

september 1983

NN31545.1462 'A 1462 I

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding  
Wageningen

BERIJDING EN BODEMVERDICHTING VAN  
BOUWLAND OP WEST-ZUID-BEVELAND

J.C. van de Zande

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

0 NOV. 1983



## I N H O U D

	blz.
1. INLEIDING	1
2. LITERATUUROVERZICHT	2
3. PROEFOPZET	11
3.1. Inleiding	11
3.2. Inventarisatie van de bodemverdichting	12
3.2.1. Penetrograaf	12
3.2.2. Ringmonsters	13
3.3. Mechanisatie	15
3.3.1. Inleiding	15
3.3.2. Inventarisatie	18
3.3.3. Sporenpatroon	18
3.3.4. Berijdingsintensiteit	19
3.3.5. Berijdingsfrequentie	20
4. VERWERKING VAN DE INVENTARISATIE	21
4.1. Inventarisatie	21
4.1.1. Bewerkingen per gewas	24
4.2. Mechanisatie	27
4.3. Bodemverdichting	33
4.3.1. Intringingsweerstand	33
4.3.2. Droog-volume-gewicht	34
5. RESULTATEN	35
5.1. Berijdingsintensiteit in relatie met de bedrijfsgrootte	35
5.2. Laadindex in relatie met de bedrijfsgrootte	40
5.3. Bodemverdichting als gevolg van berijding in relatie met de bedrijfsgrootte en de bouwvoorwaarte	41

	blz.
5.3.1. Indringingsweerstand	41
5.3.2. Droogvolume gewichten	45
6. CONCLUSIES EN SAMENVATTING	47
7. LITERATUUR	49
BIJLAGE	52

## 1. INLEIDING

Voor u ligt het verslag "Bereiding en bodemverdichting van bouwland op West-Zuid-Beveland". Dit is het resultaat van een half jaar stage die ik als LH-student Landbouwtechniek bij het ICW gelopen heb.

Deze stage had als doel een praktijkonderzoek te doen als voorbereiding op een zesmaands doctoraal vak Grondbewerking. De opdracht voor dit stage-onderzoek was een relatie te vinden tussen de mechanisatiegraad van landbouwbedrijven en het voorkomen van grondverdichting onder de bouwvoor. Binnen deze stageperiode heb ik me eerst verder in de materie verdiept door een literatuuronderzoek met betrekking tot verdichting en bereiding van bouwland te doen (H 2). Daarna heb ik op 27 landbouwbedrijven op West-Zuid-Beveland (totaal bedrijfsopp. 1430 ha en Wilhelminapolder (1300 ha)) een inventarisatie van de mechanisatie en van de (aanwezige) bodemverdichting gemaakt (H 3). Deze gegevens zijn verwerkt uitgesplitst naar het bodemgedeelte (4.1.) en het berijdingsgedeelte (4.2.).

De uitwerking van de resultaten wordt behandeld aan de hand van een voorbeeld. Van een bedrijf uit de bedrijfsgrootteklasse groter dan 80 ha in de bouwvoorzaamteklasse 15-25% afslibbaar worden de gemaakte berekeningen verduidelijkt (H 5). De resultaten zoals die gevonden zijn voor de verschillende bedrijfsgrootteklassen, kleiner dan 35 ha, 35-55 ha, 55-80 ha, groter dan 80 ha en de Wilhelminapolder en de bouwvoorzaamteklassen, 10-15%, 15-25%, 25-35% en > 45% afslibbaar, worden in hoofdstuk 6 behandeld.

## 2. LITERATUUROVERZICHT

De laatste jaren is er een duidelijke achteruitgang van de bodemstructuur geweest, getuige het onderzoek op praktijk- en proefpercelen en de klachten die hierover uit de praktijk komen. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in de ontwikkelingen in de landbouw zoals die de laatste jaren hebben plaatsgevonden. Een van de meest in het oog springende veranderingen is wel de mechanisatie. Er is een sterke toename van zowel het aantal als de grootte van de gebruikte werktuigen geweest. Deze toename is vooral in de hand gewerkt door de hoger wordende arbeidskosten en door perceels- en bedrijfsvergrotingen. Er zijn zo geheel nieuwe teeltsystemen en -technieken ontstaan die op zich hogere eisen stellen aan bepaalde fysische eigenschappen van de grond. Daartegenover plegen zij er ook een hogere aanslag op. Bedrijfs-economische aspecten hebben geleid tot een verdere bouwplanvernaauwing waardoor het areaal aardappelen, bieten en mais toenam (BOEKEL, 1982).

Het moderne landbouwbedrijf kan daardoor gekarakteriseerd worden door een toenemend gebruik van zwaardere en grotere machines, met de daarbij behorende trekkers met grotere vermogens, waardoor de wiellasten toenemen. Zo constateren BOLLING en SÖHNE (1982) dat in 1956 een trekker gemiddeld een vermogen had van 15 kW met een gewicht van 1400 kg, dit resulteerde in een gewicht/vermogencoëfficiënt van 95 kg/kW. Tegenwoordig zijn de trekkers gemiddeld 48 kW (met 85% tussen de 30-90 kW) en wegen ongeveer 3500 kg. De gewichts/vermogencoëfficiënt van de tegenwoordige trekkers is voor een conventionele 30 kW trekker 72 kg/kW en voor een 60 kW trekker met voorwielaandrijving 69 kg/kW.

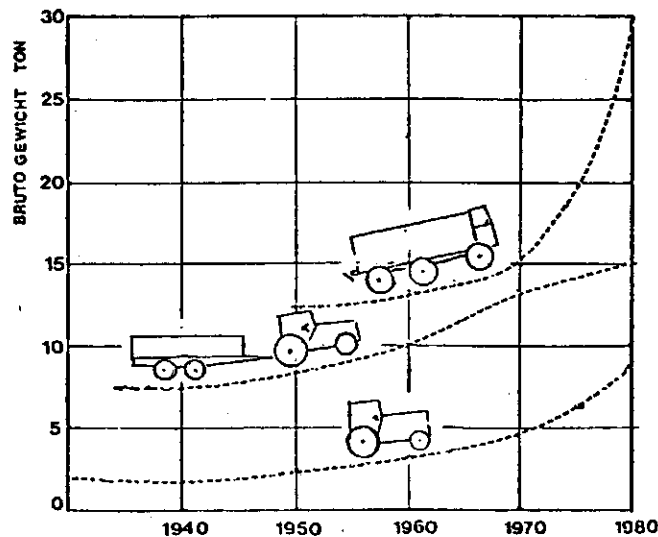


Fig. 1. Toename van de voertuiggewichten tussen 1940 en 1980 (LUMKES, 1982)

Deze zwaardere trekkers zullen dus wellicht een grotere verdichting in de grond veroorzaken ondanks de met de trekkers meegegroeide bandenmaten (LUMKES, 1982). De verdichtingen zijn in veel gevallen aanleiding tot opbrengstverliezen tot wel 50% (RAGHAVAN, 1979). Ze kunnen slechts in beperkte mate door cultuurtechnische maatregelen (diepere ontwatering waardoor de draagkracht van de grond verbeterd wordt) opgeheven worden (HAVINGA en BOELS, 1982). De consequentie voor de huidige landbouw is:

- a. op dezelfde manier doorgaan, er ontstaat een toenemende bodemverdichting met opbrengstdepressies, tenzij de verdichting regelmatig opgeheven wordt. Een goede kosten/baten analyse zal dit verder moeten bepalen;
- b. men moet een vorm van aangepaste mechanisatie gebruiken. In eerste instantie moet men dan denken aan het beperken van de wiellasten, de ontwikkeling van nieuwe wielconcepten, het beperken van het aantal werkgangen en het aanhouden van vaste rijsporen (SOANE, 1982).

Factoren die van invloed zijn op de verdichting van de grond zijn: grondsoort, vochtspanning op tijdstip van de bewerking, berijdingsintensiteit, wiellast, bandenmaat en bandspanning. Kijken we naar de

grondsoort dan kan gezegd worden dat iedere grond te verdichten is. De gevoeligheid voor verdichten is echter bij de ene grondsoort wat duidelijker aanwezig dan bij de andere, afhankelijk van het vochtgehalte, het porievolume en de aanwezige dichtheid. De kans op voorkomen van een ploegzool, een verdichte laag als gevolg van druk, trilling of versmering (HOUBEN, 1981) juist onder de bouwvoor, is op zavel- en lichte kleigronden en vooral dan op de lichte zavelgronden het grootst.

Het tijdstip waarop een bewerking uitgevoerd wordt in samenhang met de dan geldende vochtspanning in de grond bepaalt de kans op verdichting van de grond. In het algemeen wordt aangenomen dat een grond met een vochtspanning  $< 0,70$  m-mv niet te berijden is. Bij een vochtspanning  $> 1,20$  m-mv treedt geen verdichting op (BUITENDIJK, 1976). PERDOK (1976) zegt hierover dat de maximale werkdruk voor zavel  $4 \text{ kgf/cm}^2$  is bij een doorlatendheid van  $100 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2$  en een vochtgehalte van 24 gew.% (punt A in figuur 2). Bij gebruik van lagedrukbanden heb je toch al gauw een contactdruk van  $1 \text{ kgf/cm}^2$ . Punt B geeft dan de ondergrens van de berijdbaarheid aan, wanneer je de eis stelt dat de doorlatendheid niet kleiner mag worden dan  $100 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^2$ .

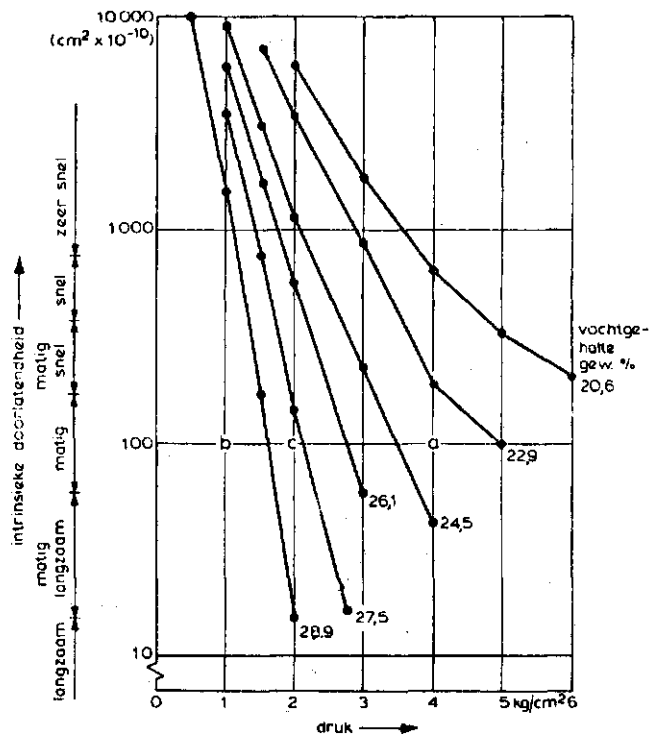


Fig. 2. Het verband tussen druk en doorlatendheid bij diverse vochtgehalten voor een perceel zavelgrond te Westmaas (PERDOK, 1976)

De bewerkingscapaciteit van een bepaalde machine bepaalt dan of er lang genoeg op een geschikt moment voor bewerking gewacht kan worden of dat er onder ongunstige omstandigheden gewerkt moet worden. Dit bepaalt mede de kans op verdichting, men komt dan in het vochtspanningstraject 0,70-1,20 m-mv, bij het uitvoeren van de bewerkingen omdat het aantal benodigde werkbare dagen dan groter is dan het aantal beschikbare werkbare dagen.

In nauwe relatie met het vochtgehalte van de grond staat dus de berijdbaarheid. Deze berijdbaarheid wordt verder nog bepaald door de wiellast, de bandenmaat en -spanning. Het voortbewegen van de landbouwmachines over het land geeft drukken en spanningen die niet altijd met het blote oog waar te nemen zijn. Spoort een voertuig erg in dan is het duidelijk dat er structuurschade optreedt, zeker als dat, zoals vaak het geval is, gepaard gaat met wielslip. In andere situaties, vooral onder droge omstandigheden, is het effect van het berijden niet



zo gemakkelijk af te leiden. Als men dan in de grond gaat meten komt men tot niet verwachte uitkomsten. Het eenmalig berijden met een maai-dorser gaf in het spoor aanmerkelijke verdichtingen (SOANE, 1981).

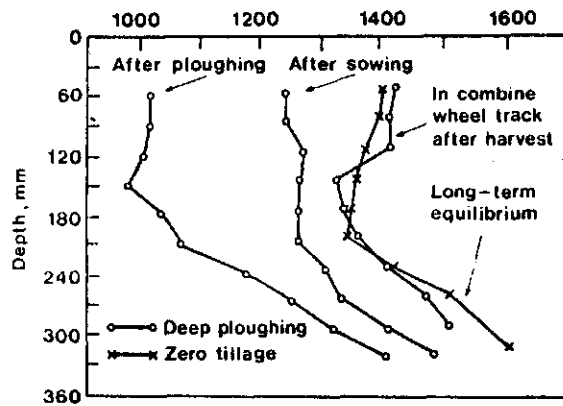


Fig. 3. Verandering van het droogvolumegewicht met de diepte na ploegen, na zaaien en in het spoor van een combine op een gerststoppel in vergelijking met het droogvolumegewicht na lange tijd zero-tillage (SOANE, 1982)

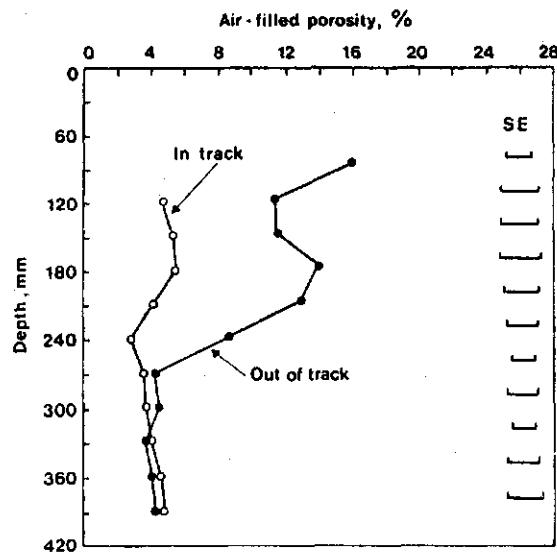


Fig. 4. Verandering van de met lucht gevulde poriën in de diepte, 6 weken na het eenmalig berijden met een maaidorser (SOANE, 1982)

Maar ook zaaiberijding is al een aanzet tot ongewenste situaties (BALL, 1982 en BREAY, 1982). Bij het berijden is voor de bouwvoor vooral de bandspanning van belang. De bandspanning veroorzaakt samen met de karkasstijfheid van de band een contactdruk op het grondoppervlak. Is deze grondcontactdruk groter dan het draagvermogen van de grond dan krijgt men insporing tot het vereiste contactvlak voor het afstemmen van de wiellast bereikt is. De inhoud van het gemaakte spoor is meestal een maat voor het verlies aan porievolume (CHANCELLOR, 1977). Een grote breedte-diepte verhouding van een spoor geeft verdichting aan de oppervlakte. Een diepe insporing geeft op relatief grote diepte verdichting. Brede banden verdichten de grond tot op grotere diepte en tot op grotere afstand naast de band dan smallere banden met dezelfde grondcontactdruk. Brede banden verdichten een groter volume waarbij de wiellast dan voornamelijk in de bovenste 20 cm van de bouwvoor afgesteund wordt. Neemt het gewicht van het voertuig toe dan kan de toenemende wiellast niet meer opgevangen worden door een groter contactoppervlak van de band en neemt dus de contactdruk toe (BLACKWELL, en SOANE, 1981). De draagkracht die dan door de grond opgebracht moet worden resulteert in een verdichting die tot onder de bouwvoor waar te nemen is.

ERIKSSON (1974) vond dat eenmalig berijden met een 16 tons tandem op 50 cm-mv een meetbare verdichting gaf tot drie jaar na de bewerking. Dit ondanks de vorstwerking van de Zweedse winters. Soortgelijke bevindingen treft men ook aan bij SÖHNE (1982).

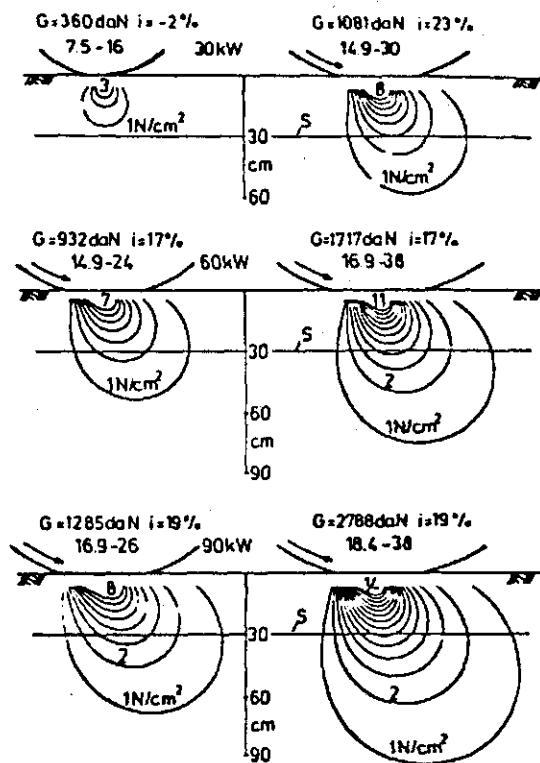


Fig. 5. Drukuien onder voor- en achterwielen bij een ploegende trekker van 30 kW (achterwielaandrijving), 60 kW en 90 kW (vierwiel-aandrijving).  $G$  = wiellast,  $i$  = % slip,  $S$  = diepte bouwvoor (BOLLING en SÖHNE, 1982)

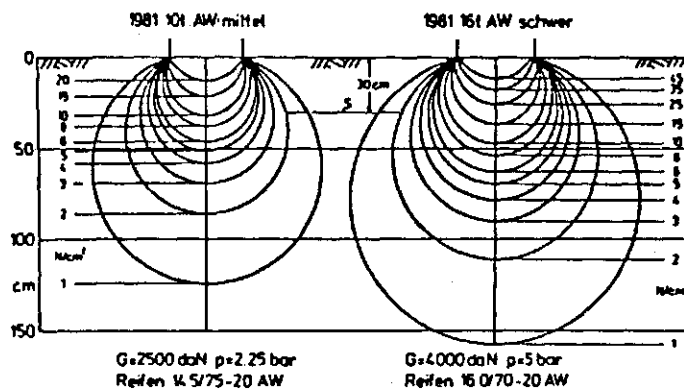


Fig. 6. Drukuien onder een 10 tons en een zware 16 tons landbouwwagen (BOLLING en SÖHNE, 1982)

De berijdingsintensiteit is verschillend voor de diverse gewassen. Voor granen zijn veel minder werkgangen nodig dan voor de rooigewassen. Alleen al voor het kunstmeststrooien en de zaaibedbereiding voor aardappelen en suikerbieten wordt 100% van de oppervlakte bereiden. Na het poten of zaaien is 50% van de oppervlakte met sporen bedekt. Bij de oogst van suikerbieten wordt 91% van het land met sporen bedekt en bij de oogst van aardappelen 72% (LUMKES, 1982). Voor deze gewassen moet dan ook 50-75 ton/ha produkt van het land gereden worden. Van het aanwezige trekkervermogen op een landbouwbedrijf wordt 60% van de geleverde arbeid voor transport gebruikt (PERDOK, 1976).

