

De samenhang tussen korrelgrootte, poriëngrootte  
en doorlatendheid van zandfracties

ir. W. P. Stakman

InleidingBIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUWBIBLIOTHEEK  
De ...  
6700 AB Wageningen

De doorlatendheid van een grond zal mede worden bepaald door de maximale diameter van de poriën.

De kennis van de grootste poriëndiameter is tevens van belang voor de bepaling van de structuur van een grond (7, 8) en zal kunnen bijdragen tot de verklaring van het begrip 'vol-capillaire zone', die de met water verzadigde laag boven het freatisch oppervlak omvat.

In zandgrond zal de binding van het water overwegend capillair zijn en samenhangen met de poriëngrootte. De relatie tussen beide grootheden kan worden uitgedrukt als:

$$h = \frac{2H \cos \alpha}{g r d}$$

waarin: h = vochtpotentialaal of zuigspanning

H = oppervlaktetension van het water

g = versnelling van de zwaartekracht

r = straal van de cilindrisch gedachte capillair

$\alpha$  = contacthoek tussen water en wand van het capillair

d = dichtheid van water

De contacthoek  $\alpha$  zal weinig van  $0^\circ$  afwijken, zodat  $\cos \alpha = 1$ . De dichtheid van water kan ook worden aangenomen als 1.

Wordt nu H uitgedrukt in dynes per cm en g in dynes per  $\text{cm}^2$ , dan geldt bij  $20^\circ \text{C}$ :

$$h = \frac{2 \times 72,75}{981 \times r}$$

waarin h is uitgedrukt in cm water en r in cm. Hieruit volgt dat:

$$h = \frac{0,2960}{d}$$

waarin d = equivalent poriëndiameter in cm.

Uit figuur 1, waarin de zuigspanning  $h$  en de overeenkomstige  $pF$ -waarde ( $\log h$ ) zijn uitgezet tegen de equivalent poriëndiameter (micron) kan worden afgeleid welke poriën bij een bepaald aangelegde zuigspanning nog juist water kunnen vasthouden.

Wordt deze zuigspanning overschreden dan treedt lucht in de plaats van water.

Voor zeer kleine waarden van  $h$  zouden irreëel grote diameters worden berekend.

Om nu de diameter van de grootste porie te kunnen bepalen is gebruik gemaakt van de bepaling van de 'luchtuitredewaarde', dit is de zuigspanning waarbij een met water verzadigd monster van geringe dikte (circa 0,5 tot 1,5 mm, afhankelijk van de korrelgrootte) lucht begint door te laten. Dit zal het eerst geschieden door de grootste porie, waarvan de diameter volgens bovengenoemde formule kan worden berekend.

De luchtuitredewaarde is vooralsnog bepaald aan uitgezeefde zandfracties, aangezien de poriën hiervan het meest uniform zijn en in een dun monster continu met dezelfde doorsnede doorlopen.

Als karakterisering van de poriëngrootte van fijnporig keramisch materiaal wordt zowel het begrip luchtuitredewaarde (air-bubbling pressure) als luchtintredewaarde (air-entry pressure) gebruikt voor respectievelijk die over- of onderdruk waarbij een continue stroom luchtbellen door het poreuze medium heen ontstaat en voor de maximale over- of onderdruk, waarbij het poreuze medium nog totaal verzadigd met water blijft (5).

De luchtuitredewaarde zal in het geval van een monster van minimale dikte gelijk zijn aan de luchtintredewaarde, aangezien de grootste porie hier ononderbroken met dezelfde diameter doorloopt.

Naast de luchtuitredewaarden zijn van zandfracties de doorlatendheid en de  $pF$ -curve bepaald. Bij deze laatste bepaling werd met zeer kleine zuigspanningsintervallen gewerkt, teneinde die zuigspanning, waarbij een groot aantal poriën van gelijke doorsnede wordt gedraineerd en wat zich in de curve uit als een min of meer scherpe overgang van het verticale 'verzadigde' traject in een nagenoeg horizontaal traject, nauwkeurig te bepalen,

### Onderzocht materiaal

Door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen konden de volgende zandfracties beschikbaar worden gesteld: 50-75, 75-105, 105-150, 150-210, 210-300 en 300-420 micron, terwijl van het Bodemkundig Laboratorium te Kampen de fracties 16-50, 50-75, 75-105, 105-150, 150-210 en 420-600 micron werden verkregen.

De fracties 420-500, 500-1000 en 1000-2000 micron werden met de hand gezeefd uit de grofzandige C-laag van het Sinderhoeveprofiel, terwijl een monster Blokzijlzand, waarin de granulaire fractie van 37-75 micron ongeveer 80% van het totaal uitmaakt, mede werd onderzocht.

Het M(mediaan)-cijfer van Blokzijlzand bedraagt 45 (micron).

### Bepaling van de luchttredewaarde

Een cylinder van 2,5 cm hoogte en 5 cm doorsnede, aan één zijde voorzien van een geperforeerde koperen plaat en bij het onderzoek van de fijnere fracties tevens van een poreus nylondoekje, wordt door middel van O-ringen geklemd op een afzuigvat, dat in verbinding staat met een waterstraalpomp.

De cylinder wordt onder vibratie gevuld met nat zand, totdat één aaneengesloten dunne laag de koperen plaat bedekt. Een kleine onderdruk wordt nu in het vat bewerkstelligd, waarna vat en monster op de kop worden gezet. Door het langzaam inschuiven van een buis in een met water gevulde regulatiecylinder, die tussen waterstraalpomp en afzuigvat is gekoppeld wordt de onderdruk zolang opgevoerd totdat er in het dunne waterlaagje dat zich aan de afzuigzijde op het monster bevindt, luchtbellen verschijnen. De corresponderende zuigspanning kan door meting van de lengte van het onderwatergedeelte van de ingeschoven buis of door aflezing op een manometer worden bepaald (6). De bepaling dient enige malen te worden herhaald om een betrouwbaar gemiddelde te verkrijgen.

De luchttredewaarde is identiek met de minimum negatieve capillariteitsdruk, zoals deze door ENGELHARDT (1) is bepaald aan uiterst dunne zandgrondlaagjes. Bij toenemende dikte van het monster nam de capillariteitsdruk toe (de kans op een vernauwing in een door het monster heen lopende porie wordt steeds groter), totdat bij een bepaalde dikte, die tussen 10 en 20 mm lag, een maximale waarde werd bereikt (maximum negatieve capillariteitsdruk).

Bij drie op het I. C. W. -laboratorium onderzochte fracties 75-105, 210-300 en 500-1000 micron werd een maximale luchtuitredewaarde bereikt bij een monsterdikte van 8 tot 14 mm (fig. 2).

