

P-13-IR
330 606
2003 / 1^{er} ex

Structuurbederf in de bloembollenteelt

Achtergronddocument

S.M. van 't Riet, J.J.H. van den Akker, N. Reijers



PRAKTIJKONDERZOEK
PLANT & OMGEVING



Structuurbederf in de bloembollenteelt

Achtergronddocument

S.M. van 't Riet, J.J.H. van den Akker, N. Reijers

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
Sector Bloembollen
november 2003

PPO 330606

n

348043W

© 2003 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO interne publicatie

Dit is een vertrouwelijk document, uitsluitend bedoeld voor intern gebruik binnen PPO dan wel met toestemming door derden. Niets uit dit document mag worden gebruikt, vermenigvuldigd of verspreid voor extern gebruik.

Financiers:

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer & Visserij

Projectnummer: 330606

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Bloembollen

Adres : Vennestraat 22, 2161LE Lisse

: Postbus 85, 2160AB Lisse

Tel. : 0252 – 462 121

Fax : 0252 – 417 762

E-mail : info@ppo.dlo.nl

Internet : www.ppo.dlo.nl

Inhoudsopgave

1	INLEIDING.....	5
2	STRUCTUUR, STRUCTURBEDERF EN STRUCTURBEHOUD	7
2.1	Structuur	7
2.2	Structuurvorming in akkerbouwland	8
2.3	Porositeit.....	9
2.4	Structurbederf.....	9
2.4.1	Verslemping.....	10
2.4.2	Verdichting	11
2.5	Effecten van structurbederf	12
2.5.1	Beperking van de bewortelingsdiepte.....	13
2.5.2	Effecten van de verslechterde ontwateringsmogelijkheden op de grond en het gewas	16
2.6	Structuurbehoud	18
2.6.1	Structuurbehoud van de ondergrond.....	18
3	BODEMGESCHIKTHEID EN KWETSBAARHEID VOOR STRUCTURBEDERF VAN GRONDEN GEBRUIKT IN DE BLOEMBOLLENTEELT.	19
3.1	Bodemgeschiktheidsclassificatie	19
3.2	Ontwateringstoestand	21
3.3	Vochtleverend vermogen	22
3.4	Verkruimelbaarheid.....	23
3.5	Slempgevoeligheid	25
3.6	Zuurgraad.....	26
3.7	Storing in de verticale waterbeweging.....	27
3.8	Profielopbouw	29
4	WERKZAAMHEDEN DIE DE BODEMGESCHIKTHEID BEÏNVLOEDEN.....	31
4.1	Mechanisatie per teeltkalender	31
4.1.1	Grondbewerkingen	31
4.1.2	Planten	34
4.1.3	Afdekkingen.....	36
4.1.4	Bemesting	37
4.1.5	Gewasbescherming	37
4.1.6	Rooien.....	39
4.2	Invloeden van machines	42
4.2.1	Gewicht/ soort machine.....	42
4.2.2	Banden.....	43
4.2.3	Trekkracht	46
4.2.4	Rijsnelheden	47
4.2.5	Frequentie van berijding	47
4.2.6	Ontwikkelingen die zouden kunnen leiden tot een verminderde bodemverdichting	48
5	DISCUSSIE EN CONCLUSIES.....	51
	LITERATUUR	53
	BIJLAGE 1 UNIAXIAALPROEVEN.....	59

1 Inleiding

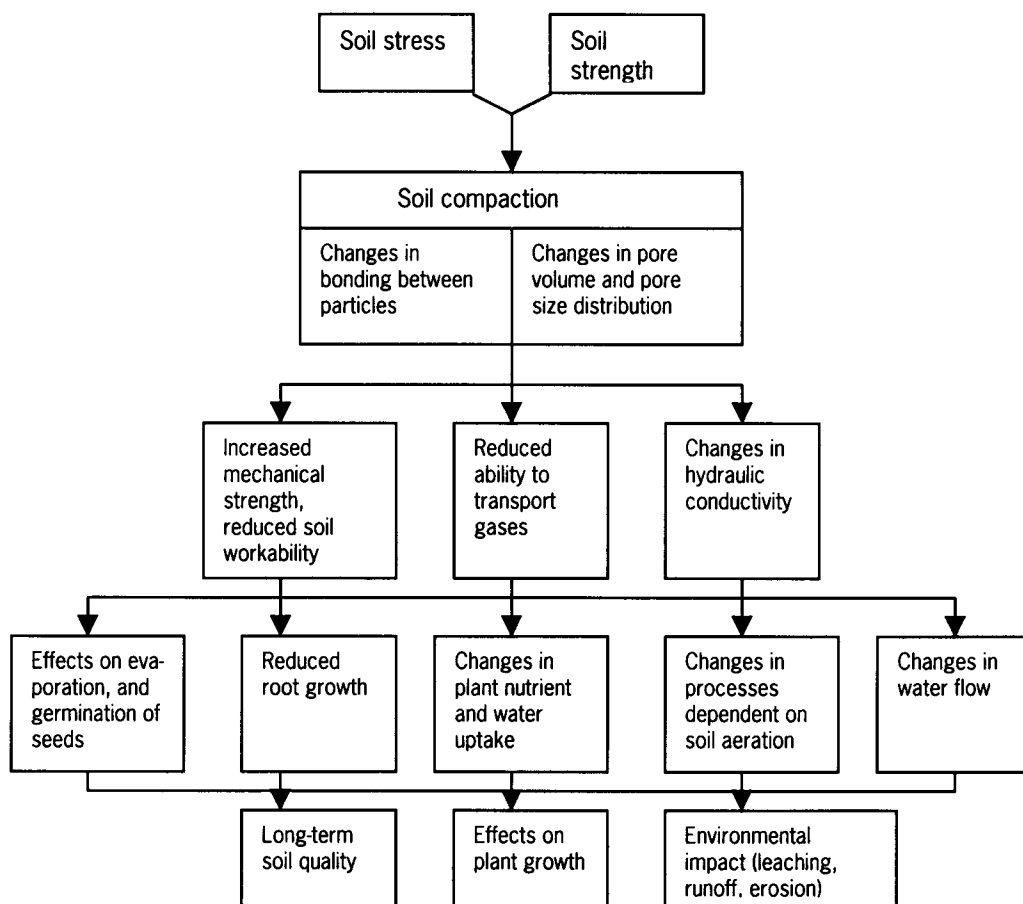
Voor de mechanisatie in de bloembollenteelt op gang kwam werden in de paden planken gelegd om over te lopen zodat er zo min mogelijk drukpunten en trillingen de grond in zouden gaan. De gedachte was dat deze druk en trillingen schadelijk zouden zijn voor de bollen. Tegenwoordig is het niet ongevoel dat een trekker met bovenlader met 3 kuubskisten en een plantmachine er achteraan over het veld dendert. Kan dit zonder gevolgen, en welke factoren spelen hierbij een rol?



Wat voor iedereen duidelijk is, is dat er meer plassen in de paden blijven staan, en dat de buitenste regel minder opbrengt dan de binnenste. Dit terwijl dat vroeger andersom was omdat de buitenste regel vooral meer licht ontving, en meer ruimte voor beworteling had. Aangezien bemesting en ziektebestrijding gelijke tred heeft gehouden met de mechanisatie en men dichter op elkaar is gaan planten is de totale oogst in vergelijking met vroeger wel gestegen. Het is echter de vraag in hoeverre structuurbederf hier een beperkende rol in heeft gespeeld.

In dit rapport wordt middels een literatuurstudie inzicht verkregen in de factoren die een rol spelen bij structuurbederf in het algemeen en vervolgens toegespitst op de bloembollen.

Om een eerste inzicht te krijgen in structuurbederf het volgende schema, figuur 1.1.



Figuur 1.1: Schematisch diagram van het effect van bodemstress op bodemkwaliteiten en processen. (Arvidsson, 1997)

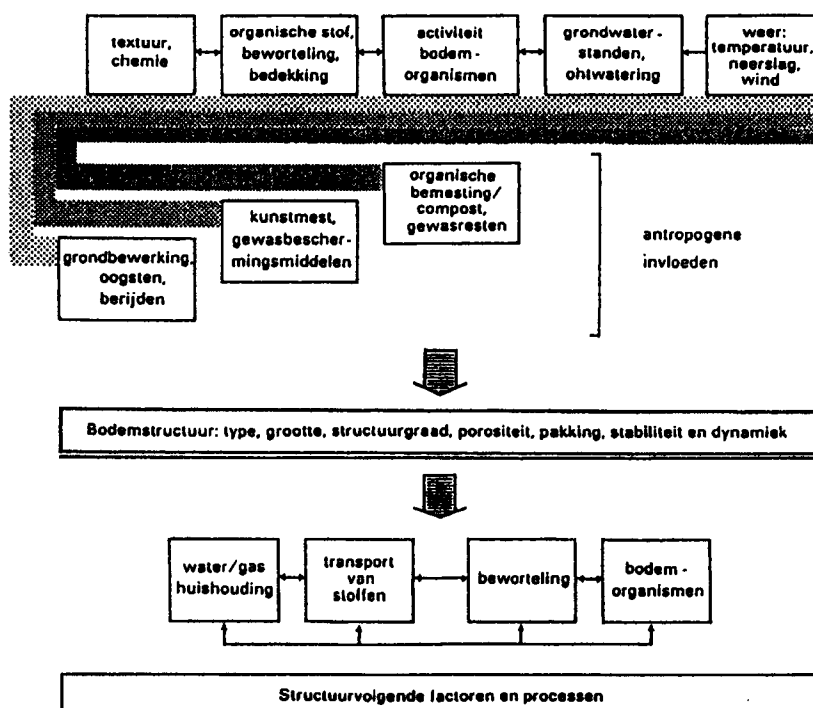
In dit schema komen duidelijk een aantal factoren naar voren die een relatie hebben met de structuur van de grond en ook de gevolgen van een verminderde structuur. In dit rapport zullen de factoren uitgebreid besproken worden. Daartoe zal in hoofdstuk 2 eerst ingegaan worden op de terminologie die in verband wordt gebracht met structuurbederf. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 worden ingegaan op de bodemkarakteristieken die een rol spelen en hun betekenis voor de structuur van de grond. Hierbij wordt specifiek ingegaan op de bollengronden. In hoofdstuk 4 worden een aantal aspecten van de mechanisatie besproken, en hun aandeel in verdichting van de grond. Daartoe wordt eerst een beschrijving gegeven van alle bewerkingen die worden uitgevoerd in een teeltseizoen op het veld en de gebruikte machines. Tenslotte zullen in hoofdstuk 5 alle factoren samengenomen worden en een conclusie gegeven worden. Hierbij worden ook wat nieuwe ontwikkelingen besproken en worden aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek.

2 Structuur, structuurbederf en structuurbehoud

2.1 Structuur

Een goede definiëring van bodemstructuur wordt gegeven in Deel 1 "Algemene bodemkunde" van "Bodemkunde van Nederland" onder redactie van Locher en de Bakker (1990). Grond bestaat uit een minerale en organische vaste fase en holten die gevuld zijn met lucht en/of water. De ruimtelijke opbouw van zo'n systeem noemt men de structuur van de grond. Onder bodemstructuur wordt verstaan de ruimtelijke rangschikking, vorm en grootte van de elementaire bodembestanddelen en hun eventuele aggregaten, alsmede van de holten die in de bodem voorkomen. Uit deze beschrijving volgt, dat iedere grond structuur heeft, of het nu sterk verbrokken zware klei betreft of b.v. los stuifzand. In de ruimtelijke opbouw vormen de holten (poriën) als het ware het complement van de vaste fase. De grootte van de poriën, de verdeling, het patroon en de continuïteit ervan, de veranderingen hierin (zwellen en krimpen) zijn van groot belang voor de water-, lucht- en warmtehuishouding van de grond.

Behalve definiëring van de bodemstructuur is ook inzicht nodig in de vorming, dynamiek en stabiliteit ervan. Dit is van belang omdat de bodemstructuur een essentiële rol speelt bij talloze processen in de grond. De bodemstructuur bepaalt voornamelijk de fysische eigenschappen zoals het lucht-, water-, gas- en warmte-transport door de grond en beïnvloedt daardoor veel omzettingen en het transport van stoffen, het voorkomen van bodemorganismen en de beworteling. De bodemstructuur op zich is het resultaat van vele biotische en abiotische factoren, aangeduid als structuurvormende factoren en processen (Figuur 2.1).



Figuur 2.1: Structuurvormende factoren en processen (Kooistra, 1990)

Onder natuurlijke omstandigheden zijn de belangrijkste structuurvormende factoren en processen: de textuur, organisch materiaal, bodemorganismen, beworteling, grondwaterstanden en het klimaat. Bijna al deze aspecten beïnvloeden elkaar. In natuurgebieden is de stabiliteit van de bodemstructuur relatief hoog en wordt de dynamiek voornamelijk bepaald door grondwaterstanden en het klimaat, dat de biologische processen reguleert en de mate van zwel en krimp bepaald van grond met klei en/of organische stof. In de gematigde klimaten in Europa zijn de meeste biologische processen het sterkst in de zomer. In akkerbouwgebieden reguleren de ingrepen van de mens, grondbewerking, berijding, bemesting, bespuiting, meestal de bodemstructuur waarbij de structuurvormende biota, zowel fauna als flora, vermindert. De bodemstructuur wordt minder stabiel en de boer moet voorzichtig zijn om structuurverval te voorkomen.

2.2 Structuurvorming in akkerbouwland

Structuurvorming in akkerbouwland vindt voornamelijk plaats door menselijke ingrepen, zoals grondbewerking en berijding, door biologische processen, zoals beworteling en bodemfauna en fysische processen, zoals krimp en zwel en transport van bodemdeeltjes en opgeloste stoffen door water.

Bewerkings- en berijdingsholten

De aggregaten die door grondbewerkingen ontstaan, zijn niet begrensd door natuurlijke scheuren. Daardoor sluiten ze zelden aan en zijn er onregelmatige holten tussen aanwezig. De gevormde aggregaten zijn steeds minder goed te scheiden en de bewerkingsholten worden kleiner en steeds meer geïsoleerd. Door berijding treden scheuren op. Door de druk op de grond treedt een horizontale oriëntatie van de bodemdeeltjes op onder vochtige condities en bij droging ontstaan horizontale scheuren. Dit zijn kleine scheuren van een paar cm lang, die in series op bepaalde diepten voorkomen. In deze zones zijn veel bewerkingsholten verdwenen en zo zijn deze scheuren een voorbode van verdichting. Berijding is in het algemeen een oorzaak voor structuurbederf.

Wortelholten

Wortels maken gangen in de grond door druk uit te oefenen op de bodembestanddelen. Wortels kunnen ook bestaande holten volgen en deze lokaal verwijderen. In landbouwgronden volgen wortels in de bouwvoor voornamelijk bewerkingsholten, die ze tijdens hun groei, de zetting van de grond en berijding weer modificeren. Onder de bouwvoor volgen ze ook diergangen oude wortelgangen en pedale scheuren (scheuren die door rijping en krimp van de grond ontstaan en de natuurlijke structuurelementen begrenzen). Wortelgangen zijn heel stabiele gangen, die als ze niet verstoord worden over grotere afstand continu zijn.

Holten bodemfauna.

De effecten van de fauna op de bodem kunnen vele vormen aannemen. De bodemfauna produceert allerlei holten, waaronder gangen. De gangen kunnen worden gemaakt door druk uit te oefenen op de grondmassa, zoals wortels doen, maar ook door graven en verwijderen van het losse materiaal en door consumptie. In de laatste twee groepen hoeven de diameters van de holten niet tot een specifieke maat beperkt te blijven en ze zijn het meestal ook niet. De gangen gemaakt door de bodemfauna zijn daarom veel onregelmatiger en kunnen veel meer vertakt zijn dan die van wortels. Modificatie van bestaande holten (pedale scheuren, bewerkingsholten en bestaande wortel- of diergangen) door organismen komt op grote schaal voor. In diergangen kunnen coatings voorkomen die de dieren waarschijnlijk voor stabilisatie daarin aanbrengen. Diergangen zijn net zoals wortelgangen stabiel en vaak over grotere afstanden continu. De bodemfauna zorgt ook voor het verplaatsen van bodemmateriaal, zowel de aan- en afvoer van organisch en mineraal materiaal: het fragmenteren en omzetten van organisch materiaal en het mengen van organische en minerale componenten.

Krimp en zwel.

De kleimineralen die in Nederland voorkomen krimpen bij uitdrogen fors. Ook organische stof krimpt sterk bij uitdrogen. Bij het uitdrogen van gronden met lutumgehalten hoger dan 12 – 17,5 % (lichte zavel) treden daardoor krimp-scheuren op. Bij het nat worden zwellen deze wel weer grotendeels dicht, maar vormen nog

steeds een horizontaal en verticaal netwerk dat in verzadigde toestand samen met doorgaande bioporiën voor een belangrijk deel de doorlatendheid van de grond bepaald. Bij een geringe uitdroging valt dit netwerk al deels droog, wat nog wordt versterkt door de krimp van de grond en het daardoor verbreden van de scheuren. Het netwerk van scheuren vormt dan een toegang voor zuurstof tot diep in het profiel. Door het krimp- en zwelgedrag van kleigronden kunnen deze zich (deels) herstellen van structuurbederf door verdichting. De grond moet dan wel goed droog kunnen worden. Een slecht gedraineerd perceel herstelt maar deels en oppervlakkig. Bij zandgronden zoals in de bloembollenteelt gebruikelijk treedt geen krimp op en is herstel alleen mogelijk door de vorming van bioporiën of door (diepe) grondbewerking.

Transport van bodemdeeltjes en opgeloste stoffen door water

Door inwendige erosie kunnen macroporiën groter worden. De meegevoerde bodemdeeltjes of opgeloste stoffen zullen echter wat dieper in de bodem neerslaan en daar de poriën opvullen en verstoppen. Daarom kan als het gehele bodemprofiel wordt beschouwd, eerder van structuurbederf worden gesproken.

2.3 Porositeit

Uit het voorgaande blijkt dat het bij de structuur vooral gaat om de poriën. Bij het begrip porositeit moet niet alleen aan de hoeveelheid poriën maar vooral ook aan de grootte en continuïteit van de poriën worden gedacht. De porositeit is essentieel voor de water- en luchthuishouding van de grond.

Een drietal soorten poriën wordt onderscheiden, ingedeeld naar diametergrootte.

1. Microporiën kleiner dan $30 \mu m$ - Capillaire poriën.
2. Mesoporiën van $30 - 100 \mu m$ - Niet capillaire poriën.
3. Macroporiën groter dan $100 \mu m$ - Niet capillaire poriën.

Deze poriën hebben elk een afzonderlijke functie. We kunnen ze in twee hoofdgroepen indelen en wel in capillaire- en niet capillaire poriën. De grens tussen deze twee soorten poriën wordt gelegd bij een diameter van $30 \mu m$. De capillaire poriën - de microporiën dus - hebben de eigenschap het bodemvocht vast te houden met een kracht van meer dan $pF 2.0$ oftewel een zuigspanning van -100 cm waterdruk. Zij zorgen voor de aanvoer van water uit het grondwater.

De mesoporiën zijn van belang voor een regelmatige verversing van de bodemlucht.

De macroporiën zijn van belang voor het snel en diep doordringen van lucht in de bodem en voor het transport van water in en door de bodem. De porositeit van de structurelementen en de gatenstructuur wordt afzonderlijk vermeld. In het veld zijn met het ongewapende oog alleen de poriën groter dan $100 \mu m$ te zien, de zogenaamde macroporiën. Vandaar dat de classificatie en terminologie van de porositeit op het voorkomen van deze macroporiën berust. Toch kan men in het veld ook een indruk krijgen van het voorkomen van kleinere poriën, zeker van die tussen 30 en $100 \mu m$ (mesoporiën). Bodemmateriaal waarin vrij veel van deze kleinere poriën voorkomen vertonen namelijk op de breuk een ruw microreliëf, terwijl materiaal waarin weinig of geen mesoporiën aanwezig zijn een glad microreliëf heeft.

2.4 Structuurbederf

Bij structuurbederf verdwijnt de structuur en wordt de grond homogener. Daarbij neemt de volumedichtheid toe en het poriëngehalte af. De afname van het poriëngehalte gaat vooral ten koste van de macroporiën. Een belangrijk aspect bij structuurbederf is dat de continuïteit van de macroporiën afneemt. Door structuurbederf verslechteren de bodemfysische kwaliteiten sterk. Door de toename van de dichtheid wordt de indringweerstand (def. zie 2.5.1) hoger en beworteling moeilijker. Door het verdwijnen van de macroporiën

wordt ook deze weg voor beworteling afgesloten. Door de verlaging van het poriënvolume en vooral door het verdwijnen van de macroporiën en de continuïteit van de poriën nemen de mogelijkheden voor transport van water en lucht (aanvoer van zuurstof en afvoer van koolzuurgas) drastisch af.

In verband met de aandacht voor grond voor bloembollen wordt in deze paragraaf de aandacht vooral gericht op structuurbederf in zandgronden. De structuur in zandgronden is in het algemeen zwak en kwetsbaar. Door kalk, organische stof en kleideeltjes worden de zandkorrels aan elkaar gekit en wordt de stabiliteit van de structuur vergroot. Indien organische stofgehalten in een zandgrond laag worden, dan wordt de zandgrond steeds kwetsbaarder voor structuurbederf. Ditzelfde geldt voor afname van het kalkgehalte. Dit zal echter een langere termijnzaak zijn. Het kleigehalte zal in het algemeen niet afnemen. Voor een goede aëratie moet het volume van de poriën groter dan $30 \mu m$ minstens 10 % zijn. In zandgronden zijn er meestal voldoende van deze poriën. Om de lucht dieper in de grond te laten dringen, voor een goede waterdoorlatendheid en voor een goede beworteling in grond met een hoge indringweerstand zijn macroporiën nodig. De zandgrond moet wat verkit zijn om stabiele macroporiën in stand te houden. Een aanzet voor structuurbederf kan daarom het te laag worden van organische stofgehalten en kalkgehalten zijn.

