

NN31545.0397

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-
delen, dus geen officiële publicaties.

NOTA 397, d. d. 7 juni 1967

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 onder-
zoek nog niet is afgesloten.

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

Het effect van de buisdiameter op de vorm van

de grondwaterstand bij drainage

Het effect van de buisdiameter op de vorm van
de grondwaterstand bij drainage

J. Wesseling

1786357

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemid-
delen, dus geen officiële publicaties.

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 onder-
zoek nog niet is afgesloten.

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



1786357

Inleiding

De keuze van de buiswijdte bij drainage geschiedt doorgaans op grond van hydraulische eigenschappen van het te gebruiken buismateriaal. Hierbij gaat men uit van een constante toestroming per lengte-eenheid van de reeks en wordt het voor de stroming benodigde drukverlies gelijk gesteld aan het hoogteverschil tussen bovenzijde en uitmonding van de reeks.

In de praktijk doen zich herhaaldelijk gevallen voor dat, zelfs bij afvoeren en oppervlakten die kleiner zijn dan uit bovenomschreven werkwijze volgen, water boven de drains staat. Doorgaans wordt dit verschijnsel toegeschreven aan een te grote intree-weerstand van buis en/of filtermateriaal. Dit is echter alleen juist, wanneer geen overdruk in de drain voorkomt. Als de drukhoogte van het water in de drain groter is dan overeenkomt met het hoogste punt van de drain, kan het verschijnsel nog worden toegeschreven aan een te grote hydraulische weerstand van de reeks. De vraag is echter of dit verschijnsel ook niet een hydrologische oorzaak kan hebben, met andere woorden of de reeks om hydrologische redenen niet een te kleine diameter heeft. Aan een dergelijke oorzaak is tot nu toe weinig aandacht besteed. Zowel HOOGHOUT (1940) als VAN DEEMTER (1950) als ERNST (1954, 1962) vermelden, dat het in de praktijk zelden voorkomt dat zich water boven de drains bevindt. Sinds de artikelen van deze auteurs zijn verschenen, is echter niet alleen vrij veel met zeer kleine plastic buizen gedraineerd, doch is ook veel drainage toegepast op gronden waarop vroeger de ontwatering op andere wijze dan door middel van buizen geschiedde.

In deze nota zal worden nagegaan, welke invloed de buisdiameter heeft op de vorm van het freatisch vlak, welke minimale diameter vereist is, om te voorkomen dat water boven de drains staat en wat het gevolg voor de ontwatering is, als zich water boven de drains bevindt.

Drainageformules

In grondwaterstromingsproblemen zoals die zich voordoen bij drainage vormt het freatisch vlak een van te voren niet bekende grens. Dit vlak moet als deel van de oplossing van het probleem worden gevonden. Het voornaamste doel waarvoor drainageformules gebruikt worden is de voorspelling van de gewenste drainafstand op grond van doorlatendheid, vereiste grondwaterstand en afvoer. Voor dit doel zijn de in de praktijk bruikbare formules zodanig uit-

gewerkt dat zij het verschil in stijghoogte van het water in het vlak midden tussen de drains en dat door de drains direct aangeven. Hiertoe wordt bij de afleiding verondersteld, dat bij de drain aan bepaalde voorwaarden is voldaan. Hierbij wordt doorgaans uitgegaan van een zogenaamde 'ideale' drain, dat wil zeggen een drain waarvan de wand volkomen doorlatend is. Hierbij wordt dus geen rekening gehouden met een eventueel extra benodigde drukhoogte voor het overwinnen van de intree-weerstand. Bij zijn afleidingen gaat ERNST (1954, 1962) zelfs zo ver dat uitgegaan wordt van een volledig doorlatende drainsleuf. Hier staat tegenover dat bij de door ERNST gevolgde schematisering van de stroming, extra weerstanden nabij de drain vrij gemakkelijk in rekening gebracht kunnen worden.

Oplossingen als die van VAN DEEMTER (1950) en ENGELAND (1953), verkregen met behulp van de hodograaf, laten de mogelijkheid open om ook de randvoorwaarde die aan de potentiaal door het vlak door de drains gesteld moet worden op min of meer eenvoudige wijze te variëren. Dit is mogelijk door variatie in de grootste helling θ van het freatisch vlak of door variatie van een hiermee samenhangende waarde β .