Om een betere vergelijking met de resultaten van het pF- en doorlatendheidsonderzoek, dat is verricht met monsterhoogten van respectievelijk 51 en hoogten variërend van 51 tot 300 mm, mogelijk te maken is naast de luchtuitredewaarde van monsters van circa 1 mm dikte ook die van monsters van 25 mm dikte bepaald. In het laatste geval neemt de luchtuitredewaarde bij dikker worden van het monster dus niet verder toe.

De zuigspanning bij beide luchtuitredewaarden kan met de relatie  $h = \frac{0,296}{d}$  in een equivalent poriëndiameter worden omgerekend, waarbij in het geval van 1 mm dikke monsters de diameter van de grootste porie wordt berekend, doch bij de 25 mm monsters de diameter van de smalste vernauwing van de door het gehele monster heen lopende grootste porie wordt gevonden.

### Resultaten

De uitkomsten van de luchtuitreddebepalingen staan vermeld in tabel 1. Worden nu de luchtuitredewaarden voor 1 mm dikke monsters ( $h_1$  in cm water) en voor 25 mm dikke monsters ( $h_{25}$  in cm water) op dubbel-logaritmisch papier uitgezet tegen de gemiddelde diameter van de korreelfractie ( $\bar{d}_k$  in micron) dan wordt een rechtlijnig verband gevonden volgens:

$$h_1 = \frac{4800}{\bar{d}_k} \quad \text{en} \quad h_{25} = \frac{5551}{\bar{d}_k^{0,92}} \quad (\text{fig. 3})$$

Het dubbel-logaritmisch uitzetten van de poriëndiameter ( $d_p$  in micron, berekend uit  $h = \frac{2960}{d_p}$ ) tegen de gemiddelde korreldiameter ( $\bar{d}_k$  in micron) leidt tot het rechtlijnig verband, zoals dit in figuur 4 is aangegeven en waarvoor ten aanzien van de poriediameter van 1 mm dikke monsters respectievelijk van 25 mm dikke monsters geldt dat:

$$d_p^1 = 0,62 \bar{d}_k \quad \text{en} \quad d_p^{25} = 0,53 \bar{d}_k^{0,92} \quad (\text{fig. 4})$$

Bij eenzelfde gemiddelde korreldiameter wordt dus bij een monster van 1 mm dikte een kleinere luchtuitredewaarde en een grotere porie-'doorgang' gevonden dan bij een 25 mm dik monster, waarop eerder reeds werd gewezen.

Tabel 1.

Zandfractie μ	Luchtuitredewaarde (cm water)		k-factor gemeten m/dag <sup>1)</sup> *)	k-factor gemeten m/dag <sup>2)</sup>	k-factor gemiddeld m/dag	k-factor berekend m/dag <sup>3)</sup>
	bij mon- sterdikte 25 mm	bij mon- sterdikte 1 mm				
16- 50	190	150	0,16		0,16	
Blokzand	148	115	0,45		0,45	
50- 75	115 135	73	1,6 1,3		1,45	1,0
75- 105	85 90	60	2,8 2,1		2,45	2,1
105- 150	60 70	39	3,0 4,6		3,80	4,1
150- 210	50 58	27	4,5 5,9	6,2 *) 6,2	5,70	8,4
210- 300	38 40	16	11,8	19,5	15,65	16,8
300- 420	23	13		40,5 34,4	37,45	34,0
420- 500	18	9		25,0	25,00	56,8
420- 600	15 17	7	32,5	47,3 71,9	50,60	68,2
500-1000	13	6		95,0 79,0 141,0	105,00	
1000-2000	6	4		317,0 284,0 319,0	307,00	

1) In stalen cylinders (diameter 5,0 cm, lengte 5,1 cm)

2) In p. v. c. -buis (diameter 8 cm, lengte 15 cm) of in zinken bussen (diameter 6,2 cm, lengte 30 cm)

3) Berekend uit  $K = \frac{27,000}{U^2}$

\*) Indien twee cijfers staan vermeld, heeft het bovenste getal betrekking op het monster uit Kampen en het onderste getal op het monster uit Groningen

### pF-curven

Van de zandfracties werden pF-curven bepaald aan monsters van 100 cm<sup>3</sup> inhoud (diameter 50 mm, hoogte 51 mm) met gebruik van de zandbakapparaatuur.

Bij de nadering van het eerste knikpunt in de pF-curve, zoals dit kon worden verwacht uit de gemeten luchttredewaarden bij 25 mm dikke monsters, werden de zuigspanningsintervallen zeer klein gehouden (2, 5, 5 of 10 cm waterkolom).

Aangezien de curven voor eenzelfde fractie afkomstig uit Kampen en uit Groningen zeer weinig van elkaar afwaken, zijn in figuur 5 alleen de monsters uit Kampen weergegeven (fracties tussen 50 en 210 micron). De fractie 210-300 micron is een Gronings monster, terwijl de grovere fracties bestaan uit met de hand gezeefd materiaal van de Sinderhoeve ondergrond.

De Kampen-Groningen groep had volumegewichten variërend van 1,45 tot 1,57, terwijl de 'Sinderhoeve' groep onder vacuum nat in de ringen werd gebracht, hetgeen resulteerde in volumegewichten van 1,70 tot 1,75. Dit verklaart de lagere poriënvolumina van de laatste groep ten opzichte van de eerste.

Totaal gezien lopen de poriënvolumina uiteen van 36 tot 45%. Ook bij het nat invullen van de 2,5 cm hoge ringen werden poriënvolumina van dezelfde orde-grootte gevonden en werd het theoretisch minimum van 26%, dat mogelijk is bij kogelvormige deeltjes van dezelfde grootte, waarbij elk deeltje grenst aan 12 andere deeltjes, lang niet bereikt (2, 3).

De poriënvolumina van 36 tot 45% komen overeen met de door VON ENGELHARDT (2) genoemde waarden van 40 tot 45% voor natuurlijke niet samengedrukte zanden en van 35 tot 45% voor 'ingeschudde' homodisperse zanden. Dat de dichtste pakking niet wordt bereikt zou zijn te verklaren uit het feit, dat de wrijvingsweerstand tussen de deeltjes zo groot worden dat verdere verschuivingen benodigd voor het innemen van een dichtere pakking, niet meer plaatsvinden. Daarbij komt dat alle niet-kogelvormige deeltjes een groter poriënvolumen vormen dan kogelvormige deeltjes van identieke afmetingen (2).

Met uitzondering van de curve voor 1000-2000 micron, waarvan de fractiegrenzen ver uiteenliggen en waarvoor zuigspanningsintervallen van 2,5 cm nog te groot bleken, lopen de pF-curven tot het eerste knikpunt vrijwel ver-

ticaal en wordt er dus bij het opvoeren van de zuigspanning niet of nauwelijks water aan het monster onttrokken.

