

Inrichtings- en uitvoeringsaspecten van perceelsvergroting op lichte zavelgronden in het noordelijk klei mozaïekgebied.

D. Boels (ICW)

P. Boekel (IB)

A. Jongerius (Stiboka)

L.A.H. de Smet (Stiboka)

W. van der Meer (LD)

Landinrichtingsdienst, Mededelingen nr. 133

Utrecht, januari 1981

Voorwoord

Voor de bestudering van aspecten van perceelsvergroting op lichte zavelgronden in het noordelijk klei mozaïekgebied is te Kloosterburen in de provincie Groningen een proef genomen waarbij met minimaal grondverzet de vergroting is gerealiseerd. Het inrichtingsplan, opgezet door de afdeling Onderzoek van de Landinrichtingsdienst te Groningen, is gebaseerd op een 3-tal variabele factoren, die in een bepaalde combinatie uitsluitend moeten geven inzake de problematiek van perceelsvergroting in kruinige gebieden.

Een team van onderzoekers, bestaande uit medewerkers van de LD, Stiboka, het IB en ICW, heeft onderzoek verricht aan verschillende aspecten. Het onderzoek is gericht geweest op de aard en omvang van oppervlakteafvoer en de werking van zakputten (ICW); het tijdstip van bewerkbaarheid in het voorjaar, veranderingen van bodemfysische eigenschappen onder invloed van cultuurtechnische ingrepen en slempgevoeligheid (IB); profielbeschrijvingen, samenhang indringingsweerstand en cultuurtechnische ingrepen (Stiboka); de werking van het ontwateringssysteem (afd. Onderzoek LD te Groningen); gewasreacties op verschraling en bodemverdichting (ICW) en de economische evaluatie (afd. Landbouw Economisch Onderzoek LD te Utrecht en Consulentenschap Akkerbouw te Groningen). De bedoeling van het voorliggende rapport is, gebaseerd op de resultaten van dit proefveld, aangevuld met waarnemingen op andere objecten waar aspecten van uitvoering zijn bestudeerd, richtlijnen te formuleren voor het ontwerpen van het ontwateringsstelsel en het aangeven van mogelijkheden om niet gewenste neveneffecten van de uitvoering te voorkomen of te verbeteren.

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING EN TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN	1
I. INLEIDING	9
II. BODEMKUNDIGE BESCHRIJVING VAN DE LICHTE ZAVELGRONDEN IN HET KLEI MOZAÏEKGEBIED	13
Bodemkundige opbouw van het Noordelijk zeekleigebied	13
Het oude kwelderlandschap; kruinigheid en profielopbouw	15
Bodemgesteldheid van het proefobject te Kloosterburen	18
Bodemkaart	19
Bodemfysische profieleigenschappen op het object te Kloosterburen	21
III. INRICHTING VAN HET PROEFOBJECT TE KLOOSTERBUREN	23
Algemeen	23
Uitgangspunten van het inrichtingsplan	23
Inrichtingsplan	26
Uitvoering	29
IV. WERKING VAN HET ONTWATERINGSSYSTEEM	35
Neerslag	35
Ontwateringssituatie	36
Oppervlakte afvoer	42
Analysemetingen	43
Frequentie en duur oppervlakte afvoer	48
Ervaring bruikbaarheid zakputten	50
V. BODEMFYSISCHE TOESTAND VAN DE BOUWVOOR IN VERBAND MET WIJZE VAN UITVOEREN	52
Bouwvoorvershraling	53
Verslumping aan het oppervlak	55
Bewerkbaarheid in het voorjaar	59
Structuur van de bouwvoor	62
VI. BODEMVERDICHTING	64
Bodemverdichting door rijden	64

	blz.
VII. GEWASREACTIE	71
VIII. ECONOMISCHE EVALUATIE	78
IX. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	85
X. LITERATUUR	89

Samenvatting en toepassingsmogelijkheden

De kavelinrichtingsproblematiek van oude kwelderwal- en zeeboezemgronden, die deel uitmaken van het noordelijk klei mozaïekgebied, is onderwerp van studie geweest. Het betreft hier ca. 35000 ha kruinige lichte zavelgronden, merendeels in gebruik als bouwland, waar de noodzakelijke perceelsvergroting vragen oproept omtrent de gewenste inrichting. Ten gevolge van de (sterk) kruinige maaiveldsligging zullen bij perceelsvergroting de gedempte sloten als laagten blijven bestaan en door de veelal lage ligging t.o.v. het nieuwe slootpeil in het voor- en najaar natte plekken vormen. Een specifiek probleem hierbij is de zogenaamde "run off"; door de slempgevoelige bovengrond zal een deel van de neerslag over de oppervlakte tot afstroming komen en in de laagten tot plasvorming aanleiding geven.

Volledige opvulling van gedempte sloten vergt een enorm grondverzet, is duur en op deze structuurgevoelige grond niet zonder risico.

Vanwege het aanvankelijk nog zwaar op granen gerichte bouwplan in de provincie Groningen is gezocht naar een goedkopere inrichtingsmethode bij perceelsvergroting; berekeningen in proefcomplexen gaven te zien dat een "aangepaste" egalisatie een relatief gunstig investeringseffect opleverde. Door de grote oppervlakte ruilverkaveling in voorbereiding, waarin deze problematiek speelde, bestond grote behoefte op korte termijn de technische uitvoerbaarheid van een aantal inrichtingsvarianten te testen. Dientengevolge is in Groningen, waar ongeveer de helft van de eerdergenoemde kruinige lichte zavelgronden voorkomen, in 1970/1971 een proefobject te Kloosterburen ingericht. Dit object van ca. 43 ha was vooral bedoeld als demonstratie-object voor de in 1973 gestemde ruilverkaveling "De Marne". Immers de gewenste mate van perceelsvergroting zal hoofdzakelijk in het kader van de kavelverbeteringswerken moeten plaatsvinden, waarbij de boer initiatiefnemer is.

In de periode van 1970 t/m 1974 heeft een team van onderzoekers op dit object aandacht besteed aan essentiële aspecten als: oppervlakteafvoer, bodemverdichting en gewasreacties (ICW); bewerkbaarheid en slempgevoeligheid (IB); profielbeschrijvingen, indringingsweerstand en micromorfologische kenmerken (Stiboka); ontwateringssysteem en economische evaluatie (LD).

De inrichting van het proefobject te Kloosterburen voorzag in het samenvoegen van in totaal 17 percelen tot 4 nieuwe percelen.

Centraal uitgangspunt hierbij was dat de nieuw gevormde percelen in hun geheel vroegtijdig bewerkbaar dienden te zijn in het voorjaar en dat de onvolledig gedempte sloten ook in het najaar geen belemmering mochten vormen voor de oogstwerkzaamheden. Om dit uitgangspunt op deze gronden te kunnen realiseren is het nodig dat de gemiddelde grondwaterstand in de winter- en voorjaarsperiode ten minste 1.00 m beneden maaiveld bedraagt.

Hiertoe zijn de gedempte sloten en de reeds bestaande laagten gedraineerd in de vorm van slootvervangende drainage, zodanig dat de draandiepte uiteindelijk 1,20 m of meer zou moeten bedragen. De tussenliggende kruinen zijn in het geheel niet gedraineerd. Dit ontwateringssysteem moest tevens voldoen aan een tweede eis, nl. een grondwaterstand van niet hoger dan ca. 0,50 m minus maaiveld in maatgevend natte perioden.

Aangepaste egalisatie betekent een minimaal grondverzet met inachtneming van de ontwateringseisen en de voorwaarde "run off" te kunnen afvoeren. Om deze oppervlakkig afstromende neerslag kwijt te raken was het nodig de gedempte sloten te voorzien van een aanvulling onder helling. De aanvulling begint bij de openblijvende sloot met een beginhoogte van 1.30 m boven het te effectueren winterpeil en loopt "landinwaarts" op onder een helling van 30 cm per 100 m. Door aaneenschakeling van gedempte sloten en aan te vullen laagten zou bij de forse perceelsvergroting deze aanvulling evenwel tot kruinshoogte kunnen oplopen. Ter beperking van de hierdoor snel toenemende grondbehoefte zijn op een 3-tal plaatsen ingesloten laagten gecreëerd met op de laagste plek een zakput voor de opvang en afvoer van "run off". Zakputten zijn financieel aantrekkelijk als daarmee ca. 500 m³ of meer grondverzet bespaard kan worden.

Overeenkomstig de situatie in aangrenzende ruilverkavelingen komt ook bij aangepaste egalisatie op dit object onvoldoende grond uit waterlopen en kavelsloten beschikbaar.

Gemiddeld was per ha 315 m³ grond nodig, hiervan kwam gemiddeld 215 m³ beschikbaar uit watergangen, de overige 100 m³ is gewonnen door middel van ploegen en afschuiven.

Bij het opploegen van ondergrond uit kruinen is met een constante diepte geploegd ten einde de kruinigheid te behouden. In de met afgeschoven

ondergrond opgehoogde slootkanten is naderhand de oorspronkelijke bovengrond weer bovengebracht, deels middels ploegen, deels middels spitten.

De rij- en werkstroken, beperkt tot 35% van de oppervlakte, zijn naderhand losgemaakt.

Combinatie van inrichtingsvarianten resulteerde in 7 alternatieven. Essentieel bij de inrichting was de volgorde van uitvoeren; de slootvervangende drainage is aangebracht vóór uitvoering van slootdemping. Hiermede wordt een goede ontwateringssituatie bewerkstelligd.

De inrichting van het proefobject te Kloosterburen is in vergelijking met de praktijksituatie geforceerd te noemen. Effectuering van het boezempeil kon, vooruitlopend op de uitvoering van de ruilverkaveling De Marne, alleen middels een tijdelijke onderbemaling. Dit resulteerde echter wel in de noodzaak van een ingewikkeld systeem van samengestelde slootvervangende drainage. Niettemin zijn de bevindingen van verschillende inrichtings- en uitvoeringsalternatieven op dit object, tezamen met ervaringen op andere relevante objecten, een verantwoorde basis voor het formuleren van uitgangspunten en randvoorwaarden bij perceelsvergroting met aangepaste egalisatie.

Ontwateringsaspecten

Perceelsvergroting met alleen slootvervangende drainage kan indien de laagten een drooglegging verkrijgen van minimaal 1.30 m ter hoogte van de openblijvende sloot en de draandiepte in de laagten ten minste 1.20 m bedraagt. Bij voorkeur dient de drainage enkelvoudig te zijn en te bestaan uit twee reeksen ter weerszijden van de te dempen sloot en/of aan te vullen laagten. Voor niet te grote afstanden kan ook volstaan worden met in totaal twee reeksen in de laagte; een grotere diameter is dan nodig.

Kruinen zijn voldoende ontwaterd wanneer voldaan wordt aan een bepaalde verhouding in afstand tussen de ontwateringsmiddelen enerzijds en de diepte van die middelen t.o.v. de kruin (ontwateringsbasis) anderzijds; een combinatie van resp. ca. 100 m en 2,0 m is b.v. toereikend. Bewerkbaarheidsonderzoek bevestigt dat bij deze randvoorwaarden het vergrote perceel in z'n geheel vroegtijdig bewerkbaar is.

Oppervlakkig afstromende neerslag is gemeten en bleek meestal afkomstig te zijn van ca. 15% van de potentiële oppervlakte. Tijdens "run off" is de grondwaterstand nooit tot in het maaiveld gestegen; een te geringe infiltratiecapaciteit (ca. 0,002 m/etm op sterk verslechte grond) blijkt de oorzaak te zijn.

Op percelen die jaarlijks sterk verslempen mag gemiddeld 7 keer per jaar gedurende ca. 3 dagen "run off" worden verwacht; bij lichte verslemping is dit gemiddeld 3 keer per jaar het geval. Het humusgehalte heeft een duidelijke invloed op de mate van verslemping.

Diepere ontwatering compenseert de als gevolg van verschraling toegenomen slempgevoeligheid.

Ook na perceelsvergroting met diepere ontwatering lijkt een voorziening noodzakelijk voor de afvoer van "run off". Ter voorkoming van ingesloten laagten is in de grondaanvulling boven de gedempte sloot/laagte een helling gewenst van ca. 30 cm per 100 m.

De toepassing van zakputten lijkt aantrekkelijk uit het oogpunt van grondverzetsbesparing, doch het gesignaleerde achterwege blijven van noodzakelijk onderhoud doet twijfelen aan de praktische bruikbaarheid van dit type zakput.

Wanneer door bewerkingen de helling in de aanvulling wordt verstoord, is het gewenst de afvoermogelijkheid van overtollige neerslag te herstellen middels het (herhaald) aanbrengen van een ondiepe greppel.

Aspecten van grondverzet

Ploegen en afschuiven is een goedkope methode om te voorzien in het structurele grondtekort bij perceelsvergroting. Deze methode resulteert echter wel in een verschraling van de toch al dunne en humusarme bouwvoor. Op het proefobject is bij goed ploegwerk een verschraling geconstateerd van gemiddeld 18% (10-40%). De hierdoor toenemende slempgevoeligheid wordt door een diepere ontwatering gecompenseerd.

Hoewel door diepploegen (tot 0,50 m) de aanwezige ploegzool is verwijderd, is er in de nieuwe situatie door het afschuiven weer een verdichting onder de bouwvoor ontstaan die het karakter van een ploegzool draagt. Door grondtransport met dumpers wordt de grond onder een sterk ontwikkelde ploegzool niet meetbaar verdicht, ontbreekt deze dan kunnen verdichtingen ontstaan tot 0,70 m diepte. Sterke verdichtingen kwamen voor in gedempte sloten en laagten, waar met een bulldozer verdichtend is gereden ten einde nazakkingen te beperken.

