

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Concentratieschattingen met betrekking tot de
door de Centrale Hemweg af te voeren rookgassen

door

Dr. F.H. Schmidt

De Bilt, juli 1963

Concentratieschattingen met betrekking tot de
door de Centrale Hemweg af te voeren rookgassen

door

Dr. F.H. Schmidt

Inleiding

Bij de berekening van de SO_2 -concentraties, welke nabij de Hembrug-centrale zullen worden aangetroffen, is uitgegaan van de volgende basisgegevens en veronderstellingen:

1. De bestaande schoorstenen, 4 in getal (althans voor zover ze gelijktijdig in gebruik zullen zijn) produceren 400.000 m^3 per uur, dat is per schoorsteen en per seconde bij een uitstroomtemperatuur van 80°C :

$$\frac{400.000}{3600 \times 4} \times \frac{353}{283} = 34,7 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Uit de uitstroomsnelheid van 4,3 m per sec. volgt dus voor de schoorsteendiameter 3,2 m.

Uit theoretische beschouwingen blijkt, dat onder normale atmosferische omstandigheden bij een schoorsteendiameter van 3,2 m en een temperatuurverschot van ca. 70°C van de rookgassen met een stijging van de pluim van ca. 40 m rekening mag worden gehouden. Voor de pluimhoogte van de oude schoorstenen is derhalve 120 m genomen. Bij een onstabiele gelaagdheid van de atmosfeer zou een iets grotere pluimhoogte kunnen worden aangehouden.

2. Een soortgelijke redenering met betrekking tot de nieuwe schoorstenen leidt tot een hoeveelheid uitstromend gas van

$$\frac{700.000}{3600 \times 2} \times \frac{438}{283} = 150 \text{ m}^3/\text{sec.}$$

Bij een uitstroomsnelheid van 20 m per sec. behoort dan eveneens een diameter van 3,2 m. Een pluimverhoging van 50 tot 60 m is daarbij een conservatieve schatting. In het volgende zal 50 m worden aangehouden waarbij evenals vroeger kan worden gesteld, dat bij onstabiele gelaagdheid van de atmosfeer een grotere pluimstijging waarschijnlijk moet worden geacht.

3. Bij de berekening van de concentraties, die aan de grond zullen optreden ten gevolge van de aanwezigheid van de schoorstenen (maximaal 6) is geen rekening gehouden met het feit, dat het hier in wezen niet gaat om een enkele puntbron aangezien immers de 6 schoorsteenmonden niet samenvallen. De onderlinge afstanden van de schoorsteenmonden zijn nl. zo gering, vergeleken bij de afstand waarop bijv. de maximum grondconcentratie wordt aangetroffen, dat het gezien de onzekerheden, die toch altijd in schattingen als de onderhavige schuilen, niet realistisch leek met deze afstanden rekening te houden. Er is dus van uitgegaan, dat de pluimen op enige afstand van de centrale in eenzelfde vertikaal vlak liggen, zodat slechts het hoogteverschil tussen de diverse pluim-assen een rol speelt. Dit betekent, dat bij sommige situaties de omstandigheden wellicht iets gunstiger zullen zijn dan werd berekend maar meer dan een paar % zal hierbij niet zijn gemoeid.

Berekeningsmethode

De berekeningen die werden uitgevoerd zijn geheel gebaseerd op de grafische methode van Pasquill (zie bijv. F. Pasquill, Atmospheric Diffusion, London, 1962). In deze methode wordt ervan uitgegaan, dat de verspreiding van uit een puntbron afkomstige verontreiniging rechtstreeks samenhangt met de horizontale en verticale windfluctuaties, dat is de horizontale en verticale component van de turbulentie. De eerste kunnen kwantitatief worden uitgedrukt met behulp van θ' waarbij θ (de windrichting) = $\bar{\theta}$ (de gemiddelde windrichting, bijv. over 10 minuten) + θ' (de windrichtingsfluctuaties). De verticale verspreiding van de luchtverontreiniging kan bijv. worden afgeleid uit w' met $w = \bar{w}$ (meestal = 0) + w' waarbij w de verticale component van de windsnelheid voorstelt.

Het directe gebruik van θ' en w' treedt hier dus in de plaats van dat van de constanten C_y , C_z en n , die voorkomen in het model van Sutton. Theoretisch betekent dit zonder twijfel een grote verbetering, aangezien het kiezen van de constanten in de formules van Sutton vaak weinig meer is dan een slag in de lucht.

Men zou echter aan het praktische nut van Pasquill's methode kunnen twijfelen, omdat men immers in het algemeen voor een bepaalde schoorsteen niet op de hoogte is van θ' en w' . Pasquill is aan dit bezwaar tegemoet gekomen door uit een groot aantal waarnemingen standaardwaarden voor θ' en w' vast te stellen voor zes weertypen, die worden bepaald op grond van de gemiddelde windsnelheid op normale waarnemingshoogte en de in- resp. uitstraling, d.w.z. de stabiliteit.

Het volgende schema geeft de zes beschouwde typen, aangegeven door de letters A-F.

windsnelheid (m/sec)	instraling			nacht	
	sterk	matig	zwak	$\geq 4/8$ wolken	$\leq 3/8$ wolken
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

In de volgorde A→F neemt de stabiliteit toe; A representeert een sterk onstabiele situatie, bijv. een met zomerbuien, F is een situatie met een sterke nachtelijke inversie.

Uit geschikt gekozen waarden voor de horizontale en verticale componenten van de turbulentie kan nu de verspreiding van de uit de puntbron afkomstige pollutie worden bepaald en daarmee het verloop van de concentratie in de windrichting. Pasquill gaat bij deze bepaling uit van een bron aan de grond en geeft een methode aan om te corrigeren voor een van nul verschillende bronhoogte.

Resultaten van de berekeningen

De bijgevoegde figuren geven het resultaat van de berekeningen.