Bij herhaald berijden van een stuk land treedt verdichting op die zich lineair met de frequentie van berijden en de contactdruk bedraagt (SOANE, 1981B). Ook RAGAVAN (1976) stelt dat de toename van de bulk density te voorspellen is uit het produkt van bandenspanning en rijfrequentie. Deze voorspellingen zijn dan gebaseerd op lineariteit van 6-10 keer berijden, dit terwijl TAYLOR (1980) geen vaste relatie vindt tussen de op de grond aangebrachte druk en het droogvolumegegewicht.

In grote lijnen mag men aannemen dat bandspanningen groter dan 200 k Pa (2 Bar) een sterke mate van verdichting geven. De bandspanning dient dan ook bij voorkeur kleiner dan 100 k Pa te zijn. Wiel-lasten groter dan 3000 kg geven aanzienlijke verdichting beneden de normale grondbewerkingsdiepte en dienen dus ook vermeden te worden.

Voor de wortelontwikkeling van een gewas zijn de met elkaar gecorreleerde indringingsweerstand en het poriënvolume van belang, evenals de poriegrootteverdeling. Het porievolume dient voldoende groot te zijn, minimaal 40% om wortelgroei mogelijk te maken, terwijl er genoeg kleine (voor de watervoorziening) en met lucht gevulde grote poriën (voor waterafvoer en luchtverversing) aanwezig dienen te zijn.

Deze bodemfysische groeifactoren (BOONE, 1976) hebben geen functioneel verband met de groei van het wortelstelsel, wel met de vocht-, lucht- en warmtehuishouding en de mechanische weerstand van de grond. Een wijziging in de bodemstructuur verandert momentaan de opslag- en transportcapaciteit. Dit beïnvloedt het energieniveau wat de wortelgroei bepaalt door de binding en de vochtpotentiala. Een ploegzool kan onder het zaaibed de aeratie van de jonge plant sterk bemoeilijken en later op grotere diepte, in mechanische zin, moeilijk bewortelbaar

zijn. Verdichting in het algemeen geeft verhoging van de indringingsweerstand, verlaging van de aeratie met als gevolg dat de neerslagafvoer ook minder snel verloopt.

Structuurverandering als gevolg van berijding is juist van invloed op het overgangsvlak van bouwvoor en ondergrond waardoor het hier verkleinde porievolume de wortelontwikkeling beïnvloedt. Een wortel groeit in het algemeen door poriën die kleiner zijn dan zijn eigen diameter, zoekt de weg van de minste weerstand. De worteltop kan weerstanden tot 1000 k Pa ontwikkelen. Meet men met een penetrometer de indringingsweerstand dan mag deze om de bewortelbaarheid aan te geven niet groter zijn dan 3 MPa, dit vanwege de starheid van de penetrometer (ERIKSSON, 1974).

Nu blijkt ook dat ieder gewas een optimale dichtheid heeft waarbij de gewasopbrengst maximaal is. Granen blijken minder gevoelig voor verdichting te zijn dan wortel- en knolgewassen. NEGI (1981) constateerde optimale dichtheden van 1300-1450 kg/m<sup>3</sup> voor sandy loam en 1125-1175 kg/m<sup>3</sup> voor clay. Traden dichtheden op die groter waren dan respectievelijk 1500 kg/m<sup>3</sup> en 1200 kg/m<sup>3</sup> voor sandy loam en clay dan gaf dit groeiproblemen en dientengevolge opbrengstderiving.

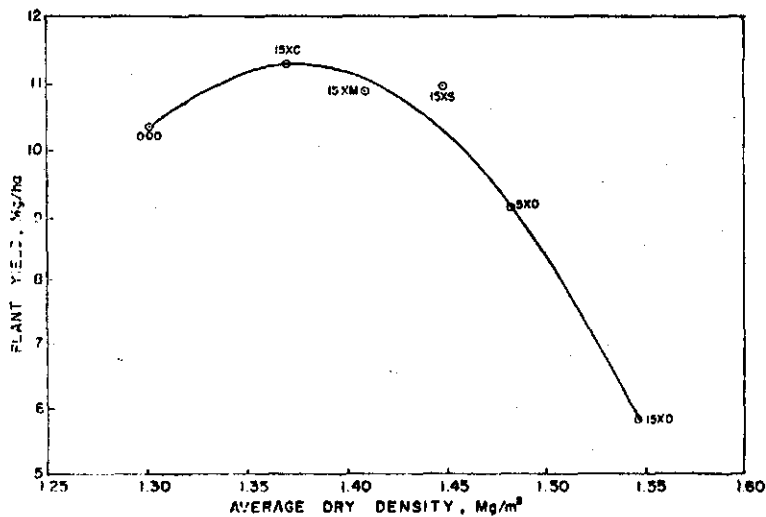


Fig. 7. Relatie tussen droogvolumegewicht en gewasopbrengst op een sandy loam soil (NEGI, 1981)

Wiellasten van 3200 en 6200 kg gaven volgens HAVINGA en BOELS (1982) in alle gevallen beperkingen van de bewortelingsdiepte tot respectievelijk 0,4 en 0,3 m. Wiellasten van 1600 kg alleen onder natte omstandigheden. In het najaar bij het rooien kunnen deze situaties zich echter gemakkelijk voordoen zodat ook deze wiellasten dan nog te groot kunnen zijn.

Telt men al deze mogelijke invloeden van berijden voor de grond en het gewas bij elkaar op dan kan men niet anders concluderen dan dat er wat verandert moet worden. Omdat het opheffen van ontstane verdichte lagen sterk afhankelijk is van de economische situatie is het wellicht raadzamer om te beginnen bij de bron. Voorkomen van verdichting door aanpassingen in het berijdingsgedrag op het land.

### 3. PROEFOPZET

#### 3.1. In l e i d i n g

Om in de praktijk onderzoek te doen naar de invloed van de mechanisatie op de bodemverdichting is in overleg met het CAR te Goes en de Vereniging voor bedrijfsvoorlichting West-Zuid-Beveland te 's-Gravenhage een lijst van 27 bedrijven samengesteld die in aanmerking komen voor het onderzoek wat ik wilde gaan doen. Gezocht is naar bedrijven van verschillende bedrijfsgrootte op zavel of lichte klei. De profielopbouw moet aflopend zijn en er mag geen zand boven de 60 cm-mv voorkomen.

Op deze bedrijven is een inventarisatie van de mechanisatie, zowel eigen als met gebruik van loonwerk gemaakt (zie 3.3.) en een inventarisatie van de dichtheid van de ondergrond. Deze dichtheid is in eerste instantie gemeten met een penetrograaf (zie 3.2.1.). Later zijn van negen bedrijven nog percelen verder geïventariseerd met behulp van ringmonsters (zie. 3.2.2.).

Om een indruk van de mechanisatie te krijgen is voor verschillende gewassen een berijdingsintensiteit berekend. Deze berijdingsintensiteit (LUMKES, 1982) wordt uitgedrukt in ha bereden oppervlak/ha grondoppervlak bij de verschillende bewerkingen en per gewas. Ook is voor iedere

bewerking gekeken hoe het sporen patroon over het veld was en de berijdingsfrequentie van een strook op het veld (zie 3.3.). Hiervoor is een computerprogramma ontwikkeld (zie bijlage I).

Om al de gegevens van de verschillende bedrijven op een overzichtelijke manier te kunnen presenteren zijn de bedrijven opgedeeld in bedrijfsgrootteklassen, te weten: kleiner dan 35 ha, 35-55 ha, 55-80 ha, groter dan 80 ha en de Wilhelminapolder (1300 ha). Deze bedrijfsgrootteklassen kunnen weer verder geanalyseerd worden voor de verschillende bouwvoorzwarteklassen: 10-15%, 15-25%, 25-35%, 35-45% en zwaarder dan 45% afslibbaar. De perceelsindeling naar bouwvoorzwarteklasse werd grotendeels samengesteld op basis van bestaande bodemkaarten van het gebied met aanvullende schattingen in het veld.

### 3.2. Inventarisatie van de bodemverdichting

#### 3.2.1. Penetrograaf

Met een penetrograaf; conus: tophoek  $30^{\circ}$  en  $1 \text{ cm}^2$  oppervlak, is op de uitgekozen percelen (zie 3.3.1.) op 3 of 4 over het veld verspreid liggende punten een opname van de indringingsweerstand gemaakt. Hiertoe werd op een schuin ( $45^{\circ}$ ) op de ploegricting uitgezette raai om de 25 à 30 cm een waarneming gedaan tot een totaal van 10 metingen.

Tegelijkertijd met de penetrograafwaarnemingen zijn er op het meetpunt grondmonsters ter bepaling van het vochtgehalte genomen. Deze werden op een diepte van 15-20, 25-30 en 45-50 cm-mv gestoken.

Per meetpunt staan de 8 à 10 indringingsweerstanddieptecurves op 2 kaartjes. Het is dus achteraf niet meer mogelijk om aan te geven welke grafiek bij welke plaats in de raai hoort. Een eventueel aanwezig sporenpatroon in de ondergrond is hiermee dus niet aan te geven. Wat wel gedaan is, is de grafieken per meetplek middelen zodat men een gemiddelde indringingsweerstand met bijbehorende 95% betrouwbaarheidsgrenzen kan geven.

$$\text{Gemiddelde} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \sigma = \left[ \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \right) \frac{1}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$95\% \text{ betrouwbaarheidsgrenzen} = \bar{x} \pm \sigma / \sqrt{n} * t_{0.99, n}$$

Hieruit ontstaat een indruk van de spreiding van de indringingsweerstand waardoor men een idee heeft van de voorkomende uitersten. Zo betekent een 95% btbh-ondergrens waarin als het ware een ploegzool in voorkomt, dat voor die meetplek in ieder geval een verdichte laag aanwezig is. Loopt de 95%-btbh ondergrens verticaal en de bovengrens vertoont op die diepte een verhoogde indringingsweerstand dan wil dat zeggen dat er in de meetplek meetpunten waren die niet verdicht waren en die wel verdicht waren. In de ondergrond is dan als het ware een sporenpatroon aanwezig met wel en niet verdichte stroken.

Per bedrijfsgrootteklasse en per bouwvoorwaarteklasse zijn de grafieken van de meetplekken per perceel weer bij elkaar gevoegd. Hieruit is een grafiek ontstaan die op de verschillende diepten de laagst voorkomende (95% btbh-ondergrens) indringingsweerstand met elkaar verbindt en de hoogst voorkomende (95% btbh-bovengrens) indringingsweerstand met elkaar verbindt. Per klasse (bedrijfsgrootte en bouwvoor) krijg je dan een grafiek die de totale spreiding van de gemeten indringingsweerstand aangeeft.

### 3.2.2. Ringmonsters

Om de dichtheidstoestand van de grond beter te kunnen kwalificeren is er, na afloop van de inventarisatie met de penetrograaf, op 11 percelen ringmonsteronderzoek gedaan. Deze percelen zijn zodanig verdeeld dat in iedere bedrijfsgrootteklasse 2 percelen bemonsterd werden. Een perceel in de bouwvoorwaarteklasse 15-25% afslibbaar en een perceel in de bouwvoorwaarteklasse 25-35% afslibbaar. Op de Wilhelminapolder werden 3 percelen bemonsterd in de bouwvoorwaarteklasse 15-25% afslibbaar, die respectievelijk in 1977, 1981 en 1982 gewoeld zijn.

Er werd eerst een kuil ter diepte van de bouwvoor gegraven. Op de bodem hiervan werden van bovenaf 6 ringen gestoken in een vaste volgorde (zie fig. 8: 1t/m 6).



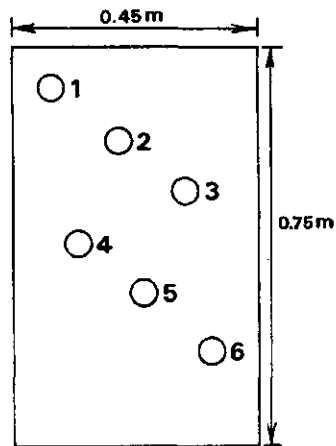


Fig. 8. Wijze waarop de ringmonsters per laag in de kuil werden gestoken (bovenaanzicht)

Dan werd een laag van 10 cm afgeschept om daarin weer 6 ringen in dezelfde volgorde te steken. Dit werd herhaald tot 4 lagen bemonsterd waren.

Per ring is het droogvolumegegewicht, volume % poriën en het gewicht % vocht bepaald. Per bemonsteringslaag is het soortelijk gewicht, het gloeiverlies en het %  $\text{CaCO}_3$  bepaald. Uit de afzonderlijke droogvolumegeichten per ring kan men nagaan of de grond als een plaat verdicht is of dat er spoorsgewijze verdichtingen voorkomen. Het gemiddeld droogvolumegegewicht per laag geeft aan hoe de dichtheid met de diepte verandert, dus tot hoe diep een eventuele verdichting eventueel doorwerkt heeft. Dit is vooral van belang als men de verschillende maten van mechanisatie (per bedrijfsgrootteklasse) met elkaar wil gaan vergelijken. Zo kan men per bedrijfsgrootteklasse en bouwvoorzwarteklasse de gemiddelde droogvolumegeichten op elkaar gaan toetsen (students t-toets) waardoor men uitspraken kan doen omtrent de significantie van de verschillen in droogvolumegegewicht tussen de verschillende laagdieptes.

Men vergelijkt dan de gemiddelde droogvolumegeichten van twee laagdiepten met elkaar: verschil=A. Dit verschil wordt getoetst op significantie, tweezijdig met 90% betrouwbaarheid. Eerst wordt daartoe het gemiddelde van de twee laagdieptes bepaald:  $\bar{x}_n$  met de bijbehorende standaardafwijking  $\sigma$ .

$$\sigma = \left[ \left[ \Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n} \right] \frac{1}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$\sigma$  deel je door  $\sqrt{n}$  en vermenigvuldig je met  $\sqrt{2}$  (vergelijken van 2 lagen) zodat je de standaardafwijking van het verschil krijgt.

$$\sigma_{\text{verschil}} = \left[ \frac{\sigma^2 (25-35)}{n_{25-35}} + \frac{\sigma^2 (35-45)}{n_{35-45}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad n = n_{25-35} + n_{35-45}$$

$n_{25-35}$  = aantal ringmonsters in de laag 25-35 cm-mv.  $\sigma$  verschil wordt vermenigvuldigt met het getal wat in Students t-tabel bij  $t_{0,95,n}$  voorkomt. Dit produkt wordt dan vergeleken met A. Is het verschil van het droogvolumegegewicht van de twee laagdieptes kleiner dan A dan is het voor minstens 90% zeker dat er verschil is tussen de droogvolumegeichten per laagdiepte.

### 3.3. Mechanisatie

#### 3.3.1. Inleiding

Er zijn vele manieren om het berijden van land in een parameter uit te drukken. Uit de literatuur heb ik de volgende normen gevonden:

##### 1. ERIKSSON (1974)

Ton kilometer per hectare per jaar	}	spoorlengte/ha
bereden wieloppervlakte per jaar		
breedte band		
spoorlengte/ha	}	→ belasting: Ton km/ha jaar
gem. wiellast		

##### 2. HAVINGA en BOELS (1982)

Laadindex

$$LI = \frac{W}{2RB}$$

W = wiellast (kg)  
R = straal wiel (cm)  
B = breedte wiel (cm)

afplatting: dan andere straal

3. LUMKES (1982)

Berijdingsintensiteit  
% met sporen bedekt

4. PERDOK

Mechanisatiegraad  
gebruikt vermogen \* tijdsduur per ha  
kWh/ha

5. RAGHAVAN (1979)

Penetratieweerstand uit verkeer, vochtgehalte en diepte voor een  
specifieke grond

$$P_{en} = c + a \ln(np) - b \ln(mc) + e(d)$$

$P_{en}$  = penetrometerweerstand ( $\text{kg/cm}^2$ )

a, b, c, e = constantes respectievelijk 27,94; 1,31; 6,01 en 0,1369

d = diepte (cm)

mc = vochtgehalte op drooggewichtbasis in %

n = aantal keer berijden

p = contactdruk in grondvlak

6. SOANE (1982)

Berijdingsintensiteit  
= berijdingsfrequentie \* bandspanning

7. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1968)

Mobiliteitsindex

$$= 0,6 \left[ \left[ \frac{\text{contactdrukfactor} * \text{gewichtsfactor}}{\text{bandfactor} * \text{omstandigheidsfactor}} + \text{wiellast-openingsfactor} \right] * \text{motorfactor} * \text{versnellingsfactor} + 20 \right]$$

waarin:

$$\text{contactdrukfactor} = \frac{\text{totaal gewicht (lb)}}{\text{bandbreedte} * \text{velgdiameter} * \text{aantal banden}}$$

gewichtsfactor : gewicht > 35 000 lb = 1,1  
15 000-35 000 lb = 1,0  
< 15 000 lb = 0,9

bandfactor :  $1,25 * \text{bandbreedte (inch)}/100$

omstandigheidsfactor : met kettingen = 1,05  
zonder kettingen = 1,00

wiellast =  $\frac{\text{totaalgewicht (kips)}}{\text{aantal wielen}}$  (wielen mogen enkel en dubbel zijn)

openingsfactor :  $\frac{\text{opening (inch)}}{10}$

motorfactor : > 10 hp/ton = 1,00  
< 10 hp/ton ; 1,05

versnellingsfactor : hydraulisch = 1,00  
mechanisch = 1,05

Gezien de bedoelingen van dit onderzoek, komen tot een relatie tussen mechanisatie en bodemverdichting, lijkt het het beste om een zodanige grootheid te gebruiken die makkelijk te berekenen is en die representatief is voor de soort bewerking. Er moet dus iets van wiel- last, bandspanning en bandenmaten inzitten en eventueel een waardering voor het aantal keren dat er over het land heen gereden is. Omdat dat niet in 1 parameter gecombineerd is heb ik besloten om de laadindex van HAVINGA en BOELS (1982) als maatgevende grootheid voor de kans op verdichting te nemen. Om een indruk te krijgen van welk deel van het perceel dan met die laadindex behandeld wordt bereken ik voor iedere bewerking het bereden oppervlak (ha)/ha grondoppervlak. Deze kunnen voor een gewas opgeteld worden tot een bereden oppervlakte/gewas per jaar. Omdat bovendien het vermoeden aanwezig is dat er op een perceel bij een bepaald gewas steeds volgens een vast sporenpatroon gereden wordt. Men zit immers vast aan standaard spoorbreedtes en vaste werktuigbreedtes. Als gevolg daarvan is bij mij het idee opgekomen om voor de diverse percelen een sporenpatroon op te stellen met daarin verwerkt: bandspanning, bandenmaat, werkbreedte en wiellast.

