

De betekenis van de hoogwaterlijn bij beekverbeteringen

dr. J. Wesseling

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 afgelopen.

Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in publikaties te vermelden.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

Inleiding

Bij het opstellen van een ontwerp voor een beekverbeteringsplan wordt naast de maatgevende afvoer een hoogwaterlijn aangenomen. Aan deze hoogwaterlijn kunnen twee betekenissen worden toegekend en wel:

- a. een zekerheid dat bij afvoeren hoger dan de ontwerpafvoer geen overstromingen optreden;
- b. het verkrijgen van een zodanige capaciteit van de beek dat bij doorgaans optredende afvoeren kleiner dan de ontwerpafvoer een zekere mate van ontwatering van de aanliggende gronden gewaarborgd is.

Door een hoogwaterlijn aan te nemen die ligt beneden de insteek van de leiding, krijgt deze leiding dus een zekere overcapaciteit. Een grotere drooglegging werkt dan in dezelfde richting als het stellen van een grotere ontwerpafvoer. De maximale afvoercapaciteit van de leiding wordt bepaald door de keuze van de combinatie van drooglegging en de ontwerpafvoer. DIJKSTRA (1962) wijst erop dat, uitgaande van een gelijke ontwerpafvoer voor grote en kleine leidingen, de laatste een relatief grotere capaciteit krijgen. Met andere woorden grotere leidingen kunnen een overschrijding van de afvoernorm slechter hebben dan kleinere. Uiteraard zal de grootte van de te ontwerpen leiding aan economische grenzen gebonden zijn en zal men rekening moeten houden met de economische nadelen van een zekere kans van overstroming, welke van gebied tot gebied kunnen verschillen. Wat het tweede van bovengenoemde punten betreft, wordt door OOSTRA (zie BLAUW, 1962) bij het ontwerp ook de drooglegging bij halve ontwerpafvoer beschouwd. Bij deze afvoer dient dan een zodanige drooglegging op te treden, dat ontwatering van de aanliggende gronden zonder belemmering mogelijk is. BLAUW beveelt aan de leiding te ontwerpen naar de zwaarste van beide eisen.

Uit bovenstaande moge blijken dat evenals bij het toepassen van een afvoercriterium bij drainage, ontwerpafvoer en drooglegging niet van elkaar zijn te scheiden. In dit artikel zal dan ook worden nagegaan, hoe deze factoren samenhangen en welke betekenis een verandering van een van genoemde factoren heeft op de afvoercapaciteit van een leiding. Hierbij zal worden uitgegaan van zeer eenvoudige veronderstellingen, zodat een zekere afwijking van in de praktijk optredende omstandigheden mogelijk is.

Drooglegging en ontwerpafvoer

Door BLAUW (1962) worden de in tabel I weergegeven droogleggingseisen, gebruikt in Noord-Brabant, weergegeven.

Tabel I. Droogleggingseisen bij het ontwerp van een beekverbeteringsplan (BLAUW, 1962)

Grondsoort	Gebruik	Bij ontwerpafvoer	Bij 50% ontwerpafvoer
zand	bouwland, grasland	50 cm	80 - 100 cm
	tuinbouw	80 cm	100 - 120 cm
klei	bouwland, tuinbouw	80 cm	110 - 130 cm
	grasland	60 cm	80 - 100 cm

Men kan zich nu afvragen hoe vaak de ontwerpafvoer wordt overschreden. BLAUW (1962) beveelt als ontwerpafvoer de slechts éénmaal per jaar optredende afvoer aan. Een afvoer gelijk aan de helft van de ontwerpafvoer zou dan ongeveer 15 maal per jaar optreden. De éénmaal per 100 jaar optredende afvoer zou dan 1,874 maal de ontwerpafvoer zijn. Deze gegevens kunnen worden vergeleken met de door de Provinciale Waterstaat Gelderland in de Achterhoek gevonden afvoerfrequenties weergegeven in tabel II.

