

NN31545.1109

A 1109 ^{II}

maart 1979

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

GRONDVERBETERING VOOR STRAATBOMEN
(EEN ONDERZOEK NAAR DE GESCHIKTHEID
VAN ZAND-ZWARTVEEN MENGSELS)

ir. J.W. Bakker, ing. G.T. Visser* en J.P. Couenberg*

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

*Dienst der Publieke Werken Amsterdam respectievelijk Bureau
Grondmechanica en Afdeling Beplantingen

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, 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 zul-
len 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



ISBN 178704 02



I N H O U D

	Blz.
SAMENVATTING	1
CONCLUSIES	2
1. INLEIDING	4
2. PROEFBESCHRIJVING	7
2.1. Proefopzet en schema	7
2.2. Het maken van de grondmengsels	8
2.3. Het verdichten van de plantvakken	12
3. WAARNEMINGEN EN RESULTATEN	14
3.1. Overzicht van de waarnemingen	14
3.2. Zakking straatoppervlak	14
3.3. Samendrukkingsonderzoek	15
3.4. Vorstgevoeligheid	23
3.5. Indringingsweerstand en dichtheid	26
3.6. De verandering van dichtheid en afbraak organische stof	36
3.7. Luchthuishouding	39
3.8. Waterhuishouding	42
3.9. Beworteling	59
3.10. Scheutgroei	62
4. SLOTDISCUSSIE EN SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK	65
LITERATUUR	67
BIJLAGEN	

SAMENVATTING

Er wordt gezocht naar een ondergrond voor lichtere bestrating welke ook geschikt is als groeimilieu voor straatbomen.

In dit kader werden twee mengsels van matig grof humusloos straatzand en tuinturf (= doorgevroren zwart veen) getest. Er werden plantruimten uitgegraven van 1,20 x 1,20 x 1,20 m en gevuld met zand of met mengsels met 2% of 5% organische stof, deze materialen zijn aangetrild op een bij trottoir-aanleg gebruikelijke wijze en daarna bestraat met tegels.

Hierin zijn jonge bergiepen geplant in plantgaten van 0,50 x 0,50 x 0,50 m die zijn opgevuld of met mengsel of met een rijkere 'bomengrond' met circa 17% organische stof. In 11-voud zijn zo proefvakken gemaakt in 5 combinaties plantgatvulling-plantruimte-vulling namelijk: bomengrond-zand, bomengrond-2%, bomengrond-5%, 2%-zand, 5%-2%.

Onderzocht is

1. Aan monsters in het laboratorium de te verwachten samendrukking van de mengsels bij gebruikelijke belasting en in het veld de optredende zakking van de bestrating. Verder is de vorstgevoeligheid van het materiaal geschat.
2. De poriënvolumen, indringingsweerstand, gehalten aan organische stof en verandering daarvan tijdens de 3-jarige proefperiode.
3. Lucht en waterhuishouding in de plantruimten.
4. De reacties van de boomwortels.
5. De groei van de bomen.

CONCLUSIES.

I. Het blijkt goed mogelijk grote hoeveelheden homogeen mengsel te maken met een bepaald gewenst gehalte aan organische stof.

II. Verdichten van grondmengsels tot een bepaalde dichtheid door aantrillen is mogelijk wanneer het resultaat van het aantrillen regelmatig gecontroleerd wordt door meting van indringingsweerstand.

III. Van mengsels van straatzand en tuinturf kan een trottoir-ondergrond worden gemaakt waarin wortelgroei mogelijk is, terwijl het dragend vermogen en de zakking aanvaardbaar blijven.

Zie onderstaande tabel, waarin de waarden 3 jaar na aanleg.

Materiaal	Org. stof	Poriën- volume	Dicht- heid	Indringings- weerstand	Wortels	Samendruk- king bij 0,5 kg//cm ² belasting	Daling trottoir opp.
	gew. %	cm ³ /cm ³	g/cm ³	kgf/cm ²		%	mm
zand	0,3	0,41	1,55	34	neen	1,2	5
mengsel	2,3	0,48	1,36	20	ja	1,2	9
mengsel	5,7	0,55	1,15	17	ja	3,3	19

IV. De wortels drongen vanuit een plantgat gevuld met de humusrijke 'bomengrond' circa 5 à 10 cm in het dichte zand, vanuit een plantgat gevuld met het 2% mengsel minder dan 5 cm.

V. De groei was duidelijk het laagst in de vakken met schraal plantgatmengsel (2%) omringd met zand, namelijk 880 mm scheutgroei in 3 jaar.

VI. De voor de plant beschikbare watervoorraad in de plantruimte neemt toe van 65 l/m³ in zand tot 100 l/m³ in 2,3% mengsel en tot 150 l/m³ in het 5,7% mengsel. Dit is een toename van circa 1,9 l. water per kg toegevoegde organische stof.

VII. Kunnen boomwortels tot in de nabijheid van het grondwater groeien en ook daaruit water onttrekken dan is een toevoeging van 2% org.stof voldoende. Dit was in deze proef het geval (grondwaterpeil 1,25 à 1,35 cm -mv. Kan de boom niet of weinig uit het grondwater onttrekken dan zijn mengsels met 5% organische stof te verkiezen.

VIII. Vanaf 8 cm boven de grondwaterspiegel bevat middelgrof zand zowel als de zand-tuinturf mengsels voldoende lucht voor wortelgroei. Het doorwortelbaar maken tot op deze diepte is wenselijk vooral als de mogelijkheid bestaat dat gedurende de zomer het grondwater daalt.

IX. In vakken waar organische meststoffen waren toegediend (circa 15 kg droge stof/m³) was de eerste zomer na aanleg duidelijk sprake van zuurstofgebrek in de grond.

X. De totale hoeveelheid organische stof daalde met 2% per jaar, zowel in de tuinturfmengsels als in de bomengrond. Waarschijnlijk zal deze daling na enige jaren trager verlopen.

XI. Bij de gebruikte zand-tuinturfmengsels bestaat weinig gevaar voor opvriezen.

1. INLEIDING

De bomen, welke als wegstoffering dienst doen, verkeren veelal onder voor hun ontwikkeling negatieve omstandigheden en zullen daardoor steeds moeilijker de status van 'volwassen' boom kunnen bereiken.

Onder de reeks van oorzaken, welke door diverse onderzoekers in de afgelopen jaren zijn aangetoond neemt de fysische toestand van de bodem een belangrijke, zo niet de belangrijkste plaats in. Immers de bodem is het groeimedium voor de boom. Vele voor de boom van levensbelang zijnde processen spelen zich hier af. Naast de noodzakelijkheid voor de verankering voor de boom, waarvoor de bodem dienst doet, is zij ook de leverancier van water en voedingsstoffen. Tevens dient de gasdoorlatendheid van het wegdek, maar ook van de grond, zodanig te zijn dat voldoende zuurstof de wortels kan bereiken.

In diezelfde bodem liggen ook de belangen van de wegbeheerder die heel andere eisen stelt aan dit medium. Deze staan lijnrecht tegenover de eisen van de groenbeheerder. In feite komt het er in de praktijk op neer, dat de 'aarden' baan waarop later verharding in welke vorm dan ook wordt aangebracht, naar de eisen van de wegbeheerder wordt aangelegd, waarin tevens in veel gevallen de plaats van de bomen reeds bepaald is.

Later worden hierin voor de bomen plantgaten gemaakt, maar veelal van beperkte afmeting, niet alleen qua oppervlakte maar dikwijls ook qua diepte, omdat zelden naar de gemiddelde grondwaterstand wordt gekeken. Dit plantgat wordt wel opgevuld met voor de wortelontwikkeling van de boom goede grond, waarbij meestal nog een flinke voorraadbemesting (veelal organisch) wordt gegeven. Daar mag de boom zijn verdere leven mee doen, want is de verharding eenmaal aangebracht is er praktisch niets meer aan toe te voegen. Nazorg van de bodem komt dan ook vrijwel nergens voor.

Toch zijn de vele publikaties-lezingen etc., gewijd aan dit onderwerp, niet zonder weerklank gebleven. De groenbeheerders van grote en middelgrote gemeenten zijn aan dit aspect meer zorg gaan besteden, vooral primaire zorg. Met andere woorden grotere plantgaten en meer voorraadbemesting. Dit laatste bleek in een aantal ge-

vallen teveel van het goede te zijn waardoor, ondanks alle goede zorgen de pas geplante boom toch dood ging, of op z'n minst een aantal jaren een kwijnend bestaan leed tengevolge van zuurstofgebrek.

Ook bij de reeds bestaande oudere bomen worden verbeteringsmaatregelen uitgevoerd. Te noemen het vergroten van oude bestaande plantgaten door middel van het aanbrengen van grondsleuven van enkele meters lang in de lengterichting van de bomenrij, en het vullen van deze sleuven met goede tuinaarde.

In 1969 werd deze methode in Amsterdam voor het eerst toegepast en in 1970 en 1971 herhaald. In deze proef waren ruim 100 bomen betrokken waaronder Tilia's van + 35 jaar oud en Ulmus sp. van + 70 jaar. Het resultaat was overtuigend voor de groenbeheerder maar de wijze van toepassing werd door de wegbeheerder niet in dank afgenomen. Verzakkingen in de verharding als gevolg van 'klink' van de gebruikte humusrijke grond zette de wegbeheerder voor grote problemen. Immers ongelukken, zoals valpartijen tengevolge van struikelen over ongelijk liggende verhardingsdelen was aanleiding tot vele klachten. Vooral als dit bejaarde personen betrof waarbij een dergelijke struikelpartij niet alleen tot een pijnlijke of blauwe plek beperkt bleef.

De positieve resultaten bij de bomen en de terechte klachten van de wegbeheerder heeft bij de afdeling Beplantingen de vraag doen rijzen of er geen compromis mogelijk was, met andere woorden of het mogelijk zou zijn een medium te vinden waarin aan de voor de boomgroei noodzakelijke eisen vielen te verenigen met de verlangens van de wegbeheerder.

Het betekende een grondtype te vinden waarin de fysische eigenschappen noodzakelijk voor een goede beworteling bodemwater- en luchthuishouding samen kunnen gaan met de door de wegbeheerder verlangde stabiliteit, zodat ongewenste verzakkingen tot een minimum beperkt zouden blijven.

Toen de eerste proeven in die richting mislukten is de afdeling Beplantingen in de eerste aanzet in overleg getreden met het Bureau

Grondmechanica.

In een later stadium zijn het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en de afdeling Landbouwscheikunde van de Landbouw Hogeschool bij het overleg betrokken geraakt.

Uit dit gezamenlijke overleg resulteerde een grondtype bestaande uit matig grof humusloos zand waaraan werd toegevoegd een tevoren berekende hoeveelheid tuinturf om een zandgrond te verkrijgen met 2% respectievelijk 5% organische stof. De verwachting was dan ook, dat deze grondsamenstelling niet alleen aan de eisen van de groenbeheerder zou voldoen, maar tevens een heel eind aan de verlangde stabiliteit van afdeling Wegen tegemoet zou komen. Gedurende de periode voorjaar 1974 tot en met voorjaar 1977 werden deze mengsels getest als vulling van de ruimte rond het plantgat bij Jonge Iepen in een tegelbestrating.

In de verslaggeving van deze proef worden de resultaten van het onderzoek gegeven en de mogelijke toepassing daarvan.

Verder is ook veel aandacht besteed aan de gebruikte onderzoeksmethoden en aan de factoren die in de grond rond straatbomen van belang zijn, in de hoop hiermede bruikbaar 'gereedschap' aan te bieden voor het verdere onderzoek.

2. PROEFBESCHRIJVING

2.1. Proefopzet en schema

De proef is aangelegd op een terrein behorend bij de voormalige Zuidergasfabriek. Het gebruikte driehoekige proefperceel bevindt zich op een afstand van 20 m van de Duivendrechtse Vaart (zie bijlage 1). De maaiveldhoogte is ca. 0,80 m+NAP het gemiddelde peil van de vaart is ca. 0,40 m-NAP. De bovenste 1 à 1,5 m bestaat uit zeer vast matig fijn zand. Hierin zijn april 1974 gaten gegraven van 1,20x1,20x1,20 m de zijkanten zijn bedekt met plasticfolie daarna zijn deze 'plant-ruimten' opgevuld met zand of mengsels. Na verdichten hiervan is in iedere plantruimte een klein plantgat 0,5 x 0,5 x 0,5 m gemaakt opgevuld met 'bomengrond' of mengsel waarin een ca. 0,80 m hoge bergiep is geplant. Over het gehele terrein is een normale tegelbestrating aangelegd waarbij per boom een tegel is opengelaten. De proef werd afgesloten april 1977.

Er zijn in 11-voud 5 verschillende plantvakken gemaakt, die willekeurig verspreid werden gesitueerd (zie fig. 1).

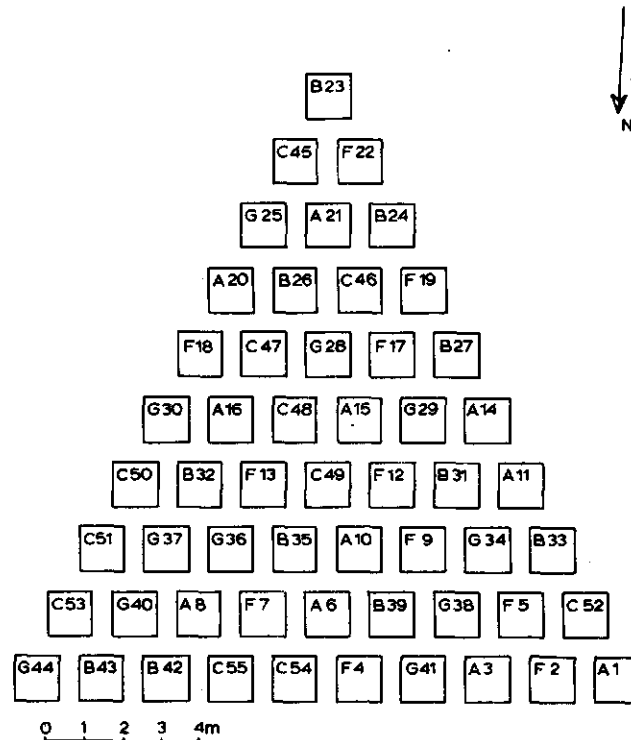


Fig. 1. Plattegrond vakindeling, vakgrootte 1,20 x 1,20 m.

Afstand tussen de vakken 0,5 m

De vakken A

In het plantgat (0,5 x 0,5 x 0,5 m) bomengrond in de ruimte daar omheen (1,2 x 1,2 x 1,2 m) straatzand.

De bomengrond bestaat uit de bovengrond van veen-weiland, waaraan ca. 5 vol. % VAM compost is toegevoegd en 5 vol. % steekvast rioolslib. De hier gebruikte bovengrond bevatte gemiddeld 16,8% organische stof en ca. 15% lutum.

Het straatzand is afkomstig uit de zandwinning Spiegelpolder, het is vrijwel humusloos matig grof zand (analyse zie bijlagen 2, 3, 4).

De vakken B

In het plantgat bomengrond, in de ruimte een mengsel van straatzand en doorgevroren zwartveen. Aan het mengsel is als voorraadbemesting toegevoegd 1,5 kg Alginure, 10 kg VAM compost en 17 kg Cultierra korrels per m³. Het uiteindelijke organische stofgehalte is 2 à 3%.

De vakken C

In het plantgat bomengrond, in de ruimte een straatzand zwartveen mengsel + voorraadbemesting, het organische stofgehalte is 5 à 6%.

De vakken F

In het plantgat het 2% organische stofmengsel zoals gebruikt in de ruimte van de B vakken, in de ruimte straatzand.

De vakken G

In het plantgat het 5% organische stofmengsel zoals gebruikt in de ruimte van de C vakken, in de ruimte het 2% organische stofmengsel uit de ruimte van de B vakken.

2.2. H e t m a k e n v a n d e g r o n d m e n g s e l s

Indien het grondmengsel, zoals dit het geval was bij de proef, bestaat uit zand en tuinturf (= doorgevroren zwartveen), dan dienen ter bepaling van de samenstelling van dit mengsel een aantal monsters

(van ca. 1 kg) te worden genomen.

Van deze monsters worden in het laboratorium of door middel van veldproeven de volgende grootheden bepaald:

H_v = organische stof in % van het droge veen (tuinturf)

H_z = organische stof in % van droog zand

\bar{H}_m = organische stof in % van het droge veen-zandmengsel

Dit is meestal het gewenste humuspercentage.

W_g = watergehalte in % van het natte veen

W_z = watergehalte in % van het natte zand

De grootheden W_g en W_z zijn om praktische redenen bepaald door middel van een veldproef met behulp van het zogenaamde C-M-apparaat van het fabriekaat Riedel-De Haën.

Hierbij wordt een van tevoren bepaalde grondmassa in een fles gestopt. Tevens worden 2 à 4 stalen kogels en een carbidampul toegevoegd. Door krachtig te schudden wordt de ampul door de stalen kogels verbrijzeld. De ontstane gasdruk die is af te lezen met behulp van een manometer, is een maat voor het watergehalte in procenten ten opzichte van de natte (vochtige) grond.

Voor de bepaling van de samenstelling van het mengsel geldt onderstaande relatie:

$$H_g \cdot m_g + H_z \cdot m_z = \bar{H}_m (m_g + m_z) \quad (1)$$

hierin is: m_g = de massa van een hoeveelheid droog veen [kg]

m_z = de massa van een hoeveelheid droog zand [kg]

Aangezien de met behulp van het C-M-apparaat bepaalde watergehaltes zijn uitgedrukt ten opzichte van de natte grond, dienen deze te worden omgezet ten opzichte van de droge grond.

Hiertoe is gebruik gemaakt van de volgende uitdrukking:

$$\frac{100 - W}{100} \cdot m_n = m_d \quad (2)$$

hierin is: W = watergehalte in % ten opzichte van de natte grond of nat zand

m_n = de massa van een hoeveelheid nat veen (m_{ng}) of nat zand (m_{nz}) [kg]

m_d = de massa van een hoeveelheid droog veen of droog zand
[kg]

(2) in (1) gesubstitueerd geeft:

$$H_g \left(\frac{100 - W_g}{100} \right) m_{ng} + H_z \left(\frac{100 - W_z}{100} \right) m_{nz} = \bar{H}_m \left\{ \left(\frac{100 - W_g}{100} \right) m_{ng} + \left(\frac{100 - W_z}{100} \right) m_{nz} \right\} \quad (3)$$

na vereenvoudiging ontstaat onderstaande formulering:

$$m_z = m_g \left(\frac{H_g - \bar{H}_m}{\bar{H}_m - H_z} \right) \left(\frac{100 - W_g}{100 - W_z} \right) \quad (4)$$

Voorbeeld*

Er zijn de volgende bepalingen gedaan:

$$H_g = 27,22\%$$

$$H_z = 0$$

$$\bar{H}_m = 3 \quad \% \text{ (gewenst org. stofgehalte)}$$

$$W_g = 53,56\%$$

$$W_z = 1,39\%$$

$$m_z = m_g \left(\frac{27,22 - 3}{3 - 0} \right) \left(\frac{100 - 53,56}{100 - 1,39} \right) = 3,80 m_g$$

Met andere woorden om het gewenste organische stofgehalte te verkrijgen moeten 3,80 maal zoveel massadelen zand worden toegevoegd.

Het werken met massadelen levert in de praktijk moeilijkheden op. Het is gemakkelijker te werken met volumedelen.

Hiervoor werd tijdens de inrichting van het proefvak een vat, waarvan de inhoud bekend was, gevuld met (los gestorte) grond en gewogen. Indien ter voortzetting van het voorbeeld wordt aangenomen dat:

*De in het voorbeeld gekozen organische stofgehalten zijn lager dan die van het gebruikte veen

$$1 \text{ kg zand} = 0,000670 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ kg grond} = 0,001250 \text{ m}^3$$

dan volgt hieruit:

$$3,8 \times 0,000670 = 0,002546 \text{ m}^3$$

$$1,0 \times 0,001250 = 0,001250 \text{ m}^3$$

òf, in volumedelen, een mengselverhouding van:

1 deel grond (tuinturf) op 2,04 delen zand;

òf, in volumepercenten: 67% zand en 33% grond.

Het mengsel van veen en zand werd tijdens de inrichting van het proefvak op de hiervoor genoemde manier bepaald. De menging werd ver-richt met behulp van een betommolen.

Van een aantal mengsels werd achteraf het organische stofgehalte bepaald. In onderstaande tabel zijn van 17 monsters het in het labo-ratorium bepaalde humusgehalte en de afwijking ten opzichte van het gewenste humusgehalte aangegeven.

Monster uit vak	Organische stofgehalte in % ten opzichte van droge grond	Afwijking ten opzichte van gewenst organische stofgehalte in %
A8	0,30	-
A21	0,39	-
B24*	0,20	- 1,80
B26	1,81	- 0,19
B31	1,60	- 0,40
B32	2,70	+ 0,70
B33	2,46	+ 0,46
C45	4,54	- 0,46
C46	4,80	- 0,20
C46	5,60	+ 0,60
C47	7,40	+ 2,40
C49	6,19	+ 1,19
C50	7,00	+ 2,00
F5	0,35	-
G28	2,50	+ 0,50
G29	2,46	+ 0,46
G41	1,70	- 0,30

+ = groter organische stofgehalte dan gewenst

- = kleiner organische stofgehalte dan gewenst

* = geen representatief monster

Voor de monsters uit de vakken B en G bedroeg de gemiddelde afwijking - 0,07% (standaardafwijking = 0,81%).

Voor de monsters uit vak C bedroeg de gemiddelde afwijking + 0,92% (standaardafwijking = 1,16%).

De gemiddelde afwijking voor de vakken B, C en G tezamen bedroeg + 0,35% (standaardafwijking = 1,06%).

Opgemerkt wordt dat voornoemde cijfers inclusief de organische stof zijn, toegevoegd met de voorraad bemesting

Monstername

Indien grondmonsters uit een hoop gemengde grond worden getrokken, kan dit op dezelfde wijze gebeuren als bij de monstername voor betommengsels het geval is, te weten:

- één monster uit de top;
- één monster uit het midden;
- één monster uit de teen van het talud.

De humusbepaling van deze monsters kan op elk monster afzonderlijk geschieden, waarbij het gemiddelde humusgehalte als maatgevend kan worden beschouwd.

2.3. H e t v e r d i c h t e n v a n d e p l a n t v a k k e n

De juiste wijze van verdichting is bepaald door te trillen gedurende verschillende tijden en daarna het resultaat te testen door het meten van de indringingsweerstand met de penetrometer. Aanstampen met een zogenaamde kikker veroorzaakte een te hoge en te onregelmatige verdichting.

De verdichting van het zand of van het zand-grondmengsel in situ, werd in onderstaande volgorde uitgevoerd.