Hieruit volgt dan een beeld voor dat perceel waar er met welke bandspanning en wiellast een spoor is gereden. Hieruit kan dan ook voor een dwarsprofiel over het perceel en frequentietabel opgesteld worden. Zo kan er voor ieder elementje van bijvoorbeeld 10 cm bepaald worden hoe vaak er over heen is gereden.

### 3.3.2. Inventarisatie

Op de uitgezochte landbouwbedrijven is een volledige inventarisatie gemaakt van alle machines die in de verschillende gewassen gebruikt worden. Dit is gedeeltelijk gedaan aan de hand van vooraf gestuurde enqueteformulieren (oogstgedeelte) en voor de rest ter plaatse met de boer. Van alle werktuigen werd opgenomen: werkbreedte, bandenmaten en gewicht. (Dit geldt ook voor de machines waarmee de loonwerker op het land komt.) Daarna werden in overleg met de boer een of meerdere percelen uitgezocht om na te gaan wat er allemaal zoal over het land rijdt. Dit perceel moet een aflopend profiel hebben en de bouwvoor mag tussen de 15-40% afslibbaar liggen. Gronden die dus het meest gevoelig voor verdichting zouden zijn. Verder mochten het geen probleempercelen zijn om van te voren (on)bekende invloeden uit te sluiten.

Van deze percelen is vanaf ploegen na oogst 1980 tot maart 1983 een inventarisatie gemaakt van alle bewerkingen die op dat perceel zijn uitgevoerd. Zo kan men op dat perceel voor de gewassen van de jaren 1981 en 1982 een compleet beeld verkrijgen van de uitgevoerde bewerkingen. Van iedere bewerking is opgenomen: datum waarop de bewerking is uitgevoerd, onder welke omstandigheden, met welk werktuig of combinatie van werktuigen, met welke bandenmaten, bandspanning en de werkbreedte en -diepte.

### 3.3.3. Sporenpatroon

Om het sporenpatroon voor alle percelen te kunnen bepalen is een computerprogramma gemaakt. In dit programma (zie bijlage I) wordt er van uitgegaan dat een strook land, ter breedte van de halve spuitboom-breedte, representatief is voor het sporenpatroon op het hele perceel. Er wordt van uitgegaan dat op een veelvoud van de spuitbreedte vanaf de langste slootkant van het perceel alle bewerkingen uitgevoerd worden

alsof de rechtergrens van de strook de slootkant is. Men begint dan aan de rechterkant van deze strook te werken met aansluitende bewerkingen, links naast elkaar, totdat de gehele strook bewerkt is. Voor een gewas wordt op dat perceel bewerking na bewerking gezet totdat er na de oogst weer geploegd wordt voor het volgende gewas.

Al de benodigde gegevens zoals: spuitbreedte (om de breedte van de strook te kunnen bepalen), spoorbreedte, hart op hart afstand dubbellucht, bandbreedte, bandspanning en wiellast worden ingelezen uit een data-file.

#### 3.3.4. Berijdingsintensiteit

De berijdingsintensiteit wordt enerzijds uitgerekend aan de hand van de laadindex zoals HAVINGA en BOELS (1982) die geven.

Door de grond wordt de band echter afgeplat, de straal van het wiel veranderd hierdoor. Men kan naar analogie van PERDOK (1978) met een equivalente straal gaan werken door de band als een stalen wiel te zien. Deze equivalente straal is te berekenen uit:

$$D = c * D^* \quad \text{met } c = \frac{W}{q P^x} + 1$$

$D^*$  = diameter wiel met luchtband (m)

$D$  = diameter overeenkomstig starwiel (m)

$W$  = wiellast (N)

$q$  en  $x$  = vervormingsparameters afhankelijk van de aard van het bodemoppervlak

$P$  = bandspanning ( $N/m^2$ )

Hierbij wordt wel voorbijgegaan aan het feit dat er banden zijn met verschillende karkasstijfheid (ply rating) en verschillen in radiaal- en diagonaal banden. De factor  $c$  wordt groter bij toenemende wiellast en neemt af bij toenemende bandspanning. Een hard opgepompte band gedraagt zich als een stalen wiel.

De waarde voor de bodemparameters  $q$  en  $x$  zijn (PERDOK, 1978):

Grondsoort	Uitgangssituatie	q (N <sup>1-x</sup> m <sup>2x</sup> )	x
1. klei	geploegd	3,162 x 10 <sup>-6</sup>	1,9
2. zand	geploegd	4,5 x 10 <sup>-4</sup>	1,4
3. zware zavel	graanstoppel	4,0 x 10 <sup>-5</sup>	1,6
4. lichte zavel	bietenstoppel	6,0 x 10 <sup>-3</sup>	1,2
5. lichte klei	graanstoppel	3,0 x 10 <sup>-7</sup>	2,0

Men verkrijgt zo een laadindex gebaseerd op de omrekening naar een stalen wiel met equivalente diameter. Onderling zijn de waarden van de verschillende bewerkingen dan met elkaar te vergelijken, vooral ook door de inbreng van de bodemparameters voor de verschillende gronden.

Anderzijds is voor alle uitgevoerde bewerkingen de berijdingsintensiteit volgens LUMKES (1982) berekend. Hierin wordt geen waardering voor de uitgevoerde berijding gegeven. Wiellast en bandspanning zitten hierin niet verrekend. Wat deze berijdingsintensiteit wel verteld is welk oppervlak van het perceel bij een bepaalde bewerking bereiden wordt.

Dit wordt berekend volgens:

$$\text{bereden oppervlakte (ha) / ha grondoppervlakte} = \frac{100}{WB} * BB * 2 \text{ (of 4)}$$

WB = werkbreedte werktuig (cm)

BB = bandbreedte (cm)

2 (of 4) = per werkgang worden 2 (of 4 voor dubbel lucht) stroken ter breedte van de bandbreedte bereiden

Voor de verschillende bewerkingen voor de teelt van een gewas worden de afzonderlijke berijdingsintensiteiten per bewerking opgeteld tot een berijdingsintensiteit per gewas per jaar (ha/ha).

### 3.3.5. Berijdingsfrequentie

Voor de strook grond waarop het sporenpatroon bepaald wordt (zie 3.3.3.) kan per breedte-elementje het aantal keren dat dit bereiden wordt bepaald worden. De strook ter breedte van de halve spuitboombreedte is

onderverdeeld in stukjes van 10 cm. Per breedte-element wordt geteld of er een spoor over heenkomt. Wordt meer dan de helft van een elementje geraakt dan wordt de berijdingsfrequentie met 1 opgehoogd.

Dit wordt herhaald voor alle bewerkingen per gewas per jaar. De uitkomst is dan een histogram (frequentiediagram) waarin per breedte-element de berijdingsfrequentie per gewas per jaar wordt aangegeven.

Deze berijdingsfrequentie geeft geen waardering voor de aard van de berijding en dus ook niet voor de kans op verdichting.

#### 4. VERWERKING VAN DE INVENTARISATIE

##### 4.1. I n v e n t a r i s a t i e

Aan de hand van een zwaarder gemechaniseerd bedrijf, uit de bedrijfsgrootteklasse groter dan 80 ha, wil ik de gebruikte rekenwijzen en bepalingsmethoden uitleggen en illustreren. Hierbij zal de nadruk vooral op de mechanisatie liggen.

De bouwvoorwaarde is voor de op dit bedrijf gekozen percelen 15-25% afslibbaar.

Hieronder volgt de opgenomen lijst van gebruikte werktuigen en wat er gedurende een jaar op een van de percelen met een hoofdgewas (wintertarwe, aardappelen of suikerbieten) gebeurd. In grote lijnen ziet het bouwplan er als volgt uit:

gewas	opp. (ha)	% totaal	gem. opbrengst (ton)/ha
aardappelen	37	25	45
suikerbieten	32	22	58
granen	52	32	wintertarwe 8 zomergerst 6,5
graszaad	18	12	1,4

rest: conserven erwten, snijmais of uien.



Werktuigeninventaris van dit bedrijf:

Trekkers:

Merk	Type	Gewicht (kg)	Bandenmaat	Bandenspanning (bar)
Volvo BM	600	3200	16,9-38/ 9,5-48	1,5/2,7
Volvo BM	650	3700	14,9-38/16,9-38	1,8/1,4
Volvo BM	700	4000	16,9-38/ 9,5-48	ploegen 1,0 transport 1,7 / 2,7
Volvo BM	810	5400	18,4-38	ploegen 1,0 transport 1,7
Volvo BM	320	1800	7-36	1,7

Wagens:

Merk	Type	Draagvermogen (ton)	Bandenmaat	Bandspanning (bar)
Miedema	tandem	8	13,5-17	3,0
Miedema	tandem	10	15,0-17	3,0
Miedema	tandem	12	16,5-22,5	4,5-5,0
Veenhuis giertank	tandem	10 000 1	18,5-22,5	4,5-5,0

Grondbewerking:

Werktuig	Werkbreedte (m)	Gewicht (kg)
ploeg: 3 schaar wentel Cappon	1,20	1000
4 schaar wentel Cappon	1,60	1300
eg: Rau-combi	4,50	700
rotorkoepel: Lely	3,50	2000

Zaaien/poten:

Werktuig	Werkbreedte (m)	Gewicht (kg)
kunstmeststrooier: Tive	12,0	1600
Rauch	24,0	1000
zaaimachine: graan, Hassia	4,0	
suikerbieten, Rau - 12 rijig	6,0	
pootmachine: aardappelen, Hassia - 4 rijig	3,0	800

Oogsten:

Gewas	Werktuig	Bandenmaat	Bandspanning (bar)	Gewicht (kg)
aardappelen	Wühlmaus 2211 (2R)	16,9-24	1,7	4500
suikerbieten				
rooien	IH 1255 + Herriau (6R)	9,5-48	2,3	7200
laden	IH 1255 + Moreau	16,9-34+11,5/80-15	1,7 + 2,1	5000 + 3500
graan	NH Clayson 8070 (4,20 m)	23,1-30	2,6	13500
	stropers John Deere	10,0x15	2,3	1500

Verzorging:

	Werktuig	Bandenmaat	Bandspanning (bar)	Gewicht (kg)
spruit:	Delvano (24 m)	13,6 - 36	1,5	5500
rijenfrees:	Groenewegen 5R.(3 m)			1800
rijenspruit"	Steketee (6 m)			300
schoffeltuig:	Steketee (3 m)			200

Berekening wiellasten

Oogstwerkzaamheden:

aardappelen; Wühlmaus 2211 zelfrijdende wagenrooier, bandenmaat 16,9-24, gewicht 4500 kg. Van het gewicht rust ongeveer 3500 kg op de achteras, dit is dan een wiellast van 1750 kg.

suikerbieten; gerooid wordt met een 2-fase systeem dat wil zeggen ontbladeren en rooien in een werkgang en laden in een andere. Het ontbladeren en rooien werd gedaan met een International IH 1255 met 9,5-48 banden (2,3 bar) op rijafstand. Voorop de trekker een Herriau ontbladeraar van 800 kg en achterop in de driepuntshefinrichting de rooier van 870 kg. De gewichtsverdeling van deze combinatie is gelijk over de voor- en achteras. De totale combinatie weegt 7200 kg dat is dus een wiellast van 1800 kg (op dubbellucht rijafstand). Het laden is met een Moreau lader van 3400 kg waarvan 1000 kg oplegdruk op de trekker. De wiellast van de lader is 1200 kg op 11,5/80-15 banden (2,1 bar). De trekker een International IH 1255 van 5200 kg met normaal 60% van het gewicht op de achteras heeft dus een wiellast van 3100 kg + 1500 kg oplegdruk/2 = 2300 kg op 16,9-34 banden (1,7 bar).

granen; combine New Holland Clayson 8070, gewicht ongeveer 13,5 ton waarvan ongeveer 75% op de vooras rust. De wiellast is dan 5100 kg op 23,1-30 banden (2,6 bar).

#### Transport:

Het transport wordt voornamelijk met de volgende combinatie verzorgt: Volvo BM 810 (5400 kg) op 18,4-38 banden (1,7 bar) met een Miedema 12 tons tandem op 18,5-22,5 banden (4,6 bar). Dit geeft een wiellast van  $12 \text{ ton}/4 = 3 \text{ ton}$  voor het tandem stel. Op de trekkerachteras rust 75% van het trekkergewicht plus de oplegdruk van de tandem (= eigen gewicht wagen). De wiellast is dan  $2000 + 750 = 2750 \text{ kg}$ .

#### Ploegen:

De gebruikte ploegcombinatie bestaat uit een Volvo BM 700 (4000 kg) op 16,9-38 banden (1,0 bar) met een 3-schaar Cappon wentelploeg (1000 kg). Het ploeggewicht mag als trekkrachtoverdracht (oplegdruk) op de achteras gezien worden. De trekker wordt bij zwaar trekwerk voor 75% op de achteras afgesteund. De wiellast is dan  $(.75 * 4000 + 1000)/2 = 1950 \text{ kg}$ .

#### 4.1.1. Bewerkingen per gewas

Voor dit bedrijf is op een perceel voor 1981 de bewerkingen van een gewas wintertarwe opgenomen en voor 1982 op dat zelfde perceel alle bewerkingen voor het gewas suikerbieten. Om een compleet beeld van de hoofdgewassen te geven is dit ook voor een gewas aardappelen, op een ander perceel, gedaan.

#### Uitgevoerde bewerkingen:

##### 1981 wintertarwe

Datum	Bewerking	Werktuig	Werkbreedte (m)
21-10-'80	ploegen	BM 700 + 3 schaar	1,20
01-11	zaaien	BM 600 + Hassia	4,00
01-11	ineggen	BM 700 + Rau-combi	4,50
23-02-'81	kunstmeststrooien	BM 60 + Vicon	12,00
22-04	groenbemester		
	zaaien	BM 600 + Hassia	4,00 dubbellucht
09-05	sputten	Delvano	24,00
27-05	kunstmeststrooien	BM 600 + Vicon	12,00
?	sputten	Delvano	24,00
?	sputten	Delvano	24,00
?	sputten	Delvano	24,00

17-08	oogsten	NH 8070	4,20
02-09	stropersen	BM 700 + John Deere	4,20
02-09	stro afvoer	BM pay loader + pakkenklem op landbouwwagens	

#### 1982 suikerbieten

Datum	Bewerking	Werktuig	Werkbreedte (m)
04-11-'81	ploegen	BM 810 + 4 schaar	1,60
25-02-'82	kunstmeststrooien	BM 650 + Tive	12,00
01-04	zaaibedbereiding	BM 700 + Rau-combi	4,50
05-04	zaaien	BM 600 + 12 rijige Rau	6,00
13-04	sputen	Delvano	24,00
14-05	rijen sputen	BM 320 + 12 rijige Steketee	6,00
17-05	schoffelen	BM 320 + 6 rijige Steketee	3,00
22-05	rijen sputen		6,00
26-05	schoffelen		3,00
01-06	schoffelen		3,00
09-06	aanaarden	BM 320 + 6 rijige Steketee	3,00
09-11	2 fase rooien	IH 1255 + Herriau 6 rijig	3,00
09-11	laden	IH 1255 + Moreau	3,00
09-11	transport	BM 810 + Miedema 12 ton	3,00

#### 1982 aardappelen

Datum	Bewerking	Werktuig	Werkbreedte (m)
07-01-'81	ploegen	BM 810 + 4 schaar	1,60
25-02-'82	kunstmeststrooien	BM 600 + Tive	12,00
17-04	pootbedbereiding	BM 810 + Lely rotorkopeg	3,50
17-04	poten	BM 650 + Hassia 4 rijig	3,00
20-04	kunstmeststrooien	BM 600 + Rauch	24,00
21-04	geullossen	MF 135 + maisschoffel 5 rijig	3,00
22-04	rijenfrezen	BM 700 + Groenewegen 5 rijig	3,00
07-05	sputen	Delvano	24,00
07-06	rijen sputen	BM 320 + Steketee 5 rijig	3,00
14-06	10 * { sputen	Delvano	24,00
04-09		Delvano	24,00
20-09	loofklappen	BM 600 + Gruse 5 rijig	3,00
20-09	rooien	Wühlmaus 2211 zelfr.wagen	1,50
20-09	transport	BM 810 + 12 ton Miedema	1,50

Uit deze opgenomen veldbewerkingen zijn de volgende data-files opgesteld voor de berekening van de berijdingsintensiteit, het sporenpatroon en de berijdingsfrequentie.