Tabel II. Afvoerfrequenties van enkele beekgebieden in de Gelderse Achterhoek (Prov. Waterstaat Arnhem)

Stroomgebied	Plaats	Opp. ha	m ³ /sec			
			1x100jr) ^{*)}	1x10jr	1xjr	15xjr
Berkel	Rekken	38 200	-	55,0	37	15,5
Gr.Slinge	Beekvliet	18 800	24,8	19,0	13,1	6,2
Baakse beek	De Wiersse	7 400	11,3	8,6	6,0	2,9
Baakse beek	Hakfort	16 400	19,9	15,5	11,0	5,7
Aalt.Slinge	Aalbr.brug	4 900	15,9	11,5	7,1	1,9
Aalt.Slinge	Grevinkbrug	12 300	22,0	16,4	10,9	4,4
Oude IJssel	Doesburg	125 000	14,5	110,5	75,0	34,5

*) geëxtrapoleerd

Berekent men uit tabel II de verhoudingen dan ontstaat tabel III.

Tabel III. Verhoudingen van afvoerfrequenties uit tabel II

Stroomgebied	Plaats	1x100 jr	1x10 jr	1xjr	15xjr
Berkel	Rekken	-	1,49	1	0,42
Slinge	Beekvliet	1,89	1,45	1	0,47
Baakse beek	De Wiersse	1,89	1,43	1	0,48
Baakse beek	Hakfort	1,81	1,41	1	0,52
Aslt.Slinge	Aalbr.brug	2,24 ^{*)}	1,62 ^{*)}	1	0,27 ^{*)}
Aalt.Slinge	Grevinkbrug	2,02	1,50	1	0,41
Oude IJssel	Doesburg	1,93	1,48	1	0,46
Gemiddeld		1,91	1,46	1	0,47

*) = niet meegerekend

De cijfers in tabel III komen vrij goed overeen met de door BLAUW (1962) gestelde waarden. Als verhoudingscijfers zullen in het vervolg van dit artikel respectievelijk 2,0, 1,5, 1,0 en 0,5 worden aangehouden.

Capaciteit van leidingen

Voor trapezienvormige leidingen geldt:

$$R = \frac{h (b + mh)}{b + ah} \quad (1)$$

$$A = h (b + mh) \quad (2)$$

$$a = 2\sqrt{m^2 + 1} \quad (3)$$

waarin:

R = hydraulische straal (m)

h = waterdiepte (m)

b = bodembreedte (m)

A = natte oppervlakte (m²)

m = tangens van het talud ten opzichte van de verticaal

De capaciteit van de leiding kan worden weergegeven door de formule van Manning

$$Q = AV = A K_M R^{2/3} S^{1/2} \quad (4)$$

waarin:

Q = afvoer (m^3/sec)

S = helling (m/m)

K_M = ruwheidsfactor van de leiding ($m^{1/3}/sec$)

Teneinde rekening te kunnen houden met het verband tussen K_M en waterdiepte is het door BOS en BIJKERK (1963) gegeven verband

$$K_M = 33,79 h^{1/3} \quad (5)$$

gebruikt. Dit verband geldt volgens genoemde auteurs voor winteromstandigheden.

Invullen van (1), (2) en (5) in (4) geeft dan

$$\frac{Q}{S^{1/2}} = 33,79 \cdot \frac{h^2 (b + mh)^{5/3}}{(b + ah)^{2/3}} \quad (6)$$

Volgens BAKHMETEFF (zie LELIAVSKY, 1965 p 208 e.v.) kan voor open leidingen een transport functie (conveyance function) worden gegeven in de vorm

$$\frac{Q}{S^{1/2}} = C h^n \quad (7)$$

Dit is mogelijk omdat BAKHMETEFF uitgaat van de formule van CHEZY-BAZIN. Hetzelfde kan ook met de formule van Manning voor $K_M = \text{constant}$ (zie BLAUW, 1961) worden gevonden. Aangezien hier echter K_M als functie van de waterdiepte is volgens vergelijking (5) wordt gebruikt, geeft vergelijking (6) bij uitzetten van $\frac{Q}{S^{1/2}}$ tegen h op dubbel-logarithmisch papier geen zuivere rechte lijnen (fig. 1).

