

NN31042.54

Interne Mededeling nr. 54

EEN LITERATUURONDERZOEK NAAR BODEMVERDICHTINGEN,
HUN KARAKTERISTIEKEN EN HUN INVLOED OP WORTEL-
GROEI

Door G. de Vries en G.A. van Soesbergen



STICHTING VOOR BODEMKARTERING
WAGENINGEN

Interne Mededeling nr. 54

EEN LITERATUURONDERZOEK NAAR BODEMVERDICHTINGEN, HUN
KARAKTERISTIEKEN EN HUN INVLOED OP WORTELGROEI

door G. de Vries en G.A. van Soesbergen

De serie Interne Mededelingen heeft tot doel de interne communicatie te bevorderen. In principe wordt zij niet verspreid buiten de Stichting voor Bodemkartering. De inhoud kan uiteenlopen van louter feitenmateriaal tot samenvattende conclusies, maar zal vrijwel steeds van voorlopige aard zijn.

Er mag dan ook niet uit deze serie geciteerd worden zonder toestemming van de auteurs en directie.

INHOUD

	<u>Blz.</u>
<u>VOORWOORD</u>	2
<u>1. INLEIDING</u>	3
1.1 Algemeen	3
1.2 Functies van het wortelstelsel	3
1.3 Factoren die de wortelgroei beïnvloeden	3
<u>2. BODEMVERDICHTINGEN</u>	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Ontstaan en voorkomen van verdichtingen	5
2.3 Bodemverdichtende effecten van landbouwmachines	5
2.4 Tijdsduur van verdichtingen	6
<u>3. INTERACTIE BODEMVERDICHTING-WORTELONTWIKKELING</u>	7
3.1 Algemeen	7
3.2 Indringingsweerstand	7
3.3 Mechanische aspecten	7
3.4 Poriënvolume en poriëngrootteverdeling	8
3.5 Aëratie	9
3.6 Bodemstructuur	10
3.7 Vocht- en luchthuishouding	11
<u>4. MECHANISCH VERDICHTTE LAGEN EN WORTELONTWIKKELING BIJ AARDAPPELEN</u>	12
4.1 Wortelgroei in gronden met een homogene profiel- opbouw	12
4.2 Invloed van verdichtingen op wortelgroei	12
<u>LITERATUUR</u>	13

VOORWOORD

De ontwikkelingen in de landbouw na de tweede wereldoorlog hebben geleid tot een sterke mechanisatie, waarbij het berijden van de grond een algemeen verschijnsel is. Hierdoor kunnen verdichtingen optreden in en onder de bouwvoor, zich uitend in een afname van het totale poriënvolume en een toename van het volumegewicht. Behalve verdichtingen, die door invloeden van buitenaf zijn ontstaan, komen ook van nature dichte lagen in de bodem voor. Verdichte en dichte lagen kunnen een nadelige invloed uitoefenen op de wortelontwikkeling, de groei van planten en op de waterhuishouding.

In deze mededeling worden literatuurgegevens besproken over verdichtingen, hun karakteristieken en de betekenis ervan voor wortelgroei en opbrengst. Deze literatuurstudie is dus in hoofdzaak gericht op de relatie bodem-plant. Van onze akkerbouwgewassen blijkt de aardappel een zwak wortelstelsel te hebben en scherper op verdichtingen te reageren. Aangezien in ons bouwplan de aardappel een belangrijk gewas is, is aan de groei van aardappelen op gronden met verdichte lagen apart aandacht besteed.

G. de Vries, student aan de Hogere Agrarische School te Dronten, die zijn stage doorbracht bij de Stichting voor Bodemkartering heeft te zamen met G.A. van Soesbergen deze interne mededeling samengesteld. We hopen dat hiermede in een behoefte wordt voorzien.

L.A.H. de Smet.

1. INLEIDING

1.1 Algemeen

Over het onderzoek naar factoren, die groei en functie van het wortelstelsel beheersen, werd veel onderzoek verricht. Het is gebleken dat met toenemende dichtheid van de grond de beworteling steeds meer belemmerd wordt als gevolg van stijgende penetratieweerstand. De diepte waarop verdichte lagen in het profiel voorkomen is van veel belang. Bij het voorkomen van sterk verdichte lagen op geringe diepte wordt de opneming van water en mineralen sterk geremd, doordat het bewortelbare volume grond klein blijft. Bij diepere ligging van de dichte laag wordt remming van wortel- en gewasgroei minder.

Wiersum (1980) noemt een aantal condities die nodig zijn voor een goede groei en vertakking van het wortelstelsel:

- Penetratieweerstand liefst gering, en niet meer dan ca. 3 MPa penetrometerwaarde
- Beschikbaarheid vocht pF liefst $1\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{2}$, niet hoger dan $3\frac{1}{2}$
- Temperatuur veelal gunstig tussen 285 en 295 K
- Chemische vruchtbaarheid Ca en B onmisbaar, hoog voorzieningsniveau N, P en K
- pH meestal optimaal tussen 5 en 7
- Zuurstof minimaal 0,01 atm. O_2 -spanning aan het worteloppervlak.

/ 1.2 Functies van het wortelstelsel

Het wortelstelsel van een plant heeft vele functies. Van Lieshout (1956) en andere onderzoekers noemen: de opname van het transport van water en voedingszouten, het opslaan van reservevoedsel, verankering van de plant en de organische stofvoorziening van de bodem. Dit laatste is geen functie van de wortel, maar een logisch gevolg van de aanwezigheid en het afsterven van wortelstelsels. Kutschera (1960) noemt bovendien nog als wortelfuncties, de uitwisseling van gassen, voornamelijk voor de eigen behoefte van de wortel en de vorming van uitlopers voor behoud en vermeerdering van de plant. Deze uitlopers zijn echter ondergrondse stengeldelen.

Een plant met een minder goed ontwikkeld wortelstelsel brengt een verhoogd teeltrisico met zich mee, doordat de plant sneller last zal krijgen van vochttekort, de plant herstelt zich bovendien langzamer na beschadiging en geeft een lagere opbrengst dan een plant met een uitgebreid wortelstelsel (Flocker et al., 1960; Schuurman en De Boer, 1971; Njøs, 1978).

1.3 Factoren die de wortelgroei beïnvloeden

Van belang is om te weten door welke factoren de wortelgroei wordt beïnvloed. Een overzicht wordt door Houben (1979) gegeven en hij noemt:

- de pH van de grond
- mate van aëratie en zuurstofvoorziening van het wortelstelsel
- vochtgehalte van de grond
- voedingsstoffen en zoutconcentraties van het bodemvocht
- de indringingsweerstand van de grond
- cultuurmaatregelen
- verschillen in de beginfase van de groei
- wortelconcurrentie
- weersomstandigheden.