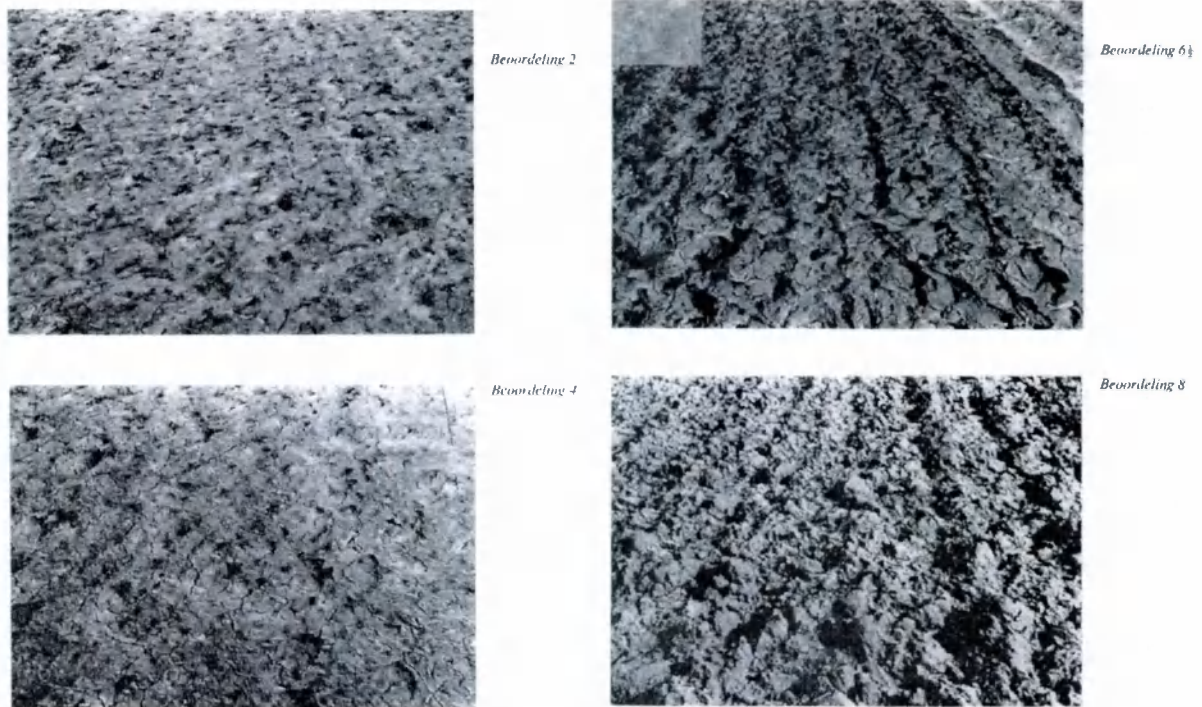
Bollenteelt op klei heeft vroeger maar mondjesmaat plaatsgevonden, voornamelijk als gevolg van de structuurverschillen tussen zand en klei. In de loop der jaren is de vraag naar grond echter steeds groter geworden en is de teelt op klei toegenomen, vooral voor tulp en lelie en in mindere mate gladiool en iris. Bij deze teelten komt echter duidelijk naar voren dat er een voorkeur bestaat voor de teelt op gescheurd gras omdat die gronden de beste structuur achterlaten. Zoals echter al eerder aangegeven zal de aandacht voornamelijk gericht zijn op zandgronden.

Processen die structuurbederf veroorzaken zijn verslemping en verdichting.

2.4.1 Verslemping.

Als een grond verslempd, is er sprake van een te geringe binding tussen de bodemdeeltjes. Bij slemp ontstaat onder invloed van het mechanische effect van de inslag van regendruppels een schifting van de bodembestanddelen waarbij de lutum- en siltdeeltjes de poriën tussen de zanddeeltjes of tussen de bodemaggregaten verstoppen. Aldus ontstaat een dun slemplaagje dat na opdrogen een slempkorst wordt. Dit wordt oppervlakkige slemp genoemd. Ontstaat de slempkorst vrij direct na zaaien/planten, dan kan dit de opkomst verhinderen door luchtgebrek en een te grote mechanische weerstand voor het kiemplantje. Verslemping na opkomst kan tot luchtgebrek leiden; verslemping voor het zaaien/planten kan leiden tot het zeer lang nat blijven en dus zeer laat bewerkbaar zijn van de grond. De gevoeligheid voor slemp wordt bepaald door de mate van binding tussen de korrels en dus vooral door het organische stofgehalte en het lutumgehalte: gronden met meer dan 20% lutum verslempen nauwelijks. Hoewel humusarme zandgronden met minder dan 8% leem slechts een zeer zwakke binding bezitten, zijn deze niet slempgevoelig: regendruppels slaan de grond weliswaar gemakkelijk uit elkaar, doch de grond bevat te weinig fijne delen om de grotere poriën te kunnen verstoppen. Gronden met ca. 10% lutum of meer dan 50% leem (löss) zijn daarentegen het meest slempgevoelig.

De actuele verslemping kan worden bepaald door een visuele beoordeling met een schaal van 1 – 10 aan de hand van foto's. Zie figuur 2.2 uit Locher en de Bakker (1990). Bij een waardering van 6 of hoger zal de gasuitwisseling nog voldoende zijn. Bij een lagere waardering zal de verslemping schadelijk zijn voor het gewas.



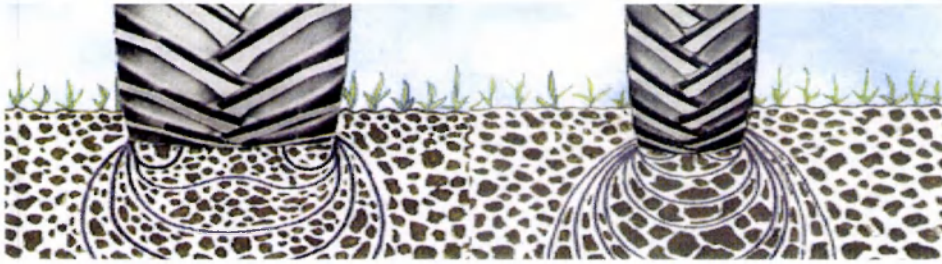
Figuur 2.2 Beoordeling van verslemping van diverse grondoppervlakten (Locher en Bakker, 1990)

Naast oppervlakkige slemp, kan *interne slemp* optreden onder zeer natte omstandigheden in onnatuurlijk losse (bewerkte) gronden. De bodembestanddelen, waaronder met name de siltdelen, neigen hierbij in suspensie te gaan waarna de grond in elkaar zakt. De poriënfractie neemt dus af door het dichtvloeiën van de grotere holten met silt. Dit betekent een sterke afname van het luchtgehalte, waterberging en waterdoorlatendheid. Winterteelten kunnen mislukken door afsterven van kiemplantjes en de grond blijft in het voorjaar erg lang nat.

Interne slemp treedt alleen op in bewerkte gronden in natte omstandigheden. Het actuele vochtgehalte wordt in belangrijke mate bepaald door de grondwaterstand. Dit betekent dat naarmate de grond slempgevoeliger is er hogere eisen aan de *ontwatering* moeten worden gesteld. Daarnaast hebben slecht doorlatende lagen in het profiel een verhogend effect op het vochtgehalte van de lagen erboven. Met name verdichtingen in en onder de bouwvoor (ploegzolen) kunnen er de oorzaak van zijn dat na regen van enige betekenis de bouwvoor extra lang nat blijft en er interne slemp optreedt. Interne slemp komt in de praktijk alleen voor in slecht ontwaterde, humusarme, lichte zavelbovengronden en gaat dan meestal gepaard met oppervlakkige slemp, bodemverdichting, late bewerkbaarheid, langdurige anaërobie en andere gevolgen van wateroverlast. De remedie bestaat uit het wegnemen van de oorzaak van de wateroverlast, eventueel gecombineerd met een structuurstabilisatie van de bovengrond door het peil van het organisch stofgehalte voldoende hoog te houden, bekalking, een te losse bovengrond licht te verdichten met behulp van een vorenpakker en door de grond af te dekken.

2.4.2 Verdichting

Onbedoeld is het wiel het meest gebruikte werktuig in de landbouw. Het veldverkeer bij de huidige intensieve bouwplannen en teeltwijzen kenmerkt zich door een hoge frequentie en grote wiellasten. Van de factoren die een nadelig effect op de bodemstructuur hebben is de bodemverdichting door dit veldverkeer de belangrijkste. De bodemverdichtingen hebben betrekking op een groot deel van het perceel en strekken zich tot ver onder de bouwvoor uit (zie ook paragraaf 4.2.2).

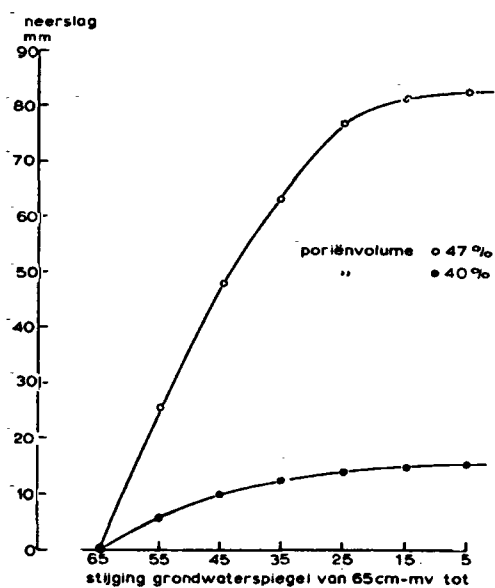


Figuur 2.3 Invloed van de wielen op de grond.

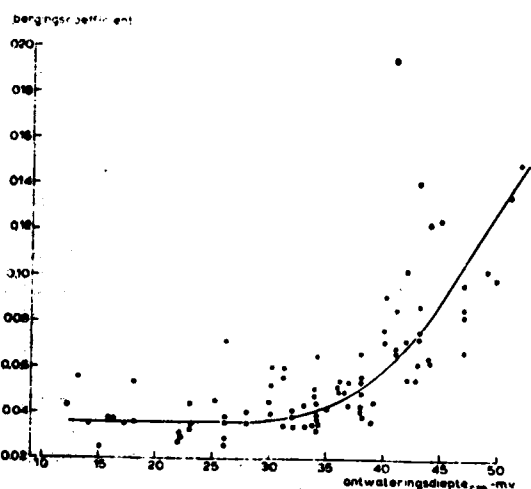
Bij verdichtingen moet hierbij niet alleen aan volumeverdichting maar ook aan de vervorming van de grond worden gedacht. Zo treedt tijdens de verdichting van zeer natte grond nauwelijks volumevermindering op, maar vooral vervormingen. Vervorming van de grond, zelfs al treedt er geen verdichting op, homogeniseren de grond en hebben daarmee een sterk nadelige invloed op de bodemstructuur en de bodemkwaliteiten. Onder bodemkwaliteiten worden verstaan de kwaliteit van de fysische en mechanische bodemeigenschappen in relatie tot het bodemgebruik. Voorbeelden van bodemkwaliteiten zijn de verzadigde en onverzadigde waterdoorlatendheid, het luchtgehalte, de indringweerstand en de cohesie. De verdichtingen zijn het sterkst in de bouwvoor, omdat daar de band direct in contact staat met de grond en daar de grootste drukken uitoefent. Bovendien is de bouwvoor los, dus slap en gemakkelijk te verdichten. Daar staat tegenover dat de bouwvoor jaarlijks wordt losgemaakt, waardoor de verslechterde bodemkwaliteit tenminste deels weer wordt verbeterd. Ook is de structuurverbeterende invloed van het weer in de vorm van vorst en uitdrogen in de bouwvoor het sterkst. Desondanks blijkt het maken van een goed zaaibed in klei- en zavelgronden moeilijker te zijn en worden oude sporen in de gewasgroei teruggevonden. Omdat de ondergrond niet jaarlijks wordt losgemaakt cumuleert daar de verdichting in de tijd. De grootste grondspanningen in de ondergrond die door een wiellast worden veroorzaakt, worden direct onder de bouwvoor gevonden. Bovendien wordt tijdens het ploegen in de voor op de ondergrond gereden. Dit heeft tot gevolg dat na enige tijd direct onder de bouwvoor een verdichte laag met slechte bodemfysische eigenschappen wordt gecreëerd die zich uitstrekt over het hele perceel, de zogenaamde ploegzool. Het los maken van deze verdichte laag heeft behalve het feit dat dit tijd en geld kost ook nog als nadeel dat de losse grond gemakkelijk wordt herverdicht tot hogere dichtheden met een nog slechtere structuur dan de oorspronkelijke verdichte laag (Kooistra et al., 1984). Aan enige verdichting van de bouwvoor door berijding valt nauwelijks te ontkomen. Een doel van een goed management van de structuur moet zijn dat wordt voorkomen dat de verdichtingen in de bouwvoor extreem zijn en resulteren in een sterke afname van de bodemkwaliteiten. Een tweede doel moet zijn dat de verdichting van de ondergrond zoveel mogelijk wordt voorkomen.

2.5 Effecten van structuurbederf

Structuurbederf en verdichting beperken de bewortelingsdiepte, verlagen het vochtleverend vermogen en verhogen daardoor de droogtegevoeligheid van het bolgewas. Anderzijds kan bij een verdichte grond een kleine neerslaghoeveelheid reeds een belangrijke grondwaterstijging veroorzaken. De bergingscoëfficiënt (de hoeveelheid water, uitgedrukt in millimeters, die de grondwaterstand in deze grond een millimeter doet stijgen) blijkt dus sterk toe te nemen. De bergingscoëfficiënt bleek sterk afhankelijk te zijn van de grondwaterdiepte (Van der Valk en De Haan, 1974). Bij een afname van de ontwateringsdiepte van 50 naar 30 cm daalde de waarde van de bergingscoëfficiënt van 0,15 tot 0,04. Nog belangrijker is dat de doorlatendheden als gevolg van structuurbederf sterk afnemen. Bovendien houdt een grond met structuurbederf het water sterker vast door de fijnere poriënstructuur. Dit heeft tot gevolg dat in een natte periode de grond al snel te nat kan worden voor het bolgewas (anaërobie) of voor grondbewerking of oogstwerkzaamheden. De kwetsbaarheid voor droge of natte omstandigheden en daarmee het teeltrisico neemt dus sterk toe. Een beschouwing van de effecten van structuurbederf moet zich daarom richten op (1) de factoren die de bewortelingsdiepte beperken en (2) de effecten van de verslechterde ontwateringsmogelijkheden op de grond en het gewas.



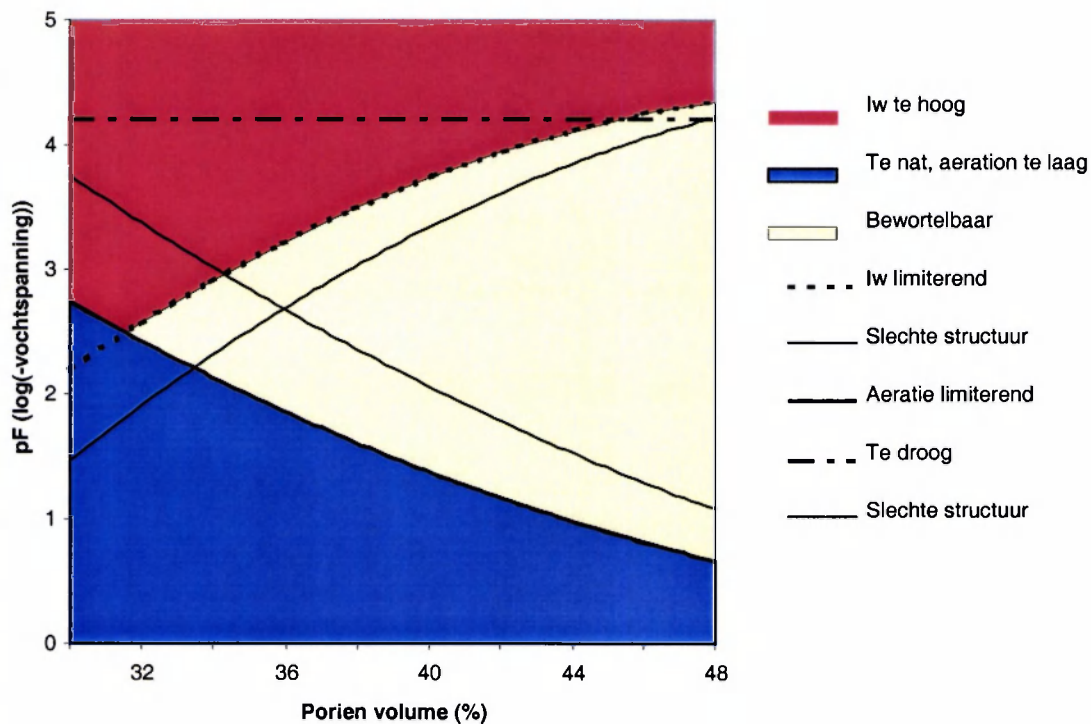
Figuur 2.4 Stijging van de grondwaterspiegel als functie van de effectieve neerslag voor zandgrond bij poriënvolumina van 47% en 40% (Van der Valk en De Haan, 1974)



Figuur 2.5 Verandering van de bergingscoëfficiënt bij verschillende ontwateringsdiepten (De Haan en Van der Valk, 1969)

2.5.1 Beperking van de bewortelingsdiepte

De bewortelingsdiepte wordt beperkt door de mechanische weerstand (indringingsweerstand) en de aëratiemogelijkheden die de wortels ondervinden tijdens de groei. Zowel de indringingsweerstand als de aëratiemogelijkheden zijn niet alleen afhankelijk van de dichtheid, maar ook van de vochttoestand van de grond. Een drogere grond heeft hogere indringingsweerstand dan een nattere grond. Een drogere grond heeft betere aëratiemogelijkheden dan een nattere grond. Dit is conceptueel aangegeven in figuur 2.6.



Figuur 2.6. Conceptuele weergave van de beperking van beworteling door indringingsweerstand en aeratieproblemen in relatie tot de dichtheid (porositeit) en de vochttoestand (pF) (Boone, 1988). Bij een bepaald poriëngehalte is bij de vochttoestand behorende bij het wit aangegeven gedeelte beworteling mogelijk. Toegevoegd zijn de limiterende grenzen indien de structuur verslechterd is, met name door afname en verstoring van de macroporiën.

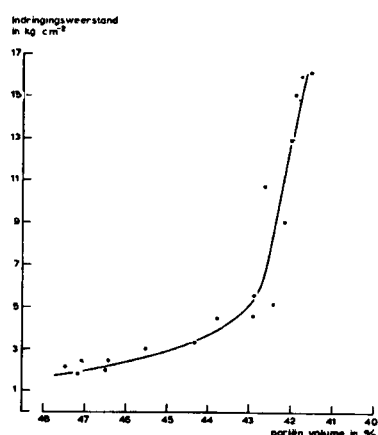
Bij een grond met een bepaald poriëngehalte wordt bij een droger wordende grond de indringingsweerstand limiterend, bij natter wordende grond worden de aëratiemogelijkheden limiterend. Hoe dichter de grond is, des te korter is het vochttoestandstraject waarbij beworteling mogelijk is.

In het kort zal wat dieper worden ingegaan op de indringingsweerstand en aëratie.

Indringingsweerstand

Indringingsweerstand of mechanische weerstand is afhankelijk van de dichtheid cq. poriënvolume, het organische stofgehalte, binding tussen de korrels en het vochtgehalte van de grond. Hoe dichter de grond is gepakt, des te groter zal de indringingsweerstand zijn. De indringingsweerstand wordt gemeten met een penetrometer. Gemeten wordt de kracht die nodig is om een aan een metalen stang bevestigde conus in de grond te drukken. Internationaal wordt vaak een conus met een tophoek van 30° en een oppervlakte van de doorsnede van 1,3 cm² gebruikt (Carsjens, 1988). De indringingsweerstand wordt berekend als de kracht om de conus in de grond te drukken gedeeld door het oppervlakte van de conusdoorsnede. Een grotere conus met dezelfde tophoek geeft een lagere berekende indringingsweerstand te zien! Ook de tophoek van de conus heeft een grote invloed. Een scherpere punt dringt gemakkelijker in de grond. Bij het vermelden van een indringingsweerstand moet daarom in principe altijd de conusafmetingen worden vermeld. In het algemeen mogen indringingsweerstand gemeten met verschillende conussen niet met elkaar worden vergeleken. In Nederland wordt veelal een conus van 1 cm² met een tophoek van 60° gebruikt. Voor zandgronden blijkt deze conus goed vergelijkbare waarden te geven met een conus van 1,3 cm² en een hoek van 30° (Roijaards en Van Erpers, 1987). De dimensie van indringingsweerstand is kgf/cm² (in het oude eenhedenstelsel) of beter MPa (SI eenhedenstelsel, 10 kgf/cm² ≈ 1 MPa). Hoewel daarmee indringingsweerstand dezelfde dimensie heeft als spanningen, zijn het niet vergelijkbare grootheden. De indringingsweerstand is sterk afhankelijk van de vochttoestand van de grond. Voor onderlinge vergelijking van de indringingsweerstand wordt daarom gemeten in het voorjaar, omdat dan goed gedraineerde gronden ongeveer dezelfde vochttoestand hebben. Met een conus van 1 cm² en een hoek van 60° ligt de

grenswaarde voor indringing van de bloembollenwortels op ongeveer 1,5-1,6 MPa. Met een conus van 5 cm² ligt deze waarde op ongeveer 0,8 MPa. Beide getallen komen bij zandgrond gebruikt in de bloembollenteelt bij benadering overeen met een poriënvolume van 42% (Meijers, 1976). De weerstand in duinzandgronden, met een laag organische stofgehalte en bij gelijke vochtgehalte, bleek slechts in geringe mate toe te nemen als het poriënvolume daalde van 48% tot 44%. Een verdere dichtheidstoename leidde echter tot een scherpe stijging van de voor indringing benodigde kracht tot ongeveer 1,7 MPa bij een poriënvolume van 41,5% (Van der Valk en De Haan, 1974).

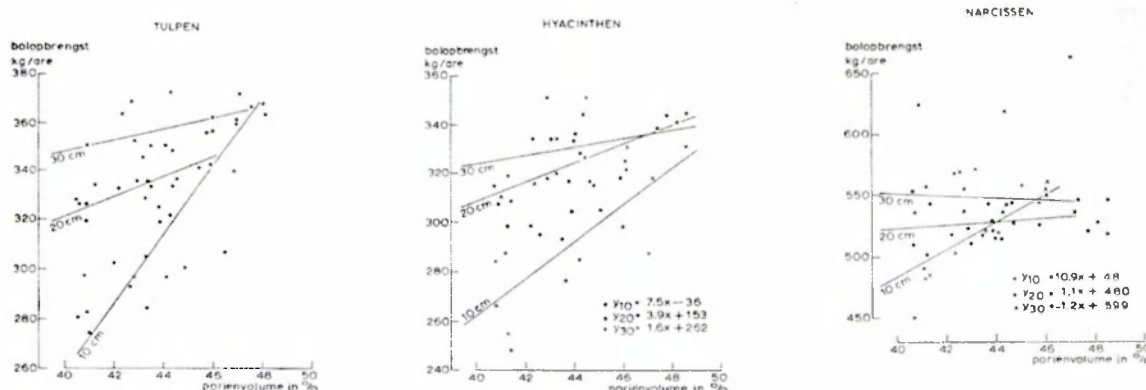


Figuur 2.7 Verband tussen indringingsweerstand van een duinzandgrond en het poriëngehalte

De kritische grens voor het bewortelen ligt bij de meeste gewassen bij een indringingsweerstand van 2,5 à 3,0 MPa. Bij een indringingsweerstand van 1,5 MPa beginnen wortels echter al hinder te krijgen. Voor gewassen met dikke wortels, zoals bloembollen, is een indringingsweerstand van 1,5 à 1,7 zoals eerder genoemd al sterk beperkend. Indien een stelsel van voldoende grote verticale poriën aanwezig is, bestaande uit bioporiën, oude wortelgangen en scheuren, verschuift de kritische grens naar hogere waarden; voor veel zandgronden ligt deze tussen 3 en 5 MPa. Door woelen van de ondergrond om verdichte lagen zoals ploegzolen op te heffen, worden de nog aanwezige grote verticale poriën vernietigd, waardoor bij herverdichting de doorlatendheid voor lucht, water en wortels sterk verslechterd.

Aëratie.

Tussen de opbrengst van het gewas en het luchtgehalte van de grond bestaat een duidelijk verband. Hoe hoger het poriënvolume van het zand is, des te dieper dringen de wortels door. Voor de meeste plantenwortels wordt de groei beperkt bij een poriënvolume lager dan 40% (Hidding, 1961). Wortels van bolgewassen zijn echter dikker en kwetsbaarder dan de wortels van de meeste andere gewassen en vereisen daarom hogere poriëngehalten. Voor een goede ontwikkeling en functionering van het wortelstelsel is in het algemeen in de omgeving daarvan een luchtgehalte van 10-15% noodzakelijk. Hieraan blijkt tot op een diepte van 30 cm te worden voldaan zolang het poriëngehalte van de grond niet beneden de 44% daalt. Op 40 cm diepte moet het poriënvolume minstens 46% bedragen. Zou men echter de grondwaterstand verlagen (lager dan 55 cm -mv), dan blijkt dat ook daar bij een poriënvolume van 44% nog aan de gestelde eis wordt voldaan. Men zal zich derhalve wat de luchthuishouding van de wortels bij verdichting van de grond betreft meer kunnen veroorloven naarmate de ontwateringsdiepte groter is (Van der Valk en De Haan, 1974; De Haan en Van der Valk, 1969).



