

oor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

NN31545.0785

VERDICHTING EN BOUWVOORVERSCHRALING
DOOR PLOEGEN EN AFSCHUIVEN BIJ
VERSCHILLENDE VOCHTGEHALTEN

ir. D. Boels en ing. L. Havinga

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

ISBN 182 001 - 03



I N H O U D

| | blz. |
|--|------|
| 1. INLEIDING | 1 |
| 2. HET ONDERZOEK | 2 |
| 2.1. Probleemstelling | 2 |
| 2.2. Proefopzet | 4 |
| 2.2.1. Vaststelling werkomstandigheden | 4 |
| 2.2.2. Inrichting proefveld | 5 |
| 2.2.3. Het meetprogramma | 8 |
| 3. RESULTATEN | 9 |
| 3.1. De kwaliteit van het ploegwerk | 9 |
| 3.2. De gevolgen van het afschuiven | 13 |
| 3.3. De gewasreacties | 18 |
| 4. GEVOLGTREKKINGEN | 22 |
| 5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES | 25 |
| 6. LITERATUUR | 29 |

INLEIDING

Waar een grondtekort is om tot perceelsvergroting en -aansluiting te komen wordt de methode van ploegen en afschuiven toegepast om de benodigde grond te verkrijgen. Voor dit doel wordt er jaarlijks 1200 - 1500 ha gediëpploegd en afgeschoven (C.D. 1972).

Door het diepploegen komt ondergrond naar boven, die met een bulldozer naar de gewenste plaats geschoven wordt. Deze plaats kan zijn een op te vullen laagte, of een te dempen sloot. Waar het gaat om het opvullen van laagten is ploegen en afschuiven een alternatief voor het per as aanvoeren van grond elders vandaan, voor zover er elders een grondoverschot is. Is het doel slootdemping, dan is ploegen en afschuiven een alternatief voor de aanvoer van grond per as of door een zuiger.

De aanvoerkosten van de grond per m³ zijn bij zuigen en spuiten + f.2,75 (VAN KLEEF 1973), bij aanvoer per as + f.5,-- en ploegen en afschuiven + f.2,-- (VAN ZEYTS 1973). Gelet op de prijs heeft ploegen en afschuiven de voorkeur boven de alternatieven.

Bij het ploegen en afschuiven wordt een relatief groot oppervlak bereiden, waardoor de mogelijke bijkomende schade in de vorm van structuurbederf en verdichting aanmerkelijk groter kan zijn (circa 10 x) dan bij de alternatieven.

Structuur bederf kan weer herstellen. De schade door die oorzaak blijft beperkt. Verdichtingen kunnen in veel gevallen niet opgeheven worden langs natuurlijke weg (VAN OUWERKERK 1968), terwijl dit slechts in enkele gevallen langs mechanische weg zal lukken (BOELS EN HAVINGA 197 , HAVINGA EN VAN GREUNINGEN 1973).

Globaal genomen moet de schade door verdichting dan ook van blijvende aard geacht worden.

Om tot een goede afweging van de kosten van het grondverzet middels ploegen en afschuiven tegen de alternatieven te komen, is een inzicht nodig in de grootte van de mogelijke schade.

Voorts kan de schade beperkt worden door normen te formuleren voor werkomstandigheden, waarbij het werk stil gelegd moet worden. Daarvoor moet echter de relatie tussen opbrengst depressies, verdichtingen en structuurbederf bekend zijn.

Een proef om dit inzicht te krijgen is opgezet in samenwerking met de C.D. te Groningen en uitgevoerd op een perceel lichte zavel grond te Wehe in maart 1973.

2. HET ONDERZOEK

2.1. P r o b l e e m s t e l l i n g

Ploegen en afschuiven brengt met zich mee, dat er krachten op de bodem worden uitgeoefend. De voor het ploegen benodigde kracht (trekkracht en druk) wordt via de wielen overgebracht op de vaste en de losse bouwvoor.

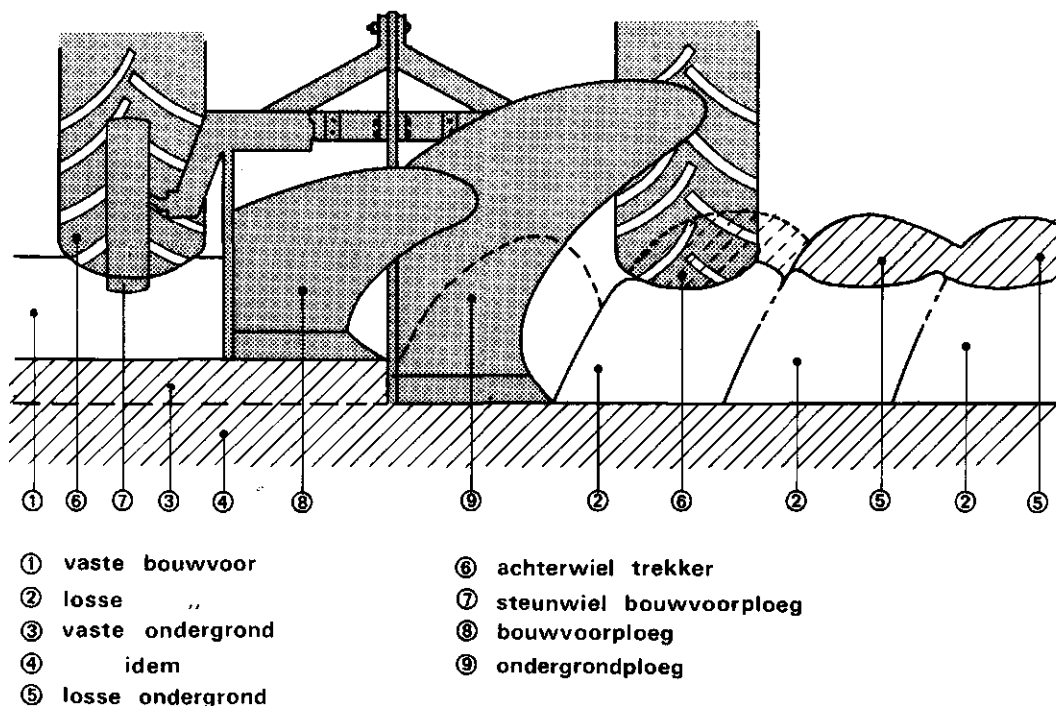


Fig. 1. Schematische weergave werkwijze bij diepploegen

De grond levert een even grote, tegengesteld gerichte kracht volgens het principe: actie = - reactie. De losse bouwvoor zal de gewenste reaktiekracht zeker niet kunnen leveren, de vaste bouwvoor daarentegen meestal wel.

De draagkracht neemt toe bij grotere insporingsdieptes, terwijl de door de bodem geleverde trekkracht groter wordt wanneer er meer slip optreedt (BEKKER 1969). Slip en insporing zullen derhalve optreden en meer naarmate de grond natter is.

Een geringe insporing in de losse bouwvoor is gunstig, daar de bouwvoor afgevlakt wordt en de kans op menging tussen bouwvoor en ondergrond daardoor geringer wordt.

Daar de ondergrond in het trekkerspoor terecht komt (fig. 7), neemt de kans op menging toe naarmate de insporingsdieptes groter worden. Immers bij het afschuiven zal niet alle ondergrond meegenomen worden; in de sporen blijft hij achter.