Zijn verdichtingen opgetreden, dan heeft het zin deze te verbeteren indien de indringingsweerstand over enige diepte onder de bouwvoor meer is dan 45 kg/cm.

Wordt een woeler ingezet, dan mag de verhouding werkdiepte - breedte van de woelpoot niet groter zijn dan 4 : 1, terwijl de onderlinge afstand niet meer mag zijn dan 1/3 keer de werkdiepte vermeerderd met de breedte van de woelpoot. Effectief is het woelen in combinatie met landbouwkundig ploegen, voor zover de werkdiepte ten minste 0,50 m bedraagt.

Geen verdichting is aangetroffen in opgehoogde perceelsranden, waar de ondergeschoven bouwvoor met een kerend werkende ploeg weer naar boven is gebracht. Behalve in kruispunten van ophogingen is deze bewerking goed toepasbaar gebleken.

Gewasreacties

Opbrengstdepressies in de verdichte laagten varieerden van 15-30% bij aardappelen, van 0-60% bij granen en van 0-10% bij bieten. Op gediepte ploegde en afgeschoven kruinen werd alleen bij aardappelen een depressie van 20% gemeten. Gelet op deze opbrengstdepressies is het van belang verdichtingen zoveel mogelijk te voorkomen. Verdichtend rijden met een bulldozer ter beperking van latere nazakkingen kan derhalve beter achterwege blijven.

Economische evaluatie

Alhoewel niet alle inrichtingsvarianten van het proefobject te Kloosterburen representatief zullen en kunnen zijn voor toepassing op praktijkschaal, zijn de gemiddelde inrichtingskosten en de te verwachten jaarlijkse baten toch een belangrijke indicatie voor de economische haalbaarheid. Uit theoretische berekeningen, verricht aan een proefcomplex in de ruilverkaveling "De Marne", bleek dat de verhouding tussen jaarlijkse baten en de noodzakelijke investering bij perceelsvergroting met aangepaste egalisatie in het gunstigste geval ruim 7% bedroeg (Kester en Sprik, 1974).

Sinds de toen uitgevoerde berekeningen is het bouwplan, met name in dit deel van Noord-Groningen, in belangrijke mate geïntensiveerd. Anno 1980 bestaat het bouwplan op de onderhavige gronden uit: 50% granen, 25% poot-aardappelen, 5% consumptieaardappelen en 20% suikerbieten.

De baten van het ingerichte proefobject ten opzichte van de oude situatie

zijn bij een nagenoeg gelijkblijvend bouwplan benaderd middels een daarvoor bij de Landinrichtingsdienst bestaand programma. Het totaal aan jaarlijkse baten bedraagt gemiddeld f 757 per ha per jaar. De hiertegenoverstaande investeringen bedragen, exclusief de voor onderzoek noodzakelijke investeringen, gemiddeld f 4.570 per ha (prijspeil nov 1979). Ter wille van vergelijkbaarheid met vroegere berekeningen (Kester en Sprik) is een investeringseffect bepaald; deze is nu 16,5%. De interne rentevoet bedraagt 16,4%.

Toepassingsmogelijkheden

Omtrent de toepasbaarheid van deze inrichtingsmethode moet gedacht worden aan (overwegend) bouwlandgebieden op de kruinige lichte zavelgronden van het noordelijk klei mozaïekgebied. In het kader van ruilverkavelingen worden percelen hier veelal vergroot tot ca. 20% van de bedrijfsoppervlakte of tot maximaal 10 ha.

In principe is perceelsvergroting door aangepaste egalisatie toe te passen overal in deze gebieden mogelijk. Een drooglegging van ten minste 1,30 m van de gemiddeld laagste gronden is in de akkerbouwgebieden van het noordelijk zeekleigebied aan te bevelen. Bij slootdemping met aanvulling onder helling zal het desondanks nog wel voorkomen dat het beginpunt van de helling (bij de kavelsloot) boven "het slootbakje" opgehoogd moet worden om een drooglegging van 1,30 m te realiseren. In hoeverre met alleen slootvervangende drainage kan worden volstaan zal afhangen van de te overbruggen afstanden, de hoogte van de kruinen ten opzichte van de ontwateringsbasis en de hydrologische eigenschappen van de ondergrond (kD-waarde).

Wat dit laatste betreft kan worden opgemerkt dat de relevante gronden gekenmerkt worden door een vrij homogene ondergrond. Ook geldt dat kD-waarden bepaald middels de boorgatenmethode, te lage waarden aangeven. Indien slootvervangende drainage niet toereikend is om de ontwateringseisen te kunnen realiseren, zal aanvullend gedraineerd moeten worden. Hierbij valt te denken aan één of twee zeer diepe tussendrainen (in de kruin).

De noodzaak van zakputten komt pas bij forse perceelsvergrotingen aan de orde (8 ha en meer), afhankelijk van de lengte/breedteverhouding van het nieuwe perceel en de perceelsgrootte in de uitgangssituatie.

Wordt de toepassing van een zakput overwogen, dan is een minder onderhoudsgevoelig type aan te bevelen.

De grondbehoefte is afhankelijk van de perceelsgrootte nu en na vergroting, de kruinigheid en de lengte/breedteverhouding, alsmede de aanwezigheid van al bestaande en nog aan te vullen laagten. In de meeste gevallen zal aanvullend op de beschikbare grond uit watergangen nog grond gewonnen worden door ploegen en afschuiven. Om de kruinige topografie te behouden is het aan te bevelen de plekken met ploegen en afschuiven niet te kiezen ter plaatse van hoge aanvullingen.

Gebaseerd op de uitgangspunten en bevindingen van het proefobject te Kloosterburen zijn varianten van perceelsvergroting doorberekend om voor praktijkgevallen een indicatie te geven van baten en inrichtingskosten. In de 12 onderscheiden rekenvarianten zijn bedrijfsgrootte en bouwplan constant verondersteld. De inrichtingskosten zijn genormeerd op basis van het aantal benodigde m³ grond, het aantal m' slootvervangende drainage en een bedrag van f 1200 per ha voor waterbeheersingswerken in ruilverkavelingsverband in vrijlozende gebieden. Een m³ grond kost "all in" f 8 à f 9 afhankelijk van de mate waarin deze met ploegen en afschuiven beschikbaar komt. Een m' slootvervangende drainage (in principe 4 enkelvoudige reeksen per sloot) kost "all in" f 4,50 à f 5,50, afhankelijk van de mate waarin samengestelde drainage noodzakelijk is. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de aldus berekende inrichtingskosten per variant.

Tabel 1

Perceelsgrootte oude situatie	Perceelsgrootte na inrichting			
	5,0 ha	7,5 ha	10,0 ha	15,0 ha
1,5 ha	180 m ³	300 m ³	350 m ³	380 m ³
	3745	5190	5850	6190
	205 m'	320 m'	370 m'	390 m'
2,5 ha	160 m ³	220 m ³	260 m ³	290 m ³
	3450	4260	4760	5090
	180 m'	240 m'	270 m'	285 m'
5,0 ha	90 m ³	180 m ³	205 m ³	250 m ³
	2665	3630	4145	4625
	145 m'	180 m'	220 m'	260 m'

In navolging van de batenberekening van het proefobject zijn ook voor deze varianten de baten van de inrichting berekend. Vergeleken is de situatie voor en na inrichting, uitgaande van een nagenoeg gelijkblijvend bouwplan dat representatief voor deze streek is en een gelijke bedrijfs-grootte. De resultaten van deze batenberekening geven te zien dat het rendement van de investering bij deze inrichtingsmethode hoog is, als gevolg van het intensieve bouwplan. Op nationaal economische basis loopt de interne rentevoet (bij een periode van 30 jaar) uiteen van 15,5% - 23%. Dit hoge rendement wordt vooral teweeggebracht door de hoge baten van een betere ontwateringssituatie (intensief bouwplan) en de relatief lage investeringen. Een nadere analyse van de interne rentevoet van deze 12 rekenalternatieven geeft aan dat het rendement van alleen perceelsvergroting (grondverzet) afneemt naarmate de basispercelen groter zijn, de mate van vergroting daarentegen is indifferent. Verbetering van de ontwateringssituatie geeft een interne rentevoet die het dubbele of meer van die van vergroting bedraagt; het rendement is hoger naarmate de basispercelen groter zijn (bij toenemende vergroting van de percelen neemt de interne rentevoet af).

I. INLEIDING

In het noorden van Groningen en noorden en noordwesten van Friesland ligt een kleigebied dat wordt gekenmerkt door een grillige verkaveling. Dit gebied, ook wel aangeduid als het noordelijk klei mozaïekgebied wordt aan de zuidzijde globaal begrensd door de lijn Staveren-Sneek-Leeuwarden-Dokkum-Buitenpost-Groningen-Delfzijl.

In dit gebied komen de relatief hoog gelegen kwelderwallen voor, een oppervlakte omvattend van ca. 35.000 ha.

Het grondgebruik is gericht op akkerbouw.

De percelen in dit kwelderwalgebied zijn in het midden meestal hoger dan langs de randen en hebben daardoor een bolle vorm, aangeduid als kruinigheid.

De bodem is opgebouwd uit een bovengrond van lichte tot zeer lichte zavel en een ondergrond met een in diepte afnemend lutumgehalte.

Het organische stofgehalte van de bovenlaag is vrij laag (ca. 2,5%), waardoor deze gronden in samenhang met de kalkarme bovengrond slempgevoelig zijn.

De perceelsgrootte en -vorm laat te wensen over terwijl de ontwatering en afwatering verbetering behoeft.

Verbetering hierin kan in ruilverkavelingsverband worden gerealiseerd.

Vergroting van percelen moet echter in bedrijfseconomische zin rendabel zijn, evenals de verbetering van de ontwatering.

Percelen kunnen op verschillende wijze worden vergroot.

Een methode is totale egalisatie, hetgeen inhoudt dat na het graven van de perceels- en kavelsloten het nieuwe perceel zodanig wordt geëgaliseerd dat alle voormalige sloten en laagten visueel zijn verdwenen.

De ontwatering vereist hierbij een regelmatig drainagesysteem.

Naast een omvangrijk grondverzet wordt er op grote schaal met zware werktuigen over de toch al structuurgevoelige grond gereden, waardoor in bodem-fysisch opzicht risico's worden geïntroduceerd.

Een tweede methode zou zijn alleen de sloten (tot de insteek) te dempen en dan met een passende ontwatering ervoor zorgen dat de laagten en de hoogten gelijktijdig bewerkbaar zijn.

In een aantal gevallen zou dat betekenen dat dan de polderpeilen drastisch moeten worden verlaagd om een voldoende drooglegging te realiseren.

In Noord-Groningen zal echter het vigerende boezempeil (vrijlozend) niet lager kunnen worden dan 0,93 m -NAP. Deze tweede methode van perceelsvergroting is daardoor niet op grote schaal te realiseren.

Een derde methode is om sloten te dempen en dan de laagten zodanig op te hogen tot de gewenste drooglegging is bereikt.

Bij zowel de tweede als de derde methode moet rekening worden gehouden met over de oppervlakte afstromende neerslag (de zgn. "run off"). Een eventuele "run off" moet snel kunnen worden afgevoerd ten einde (langdurige) plasvorming te voorkomen. Deze eis betekent dat laagten die door slootdemping ontstaan onder een helling moeten worden afgewerkt met het laagste punt bij de openblijvende sloot.

Op basis van rentabiliteitsberekeningen van perceelsvergroting komen Kester en Sprik (1974) tot de conclusie dat de nieuwe percelen zeker een oppervlakte moeten hebben van 8 ha.

Bij zo'n vergaande perceelsvergroting zal het aanbrengen van een helling in de aanvulling van de laagte (t.b.v. "run off") soms tot gevolg hebben dat deze aanvulling tot kruinshoogte oploopt.

Dit zou een aanzienlijk grondverzet met zich meebrengen.

In zo'n situatie kan op het grondverzet worden bespaard door een zgn. ingesloten laagte te maken met op het laagste punt een voorziening om de eventuele "run off" op te vangen en ondergronds af te voeren naar de sloot.

Deze voorziening wordt aangeduid met zakput.

Voor het realiseren van perceelsvergroting is grond nodig.

Gedeeltelijk kan in de grondbehoefte worden voorzien met grond uit nieuw c.q. te hergraven sloten en leidingen.

Omdat de hierbij vrijkomende hoeveelheid grond, vanwege de bestaande situatie in Noord-Groningen, beperkt zal zijn moet aanvullend (bij 8 ha percelen) nog 50 á 90 m³ per ha worden gewonnen.

Een methode van grondwinnen is door met een diepploeg een laag ondergrond op te ploegen en deze ondergrond met bulldozers naar de sloten en laagten af te schuiven.

Dit is de methode van ploegen en afschuiven. Door de wijze van werken en door uitvoeringsfouten zal het niet mogelijk zijn de bouwvoor zonder verschraling (= vermenging met ondergrond) te behouden.

Bij het afschuiven wordt er met zwaar materieel gereden waarbij bodemverdichting kan ontstaan, vooral onder natte omstandigheden.

In het verleden zijn een aantal proeven genomen met kavelinrichting op de zavelgronden die op kwelderwallen liggen.

In 1965/1966 werd een proef aangelegd te Leens, in 1967 het object Morra in de ruilverkaveling Oost en West Dongeradeel en in 1970 te Anjum in dezelfde ruilverkaveling.