$C^{\#}$ geeft de concentraties aan de grond in mg/m^3 in afhankelijkheid van de afstand tot de schoorsteenmond (0,1 tot 100 km). De curve, die is aangeduid met het getal 120, geeft de concentraties die voortvloeien uit de aanwezigheid van de schoorstenen van 80 m hoogte (plus 40 m pluimverhoging = 120 m), de overige curven hebben betrekking op de nieuwe schoorstenen, waarbij als schoorsteenhoogte is aangenomen 100, 150, 200 en 250 m (met pluimverhoging van ca. 50 m, dus respectievelijk 150, 200, 250 en 300 m).

De overige figuren geven de som van de curven 120 en resp. 150 t.e.m. 300 m en zijn aangeduid door de laatste getallen. De geaccentueerde letters (opgenomen voor zover nodig) hebben betrekking op zwavelarme olie, dus een SO_2 -emissie van 180 gram per seconde.

De figuren geven het volgende beeld:

A : Een figuur voor A, dat is het meest onstabiele geval waarbij met zwavelrijke olie wordt gestookt, is niet bijgevoegd. Reeds de 120-schoorstenen geven onder deze omstandigheden een maximale grondconcentratie van $1,25 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$, dus boven de toegelaten norm. De nieuwe schoorstenen zouden in dit geval maximale concentraties van resp. 5,00; 3,36; 2,52 en 2,10 mg/m^3 geven.

- A': Stookt men onder de omstandigheden, die overeenkomen met geval A, met zwavelarme olie, dan komt de maximale grondconcentratie als gevolg van de grote bijdrage van 120 niet beneden $1,25 \text{ mg/m}^3$. Het maximum ligt dan echter op ongeveer 500 m van de schoorsteenvoet, dus dicht bij of wellicht zelfs op het terrein van de centrale.
- B: Zelfs bij een hoogte van 200 m van de nieuwe schoorstenen (curve 250) zou de maximaal toelaatbare concentratie ruimschoots worden overschreden en wel op een afstand van ongeveer 2 km van de bron.
- B': Bij het stoken met zwavelarme olie is bij een werkelijke schoorsteenhoogte van zelfs 100 m (150) alles in orde, althans bij de grenswaarde 1,0.
- C: Bij een schoorsteenhoogte van ca. 160 m ($160 + 50 = 210$) wordt de grenswaarde 1,0 niet overschreden. Bij een schoorsteenhoogte van ongeveer 180 m ($180 + 50 = 230$) ook 0,8 niet.
- C': Stoken met zwavelarme olie in situatie C is bij iedere beschouwde schoorsteenhoogte afdoende.
- D: Een schoorsteenhoogte van 150 m ($150 + 50 = 200$) is, onafhankelijk van de gestookte olie, voldoende.
- E: idem.
- F: Niet als figuur opgenomen, idem.

De onderstaande tabel geeft een samenvatting voor de schoorsteenhoogten 150 en 200 m (waar de 50 m pluimverhoging dus nog bij komt). + betekent afdoende, d.w.z. de maximale concentratie ligt beneden de norm, - onvoldoende, d.w.z. de maximum concentratie ligt boven de norm.

Weertype	olie	schoorsteenhoogte			
		150 m		200 m	
		1,0	0,8	1,0	0,8
A	3,5 % S	-	-	-	-
	0,6	-	-	-	-
B	3,5	-	-	-	-
	0,6	+	+	+	+
C	3,5	-	-	+	+
	0,6	+	+	+	+
D	3,5	+	+	+	+
E	3,5	+	+	+	+
F	3,5	+	+	+	+

Bij weersituatie A zal de maximaal toelaatbare concentratie dus steeds worden overschreden, ook bij het gebruik van zwavelarme olie. Opgemerkt moge hierbij worden, dat

- a) Het maximum betrekkelijk scherp is en dicht bij de schoorsteen ligt.
- b) De rookgassen vermoedelijk hoger zullen opstijgen dan de 40, resp. 50 m waarvan werd uitgegaan. Het is echter moeilijk van deze opstijging een schatting te maken.

Situatie B vereist steeds het stoken van zwavelarme olie. De situaties D, E en F geven geen problemen.

Een decisie met betrekking tot de schoorsteenhoogte is dus gekoppeld aan het weertype C. Neemt men als toelaatbare grens $1,0 \text{ mg/m}^3$, dan betekent het aanvaarden van een schoorsteenhoogte $\leq 160 \text{ m}$, dat men gedurende C zwavelarm zal moeten stoken. Legt men de grens bij 0,8, dan is de minimale schoorsteenhoogte waarbij men van het gebruik van zwavelarme olie kan afzien, 180 tot 190 m.

Het voorkomen van de weertypen volgens de klassifikatie van Pasquill

Een beoordeling van de economische konsekventies van het bovenstaande overzicht is slechts mogelijk op grond van een inzicht in het voorkomen van de diverse typen in Amsterdam.

Het is niet mogelijk een dergelijk inzicht te verkrijgen als vrucht van een exact statistisch onderzoek. Zo is een precieze evaluering van de intensiteit van de straling niet wel mogelijk. Men dient zich hierbij te behelpen met gegevens omtrent de bedekking van de hemel door wolken waarbij men niet over indicaties met betrekking tot de dikte en de dichtheid van de desbetreffende wolken beschikt. Gegevens van Amsterdam ontbreken bovendien geheel.

Ten einde toch een globaal inzicht te verkrijgen in de frekwentie waarmee de weertypen A-F voorkomen zijn de uurlijkse waarnemingen van Schiphol van de jaren 1949 t.e.m. 1960 statistisch bewerkt. Daarbij zijn uitsluitend de maanden december-januari-februari (winter) en juni-juli-augustus (zomer) in beschouwing genomen. Aangenomen werd, dat het procentuele voorkomen van de typen door toevoeging van lente en herfst geen noemenswaardige wijziging zou ondergaan. Het type A is daarbij bovendien uitsluitend voor de zomermaanden aangehouden. De waarnemingen werden gesplitst in dag- en nachtwaarnemingen waarbij in de winter de dag loopt van 8 tot en met 16 uur gmt, in de zomer van 5 tot en met 19 uur gmt (resp. 9-17 en 6-20 MET).