De krachten planten zich in de diepte voort. De diepte waarop nog iets van de kracht merkbaar is hangt af van de 'hardheid' van de grond (KUIPER, 1963). Op slappe gronden is deze diepte groter dan op harde gronden. De grootste krachten hoeven niet direct onder de wielen of rupsen op te treden. Wanneer er iets in de grond dringt zoals uit een proef van SOEHNE et.al.(1962) blijkt, treden de grootste krachten op enige diepte onder het zakkend voorwerp op. Voor de verdichting onder diep insporende wielen en rupsen kan dat betekenen dat de grootste verdichting niet direct onder de wielen en rupsen optreedt, maar op enige diepte daaronder.

Of de grond verdicht wordt om de nodige reaktie kracht te leveren en de mate waarin dit gebeurt, hangt af van het vochtgehalte. Verbanden tussen samendrukbaarheid van de grond en vochtgehalte zijn gegeven door WEAVER a.o. (1951) en HAVINGA en PERDOK (1969)

De dieptes tot waar er verdichtingen optreden hangen af van de opgelegde krachten en van het vochtgehalte (de 'hardheid' van de grond). DE HAAN en WIND (1966) namen verdichtingen waar tot $\pm 0,50$ m-m.v., DE VRIES (1972) tot 1,0 m-m.v. terwijl BEUVING (1972) aanwijzingen vond voor verdichtingen tot nog grotere dieptes.

Verdichtingen hebben een nadelige invloed op de gewasopbrengsten (BOEKEL 1963), terwijl bouwvoorverschraling op zavelgronden de slempgevoeligheid vergroot, wat remmend werkt op de luchthuishouding.

2.2. P r o e f o p z e t

2.2.1. Vaststelling werkomstandigheden

De bedoeling van de proef was inzicht te krijgen in het verband tussen werkomstandigheden, gedefinieerd als vochtgehalte van de grond, de verdichting van de bodem en de vermenging van bouwvoor met ondergrond. Bij de bepaling van de gewenste vochttrappen is er van uitgegaan, dat het niet zinvol zou zijn zeer droge omstandigheden in het onderzoek te betrekken. In die omstandigheden is de mogelijke schade, volgens praktijk ervaringen, zeer gering tot verwaarloosbaar.

Getracht is om minstens een situatie te creëren waarvan de practici het nog verantwoord vonden om nog te werken. De andere situaties zijn steeds slechter.

Voor de bepaling van de vochttrappen is het verband bepaald tussen verticale belasting, vochtgehalte en uiteindelijke dichtheid van de grond. In fig. 2a zijn deze relaties voor de bouwvoor weergegeven.

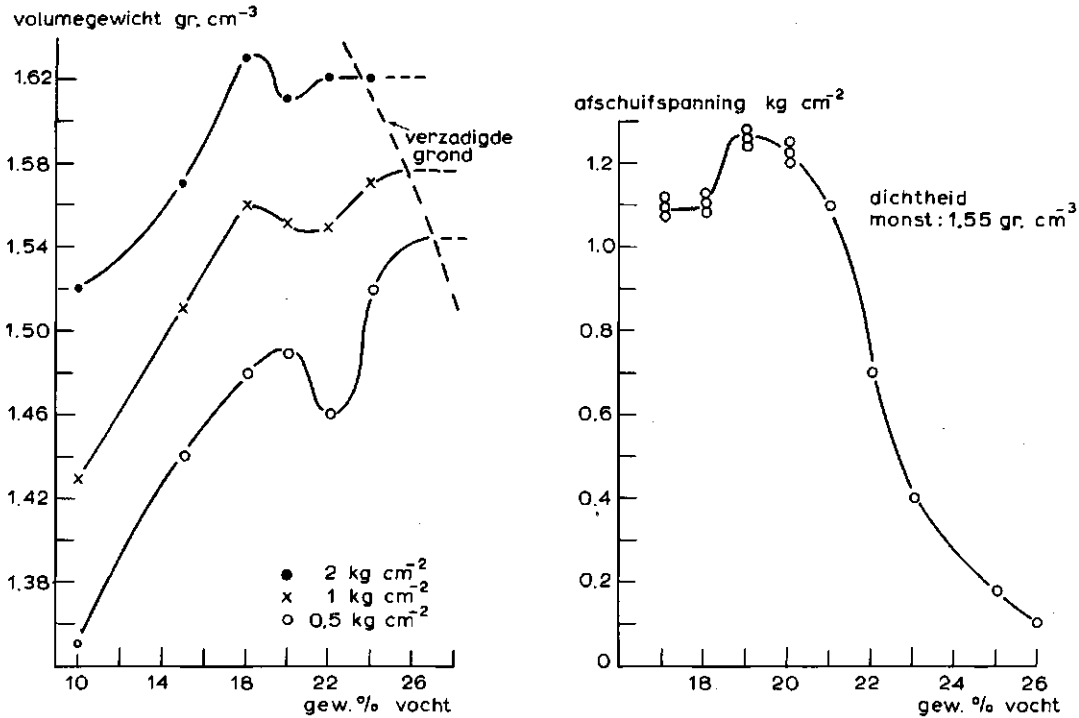
Het blijkt dat de gevoeligheid voor samendrukken bij hoge belastingen bij een lager vochtgehalte ligt dan bij lagere belastingen.

Dit verschijnsel werd reeds door WEAVER (1951) gesignaleerd. Duidelijk is echter niet waarom de gevoeligheid voor samendrukken toeneemt bij grotere vochtgehaltenes, om vervolgens af te nemen bij nog grotere vochtgehaltenes, om daarna weer een toenemende gevoeligheid te vertonen.

Gelet op de te verwachten bodemdrukken (vertikale belastingen) van $+ 1,2 \text{ kg cm}^{-2}$ (zware wieltrekker) en $+ 0,5 \text{ kg cm}^{-2}$ (bulldozer) leek een vochttrappenreeks tussen 18 en 27% de meest gewenste.

Tevens werd het verband bepaald tussen afschuifspanning en vochtgehalte (bepaald met een 'Torane', merk Soil Test).

In fig. 2b is deze relatie weergegeven.



De afschuifspanning neemt toe van 1,1 tot 1,25 kg cm⁻² vanaf een vochtgehalte van 17 tot 19%. Vanaf dit laatste vochtgehalte neemt de afschuifspanning af tot + 0,1 kg cm⁻² bij verzadiging (+ 27% bij de geteste dichtheid van 1,55 gr cm⁻³).

Daar de verwachte horizontale krachten ongeveer 0,3 kg cm⁻² bij de bulldozer en + 0,9 kg cm⁻² bij een zware wieltrekker zijn, leek, gebaseerd op de afschuifspanningen, een vochttrappenreeks van 19 - 27% de meest belovende.

2.2.2. Inrichting proefveld

Een perceel zavelgrond van + 2 ha te Wehe werd voor de proef uitgezocht. Het profiel was vrij homogeen van samenstelling (tabel 1),

terwijl de dichtheid vanaf 40 cm-m.v. gemiddeld gelijk of geringer was dan $1,50 \text{ gr cm}^{-3}$. Verdichtingen waren nog mogelijk.

De dichtheden tussen 0,30 - 0,40 m-m.v. zijn minder interessant, omdat deze laag opgeploegd wordt.