Doordat er toen onvoldoende inzicht bestond in de samenhang bewerkbaarheid-ontwateringsdiepte en de mechanisatie nog beperkte eisen stelde, zijn de slootpeilen op de objecten te Leens en Morra niet verlaagd, terwijl de draindieptes daardoor in de laagten beperkt bleven. Proeven met zakputten zijn toen ook genomen, waarbij de aangevulde laagten een verhang hadden van 0,1 m per 100 m. De resultaten waren niet bevredigend, doordat de ontwatering niet goed functioneerde en derhalve van vroege en gelijktijdige bewerkbaarheid geen sprake was.

Te Kloosterburen in de ruilverkaveling De Marne werd een proef opgezet waarin zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van de opgedane ervaringen en verkregen inzichten.

Het doel van deze proef was aspecten van perceelsvergroting met minimaal grondverzet te bestuderen.

Bij de uitvoering is een werkvolgorde aangehouden, waarbij eerst sloten zijn gegraven c.q. hergraven.

Een onderbemaling binnen het object (45 ha) is toegepast om nu al het toekomstige peil in te stellen.

Daarna is drainage aangebracht langs te dempen c.q. aan te vullen laagten; een slootvervangende drainage.

Pas daarna zijn de sloten gedempt en de laagten onder helling van nu 0,3 m per 100 m afgewerkt.

Er kon niet met zekerheid worden aangegeven dat in de nieuwe situatie met diepe ontwatering geen "run off" meer zou optreden. Als alternatief, mede op grond van besparingen in het noodzakelijke grondverzet, zijn in de proef een 3-tal zakputten opgenomen. Tevens was er behoefte de omvang van de eventuele "run off" te meten en de bruikbaarheid van de zakput te testen.

Bij de inrichting is ervan uitgegaan dat de gemiddelde grondwaterstand in de laagten minstens 1.00 m minus maaiveld moet zijn, om een vroege en gelijktijdige bewerkbaarheid van kruinen en laagten te realiseren. Een aantal varianten in de ontwatering zijn daarvoor getest, evenals de wijze van grondverzet, te weten grond uit sloten en ploegen en afschuiven.

De invloed van het uitvoeren van cultuurtechnische werken op de bodem en op gewasopbrengst is bestudeerd.

Om vergelijkend onderzoek mogelijk te maken is de inrichting van het object aangepast. Voor het meten van de "run off" werd een gesloten buis van zakput naar de sloot gelegd. Percelen zijn extra vergroot om meerdere zakputten te kunnen aanleggen. Tezamen met de binnen het object gelegen onderbemalingssloot had dit tot gevolg dat de slootvervangende drainage van alle oorspronkelijke percelen veelal een samengesteld karakter kreeg. Alleen al om uitvoeringstechnische redenen zal men dit in de praktijk proberen te voorkomen.

Een aantal facetten van perceelsvergroting op de kwelderwallen zijn afzonderlijk in een grote proef bestudeerd.

De resultaten van het onderzoek aan de verschillende facetten van perceelsvergroting kunnen worden toegepast onder praktijkomstandigheden op soortgelijke gronden. De op het proefobject uitgevoerde perceelsvergroting kan op zich niet als praktijkvoorbeeld worden opgevat.

II. BODEMKUNDIGE BESCHRIJVING VAN DE LICHTE ZAVELGRONDEN IN HET KLEI MOZAÏEKGEBIED

Bodemkundige opbouw van het noordelijk zee kle gebied

De kleigronden van het vaste land van Groningen en Friesland beslaan ca. 270.00 ha en zijn tot op een diepte van 2,50 m opgebouwd uit mariene sedimenten die alle in het Holoceen zijn afgezet.

Naar ouderdom en ligging worden ze onderscheiden in:

- oude kwelder- en zeeboezemafzettingen
- knipklei- of knikkleiafzettingen
- laat-middeleeuwse kleiafzettingen
- jonge kwelder- en zeeboezemafzettingen.

Fig. II.1 is een schematische weergave van de verschillende afzettingen ten opzichte van elkaar en fig. II.2 geeft de geografische verbreiding van de in deze afzettingen voorkomende gronden.

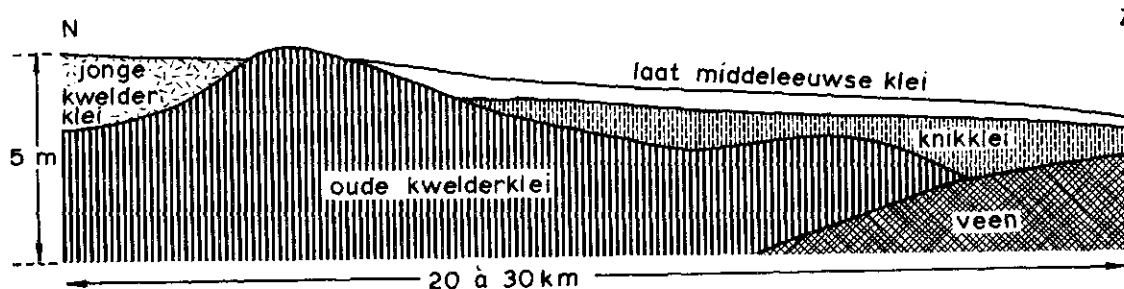
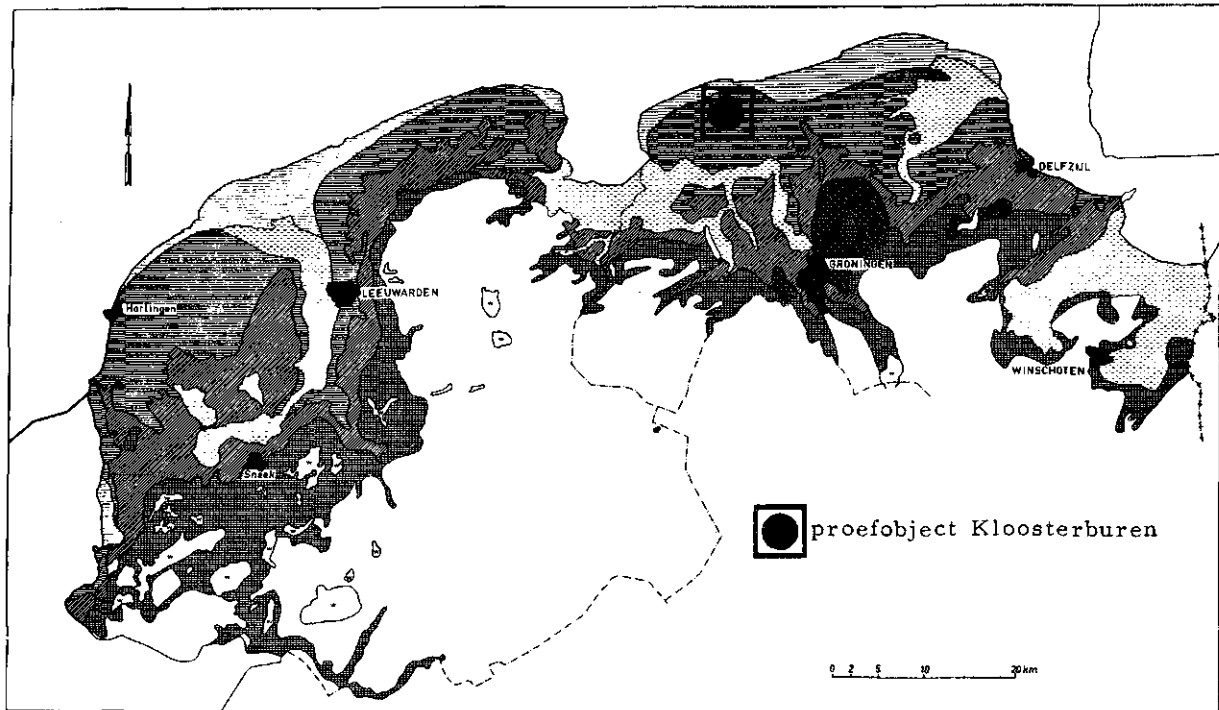


Fig. II.1. De afzetting van de jonge zeelei in de provincie Groningen

Het oude en het hierop aansluitende jonge kwelderlandschap is, met een ligging van 0 - 1,5 m boven NAP, het hoogst gelegen.

In Groningen dankt het 'Hoogland' hieraan zijn naam. De zuidelijker gelegen knipklei- en knikkleigronden liggen duidelijk lager, namelijk lager dan NAP. In Friesland sluiten deze gronden aan op de veengronden van het 'Lage Midden'.











- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | woudgronden, langs de randen gedeeltelijk verjonga |  | jonge zeeboezemgronden |
|  | oude kwelder - en zeeboezemgronden. |  | jonge kweldergronden |
|  | knip- (Fr.) en knik- (Gr.) kleigronden |  | niet tot het kleigebied behorende gronden |
|  | dikke klei-op-veengronden (ca. 40-80 cm kleidek) |  | plassen en meren |

Fig. II.2. Het zeekleigebied van Groningen en Friesland (naar: DE SMET en VLEESHOUWER, 1975 en VEENENBOS, 1952; enigszins gewijzigd)

Kenmerkend voor het oude kwelderlandschap zijn de brede wallen of ruggen (kwelderwallen) met, meer landinwaarts en tussen de ruggen in, de iets lager gelegen kwelderbekkens (fig. II.3). De profielen van de kwelderwallen bestaan uit een kalkarme lichte tot zeer lichte zavelbovengrond, die in de ondergrond overgaat in kalkhoudende wadzand of een gelaagde afzetting van wadzand en klei. De kwelderbekkens bestaan uit zwaardere gronden en zijn in de bovengrond eveneens kalkarm. De kalkarme lichte kweldergronden hebben geen stabiele structuur. In het volgende worden ze nader besproken.

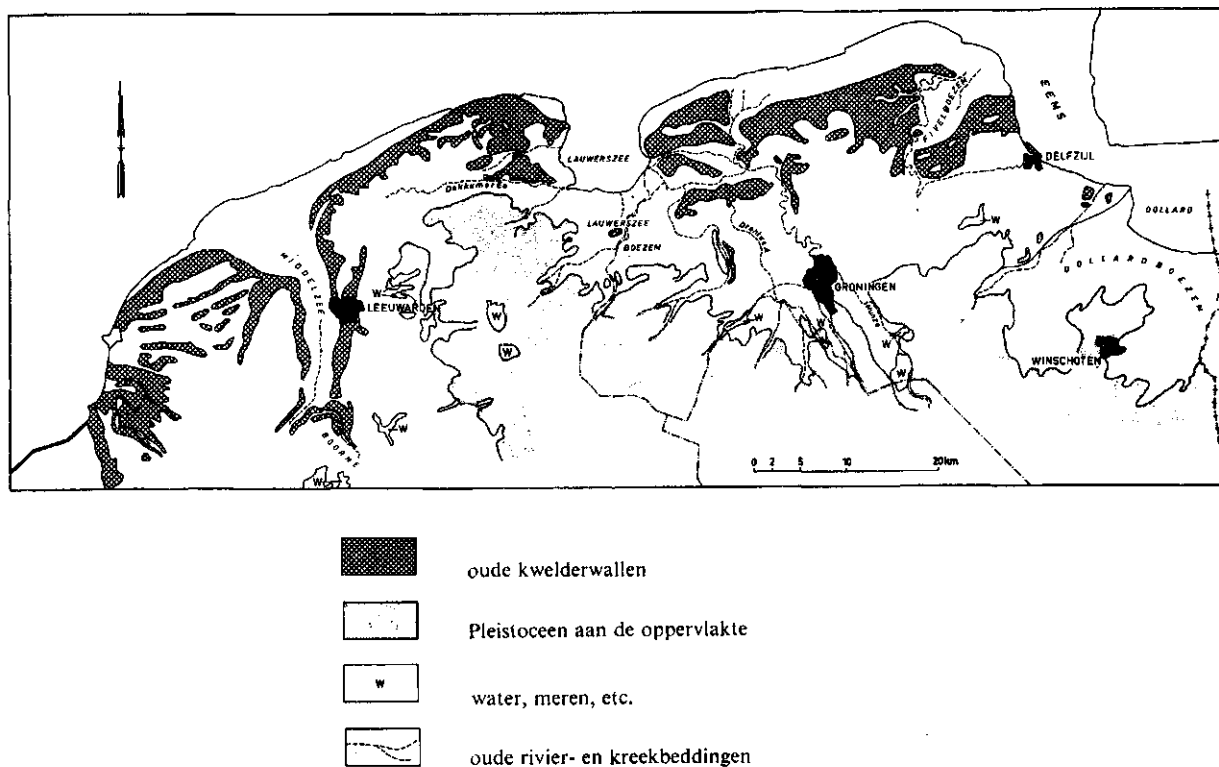


Fig. II.3. De oude kwelderwallen en oude zeeboezems in Groningen en Friesland

De andere gronden blijven verder buiten beschouwing, omdat de te behandelen proeven zijn uitgevoerd op kwelderwalgronden.

Het oude kwelderlandschap; kruinigheid en profielopbouw

Vooraf de kwelderwallen worden gekenmerkt door een bolle of kruinige ligging van de percelen (fig. II.4). De percelen van de kwelderbekkens hebben een vlakkere ligging. De kruinige ligging is niet natuurlijk maar is ontstaan onder invloed van de mens.

De zeer fijnzandige kwelderwalgronden worden gekenmerkt door een gering bergend vermogen en verslempen gemakkelijk.

Een oppervlakkige afwatering was wel geboden, vooral bij gebruik van de grond als akkerbouw. Dit kon bereikt worden door een bolle ligging van de percelen te realiseren. Hierbij werd de grond voortdurend naar het midden geploegd of verplaatst met het vroeger veel gebruikte molbord.