Voor een aantal fijnere fracties wijkt het gedeelte van de curve tussen 0 en 10 cm zuigspanning enigszins af van het verticale beloop. Dit zou zijn te verklaren uit de bepaling van het vochtgehalte bij 2,5 cm zuigspanning, waarbij het vooraf vernadigde monster (hoogte 51 mm) gedurende 24 uur wordt gedraineerd. Hierbij staat het waterniveau in de zandbak gelijk met de onderkant van het monster en is de zuigspanning ten opzichte van het basisvlak door de halve ringhoogte dus 2,5 cm (pF 0.4). Er zal bij weging nog wat aanhangend water mee worden gewogen, waardoor een wat te hoog vochtgehalte kan worden gevonden.

De curven van de fracties 210-300 en 1000-2000 micron vertonen in het middengedeelte een hellende in plaats van een nagenoeg horizontaal lopende curve hetgeen wijst op een mindere homogeniteit van het materiaal.

In figuur 5 staat bovendien aangegeven waar het luchtuitredewaarde-punt bij 25 mm hoge monsters is gevonden. De discrepantie tussen dit punt en het knikpunt van de pF-curve is over het algemeen niet groot, waarbij in aanmerking moet worden genomen dat de luchtuitredewaarde een gemiddelde is van een aantal herhalingen en op een nauwkeurigheid van 1 cm, zoals dit voor de grovere fracties in feite is vereist, geen aanspraak kan maken.

### Doorlatendheid

Van alle zandfracties werd de doorlatendheid bepaald. Teneinde een goede pakking van de korrels te waarborgen en verstoringen in het monster door de waterdoorstroming te voorkomen werden de fracties > 150 micron ook, of uitsluitend, bepaald in cilindern met een grotere lengte en doorsnede dan van de gebruikelijke Kopecki-ringen en wel in p. v. c. -cilindern met een diameter van 8 cm en een lengte van 15 cm en in zinken bussen met diameter en lengte van respectievelijk 6, 2 en 30 cm.

Naast de gemeten K-waarden (meters per etmaal) zijn in tabel 1 tevens de doorlatendheden vermeld, die zijn berekend uit de betrekking:

$$K = \frac{27,000}{U^2}$$

Hierin is U het soortelijk oppervlak van de zandkorrels, dat kan worden berekend met behulp van de formule van Zunker:

$$U = \frac{4,343}{\log d_2 - \log d_1} \left( \frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right)$$

waarin  $d_1$  de diameter van de kleinste en  $d_2$  de diameter van de grootste korrels in mm voorstelt. Deze formule heeft alleen geldigheid als de grenzen der fracties niet verder uiteenlopen dan overeenkomt met een verhouding  $1 : \sqrt{2}$ . Voor de fracties 16-50, 500-1000 en 1000-2000 micron kon dus geen betrouwbaar U-cijfer worden berekend.

Voor de overige fracties blijkt een goede overeenkomst tussen de gemeten en de berekende doorlatendheid te bestaan met uitzondering van de fractie 420-500 micron, waarvan de gemeten doorlatendheid te laag lijkt in vergelijking met de gemeten en berekende doorlatendheid van de beide aangrenzende fracties 300-420 en 420-600 micron.

#### De samenhang tussen doorlatendheid en poriën- en korrelgrootte

De doorlatendheid van de zandfracties blijkt op dubbel-logaritmisch papier uitgezet rechtlijnig samen te hangen met de gemiddelde korreldiameter.

De relatie tussen beide grootheden is als volgt:

$$K = 0,00045 \bar{d}_k^{1,87}$$

waarin K is uitgedrukt in meters per etmaal en  $\bar{d}_k$  in micron. De samenhang tussen beide is weergegeven in figuur 6, waarin voor de fractie 420-500 niet de gemeten (25 m/etmaal) doch de om de eerder vermelde redenen berekende (56,8 m/etmaal) doorlatendheid in aanmerking is genomen voor het dubbel-logaritmisch rechtlijnig verband.

Uit gegevens van KLUTE en WILKINSON (4) die een vijftal zandfracties (104-125, 125-149, 149-177, 177-210 en 210-250 micron) onder andere op doorlatendheid onderzochten valt de volgende relatie af te leiden:

$$K = 0,00033 \bar{d}_k^{2,07}$$

waarin de doorlatendheid K weer is uitgedrukt in meters per etmaal en de gemiddelde korreldiameter  $\bar{d}_k$  in micron (fig. 7).

De constanten in deze formule zijn dus van dezelfde orde van grootte als die in de eerdergenoemde relatie tussen doorlatendheid en korreldiameter.



Uit de formules:

$$d_p^{25} = 0,53 \bar{d}_k^{0,92}$$

geldig voor 25 mm dikke monsters en:

$$K = 0,00045 \bar{d}_k^{1,87}$$

geldig voor monsters van 50 mm dikte of meer, kan de volgende betrekking worden afgeleid:

$$K = 0,0016 d_p^{2,02}$$

waarin K en  $d_p$  respectievelijk zijn uitgedrukt in meters per etmaal en in micron.

Figuur 8 laat het dubbel-logarithmisch uitgezette verband tussen beide grootheden zien, waarin, evenals in figuur 6, voor de fractie 420-500  $\mu$  niet de gemeten, maar de berekende doorlatendheid als bepalend voor de rechte lijn is aangenomen.

Uit

$$K = 0,0016 d_p^{2,02} \quad \text{en} \quad h = \frac{0,2960}{d_p}$$

kan de doorlatendheid in afhankelijkheid van de zuigspanning bij het luchtuit-tredepunt worden afgeleid:

$$K = 16730 h^{-2,02}$$

waarin de doorlatendheid K in meters per etmaal en de zuigspanning h bij luchtuit-tredewaarde in cm is uitgedrukt.

Er dient op te worden gewezen dat in het bovenstaande steeds sprake is geweest van de verzadigde doorlatendheid, waarbij dus alle poriën van het monster met water zijn gevuld.

Door VISSER (9) wordt de volgende samenhang tussen onverzadigde ( $K_c$ ) en verzadigde doorlatendheid ( $K_s$ ) gegeven:

$$K_c = \left(\frac{\phi_e}{\phi}\right)^n K_s$$

waarin  $\phi_e$  de vochtspanning bij luchtuit-tredewaarde en  $\phi$  de met  $K_c$  corresponderende vochtspanning is.