Tabel 1. Gemiddelde dichtheid, humusgehalte, kalk- en fosfaatgehalte en granulaire samenstelling van de grond op het proefveld

| Diepte | Gem. dichth. gr cm ⁻³ | gem.% humus | % C _a CO ₃ | % P ₂ O ₅ | Granulaire samenstelling % v.d. minerale delen | | | | | | |
|--------|----------------------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------------|--|------|-------|-------|--------|---------|------|
| | | | | | <2μ | 2-16 | 16-25 | 25-75 | 75-105 | 105-150 | >150 |
| 0-20 | 1,31 | 2,4 | 0 | 0,130 | 12,1 | 5,8 | 4,1 | 59,7 | 14,0 | 3,8 | 0,5 |
| 20-30 | 1,54 | 2,2 | 0 | 0,120 | 11,5 | 6,3 | 3,4 | 62,0 | 12,4 | 4,1 | 0,3 |
| 30-40 | 1,53 | 1,9 | 0 | 0,103 | 12,2 | 5,4 | 3,6 | 63,5 | 11,7 | 3,3 | 0,3 |
| 40-50 | 1,47 | 1,6 | 0 | 0,092 | 11,0 | 5,8 | 3,9 | 64,9 | 11,5 | 2,5 | 0,4 |
| 50-60 | 1,50 | 1,6 | 0 | 0,103 | 12,7 | 5,1 | 4,1 | 65,3 | 10,5 | 2,1 | 0,2 |
| 60-70 | 1,51 | 1,6 | 0 | 0,112 | 16,0 | 6,3 | 4,1 | 63,4 | 8,5 | 1,4 | 0,3 |
| 70-80 | 1,49 | 1,5 | 0,5 | 0,120 | 17,3 | 8,0 | 4,8 | 62,1 | 6,8 | 0,9 | 0,1 |
| 80-90 | 1,43 | 1,5 | 2,3 | 0,140 | 24,7 | 10,4 | 6,4 | 53,1 | 4,4 | 0,6 | 0,4 |
| 90-100 | 1,41 | 1,3 | 4,9 | 0,129 | 19,5 | 9,1 | 6,1 | 58,9 | 5,4 | 0,6 | 0,4 |

Daar er kunstmatig berekend zou worden, is de breedte van de veldjes aangepast aan de standaardlengtes van de aanvoerbuizen van de beregeningsinstallatie. De situering van de veldjes is zodanig, dat ze overwegend op de kruinen liggen. (fig.3).

De lengte van de veldjes (30 m) is zo gekozen, dat een bulldozer in vier keer (8 x rijden) de opgeploegde ondergrond over de breedte van het bulldozerblad kon afschuiven.

Het aantal keren rijden is op 8 vastgesteld, omdat DE HAAN en WIND (1966) vonden dat na 6 x rijden geen verdere verdichting meer optrad.

Er werden dagelijks grondmonsters genomen, waarvan het vochtgehalte bepaald werd op het laboratorium van het I.B. te Groningen. Gebaseerd op de gemeten vochtgehaltenes en visuele beoordeling van de bewerkbaarheid van de grond, werden de dagelijkse giften bepaald.

2.2.3. Het meetprogramma

Vooraf aan het ploegen werd op de veldjes per laag van 10 cm, tot een diepte van 1m-m.v., 6 ringmonsters (100 cc) genomen. Hiervan werd de dichtheid bepaald, het humusgehalte, CaCO_3 gehalte, P_2O_5 gehalte en de granulaire samenstelling.

Het P_2O_5 gehalte werd bepaald om naderhand te kunnen vaststellen met hoeveel procent ondergrond de bouwvoor gemengd is.

Daarnaast werden er ten behoeve van de bepaling van de doorlatendheid, PF-karakteristiek en het capillair geleidingsvermogen monsters genomen met diameter 15 cm en hoogte 20 cm. Dit gebeurde op de grenzen van de veldjes 2-3, 5-6, 7-8, 10-11 en 13-14, in de uitgangssituatie.

Na het ploegen werden ringmonsters genomen in de laag 0-10 cm boven de ploegdiepte en in de lagen 0-7,5 en 7,5-15 cm onder de ploegdiepte.

Een groot monster werd genomen in de laag + 10 cm - -10 cm ten opzichte van de ploegdiepte.

Een dwarsdoorsnede van het ploegwerk werd op elk veldje in kaart gebracht. Na het afschuiven van de bovengeploegde ondergrond door een bulldozer D6, werden 6 ringmonsters genomen per laag van 10 cm tot 100 cm-m.v., op elk veldje. Voorts werden er per laag van 20 cm grote monsters genomen.

Op de grenzen tussen de veldjes waren grondwaterstandsbuizen geplaatst. Het doel was om na te gaan of de grondwaterstand tijdens het opschuiven zou stijgen, zoals door BEUVING (1972) was waargenomen op het proefobject voor slootdemping te Kloosterburen.

De insporingsdieptes op de veldjes werden na het bulldozerwerk gemeten.

Een drietal gewassen te weten haver, zomertarwe en aardappelen werden op de veldjes verbouwd. Op de veldjes 2, 4, 7 en 14 werden in augustus worteltellingen gedaan en werden de profielen op deze veldjes volgens de methode STRIETMAN (1970) beschreven door de R.T.C.

De gewas opbrengsten werden, waar het de granen betreft bepaald als droge stofproduktie in het stro. Korrelopbrengsten per veldje konden niet bepaald worden omdat er eerder dan was afgesproken geoogst was.

De aardappelopbrengst werd bepaald door per veldje 15 m rij te oogsten.

3. RESULTATEN

3.1. De kwaliteit van het ploegwerk

De bedoeling van het ploegen is een hoeveelheid ondergrond naar boven te brengen, zodanig dat de bouwvoor zo weinig mogelijk gemengd wordt met ondergrond en zodanig dat er de gewenste hoeveelheid op geploegd wordt.

Daar de bouwvoor na het ploegen niet volkomen vlak komt te liggen, is enige menging niet te voorkomen. De menging zal echter toenemen naarmate de insporingsdiepte van het trekkerwiel in de losse bouwvoor (fig. 1) groter wordt. Immers het trekkerspoor wordt met ondergrond opgevuld.

Voorts zal de menging toenemen wanneer er te veel ondergrond opgeploegd wordt. In dat geval zal er te veel ondergrond achterblijven nadat de gewenste hoeveelheid met de bulldozer is weggeschoven.

Een te grote ploegdiepte ontstaat wanneer de insporingsdieptes van de trekkerwielen op zowel de vaste als de losse bouwvoor toenemen. Dat gebeurt wanneer het vochtgehalte van de grond toeneemt.

Vooraf op de veldjes 11 t/m 14 was de ploegdiepte te groot door die oorzaak, ook al was getracht een juiste ploegdiepte aan te houden door deze tijdens het werk aan te passen (fig. 4 e, f).