Om af te zijn van de vrij ingewikkelde vergelijking (5), zijn de lijn-

stukken voor $h = 0,5$ meter tot $h = 1,5$ meter in figuur 1 benaderd door rechte lijnen. Voor grotere waterdiepten bijvoorbeeld van $h = 1,5$ tot $3,0$ meter is eenzelfde bewerking mogelijk doch hier achterwege gelaten, omdat dergelijk grote waterdiepten in beken niet zo vaak voor zullen komen. Dit komt dus neer op het vervangen van vergelijking (6) door de eenvoudiger vorm in (7).

De waarde van n blijkt dan te kunnen worden weergegeven door de functie

$$n = 2,3 \left(\frac{b}{m}\right)^{-0,1} \quad (8)$$

Voorts blijkt, dat de waarde van c kan worden weergegeven door

$$c = 31 b + 24 m - 11 \quad (9)$$

Deze faktor wordt verder niet gebruikt doch wordt volledigheidshalve gegeven.

Een weergave door $\frac{b}{m}$ lijkt enigszins onverwacht, doch uit de theoretische beschouwing die boven is gegeven volgt dat n alleen maar afhankelijk kan zijn van b en m , zodat dit de enige mogelijkheid van weergave is.

Om de betekenis van de capaciteit van een leiding vast te stellen, veronderstellen we, dat de leiding is ontworpen voor een maatgevende afvoer Q_0 met een bijbehorende waterdiepte h_0 . Uit vergelijking (7) volgt nu

$$\frac{Q_0}{S_0^{1/2}} = c h_0^n \quad (10)$$

Vooropstellend dat het verhang hetzelfde blijft, geeft deling van (7) door (10)

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad (11)$$

Volgens vergelijking (8) hangt n af van de verhouding $\frac{b}{m}$. Het uit vergelijking (11) volgend verband tussen $\frac{Q}{Q_0}$ en $\frac{h}{h_0}$ is in figuur 2 weergegeven. Uit

deze figuur volgt, dat voor kleinere waarden van b/m , dus in het algemeen voor de kleinere leidingen, een groter quotiënt $\frac{h}{h_0}$ een relatief sterkere toename van $\frac{Q}{Q_0}$ geeft. Op dit aspect werd reeds door BIJKSTRA (1962) gewezen.

Betekenis van de hoogwaterlijn

Wanneer we veronderstellen, dat een leiding ontworpen is met de eenmaal per jaar voorkomende afvoer als afvoerfactor dan kan uit figuur 2 bij elke waarde van Q/Q_0 de bijbehorende waarde van h/h_0 worden afgelezen. Dit is gedaan voor $Q = 0,5 Q_0$; $Q = 1,5 Q_0$; $Q = 2 Q_0$, dat wil zeggen voor afvoeren die gemiddeld 15 keer per jaar, eens per 10 jaar en eens per 100 jaar voorkomen. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3. Hieruit blijkt, dat voor $Q/Q_0 > 1$ en toenemende waarden van b/m de verhouding h/h_0 toeneemt. Hieruit blijkt dus weer dat kleinere leidingen een relatief grotere capaciteit hebben. Vergelijken we bijvoorbeeld twee leidingen met een bodembreedte van respectievelijk 0,5 en 2 meter en een talud 1:2, dan heeft b/m de waarden 0,25 en 1. Voor deze leidingen gelden voor $Q = 2 Q_0$ waarden van h/h_0 van respectievelijk 1,3 en 1,35. Stellen we van beide leidingen een h_0 -waarde van 0,5 meter dan zijn bij $Q = 2 Q_0$ de waterdiepten 0,65 en 0,68 meter.