Fig. II.4. Kruijige ligging van de percelen op het proefobject

Dit antropogeen ingrijpen kan duidelijk aan het bodemprofiel worden afgelezen. De homogene bovengrond is op het midden van de percelen het dikst (50 - 80 cm) en langs de sloten het dunst (15 - 30 cm). Onder deze bovengrond bevindt zich de kalkhoudende tot kalkrijke, matig gelaagde ondergrond, zodat de kalkdiepte op de kruin ca. 0,60 à 0,90 m en aan de slootkant ca. 0,25 à 0,40 m beneden maaiveld is. Uit het verschil van de kalkdieptecijfers kan worden berekend hoeveel grond vanaf de sloten naar het midden verplaatst is (DE BAKKER,).

Een andere aanwijzing is het al dan niet voorkomen van de 'stugge' laag in het profiel, namelijk een dunne, iets zwaardere, compacte laag op de overgang van de homogene bovengrond en kalkhoudende, gelaagde ondergrond. De stugge laag wordt wel in het profiel op de kruin aangetroffen, maar niet in het profiel aan de slootkant; de stugge laag bij de sloot is namelijk weggeploegd.

Het 'bol' ploegen van de percelen is na de tweede wereldoorlog achterwege gebleven. Met behulp van de tractor was het niet goed mogelijk de laatste voor langs de sloot open te ploegen; de grond werd toen meer naar de sloot toe geploegd. Vlak aan de slootinsteek is hierdoor weer een iets dikkere bouwvoor ontstaan, terwijl deze ca. 3 m kruinwaarts dunner en schraler is geworden. De toenemende mechanisatie heeft verder met zich meegebracht, dat er grote behoefte is ontstaan aan perceelsvergroting. Veel sloten en greppels zijn gedempt, waardoor percelen zijn ontstaan met een aantal kruinen en kruintjes gescheiden door laagten. De ontwatering is hierbij niet aangepast, zodat wateroverlast in de laagten vaak optreedt. De verschillende ontwikkelingsstadia van het oorspronkelijk kwelderwalprofiel is in Fig. II.5 schematisch weergegeven.

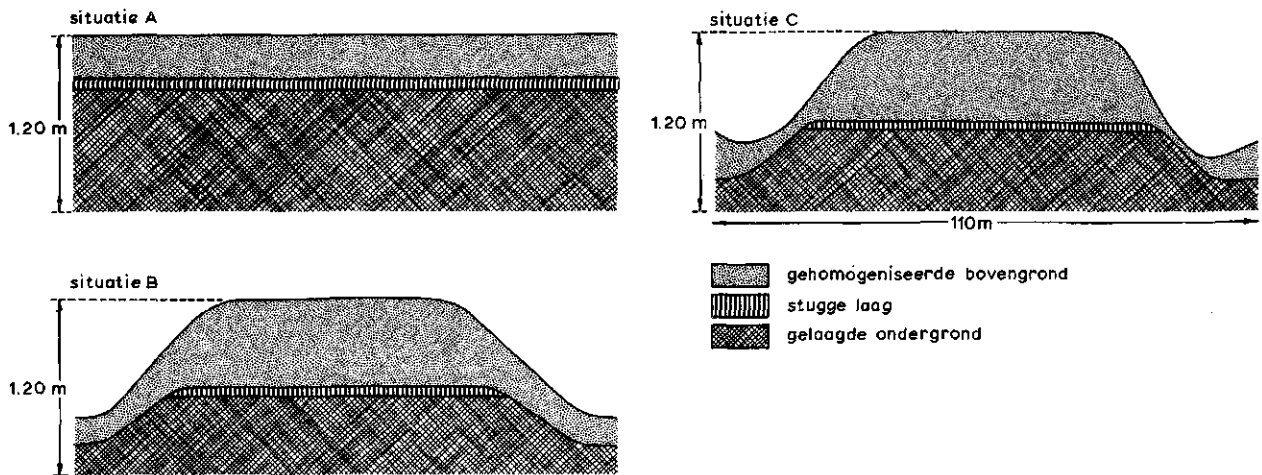


Fig. II.5. Schematische voorstelling van de ontwikkeling van een kruinig perceel op een kwelderwalprofiel

A. Oorspronkelijk profiel

B. Kruinige opbouw tot circa 1945

C. Na 1945, er wordt naar de sloot toe geplougd.

Bodemgesteldheid van het proefobject te Kloosterburen

Het proefobject ligt op de kwelderwal Hornhuizen-Kloosterburen even ten noordoosten van Kloosterburen. Van vrijwel ieder perceel van het bedrijf is het middengedeelte, de kruin, hoger dan de strook langs de sloten, de laagte. Het bodemkundig onderzoek is uitgevoerd door te boren tot een diepte van 1,20 m beneden maaiveld en soms meer. Bij de bodemkundige opname werd aandacht geschonken aan de zwaarte, koolzure kalkgehalte en humusgehalte van boven- en ondergrond en verder aan het voorkomen van 'storende' lagen en de mate van gelaagdheid van de ondergrond.

Tenslotte is de diepte waarop de reductiehorizont in het profiel voorkomt, opgenomen.

De resultaten van dit onderzoek zijn in een bodemkaart, enkele afgeleide kaarten en een aantal doorsneden weergegeven. (DANIËLS en DE SMET, 1971). Hiervan wordt in het volgende slechts een korte samenvatting gegeven.

B o d e m k a a r t

De legenda van de kaartbladenkartering 1 : 50.000 heeft als uitgangspunt gediend voor de bodemkundige indeling van deze kaart.

Een 12-tal bodemeenheden konden worden onderscheiden (tabel II.1).

Tabel II.1. Onderscheiden bodemeenheden, legenda van de bodemkaart van het proefobject te Kloosterburen

Ligging in het terrein	K r u i n e n			L a a g t e n	
ZEEKLEIGRONDEN, Poldervaaggronden (code) (Mn.....)					
Zwaarte (lutumgehalte) van de bovengrond					
zeer lichte zavel 8 - 12 % (0)	Mn05bC	sMn05bC	sMn05eC	Mn05eB	
matig lichte zavel 12 - 17½ % (1)	Mn15bC	sMn15bC	sMn15eC	sMn15eB	Mn15eB Mn15eA
zware zavel 17½- 25 % (2)				Mn25eB	Mn25eA
Profielverloop (code)	overwegend oplopend (5b)		overwegend met zwaardere tussenlaag (5e)		
Stugge laag (code)	geen -	iets stug (s.....)	stug (S.....)	geen -	
Koolzure-kalkverloop (code)	kalkarm en kalkloos (C)	ondiep kalkarm en kalkloos (B)	kalkrijk (A)		
Beginndiepte van de koolzure kalk	> 50 cm $\bar{m}v.$	30 - 50 cm $\bar{m}v.$	< 30 cm $\bar{m}v.$		
Reductiediepte	> 120 à 130 cm $\bar{m}v.$ < 120 à 130 cm $\bar{m}v.$				

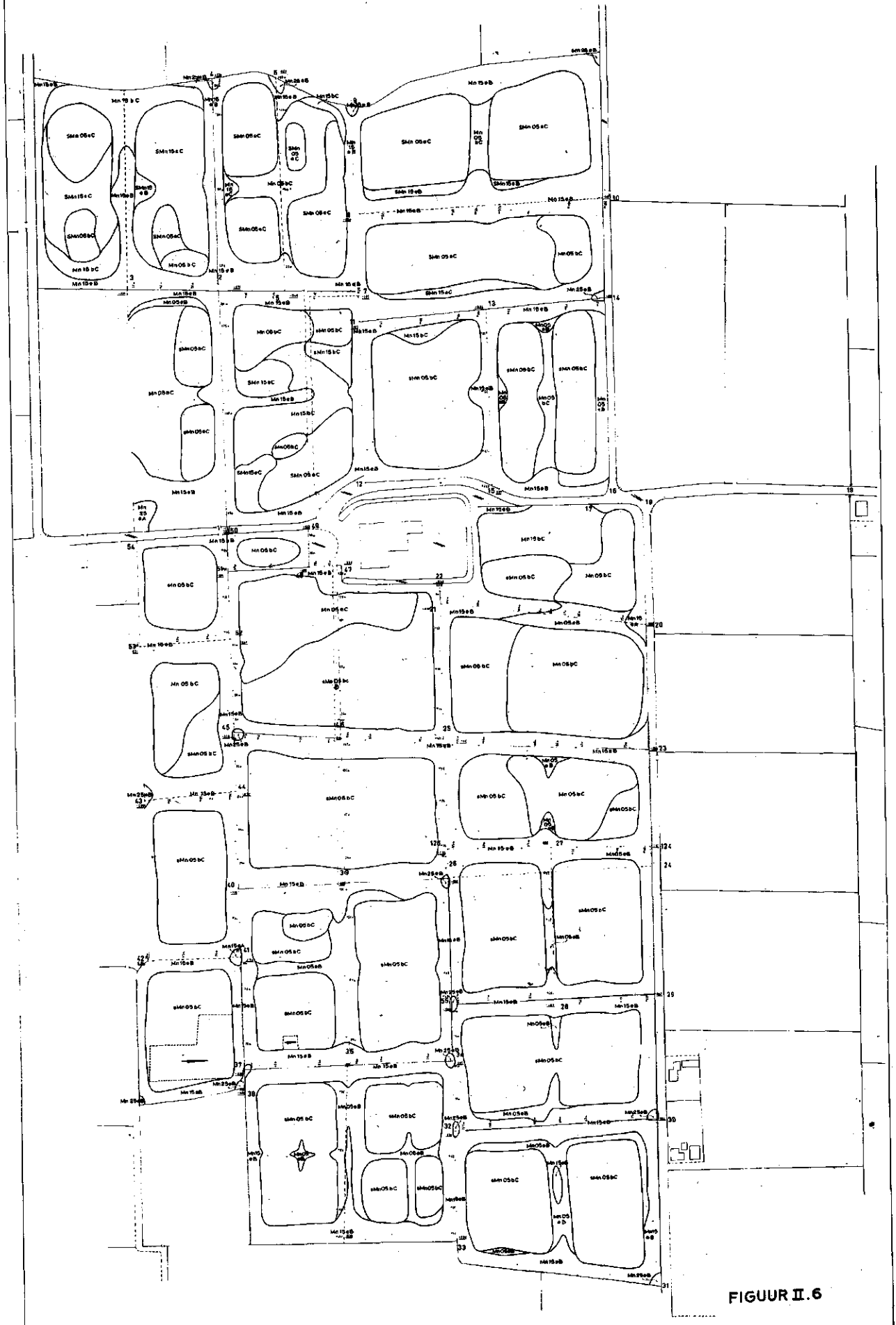
De oorspronkelijke bodemkaart, schaal 1 : 1000, is vereenvoudigd en in fig II.6 weergegeven.

Ten noorden van de Oudedijksterweg, waaraan de boerderij ligt, wordt de grootste oppervlakte van de kruinen ingenomen door zeer tot matig lichte zwavelgronden met een stugge laag (eenheden sMn05eC en sMn15eC) of een matig stugge laag (eenheid sMn15bC) in het profiel.

Ten zuiden van de weg komt op de kruinen overwegend zeer lichte zavelgronden voor, gekenmerkt door een matig stugge laag in de ondergrond (eenheid sMn05b). Kleinere vlakken van kruinen, zowel ten noorden als ten zuiden van de Oudedijksterweg worden ingenomen door profielen, die geen stugge lagen bevatten (bodemeenheden Mn05bC).

De profielen in de laagten kunnen wat de bovengrond betreft in zwaarte variëren van zeer lichte tot zware zavel. Overwegend treft men matig

BEDRIJF HALSEMA, KLOOSTERBUREN
BODEMKAART



FIGUUR II.6

lichte zavel aan, in hoofdzaak bestaande uit eenheid Mn15eB, in een enkel geval uit de eenheden Mn15eA en SM15eB. In geleidelijke overgangen naar de kruinen en in kleine laagten van reeds lang geleden gedempte sloten of greppels komt de eenheid Mn05eB veel voor en op de hoeken van percelen gedeeltes met zware zavel (eenheid Mn25eB, soms eenheid Mn25eA).

Het voorkomen van verdichte horizonten onder de bouwvoor (ploegzolen) kan op de kruinen van plaats tot plaats sterk wisselen en is daarom op de bodemkaart niet aangegeven.

B o d e m f y s i s c h e p r o f i e l e i g e n s c h a p p e n
o p h e t o b j e c t K l o o s t e r b u r e n

De ruimtelijke opbouw van verschillende bodemlagen is gemeten op 15 plekken voordat er cultuur-technische werken waren uitgevoerd. De helft van het aantal plekken lag op een kruin, de andere helft langs slootkanten. Op deze plekken zijn volumemonsters gestoken in gegraven kuilen. Aan de monsters is naast het poriënvolume de vocht karakteristiek bepaald. De vocht karakteristiek weerspiegelt de grootteverdeling van de poriën in de bodem.

In tabel II.2 zijn de resultaten samengevat.

Tabel II.2. Gemiddelde vocht karakteristieken in kruinen en aan slootkanten in 1970

Laag	Jaar	Poriën- volume	Vol. % water bij pF				
			1,0	1,5	2,0	4,2	6,0
Kruinen							
0 - 25	1970	42,1	37,4	36,5	32,2	8,9	1,6
25 - 50	1970	42,1	37,8	36,4	31,1	9,2	1,4
50 - 100	1970	43,2	39,8	38,4	34,3	10,1	1,5
Slootkanten							
0 - 25	1970	40,9	38,3	37,7	36,8	10,5	1,7
25 - 50	1970	40,9	39,7	39,1	36,8	8,6	1,2
50 - 100	1970	43,4	42,0	41,4	40,0	7,2	0,9

Het vochtgehalte bij pF 2 is op de kruinen duidelijk lager dan aan de slootkanten.

