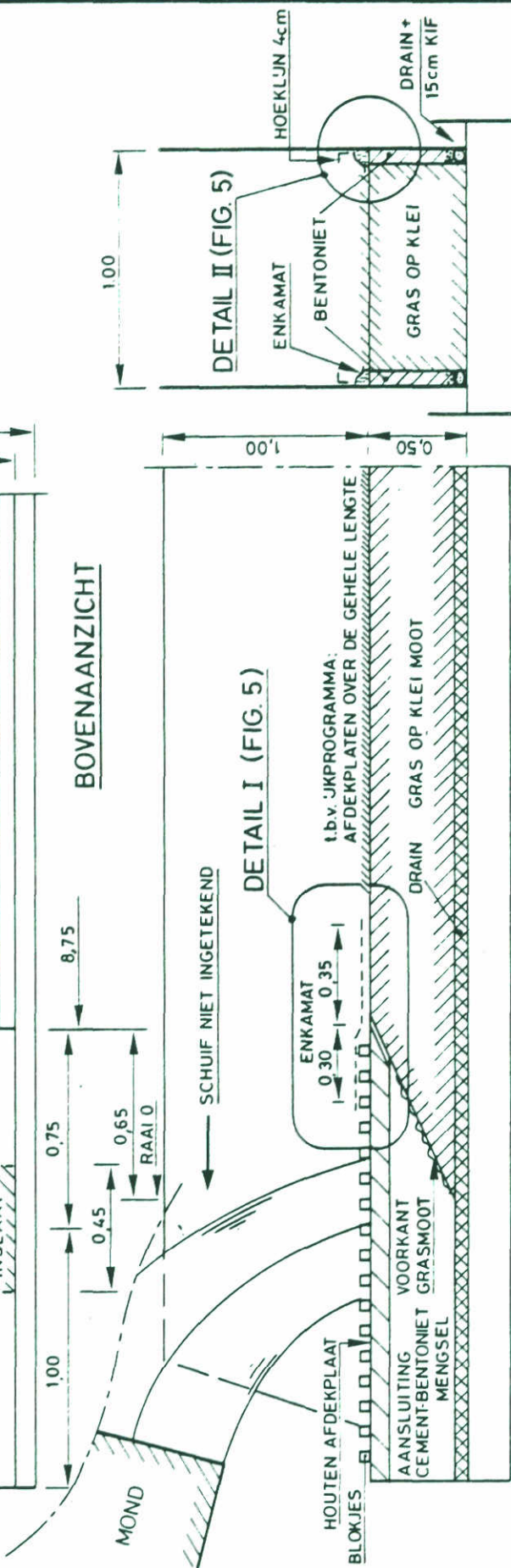
RAND HEA PROFIEL

STALEN WANDEN

GRAS OP KLEI MOOT

HART INSLAG

GEBIED  
WAAR  
STRAAL  
INSLAAT



BOVENAANZICHT

DETAIL I (FIG. 5)

i.b.v. JKPROGRAMMA:  
AFDEKPLATEN OVER DE GEHELE LENGTE

DRAIN GRAS OP KLEI MOOT

DETAIL II (FIG. 5)

ENKAMAT

BENTONIET

GRAS OP KLEI

DRAIN +  
15cm KIF

HOEKLIJN 4-cm

DOORSNEDE IN AS

DWARSDOORSN.

GEPREPAREERD PROEFSTUK

SCHAAL 1:20

WK

MATEN IN m  
PROTOTYPE

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

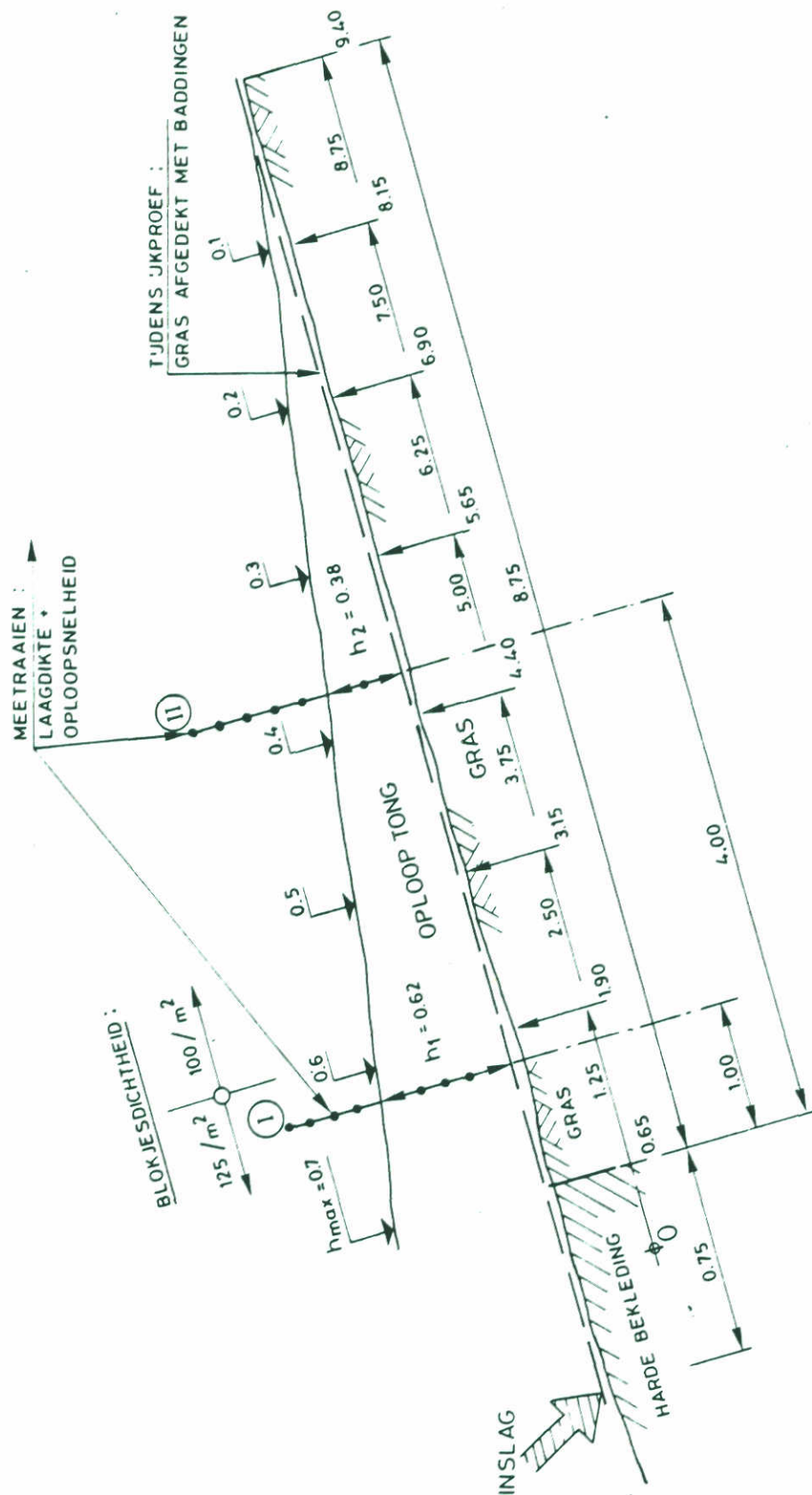
M1930-1004

FIG. 4







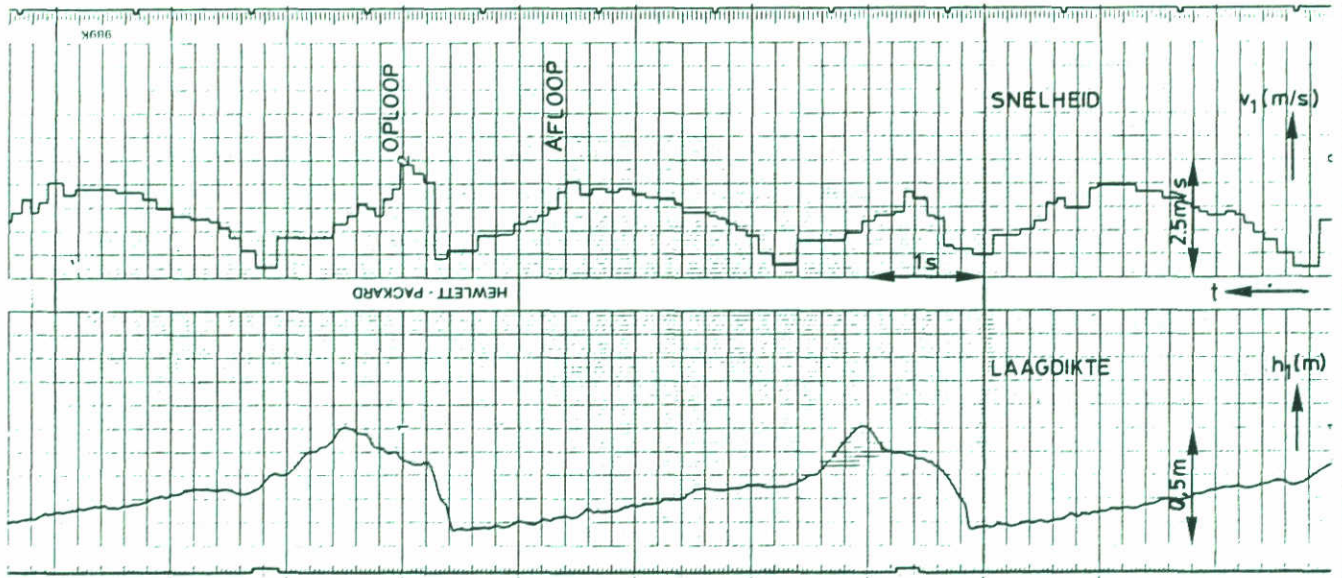


PLAATSING RUWHEIDSELEMENTEN ;  
 POSITIE MEETRAAIEN

JB

A4

# MEETRAAI I



MEETRAAI II :  
 GEEN SIGNAAL VANWEGE LAGE OPLOOP

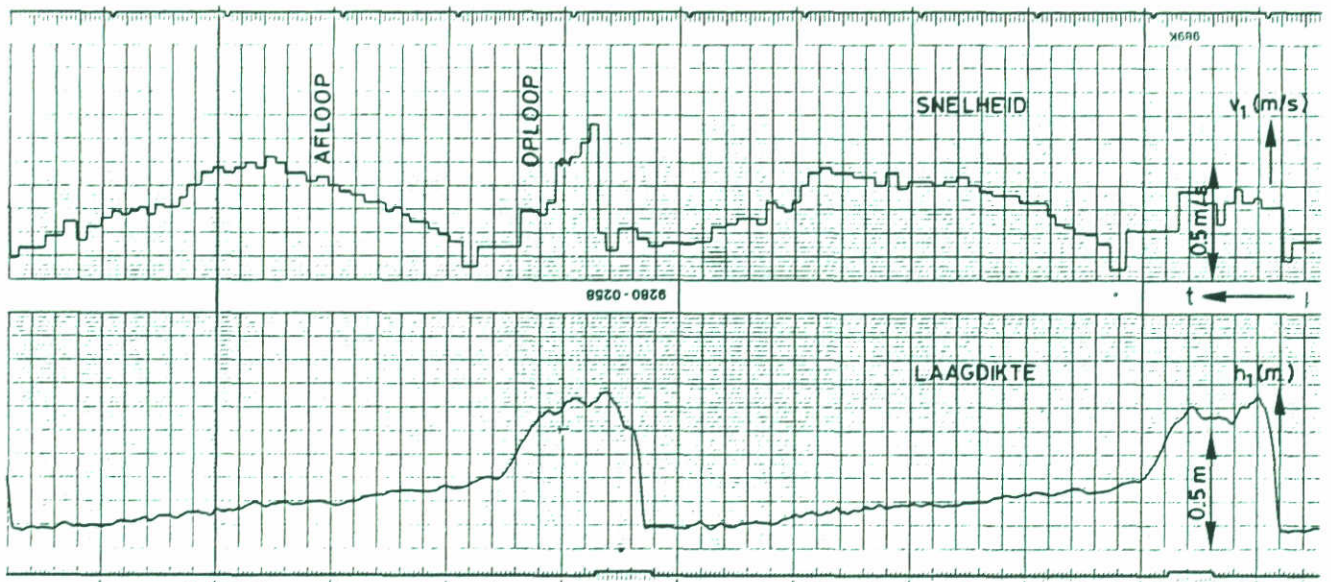
SNELHEDEN EN LAAGDIKTEN  $H = 2.6\text{m}$ ,  $T = 4.4\text{ s}$

JB

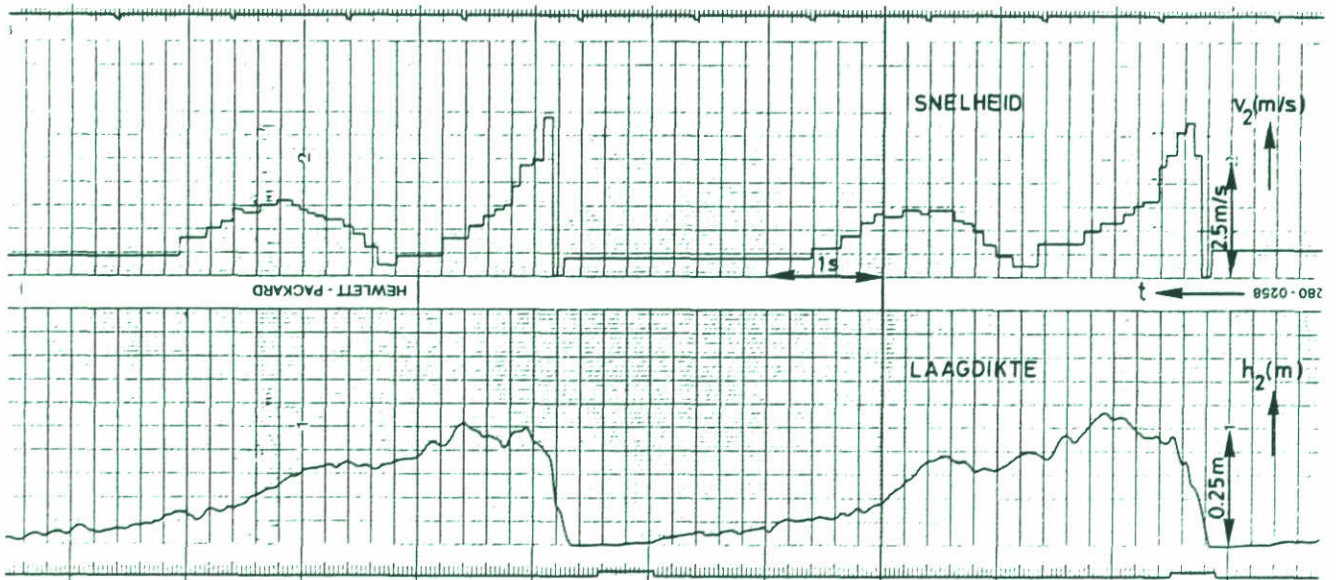
A4



### MEETRAAI I



### MEETRAAI II



SNELHEDEN EN LAAGDIKTEN  $H = 2,5 \text{ m}$ ,  $T = 5,3 \text{ s}$

JB

A4

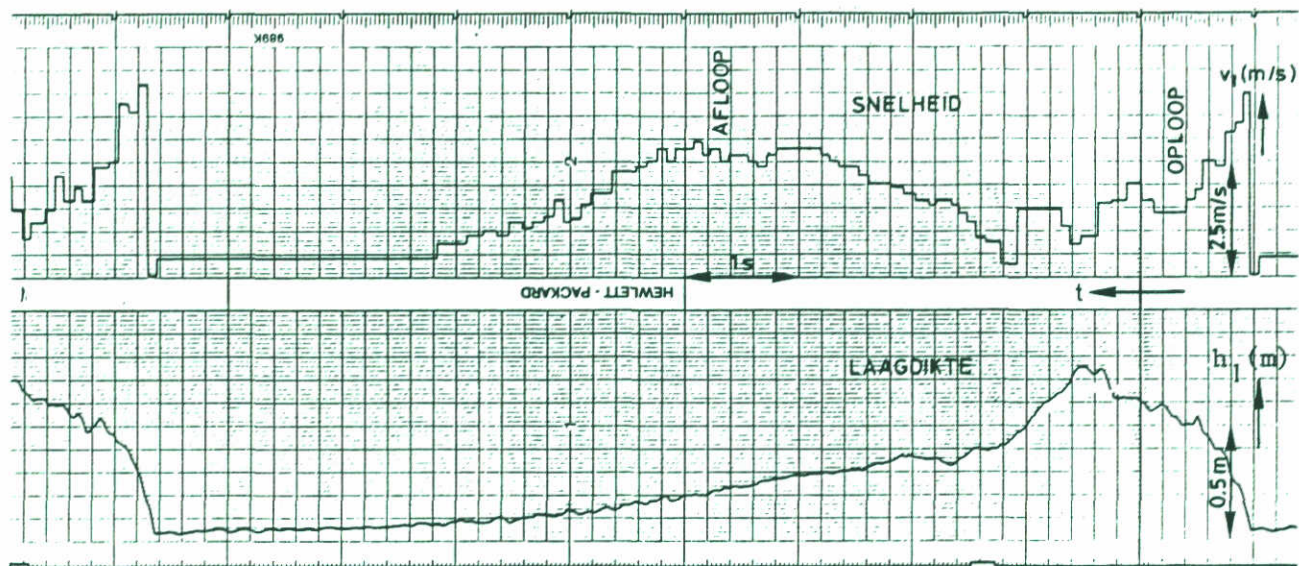
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1930-1008

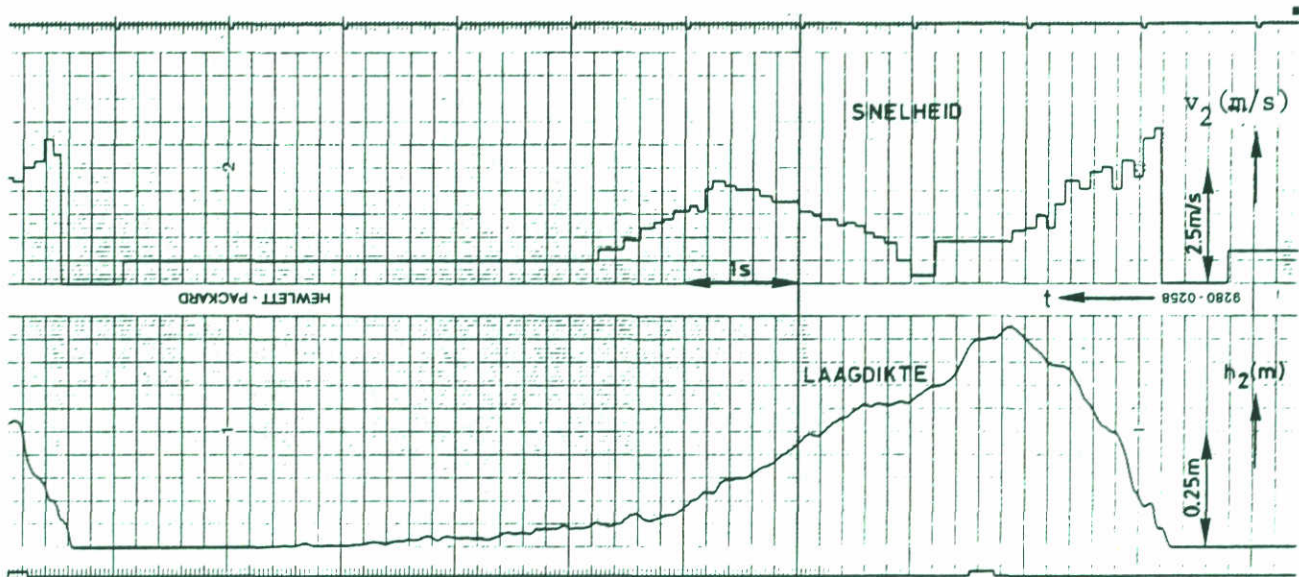
FIG.8



### MEETRAAI I



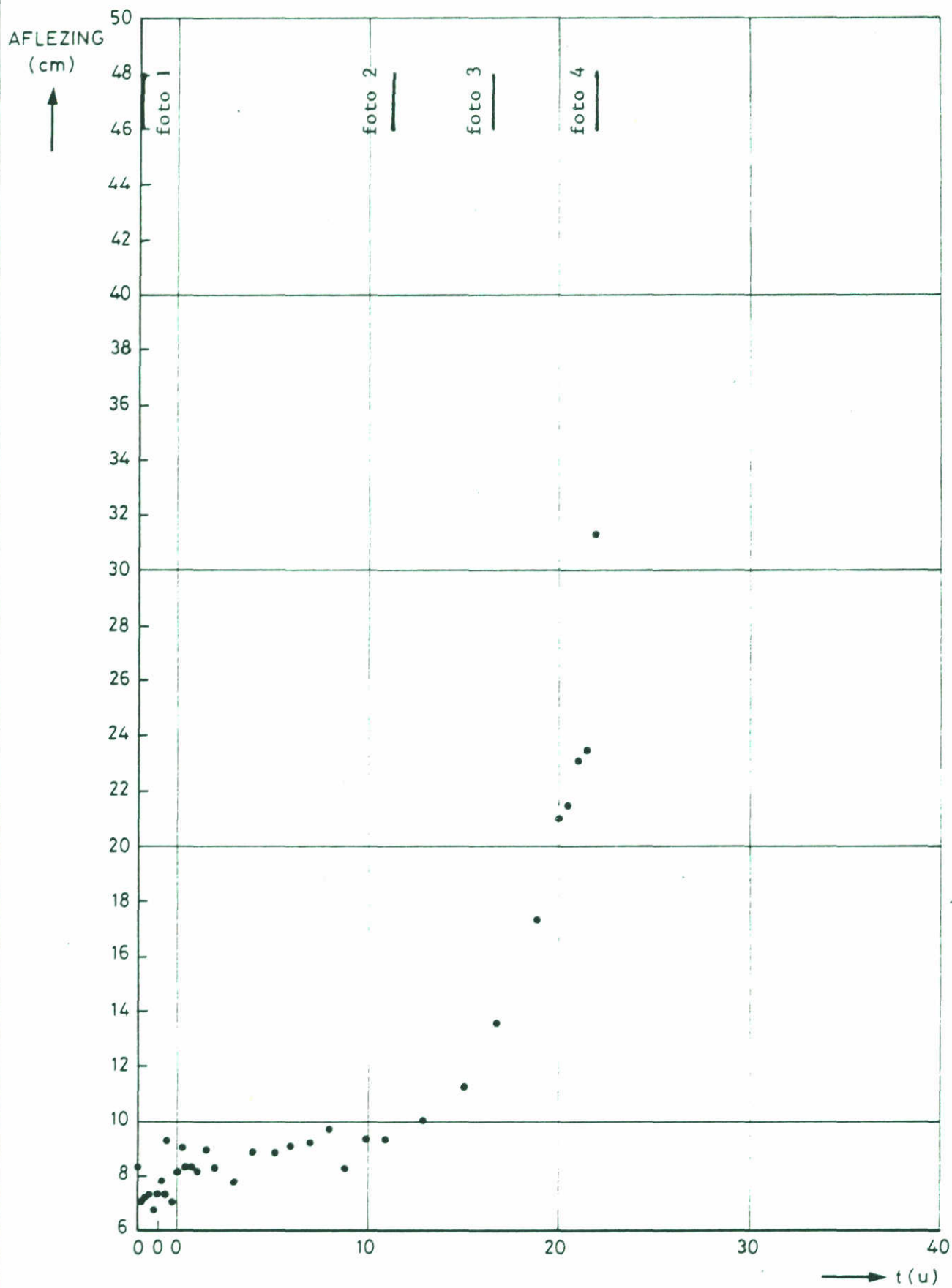
### MEETRAAI II



SNELHEDEN EN LAAGDIKTEN  $H = 1,9 \text{ m}$ ,  $T = 7,0 \text{ s}$

JB

A4



ONTGRONDINGSVERLOOP 1<sup>e</sup> PROEFSTUK, RAAI 1,2

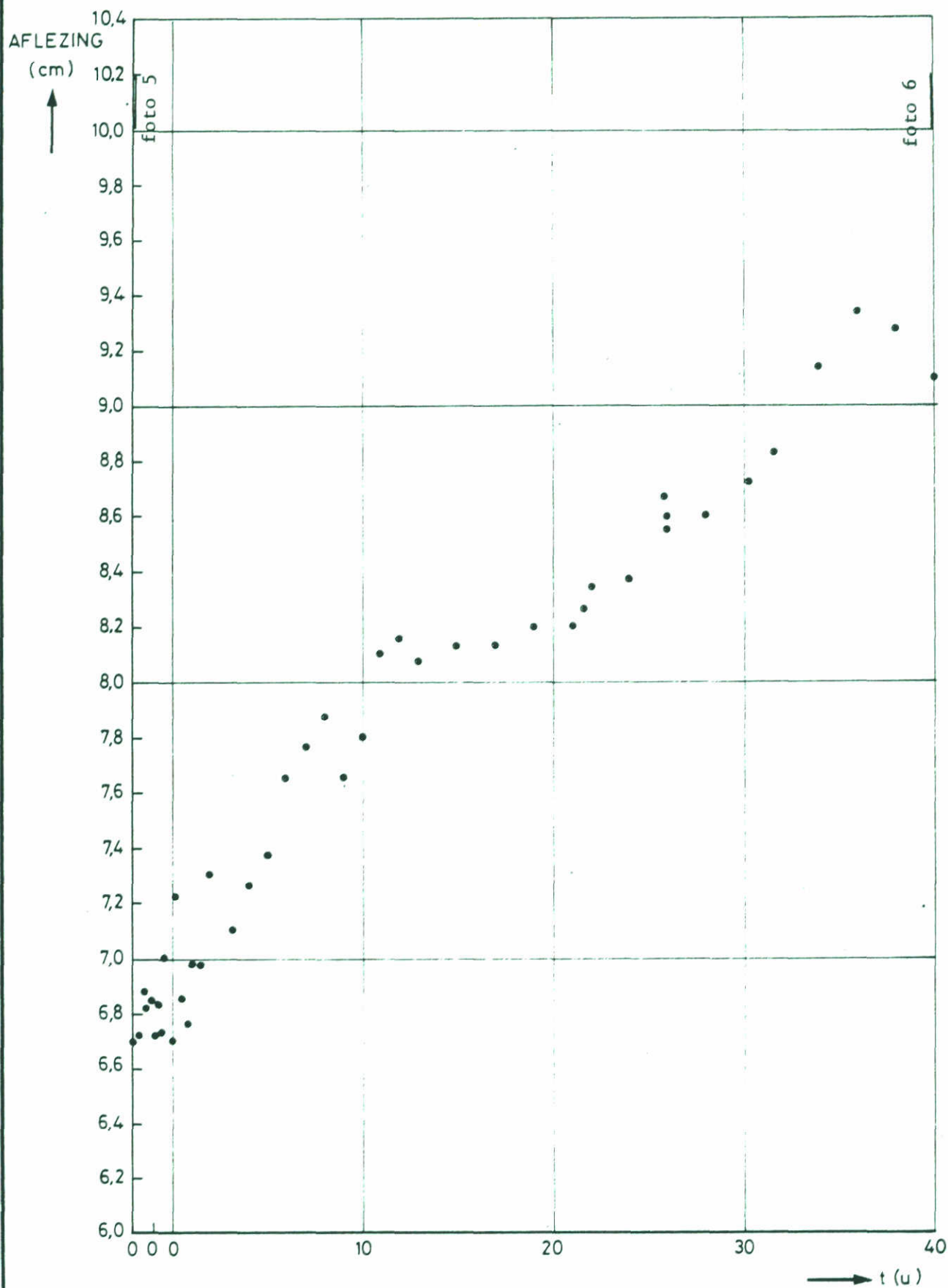
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1930-1010