Aan zandfracties is experimenteel bepaald (blz. 9):

$$K_s = a (\psi_e)^{-2,02}$$

waarin  $a = 16\,730$ . Wordt deze waarde in de bovenstaande formule ingevuld dan ontstaat:

$$K_c = a \psi_e^{n-2,02} \psi^{-n}$$

De waarde van  $n$  wordt onder andere door WESSELING (10) voor klei- en leemgronden in de orde-grootte van 2 berekend, voor zandgronden, echter hoger ( $> 3$ ).

De betrouwbaarheid van de gevonden relaties bij zandfracties zal nog kunnen worden opgevoerd door een verdere onderverdeling in deze fracties te maken en zo mogelijk monsters van gelijke (dichte) pakking in het onderzoek te betrekken.

Ook de bepaling van de luchtuitredewaarde zal dienen te worden verfijnd en gestandaardiseerd, zodat met een minder aantal herhalingen van deze bepaling zal kunnen worden volstaan.

Teneinde deze bepaling behalve voor zand ook toe te kunnen passen voor ongestoorde veldmonsters van andere grondsoorten, zal een eenvoudige apparatuur voor het afsnijden van plakken van deze monsters in elke gewenste dikte door de Stichting Centrale Werkplaats worden vervaardigd.

### Samenvatting

Teneinde de diameter van de grootste porie te leren kennen werd de luchtuitredewaarde bepaald aan circa 1 mm dikke monsters van verschillende zandfracties. Dubbel-logaritmisch uitgezet bleek de relatie tussen luchtuitredewaarde (zuigspanning in cm water) en de gemiddelde korreldiameter (micron) rechtlijnig te zijn (fig. 3) en bleek de grootste equivalent poriëndiameter ( $d_p$ ) die kan worden berekend uit de luchtuitredewaarde (fig. 1) met de gemiddelde korreldiameter ( $\bar{d}_k$ ) samen te hangen volgens:

$$d_p^1 = 0,62 \bar{d}_k \quad (\text{fig. 4})$$

De luchtuitredewaarde neemt met het dikker worden van de monsters toe tot een maximale waarde (fig. 2).

Aan 25 mm dikke monsters van zandfracties werd deze waarde, waaruit de equivalent poriëndiameter ( $d_p$ ) van de kleinste vernauwing van de door het monster heen lopende grootste porie weer kan worden berekend, bepaald. De relatie tussen gemiddelde korreldiameter ( $\bar{d}_k$ ) en poriëndiameter ( $d_p$ ) was als volgt:

$$d_p^{25} = 0,53 \bar{d}_k^{0,92} \quad (\text{fig. 4})$$

De gevonden luchtuitredewaarden bij de 25 mm dikke zandmonsters kwamen over het algemeen overeen met de zuigspanning, waarbij het verticale traject van de pF-curven overging in het horizontale traject (fig. 5).

Op een enkele uitzondering na kwam de gemeten verzadigde doorlatendheid goed overeen met de uit het U-cijfer berekende waarde (tabel 1).

De relatie tussen doorlatendheid (K) en de gemiddelde korreldiameter ( $\bar{d}_k$ ) kan worden uitgedrukt als:

$$K = 0,00045 \bar{d}_k^{1,87} \quad (\text{fig. 6})$$

waarin de beide constanten van dezelfde orde van grootte zijn als de uit literatuurgegevens berekende waarden:

$$K = 0,00033 \bar{d}_k^{2,07} \quad (\text{fig. 7})$$

Tenslotte kan uit de gevonden resultaten de samenhang tussen doorlatendheid en poriëngrootte worden afgeleid (fig. 8) en ook tussen doorlatendheid en luchtuitredewaarde. De laatste relatie kan worden ingepast in een formule, die het verband tussen verzadigde en onverzadigde doorlatendheid aangeeft (blz. 9).

Literatuur

- ENGELHARDT, J. H., 1928 - Bijdrage tot de kennis van capillaire verschijnselen in verband met de heterogeniteit van de grond.
- ENGELHARDT, W. VON, 1960 - Der Porenraum der Sedimente.
- KEEN, B. A., 1931 - The physical properties of soil
- KLUTE, A. and G. E. WILKINSON, 1958 - Some tests of the similar media concept of capillary flow: I. Reduced capillary conductivity and moisture characteristic data. Proc. Soil Sci. Soc. Am. Vol. 22: 278-281.
- RICHARDS, L. A. and GEN OGATA, 1956 - Materials for retainer plates and their use for retentivity measurements. Proc. Soil Sci. Soc. Am. Vol. 20: 303-306.
- STAKMAN, W. P., 1963 - Air entry value. Supplement on: Preliminary Report of conception and methods in relation to the description of soil structure by physically significant parameters.
- VISSER, W. C., 1962 - General approach of the description of soil structure in relation to land improvement practices and research. Preliminary Report of conception and methods in relation to the description of soil structure by physically significant parameters.
- , 1963 - De beoordeling van de betekenis en waarden van methoden ter bepaling van de bodemstructuur. Nota no. 208, I. C. W.
- , 1963 - Soil moisture content and evapotranspiration. Institute for Land and Water Management Research Techn. Bull. no. 31.
- WESSELING, J., 1957 - Enige aspecten van de waterbeheersing in landbouwgronden. Versl. Landbouwk. Onderz. 63. 5.