De hoogste waarde die h/h_0 bereikt bij $Q = 2 Q_0$ is 1,4. Bij een ontwerpdiepte van $h_0 = 1$ meter zou dan de waterhoogte bij een afvoer die éénmaal per 100 jaar optreedt nog maar 1,40 meter zijn. Wil men een zodanige capaciteit dat een overstroming optreedt met een kans kleiner dan eens per 100 jaar, dan zou een drooglegging van 50 cm nodig zijn bij een ontwerpwaterdiepte h_0 volgend uit

$$\frac{h_0 + 0,5}{h_0} = 1,4 \quad \text{of} \quad h_0 = \frac{0,5}{0,4} = 1,25 \text{ meter}$$

Doorgaans zal echter de waarde van b/m van de ontworpen leiding kleiner zijn, zodat de ontwerp waterdiepte zelfs nog wel groter kan zijn.

Bovenstaande werkwijze mag men toepassen op de bovenpanden van leidingen en hellende gebieden waar topafvoeren slechts zeer kort duren en bovendien vaak geen verband met de grondwaterstand vertonen. Voor lager gelegen panden duren hoge afvoeren meestal veel langer en zal men niet geneigd zijn gedurende zo lange tijd maximale peilen in de leidingen toe te laten zodat hier een

zekere toeslag op de drooglegging zal moeten worden gegeven.

Voor $Q < Q_0$ neemt de verhouding h/h_0 af bij toenemende waarden van b/m . De betreffende waarden voor h/h_0 liggen tussen 0,8 en 0,71. Neemt men als gemiddelde waarde 0,75 dan wordt een peilverschil van 0,30 à 0,40 meter zoals in tabel I aangegeven voor de beide eisen eerst bereikt bij waterdiepten van

$$\frac{h_0 - 0,3 \text{ à } 0,4}{h_0} = 0,75 \quad \text{of} \quad h_0 = \frac{0,3 \text{ à } 0,4}{0,25} = 1,2 \text{ à } 1,6 \text{ meter}$$

De eis bij halve afvoer zoals gesteld in tabel I is dus doorgaans veel strenger dan die bij de gegeven maatgevende afvoer. Bovendien zal men onder omstandigheden van halve afvoer doorgaans rekening moeten houden met een kleinere stroomsnelheid, zodat de leiding relatief nog groter zal worden berekend.

De stroomsnelheid

Doorgaans wordt bij het ontwerp de maximaal toelaatbare stroomsnelheid ingevoerd bij de ontwerpafvoer (zie o.a. BOS en BIJKERK, 1963). Houdt men er echter rekening mee, dat de maatgevende afvoer een zeker aantal malen kan worden overtroffen, dan moet men ook rekenen op grotere stroomsnelheden, met alle gevolgen van dien.

De stroomsnelheden bij hogere afvoeren kunnen worden uitgedrukt in die van de ontwerpafvoer volgens

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{h}{h_0} \frac{(b + mh)}{(b + mh_0)} \cdot \frac{V}{V_0}$$

of

$$\frac{V}{V_0} = \frac{Q}{Q_0} \cdot \frac{h_0}{h} \cdot \frac{b/m + h_0}{b/m + h} \quad (12)$$

Voor de vaste verhoudingen $\frac{Q}{Q_0} = 1,5$ en $\frac{Q}{Q_0} = 2$ zijn in figuur 3 de waarden van h/h_0 weergegeven. Voor verschillende waarden van h_0 kan de stroomsnelheid dus worden berekend. In figuur 4 zijn voorts voor $h_0 = 0,5$ en