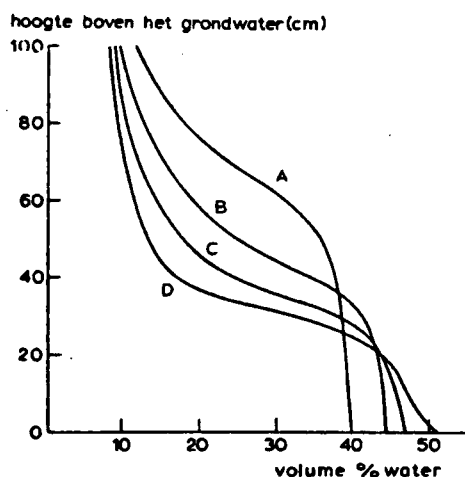
Figuur 2.8 Opbrengsten van tulpen, hyacinten en narcissen als functie van het poriënvolume beneden de bewerkingsdiepte, voor 3 verschillende bewerkingsdiepten (Van der Valk en De Haan , 1974)

In de herfst en winter stellen bollen (tulpen) niet zulke hoge eisen aan het luchtgehalte. Zware uitval was alleen te vinden op percelen met stagnerend water en plasvorming, waarbij oppervlakkige verslemping optrad en het luchtgehalte vermoedelijk niet meer dan enkele volumepercenten bedroeg. Bij afvoer van het oppervlaktewater, waarin het luchtgehalte 4 à 5 volumepercenten bedraagt, schijnt de uitval in het algemeen erg mee te vallen. In het voorjaar en voorzomer zullen de eisen aanmerkelijk hoger zijn. Voor een goede groei en opbrengst op zavelgronden is een luchtgehalte van ten minste 14 à 15 volumepercenten vereist (Boekel, 1965)

Opbrengsten waren het hoogste op zandgronden met een luchtgehalte bij pF 2 van 20-25 volume% en namen af bij een hoger luchtgehalte. Deze afname ligt niet zozeer aan een overmaat aan bodemlucht, maar meer aan een gebrek aan vocht. Op een zandgrond met een organisch stofgehalte van 4% en een luchtgehalte bij pF2 van 25 vol.% werd een beter groei gevonden dan bij 20 vol% lucht. Het blijkt dat hoe hoger het organisch stof gehalte des te lager het luchtgehalte bij pF2 moet zijn voor een optimale opbrengst. Het optimale luchtgehalte bij pF 2 neemt ook af naarmate het kleigehalte toeneemt (Boekel, 1963). Bij een gering poriënvolume zal het percentage poriën met lucht gevuld op een grotere diepte duidelijk afnemen. Dit betekent ook een stagnatie op de ontwikkeling van wortels op diepere lagen. Schuurman en Goedewaag (1956) vonden in een potexperiment dat er geen verband was tussen bewortelingsdiepte en de aan- of afwezigheid van meststoffen in de zandlaag. Dat betekent dat hoewel een nutriëntentekort een minder ontwikkeld wortelstelsel kan veroorzaken, dit niet de oorzaak kan zijn voor een complete afwezigheid van wortels op een diepte waar deze normaal groeien.

2.5.2 Effecten van de verslechterde ontwateringsmogelijkheden op de grond en het gewas

De verschuiving in de poriënverdeling bij verdichting of verslemping heeft een verandering van de pF-curve tot gevolg, welke direct zijn invloed doet gelden op de waterbergingseigenschappen van de grond. Door de afname van het poriënvolume verschuift de pF-curve naar links aangezien immers ook het vochtgehalte bij verzadiging kleiner wordt. De toename van het aantal kleine poriën en de gelijktijdige afname van het aantal grote poriën maakt dat de curve een steiler verloop krijgt. De ontwateringsdiepte bleek een grote invloed te hebben op de bergingscoëfficiënt, meer dan de verdichtingsniveaus. Echter indirect hebben de verdichtingsniveaus wel invloed omdat het leidt tot maaiveldzakking. (De Haan en Van der Valk, 1969)



Figuur 2.9 Vochtgehalte van duinzandgrond boven het grondwater niveau in afhankelijkheid van het poriënvolume van de grond (A: poriënvolume 40%; B: 43%; C: 47%; D 51%) (Van der Valk en De Haan, 1974)

Een dichte grond bevat op een geringe afstand boven het grondwater minder vocht, maar op een grotere afstand (circa 25 cm) meer vocht dan een losse grond. Ook de maaiveld daling die optreedt ten gevolge van de verdichtingsbewerking, draagt nog bij tot een stijging van de vochtgehalten. Deze maaiveld daling bedroeg tov geen berijding, 5 cm voor 1x berijden, 7 cm voor 3 x berijden, en 10 cm voor 5x berijden, met een caterpillar D4 (Van der Valk en De Haan, 1974). Er vindt dus een relatieve grondwaterstandstijging plaats door berijding.

De verzadigde doorlatendheid blijkt af te nemen van 13 m³/m² per dag (=13m/dag) bij een poriënvolume van 49% tot ongeveer 2,5 m/dag bij een poriënvolume van 40%. Ofschoon dit een aanzienlijke verlaging is veroorzaakt dit in deze humus- en slibarme gronden bij niet te grote sloot- of drainafstanden geen wateroverlast. Bij hogere slib- en humusgehalten kan de doorlatendheid echter zodanige lage waarden bereiken, dat de waterafvoer stagneert. (Van der Valk en De Haan, 1974). Door zware en herhaalde berijding en door berijding in de voor direct op de ondergrond bij het ploegen, kunnen echter veel lagere poriëngehalten dan 40% optreden in de ondergrond. Deze dichte lagen kunnen wel een storende laag vormen die een goede ontwatering verhindert.

Verhoogde vochtgehalten in de bouwvoor hebben niet alleen consequenties voor de gewasgroei- en bewortelingsmogelijkheden maar maken de grond ook veel kwetsbaarder voor verslemping en verdichting. Eerst zal worden ingegaan op de consequenties voor het gewas en daarna op de gevoeligheid voor vooral verdichting.

In een onderzoek uit 1965 werden luchtgehalten beneden 6 à 8 volumeprocenten in de bouwvoor gevonden bij een totaal poriënvolume van 49%. Dergelijke luchtgehalten zijn te laag voor tulpen om van een goede opkomst verzekerd te zijn. Bij waarden van 56 (totaal) en 17 (lucht) werd wel een goede opkomst verkregen. Een totaal poriënvolume van 49% moet onder normale omstandigheden geen aëratie- problemen opleveren. Gezien de organische-stofgehalte van 3,1% en het percentage afslibbare delen (18%) leek het niet voor de hand liggend dat de ongunstige luchthuishouding te wijten was aan grote gevoeligheid van de grond voor verslemping. Geconcludeerd werd dat de slechte luchthuishouding het gevolg was van onvoldoende waterafvoer, temeer daar het perceel niet gedraineerd was. Op een ander perceel bleek door stagnatie in de waterafvoer ook een verminderde opkomst te zijn. De stagnatie werkt verslemping sterk in de hand, wat de grond verdicht. Hierbij is vermoedelijk niet alleen het lage luchtgehalte, maar ook de tijdsduur hiervan de oorzaak van de lage opkomst. (Boekel en Pelgrum, 1966)

Onderzoek van Van Dam en Van der Knaap (1969) naar tulpen gaf een 20% opbrengstderving bij luchtgehalten van 5,9 volumeprocenten. Deze verminderde opbrengst was zowel in totale kg opbrengst als in lagere percentages van grote zift maten. Er was geen verschil in opbrengst tussen 10,6 en 17,5 volumeprocent lucht. Een gelaagde ondergrond bleek de belangrijkste oorzaak van zeer ondiepe beworteling.

Een laag van afwisselend kleiige, zavelige en/of zandige bandjes vertraagt de waterbeweging en bevordert daardoor verslamping.

Meer informatie over de samendrukbaarheid en sterkte van de grond in bijlage 1.

2.6 Structuurbehoud

In hoofdstuk 3 staat aangegeven welke gronden geschikt zijn voor de bloembollenteelt. Daarin staan impliciet welke organische stofgehalten en kalkgehalten gewenst zijn om een voldoende structuurstabiliteit te kunnen realiseren. Hierbij gaat het vooral om de slempgevoeligheid en de verkrumelbaarheid van gronden. Voor structuurbehoud zal vooral in de bouwvoor voldoende hoge organische-stofgehalten en kalkgehalten moeten worden behouden of zelfs worden gecreëerd.

In de praktijk wordt in de bloembollenteelt diep geploegd om alle verdichtingen op te ruimen en het bolgewas de mogelijkheid te geven om tenminste tot ploegdiepte te wortelen. Bij de lichte gronden die gewoonlijk in de bloembollenteelt worden gebruikt kan de verdichting geheel worden opgeruimd. Alleen zeer slechte weersomstandigheden en/of een slechte ontwatering kunnen voor problemen zorgen. Er van uitgaande dat de ontwatering op perceelsniveau goed is, blijft een verslechterde ontwatering door ondergrondverdichting als mogelijk probleem.

2.6.1 Structuurbehoud van de ondergrond

Omdat de bouwvoor in de bloembollenteelt vrij dik is, biedt deze de ondergrond een redelijk goede bescherming bij het veldverkeer als er tijdens de oogstwerkzaamheden frequent overheen wordt gereden. In bijlage 1 wordt echter aangegeven dat de afschuifsterkte van zandgrond beperkt is. Daardoor zijn zelfs bij een dikke bouwvoor de wiellasten die geen schade aan de ondergrond berokkenen klein.

Een zeer zware aanslag op de ondergrond wordt tijdens het ploegen uitgevoerd omdat dan in de open voor direct op de ondergrond wordt gereden. Nadat bedden zijn gecreëerd wordt gedurende de rest van het seizoen in vaste sporen gereden. Afhankelijk van de wiellasten en de frequentie wordt daardoor tot op zekere diepte de ondergrond verdicht. Omdat de sporen niet vast liggen en van jaar tot jaar verschuiven, kan daardoor langzamerhand de hele ondergrond worden verdicht.

Om de structuur van de ondergrond te behouden en vooral een hoge waterdoorlatendheid te behouden, mogen de wiellasten de draagkracht van de ondergrond niet overschrijden. In hoofdstuk 4 wordt een overzicht gegeven van de wiellasten die in de bloembollenteelt voorkomen. Door de sterkte-eigenschappen van representatieve ondergrond te meten, zou men een uitspraak kunnen doen of de draagkracht van de ondergrond door de toegepaste wiellasten wordt overschreden. Daarnaast zou de waterdoorlatendheden van de verdichte ondergrond moeten worden gemeten om te bepalen of de doorlatendheden dermate zijn verslechterd dat de ontwatering een probleem wordt.

3 Bodemgeschiktheid en kwetsbaarheid voor structuurbederf van gronden gebruikt in de bloembollenteelt.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op bodemgeschiktheid van gronden die in de bloembollenteelt worden gebruikt en hun kwetsbaarheid voor structuurbederf door o.a. berijding met (zware) machines. De basis voor dit hoofdstuk is de beschrijving van de bodemgeschiktheid van gronden voor de bloembollenteelt in Technisch Document 19D, DLO-Staring Centrum, "Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en Voorschriften. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik", (Ten Cate et al., 1995). In dit Technisch Document zijn een schat aan ervaringen en onderzoek ontsloten en bruikbaar gemaakt voor de interpretatie van bodemkundige gegevens uit Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000.

Bloembollen hebben relatief dikke wortels die moeilijk in verdichte lagen kunnen dringen. Bloembollen wortelen niet diep, waardoor ze kwetsbaar worden voor verdroging. Daarnaast hebben bollen en wortels een goede aëratie nodig. De grond mag zeker niet te nat worden. Bloembollen zijn daarom uitermate kwetsbaar voor structuurbederf van de grond. Voor bloembollenteelt worden daarom hoge eisen gesteld aan ontwatering, het vochtleverend vermogen van de grond (5 à 8 mm per dag bij een temperatuur van 25°C en veel wind), verslemping en dichte lagen in het profiel waardoor de beworteling en drainage worden beperkt.

Bij de interpretatie van de grond gaan we uit van een modern intensief bloembollenbedrijf.

We nemen aan dat:

- het bedrijf goed wordt geleid;
- de bodemgesteldheid op het bedrijf overal gelijk is;
- de percelen een goede verkaveling en ontsluiting hebben;
- het planten en het rooien verregaand gemechaniseerd zijn;
- de grond een betere geschiktheid heeft naarmate meer soorten bloembollen en bijgoed met succes kunnen worden geteeld.

De beoordeling van bodemgeschiktheid is gebaseerd op de volgende factoren:

- ontwateringstoestand
- vochtleverend vermogen;
- verkrumelbaarheid;
- slempgevoeligheid;
- zuurgraad;
- storing in de verticale waterbeweging;
- profielopbouw.

De factoren worden één voor één besproken:

3.1 Bodemgeschiktheidsclassificatie

In Tabel 3.1 zijn de gradatie-indicatie + of – en de Tabellen 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 en 3.8 met de gradaties voor ontwateringstoestand, vochtleverend vermogen, slempgevoeligheid, zuurgraad en profielopbouw gebruikt om een zogenaamde sleutel samen te stellen waarmee de hoofdklassen, klassen en subklassen van de bodemgeschiktheid voor bloembollenteelt kan worden vastgesteld. In Tabel 3.2 zijn deze hoofdklassen, klassen en subklassen voor bloembollenteelt weergegeven.

Tabel 3.1. Sleutel voor de vaststelling van hoofdklassen, klassen en subklassen van de bodemgeschiktheid voor bloembollenteelt

Wateroverlast	Vochttekort	Storing in de verticale waterbeweging	Profielopbouw									
			1		2		3		4		5	
			Zuurgraad				Slempgevoeligheid					
		1	2 of 3	1	2 of 3	1 of 2	3	1 of 2	1, 2 of 3	1, 2 of 3	1, 2 of 3	
1 of 2	1	-	1.1	1.2	1.3.1	1.3.2	1.3.3	2.3	1.4			
		+	n.b.									
	2	-	2.1	2.2	2.3		2.3		2.4			
		+	n.b.									
	3	-	3									
		+	n.b.									
	4 of 5	-	3									3
		+	n.b.									
3	1	-	2.1	2.2	2.3		2.3		2.4			
		+	n.b.									
	2	-	2.1	2.2	2.3		2.3		2.4			
		+	n.b.									
	3	-	3									
		+	n.b.									3
	4 of 5	-	3									n.b.
		+	n.b.									
4	1	-	3									
		+	n.b.									
	2 of 3	-	3									3
		+	n.b.									
	4 of 5	- of +	n.b.									n.b.
5	1, 2, 3, 4 of 5	- of +	3				2	3				

- n.b. Niet beoordeeld, de combinatie van beoordelingsfactoren komt weinig voor of is niet relevant
 + Binnen 80 cm bevindt zich een laag met een verzadigde doorlatendheid <1 cm per etmaal.
 - Geen storing als bedoeld met +.

Tabel 3.2. Bodemgeschiktheidsklassen voor continue of periodieke bloembollenteelt

1 Gronden met ruime mogelijkheden	
1.1	Weinig teeltrisico voor continue bloembollenteelt met uitzondering van narcissen; goed te beheersen gunstige grondwaterstanden (kalkrijk, humus- en kleiarm duinzand tot >120 cm -mv.).
1.2	Weinig teeltrisico voor continue bloembollenteelt met uitzondering van hyacinten; redelijk te beheersen gunstige grondwaterstanden (kalk-, klei- en leemarm matig fijn of matig grof zand tot >120 cm - mv.).
1.3	Enig teeltrisico voor bloembollenteelt; enige tekortkomingen t.a.v. de water- en/of luchthuis houding. 1.3.1 Bovendien extra teeltrisico voor narcissen. 1.3.2 Bovendien extra teeltrisico voor hyacinten. 1.3.3 Bovendien extra gevoeligheid voor te grote dichtheid van de wortelzone.
1.4	Enig teeltrisico door vochttekort en slechts periodieke mogelijkheden voor tulpenteelt en enkele bijgewassen, zoals gladiolen en bolirissen; hoog opbrengstniveau; niet gemakkelijk mechanisch rooibaar i.v.m. kluiten en huidbeschadiging (goede zavelgronden en recent gescheurde, zeer humeuze tot humusrijke zwaardere kleigronden).
2 Gronden met beperkte mogelijkheden	
2.1	Matig teeltrisico voor continue bloembollenteelt met zeer ruime vruchtwisseling (matige tekortkomingen door wateroverlast en/of vochttekort).
2.2	Matig teeltrisico voor continue bloembollenteelt met ruime vruchtwisseling (matige tekortkomingen door wateroverlast en/of vochttekort).
2.3	Matig teeltrisico voor bloembollenteelt (matige tekortkomingen door wateroverlast en/of vochttekort, of de profielopbouw).
2.4	Matig teeltrisico voor periodieke tulpenteelt en enkele bijgewassen, zoals gladiolen en bolirissen (matige tekortkomingen door wateroverlast en/of vochttekort). Tot deze klasse behoren ook gronden met een storing in de verticale waterbeweging, slempgevoeligheid en wat te zware gronden.
3 Gronden met weinig mogelijkheden	
Dit zijn gronden met ernstige beperkingen door wateroverlast en/of vochttekort, de verkrumelbaarheid of de profielopbouw met betrekking tot de kwaliteit van het geogste product	

3.2 Ontwateringstoestand

Hyacinten, tulpen en narcissen worden in de herfst geplant op 8-12 cm diepte. Na het planten ontwikkelt zich nog tijdens de herfst en de winter een stelsel van bijwortels en de aanleg van een spruit. In de geleidelijk dieper reikende wortelzone maar vooral in de omgeving van de relatief grote bollen, die door hun omvang extra zuurstof nodig hebben, is een goede aëratie nodig.

In zandgebieden met een minder goed te beheersen slootpeil en grondwaterstand is het, evenals in hellende gebieden, veel moeilijker een optimale ontwatering te realiseren dan in de binnenduinstrook. Hetzelfde geldt voor kleigronden en kleiige zand- en zavelgronden. Op deze gronden is het erg belangrijk dat de aëratie in de wortelzone, maar vooral rondom de bollen, niet in gevaar komt om afsterven van wortels, en in ernstige gevallen van de bollen, te voorkomen. Bovendien moet het veelal ondiepe wortelstelsel van tulpen voldoende vocht op kunnen nemen voor een vlotte groei. Deze combinatie van eisen is voor de klei- en zavelgronden slechts te realiseren op opdrachtige gronden met een rulle bovengrond en een drooglegging van meer dan 50 cm bij een maatgevende afvoer van 10 mm per dag.

De invloed van de drainage diepte op de werkbaarheid van de bodem is erg belangrijk. Voor een zandige leem bodem wordt een drainage diepte van 100 cm geadviseerd. (de relatie is onderzocht voor het voorjaar) De drainage diepte heeft een grotere invloed op de bewerkbaarheid in de lente dan de drainage intensiteit. Het laatste ligt er waarschijnlijk aan dat na een paar droge dagen het effect van de intensiteit op de waterdiepte gering is. (Wind, 1976)

Gradaties

In tabel 3.3 wordt de geschiktheid van gronden voor bloembollenteelt wat betreft de ontwateringstoestand in de gradaties 1 – 5 aangegeven als afhankelijke van de grondwatertrap.

Tabel 3.3. Gradatie in ontwateringstoestand als afhankelijke van de grondwatertrap

Gradatie Code en benaming	Grondwatertrap	GHG-referentiewaarde (cm – mv.)
1. zeer diep	IVc, VII, VIII	≥ 80
2. vrij diep	IIc, IV, VI	40 – 80
3. matig diep	IIb, IIIb, Vb	25 – 40
4. vrij ondiep	II, III, V, soms I	15 – 25
5. zeer ondiep	I, soms II	< 15

3.3 Vochtleverend vermogen

Het vochtleverend vermogen van de grond is afhankelijk van:

- de aard en opbouw van het bodemprofiel; belangrijk zijn vooral de dikte en het vochthoudend vermogen van de wortelzone en het capillair geleidingsvermogen van de ondergrond.
- het grondwaterstandverloop; hiervan zijn vooral de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand in een 10% droog jaar (LG3) van betekenis.

In tabel 3.4 is het capillair geleidingsvermogen van duinzandgrond bij verschillende vochtspanningen en poriënvolumina gegeven. Bij een vochtspanning van 0 cm zijn alle poriën gevuld met water, zoals dit juist onder het grondwatervlak het geval is. Hieruit blijkt dat de capillaire aanvoer van vocht vanuit het grondwater naar de plant in het algemeen gebaat is bij een niet al te losse grond. (Van der Valk en De Haan, 1974)

Tabel 3.4: Capillair geleidingsvermogen (in mm/dag) van duinzandgrond bij verschillende vochtspanningen en poriënvolumina

Vochtspanning (in cm's waterkolom)	Poriënvolumina in %			
	51,0	49,2	47,3	45,3
0	13.350	10.100	7.800	4.700
10	4.600	2.200	850	1.200
20	260	200	180	490
30	6.0	13.0	42	150
40	0.32	1.2	3.1	28.0
50	0.03	0.16	0.32	3.2

(Uit Van der Valk, 1974)

Hoge producties bij bloembollen zijn uiteraard alleen mogelijk als het gewas in de zomer niet voortijdig afsterft. Voorwaarde hiervoor is dat het wortelstelsel ook in een warme, droge periode voldoende vocht uit de grond kan opnemen, dat wil zeggen tot 6 mm per dag. Is de grondwaterstand te laag of de capillaire opstijging te traag, dan kan tegen het einde van het groeiseizoen de drukhoogte in de wortelzone te veel afnemen en, onder omstandigheden van sterke verdamping, het gewas vervroegd afsterven. Het vochtleverend vermogen van de grond is dus in hoge mate medebepalend voor de hoogte van de productie. Door de veelal ondiepe beworteling van bloembolgewassen is het belangrijk dat de benodigde hoeveelheid vocht tussen 10 en 30 cm beneden maaiveld opgenomen kan worden. Dit is te verwezenlijken op diepe zandgronden met een grondwaterstand van 50-60 cm. Bij lagere grondwaterstanden, bij aanwezigheid van storende lagen en ook op zavel- en kleigronden is aanvullende beregening nodig.

Structuurbederf en verdichting beperkt de bewortelingsdiepte en verlaagt daarmee het vochtleverend vermogen en verhoogt daardoor de droogtegevoeligheid van het bolgewas. Daarom wordt hier specifiek op de bewortelingsmogelijkheden ingegaan.

Bewortelingsmogelijkheden

De wortelzone is de grondlaag waarin zich het overgrote deel van de wortels bevindt.

Voor het vaststellen van het vochtleverend vermogen van een grond hebben we de dikte van de wortelzone nodig.