Maximale grondwaterdiepten worden verkregen bij $\theta = 90^\circ$, dat wil zeggen dat zich geen water boven de drains bevindt. Aan deze voorwaarde wordt echter slechts voldaan bij een bepaalde minimale diameter van de drains.

Minimale diameter van de drains

Door toepassing van de hodograafmethode komt VAN DEEMTER (1950) tot de volgende drainageformules

$$\frac{mM}{a} = \ln \frac{2 + \beta}{\beta} + \frac{2}{j} \ln \frac{2 + \beta}{2} \quad (1a)$$

$$\frac{mM}{a} = \ln \frac{2 + \beta}{\beta} + \frac{2}{j} \ln \frac{2 + \beta}{2 + 2\beta} \quad (1b)$$

waarin

$$j = \frac{K + N}{S - N} > 0 \quad (1c)$$

Hierin is:

K = doorlaatfactor van de grond

a = halve drainafstand

N = af te voeren neerslagintensiteit (negatief te rekenen)

$\frac{\pi n}{a}$ = eerste voeren kwaliteitsfactor en L de drainafstand is. Een viertal waarden van de stijghoogte van het water midden tussen de drains

n = stijghoogte van het water boven de drains

93 β = een factor, afhankelijk van de druk in de drains

De formules (1) gelden voor een grond met een ondoorlatende laag op grote diepte. De factor β die gesteld wordt bij de op het probleem toegepaste transformaties moet voldoen aan $0 < \beta \leq j$. Voor het geval zich maximale grondwaterdiepten voordoen, dus als de drain juist vol is, geldt $\beta = j$ en gaan de eerste twee vergelijkingen over in

$$\left(\frac{\pi n}{a}\right)_{\min} = \ln \frac{2+j}{j} + \frac{2}{j} \ln \frac{2+j}{2} \quad (2a)$$

$$\left(\frac{\pi n}{a}\right)_{\min} = \ln \frac{2+j}{j} + \frac{2}{j} \ln \frac{2+j}{2+2j} \quad (2b)$$

Stelt men als voorwaarde dat de drain juist vol loopt, dan kan de omtrek van de drain samenvallend gedacht worden met een equipotentiaallijn. Uit deze voorwaarde kan dan de waarde van β worden berekend (VAN DEEMTER, 1950; VAN SCHILFGAARDE, FREVERT en KIRKHAM, 1956). Voor verschillende waarden van j kan dan het verband tussen $\frac{r_0}{a}$ (r_0 is straal van de drain) en β worden berekend (zie o.a. VAN SCHELFGAARDE e.a. 1956, figuren 19 en 20).

Voor de optimale conditie kan men stellen dat $\beta = j$. Dan volgt uit boven beschreven berekening het verband tussen $\frac{r_0}{a}$ en j . Voor de laatste grootheid kunnen we gemakshalve $S = 0$ stellen (geen kwel). Dan geldt

$$\beta = j = \frac{K + N}{-N} = -\frac{K}{N} - 1 \quad (3)$$

Het verband tussen $\frac{r_0}{a}$ en β kan aldus worden omgezet in een verband tussen $\frac{d}{L}$ en $\frac{N}{K}$ waarin d de diameter van de drain en L de drainafstand is. Een viertal waarden voor dit verband is weergegeven in figuur 1.

Door LIST (1964) wordt een benaderde oplossing van het probleem van drainage door middel van evenwijdige drains bij aanwezigheid van een ondoorlatende laag op geringe diepte gegeven. De oplossing is verkregen door spiegelen van de drains ten opzichte van de ondoorlatende laag. Bij het stellen van de randvoorwaarde bij de drains kan uit deze theorie ook een berekening voor de optimale conditie (geen water boven de drains) worden uitgevoerd. Het door LIST verkregen resultaat is eveneens weergegeven in figuur 1. De waarde van h stelt hierbij de diepte van de ondoorlatende laag beneden de drains voor. De curve voor $h/L = \infty$ werd door LIST berekend met behulp van de oplossing van ENGELUND. De volgens deze oplossing verkregen waarden komen geheel met die volgens VAN DEEMTER overeen.