Volgens Kupers (1972) worden de omvang en de functie van het wortelsel en de duur van deze functie niet alleen bepaald door de fysische eigenschappen van het wortelmilieu maar ook door ecologische factoren die op de bovengrondse delen inwerken. Kupers stelt zelfs dat onder ideale groeiomstandigheden een plant toch een uitgebreid wortelselstels moet bezitten, omdat slechts een klein deel hiervan verantwoordelijk is voor de opname van water met de daarin opgeloste voedingszouten. De opname van water en mineralen vindt namelijk alleen met de vereiste snelheid plaats in de jongste delen van de wortel. Deze delen verkurken na enige tijd en er moet dus een continue groei van het wortelselstels plaatsvinden om de verkurking bij te houden.

Uit mechanisch oogpunt achten Hidding (1960) en Makled (1970) het poriënvolume en de verplaatsbaarheid van de gronddeeltjes van belang voor de wortelgroei. Makled noemt daarbij nog de kracht die de wortel op haar omgeving kan uitoefenen als belangrijke factor. Verdichtingen in een profiel kunnen belemmerend werken op de wortelgroei. (De Roo en Waggener, 1961; Boone et al., 1978).

2. BODEMVERDICHTINGEN

2.1 Algemeen

Met bodemverdichting kan zowel het proces waarbij een deel van een bodemprofiel wordt verdicht, als wel het eindresultaat van het verdichtingsproces bedoeld worden. In het vervolg wordt met bodemverdichting het eindresultaat bedoeld, tenzij anders vermeld.

Sinke (1976) schrijft dat bodemverdichtingen gepaard gaan met een volume-afname. Pelgrum (1977) beschrijft een bepaald soort verdichting: de ploegzool. Als karakteristieken van dit type verdichting noemt deze auteur het volumegewicht, het poriënvolume en het luchtgehalte bij $pF\ 2,0$. De Smet (1974) geeft een definitie van dichte lagen en verdichtingen die alle typen bodemverdichtingen omvat: "Een dichte laag of horizont of een verdichting in een grond is een laag of horizont, die gekenmerkt wordt door een vastere structuur, een hoger volumegewicht en een hogere mechanische weerstand dan de lagen of horizonten erboven en eronder".

2.2 Ontstaan en voorkomen van verdichtingen

Verdichtingen kunnen van geogenetische, pedogenetische en antropogene oorsprong zijn. Pedogenetische verdichtingen ontstaan veelal door waterbeweging (Sinke, 1976). De mens kan verdichtingen van de pedogenetische soort versterken wat het geval kan zijn bij bijvoorbeeld oppervlakkige en interne slomp (De Smet, 1973).

Een veel voorkomende, door de mens veroorzaakte bodemverdichting is de al eerder genoemde ploegzool. Deze ontstaat na een aantal jaren van grondbewerking op dezelfde diepte met bijvoorbeeld een frees of een ploeg. Op lichtere (lutumarmere) gronden ontstaan eerder ploegzolen en komen meer ploegzolen voor dan op zwaardere (lutumrijkere) gronden (Jongerijs, 1967; De Smet, 1973; Pelgrum, 1977). Als antropogene verdichtingen zijn tevens nog te noemen (De Smet, 1973): Voorjaarsverdichtingen in de bouwvoor, verdichtingen als gevolg van slootdemping, dichte structuren van verlaten bouwvoren en verdichtingen die ontstaan bij het berijden van het land met machines.

2.3 Bodemverdichtende effecten van landbouwmachines

Op Hawaï vond Trowse (1961) op suikerrietplantages grote verschillen in dichtheid van de grond tussen de bedrijven onderling. Op plantages waar het suikerriet met de hand geoogst werd bleek de grond minder verdicht dan op plantages waar de oogst machinaal binnen werd gehaald. Volgens Trowse is de grond plaatselijk sterk verdicht door het gebruik van zware landbouwmachines bij de oogst.

Ook door trillingen van bijv. bulldozers, die o.a. gebruikt worden bij cultuurtechnische werken om grond af te schuiven kunnen volgens De Haan en Wind (1966) verdichtingen optreden, die tot op een diepte van 80 à 100 cm reiken.

Ook Kuipers (1963) onderkent het gevaar van berijden van de grond met machines. De verdichtingen in de grond ontstaan volgens hem doordat drukverschillen in die grond (bij berijden) een verplaatsing van bodemdeeltjes veroorzaakt. Dit stromingsproces zal gemakkelijker verlopen onder natte omstandigheden.

Uit het werk van Söhne (1958) blijkt dat, naarmate de grond meer vocht bevat, de druk van een voertuig zich meer onder de wielen concentreert en dieper in de grond merkbaar is. Söhne vond na één passage met een trekker met een wieldruk van ca. 1000 kg, op 60 cm beneden maaiveld nog een merkbare verdichting. De mate waarin een grond verdicht bij berijden hangt volgens deze auteur, naast

het gewicht dat op de grond rust, ook af van de grootte van het draagvlak van de banden en de verdeling van de druk over dit draagvlak. Bij het vergroten van het draagvlak, bij gelijkblijvende wioldruk, bleek de druk minder diep in de grond merkbaar. Door, bij gelijkblijvend draagvlak, het op de wielen rustende gewicht te verminderen werd de diepte waarop de wioldruk merkbaar was nog verder teruggebracht. In beide gevallen bleef de druk per cm^2 grondoppervlak gelijk.

Volgens Flocker e.a. (1960) wordt de grond minder verdicht naarmate het gewicht dat op de grond rust, zich sneller verplaatst. De invloed van het vochtgehalte van de grond ten tijde van berijden achten deze onderzoekers echter van meer belang.

Natuurlijk is ook het aantal passages met een voertuig van belang bij het optreden van verdichtingseffecten in de grond. Weaver (1951) en Gillen Reaves (1956) vermelden echter dat een fijnzandiger kleigrond na vier passages met een trekker, nauwelijks meer verdicht bij verder berijden.

2.4 Tijdsduur van verdichtingen

Eenmaal aangebrachte bodemverdichtingen kunnen lang standhouden.

Zo bespeurde Van Ouwerkerk (1968) na $3\frac{1}{2}$ jaar nog geen verandering in compactheid van de ondergrond van een sterk verdichte, onbegroeide grond. Bij een begroeide, sterk verdichte grond bleek zelfs na $6\frac{1}{2}$ jaar geen verandering in de verdichting merkbaar.

De Smet (1973) merkt op dat ook ploegzolen zich lang kunnen handhaven, vooral op de lichtere gronden. Op zwaardere gronden worden ploegzolen waarschijnlijk sneller teniet gedaan door optredende krimp in droge perioden en vorst in de winter.

Jongorius (1972) meent dat na 20 jaar de oorspronkelijke structuurtoestand van de grond nog niet bereikt kan worden en hij vraagt zich zelfs af of dit ooit wel bereikt wordt.

3. INTERACTIE BODEMVERDICHTING - WORTELONTWIKKELING

3.1 Algemeen

Bodemverdichtingen en plantenwortels beïnvloeden elkaar wederzijds, via de krachten die zij op elkaar uitoefenen, Aëratie, structuur, vochtgehalte, poriënvolume en indringingsweerstand zijn factoren die afhankelijk zijn van de dichtheid van de grond.