Daarom moet van de grond de *bewortelbare diepte*, waarin de plantenwortels kunnen doordringen, vast worden gesteld. Onder bewortelingsdiepte verstaan we hier de diepte waar een volgroeid gewas nog juist voldoende wortels in een 10% droog jaar kan laten doordringen om het aanwezige vocht aan de grond te onttrekken. Elders noemen we dit ook wel effectieve bewortelingsdiepte. Onder een 'juist voldoende aantal' wortels verstaan we circa 4 wortels per dm², aan de wand van een kuil gemeten. Dit aantal is betrekkelijk arbitrair. Het berust op veldervaring en we geven het onder het nodige voorbehoud.

De bewortelingsdiepte hangt samen met één of meer van de beperkende factoren voor wortelgroei: pH, aëratie en indringingsweerstand.

Bij pH(KCl)-waarden beneden 3,5 à 4 is vrijwel geen beworteling meer mogelijk. Dit komt voor in de veenkoloniale gronden en in gronden met gliedelagen en kattenklei. Bij bollengronden speelt dit niet of nauwelijks

De aëratie speelt in het algemeen voornamelijk een rol bij veengronden, moerige gronden en sommige zavel- en kleigronden. Bij luchtgehalten van minder dan 10 à 15% wordt de beworteling sterk beperkt (zie 2.5.1). Een slechte aëratie kan worden veroorzaakt door zowel een hoge grondwaterstand, een slechte bodemstructuur, als een sterke opdrachtigheid.

Een belangrijke limiterende factor voor de bewortelbare diepte, is een te hoge indringingsweerstand (zie 2.5.1). De indringingsweerstand is de voornaamste beperkende factor op zand- en brikgronden.

Gradaties

Onder vochtleverend vermogen van een grond wordt verstaan de hoeveelheid vocht die in een groeiseizoen van 150 dagen (1 april tot 1 september) en in een droog jaar aan de plantenwortels kan worden geleverd. Een droog jaar is een jaar waarin de potentiële verdamping tijdens het groeiseizoen de neerslag met meer dan 200 mm overtreft. Dit doet zich statistisch gezien eens in de 10 jaar voor (een zgn. 10% droog jaar). In tabel 3.5 wordt de geschiktheid van gronden voor bloembollenteelt wat betreft het vochtleverend vermogen in de gradaties 1 – 5 aangegeven.

Tabel 3.5 Gradatie in vochtleverend vermogen als afhankelijke van de hoeveelheid vocht

Gradatie Code en benaming	Hoeveelheid vocht (mm)
1. zeer groot	≥ 200
2. vrij groot	150 – 200
3. matig	100 – 150
4. vrij gering	50 – 100
5. zeer gering	< 50

3.4 Verkruijmelbaarheid

Sinds het rooien van bloembollen is gemechaniseerd, is de verkruijmelbaarheid erg belangrijk geworden. Naarmate bij het rooien meer kluiten meegeogst worden, is het scheiden van bollen en grond kostbaarder. Op zavelgronden wordt er daarom naar gestreefd, door een goede voorbereiding voor het planten in het najaar, het aantal kluiten in de bovenlaag te beperken. Ook wordt de grond zoveel mogelijk in een gunstige vochtigheidsstoestand bewerkt en vermijdt men zo mogelijk de plantbedden te berijden. Bovendien werd vaak ruggenteelt toegepast om een rul, kluitarm plantbed te verkrijgen om bij het rooien de hoeveelheid te verwerken grond tot een minimum te beperken. Tegenwoordig is dat grotendeels vervangen door nettenteelt. Naarmate het vochtgehaltetraject voor een goede verkruijmelbaarheid nauwer wordt, is de teler, zowel voor het planten als voor de oogst, meer afhankelijk van de weersgesteldheid. De afname van het aantal werkbare dagen leidt namelijk nogal eens tot voortzetting van de werkzaamheden als de vochtigheidsstoestand van de grond dit eigenlijk niet toelaat.

Doordat door verdichting en structuurbederf de grond onder natte klimaatomstandigheden natter blijft, neemt bij deze slecht gestructureerde gronden het risico toe voor een te beperkt aantal werkbare dagen met een gunstige vochtigheidsstoestand.

De mate van binding tussen aggregaten wordt met name beïnvloed door het lutumgehalte: hoe hoger dit is, des te moeilijker is de grond verkruielbaar. Dit effect van lutum wordt in zware zavel- en kleigronden tegengegaan door organisch stof en pH, in zeer lichte zavel en zand daarentegen is het pH-effect nihil en versterkt humus het bindende effect van lutum. Dit hangt samen met het afzwakken van de lutumbinding in zwaardere gronden door organisch stof (humus bind minder sterk dan lutum); in de lichtere gronden is weinig lutum aanwezig en zwakt humus het bindend effect ervan niet af doch vult dit aan.

Tabel 3.6. Beoordeling verkruielbaarheid in cijfers (10 is gunstig, 1 is ongunstig)

Lutumgehalte f_{Lm} (%)	<4	5-10	11-17	18-24	25-30	30-40	>40
Leemgehalte $f_{L+S,m}$ (%)	<8	8-20	20-50	>50			
Basiswaardering:	10	9	8	6.5	5	3.5	1
<i>bij</i> : per % org. stof	-	0.06	0.09	0.12	0.25	0.35	0.45
<i>af</i> : per eenheid pH (KCl) <7	-	-	0.15	0.3	0.7	1	1.5

Voor bloembollen is een verkruielbaarheid van minder dan 7,5 onrendabel, door rooibeschattingen. Een direct met de verkruielbaarheid samenhangende factor is de structuurstabiliteit. Immers, naarmate een bodemstructuur moeilijker te veranderen is (een grond moeilijker te verkruielen), is deze structuur stabiel. Moeilijker verkruielbaar materiaal daarentegen (minder humeuze zavel en klei) blijft na een bewerking aanzienlijk langer los. Hierdoor is het zinvol minerale bovengronden met meer dan 14 á 15% lutum voor de winter te ploegen of te spitten. Voor zandgronden geldt dit niet omdat die makkelijk te verkruielen, en minder stabiel zijn en dus ook snel weer bezakken. (Locher en Bakker, 1990)

Gradaties

Gradaties van verkruielbaarheid kunnen worden afgeleid uit het gehalte aan lutum, leem, organische stof en kalk van de bouwvoor (Tabel 3.7). De indeling is afgeleid uit de tiendelige schaal voor bewerkbaarheid uit het waarderingssysteem van De Vries (1974), gebaseerd op onderzoek van Boekel (1978), en heeft drie gradaties. Of een bouwvoor het voor verkruieling vereiste vochtgehalte bezit (in het voorjaar bij de grondbewerking, in het najaar bij de oogst) hangt af van de ontwateringstoestand en het weer in de voorgaande periode.

Tabel 3.7. Gradatie in verkruielbaarheid als afhankelijke van textuur, organische-stof- en kooizure kalkgehalte van de bouwvoor

Gradatie		Samenstelling bouwvoor			
code	benaming	vochtgehalte- traject	textuur	Org. stof (%)	Koolz. Kalk (%)
1.	makkelijk	breed	-	moerig	-
			zand, zandige leem, lichte zavel	-	-
			zware zavel	> 2	> 0,5
2.	tamelijk makkelijk	betrekkelijk breed	zware zavel	> 2	< 0,5
				< 2	-
			lichte klei siltige leem	-	-
3.	moeilijk	nauw	zware klei	> 5	> 0,5
			zware klei	> 5	< 0,5
			zware klei	< 5	-

3.5 Slempgevoeligheid

De beoordelingsfactor slempgevoeligheid duidt aan in hoeverre de bodemaggregaten bestand zijn tegen:

- uiteenvallen in microaggregaten of afzonderlijke korrels onder invloed van de neerslag;
- vervloeien bij hoge vochtgehalten.

Als dit verschijnsel alleen aan het oppervlak plaatsvindt, spreken we van oppervlakkige slemp, bij opdrogen ontstaat dan een slempkorst. Zakt de gehele bouwvoor in elkaar, dan spreken we van interne slemp.

Of slemp op een slempgevoelige grond werkelijk zal optreden, hangt onder meer af van de neerslag, de ontwateringstoestand en de begroeiing. Door slemp wordt de aëratie van de grond ongunstig beïnvloed waardoor de zuurstofvoorziening van de plantenwortels in gevaar kan komen. Ook neemt de infiltratiecapaciteit en het waterbergend vermogen van de grond af. Door een slemplaag of slempkorst droogt de grond in het voorjaar langzaam op en komt de zuurstofvoorziening van de bollen in gevaar.

De gevoeligheid voor slemp wordt evenals de verkruielbaarheid door de mate van binding bepaald en dus vooral door het organisch-stofgehalte en het lutum gehalte. Hoewel humusarme zandgronden met minder dan 8% leem slechts een zeer zwakke binding bezitten (zeer goed verkruielbaar zijn), zijn deze niet slempgevoelig, daar de grond te weinig fijne delen bevat om de grotere poriën te kunnen verstoppen.

Tabel 3.8 Beoordeling van de structuurstabiliteit in verband met slemp. Een hoge waardering komt overeen met een hoge stabiliteit, dus een lage slempgevoeligheid.

Lutumgehalte μm (%)	<4	5-7	8-10	11-13	14-20	21-30	>30
Leemgehalte $\mu\text{L+S,m}$ (%)	<10	10-32	32-50	>50			
Basiswaardering:	7	6	4	2.5	3.5	4.5	6
bij: per % org. stof	0.2	0.3	0.4	0.5	0.35	0.2	0.15

Bij een waardering 6 of hoger zal de gasuitwisseling nog voldoende zijn. (Locher en Bakker, 1990)

Bloembollen worden tamelijk diep geplant. Om de bewortelingsmogelijkheden te verruimen, wordt de grond vaak vrij diep bewerkt om verdichte en slecht gestructureerde lagen los te maken. Hierdoor wordt het doorgaand poriënstelsel verbroken. Daardoor ontstaat bij een hoge neerslagintensiteit kort na het planten gemakkelijk waterstagnatie, vooral als de afvoer van het oppervlaktewater te wensen overlaat door bijvoorbeeld onvoldoende begreppeling. Op daarvoor gevoelige gronden kan dan interne verslemping optreden die de luchttoetreding bemoeilijkt. Door de betrekkelijk hoge bodemtemperatuur in de herfst is de zuurstofbehoefte van de bollen in het najaar nog vrij groot. Als gevolg van de onvoldoende luchttoetreding is later de opkomst onregelmatig, hetgeen de opbrengst ongunstig beïnvloedt (Van Dam en Van der Knaap, 1969). Een mogelijkheid om het gevaar van interne verslemping te verminderen is een drooglegging tot minstens 80 cm diepte. Naast interne slomp onderscheiden we ook oppervlakkige slomp, waarbij op daarvoor gevoelige gronden een slompkorst ontstaat bij een hoge neerslagintensiteit. Ook de oppervlakkige slomp kan de zuurstoftoevoer naar de bollen belemmeren. Een slompkorst is te voorkomen door de daarvoor gevoelige gronden direct na het planten af te dekken, bijvoorbeeld met stro. Dit verhoogt echter de kostprijs.

Door de diepere grondbewerking wordt deze los gemaakte ondergrond extra gevoelig voor herverdichting doordat de sterkte en draagkracht van de losse en ongestructureerde grond laag is.

Gradaties

De slompgevoeligheid is een hoedanigheid van het bodemmateriaal zelf die kan worden afgeleid uit het gehalte aan lutum, leem, organische stof en kalk van de bouwvoor (Tabel 3.9). De indeling is gebaseerd op het onderzoek van Albers (1980) en het waarderingssysteem van De Vries (1974) en heeft drie gradaties. Op gronden met gradatie 1 treedt gemiddeld in minder dan 1 van de 10 jaren oppervlakkige en/of interne verslemping op. Op gronden met gradatie 2 treedt in 1 tot 5 van de 10 jaren duidelijk oppervlakkige en weinig interne slomp op. Gronden met gradatie 3 zijn in meer dan 5 van de 10 jaren onderhevig aan sterke oppervlakkige en veelal ook aan interne slomp.

Tabel 3.9. Gradatie in slompgevoeligheid als afhankelijke van textuur, organische-stof- en kooizure kalkgehalte van de bouwvoor

Gradatie	Samenstelling bouwvoor		
	Code en benaming	textuur	org. stof (%) koolz. kalk (%)
1. gering		-	moerig
		leemarm zand, klei	-
		zware zavel	- > 0,5
2. matig		zware zavel	- < 0,5
		siltige leem	-
		lichte zavel	> 3
3. groot		lichte zavel	< 3 > 0,5
		lichte zavel	< 3 < 0,5
		zandige leem	-

Let op: Voor lemig zand zijn nog geen richtlijnen opgesteld; afhankelijk van de fijnheid van het zand en van het lutumgehalte komt gradatie 2 of 3 voor.

3.6 Zuurgraad

Met behulp van de beoordelingsfactor zuurgraad kunnen we de kalkhoudende zandgronden scheiden van de kalkloze. Globaal kunnen we hiermee bijvoorbeeld de weinig of niet afgegraven duinzandgronden onderscheiden van

de dieper afgegraven kernen van strandwallen en duintoppen en van de omgespoten gronden. Behalve in zuurgraad onderscheiden de van nature kalkhoudende duinzandgronden zich van de kalkloze door een lossere pakking dankzij de aanwezigheid van kalkhuidjes rondom de korrels en schelpgruis. Door de lossere pakking bevat de grond meer lucht en minder vocht bij gelijke drukhoogte (vochtspanning) in de bewortelbare laag. Bovendien is de capillaire stijghoogte vanuit het grondwater geringer. Dit verschil in vochtvoorziening wordt veelal nog versterkt, doordat de kalkhoudende duinzandgronden humusarm zijn en de kalkloze humeus. Door de beperkte hoeveelheid beschikbaar vocht in humusarme, kalkhoudende duinzandgronden is de capillaire nalevering vanuit het grondwater van bijzonder belang. Een hoge maaiveldligging boven het grondwater heeft daardoor bij de kalkhoudende duinzandgronden een sterkere opbrengstdaling tot gevolg dan bij de kalkloze. De kans op vorstschade van de geplante bollen is op de kalkhoudende gronden ook groter. Er wordt dan ook, zo mogelijk, een hoger waterpeil aangehouden bij vorst. Humeuze, kalkloze zandgronden hebben een dichtere pakking dan humusarme, kalkhoudende zandgronden. Door de dichtere pakking is de kans op vochttekort kleiner, maar de kans op onvoldoende zuurstoftoevoer naar het wortelstelsel groter. Bij het rooien van bloembollen is het op humusarme, kalkhoudende duin- en zeezandgronden gemakkelijk om bollen en zand te scheiden met behulp van zeven. Naarmate het humus- en/of kleigehalte toeneemt, wordt dit moeilijker, omdat kluitjes op de zeef blijven liggen en de grond moeilijk van de bollen loslaat: de bollen moeten dan met water gespoeld worden om de grond eraf te krijgen. Voor tulpen heeft het verschil in bewortelingsmilieu tussen de kalkhoudende en kalkloze duinzandgronden weinig invloed op de teeltresultaten; hyacinten en narcissen laten op kalkhoudende gronden betere teeltresultaten zien.

Gradaties

Er worden 3 gradaties onderscheiden (Tabel 3.10). In het algemeen kan worden gesteld dat kalkrijke gronden gradatie 1 hebben. Kalkloze (behalve kateklei) en kalkarme zeeklei- en rivierkleigronden en een deel van de beekeerdgronden, leemgronden en oude kleigronden hebben gradatie 2. De overige gronden, de pleistocene zandgronden en veel veengronden (zonder zavel- of kleidek), hebben gradatie 3.

Tabel 3.10. Gradatie in zuurgraad als afhankelijke van de pH-KCl

Gradatie Code en benaming	PH-KCl
1. neutraal	≥ 6,5
2. zwak zuur	4,5 – 6,5
3. sterk zuur	< 4,5

3.7 Storing in de verticale waterbeweging

Slechtdoorlatende lagen, soms van zeer geringe dikte en ondiep in het profiel, kunnen de wortellengte van bloembollen beperken. Door de slechte doorlatendheid kunnen namelijk op deze dichte laag tijdelijk schijngrondwaterspiegels ontstaan, zodat de zuurstofvoorziening onvoldoende wordt. Slecht doorlatende lagen zullen niet alleen de opbrengst, maar ook het aantal werkbare dagen voor het planten en rooien verminderen, doordat de bereikbaarheid afneemt na regenval.

De beoordelingsfactor storing in de verticale waterbeweging geeft een aanduiding voor:

- een langzame verticale waterbeweging door het profieldeel boven het niveau van de ontwateringsdiepte.
- een trage capillaire aanvoer van water in en boven de storende laag bij grondwaterprofielen en tijdelijke grondwaterprofielen;
- een gebrekkig wortelstelsel door te grote dichtheid van de storende laag, waterstagnatie erboven en moeilijke bereikbaarheid eronder.

Gradaties

We onderscheiden gewoonlijk geen gradaties in deze beoordelingsfactor. Wel kennen we een aanduiding toe voor gronden waarin de bovenste 80 cm van het profiel lagen voorkomen met een verzadigde doorlatendheid kleiner dan ca. 1 cm per etmaal. In de beoordelingstabellen geven we dit door toevoeging van het + teken aan. Bij onderzoek voor grootschalige bodemkaarten kunnen we voor specifieke gebruiksdoelen zonodig nadere indelingen maken naar diepte, dikte en doorlatendheid van de lagen.

Vaststelling van de gradaties

Het eenvoudigst is de verzadigde doorlatendheid van een bodemlaag te meten met de boorgatenmethode (Ten Cate et al., 1995). Voor metingen ondiep in het profiel is echter dikwijls de grondwaterstand niet hoog genoeg. Dan biedt de kolommenmethode (Bouma, 1977; Dekker en Bouma, 1978a en 1978b) uitkomst. Deze heeft het voordeel dat een groot grondvolume bij de meting betrokken is en de grond vrijwel onberoerd laat.

Om snel een inzicht te krijgen in verschillen in doorlatendheid, kunnen we in natte perioden grondwaterstanden meten in twee naast elkaar gelegen grondwaterstands-buizen. Het filter van de ene buis reikt tot aan een naar verwachting slecht doorlatende laag; het filter van de andere buis ligt onder de betreffende laag. De tweede buis moet ter hoogte van de slecht doorlatende laag afgedicht worden met bentoniet. Wanneer inderdaad een slecht doorlatende laag aanwezig is, zal men in natte perioden in de ondiepe buis een tot enkele decimeters hogere grondwaterstand meten dan in de diepe buis (Domhof et al., 1965).

Lagen die de verticale waterbeweging in een bodemprofiel kunnen verstoren vanwege een slechte doorlatendheid, zijn opgenomen in de legenda van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50 000 (Steur en Heijink, 1991), wanneer ze aan de volgende criteria voor de dikte voldoen:

- moerige tussenlaag en spalervereenlagen : > 5 cm;
- briklagen en kleilagen (profielverloop 3 en 4) : >15 cm;
- toevoeging ...t of ...x : >20 cm.

Van de volgende legenda-eenheden kunnen we verwachten, dat de verticale waterbeweging soms te wensen overlaat (onderstaande opsomming is niet meer dan een attenderingslijst).

Veengronden:

- veengronden met bagger, verslagen veen en gyttja binnen boorbereik (hVd, pVd, kVd, Va);
- veengronden met een podzolprofiel binnen boorbereik (aVp, zVp, Vp);
- waardveengronden (kVs, kVc, kVd).

Brikgronden:

- kuilbrikgronden (BLn5, BLn6, BKn25, BKn26).

Zeekleigronden:

- leek-/woudeerdgronden (pMn56C, pMn86C);
- drechtvaaggronden (Mv41C);
- poldervaaggronden (Mn56C, Mn86C, gMn83C, gMn88C, kMn63C, kMn68C, kMn43C, kMn48C).

Rivierkleigronden:

- drechtvaaggronden (RvO1C);
- poldervaaggronden (Rn67C, Rn47C, Rn94C, Rn44C, Rn45C, bRn46C).

Oude rivierkleigronden:

- leek-/woudeerdgronden (pKRn8);
- poldervaaggronden (KRn8).

Oude kleigronden:

- keileemgronden (keileem of potklei; KX);
- tertiaire kleigronden (tertiaire klei; KT).

Overige gronden:

- kleefarde (KK);
- glauconietklei (MA);
- ondiepe kalksteenverweringsklei (KM).

Voorts de legenda-eenheden met de volgende toevoegingen:

-w 15 a 40 cm moerig materiaal, beginnend tussen 40 en 80 cm (niet bij veengronden);
-c spalterveen, ten minste 5 cm dik en direct onder de bovengrond beginnend (alleen bij veengronden en moerige gronden, voorbeeld aVpc = een veengrond met een podzolprofiel met een spalterveenlaag)
-x keileem of potklei beginnend tussen 40 en 120 cm en ten minste 20 cm dik;
-t andere oude klei dan keileem of potklei beginnend tussen 40 en 120 cm en ten minste 20 cm dik.

Voor een verklaring van de gebruikte codes wordt verwezen naar Steur en Heijink (1991).

3.8 Profielopbouw

Voor de geschiktheid voor bloembollenteelt is de grondsoort, vooral die van de bovengrond, een belangrijke factor. De aard van de bovengrond heeft namelijk grote invloed op het aantal soorten bloembollen dat met succes kan worden geteeld, en daarmee op de vruchtwisselingmogelijkheden. De beoordelingsfactor profielopbouw maakt het mogelijk gronden met een zandige, kleiige en moerige bovengrond van elkaar te scheiden.

Gronden met een zandbovengrond verdelen we weer onder naar verschillen in teeltrisico en bewerkingmarge.

Gronden met een kleiige, lemige en/of zeer fijne zandbovengrond hebben eerder luchtgebrek in de wortelzone en een nauwere bewerkingmarge dan die met zeer kleiarm en leemarm grover zand. Na veel neerslag hebben ze bovendien meer tijd nodig om uit te zakken.

Ook tussenlagen zijn van invloed op de geschiktheid voor bloembollenteelt. Zo zal een moerige en kleiige tussenlaag de op- en neerwaartse waterbeweging vertragen. Daardoor is de bovengrond in de winter natter en in de zomer droger dan van gronden die geen storende lagen hebben.

Gradaties

We onderscheiden vijf gradaties in profielopbouw (Tabel 3.11) voor de bloembollenteelt.

Tabel 3.11. Gradatie in profielopbouw

Code	Omschrijving
1	Zandgronden die tot dieper dan 120 cm – mv gaan, bestaan uit zeer kleiarm en leemarm, matig fijn of grof zand
2	Zandgronden die vanaf het maaiveld bestaan uit zeer kleiarm en leemarm, matig fijn of grof zand met een storende tussenlaag of ondergrond die meer dan 3% lutum en/of meer dan 10% leem bevat en/of humusrijk of moerig is
3	Overige zandgronden zonder klei- of moerig dek
4	Overige gronden met een minerale bovengrond
5	Overige gronden met een moerige bovengrond.

4 Werkzaamheden die de bodemgeschiktheid beïnvloeden

In dit hoofdstuk zal in eerste instantie dieper op de verschillende teelthandelingen worden ingegaan die in de bollenteelt plaats vinden. Hierbij is zo veel mogelijk gepoogd een beschrijving van de gebruikte machines te geven, maar deze kan afwijken voor verschillende telers. Grootte van een bedrijf, mate van mechanisatie en gebruikmaking van loonwerkers is van grote invloed op de gebruikte machines.

Vervolgens zal dieper ingegaan worden op de diverse aspecten van de machines en de invloeden op de bodemstructuur hiervan.