$h_0 = 1,0$ meter de betreffende verhoudingen $\frac{V}{V_0}$ weergegeven. Voor $Q = 2 Q_0$ liggen voor het grootste deel van het traject de verhoudingen $\frac{V}{V_0}$ tussen ongeveer 1,29 en 1,05 voor respectievelijk $h_0 = 1,0$ en $h_0 = 0,5$ meter. Voor grotere waterdiepten neemt de stroomsnelheid, zoals te verwachten is relatief minder toe. Bij een gestelde toelaatbare snelheid van 0,50 m/sec. worden de snelheden bij $Q = 2 Q_0$ dus ongeveer 0,65 en 0,68 cm. Wil men blijven uitgaan van een ontwerpafvoer van éénmaal per jaar, dan zal de hierbij behorende stroomsnelheid niet groter mogen zijn dan ongeveer 0,75 maal de maximaal toelaatbare snelheid.

Literatuur

- BLAUW, H., (1961) - De berekening van waterlopen en kunstwerken, Cult.Tijdschr. 1: 79 - 100
- BOS, W.P. en C. BIJKERK (1963) - Een nieuw nomogram voor het berekenen van waterlopen, Cult.Tijdschr. 4 (1963) 149 - 155
- DIJKSTRA, W., (1962) - Verband tussen afvoercoëfficiënt en oppervlakte, Cult. Tijdschr. 2: 220 - 221