Na het graven van het gat 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m werd het zand (of het mengsel) in 3 lagen aangebracht. De dikte van deze lagen bedroeg ca. 0,4 m. Iedere laag werd gedurende 10 minuten verdicht met behulp van een trilslof. Hiervoor werd gebruik gemaakt van een Vibromax trilslof, type Bull SL1. Enkele gegevens:

- slagkracht - 40 kN
- spronghoogte - tot 40 mm
- slagfrequentie - van 10 tot 16 Hz

slofafmeting - 30 x 40 cm

Na het verdichtingswerk werd het plantgat uitgekist en zorgvuldig op diepte gebracht. Daarna werd de bekisting verwijderd, de grond aangebracht en met de voeten gestampt. Er werd, waar de rand langs het plantgat was verstoord, nog gedurende ca. 10 minuten getrild.

Daarna is ca. 3 cm straatzand opgebracht en is 'normaal' bestraat met 5 cm dikke trottoirtegels.

3. WAARNEMINGEN EN RESULTATEN

3.1. O v e r z i c h t v a n d e w a a r n e m i n g e n

Laboratorium metingen

Voor, tijdens en bij afsluiting van de proef zijn volumemonsters van de grond genomen. Hierbij wordt een ring met bekend volume in de grond gedrukt en vandoordit bekende volume grond wordt bepaald: De droge dichtheid, het organische stofgehalte, het vochtgehalte en bij één serie genomen direct na aanleg in 1974 werd een volledig samendrukkingsonderzoek uitgevoerd. Het ringvolume bedroeg 2185 cm^3 voor de zogenaamde procterringen genomen ten behoeve van het samendrukkingsonderzoek, voor de andere metingen 100 of 232 cm^3 .

Verder is de relatie bepaald tussen het vochtgehalte van de grond en de druk van het bodemwater, of vochtspanning. Dit is gedaan door het vochtgehalte te bepalen van grondmonsters die tot een bepaalde onderdruk worden drooggezogen. Deze relatie wordt weergegeven in vocht karakteristieken, ook wel pF-kurven genoemd.

Veldmetingen

- a. De zakking van de tegels boven de plantruimten
- b. De indringingsweerstand in de grond door middel van een zelfregistrerende penetrometer (tophoek konus 60° , oppervlakte doorsnede 1 cm^2)
- c. De zuurstof en koolzuurgasconcentratie in de bodemlucht
- d. De vochtspanning van het water in de grond met tensiometers
- e. De hoeveelheid water in het plantgat door middel van neutronenstraling
- f. De doorworteling van de verschillende mengsels
- g. De groei van de bomen door middel van scheutlengtemeting en meting kroongrootte

3.2. Z a k k i n g s t r a a t o p p e r v l a k

Van alle plantvakken is de hoogte van het straatoppervlak boven de plantruimte gevolgd door waterpassen van 2 gemarkeerde punten per vak.

Er werd 3 keer gemeten, te weten vlak na aanleg in mei 1974, 6 oktober 1975 en 25 november 1976.

Voor elke serie plantvakken werd de gemiddelde zakking gerekend.

Tabel 1. Zakking straatoppervlak 1,5 en 2,5 jaar na aanleg

Vak	Gemiddelde zakking in mm	
	1974-1975	1974-1976
A	1,0	6,1
B	2,4	12,0
C	6,9	18,8
F	2,6	4,6
G	1,5	6,3

De zakking is bepaald ten opzichte van tegelbestrating gelegd op het vaste zand naast de planruimten, materiaal wat reeds meer dan 25 jaar ter plaatse ligt. Het blijkt dat de 1,20 m dikke laag van het 5% mengsel in 2,5 jaar 19 mm is geklonken of 12 à 14 mm meer dan het straatzand (vak A) wat nog wel acceptabel moet worden geacht.

Op grond van ervaringen opgedaan met tegelbestrating is praktisch zeker dat de zakkingsnelheid zeer sterk zal afnemen in de tijd.

3.3. Samen drukkings onderzoek

3.3.1. Methode

De grondmonsters uit de diverse proefvakken zijn gestoken met behulp van een zogenaamde proctorcilinder. Deze cilinder, waarvan de inhoud 2185 cm^3 bedraagt bestaat uit een middenstuk, een steekring en een bovenstuk. De drie gedeelten worden door middel van een bajonetsluiting aan elkaar bevestigd, waarna de ring in zijn geheel in de grond wordt gedrukt.

Het in de grond drukken kan worden vergemakkelijkt door op de

ring te gaan staan, of door de ring langzaam met behulp van een 'dommekracht' weg te drukken. Deze laatste procedure werd gevolgd bij de monsternamen ter plaatse van de proefvakken.

De reactiekracht werd ontleend aan een Landrover. Daarna wordt de ring uitgegraven en voorzichtig vertikaal omhoog gebracht.

De ring wordt op een plaatje gezet, waarna de snijrand wordt verwijderd en de grond afgestreken. De ring wordt dan gekeerd, waarna dezelfde procedure wordt herhaald voor het bovenstuk. Daarna wordt het grondmonster in een plastic zak gestopt (fig. 2).



Fig. 2. Proctorring met toebehoren

Aangezien van de cylinder de inhoud bekend is, kan nu het in situ poriënvolume worden berekend door:

$$n = 100 \cdot \frac{V - \frac{m_d}{\rho_k}}{V}$$

n = poriënvolume in %

m_d = massa van de proctor inhoud (droog) in g

V = inhoud van de proctorring in cm^3

ρ_k = soortelijke massa van de grond in g/cm^3

Aangezien in het onderhavige geval de grond is opgebouwd uit

twee componenten (zand en org. stof) moet ρ_k worden gecorrigeerd volgens:

$$\rho_k = \frac{\% \text{ org. stof} \cdot \rho_h + \% \text{ zand} \cdot \rho_z}{100}$$

ρ_h = soortelijke massa organische stof - 1,47 g/cm³

ρ_z = soortelijke massa zand - 2,65 g/cm³

Het humusgehalte werd bepaald volgens de gloeiverliesmethode. Hierbij wordt het monster verhit tot maximaal 1273 K. Het organische stofgehalte is dan gelijk aan het gloeiverlies min vochtgehalte min 0,44 CaCO₃ (= CO₂ verlies) min 0,06 slib (gebonden water).

Na de bepaling van het poriënvolume wordt een deel van het uit de proctor afkomstige monster luchtdroog ingezet in de samendrukkingsring. De massa van dit grondmengsel wordt zodanig bepaald dat het poriënvolume in overeenstemming is met het in situ poriënvolume.

$$m_r = V_r \cdot \rho_m \cdot \frac{100 + W}{100}$$

Hierin is: m_r = massa van het mengsel in de samendrukkingsring in g

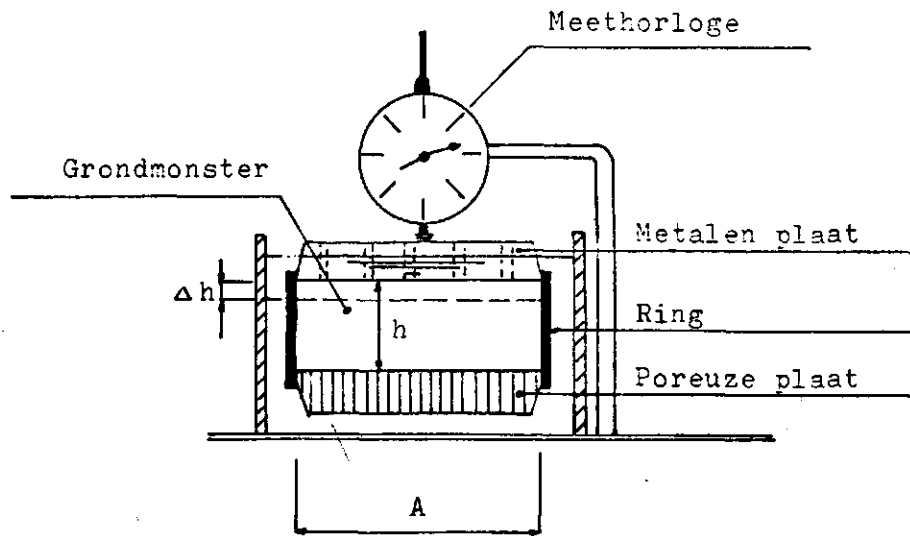
ρ_m = volumieke massa van het mengsel (droog) in g/cm³

V_r = volume van de ring; deze is voor een monsterhoogte van 2,7 cm en een oppervlakte van 33,18 cm², 89,586 cm³

W = watergehalte in massa procenten ten opzichte van de droge stof

Om alle grond in de ring te krijgen is het meestal noodzakelijk dat getrild wordt.

Onder het grondmonster is een poreus plaatje aangebracht, terwijl boven het monster een metalen plaatje, voorzien van gaten, wordt geplaatst. Hierop wordt het meethorloge geplaatst; de eerste stand die wordt afgelezen wordt als oorspronkelijke of 0-stand gedefinieerd (fig. 3).



$$A = 3318 \text{ mm}^2$$

Fig. 3. Meetopstelling samendrukkingsonderzoek

Na het inzetten van het monster wordt dit met water verzadigd. Dit gebeurt in opwaartse richting om de eventueel aanwezige lucht te laten ontsnappen aan de bovenzijde van het monster. Het monster zal vaak uitzetten vooral als het organische stof bevat.

Er wordt aangenomen dat het monster verzadigd is wanneer het meethorloge geen verplaatsingen meer vertoont. Vermoedelijk zal het monster dan nog niet geheel verzadigd zijn, doch het dan aanwezige percentage lucht wordt, gezien de marginale betekenis hiervan, verwaarloosd.

Wil men in het geheel geen lucht hebben in het monster, dan dient de verzadiging plaats te vinden in een vacuum.

Na verzadiging wordt trapsgewijs een zodanige belasting aangebracht dat het meethorloge bij benadering zijn oorspronkelijke stand inneemt. Hierna worden de volgende belastingstrappen aangebracht met tussenpozen van één week.

De totale belasting is dan:
na de 1e trap $0,004 \text{ N/mm}^2 \approx 0,04 \text{ kg/cm}^2$
na de 2e trap $0,009 \text{ N/mm}^2$
na de 3e trap $0,021 \text{ N/mm}^2$

na de 4e trap 0,044 N/mm²
na de 5e trap 0,079 N/mm²

Het belastingtraject is zodanig gekozen dat alle eventueel optredende waarden erin zijn opgenomen. Hiervan kan uiteraard worden afgeweken.

Aan het einde van iedere belastingtrap kan nu het volume en derhalve het poriënvolume worden bepaald.

Het volume is:

$$A \cdot (h - \Delta h)$$

terwijl het poriënvolume in procenten gevonden kan worden door:

$$n = 100 \frac{A \cdot (h - \Delta h) \cdot \frac{m}{\rho k}}{A \cdot h}$$

Wanneer het belastingschema is afgewerkt, kan de gemeten zakking grafisch worden weergegeven als functie van de belasting (fig. 4). Veelal wordt hierbij de zakking Δz uitgedrukt in % van de oorspronkelijke monsterhoogte h , zoals is weergegeven in onderstaande figuur.

Het in situ poriënvolume zegt, wanneer het gaat om mechanisch verdichte grond, niet zo heel veel omtrent de mate van verdichting. De mate van verdichting kan beter worden bepaald met behulp van het begrip relatief poriënvolume. Dit is als volgt gedefinieerd.

$$\frac{N_{i s} - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}} = N_{\text{rel}} \quad (\text{in procenten eventueel } \times 100)$$

De verhouding zal tussen 0 en 1 liggen of in procenten tussen 0 en 100, en kleiner worden naarmate het minimum poriënvolume wordt genaderd.

De grootheden in bovenstaande relatie zijn:

$N_{i s}$ = in situ poriënvolume

N_{\min} = minimum poriënvolume

N_{\max} = maximum poriënvolume

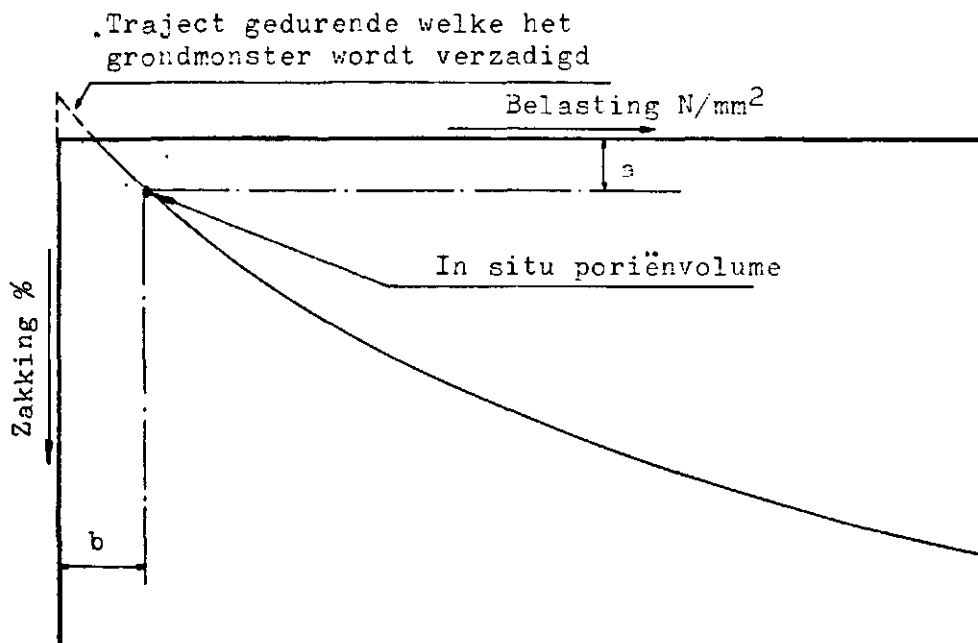


Fig. 4. Last-zakkingsdiagram. Voor het bepalen van de zakking ten opzichte van het in situ poriënvolume dient het assenstelsel over de afstanden a en b te worden verplaatst

Het minimum en maximum poriënvolume wordt bepaald door middel van een vibrator en een maatbeker.

De diameter van de maatbeker is ongeveer 70 mm. Deze wordt gevuld met een stoofdroog monster, waarvan de massa 600 g bedraagt. Het relatieve poriënvolume kan ook worden uitgezet als functie van de belasting.

3.3.2. Resultaten van het samendrukkingsonderzoek

In totaal zijn, voordat de bomen waren geplant, 18 proctormonsters gestoken. Er zijn per plantvak 2 monsters gestoken, welke zijn samengevoegd, zodat van 9 vakken het in situ poriënvolume kon worden bepaald (fig. 5).

De proctormonsters werden voorts gestoken op een niveau van gemiddeld ca. 0,4 m beneden het maaiveld.

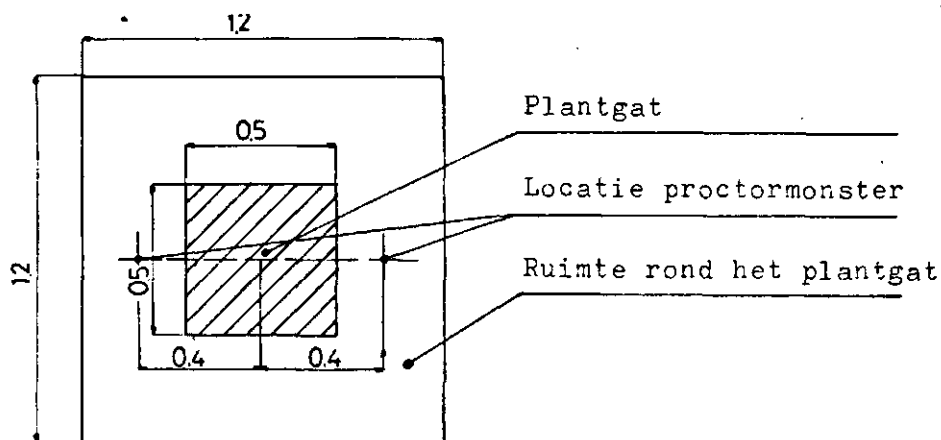


Fig. 5. Lokatie monsternamen met proctorrings 1974

Tabel 2. Poriënvolumina proctormonsters 1974

Vak	Poriënvolume in procenten			Relatief poriënvolume in %
	min.	max.	in situ	
A8	30,23	41,86	36,87	57,09
A21	30,20	41,54	35,20	44,09
B26	34,97	46,44	38,86	33,91
B33	37,85	49,46	41,80	34,02
C46	46,53	57,39	51,24	43,37
C49	46,88	57,48	52,84	56,23
C50	46,88	58,66	51,17	36,42
F5	29,11	40,30	35,26	54,96
G29	39,37	51,75	43,03	29,56

Uit tabel 2 blijkt:

- voor de A en F vakken (0% organische stof) het gemiddelde in situ poriënvolume 35,78% te bedragen (standaardafwijking $\sigma = 0,95\%$);
- voor de B en G vakken (2% organische stof) het gemiddelde in situ poriënvolume 41,23% te bedragen ($\sigma = 2,14\%$);
- voor de C vakken (5% organische stof) het gemiddelde in situ poriënvolume 51,75% te bedragen ($\sigma = 0,94\%$);

d. de mate van verdichting uitgedrukt in het relatieve poriënvolume, uitgesplitst voor elk proefvak, is gegeven in de volgende tabel.

Vak	Relatief poriënvolume in %	
	gemiddelde (\bar{x})	Standaardafwijking (s)
A en F	52,95	6,97
B en G	32,50	2,54
C	45,34	10,05

De vakken A en F zijn gemiddeld het minst verdicht, gevolgd door vak C en daarna de vakken B en G, die het meest verdicht zijn.

Op de bijlagen 5, 6 en 7 zijn enkele resultaten van het samen-drukkingsonderzoek weergegeven.

De zakking in procenten van de oorspronkelijke monsterhoogte is als functie van de belasting aangegeven. Tevens zijn op deze bijlagen de bepaalde in situ poriënvolumen aangegeven. De vanaf dit punt optredende zakking is een maat voor de nog te verwachten zakking.

Indien wordt uitgegaan van een mogelijke belasting van $0,05 \text{ N/mm}^2$, dan kunnen de in tabel 3 genoemde gemiddelde zakkingswaarden worden afgeleid.

Tabel 3. Zakking bij een belasting van $0,05 \text{ N/mm}^2$, gemiddelden van in tabel 2 genoemde monsters

Vak	Zakking in % van de oorspronkelijke laagdikte	
	gemiddelde (\bar{x})	standaardafwijking (s)
A en F	1,18	0,46
B en G	1,17	0,86
C	3,28	0,46

Indien bovenstaande cijfers worden vergeleken met de gemeten zakking van het straatoppervlak, dan blijkt

- de gemeten tendens redelijk overeen te stemmen met de door middel van samendrukkingsonderzoek verkregen resultaten;
- voor de vakken A en F de gemiddelde te verwachten zakking 1,18% van 1200 mm = 14,20 mm te zijn; (na een periode van 2½ jaar na het aanbrengen van de proefvakken werd 5,3 mm zakking gemeten);
- voor de vakken B en G de gemiddelde te verwachten zakking 1,17% van 1200 mm = 14,04 mm te zijn; (gemeten werd 9,3 mm);
- voor de vakken C de gemiddelde te verwachten zakking 3,28% van 1200 mm = 39,36 mm te zijn; (gemeten werd 18,8 mm).

De gemeten zakking van het straatoppervlak is voor alle mengsels lager dan bij samendrukking met een druk van $0,05 \text{ N/mm}^2$. De belasting van de mengsels in de planruimten was dan ook lager dan $0,05 \text{ N/mm}^2$. Wel zal men bij mengsels met veel organische stof er op bedacht moeten zijn dat de zakking in de loop van jaren naast samendrukking ook veroorzaakt kan worden door oxydatie van de organische stof. Bij de 5% mengsels en zeker bij de 2% mengsels zal wanneer goed homogeen is gemengd de zakking door oxydatie nog van ondergeschikt belang zijn.

3.4. V o r s t g e v o e l i g h e i d

In het kader van het onderzoek bestond ook de behoefte het inzicht in het eventueel optreden van vorstschade enigszins te verdiepen. Bij het bevriezen van grond treden fysische en mechanische processen in werking die de eigenschappen van grond kunnen veranderen. Door het bevriezen van grond kunnen het watergehalte en de waterspreiding zich in belangrijke mate wijzigen.

De structuur van bevroren grond kan belangrijk verschillen van de structuur van niet bevroren grond.

Het mechanische proces bij het bevriezen van grond wordt in hoge mate bepaald door een watermigratie waardoor het watergehalte en de waterverdeling in de grond aanzienlijk kunnen veranderen. Wanneer de vorstgrens de grond bereikt zullen er, indien water beschikbaar is, kleine ijskristallen ontstaan. Door de groei van de ijskristallen

ontstaat een watertekort in het front hiervan. Dit watertekort wordt aangevuld met het niet gebonden water uit de omgeving ('pomp'-werking).

Er wordt dus steeds water toegevoerd naar het ijsfront, waardoor ijslenzen ontstaan. Er zijn dus twee aspecten belangrijk bij de vorming van ijsconcentraties, namelijk: er moet een waterstroom ontstaan in de richting van het initiële ijsfront en er moet voldoende water kunnen worden aangevoerd om het ontstane tekort aan te vullen.

De factoren die van invloed zijn op bovenstaande aspecten zijn hoofdzakelijk de volgende:

- a. de korreldiameter en korrelverdeling;
- b. de doorlatendheid;
- c. de waterhoeveelheid;
- d. de aanwezigheid van een bovenbelasting;
- e. de indringingssnelheid van het vorstfront.

Ad a. Uit buitenlandse onderzoeken is gebleken dat korrels met een diameter kleiner dan 0,05 mm van invloed zijn op de waterstroom. Hoe kleiner de korreldiameter is, hoe groter de vorstgevoeligheid.

Ad b. De vorstgevoeligheid is zeer gering van gronden met een hoge verzadigde doorlatendheid (10^{-1} à 10^{-2} mm/s). Een maximale vorstgevoeligheid werd bepaald voor gronden waarvan de doorlatendheid ongeveer tussen 10^{-4} en 10^{-6} mm/s lag. Dit is te verklaren uit het feit dat gronden met lage doorlatendheid gewoonlijk veel kleine poriën bevatten; bij droger worden van de grond blijven deze kleine poriën nog lang met water gevuld, waardoor nog relatief snel water kan stromen naar het vorstfront.

Ad c. Indien er een geringe hoeveelheid ongebonden water beschikbaar is, zal de toevoer eveneens gering zijn en kan de waterstroom in de richting van het ijsfront onvoldoende worden onderhouden. De vorming van ijslenzen zal dan gering zijn.

Ad d. De aanwezigheid van een bovenbelasting is van invloed op de korrelspanning. Het is gebleken dat een vermeerdering van de bovenbelasting een significante vermindering van het opvries-effect ten gevolge heeft.

Ad e. Indien de grond snel wordt bevroren kan de watermigratie zich maar gedeeltelijk voltrekken. Dit heeft tengevolge dat de ijsconcentraties zich slechts gedeeltelijk kunnen ontwikkelen. Met andere woorden: een langzame penetratie van het ijsfront is gunstig voor de ontwikkeling van ijslenzen.