4.1 Mechanisatie per teeltkalender

4.1.1 Grondbewerkingen

Ploegen

Het doel van ploegen is de verse grond boven te halen en verdichting tegen te gaan. Mest moet in het najaar (augustus) weggeploegd worden zodat de nieuwe verse grond naar boven komt en de mest ter hoogte van de wortels komt. Ploegen gaat tot 30 cm diep en wordt elk jaar uitgevoerd. Bij grondbewerking worden zware machines ingezet en het is dus belangrijk dat in het najaar condities goed zijn.

Aspecten die medebepalend zijn voor een goed ploegresultaat zijn: 1) een bandenspanning van 1 tot 1,5 bar; 2) toepassing van vierwielaandrijving; 3) stabilisatoren bij de trekstangen verwijderen of los laten hangen; 4) trekstangen zijwaarts laten bewegen. Verder dient de stand van de scharen in orde te zijn. Scharen horen scherp te zijn. Versleten scharen zijn korter, willen de grond niet in en smeren de bodem dicht. Verder neemt de kans op wiel slip toe, waardoor de bodemstructuur kan worden bedorven. Op zavelgronden moet het ploegen vlak voor het planten plaatsvinden om structuurschade door neerslag zoveel mogelijk te beperken. (Dwarswaard, 1999) Het nadeel van ploegen is dat ook de humusrijke bovengrond naar onder wordt gewerkt. Humus in de ondergrond leidt gemakkelijk tot zuurstofgebrek, wat weer tot een minder goede doorwortelbaarheid leidt. (DLV, 2002)

Diepploegen

Het doel van diepploegen is het bovenhalen van verse zuivere schone grond (grondwisseling). Als er continue in dezelfde grondlaag wordt geteeld, wordt de kans op ziektes groter; daarom keert men de grond om, waarna de grond weer een aantal jaren rust krijgt. Een ander doel is het losmaken van verdichte lagen om drainage en capillaire stijging te verbeteren en wortelindringing te verbeteren. Diepploegen gaat tot een diepte van 55-70 cm-mv, dus tot in het grondwater, maar op kleigronden ook wel tot 1,40 meter om onder andere zandlagen boven te halen. Op diepgeploegd land moet niet meteen worden geplant: eerst moet de grond zetten of vastgereden worden. Diep ploegen gebeurt eens in de 4 tot 10 jaar en wordt ook wel verticale vruchtwisseling genoemd. (Ypma, 1999; Busscher et al., 2002)

Gemotoriseerde ploegen ten opzichte van getrokken ploegen hebben een hogere energetische efficiëntie maar de totaal benodigde energie is ook hoger. Dit omdat gemotoriseerde ploegen de grond meer intensief verkrumelen en mixen. Het zware materiaal nodig voor diepploegen gebruikt al snel 600 pk om de ploegschaar door de grond te trekken. Het omzetten van land zorgt er vervolgens wel voor dat alle andere bewerkingen een stuk lichter worden en dat de afhankelijkheid van het weer minder wordt. (Van Ouwkerk en Raats, 1986; Ypma, 1999)

Diep ploegen is duur en het effect is meestal maar kort. Als diepploegen overwogen wordt moet eerst het bodemprofiel en de wortel ontwikkeling onderzocht worden om de invloed van de compactie te kunnen beoordelen. Een veenlaag in het profiel kan voor vervelende gevolgen zorgen (Van Ouwkerk en Raats, 1986; Ypma, 1999)

Spitten

Door spitten of spitzfreen worden storende lagen opgeheven. Gunstige ervaringen zijn opgedaan met de krukasspitmachine. Om een goed resultaat te behalen is het noodzakelijk om de bewerking onder droge omstandigheden uit te voeren. Grondbewerking onder natte omstandigheden heeft geen enkele zin en maakt de zaak alleen maar erger (DLV, 2002) Ervaringen uit het veld zijn dat met spitten een minder goede omkering van de

grond wordt verkregen dan met ploegen.

Het spitten, ook wel moren genoemd, gebeurt vlak voor het planten. Soms volgt daarna nog een bewerking met een frees. Deze serie groundbewerkingen levert een risico op bij fikse neerslag na het planten. Bij een zeer fijne structuur kan verstikking van de bollen optreden. Op kleigronden (> 25% afslibbaar) is spitten gangbaarder dan ploegen. Het levert een mooi plantbed op. Verder is de werksnelheid van een spitmachine zeker niet lager dan die van een ploeg. De werkbreedte is zodanig dat met een 2 of 3 schaarwentelploeg de dubbele rijsnelheid nodig is om een zelfde hoeveelheid grond om te zetten. Het verfijnen van zware kleigrond is nodig om te voorkomen dat tussen de te grove kluiten kou en water de geplante bollen kunnen bereiken en zo schade door vocht of vorst kan ontstaan. Bovendien kan de plantmachine de ploegvoren gaan volgen, waardoor een onevenwichtig plantbeeld ontstaat, of, in het ergste geval, 2 bedden die in elkaar over gaan. (Dwarswaard, 1999)



Figuur 4.1 Spitmachine

Woelen

Indien de drainagevoorzieningen goed zijn en slootpeilen diep genoeg en het is duidelijk dat een natuurlijke storende laag of een verdichte laag direct onder de bouwvoor de oorzaak van de slechte ontwatering is, dan is woelen de enige mogelijkheid om de doorlatendheid weer te verhogen. De diepte van woelen is hierbij van groot belang omdat anders de laag eronder vast kan blijven zitten. Als de gelaagde ondergrond zich niet direct onder de bouwvoor bevindt, maar wat dieper, dan is het de vraag of woelen tot in de gelaagde ondergrond tot verbetering van de resultaten leidt. De kans is groot dat de structuur boven de gelaagde ondergrond achteruit gaat, dwz. het aantal poriën zal afnemen, waardoor het aandeel van de kleine poriën toeneemt. Bij diepploegen, mengwoelen en diepfrezen worden boven- en ondergrond gemengd. Het humusgehalte van de bouwvoor daalt dan aanzienlijk, zodat slempgevoeligheid veelal toeneemt. (Van Dam en van der Knaap, 1969). Woelen moet echt als noodmaatregel worden gezien. Door het woelen worden alle nog resterende doorgaande macroporiën vernietigd. Een losgemaakte grond, ook een zandgrond, verliest veel aan sterkte en kan gemakkelijk worden verdicht tot hogere waarden dan voordien en door het ontbreken van alle doorgaande macroporiën met zeer slechte bodemfysische eigenschappen. Het effect van woelen valt vaak tegen en is meestal heel tijdelijk (DLV, 2002).

Voorafgaande aan het woelen moet daarom terdege worden gecontroleerd of de macro-porositeit en / of de doorlatendheid niet voldoende is of slechts weinig beperkend.

Bij woelen met ganzevoeten tot 40 cm komt de grond redelijk goed los en heeft geen kring van de grond tot gevolg. Het woelen kan ook worden gecombineerd met ploegen. (Meijers, 1976)

Frezen

Bij frezen bewerkt men het oppervlakte met een soort haken, tot ca 10 cm diep. Deze haken maken de kluiten fijn na bv ploegen. Frezen is een zeer intensieve bewerking en verzwakt de structuur, waardoor de grond snel weer in elkaar zakt. Frezen van onbewerkte grond leidde tot een verlaagde weerstand tot op 20 cm, dieper wordt de grond echter verdicht. Wel wordt frezen toegepast voor het stukslaan van stalmest, voordat het gespuit wordt. Hierbij wordt

zeer ondiep gefreesd met een hoog toerental en een lage rijsnelheid. (Meijers, 1976)
Het bewerken van grasland gebeurt met een frees-spit combinatie. Gangbare werkbreedtes zijn 2,5 tot 3 meter. Achter de spitmachine is soms een eg of eenmessenfrees aangebracht en een rol waarmee de losgewoelde grond weer wordt aangedrukt. Zo krijgen bouwvoor en ondergrond weer enige aansluiting. Op dezelfde dag worden de bollen geplant. (Dwarswaard, 1999)

Eggen

Rotoreggen op onbewerkte grond heeft een lichte stijging van de weerstand tot gevolg. Tevens verzwakt het de structuur sterk (Meijers, 1976)

Sporen rijden

Na de grondbewerking vindt het sporen rijden plaats. Tijdens het sporen rijden (of inrijden) wordt vaak gebruikt gemaakt van een vorenpakker of veurendrukker. Dit om de beluchting in de bedden goed te houden en waardoor een kunstmatige bezakking wordt verkregen. Doordat de grond iets wordt aangedrukt kan water sneller weg via de 'vaste' grond. Over het algemeen liggen de bedden elk jaar ongeveer op dezelfde plaats, met een afwijking van max. een halve meter. Alleen bij aspecten onderzoek wordt gebruikt gemaakt van een veurendrukker. Deze machine die achter de trekker wordt gekoppeld en een wielas heeft trekt 4 veuren per bed, waarin de bollen worden geplant. (Weijers, 2002; Dwarswaard, 1999)



Figuur 4.2 Veurendrukker

Tapes leggen

Bij fertigatie moeten voor het planten nog tapes aangebracht worden. Dit gebeurt met een klein aanhangsel achter de trekker, op 2 wielen, waar 4 rollen met tapes op zitten. Deze tapes komen in de bedden, en aan het kopeinde worden ze vast gemaakt aan grote slangen. Deze laatste zitten op een grote haspel die achter de trekker zit, met eigen wielen. Deze haspel komt niet door de bedden. (Weijers, 2002)

Egaliseren

Egaliseren vindt voornamelijk plaats na planten met de overschietmachine. Egaliseren op onbewerkte grond leidt tot grotere verdichting (een stijging van 0,5 MPa op een diepte van 10-25 cm). Ook ligt de weerstand van de grond daarna boven de grenswaarde. Egaliseren na spitten tot 40 cm leidt ook tot verdichting, maar de weerstand blijft wel beneden de grenswaarde. Spitten tot 70 cm heeft geen extra effect. Wel vindt er beneden de 40cm minder verdichting plaats, maar dat is beneden de wortelzone. (Meijers, 1976)

Padenploeg

De regels direct naast het spuitspoor zijn altijd het slechtste van het bollenperceel. Bij de eerste bespuiting duwt de trekker band aan weerszijde van het spoor kleiranden omhoog waaruit alle zuurstof wordt geperst en die amper water doorlaten. Dit gebeurt vooral als de grond wat nat is. Het gevolg is dat na regen de paden snel vol staan met water en pas na langdurige droogte weer beloopbaar zijn. De bollen die op de kantregels staan lopen groeischade op, omdat de grondstructuur minder optimaal is. De padenploeg bestaat per spoor uit twee ploegschaartjes, die de kleikorsten na de eerste bespuiting terugploegen naar het midden van het spuitspoor. Door de randen weg te ploegen kan het water weglopen. Vervolgens moet je onder droge omstandigheden één of twee keer met een

trekker door de sporen rijden en de spuitpaden zijn de rest van het seizoen keihard en egaal. Het apparaat hangt achter de tractor en wordt bediend door een bestuurder die achterop de machine zit. De kweker kan zo zelf de machine sturen, en breedte en diepte zelf hydraulisch bepalen. (In 't Veld, 2002; Van der Horst, 2002)



Figuur 4.3 Padenploeg

4.1.2 Planten

Bij tulpen gebeurt het planten meestal op bedden van 1,05 m. breed, plus een pad van 45 cm breed. Er ligt tussen de 10-15 cm grond op de bol, afhankelijk van de grootte.

Tabel 4.1: plantdiepte en diameter van de verschillende cultivars (Remmelts et al., 2000)

Cultivar	Diameter (cm)	Diepte neus van de bol (cm)
Muscari	2.5	ca. 10
Tulp	3-3.5	ca. 10 a 12
Hyacint	4	11 a 12
Narcis	7-10	12 a 15
Krokus	1	8 a 9

Tabel 4.2: Worteldiepte beneden maaiveld (Remmelts et al., 2000)

Cultivar	Worteldiepte beneden maaiveld (cm)
Krokus	ca. 25
Hyacint	ca. 30-40
Muscari	ca. 30-45
Tulp	ca. 45

Tijdens het poten van de bollen is het aan te raden geen bredere banden te gebruiken dan de breedte van de paden tussen de bedden. In sporen kan men voorkomen door een keer voor te rijden (sporen rijden). Extra brede banden is tijdens het poten af te raden, omdat deze grote verdichting in het bed geven, waar de bollen moeten groeien. (Meijers, 1976)

Naast verschillende algemene plantmachines zijn er voor de verschillende gewassen ook nog verschillende types (zie ook figuur 4.4; 4.5 en 4.6). Voor lelies is er een waar 4 mensen in zitten. Deze hangt aan de trekker met achteraan nog een as met 2 wielen. Voor Dahlia's en Hyacinten is er een karretje dat achter de trekker wordt gekoppeld, met 4 kleine banden (3 bar) omdat deze gewassen goed in de grond geplaatst moeten worden. Voor de andere gewassen is er een planter op 2 wielen die aan de trekker wordt gehangen, de sloffenplanter. Daarnaast is er ook nog de overschiet machine die van het ene bed aarde afschraapt en dit naar het bed ernaast schiet. Op het afgeschraapte bed worden de bollen geplant en dus met aarde uit het volgende bed afgedekt. Na deze manier van planten is het noodzakelijk het bed nog te egaliseren. Tot slot bestaat er nog een volbedsplanter. Over het algemeen vervoeren deze planters 1 kuubskist per keer en worden elke keer bijgevuld. Er zijn echter ook trekkers met bovenlader en voorlader die 3 kuubskisten meenemen in een werkgang. Dit komt neer op zo'n 3000kg aan

vervoerd plantmateriaal (Mondeling, divers)

Sinds een tiental jaren wordt er ook gebruikt gemaakt van nettenplanters. Hierbij worden de bollen in netten geplant, wat vooral de oogst vergemakkelijkt. Nettenteelt gebeurt onder andere op gescheurd grasland en op kleigrond. Voor het eerste is het gebruikelijk om alle werkzaamheden in één werkgang te doen. De grond is door de graszode iets beschermd tegen verslemping en is door het actieve gewas droger. (Dwarswaard, 1999) Bij de nieuwste nettenplanter (1993) worden de bollen in zes banen naar het net geleid. De netten worden eerst op een cassette geschoven, die in één minuut op de machine kan worden bevestigd. Ook kan nu in één keer ruim 150 meter meer worden geplant, waarbij de totale plantmogelijkheid 450 meter bedraagt. Het wisselen van de netten wordt hier nog aangegeven als enigszins tijdrovend. (Kistemaker, 1993)



Figuur 4.4. Hyacintentplantzet en een regelplantmachine (Kos mechanisatie)



Figuur 4.5 Overschietmachine (Kos mechanisatie) en een plantmachine met rollenzeef (Van Hienen)



Figuur 4.6 Lelieplantmachine met schip (Van Hienen)

4.1.3 Afdekkingen

Stro steken

Stro steken vindt plaats binnen 14 dagen na het planten vanwege stuiven. Met een tractor met een stromachine wordt de stro verdeeld over de bedden. Met scherpe inrijwielen wordt het stro circa 5 cm diep in de grond gestoken, zodat het stro recht overeind staat en vast in de grond staat. (Berghoef, 1991; Remmelts et al., 2000)

Stro schuimen

Hierbij wordt het stro in een dunne laag op de bedden aangebracht, met daarover een laagje zand om het stro vast te houden. Een stro baal weegt ongeveer 350 kg en de machine zo'n 9-12 ton. (Weijers, 2002)

Stro dekken

Bij vorstgevoelige cultivars zoals hyacinten, irissen en narcissen komt er na het strosteken ook nog een strodek op van enkele centimeters. Bij strosteken is het niet perse nodig dat het stro ook weer wordt weggehaald, bij een strodek wel. De strodekmachine kan 3,5 ha/dag doen. (Van Dam, 2002; Weijers, 2002)

Op zavelgronden is het aan te raden direct na planten een strodek aan te brengen om kans op waterschade te beperken. (Dwarswaard, 1999)



Figuur 4.7 Strodekken met bovenlader

Stro verwijderen

Alleen na strodekken is het van belang in het voorjaar het dek weer te verwijderen, omdat het de bollen hindert in hun groei en opwarming van de grond tegen gaat. (Weijers, 2002)

Cellulose

Cellulose wordt ook als stuifbestrijding gebruikt. Het wordt opgebracht met een giertenk of met spuitbomen met grove doppen.

4.1.4 Bemesting

Kunstmest strooien

Het berijden van diepgeploegd land met mestverspreiders leidt tot een sterke stijging van de weerstand. Deze komt al op 20 cm uit boven de grenswaarde voor wortelgroei (1,15 MPa). Grondbewerken voor mest verspreiden lijkt dus weinig zin te hebben. Mest verspreiden zonder voorafgaande grondbewerking leidt niet tot erg veel hogere verdichting. Wel ligt de weerstand boven de grenswaarde voor wortelgroei. Stalmest komt bij spitten en ploegen tot 40 cm vooral in de bovenste 25 van de grond terecht, wat wenselijk is. Gebruikt men een voorschaar, dan komt het grootste gedeelte van de mest onder in de voor, hetgeen niet bevorderlijk is voor de vertering en ontwatering. (Meijers, 1976)

Voor de bemesting kan gebruik gemaakt worden van de beddenpneumaat. Deze machine kan de mest zowel volvelds als in de bedden strooien. De machine wordt opgehangen aan de trekker en weegt zo'n 1000kg, er komt vervolgens nog zo'n 600-700kg mest in. Bemesting vindt zo'n 4 keer plaats tussen februari en mei. De machine bestrijkt meerdere bedden. (Weijers, 2002)

Fertigeren

De fertigatie machine komt alleen in het hoofdpad (kopeind) om de vloeistof (mest, water, pesticiden) door de tapes te pompen.

Groenbemester

Na de oogst van de voorjaarsbloeiers kan een groenbemester worden gezaaid. Het is aan te raden de groenbemester niet met een voorschaar op één diepere laag in de grond onder te werken. Zeker onder vochtige omstandigheden is de kans op een zure ondoorlatende laag aanwezig. Frezen is een alternatief. Groenbemester als voorvrucht voorkomt het dichtslaan van de bodem, doordat het de neerslag tegenhoudt die direct op de grond zou vallen. (Dwarswaard, 1999)

4.1.5 Gewasbescherming

Sputen gewasbescherming

Vuur moet tijdens de blad bijgroei frequent bestreden worden (soms wekelijks). Na de bloei komt er geen nieuw blad meer bij en kunnen de intervallen langer worden (om de 10 dagen). Bij droog weer kunnen er ook langere intervallen aangehouden worden. Luizenbestrijding vindt wekelijks plaats vanaf de tweede week van april. Vuur wordt dan meestal in dezelfde behandeling meegenomen. Extra bespuiting vindt plaats na koppen en na nachtvorst. Bij het lage doseringssysteem spuit je vanaf half maart tot de 2^e week van juni, om de 10 tot 14 dagen, afhankelijk van het weer. Wat dus neer komt op ongeveer 10 keer het veld op. (Van Dam, 2002; Verhulst, 1995; Weijers, 2002) De spuit wordt opgehangen achter de grote trekker met spuitwielen (zijn iets smaller). De machine zelf weegt zo'n 600 kg en kan nog 600 liter spuitpul bevatten. (Weijers, 2002)



Figuur 4.8 Spuiten van tulpen

Spuiten onkruid

Er zijn voor de tulp 3 perioden van bestrijden, in het najaar na het planten, in het voorjaar (begin maart) rond de opkomst van het gewas en na de opkomst van het gewas (Van Dam, 2002; Verhulst, 1995). Na opkomst zijn er bespuitingen voor de bloei, en na de bloei, afhankelijk van het weer. Na een buitje heb je gelijk last van onkruidkieming en moet je spuiten, met droog weer kun je langer wachten. Met het huidige middelen beleid moet je scherp spuiten, direct na ontkieming van het onkruid om het onder controle te houden. Met het lage doseringssysteem moet je vaker het land op om onkruid onder controle te houden. (Kater et al., 2002) Het onkruid spuiten kan gecombineerd worden met vuurspuiten en in een gang worden ook meerdere bedden tegelijk gespoten. Voor het spuiten kunnen kleinere banden gebruikt worden op de trekker, zogenaamde spuitbanden. (Weijers, 2002)

Wieden

Vooral in de biologische bollenteelt wordt gebruik gemaakt van de vingerwieder. Dit is een soort karretje dat achter de trekker (met dunne wielen) wordt gekoppeld. Het heeft 4 wielen, met 3 bar banden. De snelheid waarmee de behandeling uitgevoerd wordt ligt rond de 9-10 km/u en het wordt zo'n 10-15 per jaar gedaan, afhankelijk van het weer. Tegen onkruid kan ook de kopeg of wiedege gebruikt worden. Dit gebeurt tot 1 keer per week (wiedege) afhankelijk van het weer en tot aan het einde van het groeiseizoen. De kopeg kan tot 10 cm diep maar wordt niet vaak gebruikt. (Weijers, 2002)

Ziekzoeken

Ziekzoeken wordt zowel handmatig als met behulp van een klein karretje gedaan (3 bars banden). Bij gebruik van een karretje, liggen twee mensen in het karretje dat heel langzaam over de bedden beweegt. Hierbij worden zieke en afwijkende planten verwijderd. Het karretje wordt voornamelijk bij krokus gebruikt. Dit gebeurt zo'n 5-6 maal per groeiseizoen. (Weijers, 2002)

Koppen

Koppen vindt machinaal plaats in het voorjaar, voordat het loofmaximum bereikt is en wanneer zoveel mogelijk planten in bloei zijn. Door beschadigingen aan de plant vindt hierna vaak een vuurbestrijding plaats. Koppen gebeurt machinaal bij tulpen en dikke hyacinten (zetters), vaak wordt er daarna nog handmatig nagekopt. (Weijers, 2002)



Figuur 4.9 Kopmachine met afzuiging en een gemotoriseerde kopmachientje

Inunderen

Voor inundatie moet het perceel geëgaliseerd en rondom het perceel voldoende hoge en stevige dijkes aangelegd. Er is aangetoond dat inundatie op zwaardere gronden niet nadelig is voor de structuur van de grond. Inunderen gebeurt eens in de 4 à 5 jaar. (Dwarswaard, 1997; Weijers, 2002)

Grondontsmetten

Voor het ontsmetten kan ploegen gunstig zijn omdat daardoor de bodemtemperatuur daalt. De grond dient zo vochtig te zijn dat de aangedreven rol een lichte dichtsmetende werking heeft. De grondontsmetting gebeurt met

verschillende injecteurs: de schaarinjecteur en de freesschaarinjecteur. De laatste freest de grond voor het aanrollen 10 cm diep los. (Dwarswaard, 1997)

Injecteren

Bij injecteren op vaste grond blijkt alleen in de bovenste 20 cm de weerstand in de grond te verhogen. Op omgespitte (40 cm) gronden injecteren leidt tot een grotere weerstand in het hele profiel, maar die weerstand blijft nog wel onder de weerstand van de vaste grond. Ook tussen de trekkerwielsporen verhoogt de weerstand van de omgespitte grond na injecteren. Toch kan injecteren beter plaatsvinden voor de grondbewerking, omdat er anders niet ontsmette grond bovenkomt bij ploegen of spitten. (Meijers, 1976)

4.1.6 Rooien

Loofafslag (afklappen)

Loofafslag machines worden vooral gebruikt op kleigronden. De afstelling van dit apparaat heeft veel invloed op de benodigde trekkracht en de versmering van de grond. Een loofsnijsapparaat bestaat uit een speciaal gevormd mes dat loof en grond lossnijdt, een grondschiuf die de grond en het loof naast de ruggen of het bed neergelegd en een steunrol voor de diepteregeling. De machine kan gebruikt worden op één en twee ruggen en bij de beddenteelt van 4 regels. Bij de zesregelteelt zijn de breedte, de diepteregeling en de benodigde trekkracht een probleem. Planten op constante diepte is bij gebruik van deze machine van groot belang. De afklapmachine kan ook voorzien worden van een afzuigmachine waardoor het afgeslagen loof opgevangen kan worden om later compost van te maken. De afklapmachine heeft over het algemeen één wielas met 3 barsbanden. (Consulentschap, 1986; Weijers, 2002)

Afzagen

Bij o.a. Dahlia's worden voor het rooien uit de stengels tot bedhoogte afgezaagd. Dit is een klein machientje dat achter de trekker gekoppeld is en een eigen wielas heeft met 3 barsbanden. De rijsnelheid is laag.