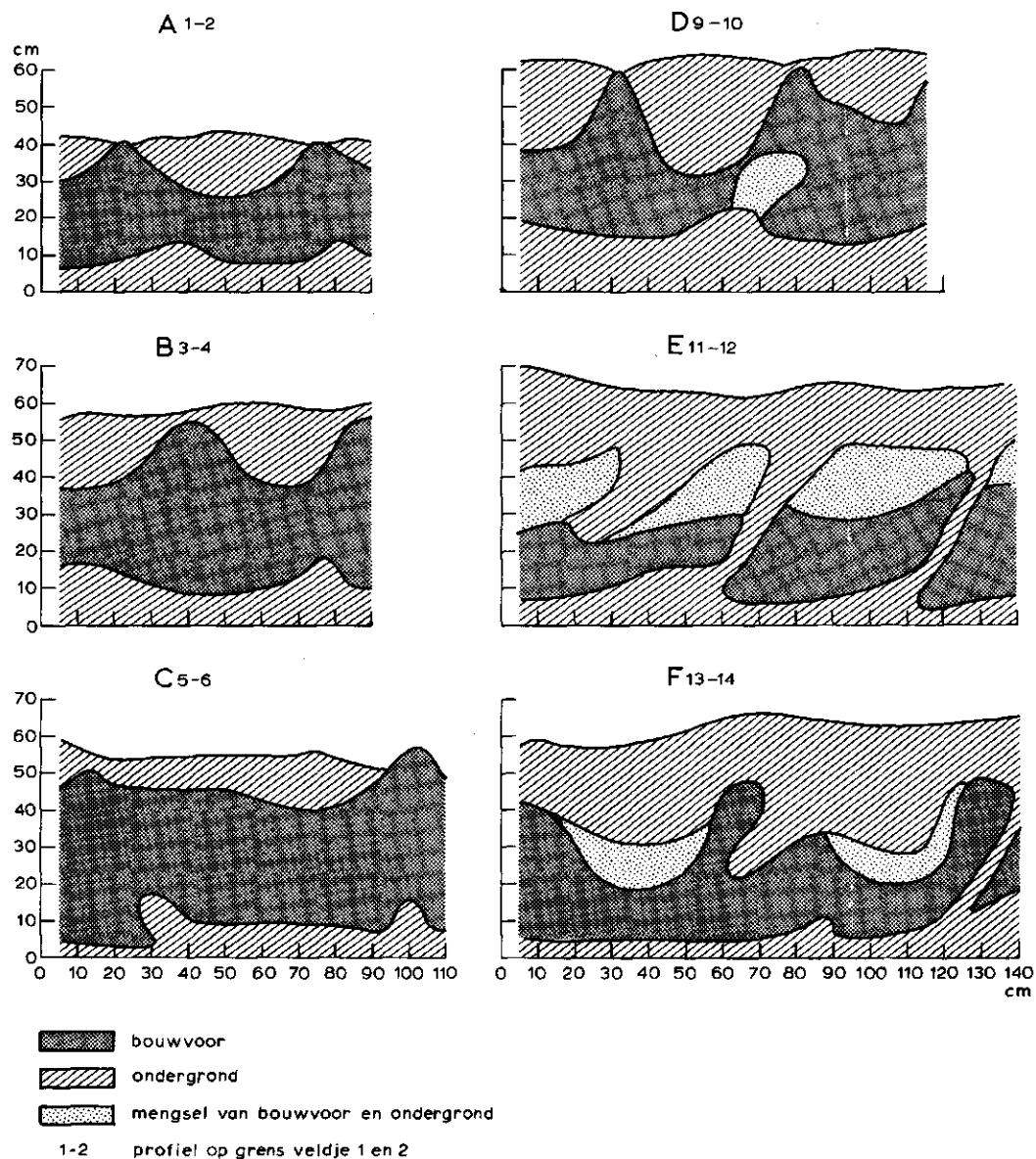


Fig. 4. Dwarsdoorsnede van de ligging van bouwvoor en ondergrond na het diepploegen 1/2 op de grens van veldje 1 en 2

Waar de insporingsdieptes toenamen, nam ook de slip van de trekker toe, waardoor de bestuurbaarheid geringer werd. Door slip ontstond nogal wat menging tussen ondergrond en bouwvoor, omdat de rijsnelheid te laag was en de grondlegging van de ondergrondploeg daardoor te wensen overliet (fig. 4 e en f). Geringere

bestuurbaarheid had op de veldjes 11 en 12 tot gevolg, dat de ploegbreedte te groot werd (fig. 4 e).

In de fig. 4 a, b en d is af te lezen dat de kans op menging tussen bouwvoor en ondergrond bij toenemende insporingsdieptes groter wordt.

De mengingsgraad wordt dus bepaald door een te grote ploegdiepte en de insporingsdiepte in de losse bouwvoor. Een equivalente insporingsdiepte (D) als maat voor de menging wordt ingevoerd:
 $D = \frac{1}{2} (H_1 - H_2) + 1,3 \Delta P$. Hierin is H_1 de grootste dikte van de bouwvoor (tussen de trekkersporen), H_2 de kleinste dikte (onder de trekkersporen) en ΔP is de fout in de ploegdiepte, terwijl de factor 1,3 een maat is voor de uitlevering van de ondergrond (fig. 5).

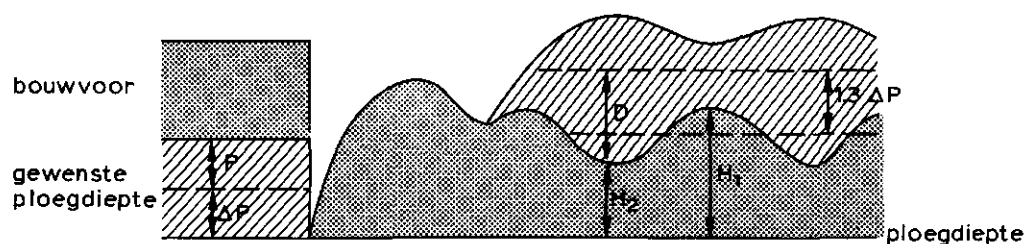


Fig. 5. Bepaling van de equivalente insporingsdiepte

$$D = \frac{1}{2} (H_1 - H_2) + 1,3 \Delta P$$

De insporingsdiepte en de ploegbreedte worden bepaald door het vochtgehalte van de grond. De equivalente insporingsdiepte zal derhalve een samenhang hebben met het vochtgehalte.

In fig. 6 is deze samenhang weergegeven. Het verband is lineair. De equivalente insporingsdiepte op de veldjes 5 en 6 is vrij gering in vergelijking met het vochtgehalte. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Verder valt op, dat de grenzen waartussen het vochtgehalte van de bouwvoor zich beweog vrij nauw waren. De equivalente insporingsdieptes daarentegen toonden grote verschillen.

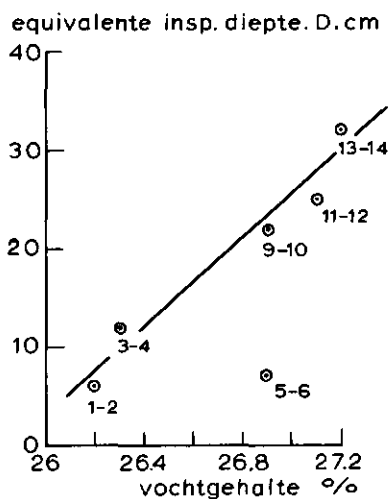


Fig. 6. Equivalente insporingsdiepte als functie van het vochtgehalte

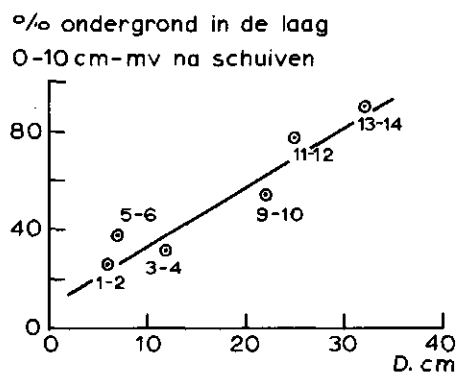


Fig. 7. Het percentage ondergrond in de laag 0-10 cm-m.v. in relatie tot de equivalente insporingsdiepte

In fig. 7 is de relatie tussen het percentage ondergrond in de laag 0-10 cm-m.v. na afschuiven, en de equivalente insporingsdiepte in beeld gebracht, het verband is lineair.