Om een indruk te verkrijgen van gronden die vorstgevoelig zijn, wordt verwezen naar het schema fig. 6. Op dit schema is zeer globaal de vorstgevoeligheid weergegeven als functie van de hiervoor genoemde parameters. Indien het schema toegepast wordt op het zand van de ruimte rond het plantvak dan geldt:

korrelverdeling = matig grof → doorlatendheid = groot;
 watergehalte = gering, korrelspanning = gering → zeer licht vorstgevoelig.

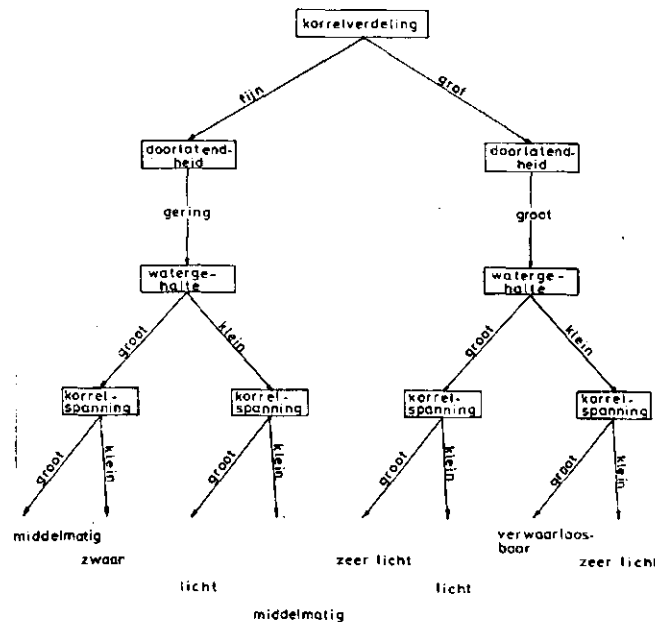


Fig. 6. Schema vorstgevoeligheid

Door toevoegen van 2 of 5% zwartveen neemt het watergehalte van het materiaal toe, het watergeleidingsvermogen van iets drogere grond neemt weinig toe. De vorstgevoeligheid van het mengsel zal als gevolg van groter watergehalte een klasse sterker zijn dan van schoon zand.

Definities

Voor de grondmonsters met een hoogte van 150 mm, welke worden bevroren met een snelheid tussen 6,4 mm/dag en 19,1 mm/dag zijn onderstaande schalen aangenomen.

Gemiddelde mate van opvriezen in mm per dag	Vorstgevoeligheid
0 - 0,5	verwaarloosbaar
0,5 - 1,0	zeer licht
1,0 - 2,0	licht
2,0 - 4,0	middelmatig
4,0 - 8,0	zwaar
8,0	zeer zwaar

Literatuur

'Cold room studies' U.S. Army, New England Division, Boston (1951).

'De mechanische eigenschappen van bevroren grond en de toepassing ervan als dragend constructiemateriaal bij de bouw van een metrostation nabij het Centraalstation'. J. Dirksen, rapport Bureau Grondmechanica, opdracht 2664.0 (1975).

'Fysische achtergronden van vorstverschijnselen in grond'.
L. Wartena (1970).

3.5. Indringingsweerstand en dichtheid

3.5.1. Methodiek

Het onderzoek is verricht met behulp van de bij de Stichting voor Bodemkartering, door Soesbergen en Vos ontwikkelde penetrograaf. Enkele gegevens van deze penetrograaf zijn:

Meetprincipe - veersysteem
Registratie - zelfregistrerend en continu
Meetbereik - 0,8 m

Diameter stang - 8 mm
Conus - 100 mm²
Tophoek conus - 60°

De stang met conus wordt met de hand in de grond gedrukt en de op de handvatten uitgeoefende kracht wordt door een stift op een registratiekaart getekend (zie fig. 7). Deze kracht wordt vertaald als indringingsweerstand opgegeven in kracht per oppervlakte-eenheid conus doorsnede. Deze oppervlakte van de gebruikte conus bedraagt 1 cm², de registratie op de kaart (fig. 7) is in kgf/cm² (1 kgf/cm² = 0,098 N/mm²). Ondanks het feit dat de indringingsweerstand per oppervlakte-eenheid conus wordt berekend blijkt deze niet onafhankelijk van tophoek en conus oppervlak, zodat het type meetconus dient te worden vermeld.

Verder is de gemeten indringingsweerstand afhankelijk van de meetdiepte en wel tot een diepte van ca. 10 x de conusdiameter bij een grond met lage inwendige wrijving (b.v. zachtere humeuze grond) maar tot ca. 20 x de conusdiameter bij een grond met hoge inwendige wrijving (b.v. schoon zand). Bij het indringen van de conus in de grond wordt materiaal tot op vrij grote afstand verplaatst dicht bij het oppervlak kan een deel naar het oppervlak 'uitwijken' wat de benodigde kracht lager doet zijn. Ook een dieper gelegen dichtere of lossere laag beïnvloed de meting reeds op een afstand van 3 à 5 x de conusdiameter (SANGLERAT, 1972).

De indringingsweerstand is onder andere afhankelijk van dichtheid, humus en lutumgehalte maar ook sterk van het vochtgehalte van een grond; daarom is in deze proef steeds gemeten bij hetzelfde vochtgehalte van de grond en wel in het voorjaar voordat er water aan de grond is onttrokken door de bomen.

Metingen en verwerking daarvan

De meeste sonderingen zijn verricht vlak voor het planten van de bomen april 1974 en bij het beëindigen van de proef april 1977.

In fig. 8 is de lokatie van de metingen in het proefvak aangegeven.

Verder zijn volume monsters gestoken; in 1974 proctorringen (inhoud 2385 cm³) en 100 cm³ ringen bij het plaatsen van neutronen-

object *S. d.*
 nr. *14/av 4*
 date *5-4-77*

object *S. d.*
 nr. *5/4/av 2*
 date *5-4-77*

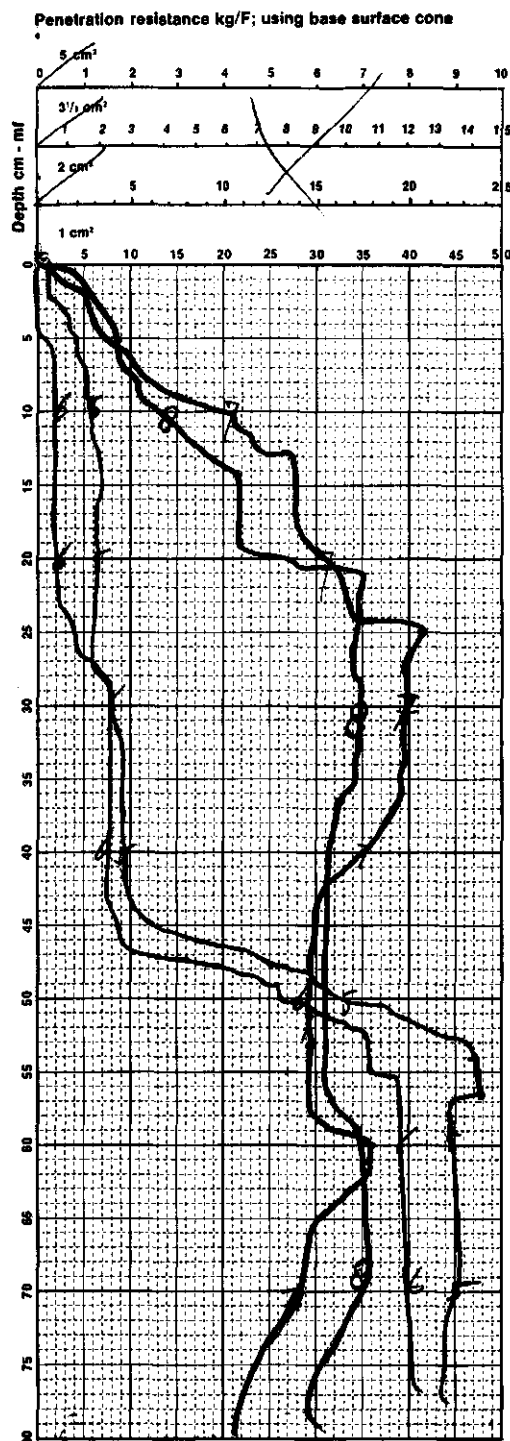
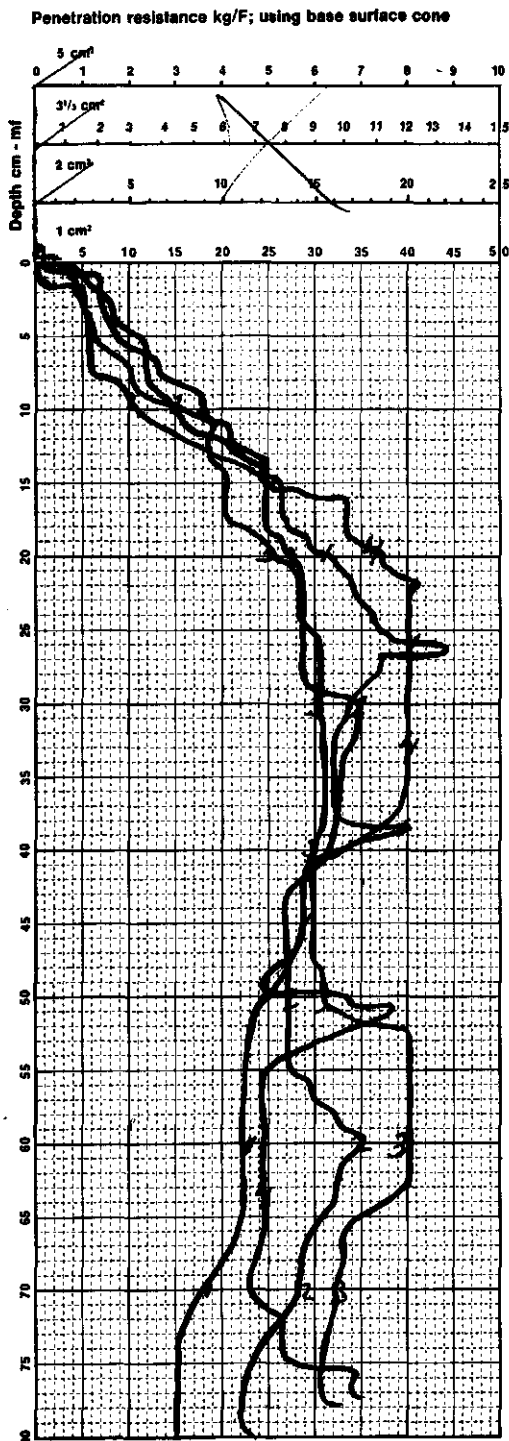


Fig. 7. Voorbeeld van registratie van sondering met penetrograaf, de ingeschreven cijfers corresponderen met de in fig. 8 en 9 aangegeven plaatsen

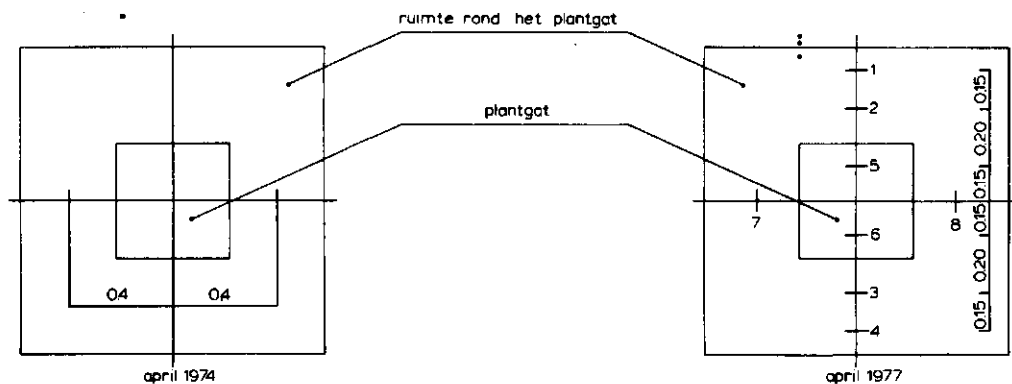


Fig. 8. Bovenaanzicht proefvakken met lokatie sonderingen. Per serie proefvakken werden in 1974 9 à 24 sonderingen uitgevoerd in 1977 52 à 63 sonderingen

buizen, in april 1977 zijn vooral 100 cm^3 en 232 cm^3 monsters genomen op de in fig. 9 aangegeven plaatsen. Van de volume monsters zijn droge dichtheid, vochtgehalten en organische stofgehalten bepaald (dichtheden bepaald aan monsters gestoken met 100 cm^3 ringen verschillen niet van de monsters gestoken met de 232 cm^3 , de resultaten zijn daarom niet afzonderlijk vermeld).

3.5.2. Resultaten

Van de penetrograaf-registratiestroken is per 5 cm diepte de indringingsweerstand: I_w afgelezen. Per serie proefvakken is van de planruimten en de plantgaten per diepte de gemiddelde waarde van I_w bepaald en het traject waarbinnen volgens kansberekening 95% der waarnemingen valt.

De fig. 10 en 11 geven de resultaten van de sonderingen in april 1977 voor respectievelijk de met zand gevulde ruimten (sondering nr 1, 2, 3, 4, 7 en 8) en de plantgaten (sondering nr 5 en 6) van de A-serie.

Alle metingen in de planruimten van 1974 en 1977 zijn op deze manier verwerkt en per grondsoort samengevat gegeven in fig. 12 en 13.

Omdat in de met zand gevulde ruimten (A en F) in 1977 alleen dicht bij het plantgat wortels werden waargenomen, zijn de gegevens

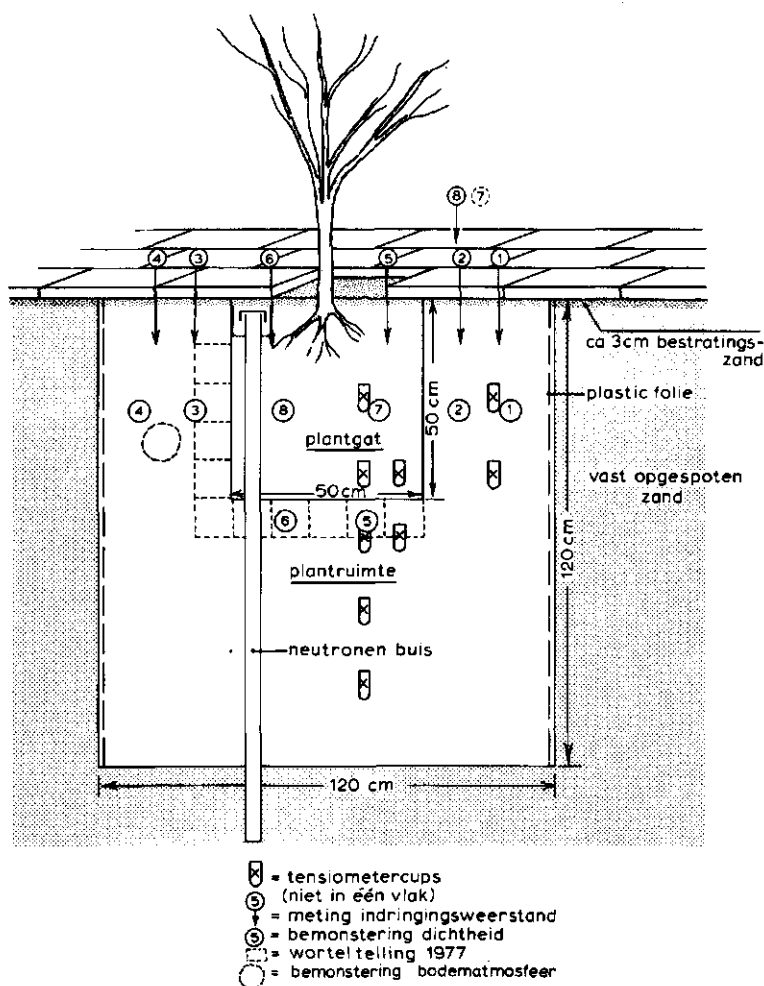


Fig. 9. Opbouw van een plantvak plus lokatie en codering van waarnemingen

verder uitgesplitst naar afstand tot het plantgat (voorbeeld van verwerking zie bijlage 8)). Verder is ook de droge dichtheid in de buurt van de waargenomen I_w -waarden in de weergave van resultaten (zie fig. 14, 15 en 16) meegenomen.

De verschillen in organische stofgehalten tussen monsters van één mengsel waren klein, uit statistische analyse van de resultaten blijkt dat verschillen in dichtheid of indringingsweerstand bij één mengsel niet uit verschillen in organische stofgehalten zijn te verklaren. Ook was binnen een mengsel geen verband aantoonbaar tussen dichtheden en de indringingsweerstand gemeten op maximaal 10 cm afstand van de plaats waar de monsters voor de dichtheidsbepaling zijn genomen.

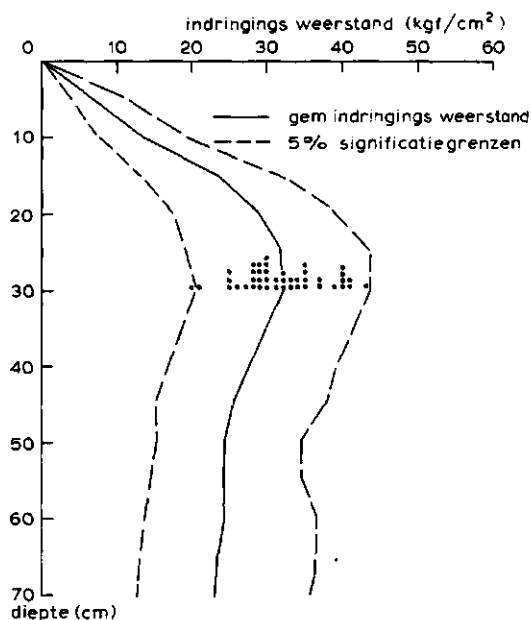


Fig. 10.
 Gemiddelden en spreiding van indringingsweerstand in de plant-ruimten van de A serie (april '77 sondering 1, 2, 3, 4, 7, 8 aantal 46) enkele waarnemingen van één diepte - 30 cm ingetekend

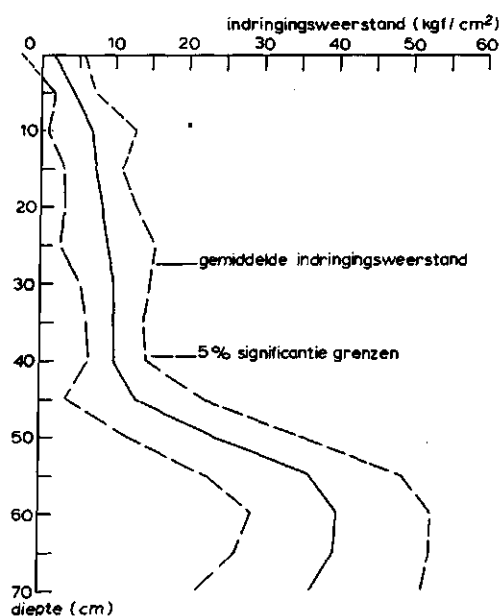


Fig. 11.
 Als fig. 10 nu door plantgaten (nrs 5 en 6) van de A serie aantal sonderingen = 16

Bezien we de met zand gevulde plantruimten van de A en F serie dan blijkt dat de indringingsweerstand toeneemt vanaf het oppervlak tot 20 à 30 cm diepte, waar waarden worden gemeten van 42 tot 20 kgf/cm² of 32 kgf/cm² gemiddeld, een weerstand waarvan bekend is dat deze te hoog is voor wortelgroei (fig. 12 t/m 15).