ERNST (1954) geeft aan, dat voor de berekening van de radiale weerstand de waarde van de natte omtrek u minstens gelijk moet zijn aan $\frac{NL}{K}$, omdat anders een kweloppervlak boven de drains zal verschijnen. Nemen we als natte omtrek voorlopig de halve buis, dus $u = \pi d$, dan geldt volgens deze voorwaarde voor de minimale buisdiameter

$$\pi d = \frac{NL}{K} \quad \text{of} \quad \frac{d}{L} = \frac{1}{\pi} \frac{N}{K} \quad (4)$$

Ook deze voorwaarde is weergegeven in figuur 1. De resultaten wijken nogal af van de beide voorgaande theorieën. Dit moet worden geweten aan de vrij ruwe en ongenueanceerde eis die door ERNST wordt gesteld.

De vraag is nu, hoe de resultaten van figuur 1 moeten worden geïnterpreteerd. Hiertoe moet allereerst worden nagegaan, welke waarden van $\frac{N}{K}$ doorgaans verwacht mogen worden. Om hiervoor een gegeven te verkrijgen is met behulp van de formule van HOOGHOUDT nagegaan, welke drainafstanden behoren bij een gegeven N/K . In de algemene formule

$$L^2 = \frac{8Kdm}{N} \quad (5)$$

is nu $m = 0,5$ gesteld, zodat geldt

$$L^2 = 4d \frac{K}{N} \quad (6)$$

Voor elke waarde van N/K kan nu de bijbehorende algemene drainafstand worden berekend. De resultaten zijn eveneens weergegeven in figuur 1.

Voor een drainafstand van 15 meter, zoals gemiddeld in Nederland voorkomt, komt men dan op $\frac{N}{K} = 0,022$ of $\frac{d}{L} = 0,038$. Dit zou betekenen, dat de draindiameter minstens $0,038 \times 15 \text{ meter} = 5,7 \text{ cm}$ moet zijn. Bedenkend, dat bij aanwezigheid van een ondoorlatende laag de waarde van N/K bij een drainafstand van 15 meter doorgaans wel groter zal zijn, zal men minstens moeten rekenen op een draindiameter van ruim 6 cm. Voorts blijkt dat bij afvoeren hoger dan 7 mm/etm zeker een grotere draindiameter gewenst is. Bij een afvoer van 14 mm/etm dus $N/K = 0,044$ zou de diameter minstens 12 cm moeten zijn. Bij de thans in ons land gebruikte draindiameters moet dus verwacht worden, dat bij hoge afvoeren gedurende korte tijd water boven de drain kan staan.

Men dient zich echter hierbij wel af te vragen, wat precies onder de diameter moet worden ~~ver~~^{ver}staan. Bij het gebruik van goed doorlatend filtermateriaal zal men als diameter de som van buisdiameter en dikte van het filtermateriaal kunnen nemen. Het zou dan blijken, dat bijvoorbeeld een 4 cm plastiek buis minstens een filter van 1 à 2 cm nodig zou hebben. Wellicht ligt hier de verklaring van het vaak minder goed functioneren van glasvlies. Immers wanneer K relatief klein is, zal N/K voor een gegeven afvoer relatief groot zijn, zodat een grotere diameter gewenst is.

De vorm van de grondwaterstand

De nog resterende vraag is, of de vorm van de grondwaterstand merkbaar wordt beïnvloedt, wanneer zich water boven de drains bevindt en wel in die zin, of de stijghoogte m , midden tussen de drains, toeneemt als n toeneemt. CHILDS en YOUNGS (1958) vinden op grond van berekeningen aan de hand van de oplossing van ENGELUND, dat door het verkleinen van de draindiameter weliswaar een aanzienlijke toename van n op kan treden, zonder dat de waterstand midden tussen de drains merkbaar beïnvloed wordt. Dit komt overeen met de resultaten van de oplossing van KIRKHAM (1958) voor drains die onder water uitmonden. Door WESSELING (1964) werd namelijk aan de hand van deze oplossing aangetoond dat dergelijke drains effectiever zijn.

Volgens CHILDS en YOUNGS (fig. 2) wordt de verhouding van de werkelijk optredende stijghoogte m tot die voor optimale omstandigheden m_0 slechts merkbaar verhoogd bij grootste hellingen θ van het grondwater kleiner dan 30° .