3.2 Indringingsweerstand

De indringingsweerstand wordt in het algemeen gemeten met een penetrometer. Hierbij wordt een staaf (de sondeerstang) met een kegelvormig opzetstuk (de conus) met een constante snelheid (< 2 cm/s) de grond ingedrukt. De oppervlakte van de conus bedraagt in het algemeen 1 cm^2 , de tophoek van de conus is 60° .

Vrij algemeen is gevonden dat wortels niet doordringen in bodemlagen met een indringingsweerstand van meer dan ongeveer 3 MPa. (Taylor, Roberson en Parker, 1966; Houben, 1972).

Een directe indicatie van de doorwortelbaarheid van een grond geeft dit getal niet (Stolzy and Barley, 1968).

Barley en Graecen (1967) geven hiervoor verschillende redenen:

- groeiende wortels zijn flexibel en kunnen rond obstakels heen groeien;
- de vorm van de wortelpunt verschilt van die van de conus van een penetrometer en wordt bovendien nog beïnvloed door de bodemweerstand;
- de druk uitgeoefend op een plantorgaan hangt, anders dan bij een stijf lichaam als de conus, niet alleen af van de vorm van het plantorgaan, maar ook van de eigenschappen van het plantenweefsel;
- de wrijvingsweerstand van een conus kan verschillen met die van een wortel;
- opname van water door plantenwortels verandert de zuigspanning rond de wortels en daarmee de bodemweerstand;
- in vochtige gronden creëren wortels nieuwe drainage-stelsels.

3.3 Mechanische aspecten

Schuurman en De Boer (1971) onderzochten de wortelgroei van haverplanten in potten met kunstmatige zandprofielen. De profielen bestonden o.a. uit een geheel losse grond, een losse bovengrond op een vaste ondergrond en een geheel vaste grond.

Een vaste boven- of ondergrond bleek een afname in wortelmassa te veroorzaken. Tevens bleken de wortels in vaste profielen minder diep te gaan dan in losse profielen.

De lengtegroei van de zijwortels (van de 1e en 2e orde) bleek bij grotere vastheid van de grond te verminderen. Ook leek het of de vaste ondergrond de wortelgroei in de losse bovengrond negatief beïnvloedde. In vaste en zeer vaste profielen werden verdikkingen bij de wortels gevonden.

Ook Eavis (1972) vond bij onderzoeken kortere en dikere wortels naarmate de grond meer verdicht was.

In grofzandige gronden vertonen wortels, wanneer de groei van de wortelpunt wordt belemmerd, uitstulpingen in alle rich-

tingen waar de weerstand van de grond minder is (Warnaars en Eavis, 1972). De wortels nemen de vorm van aanwezige poriën aan en vertonen net zolang diktegroei totdat de druk op de wortelpunt vermindert en lengtegroei weer mogelijk is. Ook heeft deze diktegroei soms tot gevolg dat de wortels zich in een andere positie manoeuvreren van waaruit weer lengtegroei mogelijk is. In fijnzandige gronden vertonen de wortels, aldus Warnaars en Eavis, een regelmatig diktegroei door een egalere drukverdeling van de wortel op de poriënwanden.

Visser en Goedewaagen (1943) namen reeds waar, dat de zône van de wortel vlak achter de worteltop, bij het ontmoeten van een verdichte laag, S-vormig ging kronkelen. Terwijl de wortels zich kromden, verplaatsen de toppen zich niet of ternauwernood; pas wanneer de krommingen goed en wel tot stand waren gekomen, drongen de wortels in de dichtere laag door. Waarschijnlijk worden de wortels ten gevolge van de krommingen vaster tegen de bodemdeeltjes gedrukt, terwijl inmiddels gevormde wortelhaaren er ook toe bijdragen het groeiend worteldeel beter in de grond te verankeren. De wortels zijn hierdoor in staat met hun toppen in de dichte laag door te dringen. Ook vonden Visser en Goedewaagen minder vertakkingen bij wortels groeiend in een vaste laag ten opzichte van wortels in een losse laag.

Aubertin en Kardos (1965) bemerkten een achteruitgang in aantal wortels bij een plant groeiend in glaskorrels met een losse pakking ten opzichte van een zelfde plant groeiend in een bed met een vaste pakking. Evenals Visser en Goedewaagen vonden zij vervormingen van de wortels zodra deze een ondroodringbare laag ontmoetten. Gelijke bevindingen deden De Roo en Waggoner (1961) in zandprofielen.

Naarmate wortels in gronden met een dichtere pakking groeien blijkt ook de lengte van de wortelcellen af en het percentage celwandmateriaal toe te nemen (Tackett en Paerson, 1964).

3.4 Poriënvolume en poriëngrootteverdeling

Het poriënvolume en vooral de poriëngrootteverdeling van een bodem is erg belangrijk voor de wortelgroei. Gronden met een laag poriënvolume zijn moeilijk doorwortelbaar en de aëratie is vaak slecht.

Hidding en Van den Berg (1960) namen 270 bodemonsters van lutum- en humusarme gronden. Gronden met een poriënvolume van minder dan 40% bleken niet of weinig doorworteld. Fijnzandige gronden ($\mu = 284$) blijken bij een poriënvolume van <45% niet meer doorwortelbaar, voor grofzandige gronden ($\mu = 85$) geldt een grens van $\pm 40\%$ (Mackled, 1970).

Veel exacter dan uit totale poriënvolume is echter de poriënverdeling, omdat er poriën moeten voorkomen die minstens de wijfde hebben van de wortel.

Dit is nog eens duidelijk door Wiersum (1957) aangetoond. Naarmate wortels, die hij toegang gaf tot sinterglas met verschillende poriënwijfde, dikker waren bleken ze behoefte te hebben aan wijfere poriën. Sommige soorten kunnen met ca. 200 μm toe, andere ondermeer klaver, vlas en zonnebloem, hadden 300 tot 500 μm nodig.

In grond hangt de beschikbare doorgang af van de deeltjesgrootte, maar omdat de wortels ook nog de mogelijkheden hebben om met de door de worteltop uitgeoefende druk van 5-24 atm. de gronddeeltjes kunnen opschuiven, ook nog van de pakkingsdichtheid.

De wortels stuiten af op diepere zandlagen, die onder druk staan en dus tevens dicht gepakt zijn (Jonker, 1958). Uit andere onderzoekingen bleek dat wortels niet meer groeiden in poriën $< 130-150 \mu\text{m}$ (Aubertin and Kardos, 1965; Mackled, 1970).

Bodemverdichtingen leiden echter tot een afname van de grotere poriën ($> 50 \mu\text{m}$) en dus tot verminderde bewortelingsmogelijkheden (Krüger, 1970; Bouma, 1976).