Het poriënvolume in de laag 0 - 0,50 m mv. is op de kruinen duidelijk hoger dan langs de slootkanten. De grond daar is dicht. Het luchtgehalte in de bovenste laag bij pF 2 is op de kruinen beduidend hoger dan langs de slootkanten. De maximale hoeveelheid beschikbare vocht in de bovenste lagen is echter in de laagten groter.

III. INRICHTING VAN HET PROEFOBJECT TE KLOOSTERBUREN

A l g e m e e n

Het proefobject is ca. 43 ha groot en ligt vrij centraal in het bouwland-gedeelte van Noordwest-Groningen (fig. II.2).

In de oude situatie bestond het object uit 17 min of meer rechthoekige percelen, allen gekenmerkt door een kruinige maaiveldsligging. De hoogteverschillen binnen het object liepen uiteen van 1,70 m' +NAP voor de hoogste kruin tot ca. 0,20 m' +NAP voor de laagste slootkanten. Een zevental dwarslaagten, ontstaan door slootdemping in het verleden, wezen op de behoefte aan perceelsvergroting. Deze laagten hadden, evenals de afhellende slootkanten in natte perioden een zeer geringe drooglegging en vormden dientengevolge een belemmering voor een vroegtijdige bewerking in het voorjaar.

Het overgrote deel van Noord-Groningen is een vrijlozend gebied, waarbij de wijdvertakte maren de hoofdafvoeraders zijn die het overtollige water uiteindelijk naar het Lauwersmeer voeren. Het nagestreefde boezempeil is 0,93 m' +NAP.

Ten tijde van de proefuitvoering was de ruilverkaveling "De Marne", waarbinnen het proefobject is gelegen, nog niet in uitvoering. Als gevolg van de veelal geringe afmetingen van perceels- en kavelsloten was de kwaliteit van de detailontwatering toen in het algemeen matig. Zo werden op het nog niet ingerichte object gedurende het winterseizoen slootwaterstanden gemeten van ca. 0,20 m' -NAP.

De incidenteel aanwezige drainage, in hoofdzaak gericht op de ontwatering van lage perceelsgedeelten, is ondiep aangelegd en merendeels oud.

U i t g a n g s p u n t e n v a n h e t i n r i c h t i n g s p l a n

Aanleiding tot het onderhavige proefobject was de problematiek van de kavelinrichting in Noord-Groningen, waar op dat moment een 4-tal ruilverkavelingen in voorbereiding was. De noodzakelijke perceelsvergroting in deze ruilverkavelingen zou een enorm grondverzet met zich meebrengen, dat niet alleen hoge uitvoeringskosten betekende doch ook veel risico's inhield op de (zeer) structuurgevoelige grond. Mee op grond van het toenmalige bouwplan met ca. 60 à 65% graan (anno 1980 is dit: 50% graan, 45% hakvruchten en ca. 5% handelsgewassen en gras) is gezocht naar een

inrichtingsmethode waarbij grondverzet zoveel mogelijk kon worden beperkt. In proefcomplexen binnen de ruilverkaveling "De Marne" waren van een groot aantal inrichtingsvarianten de kosten en baten uitgerekend. Omtrent de meest belovende varianten bestond op zeer korte termijn behoefte de technische uitvoerbaarheid te testen. Bovendien had een voorloper van het proefobject te Kloosterburen, nl. een object van ca. 13 ha in de ruilverkaveling Zwintocht een aantal onvolkomenheden in de uitgangspunten naar voren gebracht.

Aldus had het proefobject te Kloosterburen een zeer actuele betekenis voor de in 1973 gestemde ruilverkaveling "De Marne".

a. Perceelsvergroting

In bouwlandgebieden van Noord-Groningen streeft men thans naar bewerkings-eenheden van ca. 20% van de bedrijfsoppervlakte of tot maximaal ca. 10 ha. Vanwege de in deze regio gebruikelijke scheiding van de kavelinrichtingswerken in een deel aanvaarding en een deel kavelverbeteringswerk zal genoemde perceelsvergroting nagenoeg geheel in het kader van laatstgenoemde categorie moeten plaatsvinden.

De uit oogpunt van kosten en baten meest belovende inrichtingsvarianten waren gebaseerd op een (sterk) beperkt grondverzet en het eventueel invoeren van zakputten.

Voor het proefobject te Kloosterburen is uitgegaan van een perceelsvergroting van gemiddeld 2,5 ha naar gemiddeld 10,8 ha.

Ter beperking van het grondverzet is uitgegaan van een "aangepaste" egalisatie, hetgeen inhoudt dat gedempte sloten als laagten in het terrein zichtbaar blijven. Boven de gedempte sloot of boven een reeds bestaande laagte is vanaf de openblijvende sloot een grondaanvulling onder helling noodzakelijk om het eventueel van de kruin afstromende hemelwater ("run off") te kunnen afvoeren. De minimale aanvulhoogte nabij de kavel-sloot is 0,40 m +NAP en van hieruit verloopt de aanvulling onder een constante helling van 0,30 m per 100 m. Aldus ontstaat in lengterichting van de gedempte sloot een dakprofiel.

Echter, bij forse perceelsvergroting zou door een aaneenschakeling van sloten en laagten, de aanvulling alsnog tot kruinshoogte kunnen stijgen, met als gevolg een grotere grondbehoefte. Om in deze situatie de grondbehoefte toch te beperken zijn een 3-tal ingesloten laagten gecreëerd met

op de laagste plek (0,60 m' +NAP) een zakput, waarin het afstromende deel van de neerslag wordt opgevangen en via een p.v.c.-buis naar de sloot kan worden afgevoerd.

Omdat in ruilverkavelingen ook bij aangepaste egalisatie onvoldoende grond vrijkomt uit waterlopen en kavelsloten is in het proefobject ploegen en afschuiven als alternatieve grondwinmogelijkheid opgenomen. Dit opploegen van ondergrond uit kruinen is in het kavelverbeteringswerk vaak ook de aangewezen methode voor aanvullend grond winnen. Vanwege de structuurgevoeligheid van deze gronden is de oppervlakte aan rij- en werkstroken beperkt gehouden tot gemiddeld 35% van de perceelsoppervlakte.

b. Waterbeheersing

Centraal hierbij staat de eis dat het gehele afwaterings- en ontwaterings-systeem zodanig dient te functioneren dat het vergrootte perceel in het voorjaar vroeg en in z'n geheel te bewerken is en dat ook in de herfst de gedempte sloten geen belemmeringen vormen voor de oogstwerkzaamheden. Uitgangspunt voor het te ontwerpen ontwateringssysteem was een gemiddelde winter- en voorjaarsgrondwaterstand van ten minste 1,00 m onder maaiveld. Deze norm is een uitvloeisel van meerjarig onderzoek naar het optreden van slemp en het tijdstip van bewerkbaarheid in het voorjaar in relatie met de grondwaterstand (Boekel).

Naast deze specifieke ontwateringsnorm geldt ook de eis dat in maatgevende natte perioden de grondwaterstand niet hoger mag stijgen dan tot 0,50 m beneden maaiveld.

Om de specifieke norm van 1,00 m beneden maaiveld ook in de gedempte sloten en laagten te kunnen realiseren zijn op deze lage plekken slootvervangende drainages nodig. Uitgaande van een gemiddeld neerslagoverschot van 1,5 à 2 mm/etm in de winterperiode, zou volgens de drainageformule van Hooghoudt op deze gronden bij een drainafstand van ca. 8 m in de laagten een draindiepte van ten minste 1,20 m noodzakelijk zijn om de gemiddelde opbolling van de grondwaterstand tot 1,00 m beneden maaiveld te beperken. Rekening houdend met verhang in de drainreeksen en de wens de uitmondingen boven het slootpeil te houden ontstond aldus een droogleggingsnorm van 1,30 m. Vanwege het boezempeil van 0,93 m -NAP zou aldus de minimale hoogte van de aanvulling 0,40 m +NAP moeten zijn.

Vooruitlopend op de effectuering van het boezempeil in het kader van de ruilverkaveling "De Marne", is voor het proefobject een tijdelijke onderbemaling aangebracht om een peil binnen het object te kunnen realiseren van ca. 0,90 à 1,00 m -NAP.

Gebruikmakend van de natuurlijke hoogteverschillen, waarbij de laagst gelegen delen (gedempte sloten en laagten), relatief intensief gedraineerd worden in de vorm van slootvervangende drains en de hoogst gelegen delen (de tussenliggende kruinen) een grote bufferwerking hebben, is verder geen drainage aangelegd.

Vanwege de noodzaak tot onderbemaling, diende alle slootvervangende drainage in de binnensloot uit te monden, hetgeen met name bij de vergaanden perceelsvergroting een ingewikkeld systeem van samengestelde drainage betekende.

Op grond van een veronderstelde "run off" en ter beperking van het grondverzet, zijn een 3-tal zakputten aangelegd. Deze zakputten zijn gesitueerd op de laagste plek van een ingesloten laagte. Van hieruit kan het water door een gesloten buis naar de onderbemalingssloot, waar de afvoer werd geregistreerd. Normaal zou op een drain kunnen worden aangesloten.

I n r i c h t i n g s p l a n

In de (geforceerde) proefopzet zijn de volgende inrichtingsvarianten uitgewerkt (fig. III.1,2):

- a. slootdempen met ingesloten laagten en zakputten c.q. zonder ingesloten laagten;
- b. grondwinnen uit de te graven/te hergraven onderbemalingssloot c.q. door middel van ploegen en afschuiven (ca. 1/3 deel);
- c. slootvervangende drainage in de vorm van één of twee reeksen ter weerszijden van de te dempen sloten en laagten.

Van de 8 mogelijke inrichtingsalternatieven zijn wegens ruimtegebrek 7 gerealiseerd (tabel III.1).

Een nabij gelegen S.B.L.-bedrijf is m.b.t. de ontwateringssituatie als 0-object aangemerkt.