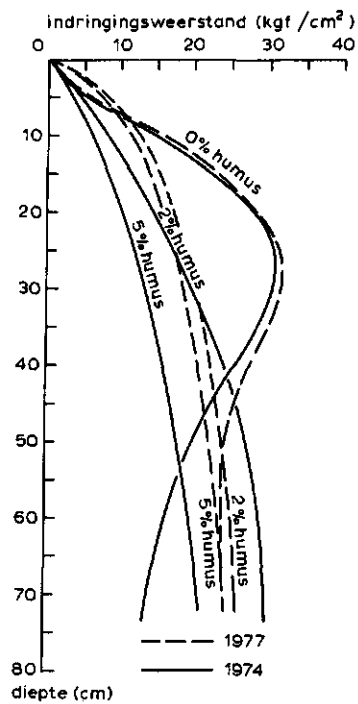


Fig. 12. Indringingsweerstand gemeten in 1974 en 1977 gemiddeld per mengsel

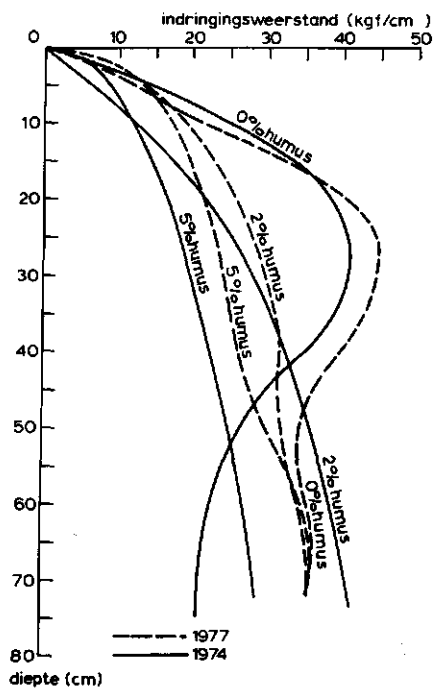


Fig. 13. Indringingsweerstand gemeten in 1974 en 1977 bovengrens traject waarbinnen 95% der metingen valt; gemiddeld per mengsel

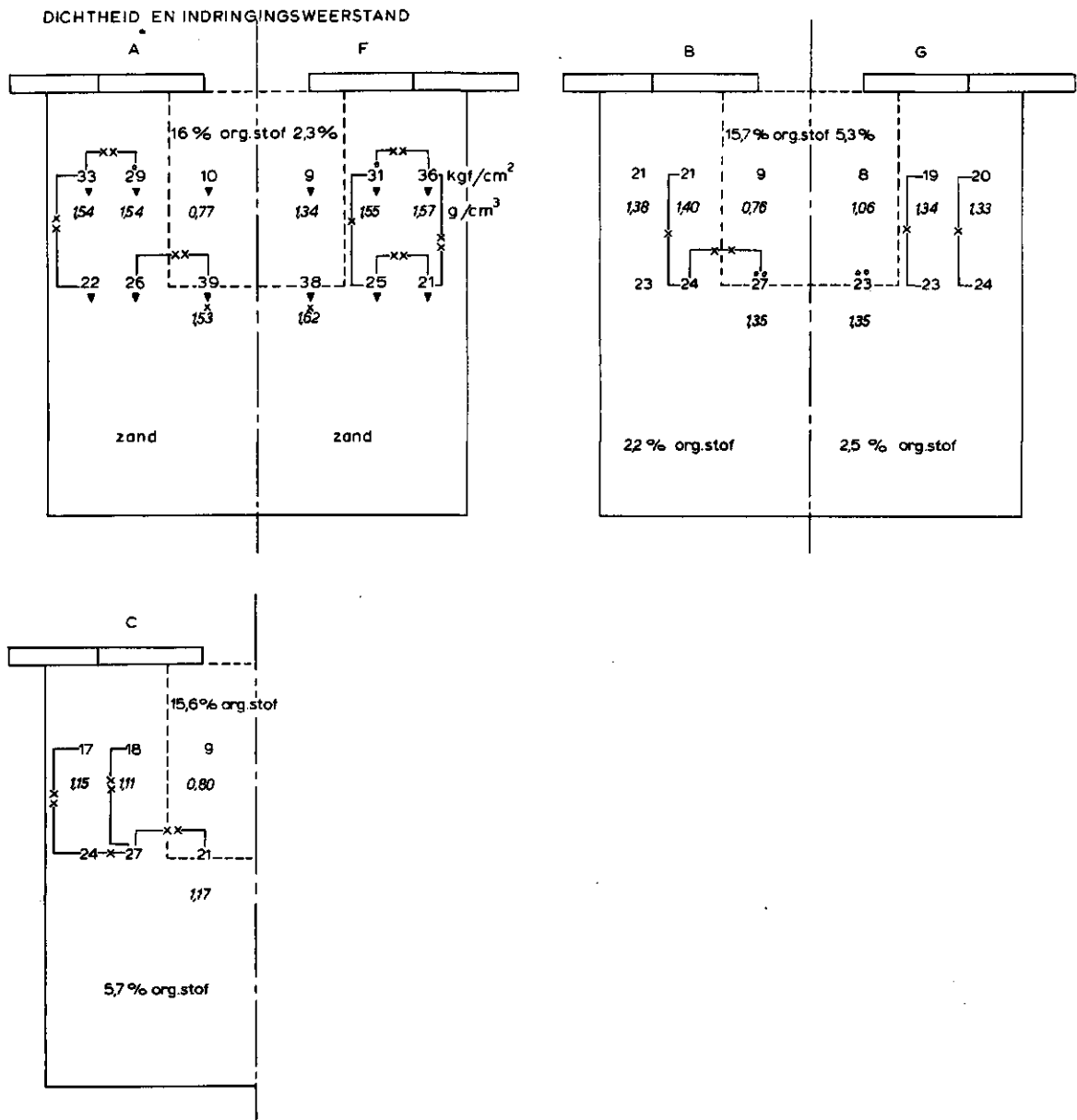


Fig. 14. Metingen 1977, indringingsweerstand: I_w in kg/cm^2 (gemiddelden van 15 à 20 waarnemingen \pm standaardafwijking gemiddelden) dichtheden ρ in g/cm^3 (geschreven in vierkant kader gemiddelden van 9 à 13 waarnemingen)

▼ = plaatsbepaling I_w en ρ

xx = verschil 95% significant x = verschil 90% significant

oo = verschild 95% significant van overeenkomstige plaats in andere serie met zelfde mengsel

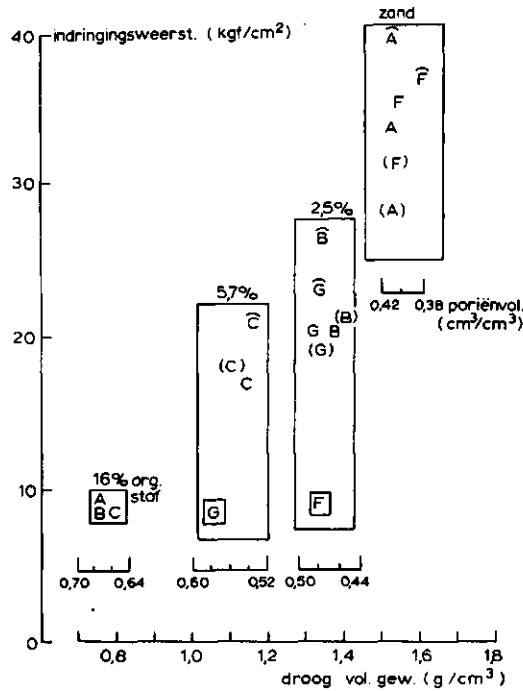


Fig. 15. Verband tussen dichtheid en indringingsweerstand in de verschillende mengsels (1977)

A = 20 cm naast plantgat (plaats 1 + 4 in fig. 9) (A) = 10 cm naast plantgat (plaats 2 + 3) \hat{A} = 10 cm onder plantgat
A = in plantgat (sondering 5 + 6 op 30 cm, dichtheid 7 + 8)

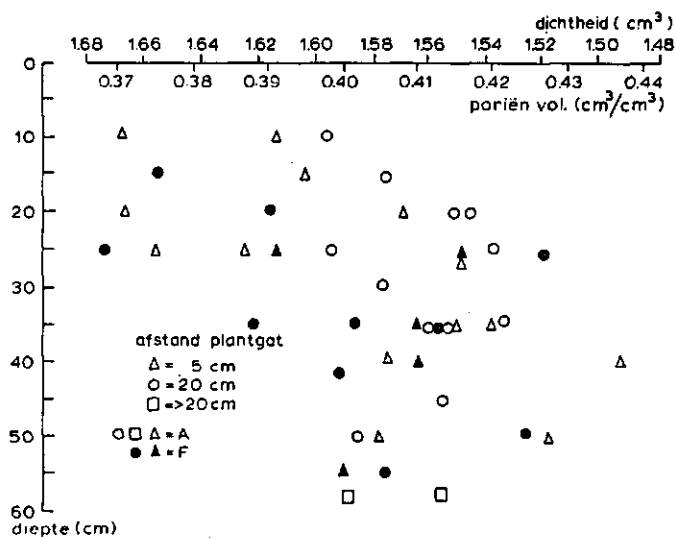


Fig. 16. Dichtheid van zand in de plantruimten A en F op verschillende diepten en afstanden tot het plantgat

De lage indringingsweerstand die worden gemeten tussen 0 en 20 cm diepte zijn niet toe te schrijven aan de dichtheid van het materiaal. Zoals blijkt uit fig. 16 is de dichtheid daar zelfs hoger. De lage waarden worden dus veroorzaakt door de nabijheid van het bodemoppervlak. De afnemende I_w op diepten beneden 30 cm kon niet significant worden verklaard uit de dichtheid, noch uit de vochtspanning, welke van 10 tot ca. 50 cm diepte weinig verandert (constant ca. - 50 cm).

In de zand-zwartveenmengsels blijft I_w zeker tot 50 cm-oppervlakte met de diepte toenemen maar ondoorwortelbaar hoge waarden worden niet bereikt. Zie fig. 12.

De verandering van de indringingsweerstand van 1974 tot 1977 (zie 12 en 13): Op grotere diepten in het zand en in de 5% mengsels is I_w in deze periode ca. 5 kgf/cm^2 toegenomen, in het 2% mengsel is I_w echter lager geworden. De reden van dit verschil is onbekend.

Een vraag is of I_w in de loop der tijd nog sterk zal veranderen; dit is niet waarschijnlijk. Uit een kleinere reeks sonderingen uit 1976 blijkt dat de veranderingen voor het grootste deel reeds tussen 1974 en 1976 hebben plaatsgevonden.

De afstand tot het plantgat blijkt in de met zand gevulde plantruimten duidelijk van invloed op I_w (zie fig. 14). Op 30 cm diepte is I_w op 10 cm afstand van het plantgat lager dan op grotere afstand, bovendien is I_w op 10 cm afstand van met schraal mengsel gevuld plantgat (F serie) weer duidelijk hoger dan langs het plantgat met bomengrond (A serie). De dichtheid van het zand verschilt niet, waarschijnlijk is het zand vlak langs de bomengrond wat makkelijker opzij te drukken door de penetrometer, maar ook door de boomwortels, getuige het verdere doordringen van wortels in het zand van de A serie.

De hoogste I_w en ook dichtheden worden gemeten in het zand onder de plantgaten, mogelijk is bij het invullen van de plantgaten het toen vrij vochtige zand extra verdicht.

Alle gegevens wat betreft I_w , dichtheid en organische stofgehalten van de metingen uit 1977 zijn samengevat in de grafiek fig. 15.

Bij deze figuur kan worden opgemerkt:

1. dat bij één grondsoort slechts kleine variatie voorkomen van de dichtheid maar wel vrij grote variaties in indringingsweerstand, die vaak duidelijk afhankelijk zijn van de plaats in het zandgat;
2. dat tussen demengsels en het zand wel grote verschillen aanwezig zijn, zowel voor wat betreft dichtheid als indringingsweerstand. I_w in het zand is hoog, met gemiddelden per plaats van 39 tot 29 kgf/cm². In de mengsels is I_w duidelijk lager; 27-17 kgf/cm²;
3. dat in de plantgaten (hier is de grond slechts licht aangestampt) I_w in alle series praktisch gelijk is (8 à 10 kgf/cm²) hoewel de dichtheden toch sterk verschillen. Het effect van kleinere dichtheid wordt gecompenseerd door de hogere organische stofgehalten.

3.6. D e v e r a n d e r i n g v a n d i c h t h e i d e n a f b r a a k o r g a n i s c h e s t o f

De in 1974 gemeten dichtheden zijn, zoals uit tabel 4 blijkt, iets hoger dan de in 1977 gemeten dichtheden.

Dit verschil in dichtheid is waarschijnlijk te wijten aan het verschil in wijze van bemonstering. In 1974 zijn verticaal met vrij veel kracht monsters genomen. In 1977 werden de monsters uit een verticale wand gestoken wat de grond iets minder kan hebben verdicht.

Het gehalte aan organische stof is in 3 jaar gemiddeld iets gedaald (tabel 4). Gezien de spreiding van de getallen is de grootte van de daling nog niet erg nauwkeurig vast te stellen.

Een prognose van de daling is ook mogelijk aan de hand van de gemeten oxydatieverliezen van organische stof zoals die in de bouwvoor van bouwland in de Veenkoloniën en in de oppervlaktelaag van veengraslanden zijn gemeten.

In bouwland zoals in de Veenkoloniën veel voorkomt oxydeert van rijkveen ca. 4% per jaar en van armveen, dit is veen met een laag stikstofgehalte zoals bijvoorbeeld zwartveen, 2% per jaar. (Na verloop van tijd wordt door vastlegging van stikstof armveen bij gebruik als bouwland weer rijker).

In veen-weiland oxydeert in drogere grond van de bovenlaag ca. 2% veen per jaar (SCHOTHORST, 1978).

Tabel 4. Dichtheid (ρ), poriënvolume (ϵ_t) en organische stofgehalten (H) monsternamen mei 1974 en april 1977.

Notatie: 0,91 (9 0,04) = gemiddelde = 0,91 aantal monsters = 9 standaardafwijking gemiddelde (σ/\sqrt{n}) = 0,04

Plaatscode	1974			1977		
	30 cm 1 + 4	60 cm 5 + 6	30 cm 1, 2, 3 + 4	60 cm 5 + 6	30 cm 1, 2, 3 + 4	60 cm 5 + 6
Serie A	ρ (g/cm^3)	1,64	1,50	1,59	1,54 (26 0,01)	1,54 (6 0,05)
	ϵ_t (cm^3/cm^3)	0,368	0,352	0,40	0,42	
	H (gew. %))	0,4			0,4	
Serie F	ρ	1,7	1,59	(3 0,02)	1,56 (15 0,02)	1,62 (6 0,01)
	ϵ_t	0,352	0,40		0,41	0,39
	H	0,4	-			0,4
Serie B	ρ	1,60	1,53	1,40	1,39 (12 0,03)	1,35 (6 0,05)
	ϵ_t	0,388	0,418	0,46	0,47	0,48
	H	2,16	(4 0,27)	-		2,18(18 0,19)
Serie G	ρ	1,48	-	-	1,34 (0,02)	1,35 (8 0,04)
	ϵ_t	0,43	-	-	0,48	0,48
	H	2,71	(4 0,60)	-		2,54(24 0,14)
Serie C	ρ	1,22	(3 0,01)	1,18 (3 0,03)	1,13 (18 0,01)	1,17 (10 0,02)
	ϵ_t	0,52	0,541		0,55	0,54
	H	5,98	(6 0,49)			5,72(30 0,20)
Plaats 7 + 8	ρ	0,91	(9 0,04)		0,78 (24 0,03)	
Voor H in '74 mengmonster	ϵ_t	0,61			0,67	
	H	16,8			15,8 (20 0,35)	

H = gloeiverlies - 0,44 kalkgehalte
 Kalkgehalte: zand = 0,7 %
 " " = 0,65%
 " " = 0,55%
 " bomengrond = 1,2 %

$$\epsilon_t = 1 - \rho \left(\frac{0,01 H}{1,47} + \frac{1 - 0,01 H}{0,65} \right)$$

De hoogste afbraaksnelheden worden gevonden in grond die regelmatig wordt bewerkt, bijvoorbeeld in de bouwvoor van akkerland. Onder bestrating blijft de grond verder onaangeroerd, zodat daar waarschijnlijk per jaar niet meer dan 2% van de toegevoegde organische stof wordt afgebroken.

Een afbraaksnelheid van 2 à 4% per jaar van het toegevoegde zwartveen betekent voor het 2% mengsel een daling in 3 jaar van 0,12 à 0,24% organische stof, voor het 5% mengsel 0,30 à 0,60% en voor de bomengrond met 16% organische stof 0,96 à 1,92%. De waargenomen dalingen komen het meest overeen met die voor een afbraaksnelheid van 2% per jaar, zowel voor de bomengrond als de mengsels.

De afname in de mengsels is minder groot dan verwacht omdat ook was 'bemest' met 10 kg VAM compost en 17 kg Culterrakorrels per m³. Van de organische stof in deze stoffen is de afbraaksnelheid vooral in het eerste jaar groot, namelijk 40% voor VAM compost, 40% voor Culterrakorrels (stalmeest ca. 50%, Rioolslib 25%) (mededelingen voorlichting VAM plus nota 872 ICW).

Het is daarom waarschijnlijk dat de afbraaksnelheid na de eerste jaren lager zal zijn dan 2% per jaar.

Bij de beantwoording van de vraag welk organische stofgehalte te verwachten is na een langere reeks van jaren moet worden gerekend met het feit dat in begroeide grond niet alleen organische stof wordt afgebroken, maar dat er een toevoer is van organische stof in de vorm van afgestorven wortels en bovengrondse plantenresten. Bij een bepaald organische stofgehalte wordt de jaarlijkse afvoer gelijk aan de toevoer. Dit gehalte is in warme klimaten erg laag < 1%; in ons klimaat ligt dit gehalte afhankelijk van aeratie toestand, zuurgraad en organische stof toevoer bijvoorbeeld in de bouwvoor van landbouwgronden tussen 2 en 4%.

Ook in een plantruimte van een boom zal er een evenwichtsgehalte zijn, waar de afbraak gelijk is aan de aanvoer door het afsterven van wortels. Een schatting is dat dit evenwichtsgehalte 1,5 à 2% zal zijn, afhankelijk van de bewortelingsintensiteit en verder dat na 30 jaar het organische stofgehalte in het 5% mengsel 2,5 à 3% zal zijn en in het 2% mengsel niet lager dan 1,5%.

3.7. Luchthuishouding

Zomer 1974 vertoonden de bomen, vooral van de C serie verkleuringen die duiden op onvoldoende aeratie. Vanaf 19 september 1974 is toen geregeld het O_2 en CO_2 gehalte van de bodemlucht bepaald. Eerst op 30 cm en op 60 cm diepte in de planruimten, toen echter tussen de waarnemingen op 30 en 60 cm diepte geen verschillen voorkwamen is alleen op 30 cm diepte gemeten.

Gedurende de hele waarnemingsperiode is de toename van de CO_2 gehalten gelijk aan de daling van het O_2 gehalte ten opzichte van buitenlucht (21 vol. %). Daarom zijn in fig. 17 alleen de gemeten O_2 gehalten ingetekend. Het blijkt dat in de C serie de laagste O_2 gehalten voorkomen. Bij de eerste meting in 1974 wordt in de C serie gemiddeld 8,5 vol. % O_2 gemeten terwijl het gemiddelde in de A, F, B en G series respectievelijk 18,0; 19,0; 10,5 en 12 vol. % O_2 is.

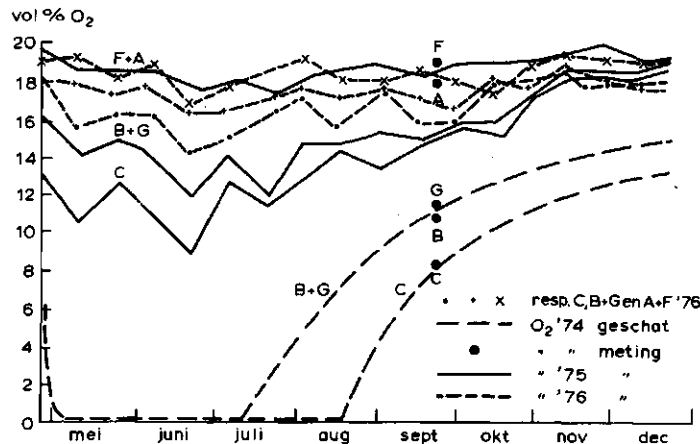


Fig. 17. Gemiddelde O_2 gehalten in de planruimten gemeten september 1974, 1975 en 1976. Voor 1974 is het verloop geschat

De O_2 gehalten die september 1974 in de C, B en G series werden gemeten zijn geen bijzondere schadelijke waarden. Maar in de eerste 3 à 4 maanden na invullen moeten planruimten wel anaëroob zijn geweest.

De lage zuurstofgehalten zijn veroorzaakt door verbruik van zuurstof.

1. Door de boomwortels
2. Door oxydatie van organisch materiaal in de kleine plantgaten
3. Door oxydatie in de plantruimten van de meststoffen en het veen

In de C, B en G serie is zeker het eerste jaar na invullen de meeste zuurstof gebruikt voor de oxydatie van de toegevoegde Culter-rakorrels en VAM compost (17 en 10 kg/m³). Uit metingen van zuurstof-consumpties van onder andere zand- en bomengrond waaraan Culterrakorrels zijn toegevoegd blijkt dat een groot deel van de in dit soort meststoffen aanwezige organische stof binnen enkele maanden wordt geoxydeerd.

Het verloop van de O₂ consumptie bij onbeperkte O₂ toevoer en bij beperkte O₂ toevoer wordt gegevens in fig. 18.

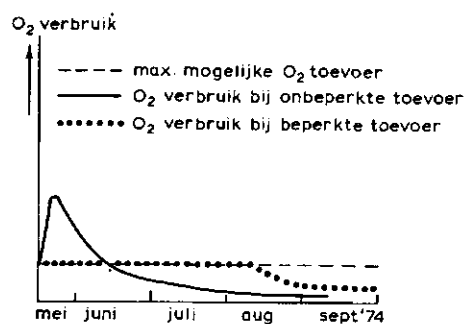


Fig. 18. Verloop O₂-verbruik van zand-zwartveenmengsel met organische mest bij onbeperkte en beperkte O₂-toevoer

Wanneer in 1974, maanden na aanleg, nog O₂ dalingen van 8 à 10% worden gemeten, dan moet gezien het hoge aanvangsverbruik in de periode daarvoor, de aanvoersnelheid beslist ontoereikend zijn geweest. Nemen we aan dat het verbruik in het 5% mengsel (C serie) iets hoger is dan in de 2% mengsels (B en G) dan is naar schatting de plantruimte van de C serie tot ca. 1/2 aug. en die van de B en G series tot 1/2 juli anaëroob geweest.

Dat de bomen dit overleefden is te danken geweest aan het feit dat het kleine nog ondiepe wortelstelsel zich dicht onder de open plantspiegel bevond, waar de grond het kortst anaëroob is geweest. Bomen met een dieper wortelstelsel hadden deze situatie waarschijnlijk niet overleefd.

Met het toedienen van makkelijk verteerbare organische stof moet men dus uiterst voorzichtig zijn. In de relatief gunstige situatie van deze proef (pas gelegd trottoir wat niet werd gebruikt zodat de voegen tussen de tegels niet snel verstopt raakten met vuil) zou niet meer dan 1/3 van de nu gebruikte dosering nog te tolereren zijn.

Dat in de loop van de jaren de oxydatiesnelheid in de mengsels afneemt is goed te zien in fig. 17. Het verloop van de O₂-concentraties in de A en F vakken (zand) is in 1975 en 1976 praktisch gelijk doch de O₂ daling ten opzichte van de buitenlucht in de mengsels (B + G en C) is in 1976 aanzienlijk kleiner dan in 1975.

Uit de waarden van de O₂-daling in de verschillende series is ook ongeveer te berekenen hoe groot de bijdrage van de verschillende materialen is in de totale daling van het O₂-gehalte.

Noemen we de bijdrage van het kleine plantgat plus wortels PW, van het zwartveen in het 2% mengsel V, in het 5% mengsel 2,5 V en van de bemesting M dan zijn de volgende vergelijkingen op te stellen:

		O ₂ -daling (vol. %)		
		1974 sept.	1975 mei-aug.	1976 mei-aug.
Serie A	PW	= 2,5	2,6	2,5
Serie B + G	PW + V + M	= 10	6,8	3,5
Serie C	PW + 2,5 V + M	= 12,5	8,9	4,8

De oplossing hiervan is:

Periode	Bijdrage in O ₂ -daling van		
	plantgat + wortels	2% zwartveen	mest
sept. 1974	2,5 vol. %	1,7 vol. %	5,8 vol. %
mei-aug. 1975	2,6 vol. %	1,4 vol. %	2,8 vol. %
mei-aug. 1976	2,5 vol. %	0,9 vol. %	0,1 vol. %

De daling van het aandeel van de bemesting is zeer duidelijk. Verder is waarschijnlijk dat vooral in het begin de afbraaksnelheid van het zwartveen zelf door het toevoegen van mest ook is verhoogd.

3.8. Waterhuishouding

De aanvoer van regenwater naar de straatboom is vaak klein doordat veel regenwater via het wegooppervlak direct wordt afgevoerd. Een belangrijk doel van de grondverbetering is daarom een zodanige standplaats te maken dat de boom in de zomer voldoende water aan de grond kan onttrekken.

Het uit de grond te onttrekken water is te onderscheiden in:

- a. de watervoorraad. Dit is de hoeveelheid water die aan de doorwortelde grond kan worden onttrokken,
- b. de wateraanvoer. Dit is de aanvoer van water vanuit niet doorwortelde grond naar wel doorwortelde grond die door de boomwortels wordt drooggezogen.

(Deze wateraanvoer kan zeer hoog zijn wanneer op niet te grote diepte grondwater aanwezig is)

3.8.1. Watervoorraad in de doorwortelde grond

Fig. 19 geeft voor de in de proef gebruikte materialen de vocht-karakteristiek (ook wel pF-curve genoemd); dit is het verband tussen het vochtgehalte en de daarbij behorende vochtspanning Ψ of druk van het water in de grond.