Nu kunnen wortels bestaande poriën vergroten. Zo vertoont volgens Abdalla e.a. (1969) de strekkingszone van een wortel radiale groei, wanneer de axiale groei wordt belemmerd. Deze radiale groei vergroot de doorsnede van aanwezige poriën en de wortel kan weer iets verder groeien in de lengterichting. Ook Aubertin en Kardos (1965) deden soortgelijke waarnemingen.

Volgens Boone (1976) vermindert de groeisnelheid van de wortel sterk wanneer deze poriën moeten vergroten; er zet zich een dun laagje grond af rond de wortel met ongunstige eigenschappen met betrekking tot de aëratie.

De meest normale manier voor plantenwortels om een gewone, droge grond te vervormen zodat verdere wortelgroei mogelijk is, is via afschuiving en druk.

Om poriën in de grond te vergroten zijn grote drukken nodig, voor matig compacte gronden in de buurt van 10 bar (Barley en Graecen, 1967). Wortels blijken een grote druk op de hen omringende grond te kunnen uitoefenen. Pfeffer (1893) mat bij plantenwortels een maximale druk van 5 tot 10 bar. De totale druk zal in radiale richting veel groter zijn dan in axiale richting, daar het oppervlak waarover de druk uitgeoefend wordt in radiale richting veel groter is. Het is voor de wortel dus veel gemakkelijker om bestaande poriën te vergroten dan nieuwe te maken. Met het "in diameter"groeien van een wortel wordt de druk die een wortel kan uitoefenen tevens groter; deze druk hangt nl. sterk af van de diameter van de wortel zoals door Pfeffer werd gevonden.

3.5 Aëratie

Volgens Russell (1950) en Houben (1979) kunnen de wortels van de meeste gewassen in verdichte lagen nauwelijks of niet groeien als gevolg van zuurstofgebrek, kooldioxide-overmaat of door de toxische werking van stoffen die in een anaëroob milieu ontstaan en niet worden afgevoerd. De bovenste van de lagen met een te geringe aëratie bepaalt de luchtverversing in de onderliggende lagen en daarmee de bewortelingsdichtheid in de storende laag en de dieper liggende lagen. Slechte aëratie leidt tot wortelgroeiremmingen, een heterogene opbouw van het wortelbeeld, een onscherpe begrenzing van het wortelstelsel aan de onderzijde en een geringe vertakking van de wortels. Soms komen er wortels voor die dikker en lichter van kleur zijn; ook dode wortels worden vaak aangetroffen.

Het gemiddelde vochtgehalte van de grond daalt tijdens de groei van het gewas, zodat de zuurstoftoevoer naar het wortelstelsel vergroot wordt. (Boone, 1976). Globaal zal dit zeker gelden gedurende het zomerseizoen, echter na regenval kan wel degelijk een (tijdelijk) aëratieprobleem ontstaan. Houben (1974) schrijft dat dit vooral op gronden met een ongunstige poriënverdeling voor kan komen.

In de literatuur worden zeer verschillende cijfers gegeven voor een optimaal luchtgehalte in de bodem. Boekel (1963) vindt de hoogste opbrengsten voor suikerbieten en aardappelen bij luchtgehaltenes van 15% op klei- en zavelgronden en van 22% op zandgronden. Volgens Warnaars en Eavis (1972) treden in zandgronden aëratie-problemen op bij wortels bij een luchtgevuld poriënvolume van minder dan 25%.

Tackett en Paerson (1964) merken op dat een optimale luchtgehalte van een bodem voor gewasgroei afhangt van de dichtheid van die bodem. Ook Eavis (1972) deed soortgelijke ervaringen op met erwtenzaailingen op zandige leemgronden. In sterk, matig en niet-verdichte gronden wordt de aëratie te gering bij een percentage luchtgepulde poriën van respectievelijk 11, 22 en 30%. Als verklaring voor dit verschijnsel geeft Eavis: het aantal poriën is bij gelijk poriënvolume in gronden met een losse pakking geringer t.o.v. verdichte gronden. De diffusieafstand porie-wortel is bij verdichte gronden dan ook gemiddeld kleiner door het grotere aantal poriën. Bovendien is het lucht/wateroppervlak groter en daarmee het diffusie-oppervlak.

Ook de structuur van een grond is belangrijk voor de aëratie (Van der Sluijs, 1972). Bij veel kleigronden bevindt het met lucht gevulde poriënvolume zich uitsluitend tussen de structuurelementen. De beworteling blijft dan ook tot dit interaggregaat poriënvolume beperkt. Zijn die structuurelementen groot, dan leidt dit tot een ongunstige wortelverdeling en een beperkte ontsluiting van het profiel voor vocht en voedingsstoffen. Door verkleining van de structuurelementen ontstaat er een gunstiger wortelverdeling.

3.6 Bodemstructuur

Dat de bodemstructuur belangrijk is voor de wortelgroei zagen we al in de vorige paragraaf.

Jongorius (1957) heeft een definitie gegeven van het begrip bodemstructuur. Bodemstructuur is de ruimtelijke rangschikking van de elementaire bestanddelen en hun eventuele aggregaten, alsmede van de holten die in de bodem voorkomen.

Van grote invloed op de aggregaattoestand van de grond is het lutumgehalte. Een lutumgehalte van 5-8% kan bevorderend werken op de wortelgroei ten opzichte van gronden zonder lutum. (Houben, 1974). Fig. 1 geeft de structuurverandering weer bij toenemend lutumgehalte. Bij lutumgehalten tussen 7 en 11 à 12% is de ploegzool een dichte massieve laag, tussen 11 à 12% en 16 à 17% echter bestaat de laag uit zwak ontwikkelde gestapelde platen. Bij hogere lutumgehalten vormen zich scherp blokkige elementen, die vooral onder droge omstandigheden niet of moeilijk doorwortelbaar zijn.

Onder gunstige structuren kan men die structuren beschouwen, die onder de meest uiteenlopende vochtomstandigheden een grote bewortelingssnelheid en - intensiteit garanderen (Boone, 1976).

Verbetering van de structuur van een zware kleigrond komt volgens Boekel (1963) in een sterke stijging van de gewasopbrengsten tot uiting. De meest gunstige structuur van een bodem voor plantengroei is volgens Boekel echter moeilijk vast te stellen. Hij onderscheidt hierbij 4 problemen:

- de bodemstructuur is een complexe groeifactor; poriënvolume, luchtgehalte, vochtgehalte, stabiliteit, aggregatie en bodemtemperatuur zijn van belang
- de plant doorloopt verschillende groeifasen, waarbij in elke fase niet dezelfde eisen aan de bodemstructuur hoeven te worden gesteld.