Nachtwaarnemingen met een windsnelheid beneden 2 m/sec werden geklassificeerd als E, resp. F in overeenstemming met die waarbij de windsnelheid tussen 2 en 3 m/sec ligt.

Met betrekking tot de bedekkingsgraad werd onderscheiden tussen $N \geq 4/8$ en $N < 4/8$. Gezien de onzekerheid in verband met het niet bekend zijn van de dikte van de bewolking leek een verdere onderverdeling niet zinvol.

Ten slotte werd het volgende schema gebruikt:

windsnelheid m/sec	winter				zomer			
	dag		nacht		dag		nacht	
N →	<4/8	≥4/8	<4/8	≥4/8	<4/8	≥4/8	<4/8	≥4/8
0-3 kts [≠]	B	B	F	E	A	A-B	F	E
4-6	B	C	F	E	B	C	F	E
7-10	C	C	E	D	B	C	E	D
11	D	D	D	D	C	D	D	D

≠ kts = knopen. 1 knoop $\approx \frac{1}{2}$ m/sec.

De bewerking gaf als resultaat het onderstaande procentuele voorkomen van de diverse typen:

A	B	C	D	E	F
2	7	19	49	15	8 %

Onafhankelijk van de schoorsteenhoogte (althans binnen redelijke grenzen) zal men dus in ieder geval in ca. 9 % van de uren dat men op volle capaciteit werkt zwavelarme olie moeten gebruiken (A+B).

In 72 % van deze gevallen kan men zonder bezwaar zwavelrijke olie stoken (D+E+F).

Het hangt dus geheel van de 19 % gevallen met type C af of men zijn keuze wil laten vallen op een schoorsteenhoogte van ca. 150 m waarbij men in totaal in 28 % der gevallen zwavelarme olie moet stoken (A+B+C), dan wel op een schoorsteenhoogte van iets minder dan 200 m, waarbij het aantal gevallen waarin zwavelarm moet worden gestookt tot 9 % (A+B) blijft beperkt. Van belang kan hierbij nog zijn hoe de percentages over winter en zomer zijn verdeeld. De onderstaande tabel geeft hiervan nog eens een overzicht.

	A	B	C	D	E	F
winter	0	5	12	62	15	6 %
zomer	4	10	25	37	14	10 %

Meteorologisch is het zomerseizoen met zijn geringere atmosferische stabiliteit dus het ongunstigste. Dit moet, gezien de verdeling van de energie-afname over het jaar, wellicht als een voordeel worden beschouwd.

Nabeschouwing

Het zal uit het voorgaande reeds duidelijk zijn geworden, dat aan de opgegeven kwantitatieve resultaten geen absolute geldigheid mag worden toegekend.

De indeling, die Pasquill gaf in de 6 diffusietypen A-F, is gebaseerd op waarnemingen in het Verenigd Koninkrijk. Enerzijds kan de invloed van de stad Amsterdam leiden tot een sterkere turbulentie voor een aantal typen, anderzijds zal het vele water de mate van turbulentie wellicht reduceren. Welk effect het sterkste is valt moeilijk vast te stellen.

Ook het trekken van conclusies uit de gegevens van Schiphol is zowel geografisch als meteorologisch een hachelijke zaak. Het zal daarom goed zijn in ieder geval een zekere veiligheidsmarge aan te leggen.

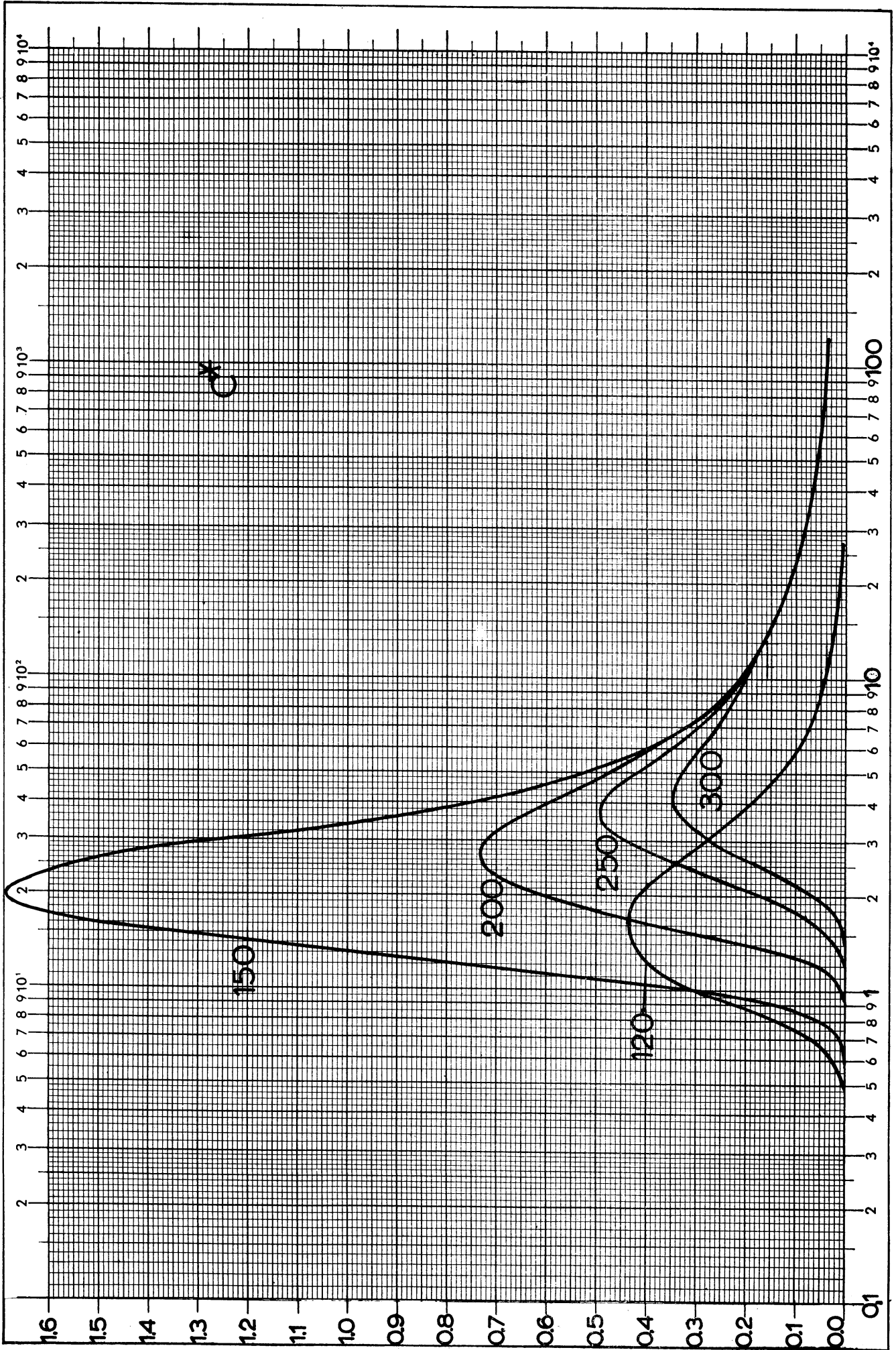
Ten slotte is het interessant een vergelijking te treffen tussen de berekende grondmaxima volgens de meest simpele formule van Sutton ($C_{\max} = \frac{2Q}{\pi e U h^2}$) en de hier gevonden waarden voor het geval van de oude schoorstenen. Daarbij zijn de volgende waarden voor de windsnelheid aangehouden: A en F 2 m/sec; B en E 3 m/sec en C en D 5 m/sec.