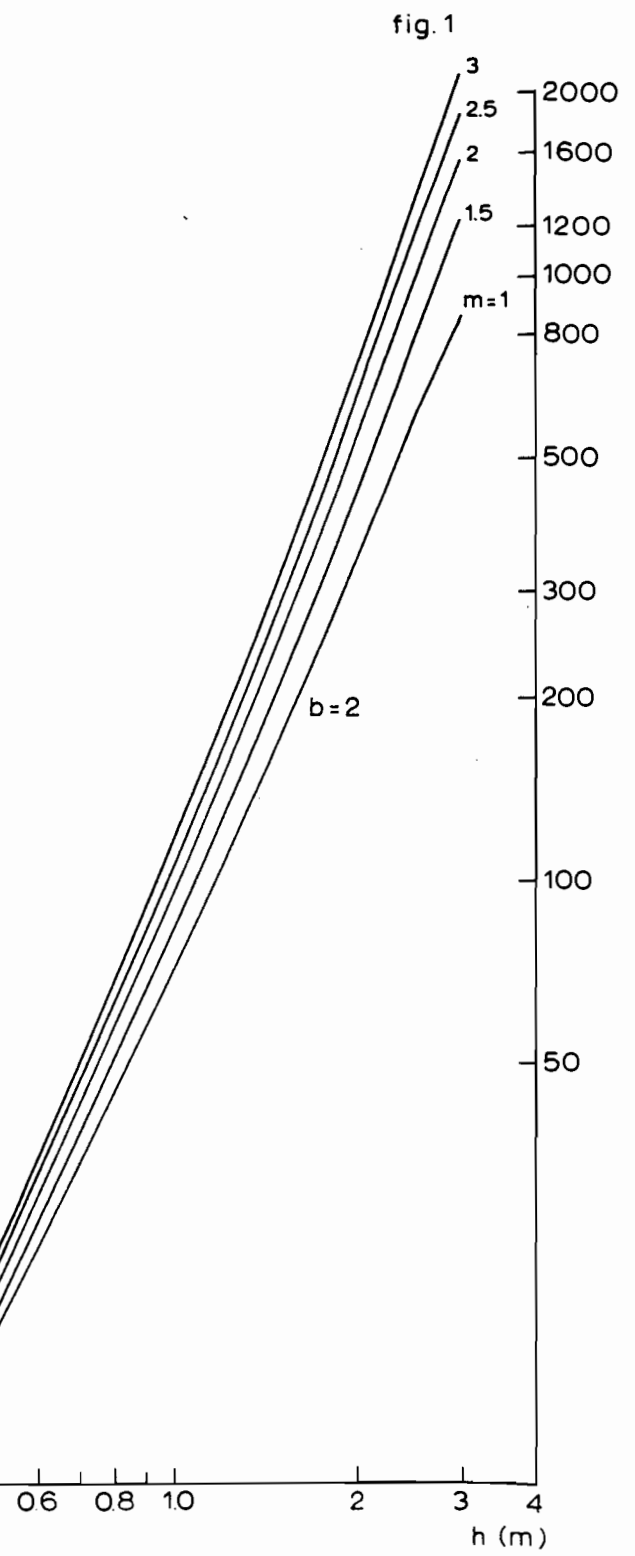
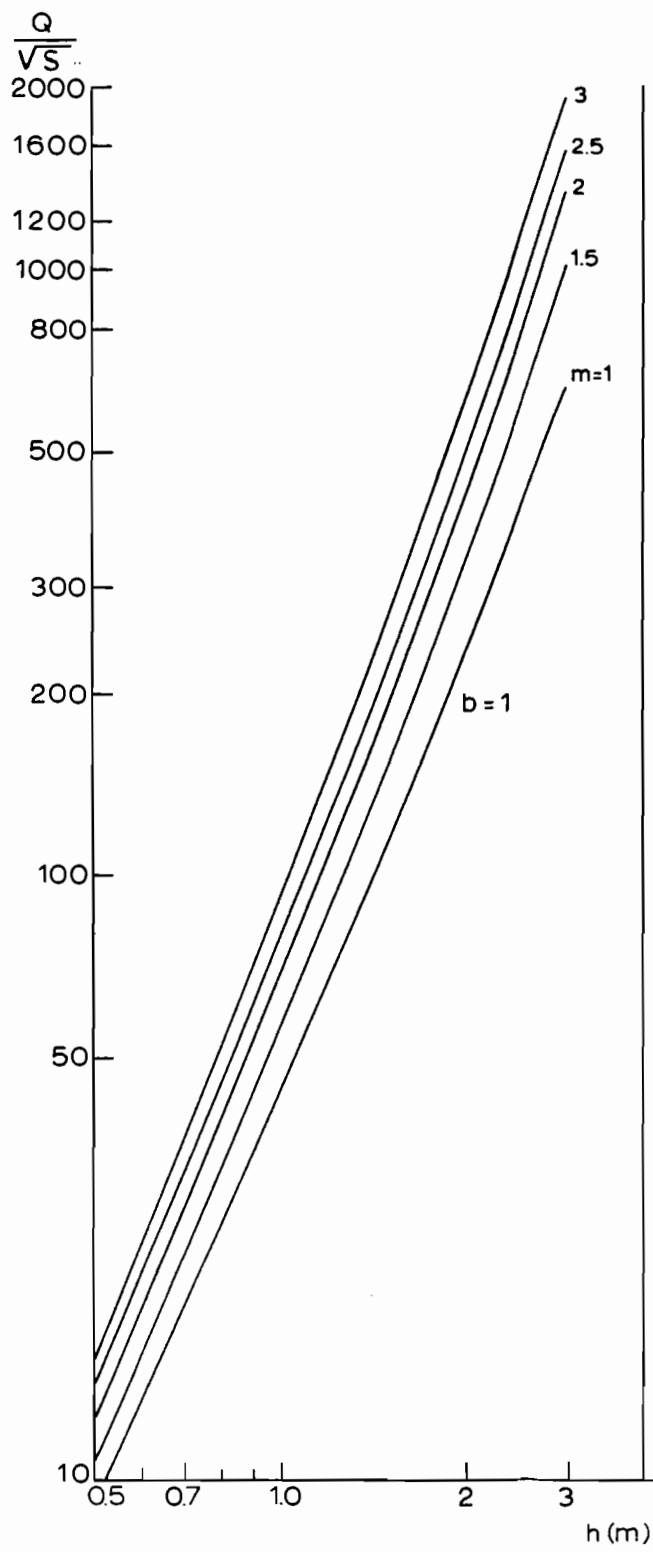