Wanneer er in de praktijk een maat voor de kwaliteit van het ploegwerk gehanteerd moet worden, lijkt het beter daarvoor de equivalente insporingsdiepte te gebruiken dan het vochtgehalte. Immers het verband tussen mengingsgraad en equivalente insporingsdiepte is vrij duidelijk, terwijl deze insporingsdiepte zich binnen ruime grenzen beweegt, in tegenstelling tot de ruimte tussen de grenzen waarbinnen zich het vochtgehalte beweegt.

Daar komt nog bij, dat de equivalente insporingsdiepte veel gemakkelijker te meten is dan het vochtgehalte.

Wanneer er tijdens het ploegen te veel ondergrond wordt opgeploegd, is het in principe mogelijk deze na het afschuiven weer terug te ploegen.

Deze methode heeft echter het gevaar in zich, dat de teruggeploegde ondergrond een verdichte laag gaat vormen onder de bouwvoor. De dichtheid van de laag ondergrond na het afschuiven is ongeveer $1,52 \text{ gr cm}^{-3}$.

Deze laag wordt door het terugploegen losgemaakt en op een diepte van $\pm 30 \text{ cm}$ onder maaiveld gebracht.

Uit het verband tussen de dichtheidsverandering ten gevolge van een losmakende bewerking en de oorspronkelijke dichtheid zoals deze door HAVINGA e.a. (1973) is vastgesteld, is af te leiden dat de dichtheid van de teruggeploegde ondergrond ongeveer $1,57 \text{ gr cm}^{-3}$ zal worden (porievolume $\pm 40\%$). Daar deze dichtheid niet blijvend te veranderen is door woelen (HAVINGA, 1973) en de wortelgroei geremd wordt door deze laag, zal het nodig zijn deze laag regelmatig (ongeveer 1 keer in de 2 à 3 jaar) los te maken.

Deze bewerking verhoogt de exploitatiekosten van de grond.

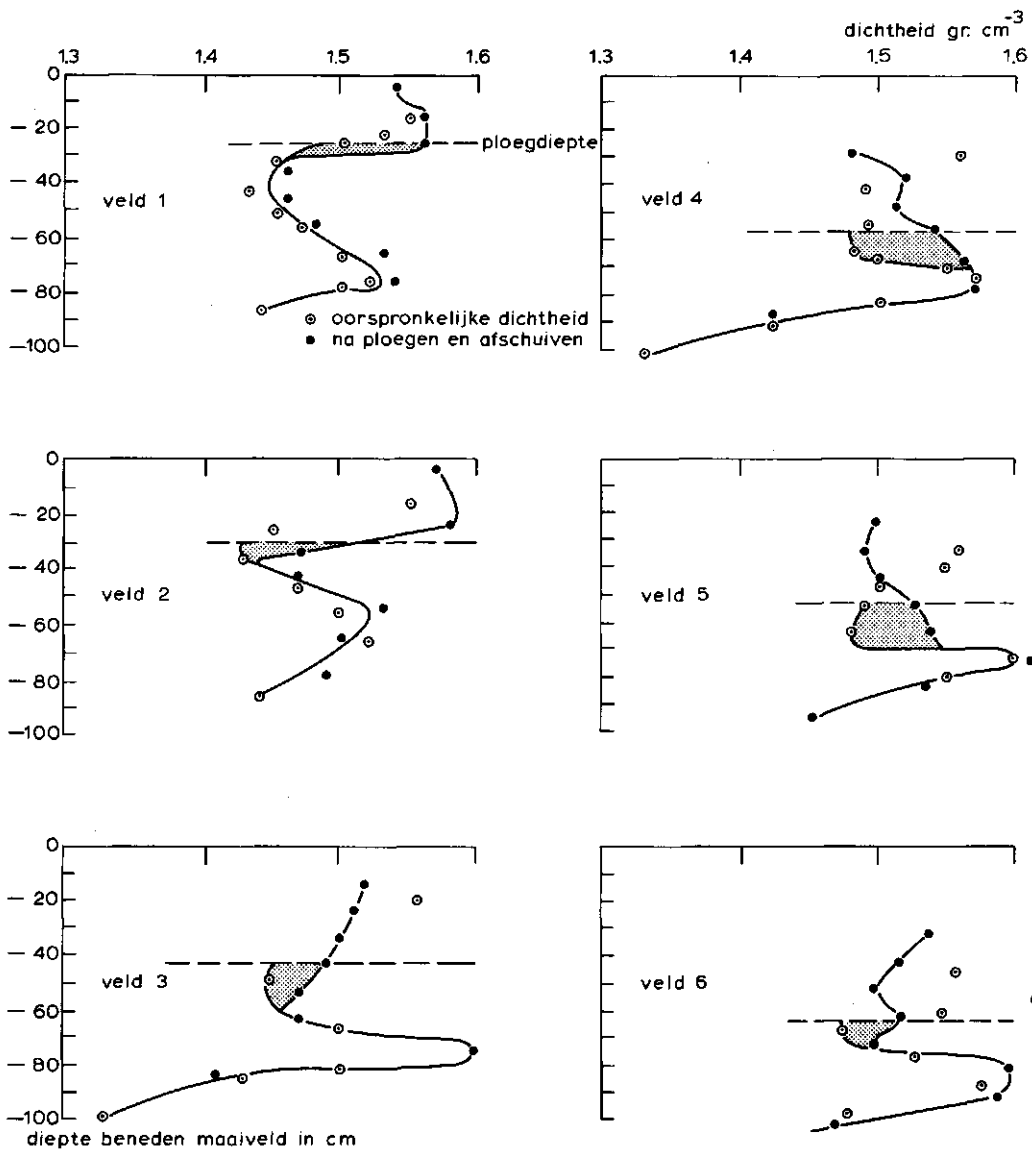
Na het ploegen zijn dichtheidsbepalingen verricht op $+ 5$, $- 7,5$ en $- 15 \text{ cm}$ ten opzichte van de ploegdiepte. Uit de dichtheden is gebleken, dat de bodem onder de ploegdiepte niet verdicht is.