20	'WINTERTARWE'		24			
20281. WTA						
'PLOEGEN'	150	0	43	120	1.0	1950
'IDEM'	1200	0	0	2400	0.1	1
'ZAAIEN'	150	0	47	1200	1.4	1250
'ZAAIMACH.'	150	0	37	1200	1.8	1100
'INEGGEN'	150	0	47	450	1.0	1750
'KMSTRODIEN'	150	0	37	1200	1.4	1450
'GB. ZAAIEN'	150	50	37	400	1.5	1250
'ZAAIMACH.'	390	0	15	400	2.2	400
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'K. M. STROOI'	150	0	37	1200	1.5	1450
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'COMBINE'	210	0	60	420	2.6	5100
'PERSEN'	150	0	43	420	1.7	1700
'STROPER'S'	200	0	25	420	2.3	600
'TREKKER'	150	0	47	840	1.5	1300
'AFVOER'	150	0	35	840	3.7	2100
'WAGEN'	150	0	35	840	3.7	2100
'NUL'						

Fig. 9. Invoergegevens wintertarwe 1981 op perceel 2

20	'SUIKERBIETEN'		24			
20282. PEE						
'PLOEGEN'	150	0	47	160	1.2	2400
'KMSTRODIEN'	150	0	47	1200	1.4	1800
'STRODIER'	150	0	38	1200	1.8	2100
'ZAAIBED'	150	0	47	450	1.0	1850
'ZAAIEN'	150	0	38	600	1.4	1600
'ZAAIMACH.'	350	0	20	600	2.1	350
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'R. SPUITEN'	150	0	18	600	1.7	600
'SCHOFFELEN'	150	0	35	300	1.8	1300
'R. SPUITEN'	150	0	18	600	1.7	600
'SCHOFFELEN'	150	0	18	300	1.8	600
'SCHOFFELEN'	150	0	18	300	1.8	600
'AANAARDEN'	150	0	18	300	1.8	600
'2F-ROOIEN'	150	50	24	300	2.3	1800
'LADEN'	150	0	43	300	1.7	2300
'LADER'	150	0	29	300	2.1	1200
'AFVOER'	150	0	47	300	1.7	2750
'WAGEN'	150	0	42	300	4.3	2900
'TANDEM'	150	0	42	300	4.3	2900
'NUL'						

Fig. 10. Invoergegevens suikerbieten 1982 op perceel 2

201	'AARDAPPELEN'	24				
20182	ARD					
'PLOEGEN'	150	0	47	160	1.2	2400
'KMSTROOIEIEN'	150	0	47	1200	1.4	1250
'STROOIER'	150	0	37	1200	1.8	1100
'POOTBED'	150	0	47	350	1.0	2050
'POTEN'	150	0	37	300	1.7	1600
'PLANTMACH.'	290	0	15	300	2.3	400
'K. M. STROOI'	150	0	37	2400	1.7	1400
'GEULLOSSEN'	150	0	24	300	1.7	900
'R. FREZEN'	150	0	24	300	2.3	1900
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'R. SPUITEN'	150	0	18	600	1.8	900
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'SPUITEN'	150	0	35	2400	1.5	2250
'LF. KLAPPEN'	150	0	24	300	2.3	1450
'ROOIEIEN'	150	0	43	150	1.7	1750
'TREKKER'	150	0	47	150	1.7	2750
'WAGEN'	160	0	43	150	4.6	3100
'TANDEM'	160	0	43	150	4.6	3100
'NUL'						

Fig. 11. Invoergegevens aardappelen 1982 op perceel 1

#### 4.2. Mechanisatie

Laat men de opgenomen waarnemingen uit 4.1.2. door het programma SPOOR.FOR (zie bijlage I) bewerken dan volgen daaruit, voor de desbetreffende gewassen, tabellen met het bereiden oppervlak (ha)/ha voor de verschillende bewerkingen.

VOOR HET GEWAS WINTERTARWE	VAN OBJECT	20 IS HET BEREDEN OPP.	2.639 HA/HA.
PER BEWERKING IS HET BEREDEN OPPERVLAK:			
PLOEGEN	0.717HA/HA		
IDEM	0.000HA/HA		
ZAAIEN	0.078HA/HA		
ZAAIMACH.	0.062HA/HA		
INEGGEN	0.209HA/HA		
KMSTROOIEIEN	0.062HA/HA		
GB. ZAAIEN	0.370HA/HA		
ZAAIMACH.	0.079HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
K. M. STROOI	0.062HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
COMBINE	0.286HA/HA		
PERSEN	0.203HA/HA		
STROPERS	0.119HA/HA		
TREKKER	0.112HA/HA		
AFVOER	0.083HA/HA		
WAGEN	0.083HA/HA		

Fig. 12. Bereden oppervlak (ha)/ha voor het gewas wintertarwe op een bedrijf groter dan 80 ha

VOOR HET GEWAS SUIKERBIETEN	VAN OBJECT	20 IS HET BEREDEN OPP. ;	3.547 HA/HA.
PER BEWERKING IS HET BEREDEN OPPERVLAK:			
PLOEGEN	0.587HA/HA		
PLOEGEN	0.587HA/HA		
KMSTROOIEIEN	0.078HA/HA		
STROOIER	0.063HA/HA		
ZAAIBED	0.209HA/HA		
ZAAIEN	0.127HA/HA		
ZAAIMACH.	0.067HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
R. SPUITEN	0.060HA/HA		
SCHOFFELEN	0.233HA/HA		
R. SPUITEN	0.060HA/HA		
SCHOFFELEN	0.120HA/HA		
SCHOFFELEN	0.120HA/HA		
AANAARDEN	0.120HA/HA		
LADEN	0.287HA/HA		
LADER	0.193HA/HA		
AFVOER	0.313HA/HA		
WAGEN	0.280HA/HA		
TANDEM	0.280HA/HA		

Fig. 13. Bereden oppervlak (ha)/ha voor het gewas suikerbieten op een bedrijf groter dan 80 ha

VOOR HET GEWAS AARDAPPELEN	VAN OBJECT	201 IS HET BEREDEN OPP. ;	4.581 HA/HA.
PER BEWERKING IS HET BEREDEN OPPERVLAK:			
PLOEGEN	0.587HA/HA		
PLOEGEN	0.587HA/HA		
KMSTROOIEIEN	0.078HA/HA		
STROOIER	0.062HA/HA		
FOOTBED	0.269HA/HA		
POTEN	0.247HA/HA		
PLANTMACH.	0.100HA/HA		
K. M. STROOI	0.031HA/HA		
GEULLOSSEN	0.160HA/HA		
R. FREZEN	0.160HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
R. SPUITEN	0.060HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
SPUITEN	0.029HA/HA		
LF. KLAPPEN	0.160HA/HA		
ROOIEIEN	0.573HA/HA		
TREKKER	0.627HA/HA		
WAGEN	0.573HA/HA		
TANDEM	0.573HA/HA		

Fig. 14. Bereden oppervlak (ha)/ha voor het gewas aardappelen op een bedrijf groter dan 80 ha

Hetzelfde programma levert ook een sporenpatroon voor de verschillende bewerkingen. Deze wordt in zowel wiellastcode als bandspanningscode weergegeven.

Wiellastcodes:

code:	A	B	C	D	E	F	G	H	O	P	Q	R
wiellast (kg):	0-500	-1000	-1500	-2000	-2500	-300	-3500	-4000	-4500	-5000	-5500	-6000

Bandspanningscodes:

code:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
bandspanning (bar)	0,5-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,5

Het programma levert ook een frequentietabel. Deze geeft aan hoe vaak er over een breedte-element (10 cm, zoals in sporenpatroon) van het perceel gereden is.

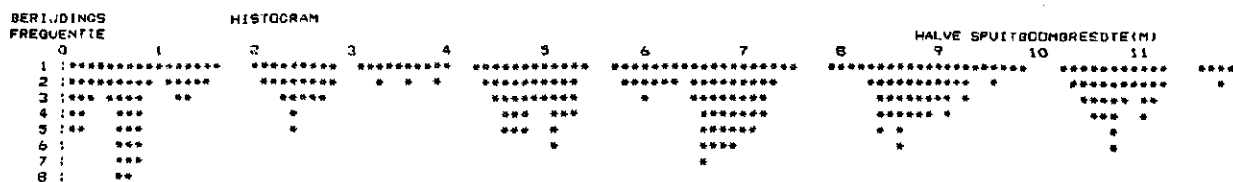
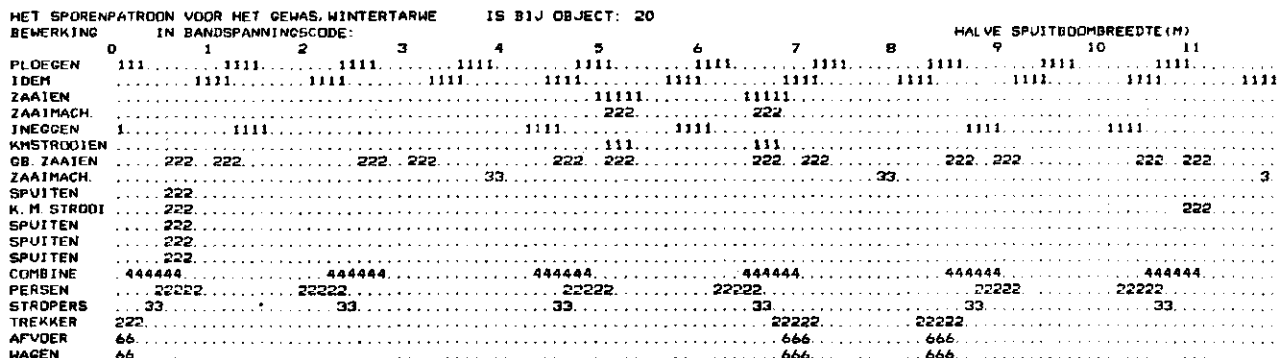
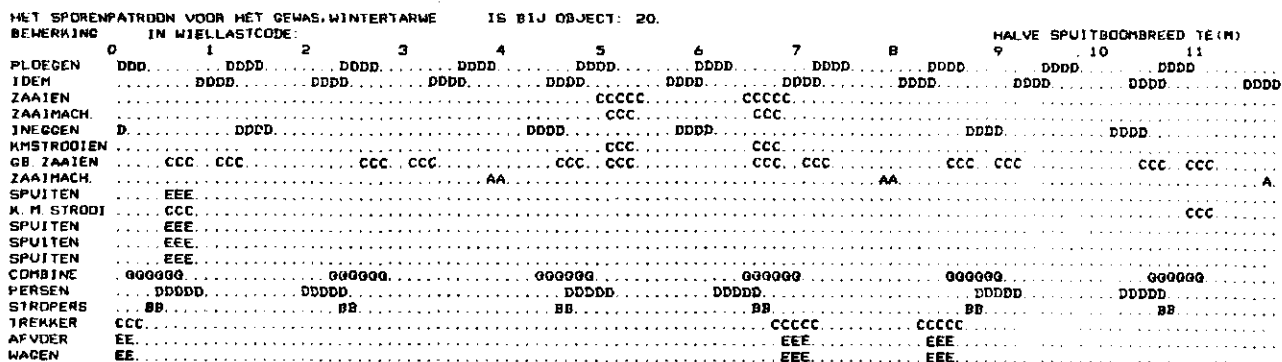


Fig. 15. Sporenpatroon in wiellastcode en bandspanningscode en de berijdingsfrequentie voor het gewas wintertarwe op een bedrijf > 80 ha



HET SPORENPATROON VOOR HET GEWAS SUIKERBIETEN IS BIJ OBJECT 20.

BEWERKING	IN WIELLASTCODE											HALVE SPUITBOOMBREEDTE(M)		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
PLOEGEN		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		
KMSTROOIJEN		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		
STROOIER						DDDD		DDDD						
ZAAIBED	D		DDDD		DDDD		DDDD		DDDD		DDDD			
ZAAIEN			DDD		DDD		DDD		DDD		DDD			
ZAAIMACH.		AA		AA		AA		AA		AA		AA		
SPUITEN	EEE													
R. SPUITEN		B		B		B		B		B		B		
SCHOFFELEN	CCC		CCC		CCC		CCC		CCC		CCC			
R. SPUITEN		B		B		B		B		B		B		
SCHOFFELEN	B		B		B		B		B		B			
SCHOFFELEN	B		B		B		B		B		B			
AANAARDEN	B		B		B		B		B		B			
LADEN	EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE		EEEE			
LADER	CCC		CCC		CCC		CCC		CCC		CCC			
AFVOER	FFFF		FFFF		FFFF		FFFF		FFFF		FFFF			
WAGEN	FFFF		FFFF		FFFF		FFFF		FFFF		FFFF			
TANDEM	FFFF		FFFF		FFFF		FFFF		FFFF		FFFF			

HET SPORENPATROON VOOR HET GEWAS SUIKERBIETEN IS BIJ OBJECT 20.

BEWERKING	IN BANDSPANNINGSCODE											HALVE SPUITBOOMBREEDTE(M)		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
PLOEGEN		1111		1111		1111		1111		1111		1111		
PLOEGEN		1111		1111		1111		1111		1111		1111		
KMSTROOIJEN						1111		1111						
STROOIER						222		222						
ZAAIBED	1		1111		1111		1111		1111		1111			
ZAAIEN			111		111		111		111		111			
ZAAIMACH		33		33		33		33		33		33		
SPUITEN	222													
R. SPUITEN		2		2		2		2		2		2		
SCHOFFELEN	222		222		222		222		222		222			
R. SPUITEN		2		2		2		2		2		2		
SCHOFFELEN	2		2		2		2		2		2			
SCHOFFELEN	2		2		2		2		2		2			
AANAARDEN	2		2		2		2		2		2			
LADEN	22222		22222		22222		22222		22222		22222			
LADER	333		333		333		333		333		333			
AFVOER	22222		22222		22222		22222		22222		22222			
WAGEN	77777		77777		77777		77777		77777		77777			
TANDEM	77777		77777		77777		77777		77777		77777			

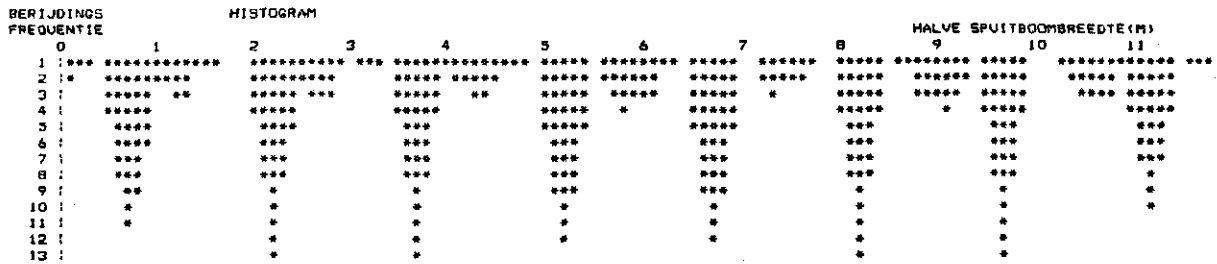


Fig. 16. Sporenpatroon in wiellastcode en bandspanningscode en de berijdingsfrequentie voor het gewas suikerbieten op een bedrijf > 80 ha

HET SPORENPATROON VOOR HET GEWAS AARDAPPELEN IS BIJ OBJECT: 201.

BEWERKING 0 IN WIELLASTCODE: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

HALVE SPUITBOOMBREEDTE (M)

PLOEGEN	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE
PLOEGEN	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE
KMSTROOIJEN					CCCC	CCCC	CCCC	CCCC	CCCC	CCCC	CCCC
STROOIJER					CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC
POOTBED	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE	EEEE
POTEN	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD
PLANTMACH.			AA			AA			AA		
K. M. STROOI	CCC										CCC
GEULLOSSEN	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB	BBB
R. FREZEN	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD
SPUITEN	EEE										
R. SPUITEN		B		B				B		B	
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
SPUITEN	EEE										
LF. KLAPPEN	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC
ROOIJEN	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD	DDD
TREKKER	F	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF	FFF
WAGEN	0	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG
TANDEM	0	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG	GGGGG

HET SPORENPATROON VOOR HET GEWAS AARDAPPELEN IS BIJ OBJECT: 201.

BEWERKING 0 IN BANDSPANNINGSCODE: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

HALVE SPUITBOOMBREEDTE (M)

PLOEGEN	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
PLOEGEN	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
KMSTROOIJEN					1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
STROOIJER					222	222	222	222	222	222	222
POOTBED	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
POTEN	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222
PLANTMACH.			33			33			33		33
K. M. STROOI	222										222
GEULLOSSEN	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222
R. FREZEN	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
SPUITEN	222										
R. SPUITEN		2		2				2		2	
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
SPUITEN	222										
LF. KLAPPEN	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333	333
ROOIJEN	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222
TREKKER	2	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222
WAGEN	0	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000
TANDEM	0	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000	00000

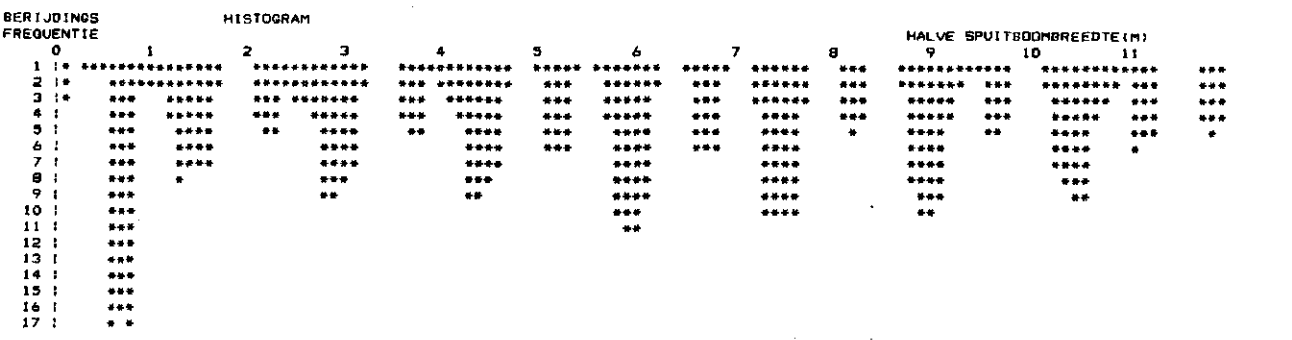


Fig. 17. Sporenpatroon in wiellastcode en bandspanningscode en de berijdingsfrequentie voor het gewas aardappelen op een bedrijf > 80 ha

Voor de bewerkingen ploegen, spuiten, oogsten en transport is ook de laadindex berekend.

Bewerking	Sputen		Roaien		S.biet	S.biet laden	Lader	Transport	
	grootheid	ploegen	Combine	aard.		trekker		trekker	tandem
D* (cm)	175	155	185	130	178	158	96	175	117
B (cm)	47	35	60	43	24	43	29	47	43
W (kg)	2400	2250	5100	1750	900	2300	1200	2750	3100
P (bar)	1,2	1,5	2,6	1,7	2,3	1,7	2,1	1,7	4,6
c	4,21	3,30	3,70	1,15	1,55	3,02	1,82	1,24	1,83
D (cm)	737	512	684	150	276	478	174	217	214
LI (kg/cm <sup>2</sup> )	0,069	0,125	0,124	0,271	0,135	0,111	0,236	0,269	0,337

Hieruit blijkt dat de rooigewassen de grootste aanslag op de grond plegen. Dit komt zowel tot uiting in de berijdingsintensiteit als de berijdingsfrequentie. Uit de berekende laadindex blijkt ook dat het rooien (van zowel aardappelen als suikerbieten) een grote belasting van de grond geeft. Het transport is echter wel de grootste boosdoener.

