BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

NOTA 581 I

14 oktober 1970

voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

NN31545.0581

INVLOED VAN DE LEIDINGVORM OP DE TE GEBRUIKEN ONTWERPNORM

J. G. S. de Wilde

ISN = 212388-02

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.
Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.
Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

24 NOV. 1970

INHOUD

INLEIDING 1

CAPACITEIT VAN LEIDINGEN 1

DE RELATIE TUSSEN AFVOER EN VERHANG 4

DE OVERSCHRIJDINGSFAKTOR 5

HET VERBAND TUSSEN DE AFVOERFREQUENTIE EN DE DROOGLEGGING 7

INVLOED VAN DE LEIDINGVORM OP DE TE GEBRUIKEN ONTWERPNORM 8

LITERATUUR 9

INLEIDING

Een van de grootste moeilijkheden bij het ontwerpen van een systeem van open waterlopen is het kiezen van de faktoren die de afmetingen van de leidingen bepalen. Er dienen hierbij namelijk een aantal beslissingen genomen te worden, waarvan de voornaamste zijn die ten aanzien van de maatgevende afvoer, de drooglegging en de wandruwheid.

Uitgaande van een bepaalde maatgevende afvoer zijn er verschillende leidingprofielen die beantwoorden aan het gestelde doel. Bij een gegeven bodembreedte is er nog keuze uit verschillende taludhellingen die dan tevens weer bepalend zijn voor de waterdiepte.

Op velerlei manieren is reeds getracht om op betrekkelijk eenvoudige wijze door middel van een Nomogram (BOS en BIJKERK, 1963) of een speciale rekenliniaal (BLAAUW, 1961) de afmetingen van het leidingprofiel te bepalen, doch de drooglegging werd hierbij steeds, vrij ruw, aangenomen.

De drooglegging is volgens OOSTRA (zie BLAAUW, 1962) afhankelijk van de cultuurtoestand en bodemgesteldheid. De drooglegging is echter tevens afhankelijk van de gestelde eis, dat wil zeggen of bij maatgevende afvoer of bij halve afvoer de leiding wordt berekend.

Daar er verschil bestaat tussen grote en kleine leidingen op het gebied van overschrijding van de afvoernorm (DIJKSTRA, 1962, BLAAUW, 1962, WESSELING, 1966 en FLACH, 1968) is het wenselijk dat de grootte van de drooglegging, mede afhankelijk van de grootte van de leiding, kan worden bepaald. Tevens is een onderling vergelijk tussen de verschillende leidingprofielen bij gelijke afvoernormen wenselijk.

In deze nota wordt vooral aandacht besteed aan de bepaling van de drooglegging.

CAPACITEIT VAN LEIDINGEN

Voor de capaciteitsberekening van de leiding is uitgegaan van de for-

mule van Manning:

$$Q = A \cdot k_M \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \qquad (1)$$

waarin: Q= debiet in m^3/sec.

S= verhang in m/m

k_M= ruwheidsfaktor van de leiding in $m^{1/3}$/sec.

A= natte doorsnede in m^2

R= hydraulische straal in m

$R = \frac{A}{O}$ en O= natte omtrek in m

Er is gerekend met het door BOS en BIJKERK (1963) gegeven verband tussen de ruwheidsfaktor en de waterdiepte

$$k_M = a_1 \times d^{1/3}$$

a_1 is afhankelijk van het groeiseizoen (zomer of winter). Aangezien de grootste afvoeren plaatsvinden in de maanden november, december en januari, is voor de faktor a_1 de waarde genomen die geldt voor winterse omstandigheden. Dan is a_1 = 33,79 en het gebruikte verband wordt nu:

$$k_M = 33,79 \times d^{1/3} \qquad (2)$$

Voor trapeziumvormige leidingen geldt:

$$A = d(b + m.d) \qquad (3)$$

$$O = b + 2d\sqrt{1 + m^2} \qquad (4)$$

$$R = \frac{d(b + m.d)}{b + 2d\sqrt{1 + m^2}} \qquad (5)$$

waarin: b= bodembreedte in m

d= waterdiepte in m

m= tangens van het talud ten opzichte van de verticaal ($\frac{\text{horizontaal}}{\text{verticaal}}$)

Vullen we (2), (3) en (5) in (1) in, dan krijgen we:

$$Q = d(b + m.d) \times 33,79 \times d^{1/3} \times \frac{d^{2/3}(b + m.d)^{2/3}}{(b + 2d\sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \times S^{1/2} =$$

$$= 33,79 \times \frac{(b + m.d)^{5/3}}{(b + 2d\sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \times d^2 \times S^{1/2}$$

of: $$Q = 33,79 \times \frac{d^{5/3}(\frac{b}{d} + m)^{5/3}}{d^{2/3}(\frac{b}{d} + 2\sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \times d^2 \times S^{1/2}$$

$$Q = 33,79 \times \frac{(b/d + m)^{5/3}}{(b/d + 2\sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \times d^3 \times S^{1/2} \qquad (6)$$

De vorm

$$33,79 \times \frac{(b/d + m)^{5/3}}{(b/d + 2\sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$

kunnen we als constante (C) rekenen en tabellarisch opzetten voor iedere bodembreedte - waterdiepte verhouding (b/d) en m-waarde.

De formule (6) is dan geworden:

$$Q = C \times d^3 \times S^{1/2} \qquad (7)$$

In tabel 1 zijn voor een aantal b/d-waarden de waarden voor C berekend bij m= 1 en m= 3

Tabel 1. C-waarden

m=1				m=3			
b/d	C	b/d	C	b/d	C	b/d	C
0,1	19,35	2,0	73,81	0,1	64,44	2,0	120,27
0,2	21,87	2,5	89,37	0,2	67,25	2,5	135,60
0,3	24,46	3,0	105,16	0,3	70,07	3,0	151,10
0,4	27,10	3,5	121,14	0,4	72,91	3,5	166,75
0,5	29,79	4	137,26	0,5	75,77	4	182,54
0,6	32,53	5	169,80	0,6	78,65	5	214,42
0,7	35,30	6	202,64	0,7	81,54	6	246,60
0,8	38,11	7	235,66	0,8	84,44	7	279,03
0,9	40,96	8	268,84	0,9	87,36	8	311,68
1,0	43,84	9	302,12	1,0	90,30	9	344,47
1,25	51,14	10	335,48	1,25	97,69	10	377,38
1,5	58,59			1,5	105,15		

DE RELATIE TUSSEN AFVOER EN VERHANG

De formule (7) kan in de volgende vorm geschreven worden:

$$\frac{Q}{\sqrt{S}} = C.\,d^3 \qquad (8)$$

waarbij dan de relatie tussen afvoer en verhang gevonden wordt. Deze relatie zal verderop veelvuldig gebruikt worden.