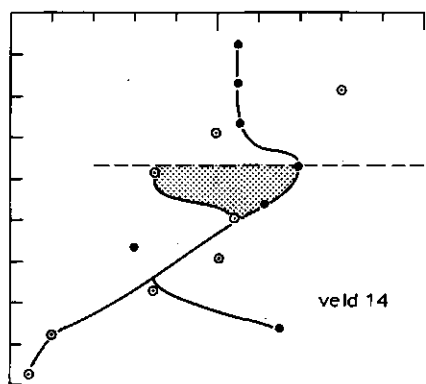
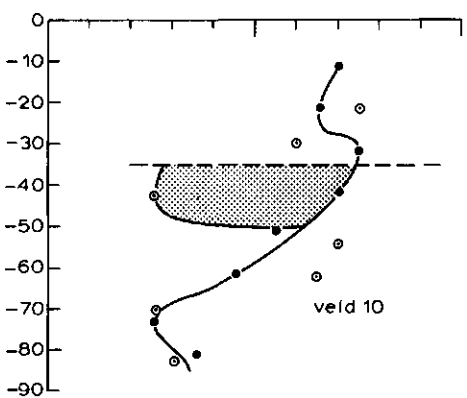
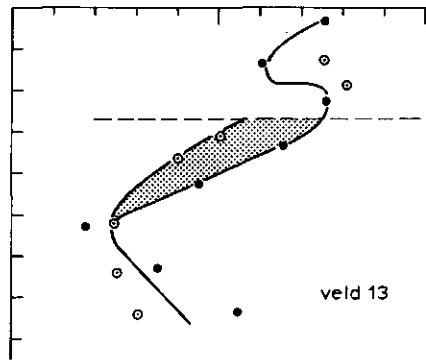
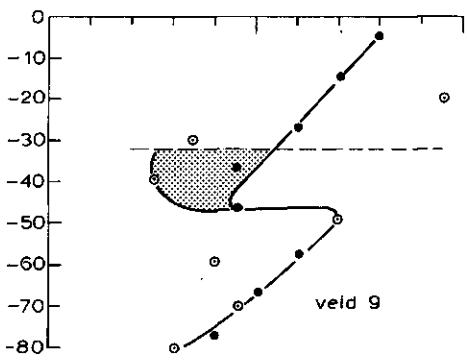
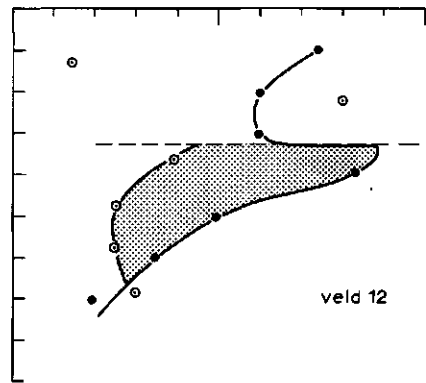
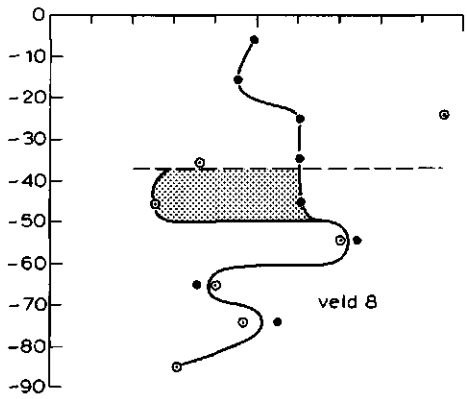
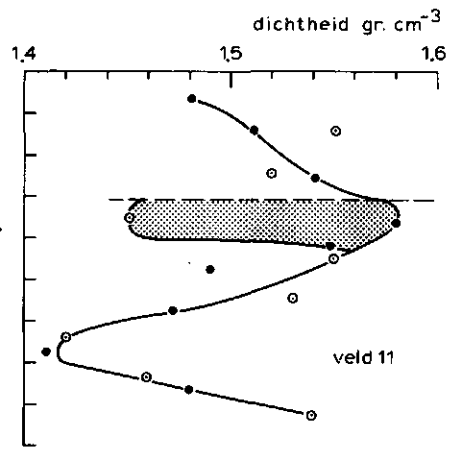
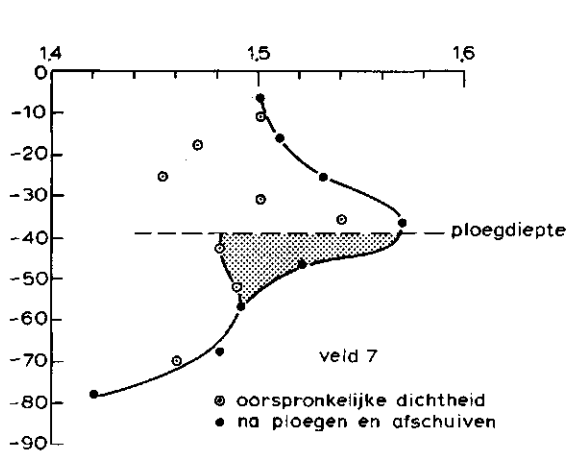
3.2. De gevolgen van het afschuiven

Door het afschuiven kan de bodem verdicht worden en kan de structuur van de bouwvoor bedorven worden. Er is geen poging gedaan om de verandering in de structuur van de bouwvoor te beschrijven, omdat daarvoor geen objectieve meetmethoden bestaan.

Van de dichtheid werd verwacht dat deze vanaf het nieuwe maaiveld met de diepte zou afnemen. De gedachte hierbij is dat de grootste kracht aan het oppervlak wordt uitgeoefend, terwijl de grootte van de kracht met de diepte afneemt. In een homogene grond zou dat betekenen, dat de verdichting aan het oppervlak het grootst is en afneemt met de diepte.

Uit de dichtheidsbepalingen blijkt, dat de verwachte dichtheidsverdeling alleen wordt aangetroffen op de veldjes 3, 6 en 9 (fig. 8: 3, 6, 9). Op de andere veldjes neemt de dichtheid eerst met de diepte toe tot 30-40 cm-m.v. en neemt op grotere diepte af,





diepte beneden maai veld in cm

tenzij de oorspronkelijke dichtheid groter is dan nodig om de benodigde reaktiekracht te leveren. In dat geval zal er geen verdichting optreden. De waargenomen dichtheidsverdeling toont overeenkomsten met de bevindingen van SOEHNE (1962). Deze nam namelijk op een diepte $\frac{1}{2} D$ onder een ronde plaat met diameter D , de grootste verdichting waar, wanneer deze plaat in de grond werd gedreven.

De diepte onder maaiveld, waarop de grootste dichtheid werd gemeten, was ongeveer gelijk aan de halve breedte van de rupsen van de bulldozer (breedte rups: 0,6 m). Door deze type verdichting wordt de grond verkneld, waardoor structuurverval optreedt. Tijdens het werk was de grond op de veldjes 10, 11, 12 en 13 erg plastisch, waardoor een forse verkneding optrad.

De diepte waarop verdichtingen optreden, zal afhangen van de insporingsdiepte, terwijl de insporingsdiepte afhangt van het vochtgehalte van de grond (de 'hardheid' van de grond). De insporingsdieptes werden gemeten nadat de bulldozer in 4 keer (8 keer rijden) de benodigde grond had afgeschoven.

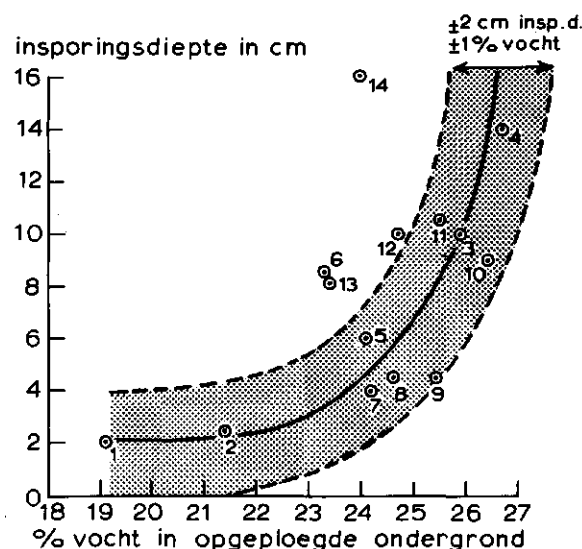


Fig. 9. Insporingsdiepte van de bulldozer in relatie tot het vochtgehalte van de opgeploegde ondergrond, tijdens het werk

In fig. 9 is het verband tussen de insporingsdiepte en het

vochtgehalte weergegeven.