fig.2

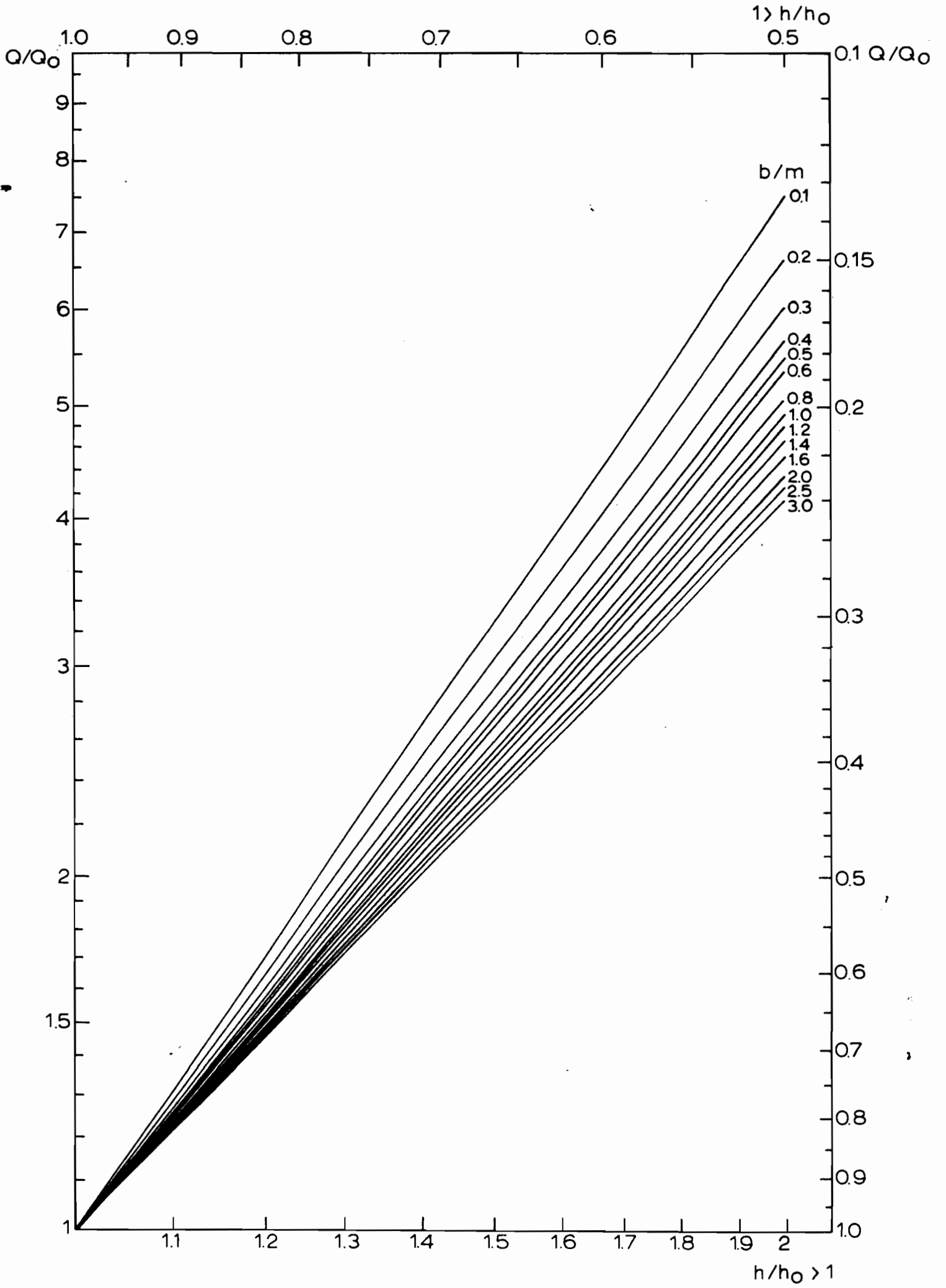


fig. 3