FIG.10



SLJTAGE 1<sup>e</sup> PROEFSTUK, RAAI 3,5

JB

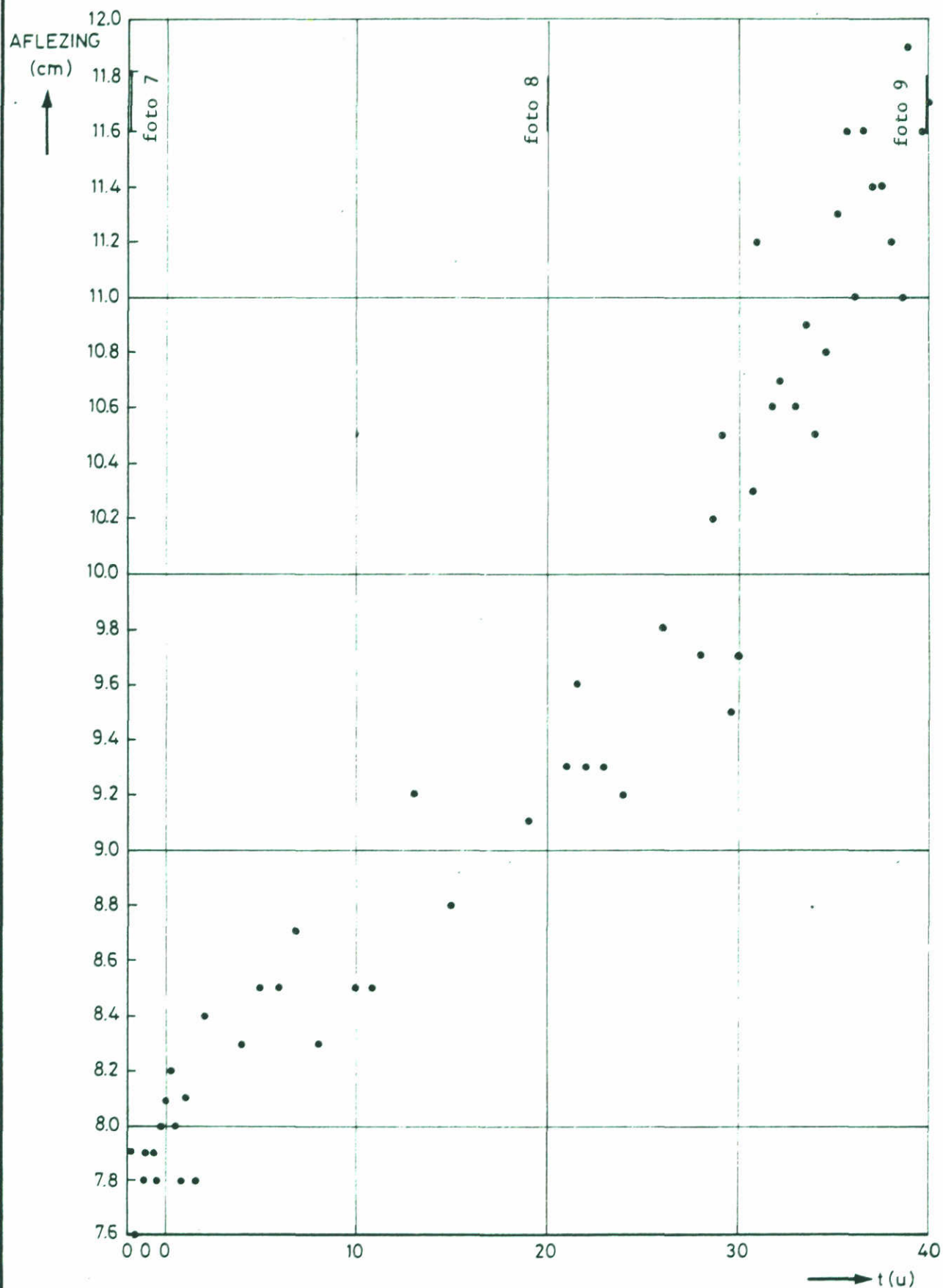
A4

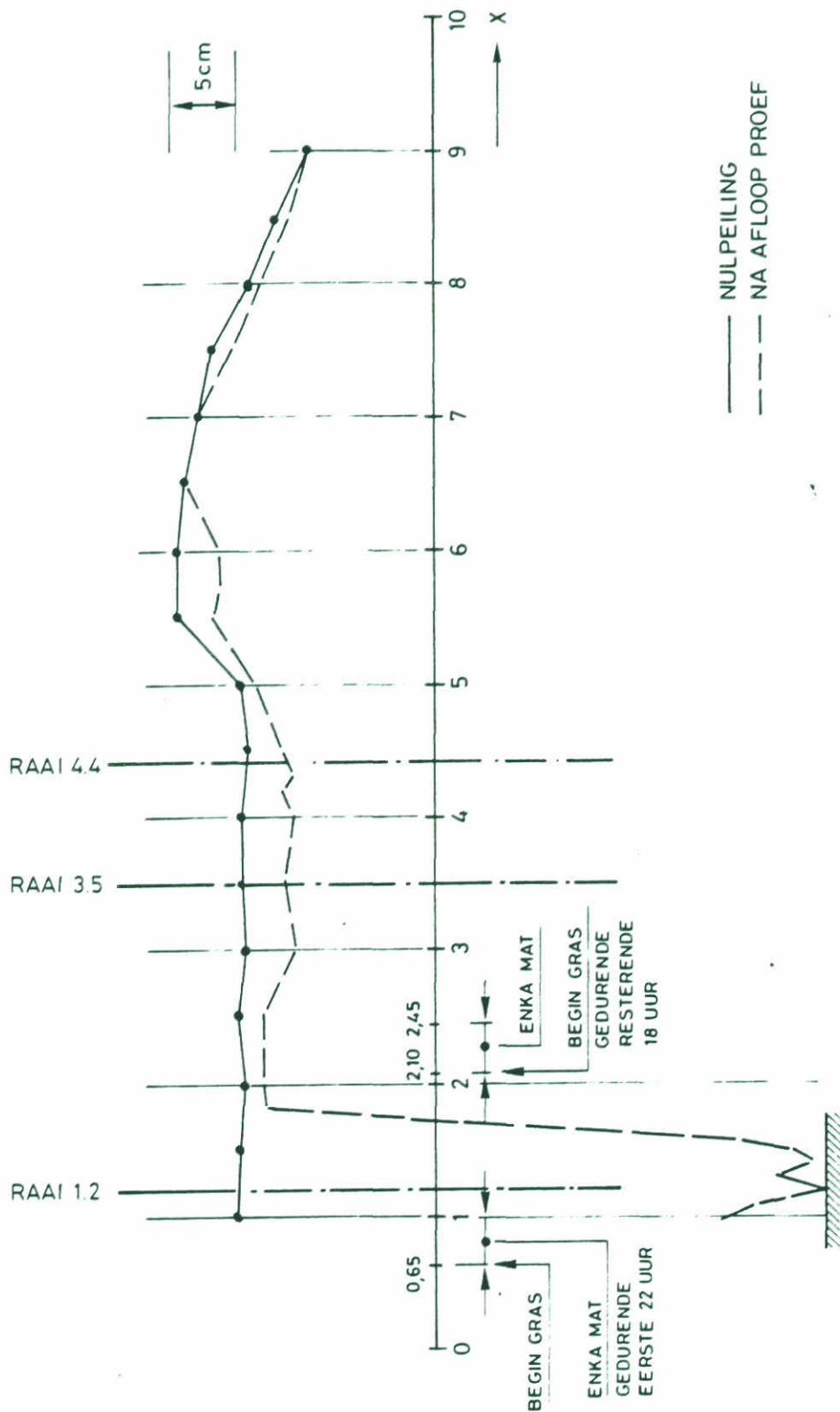
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1930-1011

FIG.11



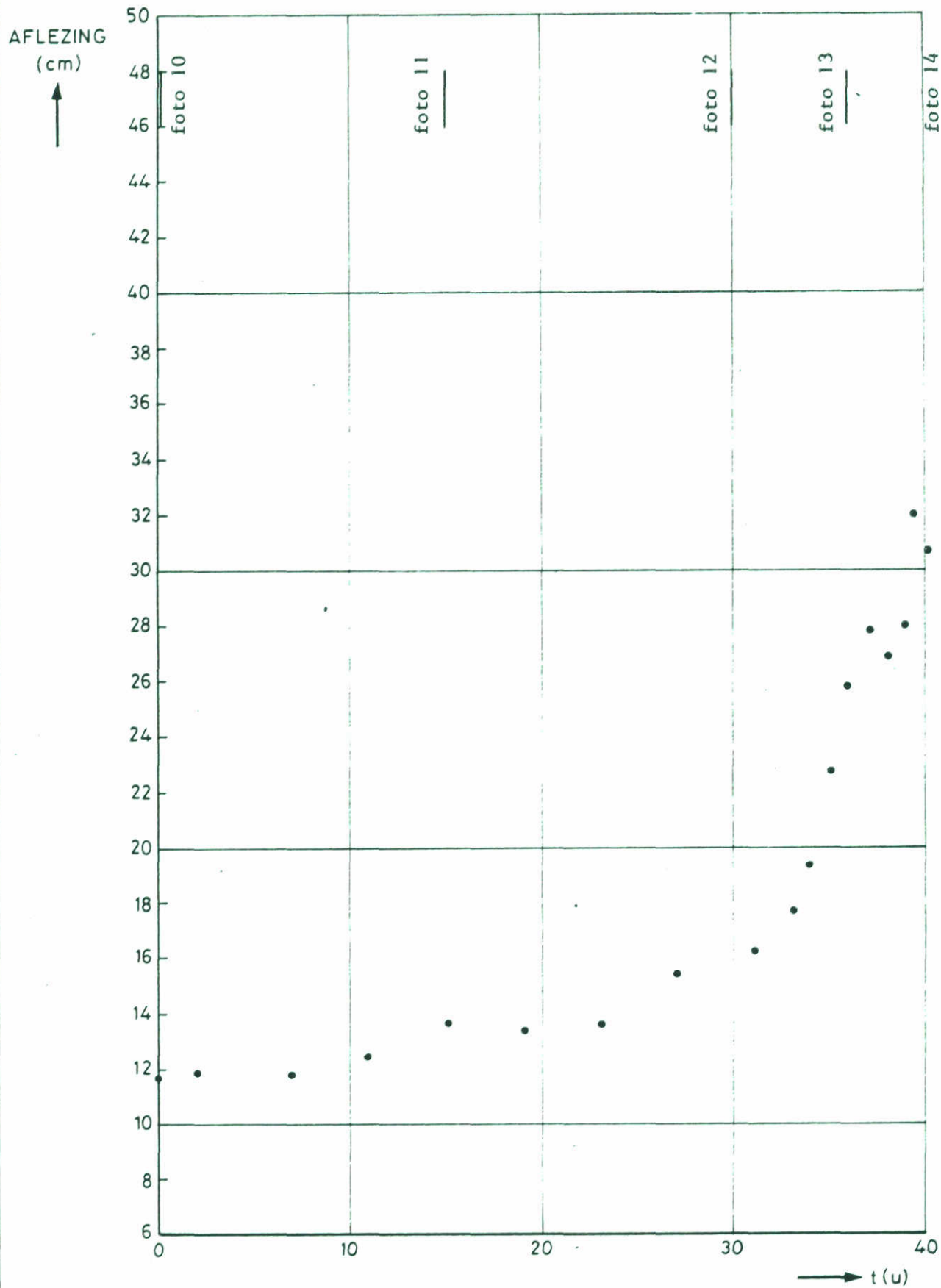




LANGSPROFIEL 1e PROEFSTUK  
VOOR EN NA DE PROEF

HOR. SCHAAL 1:50  
VERT. SCHAAL 1:5

A4



ONTGRONDINGSVERLOOP 2<sup>e</sup> PROEFSTUK, RAAI 2,4

JB

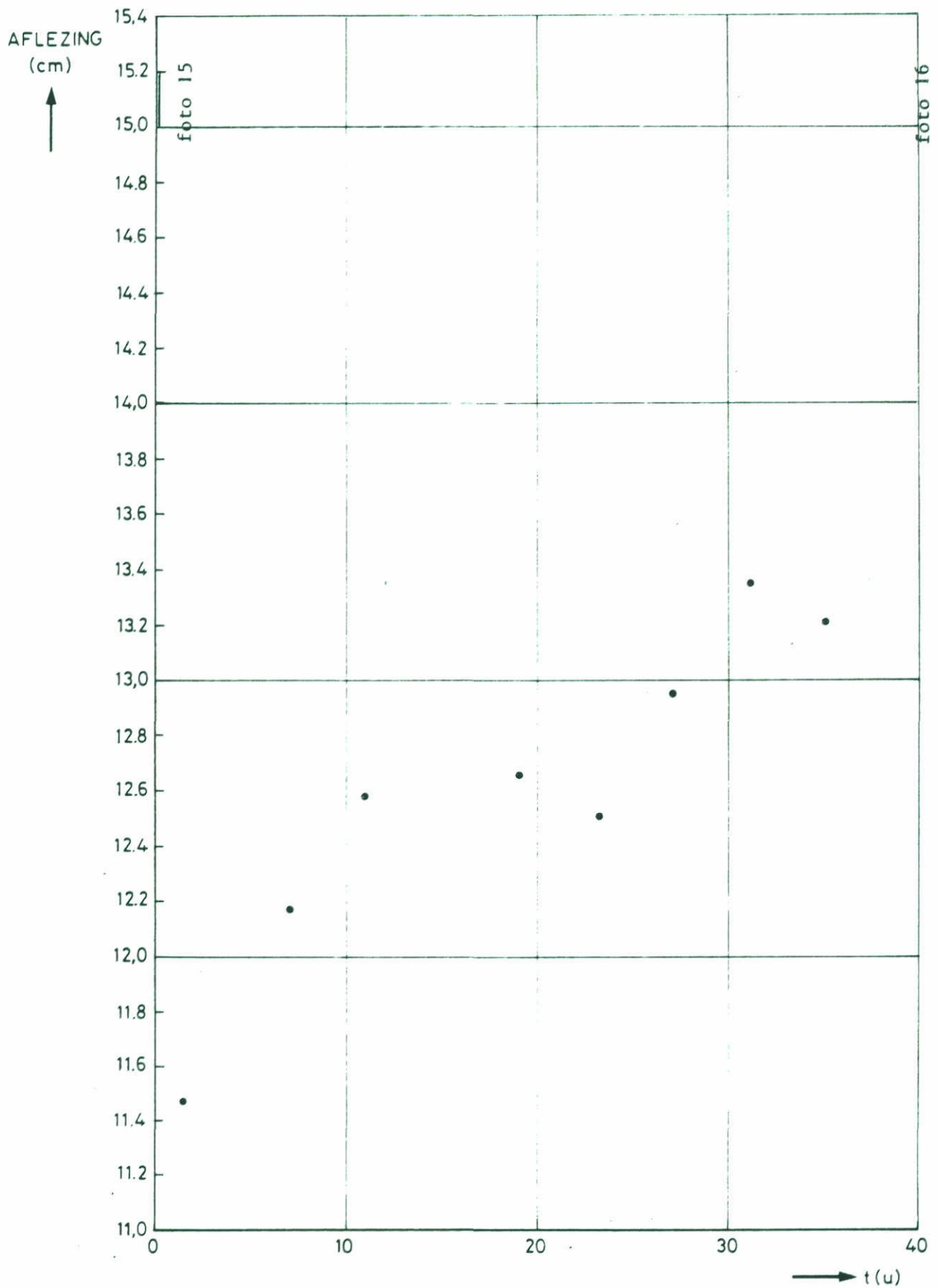
A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M1930-1014

FIG.14





SLJTAGE 2<sup>e</sup> PROEFSTUK, RAAI 4,0

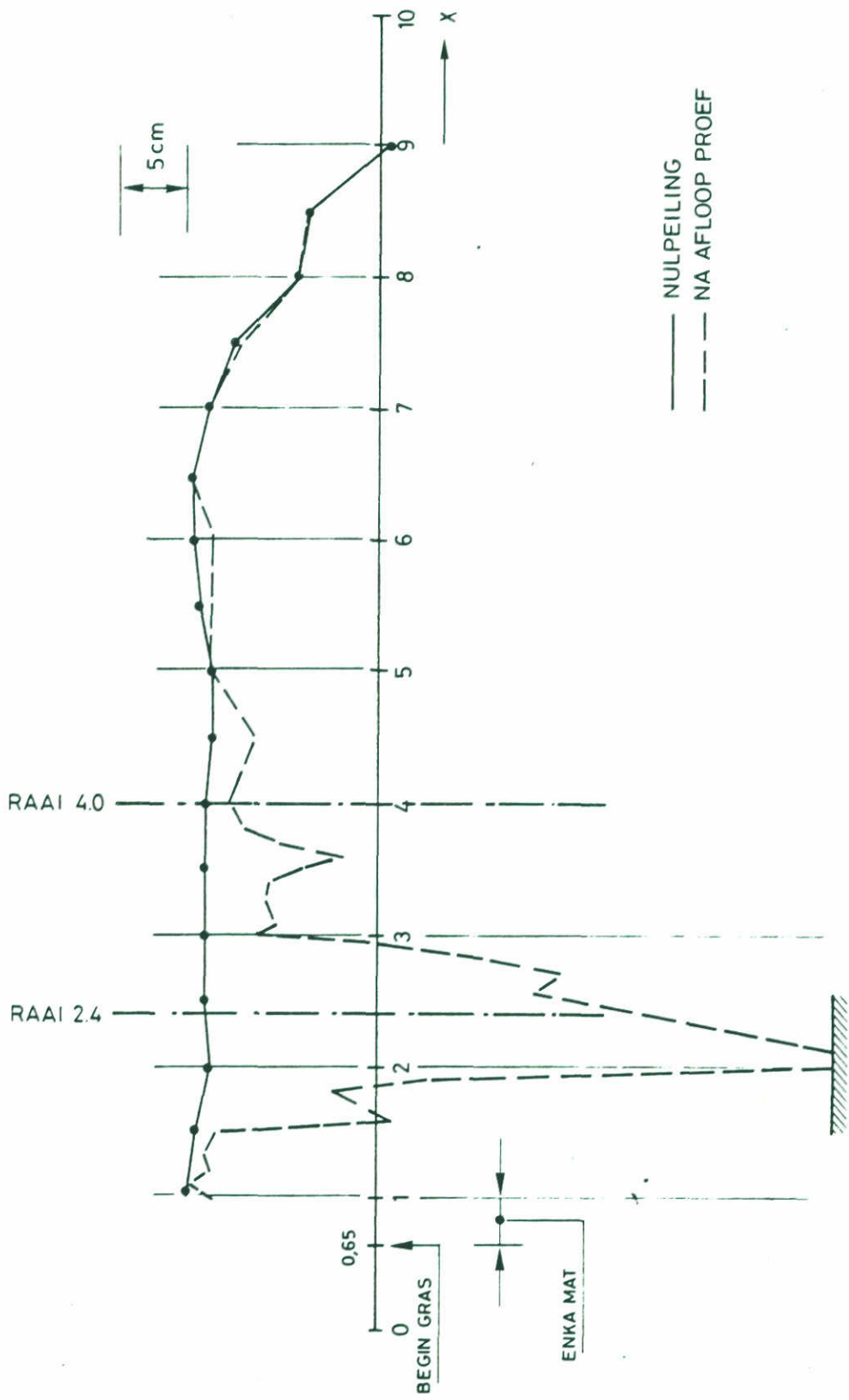
JB

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1930 - 1015

FIG.15



LANGSPROFIEL 2e PROEFSTUK  
VOOR EN NA DE PROEF

HOR. SCHAAL 1:50  
VERT. SCHAAL 1:5

A4

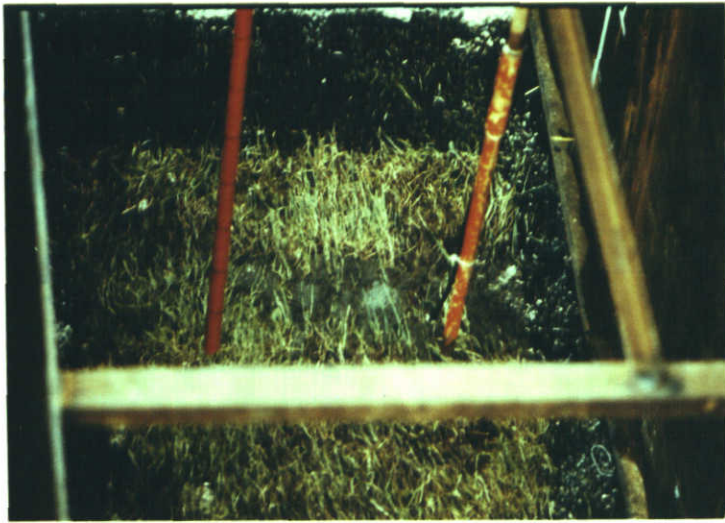


foto 1

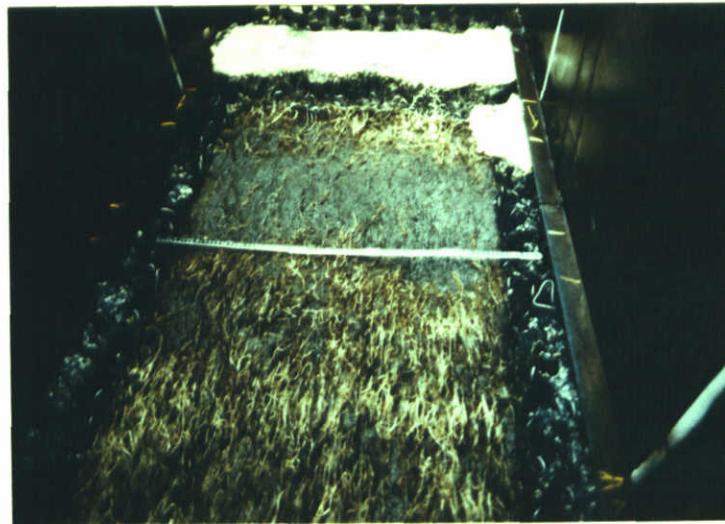


foto 2

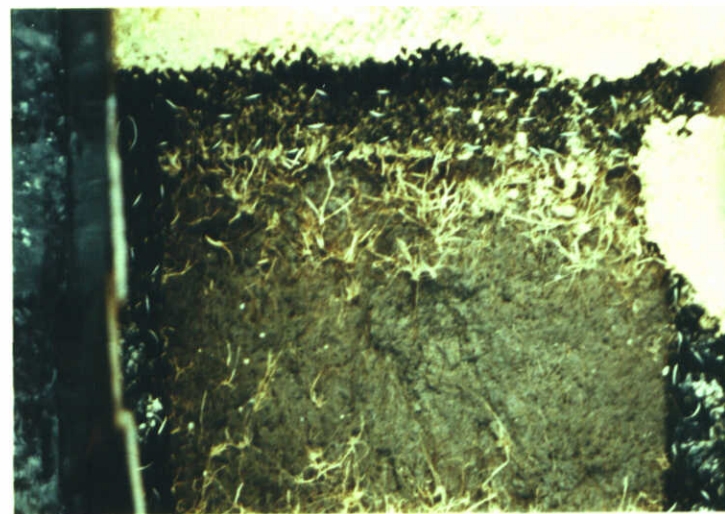


foto 3

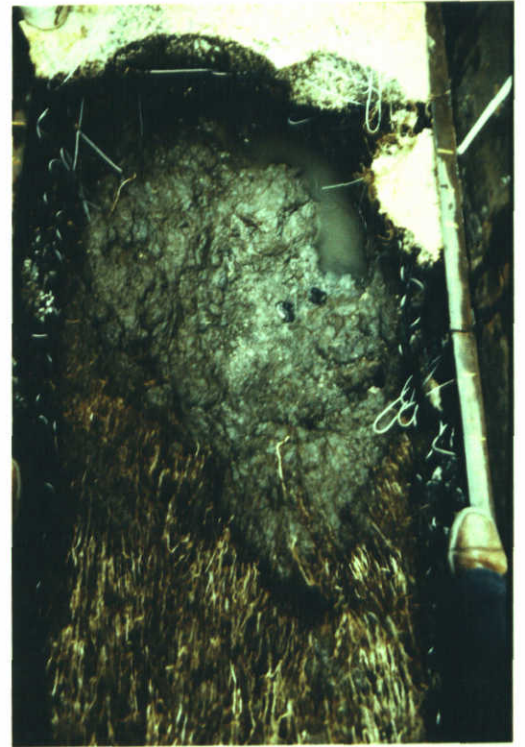


foto 4



foto 5



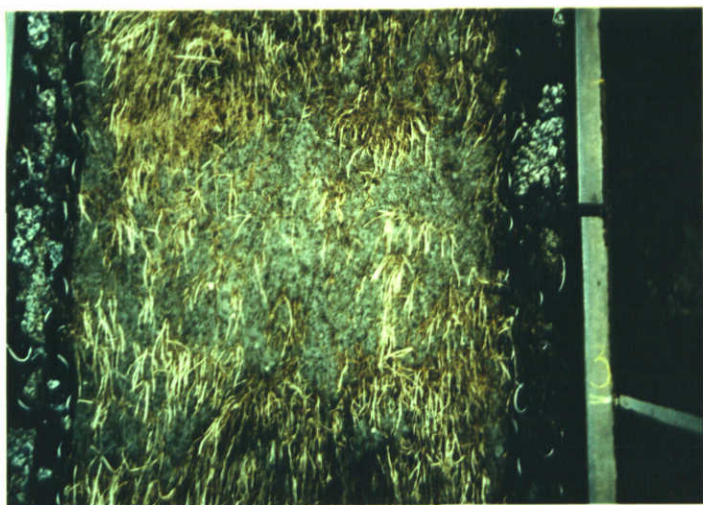


foto 6



foto 7



foto 8

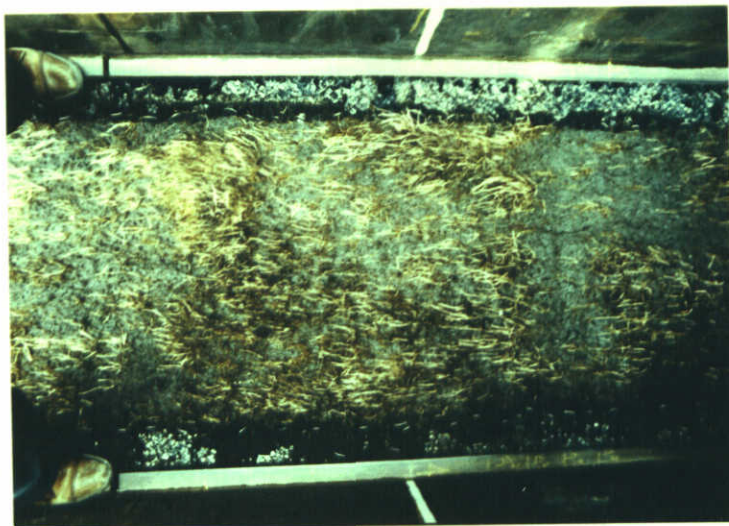


foto 9

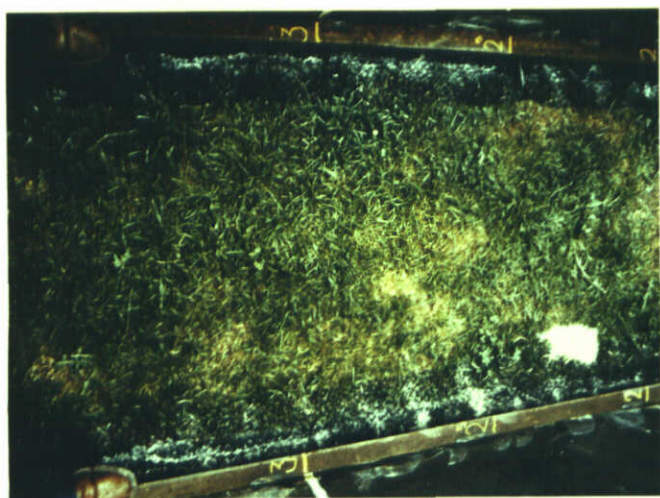


foto 10

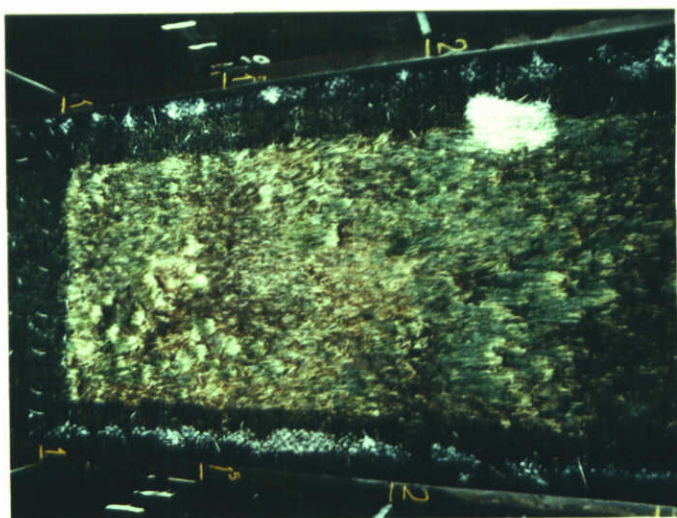


foto 11





foto 12

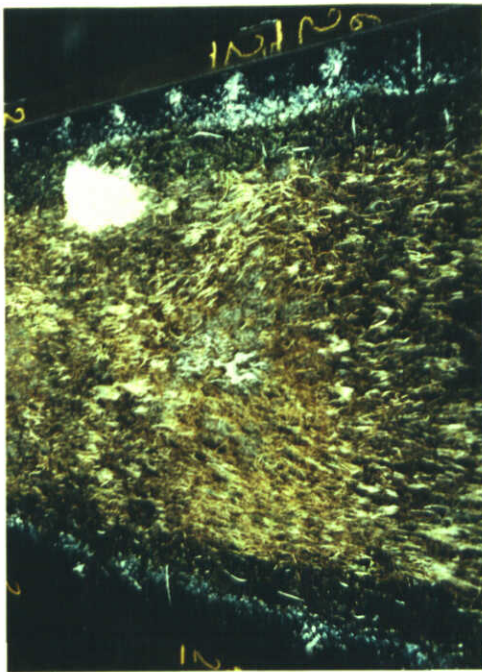


foto 13

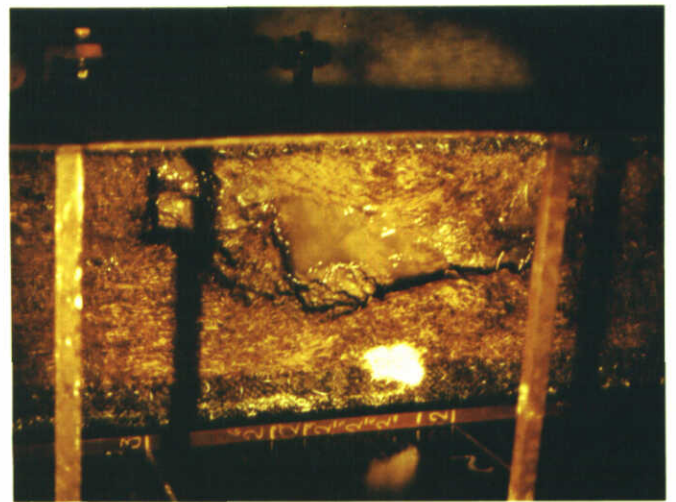


foto 14

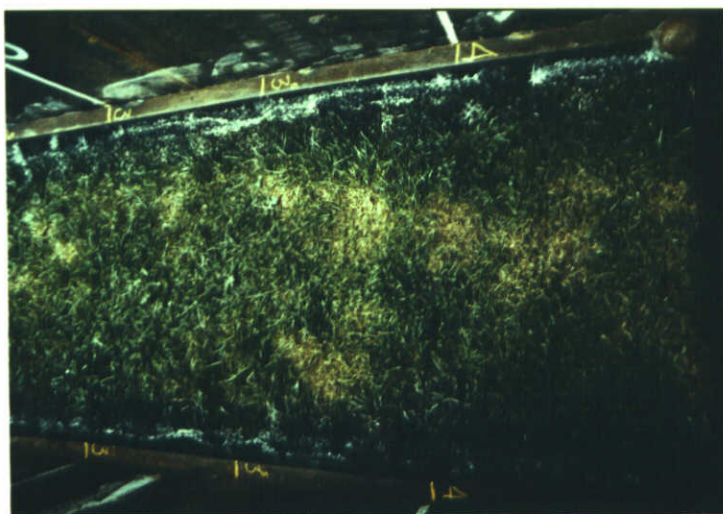


foto 15



foto 16

APPENDIX

Grondmechanische Aspecten



EROSIEPROEVEN  
"GRASMAT OP KLEI"

deel 1

Het onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN

datum : 84-06-25

kenmerk: CO-265412/11

Inhoud:

Inleiding  
Probleemstelling  
Uitgevoerd terreinwerk  
Uitgevoerd laboratoriumwerk  
Resultaten onderzoek  
Samenvatting en conclusies

Bijlagen:

bijlage B : algemene legenda grondaanduiding  
bijlage 1 : situatie winplaats proefstukken  
bijlage 1A : dwarsprofiel winplaats proefstukken  
bijlage 2 : boorgrafieken  
bijlage 2A : foto's boringen (niet bij alle exemplaren)  
bijlage 3 : overzicht proefresultaten  
bijlagen 4 en 5: resultaten celproeven  
bijlage 6 : verband korrelverdeling-Atterbergse grenzen  
bijlage 7 : proctorproef

### Inleiding

In een vergadering te Alphen d.d. 24 november 1982 werd opdracht verstrekt tot het begeleiden in grondmechanische zin van de uitvoering van twee oriënterende proeven betreffende de erosiebestendigheid van een met gras begroeide kleibekleding van een dijk.