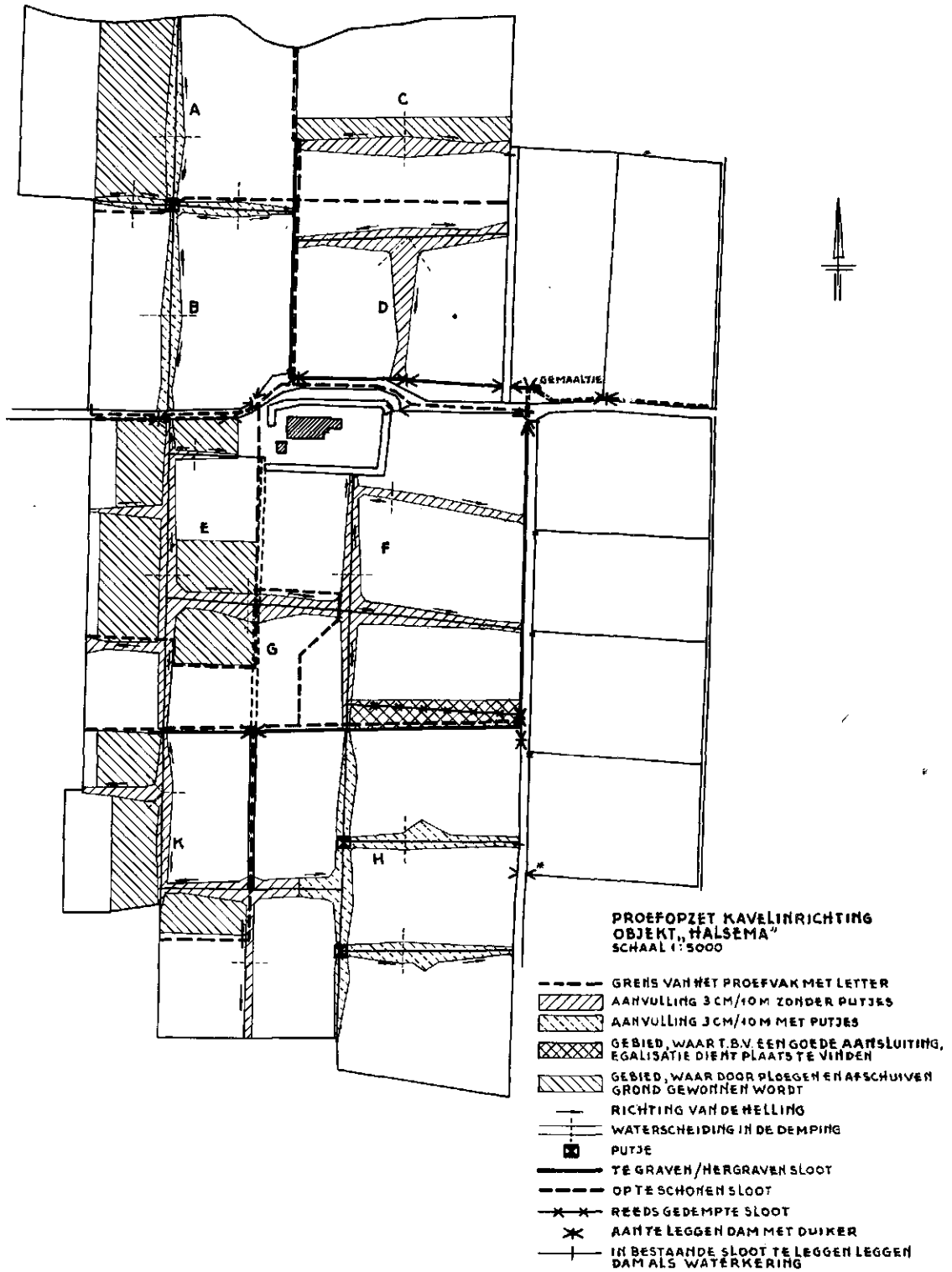


Fig. III.1. Inrichtingsalternatieven op het proefobject

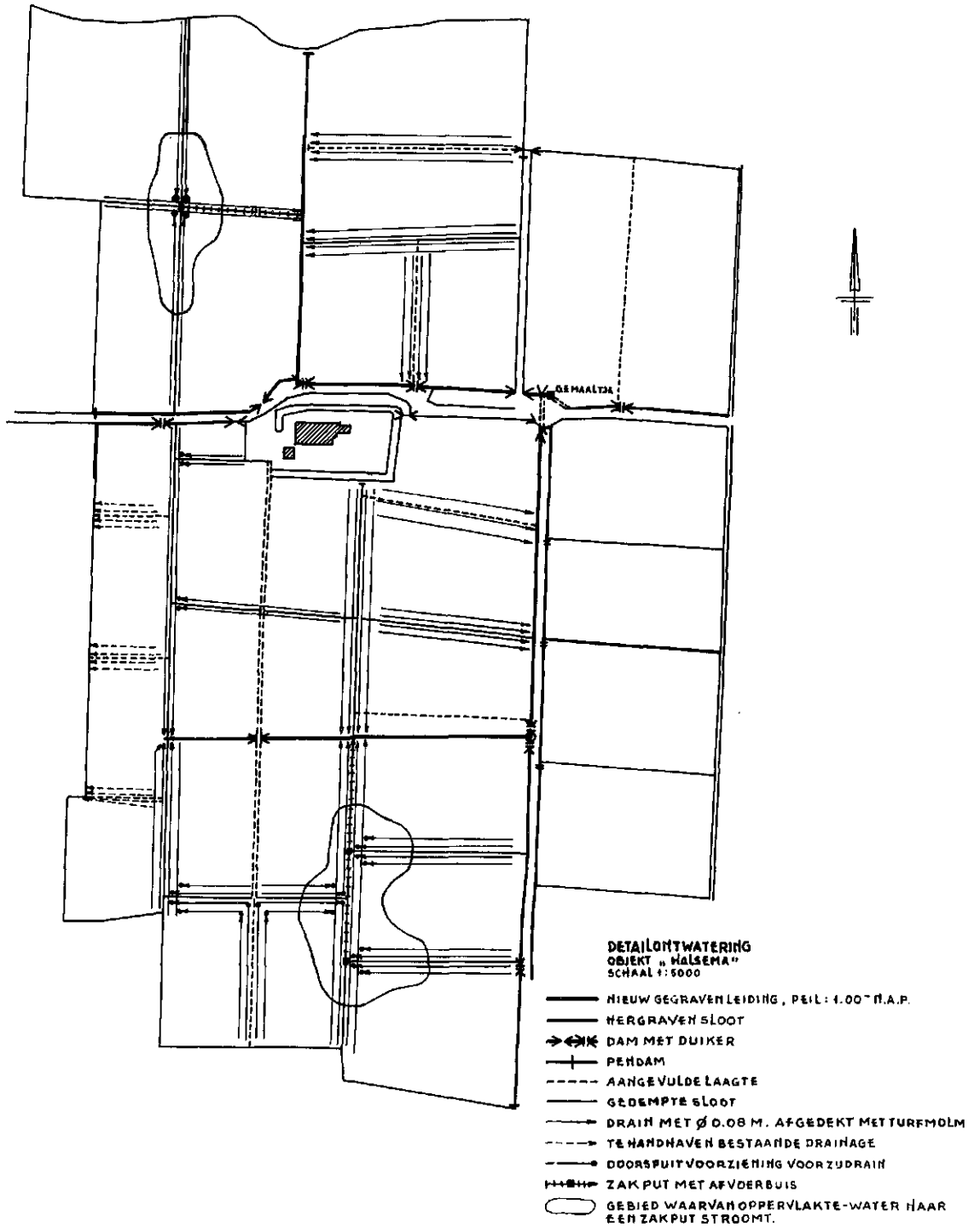


Fig. III.2. Detail ontwatering op het proefobject

Per ha is gemiddeld 64 m' perceelssloot gedempt en 21 m' laagte aangevuld. Hiervoor is een grondbehoefte berekend van gemiddeld 315 m³/ha, waarvan 215 m³ uit kavelsloten en 100 m³/ha d.m.v. ploegen en afschuiven. Dit laatste is meer dan de 50-90 m³/ha waar Kester en Sprik in hun berekeningen voor een proefcomplex vanuit gingen. Het verschil wordt verklaard door de hogere beginaanvulling en door de grotere perceelsgrootte. De grondbehoefte is berekend met het computerprogramma "Poffertje". Terreinwaarnemingen ten behoeve van de input zijn uitgevoerd volgens de methode "Quick".

De gehele inrichting van het proefobject is niet representatief voor de toekomstige inrichting in het gebied. De noodzaak van onderbemaling en de wens de functie van zakputten op hun bruikbaarheid te testen, bracht met zich mee dat grote percelen zijn gemaakt waarin samengestelde drainage onvermijdelijk is. In de praktijksituatie is in alle kavelsloten het boezempeil te realiseren zodat drainreeksen daarop kunnen uitmonden. Voorts zal in de praktijk de perceelsvergroting veelal niet verder gaan dan 8 à 10 ha en ten aanzien van lengte/breedteverhouding zodanig zijn dat opgesloten dwarslaagten (die op het proefobject wel voorkomen) vermeden wordt. Een situatie waarbij 500 m³ grond bespaard kan worden door een zakput aan te brengen zal eveneens weinig voorkomen.

U i t v o e r i n g

Essentieel bij de uitvoering van de proef was de volgorde van werken. De (samengestelde) slootvervangende drainage is aangebracht meteen nadat de onderbemaling geïnstalleerd was en derhalve voordat het dempen van sloten begon. Na het draineren zijn de te dempen sloten eerst opgeschoond. Dit is gedaan om humeuze grond beschikbaar te hebben voor die plekken waar later t.g.v. ploegen en afschuiven geen bovengrond boven de oude sloot beschikbaar komt. Dit had tot gevolg dat nu het overgrote deel van de grond uit kavelsloten eerst in depot moest worden gezet. Experimenteel was ook het opploegen van de oorspronkelijke bovengrond langs vroegere slootkanten en nabij vroegere kruispunten van sloten, waar ondergrond vanaf de kruin was overgeschoven.

Tabel III.1. Overzicht van de inrichtingsalternatieven

Letter van het Proefvak	Dampen		Grondwinnen		Drainage		Sloten			Laagten			
	Met in gesl. laagten en zakputten	zonder	Uitkavel sloten	d.m.v. ploegen en afschuiven	Aantal drains in demping of laagte	Opp.v.h. proefvak in ha	Lengte te dempen slooten in m	Aantal m ³ te dempen sloot per ha	Totaal berekenen de grond beh. in m ³	Lengte aan te vullen laagte in m	Aantal m ³ aan te vullen laagte per ha	Totaal berekenen de grond beh. in m ³	Grondbeh. in m ³ /m ² laagte
G	*	*	*	*	2	2,1	174	83	1067	78	37	143	1,8
D,F	*	*	*	*	*	10,9	617	57	3127	314	30	520	1,7
E	*	*	*	*	*	4,0	378	94	1963	78	20	107	1,4
C,K	*	*	*	*	*	7,1	258	36	764	287	40	426	1,5
B	*	*	*	*	*	4,1	318	78	1379	151	16	81	0,5
H	*	*	*	*	*	9,7	747	77	2615	3,5			
A	*	*	*	*	*	5,1	258	50	840	3,3			
Totalen						43,0	2750	64	11755	908	21	1277	1,4

De weersomstandigheden tijdens de uitvoering van het proefobject waren in het algemeen gunstig. Vooral het slootdempen met grond uit de onderbemalingssloot is onder ideale weersomstandigheden uitgevoerd. Dit geldt ook voor het opploegen van ondergrond. Tijdens het afschuiven van opgeploegde ondergrond zijn de werkzaamheden twee maal stilgelegd vanwege zeer hoge neerslaghoeveelheden. De losse grond op de gediepploegde kruinen bleef lang nat.

Ook de na-egaliseraties van geploegde en gewoelde rij- en werkstroken vond plaats onder minder goede weersomstandigheden.

In het najaar van 1970 is de onderbemalingssloot gegraven; boven- en ondergrond werden gescheiden ontgraven en in depot gezet. De slootafmetingen waren: bodembreedte 0,70 m, bodemhoogte 1,20 m \bar{N} AP, talud 1:2. Het flauwe talud is gekozen vanwege de geringe stabiliteit van de ondergrond.

Aansluitend hierop is de slootvervangende drainage gelegd, bestaande uit aarden buizen met een diameter van 0,08 m en afgedekt met turfmoalm. In de te kruisen sloten werden dammen aangebracht.

Op plaatsen waar aan elke kant van een te dempen sloot twee drainreeksen moesten worden aangebracht kon, gebruikmakend van de afhangende slootkant de buitenste reeks ca. 0,30 m hoger worden gelegd dan de binnenste reeks, waardoor het mogelijk bleek de zijdrains mechanisch te kunnen aanbrengen. In figuur III.3 is met opvolgende nummering de uitvoeringsvolgorde van samengestelde drainage aangegeven.

In verband met later onderhoud zijn de nieuwe zijdrains voorzien van een pvc-doorspuitvoorziening. Deze aansluiting is met een stuk pvc-ribbelbuis verlengd tot ca. 0,40 m \bar{m} v. en afgedekt met een ijzeren plaat. Met behulp van een detector zou naderhand de ijzeren plaat gelokaliseerd worden. Gemiddeld is per ha 240 m² nieuwe drainage aangebracht en 20 m² bestaande drainage gehandhaafd.

De gemiddelde draaindiepte varieert van 1,10 à 1,60 m in de nieuwe laagten tot 1,50 à 2,20 m t.o.v. de kruinen.

Na aanleg van de drainage zijn alle te dempen sloten opgeschoond. De uitkomende bagger is deels aan één kant in depot gezet. Op plekken waar later de ondergrond van weerskanten met een bulldozer zou worden aangevoerd, is de uitkomende slootbagger langs beide slootkanten gespreid (fig. III.4).

In het voorjaar 1971 zijn enkele kruinen gediëpploegd om in het tekort aan ondergrond te voorzien (inrichtingsalternatief). De netto benodigde hoeveelheid grond is met 30% vermeerderd: 15% voor het verlies tijdens het afschuiven en 15% extra in de dempingen en aanvullingen in verband met enige overhoogte. Het opploegen van de ondergrond in de kruinen werd uitgevoerd met een diepploeg, die was opgehangen aan de hefinrichting van een 4-wiel aangedreven Ford County (115 pk). Vanaf de tractor is de diepgang van het vooroplopende grote ploeglichaam hydraulisch instelbaar. Het kleine ploeglichaam bedoeld om de bouwvoor in de diepe voor te werken, kon alleen mechanisch bediend worden. Deze ploegcombinatie bleek vanwege de hydraulische bediening en grote wendbaarheid ook geschikt voor het latere opploegen van de oorspronkelijke bovengrond. Voor het opploegen van een laag van gemiddeld 0,2 m ondergrond is uitgegaan van een constante ploegdiepte, het zogenaamde schilploegen. Hierdoor blijft het bestaande maaiveldsverloop gehandhaafd, alleen de kruinigheid neemt af. Hoewel het de bedoeling was de slootbagger als bouwvoor boven de gedempte sloot te gebruiken, is dit slechts ten dele gelukt. In verwerkte vorm varieerde de dikte van deze nieuwe bouwvoor van 0,05-0,25 m.