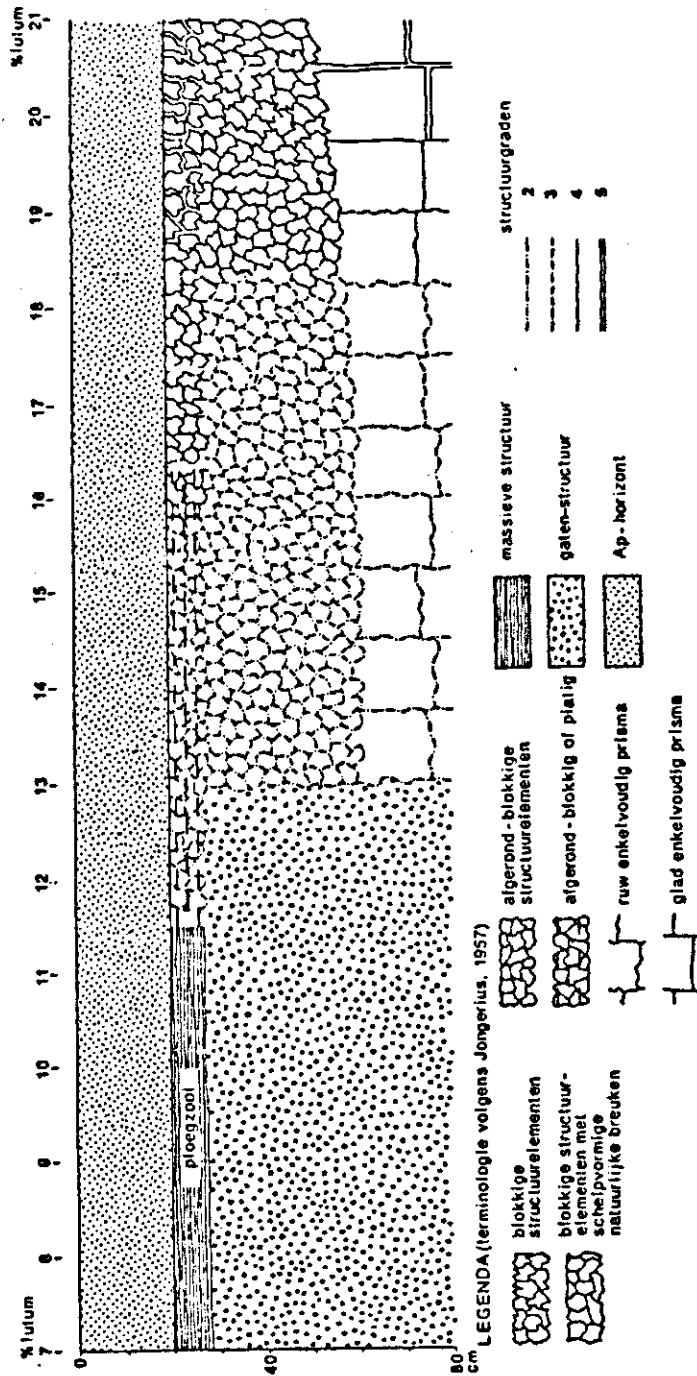


Fig. 1 Het verband tussen de verschillende ploegzoolvormen en het lutumgehalte in mariene gronden (Jongerius, 1967)

- er is een grote variatie in gewassen met elk hun specifieke eisen t.a.v. de bodemstructuur
- ook is er een grote variatie in bodemtypen met verschillen in vruchtbaarheid, mechanische opbouw en vocht karakteristiek en ieder bodemtype verlangt waarschijnlijk een andere ruimtelijke structuur.

3.7 Vocht- en luchthuishouding

Vocht en lucht zijn elkaars antagonisten; een afname van de een betekent een toename in de bodem van de ander. Het vochtgehalte bepaalt in grote mate de doordringbaarheid van de grond voor wortels. Een dichte laag is bij een hoog vochtgehalte gemakkelijker te penetreren dan bij lagere vochtgehaltes (Weaver and Jamison, 1951; De Leenheer, 1962; Njøs, 1978; Houben, 1979). Camp en Lund (1968) merken op, dat het effect van vocht op de vermindering van de indringingsweerstand sterker is naarmate de dichtheid van de grond groter is.

Vochttekorten kunnen optreden bij een geringe beworteling. Het contact met het grondwater gaat dan sneller verloren en de zone waar de wortels hangwater uit kunnen betrekken is geringer t.o.v. een diep wortelend gewas. Bij ernstige droogte zal ook dit hangwater opraken. Een verdichte grond bezit echter ook een groter aandeel aan kleine poriën en zal meer water kunnen vasthouden wat in tijden van droogte gunstig is voor plant- en wortelgroei (Kruger, 1970). Op zwaardere gronden met van nature een hoger vochtgehalte, kan verdichting leiden tot een zo hoog vochtgehalte dat de aëratie in het geding komt (Kuipers, 1963).