Indien we $Q/\sqrt{S}$ uitzetten tegen d op dubbel-logarithmisch papier dan vinden we voor elke b/d verhouding een rechte lijn onder een hoek waarvan de tangens gelijk aan 3 is.

De figuren IA en IB geven de genoemde grafieken voor respectievelijk m= 1 en m= 3.

Met behulp van deze grafieken kan voor iedere waarde van $Q/\sqrt{S}$ via de b/d verhouding de bijbehorende d worden afgelezen en b berekend. Doen we dit voor respectievelijk $Q/\sqrt{S}$= 1, 10, 100 en 1000 en

Tabel 2A. Ontwerpwaterdiepte do. m=1

b	$Qo/\sqrt{S}$= 1000		$Qo/\sqrt{S}$= 100		$Qo/\sqrt{S}$= 10		$Qo/\sqrt{S}$= 1	
	do	b/d	do	b/d	do	b/d	do	b/d
0,5	3,70	0,135	1,60	0,31	0,640	0,78	0,232	2,15
0,6	3,67	0,163	1,56	0,38	0,610	0,98	0,216	2,78
0,8	3,56	0,225	1,48	0,54	0,560	1,43	0,190	4,21
1,0	3,47	0,29	1,42	0,70	0,520	1,92	0,172	5,81
1,5	3,28	0,46	1,27	1,18	0,438	3,42		
2	3,12	0,64	1,15	1,74	0,385	5,19		
3	2,81	1,07	0,98	3,06	0,314	9,55		
4	2,55	1,57	0,86	4,65				
5	2,36	2,12	0,77	6,49				
6	2,18	2,75	0,70	8,57				
7	2,05	3,41						
8	1,93	4,14						
9	1,83	4,92						
10	1,74	5,75						

Tabel 2B. Ontwerpwaterdiepte do m=3

	$Qo/\sqrt{S}$= 1000		$Qo/\sqrt{S}$= 100		$Qo/\sqrt{S}$= 10		$Qo/\sqrt{S}$= 1	
b	do	b/d	do	b/d	do	b/d	do	b/d
0,5	2,45	0,204	1,10	0,45	0,478	1,05	0,193	2,59
0,6	2,43	0,247	1,09	0,55	0,464	1,29	0,184	3,26
0,8	2,40	0,33	1,08	0,74	0,442	1,81	0,168	4,76
1	2,38	0,42	1,045	0,96	0,423	2,36	0,156	6,41
1,5	2,31	0,65	0,985	1,52	0,381	3,94		
2	2,25	0,89	0,935	2,14	0,347	5,76		
3	2,13	1,41	0,842	3,56				
4	2,03	1,97	0,767	5,21				
5	1,93	2,59	0,708	7,06				
6	1,84	3,26	0,655	9,16				
7	1,76	3,98						
8	1,68	4,76						
9	1,63	5,52						
10	1,57	6,37						

zetten we de aldus verkregen waarden voor b en d op dubbel-logarithmisch papier tegen elkaar uit, dan ontstaan de figuren IIA en IIB voor respectievelijk m= 1 en m= 3.

Indien de ontwerpafvoer wordt weergegeven door $Qo/\sqrt{S}$= 1, resp. 10, 100 en 1000 dan kan met behulp van de figuren IIA en IIB voor elke gegeven b (en m= 1 of m= 3) de daarbij behorende ontwerpwaterdiepte do worden afgelezen. De tabellen 2A en 2B geven deze ontwerpwaterdiepten tot een b/d verhouding= 10 c.q. max. b= 10

DE OVERSCHRIJDINGSFAKTOR

We kunnen ons nu afvragen welke waterdiepte nodig is om een afvoer te verwerken die afwijkt van de ontwerpafvoer. De verhouding

$$\frac{\text{werkelijke afvoer (Qw)}}{\text{ontwerpafvoer (Qo)}}$$

noemen we de overschrijdingsfaktor.

Voor het bepalen van de C-waarde, die nodig is voor het berekenen van de bij de variërende waterdiepte behorende afvoer, maken we gebruik van fig. III waarin voor m= 1 en m= 3 de C-waarde tegen de b/d verhouding is uitgezet.

Indien we nu per afvoer $Qo/\sqrt{S}$ per taludhelling en per bodembreedte de waterdiepte laten variëren, beginnend bij een waterdiepte van 0,5 m en oplopend tot een maximum b/d verhouding= 10, dan kunnen we de bijbehorende overschrijdingsfaktoren berekenen.

Gaan we deze faktor op dubbel-logarithmisch papier uitzetten tegen de waterdiepte dan ontstaat voor elke b-waarde een kromme lijn.

Als voorbeeld geven we voor b= 4 en $Qo/\sqrt{S}$= 100 bij m= 1 de berekende waarden van de afvoerrelatie en overschrijdingsfaktor Qw/Qo, bij variërende d ,in tabelvorm

b= 4		$Qo/\sqrt{S}$= 100		m= 1	
d	b/d	C	d^3	$Qw/\sqrt{S}$	Qw/Qo
0,5	8	268,9	0,125	33,61	0,34
0,7	5,7	193	0,343	66,2	0,66
0,86				100	1
1	4	137	1	137	1,37
1,15	3,48	118	1,52	179	1,79
1,25	3,2	110	1,95	214,5	2,14
1,50	2,67	93	3,37	313,4	3,13
2,0	2	73	8	584	5,84
2,5	1,6	61	15,625	953	9,53

De ——— omlijnde regel bevat de ontwerpgegevens

De figuren IV A, B, C en D geven het verband weer tussen de overschrijdingsfaktor Qw/Qo en de waterdiepte d , bij respectievelijk $Qo/\sqrt{S}$= 1, 10, 100 en 1000 en bij m= 1

HET VERBAND TUSSEN DE AFVOERFREQUENTIE EN DE DROOGLEGGING

Volgens BLAAUW (1962) komt de maatgevende afvoer voor met een frequentie van éénmaal per jaar. Een afvoer gelijk aan de helft van de ontwerpafvoer zou dan ongeveer 15 maal per jaar optreden. Volgens WESSELING (1966) kunnen voor de afvoeren die met een frequentie van 15 maal per jaar, 1 maal per jaar, 1 maal per 10 jaar en 1 maal per 100 jaar, respectievelijk de verhoudingsgetallen 0,5; 1; 1,5 en 2 worden aangehouden.