Uit de laadindex blijkt ook de grote invloed van een lagere bandspanning (vgl. ploegen met transport-trekker). Ook de invloed van brede banden spreekt hieruit. Een bredere band geeft een lagere laadindex dan een smallere bij dezelfde wiellast en bandspanning.

#### Gemiddelde berijdingsintensiteit

Nu weet men dat dit bedrijf een bouwplan heeft met 45% granen (winter-tarwe, gerst en graszaad), 25% aardappelen, 20% suikerbieten en 10% restvruchten. Voor een gewasrotatie kan de totaal bereiden oppervlakte uitgerekend worden, waaruit een gemiddelde berijdingsintensiteit per jaar voor dit bouwplan volgt.

Gewas	% in bouwplan	Berijdingsintensiteit (ha)/ha	Berijdingsintensiteit/jaar
graan	45	2,639	1,187
aardappelen	25	4,581	1,145
suikerbieten	20	3,547	0,709
rest	10	2,639+4,581+3,546	0,358
		3	3,401 ha/ha.jaar

### 4.3. Bodemverdichting

#### 4.3.1. Indringingsweerstand

Op een perceel op dit bedrijf is de indringingsweerstand gemeten. Per meetplek volgt hieronder een gemiddelde indringingsweerstand tegen de diepte-mv, uitgezet met 95% betrouwbaarheidsgrenzen. Het gemiddelde is het resultaat van 8 metingen per meetplek.

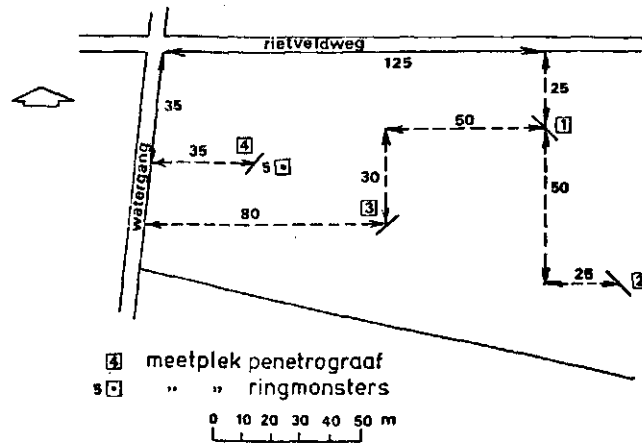


Fig. 18. Plaats van de meetpunten op het perceel

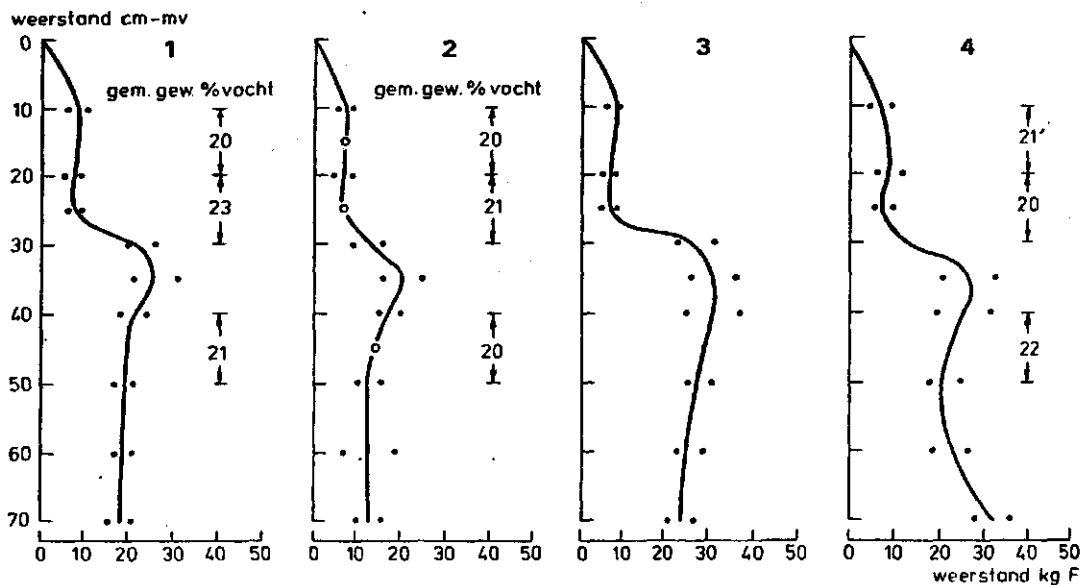


Fig. 19. Gemiddelde indringingsweerstand met 95% betrouwbaarheidsgrenzen per meetpunt uitgezet tegen diepte-mv

Uit deze grafieken mag men concluderen (vooral uit de 95%-btbh-ondergrenzen op 25-45 cm-mv) dat over het hele perceel, in de ondergrond, een verdichte laag tussen de 30 en 40 cm-mv aanwezig is. Op sommige meetpunten was dit spoorsgewijs (afwisselend wel en niet verdicht). Op andere meetpunten was er altijd een laag met een grotere indringingsweerstand op 30-40 cm-mv.

De hoogte van de indringingsweerstand in deze laag overschrijdt de  $30 \text{ kg/cm}^2$  nog niet zo erg dat er problemen in de beworteling zullen optreden. De indringingsweerstand kan wel enigszins relatief te hoog zijn door het hogere vochtgehalte op 25-30 cm diepte.

#### 4.3.2. Droog-volume-gewicht

Op een latere datum is op dit perceel teruggekomen om een profielkuil te maken en ringmonsters te steken. De ringen zijn gestoken in de lagen 27,5-37,5; 37,5-47,5; 47,5-57,5 en 57,5-67,5 cm-mv. Van deze ringen afzonderlijk is het droogvolume-gewicht, vol.% poriën en het gew.% vocht bepaald. Per laag is het soortelijk gewicht, % organische stof en het %  $\text{CaCO}_3$  bepaald.

Tabel 1. Droogvolume-gewichten per laag bij een bedrijf > 80 ha

Bemonster diepte	% org. stof	Gem. vol. % poriën	% $\text{CaCO}_3$	Gem. droog (g/100 cc) vol. gew.	Droog vol. gew. per ring					
					1	2	3	4	5	6
27,5-37,5	3,35	40,0	9,31	161,0	157,7	161,2	161,2	164,3	164,3	156,9
37,5-47,5	2,41	39,8	10,58	163,2	164,1	162,3	165,3	162,8	164,3	160,2
47,5-57,5		43,6		157,0	157,4	153,6	158,0	157,5	156,7	159,0
57,5-67,5	1,83	42,3	7,93	155,9	156,3	156,9	156,1	153,8	155,8	156,0

Bij de afzonderlijke droogvolume-gewichten (g/100 cc) van de ringen 1 tot en met 6 is er per laag (vooral in de bovenste twee lagen), een spooreffect waar te nemen. In de laag 57,5-67,5 is de spreiding veel geringer.

De gemiddelde droogvolume-gewichten per laag kan men met een t-toets (betrouwbaarheid 90%) met elkaar vergelijken. Er blijkt dan significant verschil te zijn tussen de bovenste en de tweede laag en tussen de tweede en de diepere lagen. Er kan dus gezegd worden dat de berijding

op dit bedrijf een verdichting veroorzaakt heeft die tot op 47,5 cm waarneembaar is (btbh 90%).

De op hetzelfde moment opgenomen indringingsweerstand (gemiddelde van 4 waarnemingen) geeft het volgende beeld.

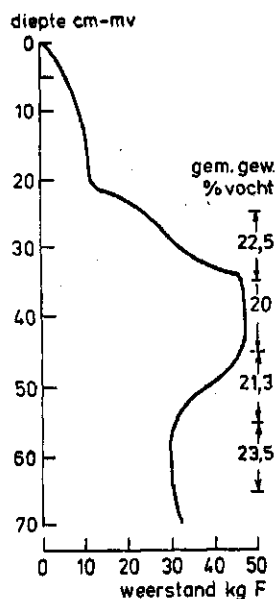


Fig. 20. Indringingsweerstand op moment van ringmonsteren

## 5. RESULTATEN

### 5.1. Berijdingsintensiteit in relatie met de bedrijfs grootte

Voor alle bedrijven is de berijdingsintensiteit uitgerekend per voorkomend gewas op de onderzochte percelen in 1981 en 1982. Per bedrijfsgrootteklasse kan men deze berijdingsintensiteiten voor de verschillende gewassen gaan vergelijken. Dit is gedaan voor wintertarwe, suikerbieten en aardappelen. De resultaten hiervan staan hieronder.

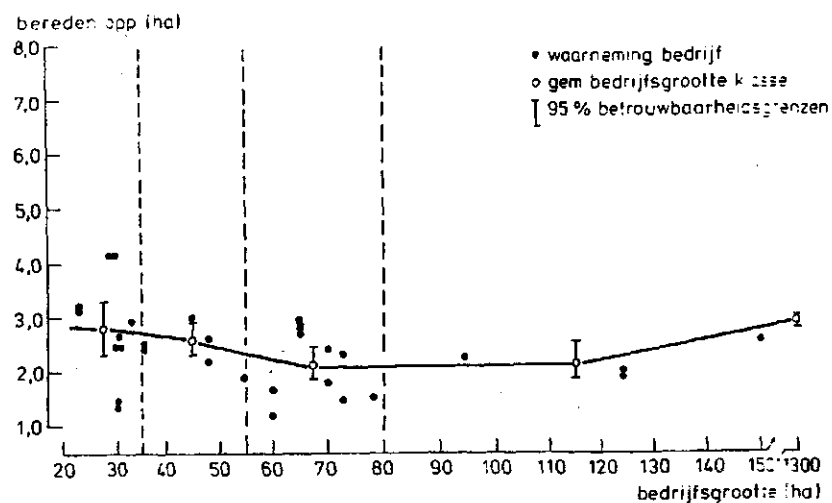


Fig. 21. Bereden oppervlak (ha)/ha voor het gewas wintertarwe bij de verschillende bedrijfsgroottes

#### Wintertarwe

Hieruit blijkt dat er voor de berijdingsintensiteit een tendens waar te nemen is in relatie met de bedrijfsgrootte. Men ziet de berijdingsintensiteit bij toenemende bedrijfsgrootte dalen. Dit wordt voornamelijk bepaald door het kleiner worden van de bereden oppervlakte bij het ploegen en de zaaibedbereiding.

Tabel 2. Berijdingsintensiteit voor de verschillende bewerkingen en het totaal voor het gewas wintertarwe bij de verschillende bedrijfsgrootteklassen.

Bedrijfsgrootteklasse	< 35	35-55	55-80	> 80	WP
gem. totaal bereden opp. (ha/ha)	2,8	2,6	2,2	2,2	2,8
aandeel ploegen (ha/ha)	1,2	0,9	0,7	0,7	0,7
aandeel zaaibedbereiding (ha/ha)	1,0	0,3	0,2	0,3	0,5
aandeel ploegen + zaaibed. (ha/ha)	2,2	1,2	0,9	1,0	1,2

De overige bewerkingen zijn van weinig invloed, de berijdingsintensiteiten verschillen maar heel weinig. De grote bereiden oppervlakte bij de Wilhelminapolder in vergelijking met bedrijven > 55 ha wordt veroorzaakt door een extra stoppelbewerking, wat bij de andere bedrijven niet gebruikelijk is. De bedrijven groter dan 55 ha hebben een significant (90% betrouwbaarheid) lagere berijdingsintensiteit dan de bedrijven kleiner dan 55 ha en de Wilhelminapolder.

#### Aardappelen

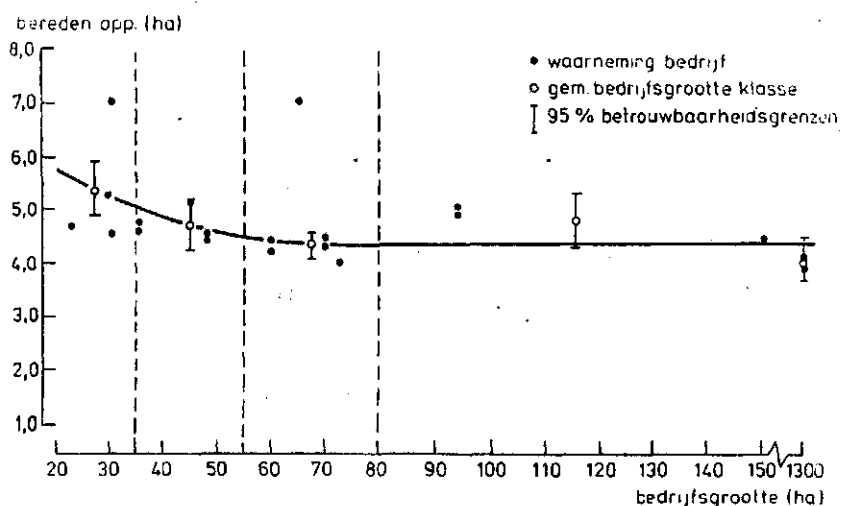


Fig. 22. Bereden oppervlak (ha)/ha, voor het gewas aardappelen bij de verschillende bedrijfsgroottes

Bij de aardappelen wordt voor de berijdingsintensiteit een ander beeld verkregen dan bij wintertarwe. De berijdingsintensiteit neemt af bij toename van de bedrijfsgrootte. De lichte stijging aan het einde wordt veroorzaakt door de waarnemingen in de klasse > 80 ha waar de teeltwijze op de geïnventariseerde percelen afwijkt van wat in dat gebied gebruikelijk is.

Er is significant verschil (90% btbh) tussen de bedrijfsgrootteklassen < 35, 35-55 en 55-80 onderling. De klasse > 80 en de WP verschillen onderling niet significant. De WP is weer wel significant lager dan de klassen kleiner dan 80 ha.



Tabel 3. Berijdingsintensiteit voor de verschillende bewerkingen en totaal voor het gewas aardappelen

Bedrijfsgrootteklasse (ha)	< 35	35-55	55-80	> 80	WP
gem. bereden opp. (ha/ha)	5,4	4,7	4,4	4,8	4,1
ploegen (ha/ha)	2,8	1,2	0,9	1,0	1,2
pootbedbereiding (ha/ha)	0,50	0,47	0,43	0,33	0,35
rooien (ha/ha)	1,4	0,9	0,8	0,7	0,5
transport (ha/ha)	1,8	1,6	1,5	1,8	1,6

De afname in berijdingsintensiteit door het aandeel rooien treedt op door het overgaan van 1 rijig getrokken rooiers naar 2 rijig getrokken wagenrooiers voor de midden bedrijven. De bedrijven groter dan 80 ha en de Wilhelminapolder rijden met 2 rijige zelfrijdende wagenrooiers.

De transporteenheden veranderen van enkelassig en kleine tandems (met smalle banden) voor de bedrijven 55 ha naar de grotere tandems met grotere bandenmaten. De transporteenheden worden wel groter maar men blijft 2-rijig rooien, waardoor er geen verdere afname van het bereden oppervlak op kan treden, de werkbreedte blijft immers 1,50 m.

#### Suikerbieten

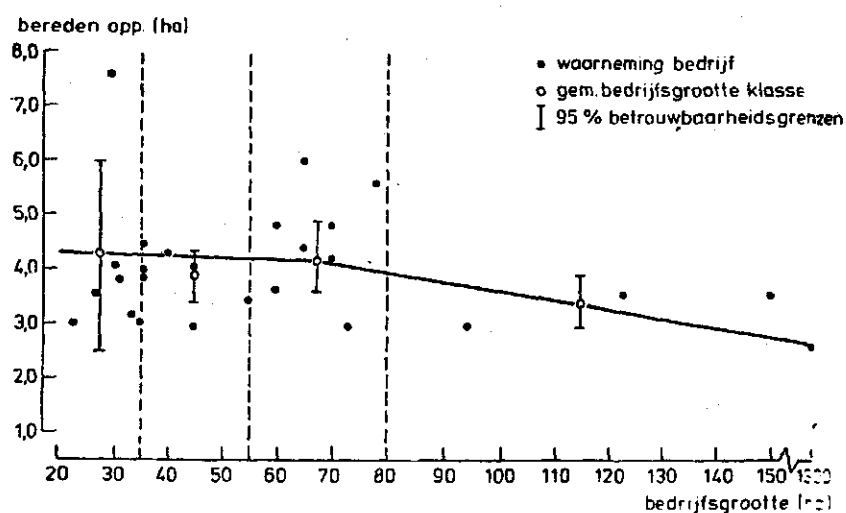


Fig. 23. Bereden oppervlak (ha)/ha, voor het gewas suikerbieten bij de verschillende bedrijfsgroottes

Voor het gewas suikerbieten maakt de berijdingsintensiteit voor de bedrijven kleiner dan 80 ha onderling weinig uit. De berijdingsintensiteit van de bedrijven groter dan 80 ha verschillen significant (90% btbh) van de bedrijven kleiner dan 80 ha en van de Wilhelminapolder, deze heeft weer een significant lagere berijdingsintensiteit.

Dit wordt voornamelijk door de manier van oogsten bepaald. De bedrijven kleiner dan 55 ha maken veel gebruik van loonwerk. 6-rijig rooien (1- of 2-fase systeem) of er wordt met een relatief kleine eigen rooier gewerkt (1 rijige wagenrooier (< 35) en 1 rijige bunkerrooier). De bedrijven tussen de 55 en 80 ha zitten vaak met eigen mechanisatie (1 rijige bunkerrooiers) terwijl de bedrijven groter dan 80 ha en de Wilhelminapolder uitsluitend met 6 rijige rooiers rijden.

#### Bouwplan

Berekent men de berijdingsintensiteit voor het gemiddelde bouwplan dan resulteert dit in onderstaande figuur 24.