Figuur 4.10 Afzagen van Dahlia loof voor oogst

Rooien

Rooien gebeurt met een rooimachine die voor alle gewassen gelijk is, maar waarvan net zoals bij plantmachines veel verschillende types bestaan. Er bestaat alleen verschil tussen nettenrooien en gewoon bedden rooien. Bij het rooien wordt eerst de toplaag aan de kant geschoven door trillende rooischaren, vervolgens wordt de laag met bollen geschept en over een rolband omhoog getransporteerd, en dan wordt de toplaag weer over het bed geschoven. Op een rooimachine staat een kuubskist, achterop, en deze wordt door een andere trekker elke keer afgereden. Bij het afrijden bevindt de volle kuubskist zich achter op de hefboom van de trekker. Per bed moet afhankelijk van de lengte een aantal keer af en aan gereden worden met de kuubskist. Aan het kopend worden tot 6 kisten op een rollenbaan wagen geladen die ze naar de schuur brengt. Het rooien is een zeer intensieve bewerking. Vergelijking van rooien met rooischaar en met de hand gaf een duidelijke verdichting van de grond aan in het eerste geval (Meijers, 1976).



Figuur 4.11 Diverse soorten rooimachines

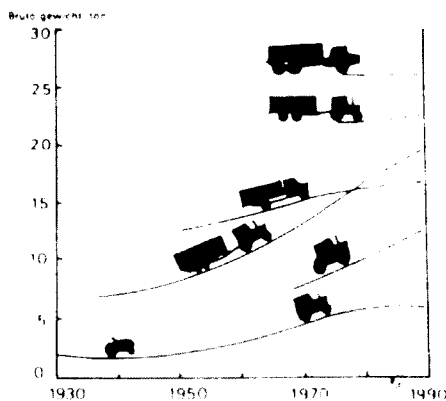


Figuur 4.12 Nettenrooimachine (Van Hienen)

Via nettenteelt is een honderd procent oogst te halen. Er blijven dus vrijwel geen bollen achter, waardoor de vruchtwisseling niet wordt verstoord. De bollen komen ook zeer schoon van het land, waardoor spoelen overbodig wordt. Dus minder kans op ziekten, een beperkt transport en minder afval. Voorjaarsbloeiërs worden over het algemeen tussen half juni en half juli gerooid. Dit kan het beste gebeuren bij een droge grond. De bollen worden machinaal uit de grond gehaald. Dat beïnvloedt de bodemstructuur voor de teelt erna. (Rommelts et al., 2000) Zomerbloeiërs worden gerooid in oktober/november onder over het algemeen slechtere omstandigheden dan de voorjaarsbloeiërs als gevolg van het natte seizoen. Rooien komt voor tulpen vrij nauw en 4 dagen later dan eigenlijk had moeten verhoogt de kans op zuuraantasting. Er kan dus maar beperkt rekening gehouden worden met weersomstandigheden.

4.2 Invloeden van machines

Machines zijn er in alle soorten en maten. Ten eerste heb je natuurlijk de trekkers die de uiteindelijk trekkracht moeten leveren. Daarnaast heb je de machines die de bewerkingen uitvoeren. Deze machines zijn er in uitvoeringen die je aan de trekker hangt, en waarbij al het gewicht dus door de trekker gedragen wordt en in uitvoeringen die je aan de trekker koppelt en die hun eigen wielen hebben. Sommige daarvan hebben ook nog hun eigen wielaandrijving. In dit hoofdstuk zullen de verschillende aspecten van de machines worden besproken, die invloed hebben op de bodem.



Figuur 4.13 Stijging van bruto gewicht van trekkers, wagens en zelfrijdende voertuigen gedurende de laatste decennia (Perdok en Terpstra, 1983)

4.2.1 Gewicht/ soort machine

Hoe zwaarder de machine hoe meer druk er op de grond is. Deze druk kan gedeeltelijk worden opgevangen door de banden maar niet geheel. Een beetje trekker weegt al gauw 7 tot 8 ton en een gemonteerde voorlader nog eens zo'n 900 kg extra. Dit gewicht wordt verdeeld over de wielen, maar de belasting voor de voor- of achterwielen kan wel verschillen.

Schade door berijden wordt sterk beperkt door getrokken werktuigen te vervangen door aangedreven werktuigen. Niet alleen wordt het (vermogens)rendement verdubbeld tot zo'n 80-85% en neemt het slippercentage af, maar tevens neemt de bewerkingsintensiteit met een factor 3 toe (Kouwenhoven, 1981). In dit kader zijn al diverse aanpassingen gedaan aan machines. Bij combinatie van verschillende werktuigen kan men de sporen concentreren. Hier wordt dus weinig grond sterk bereiden. Nadelen van dit systeem zijn de grote (geestelijke) inspanning die van de trekkerchauffeur gevraagd wordt voor het controleren van de werking van de diverse onderdelen en het vullen van de voorraadbakken, terwijl de meest urgente bewerking langzaam verloopt. Het voortbewegen en aandrijven van deze werktuigen vraagt ook veel vermogen. (PAGV, 1987)

Een te grote trekker geeft in de regel minder schade dan een te kleine trekker. Omdat een grote trekker rustiger draait wordt de grond minder getrild en zal er minder schade ontstaan. Een kleine trekker die steeds moet wachten en met veel toeren op een natte plek blijft staan trilt al de lucht uit de grond zodat al heel snel een soort drijfzand ontstaat. Bij structuurbederf is geen grond zo zuurstofarm als zandgrond.

Bij het afvoeren van oogst kan beter niet steeds over hetzelfde spoor gereden worden. Hierdoor ontstaat hetzelfde effect als het rooien met een te kleine trekker. Door het steeds gebruiken van dit spoor wordt de lucht uit de grond getrild en ontstaat er drassigheid. Het is beter om steeds een nieuw spoor te rijden, zodat de grond wel vast, maar niet stuk gereden wordt. Een bijkomend voordeel is dat de grond egaal vast gereden wordt. Egaal vaste grond is beter te bewerken dan grond waarin zich stroken bevinden. (Van den Berg, 2002)

4.2.2 Banden

Bandenmaten

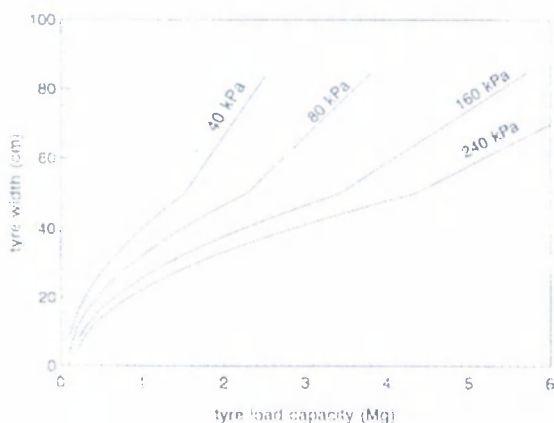
Er moet een brede band gekozen worden wanneer een zware last afgesteund moet worden bij een lage bandenspanning. $D_r = (100+B^2)P^{0,589}$ waarin D_r = draagkracht in Kg; B = bandbreedte in cm, en P is bandenspanning in bar.

Een maximale bandbreedte van 50 cm (18,4 inch) moet niet al te streng worden genomen. Het is beter met een 1 bar band een halve ploegsnede plat te rijden dan dat de ploegvoor met 2 bar wordt aangewalst door een band die precies in de voor past. Hoewel het draagvermogen van de band slechts weinig toeneemt met de diameter neemt de ontwikkelde trekkracht bij eenzelfde bandbreedte wel evenredig toe met de diameter.

Tabel 4.3 Relatie tussen bandenmaten en het draagvermogen

Bandmaat	Breedte in mm	Diameter in mm	Draagvermogen in kg bij 1,0 bar
18.4R38	466	1745	2250
20.8/70R38	536	1743	2440
20.8R38	525	1825	2660

Opm. een 20,8/70R38 band met een H/B verhouding van 0,70 heeft een geringere inhoud dan een 20,8R38 (H/B=0,80)(Perdok en Terpstra, 1983)



Figuur 4.14 Draagvermogen van een band bij een snelheid van 30 km/u en bandenspanningen van 40, 80, 160 en 240 kPa (Vermeulen en Klooster, 1992)

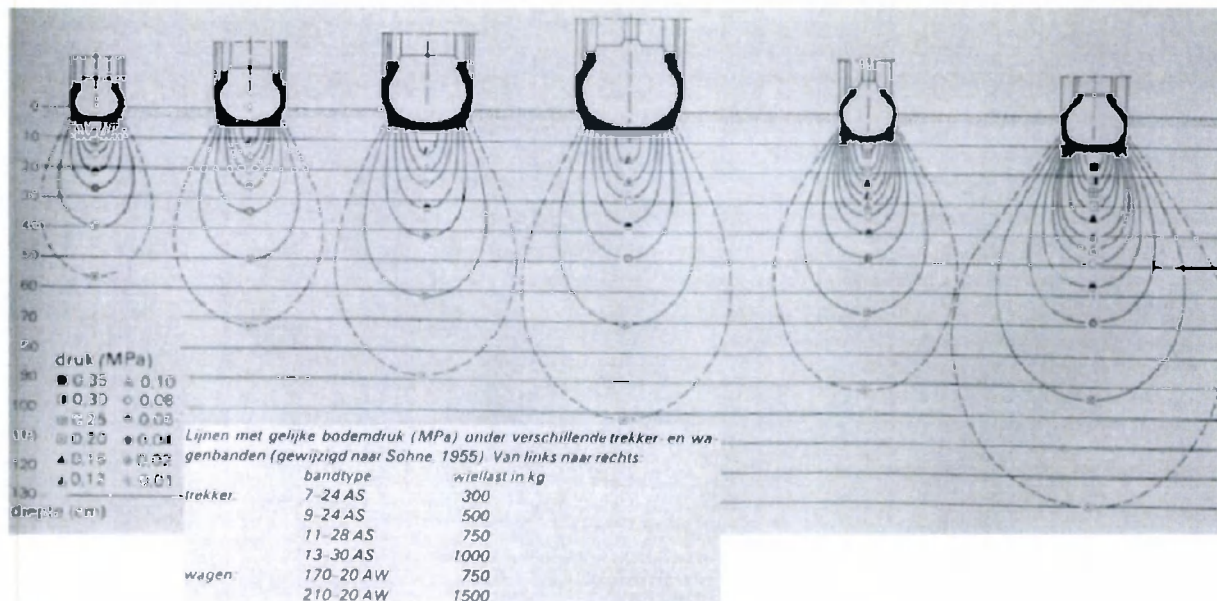
Bandenspanning

Indien grond met een grotere druk dan de grensdruk wordt bereiden, treedt verdichting op die aan het maaiveld met insporing gepaard gaat. Door verdichting ontstaat een nieuwe grensdruk die hoger is; de draagkracht neemt dus door verdichten toe. Bovendien wordt door insporen de contactoppervlakte tussen bodem en band groter en daardoor de bodemdruk kleiner. De grensdruk van bezakte, redelijk droge grond bedraagt ca. 0,2 MPa (=2 bar); die van natte, losse grond echter 0,1 Mpa of minder. Door uitwanging van de tegenwoordige banden, zodra de bodemdruk bereikt is, neemt de bodemdruk niet langer toe (door vergroting van de bodem-band-contactoppervlakte).

De druk op de grond is gerelateerd aan de bandenspanning: $0,4 + \text{bandenspanning (bar)}$ (Bolling, 1982) of gemiddelde bodemdruk = $1,25 * \text{bandenspanning}$ in onbelaste toestand (afhankelijk van de ply-rating). Een vuistregel is dat de bodemdruk is gehalveerd op een diepte gelijk aan de bandbreedte, en is afgenomen tot 1/6 van de bodemdruk aan het maaiveld op een diepte gelijk aan 2 maal de bandbreedte. Onder normale omstandigheden kan de grond een druk van 1 tot 1,3 bar goed verdragen wat overeenkomt met een bandenspanning van 1 bar. Zijn de omstandigheden erg slecht (losse, natte grond) dan is een nog lager niveau van bandenspanning aan te bevelen, nl. 0,5 tot 0,75 bar. Voor trekkers geldt dan wel dat er geen zwaar trekwerk kan worden verricht.

Het is zaak benodigde draagkrachtvergroting niet door middel van verhoging van de bandenspanning te verkrijgen, maar bv. door bredere banden te gebruiken. In de formule $D=100 + B^2$ (bij 1 bar), waarin D = technische draagvermogen en B = bandbreedte, komt B kwadratisch voor, zodat een toename van de breedte van een band

een relatief grote draagkrachtvermeerdering geeft (Perdok, 1986). Er is een 5-6% capaciteitsvergroting gevonden door het toepassen van een zo laag mogelijke bandspanning en gebruik van grotere radiaalbanden. Deze reageren vooral gunstig op verlagen van de druk, omdat hun positieve eigenschappen veroorzaakt worden door de soepelheid van hun wangen. Toenamen van de bandbreedte is wel gevaarlijk met het oog op verdichting van de diepere lagen. Dit gevaar wordt versterkt door het feit dat de minimaal toelaatbare bandspanning toeneemt met de breedte van de band, bijvoorbeeld van 0,8 tot 1,1 bar bij een toename van de breedte van 12,4" tot 16,9" (PAGV, 1987)

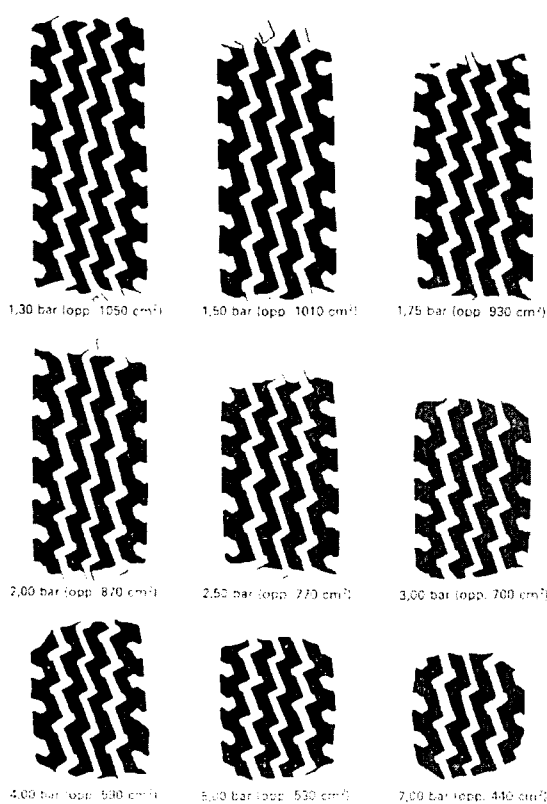


Figuur 4.15 Bodemdrukken onder diverse typen banden (Uit Locher en Bakker, 1990)

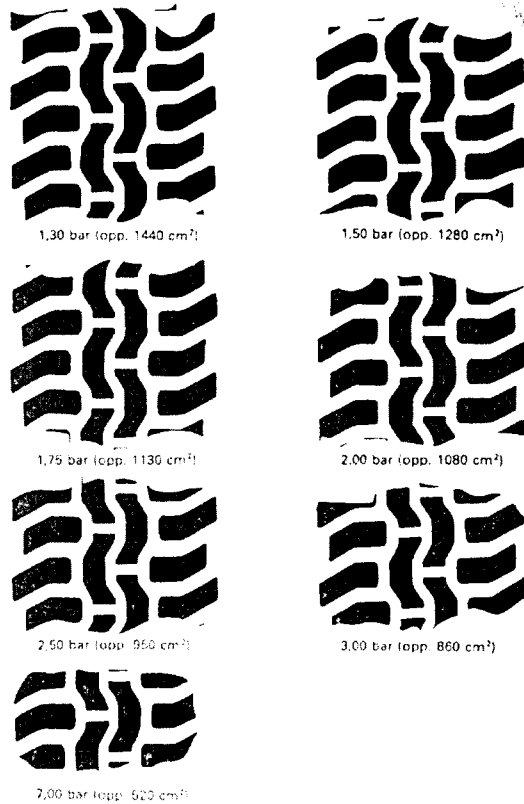
Deze minimale bandenspanning is het gevolg van een maximaal toegestane afplatting van trekkerbanden van 18%. Bij een grotere afplatting zijn er risico's met velg-bandslip en nokkanteling, ook worden de banen te heet bij berijding van de weg. De nokken van de band drukken een 'tandheugel' in de grond en zetten zich daar tegen af. Door bandafplatting, nokvorming en het afschuiven van de grond ontstaat wielslip. In principe werkt een zekere wielbelasting gunstig op dit proces.

De banden van aanhangers zijn vaak slecht, met te kleine of te weinig luchtbanden, waardoor men genoodzaakt is de banden te hard op te pompen om ze dan toch maar 'heel te houden' op de weg. Het zal duidelijk zijn dat deze hoge drukbanden (ca. 3 bar) zich op het veld ronduit slecht gedragen. De stugheid van een band hangt nauw samen met het aantal koordlagen (ook wel ply's) waaruit een band is opgebouwd. In hoge drukbanden, met name vliegtuigbanden, zijn wel meer koordlagen verwerkt dan in landbouwbanden waardoor de banden meestal erg stug zijn bij lage druk. De invloed van de stugheid van de band zelf neemt af bij toenemende spanning.

Het blijkt dat bandenbelasting heel weinig invloed heeft op de gronddruk. Dit komt omdat de luchtband bij constante spanning en toenemende belasting steeds verder afplat, waardoor het contactoppervlak bijna evenredig toeneemt, zodat de gemiddelde gronddruk vrijwel constant blijft.



Figuur 4.16 Grootte van het contactoppervlak bij verschillende bandspanningen en een belasting van 23.900 N (ca 2300 kg) op een betonbaan; bandtype 12R20. (Onder het contactoppervlak wordt hier verstaan het totale oppervlak, dus ook het zich tussen de afgedrukte nokken bevindend oppervlak.) (Perdok en Terpstra, 1983)



Figuur 4.17 Grootte van het contactoppervlak bij verschillende bandspanningen en een belasting van 23.900 N (ca 2300 kg) op een betonbaan; bandtype 18R22,5. (Onder het contactoppervlak wordt hier verstaan het totale oppervlak, dus ook het zich tussen de afgedrukte nokken bevindend oppervlak.) (Perdok en Terpstra, 1983)

Op een zachtere ondergrond is de situatie in het contactvlak gecompliceerder, omdat dan niet alleen de band, maar ook de grond vervormt, waardoor de band inspoort. Enerzijds wordt hierdoor het contactvlak vergroot, terwijl anderzijds de luchtband minder zal afplatten op de zachte ondergrond. Er wordt voorsnog vanuit gegaan dat beide effecten elkaar ongeveer opheffen. Losse vochtige grond is het meest gevoelig; vaste, droge grond zal nauwelijks verder verdicht kunnen worden.

(Perdok en Terpstra, 1983; Locher en Bakker, 1990; Meijers, 1976)

Omdat op de weg niet met een te lage bandenspanning kan worden gereden (door de grote vervormingen per tijdseenheid zou de band opwarmen, wat op termijn resulteert in beschadigingen of het aan flarden scheuren) resulteert dit vaak in een te hoge bandenspanning op het veld. Dit is een compromis tussen de ideale bandenspanning op het veld en op de weg. Een betere oplossing is het gebruik van een bandendrukregelsysteem. Dit kan gebeuren met manuele bediening of vol automatisch. Bij de manuele bediening gebeurt de aanbreng van de drukslag op het ventiel manueel. Het aanpassen van de bandenspanning vraagt hierdoor wel enige tijd. Bij een automatisch regelsysteem is er naast de luchtreservoir en de compressor een roterende luchtdichte koppeling op de wielnaaf. Een drukregelcircuit verbindt beide en maakt het mogelijk bij te sturen via een regelkast in de cabine (Agris, 2002)

* Wieluitrusting

Naast bredere banden en/of lagere druk, kan ook gedacht worden aan kooiwieken en dubbellucht, al dan niet op rijenafstand om problemen met brede banden bij de oogst te voorkomen. Het toepassen van dubbellucht kan 2 functies hebben: 1) het opvoeren van de trekkracht; 2) het terugbrengen van de bandenspanning (deze kan halveren als een enkele band 1,6 of meer zou zijn).

Genoemde hulpmiddelen worden vooral gebruikt om wegzakken en daarmee een hoge rolweerstand te voorkomen, maar ook om slip en versmering door een betere vermogensoverdracht te beperken: kooiwieken +10% (Erikson,

1974) en dubbellucht 30%. Om verdichting door versmering te voorkomen, dient slip zo veel mogelijk te worden beperkt. Een dun laagje natte grond op een droge vaste ondergrond kan zoveel slip veroorzaken, dat de trekkracht tot vrijwel nul wordt gereduceerd. Slip is in dit geval te beperken door toepassen van anti-slipkettingen, stapwielen, aan de omtrek van de band bevestigde platen van rubber of kunststof vervaardigde (pneumatische) (half) rupsen. (PAGV, 1987)

Tandemwielen zijn ook een optie om gewicht te verdelen. Hierbij zitten de wielen voor elkaar. Een nadeel van de tandemuitvoering is dat de banden wringen in de bocht, omdat ze als het ware rechtuit willen. Die dwarskrachten zijn slecht voor de banden en voor het maaiveld. Het tandemstel mag qua draagvermogen daarom slechts voor driekwart worden benut! Zodra de assen gestuurd zijn kan het draagvermogen wel volledig worden benut, door het ontbreken van wringingskrachten. Naast besturing kan ook hulpaandrijving vanaf de aftakas van de trekker een optie zijn. Deze hulpaandrijving kan dan een duwkracht leveren, ede ter overwinning van de eigen rolweerstand. Met een relatief lichte trekker zou dan kunnen worden volstaan.

