

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

berekening krachten op drijvend hef materiaal
bij het plaatsen van onderdelen van de
stormvloedkering

interim verslag

M 1000 - 12

juli 1979

27 OKT. 1986

INHOUD

	blz.
<u>1 Inleiding</u>	1
<u>2 Berekeningsmethode</u>	1
<u>3 Resultaten</u>	4
<u>4 Opmerkingen</u>	5

FIGUREN

- 1 Berekeningsschema verhangkracht
- 2 Overzicht situaties
- 3...7 Waterspiegelverloop nabij pijler
- 8...14 Verhangkracht als functie van positie ten opzichte van as pijler;
Taklift 1
- 15...21 Verhangkracht als functie van positie ten opzichte van as pijler;
ir. J.G. Snip
- 22, 23 Maximum verhangkracht als functie van het verval
- 24, 25 Maximum verhangkracht als functie van de benedenwaterstand
- 26 Stroomkracht als functie van het verval
- 27, 28 Waterstanden en vervallen

BEREKENING KRACHTEN OP DRIJVEND HEFMATERIEEL BIJ HET PLAATSEN VAN ONDERDELEN VAN DE STORMVLOEDKERING

1 Inleiding

Bij de stormvloedkering in de Oosterschelde moeten, nadat de pijlers zijn geplaatst en de drempel gereed is, een aantal onderdelen (zoals dorpels, schuiven en brugliggers) tussen en op de pijlers worden aangebracht. Het aanbrengen zal geschieden met behulp van drijvend hefmaterieel.

In dit verslag worden de resultaten gepresenteerd van een aantal oriënterende berekeningen naar de krachten, zoals die optreden tijdens het in positie houden van het drijvend hefmaterieel. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen verhangkrachten en stroomkrachten.

Voor de stroomkrachten is een schatting gemaakt door ir. J.W. Koeman. De verhangkrachten zijn berekend door ing. G. Hartsuiker, die tevens het verslag heeft samengesteld.

2 Berekeningsmethode

Verhangkrachten

In figuur 1 wordt het berekeningsschema gegeven voor de verhangkracht. Onder verhangkracht wordt verstaan de kracht, welke moet worden geleverd om het schip in positie te houden als het ten gevolge van het waterspiegelverloop in de omgeving van de stormvloedkering onder een helling gaat liggen. Bij de berekening worden krachten of ontbondenen van krachten, welke klein zijn ten opzichte van de in het berekeningsschema opgenomen krachten, verwaarloosd. De verhangkracht wordt berekend voor een groot aantal posities van een rechthoekige bak ten opzichte van een gemeten waterspiegelverloop.

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de toestanden waarvoor de verhangkrachten zijn berekend. Er is voor elke toestand aangegeven: het verval, de benedenwaterstand en de situatie in het sluitgat met vermelding van een aantal belangrijke diepten en de bouwfase. Hierbij is de plaatsingsfase de situatie, waarbij de pijlers en de drempel klaar zijn, terwijl bij de eindfase bovendien de dorpels zijn geplaatst en een aanstorting is aangebracht (zie ook figuur 2).

De onderzochte situaties hebben betrekking op de Roompot.

De figuren 3 tot en met 7 geven voor alle toestanden het waterspiegelverloop nabij de pijler. De gegevens van het waterspiegelverloop zijn ontleend aan het onderzoek M 1447: "Bepaling afvoercoëfficiënten samengetrokken en niet-samengetrokken modellen van de caissonoplossingen en pijleroplossingen van de stormvloedkering in de Oosterschelde."

Stroomkrachten

De kracht op een schip in stromend water is opgebouwd uit een wrijvingskracht en een drukkracht. De bijdrage van de wrijving aan de totale stroomkracht kan als volgt worden benaderd:

$$K_F = C_F \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 S \quad (1)$$

waarin:

K_F = wrijvingskracht in N

ρ = soortelijke massa van het water in kg/m^3

v = snelheid van het schip ten opzichte van het water in m/s

S = natte oppervlak van het schip in m^2

C_F = wrijvingscoëfficiënt; deze kan als volgt worden benaderd:

$$C_F = 0,075 \left(\log \frac{v L}{\nu} - 2 \right)^{-2}$$

met:

L = lengte van het schip in m

ν = kinematische viscositeit van het water in m^2/s

De bijdrage van de drukkracht is afhankelijk van de diepte en breedte van het vaarwater. Voor een schip op water met onbeperkte breedte en diepte kan de drukkracht als volgt worden beschreven:

$$K_P = C_P \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 B T \quad (2)$$

waarin:

K_P = drukkracht in N

B = breedte van het schip in m

T = diepgang van het schip in m

C_P = dimensieloze coëfficiënt; deze hangt af van de scheepsvorm en de snelheid van het schip

Voor een schip op water met beperkte breedte en diepte wordt de drukkracht mede bepaald door de retourstroom en de inzinking en vertrimming van het schip. De drukkracht is dan als volgt te schrijven:

$$K_P = \rho g B T z_s + \frac{1}{2} \rho g B z_B^2 + C_P' \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 B (T + z_B) - C_P'' \cdot \frac{1}{2} \rho (v + U_s)^2 B T \quad (3)$$

waarin:

- g = versnelling van de zwaartekracht in m/s^2
- z_s = inzinking bij het achterschip in m
- z_B = inzinking bij de boeg in m
- U_s = retourstroomsnelheid ter plaatse van het achterschip in m/s
- C_P' = dimensieloze coëfficiënt
- C_P'' = dimensieloze coëfficiënt

Vergelijking (3) kan worden vereenvoudigd als het volgende wordt aangenomen:

- de inzinking bij de boeg is klein
- de vertrimming van het schip is klein
- bij het achterschip laat de grenslaag los

De uitdrukking voor de drukkracht kan onder deze aannamen als volgt worden geschreven:

$$K_P = \rho g B T z + C_P \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 B T \quad (4)$$

waarin:

- z = gemiddelde inzinking in m

De totale stroomkracht is dus:

$$K_V = K_F + K_P = C_F \cdot \frac{1}{2} \rho (v + u)^2 S + \rho g B T z + C_P \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 B T \quad (5)$$

waarin:

- u = gemiddelde retourstroomsnelheid in m/s
- $v + u$ = resulterende snelheid van het schip ten opzichte van het water in m/s

Uitgaande van vergelijking (5) kan de stroomkracht op het drijvend hefmaterieel bij de stormvloedkering worden bepaald.

3 Resultaten

De berekening van de berhangkrachten is uitgevoerd voor twee schepen, te weten:

- Taklift 1 : L = 60 m; B = 24 m; D = 4,5 m; V = 6480 m³
- ir. J.G. Snip: L = 57 m; B = 23 m; D = 3,5 m; V = 4589 m³

De figuren 8 tot en met 14 geven voor de "Taklift 1" de optredende verhangkrachten als functie van de positie ten opzichte van de as van de pijler.

De figuren 15 tot en met 21 geven de verhangkrachten voor de "ir. G.J. Snip".

De figuren 22 en 23 geven de maximum optredende verhangkracht als functie van het verval bij een benedenwaterstand van N.A.P. voor respectievelijk de "Taklift 1" en de "ir. G.J. Snip". Uit de figuren blijkt, dat er een vrijwel lineair verband bestaat tussen het verval en de verhangkracht; de helling van de lijn is afhankelijk van de bouwfase en de plaats van de pijler in het sluitgat.

De figuren 24 en 25 geven de maximum verhangkracht als functie van de benedenwaterstand. Hieruit blijkt, dat bij hogere benedenwaterstanden de verhangkrachten iets groter zijn.

Aan de hand van de figuren 22 tot en met 25 kan worden opgemerkt, dat bij de "Taklift 1" en de "ir. J.G. Snip" (schepen met vrijwel gelijke lengte en breedte) de verhouding van de maximum verhangkrachten vrijwel gelijk is aan de verhouding van de waterverplaatsing. Bij schepen met een duidelijk grotere lengte zijn de maximum verhangkrachten in verhouding kleiner, omdat het waterspiegelverloop wordt gemiddeld over een grotere lengte waardoor de helling, welke het schip gaat aannemen, kleiner zal worden.

In hoeverre met de maximum optredende verhangkracht rekening moet worden gehouden is afhankelijk van de maximaal in te nemen positie van het schip. Indien de boeg van het schip 15 m van de as van de pijler verwijderd moet blijven, betekent dit voor bijvoorbeeld de "Taklift 1" dat in de figuren 8 tot en met 14 de waarden tussen -45 m en +45 m niet optreden (45 m = halve scheepslengte + speling van 15 m).

Figuur 26 geeft de stroomkracht als functie van het verval. De stroomkracht is berekend met behulp van vergelijking (5) uit hoofdstuk 2. Er zijn hierbij voor de diverse onbekenden schattingen gemaakt, omdat er slechts gegevens bekend zijn voor schepen in lange rechte kanalen. Hieronder volgt een opsomming van de gehanteerde rekenwaarden:

- inzinking: tussen 0,25 m en 0,75 m
 - retourstroomsnelheid: tussen 0,5 m/s en 1,0 m/s
 - koëfficiënt C_p : 0,3
- } bij: $\Delta h = 1,5$ m
en $v = 5,4$ m/s

Er moet op worden gewezen, dat de stroomkracht en de verhangkracht voor een aantal posities van de schepen tegengesteld gericht zijn.

De figuren 27 en 28 geven het verloop van de waterstanden en vervallen gedurende het getij voor respectievelijk de plaatsingsfase en de eindfase. De gepresenteerde waarden gelden voor een gemiddeld getij (11 september 1968).

4 Opmerkingen

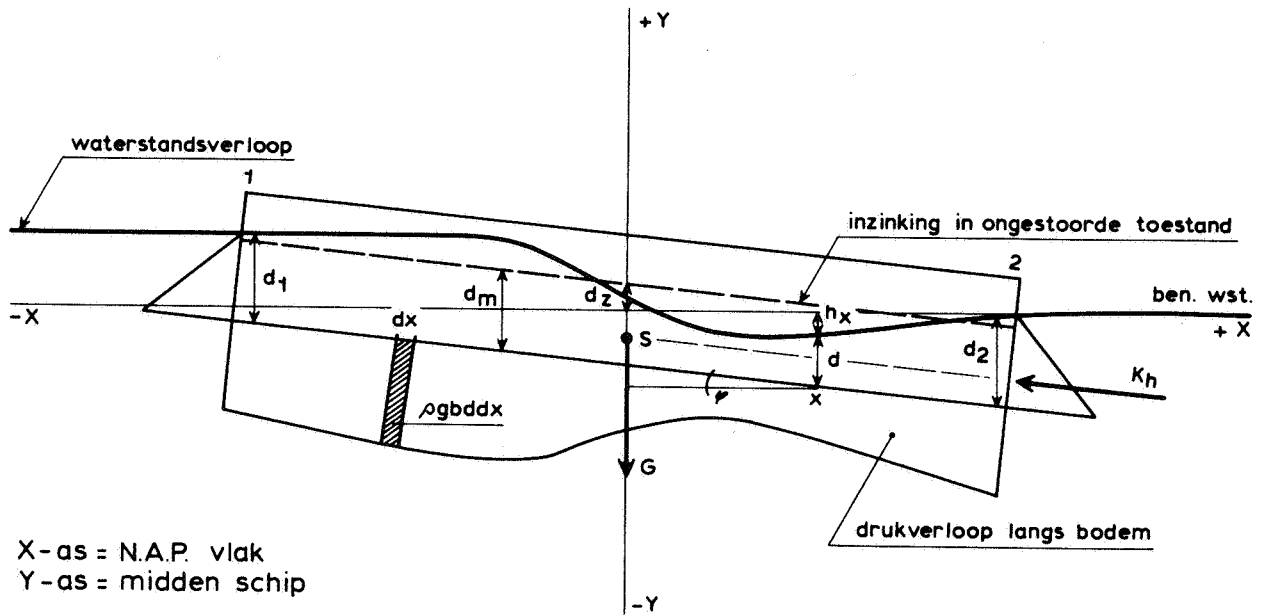
Voor de berekeningsmethode en de gepresenteerde resultaten gelden de volgende beperkingen:

- 1 de schematisatie van het schip tot een rechthoekige bak
- 2 het waterspiegelverloop geldt voor een ongestoorde situatie (zonder schip)
- 3 de schatting van de stroomkracht is gebaseerd op gegevens van schepen in rechte kanalen

Samenvattend kan worden gezegd dat met behulp van de gebruikte berekeningsmethode een redelijke schatting wordt gegeven van de optredende verhang- en stroomkrachten. Een goede oplossing van het probleem kan slechts worden verkregen met behulp van modelonderzoek, waarbij ook een modelschip is betrokken. Bij een dergelijk modelonderzoek worden de verhangkrachten en de stroomkrachten op juiste wijze weergegeven en kunnen de optredende krachten direkt worden gemeten.

toestand	Δh in m	ben.wst.	situatie	sluitingsfase	hoogte t.o.v. N.A.P.			
					pijler- voet	storte- bed	drempel- kruin	dorpel
T22	0,25	N.A.P.	} R39 = Roompot ondiep	plaatsingsfase met drempel	-20,0	-10,0	-12,0	-
T23	0,50	N.A.P.						
T24	0,75	N.A.P.						
T131	0,25	N.A.P.	} R29 = Roompot midden	plaatsingsfase met drempel	-27,0	-23,0	-16,5	-
T132	0,50	N.A.P.						
T133	0,75	N.A.P.						
T57	0,50	-1,00	} R14 = Roompot diep	plaatsingsfase met drempel	-33,5	-33,5	-21,5	-
T59	0,25	N.A.P.						
T60	0,50	N.A.P.						
T61	0,75	N.A.P.						
T63	0,50	+1,00						
T190	0,50	N.A.P.	} R39 = Roompot ondiep	eindfase	-20,0	-10,0	-	-4,1
T191	1,00	N.A.P.						
T192	1,50	N.A.P.						
T84	1,00	-1,00	} R14 = Roompot diep	eindfase	-33,5	-33,5	-	-10,0
T86	0,50	N.A.P.						
T87	1,00	N.A.P.						
T88	1,50	N.A.P.						
T90	1,00	+1,00						

Tabel 1 Overzicht toestanden



K_h = verhangkracht

d_m = diepgang in ongestoorde toestand

d_z = verhoging "waterlijn" t.o.v. x-as (t.p.v. midden schip)

ϕ = hellingshoek van schip

h_x = waterstand t.o.v. x-as

$$d = d_m - d_z + x \cdot \phi + h_x$$

$$1 \quad \Sigma X = 0 \quad \frac{1}{2} \rho g b (d_1^2 - d_2^2) + \rho g b \phi \int_1^2 d \cdot dx - K_h = 0$$

$$2 \quad \Sigma Y = 0 \quad \rho g b \int_1^2 d \cdot dx - G = 0$$

$$G = \rho g V$$

$$3 \quad \Sigma M = 0 \quad - \rho g b \int_1^2 x \cdot d \cdot dx = 0$$

(t.o.v. S)