De insporingsdiepte neemt sterk toe bij vochtgehalten groter dan 23%. Uit fig. 2 b is af te lezen, dat de afschuifspanning bij dat vochtgehalte $\pm 0,4 \text{ kg cm}^{-2}$ is (dichtheid $1,55 \text{ gr cm}^{-3}$). Uit een globale berekening blijkt dat de door de bulldozer op de bodem uitgeoefende horizontale kracht ongeveer $0,3 \text{ kg cm}^{-2}$ is.

Geconcludeerd kan worden, dat de bodem bij een gemiddelde dichtheid van $1,53 \text{ gr cm}^{-3}$ en een vochtgehalte van 23-24% nog net de gewenste reaktiekracht kan leveren, echter bij hogere vochtgehalten niet. Bij die vochtgehalten zullen er derhalve vervormingen optreden om de gewenste reaktiekracht te leveren.

Naarmate de insporingsdiepte groter is, is de grond 'slapper' en zullen de krachten tot grotere diepte merkbaar zijn. De verdichting zal derhalve samenhangen met de insporingsdiepte.

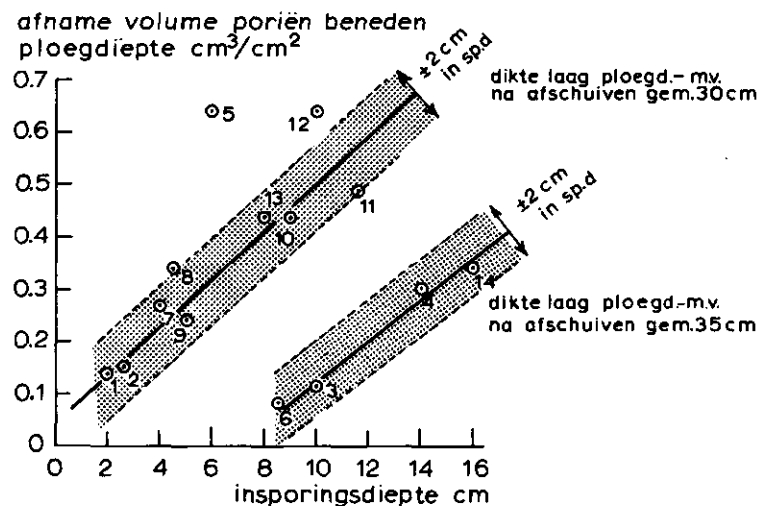


Fig. 10. Afname volume poriën als functie van de insporingsdiepte van de bulldozer en de dikte van de losse laag boven de ploegdiepte

In fig. 10, is de afname van het volume poriën per oppervlakte eenheid (cm^3/cm^2) onder de ploegdiepte weergegeven als functie van de insporingsdiepte.

Het verband is vrijwel lineair. Wel bestaat er een niveau verschil tussen de veldjes waar de dikte van de laag boven de ploegdiepte, na het afschuiven, gemiddeld 30 cm is en waar deze gemiddeld 35 cm is.

Daar de krachten op die diepte afnemen, ligt het voor de hand dat de verdichtende kracht op een diepte 35 cm kleiner is dan op de diepte 30 cm.

De verschillen in verdichting zijn daar niet geheel uit te verklaren. Een bodemlaag op ± 20 cm onder de ploegdiepte met dichtheid van $1,57 - 1,60 \text{ gr cm}^{-3}$ kwam op de veldjes 3, 4 en 6 voor. Deze laag is niet meer te verdichten, zodat daardoor de opname van het volume poriën onder de ploegdiepte geringer zal zijn dan op die veldjes waar zo'n laag ontbreekt.

Tijdens de uitvoering van het werk werden de grondwaterstanden regelmatig gemeten. Deze waren 1,10 m-m.v. op de veldjes 1 t/m 6, 7, 8, 13 en 14 en 0,90 m-m.v. op de veldjes 9, 10 en 11. Er werd geen stijging van het grondwater waargenomen tijdens het werk.

3.3. D e g e w a s r e a k t i e s

De gewassen werden begin mei gezaaid. De aardappelen werden in de tweede helft van mei geplant. De gewasontwikkeling was vrij traag. Medio augustus werden worteltellingen verricht door de R.T.C. en werden de profielen gewaardeerd volgens de methode STRIETMAN (1970).

In tabel 3 zijn de resultaten weergegeven.

De slechte beworteling van tarwe op veldje 4 werd waarschijnlijk door de grote mate van verslemping veroorzaakt. De beworteling van tarwe op de veldjes 4 en 7 verschilt niet veel van die op veldje 1.

De bewortelingsdiepte en intensiteit van de aardappelen verschilt op de diverse veldjes nauwelijks.

Tabel 3. Bewortelingsdiepte en intensiteit van aardappelen en tarwe op de veldjes 1, 4, 7 en 14

| bodem- laag | Gemiddeld aantal wortels | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
| | veld 1 | | veld 4 | | veld 7 | | veld 14 | |
| | aard- appelen | tarwe pelen | aardap- pelen | tarwe pelen | aardap- pelen | tarwe pelen | aardap- pelen | tarwe pelen |
| 0- 5 | 40 | 26 | 27 | 28 | 40 | 20 | 40 | 21 |
| 5-10 | 31 | 19 | 16 | 17 | 20 | 13 | 37 | 11 |
| 10-15 | 12 | 10 | 9 | 9 | 18 | 10 | 13 | 3 |
| 15-20 | 10 | 5 | 7 | 6 | 10 | 8 | 10 | 1 |
| 20-25 | 7 | 4 | 2 | 5 | 6 | 5 | 1 | 1 |
| 25-30 | 0 | 3 | 0 | 3 | 4 | 2 | 0 | 1 |
| 30-35 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 35-40 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 40-45 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 45-50 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 50-55 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 55-60 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 60-65 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 65-70 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 75-80 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80-85 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| reductie op: | geen | 80 cm | 35 cm | geen | 30 cm | 25 cm (vlek- ken) | 35 cm volle- dig | 15 cm |
| profiel waarde- rings- cijfer | 6,3 | | 5,3 | | 5,3 | | 3,7 | |

Met uitzondering van veldje 14, bleek de opbrengst van de aardappelen op de veldjes niet veel van elkaar te verschillen.

De gemeten opbrengst depressies staan, naast de afname in het volume poriën en het % ondergrond in de laag 0-10 cm-m.v. na het afschuiven, vermeld in tabel 4.

Tabel 4. Opbrengst depressies van haver, zomertarwe en aardappelen als percentage van de opbrengsten op niet bewerkte veldjes

| Veldje | Afname volume poriën cm ³ /cm ² | % onder- grond in de laag 0-10 cm-m.v. | Inspo- rings- diepte bull- dozer cm | Opbrengst depressie % | | | |
|--------|--|--|--|-----------------------|----------------|------------------|------|
| | | | | haver | zomer tarwe | aardap- pelen | gem. |
| 1 | 0,14 | 18 | 2 | +29 | 0 | 0 | +10 |
| 2 | 0,15 | 35 | 2,5 | -13 | -24 | -13 | -17 |
| 3 | 0,12 | 25 | 10 | -14 | + 8 | - 5 | - 4 |
| 4 | 0,30 | 40 | 14 | - 8 | + 5 | - 9 | - 4 |
| 5 | 0,64 | 1 | 6 | +10 | -39 | -62 | -30 |
| 6 | 0,08 | 78 | 8,5 | -52 | -15 | -62 | -43 |
| 7 | 0,27 | 75 | 4 | -36 | +27 | -10 | - 6 |
| 8 | 0,34 | 46 | 4,5 | -10 | -21 | 0 | -10 |
| 9 | 0,24 | 51 | 5 | -29 | -13 | - 1 | -14 |
| 10 | 0,44 | 59 | 9 | -18 | -30 | -13 | -20 |
| 11 | 0,49 | 100 | 11,5 | -44 | -12 | -41 | -32 |
| 12 | 0,64 | 54 | 10 | -46 | -22 | -62 | -43 |
| 13 | 0,44 | 80 | 8 | -51 | -43 | -41 | -45 |
| 14 | 0,34 | 100 | 16 | -22 | -56 | -42 | -41 |

De opbrengst depressies, hangen af van de verdichting in de ondergrond en het percentage ondergrond in de laag 0-10 cm-m.v. na het afschuiven. De ondergrond verhoogt de slemp gevoeligheid, terwijl de verdichting de bewortelingsmogelijkheid doet afnemen.