De twee (grote) kleimonsters (ca. 9,0 x ca. 0,8 x ca. 0,5 m) zouden in de stroomgoot te Lith worden blootgesteld aan erosie t.g.v. gesimuleerde golfwerking. De kleimonsters waren reeds eerder (oktober 1982) in Noord-Groningen van een bestaande dijk (overgang Emmapolderdijk-Eemshavendijk) gestoken en inmiddels in Lith opgeslagen.

Afgesproken werd vooraf de klei (evenals de grasmat en beworteling) zo goed mogelijk te karakteriseren (fase 1).

Gedurende de erosieproef zou het proces van het ontstaan van schade worden beschreven, waarna na afloop van de proef op de betreffende grote monsters opnieuw onderzoek zou worden uitgevoerd (fase 2). Tenslotte werd overeengekomen dat de karakterisering vooraf zou plaatsvinden op monsters die d.m.v. Begemannboringen 66 mm, (uitgevoerd zo dicht mogelijk bij de locatie waar de grote monsters waren gewonnen) zouden moeten worden verkregen.

### Probleemstelling

Het doel van het onderzoek was de ontwikkeling van een beproevingsmethode waarmee de gevoeligheid voor watererosie van een met gras begroeide kleibekleding zou kunnen worden uitgetest. Naast het hydraulisch aspect is hierbij ook van belang welke grondmechanische parameters van invloed zijn op de erosie.

Uitgaande van de ten tijde van het meetprogramma bestaande inzichten t.a.v. erosie werd vastgesteld welke parameters bepaald zouden worden.



### Uitgevoerd terreinwerk

De opzet van dit onderzoek was om van weerszijden van de plaats waar de twee grote monsters waren gestoken 4 Begemannboringen 66 mm uit te voeren (zie fig. 1). De boringen zouden worden doorgezet tot in de zandkern (dikte kleibekleding ca. 0,80 m).

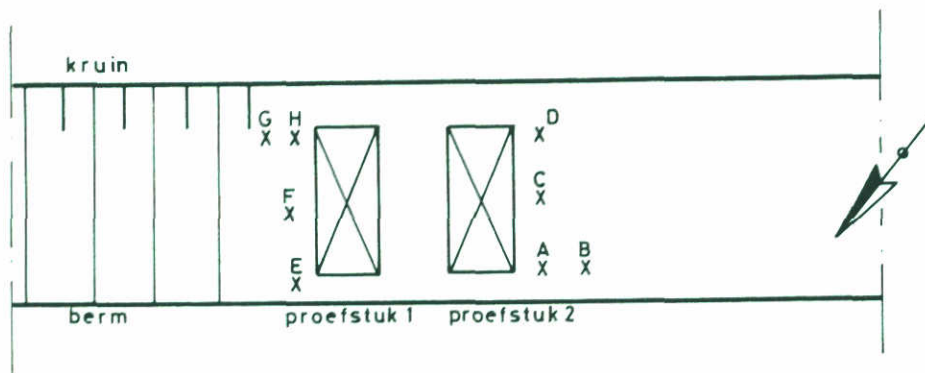


fig. 1

De boringen werden uitgevoerd in de periode 20/21 december 1982. Vanwege het feit dat de punten C en D niet bereikt konden worden (glad talud) werden uiteindelijk slechts 6 boringen gemaakt (A en B en E t/m H).

Op bijlage 1 is de juiste locatie van de proefstukken 1 en 2 aangegeven.

De resultaten van de boringen E, F en G zijn grafisch weergegeven op bijlage 2. Op bijlage 2A is een fotografische weergave te vinden van deze boringen.

### Uitgevoerd laboratoriumonderzoek

Uit de boringen E, F en G, dit zijn de boringen direct naast proefstuk 1, zijn diverse monsters getrokken voor verdere analyse.

De boringen B en H werden opgeslagen in de diepvries en na verloop van tijd opgestuurd naar het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren. Boring A werd opgeslagen en is in principe nog ter beschikking voor onderzoek.

De resultaten van alle uitgevoerde proeven zijn samengevat in twee tabellen op bijlage 3. De gebruikte monsternummering correspondeert met die naast de boorgrafieken op bijlage 2.

### Resultaten onderzoek

De eigenschappen van de grond welke van belang zijn op het verschijnsel erosie zijn zoals bekend talrijk. Behalve het vaststellen van alle, in de literatuur genoemde als van belang zijnde, parameters was het voornemen een aantal experimentele erosie proeven m.b.v. een centrifugeapparaat uit te voeren (weliswaar op de kale en niet op, met gras begroeide klei). Laatstgenoemde proeven konden vanwege het zandige karakter der monsters niet worden uitgevoerd.

De belangrijkste van de op erosie van invloed zijnde eigenschappen zijn de volgende:

fysische factoren	fysisch-chemische factoren	mineralogische factoren
volumieke massa plasticiteitsindex gran. samenstelling cohesie doorlatendheid	organisch stof geh. zoutgehalte ( $EC_e$ ) kationen bezetting kalkgehalte	soort kleimineraal

Voor wat betreft het begrip kationenbezetting en de daaruit af te leiden ESP en SAR-waarde zji verwezen naar blz. 10 van dit rapport.

Bij de bespreking van de proefresultaten zal achtereenvolgens bij genoemde aspecten worden stilgestaan. Over de mate waarin erosie van deze aspecten afhankelijk is, zijn geen kwantitatieve gegevens voorhanden. In kwalitatieve zin kan onderstaand schema van belang zijn.

eigenschap	invloed op de erosiegevoeligheid	weinig erosiegevoelig indien:
volumieke massa	gering/matig	hoog
plasticiteitsindex	matig	hoog
lutumgehalte	matig/gering	hoog
zandgehalte	groot	laag
cohesie	groot	hoog
doorlatendheid	matig groot	klein
organisch stofgehalte	matig groot	hoog
zoutconcentratie	groot	laag
ESP-waarde	groot	laag
SAR-waarde	groot	laag
kalkgehalte	groot	hoog
kleimineraal	groot	niet zwellend

#### Dichtheid, verdichtingsgraad

Van een tweetal monsters werd de droge dichtheid bepaald (zie bijlage 3), gemiddeld blijkt deze op  $1,38 \text{ t/m}^3$  te liggen, het aangetroffen watergehalte bij alle monsters bedroeg gemiddeld 25,0%.

Vergelijking met het resultaat van de proctorproef (op een mengsel van de monsters 18, 19, 20), zie bijlage 7 leest dat genoemde dichtheid ca. 84% M.P.D. bedraagt.

Indien het gemeten vochtgehalte van gemiddeld 25% zou overeenkomen met het inbrengvochtgehalte is een verdichtingsgraad bereikt van (zie bijlage 7) gemiddeld 90,8% P.D.

Indien het inbrengvochtgehalte gemiddeld 28,5% zou hebben bedragen (wij komen hierop nog terug) kan gesteld worden dat een verdichtingsgraad is bereikt van gemiddeld 96,5%. Geconcludeerd kan worden dat vermoedelijk een vrije goede tot goede verdichting van de klei heeft plaatsgevonden (een en ander onder de, op zich redelijke, aanname dat geen klink van de klei is opgetreden).



Conclusie dichtheid t.a.v. erosiegevoeligheid

Op grond van de geconstateerde dichtheid van de onderhavige monsters behoeft geen extra gevoeligheid t.a.v. de erosie te worden verwacht.

Consistentie grenzen

De gemiddelde vloeigrens ( $W_1$ ) van de onderzochte monsters werd vastgesteld op ca. 42%. De gemiddelde uitrolgrens ( $W_p$ ) op ca. 24%. Hieruit volgt een gemiddelde plasticiteitsindex  $I_p$  van ca. 18%. Op bijlage 6 is het verband tussen enige karakteristieke waarden uit het korrelverdelingsdiagram en genoemde  $W_1$  en  $W_p$  aangegeven.

Uit de literatuur volgt dat gronden met een  $I_p < 10$  in het algemeen gevoeliger voor erosie zijn dan die met  $I_p > 10$ . In het algemeen wordt echter de invloed van de consistentie-grenzen op de erosiegevoeligheid vrij zwak genoemd.

M.b.v. bovengenoemde consistentiegrenzen kan nog wel een uitspraak worden gedaan over het vermoedelijke watergehalte ( $W$ ) bij de verwerking destijds. Uitgaande van de uit de literatuur volgende regel (die overigens in de praktijk redelijk blijkt te kloppen):

$$I_c^* = \frac{W_1 - W}{I_p} > 0,75$$

kan worden berekend dat het watergehalte maximaal ca. 28,5% kan hebben bedragen.

\* Een goed criterium voor de verwerkbaarheid van klei vormt de zgn. consistentie index. Hierin wordt behalve met de vloeï- en uitrolgrens ook rekening gehouden met het vochtgehalte in situ, aldus:

$$I_c = \frac{W_1 - W}{W_1 - W_p} = \frac{W_1 - W}{I_p}$$

#### Conclusie t.a.v. erosiegevoeligheid

Op grond van de geconstateerde consistentiegrenzen van de onderhavige klei heeft geen extra hoge gevoeligheid t.a.v. erosie te worden verwacht. Een uitzondering kan worden gevormd door plaatselijke zanderige insluitingen (zie b.v. monster 19A op bijlage 3).

#### Krimp

Krimp is in die zin van belang voor erosie dat scheuren die in droge perioden kunnen ontstaan een gemakkelijk aangrijpingspunt voor het water bieden.

Een maat voor de omvang van de krimp wordt verkregen door het verschil in watergehalte in het werk na verdichten en de krimpgrens van de grond.

De krimpgrens werd vastgesteld (zie bijlage 3) op gemiddeld ca. 23% (watergehalte in gewichtsprocenten van de droge stof).

Gezien het betrekkelijk geringe verschil met het vochtgehalte bij verwerking (orde 5%), kan gesteld worden dat gesproken kan worden van een weinig krimpgevoelige klei.

#### Conclusie krimp t.a.v. erosiegevoeligheid

De onderhavige klei kan als niet krimpgevoelig worden bestempeld, op scheurvorming t.g.v. uitdroging hoeft niet te worden gerekend. In die zin heeft geen extra gevoeligheid t.a.v. erosie te worden gevreesd.

#### Het lutum- en zandgehalte

##### Lutum:

Gemiddeld wordt op grond van de proefresultaten een lutumgehalte (deeltjes  $< 2 \mu\text{m}$ ) berekend van 18,4% (gewichtsprocenten van de droge stof). Echter (dit blijkt ook uit de duidelijke gelaagdheid in het materiaal) komt in dit lutumgehalte een grote spreiding voor. De gemeten extreme bedragen 15,5 resp. 28%.

Bewust werden in boring F twee monsters aangewezen, voor de bepaling van het korrelverdelingsdiagram, waarvan verwacht mocht worden dat aanmerkelijke verschillen zouden blijken.

Uit de resultaten die op bijlage 3 gepresenteerd zijn valt af te leiden dat het visueel als minst schraal bestempelde monster een lutumgehalte bezit van 28%, en het schraalste monster een lutumgehalte van 17%.

Uit e.e.a. blijkt dat de, tijdens het ontgraven van de "moten" ontstane indruk, dat de klei veel schraler zou zijn dan b.v. in Zeeland gebruikelijk is, zonder meer wordt bevestigd.

Dat dit lage lutumgehalte vermoedelijk geen uitzondering is in het noorden des lands moge blijken uit het feit dat wij uit gesprekken met Waterschapsfunctionarissen uit Friesland hebben begrepen dat een lutumpercentage van 15-20% normaal is te noemen.

Het is ons inziens van belang na te gaan in hoeverre deze schrale klei nog voldoet aan eisen die uit het oogpunt van een vereiste waterdichtheid voldoen. Aan de klei die als bekledingslag op een zandkern wordt toegepast behoren immers hogere eisen aan de dichtheid te worden gesteld dan aan de klei die in een geheel uit klei opgebouwde dijk wordt verwerkt. In hoeverre destijds het overgaan van een geheel uit klei opgebouwd dijklichaam naar een met klei beklede zandkern, tot een aanpassing van de kleikernen heeft geleid is ons niet bekend.

Terzijde zij hier opgemerkt dat elders (rivierengebied, Holland en Zeeland)  $20\% < 2 \mu\text{m}$  als een absolute ondergrens wordt gezien voor bekledingsklei.

Daar vroeger i.p.v. met het lutumpercentage vaak gewerkt werd met het "percentage afslibbaar", hiermee werd bedoeld deeltjes  $< 16 \mu\text{m}$ , werd ook deze fractie bepaald (zie bijlage 3).

Het gemiddelde percentage wordt berekend op 34,6%, de extremen zijn 27 respectievelijk 51%.



De vaak gehanteerde vuistregel dat voor deze soort klei de verhouding  $16 \mu\text{m} : 2 \mu\text{m}$  gelijk is aan 1,4 à 1,6 blijkt hier, zoals valt te berekenen, niet op te gaan. Hoewel met een dergelijke vuistregel geen al te harde conclusies mogen worden getrokken blijkt hieruit dat het materiaal niet als komend uit een homogene afzetting kan worden beschouwd.

Als zodanig worden de visuele indrukken zeker bevestigd.

#### Zand:

Hoewel er geen vaste verhouding bestaat tussen het lutumgehalte en het zandgehalte in een klei zal het duidelijk zijn dat een klei met een laag lutumgehalte i.h.a. een hoog zandgehalte bezit en omgekeerd.

Echter daar de fractie groter dan  $2 \mu\text{m}$ , deels uit silt ( $2-63 \mu\text{m}$ ) en deels uit zand ( $> 63 \mu\text{m}$ ) bestaat en gezien het feit dat beide groepen andere eigenschappen hebben, bestaat tegenwoordig bij het keuren van klei toch de tendens om ook aan het zandgehalte eisen te stellen. Ter toetsing werd dan ook in het onderhavige geval het zandgehalte vastgesteld. Gemiddeld werd dit gehalte vastgesteld op 44,7%, met extremen van 23,6 resp. 57,3%.

Hoewel nog geen uniforme eisen t.a.v. het zandgehalte bestaan kan wel worden gesteld dat ca. 45% zeker aan de hoge kant is.

#### Conclusie lutum- en zandgehalte t.a.v erosiegevoeligheid

Op grond van het feit dat is geconstateerd dat van een schrale klei sprake is moet verwacht worden dat de klei (althans de kale klei) nogal erosiegevoelig zal blijken. Deze verwachting wordt nog verstrekt door het niet homogene karakter van de klei.

#### De schuifweerstand

Een tweetal celproeven werd uitgevoerd. De resultaten in de vorm van Mohrse cirkels zijn weergegeven op de bijlagen 4 en 5. Het blijkt dat een hoek van inwendige wrijving ( $\phi$ ) werd gemeten van  $27$  à  $28^\circ$ . Deze  $\phi$  is voor klei aan de hoge kant.

Ter indicatie in kleimonsters van dijken in Zuid-Holland werd een gemiddelde  $\phi$  vastgesteld van ca.  $22^\circ$ . De cohesie daarentegen werd laag bevonden  $1,3-1,7 \text{ kN/m}^2$  tegen gemiddeld ca.  $8 \text{ kN/m}^2$  in kleimonsters voor Hollandse dijken. Ook in de resultaten van de celproeven komt het zandige karakter van de klei dus tot uitdrukking. Het was de bedoeling dat de monsters waarvan de schuifweerstand was bepaald, vanuit het celapparaat in de centrifuge zouden worden geplaatst voor het doen van erosieproeven. Echter het materiaal was dermate zandig dat plaatsing in de centrifuge niet mogelijk bleek.

#### Conclusie schuifweerstand t.a.v. erosie

Gezien de geringe cohesie in het materiaal moet verwacht worden dat de weerstand van de kale klei tegen erosie gering zal blijken.

#### De waterdoorlatendheid

Op bijlage 3 staat in de overzichtstabel het resultaat van 2 doorlatendheidsproeven. De doorlatendheid werd bepaald (verticaal) bij drie belastingstrappen. Hierbij komt de eerste belastingstrap overeen met de spanningstoestand van het monster in situ. Het blijkt dat hierbij een waterdoorlatendheidscoëfficiënt (k-waarde) werd bepaald van ca.  $3,5 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ . Ter vergelijking dit is in de orde van 100 à 1000 maal doorlatender dan een gebruikelijke gewenste ondergrens. Een andere vergelijking: voor zand in dijken wordt wel gesteld dat een k-waarde wordt aanbevolen groter dan  $1,5 \times 10^{-6} \text{ m/sec}^1$ ). Hieraan zou de onderhavige klei derhalve voldoen!

De monsters waarop de doorlatendheidsproef werd uitgevoerd kunnen achteraf als redelijk representatief worden gezien. Hoewel bij de keuze van het monster uit boring E werd geprobeerd het "zand" element te benadrukken en bij het monster uit boring G het "klei"element, liggen de resultaten in dezelfde orde van grootte.

<sup>1</sup>) LGM-rapport: CO-5655/32.

Deze opmerkingen moeten ook worden gezien in het licht van onze veronderstelling op blz. 7 nl. dat dit materiaal voor een geheel uit klei opgebouwd dijklichaam wellicht op grond van ervaring acceptabel is, maar dat een bekledingslaag in principe meer lutum zou moeten bevatten. Terdege zal moeten worden nagegaan of een dergelijk waterdoorlatende bekledingslaag wel aan de uitgangspunten van het ontwerp voldoet (ligging freatische lijn in de dijk bij stormvloed!).

#### Conclusie waterdoorlatendheid t.a.v. erosiegevoeligheid

Ook op grond van de gemeten doorlatendheden van de monsters moet geconcludeerd worden dat de kale klei betrekkelijk weinig weerstand aan erosie zal kunnen bieden.

#### Het gehalte organisch stof

Dit gehalte werd gemiddeld vastgesteld op 3,4% (extremen 2,3 resp. 3,8%). T.a.v. dit percentage wordt vaak de eis gesteld dat het niet meer mag bedragen dan 3%. Een hoger gehalte zou ondermeer de krimp in nadelige zin beïnvloeden. Daar de overschrijding met 0,4% gering is te noemen, kan gesteld worden dat qua gehalte organisch materiaal van een redelijk representatieve klei kan worden gesproken. Een duidelijke relatie met erosiegevoeligheid wordt vanuit de literatuur niet gemeld.

#### Conclusie gehalte organische stof t.a.v. erosiegevoeligheid

De uitkomsten van de bepalingen naar het organisch stofgehalte zijn niet zodanig dat hiermee een duidelijke verwachting t.a.v. een verhoogde erosiegevoeligheid kan worden uitgesproken.

#### Zout-zoet problematiek

Vanwege de in het algemeen aanwezige onbekendheid met deze materie zal in het onderstaande eerst in het kort deze problematiek worden geschetst.



Indien een onvoldoende ontzilte mariene klei wordt gebruikt als bekledingsmateriaal dient er rekening mee te worden gehouden dat de klei potentieel gevoeliger kan zijn voor erosie. Zonder al te diep in te gaan op de theorie daaromtrent zij hier het volgende gezegd:

De stabiliteit van het kleimateriaal wordt mede bepaald door de onderlinge verhouding tussen de aan het adsorbtiecomplex (klei-humus) gebonden kationen (Ca, Mg, K en Na) en de zoutconcentratie in het poriënwater. In vers drooggevallen specie bestaat er onderling evenwicht, evenals in een oude grond. Bij materiaal dat zich in een ontziltingsfase bevindt, daalt de zoutconcentratie in het poriënwater, als gevolg hiervan diffunderen ionen van het adsorbtiecomplex naar het poriënwater. De éénwaardige K- en Na-ionen diffunderen het snelst, de Mg langzamer. De vrijgekomen plaatsen aan het complex worden ingenomen door Ca-ionen uit het bodemvocht. De ontzilting kan onder zekere omstandigheden echter sneller verlopen dan de toename van Ca-ionen aan het complex. Indien nu de zoutconcentratie in het poriënwater al sterk gedaald is, terwijl het percentage Na aan het complex nog vrij hoog is, is de onderlinge binding van de bodemdeeltjes slechts zwak.

Door mechanische invloeden (b.v. golfaanval) in dit stadium kan de structuur van de grond verloren gaan.

De zogenaamde ESP-waarde (Exchangeble Sodium Percentage) geeft de verhouding weer van de aan het complex aanwezige Na-ionen ten opzichte van de totale bezetting,  $\frac{Na}{CEC}$ , waarin CEC staat voor Cation Exchange Capacity. De zogenaamde SAR-waarde (Sodium Adsorption Ratio) geeft een maat in het poriënwater aanwezige éénwaardige ionen

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{0,5 (Ca^{++} + Mg^{++})}}$$

Hoewel de hierboven aangegeven problematiek pas sinds enige tijd de nodige aandacht krijgt en er derhalve nog geen eenduidige normen voor een goede beoordeling voorhanden zijn, kan in het onderhavige geval wel gezegd worden dat niet verwacht mag worden dat t.g.v. een te snel uitgelopen grond extra problemen t.a.v. de erosiegevoeligheid moeten worden verwacht.

Conclusie zout-zoet problematiek t.a.v. erosiegevoeligheid

Gezien het feit dat de klei voldoende is ontzilt en de belasting in de stroomgoot plaats vindt met zoet water behoefte vanwege de zout-zoet problematiek géén extra gevoeligheid t.a.v. erosie te worden verwacht.

Samenvatting en conclusies

Bij het vooronderzoek naar de eigenschappen van de klei die zou moeten worden beproefd in de stroomgoot te Alphen/Lith is het volgende gebleken:

- De onderzochte klei blijkt zeer schraal te zijn. Veel schraler dan elders bij dijken (b.v. Holland en Zeeland) gebruikelijk is. Echter in het noorden van het land (Groningen en Friesland) worden dergelijke kleien naar verluid normaal toegepast.
- Verder was zeer opvallend de heterogene samenstelling in de kleilaag, de gemaakte foto's van de monsters laten duidelijke zandlagen zien.
- De verwachting is dat de klei, althans de kale klei niet of nauwelijks bestand zal zijn tegen erosie.
- Niet rechtstreeks van belang voor dit onderzoek maar in algemene zin o.i. zeer belangrijk is het feit dat een zeer grote waterdoorlatendheid van de bekledingslaag werd vastgesteld.

Men kan zich afvragen of hiermee bij het maken van het ontwerp (een zandkern met een kleibekleding) voldoende rekening is c.q. wordt gehouden.

Vertrouwend u hiermee van dienst te zijn geweest, verblijven wij,

Opgesteld door:



ing. J. Dekker

Hoogachtend,

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA



ir. G.W. Beetstra



Foto's Tekeningen Beschrijving

O		Opgebrachte grond	} Hoedanigheid is waar mogelijk aangegeven
T		Teelaarde, zwarte gr.	
Lu		Lutum d.i. uitsluitend...	fractie 0 - 2 µm
K		Klei	
M		Mergel	
L		Leem	
Lä		Löss	
S		Silt	fracties 2 - 60 µm
Z		Zand	60 - 200 µm 200 - 600 µm 600 - 2000 µm
G		Grind	2 - 6 mm 6 - 20 mm 20 - 60 mm
R		Stenen, keien, (R)otsblokken	> 60 mm
IJ		(land)-ijsafzetsel m.n. keileem (keikle)	
P		Potklei	
F		Flugsand (of andere vulkanische producten)	
Pr		Plantenresten	
H		Humus	
V		Veen	
N		Niet nader benoemde (humeuze) slappe grond, modder, e.d.	
A		As, sintels	
Ho		Hout	
B		Brokken, baksteen, puin, e.d.	
Co		Concreties	
C		Schelpen	
W		Water	
X		... laagje(s)	
Y		... stukje(s), ook ... lensjes, ... nestjes, enz.	

Samenhangende grond:		Niet samenhangende grond:	
1 slap		1 fijn	
2 middelmatig slap of stijf		2 middelkorrelig	
3 stijf		3 grof	

Boorkolommen

Hoofbestanddelen met hoofdletters; bijbestanddelen met kleine letters nader onderscheiden aldus:  
 (...) voor zwak ... houdend of ... ig,  
 ... voor matig ... houdend of ... ig en  
 .. voor sterk ... houdend of ... ig.  
 ... houdend indien bepaald d.m.v. fractieanalyse  
 ... ig bij alle andere wijzen van bepaling

Indeling van de gelaagtheid

(...) met weinig ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz.  
 .. met matig of ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz.  
 ... met veel ... laagjes of ... stukjes, ook ... lensjes, ... nestjes, enz.

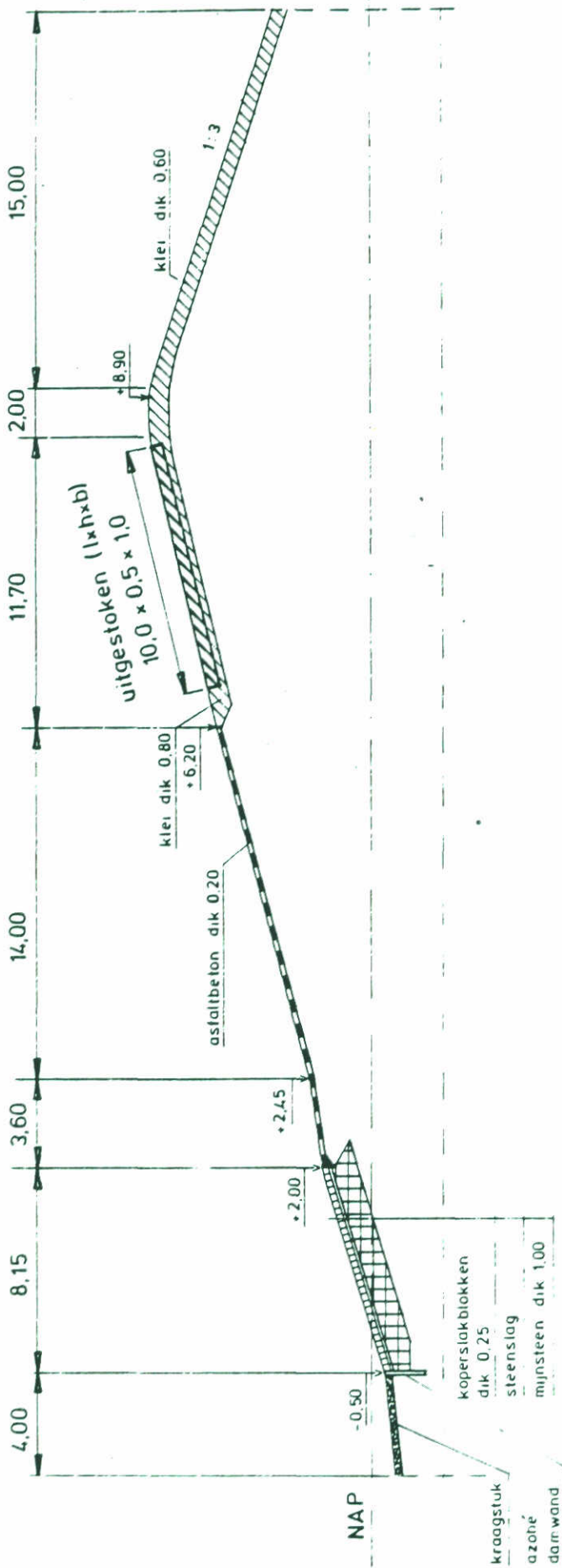
Bijbestanddeel	Precisie:	
	geschat	
	met water geschud	
	fractieanalyse	
Laagscheiding	Precisie:	
	onzeker	
	benaderd	
	zeker	
	Laagjes en/of stukjes	
	Hoofbestanddeel	
	bijbestanddeel	
Z1 (k)		Zand, fijn, zwak kleilig met matig en / of veel Kleilaagjes
KX		Klei, stijf, fijn zandig met weinig Veenstukjes
Z1 (KX)		Zand, fijn, sterk silthoudend met weinig Kleilaagjes en met matig en / of veel Veenstukjes
Z1 (KX) VY		Grind, fijn, Zand, grof
KX ZX		Afwisselend Zand- en Kleilaagjes
KY		Kleistukje (plaatselijk)
VX		Veenlaagje (plaatselijk)

	Ongeroid monster
	Geroid monster
	Verloren monster, leeg, enz.
	Kalkvrij
	Met weinig kalk
	Met veel kalk
	P, massa per volume in t/m³