VERBAND TUSSEN ZUIGSPANNING EN AEQUIVALENT PORIËN-DIAMETER

fig. 1

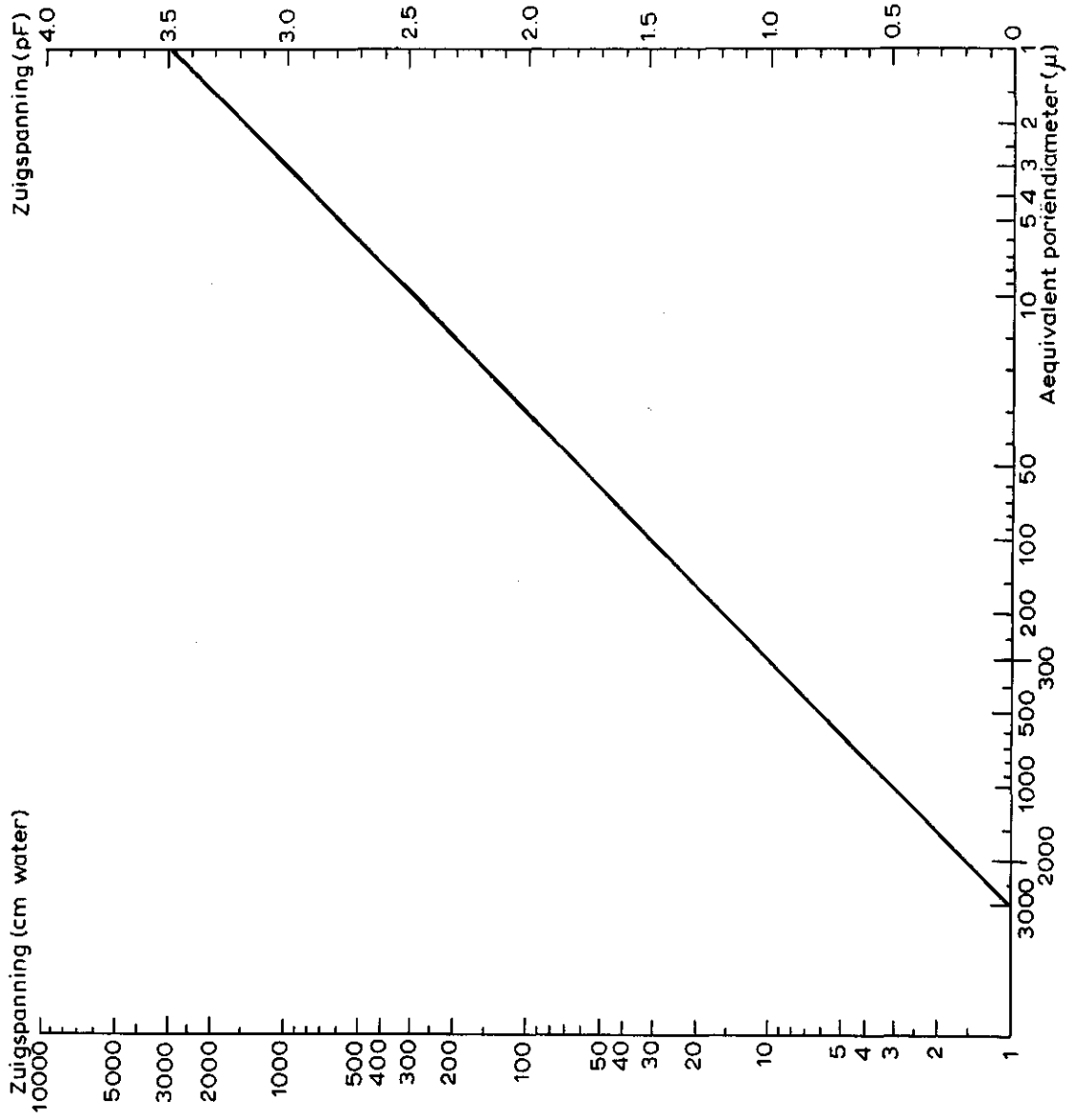
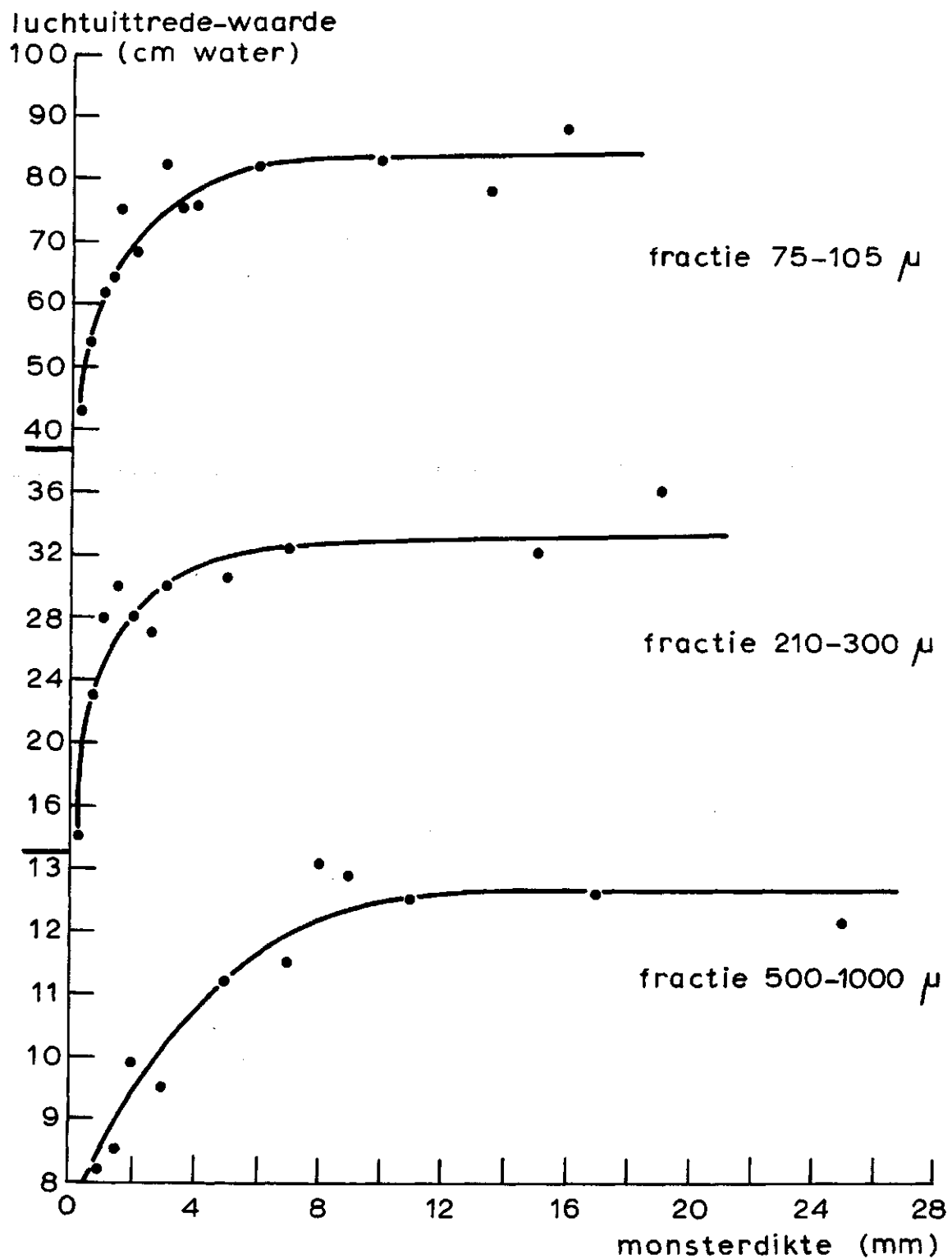
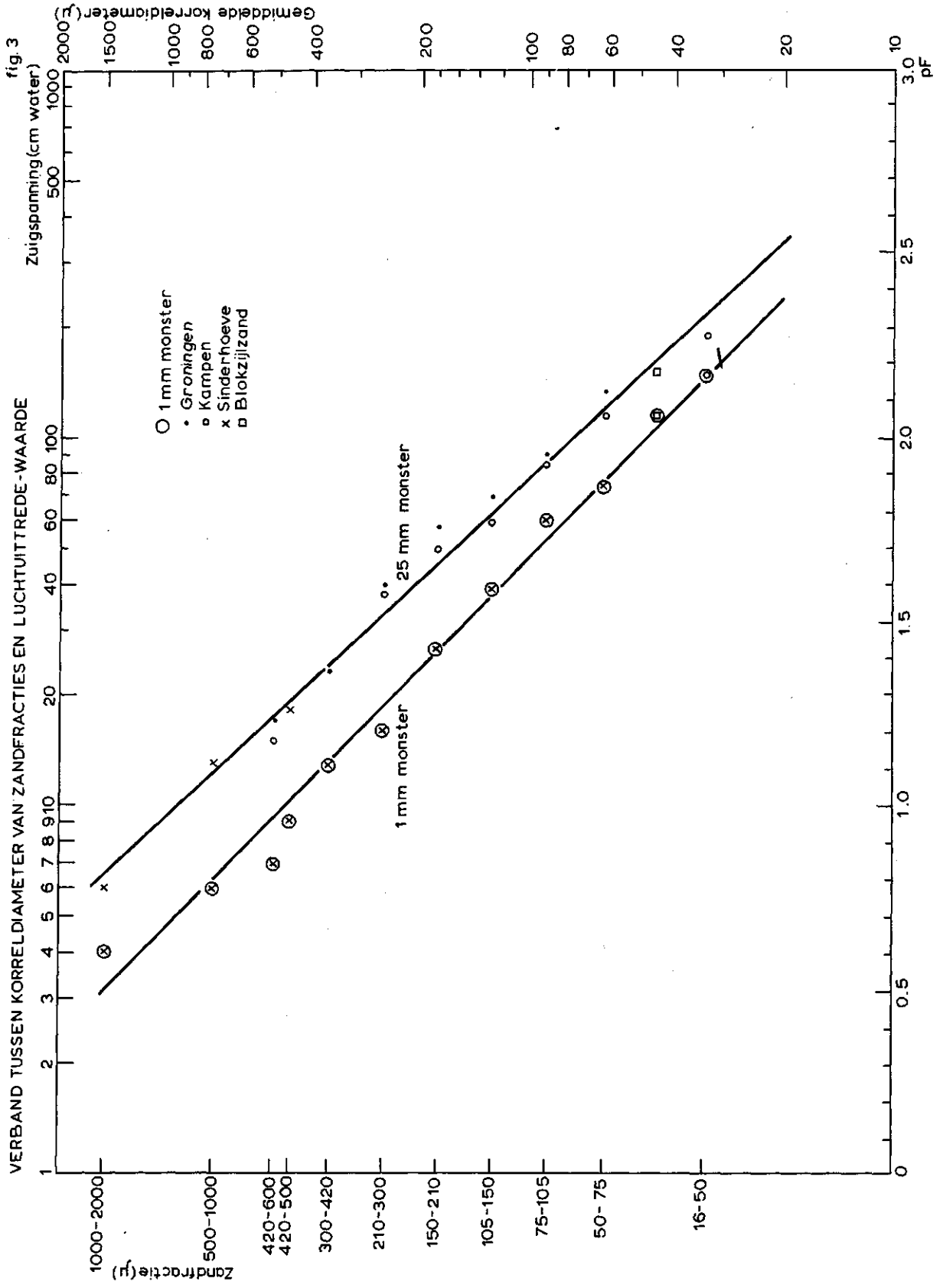