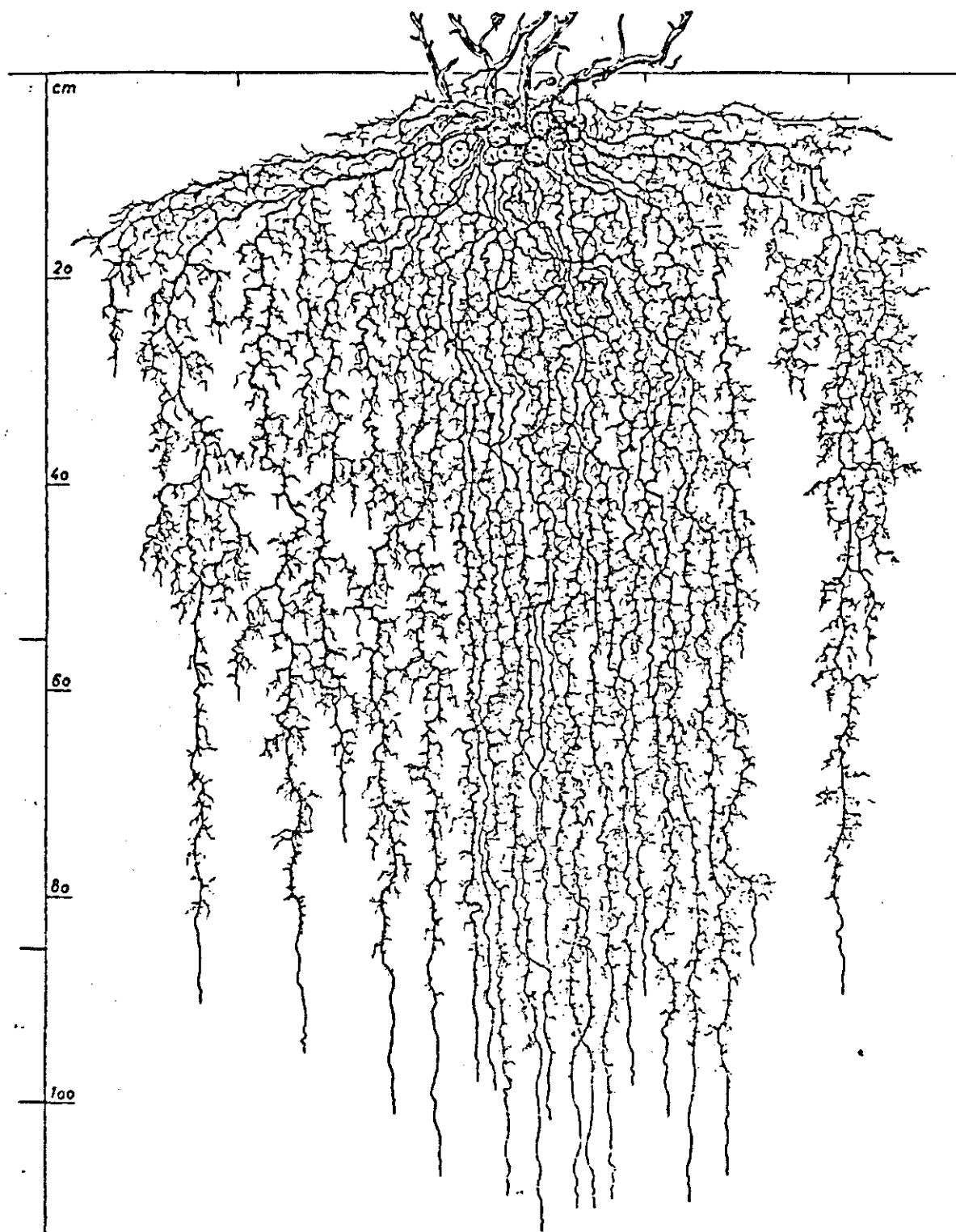


Fig. 2 Beworteling van een aardappelplant van 60 cm hoogte in juli.
Ooivaaggrond op een grindrijke terrasafzetting. Kutschera,
1960.

4. AARDAPPELGROEI IN MECHANISCH VERDICHTTE LAGEN

4.1 Wortelgroei in gronden met een homogene profielopbouw

De invloed van verdichtingen op de wortelgroei van een aardappelplant is te meten aan de hand van de diepgang van de wortels en de bewortelingsintensiteit. We zullen echter eerst moeten weten hoe een aardappelplant in een min of meer homogene grond zonder verdichtingen wortelt. Uit verschillende bronnen (Goedewaagen, 1942; Van Lieshout, 1956) blijkt dat de aardappelplant in het jeugd stadium (tot + 50 dagen na poten) een sterke horizontaalgerichte wortelgroei vertoont. Wanneer de plant een oppervlakkig wortelstelsel van 50-70 cm in de doorsnede heeft gevormd, gaat ze dieper wortelen tot ruim 1 meter voor zover het niet gestoorde profielen betreft (Fig. 2; Kutschera, 1960).

Verdichtingen in het profiel belemmeren de wortels in hun dieptegroei. Om de wortelbeelden met elkaar te vergelijken wordt soms een 80- of 90%-grens aangegeven. Dit houdt in dat de diepte waarin 80 of 90% van de wortels voorkomen bepalend zou zijn voor de mate van effectiviteit van het wortelstelsel. De overige wortels worden niet of nauwelijks van belang geacht. Welke wortels effectief meedoen aan het proces van water en zoutenopname is echter niet bekend. Houben (1979) schrijft hier dan ook over: "Als onderzijde van de bewortelde zône wordt het niveau gekozen waarop nog net voldoende wortels aanwezig zijn om al het vocht aan de grond te onttrekken, resp. het niveau waarop nog net voldoende capillair water kan worden opgenomen. Het vaststellen van dit niveau is moeilijk. Het is nl. niet bekend bij welk minimum aantal wortels de grond nog net wordt leeggezogen. Bij hang- en grondwaterprofielen kunnen hier mogelijk nog verschillen optreden. Verder kan het opnemend vermogen van de wortels tussen gewassen onderling verschillen. Tenslotte kunnen er verschillen zijn in wortelactiviteit of in binding van het bodemvocht als gevolg van verschillen in de fysische toestand van de bodem.

4.2 Invloed van verdichtingen op wortelgroei

In 1972 t/m 1974 zijn in het zuidwestelijk zeekleigebied, in 1976 en 1977 in Oostelijk Flevoland en in 1977 t/m 1979 in de Wieringermeer proeven genomen waarbij het effect van verdichtingen in en onder de bouwvoor zijn bestudeerd op de wortel- en gewasontwikkeling, opbrengst en kwaliteit van aardappelen.

Evenals bij de bodemverdichtingsproef op de proefboerderij "Van Bemmelenhoeve" (1980) werd door het Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond (1975) op een proefveld van de proefboerderij "Westmaas" duidelijk verschillen gevonden in wortelgroei op verdichte en onverdichte objecten. Sterk verdichte lagen bleken niet beworteld. Soortgelijke ervaringen werden gedaan op proefvelden te Leylstad (Bouma, 1978; Boone e.a., 1978).

LITERATUUR

- Abdalla, A.M., D.R.Hettiaratchi and A.R.Reece, 1969. The mechanics of root growth in granular media. J.Agr.Eng.Res.14(3): 236-248.
- Aubertin, G.M. and G.T.Kardos, 1965. Root growth through porous media under controlled conditions; 1. Effect of pore size and rigidity. Soil Sci.Soc.Am.Proc. 29(3): 290-293.
- Barley, K.P. and E.L.Greacen, 1967. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv.Agr. 19: 1-43.
- Boekel, P. 1963. Soil structure and plant growth. Neth.J.Agric.Sci. 11: 120-127.
- Boone, F.R., 1976. Grondbewerking als groeiregulator. Landbouwkundig tijdschrift 88(6): 167-172.
- Boone, F.R., J.Bouma, C.D.van Loon and L.A.H.de Smet, 1978. A case study on the effect of soil compaction on potato growth in a loamy sand soil; 1. Physical measurements and rooting patterns, 2. Potato plant responses. Neth.J.Agric.Sci. 26: 405-429.
- Bouma, J., 1978. Onderzoek naar gewasreacties (aardappels) op profielverdichtingen in een lichte zavelgrond (Lelystad) in het droge jaar 1976. De Buffer 24(2): 30-37.
- Camp, C.R. and Z.F.Lund, 1968. Effect of mechanical impedance on cotton root growth. Transactions of the A.S.A.E. 11(2): 188-190.
- Eavis, B.W., 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. Plant and Soil 36(3): 613-622.
- Flocker, W.J., H.Timm and J.A.Vomocial, 1960. Effect of soil compaction on tomato and potato yields. Agr.J. 52: 345-348.
- Gill, W.R. and C.A.Reaves, 1956. Compaction patterns of smooth rubber tyres. Agr.Eng. 37: 677-680.
- Goedewaagen, M.A.J., 1942. Het wortelstelsel der landbouwgewassen: 32-35.
- 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: 243-249.
- Hidding, A.P. and C.van der Berg, 1960. The relation between pore volume and the formation of root systems in soils with sandy layers. 7th Intern.congress. of soil science, Madison, Wisconsin. U.S.A.: 369-372.
- Houben, J.M.M.Th., 1972. Effect van diepe grondbewerking op de beworteling in het tracé van een pijpleiding. Cultuurtechnisch tijdschrift 12(1): 21-27.
- Houben, J.M.M.Th., 1974. Wortelontwikkeling en bodemgesteldheid. Bedrijfsontwikkeling 5(2): 141-148.
- Houben, J.M.M.Th., 1979. Bodemgesteldheid en diepte van beworteling. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1459: 3-9.