<p><b>laboratorium voor grondmechanica delft</b>          telefoon: (015) - 56 92 23          telex: 33326 solab nl</p>	d.d.	get.
	<p>EROSIEPROEVEN "GRAS MAT OP KLEI"          VOORONDERZOEK</p>	
<p>ALGEMENE LEGENDA GRONDAANDUIDING</p>	CO-2654 10	get.
	BIJL. B	form. A4







schaal 1:250



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon (015) - 56 92 23

teleex 33326 solab nl

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
VOORONDERZOEK

dd

get

CO-265410

gec

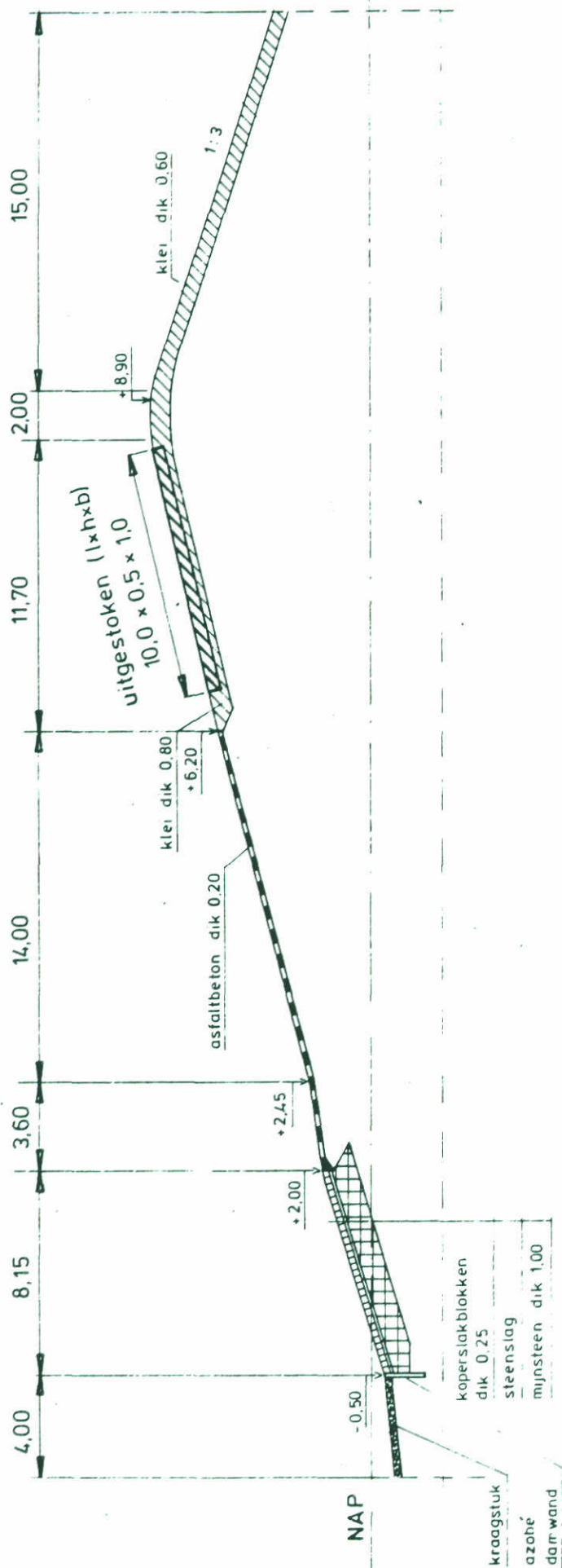
DWARSPROFIEL WINPLAATS PROEFSTUKKEN

BIJL. 1 A

form

A 4





schaal 1:250



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 56 92 23

telex 33326 solab nl

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
VOORONDERZOEK

CO-265410

DWARSPROFIEL WINPLAATS PROEFSTUKKEN

BIJL. 1 A

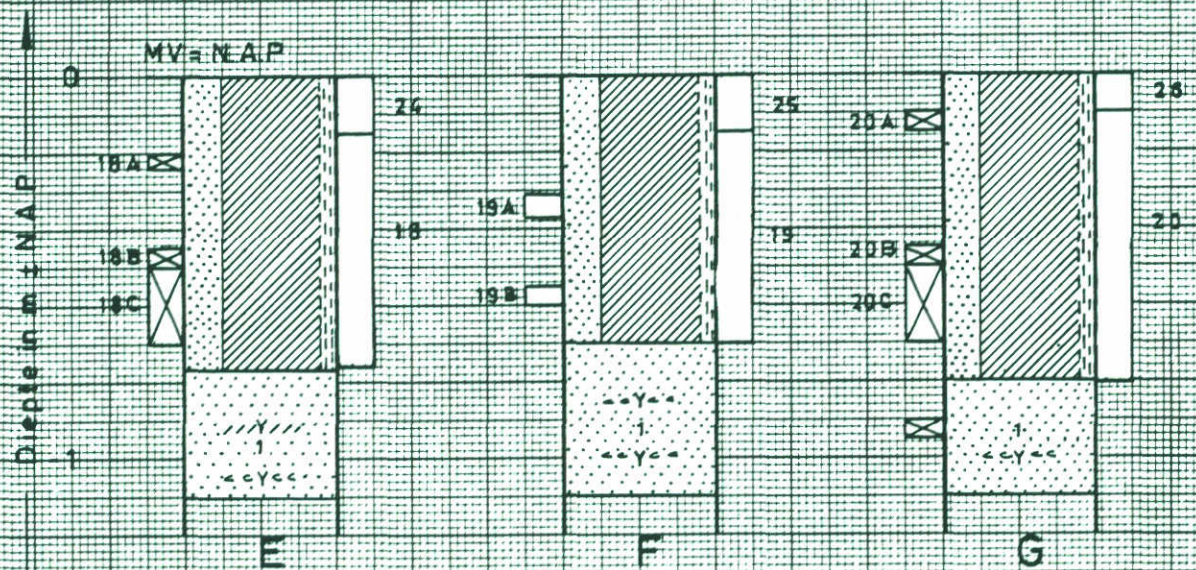
form  
A 4

d d

get

gec





Hoogteschaal: 1m boring = 5cm op tekening

LEGENDA ZIE BIJL B



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 56 92 23

telex: 33326 solab nl

JAN. 83

get.  
EB

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
VOORONDERZOEK NABIJ PROEFSTUK 1

CO-26 54 10

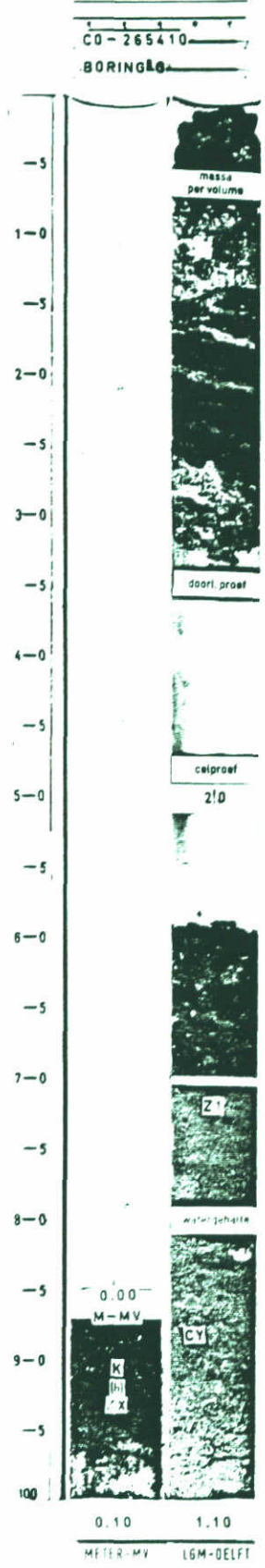
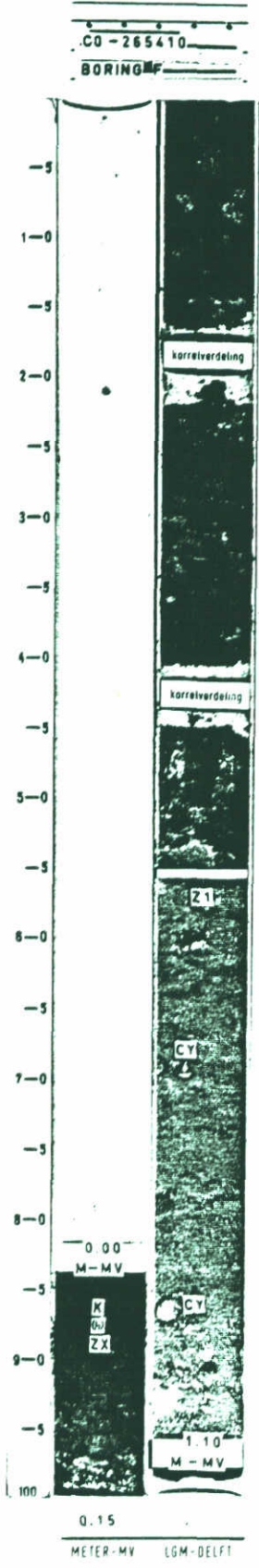
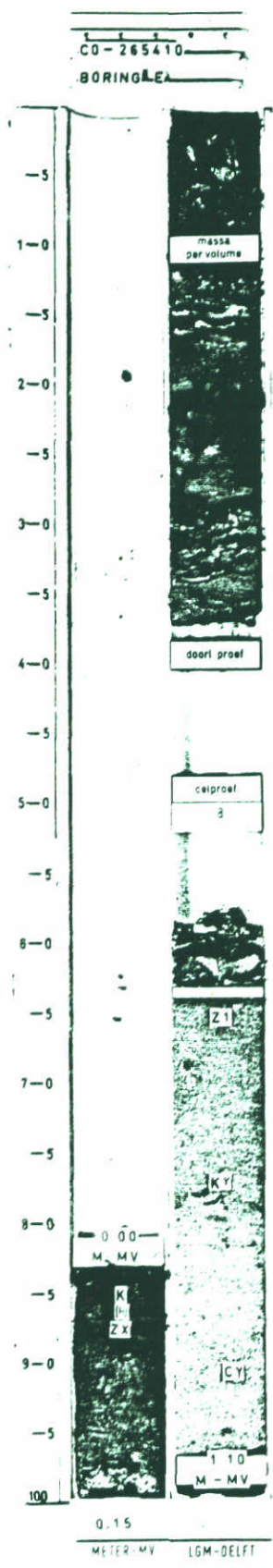
gec.  
✓

BEGEMANNBORING: E, F en G Ø 66mm

BIJL. 2

form.  
A<sub>4</sub>





LEGENDA ZIE BIJL. B



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 56 92 23

teleex: 38234 solab nl

d.d. JAN. 83

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
VOORONDERZOEK NABIJ PROEFSTUK 1  
FOTO BORINGEN E, F en G

CO-26 54 10

gec.

BIJL. 2A

form. A<sub>4</sub>

Boring	Monster	γ <sub>n</sub> t/m <sup>3</sup>	W % v.d. t/m <sup>3</sup> dr. stof	γ <sub>dr.</sub> t/m <sup>3</sup>	% van de droge stof			W <sub>l</sub> % v.d. droge stof	W <sub>p</sub> %	W <sub>k</sub> %	φ	c KN/m <sup>2</sup>	k <sub>1</sub>	k <sub>2</sub> m/sec	k <sub>3</sub>	Δ1	Δ2	Δ3
					<2μ	<16μ	>63μ											
E	24		25,8		15,5	30	53,1	37,0	n.t.b.	23,3								
	18		1,76	25,8	20,0	33	47,1	39,7	22,4	22,1								
	18A		1,76	25,8	1,40													
	18B		1,67	22,3	1,37													
	18C*		1,67	22,3	1,37													
F	19A				17,0	27	55,6	32,9	21,1	25,2								
	19B				28,0	51	23,6	59,3	29,7	26,2								
	26				16,0	28	57,3	36,1	n.t.b.	22,9								
	20				18,0	38	38,8	51,4	26,1	24,2								
G	20A		1,68	22,0	1,38													
	20B																	
	20C*		1,53?	38,6?	1,10?													
	20D(zandkern)																	

γ<sub>n</sub> = natte volumieke massa

W = watergehalte

γ<sub>dr</sub> = droge volumieke massa

W<sub>l</sub> = vloerigrens

W<sub>p</sub> = uitrolgrens

W<sub>k</sub> = kringrens

φ = hoek van inwendige wrijving

c = cohesie

k<sub>1</sub>, 2, 3 = waterdoorlatendheidsfactor (na 1, 2 en 3 belastingen)

Δ1, 2, 3 = compressibiliteit (,, ,)

Boring	Monster	EC m <sub>s</sub> /cm	Kationen bezetting meq/100 gr.				ESP	SAR	pH	
			K	Na	Ca	Mg			(H2O)	(H2O+KCl)
E	18	0,2	0,7	0,6	8,8	2,5	4,76	3,36	7,9	7,2
G	20	0,4	1,0	0,7	14,4	3,1	3,65	2,53	7,5	7,1

EC = geleidingsvermogen

ESP = Exchangeable Sodium Percentage

SAR = Sodium Adsorption Ratio

\* te zandig voor erosieproef.



**laboratorium voor grondmechanica. delft**  
 telefoon (015) 569223  
 telefax 33226 5048 nb

**EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"**

CO-265410

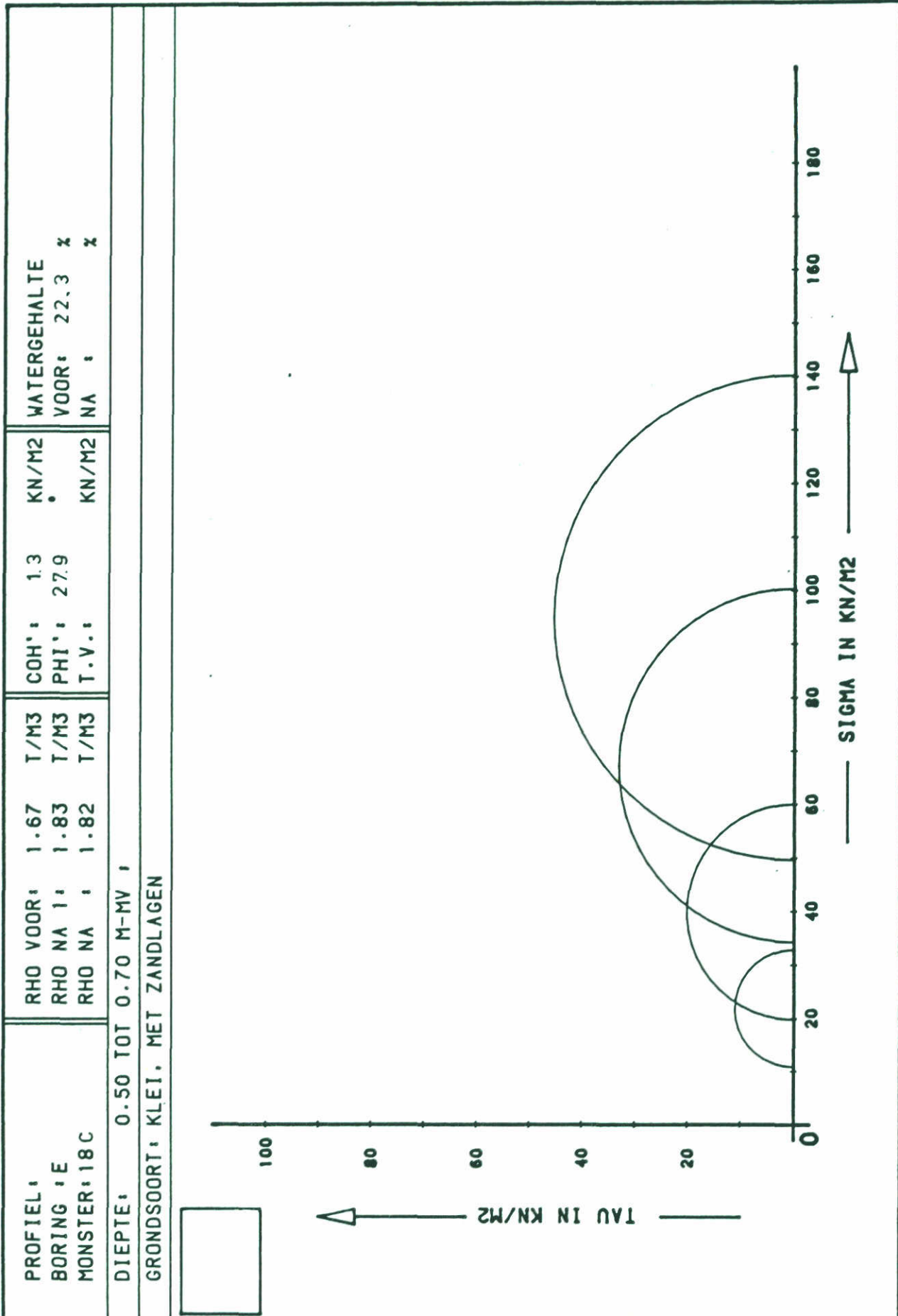
**OVERZICHT LABORATORIUMPROEVEN VOORONDERZOEK**

BIJL. 3

30<sup>m</sup>

40



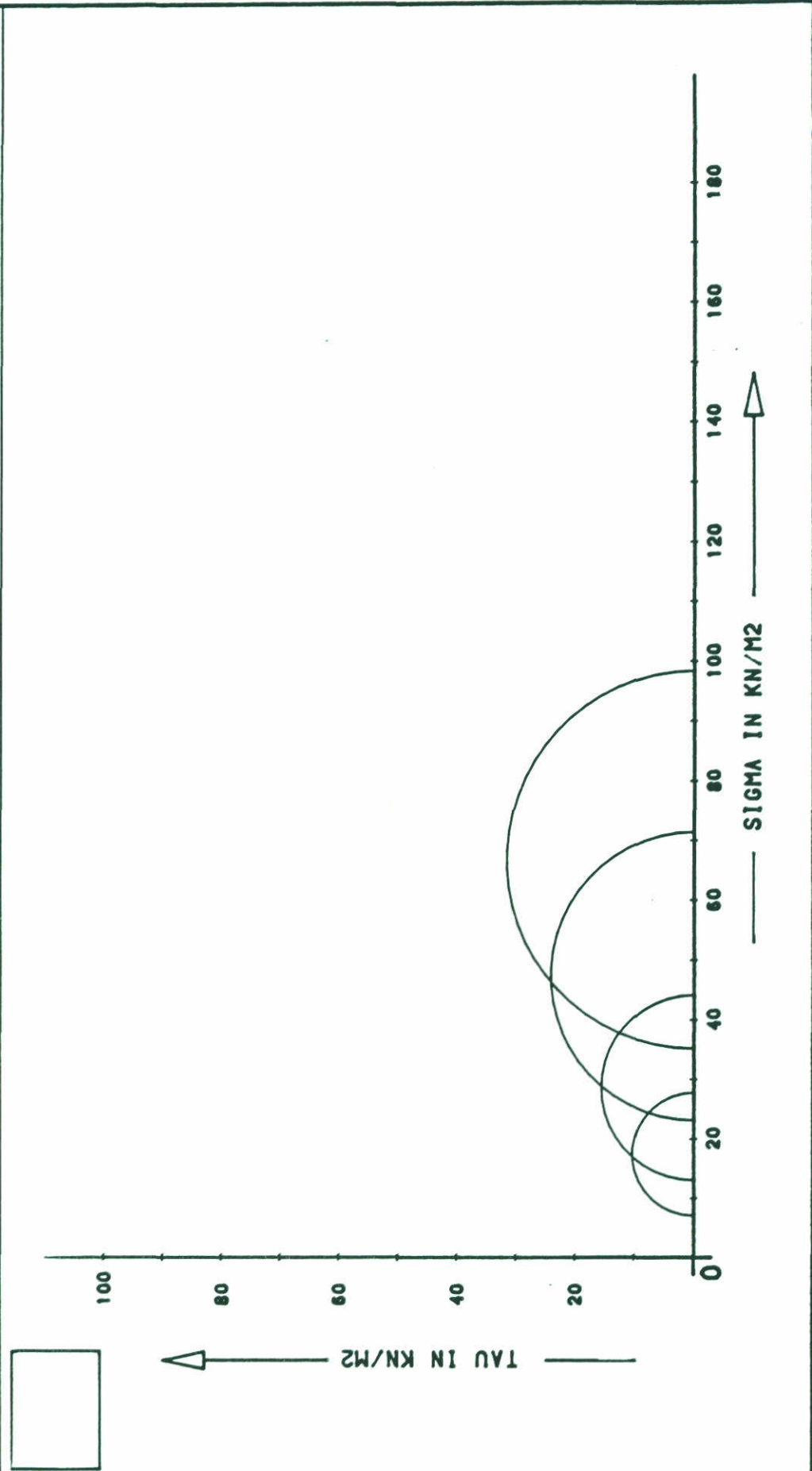


<b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> <small>telefoon (015) - 56 92 23      telex 33326 solab nl</small> EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI" VOORONDERZOEK CELPROEF	83-01-19	<small>get.</small> EB
	BIJL. 4	<small>form</small> A 4

BORING: E      MONSTER: 18

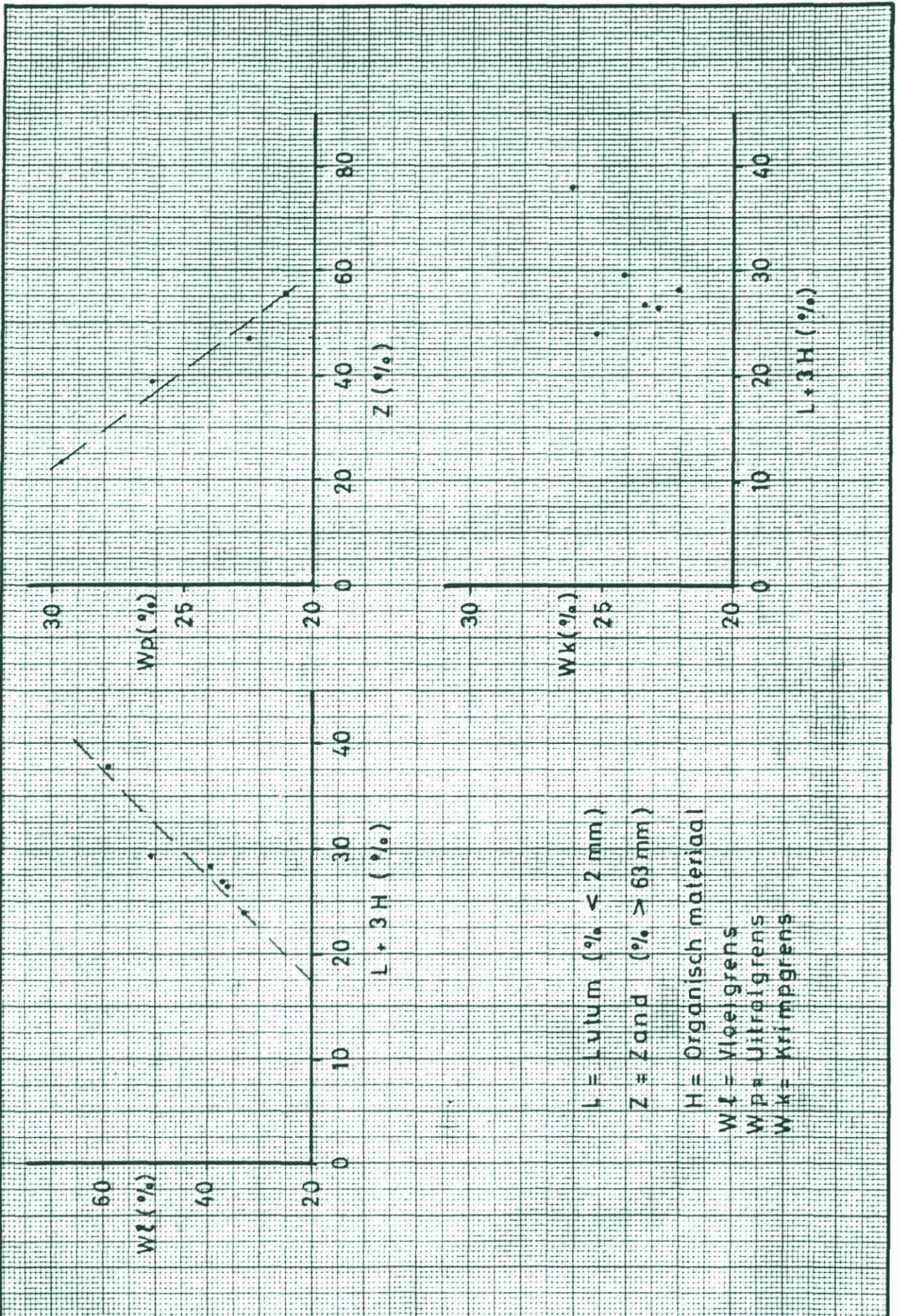
PROFIEL:	RHO VOOR: 1.53	T/M3	COH': 2.7	KN/M2	WATERGEHALTE
BORING: G	RHO NA 1: 1.69	T/M3	PHI': 27.4	•	VOOR: 38.6 %
MONSTER: 20 C	RHO NA : 1.66	T/M3	T.V.:	KN/M2	NA : %

DIEPTE: 0.50 TOT 0.70 M-MV ;  
 GRONDSOORT: KLEI, MET ENKELE ZANDLAGEN



 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> <small>telefoon (015) - 56 92 23      telex 33326 solab nl</small>	83-01-19	<sup>get</sup> E <sub>B</sub>	
	EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI" VOORONDERZOEK	CO-265410	<sup>gec</sup> DK
	CELPROEF                      BORING: G      MONSTER: 20	BIJL. 5	<sup>form</sup> A 4





$L$  = Lutum (% < 2 mm)  
 $Z$  = Zand (% > 63 mm)  
 $H$  = Organisch materiaal  
 $W_f$  = Vloeigrens  
 $W_p$  = Uitragegrens  
 $W_k$  = Krimp grens



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon (015) - 56 92 23  
 telex 33326 solab nl

d.d. maart 84

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 VOOR ONDERZOEK  
 VERBAND KORRELVERDELING-ATTERBERGSE GRENZEN

CO-265410  
 BIJL. 6

get  
  
 gec  
 form  
 A<sub>4</sub>





**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon (015) - 56 92 23      telex 33326 solab nl

d.d.      get

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI".  
 VOORONDERZOEK

CO-2654 10      gec.

PROCTORPROEF      monster 18, 19 en 20

BIJL.      7      form. A<sub>4</sub>



EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"

Deel 2

Het onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN

Datum : 84-07-02

Kenmerk: CO-265412/12

CO-269210/11

<u>Inhoud</u>	<u>Blz.</u>
Inleiding	1
Uitgevoerd terreinwerk	1
Uitgevoerd laboratoriumwerk	2
Resultaten herkenningproeven etc.	4
Resultaten erosieproeven	5
Samenvatting en conclusies	7

Specificatie bijlagen:

bijlage B	- algemene legenda grondaanduiding
bijlage 10	- boorgrafieken "Friesche groene dijk"
bijlage 10A	- foto's boringen
bijlage 11	- herkenningproeven "Friesche groene dijk"
bijlage 12	- chemische analyse "Friesche groene dijk"
bijlage 13	- overzicht erosieproeven "Friesche groene dijk"
bijlage 14 t/m 19	- erosieproeven



### Inleiding

Als vervolg op ons rapport CO-265412/11 van 84-06-25 doen wij U hierbij een verslag toekomen van een serie oriënterende erosieproeven uitgevoerd in het zgn. centrifugeapparaat.

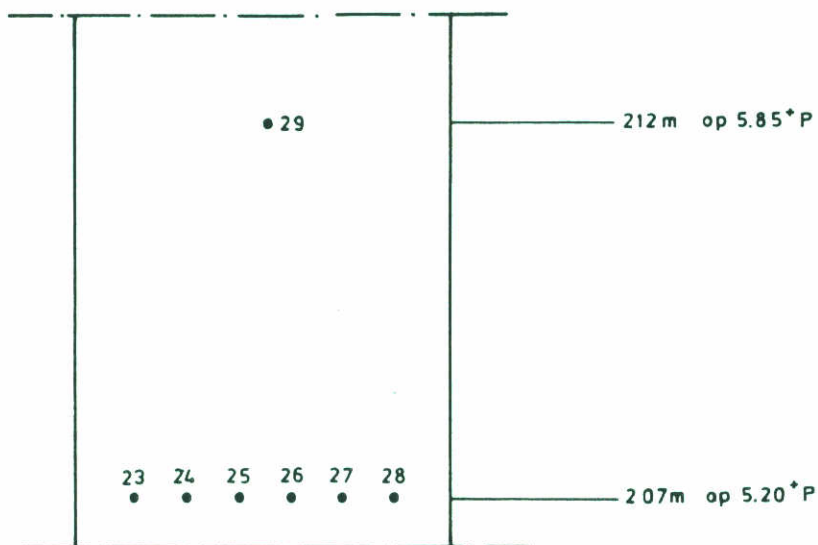
Alvorens de in Alphen/Lith gestoken kleimonsters uit de twee "proefstukken" aan een onderzoek te onderwerpen werden volgens afspraak (18 oktober 1983) een aantal andere kleimonsters beproefd. De bedoeling hiervan was dat met deze monsters enige ervaring voor wat betreft de te kiezen procedure zou worden opgedaan.

### Uitgevoerd terreinwerk

Als oriënterend te beproeven monsters werd gekozen voor een aantal monsters die gestoken zouden moeten worden direct na afloop van de Deltagootproef op de "Friesche groene dijk" (ons opdrachtnummer CO-269210).

Een zestal monsters werd 1 dag na beëindiging van de Deltagootproef m.b.v. stalen bussen (diameter 6,6 cm) gestoken. De monsters werden naast elkaar met onderling gelijke tussenruimte gestoken op een niveau van ca. 5,85 m<sup>+</sup> gootbodem.

In onderstaande figuur is schematische de plaats van de gestoken monsters aangegeven.



Bovenaanzicht monsters in goot.

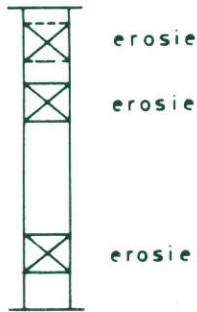
De monsters zoals deze in de stalen bussen werden aangetroffen, zijn getekend weergegeven op de bijlage 10. Op bijlage 10A is een fotografische weergave van de monsters gegeven.

#### Uitgevoerd laboratoriumwerk

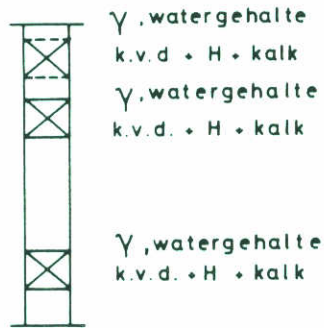
Daar de ca. 40 cm hoge bussen onvoldoende materiaal kunnen bevatten voor een volledig onderzoek (bepaling volumegewicht, watergehalte, kleikarakteristieken, chemische analyse en centrifugeproef) moesten noodgedwongen erosieproeven worden uitgevoerd op andere monsters dan waarop de overige bepalingen waren uitgevoerd. Daar het materiaal in breedterichting van het prototype monster redelijk homogeen bleek te zijn (zie foto's op bijlage 10A), werd e.e.a. niet als een onoverkomelijk bezwaar gezien.