	Sutton	Pasquill	P/S
A	1,77	1,25	0,70
B	1,19	0,55	0,46
C	0,71	0,44	0,62
D	0,71	0,31	0,44
E	1,19	0,26	0,22
F	1,77	0,17	0,10

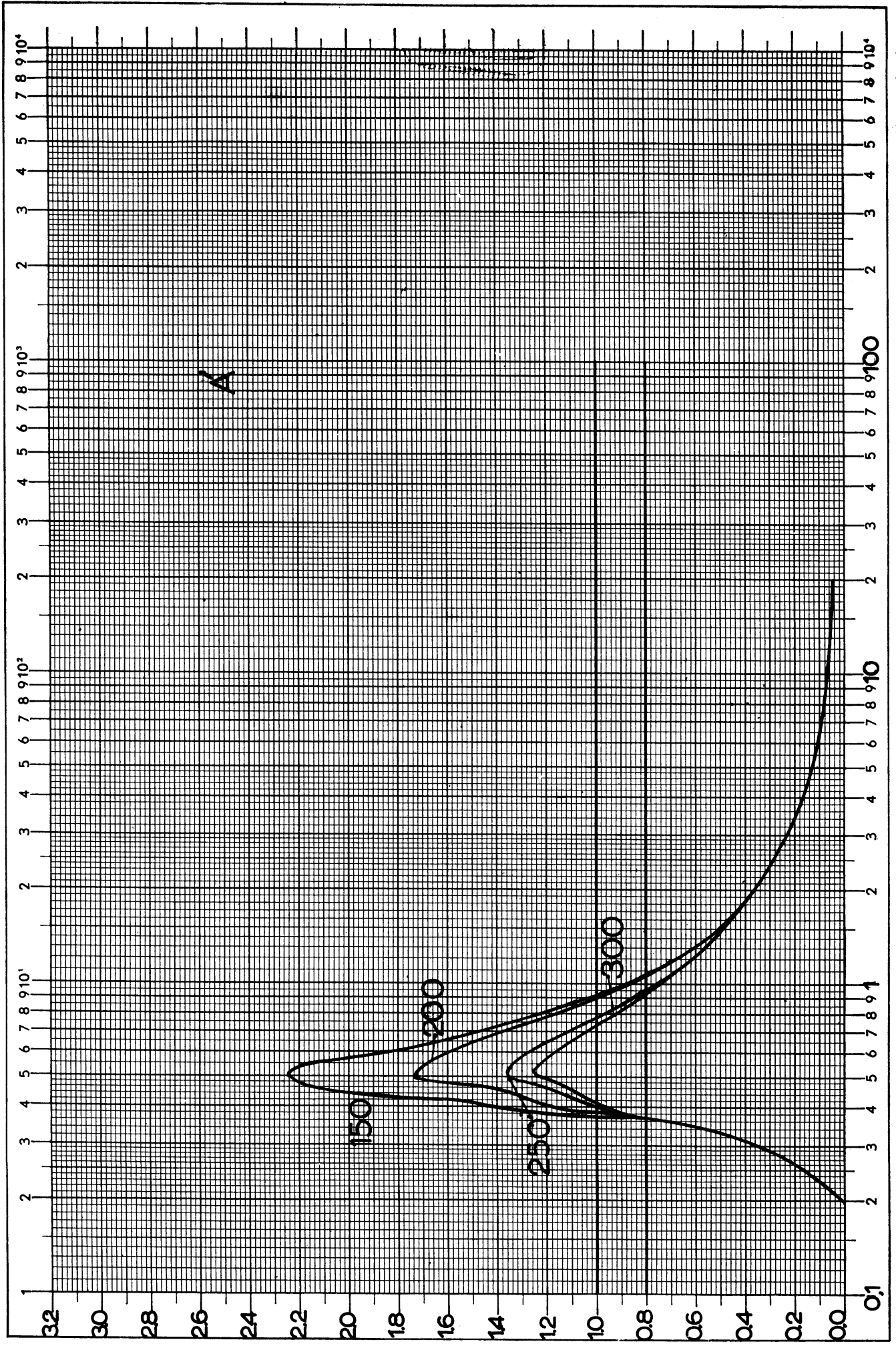
De getallen P/S zouden kunnen worden geïnterpreteerd als de factor C_z/C_y , die in de volledige relatie van Sutton voor C_{\max} voorkomt.