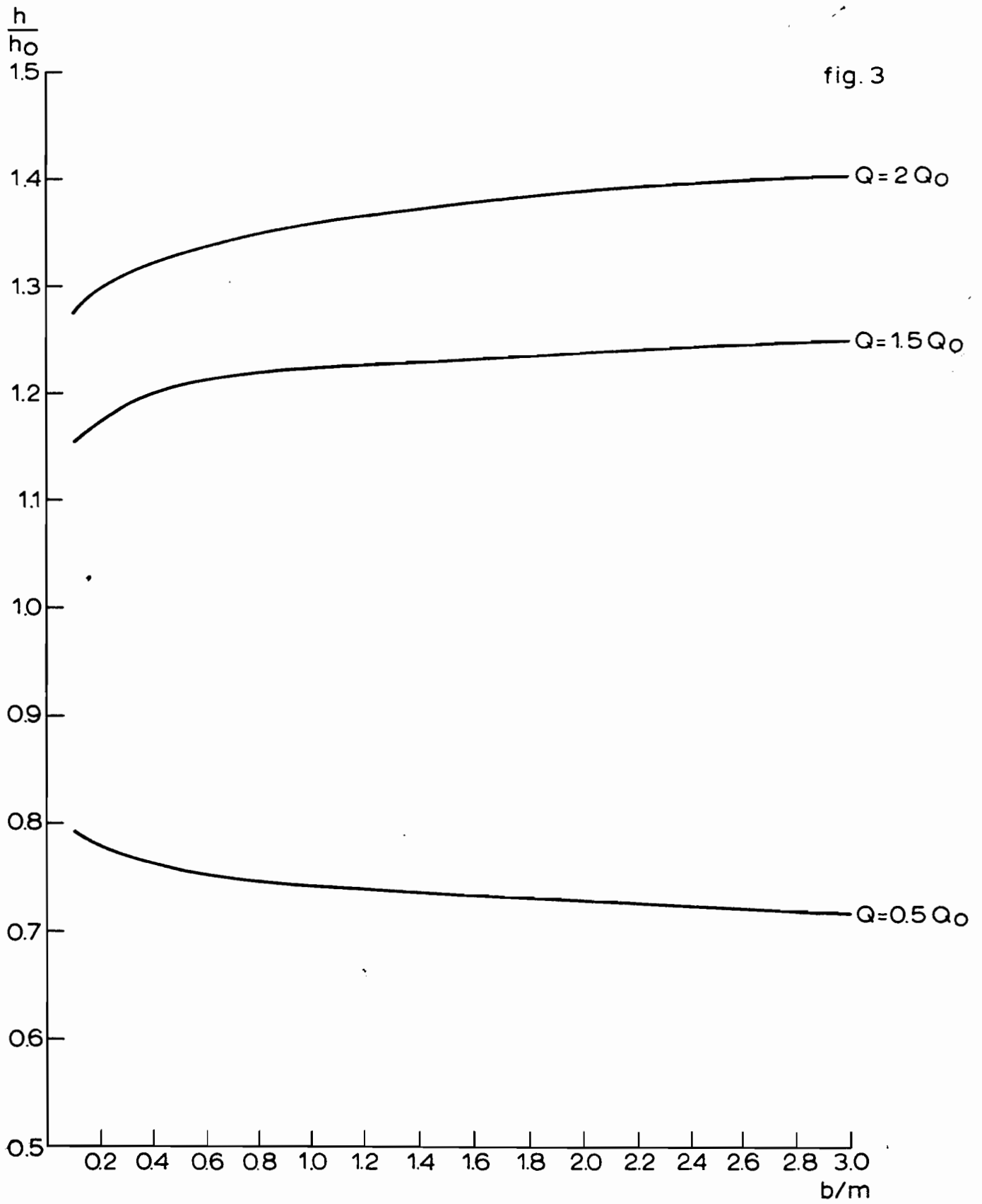


fig. 4