Deze waarde, afkomstig van de oplossing van ENGELUND dient echter weer omge-
rekend te worden op een praktische waarde. Volgens de door VAN DEKEMTER toe-
gepaste transformaties geldt

$$\frac{\lambda^2 - 1}{2\lambda} = \tan \theta \quad (7a)$$

$$\frac{\mu^2 - 1}{2\mu} = (1 + j) \tan \theta \quad (7b)$$

$$1 + \beta = \frac{\mu}{\lambda} \quad (7c)$$

Voor $\theta = 30^\circ$ en $j = \frac{K + N}{-N}$ gaan (7a) en (7b) over in respectievelijk

$$\lambda^2 - 1,155 \lambda - 1 = 0 \quad (8a)$$

$$\mu^2 - 1,155 \frac{K}{N} \mu - 1 = 0 \quad (8b)$$

waarin N positief wordt genomen.

Door waarden van $\frac{K}{N}$ te stellen kunnen nu μ -waarden worden berekend die
met de λ -waarden volgens (7c) β -waarden geven. Het resultaat is weergegeven
in onderstaande tabel.

K/N	β	j	j/ β
10	5,7	9	1,58
20	12,4	19	1,53
50	32,4	49	1,51
100	65,6	99	1,51
1000	667	999	1,48

Bij de door CHILD en YOUNGS gestelde waarden van $\theta = 30^\circ$ is de verhou-
ding j/ β dus gemiddeld ongeveer 1,5. Met deze verhouding kunnen voor elke
j (of $\frac{K}{N}$, resp. $\frac{N}{K}$) de waarden van $\frac{\pi m}{a}$ en $\left(\frac{\pi m}{a}\right)_{\min}$ worden uitgerekend uit verge-

lijking (1a) en (2a).

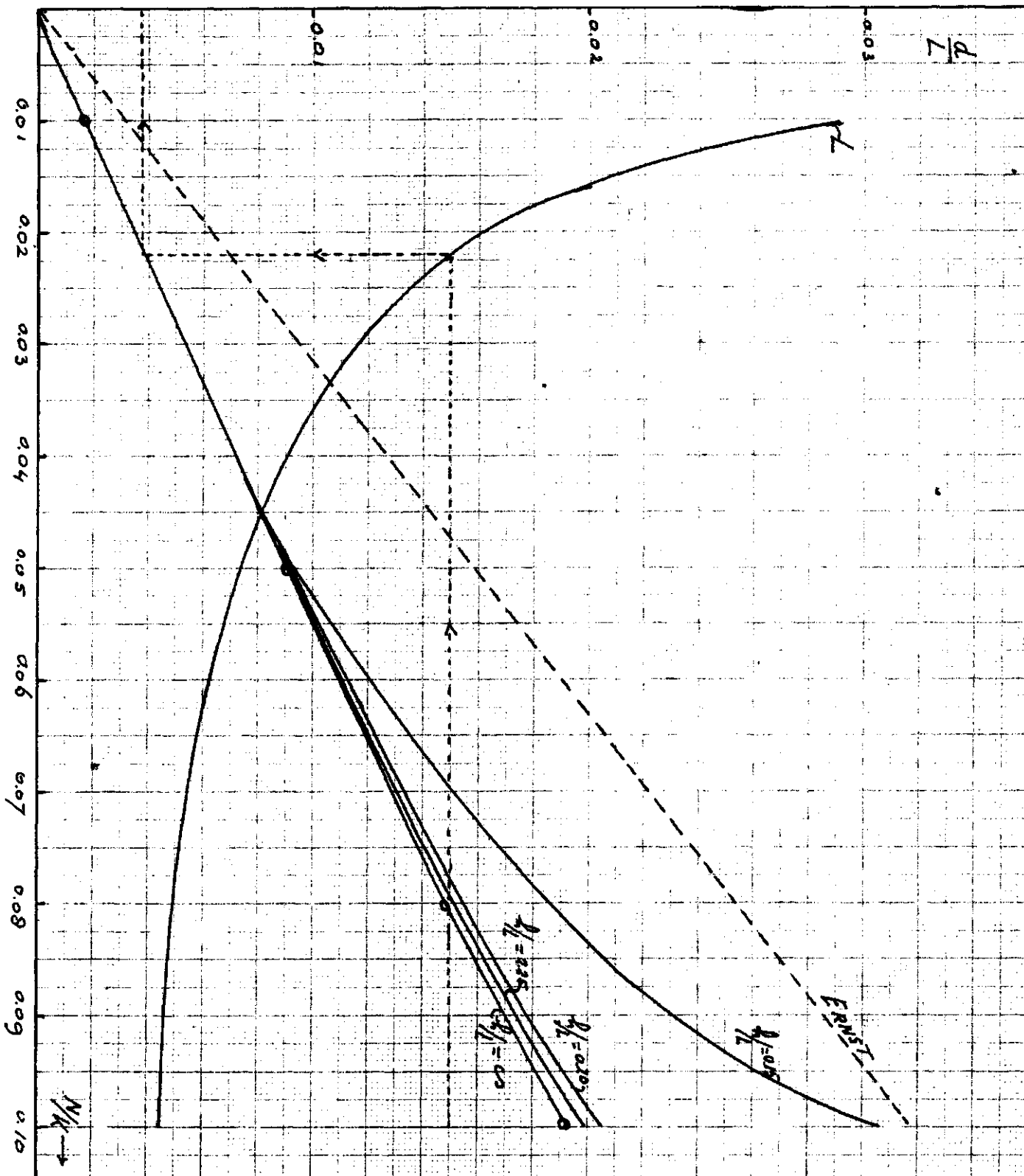
Uit berekeningen van VAN DEEMTER (fig. 13 pag. 19) blijkt dat bij een verhouding $j/\beta = 2$ de waarden m en m_0 over het gehele traject van j -waarden niet meer dan 2 à 3% verschillen terwijl n/n_0 over het gehele traject ongeveer een waarde 4 heeft. Dit komt er op neer, dat wanneer 5 à 10 cm water boven de drains staat, de waterstand midden tussen de drains nog niet merkbaar beïnvloed zal worden.