Opm.: 1 ϕ is klein, dus $\sin \phi = \phi$ en $\cos \phi = 1$

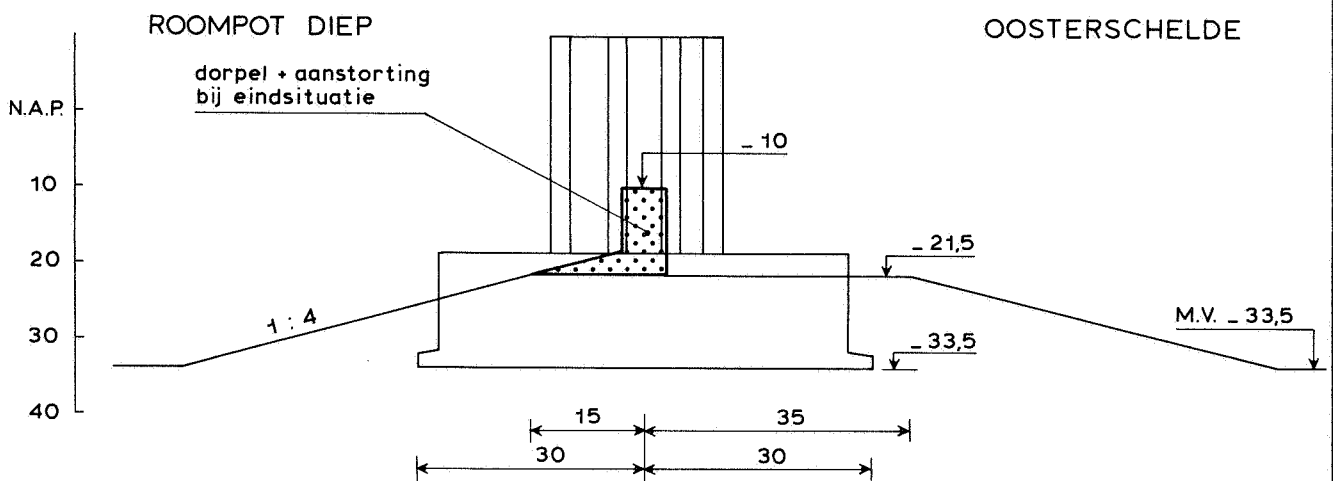
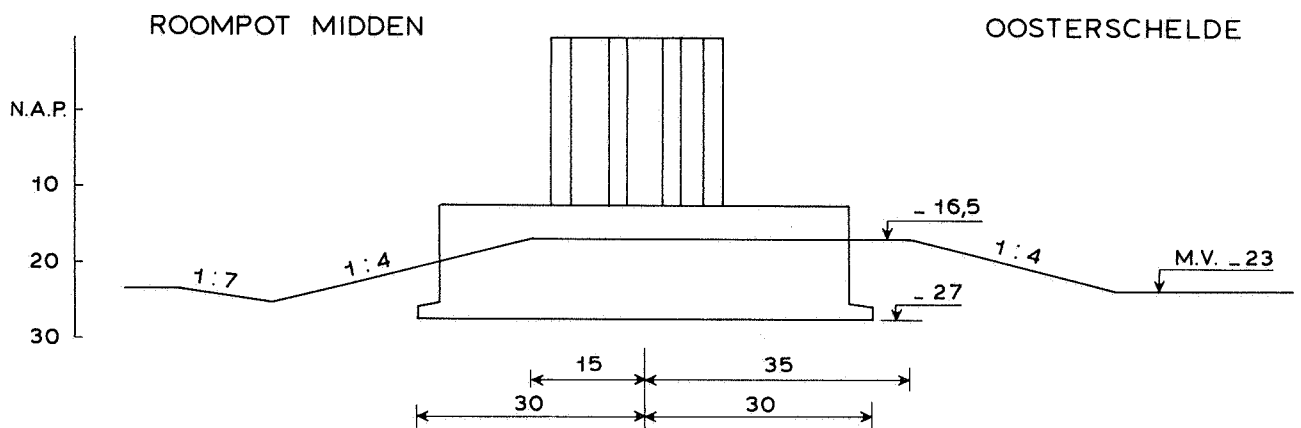
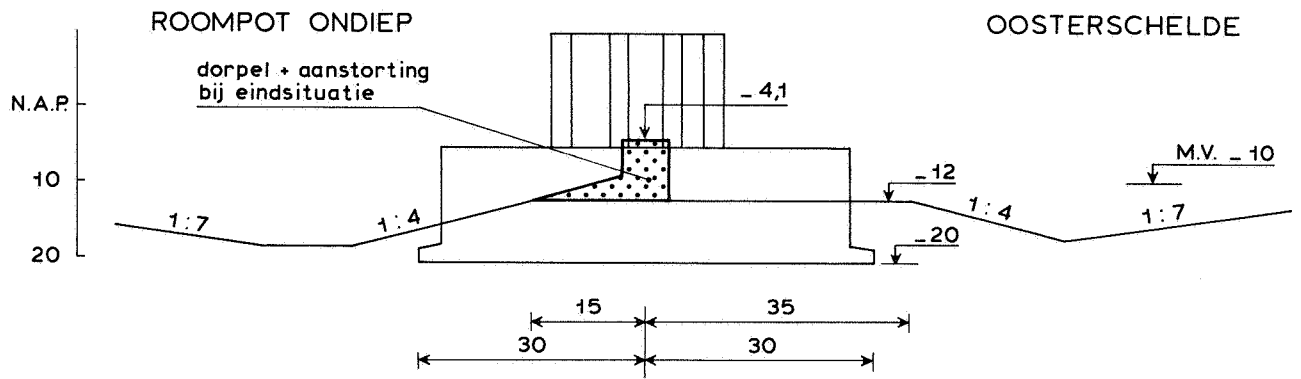
2 Andere krachten of ontbondenen van krachten, welke klein zijn t.o.v. de vermelde krachten, zijn niet in vergelijking 1,2 of 3 opgenomen.

BEREKENINGSSCHEMA VERHANGKRACHT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

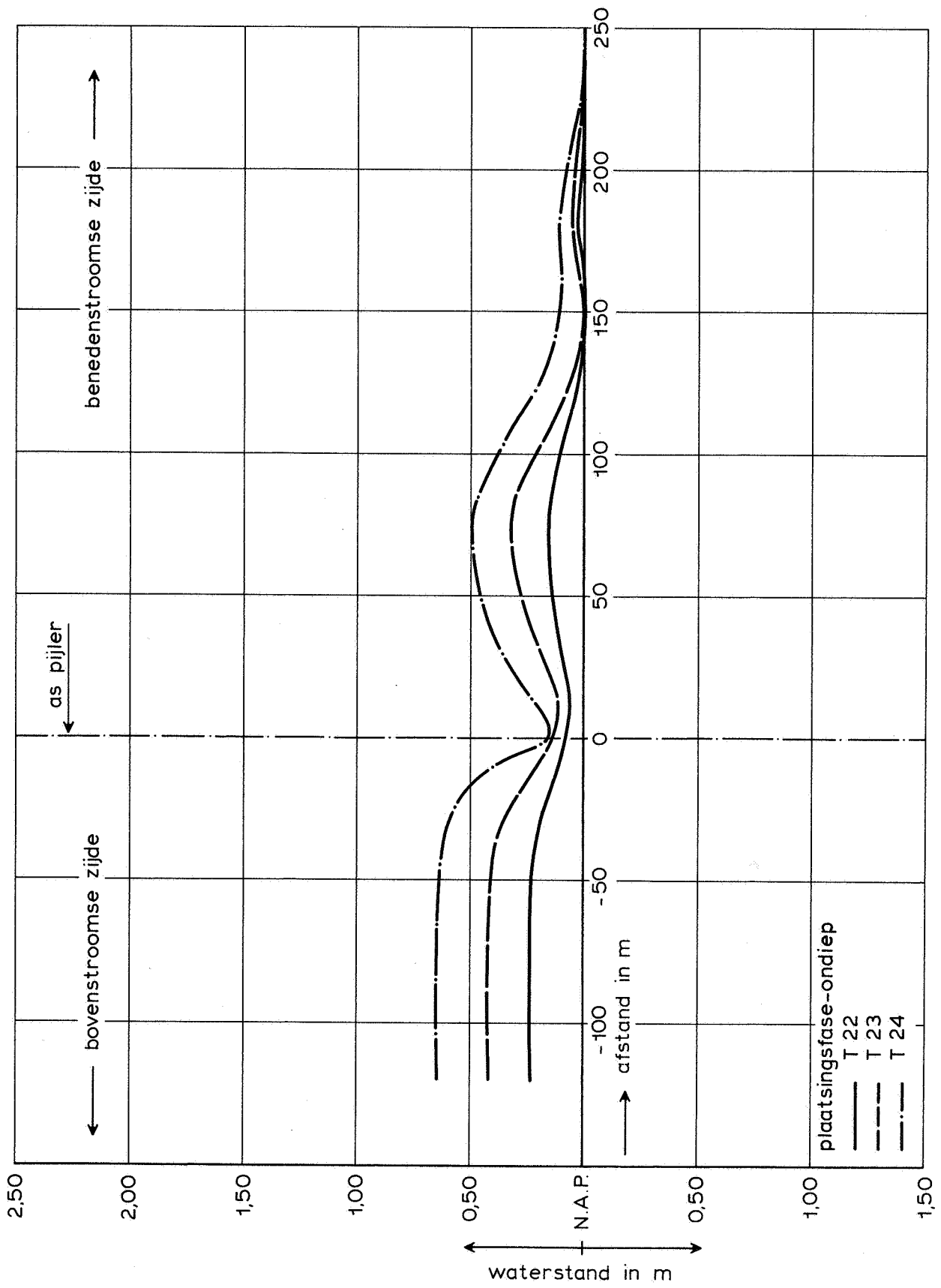
M 1000

FIG. 1



OVERZICHT SITUATIES

1964



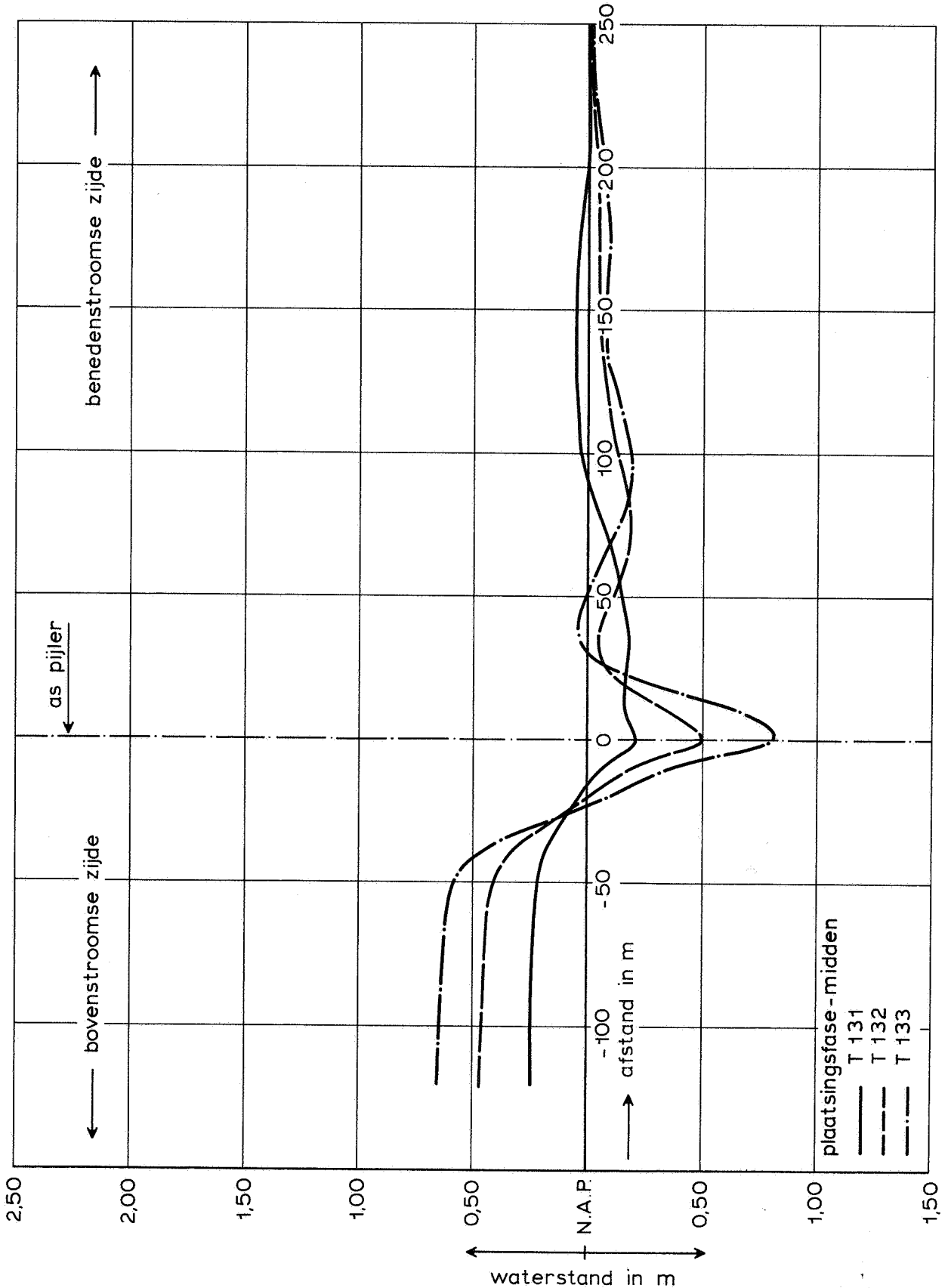
gegevens ontleend aan M 1447

WATERSPIEGELVERLOOP NABIJ PIJLER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 3