- Jongerius, A., 1957. Morfologische onderzoeken over de bodemstructuur. Bodemkundige Studies nr. 2. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Jongerius, A., 1967. Enige vormen van hergroepering van bodembestanden. In: Een kwart eeuw onderzoek met boor en spade. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. p. 40-46.
- Jongerius, A., 1972. Morfologische aspecten van structuurverval onder invloed van de landbouwcultuur. De bodemkunde in de moderne land- en tuinbouw, 28ste B-leergang: 180-214.
- Jonker, J.J., 1958. Bewortelingsonderzoek en ondergrondbewerking in de Noordoostpolder. Diss. Wageningen.
- Krüger, W., 1970. Ueber den Einfluss unterschiedlicher Bodenverdichtung auf einige bodenphysikalische Eigenschaften und das Pflanzenwachstum. Albrecht-Thaer-Archiv 14(7): 613-624.
- Kuipers, H., 1963. Drukverdeling onder landbouwvoertuigen. Landbouwmekanisatie nr. 1408: 642-649.
- Kupers, L.J.P., 1972. Omvang en functie van het wortelstelsel van de plant in samenhang met de structuur. De bodemkunde in de moderne land- en tuinbouw, 28ste B-leergang: 22-37.
- Kutschera, L., 1960. Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen: 3 en 462-464.
- Leenheer, L.de, 1962. Mechanisierung und Bodenstruktur. Die Bodenkultur, Ausgabe A, Biologisch-technischer Teil, 13(2): 89-97.
- Lieshout, J.W.van, 1956. De beworteling van een aantal landbouwgewassen. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken 17: 3-15.
- Mackled, Fathy M.A., 1970. Compaction of sandy soils and its influences on the growth and distribution of bean roots. Flevovericht nr. 72: 6-20.
- Njøs, A., 1978. Effects of tractor traffic and liming on yields and soil physical properties of a silty clay loam soil. Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole 57(24): 5-19.
- Ouwerkerk, C.van, 1968. Two model experiments on the durability of subsoil compaction. Neth.J.Agr.Sci. 16: 205-208.
- P.A.G.V., Stiboka, L.H., 1975. De invloed van verdichtingen in en onder de bouwvoor van een zavelgrond op de wortel-, knol- en loofontwikkeling van consumptie-aardappelen in 1973: 2 en 38-45.
- Pelgrum, A., 1977. Onderzoek naar de aanwezigheid van ploegzolen in zavel- en lichte kleigronden en de invloed daarvan op de water- en luchthuishouding van het profiel. Instituut voor de bodemvruchtbaarheid, rapport nr. 10-77: 8-23.
- Pfeffer, 1893 in: Gill, W.R. and G.H.Boll, 1955. Pfeffer's studies of the root growth pressures exerted by plants. Agr.J. 47: 166-168.

- Roo, H.C. de and P.E.Waggoner, 1961. Root development of potatoes. Agr.J. 53: 15-17.
- Russel, E.J., 1950. Soil conditions and plant growth: 423.
- Schuurman, J.J. en J.J.H.de Boer, 1971. De invloed van de dichtheid van zandgrond op de wortel- en spruitgroei bij haver. In: Verslagen van landbouwkundige onderzoeken 554: PUDOC, Wageningen, p.3-22
- Sinke, H.W., 1976. Boom en beworteling: met het accent op het aspect mechanische weerstand van de bodem: 40-49.
- Sluijs, P.van der, 1972. Vochtleverantie en beworteling van de grond. De bodemkunde in de moderne land- en tuinbouw, 28ste B-leergang: 157-179.
- Smet, L.A.H.de, 1973. Bodemverdichtingen en hun invloed op de plantengroei. Stichting voor Bodemkartering, interne mededeling 16: 4-14.
- Smet, L.A.H.de, 1974. Dichte en verdichte lagen of horizonten in de bodem en hun betekenis voor de plantengroei. De Buffer 20(3): 38.
- Söhne, W., 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. Agr.Eng. 39: 276-281.
- Stolzy, L.H. and K.P.Barley, 1968. Mechanical resistance encountered by roots entering compact soils. Soil Sci. 105: 297-301.
- Tackett, J.L. and R.W.Pearson, 1964. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compact soil cores. Soil Sci. Soc.Am.Proc. 28: 600-605.
- Taylor, H.M., G.M.Roberson and J.J.Parker Jr., 1966. Soil strength-root penetration relations for medium - to coarse - Textured soil materials. Soil Sci. 102: 18-22.
- Trouse, A.C. and R.P.Humbert, 1961. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. Soil Sci. 91: 208-217.
- Visser, W.C. en M.A.J.Goedewaagen, 1943. Een onderzoek naar bodemstructuur en wortelontwikkeling. Landbouwkundig tijdschrift 55: 405-432.
- Warnaars, B.C. and B.W.Eavis, 1972. Soil physical conditions affecting seedling roots. Plant and Soil 36: 623-634.
- Weaver, H.A. and V.C.Jamison, 1951. Effects of moisture on tractor tire compaction of soil. Soil Sci. 71: 15-23.
- Wiersum, L.K., 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. Plant and Soil 9: 75-85.
- Wiersum, L.K., 1980. Beheersing van het wortelmilieu als middel tot optimale voeding van de plant. Bedrijfsontwikkeling 11 (9): 819-823.