Samenvatting en conclusies

Op grond van theoretische overwegingen kan worden nagegaan, wat de minimale buisdiameter bij drainage moet zijn. Hoewel niet helemaal vaststaat wat onder de diameter moet worden verstaan, kan worden aangenomen, dat dit buis plus dikte filtermateriaal moet zijn. Het blijkt nu, dat voor gemiddelde Nederlandse omstandigheden een diameter van ongeveer 6 cm noodzakelijk is. Bij gebruik van kleinere diameters en bij hoge afvoeren mag dus verwacht worden dat zich water boven de drains bevindt, zonder dat de reeksen een te hoge intree-weerstand hebben. Verdere berekeningen tonen aan, dat het hoger staan van het water boven de drains weinig effect heeft op de waterstand midden tussen de drains.

Literatuur

- CHILDS, E.C. and E.G. YOUNGS.(1958). The nature of the drain channel as a factor on the design of a land-drainage system. J. of Soil Sci 9:316-331.
- DEEMTER, J.J. VAN.(1950). Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond nr. 11. Versl. Landb.Onderz. 56.7, 67 pp
- ENGELUND, F.(1951). Mathematical discussion of drainage problems. Trans. Danish Acad. Techn. Sci. 3, 64 pp.
- ERNST, L.F.(1954). Het berekenen van stationaire grondwaterstromingen welke in een vertikaal vlak afgebeeld kunnen worden, Rapp. Landb. Proefst. en Bodemk. Inst. T.N.O., 55 pp.
- _____ (1962). Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige leidingen. Versl. Landb. Onderz. 67.15, 189 pp.
- HOOGHOUDT, S.B.(1940). Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond nr. 7. Versl. Landb. Onderz. 46:515-707.
- KIRKHAM, DON.(1958). Seepage of steady rainfall through soil into drains. Trans Amer. Geophys Union 39:892-908.
- LIST, E.J.(1964). The steady flow of precipitation to an infinite series of the tile drains above an impervious layer. J.of Geophys. Res. 69:3371-3381.
- SCHILFGAARDE, J. VAN, DON KIRKHAM and R.K. FREVERT.(1956). Physical and mathematical theories of tile and ditch drainage and their usefulness in design. Agr. Expt. Sta. Iowa State College Res. Bull. 436:667-706.
- WESSELING, J.(1964). The effect of using continually submerged drains on drain spacing. J. of Hydr. 2:33-43.



FIGUR 1

L. O. ENGELUND

O. VAN DEEMTER

FIGURE 2

CHILDS & YOUNG (1958)