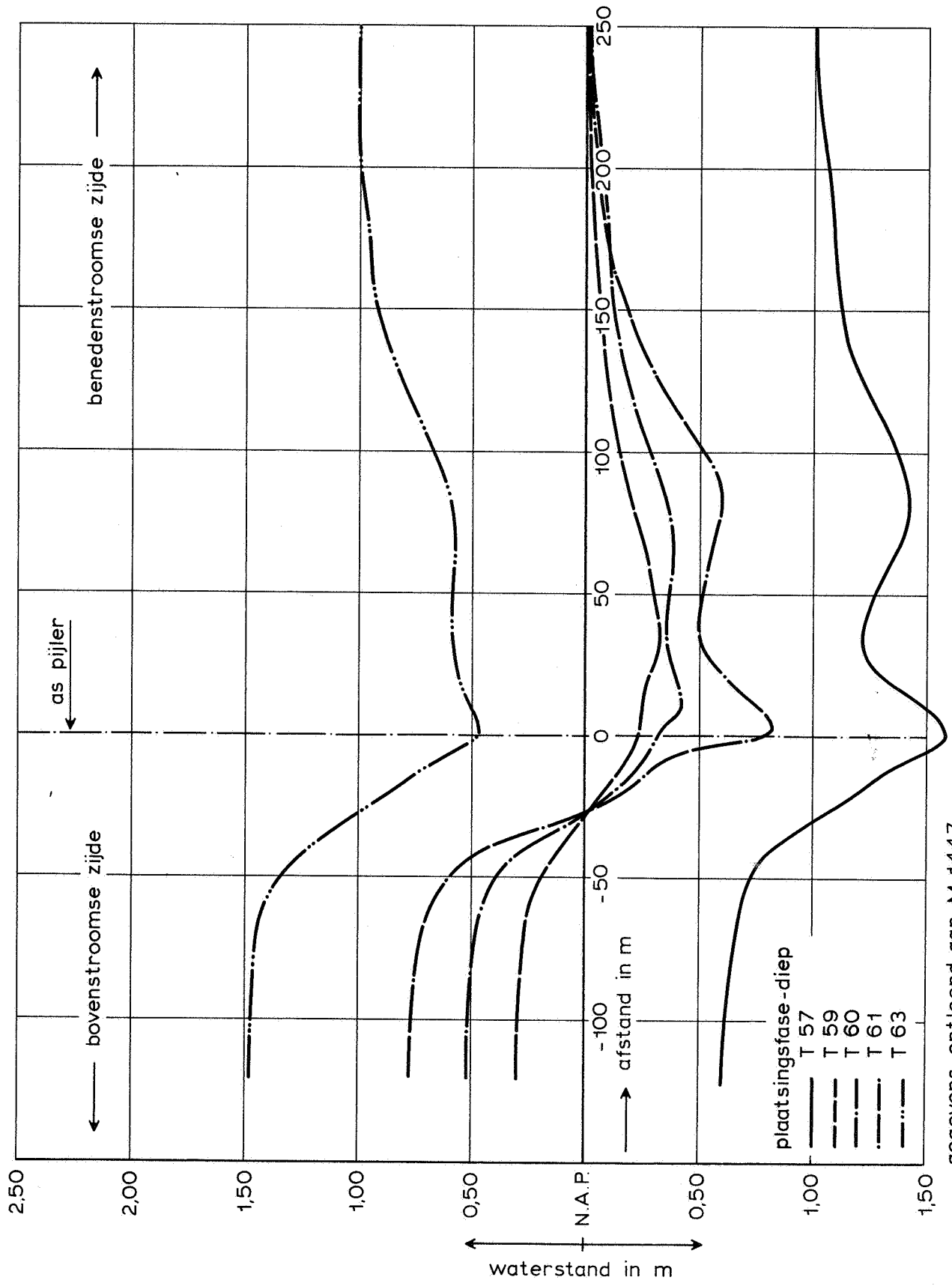
gegevens ontleend aan M 1447

WATERSPIEGELVERLOOP NABIJ PIJLER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 4



gegevens ontleend aan M 1447

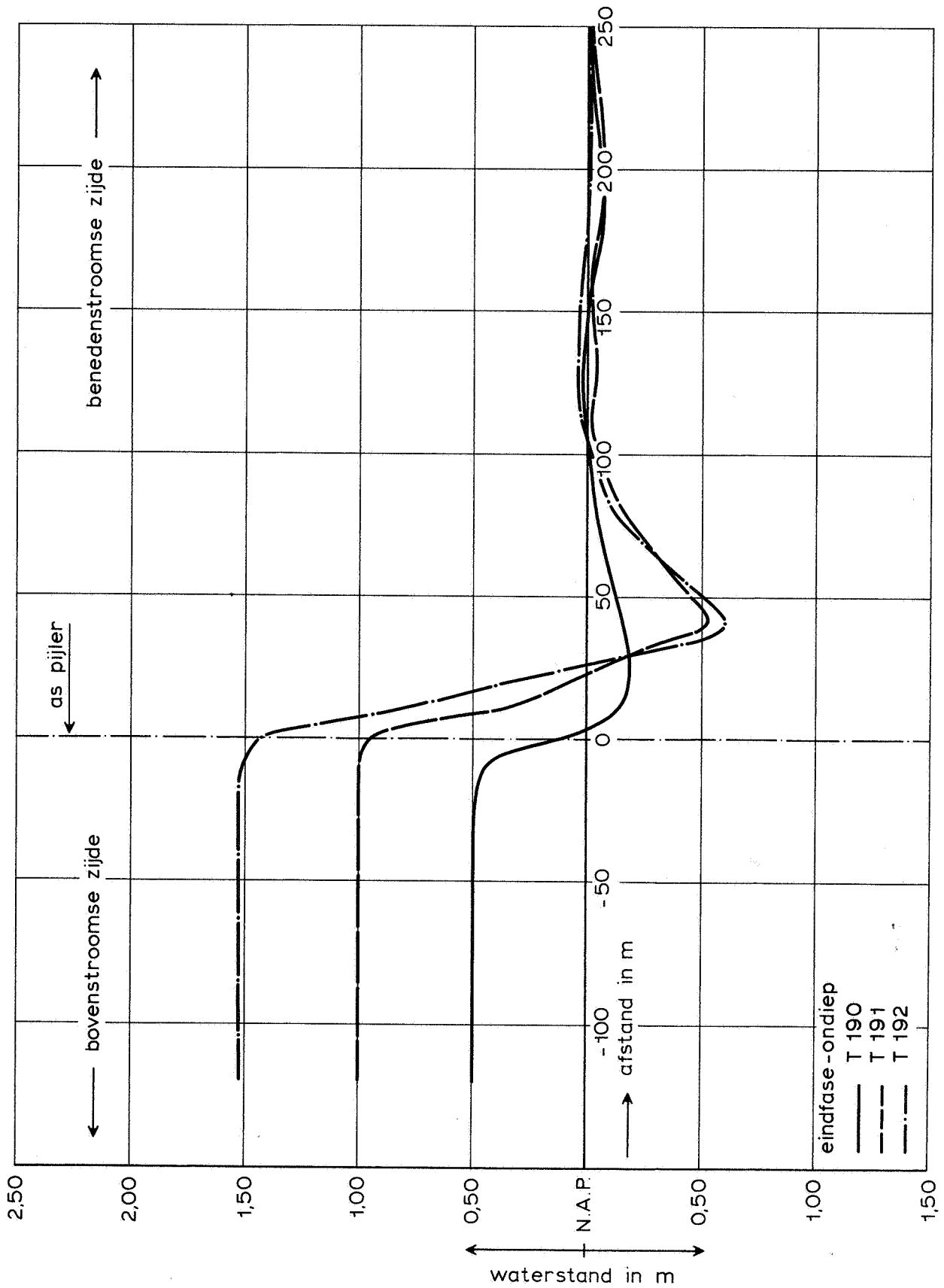
WATERSPIEGELVERLOOP NABIJ PIJLER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 5

15-64



gegevens ontleend aan M 1447

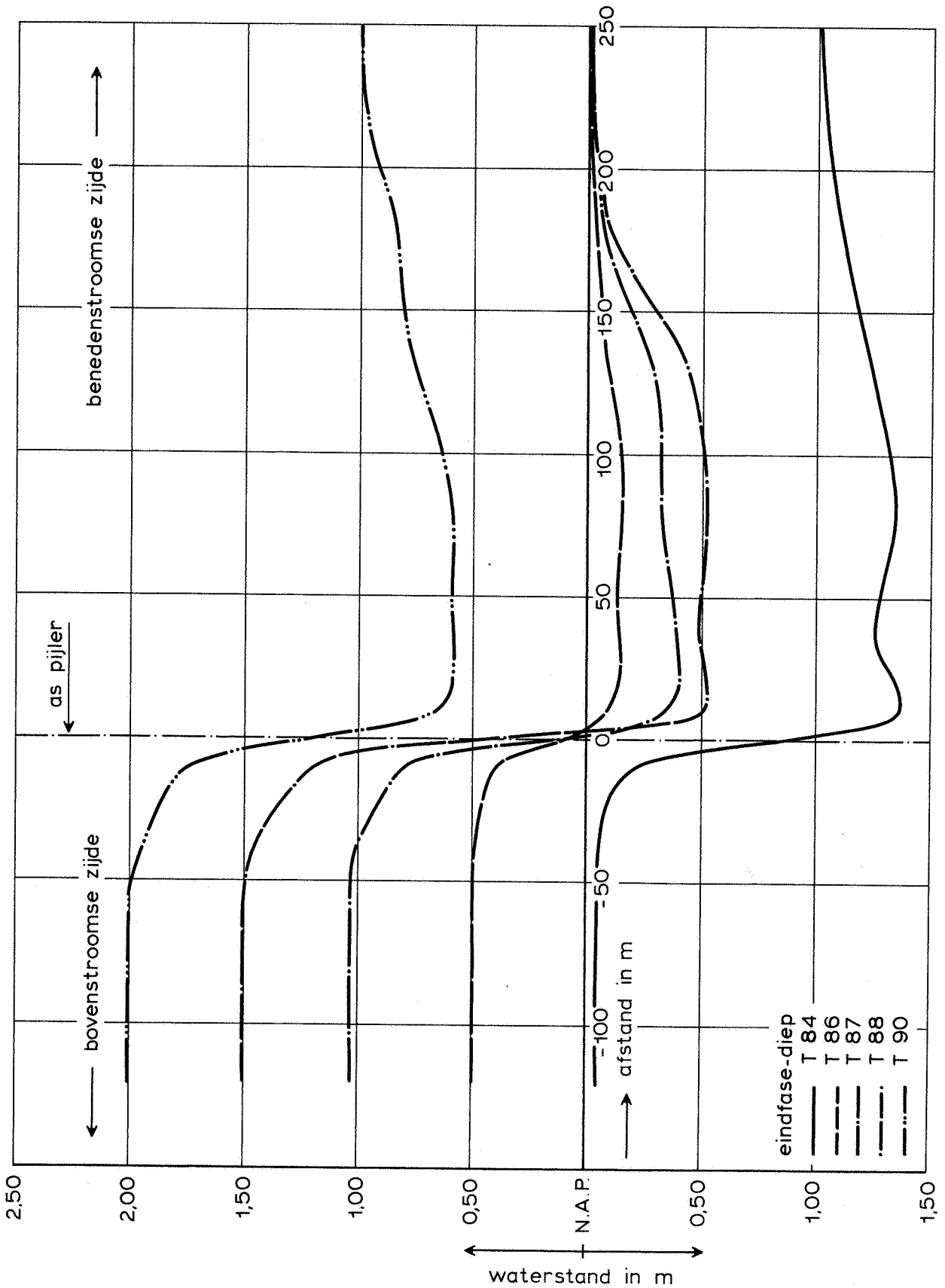
WATERSPIEGELVERLOOP NABIJ PIJLER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 6

15-84



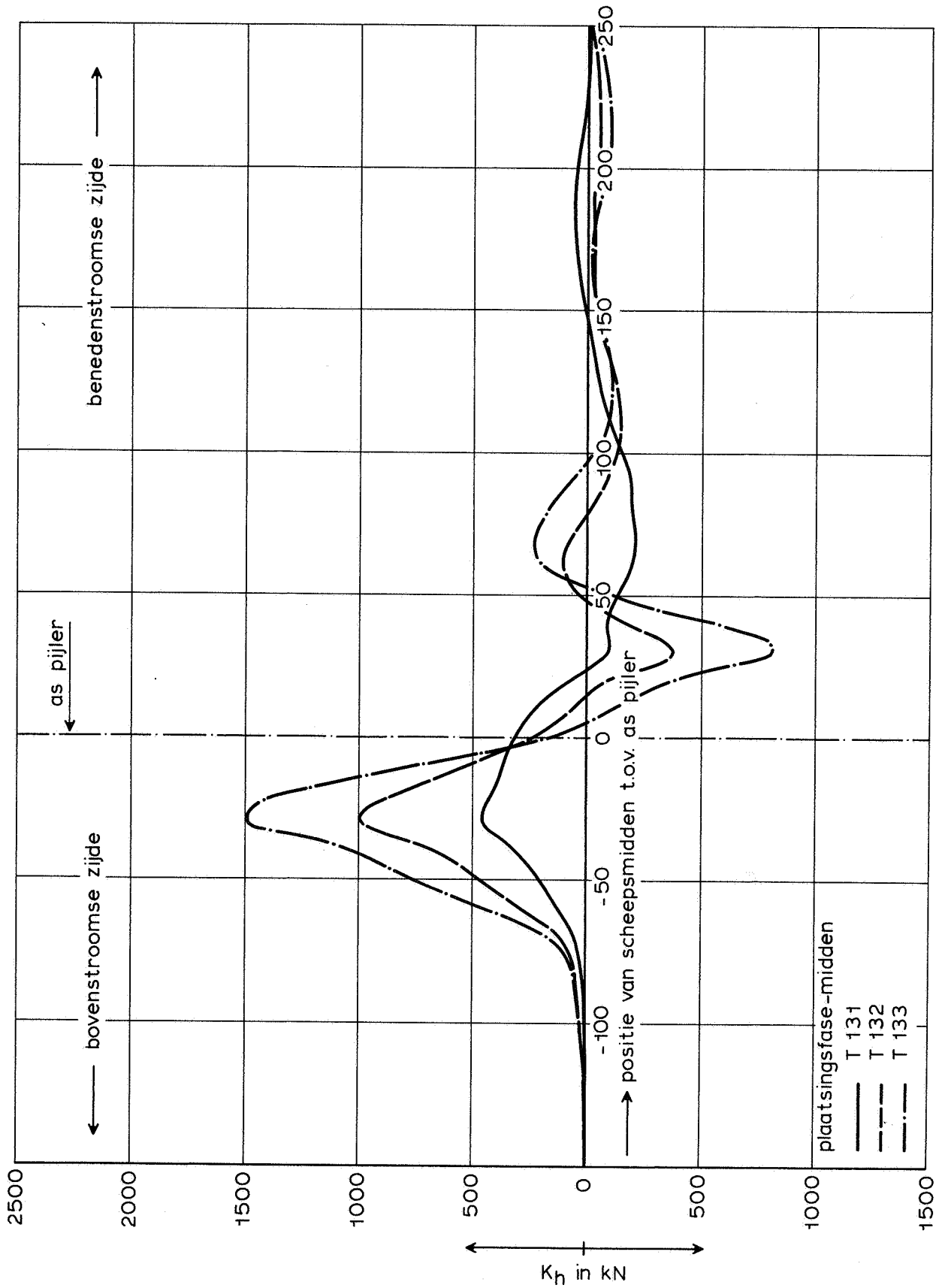
gegevens ontleend aan M 1447

WATERSPIEGELVERLOOP NABIJ PIJLER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 7