Het voor de bomen beschikbare gehalte aan water in de grond is het vochtgehalte in het voorjaar, voordat water aan de grond is onttrokken en nadat het regenwater is uitgezakt (= veldcapaciteit), minus de hoeveelheid vocht die nog in de grond achterblijft, wanneer deze zover is uitgedroogd dat de boomwortels geen water meer kunnen opnemen (verwelkingspunt).

'Teveel' aan regenwater zakt als gevolg van de zwaartekracht naar beneden. Dit uitzakken stopt wanneer de geleidbaarheid voor water in de droog zakkende grond zo laag is geworden dat praktisch geen water meer kan stromen. In het middel grove zand is dit bij een vochtspanning van ca. - 50 cm (deze waarde varieert per grondsoort in zavel b.v. is dat bij ca. - 100 cm).

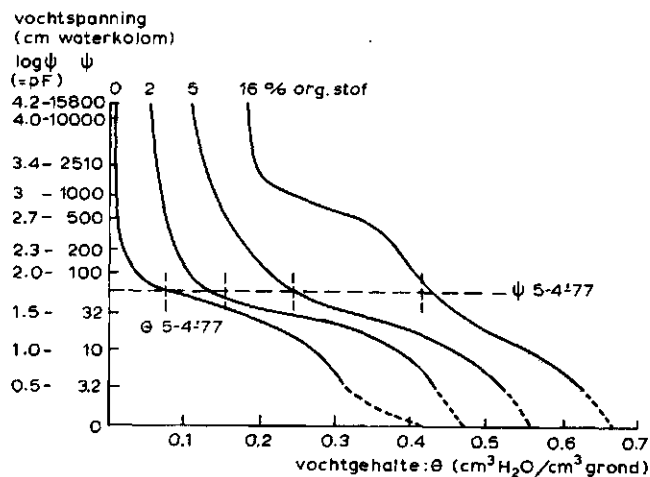


Fig. 19. Verband tussen vochtgehalte (θ) en vochtspanning (Ψ) van de gebruikte mengsels (2 en 5%) het zand en de 'bomengrond' (16% org. stof) bepaald in het laboratorium plus θ en Ψ gemeten in het veld op 5 april 1977

In een zandprofiel op 'veldcapaciteit' is de vochtspanning op het niveau van de grondwaterspiegel 0 cm, daalt tot - 20 cm bij een afstand van 20 cm boven de grondwaterspiegel tot - 50 cm bij 50 cm afstand en blijft vervolgens - 50 cm voor alle afstanden boven 50 cm. Het verwelkingspunt wordt bereikt bij een vochtspanning van ca. - 16 000 cm.

Uit tabel 5 blijkt dat het bijmengen van tuinturf het gehalte aan voor de plant beschikbaar water aanzienlijk doet toenemen. De extra hoeveelheid bij de 2 en 5% mengsels is 1,5 vol. % water per procent als veentoegevoegde organische stof of berekend per gram toegevoegde organische stof rond 1,9 g.water per gram organische stof.

Bij andere venige materialen is de hoeveelheid beschikbaar water van dezelfde grootte-orde (tabel 5b). Alleen ongerijpt vast veen kan meer water vasthouden; het is echter waarschijnlijk dat door mengen en de dan volgende 'rijping' dit grote waterhoudende vermogen wel verloren zal gaan.

Ter oriëntering is in tabel 5c ook van enige niet humeuze gronden het gehalte aan beschikbaar water gegeven.

Tabel 5a. Beschikbaar water van de in de proef gebruikte materialen

	Org. stof gew. %	Dichtheid g/cm ³	Watergehalte (vol. %)		Beschikbaar water vol. %
			bij - 50 cm	= - 16 000 cm	
Zand	0,3	1,6	8	1,5	6,5
Mengsel 2%	2,3	1,3	15	5	10 *
Mengsel 5%	5,4	1,1	25	10	15 *
Bomengrond	16,3	0,8	43	17	26

*In de 2 en 5% mengsels neemt, vergeleken met zand, door het toevoegen van het zwartveen de hoeveelheid water toe met 1,85 respectievelijk 1,92 g H₂O/g toegevoegde organische stof

Tabel 5b. Beschikbaar water in enkele venen en veenhoudende gronden berekend als verschil tussen de watergehalten bij vochtspanningen (Ψ) van - 50 en - 16 000 cm H₂O

	Org. stof gew. %	Dichtheid g/cm ³	Beschikbaar water	
			vol. %	g H ₂ O/ org. stof
Bouwvoor in Veenkoloniën	ca. 13	1,1	31	2,2
Bolsterveen	95	0,22	38	1,8
Spalterveen	97	0,20	29	1,5
Ongerijpt vast veen	98	0,14	64	4,7
Veenweiland				
Zegveld 0-10 cm	47	0,52	29	1,2
Idem 20-30 cm	ca. 80	0,22	41	2,5

Tabel 5c. Beschikbaar water van enkele niet humeuze gronden, berekend als verschil tussen de watergehalte bij - 100 cm en - 16 000 cm vochtspanning

Grondsoort	Lemig zand	Fijn zand	Zware zavel	Lichte zavel	Loess	Komklei
Beschikbaar water	19 vol. %	15	32	34	23	20

3.8.2. Wateraanvoer

Water in de grond stroomt als gevolg van de zwaartekracht en door drukverschillen. Voor de stroomsnelheid van bodemwater V ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}$ per cm^2 per dag) van punt 1 naar punt 2 in de grond geldt:

$$V = -K\{(\Psi_1 - Z_1) - (\Psi_2 - Z_2)\} \times l/l \quad (a)$$

- V = waterstroming ($\text{cm H}_2\text{O}/\text{dag}$)
 Ψ_1 en Ψ_2 = vochtspanning ($\text{cm H}_2\text{O}$) respectievelijk in punt 1 en 2
 Z_1 en Z_2 = diepte (cm) van punt 1 en 2
 l = afstand (cm) tussen punt 1 en 2
 K = watergeleidbaarheid (cm/dag)
- = teken omdat de stroomrichting gaat in de richting van lager wordende waarde van $(\Psi - Z)$

Van groot belang bij de wateraanvoer is de watergeleidbaarheid K . Deze wordt bepaald door de grondsoort maar ook sterk door het vochtgehalte en vochtspanning. K is het grootst wanneer een grond volledig met water verzadigd is ($K_{\text{verzadigd}}$). Wanneer een grond uitdroogt dan wordt eerst het water in de grootste poriën vervangen door lucht en het water kan alleen door de nog gevulde kleinere poriën stromen. Doordat de hoeveelheid watergeleidende poriën afneemt en bovendien de weerstand voor waterstroming in kleinere poriën relatief hoog is neemt K bij het droger worden van een grond zeer snel af.

De relatie tussen Ψ en K is te beschrijven met de formules:

$$K = K_{\text{verzadigd}} e^{\alpha\Psi} \quad (b)$$

$$K = a(-\Psi)^{-1,4} \quad (c)$$

formule b voor vochtspanningen tussen 0 en - 50 à - 150 cm

formule c voor de nog lagere vochtspanning (zie Rijtema ICW nota 512)

$e = 2,718$ (basisgetal natuurlijke logaritmie)

$\alpha =$ factor (afhankelijk grondsoort tussen 0,2 en 0,02)

$a =$ factor (afhankelijk grondsoort)

$K_{\text{verzadigd}}$ is grondsoort afhankelijk, hoog bij gronden met veel grote poriën, bijvoorbeeld grove zanden, 300 à 3000 cm/dag en laag in grond met veel kleine poriën, bijvoorbeeld in zware komklei 0,2 cm/dag.

De geleidbaarheid van het in het proef gebruikte zand zal overeenkomen met die van middel grof zand. Voor het veen zijn waarden gekozen zoals die bepaald zijn onder veengrasland (RIJTEMA, 1965). Enkele waarden zijn gegeven in tabel 6. Deze zijn berekend met de formules:

Voor zand $K = 300 e^{0,138\psi}$ tot $\psi = - 90$ cm

$K = 0,66 \psi^{-1,4}$ $\psi < - 90$ cm

Voor veen $K = 5,3 e^{0,1045\psi}$ tot $\psi = - 50$ cm

$K = 6,818 \psi^{-1,4}$ $\psi < - 50$ cm

Tabel 6. Watergeleidbaarheid bij verschillende vochtspanningen in cm/dag

ψ (cm)	0	- 30	- 40	- 50	- 60	- 80	- 100
Zand	300	4,8	1,2	0,30	0,08	0,005	0,001
Veen	5,3	0,2	0,08	0,03	0,02	0,015	0,011

In tabel 6 is te zien dat in het zand K bij vochtspanningen lager dan - 50 cm zeer snel kleiner wordt.

Hieruit is te verklaren dat in dit soort materiaal na regen de vochtspanning zeer lang - 50 à - 60 cm blijft, ook al ligt de grondwaterspiegel op veel grotere afstand.

In het zand-veen mengsel is het veen grotendeels aanwezig in stukjes van 2 à 10 mm. Bij een gewichtsaandeel van 5% veen is het volume-aandeel van 18% (uitgaande van een droog volumegewicht van $1,1 \text{ g/cm}^3$ van het mengsel en van $0,39 \text{ g/cm}^3$ van het veen).

Hierbij is op 70 cm diepte een vochtspanning aangenomen van - 250 cm. Bevindt zich de grondwaterspiegel op 80 cm diepte (I) (dus 10 cm beneden de uitdrogende grond) dan kan zeer veel water opstijgen (50 mm/dag), bij een grondwaterspiegel op 45 cm onder de uitdrogende grond kan 5 mm/dag opstijgen (lijn II), 0,5 mm/dag bij 65 cm afstand (lijn III) en de aanvoer is praktisch verwaarloosbaar geworden 0,2 mm/dag bij 80 cm. (Bij lagere vochtspanningen op 70 cm diepte veranderen de getallen niet).

(Voor andere gronden gelden andere hoogten tot waar nog aanzienlijke wateraanvoer(> 5 mm/dag) vanuit het grondwater mogelijk is; in zavel en zeer fijn zand is dit ca. 100 cm, maar voor b.v. komklei, die ook in verzadigde toestand al weinig doorlatend is, is dit 10 à 15 cm).

Hoeveel water in een bepaalde periode naar de bewortelde grond opstijgt wordt ook bepaald door het gedrag van de grondwaterspiegel. De twee uitersten zijn:

1. Het grondwaterpeil blijft constant, doordat het aan het grondwater onttrokken water van elders weer wordt aangevuld. In dat geval zijn constante wateraanvoeren mogelijk van de bovengenoemde grootte.
2. Het aan het grondwater onttrokken water wordt geheel niet aangevuld en de grondwaterspiegel daalt, afhankelijk van vocht karakteristiek en hoeveelheid water die is opgestegen.

Een voorbeeld daarvan is getekend in fig. 20.

Stel bijvoorbeeld als uitgangspunt een grondwaterstand op 80 cm diepte terwijl de boom nog geen water gebruikt dan is de vochtspanning tot 30 cm diepte gelijk aan de afstand tot het grondwater. De boom begint te verdampen en droogt plantgat en de laag vlak daaronder uit, waardoor water naar boven stroomt. In de plaats van het opgestegen water komt nu lucht in de bodemporiën en het niveau van de grondwaterspiegel (= diepte waarop vochtspanning = 0) daalt. Ook de aanvoersnelheid daalt, bij de grondwaterstand van 115 cm-oppervlakte is deze nog 5 mm/dag, bij 135 cm-oppervlakte 0,5 mm/dag. De bij deze diepten en opstijgsnelheden behorende vochtspanningsverdeling is te berekenen en daaruit is met behulp van de vocht karakteristiek ook de vochtgehalteverdeling te bepalen. Uit de vochtgehalteverdeling bij $V = 0$

mm/dag en een grondwaterspiegel van 80 cm-oppervlakte (situatie I) en de verdeling behorend bij een grondwaterspiegel van 135 cm-oppervlakte en de daarbij behorende opstijgsnelheid (V) van 0,5 mm/dag blijkt dat uit het niet doorwortelde zand van 70 cm diepte tot 135 cm diepte een laag van 146 mm water is opgestegen (= de oppervlakte tussen lijn I en lijn III bij 0,5 mm/dag).

Is de beginsituatie een grondwaterstand van 115 cm bij een opstijgsnelheid van 0 mm en de eindtoestand een grondwaterstand van 135 cm-oppervlakte bij $V = 0,5$ mm dan kan 62 mm vrijkomen.

Aangenomen hierbij is dat beneden de grondwaterspiegel nog 2% lucht in het zand aanwezig is.

De werkelijkheid zal meestal liggen tussen situatie I en 2, nml dat een gedeelte van het door de bomen onttrokken grondwater van elders wordt aangevuld. Ook zijn wel situaties denkbaar dat de grondwaterstand daalt door afvoer naar elders.

Maar welke situatie zich ook voordoet, men zal om maximaal profijt te hebben van de grondwatervoorraad de grond tot ca. 10 cm boven de voorjaarsgrondwaterstand doorwortelbaar moeten maken. Tot die diepte bevatten het zand en ook de mengsels nog voldoende lucht voor goede aeratie (zie fig. 20).

De doorwortelbare diepte van 120 cm bij een grondwaterstand van 135 cm in de proefseries B, C en G waren wat de vochtvoorziening betreft vrijwel ideaal.

3.8.3. Berekening hoeveelheid voor de bomen beschikbaar water

In tabel 7 is aangegeven hoeveel water een boom uit de verschillende plantgaten kan onttrekken. Hierbij is aangenomen dat in de uitgangssituatie de grond op veldcapaciteit is en dat de grondwaterstand constant 135 cm-oppervlakte is (dit is de gemeten stand in voorjaar zowel als zomer 1976). Daarnaast is voor de A serie de waterleverantie berekend voor het geval de grondwaterspiegel zakt van 115 of 75 cm tot 135 cm-oppervlakte.

In alle proefseries waren de kleine plantgaten (inhoud 125 l) volledig doorworteld, hieruit kan dus al het beschikbare water worden onttrokken; hetzelfde geldt voor de met mengsels gevulde plantruimten (inhoud 1603 l) van de B, C en G serie.

Tabel 7. Hoeveelheid water die uit aanvoer en voorraad ter beschikking komt in 30 en 100 dagen bij constante grondwaterspiegel. Tevens voor de A vakken de hoeveelheden die bij dalende grondwaterspiegel ter beschikking komen

Grondwater constant 135 cm-opp.	Voorraad (liters)		Aanvoer (liters)		Totaal (liters)	
	plantgat	plant- ruimte	in 30 dagen	in 100 dagen	in 30 dagen	in 100 dagen
A (16%-zand)	32,5	19,6	9,6 (15 mm)	32,0	61,7	84,1
F (2%-zand)	12,5	19,6	9,6	32,0	41,7	64,1
B (16%-2%)	32,5	160	>492 (>300 mm)		>624	
C (16%-2%)	32,5	240	>492		>704	
G (5%-2%)	18,7	160	>492		>610	
Zakkend grondwater voor A vakken						
grw.st. 115→135	32,5	19,6	39,0 (62 mm)		91,1	
Idem 80→135	33,3	22,2 (onder)+ 17,5 (naast plantgat)	93,4 (146 mm)		166,5	

In de met zand gevulde plantruimte van de A en F serie is slechts een 5 à 10 cm dikke laag vlak rond het kleine plantgat doorworteld. De vochtspanningsmetingen in plantgat A₆ geven aan dat de wateronttrekking nog merkbaar is tot ca. 20 cm in het zand. Uit deze laag met een inhoud van ca. 390 liter kan gemiddeld iets minder dan de maximum beschikbare hoeveelheid water worden onttrokken, aangenomen is 5 vol. %.

Een grondwaterstand van 135-cm-oppervlakte betekent voor de A en F serie een afstand van 65 cm tussen nog uitdrogend zand en de grondwaterspiegel, de mogelijke wateraanvoer bedraagt in dit geval 0,5 mm/dag (zie ook fig. 20). Het oppervlak waarover deze aanvoer plaats heeft in het zand kan geschat worden op het grondvlak van het kleine plantgat (5 x 5 dm) plus een rand van ca. 1,5 dm daar omheen totaal dus 64 dm².

In tabel 7 is als aanvoer gerekend alle water dat toestroomt uit een diepte beneden 70 cm-oppervlakte. Alle water wat daarboven ook uit niet doorwortelde grond komt is tot de watervoorraad gerekend. In de mengsels reiken de wortels tot op 15 cm afstand van het grondwater, de mogelijk aanvoer is hier dus zeer groot. Hierdoor zal ook onder in de plantruimte de grond nooit zo sterk uitdrogen dat de aanwezige watervoorraad volledig zal worden verbruikt.

Bij de dalende grondwaterstand is een snelheid van daling aangehouden alsof er geen aanvulling van het onttrokken grondwater plaats heeft. (Dit komt erg veel voor wanneer het gehele oppervlak beworteld is, wanneer dit niet het geval is zoals vaak bij straatbomen dan zal wel grondwater toestromen uit de niet doorwortelde omgeving maar ook is mogelijk dat door afstroming naar elders het grondwater sneller zakt, in het eerste geval is een hogere aanvoer in het tweede een lagere dan de berekende aanvoer te verwachten).

De watervoorraad is bij de hoge begin grondwaterstand hoger, doordat de grond ook in het plantgat in het begin meer vocht zal bevatten, omdat de vochtspanning onderin hoger is dan - 50 cm.

Opmerkingen

- a. Uit verdampingsmetingen van kleine bomen van ca. hetzelfde formaat als de bomen in deze proef in 1976 (kroon ca. 150 cm hoog en 800 cm diameter) blijkt dat wanneer voldoende water aanwezig is op zonnige dagen de verdamping 4 à 5 liter is. In een maand juni of juli is een waterverbruik van ca. 80 liter per 30 dagen niet abnormaal.

Gezien de watervoorraad in de plantgaten van de A en F serie (resp. 62 en 42 liter) zullen de bomen wanneer geen regen valt binnen 20 respectievelijk 10 dagen een tekort aan water krijgen. In de B, C en G serie is, zelfs zonder toevoer uit het grondwater, nog voldoende water aanwezig.

- b. Worden de bomen groter dan zal in veel grotere waterbehoefte vooral moeten worden voorzien door aanvoer vanuit het grondwater. De bovenste laag grond in de plantruimte zal uitdrogen en de vochtopname stopt daar, dicht bij het grondwater blijft een volume grond vochtig van waaruit de wortels het benodigde water opnemen. Dicht bij het grondwater kan vooral in zandig materiaal

een grote hoeveelheid water naar een klein volume grond toestromen. Het volume doorwortelde grond wat vochtig blijft in de zomer mag echter ook niet te klein worden in verband met een te beperkte aanvoer en leverantie van mineralen in een te klein volume grond en de beperkte wateropname capaciteit van een te kleine hoeveelheid wortels. Hoe groot in dit opzicht het volume vochtige grond moet zijn is een open vraag. Ongetwijfeld is het ook afhankelijk van de voedingstoestand van deze grond.

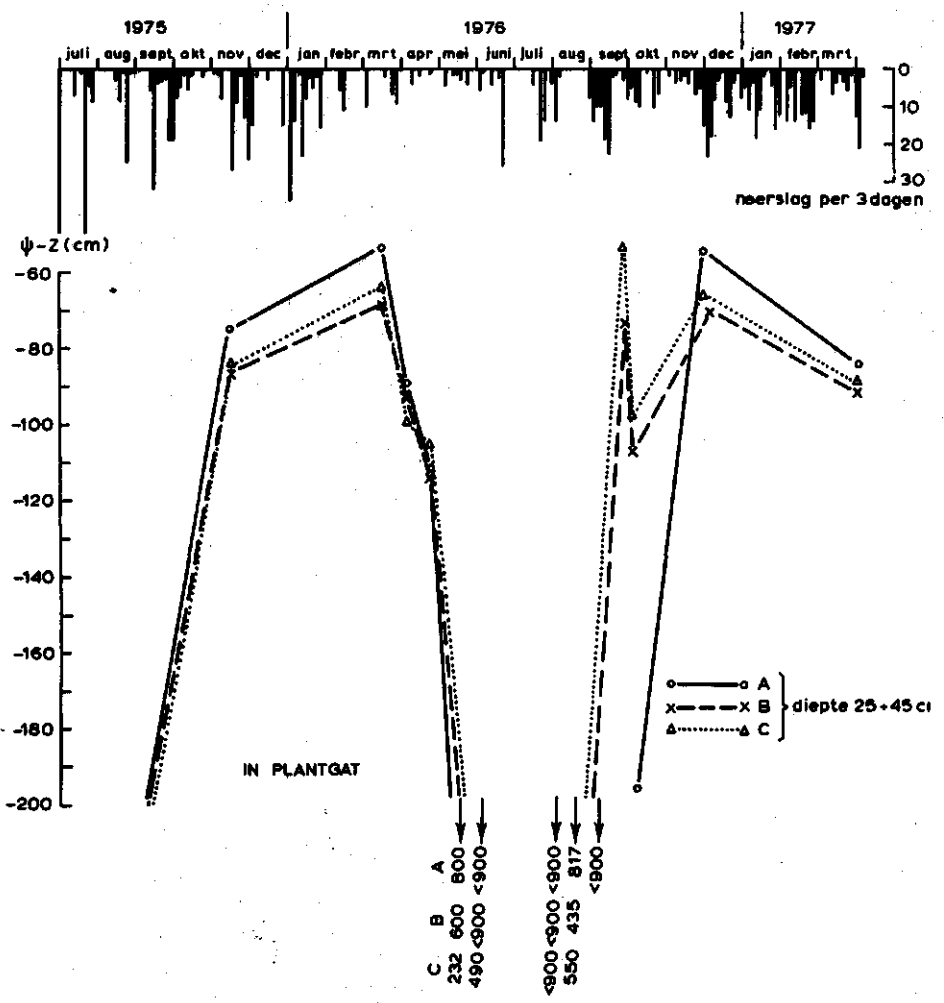
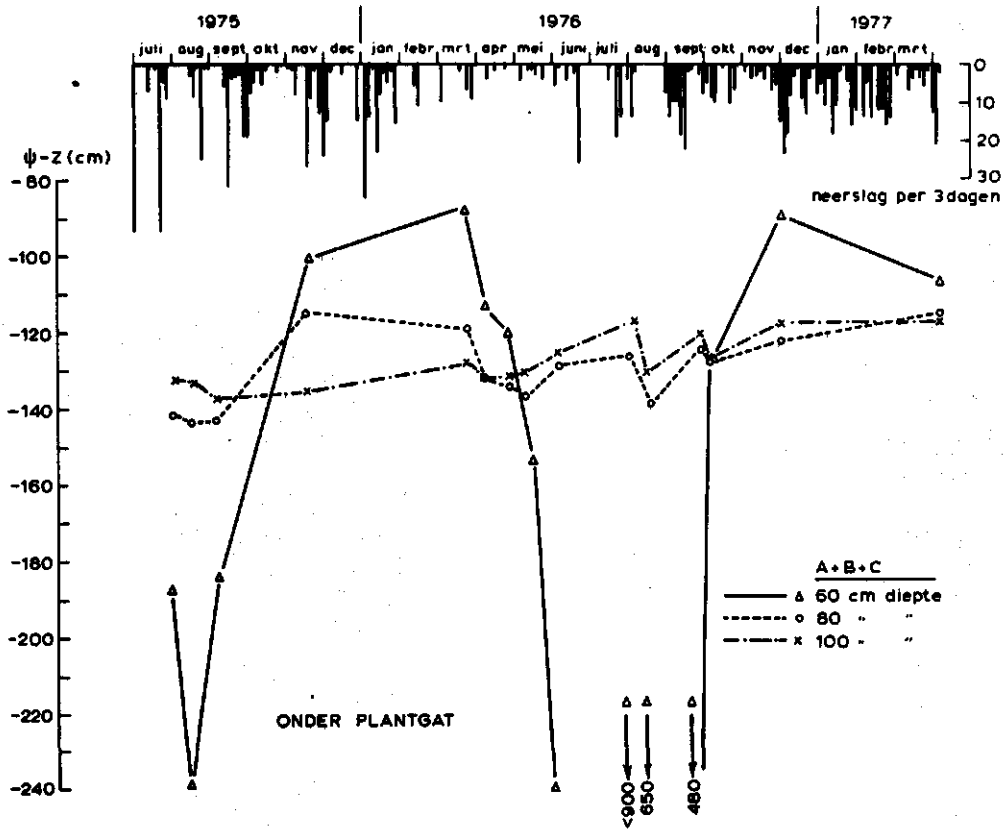
- c. De zijdelingse aanvoer uit niet doorwortelde grond kan aanzienlijk zijn (zie b.v. serie F). Plantruimten met een relatief groot oppervlak, bijvoorbeeld langwerpige plantgaten zijn in dit opzicht in het voordeel vergeleken met vierkante plantgaten met hetzelfde volume grond.
- d. De aanvoer van regenwater naar het plantgat blijft een moeilijk punt. In deze proef was de toevoer vrij goed (zie hfdst. vochtspanningsmetingen) en de aanname dat het verbruikte water in de loop van herst en winter weer wordt aangevuld bleek juist. Maar er zijn ook situaties dat een deel van het doorwortelbare materiaal voor de boom van weinig nut is omdat eenmaal onttrokken water slecht of niet wordt aangevuld. Het is dan ook niet zinvol om grond doorwortelbaar te maken die niet kan worden bevochtigd door regenwater of door opstijgend grondwater.