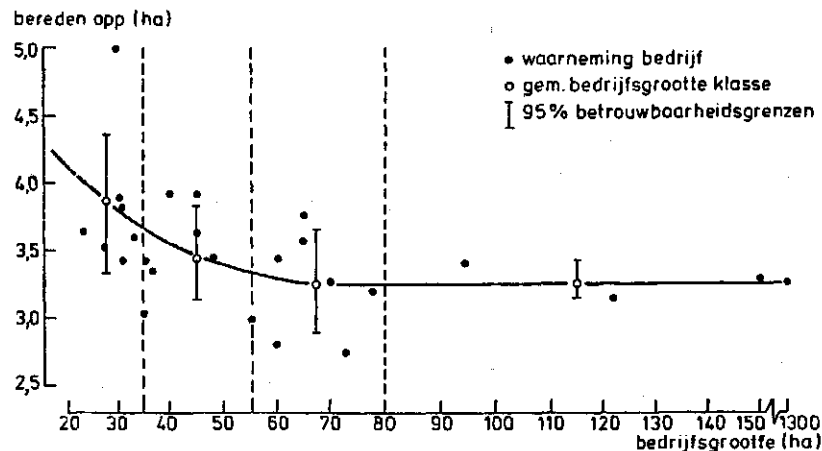


Fig. 24. Bereden oppervlak (ha)/ha, voor de gemiddelde bouwplannen per bedrijf per jaar voor de verschillende bedrijfsgroottes

Hierin is voor een bedrijf het bouwplan bepaald bestaande uit wintertarwe, suikerbieten, aardappelen en een rest gedeelte in de voorkomende percentages van het totaal areaal. Voor de berijdingsintensiteit van het restgedeelte is het gemiddelde van de drie hoofdgewassen genomen. Per bedrijfsgrootteklasse blijkt dat de bedrijven kleiner dan

35 ha een kleinere gemiddelde berijdingsintensiteit/ha.jaar hebben dan de bedrijven groter dan 55 ha (90% btbh). De tendens is aanwezig dat met het groter worden van de bedrijven de gemiddelde berijdingsintensiteit/ha.jaar lager wordt tot een bepaalde minimale waarde.

Tabel 4. Gemiddelde berijdingsintensiteit/ha.jaar voor de verschillende bedrijfsgrootteklassen voor het totale bouwplan en voor de gewassen wintertarwe, aardappelen en suikerbieten

Bedrijfsgrootteklasse	< 35	35-55	55-80	> 80	WP
gem. ber.int. bouwplan (ha/ha)	3,84±0,52(a)	3,47±0,34(ab)	3,26±0,37(b)	3,29±0,13(b)	3,29 (b)
gem. ber.int. wintertarwe (ha/ha)	2,77±0,49(a)	2,62±0,29(ab)	2,15±0,33(c)	2,21±0,35(c)	2,89±0,24(ab)
gem. ber.int. aardappelen (ha/ha)	5,37±0,57(a)	4,73±0,20(b)	4,37±0,20(c)	4,79±0,60(abd)	4,13±0,38(d)
gem. ber.int. suikerbieten (ha/ha)	4,26±1,78(a)	3,85±0,46(ab)	4,21±0,63(abc)	3,37±0,48(ad)	2,62 (a)

(dezelfde letter wil zeggen geen significante verschillen tussen de twee gemiddelden per gewas).

## 5.2. L a a d i n d e x i n r e l a t i e m e t d e b e d r i j f s - g r o o t t e

Omdat de bewerking ploegen en het transport maatgevend zijn voor de hoogte van de mechanisatie zijn voor deze bewerkingen per bedrijf de laadindexen berekend. De gemiddelde resultaten per bedrijfsgrootteklasse volgen hieronder in tabel 5.

Tabel 5. Laadindex (kg/cm<sup>2</sup>) per bedrijfsgrootteklasse (ha) voor de bewerkingen ploegen en transport met de bijbehorende gemiddelde bandbreedte (cm) en gemiddelde wiellast (kg)

Bedrijfs- grootte- klasse	Ploegen			Transport			
	LI	90%	bandbreedte	wiellast	LI	bandbreedte	wiellast
< 35	0,093±0,019(a)		35,0±2,5	1630±475	0,461±0,179(a)	35,5±4,0	2300±200
35-55	0,099±0,017(a)		38,0±4,0	1690±345	0,425±0,188(ab)	39,0±8,0	2750±450
55-80	0,078±0,029(bc)		40,0±5,0	2010±340	0,335±0,058(c)	43,5±5,0	2875±300
> 80	0,076±0,005(b)		47,0±0,0	2325± 50	0,328±0,027(c)	41,0±1,4	2675±375
WP	0,063	(c)	58,0	1800	0,391 (ab)	38,0	2550

Bij toenemende bedrijfsgrootte ziet men dus de laadindex afnemen. Dit wordt voornamelijk gerealiseerd door de groter wordende wielafmetingen (zie groter wordende gem. bandbreedte) terwijl de wiellasten in geringere mate groter worden. Men kan zeggen dat er significant verschil is tussen de laadindex voor bedrijven kleiner dan 55 ha en die groter dan 55 ha (90% btbh). De Wilhelminapolder is wat het transport betreft kleiner geïntereerd dan de grotere bedrijven. Zij rijdt met hetzelfde transportmateriaal als bedrijven rond de 50 ha.

### 5.3. Bodemverdichting als gevolg van berijding in relatie met de bedrijfsgrootte en de bouwvoorzwarte

#### 5.3.1. Indringingsweerstand

De met de penetrograaf op de verschillende bedrijven onderzochte percelen zijn opgedeeld naar bouwvoorzwarteklassen. Binnen deze klassen; 10-15, 15-25, 25-35, 35-45 en > 45% afslibbaar is een grafiek samengesteld die de 95% betrouwbaarheidsondergrens en de 95% betrouwbaarheidsbovengrens aangeeft. Per diepte laag van 5 cm is de laagst en de hoogst voorgekomen waarneming (95% btbh) weergegeven.

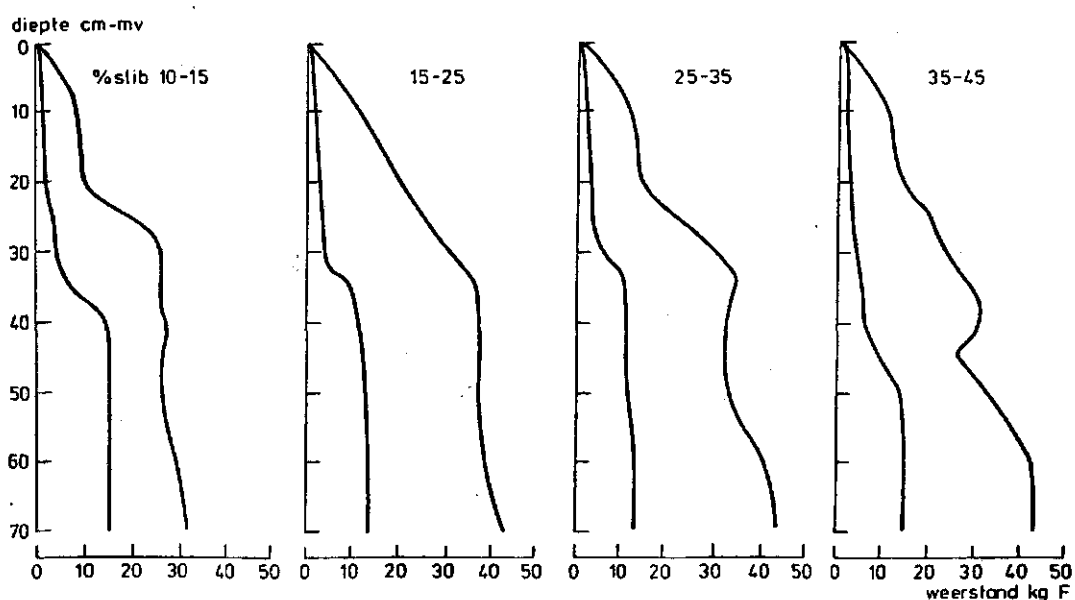


Fig. 25. Indringingsweerstand, 95% betrouwbaarheidsgrenzen uitgezet tegen de diepte voor de bedrijfsgrootteklasse < 35 ha voor de verschillende bouwvoorzwarteklassen

Er kan een matige verdichting aanwezig zijn in de bouwvoorwaarteklasse 10-15% afslibbaar en in mindere mate in de klasse 25-35% afslibbaar. De grootst optredende waarden voor de indringingsweerstand tot 55 cm-mv zijn ongeveer  $35 \text{ kg/cm}^2$  en is redelijk constant in diepere lagen. Dit kan als gevolg van de profielopbouw zijn (lichtere, zandige ondergrond). In de bouwvoorwaarteklasse 10-15% en 35-45% afslibbaar treedt bijna geen verdichting op. Hieruit kan men opmaken dat de mechanisatie op de kleinere bedrijven, kleiner dan 35 ha, niet of weinig verdichting geeft.

Voor de bedrijfsgrootteklasse 35-55 ha zijn alleen waarnemingen gedaan op percelen in de bouwvoorwaarteklasse 15-25, 25-35 en 35-45% afslibbaar. De boven- en ondergrenzen (95% btbh) van de gevonden indringingsweerstand volgen hieronder in figuur 26.

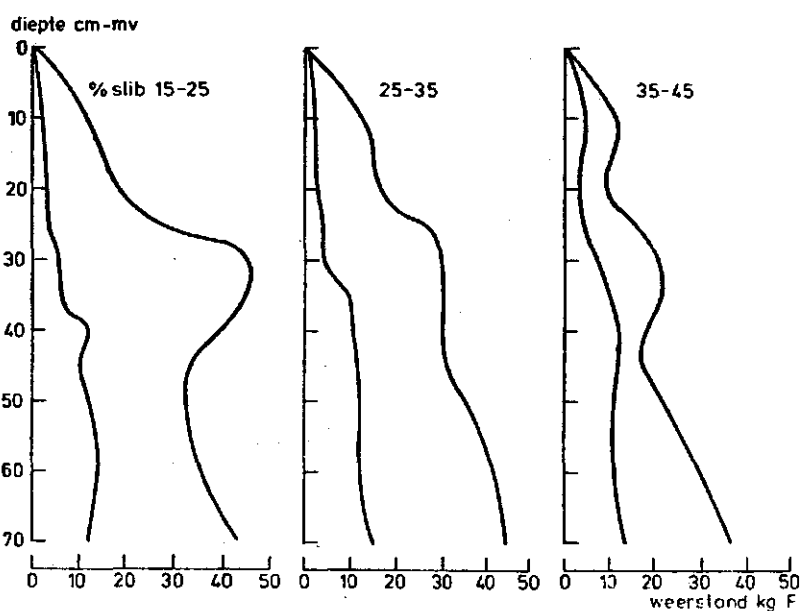


Fig. 26. Indringingsweerstand, 95% betrouwbaarheidsgrenzen uitgezet tegen de diepte voor de bedrijfsgrootteklasse 35-55 ha voor de verschillende bouwvoorwaarteklassen

Uit deze grafieken blijkt dat vooral op gronden tussen de 15 en 25% afslibbaar extreme verdichtingen, juist onder de bouwvoor, voor kunnen komen. De hoogst gemeten indringingsweerstand was groter dan

40 kg/cm<sup>2</sup> in een laag tussen de 25 en 40 cm-mv. Wordt de bouwvoor zwaarder dan nemen de bovengrenzen van de indringingsweerstand af. Bij de bouwvoorzwaarteklasse 25-35% is op de diepte 25 tot 40 cm-mv de indringingsweerstand maximaal 30 kg/cm<sup>2</sup>. Bij de bouwvoorzwaarteklasse 35-45% afslibbaar zelfs lager dan 23 kg/cm<sup>2</sup>.

In de bedrijfsgrootteklasse 55-80 ha zijn de indringingsweerstand gemeten op percelen in de bouwvoorzwaarteklasse 10-15, 15-25, 25-35 en 35-45% afslibbaar. De samengestelde 95% betrouwbaarheid onder- en bovengrenzen van de indringingsweerstand staan in onderstaande figuur 27.

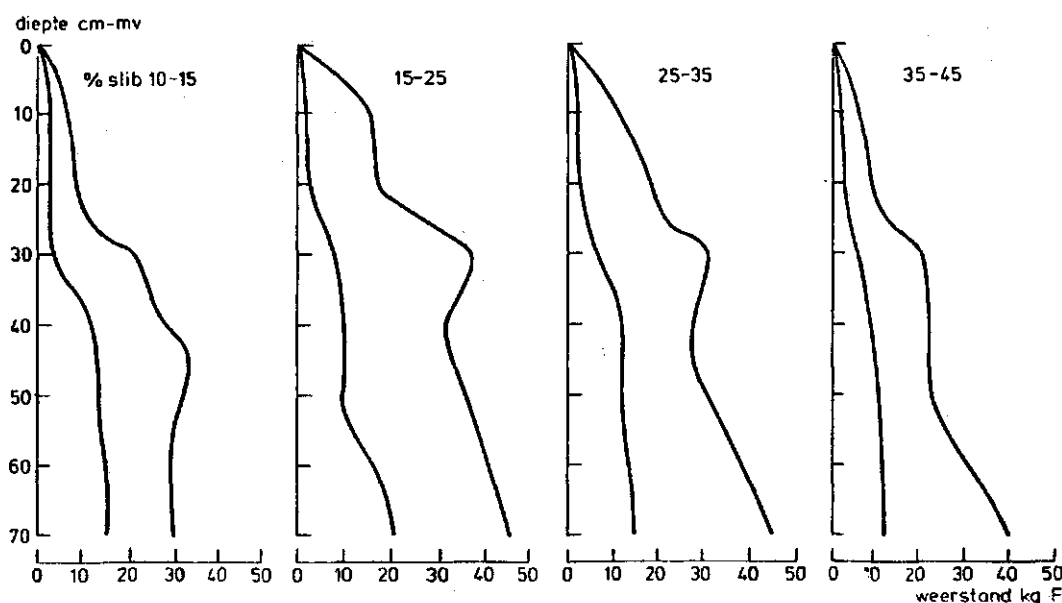


Fig. 27. Indringingsweerstand, 95% betrouwbaarheidsgrenzen, uitgezet tegen de diepte voor de bedrijfsgrootteklasse 55-80 ha voor de verschillende bouwvoorzwaarteklassen

In de bouwvoorzwaarteklasse 10-15% afslibbaar ziet men op 40-55 cm-mv een iets vergrote kans op een hogere indringingsweerstand. De bovengrens (95% btbh) ligt echter nog onder de 35 kg/cm<sup>2</sup>. Bij de bouwvoorzwaarteklasse 15-25% afslibbaar is een grotere kans op verdichting aanwezig, vanaf 30 cm-mv is de indringingsweerstand groter dan 30 kg/cm<sup>2</sup> met een maximum tussen de 30 en 35 cm-mv. Deze tendens vindt men ook in de bouwvoorzwaarteklasse 25-35% afslibbaar. De bovengrens is dan

verlaagd tot  $30 \text{ kg/cm}^2$ . Wordt de bouwvoor nog zwaarder, 35-45% afslibbaar, dan is de indringingsweerstand lager dan  $25 \text{ kg/cm}^2$ .

In de bedrijfsgrootteklasse, groter dan 80 ha, zijn de indringingsweerstand gemeten op percelen in de bouwvoorzwaarteklasse 15-25, 25-35, 35-45 en > 45% afslibbaar. De resultaten hiervan (95% onder- en bovengrenzen) staan in figuur 28.

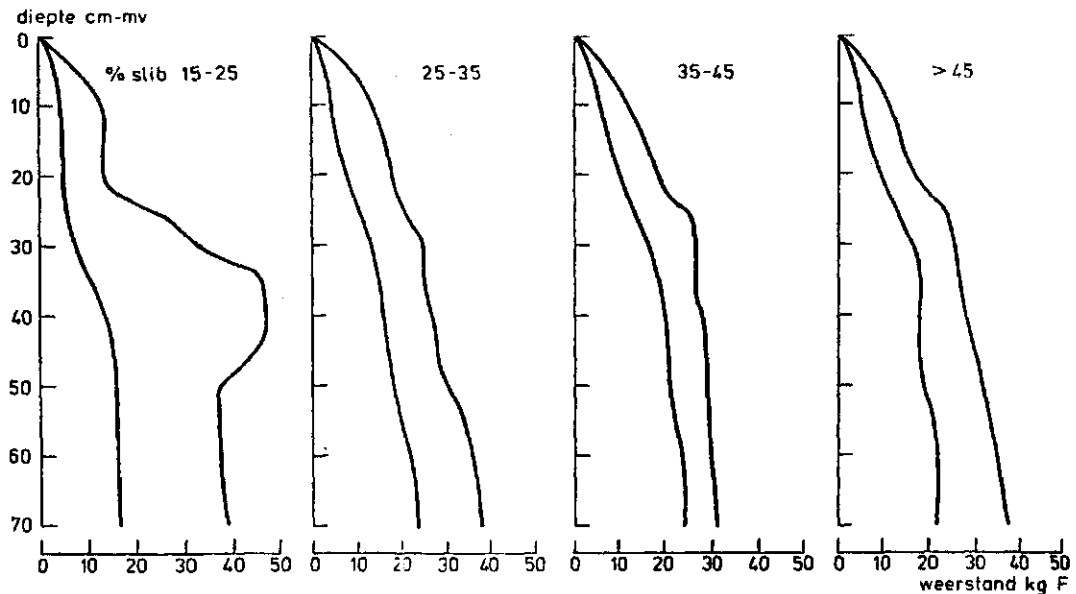


Fig. 28. Indringingsweerstand, 95% betrouwbaarheids grenzen, uitgezet tegen de diepte voor de bedrijfsgrootteklasse > 80 ha voor de verschillende bouwvoorzwaarteklassen

In de bouwvoorzwaarteklasse 15-25% afslibbaar zien we een extreem grote kans op aanwezige verdichting in de laag 30-50 cm-mv. De bovengrens is hier zelfs groter dan  $45 \text{ kg/cm}^2$ . Bij de zwaardere bouwvoorzwaarteklassen vallen de indringingsweerstand bovengrenzen laag uit, op 50 cm-mv overschrijden zij pas de  $30 \text{ kg/cm}^2$ . Wat hier wel opvalt is dat de ondergrenzen hoger liggen dan bij de andere bedrijfsgrootteklassen. (Opgemerkt dient te worden dat de percelen > 25% afslibbaar, bedrijfsgrootteklasse > 80 ha, allemaal regelmatig gewoeld werden.)

Bij het groot landbouwbedrijf de Wilhelminapolder is op drie percelen in de bouwvoorzwaarteklasse 15-25% afslibbaar de indringingsweerstand gemeten.