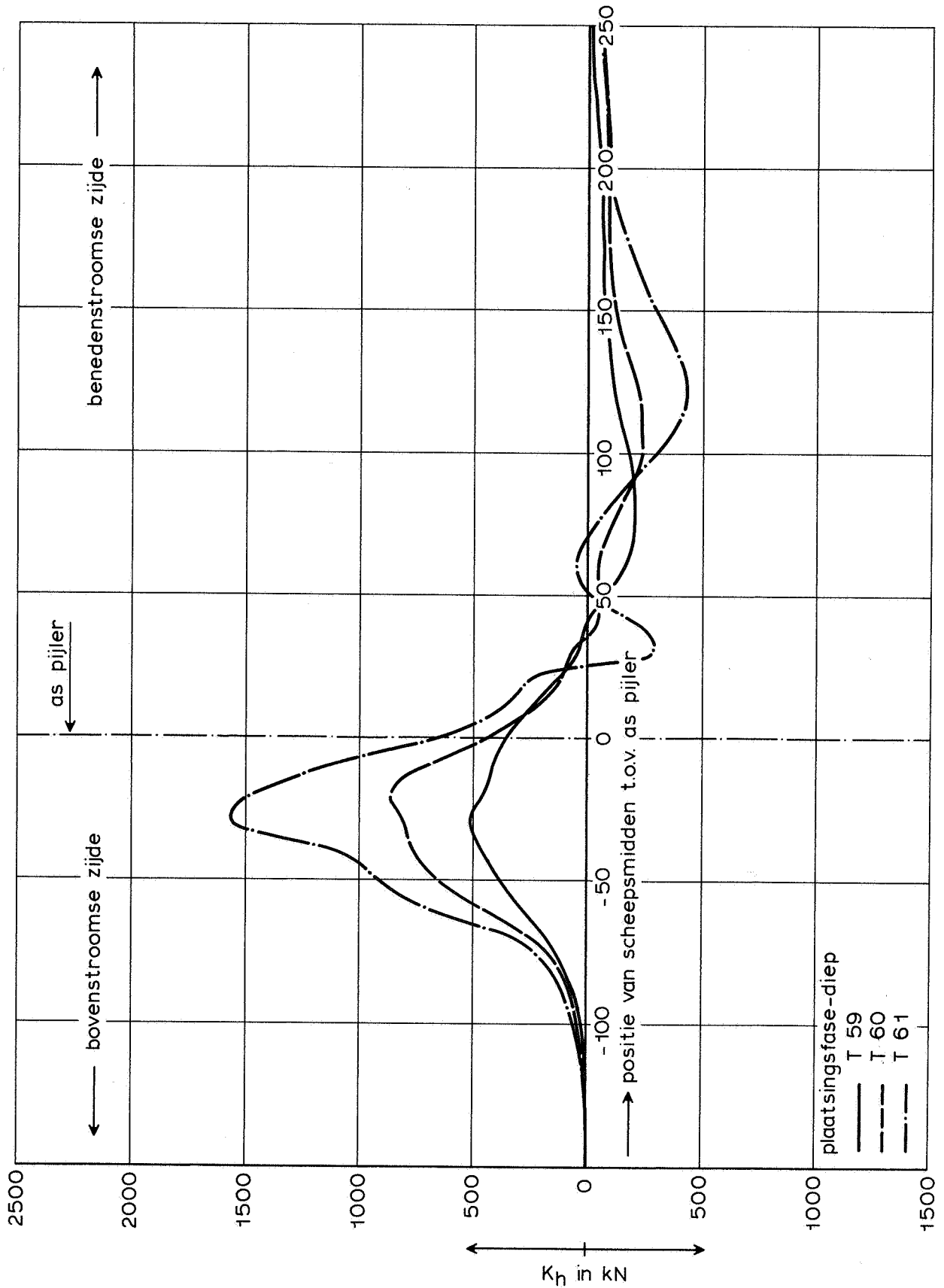
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

TAKLIFT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 9



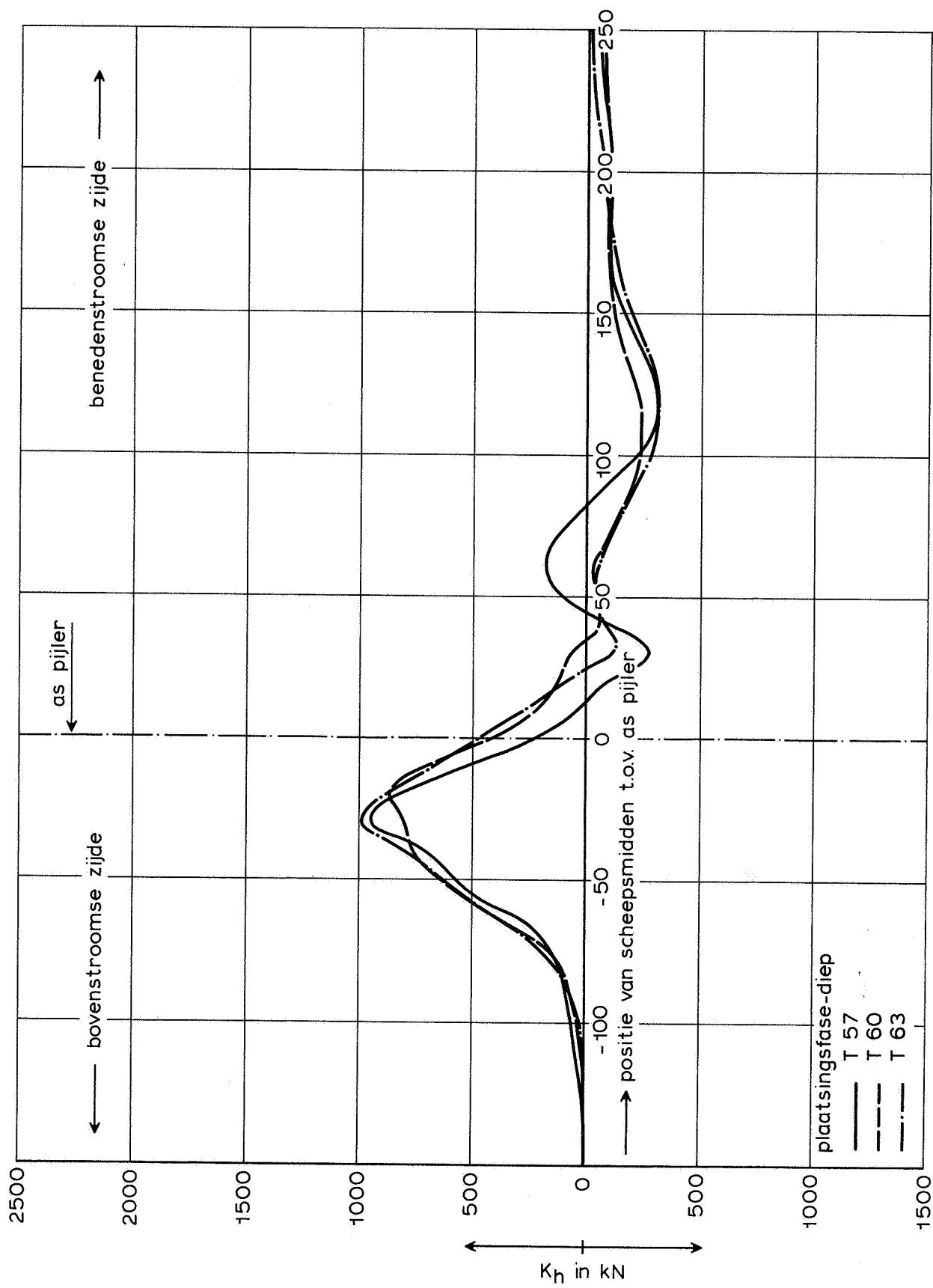
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

TAKLIFT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 10



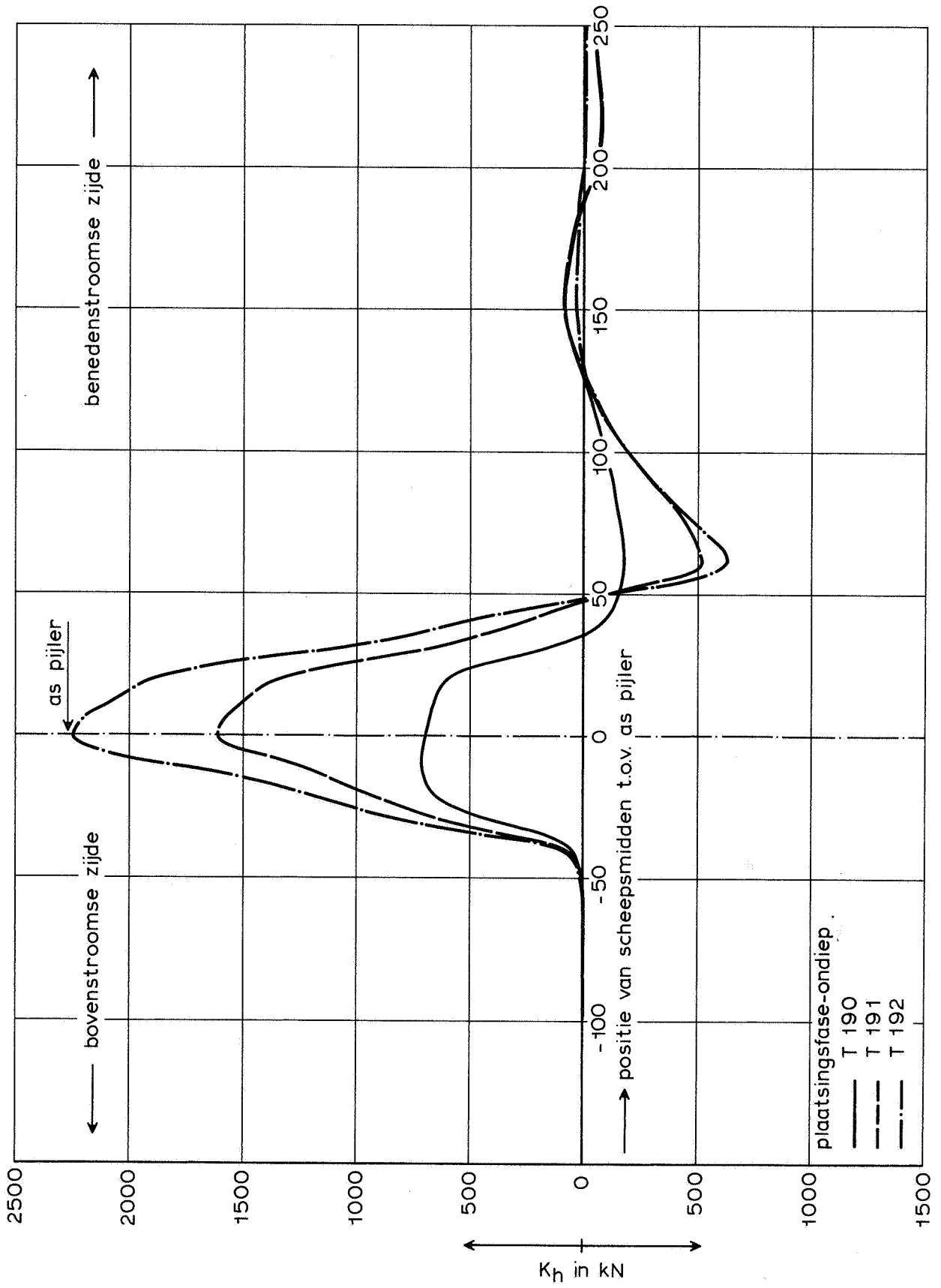
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN OPZICHTE VAN AS PIJLER

TAKLIFT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 11



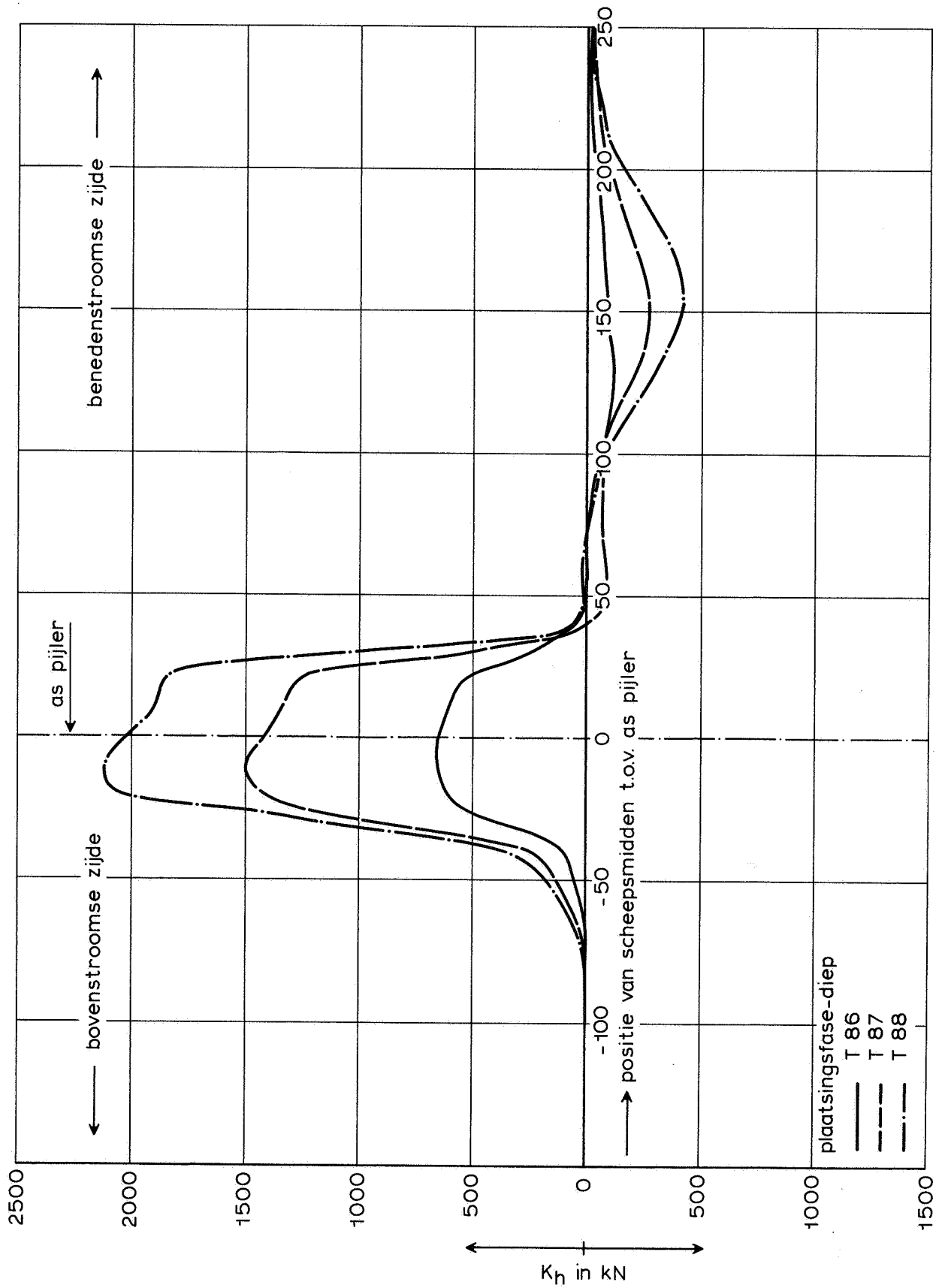
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