fig. 2

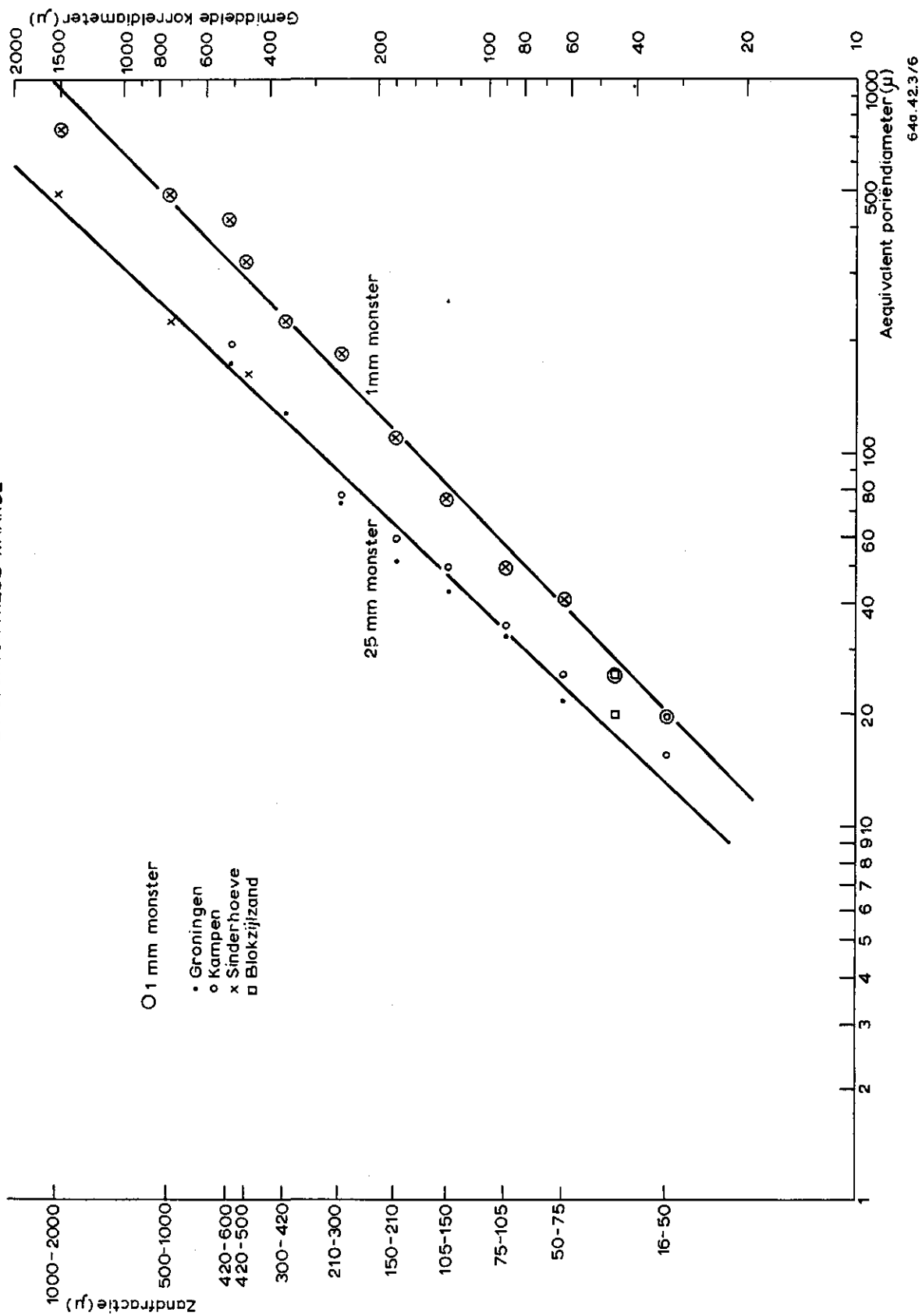
### VERBAND TUSSEN LUCHTUITTREDE-WAARDE EN MON- STERDIKTE VAN ZANDFRACTIES





VERBAND TUSSEN KORRELDIAMETER VAN ZANDFRACTIES EN AEGUIVALENT PORIËDIAMETER  
 BIJ LUCHTUITTREDE-WAARDE

fig. 4





pF - CURVEN VAN ZANDFRACTIES

fig. 5  
Zuigspanning (pF)