VERSCHEENEN INTERNE MEDEDELINGEN

1. T. Vis (1971): Een inventariserend onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden van verschillende gronden voor de aanleg van kampeerterreinen.
2. C. Hoekstra (1971): Voorstel tot wijziging van de indeling van de macrostructuren.
3. G.J.W. Westerveld en J.A. v.d. Hurk (1971): Verslag van een bodemkundige studiereis naar het Bundesland Nordrhein-Westfalen.
4. G.A. van Soesbergen en Th.C. Vos (1971): Een penetrograaf voor toegepast bodemkundig onderzoek.
5. H.C. van Heesen, P. van der Sluijs en A.J. Krabbenborg (1972): Vochtleverantie door zandgronden.
6. T. Vis en H.G.M. Geenen (1972): Plasvorming op kampeerterreinen en geschiktheid van de bodem voor intensief recreatief gebruik.
7. J.M. Schrijver (1972): Tekenmaterialen en -apparatuur.
8. A.J. Krabbenborg (1973): Standaard pF-curven van fijnzandige zandgronden.
9. A. Reijmerink (1973): Verslag van een bodemkundige studiereis naar Braunschweig-Völkenrode, Hannover-Buchholz en Emden-Riepe.
10. P. van der Sluijs (1973): Vochtleverantie en beworteling van de grond.
11. J.G. Vrieling (1973): Vegetatiekartering ten behoeve van de bodemgeschiktheidsbeoordeling voor houtsoorten.
12. L.A.H. de Smet (1973): Bodemgesteldheid, vruchtwisseling en bodemziekten.
13. G. Ebbers en C. Hamming (1973): Hydrologisch onderzoek Ruurlo, deel I.
14. L.A.H. de Smet (1973): Bodemgesteldheid actuele en potentiële bodemgeschiktheid voor akkerbouw van de veenkoloniën.
15. W.J.M. te Riele (1973): Werkwijze bij het drainage vooronderzoek in ruilverkavelingsgebieden.
16. L.A.H. de Smet (1973): Bodemverdichting en de invloed hiervan op de plantengroei.
17. G. Ebbers en C. Hamming (1978): Hydrologisch onderzoek Ruurlo. De GHG's en GIG's van "hatter deel" en "droger deel" bij de Gt's III en V in open zandgronden.
18. W.J.M. v.d. Voort (1973): Literatuurstudie over kalkverlopen in rivierklei.
19. A.A. de Veer (1973): Landschapskartering in het kader van opdrachtprojecten.
20. C. v. Wallenburg en P. v.d. Sluijs (1973): Indringingsweerstand, grondwaterstand en dichtheid van de bovengrond van grasland op veengronden en eerdgronden in Noord Holland.
21. Th. v. Egmond (1973): Vegetatie en draagkracht van grasland op veengronden en eerdgronden in Noord Holland.
22. B.H. Steeghs (1973): Bossen en parken.

23. W.J.M. van der Voort (1973): "Tiel" en "Gorkum" in het Land van Maas en Waal (Een onderzoek bij Ewijk en Deest).
24. H.C. van Heesen, P. van der Sluijs en A.J. Krabbenborg: Het bergend vermogen van zandgronden.
25. Interne Studiegroep "Grassportvelden". De bodemopbouw in verband met aanleg en onderhoud van grassportvelden.
26. H. van het Loo (1974): Grafieken ter bepaling van de hoeveelheid koolzure kalk en fosfaat bij de voorraadbemesting.
27. J.A. Gast (1974): Een rapportage-systeem volgens de U.S. Soil Survey. Een rapportage-systeem voor bodemgesteldheidskarteringen en bodemgeschiktheidsbepalingen t.b.v. planologische ontwikkelingen volgens de opzet van de U.S. Soil Survey (Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture).
28. J.A. Gast (1974): Een rapport-vorm volgens de U.S. Soil Survey. Rapport Helmond - nieuwe opzet.
29. H.C. van Heesen en P. van der Sluijs (1974): De vochtleverantie van een grond aan het gewas.
30. W.J.M. van der Voort (1974): De bodemkundige variatie binnen twee enkelvoudige kaarteenheden (Rn44C en Rd90A op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000).
31. D. Daniëls en L.A.H. de Smet (1974): Bodemverdichtingen en cultuurtechnische ingrepen op een lichte zavelgrond.
32. P. van der Sluijs (1975) : Vochttransport in verticale richting met constante snelheid.
33. K. de Kreijl (1975): Anthropogene verdichtingen bij enkeerd-, moderpodzol- en vorstvaaggronden.
34. H. van het Loo (1975): Berekening en aflezing met behulp van een nomogram van zakking volgens de formule van Terzaghi.
35. J.F. Bannink (1975): Determinatietabel voor de vegetatietypen in naaldboutbossen, loofhoutbossen en gemengde bossen en een praktische indeling van heidevegetaties.
36. H.L. Kanters (1975): Gegevens over pH-KCl waarden van zandgronden in Zuid-Nederland.
37. I. Ovaa, m.m.v. C.v.Wallenburg (1976): De vergraven gronden in Zeeland. Deel 1 - Onderzoek naar de karteerbaarheid van bodemgesteldheid en grondwatertrap.
38. G.A.Vos (1976): Opname van grondwaterstanden t.b.v. de kartering en documentatie van grondwatertrappen op kaartblad 19 Oost - Alkmaar.
39. D.A. Eilander (1976): Systematische kaartcontrole.
40. Mevr. A.M. Huygen-van Os m.m.v. Drs.Ir. F.F. Abell (1976): Lijst van Amerikaanse publikaties, kaarten, folders, enz. op het gebied van bodem, water, toepassingen van bodemkaarten, landbouwonderwijs en voorlichting. Periode 1934-1975.
41. J. de Buck (1976): De perceelsbreedte in veengebieden in relatie met de grondwaterstand en de stevigheid van de bovengrond.

42. J.G.C. van Dam (1977): Een beperkt literatuuronderzoek naar bepalingwijzen van het droog volumegewicht, naar de invloed van verschillende factoren op het droog volumegewicht en naar de invloed van het droog volumegewicht op fysische eigenschappen van de grond, de bewortelingsmogelijkheden en opbrengst van gewassen.
43. F.J. Stuurman (1977): Comparison between the soil map and the description of gradients in the soil and vegetation.
44. J.C. Pape (1977): Interpretation of soil maps for ecological purposes.
45. J.C. Pape (1977): Nederland "Manmade". Voordracht voor het Seminar Milieukunde van de afdeling Onderwijs van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde T.N.O.
46. I. Ovaa (1977): De Vergraven Gronden in Zeeland. Deel II. Onderzoek naar de bouwvoorslemp, gewasontwikkeling en enkele fysische en chemische aspecten van de grond.
47. L.A.H. de Smet (1977): Het 89e V.D.L.U.F.A.-congres in Aken (Dld.) van 19 tot 24 september 1977. Verslag van bijgewoonde voordrachten over bodemkundig-, plantenteeltkundig- en bemestingsonderzoek.
48. A. Reijmerink en G.A. van Soesbergen (1977). Bewortelings-, grondbewerkings- en bodemkundig onderzoek bij enkele instituten van de Georg-August Universiteit te Göttingen.
Verslag van een studiereis van 23 - 28 mei 1977.
49. P.J. van der Eijk (1977). De invloed van verdichtingen op de vochtleverantie, beworteling en opbrengst van consumptieaardappelen op zavelgrond in 1977.
50. J. de Buck (1980): De bodemkundige inhoud van twee geëgaliseerde percelen in het ruilverkavelingsgebied "De Vier Noorder Koggen".
51. Drs. J. van Kuilenburg e.a. (1980): Computerverwerking van veldgegevens uit de bodemkartering van het ruilverkavelingsgebied Eemland.
52. J. Domhof (1980): Neerslagverdelingscurven en hun gebruik.
53. P.A. Burrough (1980): Stiboka user-manual for thematic cartography using the computervision interactive graphics CADDS-3 system. (Revision 10.011) (2nd Draft).
54. G. de Vries en G.A. van Soesbergen (1980): Een literatuuronderzoek naar bodemverdichtingen, hun karakteristieken en hun invloed op wortelgroei.