TAKLIJT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 12



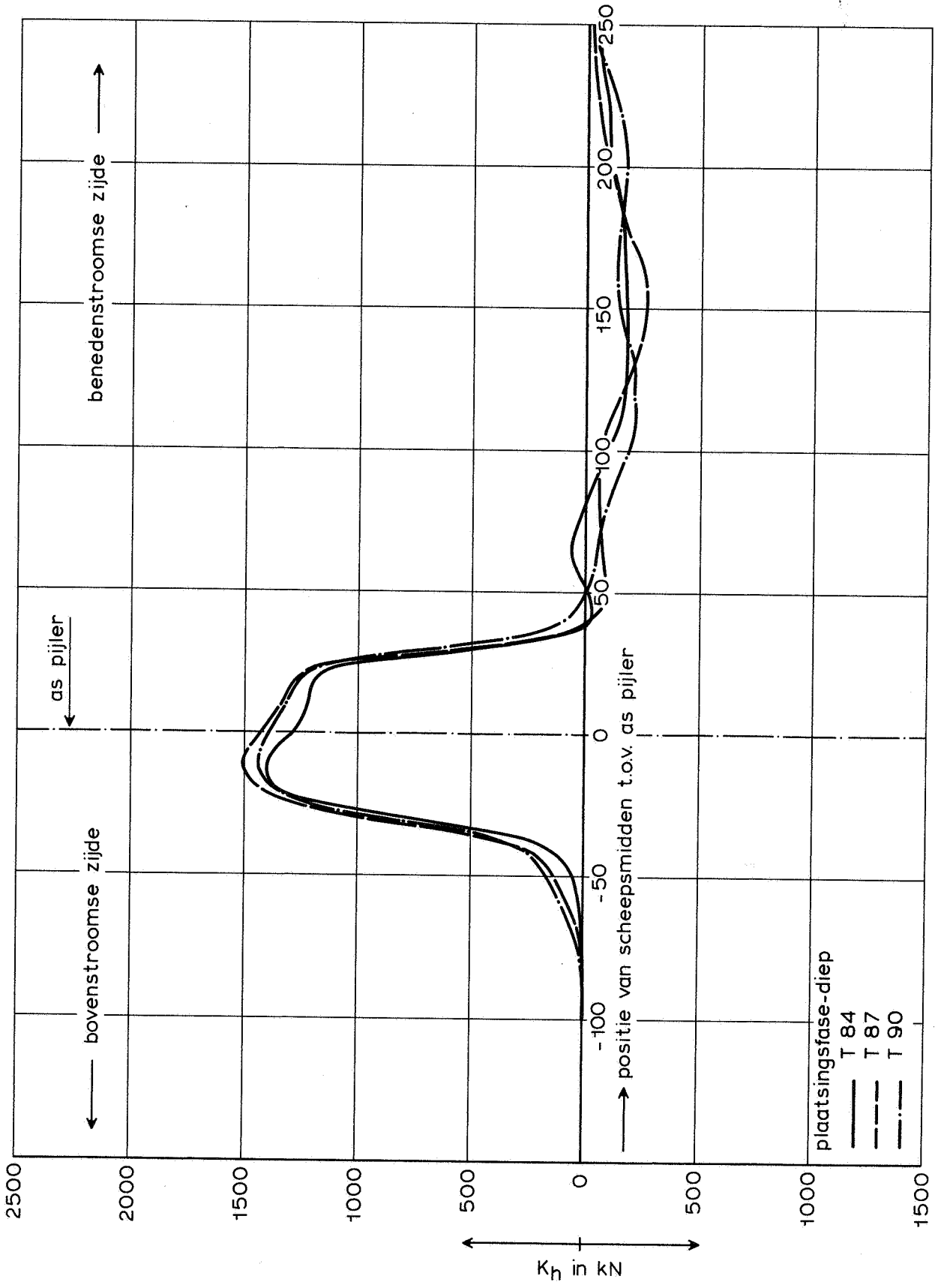
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

TAKLIJT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 13



VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN OPZICHTE VAN AS PIJLER

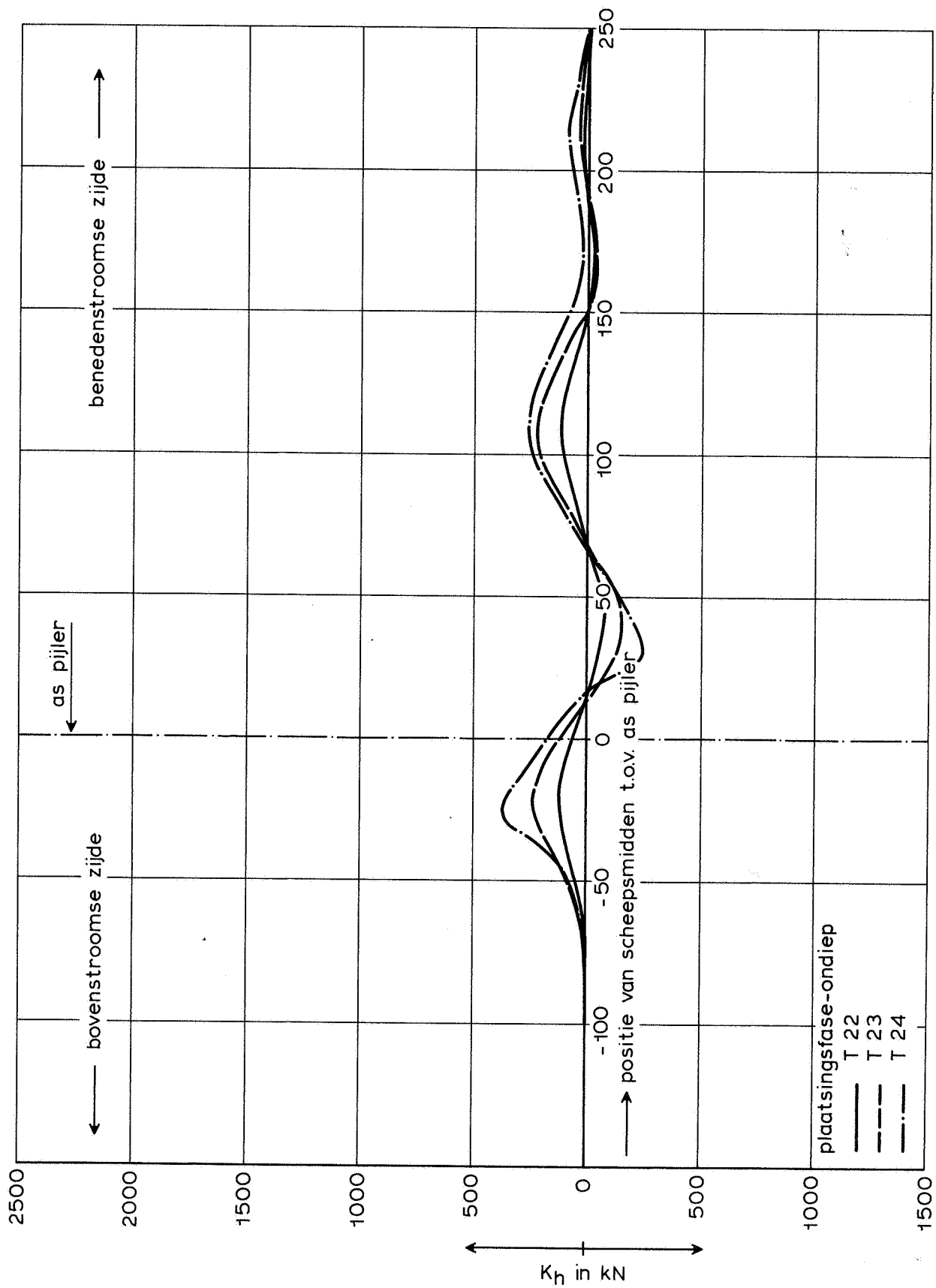
TAKLIFT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 14

19-64



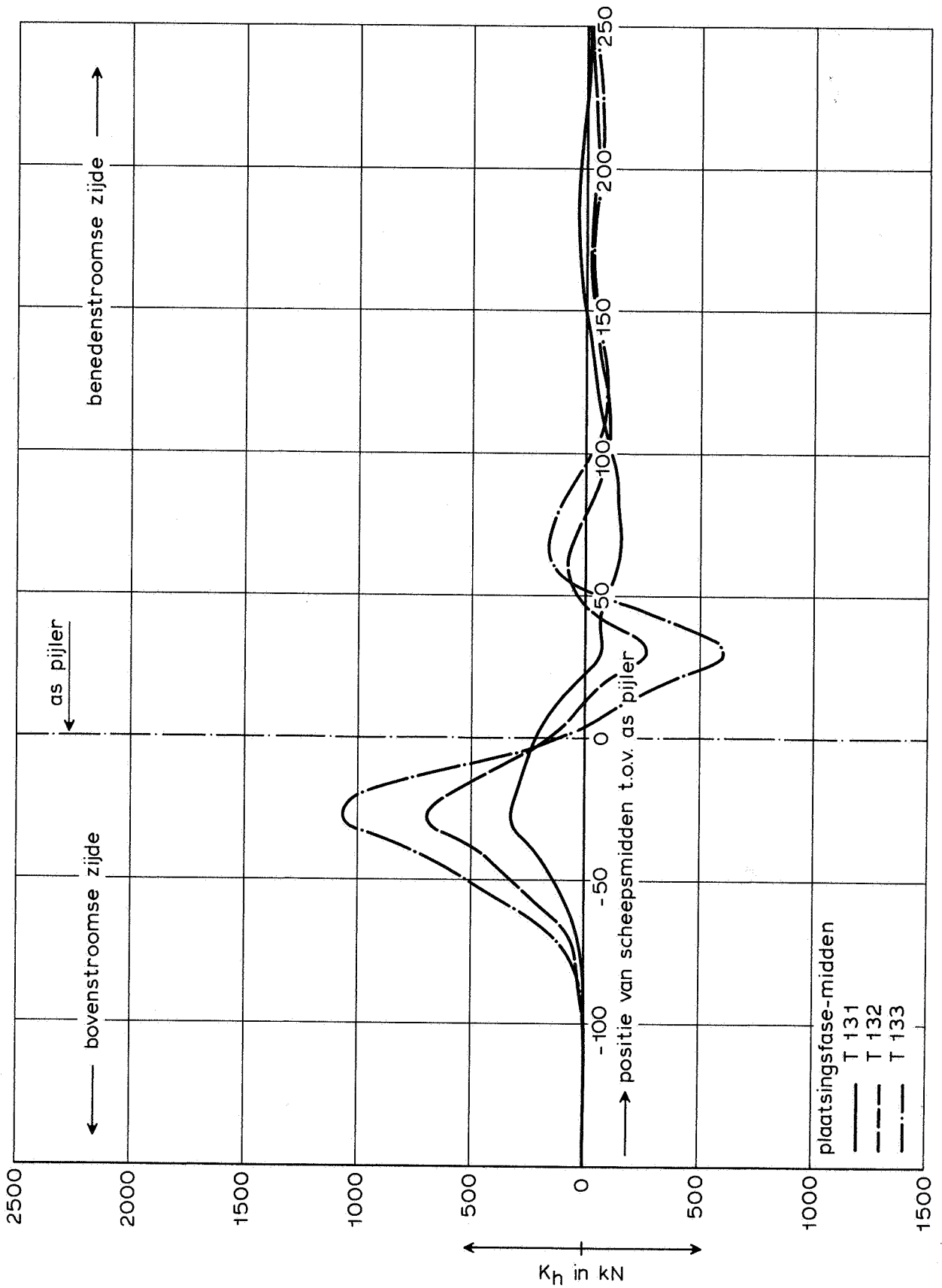
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 15



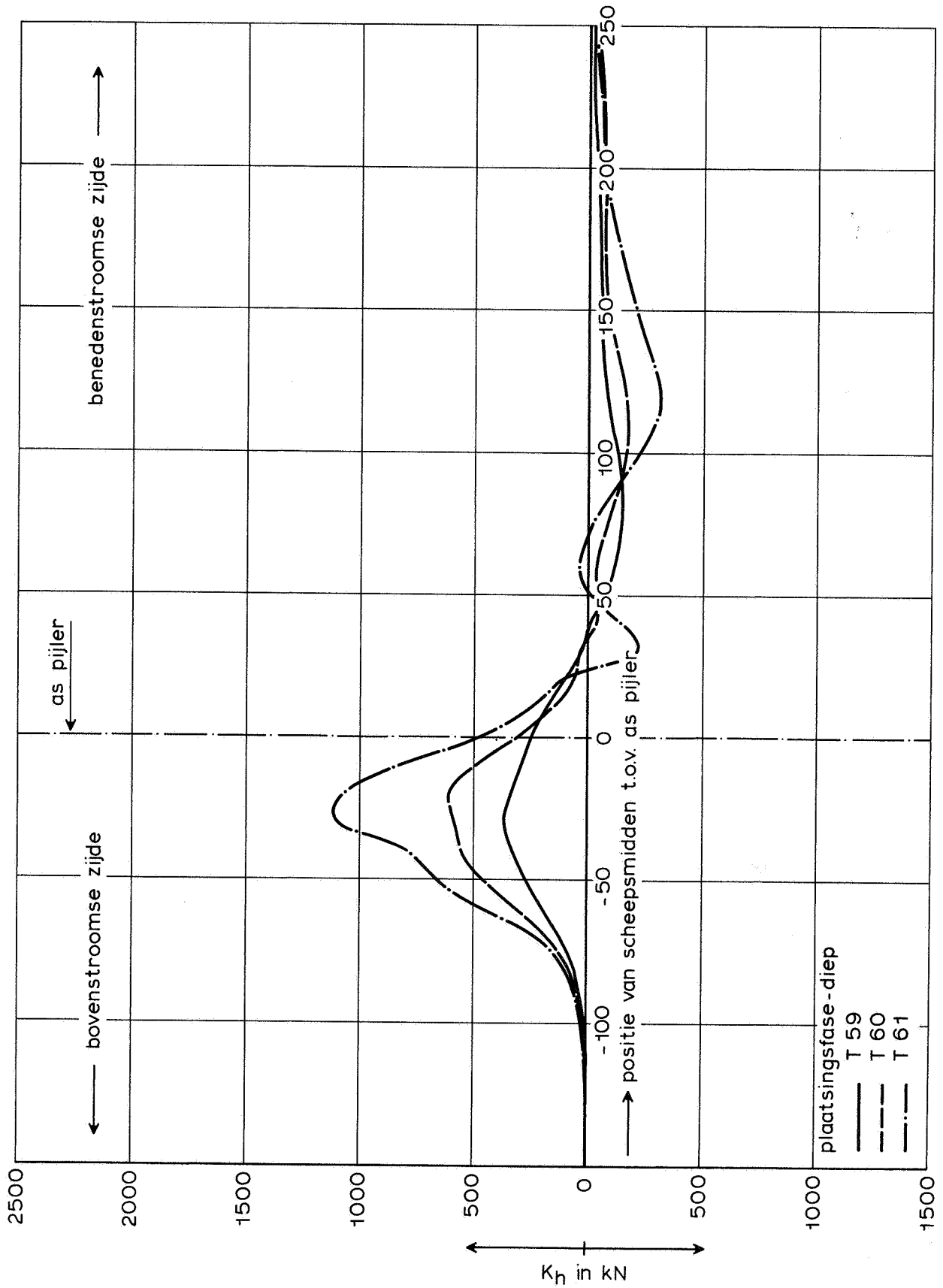
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 16



VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

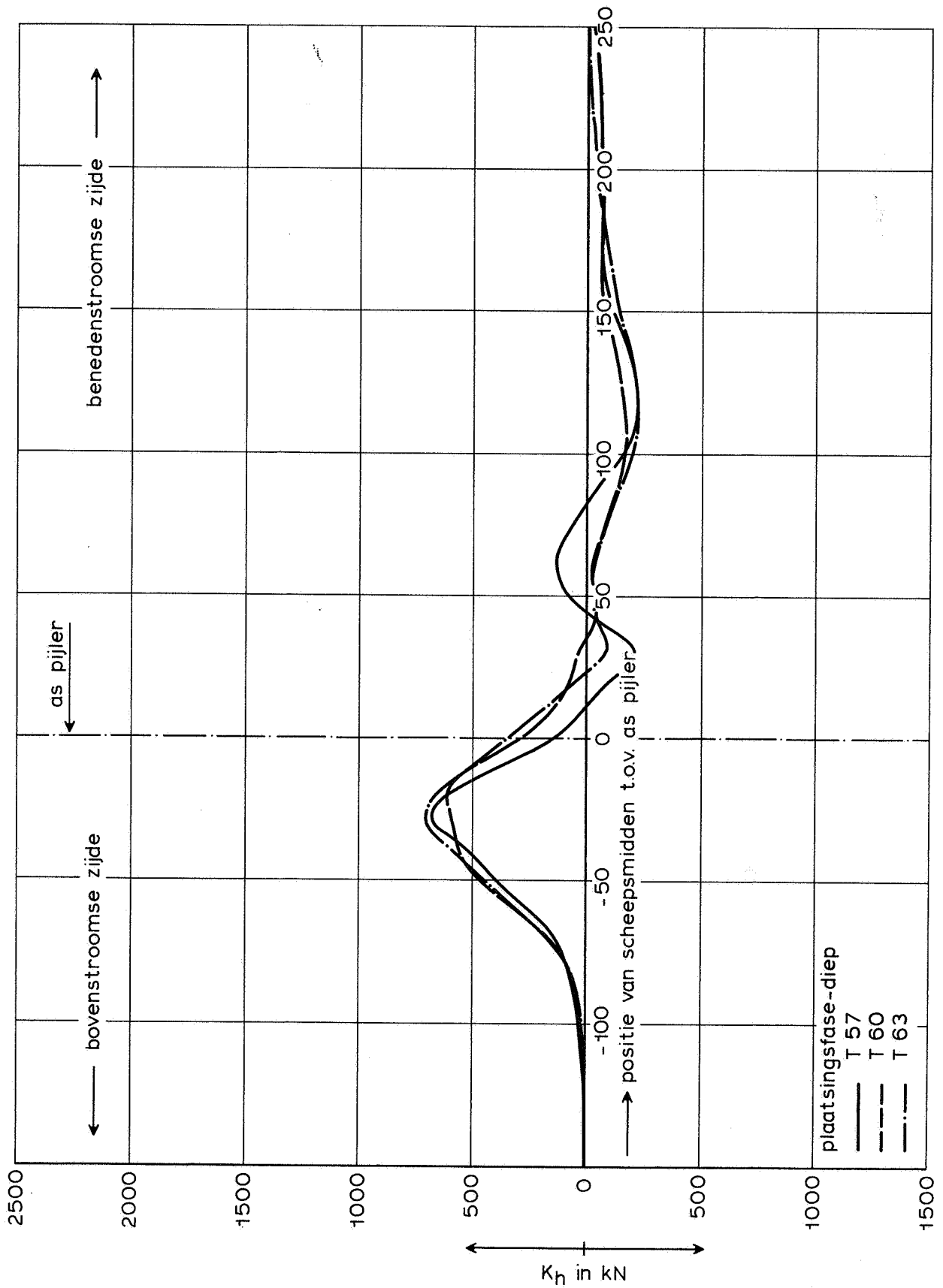
IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 17

19-62



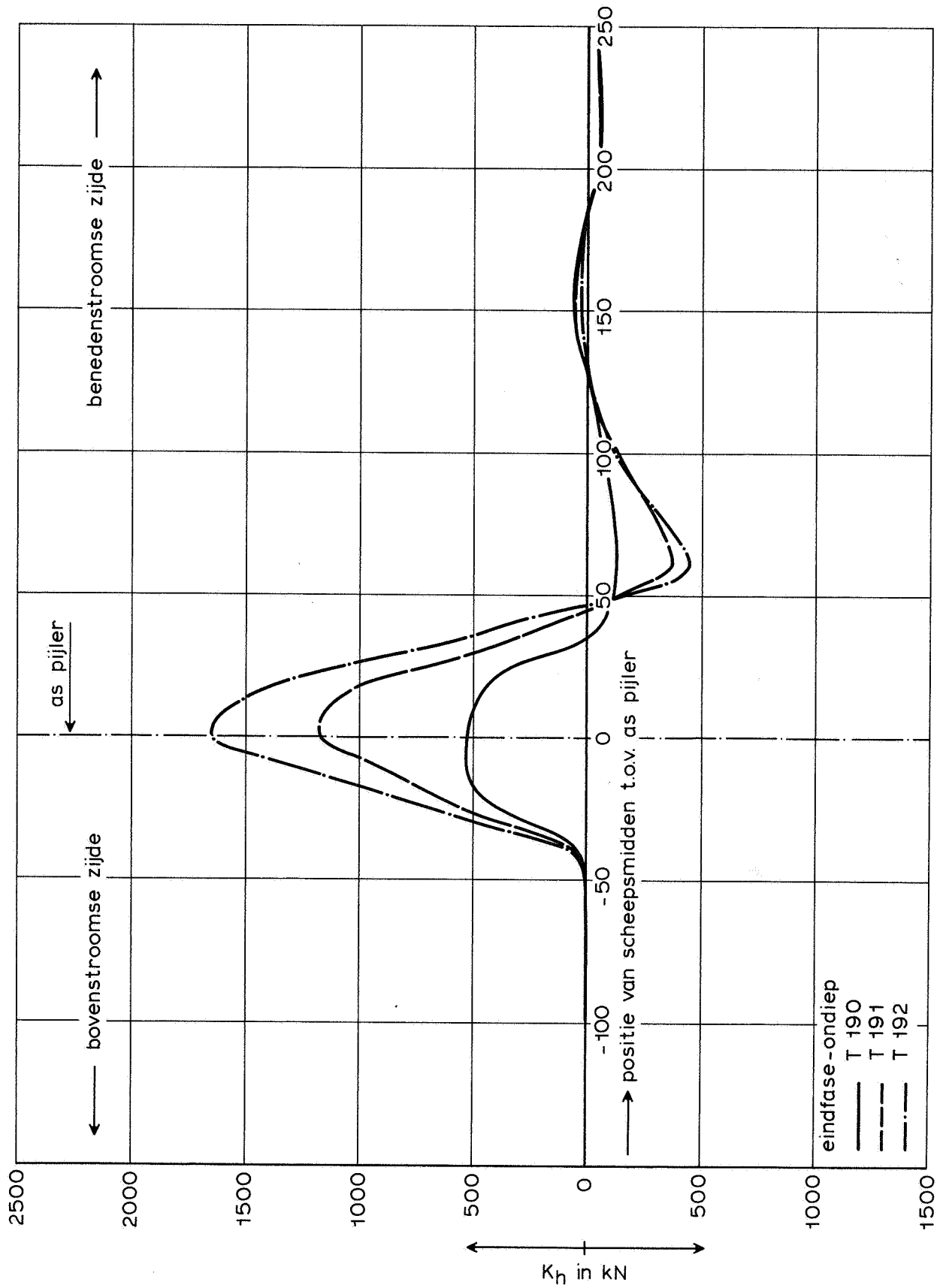
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 18



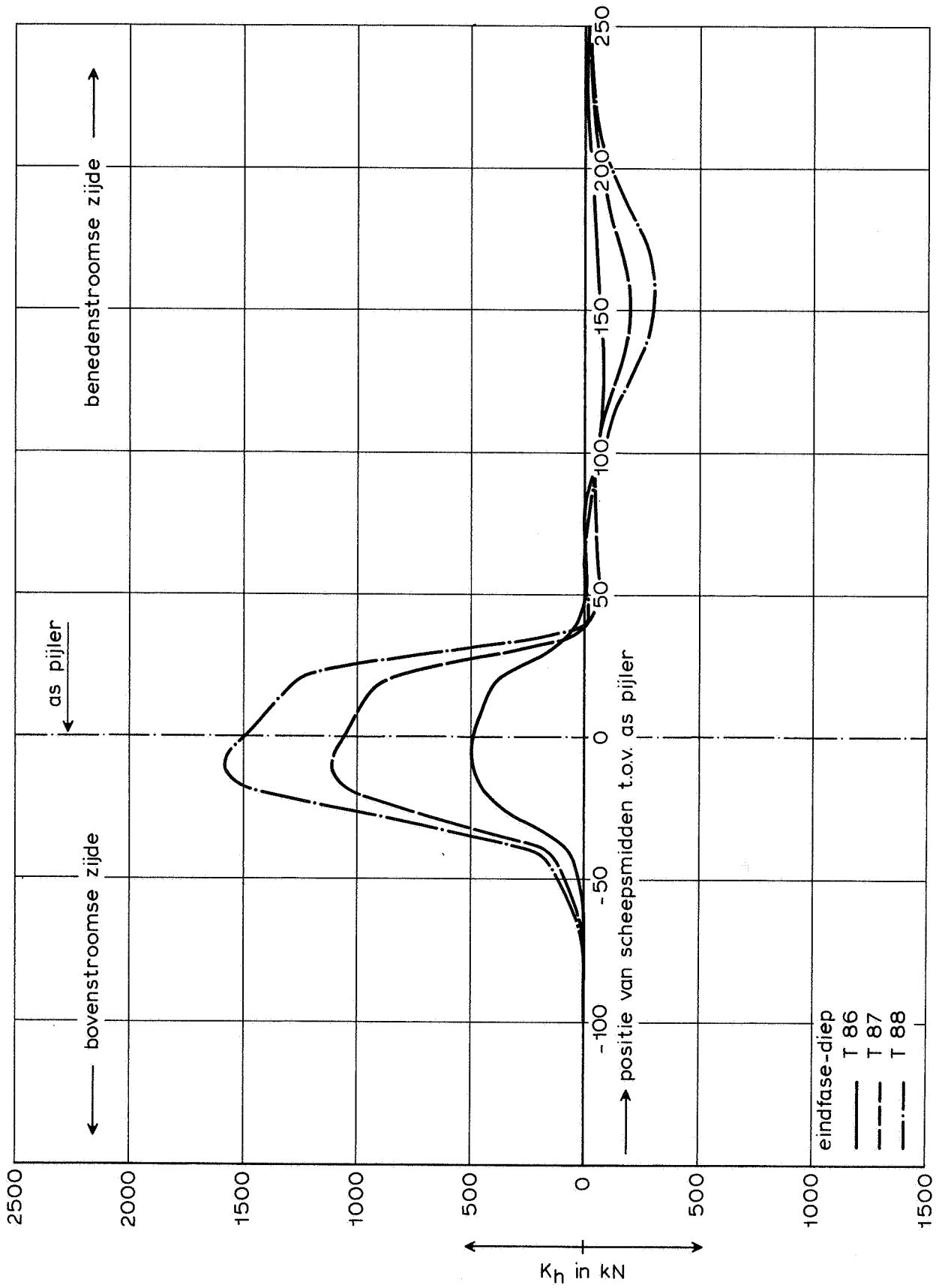
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 19