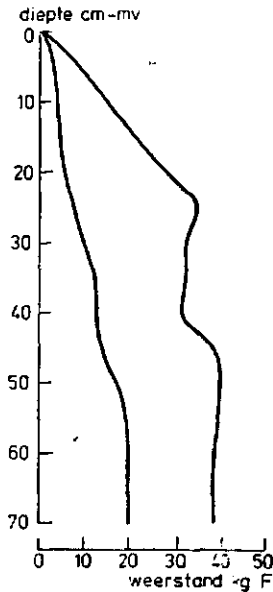


Fig. 29. Indringingsweerstand, 95% betrouwbaarheidsgrenzen, uitgezet tegen de diepte voor de Wilhelminapolder (1300 ha) voor de bouwvoorzaamteklasse 15-25% afslibbaar

Uit de 95% betrouwbaarheidsondergrens blijken nog sporen aanwezig van het woelen (een sprongetje bij 45 cm-mv). Dit komt ook tot uiting in de bovengrens. Vanaf 30 cm-mv heeft de 95% bovengrens van de indringingsweerstand een grotere waarde dan  $30 \text{ kg/cm}^2$  en vanaf 45 cm-mv een grotere waarden dan  $35 \text{ kg/cm}^2$ . De ondergrens ligt vanaf 45 cm-mv ook boven de  $15 \text{ kg/cm}^2$  (meest losse ligging). Het totaal beeld van de indringingsweerstandopnames is dat naarmate de bedrijven groter worden (grotere en zwaardere machines) de indringingsweerstand op dezelfde diepte hoger kunnen zijn en dat ze tot op grotere diepte hoger zijn. De kans op schadelijke verdichting wordt bij de grotere bedrijven hoger.

### 5.3.2. Droogvolume gewichten

Per bedrijfsgrootteklasse is er voor de bouwvoorzaamteklassen 15-25% en 25-35% afslibbaar een perceel uitgezocht waar de dichtheid van de grond verder is bepaald aan de hand van ringmonsters.



De gemiddelde resultaten staan samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 6. Gemiddeld droogvolumegewicht ( $\text{kg/m}^3$ ), % organische stof, %  $\text{CaCO}_3$  en gemiddeld % porievolume per laagdiepte voor de verschillende bedrijven

Bedrijfs- grootte (ha)	Bouwvoor zwaarte % slib	Laag diepte cm-mv	% org. stof	% $\text{CaCO}_3$	gem. % por. vol.	Gem. droog volumegew.	$\pm$ 95% btbh	Opm.
< 35	15-25	27,5-37,5	3,59	11,32	43,0	1571 (a)	46	woelpoot aan ploeg
		<u>37,5</u>			44,5	1516 (b)	8	
		<u>47,5</u>	2,33	14,18	46,5	1453 (c)	22	
		55 -65	2,69	13,71	45,2	1486 (d)	21	
< 35	25-35	27,5-37,5	2,99	3,30	38,2	1673 (a)	42	najaar 1982 gewoeld
		<u>37,5</u>	2,74	3,68	40,0	1672 (ab)	7	
		<u>47,5</u>	3,24	2,68	42,2	1616 (c)	36	
		<u>57,5</u>	3,03	3,91	42,3	1588 (d)	48	
35-55	15-25	30 -40	2,67	7,81	38,6	1686 (a)	9	
		<u>40</u>	0,92	12,61	44,1	1550 (b)	18	
		<u>50</u>	2,64	9,22	45,8	1523 (c)	17	
		60	2,32	10,31	43,4	1530 (c)	26	
35-55	25-35	<u>32,5-42,5</u>	3,68	0,05	42,2	1602 (a)	37	1980 gewoeld
		<u>42,5-52,5</u>	4,2	0,00	44,7	1531 (b)	49	
		52,5	3,94	0,00	45,0	1528 (b)	37	
		62,5	2,77	1,78	45,1	1541 (b)	14	
55-80	15-25	30 -40	3,23	9,36	40,9	1612 (a)	36	
		<u>40</u>	2,29	11,74	50,3	1524 (b)	19	
		<u>50</u>	1,28	14,15	45,0	1470 (c)	19	
		60	1,90	11,68	44,9	1484 (d)	14	
55-80	25-35	30 -40	-	-	37,9	1682 (a)	31	woelpoot aan ploeg
		<u>40</u>	3,73	8,11	40,7	1613 (b)	22	
		<u>50</u>	3,78	9,56	44,8	1548 (c)	51	
		60	3,66	10,10	42,7	1554 (c)	54	
> 80	15-25	27,5-37,5	3,35	9,31	40,0	1610 (a)	31	
		<u>37,5</u>	2,41	10,58	39,8	1632 (b)	18	
		<u>47,5</u>	-	-	43,6	1570 (c)	19	
		<u>57,5</u>	1,83	7,93	42,3	1559 (c)	11	
> 80	25-35	<u>30 -40</u>	4,92	9,49	42,3	1604 (a)	13	1982 gewoeld
		<u>40</u>	5,00	11,52	44,1	1542 (b)	30	
		<u>50</u>	4,34	11,71	40,8	1589 (c)	16	
		60	4,47	13,00	43,7	1556 (d)	35	
WP I	25-35	<u>22,5-32,5</u>	4,97	9,46	40,7	1550 (a)	43	1982 gewoeld
		<u>32,5</u>	2,79	10,38	45,5	1519 (b)	26	
		<u>42,5</u>	3,11	11,74	43,9	1462 (c)	8	
		52,5	2,89	13,21	45,3	1467 (c)	18	
WP II	25-35	<u>30 -40</u>	3,38	13,18	42,6	1545 (a)	39	1977 gewoeld
		<u>40</u>	2,31	9,77	42,5	1504 (b)	18	
		50	1,97	8,11	43,7	1508 (bc)	14	
		60	2,24	8,72	43,7	1508 (c)	20	
WP III	25-35	20 -30	4,30	10,03	37,7	1649 (a)	61	1981 gewoeld
		<u>30</u>	4,35	10,59	39,2	1647 (ab)	34	
		<u>40</u>	3,69	11,36	44,8	1510 (c)	27	
		50	2,93	10,14	46,6	1437 (d)	27	

(--- geeft aan tot welke diepte een verdichting aanwezig is)  
verschillende letters per laag per bedrijf duidt op verschillende droogvolumegewichten

Op hetzelfde moment van het ringmonsteren is ook de indringingsweerstand bepaald met de penetrograaf. Het blijkt nu dat voor de desbetreffende percelen, de percelen van de bedrijven uit de grotere bedrijfs-grootteklassen tot op de grootste diepte een hogere relatieve dichtheid vertonen. Dit geldt zowel voor de bouwvoorzwarteklasse 15-25% als 25-35% afslibbaar. Dit volgt ook uit de indringingsweerstand op dat moment.

Voor de Wilhelminapolder geldt dat het perceel wat in 1977 gewoeld is tot dieper dan 60 cm verdicht is echter in geringere mate dan de bovenste lagen van de andere percelen. Op het perceel wat in 1981 is gewoeld treedt weer extra verdichting op tussen de 20 en 40 cm-mv terwijl de laag daaronder (40-50 cm-mv) ook nog dichter is dan de ondergrond. Het in 1982 gewoelde perceel is vanaf 40 cm-mv los. De lagen 22,5-32,5 en 32,5-42,5 zijn steeds dichter maar lossen als dat van het in 1981 gewoelde perceel (daar heeft in 1982 een jaar uien op gestaan) en ongeveer net zo dicht als het in 1977 gewoelde perceel.

## 6. CONCLUSIES EN SAMENVATTING

Gedurende mijn stageperiode bij het ICW heb ik een praktijkonderzoek gedaan naar de relatie tussen de mechanisatie op landbouwbedrijven en de verdichting in de ondergrond. Dit onderzoek is uitgevoerd op West-Zuid-Beveland op 27 landbouwbedrijven verdeeld over de bedrijfs-grootteklassen < 35 ha (7), 35-55 ha (8), 55-80 ha (7), > 80 ha (3) en de Wilhelminapolder (1300 ha).

Op deze bedrijven is een complete inventarisatie van de gebruikte mechanisatie gemaakt (inclusief loonwerk). Per bedrijf is op een of meer percelen de verdichting van de grond gemeten met een penetrograaf. Op 9 bedrijven is aanvullend ringmonsteronderzoek gedaan. Er bleek een duidelijke relatie te zijn tussen de berijdingsintensiteit (bereiden oppervlak (ha)/ha) en de bedrijfs-grootteklassen voor de gewassen wintertarwe, aardappelen en suikerbieten. Berekend over het totale bouwplan blijkt de tendens aanwezig dat de berijdingsintensiteit/ha.jaar bij toenemende bedrijfs-grootte afneemt tot een zekere minimum-waarde (3,25 ha/ha.jaar) en daarna constant blijft.

De berijdingsintensiteit kan kwalitatief uitgedrukt worden in een laadindex ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ):

$$\text{laadindex} = \frac{W}{2RB}$$

met: W = wiellast (kg)

R = straal wiel (cm)

B = breedte band (cm)

Dit is voor alle bedrijven gedaan voor de bewerkingen ploegen en transport. Hieruit blijkt dat bij toenemende bedrijfsgrootte de laadindex bij ploegen afneemt van  $0,093 \text{ kg}/\text{cm}^2$  (< 35 ha) tot  $0,063 \text{ kg}/\text{cm}^2$  (Wilhelminapolder, 1300 ha). Bij het transport treedt dit verschijnsel ook op ( $0,461$  voor bedrijven < 35 ha en  $0,328$  voor bedrijven > 80 ha).

Combineert men de laadindex en de berijdingsintensiteit en kijkt men wat de aanwezige verdichting in de grond was, dan ziet men toch bij de grotere bedrijven (> 55 ha) een grotere kans op verdichting in de ondergrond. Dit kan een gevolg zijn van de bredere banden (gem. bandbreedtetrekker < 35 ha = 35 cm en bij bedrijven > 80 ha = 47 cm) die wel een lagere laadindex geven maar waarvan de aanwezige grondcontactdruk (resultaat van wiellast, bandspanning, band- en bodemparameters) tot op grotere diepte doorwerkt. Bij de zwaardere trekkers op de grotere bedrijven mag ook niet vergeten worden dat er door de aangedreven wielen steeds grotere vermogens (trekkracht) op de grond afgesteund worden. Het is dan mogelijk dat de verdichting, juist onder de bouwvoor, niet meer alleen door normaalkrachten (wiellast) ontstaat, maar ook het gevolg kan zijn van schuifspanningen (verplaatsing en vervorming van de grondkolom onder het wiel tot onder de bouwvoordiepte).

Gezien de waarnemingen in deze proef moet er gewaarschuwd worden voor de grotere bandenmaten. Zeker als daarbij de bandspanning niet aangepast wordt. Vooral de hoge bandspanning zorgt voor extra belasting van de grond zeker als zij, zoals bij vele transportcombinaties het geval is, gepaard gaat met hoge wiellasten (tandem, 4,0 bar, 2750 kg wiellast).

De grootste aanslag op de grond wordt gepleegd door de rooivruchten; aardappelen, uien en suikerbieten. De berijdingsintensiteit in deze gewassen kan tot twee keer groter zijn dan voor granen. Bovendien moet voor deze gewassen rijgebonden over het veld gereden worden waardoor bij het rooien vaak spoor aan spoor gereden wordt. Hierbij moet dan ook nog 40-60 ton produkt (zonder tarra) van het land gereden worden, op grond die in veel gevallen het ideale vochtgehalte voor verdichting heeft.

Bij toenemende bedrijfsgrootte (toenemende mechanisatie) blijkt dat de indringingsweerstand een hogere 90% ondergrenswaarde heeft en een hogere 90% bovengrenswaarde. De kans op verdichting neemt toe. Treedt verdichting op dan zit deze verdichting bij de grotere bedrijven dieper beneden maaiveld en is de indringingsweerstand op dezelfde diepte hoger dan bij de kleinere bedrijven.

## 7. LITERATUUR

- BALL, G. Why risk yield loss? Compaction - the risk factor. British sugar beet review, 50 (1982) 3. pg. 49,50.
- BLACKWELL, P.S. and B.D. SOANE. A method of predicting bulk density changes in field soils resulting from compaction by agricultural traffic. Journal of soil sciences 32, 1, (march) 1981, p. 51-65.
- BOEKEL, P. De bodemstructuur in de moderne akkerbouw. Bedrijfsontwikkeling 13 (1982), nr. 11. p. 1001-1007.
- BOELS, D. Kanttekening bij besteksvoorwaarden ter beperking van bandspanning van dumpers en trekkers. ICW-nota 1081. Wageningen, 1978.
- BOELS, D., D.B. DAVIES en A.E. JOHNSTON. Soil degradation. Rotterdam, 1982, 280 p.
- BOLLING, I. en W. SÖHNE. Der Bodendruck schwerer Akkerschlepper und Fahrzeuge. Landtechnik 2, Februar 1982. p 54-57.

- BOONE, F.R. Grondbewerking als groeiregulator. Landbouwkundig tijdschrift/PT, (1976) 88-6. p. 167-172.
- BREAY, T. Soil management, the way to better seedbeds. British sugar beet review 50 (1982), nr. 3, p. 68.
- BUITENDIJK, J. Modelonderzoek naar de samenhang van mechanisatiegraad, toelaatbare werkomstandigheden en de opbrengst van suikerbieten op een middelzware zavel. ICW-nota 895, Wageningen, 1976.
- CHANCELLOR, W.J. Compaction of soil by agricultural equipment. Division of agricultural sciences. Univ. of California, Bulletin 1881, Richmond, 1977, 53 p.
- ERIKSSON, J., I. Hakansson en B. DANFORS. The effect of soil compaction on soil structure and crop yields. Swedish Institute of agricultural engineering, Bulletin 354, Uppsala, 1974, 101 p.
- ERIKSSON, J. Influence of extremely heavy traffic on clay soil. Grondförbättring, 27, 1975/1976: 1. p. 33-51.
- HAVINGA, L. en BOELS, D. Bodemverdichting op een verbeterde veldpodzolgrond een proef met verschillende wiellasten. ICW-nota 1388, Wageningen, 1982.
- HOUBEN, J.M.M.Th. Bodemverdichting en gewasgroei. Bedrijfsontwikkeling, 12 (1981), nr. 12, p. 1097-1104.
- LUMKES, L.M. Relatie grondgebruik, grondbewerking, bodemstructuur. Verslag studiereis voor E.G. naar Schotland (en Engeland), april 1982. PAGV-Lelystad, 1982.
- NEGI, S.C., E. McKYES, G.S.V. RAGHAVAN en F. TAYLOR. Relationships of field-traffic and tillage to corn yields and soil properties. Journal of terramechanics. Vol. 18, no. 2, 1981, p. 81-90.
- PERDOK, U.D. A prediction model for the selection of tyres for towed vehicles on tilled soil. Journal of agricultural engineering research, 23, 1978, p. 369-383.
- Bewerkbaarheid en berijdbaarheid van grond. Landbouwkundig tijdschrift/PT (juni), 1976, 88-6, p. 173-178.
- RAGHAVAN, G.S.V., E. McKYES, I. AMIR, M. CHASSE en R.S. BROUGHTON. Prediction of soil compaction due to off-road vehicle traffic. Transactions of the ASAE, 19 (1976), 4. p-610-613.
- RAGHAVAN, G.S.V., E. McKYES, R. BAXTER en G. GENDRON. Traffic-soil-plant (maize) relations. Journal of terramechanics 16 (1979), no. 4, p.181-189.

SOANE, B.D., P.S. BLACKWELL, J.W. DICKSON en D.J. PAINTER. Compaction by agricultural vehicles, a review.

I Soil and wheel characteristics. Soil and tillage Research 1, (1980/1981), nr. 3. p. 207-237.

II Compaction under tyres and other running gear. Soil and tillage Research, 1 (1980/1981), nr. 4, p. 373-400.

III Incidence and control of compaction in crop production. Soil and tillage Research, 2 (1982) nr. 1, p. 3-36.

TAYLOR, J.H., E.C. BURT en A.C. BAILEY. Effect of total load on subsurface soil compaction. Transactions of the ASAE, vol. 23 (1980) no. 3, p. 568-570.

USDA. Soil dynamics in tillage and traction; agricultural handbook no. 316, 1968, 511 p.

TOELICHTING OP HET COMPUTERPROGRAMMA SPOOR.FOR

Om het sporenpatroon voor alle percelen te kunnen bepalen is een computerprogramma gemaakt. In dit programma wordt er vanuit gegaan dat een strook land ter breedte van de halve spuitboombreedte representatief is voor het sporenpatroon op het hele perceel. Er wordt van uitgegaan dat op een veelvoud van de spuitbreedte vanaf de langste slootkant van het perceel, alle bewerkingen uitgevoerd worden alsof de rechtergrens van de strook de slootkant is.

Men begint dan aan de rechterkant van deze strook te werken met aansluitende bewerkingen links naast elkaar, totdat de gehele strook bewerkt is. Voor een gewas wordt op dat perceel bewerking na bewerking gezet totdat er na de oogst geploegd wordt voor het volgende gewas. Het programma berekent voor ploegen, spuiten, kunstmeststrooien op halve spuitboombreedte, rooien en transport de sporenpatronen apart uit. Voor alle overige bewerkingen is er 1 berekeningswijze. De reden hiervan is dat bij het ploegen het werktuig niet symmetrisch achter de trekker hangt. Bij het spuiten is er over een strook van de halve spuitboombreedte maar 1 spoor nodig. Bij kunstmeststrooien op de halve spuitboombreedte wordt er tussen de spuitsporen doorgereden. Er moet dan een spoor op het spuitspoor komen en een symmetrisch aan de andere kant van de te beschouwen strook.

Bij rooien en transport wordt een aparte berekening uitgevoerd om op de goede plaats tussen de gewasrijen door te rijden. Alle andere bewerkingen worden uitgerekend alsof het werktuig symmetrisch achter de trekker zit. De sporen komen dan ter weerszijden van de halve werkbreedte (midentrekker) op een halve spoorbreedte. Dubbellucht kan hier op een bepaalde hart op hart afstand naast gelegd worden.