Duidelijk is in ieder geval, dat Pasquill lagere concentraties geeft dan Sutton. Hoewel zulks niet duidelijk blijkt is dit vermoedelijk een gevolg van het gebruik van een meer realistische monstertijd, die impliciet bij beide methoden een rol speelt.

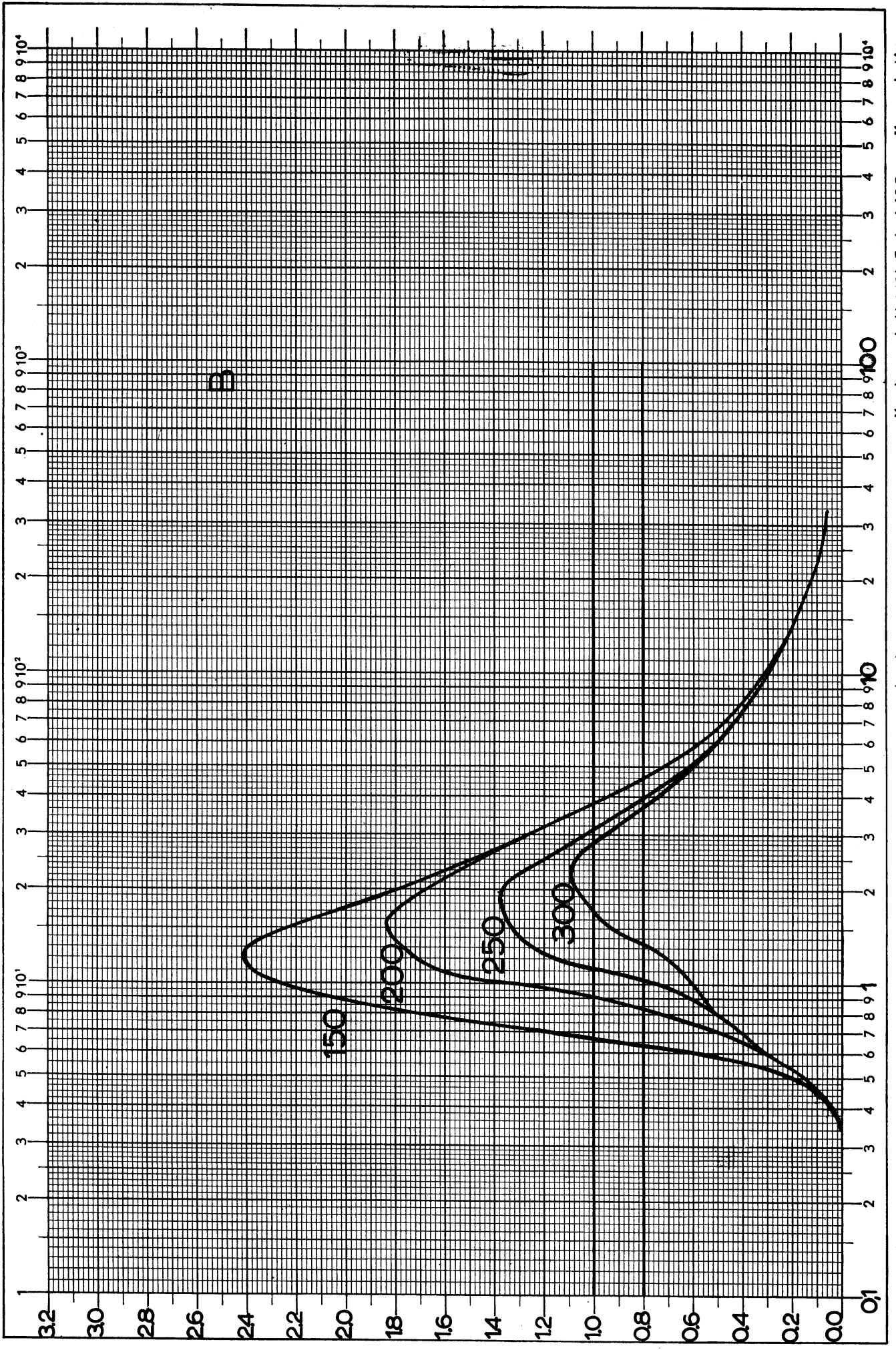
De Bilt, juli 1963.