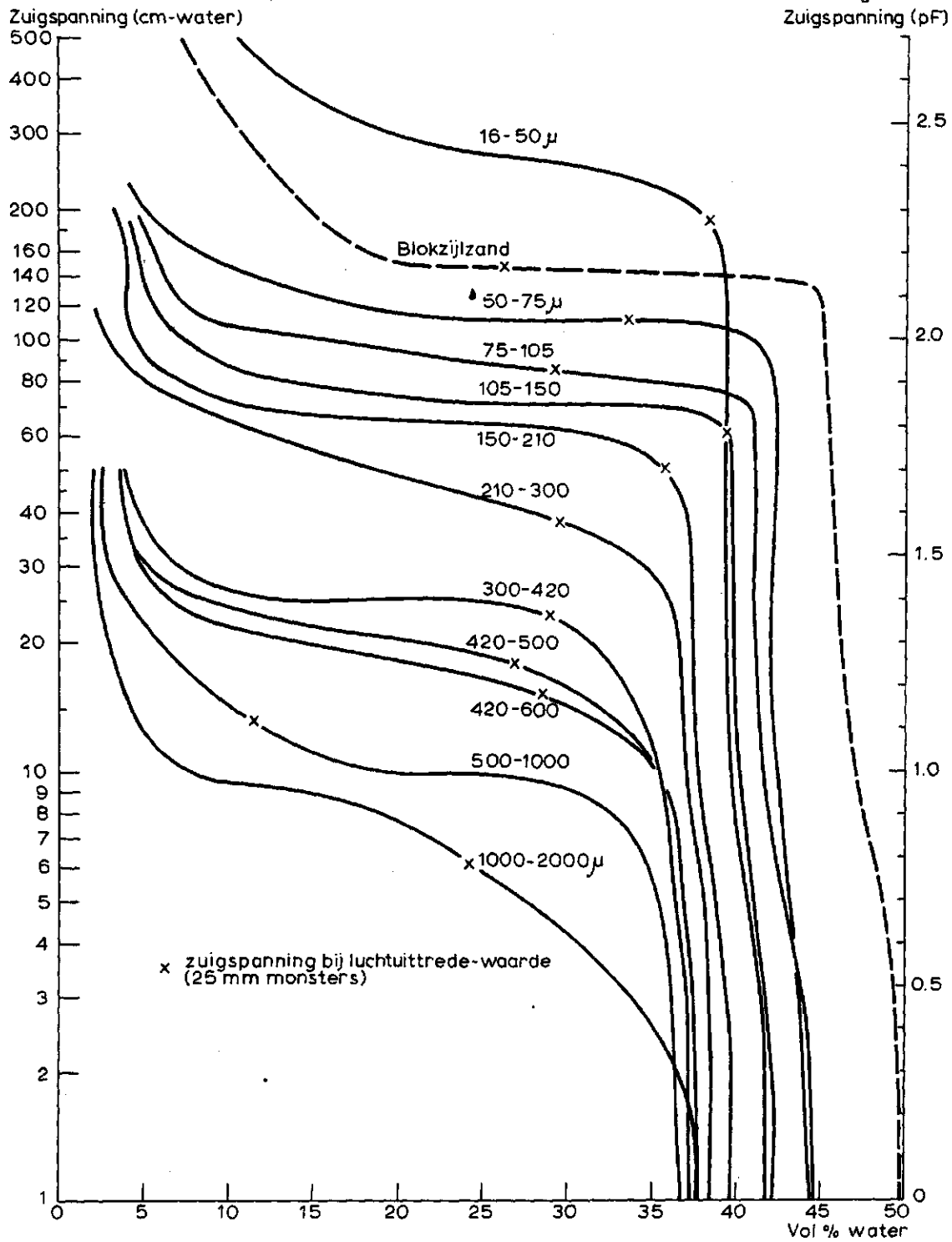
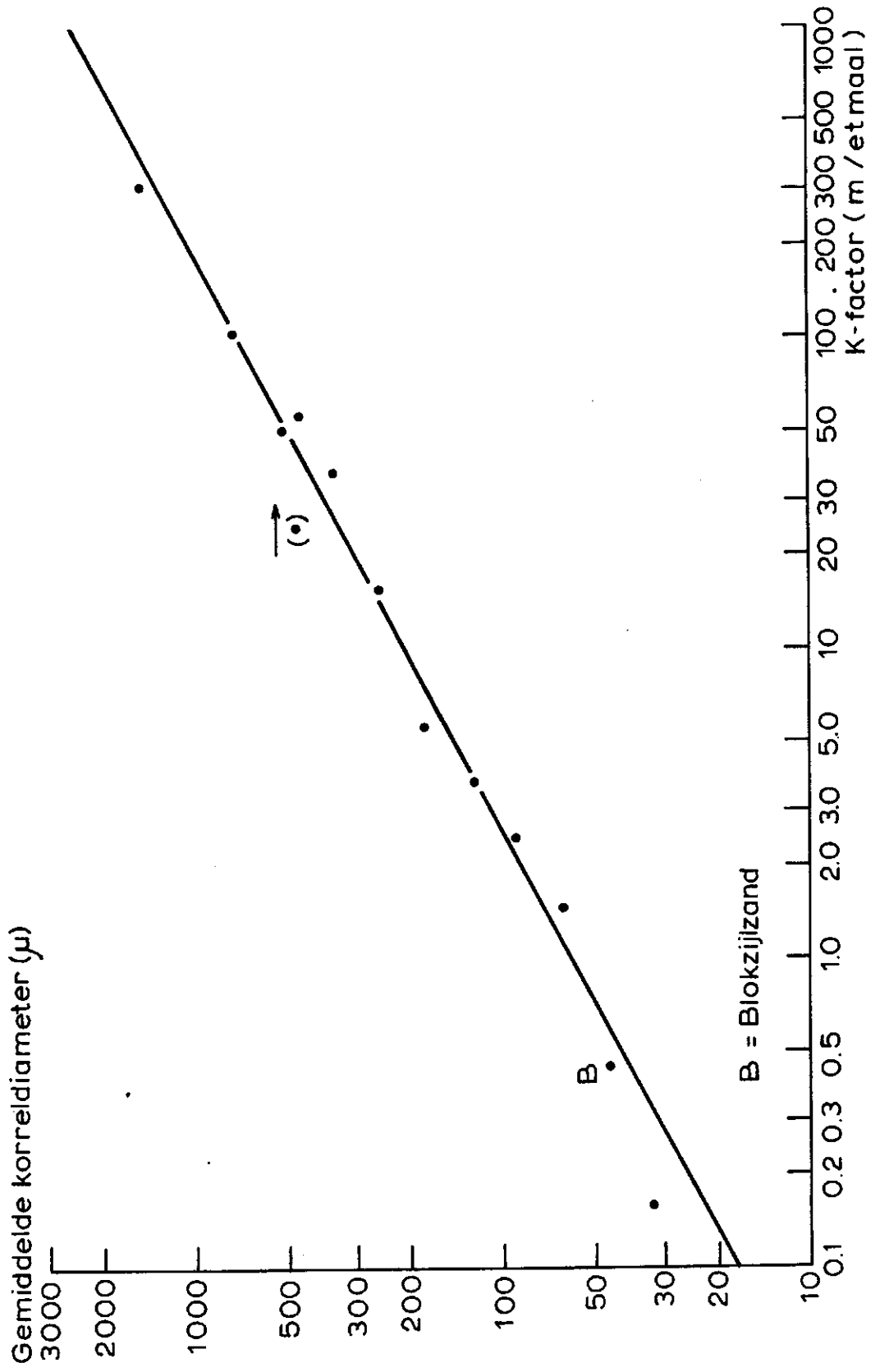
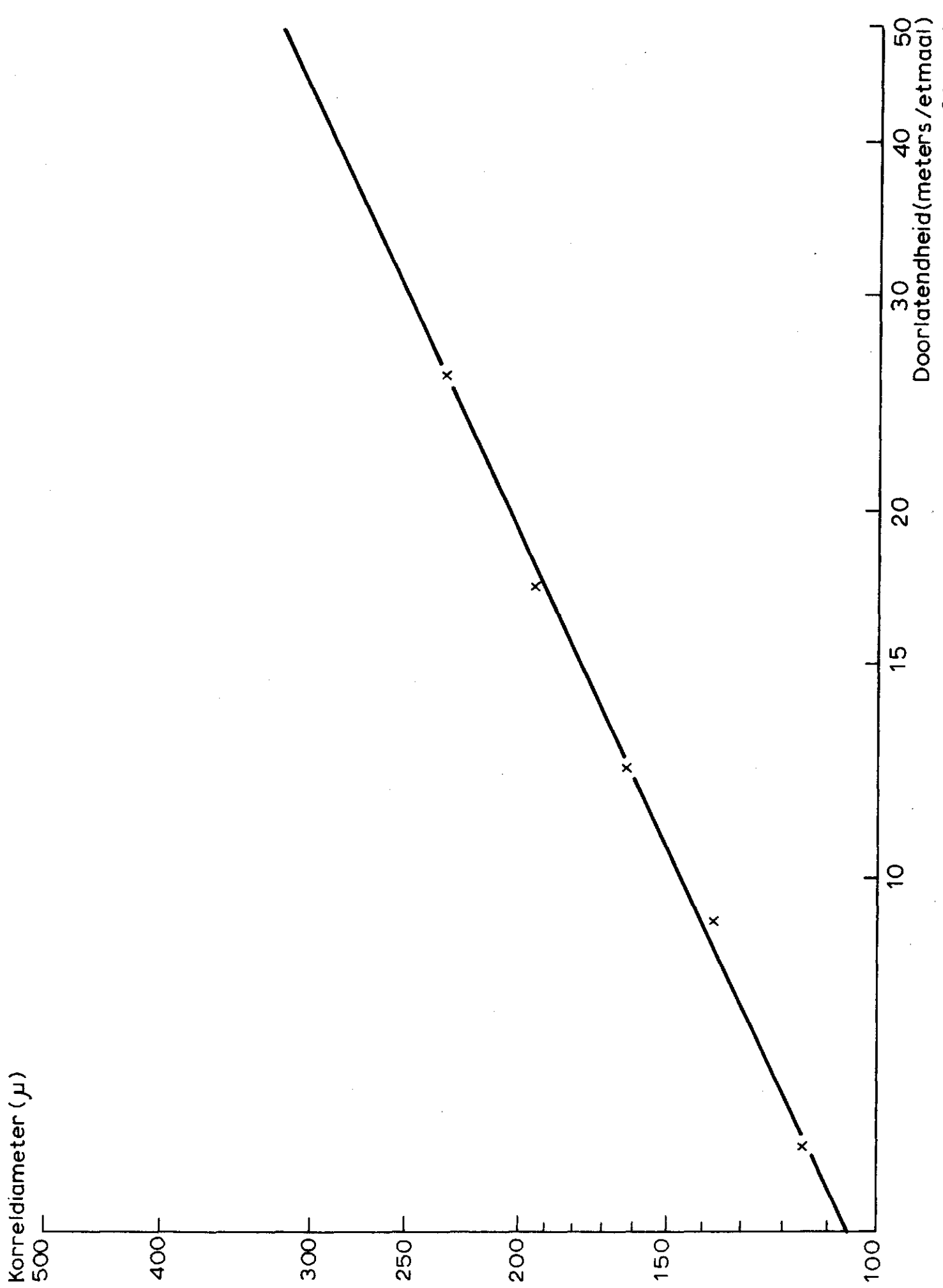


fig. 6  
 VERBAND TUSSEN KORRELDIAMETER VAN ZANDFRACTIES EN DOORLATENDHEID



VERBAND TUSSEN KORRELDIAMETER VAN ZANDFRACTIES EN DOORLATENDHEID  
(naar gegevens van Klute en Wilkinson, 1958)

fig. 7



VERBAND TUSSEN DOORLATENDHEID EN PORIËNDIAMETER VAN ZANDFRACTIES fig. 8