3.8.4. Vochtspanningen gemeten met tensiometers

Bij de bomen A₆, B₃₅ en C₄₇ is met tensiometers de vochtspanning gevolgd in, naast en onder het plantgat (exacte plaats zie fig. 9). Tensiometers bestaan uit cups van poreus keramisch materiaal volledig gevuld met water. Door de wand kan water stromen waardoor de druk van het water in de cup gelijk wordt aan de druk van het water in de grond, de waterdruk in de cup wordt gemeten (zie ook BAKKER, 1977).

In de fig. 21a, b en c zijn de resultaten gegeven als vochtspanning-diepte ($\Psi - Z$). Dit omdat de stroming van water in de bodem wordt bepaald door verschillen in ($\Psi - Z$).

Van de metingen in de plantgaten zowel als in de plantruimten was geen significant verschil tussen de waarnemingen op 25 cm diepte



en op 45 cm diepte, daarom zijn in fig. 21a en b de gemiddelde waarden gegeven. Van de metingen in de planruimten onder het plantgat was geen verschil tussen de 3 plantgaten zodat fig. 21c het gemiddelde voor de 3 plantgaten is gegeven.

Van de metingen onder de plantgaten op 100, 80 en 60 cm diepte valt het volgende te zeggen. De vochtspanning-diepte op 100 cm diepte is zomer en winter exact gelijk aan de diepte van de grondwaterstand. Bijvoorbeeld bij een grondwaterstand van 135-oppervlakte is de vochtspanning Ψ op 100 cm diepte - 35 cm. Op 80 cm diepte is in de winter de waarde van $\Psi - Z$ hoger dan op 100 cm diepte maar in de zomer lager. Dit duidt erop dat in de winter water naar beneden stroomt en dat in de zomer water naar omhoog stroomt. Uiteraard is dit ook het geval tussen 100 cm diepte en het grondwater maar van de zeer vochtige grond is de geleidbaarheid dermate hoog dat het daarvoor benodigde verschil in potentiaal ($\Psi - Z$) kleiner is dan de meetfout van 1 à 2 cm.

$\Psi - Z$ op 60 cm diepte vergeleken met $\Psi - Z$ op 80 cm diepte geeft in principe hetzelfde beeld, maar nu is in de zomer $\Psi - Z$ zeer veel lager dan op 80 cm (minder dan - 900 cm).

Wat erop duidt dat de watergeleidbaarheid van het materiaal dermate laag is geworden dat water dat op 60 cm diepte en daarboven door de wortels wordt onttrokken, niet snel genoeg kan worden bijgevuld door opstijging. Gegeven de lage geleidbaarheid van het materiaal bij een vochtspanning van ca. - 70 cm duidt de snelle daling van de vochtspanning in de zomer erop dat op 60 cm diepte wortels aanwezig moeten zijn in alle 3 gevolgde plantvakken.

Dit is in overeenstemming met de wortelopnamen; in het zand zijn de wortels tot 55 à 60 cm diepte gegroeid, in de mengsels tot dieper dan 80 cm. Dat de vochtspanning op 80 cm ook in de mengsels slechts weinig daalt is gezien de mogelijke opstijgsnelheid van het water tot een hoogte van 40 à 50 cm boven grondwaterspiegel wel mogelijk.

Bezien we de vochtpotential ($\Psi - Z$) op 25 à 45 cm in en naast het plantgat dan valt op dat in het plantgat ($\Psi - Z$) in de winter ca. - 65 cm is en naast het plantgat gemiddeld ca. - 85, ook dit is weer hoger dan de gemiddelde waarde op 60 cm diepte die - 95 cm bedraagt. Dat in het plantgat de grond iets natter is, is mogelijk

te wijten aan lagere geleidbaarheid van de 'bomengrond' mogelijk ook aan grotere aanvoer van regenwater omdat een deel van het plantgat niet bedekt is met tegels.

In de zomer drogen de plantgaten sterk uit, het A plantgat het snelst en het sterkst, het C plantgat langzamer en minder sterk. In de herfst is het A plantgat het laatste weer volledig bevochtigd. Op 20 cm naast het plantgat droogt in 1975 de grond in het C vak (5% mengsel) reeds sterk uit, in het A en B vak nog niet. In 1976 droogt van het B vak deze laag sterk uit, maar het C object in veel mindere mate. In het A vak is zomer 1976 ook enige uitdroging merkbaar, de vochtpotentialiaal daalt tot - 120 à - 130 cm. Uit het vochtspanningsverloop zijn wat betreft de beworteling van de plantruimten de conclusies te trekken dat in 1975 het 5% mengsel reeds goed doorworteld is en het zand en het 2% mengsel niet of veel minder.

In 1976 is het 2% mengsel op 20 cm afstand flink doorworteld, het zand zeker nog niet, deze gegevens kloppen met de wortelopnamen. Dat het 5% mengsel minder sterk uitdroogt dan in 1975 is mogelijk toe te schrijven aan opname van water dicht bij het grondwater waar in 1976 in het Cvak reeds zeer veel wortels zijn.

De hoeveelheid water die in een bepaalde tijd uit het plantvak is onttrokken kan worden berekend uit de vocht karakteristieken van de materialen en het verloop van de vochtspanning.

Dit kan alleen zolang de grond niet zover is uitgedroogd dat de tensiometercups worden leeggezogen; dit is het geval bij een vochtspanning van - 900 cm water. Bij deze vochtspanning is reeds het grootste deel van het beschikbare water aan de grond onttrokken (bij het zand 100%, bij het 2- en 5% mengsel en de 'bomengrond' resp. 80, 75 en 65%), zodat met tensiometers toch een belangrijk deel van de vochtonttrekking kan worden gevolgd.

In tabel 8 is gegeven de vochtverandering tussen 22 april en 11 mei 1976, een droge periode waarin de vochtspanning snel daalt, op 11 mei zijn echter nog alle vochtinspanningen meetbaar.

Tabel 8. Afname watervoorraad tussen 22/4'76 en 11/5'76 berekend uit vochtspanningsmetingen

Vak		Vochtgehalte (cm ³ /cm ³)			Inhoud (l)	Afname water- voorraad (l)
		22/4'76	11/5'76	verschil		
A6 (16%-0%)	plantgat	0,415	0,289	0,126	125	15,75
	naast plantgat	0,050	0,030	0,020	260	5,20
	onder plantgat	0,072	0,038	0,045	130	4,94
	totaal					25,9
B35 (16%-2%)	plantgat	0,42	0,336	0,084	125	10,50
	ruimte 0-70 cm	0,128	0,103	0,025	880	22,00
	totaal					32,5
C47 (16%-2%)	plantgat	0,416	0,382	0,034	125	4,25
	ruimte 0-70 cm	0,243	0,229	0,014	880	12,32
	totaal					16,5

Duidelijk is dat aan het plantgat omringd door zand het sterkste water wordt onttrokken. De daling van vochtgehalte in de laag zand rond het plantgat is ook gemiddeld groter dan in de plantruimten gevuld met mengsels. De watervoorraad in het A plantgat is op 11 mei dan ook aanzienlijk lager dan in het B en C plantgat.

Nemen we aan dat uit het grondwater in de 19 dagen nog ca. 3 l water is toegestroomd (ca. 50% van 19 dagen x 0,5 mm/dag x 64 dm²) dan is door de bomen uit de bovenste 70 cm opgenomen 29, 35,5 en 19,5 l uit respectievelijk het A, B en C object. De verdamping van de B en C boom zal hoger geweest zijn omdat ook nog water uit de diepere doorwortelde lagen wordt onttrokken. Bij de A boom is dit niet het geval; de 29 liter onttrekking is vergeleken met die van de even grote B boom wel wat laag. Het is niet waarschijnlijk dat in de beschouwde periode de verdamping van de A boom reeds afneemt door watergebrek, wat kort na 11 mei wel het geval zal zijn.

Het troptoirdrek in de proef was nog niet ondoorlatend geworden; na perioden met regen bleek de vochtvoorraad in de plantruimten weer te zijn aangevuld (zie fig. 21 metingen 3 aug. en 29 sept. 1976).

3.8.5. Vochtgehalten gemeten met neutronenstraling.

In vier plantvakken, waaronder ook de 3 vakken waarin tensiometers zijn geplaatst zijn metingen verricht vanuit een meetbuis die op 25 cm afstand van de boom is geplaatst en reikt tot een diepte van 140 cm.

Bij deze bepaling wordt een kleine bron plus een ontvanger in de meetbuis neergelaten. In de bron bevindt zich het radioactieve Americium-Beryllium wat neutronen uitzendt met een hoog energieniveau. Raakt een dergelijk neutron een waterstofatoom, dan komt hierbij neutronenstraling vrij van een veel lager energieniveau, de intensiteit van deze straling wordt gemeten door de ontvanger. De ontvangen straling blijkt een goede maat te zijn voor de hoeveelheid H-atomen aanwezig binnen een straal van 15 à 20 cm. De H-atomen komen in de grond voor in organische stof maar vooral in het water. Is het organische stofgehalte bekend, dan is de hoeveelheid water in een bereik van 15 à 20 cm eveneens bekend.

Fig. 22 geeft uit de reeks metingen tussen 1974 en 1977 de metingen van 7 juli en 14 juni 1976, op deze data zijn de laagste vochtgehalten gemeten, en van 4 april 1977, een tijdstip waarop na de winter nog al het beschikbare water aanwezig is.

De verschillen in vochtgehalten op ca. 40 cm diepte vertonen dezelfde tendens als de zomer- en voorjaarsmetingen met behulp van tensiometers; zo is in B₃₅ ook het vochtgehalteverschil tussen april 1977 en juni 1976 groter dan in C₄₇.

Op grotere diepten (- 100 cm) zijn de verschillen weer veel groter dan de vochtspanningsmetingen aangegeven, voor wat de absolute grootte van de meting betreft.

De neutronenstraling gemeten vochtgehalten tussen 20 en 40 cm bedroegen in april 1977 in de plantvakken A, B, C en F respectievelijk ca. 20, 40, 40 en 15 vol. %.

De op dezelfde dag aan grondmonsters bepaalde vochtgehalten bedroegen

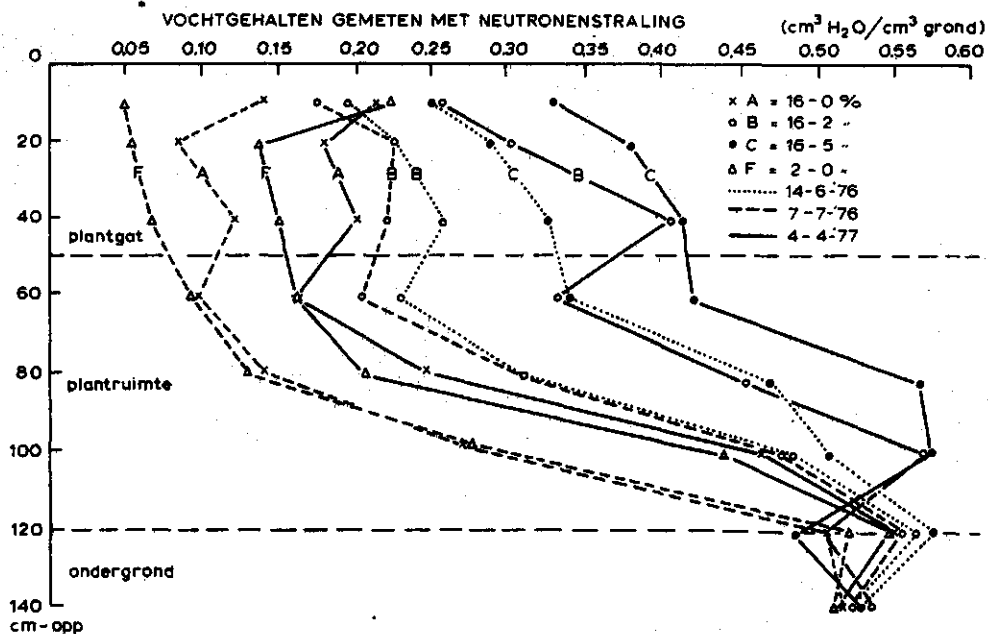


Fig. 22. Vochtgehalten gemeten met neutronenstraling

in de plantgaten van de A, B en C vakken 40 vol. % en van de F vakken 15 vol. %, in de plantruimten respectievelijk 7,5, 15, 25 en 7,5 vol. %; de meetbuis loopt ca. op de rand van het plantgat, beide grondsoorten hebben daardoor voor ca. 50% mee zodat een gemiddeld gemeten vochtgehalte te verwachten is van 24, 28, 33 en 12 vol. % voor respectievelijk de A, B, C en F vakken, de verschillen met werkelijk gemeten waarden zijn wat groot.

Samenvattend moet gezegd worden dat met de neutronen-vochtmeting wel duidelijk de verschuivingen van vochtgehalten gedurende het seizoen werden waargenomen, maar dat het niet mogelijk was uit de meetresultaten een voldoende nauwkeurig beeld te verkrijgen van plaats en hoeveelheid water in plantgat en plantruimte.

Een belangrijke oorzaak daarvan is waarschijnlijk dat het volume bodem rond de meetbuis waarvan het vochtgehalte werd bepaald rijkelijk groot is voor deze proef, waar verschillende grondmengsels op zulke korte afstanden van de meetbuizen voorkomen.

In volledig met één mengsel gevulde plantvakken zal vochtbepaling met neutronenstraling aanzienlijk nauwkeuriger zijn.

3.9. B e w o r t e l i n g

De beworteling is beoordeeld in april 1976 van één boom per serie en bij het beëindigen van de proef april 1977 van alle overige bomen.

April 1976 waren alle onderzochte plantgaten volledig doorworteld, de ruimte om het plantgat was doorworteld in alle series met zwartveen bijmenging (B, G en C) doch in de ruimten gevuld met puur straatzand (A en F) werden nog geen wortels aangetroffen. April 1977 zijn van alle plantgaten in een profielwand op 5 à 10 cm van de boomstam het wortelbeeld opgenomen, wortels zijn geteld in een 10 cm brede strook onder en aan één zijde van het plantgat (zie fig. 9) en verder geschat in het plantgat (voorbeeld waarneming zie bijlage 6). De tellingen zijn samengevat in tabel 9.

Tabel 9. Worteldichtheden in de profielen april 1977. Dichtheid \pm standaardafwijking in aantal wortels per 100 cm² onderverdeeld in wortels met een dikte groter en kleiner dan 1 mm

Serie	Aantal vakken	Naast plantgat		Onder plantgat		In plantgat totaal	Doorworteling verder in plantruimte
		$\emptyset < 1$ mm	$\emptyset > 1$ mm	$\emptyset < 1$ mm	$\emptyset > 1$ mm		
A	10	4,48 \pm 6,50	0,50	2,74 \pm 3,20	0,38	24,4 \pm 19,0	neen
F	11	0,60 \pm 0,88	0,06	3,16 \pm 3,36	0,10	27,5 \pm 33,5	neen
B	9	4,43 \pm 5,00	0,50	3,77 \pm 2,88	0,43	55,2 \pm 36,9	ja
C	10	6,90 \pm 6,63	0,40	4,04 \pm 3,14	0,13	29,9 \pm 20,0	ja
G	10	4,53 \pm 2,29	0,65	2,84 \pm 2,07	0,30	22,4 \pm 20,6	ja

Het blijkt dat in de A serie de wortels vanuit het plantgat het zand zijn binnengedrongen over een afstand van 5 à 8 cm. De wortels zijn kort en dik en vaak sterk vertakt. Een enkele keer wordt nog een wortel op grotere afstand van het plantgat gevonden. In de F serie dringen de wortels minder ver of helemaal niet het zand in. Dit zou zijn te verklaren uit de indringingsweerstand. Op 10 cm

van het plantgat in de F serie is dit gemiddeld $31,4 \text{ kgf/cm}^2$ en in de A serie $28,7 \text{ kgf/cm}^2$ hoewel de bodemdichtheden gelijk zijn (zie ook bij hfdst. indringingsweerstanden).

De ruimte in de series B, C en G zijn alle doorworteld, de verschillen in worteldichtheden zijn niet significant. In de plantgaten zelf is alleen de bewortelingsdichtheid van de B serie significant hoger.

Binnen een serie komen grote verschillen in bewortelingsdichtheid voor wat tot uitdrukking komt in de grote standaardafwerking.

Om deze variatie te verklaren zijn worteldichtheden vergeleken met indringingsweerstanden die op minder dan 10 cm afstand van de plaats van de worteltelling zijn gemeten (fig. 23). Er bleek binnen één serie echter geen verband aanwezig tussen worteldichtheid en indringingsweerstand.

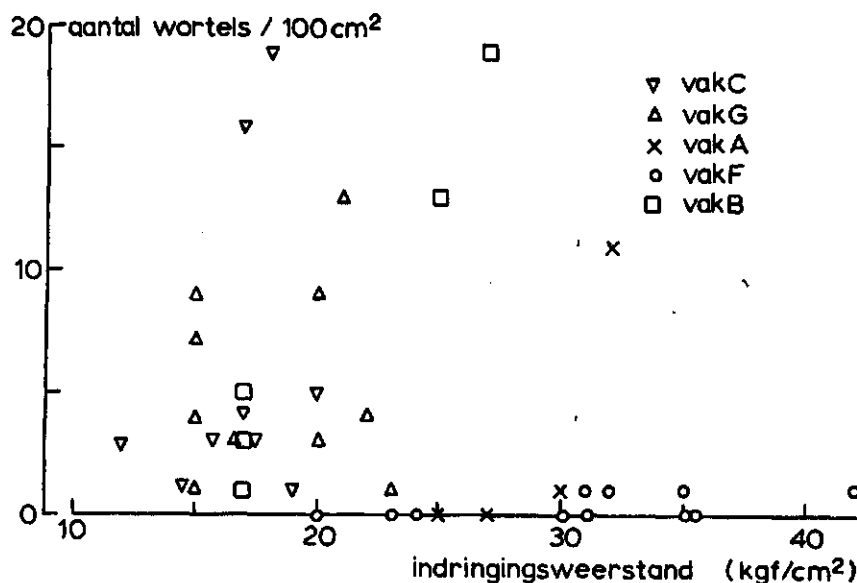


Fig. 23. Verband worteldichtheid in de planruimten en indringingsweerstand op minder dan 10 cm afstand gemeten (sonderingsdiepte 30 cm)

Vooraf in enkele B vakken is wel waargenomen dat zeer plaatselijk beworteling ontbreekt op plekken met grotere dichtheid, maar deze plekken zijn te klein (10 à 15 cm) om met de gebruikte meting van de indringingsweerstand te worden gelokaliseerd.

Een extreem voorbeeld geeft de penetrometer registratie en foto

object B 27
 nr. 1 Elm 4
 date 7-4-1977

object 26
 nr. 1 Elm 4
 date 5-4-77

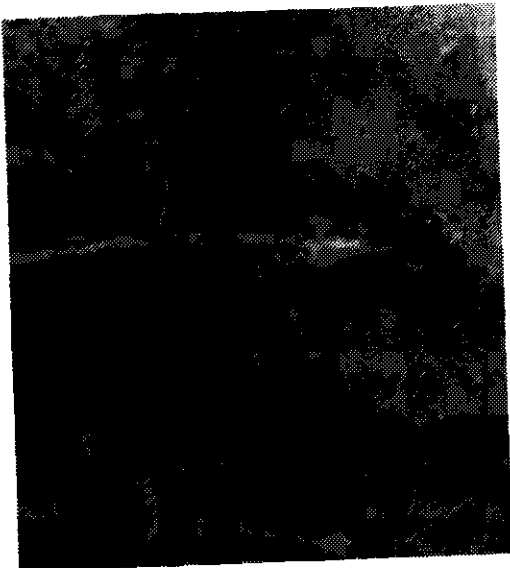
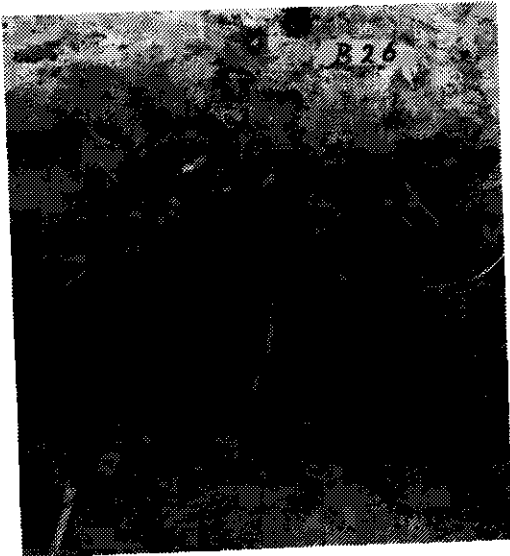


Fig. 24.