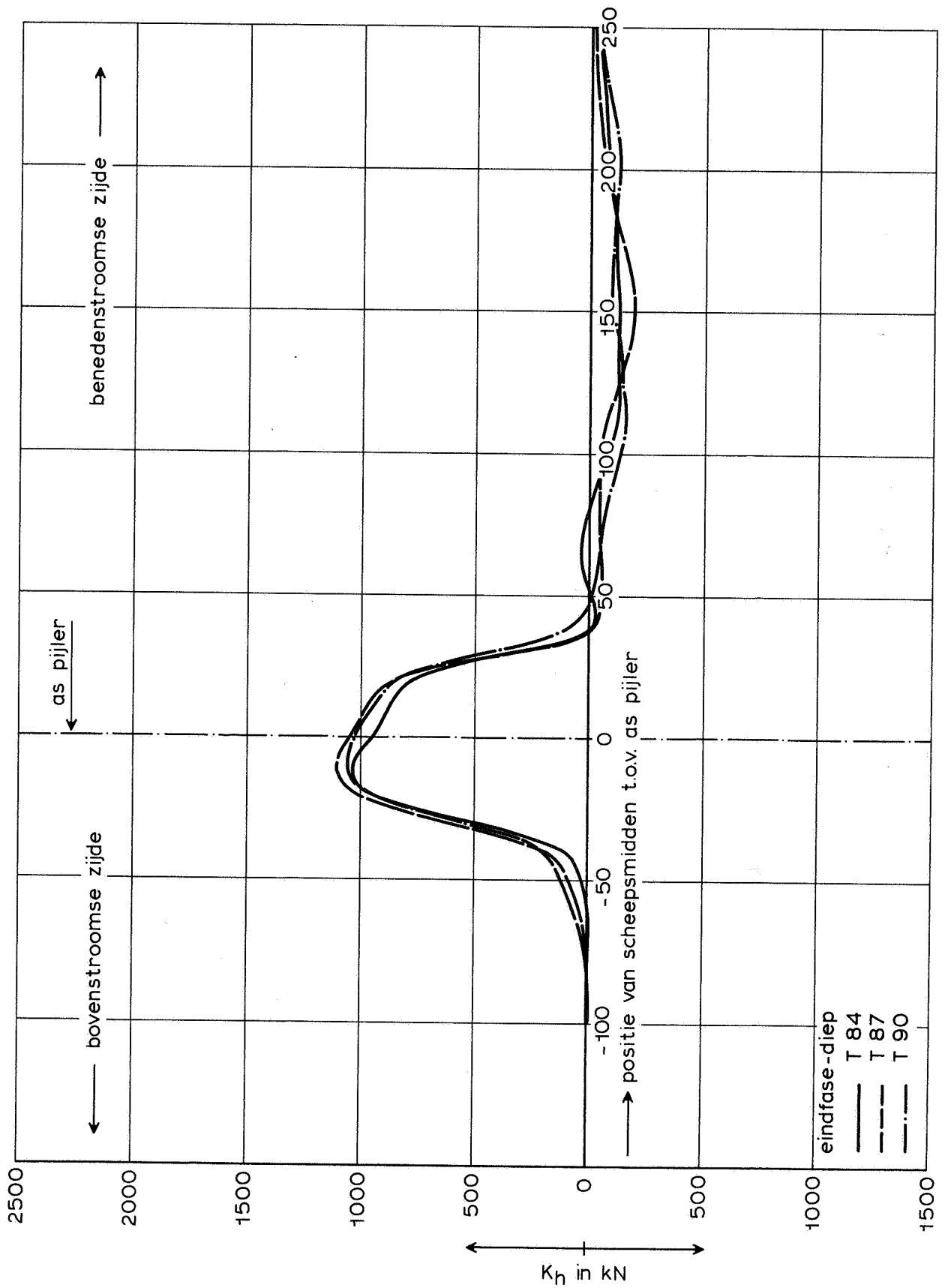
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 20



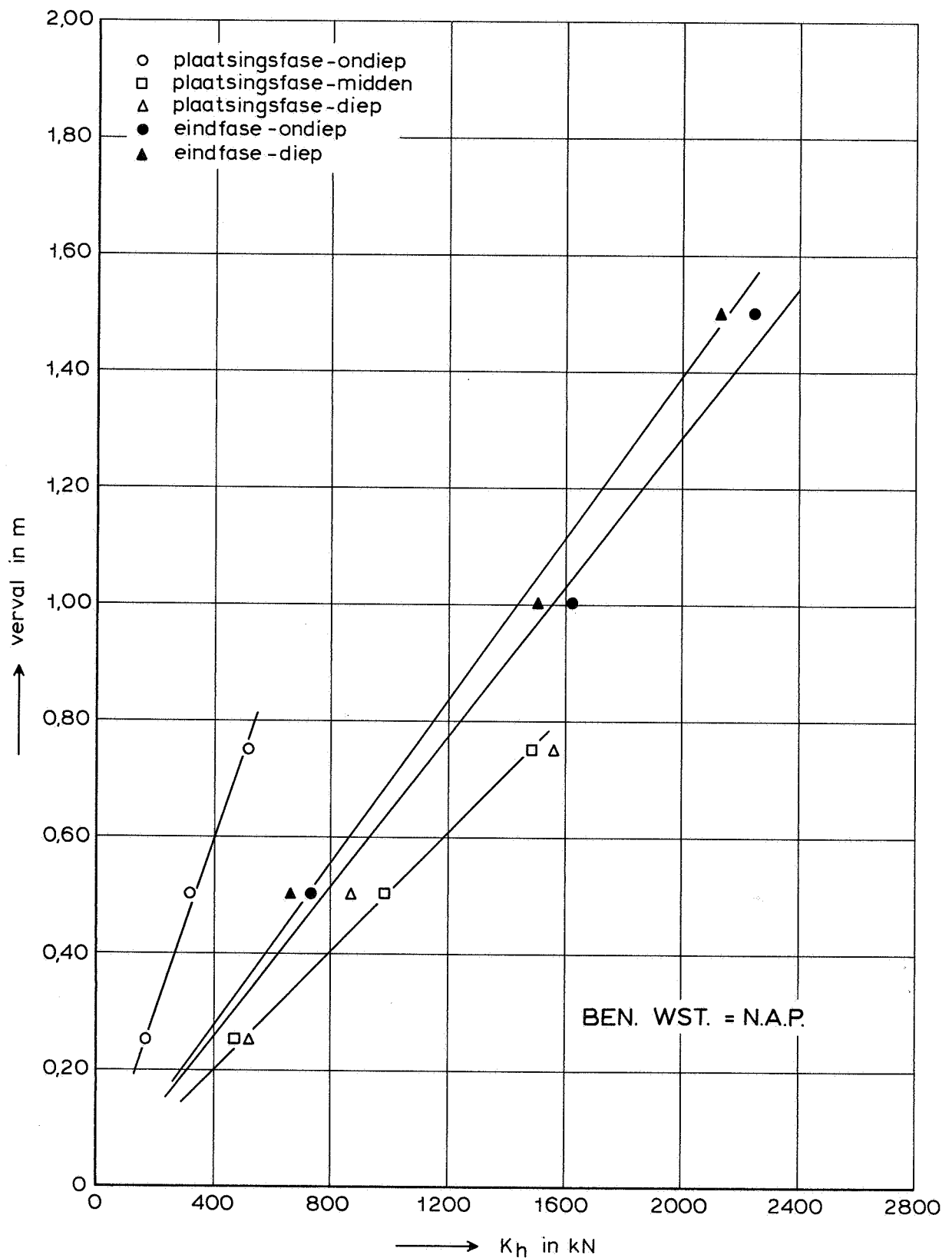
VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN POSITIE TEN
OPZICHTE VAN AS PIJLER

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 21



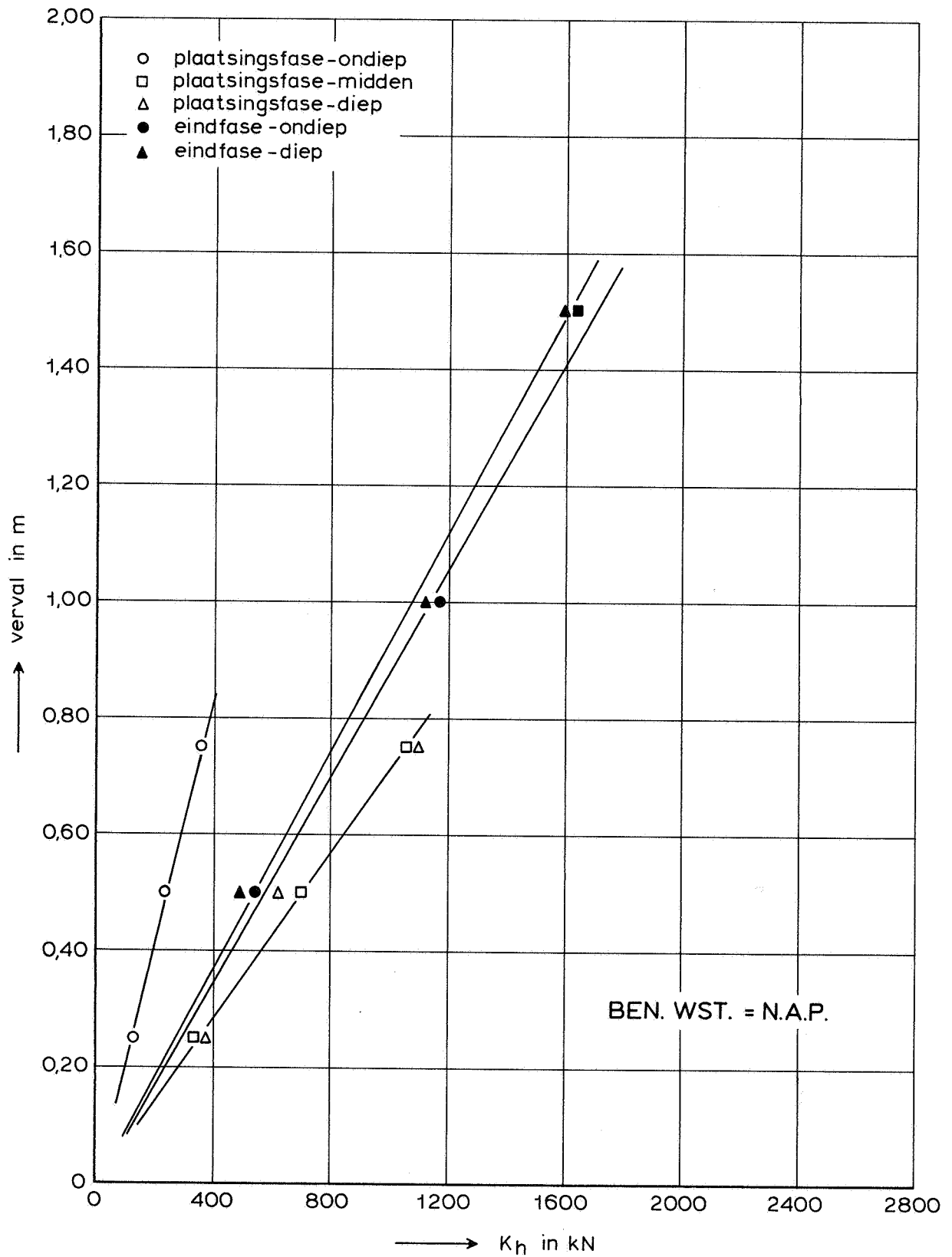
MAXIMUM VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN VERVAL

TAKLIFT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 22



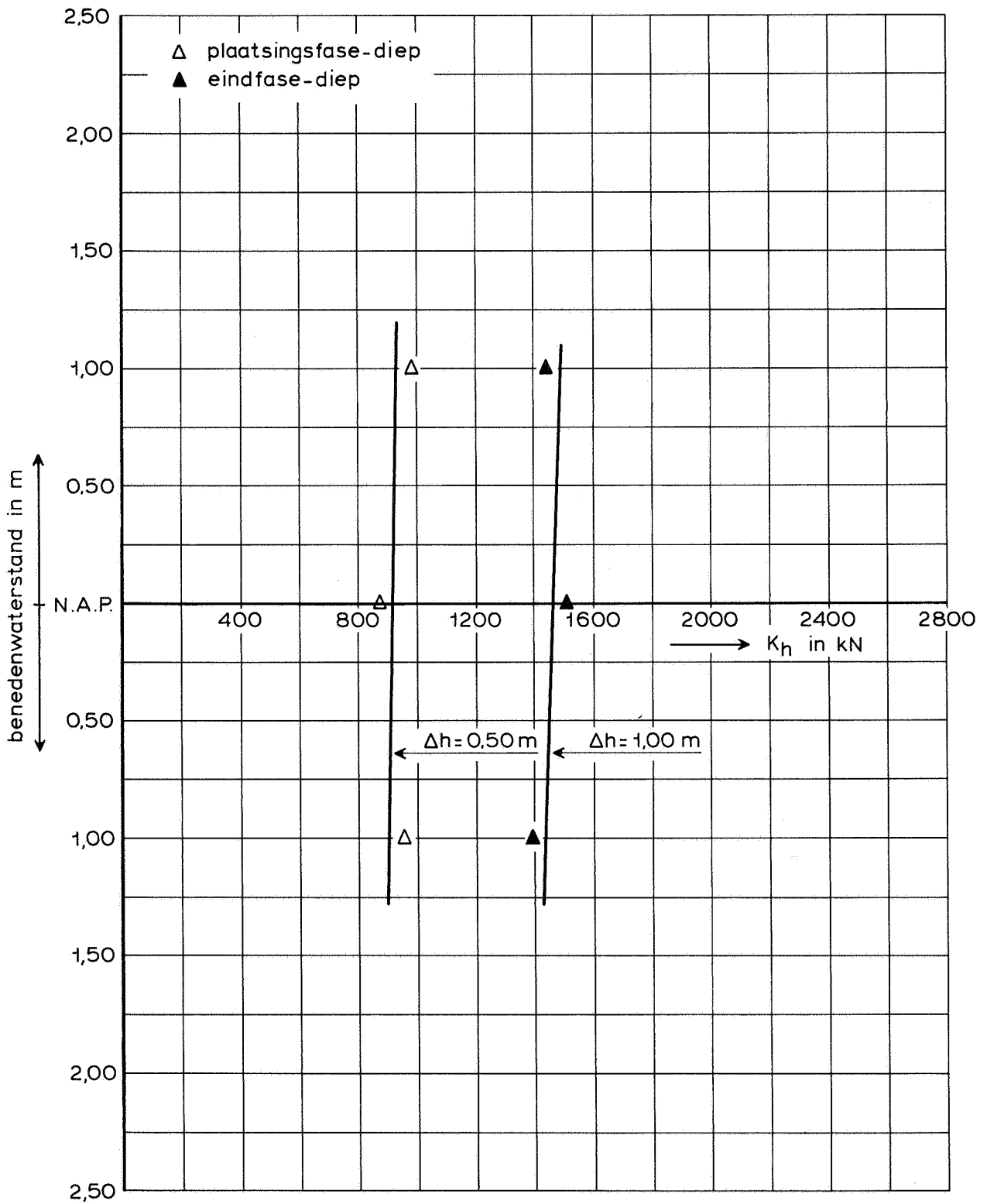
MAXIMUM VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN VERVAL