In onderstaand schema is aangegeven welke proeven op de diverse monsters werden uitgevoerd.

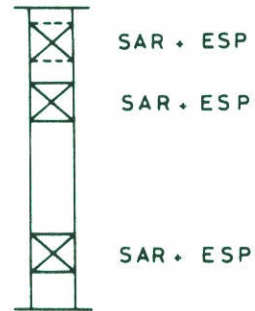
24 en 26



25 en 27



23 en 28



Daar uit het inmiddels afgeronde onderzoek in de goot te Alphen/Lith was gebleken dat de toplaag aanmerkelijk meer weerstand kon bieden aan erosie dan de diepere lagen werd besloten dat het onderzoek zich zou moeten toespitsen op eventuele verschillen in de klei direct onder de grasmat en de dieper gelegen klei. Gezien de in Alphen/Lith visueel geconstateerde beperkte dikte van de erosiebestendige laag (< 10 cm) werd gesteld dat voor een goed vergelijkend onderzoek de monsters voor de erosieproeven slechts 5 cm hoog mochten zijn. Vanwege dit uitgangspunt was een aanpassing van de monsterhouder van het centrifugeapparaat noodzakelijk (de "standaard" monster-hoogte bedraagt namelijk 10 cm).

Uit de boorgrafieken in het schema en op de bijlage 10 blijkt dat per monsterbus op 3 niveaus onderzoek werd verricht, namelijk van ca. 2 à 3 tot ca. 7 à 8 cm - maaiveld, van 10 tot 15 cm - m.v. en van ca. 30 tot 35 cm - m.v.



Resultaten herkenningproeven etc.

De resultaten van de bepalingen der relevante parameters (zoals genoemd in ons rapport CO-265412/11) zijn genoteerd op bijlage 11.

De resultaten der chemische analyse zijn op bijlage 12 vermeld.

Zonder in detail te treden, kan gezegd worden dat vergelijking van de monsters 25 en 27 leert (bijlage 11) dat in breedterichting van een redelijk homogeen beeld sprake is.

De klei is te karakteriseren als zandige klei of zavel (lutumgehalte gemiddeld ca. 15%, zandgehalte gemiddeld 67%). Ook hier wordt weer bevestigd het in ons rapport CO-265412/11 ook gememoreerde feit dat in het noorden nogal "lichte" klei wordt toegepast.

In dieptherichting is eveneens van een redelijk homogene opbouw sprake. De enige duidelijke uitzondering hierop vormt het hogere percentage organisch materiaal in de bovenlaag, gemiddeld 2,3% tegen gemiddeld ca. 1,0%. Gezien de nabijheid van de grasmat en de aanwezigheid van wortelresten is één en ander goed verklaarbaar.

Een veel minder opvallend feit is dat de middelste monsters wat schraler zijn dan de diepste monsters (iets minder lutum en wat meer zand in de monsters 25B en 27B ten opzichte van 25C en 27C). Voor wat betreft het zoutgehalte in het bodemvocht (dit is in de tabel uitgedrukt in mg NaCl (keukenzout) per 100 gr. stoofdrome grond) kan gesteld worden dat sprake is van een klei waar zelfs zoutgevoelige gewassen op kunnen groeien (10 mgr./100 gr. geeft géén moeilijkheden, 50 mgr./100 gr. is gevaarlijk voor zoutgevoelige gewassen).

Bestudering van de monsters 23 en 28 leert (zie bijlage 12) dat voor wat betreft de kationenbezetting en de hieruit af te leiden grootheden sprake is van ongeveer een evenwichtssituatie tussen bodemvocht en kationenbevatting. De ESP waarde is zodanig laag dat sprake is van een stabiele grond indien het korrelmateriaal wordt belast met zoet water.

Op grond van de herkenningproeven etc. die voorafgaande aan de centrifugeproeven werden uitgevoerd kan geconcludeerd worden dat noch de dichtheid, noch de lutum- en zandfractie, noch de zout-zoetverhouding van de diverse monsters aanleiding geven te veronderstellen dat grote verschillen in erosiegevoeligheid zullen blijken.

### Resultaten erosieproeven

Voor een beschrijving van het centrifugeapparaat en het principe der erosieproeven wordt verwezen naar ons rapport CO-235360/1 van 78-10-01.

Vermeld zij hier dat inmiddels een aantal modificaties aan het apparaat hebben plaatsgevonden, waarmee met name nauwkeuriger de torsiekracht op het monster kan worden gemeten en waarbij verder de watersnelheid direct naast het monster wordt gemeten.

De monsters die zoals gezegd waren verkregen door het steken van stalen bussen  $\varnothing$  6,6 cm in het prototype monster in de Deltagoot werden enige dagen voor de aanvang van de centrifugeproef overgeschoven in een ring met een diameter van 6,7 cm. Deze ring werd in een bak met water geplaatst en belast met een belasting overeenkomend met de in situ belasting ( $h \times \gamma$ ). Vervolgens kreeg het monster enige dagen de gelegenheid verzadigd te raken.

De procedure tijdens de proef was:

- gedurende één uur werd de snelheid geleidelijk opgevoerd van 0 naar 1 m/sec.
- gedurende één uur werd deze snelheid van 1 m/sec. constant gehouden
- indien nog geen schade, werd nogmaals gedurende twee uur gewerkt met een snelheid van 1 m/sec.
- indien nog geen schade, werd de snelheid gedurende één uur opgevoerd naar 2 m/sec.
- etc.

De resultaten van erosieproeven staan grafisch weergegeven op de bijlagen 14 t/m 19.

Uitgezet zijn het gewichtsverlies (in %) van het materiaal gedurende de proef (een maat voor de erosie) tegen de schuifkracht op de wand van het monster ( $\tau$  in  $N/m^2$ ) resp. tegen de tijd.



Direct voor plaatsing van het erosieapparaat werd het watergehalte van het monster bepaald (dit geschiedde op een kleine hoeveelheid materiaal direct boven het te beproeven 5 cm hoge monster). Teneinde een indruk van de sterkte van het monster te krijgen, werd eveneens vooraf een penetrometerproef en een hand-torvaneproef uitgevoerd op het materiaal direct boven het monster.

De resultaten van deze bepalingen staan in de tabel op bijlage 13 vermeld.

Opvallend is dat het droge volumegewicht van monster 26A en 26C aan de lage kant is, gemiddeld 1,43 tegen gemiddeld 1,55 bij de overige bepalingen. De verzadigingsgraad is, door het gedurende enkele dagen onder water zetten voor de proef, enige procenten toegenomen. Onzekerheden met betrekking tot het exacte soortelijk gewicht, alsmede meetonnauwkeurigheden, maken het moeilijk de grootte der verzadigingsgraad precies aan te geven. Wel kan gesteld worden dat de monsters praktisch volledig verzadigd zijn geweest.

In de tabel op bijlage 13 staan voor gewichtsverliespercentages van 5, 10 en 20% de bijbehorende tijdsduur en schuifspanning per monster vermeld.

Indien het product van tijdsduur en schuifspanning op het monster als een maat voor de erosiebestendigheid wordt gezien, blijkt dat de bestendigheid van de oppervlaktemonsters (24A en 26A) een orde hoger ligt dan de bestendigheid van de diepere monsters. De enige verklaring voor dit feit moet, vooralsnog worden gezocht in de aanwezigheid van wortelresten of een hoger humusgehalte, al dan niet in combinatie met elkaar.

Bij de dieper gelegen monsters valt enig verschil te ontdekken tussen de middelste monsters (24B en 26B) en de diepste monsters (24C en 26C), laatstgenoemde blijken wat meer bestendig. Enigzins speculatief zou dit kunnen worden toegeschreven aan het wat minder schraal zijn van deze monsters (zie ook de opmerking op blz. 4).



Conclusie:

- Geconcludeerd kan worden dat met erosieproeven in het centrifugeapparaat, resultaten kunnen worden geboekt, die de visuele indrukken, opgedaan tijdens de proeven te Alphen/Lith, bevestigen.
- Dat wil zeggen, geconcludeerd kan worden dat de oppervlaktelaag van een kleibekleding met gras aanmerkelijk meer weerstand kan bieden aan erosie dan dieper gelegen kleilagen.
- Aan een "vertaling" van de, in het centrifugeapparaat geconstateerde schuifspanningen op de klei, naar de werkelijke situatie, is nog geen aandacht besteed. De proeven moeten in vergelijkende zin worden beschouwd.
- De stelling dat het lutum- en zandgehalte, alsmede de dichtheid in mindere of meerder mate als belangrijke parameters voor de erosiebestendigheid gelden, blijkt niet duidelijk uit de uitgevoerde proeven.
- De uitgevoerde centrifugeproeven geven zodanige resultaten, dat besloten kan worden de monsters, die zijn gestoken in de proefstukken te Alphen/Lith, aan eenzelfde beproeving te onderwerpen.

Vertrouwend u hiermee voorlopig van dienst te zijn geweest,

opgesteld door:

hoogachtend,  
Laboratorium voor Grondmechanica

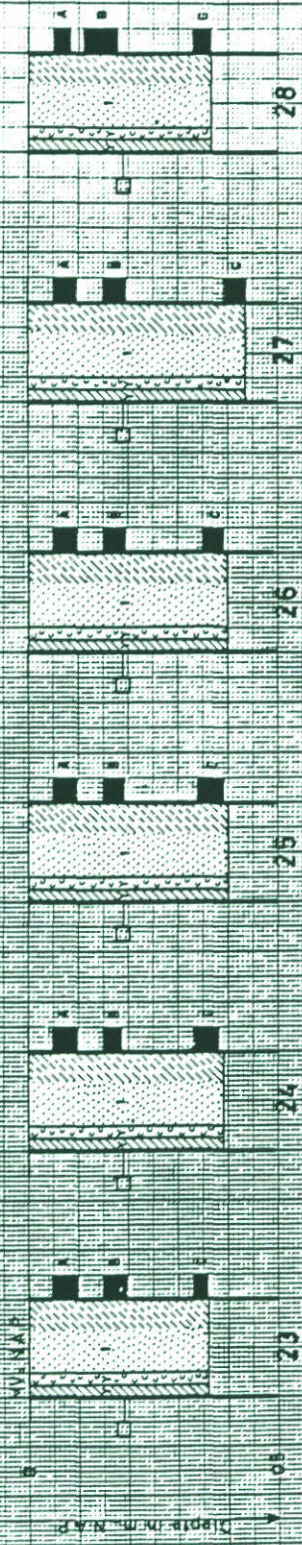


ing. J. Dekker



ir. G.W. Beetstra





Hoogte bodem 0,5 m. bodem 0,5 m. diepte in m. N.A.P.

LEGENDA ZIE BIJL. B

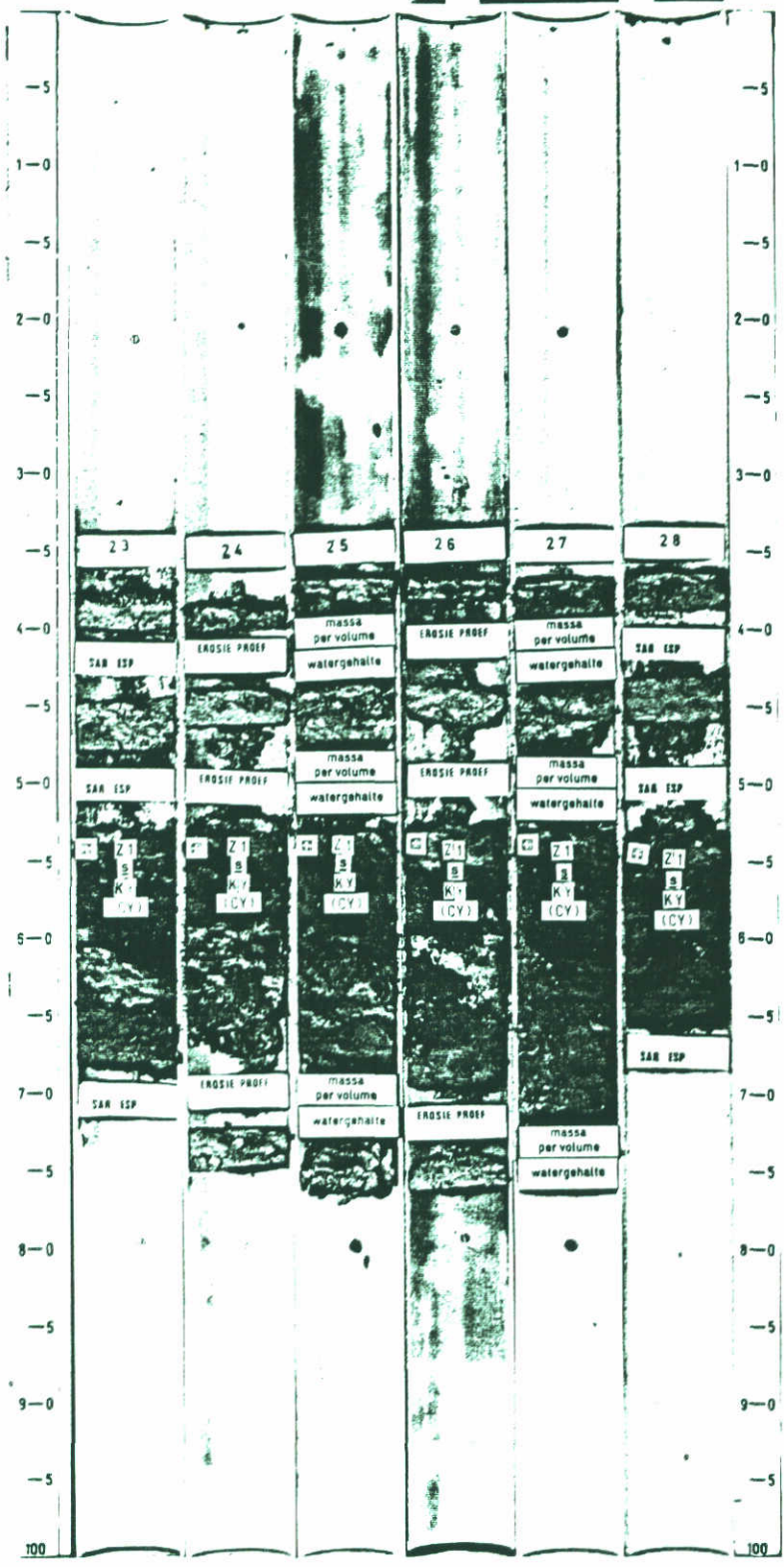
 <b>laboratorium voor grondmechanica deift</b> <small>telefoon (013) - 38 82 23</small>	<b>APRIL '84</b> <small>nr. 33326</small>	
	<b>CO-265410</b>	<small>nr. 30/40</small>
	<b>BIJL. 10</b>	

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"

BORINGEN " GROENE DIJK " DELTAGOOT



CO-269210  
BORING 207M



LGM-DELFT

LEGENDA ZIE BIJL.B

 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 569223 telex: 38234 soil nl	d.d.	get.
	CO-265410	gec
FOTO BORINGEN „GROENE DIJK„ DELTAGOOT	BIJL. 10A	form A <sub>4</sub>



Monsters CO-269210	$\gamma_n$ t/m <sup>3</sup>	W %	$\gamma_{dr}$ t/m <sup>3</sup>	$S_r$ %	<2 $\mu$ m %	>63 $\mu$ m %	H %	CaCO <sub>3</sub> %	NaCl mg/100gr
25A	1,93	25,4	1,54	94,6	14	65	2,4	10,8	15,8
25B	1,96	23,1	1,59	93,2	15	68	1,1	10,6	17,0
25C	1,93	22,3	1,58	87,2	17	64	0,8	11,8	20,6
27A	1,94	22,3	1,59	88,9	13	70	2,2	11,1	13,3
27B	1,93	22,9	1,57	89,0	14	70	1,1	12,2	12,9
27C	1,94	25,5	1,54	96,2	15	64	1,1	11,2	19,1

$\gamma_n$  = natte volumieke massa  
 $\gamma_{dr}$  = droge volumieke massa  
W = watergehalte  
 $S_r$  = verzadigingsgraad  
H = organisch materiaal



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 569223

telex: 38234 soil nl

d.d.

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"

CO-265410

gec.

OVERZICHT HERKENNINGSPROEVEN

„FRIESCHE GROENE DIJK„

BIJL. 11

form.

A<sub>4</sub>

	Kationenbezetting meq./100 gr.				C.E.C.	SAR	ESP
	K	Na	Ca	Mg			
23 <sup>A</sup>	0,39	0,13	6,64	1,01	8,6	1,02	1,51
23 <sup>B</sup>	0,26	0,06	6,68	0,96	8,2	0,49	0,73
23 <sup>C</sup>	0,36	0,02	6,08	2,10	10,0	0,13	0,20
28 <sup>A</sup>	0,25	0,26	6,30	1,04	8,1	2,20	3,20
28 <sup>B</sup>	0,19	0,06	6,00	1,00	7,0	0,58	0,86
28 <sup>C</sup>	0,38	0,01	6,40	2,36	12,3	0,05	0,08

$$ESP = \frac{Na}{CEC} \times 100 \%$$

$$0,015 SAR = \frac{ESP}{100 - ESP}$$

CEC = Cation Exchangeable Capacity

SAR = Sodium Adsorption Ratio

ESP = Exchangeable Sodium Percentage



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223  
 telex: 38234 soil nl

d.d.  
mei '84

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"

CO-265410

gec.

CHEMISCHE ANALYSEN  
 "FRIESCHE GROENE DIJK"

BIJL. 12

form.  
A<sub>4</sub>

Monsters CO-269210	$\gamma_{n3}$ t/m <sup>3</sup>	W %	$\gamma_{dr3}$ t/m <sup>3</sup>	$S_r$ %	peno. kN/m <sup>2</sup>	T.v. kN/m <sup>2</sup>	$\Delta G$ %	T h	$\tau$ N/m <sup>2</sup>	T $\times$ $\tau$
24A	1,95	30,0	1,50	105,2	60-125	43	5	5,00	40	200
							10	5,56	60	334
							20	> 6	55	>330
24B	1,94	26,1	1,54	96,1	40	27	5	0,66	7,92	5,2
							10	0,78	9,25	7,2
							20	0,88	10,50	9,2
24C	1,96	23,7	1,58	94,8	-	-	5	0,80	10,83	8,7
							10	1,10	11,21	12,3
							20	2,00	8,96	17,9
26A	1,94	36,9?	1,42	113,5?	70	44	5	4,48	35	157
							10	5,40	37	200
							20	>6,00	40	>240
26B	1,96	26,1	1,55	99,4	62,5	32	5	0,91	6,58	6,0
							10	1,21	8,00	9,7
							20	1,54	5,75	8,9
26C	1,89	31,1	1,44	99,1	85	32	5	2,31	12,83	29,6
							10	2,51	20,08	50,4
							20	2,61	> 25	65,3

$\gamma_n$  = natte volumieke massa

$\Delta G$  = gewichtsverlies tijdens proef

$\gamma_{dr}$  = droge volumieke massa

T = tijdstip waarop  $\Delta G$  aanwezig

W = watergehalte

$\tau$  = schuifspanning op monster bij betref-

$S_r$  = verzadigingsgraad

fende  $\Delta G$

peno. = penetrometerwaarde

	gem. $\tau$ ( $\Delta G=5\%$ ) N/m <sup>2</sup>	ESP
oppervlakte monster (A)	> 25	2,35
diepere monsters (B)	7,2	0,80
diepte monsters (C)	11,8	0,14

ESP = Exchangeble Sodium Percentage



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 569223

telex: 38234 soil nl

d.d.

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"

CO-265410

gec.

OVERZICHT EROSIËPROEVEN

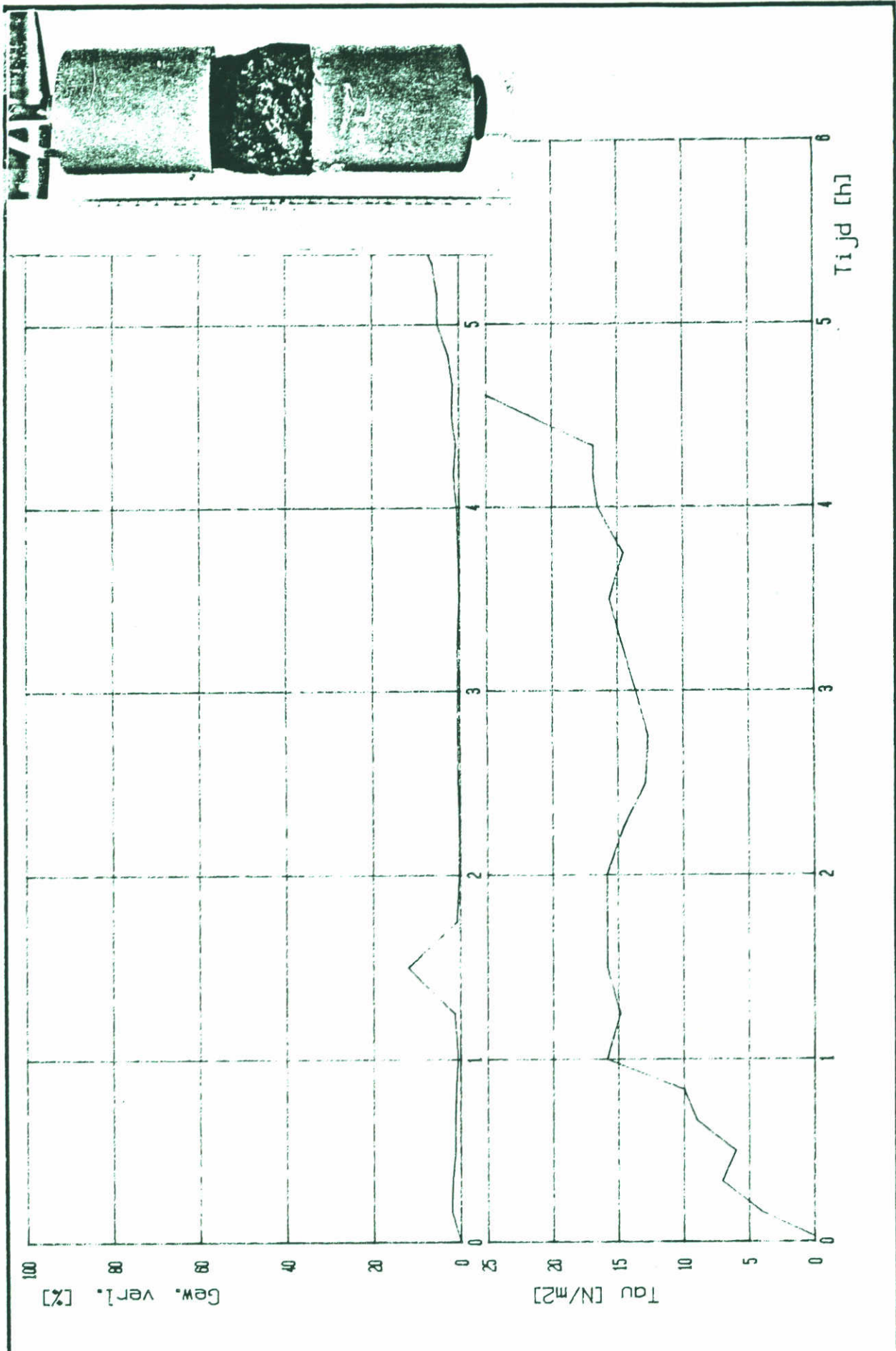
„FRIESCHE GROENE DIJK „

BIJL. 13

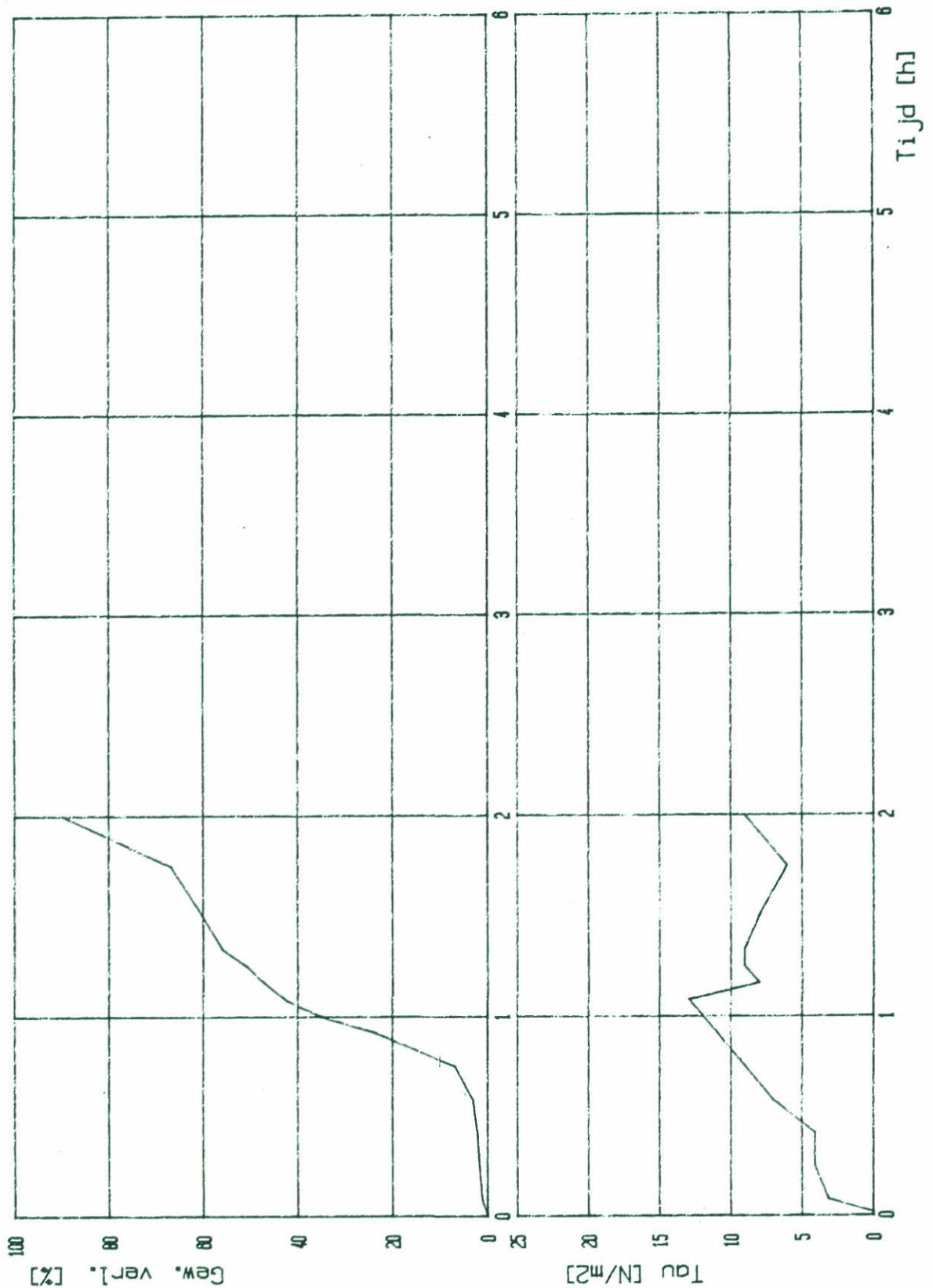
form.

A<sub>4</sub>





 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 589223 telex: 38234 soil nl	84-01-16	get.
	CO-265410	pec.
	BIJL. 14	serw. A <sub>4</sub>
EROSIËPROEVEN "GRASMAT OP KLEI" „FRIESCHE GROENE DIJK„ EROSIËPROEF MONSTER no. 24 A		



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soll nl

d.d.

84 - 01 - 18

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 „FRIESCHE GROENE DIJK„

CO-265410

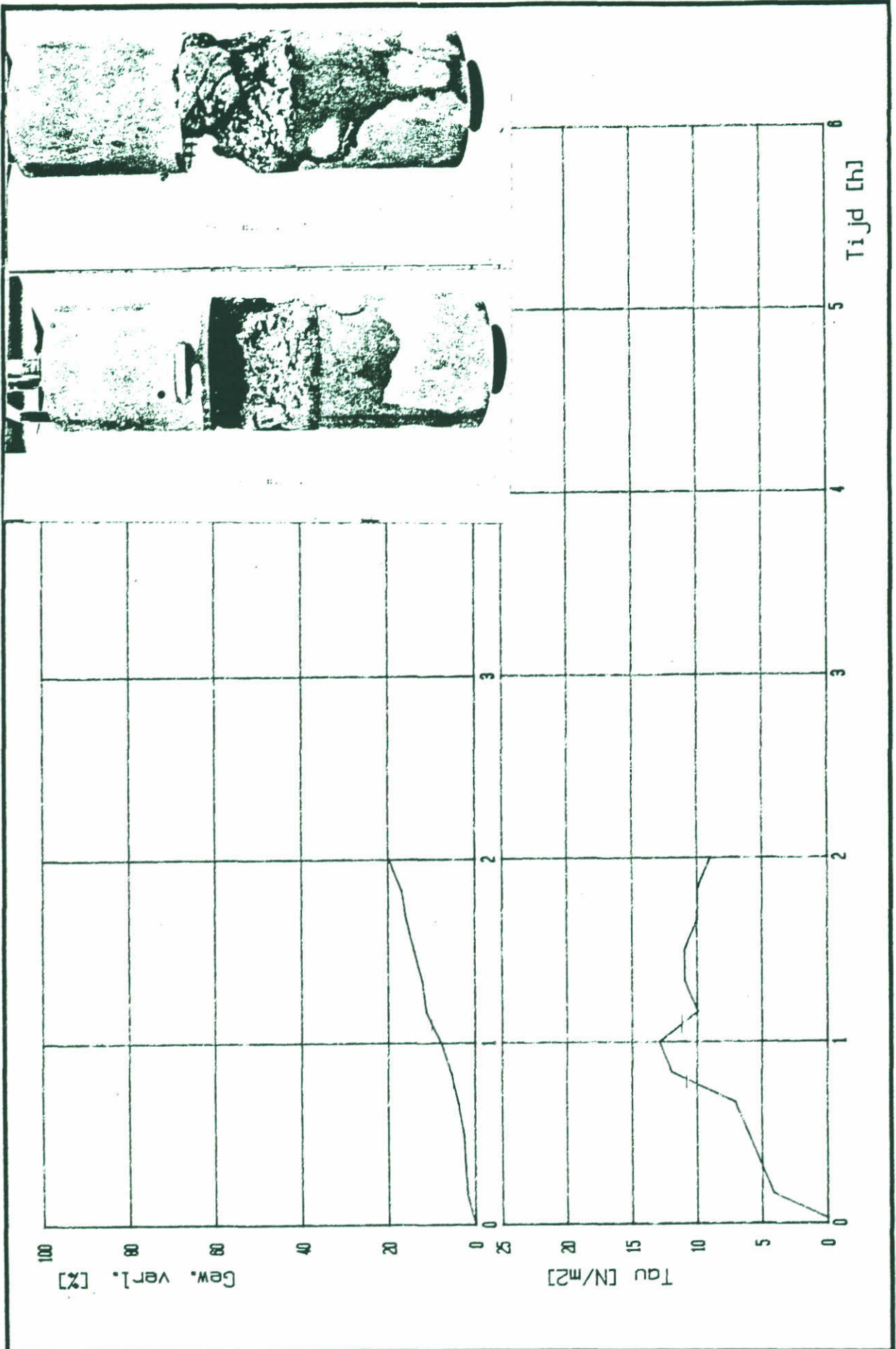
get.