Ontmengd materiaal, wortels
 alleen in de veenlaagjes

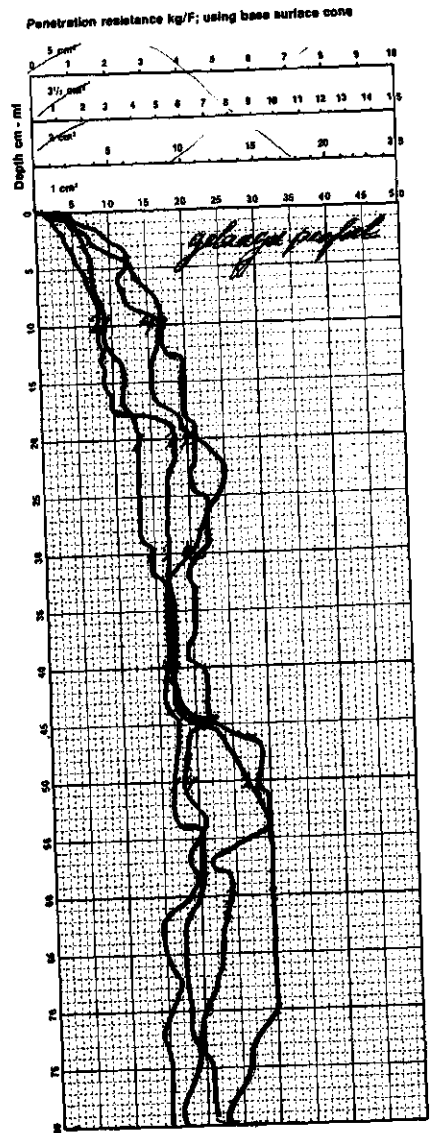
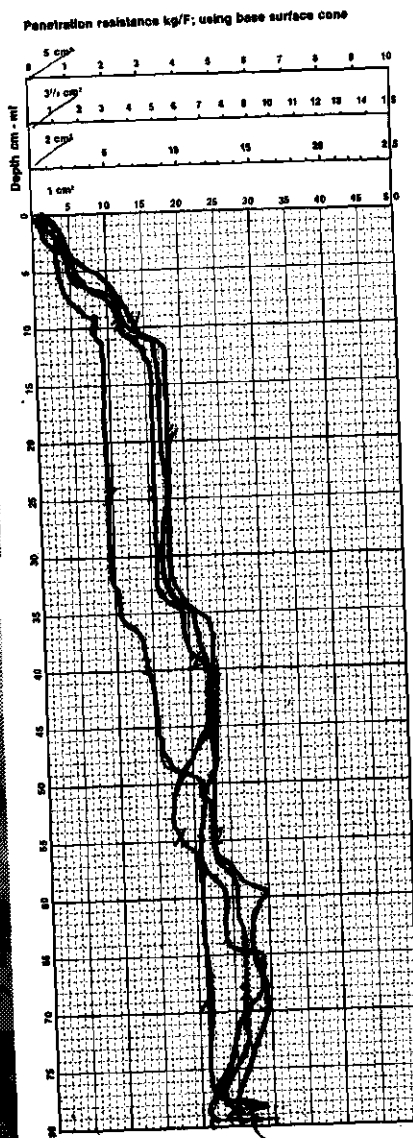


Fig. 25. Penetrometerregistraties van homogeen en
 ontmengd materiaal

van de profielwand van vak B₂₆ (fig. 24 en 25) waarin, door foutief invullen, gelaagd profiel ontstaan was. Tot de grote variatie in bewortelingsdichtheid kan ook hebben bijgedragen dat het plantmateriaal niet volledig homogeen was omdat hiervoor zaailingen zijn gebruikt.

3.10. S c h e u t g r o e i

Door de afdeling Bepantingen is gedurende 3 jaar elk jaar de toename van de scheutlengte gemeten. Gemeten werd steeds de topscheut en 4 andere scheuten regelmatig over de boom verdeeld.

Van de scheutlengten is voor elke serie proefvakken het gemiddelde bepaald. Deze gemiddelde waarden zijn weergegeven in fig. 26. Hieruit blijkt dat de gemiddelde scheutlengte voor alle proefvakken zich het minst heeft ontwikkeld in 1974; opvallend is ook de relatief lage groei in de proefvakken met mengsels in de plantruimte vergeleken met de A proefvakken. Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door zuurstofgebrek.

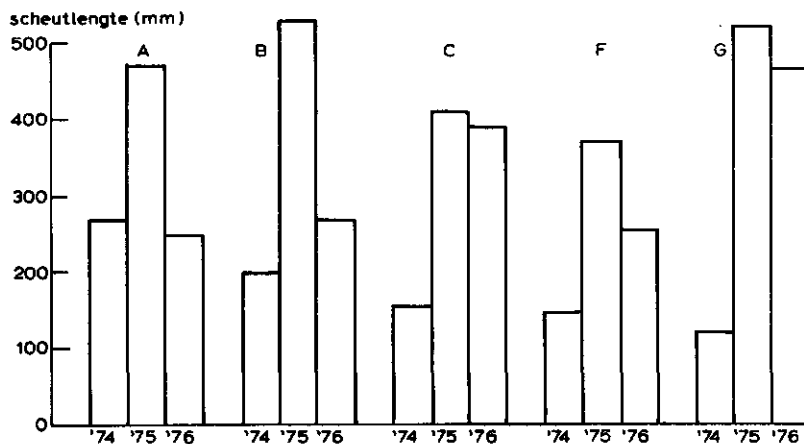


Fig. 26. Gemiddelde toename scheutlengte per jaar

In alle proefvakken werd de grootste ontwikkeling geconstateerd in 1975. In 1976 gaven de proefvakken C en G in verhouding tot de andere proefvakken een relatief aanzienlijke groei; de scheut-

groei was een factor 1,6 (vak C) à 1,9 (vak G) hoger dan in de vakken A, B en F.

In de tabel 10 is over 3 jaar gesommeerde gemiddelde scheutgroei per serie proefvakken weergegeven.

Tabel 10. Toename gemiddelde scheutlengte van voorjaar 1974 tot herfst 1977

Vak	Gemiddelde gesommeerde scheutlengte in mm
A	1003
B	1061
C	959
F	877
G	1111

Het blijkt dat de gemiddelde gesommeerde scheutlengte niet zoveel uiteenloopt. De maximale lengte werd geconstateerd in de serie G vakken, terwijl de minimale lengte werd aangetroffen in de serie F vakken.

Als andere maat voor boomgroei is genomen het produkt van de boomhoogte (h) en de diameter van de kroon (b) gemiddeld van boomtop tot de grond gemeten in april 1977. Tabel 11 geeft de gemiddelde waarde per serie proefvakken.

Tabel 11. Produkt van boomhoogte en kroondiameter, gemiddelde per serie voorjaar 1977

Vak	h x b (cm ²)	Standaardafwijking	Aantal bomen (n)
A	18 610	5 348	10
B	19 516	13 381	9
C	17 310	12 692	10
F	9 727	4 960	11
C	18 522	8 404	9

Het produkt van boomhoogte en kroon diameter is in de F vakken gemiddeld half zo groot als in de andere vakken. De F vakken waren dus ook voor deze kleine bomen al duidelijk minder geschikt. Tussen de andere series zijn de verschillen niet significant.

4. SLOTDISCUSSIE EN SUGGESTIES VOOR VERDER ONDERZOEK

In dit experiment kon worden bepaald of worden afgeleid

- a. Welke dichtheden en indringingsweerstand zijn te verwachten bij een bepaalde wijze van invullen en verdichten van plantgaten met zand-zwartveen mengsels.
- b. Hoe groot de te verwachten zakking is van het straatoppervlak.
- c. Dat de boomwortels inderdaad de toch redelijk sterk verdichte zand-zwartveemengsels doorwortelen.
- d. Hoeveel water een boom ter beschikking staat bij verschillende plantgatconstructies en grondwaterregiems (gedeeltelijk theoretische berekening)
- e. Dat grote doses organische bemesting vooral in het eerste jaar na aanleg zuurstoftekort veroorzaken.
- f. Dat het toegevoegde zwartveen, gezien de vrij langzame afbraak tientallen jaren van nut kan zijn (extrapolatie van eigenlijk te korte reeks jaren)
- g. Gezien de vrij kleine bomen, en de hoge grondwaterstand mochten gedurende de relatief korte groeiperiode, geen grote verschillen in boomgroei worden verwacht. Alleen bomen in de wel zeer ongunstige plantgaten van de F serie (schraal 2% mengsel in het plantgat omringd door zand) toonden tragere groei.

Bij het uitwerken van de proefveldgegevens kwamen enkele tekortkomingen aan het licht. Het zou beter geweest zijn wanneer:

- a. De beginsituatie voor wat betreft org. stofgehalte en dichtheid in meer herhalingen zou zijn vastgelegd.
- b. Vanaf het begin de samenstelling van de bodematmosfeer was gevolgd.
- c. Bomen van één kloon waren gebruikt in plaats van zaailingen.
- d. De vochtspanning ook in een F vak zou zijn gemeten.

Het aantal herhalingen (11) per behandeling was wel voldoende, bij gebruik van homogener plantmateriaal kan dit mogelijk worden gehalveerd.

Het gebruik van neutronenstraling voor vochtspanning bij deze

plantgatconstructie geeft te grove informatie. Voor de bepaling van zakking en afname van org. stof was 3 jaar meten rijkelijk kort, doch in verband met boomgroei was 3 jaar wel de meest optimale proefduur. Vooral omdat wortels uit het plantgat begonnen te 'ontsnappen' via de laag vlak onder de tegels waardoor het plantgat zelf een minder duidelijke rol gaat spelen.

Suggesties voor verder onderzoek.

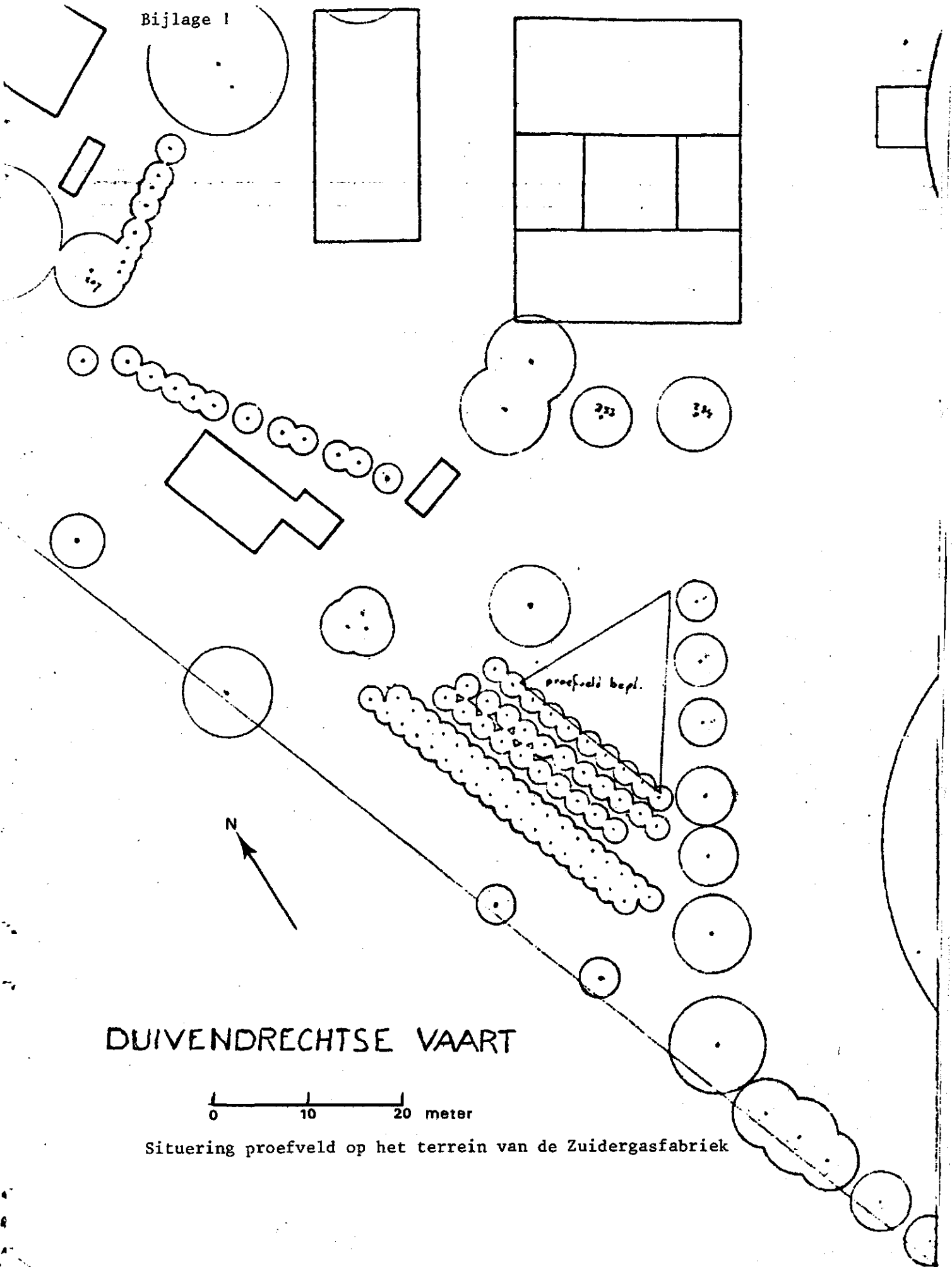
1. Ook proeven met lagere grondwaterstanden
2. Proeven met andere mengsels
3. In verband met vochtmeting ook bomen direct in de plantruimte poten
4. Zakkings en belastingsproeven in het lab ook met niet verzadigde monsters
5. In de straat verschillende plantgaten + de vraag of bomen in de schaduw met minder toe kunnen dan bomen tegen zuidwanden
6. Wegoppervlakte ook waterpassen na langere periode van vorst (in verband met opvriezen diverse materialen)
7. Op kleinere objecten verloop zakking en org. stof langdurig volgen
8. Proeven met straatbomen waar de groei als criterium zou gelden voor de plantgatkwaliteit zijn uiterst nuttig maar geven ons inziens pas na 10 jaar bruikbare informatie.

Een weinig kostbare methode zou kunnen zijn, in de praktijk verschillende plantgatkonstrukties gebruiken en zeer zorgvuldig archief aanleggen van de konstruktie en uitgangssituatie. Onder andere dichtheid, indringingsweerstand, wegdekhoogte, org. stofgehalte, grootte boomsoort + plaatsen in de stad waar bomen van dezelfde partij zijn geplant, hoogte grondwaterstand + eventuele veranderingen daarvan.

LITERATUUR

- BAKKER, J.W., 1978. Snelle vochtspanningsmetingen door tensiometers met elektrische drukopnemers. Landbouwk. Tijdschrift/pt 90, 5: 1-5
- RIJTEMA, P.E., 1965. An analysis of actual evapotranspiration
_____ 1969. Soil moisture forecasting. Nota ICW no. 513
- SANGLERAT, G., 1972. The penetrometer and soil exploration.
Elsevier publishing comp. Amsterdam
- SCHOTHORST, C.J., 1978. Het zakkingsproces bij ontwatering van de westelijke veenweidegronden. Bouwkunde wegen en waterbouw. Pt.b 33: 347-355
- SOESBERGEN, G.A. en C.TH. DE VOS, 1972. Een penetrograaf voor toegepast bodemkundig onderzoek. Cult.techn.Tijdschr. 12: 129-134
- STICHTING STUDIECENTRUM WEGENBOUW (Arnhem), 1972. Nucleaire meetmethoden in de wegenbouw. Mededeling 30

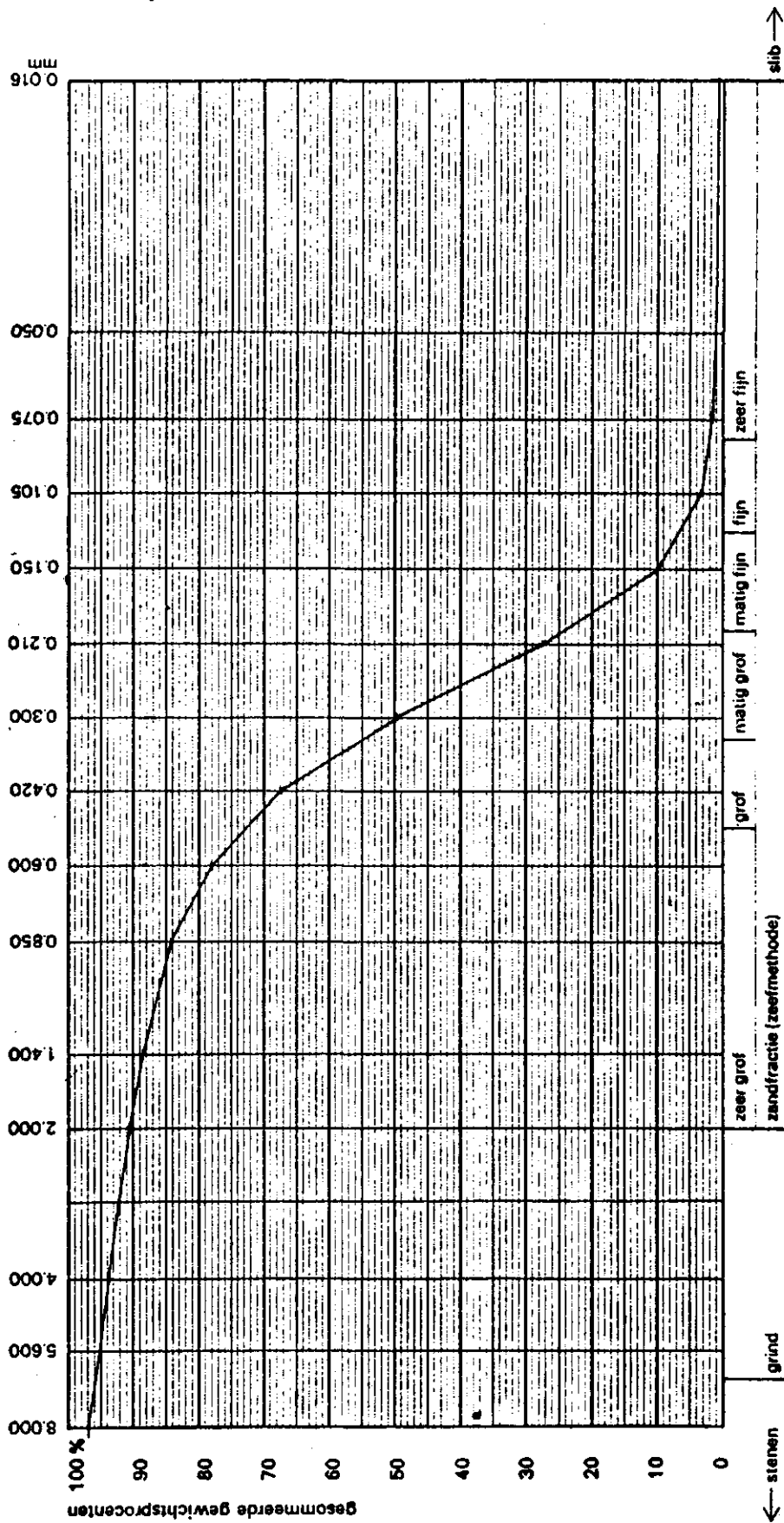
Bijlage 1



DUIVENDRECHTSE VAART

0 10 20 meter

Situering proefveld op het terrein van de Zuidergasfabriek



benaming monster matig grof zand met grind en zeer weinig carbonaten gehalte minerale dalen 98,66 %
 U-cijfer zandfractie 41 humusgehalte 0,39 %
 behoort bij boring - monster nummer 21 vak A carbonaatgehalte 0,05 %
 diepte - % uitgedrukt ten opzichte van gewicht droge stof

dienst der publieke werken
 amsterdam
 bureau grondmechanica

Proefvak Bepplantingen
 korrelverdelingsdiagram

get. 740611 AG
 gec. *[Handwritten]*
 gez. *[Handwritten]*

monsterno. 21 vak A
 2566 Grm. 12a

KORRELVERDELINGANALYSE,

AMSTERDAM 74 610

BEHOORT BY BORING VAK A

OPDRACHT NO 2566.0

MONSTER 21

HOOGTE T.O.V. N.A.P. .00 m TOT -X m

TOTAAL SLIB <16 mm		* IN % V.D. DROGE GROUND		* GRIND IN % V.D. MINERALE DELEN	
BEREKEND	.82	* KALK	.95	* TOTAAL GRIND	9.58
VAN LAB.LIJST	\$\$\$\$\$	* HUMUS	.39	* <2800 mm	92.26
		* SLIB	.74	* <4000 mm	93.83
		* ZAND	98.47	* <5600 mm	95.32
SLIB <2 mm	\$\$\$\$\$	* GRIND	9.45	* <8000 mm	97.00
SLIB <8 mm	\$\$\$\$\$	* SCHELPE	.00	* >8000 mm	100.00
SLIB <16 mm	.75	* MIN.DELEN	98.66		
		* CAL.CARB.	.95		

ZAND IN % V.D. MINERALE DELEN

<50 mm		<75 mm		<105 mm		<150 mm		<210 mm		<300 mm		<420 mm		<600 mm		<850 mm		<1400 mm		<2000 mm	
1.09	1.61	3.27	9.69	27.37	49.31	67.36	78.00	84.13	88.51	90.42											