RG rechtergrens  
 BB bandbreedte  
 SB spoorbreedte  
 WB werkbreedte  
 HOH hart op hart afstand  
 dubbellucht

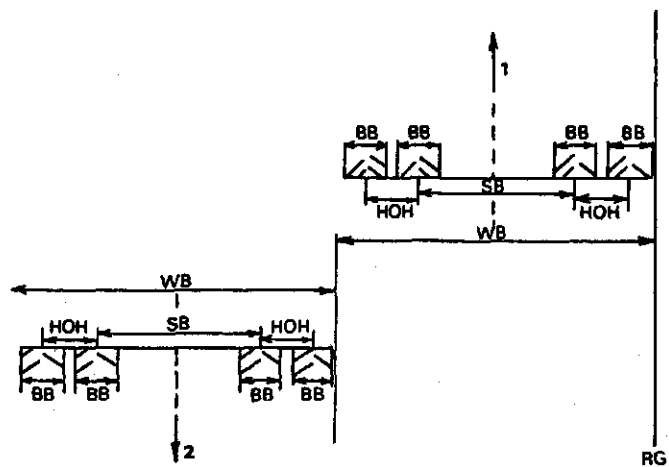


Fig. a. Spoorbepaling bij overige bewerkingen

Men krijgt dan sporen op:

spoorplaats = halve spuitboombreedte - 0,5 \* werkbreedte + 0,5 \*  
 spoorbreedte + hart op hart afstand dubbellucht

De bandbreedte geeft dan aan welke strook bereiden wordt:

spoor = spoorplaats + 0,5 \* bandbreedte

Hieraan wordt een wiellastcode en een bandspanningscode meegege-  
 ven die in aparte diagrammen afgebeeld worden.

Bandspanningscode:

code: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 of 9

code is bepaald volgens: Integer (2 \* bandspanning (ato) - 1)

code 0 heeft dus een bandspanning tussen de 0,5 en 1,0 bar

code 1 heeft dus een bandspanning tussen de 1,0 en 1,5 bar enz.

Wiellastcode:

code: A, B, C, D, E, F, G, H, O, P, Q of R

code is bepaald volgens: Integer (wiellast/500)

code A heeft een wiellast tussen de 0 en 500 kg

code B heeft een wiellast tussen de 500 en 1000 kg enz.



De berekeningswijze bij ploegen is als volgt.

Eerst wordt er bepaald of er bovenover gereden wordt of door de open voor. Als criterium hiervoor is een werkbreedte van 2,00 m gesteld.

Is de werkbreedte kleiner dan 2,00 m dan wordt er door de open voor geploegd. In het sporendiagram komt dit tot uiting in twee regels met bandspanning- of wiellastcodes (1 wiel bovenover en het andere door de open voor). Begint men hier te stellen dat de open voor juist naast de te beschouwen strook ligt dan ligt het eerste spoor daarin en wordt dus niet afgedrukt. Het eerste spoor ligt dan op een spoorbreedte-afstand van de rechtergrens. Het eerste spoor van de tweede werkgang komt in de nieuw gemaakte open voor. Dit is op een werkbreedte-afstand (min de breedte van het ploegrister) van de rechtergrens. Het tweede spoor komt dan op een spoorbreedte-afstand (links) daarvan. Dit wordt herhaald tot de hele strook afgewerkt is.

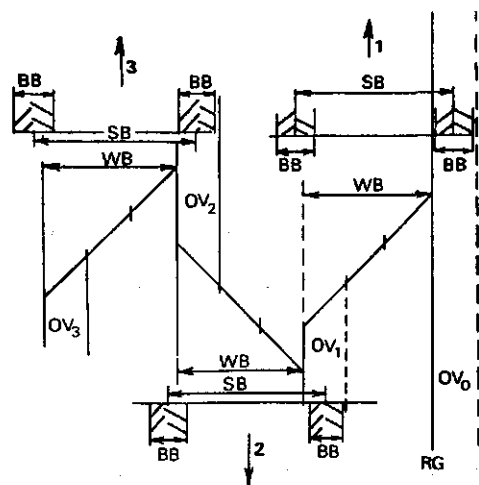


Fig. b. Plaatsbepaling van de sporen bij ploegen, door de open voor rijden

Een soortgelijk iets wordt er ook bij het bovenover ploegen (werkbreedte  $> 2,00$  m) gedaan. Hier gaan we er van uit dat het spoor aan de kant van de open voor op een afstand ter breedte van de open voor ligt (40 cm, bij een raster van 40 cm). Er wordt weer van uit gegaan dat rechts van de rechtergrens de beginvoor ligt.

Bij deze grote werkbreedtes wordt er veelal met kniktrekkers met dubbellucht gereden. De buitenste dubbelluchtband komt dan op bijvoorbeeld 40 cm afstand van de open voor.

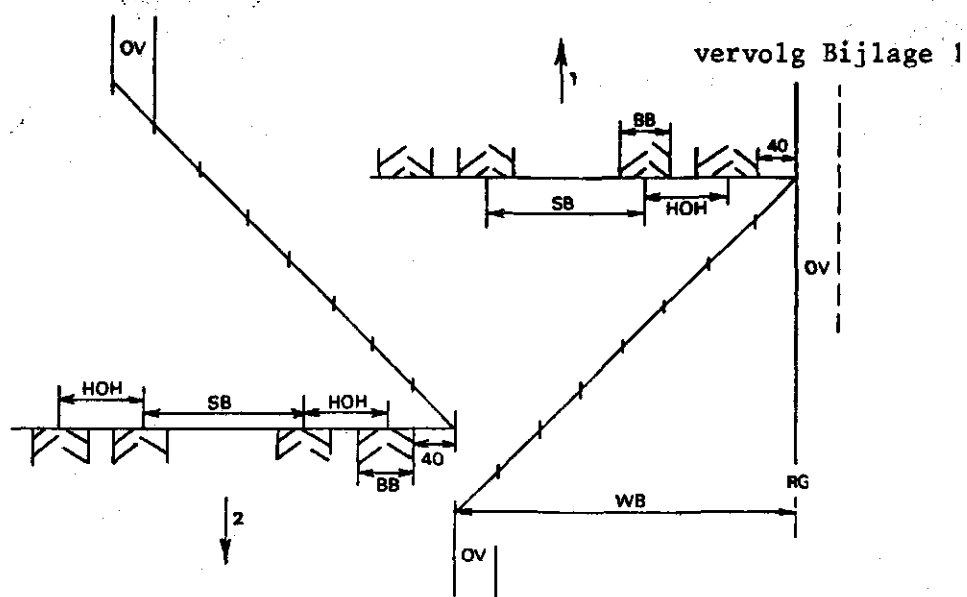


Fig. c. Plaatsbepaling van de sporen bij bovenover rijdend ploegen

Het tweede spoor komt dan na de hart op hart afstand van het dubbellucht, het derde spoor na de spoorbreedte en het vierde spoor weer na de hart op hart afstand dubbellucht. Van de tweede werkgang komt het eerste spoor dan op de rechtergrens min de werkbreedte min 40 cm. De berekening van de spoorplaatsen herhaald zich dan als hierboven beschreven.

Naast de plaats van de sporen met bijbehorende wiellast- en bandspanningscode, bepaalt het programma ook hoe vaak er over ieder plaats-elementje gereden wordt. Deze berijdingsfrequentie wordt als een histogram uitgevoerd. Per bewerking wordt het bereiden oppervlakte (ha)/ha berekend en opgeteld voor het totaal aan bewerkingen voor een gewas per jaar.

Bereiden oppervlakte (ha)/ha =  $1,0/WB * BB * 2,0$  (of  $* 4,0$  voor dubbellucht)

WB = werkbreedte (cm)/10,0

BB = bandbreedte (cm)/10,0

Alle gegevens worden ingelezen vanuit een data-file. Hierin staan vermeld:

- 1ste regel: - codeboer (01-27) + codeperceel (1-4)  
 - 'gewas (15 karakters)'  
 - spuitbreedte in meters

## Bijlage 1 vervolg

tweede regel: naam outputfile opgebouwd uit:

- codeboer (01-27) + codeperceel (1-4) + jaar (80-83)
- punt
- codegewas      aardappelen = ARD  
                  suikerbieten = PEE  
                  wintertarwe = WTA  
                  zomergerst = ZGE  
                  uien           = UI enz.

derde en volgende regels:

- naam bewerking : '10 karakters'
- spoorbreedte in cm
- hart op hart afstand dubbellucht
- bandbreedte in cm
- werkbreedte in cm
- bandspanning in bar
- wiellast in kg

laatste regel:

NUL ter afsluiting en beëindiging van programma-invoer.

\* TYPE SPOOR.FOR

```
PROGRAM SPOOR
C   DIT PROGRAMMA BEREKENT HET SPORENPATROON OP EEN PERCEEL
C   VOOR ALLE BEWERKINGEN VOOR EEN GEWAS GEDURENDE EEN JAAR.
C   DE INVOER WORDT GELEZEN UIT DATA-FILES WAARIN STAAT:
C   - BOER-PERCEEL-JAAR-CODE
C   - NAAM VAN HET GEWAS
C   - DE GEBRUIKTE SPUITBREEDTE (M)
C   - DE NAAM VAN DE OUTPUT-FILE
C   EN PER BEWERKING:
C   - SPOORBREEDTE WERKTUIG (CM)
C   - HART OP HART AFSTAND DUBBELLUCHT (CM)
C   - BANDBREEDTE (CM)
C   - WERKBREEDTE WERKTUIG (CM)
C   - BANDSPANNING (BAR)
C   - WIELLAST (KG)
C
C   ALS UITVOER KRIJGT MEN:
C   * EEN TOTAAL BEREDEN OPPERVLAK VOOR DIT PERCEEL VOOR DIT
C   GEWAS. DIT TOTAAL OPPERVLAK IS OPGEBOUWD UIT DE BEREDEN
C   OPPERVLAKTES PER BEWERKING (HA/HA).
C   * EEN FREQUENTIETABEL: HOE VAAK IS ER OP EEN DWARSDOORSNEDE
C   VAN HET PERCEEL ( UITGEBEELD IN EEN STROOK TER BREEDTE VAN
C   DE HALVE SPUITBOOMBREEDTE) PER STUKJE VAN 10 CM GEREDEN.
C   * EEN BANDSPANNINGSDIAGRAM: WAAR IS ER GEREDEN EN MET WELKE
C   BANDSPANNING (OVER EEN STROOK VAN DE HALVE SPUITBOOMBREEDTE).
C   * EEN WIELLASTDIAGRAM: WAAR IS ER GEREDEN EN MET WELKE WIEL-
C   LASTEN (OVER EEN STROOK VAN DE HALVE SPUITBOOMBREEDTE).
C
C   OM EEN ZODANIGE UITVOER TE KRIJGEN DAT ALLE TABELLEN EN DIAGRAMMEN
C   BIJ HET PRINTEN OP EEN APARTE BLADZIJDE KOMEN IS HET NODIG OM DE
C   OUTPUT-FILE TE BEWERKEN MET HET PROGRAMMA Z.FOR.
```

```
PARAMETER IN = 1           ! UNITNUMMER INPUT-FILE
PARAMETER IOUT = 2        ! UNITNUMMER OUTPUT-FILE
CHARACTER*15 FILNAM       ! NAAM INPUTFILE
CHARACTER*15 UITNAM       ! NAAM OUTPUT-FILE
CHARACTER BSP(0:9) //'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9'//
                           ! CODE BANDSPANNINGEN
CHARACTER WLAST(0:11) //'A','B','C','D','E','F','G','H','O','P','Q','R'//
CHARACTER A(0:125,0:30)  ! OVERZICHTSTABEL BSP CODES
CHARACTER B(0:125,0:30)  ! OVERZICHTSTABEL WLAST CODES
REAL OPPERVLAK (50)
REAL SPD (50)            ! SPOOR ELEMENTEN
INTEGER SA, RG           ! WERKTUIGGEGEVENS
INTEGER LAST, BAR       ! WIEL- EN BANDGEGEVENS
REAL MAAT, S1, S2, BB   ! BAND GEGEVENS
REAL WB                 ! WERKBREEDTE VAN HET WERKTUIG
INTEGER WRKB            ! " "
INTEGER SL, SR          ! SPOOR GRENZEN
REAL BOP                ! FRACTIE TOTAAL BEREDEN OPPERVLAKTE
CHARACTER*15 GEW        ! GEWASCODE
CHARACTER AANTAL(0:130,1:50) ! AANTAL STERREN
INTEGER TABEL (0:130)  ! FREQUENTIETABEL
CHARACTER*10 WERK (1:30) ! TABEL BEWERKINGSVOLGORDE
CHARACTER*10 BEW       ! BEWERKING
CHARACTER STER
DATA STER /*'*/
```

```
C   LEES ALLE GEGEVENS IN UIT DE INPUT-FILE
C
```

```
BEW = 'BEGIN'
TYPE 10
```

```

10  FORMAT (' GEEF DE NAAM VAN DE INPUT-FILE: '$)
    ACCEPT 20, FILNAM
20  FORMAT( A15)
    OPEN ( UNIT = IN, NAME = FILNAM, TYPE = 'OLD')
    REWIND IN
    READ (1,*) NUM, GEW, SA
    TYPE 30, NUM, GEW
30  FORMAT(' VAN BOER ', I4, ' EN HET GEWAS ', A15, ' IS HET SPORENPATROON')
    READ (1,40) UITNAM
40  FORMAT (A15)
    TYPE 50, UITNAM
50  FORMAT (' DE NAAM VAN DE OUTPUT-FILE IS: ', A15)

    RG=SA/2.0*10          ! RECHTERGRENS IS HALVE SPUITBREEDTE
    RGR = RG
    ROP = 0

    DO I = 0,125
      TABEL (I) = 0
    END DO

    DO J = 0,30
      DO I = 0,125
        A (I,J) = '.'
        B (I,J) = '.'
      END DO
    END DO

    DO K = 1,50
      DO I = 0,125
        AANTAL (I,K) = '.'
      END DO
    END DO

    J = 0
    DO WHILE (BEW .NE. 'NUL' )
31  READ (1,*,END=1000)BEW,SPB,H0H,MAAT,WRKB,ATO,GRAM
      N = 0
      RG = SA/2.0*10
      IF (BEW .EQ. 'NUL' ) THEN
        GO TO 1000
      END IF
      SB=SPB/10.0
      DL=H0H/10.0
      BB=MAAT/10.0
      WB = WRKB/10.0
      BAR=2.0*ATO-1.0
      LAST=GRAM/500

C
C   BEREKENING VAN HET BEREDEN OPFERVLAK (HA/HA) PER BEWERKING
C
      BO = 1.0/WB * BB * 2.0
      IF ( DL .NE. 0) THEN
        BO = 1.0/WB * BB * 4.0
      END IF
      BOP = BOP + BO

C
C   BEREKENING SPORENPATROON PLOEGEN DOOR DE OPEN VOOR
C
      IF (BEW .EQ. 'PLOEGEN' .AND. WB .LE. 20) THEN
        NM = N
        J = J + 1
        KRG = RG
        SPD(N) = SO
        DO RG = KRG,1,-WB
          N = N + 1
          NM = N
          SO = RG - WB + 0.5 * BB
          SPD(N) = SO
          N = N + 1
          NM = N
          SO = RG + 0.5 * BB - SB
          SPD(N) = SO
        END DO
      END IF
    END DO

```

C  
C  
C

BOVEN OVER PLOEGEN

```
ELSE IF (BEW .EQ. 'PLOEGEN') THEN
  J = J + 1
  N = N + 1
  NM = N
  SO = RG + WB - 4 - 0.5*BB - DL - SB
  SPD(N) = SO
  N = N + 1
  NM = N
  SO = RG + WB - 4 - 0.5 * BB - SB - 2*DL
  SPD(N) = SO
  KRG = RG
  DO RG = KRG,1,-WB
    N = N + 1
    NM = N
    SO = RG - 4 - 0.5*BB
    SPD(N) = SO
    N = N + 1
    NM = N
    SO = RG - 4 - 0.5*BB - SB - DL
    SPD(N) = SO
    N = N + 1
    NM = N
    SO = RG - 4 - 0.5*BB - DL
    SPD(N) = SO
    N = N + 1
    NM = N
    SO = RG - 4 - 0.5*BB - SB - 2*DL
    SPD(N) = SO
  END DO
```

C  
C  
C

SPUITEN

```
ELSE IF (BEW .EQ. 'SPUITEN') THEN
  N = N + 1
  NM = N
  J = J + 1
  SO = 0.5 * SB
  SPD(N) = SO
  KRG = RG
```

C  
C  
C

TRANSPORT EN RODIEN

```
ELSE IF (BEW .EQ. 'RODIEN' .OR. BEW .EQ. 'TRANSPORT') THEN
  KRG = RG
  J = J + 1
  DO R = KRG,1,-WB
    N = N + 1
    NM = N
    SO = R * 1.0
    SPD(N) = SO
  END DO
```

C  
C  
C

KUNSTMESTSTROOIEN OP HALVE SPUIBREDTE

```
ELSE IF (BEW .EQ. 'K.M.STROOI') THEN
  J = J + 1
  N = N + 1
  NM = N
  SO = RG - 0.5 * SB
  SPD(N) = SO
  N = N + 1
  NM = N
  SO = 0.5 * SB
  SPD(N) = SO
ELSE
```

C

C  
C

OVERIGE BEWERKINGEN

```
J = J + 1
KRG = RG
DO RD=KRG,1,-WB
  N = N + 1
  NM = N
  SO = RG - 0.5 * WB + 0.5 * SB
  SPD(N) = SO
  N = N + 1
  NM = N
  SO = RG - 0.5 * WB - 0.5 * SB
  SPD(N) = SO
  IF (DL .NE. 0) THEN                                ! DUBBELLUCHT
    N = N + 1
    NM = N
    SO = RG - 0.5 * WB + 0.5 * SB + DL
    SPD(N) = SO
    N = N + 1
    NM = N
    SO = RG - 0.5 * WB - 0.5 * SB - DL
    SPD(N) = SO
  END IF
END DO
END IF
```

C  
C  
C

BEPALLEN VAN DE SPOORBREEDTE

```
DO N = 1,NM
  K = N
  IF ( BEW .EQ. 'PLOEGEN') THEN
    IF ((K/2,0) - INT (K/2) .NE.0) THEN
      J = J + 1
    END IF
  END IF
  SO = SPD(N)
  S1 = SO + 0.5 * BB
  S2 = SO - 0.5 * BB

  IF (S1 - INT(S1) .LT. 0.5) THEN
    SR = S1
  ELSE
    SR = S1 + 1
  END IF
  IF (S2 - INT(S2) .LT. 0.5) THEN
    SL = S2
  ELSE
    SL = S2 + 1
  END IF
  IF ( SL .LE. 0) THEN
    SL = 0
  END IF
  IF (SR .GT. 121) THEN
    SR = 121
  END IF
```