Extrapoleren we de frequentie lijn dan vinden we voor een éénmaal per 1000 jaar optredende afvoer een verhoudingsgetal van 2,5 dus $\frac{Qw}{Qo} = 2,5$

De figuren IV A tm D bieden de mogelijkheid de optredende waterdiepten voor verschillende Qw/Qo waarden direct af te lezen voor leidingen waarvan de ontwerpwaarde $Qo/\sqrt{S}$ overeenkomt met die waarop de genoemde figuren zijn gebaseerd. Om een iets directer verband met de drooglegging te krijgen, kunnen we een andere benadering volgen.

We kunnen stellen dat een leiding die ontworpen is op grond van de éénmaal per jaar voorkomende afvoer als ontwerpafvoer, éénmaal per 1000 jaar een zodanige afvoer heeft dat de drooglegging dus juist tot nul is gereduceerd.

Dit komt er dus op neer dat als we voor de ontwerp-drooglegging Do nemen, dit het verschil is tussen de waterdiepte die éénmaal per 1000 jaar zal optreden (d_{max}) en de ontwerpwaterdiepte (do), dus

$$Do = d_{max} - do \qquad (9)$$

De waarden voor d_{max} kunnen nu worden bepaald als zijnde de waterdiepte bij $\frac{Qw}{Qo} = 2,5$, met behulp van de figuren IV A tm D. Daar we echter niet de drooglegging bij een bepaalde, doch bij elke $Qo/\sqrt{S}$ willen weten, is met behulp van tabel 2A voor enkele praktische waarden van b de grafiek V A geconstrueerd. Voor enkele bodembreedten (getrokken lijnen) is hierin het verband weergegeven tussen $Qo/\sqrt{S}$ en do. Met behulp van de uit de grafieken IV A tm D bepaalde waarden voor d_{max} is tevens in grafiek V A het verband tussen $Qo/\sqrt{S}$ en de

drooglegging Do weergegeven voor dezelfde bodembreedten (gestreepte lijnen). Voor andere taludhellingen zijn dezelfde soort grafieken te construeren. Figuur VB geeft ze voor m= 3. De dubbelgrafieken in de figuren VA en VB geven nu de mogelijkheid om snel een indruk te krijgen van de mogelijke vorm van de leiding als $Qo/\sqrt{S}$ is gegeven. Tevens kan uit de grafieken worden afgelezen welke drooglegging behoort bij een gekozen bodembreedte om een leiding te krijgen die een afvoer van 2.5 maal de ontwerp-afvoer nog kan verwerken.

INVLOED VAN DE LEIDINGVORM OP DE TE GEBRUIKEN ONTWERPNORM

De figuren VA en VB geven een duidelijk beeld van de invloed van de leidingvorm op de gewenste drooglegging. Worden de figuren onderling vergeleken dan blijkt de gewenste drooglegging bij grotere m-waarde minder af te nemen met de bodembreedte dan het geval is voor steilere taluds (kleinere m-waarde).

Kiest men voor de grootte van de leiding de waarde $Qo/\sqrt{S}$, dan kan uit de figuren VA en VB de relatie tussen bodembreedte en de gewenste drooglegging worden afgeleid. De verkregen resultaten zijn uitgezet in fig. VI. Kleinere leidingen behoeven slechts een zodanig geringe drooglegging dat het gebruikte criterium in de praktijk nooit zal worden overschreden. Men zal voor dit soort leidingen dan ook eerder moeten denken aan een landbouwkundig criterium dat een zekere ontwateringsdiepte voor de aanliggende grond eist.

Voor grotere leidingen is de invloed van de drooglegging, vooral bij steilere taluds (kleine m) nogal aanzienlijk.

Men zal, behalve met de ontwerpafvoerfaktor dus ook terdege rekening moeten houden met de gekozen drooglegging.

LITERATUUR

BLAAUW, H., 1961, De berekening van waterlopen en kunstwerken - Cult. techn. tijdschr. jrg. 1, no 3

BLAAUW, H., 1962, Afvoernormen - C. T. T. jrg. 2 no 3

BOS, W. P. en C. BIJKERK, 1963, Een nieuw nomogram voor het berekenen van waterlopen - C. T. T. jrg. 3 no 4

DIJKSTRA, W., 1962, Verband tussen afvoercoëfficiënt en oppervlakte - C. T. T. jrg. 1 no 6

FLACH, A. J., 1968, Invloed van de begroeiing op de stromingsweerstand in open waterlopen - C. T. T. jrg. 7 no 5

WESSELING, J., 1966, De betekenis van de hoogwaterlijn bij beekverbeteringen - nota 334, I. C. W.