Ophanging van de assen in een verenpakket geeft enige flexibiliteit ten opzichte van het chassis, waardoor de banden enigszins gespaard blijven. Afdoende oplossingen bieden meezwenkende wielen op de achteras (met achteruitrijblokkering) of actieve besturing van de achterste wielen. De wieluitslag vereist de nodige bewegingsvrijheid ten opzichte van het wagenchassis. De commandering kan mechanisch en/of hydraulisch worden gerealiseerd. Bij het ontwerpen van voertuigen en oogstmachines moet van de banden worden uitgegaan en niet omgekeerd zoals nog veel voorkomt. In de praktijk wordt vaak te weinig ruimte overgelaten voor de band, wat betekent dat er kleinere banden gemonteerd worden. (Perdok en Terpstra, 1983)

4.2.3 Trekkkracht

De rolweerstand van een band is gelijk aan de kracht die geleverd moet worden voor de grond- en de bandenvervorming. De rolweerstand neemt rechtevenredig toe met de breedte van het spoor en stijgt progressief met de spoordiepte. Uit technisch oogpunt is het dus zaak de breedte, maar vooral ook de diepte van het spoor beperkt te houden. De breedte van het spoor zal ongeveer gelijk zijn aan de bandbreedte of iets groter vanwege optredende bandafplating. De spoordiepte (zakking) hangt nauw samen met de gronddruk. Gebleken is dat de totale rolweerstand evenredig toeneemt met de belasting, zodat de verhouding rolweerstand: belasting (ook wel rolweerstandscoefficient; rwc) constant blijft. Pas wanneer voor een hogere bandenspanning moet worden gekozen om te vermijden dat de band te veel afplat, zal de band veel dieper insporen, waardoor niet alleen de rolweerstand, maar ook de rwc oploopt. Omdat diametervergroting nauwelijks kan leiden tot spanningsverlaging (draagvermogen bijna alleen afhankelijk van de breedte) heeft de diameter (bij ideaal afplattende luchtbanden) nauwelijks effect. Het kiezen van een extra brede band kan wel zin hebben in het geval de bandenspanning naar beneden gebracht moet worden; het positieve effect van de geringere insporing weegt dan ruimschoots op tegen het negatieve effect van de breedtevergroting.

Voor een starwiel (hoge druk band) geldt dat de breedte van het spoor overeen komt met de breedte van het wiel; de lengte van het contactvlak wiel-grond hangt samen met de wieldiameter. Toename van de belasting leidt tot verhoging van de gronddruk en de insporing en daarmee vaak tot een meer dan evenredige stijging van de rolweerstand: rwc neemt dus toe. Het effect van wielbreedtevergroting is onder normale omstandigheden positief. Vergroting van de diameter werkt onverdeeld gunstig, omdat de gronddruk wordt verlaagd zonder verbreding van het spoor.

Uiteraard zal een band op een relatief harde graanstoppel eerder voldoende afplatten dan op een vochtige en los liggend geploegd perceel bouwland. Dit houdt in dat op de vastere graanstopfels een hogere bandenspanning kan worden getolereerd. (Perdok, 1983)

Een hogere rolweerstand gaat gepaard met een lage trekkrachtlevering. De ontwikkelde trekkracht zal vooral afhangen van de wielbelasting en de wiel slip bij overigens constante bandspanning (1 bar) en gelijke (passende) profilering. Trekkkrachtcoëfficiënt (tc) is de trekkracht per belastingseenheid. Het is gebleken dat de trekkracht normalitair evenredig oploopt met de belasting, met andere woorden, de trekkrachtcoëfficiënt blijft constant. Daarentegen leidt een hogere bandenspanning tot lagere tc-waarden, omdat de druk in het contactvlak toeneemt. Dit heeft o.a. een grotere insporing tot gevolg, zodat de rolweerstand toeneemt. De trekkrachtcoëfficiënt stijgt bij een toenemend slippercentage. Echter de effectieve voortbewegingssnelheid neemt natuurlijk af en wel tot 1-S (S= wiel slip). Daardoor zal het trekhaakvermogen (=trekkracht*rijnsnelheid) spoedig dalen en dat is slecht voor het rendement. Onder normale werkbare omstandigheden ligt de maximale arbeidsprestatie rond 25% wiel slip. Bij 20% wiel slip- blijven toplaagbeschadigingen en bandslijtage nog binnen de perken, terwijl de trekkracht reeds op een

redelijk hoog niveau ligt. Raghavan (1977) vond de sterkste verdichting bij een wielslip van 15-25%. In de praktijk is 15-20% slip (bij ploegen) normaal, er zal dus in de praktijk verdichting optreden door slip.

Onder zeer gunstige omstandigheden is de t_c 0,55; maar onder ongunstige omstandigheden (natte losse grond) is de t_c maar 0,35 en eigenlijk te gering om nog efficiënt om te kunnen werken. Bij verhoogde belasting blijkt het beter bredere banden te nemen dan de bandspanning te verhogen. In het eerste geval blijft de t_c gelijk terwijl die in het tweede geval omlaag gaat. Globaal genomen is de t_c bij een slip van 20% rond de 0,42; bij deze wielslip wordt ook de optimale arbeidsprestatie geleverd.

Het verlies van transmissie tussen motor en achteras wordt gesteld op ca. 15%, zodat 85% van het motorvermogen effectief aan de wielas(sen) wordt afgeleverd. Het rendement van een trekkerband is gelijk aan de $output/input = 0,85\mu(1-S)/(\mu+\sigma)$. Waarin μ = trekkrachtcoëfficiënt en σ =rolweerstandcoëfficiënt. Het rendement blijkt sterk afhankelijk van de grondconditie en varieert van 0,62 (vaste droge grond) tot 0,48 (natte losse grond)

Tabel 4.4 Technische gegevens van een trekkerband, rendement en specifiek trekkergewicht bij 3 snelheden.

Grondconditie	Trekkracht (t.c.)	Rolweerstand (r.w.c.)	Rendement (e)	Specifiek trekkergewicht kN/kW (kg/pk) bij rijsnelheid v in m/s van		
				1	1,5	2
Gunstig: vast, droog	0.55	0.05	0.62	1.13 (81)	0.75 (54)	0.57 (40)
Normaal: bezakt, vochtig	0.45	0.10	0.56	1.24(89)	0.83 (60)	0.62 (45)
Ongunstig; nat, los	0.35	0.15	0.48	1.36 (98)	0.91 (65)	0.68 (49)

Opm. 1 kN/kW= 72 kg/pk; 1 kg= 9,81 N; kW=1,36 pk

Er bestaat een zeker verband tussen het beschikbare motorvermogen en het trekkergewicht dat minimaal nodig is om dat vermogen efficiënt in trekkracht om te zetten. Immers: motorvermogen (kW) x rendement e= trekkracht μ G (kN) x rijsnelheid v (m/s). Hieruit is het begrip specifiek trekkergewicht s (in kN/kW) af te leiden: $s=e/\mu v$. (Perdok en Terpstra, 1983)

4.2.4 Rijsnelheden

Hoge rijsnelheden zijn gunstig voor het beperken van de verdichting en voor een toename van de verkruiemeling. Zo is geconstateerd dat bij een rijsnelheid van 18 km/h de verdichting slechts de helft was van die bij 1 km/h.

Aangezien hoge rijsnelheden niet aangenaam zijn voor de bestuurder (ivm zitting) en ook aanpassing van de werktuigen moeilijkheden oplevert zal de maximale snelheid niet boven de 10-15 km/h uitkomen. (PAGV, 1987)

4.2.5 Frequentie van berijding

1,50 versus 1,80 breed werken.

Bij 1,80m kan er 5% rustiger gereden worden en wordt er 10% meer werk verricht. Er wordt in een breed net van 1,35m geteeld. Er komen per ha minder paden, maar daar tegenover staan zwaardere tractoren die nodig zijn. Het is de vraag of deze grotere machines die meer trekkracht vragen, ook even lang onder dezelfde moeilijke omstandigheden door kunnen gaan. Een grotere spoorbreedte bij de steeds groter wordende trekkers geeft een betere stabiliteit en een kortere draaicirkel. (Wiersma, 2000)

Bij 1,50 werd de stabiliteit van plantmachines met een plantbak op het dak steeds minder. Een smalle trekker met steeds meer gewicht in de hoogte werkt onplezierig. (Wiersma, 2000)

De berijdingsintensiteit wordt gegeven in de volgende formule: $((n \cdot 2b)/w) \cdot 100 = \%$, waarin n=aantal werkgangen; b=breedte achterbanden; w=werkbreedte. Uit deze formule kan men aflezen dat breder werken de berijdingsintensiteit beperkt. Een nadeel is dat voor breed werken een hoger trekkergewicht is vereist, waardoor het bereiden gedeelte sterker wordt verdicht. (PAGV, 1987)

Rijbanenteelt

Wanneer men (permanente) rijbanen voorziet van verharding, betonstrips of rails, spelen beperkingen op het gebied van berijdbaarheid geen rol meer. De enige beperking is de bewerkbaarheid van de grond. Alle voordelen van de beddenteelt komen hier naar voren: men kan vroeger beginnen en later ophouden, men kan ondieper en minder intensief grondbewerken waardoor het energieverbruik lager is, terwijl het effect van de hoofdgrondbewerking

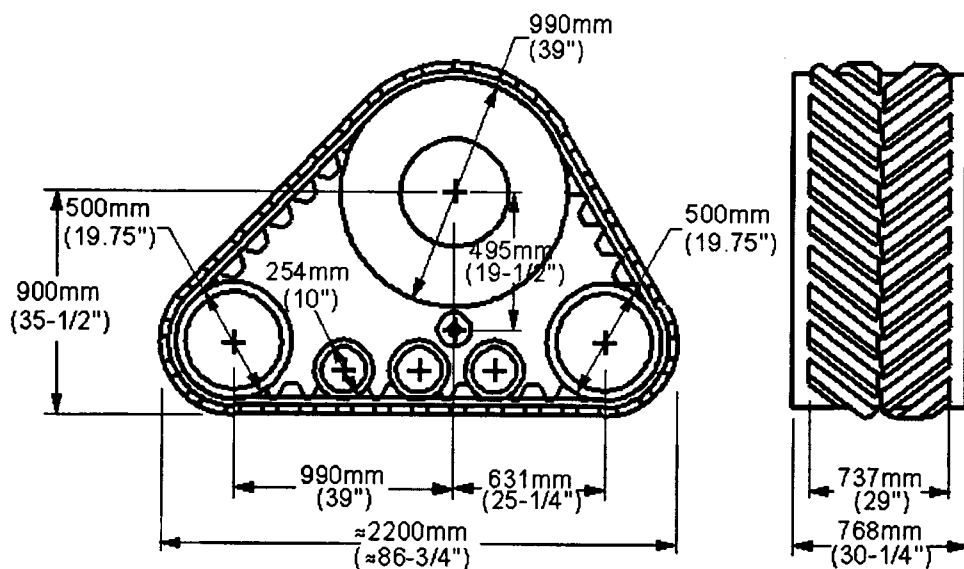
gedurende een aantal seizoenen behouden blijft. Het gebruik van betonpaden met een geleidingsgeul en van rails biedt bovendien de mogelijkheid het geheel te automatiseren. (PAGV, 1987)

4.2.6 Ontwikkelingen die zouden kunnen leiden tot een verminderde bodemverdichting

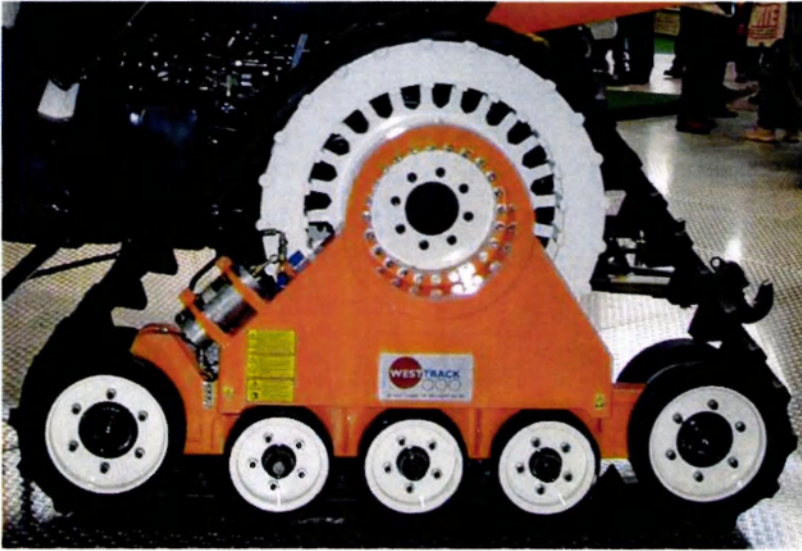
Wielen tov rupsbanden.

Rupsbandtrekkers hebben meestal een groter contact oppervlak dan luchtbandtrekkers met gelijke pk waarden. Verticale druk onder een rupsband is echter erg ongelijk verdeelt, met erg hoge druk onder het achterwiel en bijna geen druk onder het voorwiel. Echter als de trekas verlaagd werd was er een reductie van de druk met bijna 50% op 10 cm diepte. Door de lagere aanzet werden de krachten beter over de tractor verdeelt. Voor wiel tractoren gold dit in mindere mate, maar toch lijkt het balanceren om de vracht evenwichtiger tussen de wielassen te krijgen een nuttige maatregel om het risico voor grondcompactie te verminderen. Bij een 5% slippercentage was de trekkracht van de rups trekker twee maal zo groot als die van de wiel trekker. De energie-efficiënte was bij de rups trekker echter lager, wat wordt geweten aan de grotere rolweerstand van de rupsbanden. Er wordt nog onderscheid gemaakt tussen on-land ploegen en conventional ploegen. Hierbij blijkt dat on-land ploegen minder verschil geeft tussen de rups tractor en de wiel tractor. Bij conventional ploegen gaven de wielen in de voor veel verticale bodem druk. De wiel trekker veroorzaakte veel meer grondverplaatsing van de rups trekker en de verticale druk was hoger, maar dit laatste was niet significant.

Een nadeel van de rupsbanden is dat als de trekker veel kracht moet leveren de voorkant van de rupsbanden zich ingraven en de achterkant oplift, omdat het draaipunt niet in het midden is. Dit effect kan verminderd worden door de draaias in het midden te maken.



Figuur 4.18 Maten van een rupsband. (Reed Turner, 1994)



Figuur 4.19 Rupsband ontwikkeld door Westtrack

In het veld werden veel minder trillingen naar de bodem waargenomen zoals die bij wieltrekkers voorkomen. Een belangrijk punt bij rupstrekkers is dat ze op de weg niet meer dan 20-25 km/h kunnen. (Keller et al., 2002; Reed Turner, 1994)

In het veld lijken er wel duidelijk minder plassen op land te staan dat wordt bewerkt met een rupstrekker.

5 Discussie en Conclusies

Eind jaren 60 toen de mechanisatie op gang kwam is er veel onderzoek verricht naar structuurbederf van de grond. Hieruit kwamen ook een aantal kengetallen naar voren waar de grond aan moest voldoen om een goede plantengroei te waarborgen, zoals het lucht- en watervolume en volumegewicht van de grond. Vervolgens is het onderzoek naar structuurbederf (in de bloembollen) zo goed als stil komen te liggen, maar zijn de machines wel steeds zwaarder geworden, en is de frequentie van berijding omhoog gegaan. Doordat het mest- en bestrijdingsmiddelengebruik gelijke tred heeft gehouden met de mechanisatie en de plantdichtheid omhoog is gegaan is de opbrengst in de loop der jaren blijven stijgen. Door de steeds strengere milieueisen is de groei van bemesting en gewasbeschermingsmiddelen echter stop gezet, en komt er weer meer aandacht voor de bodem zelf. Uit literatuuronderzoek blijkt een negatieve relatie tussen verdichting en plantengroei duidelijk aanwezig. Door verdichting gaat het volumegewicht van de grond omhoog en daalt het aandeel lucht en water in de grond. De wortels zullen meer moeite hebben om in de grond te dringen en in de diepere lagen zal te weinig zuurstof aanwezig zijn voor een goede groei. Dit leidt tot een onvoldoende ontwikkeld wortelgestel wat gevolgen heeft voor zowel de opname van nutriënten als van water. Doordat de macroporiën afnemen bij toenemende verdichting zal de zuigspanning ook omhoog gaan wat eerder leidt tot verwelking van het gewas, en beregening eerder nodig maakt. Uit buitenlands onderzoek blijkt ook dat door verdichting de koolstof mineralisatie af neemt en denitrificatie eerder optreedt, wat de stikstofhuishouding niet ten goede komt.

Er bestaat dus een duidelijke relatie tussen structuurbederf, met name verdichting, en de opname van nutriënten (stikstof en fosfaat). Gezien de steeds strengere eisen aan de bemesting is het van belang dat hier in het onderzoek meer aandacht aan wordt besteed. Hierbij is het van belang eerst een inventarisatie te maken van de volumegewichten en de water- en luchtvolumes van de gronden en de pF-curves, om vervolgens te onderzoeken hoe de situatie verbeterd kan worden zowel wat betreft frequentie en tijdstip van berijding als de invloed van de machines zelf.

In dit rapport wordt ingegaan op structuur, structuurbederf en structuurbehoud. Aangegeven wordt dat vooral de continue macroporiën van belang zijn in de structuur omdat deze de waterdoorlatendheid en de mate van aanvoer van zuurstof en de afvoer van kooldioxide voor een groot deel bepalen. Continue macroporiën worden voornamelijk gecreëerd door de bodemfauna, beworteling en krimp- en rijpingsscheuren bij gronden met een lutumgehalte van meer dan 15 %. Structuurbederf is in het algemeen het gevolg van slomp en verdichting door veldverkeer. De gevoeligheid voor verslemping en verdichting is het grootst bij natte gronden. Een goede ontwatering is dan ook essentieel voor structuurbehoud. Daarbij hoort een goede waterdoorlatendheid van de ondergrond. De vraag is of deze ondergrond door de toenemende zwaarte van de mechanisering niet te zwaar verdicht is met als gevolg een slechte waterdoorlatendheid.

Klachten in de bloembollenteelt over structuurbederf lijken samen te gaan met de constatering dat de ondergrond natter is dan in vroegere tijden. Dit kan een aanwijzing zijn dat sluipenderwijs de ondergrond steeds sterker en dieper is verdicht met een verslechterende doorlatendheid als gevolg. Uit een inventarisatie als in hoofdstuk 4 volgt dat de huidige wiellasten veel hoger zijn dan in het verleden. Met behulp van hoofdstuk 4 kan een eerste inschatting worden gemaakt van de maximale wiellasten in de huidige praktijk. Met een aantal eenvoudige berekeningen en geschatte sterkte-eigenschappen kan vervolgens worden ingeschat of de draagkracht van de ondergrond in hoge mate en tot op grotere diepte wordt overschreden. Deze bureau studie kan worden vervolgd met een doelgericht veldonderzoek in een perceel met de gerapporteerde problemen. Dit houdt onder andere een beschouwing in van de structuur van boven- en ondergrond en de bepaling van dichtheden en waterdoorlatendheden op een aantal diepten. Wel zouden gedurende enige tijd grondwaterstanden moeten worden gevolgd om er zeker van te zijn dat niet kweldruk of te hoge grondwaterstanden door onvoldoende drainage de oorzaak is. Daarna zou met behulp van een penetrometer de verspreiding van het probleem in de regio kunnen worden geïnventariseerd.

Literatuur

Agris website (2002) <http://www.agris.be/nl>

Akker, J.J.H. van den (1997) Construction of a wheelload bearing capacity map of the Netherlands. Proc. 14th ISTRO conf., Pulawy, Poland, 1997. Bibliotheca Fragmenta Agronomica, Vol. 2A/97: 15-18.

Akker, J.J.H. van den en Lerink, P. (1990) Verandering van bodemkwakliteiten door berijden. In: Management Bodemstructuur, IMAG, p 25-44.

Albers, H.T.M.P. (1980) Een onderzoek naar de verslumping van zeeleigronde. Rapport 1484 Stichting voor Bodemkaartering, Wageningen.

Arvidsson, J. (1997) Soil compaction in agriculture – from soil stress to plant stress. Acta Universitatis agriculturae sueciae. Agraria 41, Uppsala.

Bakker, H. de; Locher, W.P. (1990) Bodemkunde van Nederland. Deel 2. Malmberg, Den Bosch.

Berg, H. van den (2002) Structuur beschermen tijdens het rooien. Uit: Vakwerk 2002, nr 36

Berghoef, J. (1991) Bloembollenteelt. Dictaat van Vakgroep Tuinbouwplantenteelt, Landbouwuniversiteit Wageningen

Berkum, J. van (1993) Elke grondsoort vereist eigen aanpak. Uit: Vakwerk 33, p 13

Beuving, J. (1979) Invloed van organische stof en lutum gehalte op de verdichtbaarheid en de mechanische sterkte van zand. ICW nota 1076, Wageningen

Bijl, R.S. (1993) Bloembollen in netten. Uit Landbouwmechanisatie 1993; 5 p 70-71

Boekel, P. (1963) Soil structure and plant growth. Uit: Neth. J. agric.Sci. Vol 11 No 2. p 120-127. Instituut voor bodemvruchtbaarheid

Boekel, P. (1965) Teelt van tulpen op slempige percelen. Uit: Meded. Dir. Tuinb. 28, 7/8, p 381-387. Instituut voor bodemvruchtbaarheid.

Boekel, P.; Pelgrum, A. (1966) Bodemfysisch onderzoek op enkele percelen tulpen in Noord-Holland. Instituut voor bodemvruchtbaarheid, Groningen

Boekel, P. (1978) De bewerkbaarheid van de grond in het voorjaar. Uit : cultuurtechn. tijdschr. 18 (1978/1979) 211-219

Boekel, P. (1979) The workability of the soil in spring in relation to moisture content and moisture transport. 8th Conference of international soil tillage research organization (1979) 293-298

Bolling, I. und W. Söhne (1982) Der Bodendruck schwerer Ackerschlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 37-2: 54-57.

Boone FR (1988) Weather and other environmental factors influencing crop responses to trillage and traffic. Soil & Till. Res. 11, 283-324

Bouma, J. (1977) Soil survey and the study of water in unsaturated soil. Soil Survey Papers, no. 13.

Netherlands Survey Institute, Wageningen.

Busscher, W.J.; Bauer, P.J.; Frederick, J.R. (2002) Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. Uit: Soil & Tillage research, 68 (2002) p49-57

Canillas, E.C.; Salokhe, V.M. (2001) Regression analysis of some factors influencing soil compaction. Uit: Soil & Tillage Research 61 (2001) p 167-178

Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp (1995) Handleiding bodemgeografisch onderzoek. Richtlijnen en Voorschriften. Deel D: Interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodembebruik, Technisch Document 19D, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 153 pp.

Carsjens, G.J. (1988) Onderzoek naar de betrouwbaarheid van het meten van gronddrukken met drukcellen. ICW nota 1894, Wageningen

Consulentschap voor de tuinbouw Hoorn (1986) Werknemers willen duidelijkheid. Uit: Bloembollencultuur, nr. 19, 9 mei 1986; p 16-17

Dam, J.G.C., van; Knaap, W. v.d. (1969) Invloed van de grond op de teeltresultaten van tulpen. Rapport 908, Stichting voor bodemkartering, Stiboka, Wageningen

Dam, A.M. van (2002) Mondelinge mededelingen. Bemestingsdeskundige werkzaam bij Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, sector bloembollen

Dawidowski, J.B. and Lerink, P. (1990) Laboratory simulation of the effects of traffic during seedbed preparation on soil physical properties using a quick uni-axial compression test. Soil & Till. Res. 17: 31-45.

Dekker, L.W. en J. Bouma (1978a) Relaties tussen de verticale verzadigde doorlatendheid van enige komkleigronden en het voorkomen van plasvorming. Cultuurtechnisch Tijdschrift 18, 3: 126-142.

Dekker, L.W. en J. Bouma (1978b) De invloed van drainage en verbeterde ontwatering op de verticale verzadigde doorlatendheid van komlei- en knipkleigronden. Rapport 1416, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

DLV (2002) Teeltactueel bodem/bemesting. Vakwerk 38 76^e jaargang. p. 31

Domhof, J., J.C.F.M. Haans en M. Knibbe (1965) Het meten van grondwaterstanden in gronden met slecht doorlatende lagen. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen, Boor en Spade XIV: 151-163

DVWK Merkblatt (1995) Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, I, Mechanische Belastbarkeit. Heft 234, 12 pp.