Met behulp van een regressie analyse is nagegaan, welke relatie tussen opbrengst depressie en de variabelen: afname volume poriën beneden de ploegdiepte en de verschrallingsgraad van de laag 0-10 cm-m.v., de hoogste correlatie gaf.

Tabel 5. Correlatie berekening voor opbrengst depressie als functie van verdichting en bouwvoor verschralling

| Regressiemodel | correlatie coëfficiënt | | | |
|---|--|------------------|-------|------------------------|
| | Tarwe | Aardap- pelen | Haver | Gem. opbr. depr. |
| 1) $\Delta Y = a_1 \Delta P + a_0$ | 0,45 | 0,54 | 0,15 | 0,49 |
| 2) $\Delta Y = a_1 M + a_0$ | 0,19 | 0,28 | 0,77 | 0,55 |
| 3) $\Delta Y = a_1 B + a_0$ | 0,27 | 0,37 | 0,33 | 0,44 |
| 4) $\Delta Y = a_1 \Delta P + a_2 M + a_0$ | 0,48 | 0,59 | 0,77 | 0,72 |
| 5) $\Delta Y = a_1 \Delta P + a_2 M + a_3 B + a_0$ | 0,49 | 0,61 | 0,78 | 0,72 |
| ΔY - opbrengst depressie | ΔP - afname volume poriën onder de ploegdiepte | | | |
| M - percentage ondergrond in 0-10 cm-m.v. na afschuiven | B - insporingsdiepte bulldozer | | | |

$a_{1,2,3,0}$ - constanten

In tabel 5 zijn de correlatie coëfficiënten voor de verschillende regressie modellen weergegeven. Voor elk gewas blijkt, dat de twee verklarende factoren (afname porievolume en verschralling) voor de opbrengst depressie een hogere correlatie met de opbrengst depressie laten zien, dan de afzonderlijke factoren.

Uit de berekende correlatie coëfficiënten kan afgeleid worden, dat haver minder gevoelig voor verdichtingen is, dan tarwe en aardappelen. Tarwe en aardappelen zijn daarentegen minder gevoelig voor bouwvoorverschralling (verslemping) dan haver.

Globaal genomen toont de gemiddelde opbrengst depressie van de drie gewassen de hoogste correlatie in de betrekking:

$$\overline{\Delta Y} = 45,1 \Delta P - 0,311 M + 10,5 \quad (\text{N.B. bij verdichting heeft } \Delta P \text{ een negatief teken})$$

De standaard afwijking is 13,4%, de correlatie coefficient 0,72.
In fig. 11 is de berekende correlatie tussen gemiddelde opbrengst
... .. in beeld gebracht. Het

Tot slot zij opgemerkt dat uit het onderzoek is gebleken dat de insporingsdiepte, als afgeleide van de grondsterkte, een betere maat is voor de karakterisering van de werkomstandigheden dan het vochtgehalte van de grond.

Welke toleranties in de aldus gekarakteriseerde omstandigheden toelaatbaar zijn kan nu nog niet worden aangegeven. Daarvoor is in de eerste plaats nodig een samenhang tussen de gekapitaliseerde opbrengst depressies, de verdichting en verschraling nodig. In de tweede plaats is een inzicht nodig in de relatie tussen het aantal werkbare dagen en het maximaal toegestane vochtgehalte van de grond. Deze relatie kan aan een hydraulisch model bepaald worden door per periode het aantal dagen te tellen waarop een bepaald vochtgehalte wordt overschreden. Gebaseerd op de verdeling van de werkbare dagen, met betrekking tot het vochtgehalte van de grond, kan de totale opbrengst depressie gedurende de werkbare dagen worden vastgesteld.

Aldus ontstaat er een relatie tussen het aantal werkbare dagen en de totale opbrengst depressie. Hoge kwaliteitseisen betekenen een geringer aantal werkbare dagen en ook geringere opbrengst depressies. De uitvoeringskosten nemen echter toe doordat er extra capaciteit moet worden ingezet, of er meer schadevergoedingen uitgekeerd moeten worden omdat de duur van de uitvoering gaat toenemen.

6. LITERATUUR

- BEKKER, M.G., 1969 Introduction to Terrain-Vehicle Systems.
The university of Michigan Press
- BEUVING, J., 1972 Grondwater fluctuaties en bodemverdichting tijdens uitvoering van slootdemping. Nota 672 ICW
- BOEKEL, P., 1963 Soil structure and plantgrowth Neth.J.Agric. Sci. 11,2; 120-127
- BOELS, D. en L. HAVINGA, 197 Het effect van woelen op een verdichte zavelgrond (nog niet gepubliceerd)
- CULTUURTECHNISCHE DIENST, 1972 Jaarverslag 1972 afdeling grondverzet en mechanisatie. Mededelingen 104
- HAAN, F.A.M. de en G.P. WIND, 1966 Bodemverdichting als gevolg van de wijze van uitvoering van grondverbeteringswerkzaamheden. Tijdschr. Kon. Ned. Heidemij. 77,6: 244-249
- HAVINGA, L. en C.J.B. VAN GREUNINGEN, 1973 Langdurig effect van diepe grondbewerking. Nota 762 ICW.
- HAVINGA, L. en U.D. PERDOK, 1969 Methode ter karakterisering van het mechanisch gedrag van grond. Nota 534 ICW
- KLEEF, H.A. VAN, 197 Nacalculatie van het hydraulisch grondverzet in de ruilverkaveling Ursem. Nota ICW (nog niet gepubliceerd)
- KUIPER, H., 1963 Drukverdeling onder landbouwvoertuigen. Landbouwmec. 1408
- OUWERKERK, C., 1968 Two model experiments on the durability of soil compaction. Neth. J. Agric. Sci, 16,20: 204-210
- SOEHNE, W., W.J. CHANCELLOR and R.H. SCHMIDT, 1962 Soil deformation and compaction during piston sinkage. Amer.Soc.Agr.Engin. trans. 5: 235-239
- STRIETMAN, H., 1970 Bodemkartering en veldbodemkundig onderzoek in de praktijk van de tuinbouw. Bedrijfsontwikkeling editie Akkerbouw 1: 23-24

- < VRIES, Th. DE, 1972 Invloed van het verdichten van de grond op
de beworteling. De Buffer 18,1: 16-19
- WEAVER, H.A. and V.C. JAMISON, 1951 Effects of moisture on
tractor tire compaction of soil. Soil Sci. 71: 15-23
- ZEIJTS, T.E.J. VAN, 1973 Mondelinge mededeling