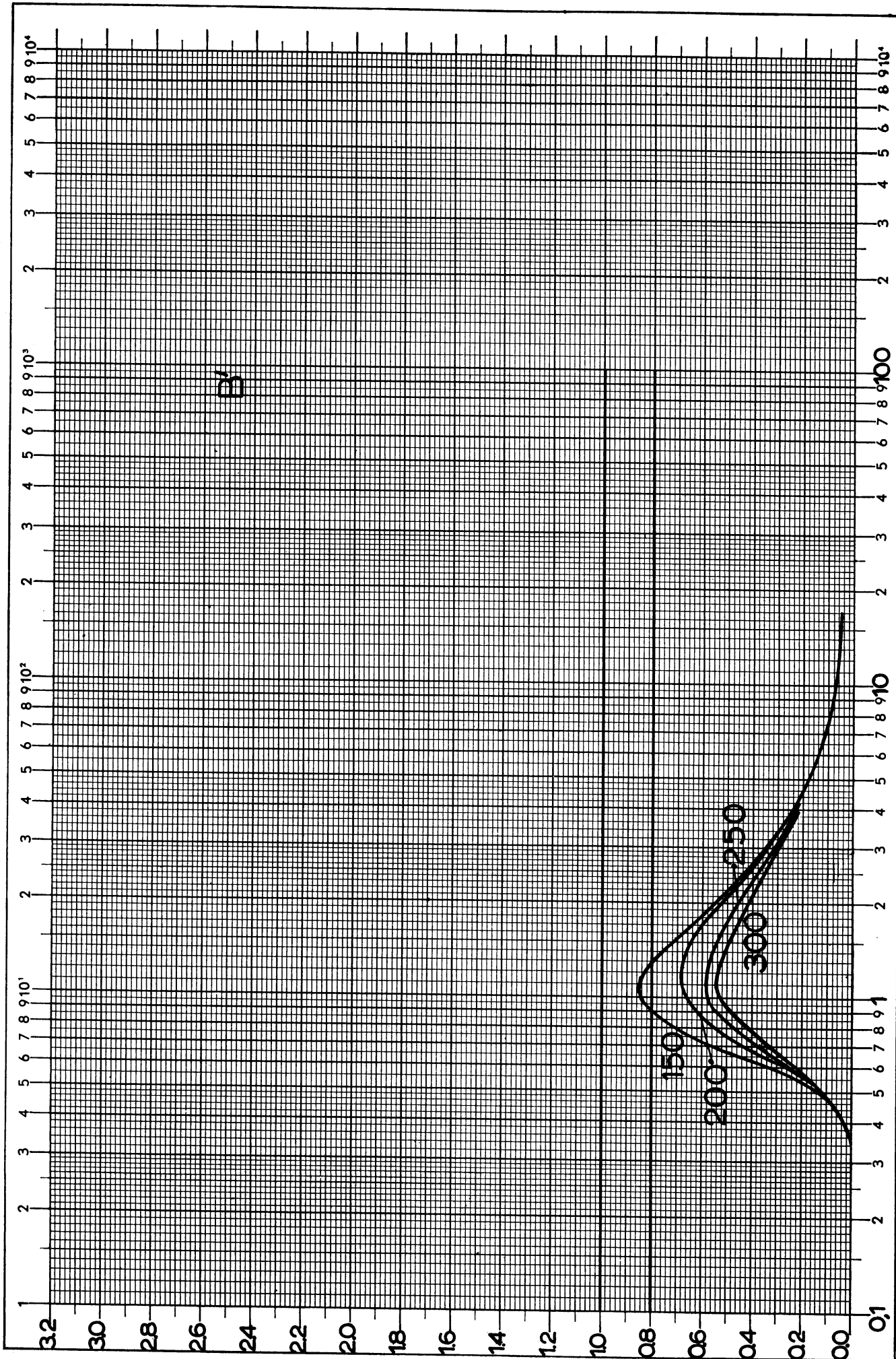
X-as log. verdeeld 1:10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



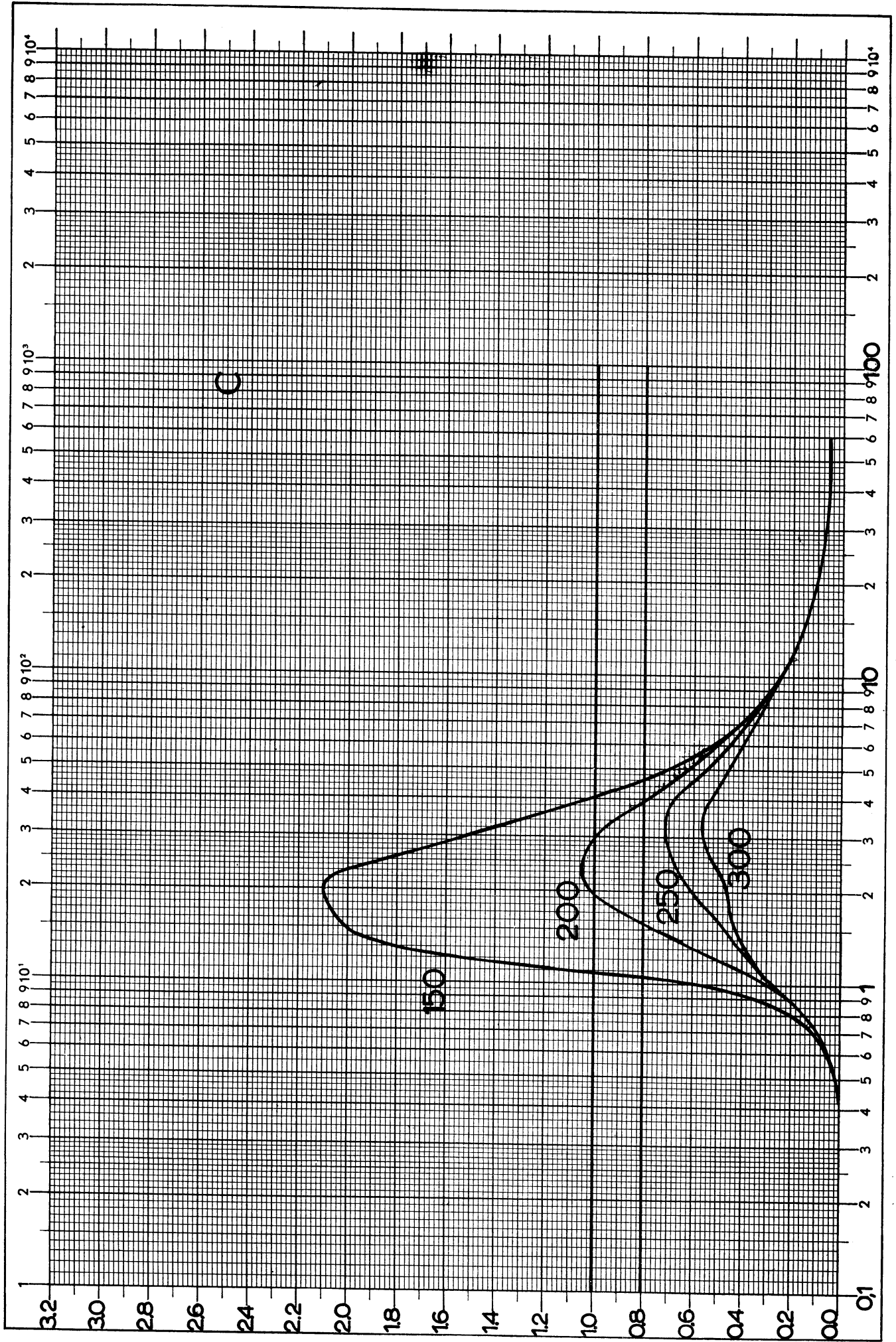
X-as log. verdeeld 1-10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