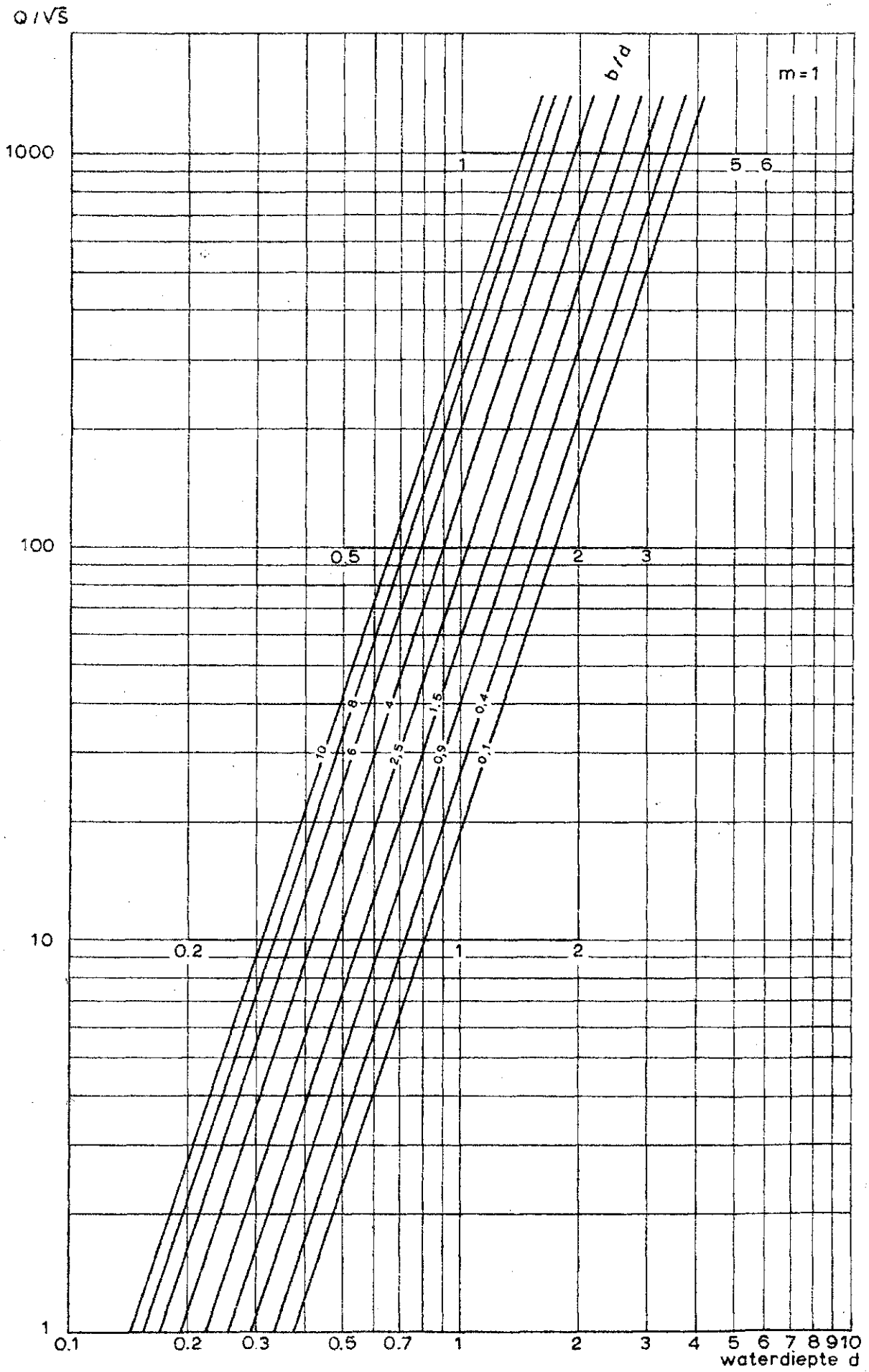

Q / √S
b/d
m = 1
1000
100
10
1
0.1
0.2
0.3
0.5
0.7
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
waterdiepte d
1
5
6
0.5
2
3
0.2
1
2
10
8
6
4
2,5
1,5
0,9
0,4
0,1

fig. I A

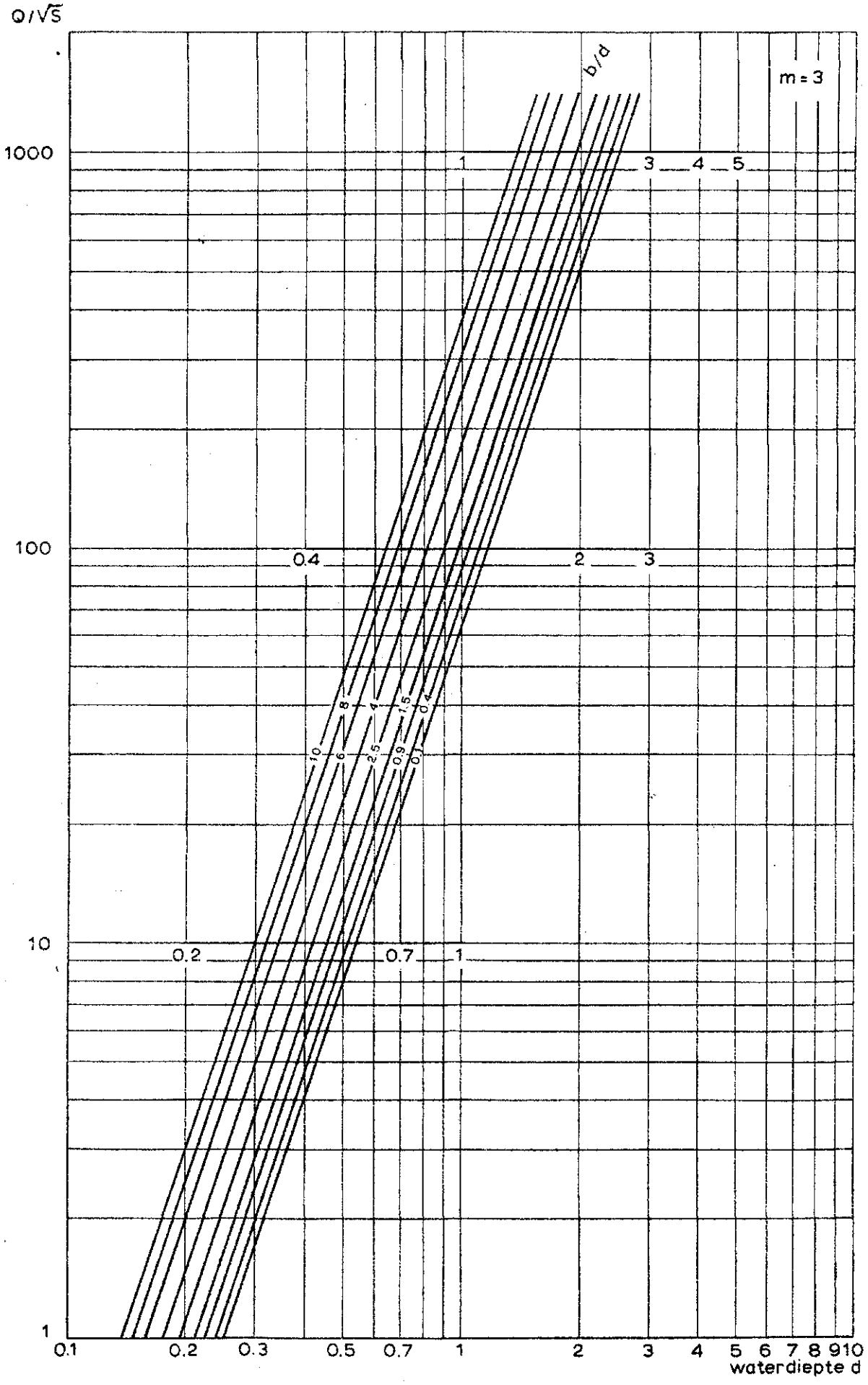

Q/√S
1000
100
10
1
0.1
0.2
0.3
0.5
0.7
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
waterdiepte d
b/d
m = 3
1
3
4
5
0.4
2
3
0.2
0.7
1
10
8
6
4
2.5
1.5
0.9
0.4
0.1

fig. I B.