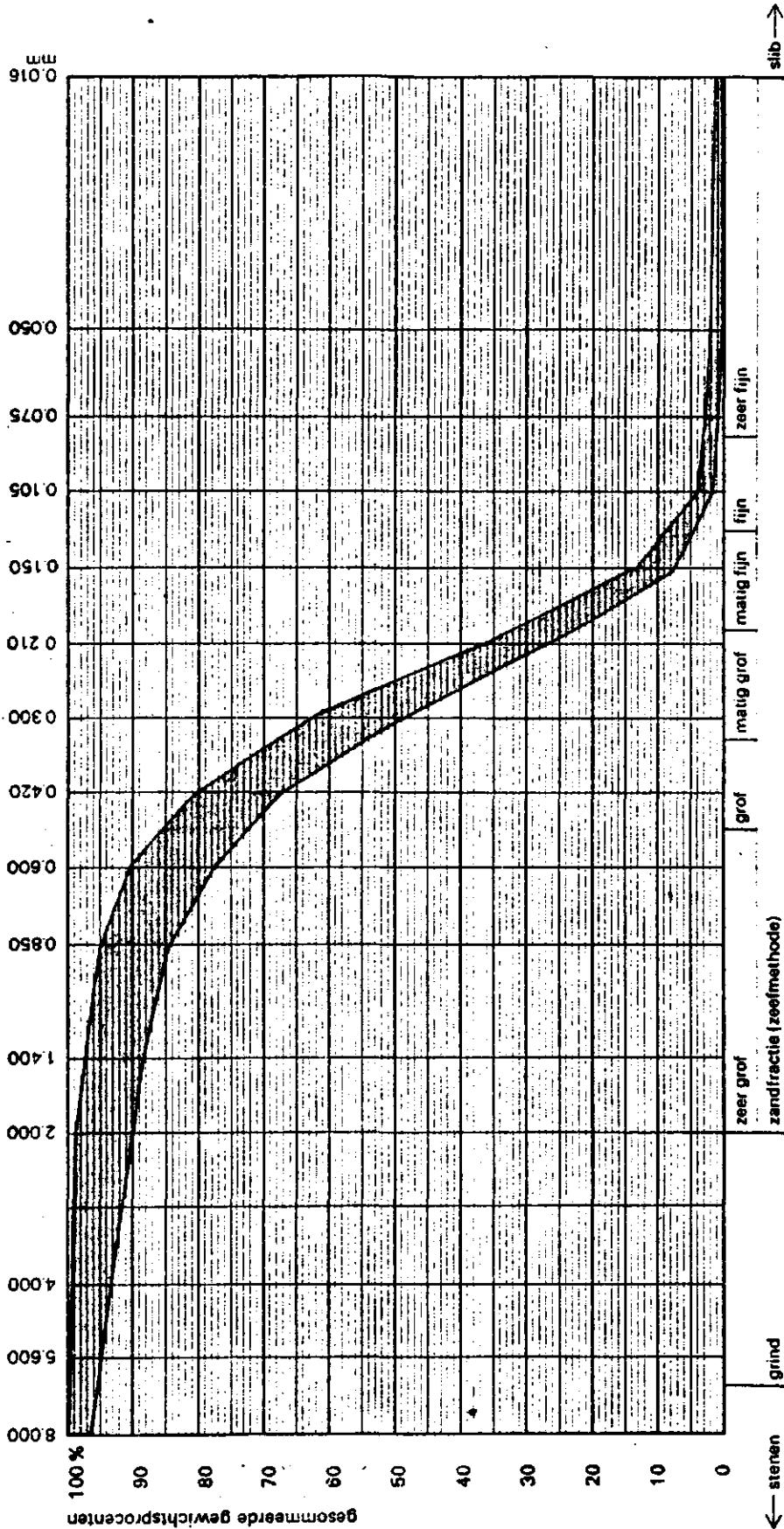
U CIJFER ZANDFRACHTIE 41. TOTAAL ZAND 16-2000 mm 89.67 %

MIN. PORIENVOLUME 29.0% MAX. PORIENVOLUME 41.2 %

BENAMING MONSTER: NATIG GROF ZAND MET GRIND EN ZEEP WEINIG CARBONATEN

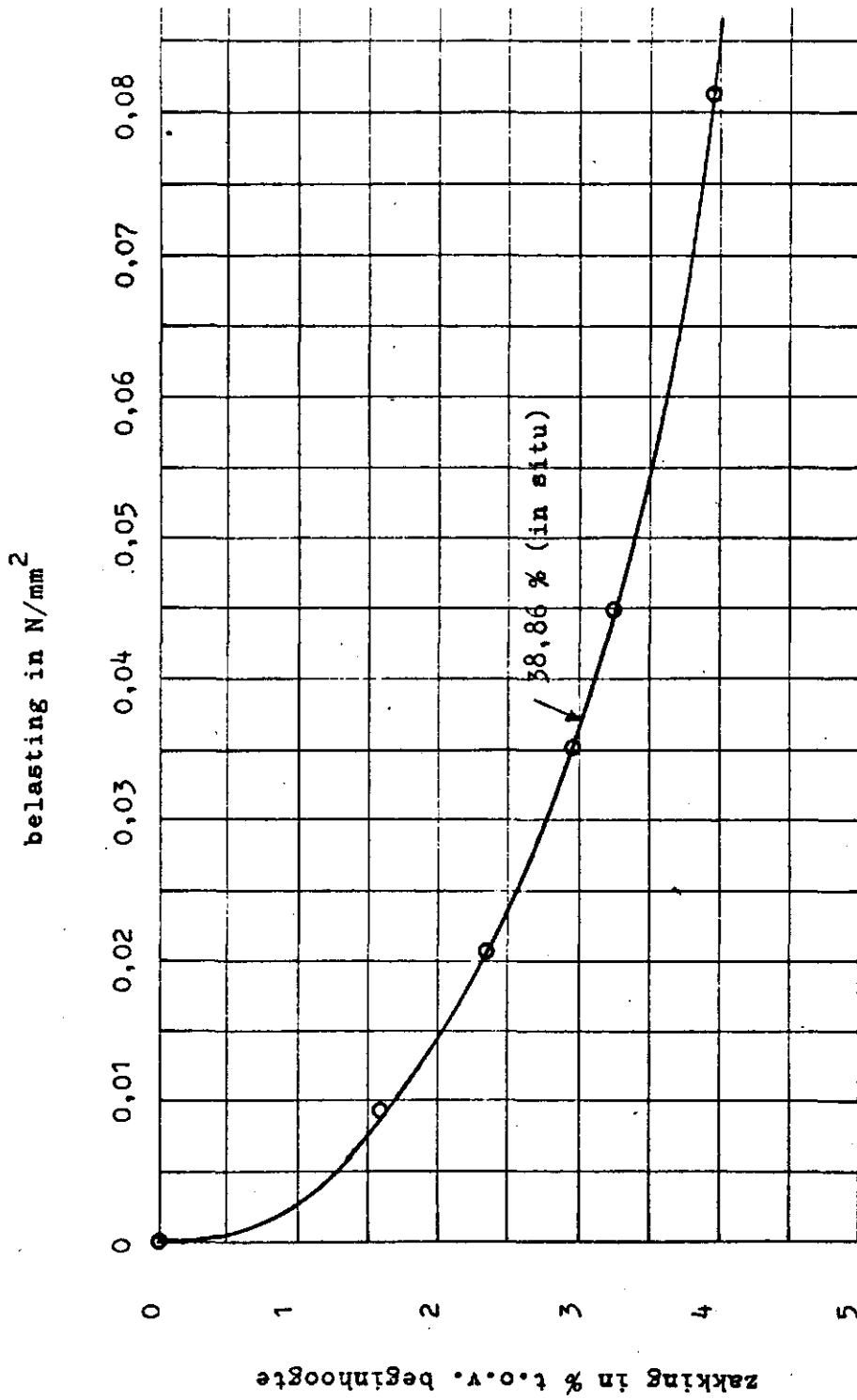
1 mm = 0.001 mm

Korrelverdelingsanalyse van een zandmonster



benaming monster matig grof zand met zeer weinig carbonaten
 Onder- en bovengrenzen van korrelverdelingsdiagrammen van het zand

dienst der publieke werken amsterdam bureau grondmechanica	Proefvak Beplantingen	get. 78-05-16	monsternr. 21 vak A
	korrelverdelingsdiagram	gec.	2566 Grm. 20
	onder en boven grens	géz.	



Voorbeeld van lastzakkingsdiagram 2% mengsel

por. vol.
in %

40,70

39,94

39,73

39,30

38,70

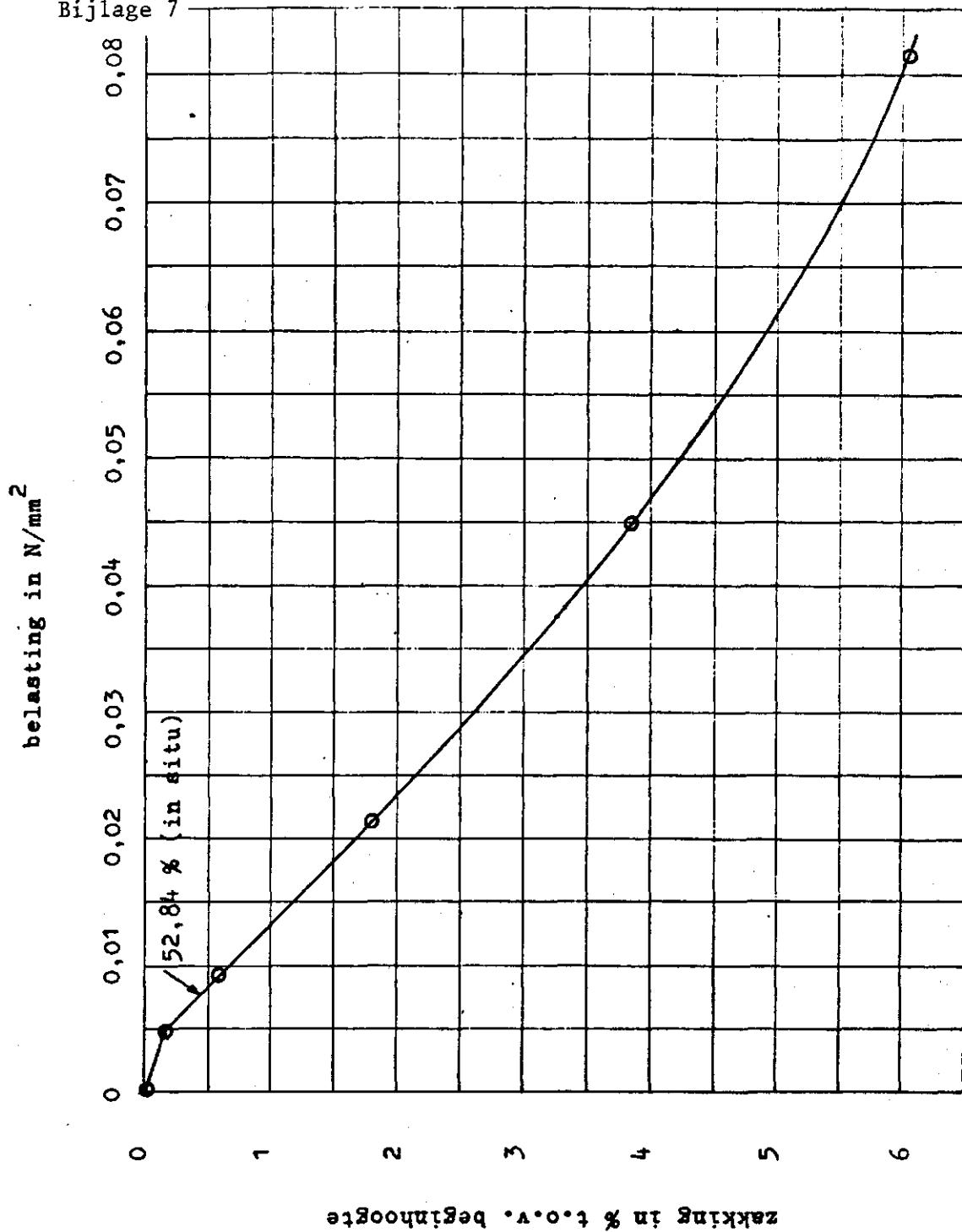
38,27

DIENT DER PUBLIEKE WERKEN
AMSTERDAM
Bureau Grondmechanica

Proefvak Beplantingen
Lastzakkingsdiagram B26

Get.: 1209/14
Gec.:
Ged.:

Schaal: -----
2566 Grm. 23



por. vol. in %

53,04
52,96
52,74

52,17

51,16

49,99

DIENST DER PUBLIEKE WERKEN AMSTERDAM Bureau Grondmechanica	Proefvak Bepantingen	Get.: 1-5/12-09	Schaal: -----
	Lastzakkingsdiagram C49	Gez.: [signature]	2566 Grm. 26
		Gez.: [signature]	

Voorbeeld lastzakkingsdiagram 5% mengsel

Voorbeeld-verwerking van de indringingsweerstand (I)

Serie: A vakken diepte 30 cm (4-4-77)

Afstand plantgat	Plantruimte (zand)						Plantgat		
	25 cm		25 cm		10 cm		16,5% org.stof		
No.sondering	1	4	7	8	2	3	5	6	
Vak A	1	40	39	30	41	33	-	8	12
	6	30	28	26	35	20	37	12	9
	8	34	40	40	35	35	30	8	8
	10	33	31	39	31	28	-	9	10
	11	25	29	30	40	29	-	11	20
	14	43	33	-	29	28	25	10	10
	16	30	40	32	37	25	27	9	10
	21	30	28	32	41	21	-	5	7

Verwerking:

Plaats	Aantal metingen (n)	Gemiddelde weerstand \bar{I} (kgf/cm ²)	Standaard- afwijking σ^*	Standaard afwijking $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Ruimte no's 1 + 4	16	33,31	5,44	1,36
no's 1 + 4 + 7 + 8	31	33,9	5,15	0,92
no's 2 + 3	12	28,7	5,15	1,49
no's 1,4,7,8,2,3	43	32,1	5,72	0,87
Plantgat no's 5 + 6	16	9,9	3,24	0,81

$$* \sigma = \left[\left(\sum I^2 - \frac{(\sum I)^2}{n} \right) \frac{1}{(n-1)} \right]^{1/2}$$

Nemen we aan dat de waarnemingen volgens de normale kansverdeling om de gemiddelde waarde liggen, dan geldt bijvoorbeeld voor de 43 metingen in de ruimte (no's 1,2,3,4,7 en 8) dat 95% van de waarnemingen ligt tussen de waarden $\bar{I} \pm 2,02 \times \sigma (=32,1 \pm 11,71 \text{ kgf/cm}^2)$;

Bijlage 8 vervolg

de factor 2,02 is af te lezen in de tabel van students t distributie bij $n = 43$.

Significantie verschil tussen twee gemiddelde indringingswaarden.

I_{1+4} en I_{2+3} verschillen significant van elkaar wanneer het verschil significant groter is dan nul.

De standaardafwijking van het verschil van de gemiddelden is

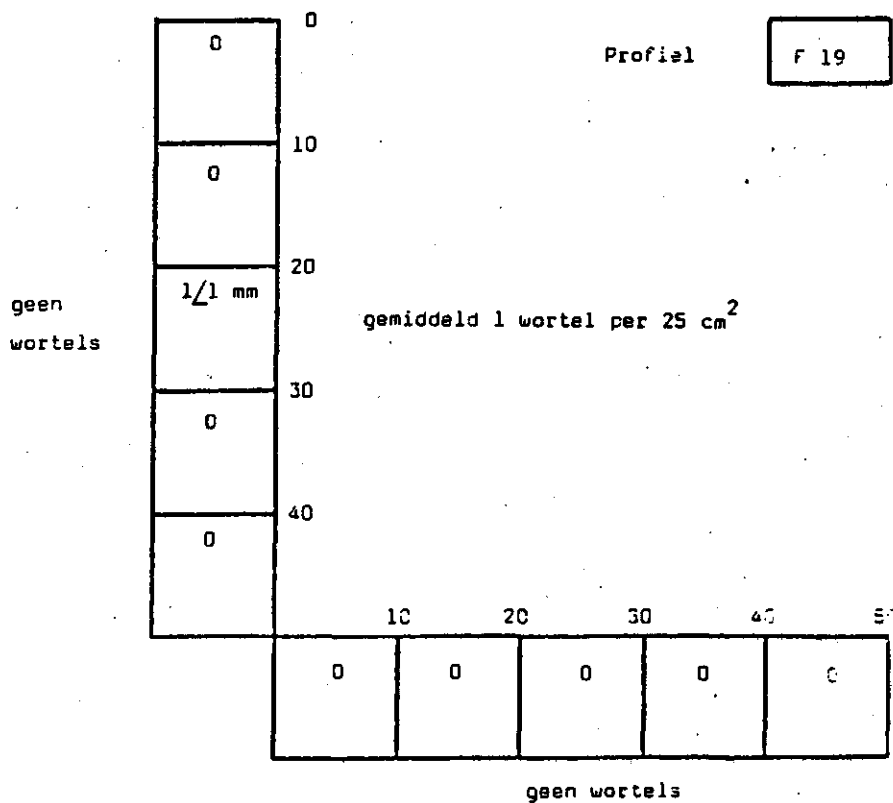
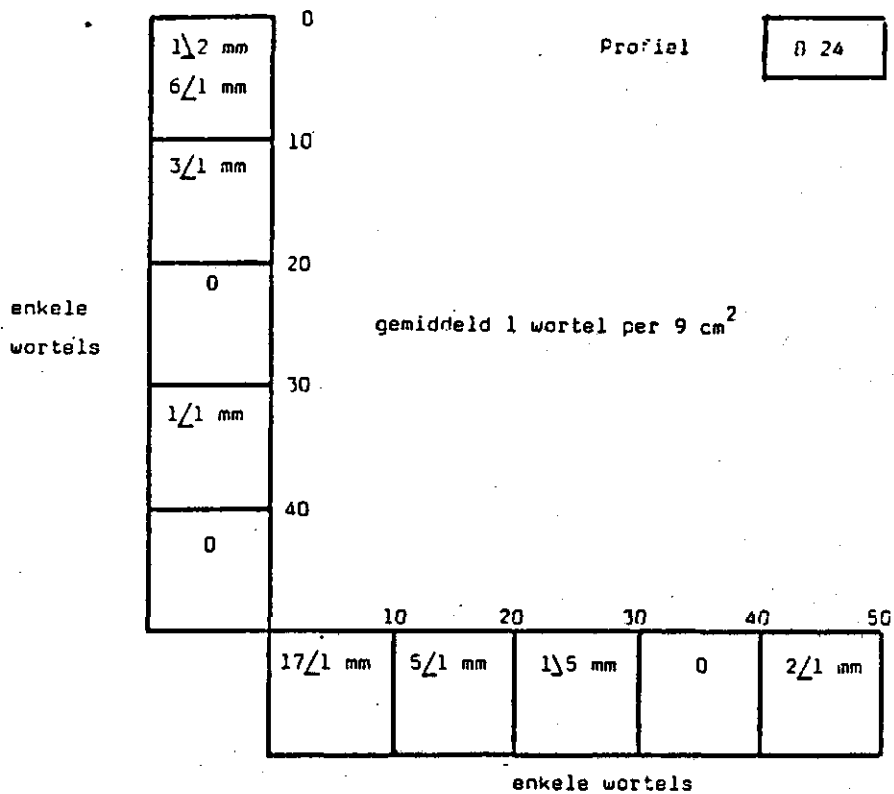
$$\sigma_v = \left[\frac{\sigma^2_{(1+4)}}{n_1} + \frac{\sigma^2_{(2+3)}}{n_2} \right]^{1/2} = \pm 2,01 \text{ kg}$$

Wanneer I_{1+4} en I_{2+3} niet verschillen dan is er 95% kans dat het verschil kleiner is dan $\pm \sigma_v \cdot 2,05 = \pm 4,14 \text{ kg}$ en 90% kans dat het verschil kleiner is dan $\pm \sigma_v \cdot 1,70 = \pm 3,48 \text{ kg}$ (factoren op te zoeken bij $n = n_1 + n_2 = 12 + 16 = 28$).

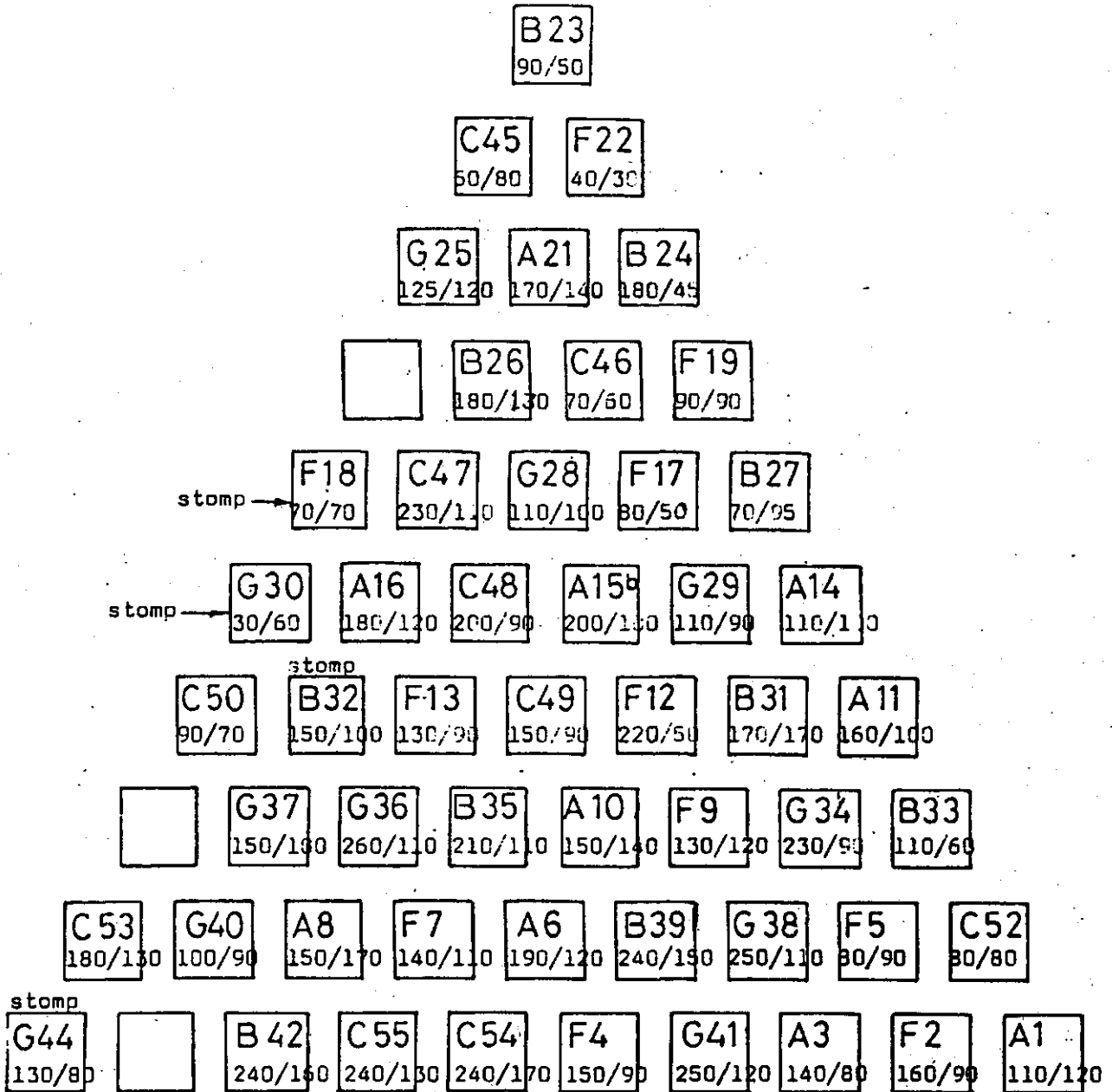
Het verschil is echter $33,3 - 28,7 = 4,6 \text{ kg}$.

Dus het is voor meer dan 95% zeker dat de indringingsweerstand langs het plantgat $I_{(2+3)}$ niet gelijk is aan de indringingsweerstand verder in de plantruimte $I_{(1+4)}$

WORTELTELLINGEN ZUIDERGAS



Voorbeeld worteltelling 4-4-1977



Hoogte en kroon diameter van de bomen op 4 april 1977