Dwarswaard, A. (1997) Wat te doen met het land na oogst. Uit: Bloembollencultuur vol .108 nr. 13- 19 juni 1997, p15-19

Dwarswaard, A. (1999) Soort en teelt bepalen werkwijze. Uit: Bloembollencultuur vol. 110, nr 1, p34-35

Eriksson, J., I. Håkansson and B. Danfors, 1974. The effect of soil compaction on soil structure and crop yields. SIAE Uppsala Bull. 354. 101 p.

- Fleige, R., Horn, R. & Stange, F. (2002) Soil mechanical parameters derived from the CA-database "subsoil compaction". In: Pagliai, M. and Jones, R. (eds). *Advances in GeoEcology 35*, Catena Verlag, Reiskirchen, Germany, 359-366.
- Haan, F.A.M. de; Wind, G.P. (1966) Bodemverdichting als gevolg van de wijze van uitvoering van grondverbeteringswerkzaamheden. *Tijdschr. Kon. Ned. Heidemij* 77, 6: 244-250.
- Haan, F.A.M. de; Valk, G.G.M. van der (1969) Verband tussen bodemverdichting en waterbeheersing, speciaal met betrekking tot bloembollenteelt. *ICW medeling* 122, Wageningen.
- Hidding, A.P. (1961) De doorwortelbaarheid van zandlagen. Instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, rapport 12.
- Hidding, A.P.; Berg, C van den (1961) The relation between pore volume and the formation of root systems in soils with sandy layers. *ICW technical bulletin* 24, Wageningen.
- Horst, A. van der (2002) Padenploeg houdt spuitsporen heel seizoen begaanbaar. *Uit: Oogst tuinbouw*. 10 mei 2002
- Kater, L.J.M.; Reijers, N.; Snoek, A.J. (2002) *Nattigheid in de Bollenstreek*. PPO-Bloembollen, Lisse
- Keller, T. ; Trautner, A.; Arvidsson, J. (2002) Stress distribution and soil displacement under a rubber-tracked and a wheeled tractor during ploughing, both on-land and within furrows. *Uit: Soil & Tillage Research* 68 (2002) p 39-47
- Kistemaker, R. (1993) Bollen in Netten. *Uit: Bloembollencultuur* 12, 10 juni 1993, p12-15
- Kooistra, M.J., J. Bouma, O.H. Boersma and A. Jager (1984) Physical and morphological characterization of undisturbed and disturbed ploughpans in a sandy loam soil. *Soil Tillage Res.* 4: 405-417.
- Kooistra, M.J. (1990) Natuurlijke en biologische processen en bodemkwaliteiten. In: *Management Bodemstructuur, IMAG*, p 45-54.
- Kouwenhoven, J.K. (1981) Tillage and mechanization in Leziria Granda de Vila Franca de Xira. *AMA* 12: 17-22
- Lebert, M., Horn, R. (1991) A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil & Till. Res.*, 19: 275-286.
- Locher, W.P.; Bakker, H. de (1990) *Bodemkunde van Nederland, deel 1*. Malmberg, Den Bosch
- Meijers, H (1976) Metingen en resultaten van grondverdichting op duinzandgronden. *consulentschap voor tuinbouw*, Lisse
- Ouwerkerk, C. van; Raats, P.A.C. (1986) Experiences with deep tillage in the Netherlands. *Uit: Soil and Tillage res.* 7 (1986) 273-283
- PAGV (1987) Themadag "Werkbaarheid en tijdigheid" 13 mei 1987. Verslag nr. 64 Lelystad.
- Pelgrum, A. (1963) Gevoeligheid voor verslemping van lichte klei- en zavelgronden. *Uit: Landbouwvoorlichting* 20. 11/12, p637-645. Instituut voor bodemvruchtbaarheid.
- Perdok, U.D.; Terpstra, J. (1983) *Berijdbaarheid van landbouwgrond*. Diverse afleveringen. *Uit:*

Landbouwmechanisatie 34(1983)4 p 363-366; 5 p. 483-488; 6 p. 623-628; 7 p. 729-732; 8 p. 793796

Perdok, U.D. en W.B.M. Arts (1986) Het landbouw bandenboek. Stichting Landbouwmechanisatie-pers, Wageningen. 42 pp.

Raghavan, G.S.V., E. McKyes and M. Chasse, 1977. Effect of wheel slip on soil compaction. Journal of Agricultural Engineering Res. 22: 79-83.

Reed Turner, P.E. (1994) Articulated four track tractor field tests.
<http://www.agric.gov.ab.ca/esb/afmrc/r10894.html>

Remmelts, G.; Stuurman, R.J.; eij, J.L. van der; Koster, M.A.M.; Louw, P.G.B. de (2000) Onderzoek naar de hydrologische verklaring voor de Bollenschade in de Zuidelijke Bollenstraak. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, in opdracht van Stichting Rechtsbijstand. Delft

Roijaards, T, van Erpers (1987) Een onderzoek naar enige bodemtechnische factoren bij de bezanding van bloembollengronden in Noord-Holland. ICW nota 1808, Wageningen.

Ross, S. (1989) Soil processes: a systematic approach. University Press, Cambridge

Schuurman, J.J.; Goedewaag, M.A.J. (1956) Growth and root development of spring wheat on various loam profiles underlain by sand in relation to the fertilization of the subsoil. Rapports Vie Congr. Intern. de la Sci. du sol, Paris. p 325-334

Steur, G.G.L. en W. Heijink (1991) Bodemkaart van Nederland Schaal 1 : 50 000. Algemene begrippen en indelingen. 4e uitgave, Staring Centrum, Wageningen.

Tijink, F.G.J., Koolen, A.J. en Arts, W.B.M. (1990) Banden tussen voertuigen en grond. In: Management Bodemstructuur, IMAG, p 9-23.

Valk, van der; Haan, de (1971) Invloed van de dichtheid van de grond en van de grondbewerkingsdiepte op de productie van enkele bloembollengewassen. Nota 589, Instituut voor Cultuurtechniek en waterhuishouding, Wageningen.

Valk, G.G.M. van der; Haan, F.A.M. de (1974) Invloed van bodemverdichting op de productie van bloembollen op duinzandgronden. Rapport 21, LBO Lisse

Veld, A in 't (2002) Droge spuitpaden met ploeg. Uit Bloembollencultuur nr. 4 (14 maart) 2002, p4

Vermeulen, G.D. en Klooster, J.J. (1992) The potential of a low ground pressure traffic system to reduce soil compaction on a clayey loam soil. Uit: Soil&Tillage Research, 24 (1992) 337-358

Vries, Th. de, 1974. Waardering van de landbouwkundige waarde van de grond. Bedrijfsvoorlichting 5, 2: 159-168.

Vries, Th. de (1974) Waardering van de landbouwkundige waarde van de grond. Bedrijfsvoorlichting 5, 2: 159-168.

Weijers, B. (2002) Mondelinge mededelingen. Bedrijfsleider "De Noord" Proefbedrijf Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, sector bloembollen

Wiersma, P. (2000) Minder bedden, minder werk, meer bollen. Uit: Bloembollencultuur vol. 111, nr. 19, p18-21

Wind, G.P. (1976) Application of analog and numerical models to investigate the influence of drainage on

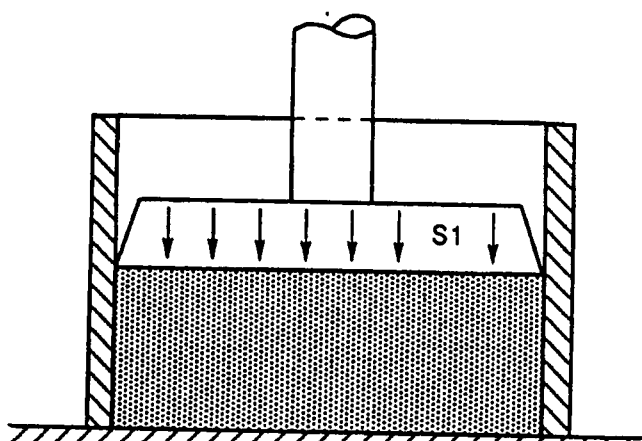
workability in spring. Uit Ned. J. agric. Sci 24 (1976): 155-172

Wopereis, F.A. (1991) Bepaling van de drempelwaarde voor de landhoedanigheid "berijdbaarheid" op zandbouwland. SC-DLO rapport 196, Wageningen

Ypma, A. (1999) Zware grondverbetering neemt jaarlijks toe. Uit Vakwerk vol. 73, nr. 37 p 6-7

Bijlage 1 Uniaxiaalproeven

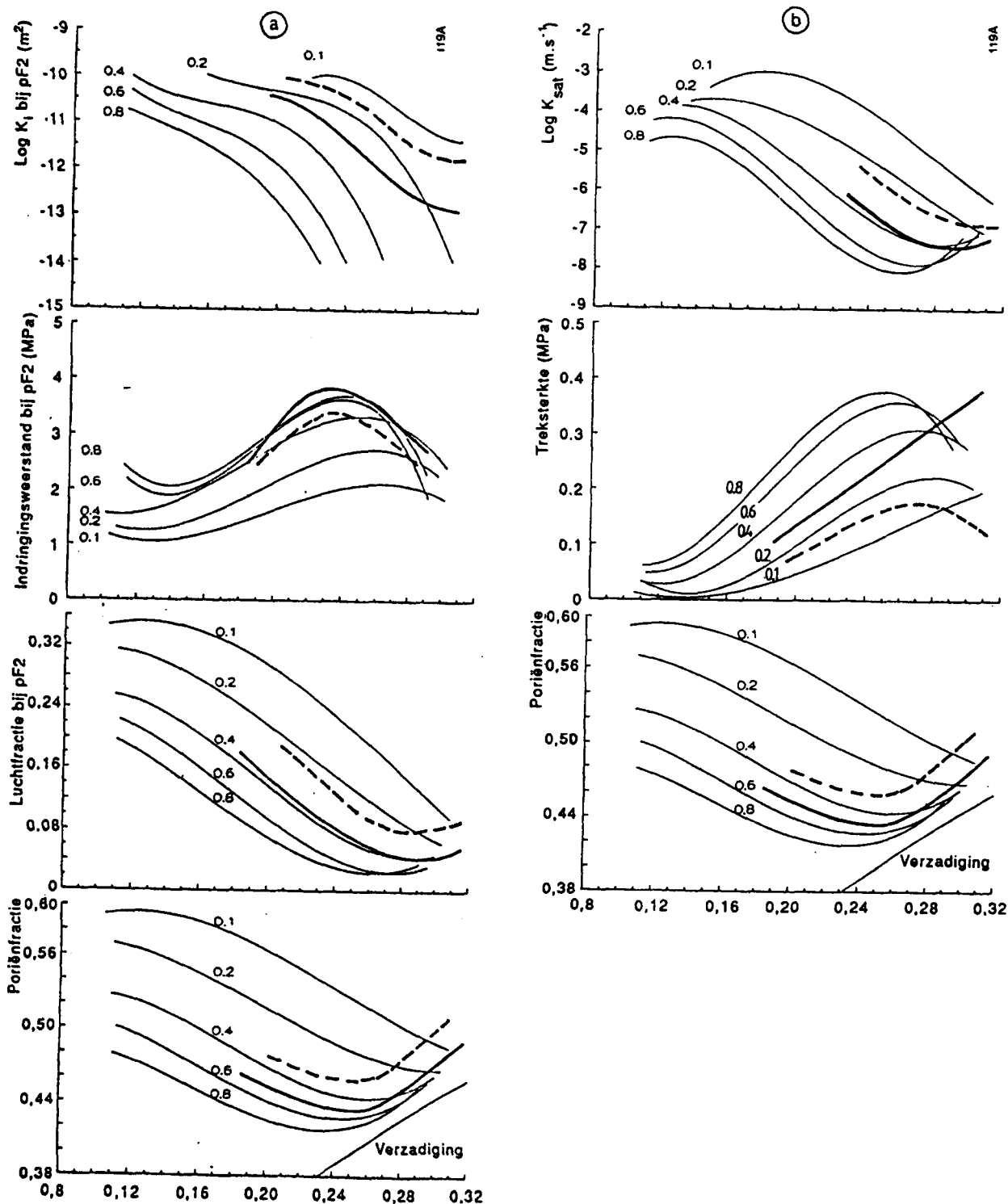
Een eenvoudige methode om de samendrukbaarheid en de sterkte van een grond te bepalen is de uniaxiaalproef. In deze proef wordt een ongeroerd grondmonster met een hoogte van ongeveer 0,2 maal de diameter in een cilinder met een stempel samengedrukt (zie figuur 1). De spanning wordt continu of in stappen verhoogd terwijl de zakking wordt gemeten. Boven een bepaalde belasting zijn de binding en wrijving tussen de korrels of de strekte van de structurelementen niet meer voldoende en nemen de vervormingen snel toe. De spanning waarbij dit bezwijken optreedt heet de kritische bodemdruk (ook wel voorspanning, eigen-stabiliteit of preconsolidatie druk genoemd) (Tijink et al., 1990).



Figuur 1: Uniaxiaalproef. Met een stempel wordt een spanning S_1 op een grondmonster aangebracht. De spanning wordt continu of in stappen verhoogd terwijl de zakking wordt gemeten.

De kritische bodemdruk is een sterkte-eigenschap van de grond. Bij overschrijding van de kritische bodemdruk worden vooral de grotere poriën dichtgedrukt. Vooral bij droge verdichting blijft de structuur vaak wel gedeeltelijk bewaard. Bij natte verdichting gaat de structuur veel meer verloren en nemen de doorlatenheden voor water en lucht en diffusie van zuurstof en koolzuurgas drastisch af. Dawidowski en Lerink (1990) vergeleken voor een lichte kleigrond de effecten van verdichtingen op een aantal fysische bodemkwaliteiten. Daarbij werden resultaten van samendrukkingsproeven in een uni-axiaalapparaat in het laboratorium op geprepareerde grond vergeleken met onder veldomstandigheden verdichte grond (figuur 2, uit Van den Akker en Lerink, 1990). Daarbij werden veldomstandigheden met een het hoge-druk berijdingssysteem (HGP, bandspanning 240 kPa) en een lage-druk berijdingssysteem (LGP, bandspanning 80 kPa) beschouwd. Het bleek dat in de uni-axiaalproeven veel hoger gronddrukken nodig waren om dezelfde verdichting te bereiken als onder veldomstandigheden. Niettemin bleken de verdichtingsfuncties in redelijke mate gelijkvormig te zijn. Het bleek, dat de verdichtingsfuncties gebaseerd op de laboratorium verdichtingsmethode geschikt zijn als voorspellingsfunctie, mits aangevuld met een beperkt aantal waarnemingen aan in het veld verdichte monsters om te ijken. Uit de grafieken in figuur 2 blijkt dat hoe natter een grond is des te gemakkelijker deze te verdichten is en des sterker de bodemfysische kwaliteiten achteruit gaan. Indien de grond (bijna) verzadigd is, wordt verder verdichting onmogelijk omdat het water niet snel genoeg uit de verdichtende grond kan worden weggeperst.

Figuur 2: Vergelijking van het effect van verdichting in het laboratorium (uniaxiaalproef) en in het veld tijdens zaaibedbereiding op een aantal bodemkwaliteiten. Links (a) zijn de luchtdoorlatendheid K_l , indringingsweerstand en luchtfractie bij pF2 beschouwd in relatie tot het M-P-V diagram (Moisture - Pressure - Volume diagram). Rechts (b) zijn de verzadigde doorlatendheid K_{sat} en de treksterkte beschouwd in relatie tot het M-P-V diagram. N.B. links van het minimum van de isobaren in de M-P-V diagrammen vindt droge verdichting plaats, rechts daarvan natte verdichting.

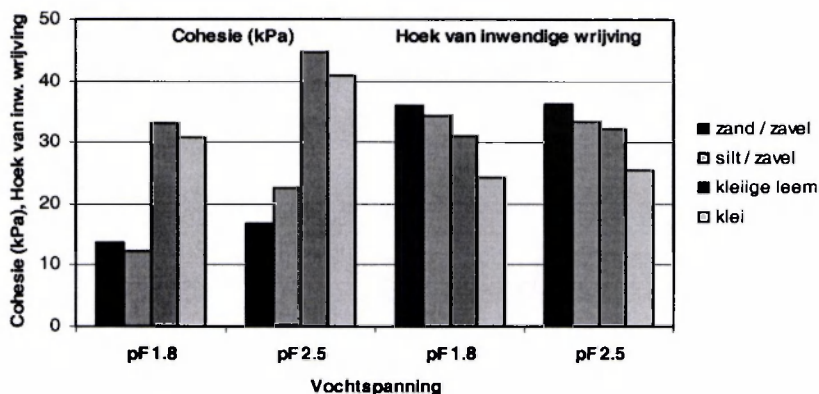
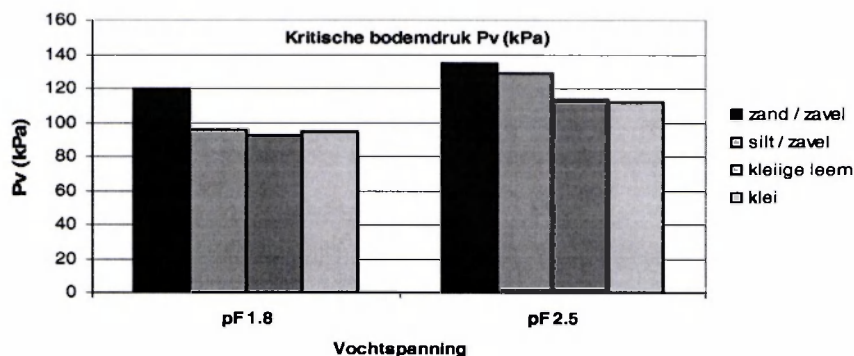


De grond is in de uni-axiaalproef opgesloten en is daardoor beperkt in zijn vervormingsmogelijkheden. In de realiteit heeft grond die bijvoorbeeld wordt belast met een wiellast meer vervormingsmogelijkheden en kan ook afschuiven en deels horizontaal door de wiellast worden weggeschoven. In een punt in de grond kan de spanningstoestand worden beschreven met drie hoofdspansingen S1, S2 en S3 die loodrecht op elkaar staan. Daarbij zijn S1, S2 en S3 de grootste, de middelste en de kleinste hoofdspanning. De verhouding tussen de grootste en de kleinste hoofdspanning, de wrijving en de binding tussen de gronddeeltjes bepalen of een grond bezwijkt, afschuift en vervormt. De grond bezwijkt indien:

$$S3 < S1 \tan^2(45^\circ - \phi / 2) - 2 C \tan(45^\circ - \phi / 2) \quad (1)$$

Waarin: S1 = de grootste hoofdspanning
 S3 = de kleinste hoofdspanning
 C = de cohesie
 ϕ = de hoek van inwendige wrijving

De wrijvingscomponent en de bindingscomponent van schuifsterkte van grond worden aangeduid met respectievelijk de hoek van inwendige wrijving ϕ en de cohesie C. De grootte van deze twee sterkteparameters zijn van vele factoren afhankelijk, zoals grondsoort, vochtgehalte, vochtspanning, dichtheid en het geroerd of ongeroerd zijn van de grond. Door Fleige et al. (2002) zijn uit een groot aantal samendrukkings- en schuifsterkteproeven op Duitse ondergronden de gemiddelde sterkte-eigenschappen van zand-, silt-, leem- en klei-ondergronden bij vochtspanningen van -30 en -300 cm waterdruk bepaald (zie figuur 3). Het blijkt dat vooral de cohesie toeneemt bij het uitdrogen van grond.



Figuur 3: Kritische bodemdruk, cohesie en hoek van inwendige wrijving van Duitse zand-, silt-, leem- en klei-ondergronden bij vochtspanningen van -30 cm waterdruk (pF 1,8) en -300 cm waterdruk (pF 2,5) (Fleige et al., 2002).

Door Van den Akker (1997) is op basis van sterkte-eigenschappen gemeten aan Duitse ondergronden de sterkte-eigenschappen van Nederlandse ondergronden berekend (Tabel 1). Met deze sterkte-eigenschappen zijn voor een band met een breedte van 0,5 m en een bandspanning van 80 kPa de toelaatbare wiellasten berekend. Voor zand- en zavelondergronden blijkt de afschuifsterkte bepalend te zijn voor de draagkracht. Voor de ondergrond blijkt de dikte van de bouwvoor een grote invloed te hebben op de maximaal toelaatbare wiellast. Bij een dikke bouwvoor begint de ondergrond uiteraard dieper, en met de diepte spreiden de grondspanningen zich en worden kleiner. Al met al blijkt uit de berekeningen dat zelfs bij gebruik van een lagedrukband de maximaal toelaatbare wiellasten voor de ondergrond nog vrij klein zijn bij een zand- en zavelgrond bij een bouwvoordikte van 0,3 – 0,35 m dikte.

Tabel 1: Toelaatbare wiellast op Nederlandse ondergronden bij een vochtspanning van pF2.5 voor een lagedrukband met een breedte van 0,5 m en een bandspanning van 80 kPa. De toelaatbare wiellast wordt bepaald door de kritische bodemdruk of door de afschuifsterkte. De laagste draagkracht van de twee bepaald de toelaatbare wiellast en is vet afgedrukt. De sterkteparameters zijn gebaseerd op Duitse ondergronden (DVWK , 1995 en Lebert and Horn, 1991). D is de effectieve bovengronddikte = ploegdiepte minus een geschatte spoordiepte van 0,03 m.

	Lutum- gehalte (%)	Cohesie C (kPa)	Hoek van inwendige wrijving ϕ (°)	Kritische bodem- druk Pv (kPa)	D (m)	Toelaatbare wiellast (kN) bepaald door:	
						Kritische bodemdruk	Afschuiving
Zand	< 8	12	28	198	0.32	> 32	17
Grof zand	< 8	10	32	240	0.32	> 32	16
Kleiig zand	< 8	10	32	122	0.32	> 32	16
Lichte zavel	8 - 18	10	32	140	0.27	> 32	11
Zware zavel	18 - 25	14	31	79	0.27	20	17
Lichte klei	25 - 35	26	36	118	0.22	22	> 32
Matig zware klei	35 - 50	26	36	96	0.22	22	> 32
Zware klei	> 50	34	38	114	0.22	24	> 32
Zandige leem	< 18	15	39	82	0.22	18	> 32
Löss	< 18	26	37	110	0.22	28	> 32

De kritische bodemdruk van bovengronden is ongeveer de helft van die van de ondergrond (Fleige et al., 2002). Bij de bovengrond geeft een reductie van de zuigspanning van pF2,5 naar pF1,8 een reductie van 27% van de kritische bodemdruk. Bedacht moet worden dat in de bloembollenteelt de bouwvoor in het algemeen veel losser is dan in gewone teelten. De bouwvoor zal daarom in de bollenteelt nog zwakker zijn dan gerapporteerd door Fleige et al., (2002). Bij het samendrukken van losse grond wordt de grond relatief natter en wordt de zuigspanning lager doordat door de verdichting het poriënvolume afneemt, terwijl het volume water gelijk blijft. De grond kan zelfs verzadigd raken en de waterspanning positief worden. Deze blubber heeft geen enkele draagkracht.

Geconcludeerd kan worden dat een slechte ontwatering een grote nadelige invloed heeft op de sterkte en verdichtbaarheid van boven- en ondergrond. Bij verdichting van de ondergrond geldt als extra bezwaar dat deze verdichting niet jaarlijks wordt opgeheven. De verdichte ondergrond leidt vervolgens weer tot een slechtere ontwatering, zodat het probleem zich steeds verder verergert.