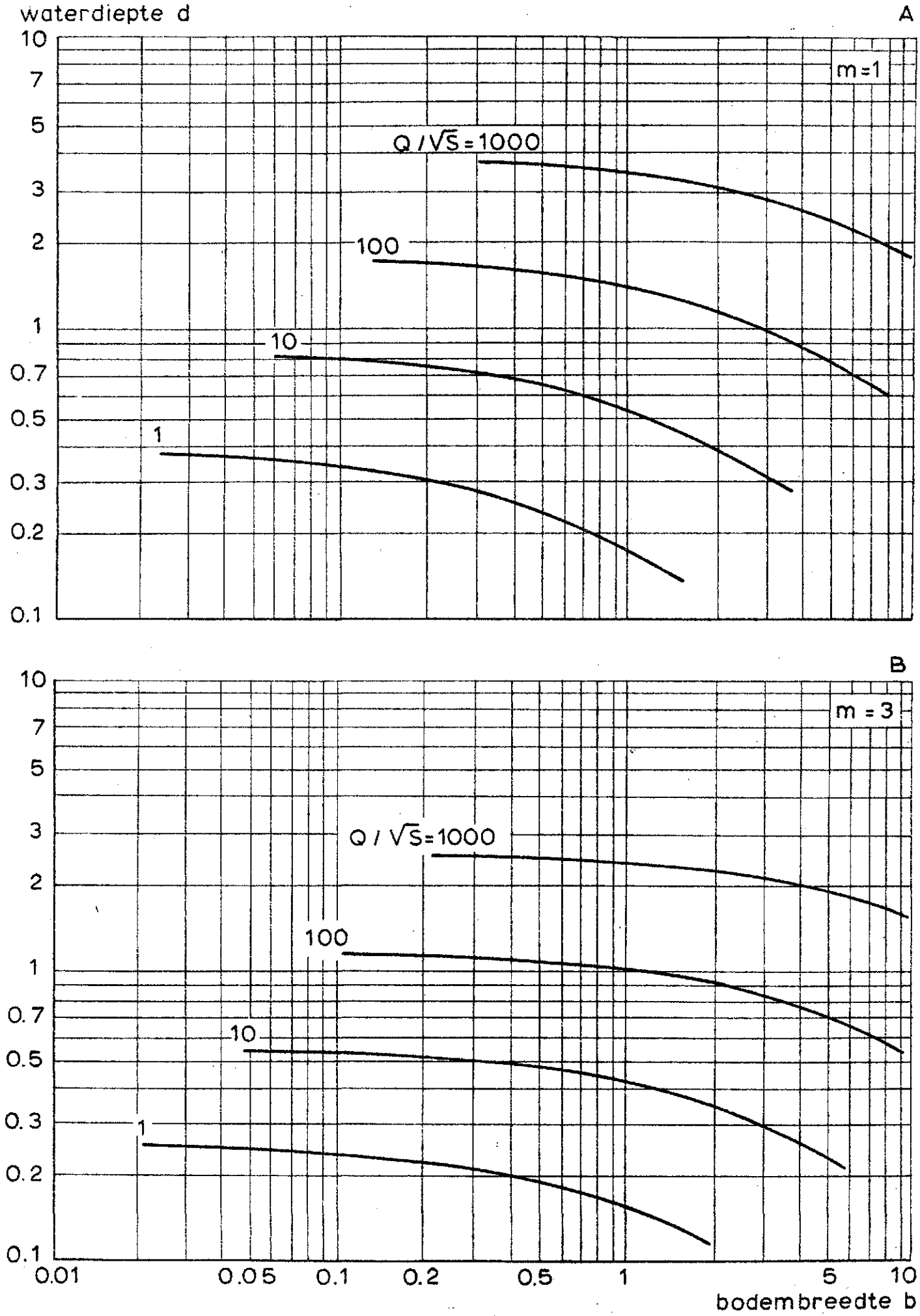


fig. II. verband tussen waterdiepte d en bodembreedte b

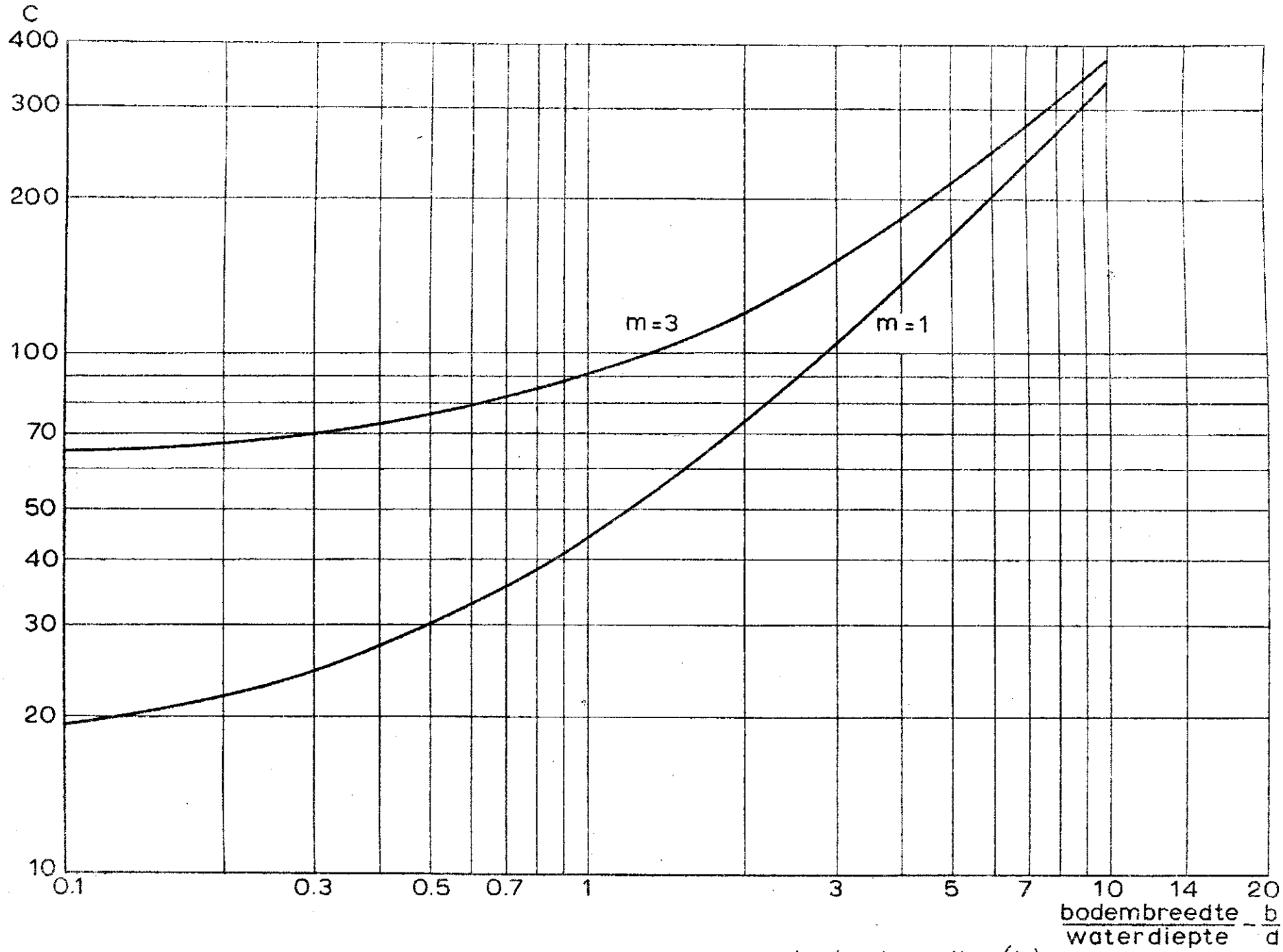


fig. III. relatie tussen de C-waarden en de verhouding $\frac{\text{bodembreedte}}{\text{waterdiepte}}$ $\left(\frac{b}{b}\right)$ bij een taludhelling m = 1 en m = 3