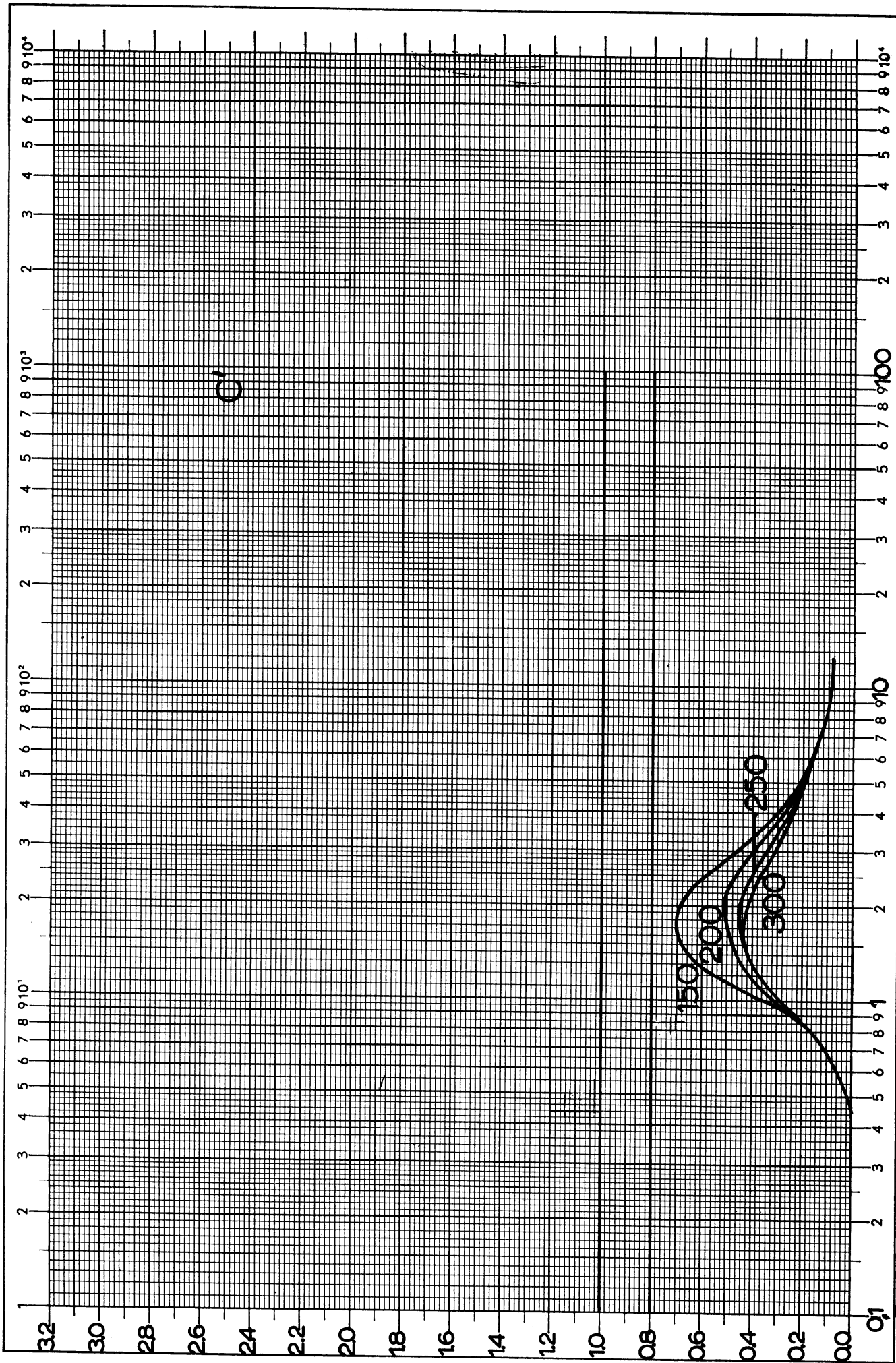
X-as log. verdeeld 1:10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



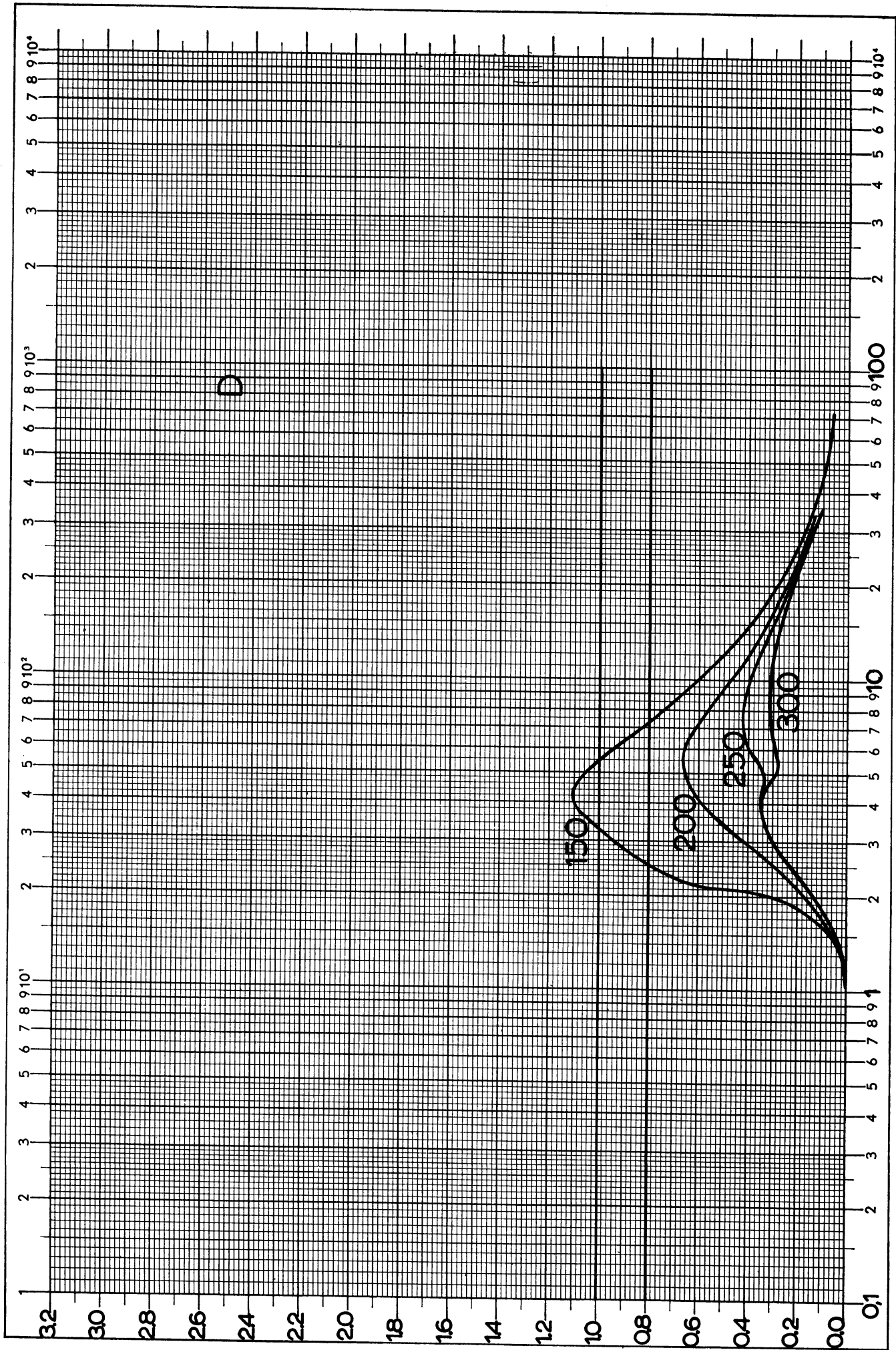
X-as log. verdeeld 1·10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