EROSIEPROEF MONSTER no. 24 B

BUL. 15

form.

A<sub>4</sub>



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soil nl

g.g. 84-01-19      got.

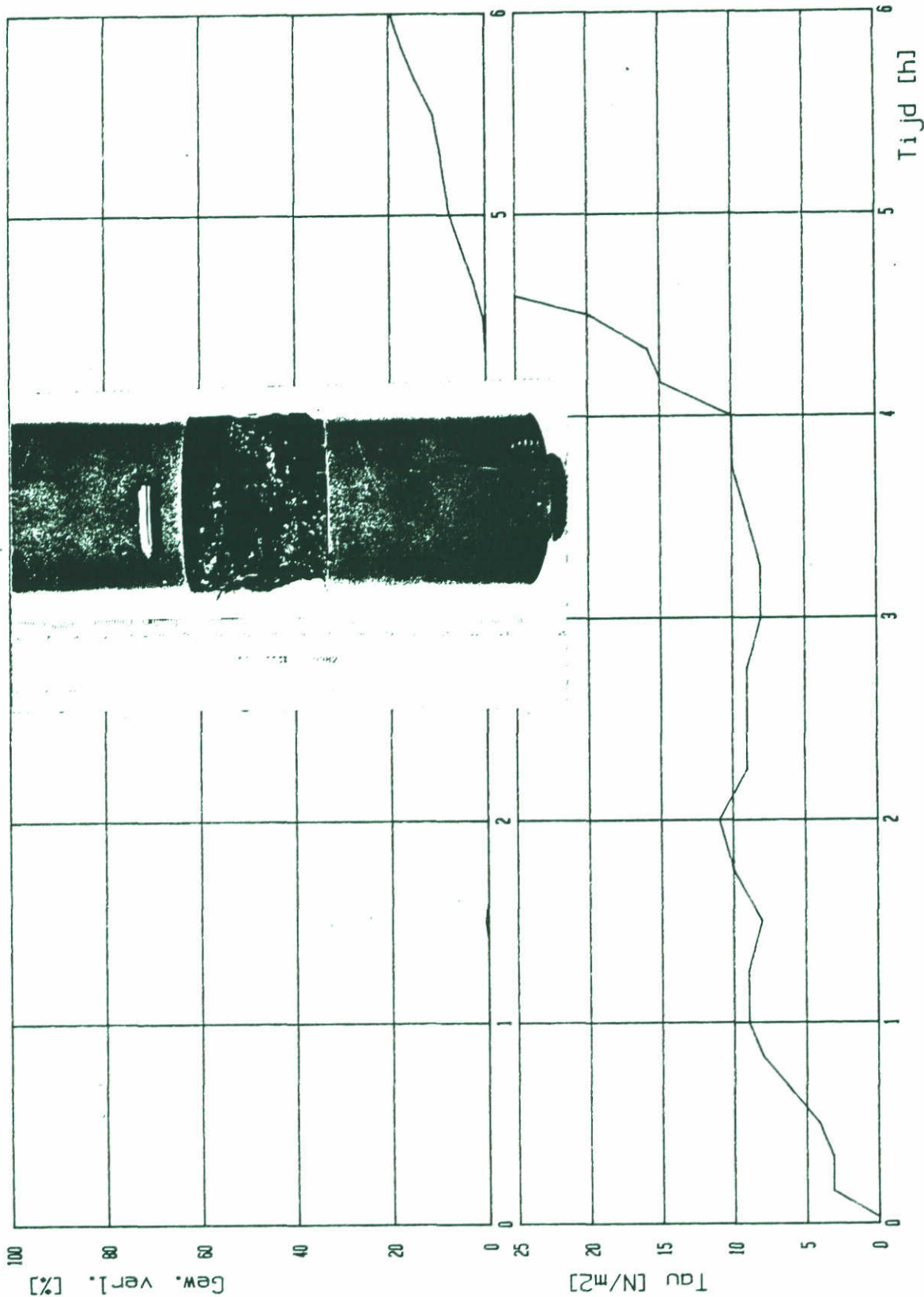
EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 „FRIESCHE GROENE DIJK,,

CO-265410      gpc.

EROSIEPROEF MONSTER no. 24 C

BUL. 16      form. A<sub>4</sub>





**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soll nl

d.d. 84-02-06

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 „FRIESCHE GROENE DIJK „

CO-265410

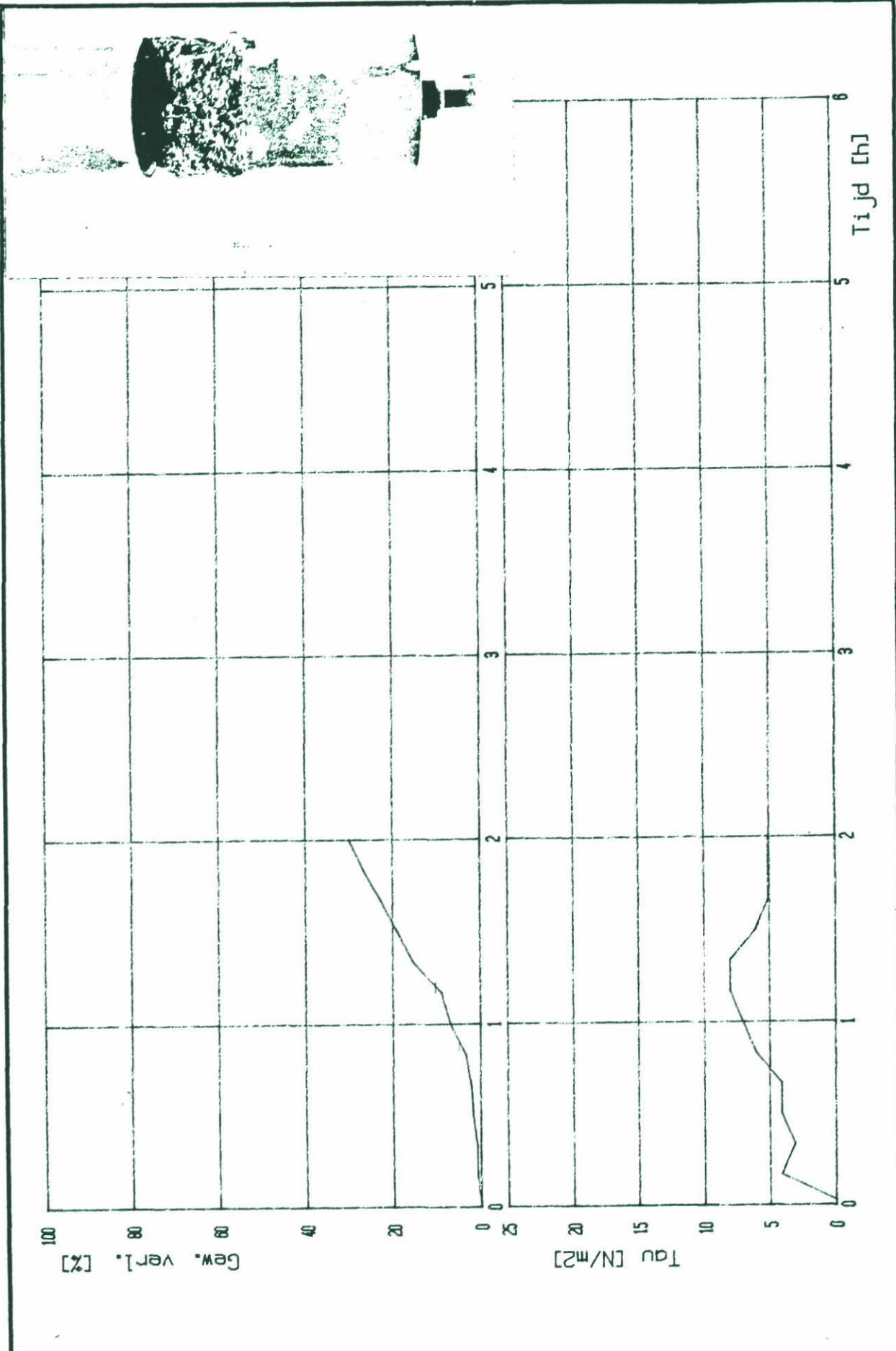
get.

EROSIEPROEF MONSTER no. 26 A

BIJL. 17

norm.

A<sub>4</sub>

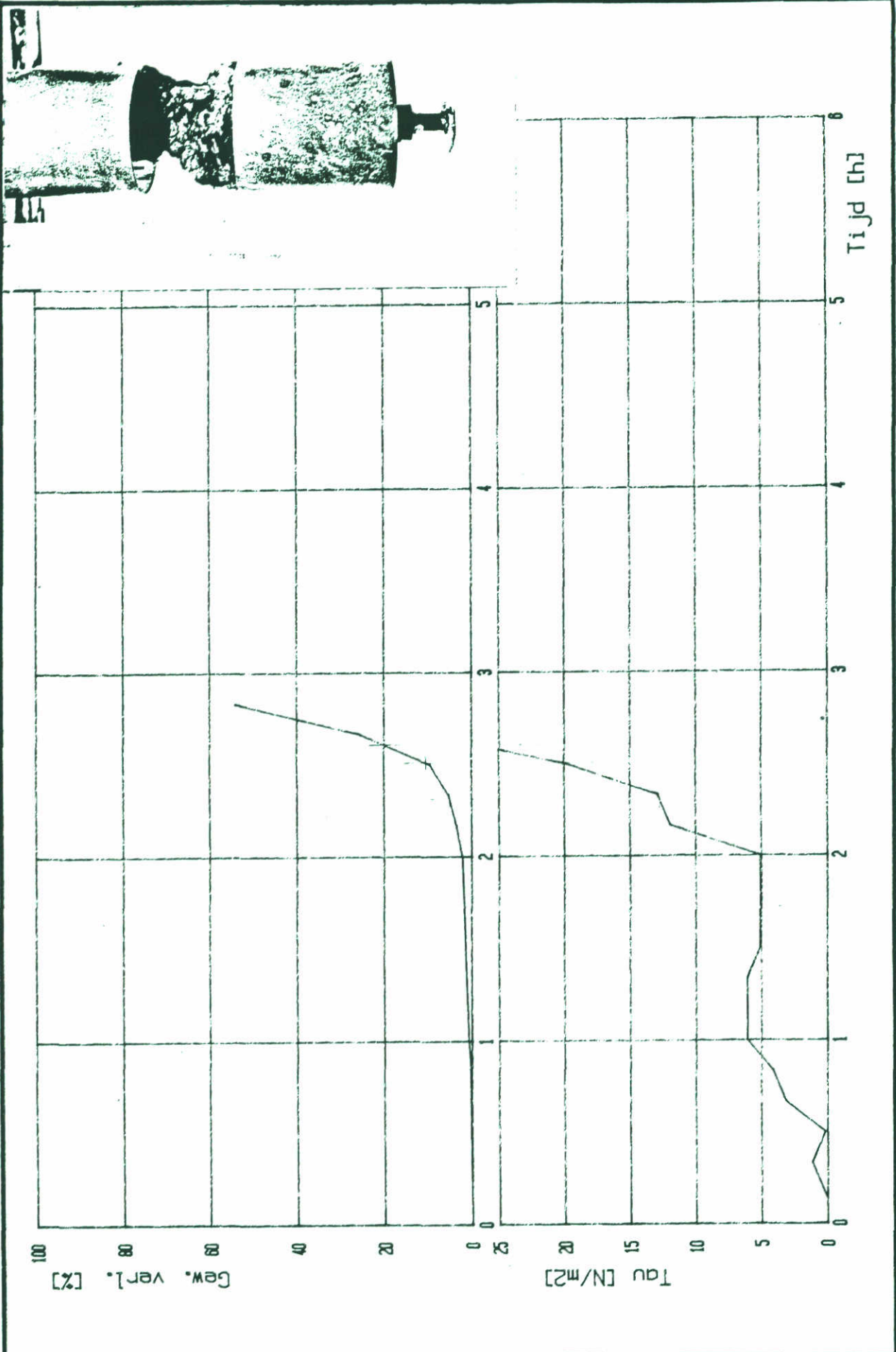


**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223  
 telex: 38234 sofl nl

84-02-08

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 „FRIESCHE GROENE DIJK „  
 EROSIEPROEF MONSTER no. 26 B

CO-265410  
 BIJL. 18  
 A<sub>4</sub>



 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 569223 telex: 38234 soil nl	d.d.	84-02-06	get.
	EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"		get.
	„FRIESCHE GROENE DIJK.."		CO-265410
EROSIEPROEF MONSTER no. 26C	BUL. 19	form.	A <sub>4</sub>



Erosieproeven  
"grasmat op klei"  
deel 3

Het onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

CENTRUM VOOR ONDERZOEK WATERKERINGEN

datum: 84-06-28

kenmerk: CO-265412/13

Inhoud:

Inleiding

Uitgevoerd terreinwerk

Uitgevoerd laboratoriumonderzoek

Resultaten herkenningproeven etc.

Resultaten erosieproeven

Samenvatting en conclusies

Specificatie bijlagen:

bijlage 20	:	boorgrafieken proefstukken Lith
" 20A	:	foto's boringen
" 21	:	volumieke massa en watergehalte Lith-monsters
" 22	:	overzicht laboratoriumproeven Lith-monsters
" 23 en 23A	:	overzicht erosieproeven Lith-monsters
" 24 t/m 33	:	erosieproeven

### Inleiding

Als vervolg op onze rapporten CO-265412/11 en CO-265412/12 doen wij u hierbij een verslag toekomen over de resultaten van een serie proeven die werden uitgevoerd op monsters uit de proefstukken in Alphen/ Lith.

In rapport CO-265412/11 werden de resultaten gepresenteerd van het vooronderzoek op de dijk in Noord-Groningen. Met behulp van dit onderzoek werden de klei-eigenschappen in de "nultoestand" vastgelegd en werd een prognose gedaan ten aanzien van de te verwachten erosiebestendigheid.

In rapport CO-265412/12 werden de resultaten gepresenteerd van een aantal met behulp van het zogenaamde centrifuge-apparaat uitgevoerde erosieproeven. De beproefde monsters werden ook verder geanalyseerd, klei-karakteristieken werden vastgesteld etc. Het doel van deze proeven (die werden uitgevoerd op monsters uit een Groene dijk in Friesland) was het vaststellen van een proefprocedure, waaraan de monsters uit de proefstukken uit de stroomgoot te Alphen/Lith zouden moeten worden onderworpen.



De nu uitgevoerde proeven hebben allen betrekking op monsters die gestoken werden in de twee proefstukken. Deze proefstukken 1 en 2 werden in juli-augustus 1983 in de stroomgoot te Alphen/Lith onderworpen aan een gesimuleerde golfplooptong.

2 uur respectievelijk 1/2 dag na beëindiging van de golfbelasting werd in de lengterichting van de proefstukken een aantal ongeroerde monsters gestoken.

Uitgevoerd terreinwerk

In ieder proefstuk werden met behulp van stalen bussen (diameter 66 cm) 8 monsters gestoken.

De lokatie ten opzichte van de raainummering op de proefstukken was als volgt:

proefstuk	raai	afstand uit hart	monster no.
1	2,1	0	28
	3	0	29
	4	0	30
	5	0	31
	6	0	32
	7	0	33
	8	+ 0,25	34
	9	0	35
	2	1	0
3		+ 0,20	37
4		0	38
5		0	39
6		0	40
7		0	41
8		0	42
9		0	43

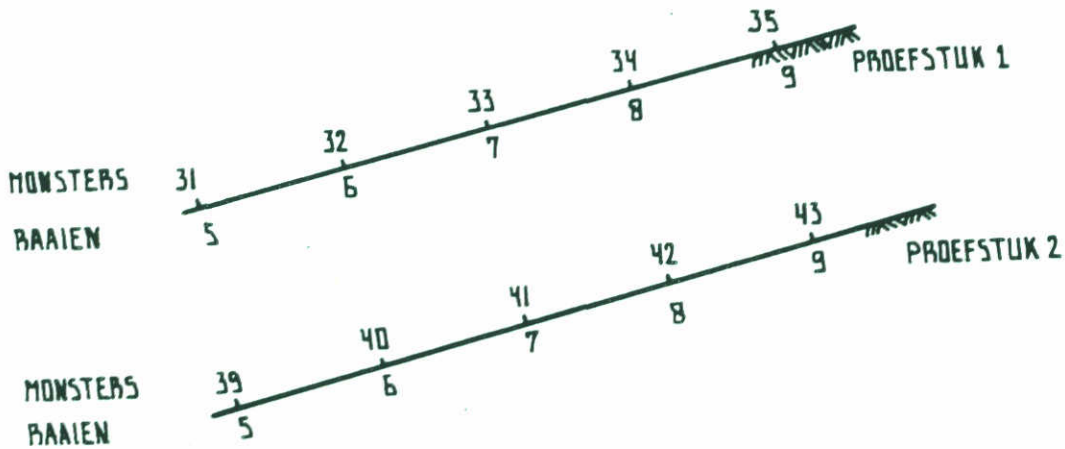
Een gedeelte van de monsters, zoals deze in de stalen bussen zijn aangetroffen, is getekend weergegeven op bijlage 20. Op bijlage 20A is een fotografische weergave van de monsters gegeven.

Het resterende gedeelte van de monsters bevindt zich nog in de bussen en staat in principe nog ter beschikking voor eventueel aanvullend onderzoek.

Uitgevoerd laboratoriumwerk

Daar in het kader van de centrifugeproeven de belangstelling vooral uitging naar materiaal dicht aan het oppervlak, werden de te onderzoeken monsters gekozen op grond van een zo min mogelijk weggeërodeerde oppervlaktelaag. Het bleek, dat in beide proefstukken ter plaatse van de raaien 6 en 8 betrekkelijk weinig erosie door golfoploop had plaats gevonden. Besloten kon aldus worden de centrifugeproeven uit te voeren op de monsters, 32, 34, 40 en 42.

Teneinde een goede indruk te krijgen van de kleikarakteristieken van de voor de centrifugeproeven bestemde monsters werd aanvankelijk gedacht hiervoor de naastliggende monsters te gebruiken, aldus:



erosieproeven : 32, 34, 40, 42

kleikarakteristieken: 31, 33, 35, 39, 41, 43

Bij de visuele analyse van de monsters bleek echter een dermate hetero-geen beeld aanwezig te zijn dat het niet verantwoord leek van naast-  
liggende monsters de kleikarakteristieken geldig te verklaren (zie ook  
de foto's op bijlage 20A).

Uiteindelijk werd van de monsters 31, 33, 35 en 39, 41 en 43 alleen het volumegewicht en het watergehalte bepaald. De kleikarakteristieken werden vastgesteld op materiaal direct boven, respectievelijk direct onder de monsters, waarop de centrifugeproeven werden uitgevoerd.

Resultaten herkenningproeven etc.

Gewicht en watergehalte

De resultaten van de gewichts- en watergehaltebepalingen staan weer-gegeven op bijlage 21.

Het blijkt dat in het proefstuk 1 gemiddeld een wat lager droog volumegewicht werd vastgesteld ( $1,39 \text{ t/m}^3$  tegen  $1,45 \text{ t/m}^3$  in proefstuk 2). Het volumegewicht zoals dit nu werd vastgesteld in proefstuk 1 stemt goed overeen met het resultaat van de bepalingen op de dijk in Groningen (zie rapport CO-265412/11 en bijlage 3).

Aan het watergehalte, dat in de - na afloop van de golfproeven - gestoken monsters werd vastgesteld in proefstuk 1 is te constateren dat de klei ten gevolge van de golven natter is geworden. Het oorspronkelijk watergehalte in de klei op de dijk werd vastgesteld op gemiddeld 23,9%. Na afloop van de golfproeven werd een gemiddelde waarde vastgesteld van 32,5%.

In termen van verzadigingsgraad gesproken valt in proefstuk 1 een toename te constateren van ca. 70% naar ca. 97%.

Het zandige karakter van de klei, dat debet moet worden geacht voor de relatief lage verzadigingsgraad op de dijk, is vermoedelijk ook de oorzaak van de grote toename door de golfbelasting.

De gemiddelde verzadigingsgraad van de beide proefstukken verschilt ook, in proefstuk 2 was de verzadigingsgraad direct na afloop van de proef wat hoger, gezien de nauwkeurigheid die aan de bepaling van de verzadigingsgraad mag worden toegekend, kunnen hieruit geen al te harde conclusies worden getrokken.

De resultaten van de bepalingen der kleikarakteristieken zijn samengevat op bijlage 22.



### Het lutum- en zandgehalte

#### Lutum

Ook nu weer blijkt het nogal schrale karakter van de klei, het gemiddelde lutumgehalte blijkt wel wat hoger te liggen dan destijds vastgesteld: toen 18,4%, nu (proefstuk 1) 22,7%.

De spreiding is zeer groot, toen uiterste waarden van 15,5 respectievelijk 28, nu 13,1 respectievelijk 30,6%.

#### Zand

Destijds werd aan gemiddeld zandgehalte vastgesteld van 44,7% (met extremen van 23,6 respectievelijk 57,3%). Nu werd in proefstuk 1 een gehalte vastgesteld van gemiddeld 48,4 (met extremen van 31,6 respectievelijk 66,9%).

#### Organische stof

Uit de monsternamen op verschillende diepte blijkt duidelijk het grote verschil in humusgehalte tussen de oppervlaktelaag en de diepere lagen. Het gehalte humus direct onder de grasmat is gemiddeld 4,6%, in de diepere lagen werd een gemiddelde waarde vastgesteld van 2,0%.

#### Kalk

Het gehalte  $\text{CaCO}_3$  bedraagt gemiddeld 12,1%; dit is weliswaar hoog maar voor marine kleien zeker niet ongebruikelijk.

Significante verschillen in de diepte werden niet gevonden.

#### Erosieproeven

Voor een beschrijving van de proefprocedure die werd gevolgd zij verwezen naar rapport CO-265412/12.

De resultaten van de proeven staan grafisch weergegeven op de bijlagen 24 t/m 33.

Uitgezet zijn het gewichtsverlies (in %) van het materiaal gedurende de proef (een maat voor de erosie) tegen de schuifkracht op de wand van het monster ( $\tau$  in  $N/m^2$ ) respectievelijk tegen de tijd.

Vooraf (dat wil zeggen na verzadigen en consolideren) werd het watergehalte van het monster bepaald (op materiaal direct boven het uiteindelijk in het erosie-apparaat beproefde 5 cm hoge monster). Teneinde een indruk van de sterkte van het monster te krijgen, werden een penetrometerproef en een hand-torvaneproef uitgevoerd, eveneens op materiaal direct boven het eingelijke monster. De resultaten van deze bepalingen staan in de tabel op bijlage 23 vermeld.

De verzadigingsgraad is, door het gedurende enkele dagen onder water zetten voor de proef, enige procenten toegenomen (vergelijk bijlage 21 met bijlage 22). Onzekerheden met betrekking tot het exacte soortelijk gewicht, alsmede meeton nauwkeurigheden, maken het moeilijk precies de grootte der verzadigingsgraad aan te geven. Gesteld kan wel worden dat de monsters praktisch volledig verzadigd zijn geweest.

In dezelfde tabel op bijlage 23 staan voor gewichtsverliespercentages van 5, 10 en 20% de bijbehorende tijdsduur en schuifspanning per monster vermeld.

Indien de tijdsduur en/of schuifspanning op het monster als een maat voor de erosiebestendigheid wordt gezien, blijkt dat de bestendigheid van de oppervlaktemonsters (32A, 34A, 40A en 42A) hoger ligt dan de bestendigheid van de diepere monsters. De enige verklaring voor dit feit moet, vooralsnog worden gezocht in de aanwezigheid van wortelresten of een hoger humusgehalte, al dan niet in combinatie met elkaar.

Op bijlage 23a is een en ander grafisch overzichtelijk aangegeven. Het blijkt dan dat:

- er van de "betere" monsters er maar één is die geen wortelresten en een hoog humuspercentage bevat (t.w. monster 32C). Het is niet uitgesloten, dat dit monster het hoogste lutumgehalte en vrijwel het laagste zandgehalte van alle monsters bevatte. In het vervolg wordt hierop nog teruggekomen.

- één oppervlaktemonster (34A) duidelijk minder bestendig is dan de overige. Op grond van de overige bepalingen op het monster is géén verklaring te vinden.

Na de vaststelling dat de aanwezigheid van wortels en/of een hoger humusgehalte van eminent belang is voor de erosiebestendigheid blijkt het niet mogelijk de invloed van andere parameters op de erosiegevoeligheid aan te geven.

In onderstaand schema is een aantal mogelijk relevante parameters weergegeven. Hierbij is per monster, waarop een erosieproef werd uitgevoerd, aangegeven het lutum-, het zand- en het humusgehalte zoals dit direct boven respectievelijk direct onder het betreffende monster werd vastgesteld.

De volgorde is van minst naar meest bestendig bij 5% gewichtsverlies.

Oppervlakte monsters:

monster	% lutum	% zand	% humus
34A	20,8 - 23,2	44,6 - 48,5	5,1 - 2,2
40A	22,0 - 19,5	54,4 - 54,3	3,7 - 1,7
32A	18,3 - 13,1	51,7 - 66,9	4,2 - 1,2
42A	22,9 - 21,7	48,6 - 51,4	5,5 - 1,9

Diepere monsters:

monster	% lutum	% zand	% humus
32B	13,1 - 30,6	66,9 - 31,6	1,2 - 2,1
34B	23,2 - 26,6	48,5 - 41,4	2,2 - 2,5
42B	21,7 - 19,1	51,4 - 58,1	1,9 - 1,5
40C	31,2 - 24,3	28,8 - 42,5	2,9 - 2,0
40B	19,5 - 31,2	54,3 - 28,8	1,7 - 2,9
32C	30,6 - 24,2	31,6 - 45,7	2,1 - 2,2



Het zal duidelijk zijn, dat onmogelijk met zekerheid kan worden gezegd wat de korrelsamenstelling der beproefde monsters is geweest.

Het heterogene karakter van de kleilaag is er derhalve oorzaak van dat met behulp van de uitgevoerde erosieproeven géén optimale conclusies kunnen worden getrokken.

#### Samenvatting en conclusies

Uit het onderhavige rapport alsmede uit de twee eerder verschenen rapporten CO-265412/11 en CO-265412/12 kan het volgende samenvattend worden geconcludeerd.

Bij het vooronderzoek naar de eigenschappen van de klei bleek het volgende:

- De onderzochte klei bleek zeer schraal te zijn. Veel schraler dan elders bij dijken (b.v. Holland en Zeeland) gebruikelijk is. Echter in het noorden van het land (Groningen en Friesland) worden dergelijke kleien naar verluid normaal toegepast.
- Verder was zeer opvallend de heterogene samenstelling in de kleilaag, de gemaakte foto's van de monsters laten duidelijke zandlagen zien.
- De verwachting was dat de klei, althans de kale klei niet of nauwelijks bestand zou zijn tegen erosie.
- Niet rechtstreeks van belang voor dit onderzoek maar in algemene zin ons inziens zeer belangrijk is het feit dat een zeer grote waterdoorlatendheid van de bekledingslaag werd vastgesteld.  
Men kan zich afvragen of hiermee bij het maken van het ontwerp (een zandkern met een kleibekleding) voldoende rekening is, c.q. wordt gehouden.

Uit het interimonderzoek dat werd uitgevoerd op klei uit een Friese groene dijk kan geconcludeerd worden:

- dat met erosieproeven in het centrifuge-apparaat resultaten kunnen worden geboekt, die de visuele indrukken, opgedaan tijdens de proeven te Alphen/Lith, bevestigen.

- Dat wil zeggen, geconcludeerd kon worden, dat de oppervlaktelaag van een kleibekleding met gras aanmerkelijk meer weerstand kan bieden aan erosie dan dieper gelegen kleilagen.
- Aan een "vertaling" van de, in het centrifuge-apparaat geconstateerde schuifspanningen op de klei, naar de werkelijke situatie, werd nog geen aandacht besteed. De proeven moeten in vergelijkende zin worden beschouwd.
- De stelling dat het lutum- en zandgehalte, alsmede de dichtheid in mindere of meerdere mate als belangrijke parameters voor de erosiebestendigheid gelden, blijkt niet duidelijk uit de uitgevoerde proeven.
- De uitgevoerde centrifugeproeven geven zodanige resultaten, dat besloten kon worden de monsters, die zijn gestoken in de proefstukken te Alphen/Lith aan eenzelfde beproeving te onderwerpen.

Bij het erosieonderzoek op de in de beide proefstukken gestoken monsters werd het volgende vastgesteld:

- de met behulp van het vooronderzoek vastgestelde kleikarakteristieken blijken voldoende representatief te zijn voor de in Alphen/Lith onderzochte proefstukken;
- door de golfbelasting is het watergehalte in de klei duidelijk opgelopen ten opzichte van de toestand in de oorspronkelijke dijk. De klei is vrijwel volledig verzadigd geraakt;
- de oppervlaktelaag is veel beter tegen erosie bestand dan de diepere lagen. Dit wordt toegeschreven aan het effect van de graswortels, eventueel in combinatie met een hoger humusgehalte;
- het materiaal bleek té heterogeen om de invloed van mogelijke andere relevante parameters voor erosie te kunnen vaststellen.