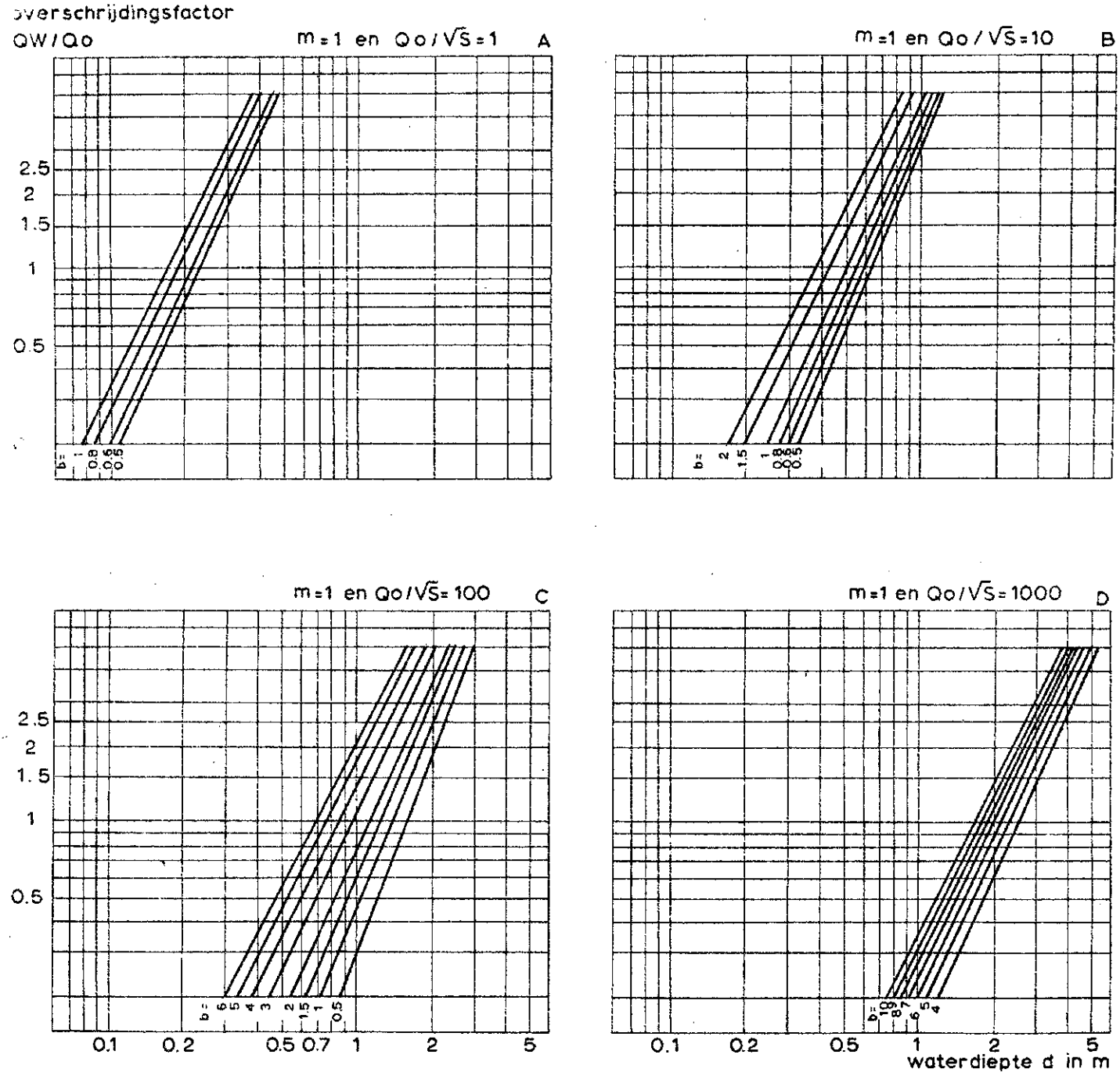
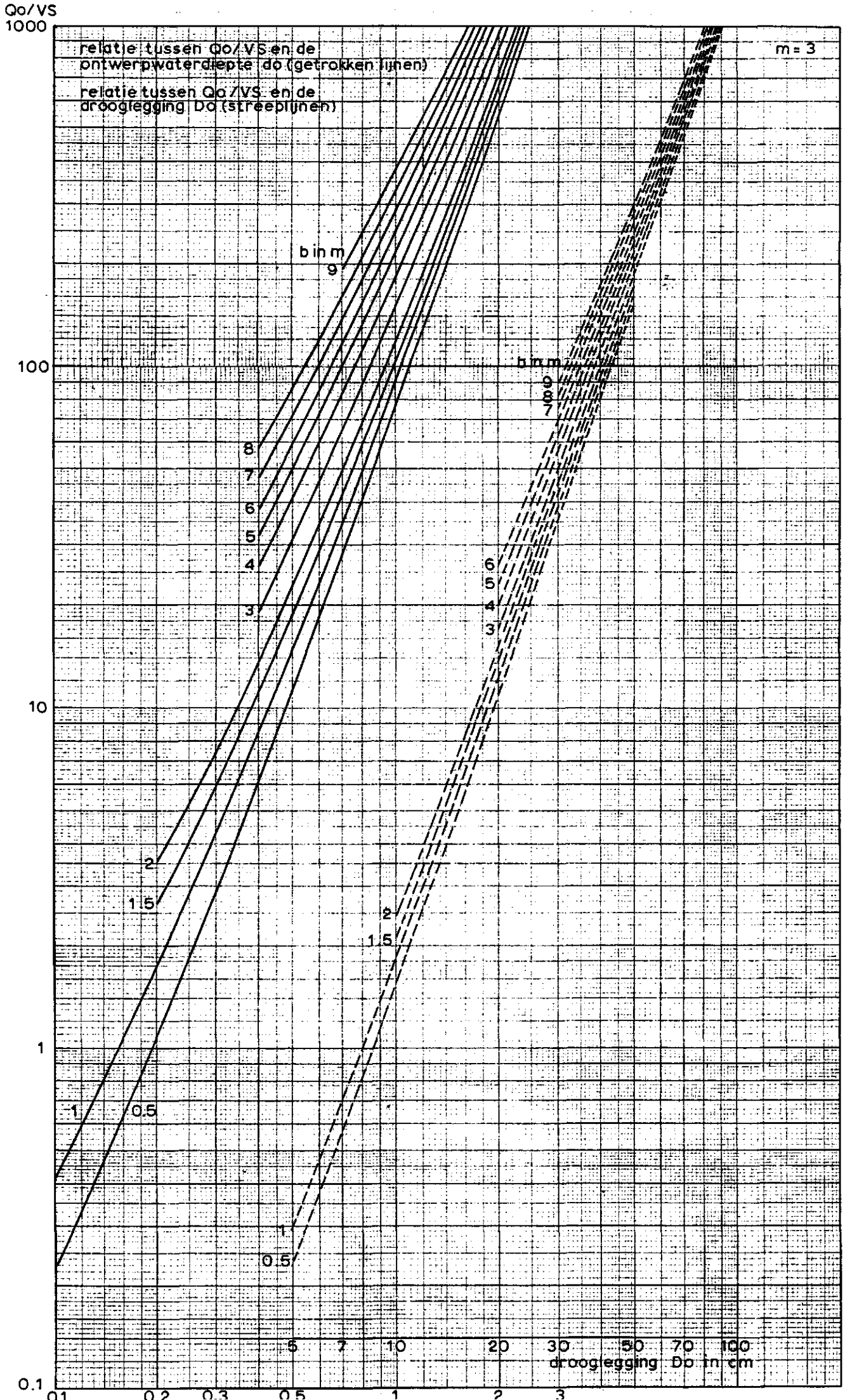