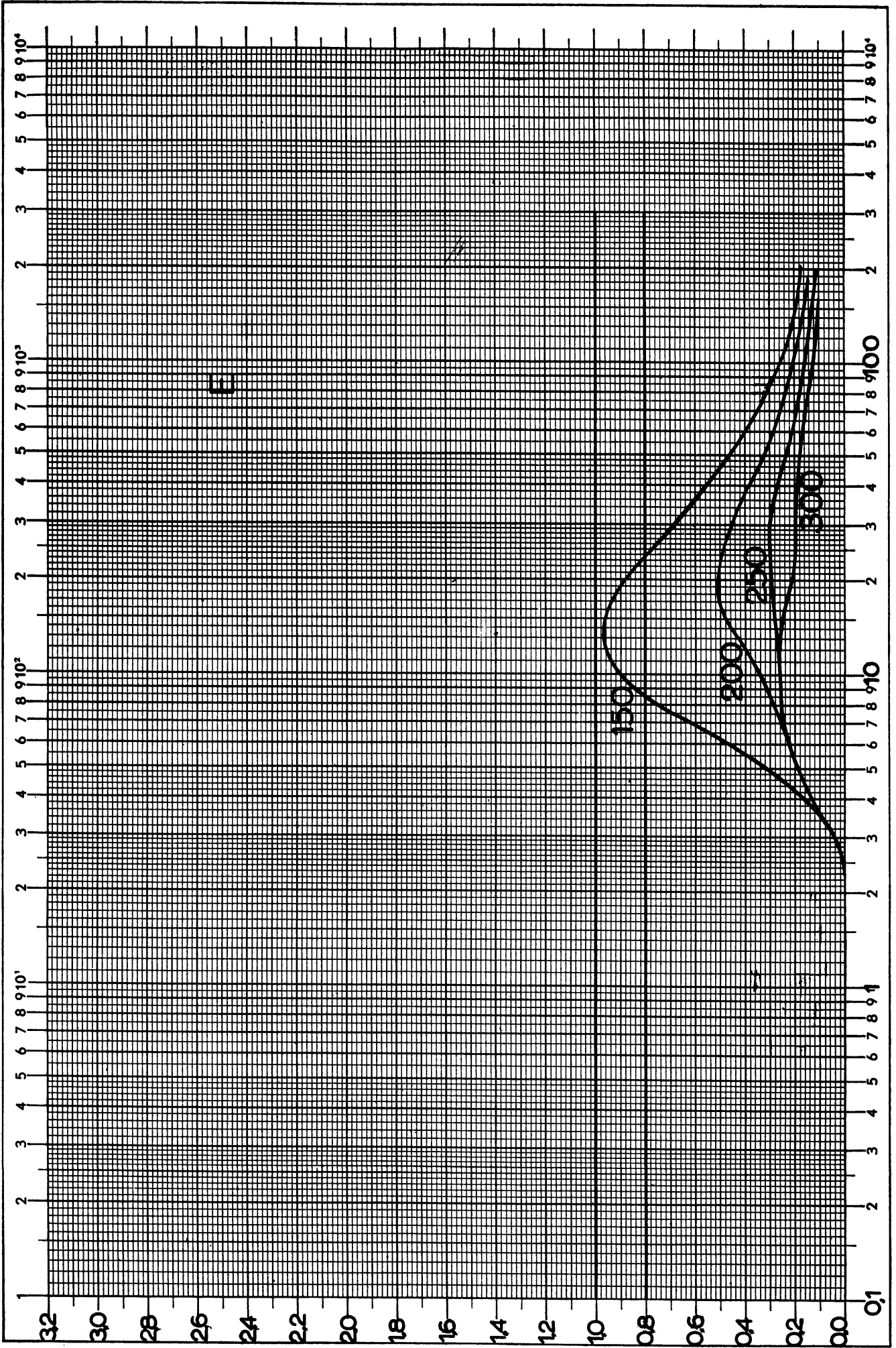
X-as log. verdeeld 1-10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



X-as log. verdeeld 1-10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



X-as log. verdeeld 1-10⁴ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.



X-as log. verdeeld 1·10¹ Eenheid 62.5 mm. Y-as verdeeld in mm.