Vertrouwende u met het vorenstaande van dienst te zijn geweest, ver-  
blijven wij,

hoogachtend,

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA

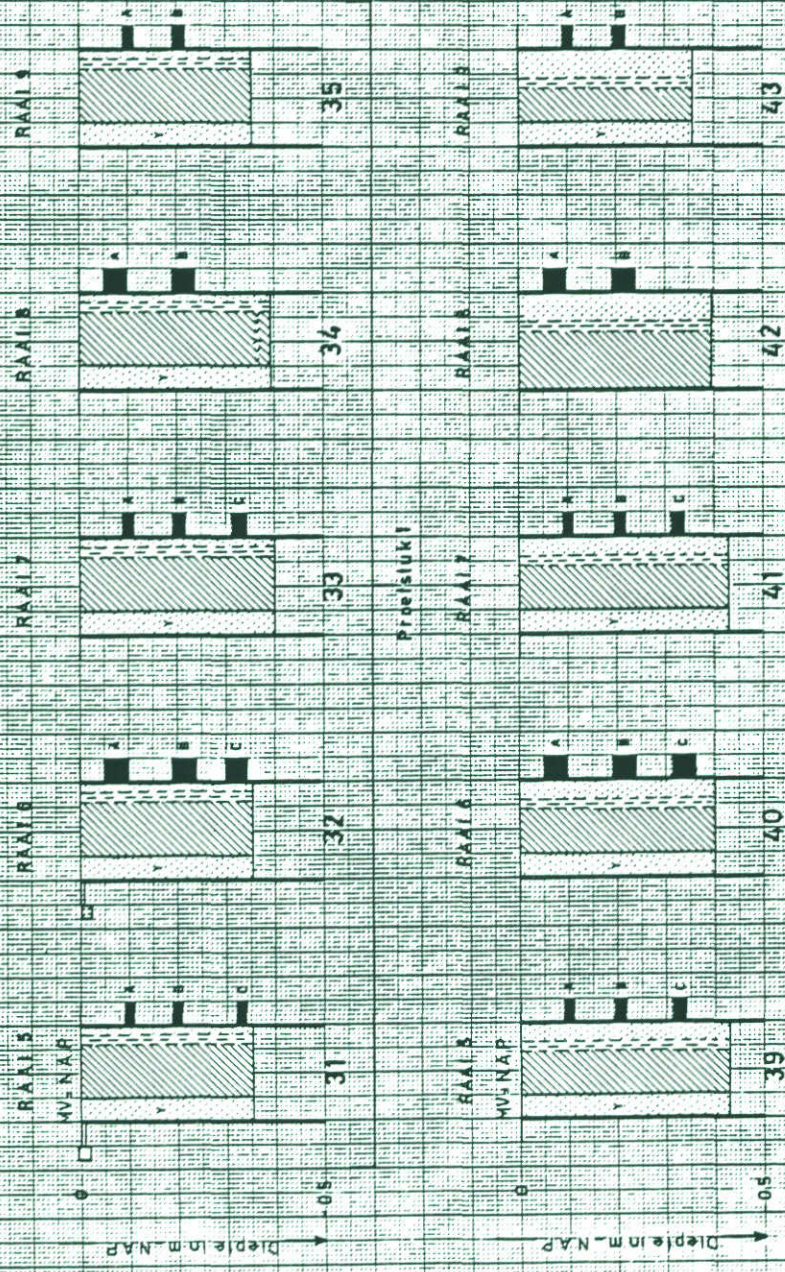


Ing. J. Dekker



Ir. G.W. Beetstra





Proefstuk 1

Proefstuk 2

Hoofdschaal 0,05 m boring - 5 cm op tekening

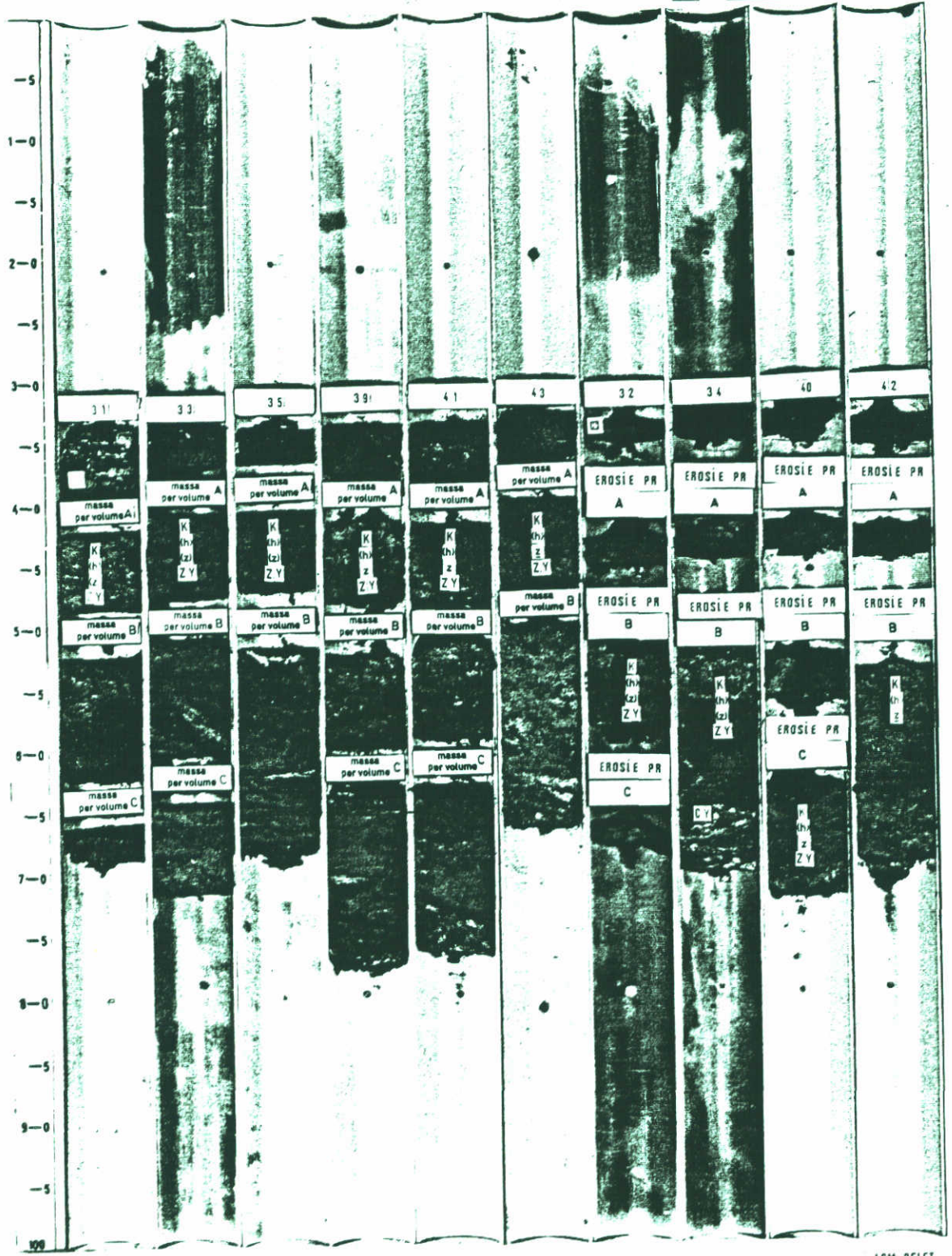
LEGENDA ZIE BIJL. B

 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> <small>1918 33324</small> <small>1918 33324</small>	APRIL '84	
	CO-265410	pc
BIJL. 20	30%	1/40

BORINGEN IN PROEFSTUKKEN TE LITH.



CG-265410



LGM-DELFT

LEGENDA ZIE BIJL.B



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223  
 telex: 38234 soil nl

EROSIEPROEVEN „GRASMAT OP KLEI„

FOTO BORINGEN IN PROEFSTUKKEN TE LITH

d.d.	get.
CO-265410	pec.
BIJL. 20A	form. A <sub>4</sub>

proef- stuk	raai	monster	$\gamma_n$ t/m <sup>3</sup>	w %	$\gamma_{dr}$ t/m <sup>3</sup>	$S_r$ %
1	5	31A	1,853	27,23	1,456	89,79
		31B	1,799	36,18	1,321	96,22
		31C	1,844	33,48	1,381	97,7
	7	33A	1,832	33,41	1,373	96,85
		33B	1,871	30,60	1,433	96,46
		33C	1,886	34,37	1,404	103,62
	9	35A	1,805	36,60	1,321	98,0
		35B	1,880	28,00	1,469	93,33
		gem.			32,48	1,394
2	5	39A	1,886	31,76	1,431	100,73
		39B	1,945	23,94	1,569	93,47
		39C	1,839	34,47	1,368	98,36
	7	41A	1,878	33,16	1,410	101,79
		41B	1,937	24,35	1,558	93,24
		41C	1,895	31,69	1,439	100,93
	9	43A	1,866	32,94	1,404	99,99
		43B	1,898	29,76	1,463	98,27
		gem.			30,26	1,445

$\gamma_n$  = natte volumieke massa

$\gamma_{dr}$  = droge volumieke massa

W = watergehalte

$S_r$  = verzadigingsgraad



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 569223

telex: 38234 soil nl

mei '84

get  
Bl

EROSIEPROEVEN GRAS OP KLEI  
VOLUMIEKE MASSA EN WATERGEHALTEN  
LITH MONSTERS

CO-265410

gec

BIJL. 21

form  
A<sub>4</sub>



goot	raal	monster	gewichtprocenten		H	CaCO <sub>3</sub>	< 16 µm	16/2 µm	γ <sub>n</sub>	W	γ <sub>dr</sub>	S <sub>r</sub>		
			< 2 µm	> 63 µm									v.d	droge stof
1	6	32A boven	18,3	51,7	4,2	10,8	27,4	1,50	1,89	31,25	1,44	100,38		
			32A	13,1	66,9	1,2	8,9	21,1	1,61	1,84	35,58	1,36	99,6	
			32B	30,6	31,6	2,1	15,5	49,1	1,60	1,79	38,14	1,30	97,08	
		32C onder	24,2	45,7	2,2		38,3	1,58						
			34A boven	20,8	44,6	5,1		36,1	1,74	1,80	33,81	1,35	93,21	
			34A	23,2	48,5	2,2		35,1	1,51	1,85				
		34B	26,6	41,4	2,5	13,8	38,6	1,45						
			34B											
			34B onder											
				gemiddeld	22,7	48,4	2,8	12,3		1,57		1,36	97,6	
		2	6	40A boven	22,0	54,4	3,7	10,5	32,3	1,47	1,89	31,06	1,44	100,38
					40A	19,5	54,3	1,7	11,4	30,3	1,55	1,87	34,47	1,36
40B	31,2				28,8	2,9	15,3	49,7	1,59	1,81	43,15	1,26	105,77	
40C onder	24,3			42,5	2,0	12,7	37,9	1,56						
	42A boven			22,9	48,6	5,5	10,9	36,1	1,58	1,88	35,72	1,39	104,83	
	42A			21,7	51,4	1,9	12,2	32,6	1,50	1,92	28,71	1,49	99,45	
42B	19,1			58,1	1,5	10,7	28,1	1,47						
	42B													
	42B onder													
				gemiddeld	23,0	48,3	2,7	12,0		1,53		1,39	103,3	

$\gamma_n$  = natte vo-  
 Lumieke massa  
 $\gamma_{dr}$  = droge vo-  
 Lumieke massa  
 W = watergehalte  
 $S_r$  = verzadigings-  
 graad



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223  
 telex: 38234 soil nl

mei 84  
 get. *[Handwritten initials]*  
 gec.

EROSIE PROEVEN "GRAS OP KLEI"  
 OVERZICHT HERKENNINGSPROEVEN  
 LITH MONSTERS

CO-265410  
 BIJL. 22  
 A4

goot	raai	monster	$\gamma_n$ t/m <sup>3</sup>	W %	$\gamma_{dr}$ t/m <sup>3</sup>	$S_r$ %	peno. kN/m <sup>2</sup>	torvane kN/m <sup>2</sup>	$\Delta G$ %	T h	$\tau$ N/m <sup>2</sup>	T $\times$ T	
1	6	32A	1,89	31,25	1,44	100,38	55	33	5	2,35	11,33	26,63	
										10	2,44	17,17	41,39
										20	2,61	21,46	56,01
		32B	1,84	35,58	1,36	99,6	42,5	19	0,03	0	0		
									0,06	0	0		
									0,12	0	0		
	32C	1,79	38,14	1,30	97,1	55	15	2,36	8,71	20,56			
								2,54	11,67	25,64			
								2,74	18,67	51,16			
	8	34A	1,80	33,81	1,35	93,2	27,5	20	0,85	1,25	1,06		
									1,03	2,13	2,19		
									2,04	3,33	6,79		
34B		1,85						0,53	0,42	0,22			
								0,60	0,75	0,45			
								0,70	1,38	0,97			
2	6	40A	1,89	31,06	1,44	100,4	6,25	16		2,33	5,88	13,70	
										2,36	6,38	15,06	
										2,39	7,83	18,71	
		40B	1,87	37,47	1,36	105,8	60	22	0,96	1,96	1,88		
									1,12	3,54	3,96		
									1,81	5,08	9,19		
	40C	1,81	43,15	1,26	105,8	45	17	0,72	0,83	0,60			
								0,87	2,13	1,85			
								1,08	2,58	2,79			
	8	42A	1,88	35,72	1,39	104,8	50	20	2,82	17,25	48,65		
									3,05	21,75	66,34		
		42B	1,92	28,71	1,49	99,5	50	16	0,63	0	0		
0,77									1,42	1,09			
								0,93	2,71	2,52			

$\gamma_n$  = natte volumieke massa

$\gamma_{dr}$  = droge volumieke massa

W = watergehalte

$S_r$  = verzadigingsgraad

peno. = penetrometerwaarde

$\Delta G$  = gewichtsverlies tijdens proef

T = tijdstip waarop  $\Delta G$  aanwezig

$\tau$  = schuifspanning op monster bij betreffende  $\Delta G$



**laboratorium voor grondmechanica delft**

telefoon: (015) - 569223

telefax: 38234 soil.nl

d.d.  
mei '84

get.

*AS*

gec.

EROSIEPROEVEN "GRAS OP KLEI"

CO-265410

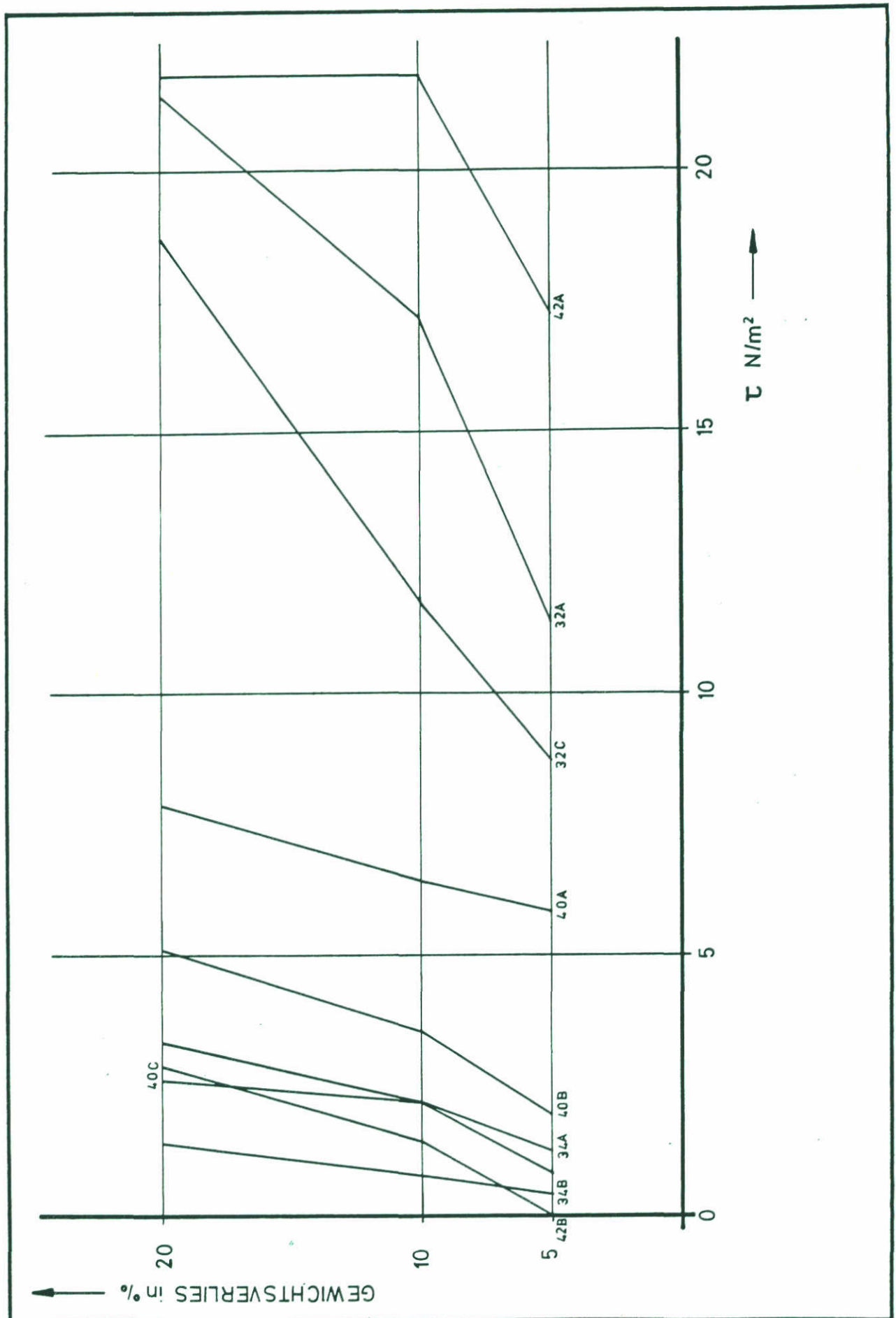
OVERZICHT EROSIETPROEVEN  
LITH MONSTERS

BIJL. 23

form.

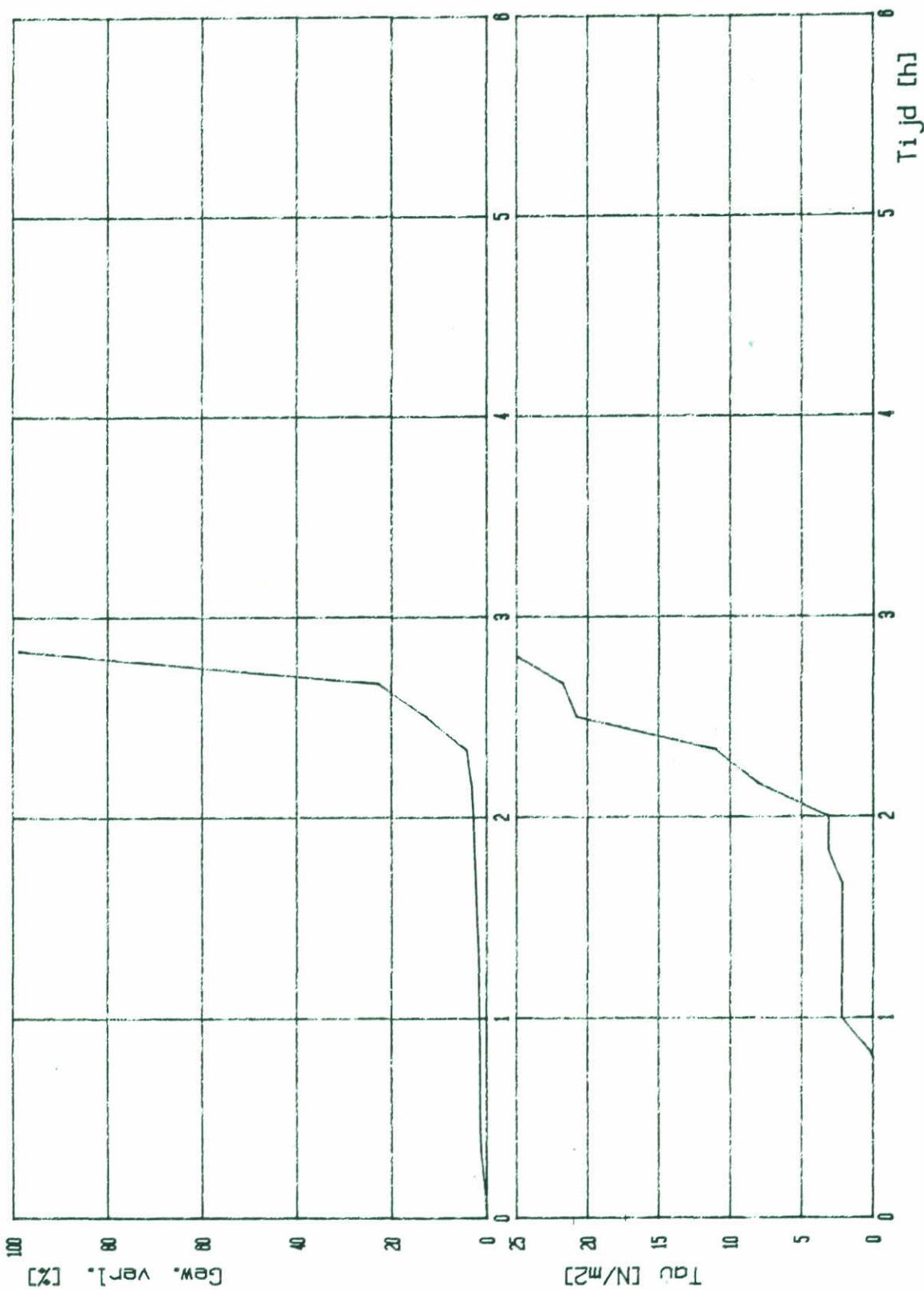
A<sub>4</sub>





 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 569223 telex: 38234 soil nl	d.d. 1984-05-04	get. WB
	EROSIEPROEVEN "GRAS OP KLEI" OVERZICHT EROSIEPROEVEN LITH MONSTERS	CO-265410
BIJL. 23A		





**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soil nl

d.d. 84 - 02 - 27

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 LITH MONSTERS

CO-265410

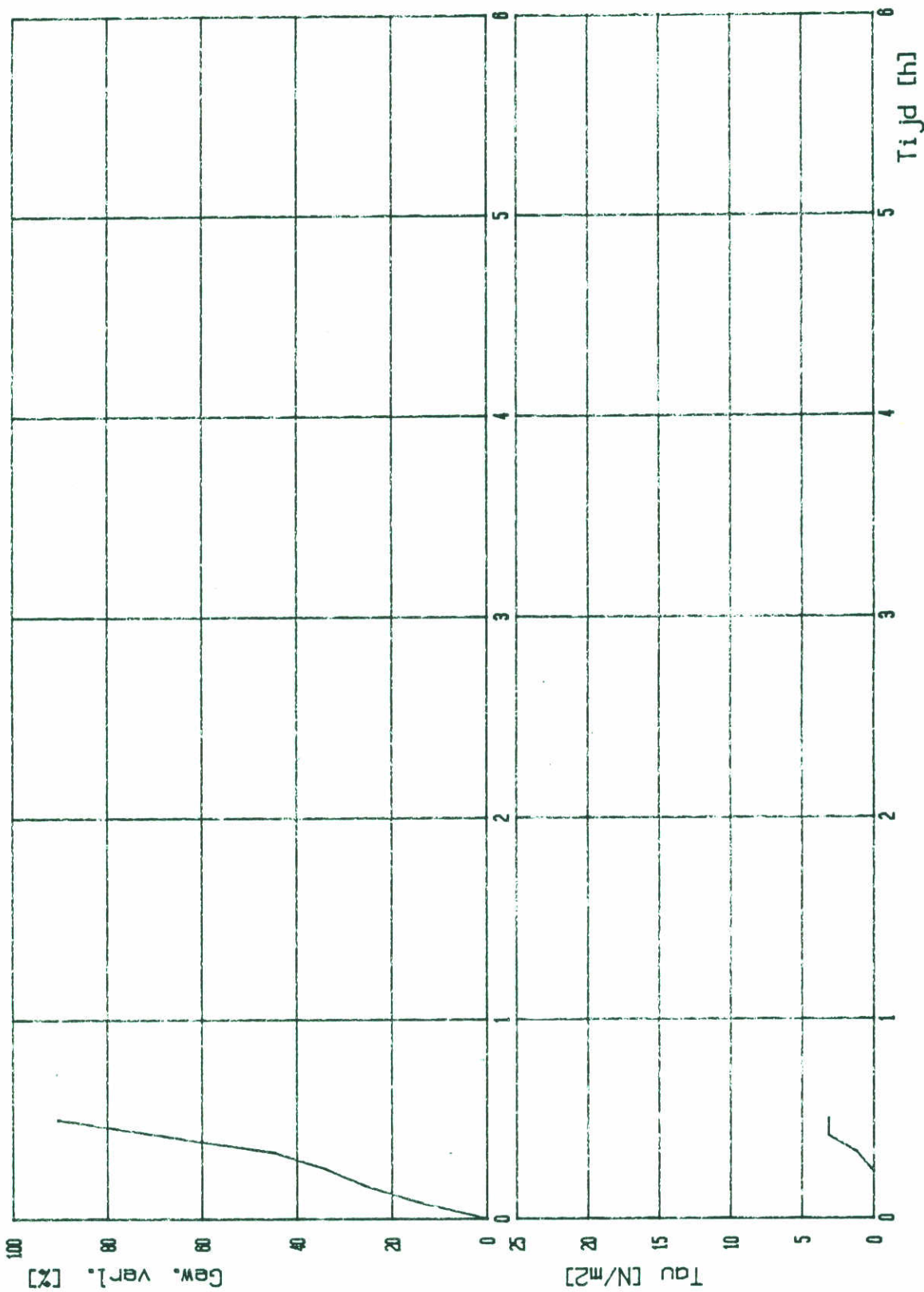
gec.

EROSIEPROEF: MONSTER No. 32A

BIJL. 24

form.

A<sub>4</sub>



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soil nl

d.d.

84-02-28

get.

*[Signature]*

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"

CO-265410

gec.

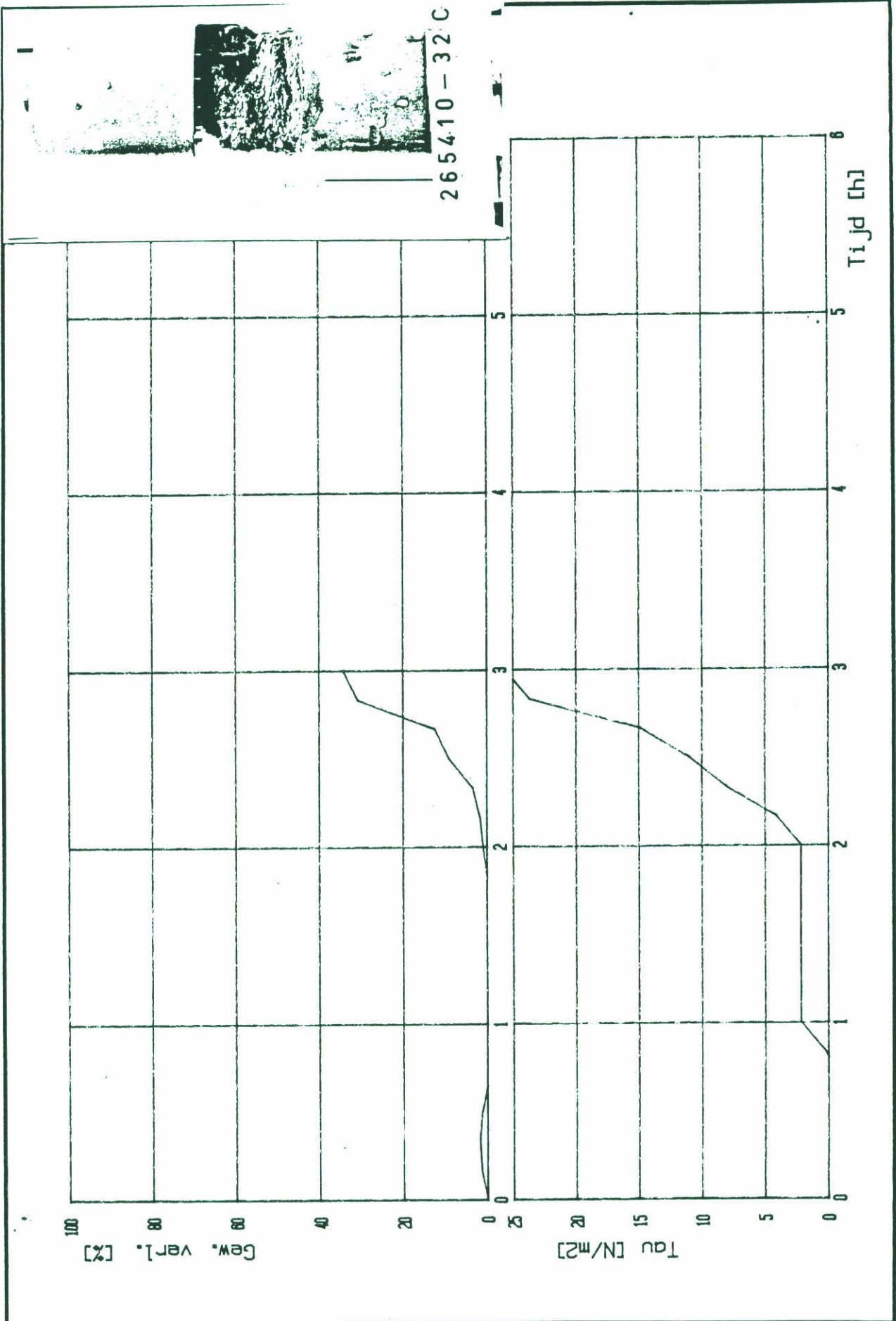
LITH MONSTERS

BIJL. 25

form.