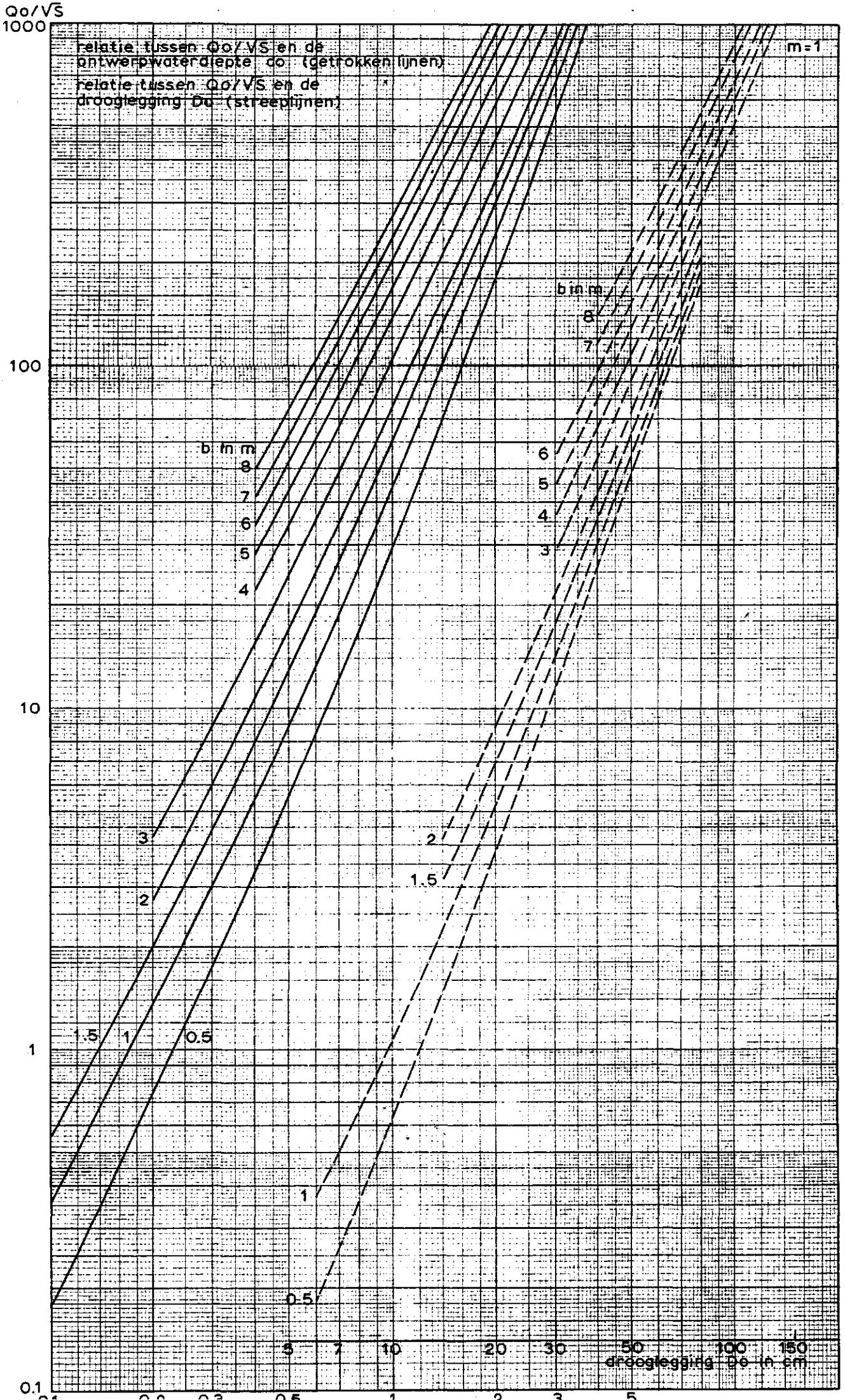