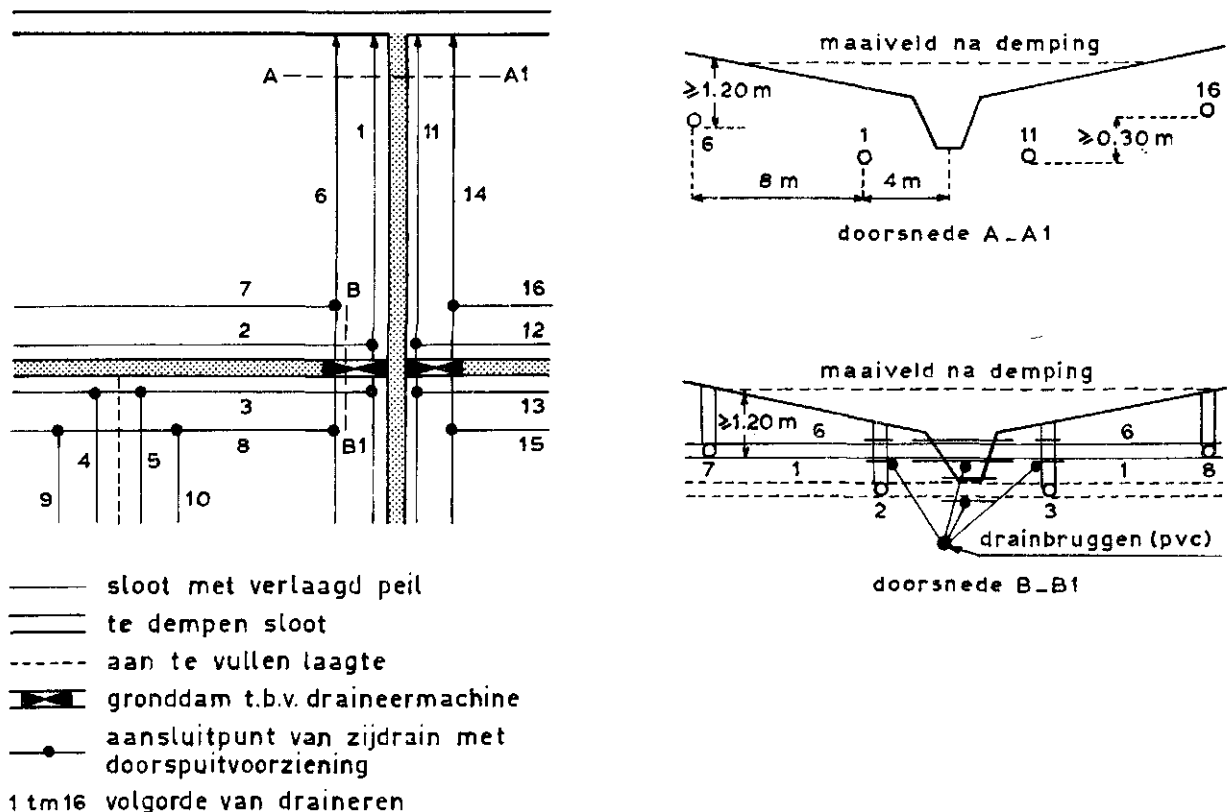


Fig. III.3. Details sloot vervangende drainage

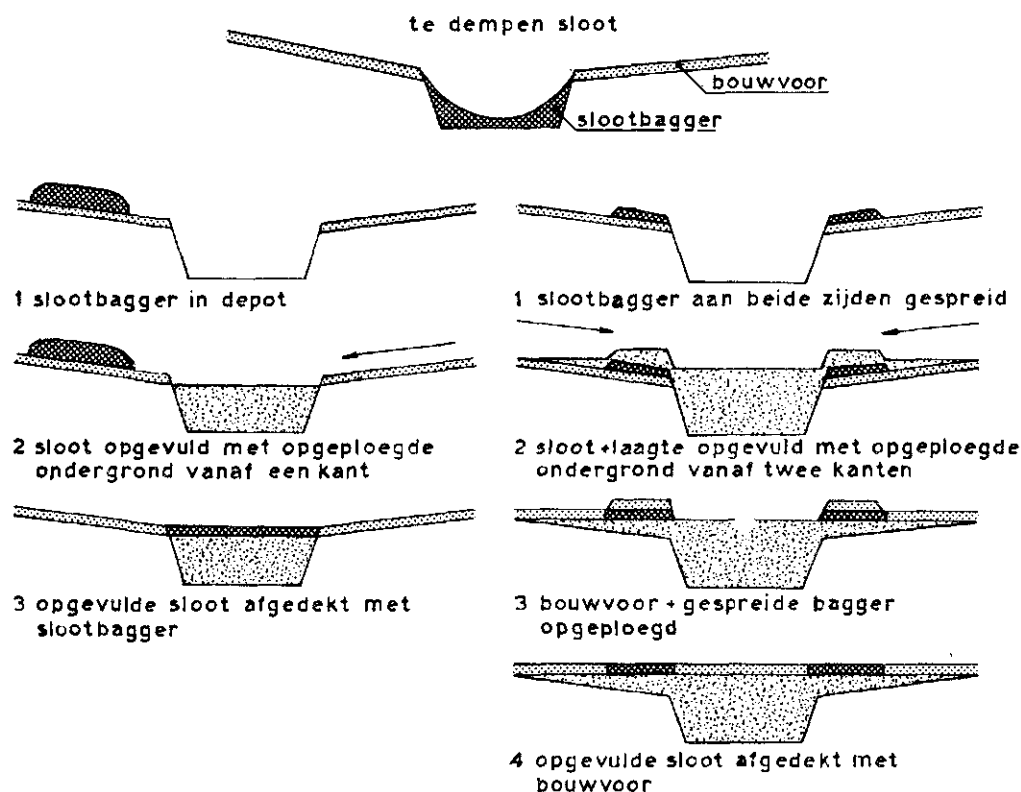


Fig. III.4. Werkwijze bij slootdemping op proefobject

Het opploegen van de oorspronkelijke bouwvoor is beperkt gebleven tot, de inrichtingsalternatieven met ploegen en afschuiven. Bij de laagten is de ploegdiepte van de begin- en eindvoor bepaald door de minimale aanvulhoogte van 0,05 à 0,10 m. De grootste werkdiepte (0,70 m) lag in het midden. Het ploegresultaat kan als goed worden aangemerkt. Na het ploegwerk werden de opgeploegde stroken nageëgaliseerd ter verkrijging van de gewenste lengtehelling.

De grond uit de gegraven drainagesloot is vanuit depot met dumpers naar de te dempen sloten getransporteerd, gescheiden naar onder- en bovengrond. Met een bulldozer zijn de aanvullingen onder de juiste helling afgewerkt. Hierbij werd, ter beperking van latere nazakkingen, de ondergrond laagsgewijze met de bulldozer in de lengterichting van de demping verdicht. Vanwege het surplus aan bovengrond behoefde in deze alternatieven geen oorspronkelijke bouwvoor te worden opgeploegd, wel is deze op enkele plaatsen doorgespit (dragline).

Na realisering van de slootdemping zijn drie zakputten geplaatst. Dit zijn betonnen bakken van 0,60 x 0,60 x 1,00 m aan de bovenkant afgedekt

met een azobehout roosterwerk. Hierop is een laag schelpen, ter dikte van 0,50 m als filtermateriaal aangebracht (fig. III.5).

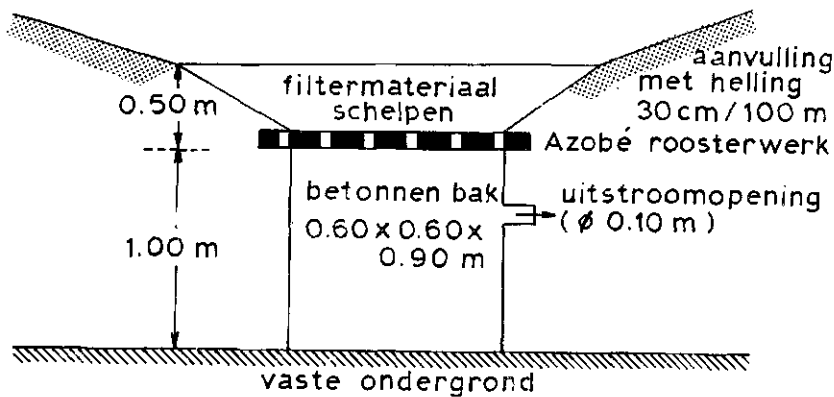


Fig. III.5. Doorsnede zakput

Ten behoeve van afvoermetingen werd de afvoer via een pvc-buis naar de sloot geleid, waar een meetinstrument was opgesteld. Normaal kan op drainage worden aangesloten. De uitstroomopening zit ca. 0,60 m boven de bodem van de zakput (zandvang).

Hoewel de zakput geen belemmering behoeft te vormen voor machinale bewerkingen, moet de schelpenlaag worden gemeden ten einde een goede doorlatendheid van het schelpenpakket te behouden.

Alle rij- en werkstroken (ca. 15 ha) zijn daarna losgemaakt, merendeels met een aan een ploeg gemonteerde ondergrondwoeler (diepte ca. 0,5 m) en gedeeltelijk met een scherpe woeler (diepte 0,6 m, afstand 0,6 m).

IV. WERKING VAN HET ONTWATERINGSSYSTEEM

Ter beoordeling van de werking van het ontwateringssysteem zijn op het object een 2-tal raaien met in totaal 190 grondwaterstandbuizen geplaatst. Gedurende de winter- en voorjaarsperiode (oktober t/m maart) werden deze één keer per week opgenomen, evenals de slootwaterstanden. Soortgelijke metingen zijn uitgevoerd op een niet verbeterd vergelijkingsobject. Tevens waren 4 continu registrerende grondwaterstandmeters geplaatst, verdeeld over twee kruinen en twee laagten, en een continu registrerende neerslagmeter. Ten behoeve van de metingen van oppervlakkig afstromende neerslag werd de afvoer van de zakputten eveneens continu geregistreerd.

N e e r s l a g

De neerslag is vanaf december 1971 tot en met april 1974 gemeten. In de maanden november tot en met februari, viel in het eerste seizoen (1971/1972 vanaf december) 69 mm, in het tweede seizoen (1972/1973) 176 mm en in het derde seizoen (1973/1974) 285 mm, tegenover 237 normaal. Voor de onderscheiden voorjaarsperiode, de maanden maart en april, bedroeg de neerslag totaal respectievelijk 76 en 51 mm tegenover 86 mm normaal. De verdeling van deze neerslag in weektotalen is in fig. IV.1 (zie blz. 36) weergegeven.

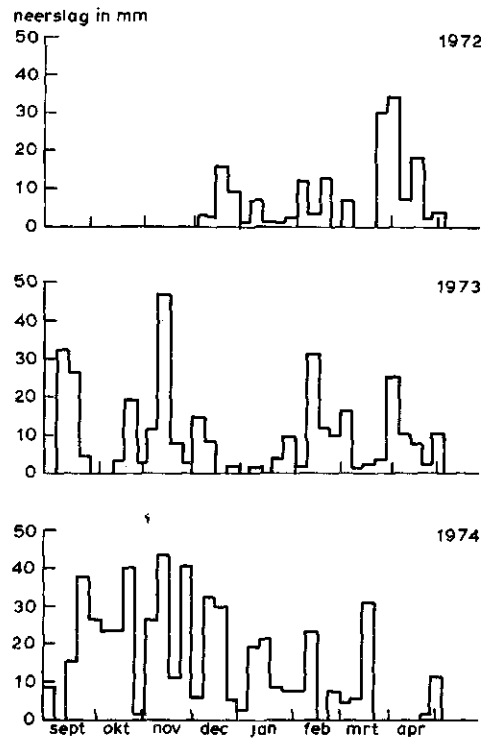


Fig. IV.1. Verloop neerslag per week op het proefobject.

Ontwateringssituatie

Binnen het proefobject zijn een aantal ontwateringsvarianten te onderscheiden. In tabel IV.1 zijn deze weergegeven.

Tabel IV.1. Ontwateringsvarianten op het proefobject en O-object

Eenheid	Aantal	Ontwatering d.m.v.	Opmerking
kruinen	6	sloot met laag peil + drains*	proefobject
kruinen	4	drains*/drains*	"
kruinen	5	sloot met ondiep peil + drains*	"
laagten	7	(gedempte sloot) 4 drains*	"
laagten	3	(gedempte sloot) 2 drains*	"
kruinen	2	sloot met ondiep peil	O-object
slootkant	4	sloot met ondiep peil	"

* slootvervangende drainage

De kruinen hebben in deze indeling steeds een lengte van ca. 50 m. Hierin zijn steeds 3 - 5 grondwaterstandbuizen geplaatst. In de laagten waren 5 respectievelijk 3 buizen, waarvan 3 respectievelijk 1 tussen de drains en 2 buiten de drainreeksen geplaatst. De slootkanten hadden 3 buizen, op 2, 8 en 16 m uit het hart van de sloot geplaatst. Per opnamedatum is per ontwateringsvariant de gemiddelde grondwaterstand berekend. Deze gemiddelde grondwaterstand is verondersteld de gemiddelde grondwaterstand te zijn tussen twee opeenvolgende opnamedata (1 x per week). Uit de aldus verkregen gegevens is per ontwateringsvariant de onderschrijdingsduur van diverse niveaus bepaald voor zowel de winter- als voor de voorjaarsperiode. In fig. IV.2 a en b is dit voor twee seizoenen weergegeven.

Beoordeeld naar de ontwateringseisen van gemiddeld minstens 1,00 m onder maaiveld in winter- en voorjaarsperiode en geen hogere grondwaterstanden dan ca. 0,50 m onder maaiveld in maatgevende natte perioden, kan uit de figuren IV.2 a en b het volgende worden opgemerkt. Het nattere seizoen 1973/1974 komt in figuur b duidelijk tot uiting. De kruinen begrensd door verlaagd slootpeil en/of slootvervangende drainage voldoen ruimschoots aan de gestelde eisen.

De ontwateringssituatie van de kruinen begrensd door slootvervangende drainage en ondiep slootpeil, alsook de kruinen van het O-object voldoen, gemiddeld gezien, net niet aan de normen. Dat de kruinen van het O-object daarbij een iets gunstiger beeld geven is te verklaren door het wat lagere slootpeil, een gevolg van ligging naast een hoofdwaterloop. Opvallend is het verschil in ontwateringssituatie van laagten; die met 4 drains voldoen ruimschoots aan de normen. De slechte ontwateringstoestand van laagten met 2 drains wordt mede veroorzaakt door de situering van deze laagten, nl. aan het eind van een samengestelde drainage.