EROSIEPROEF: MONSTER No. 32 B

A<sub>4</sub>



265410 - 32 C



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soil nl

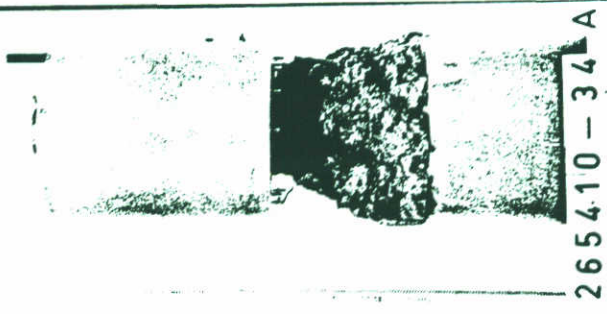
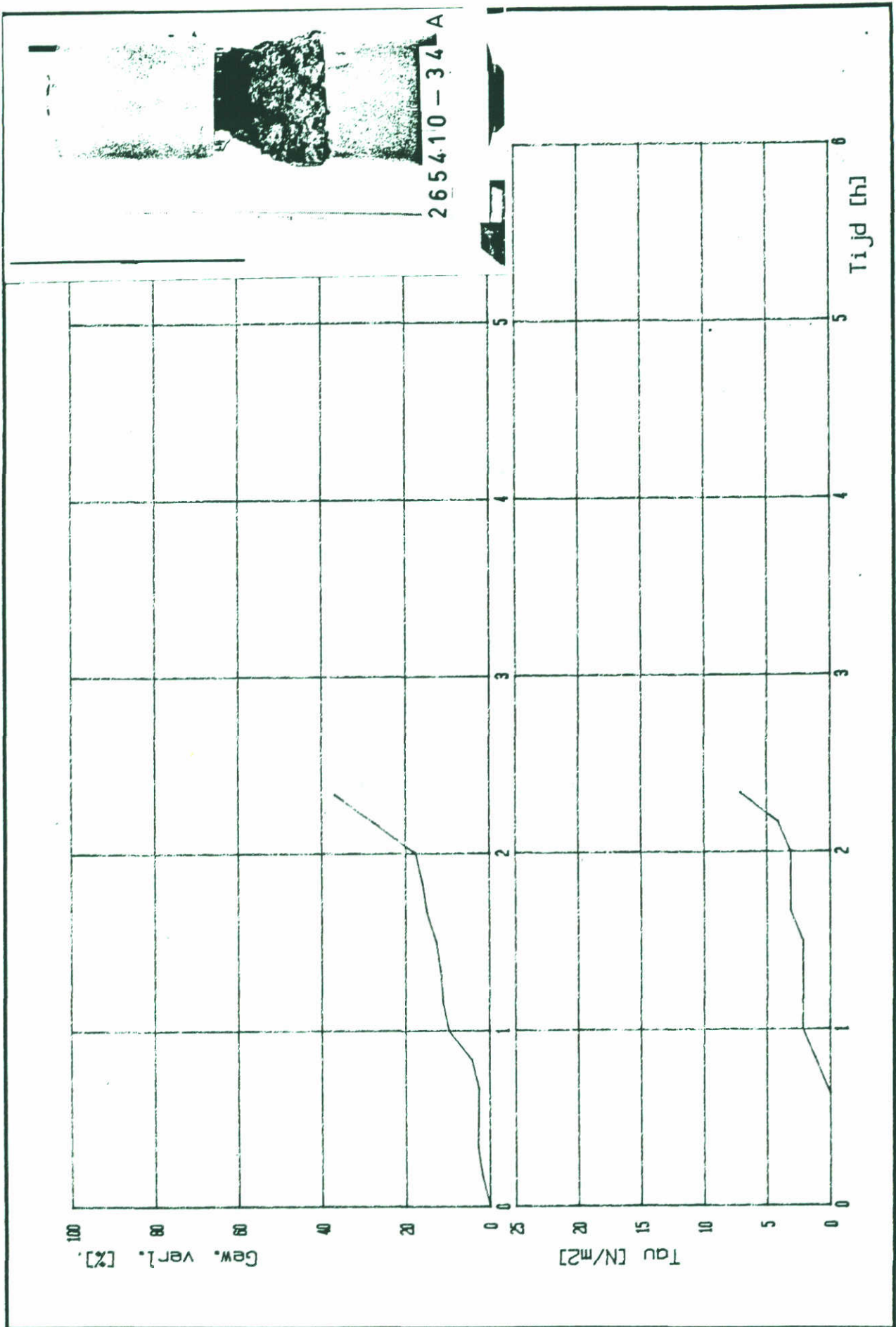
d.d. 84-02-29      get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 LITH MONSTERS  
 EROSIETEST: MONSTER No. 32C

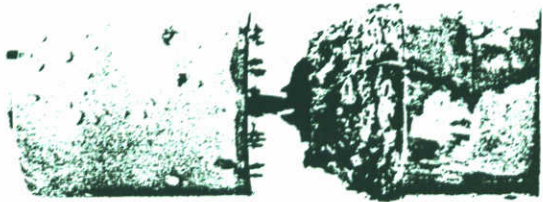
CO-265410      gec.

BIJL. 26      form. A4

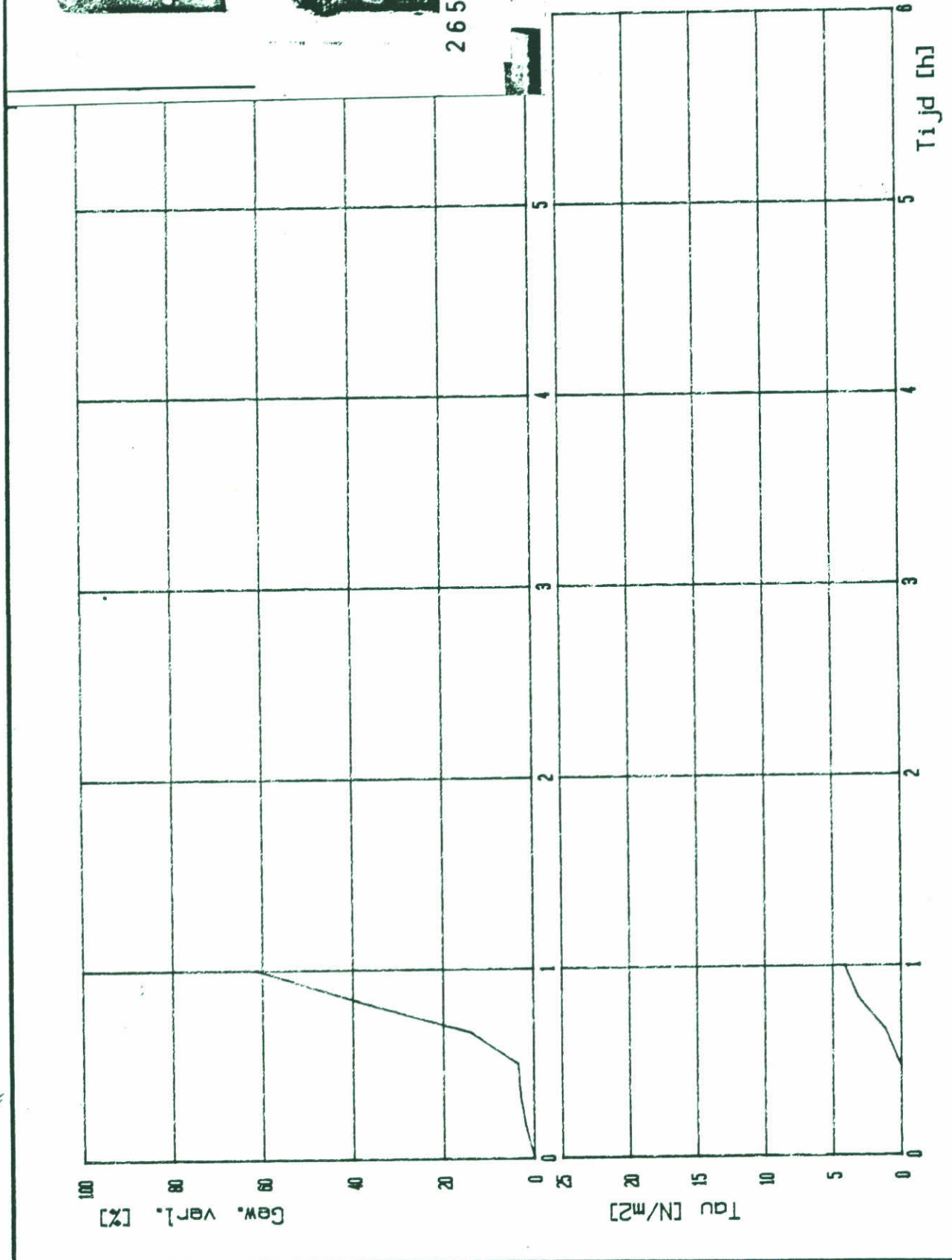




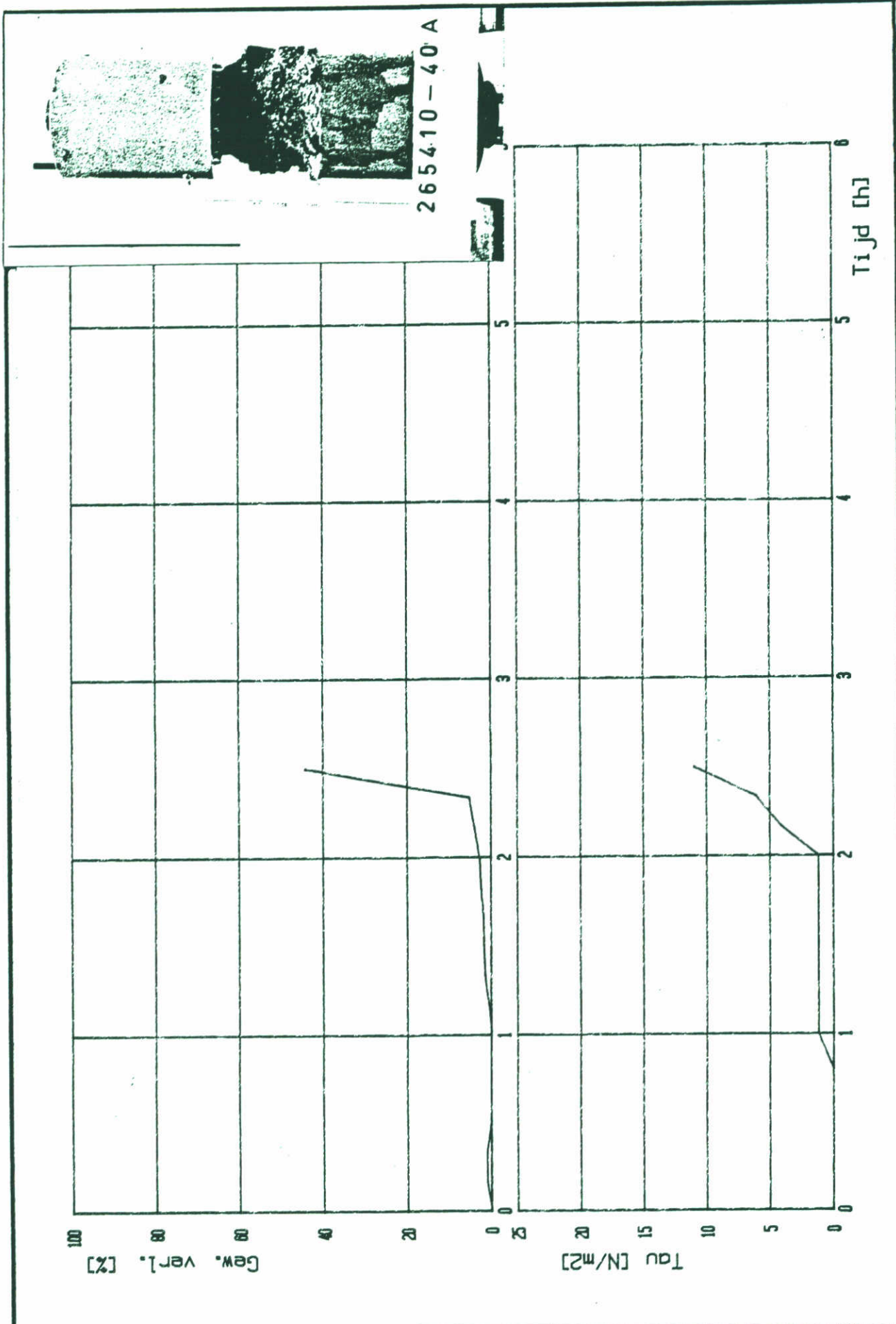
 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 569223 telex: 38234 soil nl	d.d.	84 - 03 - 01	get.
	EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"		gec.
	LITH MONSTERS		CO-265410
EROSIEPROEF: MONSTER No. 34A		BIJL. 27	A <sub>4</sub>



265410 - 34 B

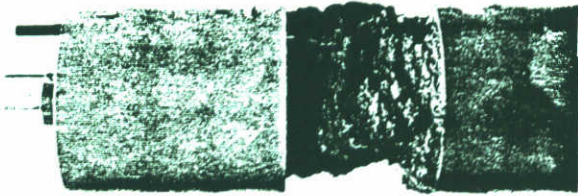


 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 569223	d.d. 84 - 03 - 02	get.
	telex: 38234 soil nl	gec. CO-265410
EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI" LITH MONSTERS EROSIEPROEF: MONSTER No. 34 B	form. BIJL. 28	A <sub>4</sub>

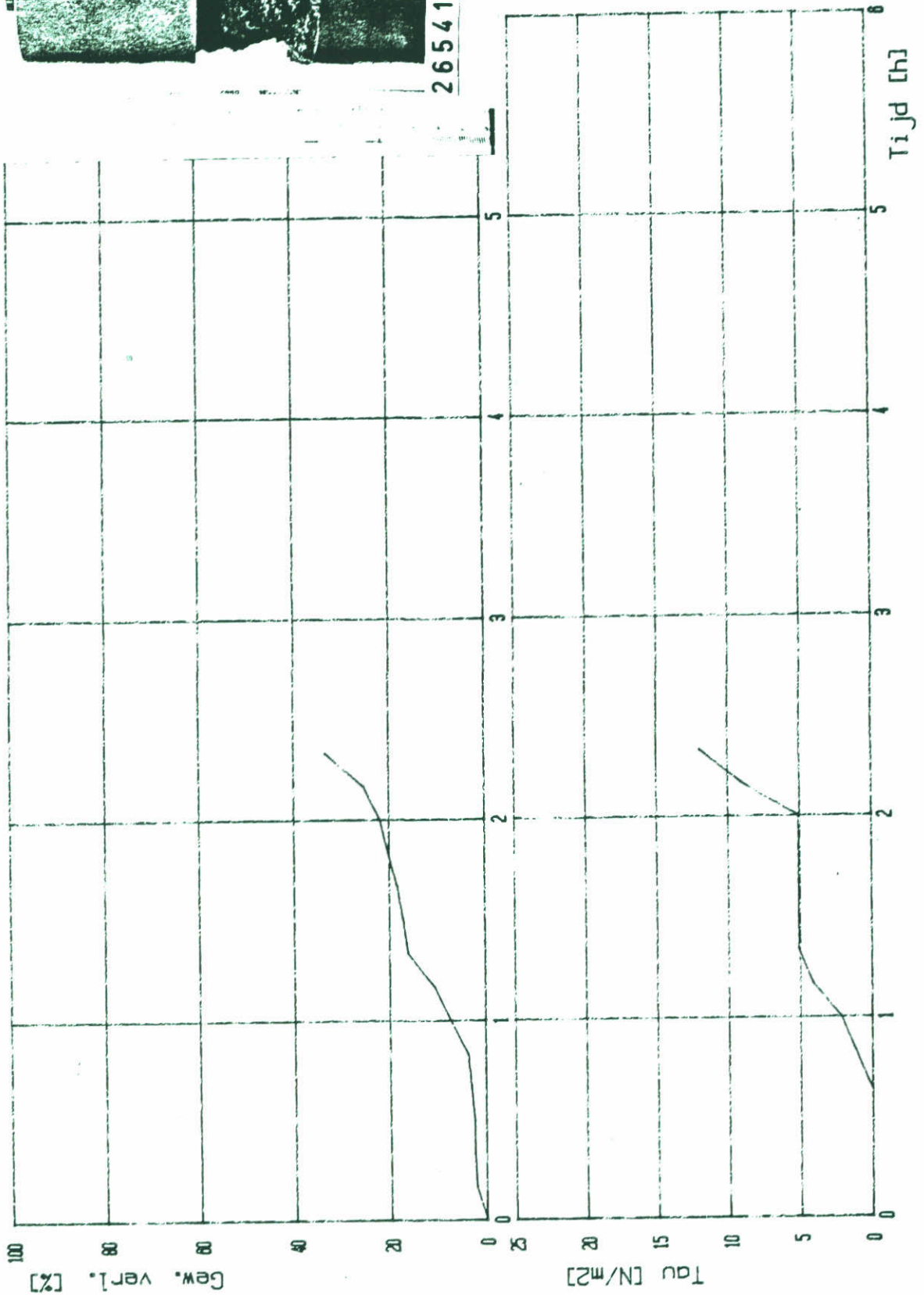


 <b>laboratorium voor grondmechanica delft</b> telefoon: (015) - 569223 telex: 38234 soil nl	d.d.	get.
	84 - 03 - 05	
	CO-265410	gec.
EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI" LITH MONSTERS	BIJL. 29	form. A <sub>4</sub>
EROSIEPROEF: MONSTER No. 40A		





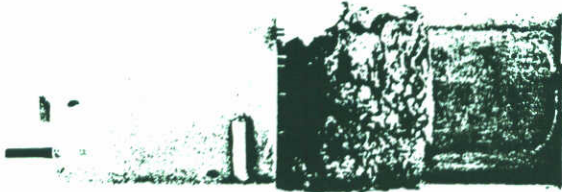
265410 - 40B



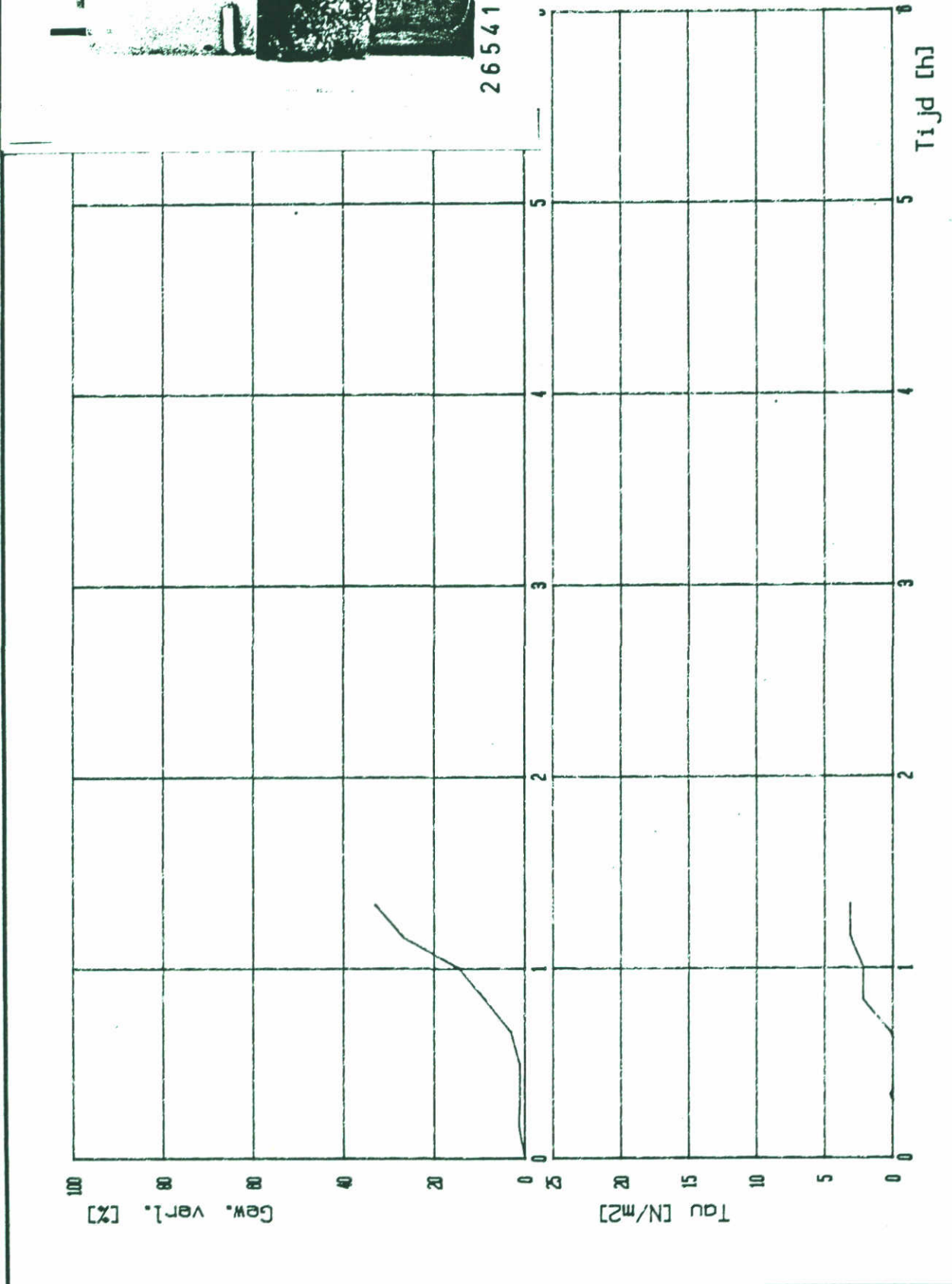
**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soil nl

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 LITH MONSTERS  
 EROSIETEST: MONSTER No. 40B

dd	84-03-06	get.
gec.	CO-265410	
form.	BIJL. 30	A <sub>4</sub>



265410 - 40C



**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223 teleex: 38234 soil nl

d.d.

84 - 03 - 07

get.

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 LITH MONSTERS

CO-265410

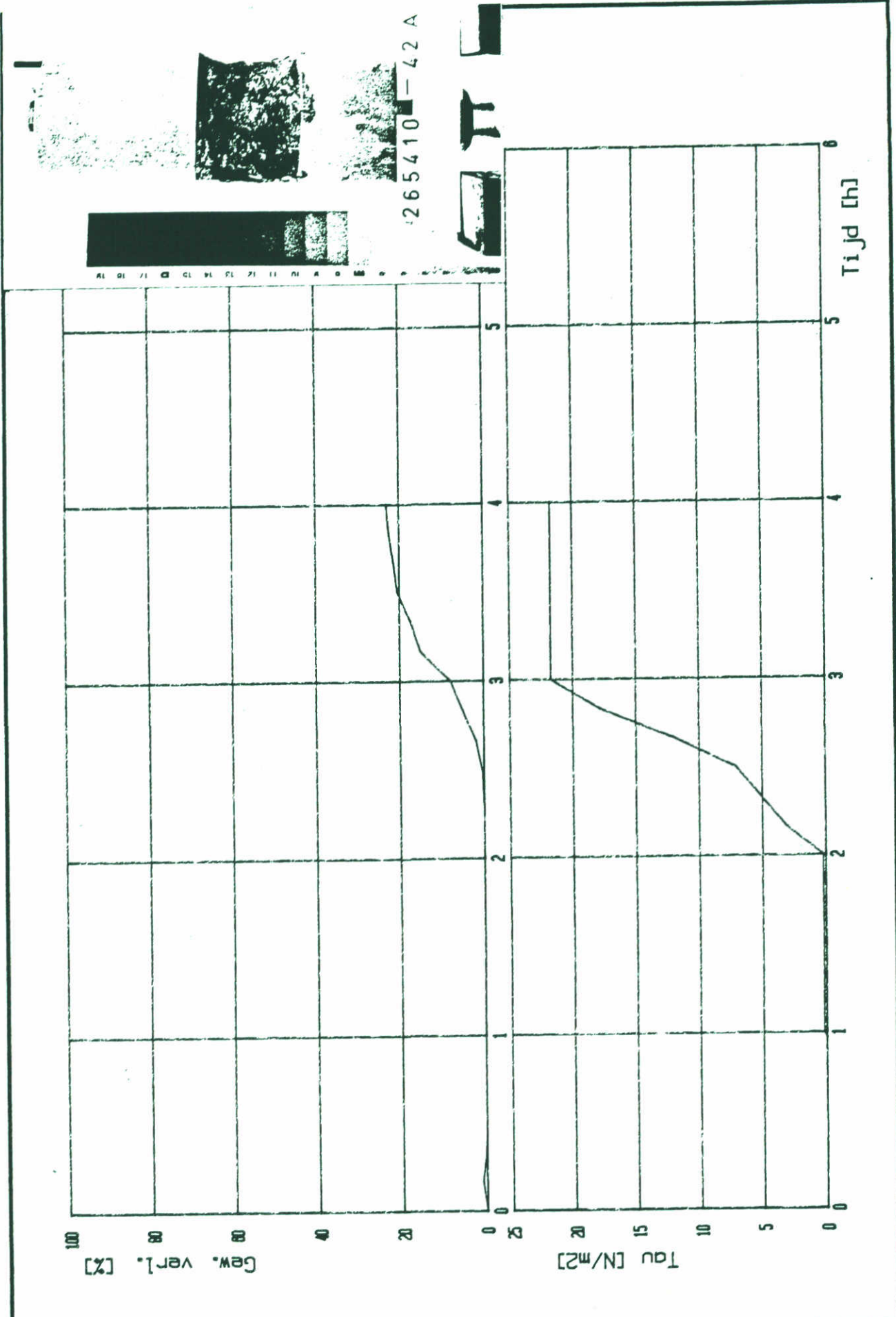
gec.

EROSIEPROEF: MONSTER No. 40C

BIJL. 31

form.

A<sub>4</sub>



265410-42A

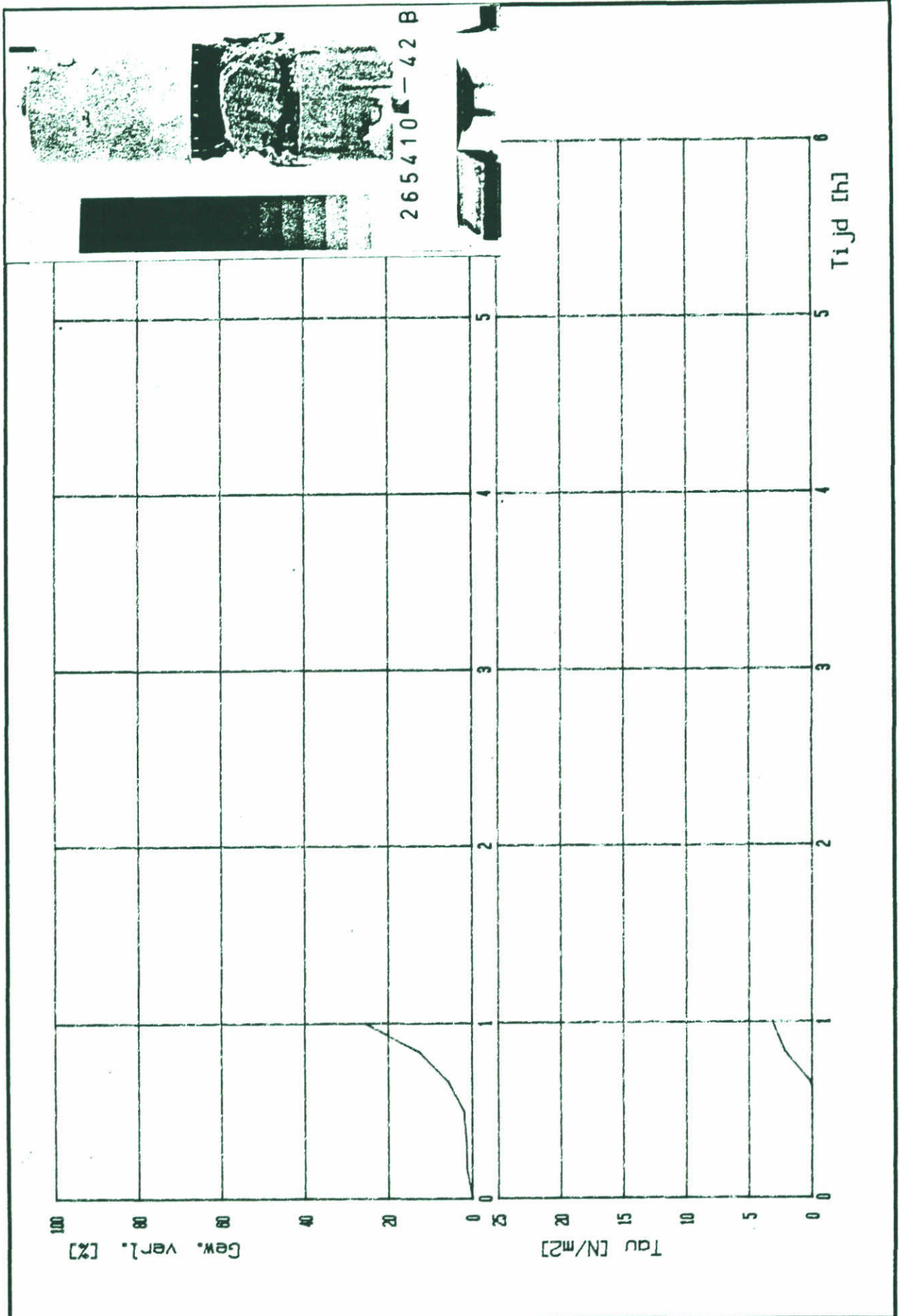


**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      d.d. 84-03-19      get.  
 telex: 38234 soil nl

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 LITH MONSTERS  
 EROSIEPROEF: MONSTER No. 42A

CO-265410      gec.  
 BIJL. 32      form. A<sub>4</sub>





**laboratorium voor grondmechanica delft**  
 telefoon: (015) - 569223      telex: 38234 soil nl

EROSIEPROEVEN "GRASMAT OP KLEI"  
 LITH MONSTERS  
 EROSIEPROEF: MONSTER No. 42 B

d.d.	84-03-31	get.
	CO-265410	gec.
	BIJL. 33	form. A <sub>4</sub>

waterloopkundig laboratorium    postbus 177, 2600 MH delft  
laboratorium voor grondmechanica    postbus 69, 2600 AB delft