fig. IV. relatie tussen de overschrijdingsfactor QW/Qo en de waterdiepte d


Qo/VS
1000
100
10
1
0.1
relatie tussen Qo/VS en de
ontwerpwaterdiepte do (getrokken lijnen)
relatie tussen Qo/VS en de
drooglegging Do (streeplijnen)
m = 3
b in m
9
8
7
6
5
4
3
2
1.5
1
0.5
b in m
9
8
7
6
5
4
3
2
1.5
1
0.5
0.1
0.2
0.3
0.5
1
2
3
5
7
10
20
30
50
70
100
drooglegging Do in cm


Qo/√S
1000
100
10
1
0.1
relatie tussen Qo/√S en de
ontwerpwaterdiepte do (getrokken lijnen)
relatie tussen Qo/√S en de
drooglegging Do (streeplijnen)
m=1
b in m
8
7
6
5
4
3
2
1.5
1
0.5
b in m
8
7
6
5
4
3
2
1.5
1
0.5
5
7
10
20
30
50
100
150
drooglegging Do in cm
0.1
0.2
0.3
0.5
1
2
3
5

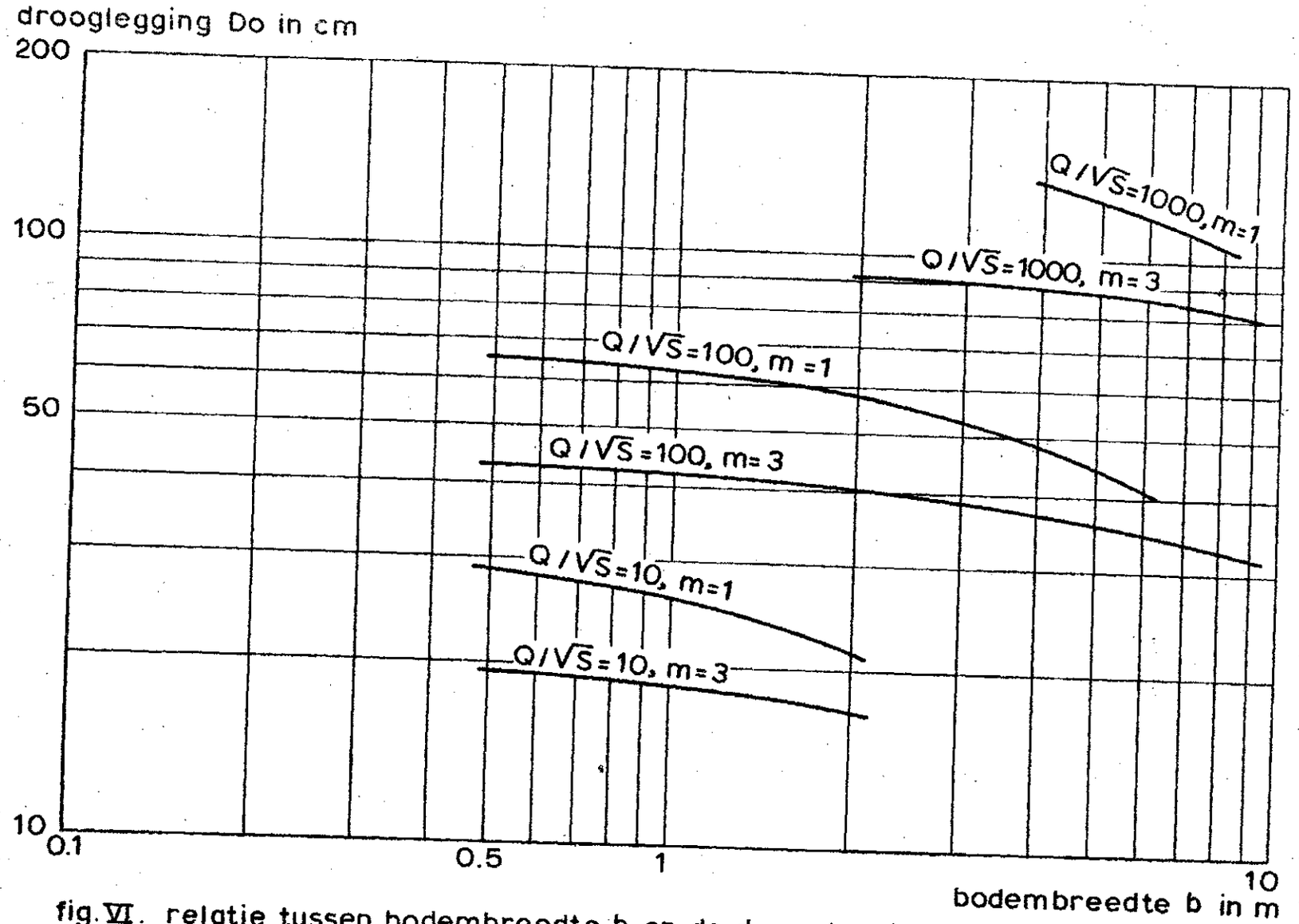


fig. VI. relatie tussen bodembreedte b en de drooglegging Do