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 23



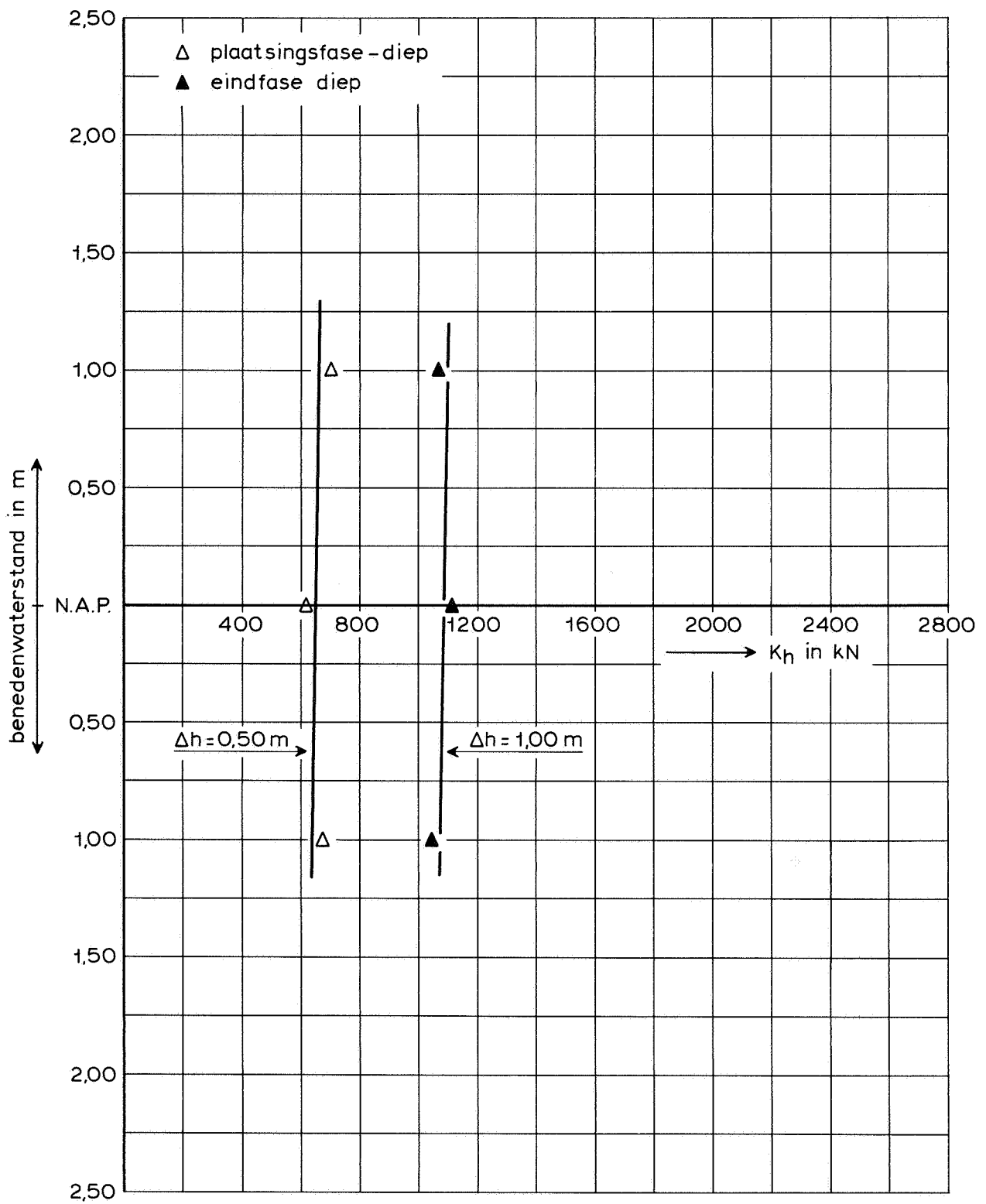
MAXIMUM VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN
BENEDENWATERSTAND

TAKLIFT 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 24



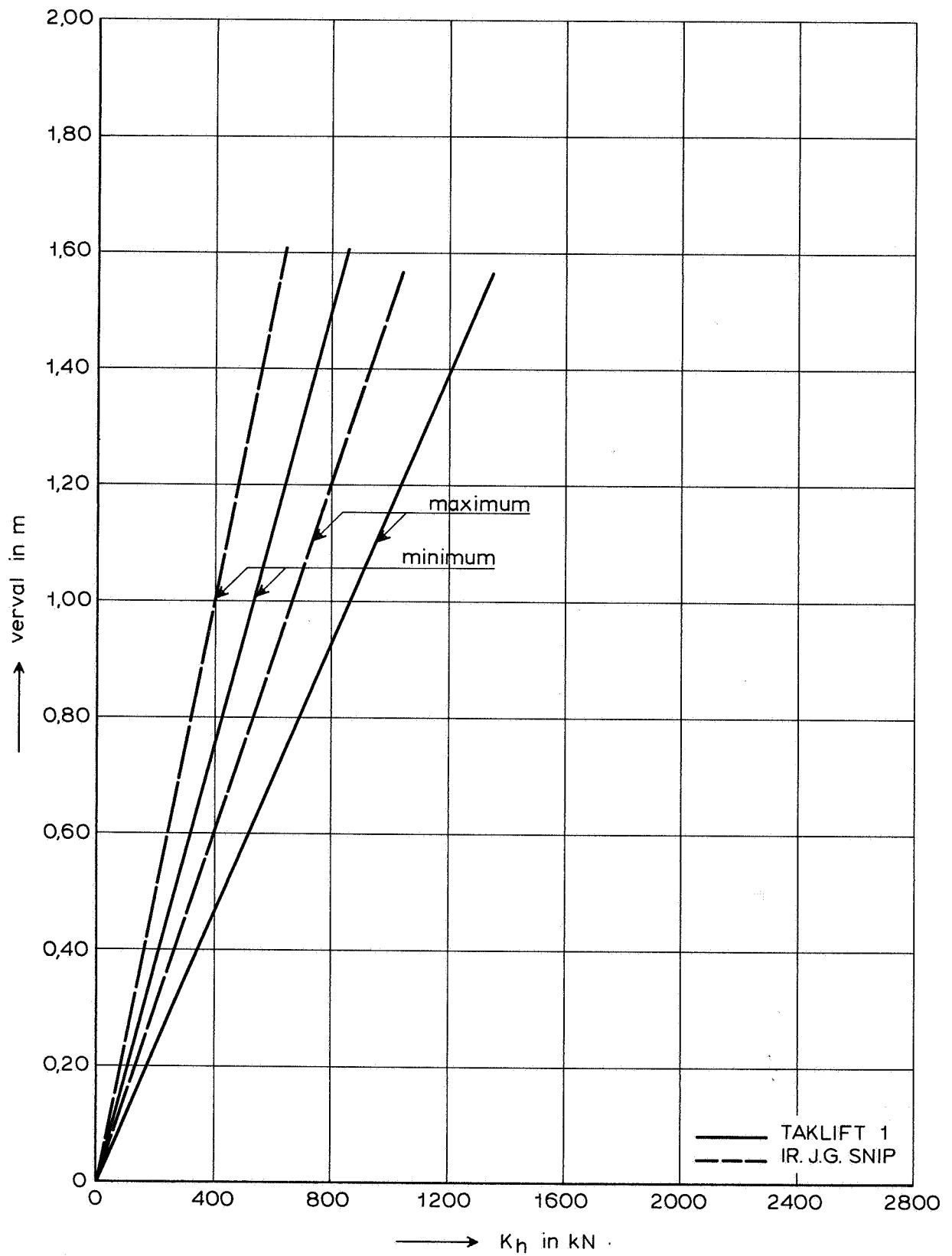
MAXIMUM VERHANGKRACHT ALS FUNKTIE VAN
BENEDENWATERSTAND

IR. J.G. SNIP

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 25

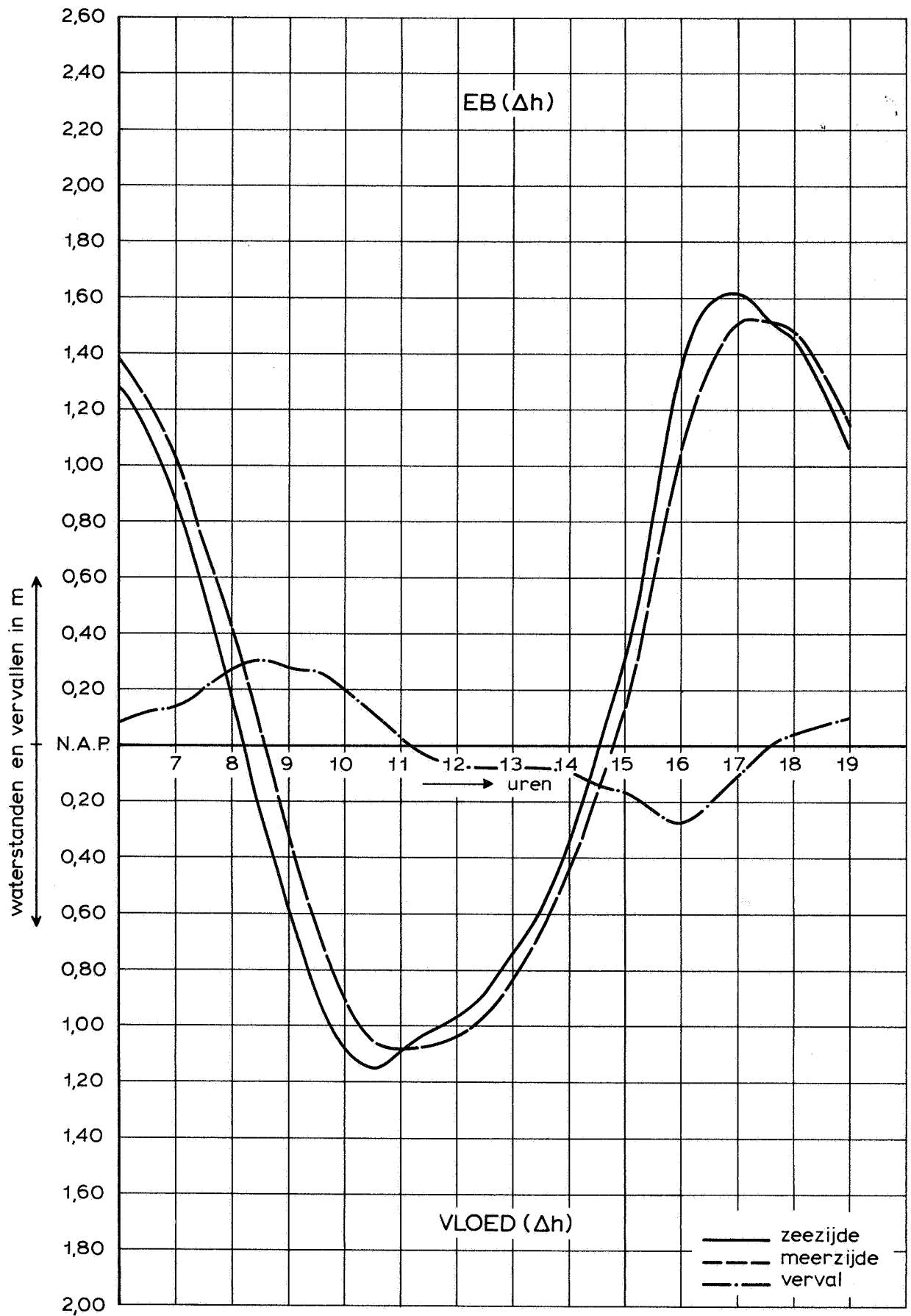


STROOMKRACHT ALS FUNKTIE VAN HET VERVAL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 26



WATERSTANDEN EN VERVALLEN

ROOMPOT

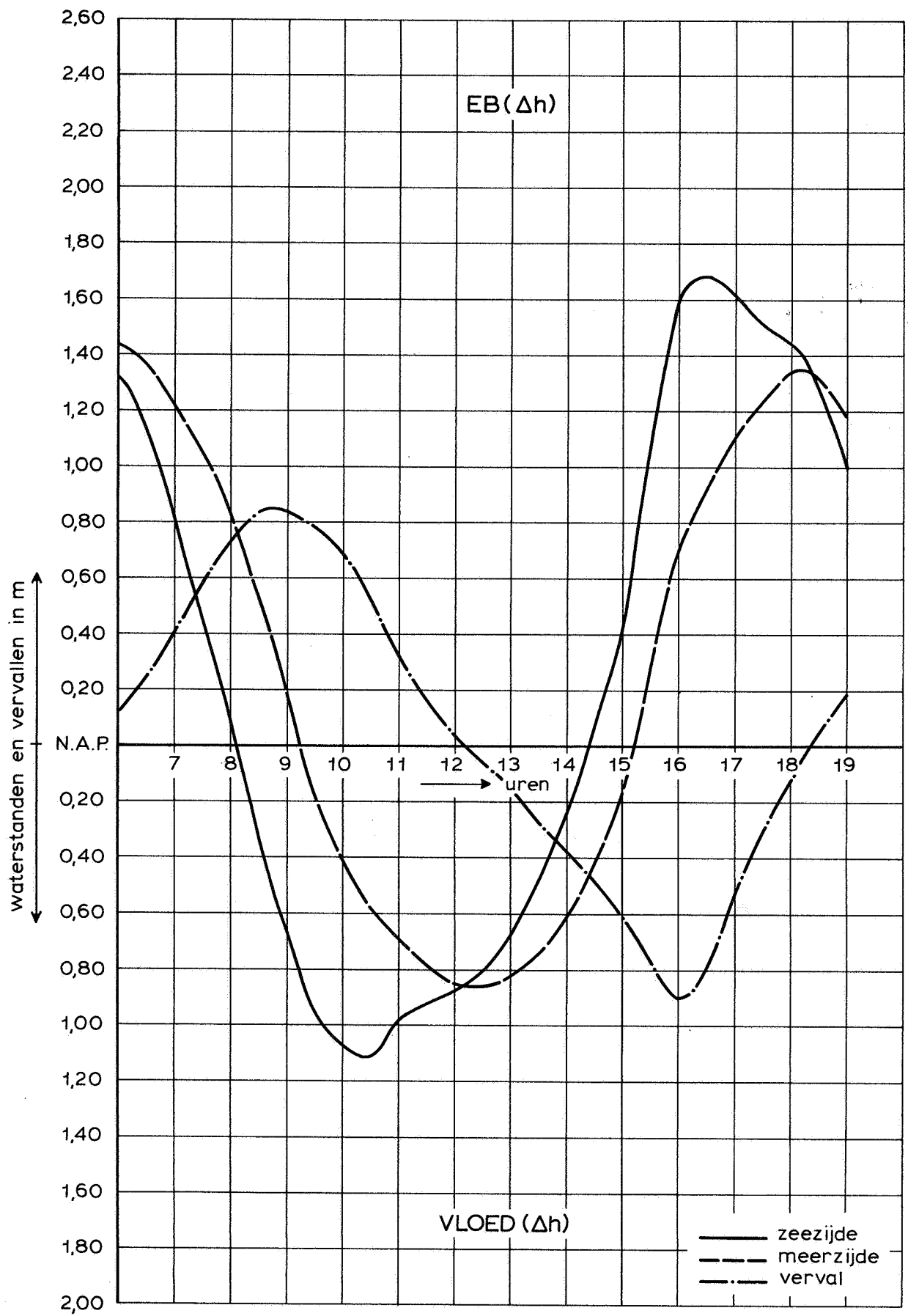
11.09.68

plaatsingsfase

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000

FIG. 27



WATERSTANDEN EN VERVALLEN

ROOMPOT 11.09.68

eindfase

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M 1000 FIG. 28