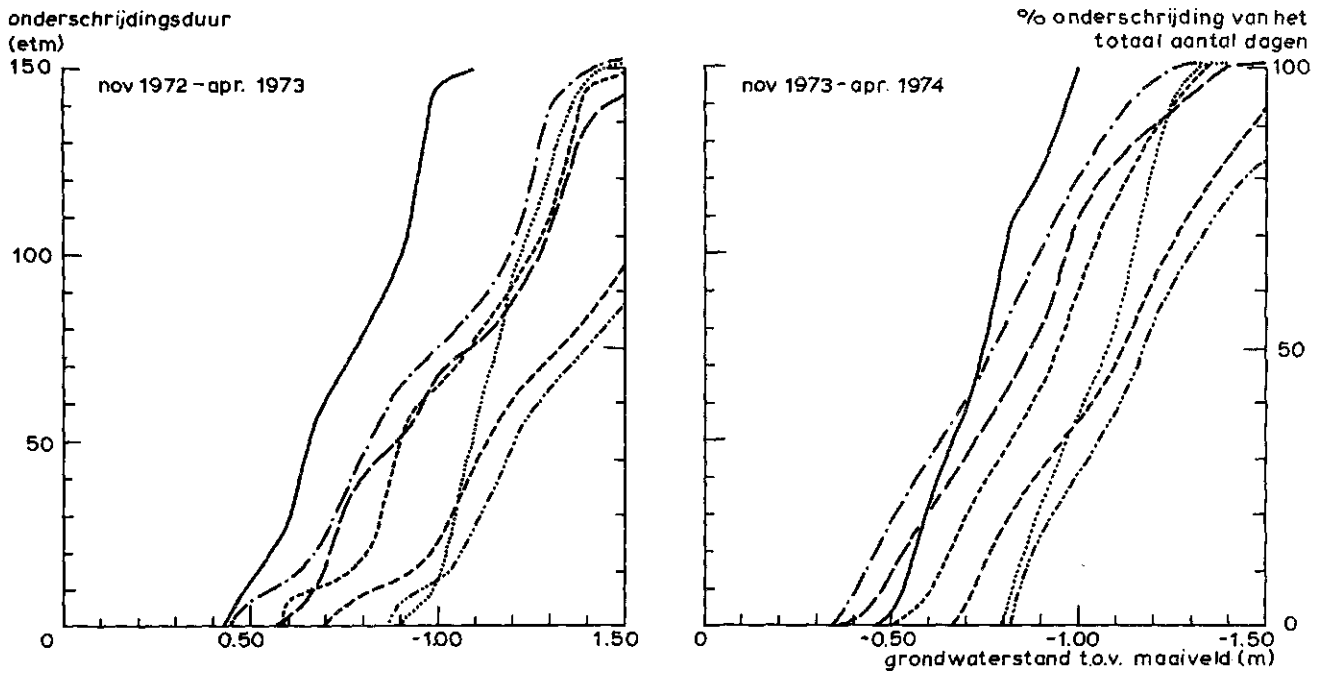


Fig. IV.2. Onderschrijdingsduur van bepaalde grondwaterstandsniveaus

- .-.-.- kruinen begrensd door sloot en drains*
- kruinen begrensd door drains*/drains*
- kruinen begrensd door drains*/ondiep slootpeil
- laagte met 4 drains*
- .-.-.- laagte met 2 drains*
- oooooooo 0-object, kruinen begrensd door ondiep slootpeil
- _____ 0-object, slootkanten

* betreft slootvervangende drainage

De ontwateringssituatie kan echter pas objectief worden beoordeeld aan de hand van de ontwateringsintensiteit. De ontwateringsintensiteit is de verhouding tussen afvoer (in m per etm.) en de grondwaterstand ten opzichte van de ontwateringsbasis. Wordt aan het algemeen in Nederland gehanteerde drainagecriterium voldaan*** (afvoer 0,007 m per etm. bij grondwaterstand - 0,5 m ten opzichte van maaiveld) dan is de ontwateringsintensiteit:

*** De norm 7 mm/etm. is ontleend aan een stationaire toestand; in werkelijkheid is de neerslag-afvoerrelatie niet stationair, waardoor bij grotere draindieptes een vertraagde en zelden hoge afvoer optreedt.

diepte ontwateringsbasis:

t.o.v. maaiveld (m)	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0
ontwateringsintensiteit* (etm. ⁻¹)	0,023	0,014	0,010	0,0078	0,0058	0,0047

De ontwateringsintensiteit kan worden berekend uit gemeten afvoer en grondwaterstand. Op het proefveld was dit wegens het samengestelde drainagesysteem niet goed mogelijk. Afvoermetingen tijdens natte perioden zijn met schatting van het afwaterende oppervlak nooit hoger berekend dan 4,5 mm/etm. Een andere benaderingsmethode is derhalve gebruikt. De grondwaterstand verandert door zowel afvoer als aanvoer (neerslag) van water. Verondersteld wordt dat een neerslag, P, enige tijd nadat deze is gevallen, verdeeld is over het nog onverzadigd profiel. Zou geen water worden afgevoerd dan had de hoeveelheid neerslag, O, een grondwaterstandstijging veroorzaakt van $\frac{P}{\mu}$ m; μ wordt de bergingscoëfficiënt genoemd. Er wordt echter wel water afgevoerd waardoor de grondwaterstandstijging geringer is.

$$q = \alpha h \quad (IV.1)$$

Hierin is:

q = de afvoer .m.etm.⁻¹

h = hoogte grondwaterstand, m

α = ontwateringsintensiteit, etm.⁻¹.

Gebaseerd op deze aannamen kan het verloop van de grondwaterstand worden beschreven met:

$$h_{t+\Delta t} = h_t e^{-\frac{\alpha}{\mu} \cdot \Delta t} + P_t \cdot \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\frac{\alpha}{\mu} \cdot \Delta t}) \quad (IV.2)$$

(HELLINGA en DE ZEEUW, 1958). P_t is de neerslagintensiteit in de periode tussen t en t + Δt .

De verhouding $\frac{\alpha}{\mu}$ (reactiefactor) wordt uit IV.2 opgelost voor perioden

* Ontwateringsintensiteit is de reciproke waarde van stromingsweerstand en is niet afhankelijk van het aantal drains.

waarin

$$P_t = 0 :$$

$$\frac{\alpha}{\mu} = - \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{h_{t+\Delta t}}{h_t} \quad (\text{IV.3})$$

De waarde van α kan vervolgens worden gevonden uit: ($P_t \neq 0$):

$$\alpha = \frac{P_t (1 - e^{-\frac{\alpha}{\mu} \cdot \Delta t})}{h_{t+\Delta t} - h_t \cdot e^{-\frac{\alpha}{\mu} \cdot \Delta t}} \quad (\text{IV.4})$$

Uit de continu geregistreeerde neerslag en grondwaterstand in het najaar van 1971, 1972 en 1973 en in het voorjaar van 1972, 1973 en 1974 zijn de parameters α en μ met bovenstaande vergelijkingen opgelost (C.D., 1975). De resultaten van de berekening staan samengevat in tabel IV.2 vermeld.

Tabel IV.2. Bergingscoëfficiënt en ontwateringsintensiteit van enkele ontwateringsvarianten

Ontwaterings-variant	Diepte (m) ontwaterings-basis	Gemiddelde afstand ontw. middelen (m)	Bergings-coëfficiënt μ	Ontwaterings-intensiteit α (etm. ⁻¹)
Kruin	1,90	120	0,044	0,0045
Kruin	1,70	85	0,042	0,0028
Laagte (2 drains)	1,00	-	0,026	0,0040
Laagte (4 drains)	1,50	-	0,039	0,0037

Uit deze tabel blijkt, dat de ontwateringsintensiteit in de laagte met 2 drains gelijk is aan die in de laagte met 4 drains en voorts nagenoeg gelijk is aan die op de kruinen.

De bergingsfactor μ wordt blijkens deze tabel beïnvloed door de ontwateringsdiepte. Bij grotere ontwateringsdieptes (-2,50 m ten opzichte van maaiveld) blijkt de bergingsfactor zelfs 0,05 te zijn (BOELS en WIEBING, 1972). In fig. IV.3 is het verband tussen μ en de ontwateringsdiepte weergegeven.

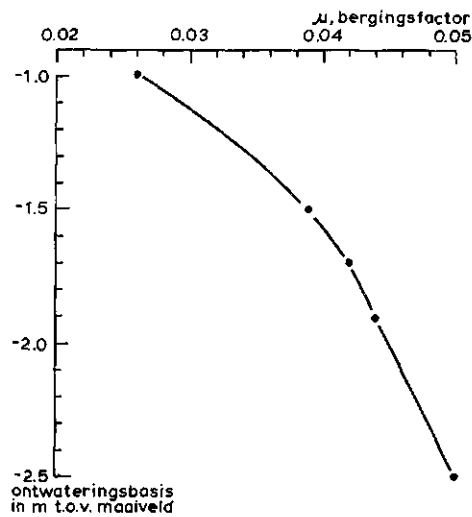


Fig. IV.3. Verband tussen bergingsfactor en ontwateringsdiepte op zavelgrond

Om na te gaan in hoeverre de ontwateringssituatie aan de algemene drainage-norm (7-50) voldoet is, gebaseerd op de nomogrammen van DE JAGER (1965), de ontwateringsintensiteit afgeleid die bij deze norm hoort. Er is aangenomen dat aan deze norm is voldaan indien een grondwaterstand van 0,5 m onder maaiveld niet vaker dan twee keer per jaar wordt overschreden (BOELS en WIEBING, 1972). De berekende ontwateringsintensiteit volgens de norm, α_0 is in tabel IV.3 weergegeven voor enkele ontwateringsvarianten.

Tabel IV.3. Ontwateringsintensiteit, α_0 , bij overschrijdingskans twee keer per jaar van grondwaterstand 0,5 m mv. volgens DE JAGER.

Ontwaterings-variant	Diepte ontwateringsbasis (m)	Bergings-coëfficiënt	Ontwateringsintensiteit (etm. ⁻¹)		
			gemeten α_1	norm α_0	$\frac{\alpha_1}{\alpha_0}$
Kruin	1,90	0,044	0,0045	0,0056	0,8
Kruin	1,70	0,042	0,0028	0,0060	0,5
Laagte (4 drains)	1,50	0,039	0,0037	0,0075	0,5
Laagte (2 drains)	1,00	0,026	0,0040	0,0210	0,2

Uit tabel IV.3 blijkt, dat de gemeten ontwateringsintensiteit in de laagte met een ontwateringsbasis op 1,00 m gelijk is aan die in een laagte met een ontwateringsbasis op 1,50 m. De ontwateringsintensiteit die volgens de

norm aanwezig zou moeten zijn, is in de eerstgenoemde laagte aanzienlijk groter. De oorzaak hiervan is dat de bergingscoëfficiënt bij een ontwateringsdiepte van 1,00 m aanzienlijk geringer is. De veelvuldig waargenomen hoge grondwaterstanden in deze laagten zijn hier aan toe te schrijven; een mede oorzaak hiervan zou ook de onvoldoende afvoercapaciteit van de drains kunnen zijn.

Hoewel het ontwateringssysteem van de dieper gedraineerde laagte en de kruin met een ontwateringsbasis op 1,70 m volgens deze benaderingsmethode slechts voor 50% aan de norm voldoet, blijkt het systeem goed te functioneren. Een verklaring voor deze strijdigheid is dat de feitelijke afvoer relatief gering is.

De diepe ontwatering veroorzaakt een gedempte en vertraagde afvoer bij relatief diepe grondwaterstanden. Samengevat kan worden geconcludeerd dat een slootvervangende drainage, waarbij een afstand tussen de ontwateringsmiddelen tot circa 100 à 120 m wordt overbrugd, de kruin voldoende kan ontwateren indien de diepte van de ontwateringsbasis oploopt tot circa 2,0 m. Laagten kunnen ook met 2 slootvervangende drains voldoende worden ontwaterd mits de ontwateringsbasis gemiddeld ten minste 1,3 m is en de draindiameter toereikend is.

O p p e r v l a k t e - a f v o e r

Een onderdeel van het ont- en afwateringssysteem zoals dit op het proefobject is toegepast, is de voorziening voor het verzamelen en afvoeren van eventueel optredende oppervlakkige afstromende neerslag.

Oppervlakte-afvoer kan veroorzaakt worden door een te geringe infiltratiecapaciteit bij overigens goede ontwatering, of door een slechte ontwateringstoestand waarbij het grondwater tot boven maaiveld stijgt bij overigens goede bodemfysische eigenschappen van het profiel, dan wel door een combinatie van beide oorzaken.

Van de zavelgronden in het klei mozaïekgebied is echter onvoldoende objectief bekend over het optreden van oppervlakte-afvoer.

Incidenteel zijn er aanwijzingen gevonden voor het optreden van oppervlakte-afvoer ('puinkegels' in de sloten). De oorzaak en frequentie van optreden is echter niet bekend.

Op een zware knippige kleigrond hebben EBBERS en WOLDERING (1973) waargenomen dat pas oppervlakte-afvoer optreedt wanneer de grondwaterspiegel tot aan het maaiveld is gestegen. Verbetering van de drainage op die grond deed de frequentie en intensiteit van oppervlakte-afvoer aanzienlijk terugbrengen. Zelfs in het zeer natte najaar 1974 is er nauwelijks sprake geweest van oppervlakte-afvoer (EBBERS, 1976).

BOELS en WIEBING (1972) concluderen dat oppervlakte-afvoer van enige betekenis niet kan zijn opgetreden op een zeer diep gedraineerde lichte zavelgrond te Hornhuizen. Plasvorming is daar niet of nauwelijks waargenomen. Dit object kan min of meer als een verbeterde situatie worden gezien in de bouwlandregio's op de lichte zavelgronden. Dit object is echter nauwelijks kruinig, terwijl de grond slechts licht verslempde.

Bij het dempen van sloten door ploegen en afschuiven kunnen er tijdens het grondtransport verdichtingen optreden (BOELS en HAVINGA, 1974). De bodemfysische eigenschappen kunnen daardoor zodanig verslechteren, dat zelfs bij zeer goede drainage plasvorming kan optreden (BOELS en VAN HEMMEN, 1975) en dus oppervlakte-afvoer in hellende terreinen.

Het is derhalve nog allerminst duidelijk of er in de nieuwe situatie in de bouwlandregio's oppervlakte-afvoer zal optreden. In de periode 1971 t/m 1974 zijn op het proefveld voor kavelinrichting te Kloosterburen waarnemingen verricht om eventuele oppervlakte-afvoeren vast te stellen. Daartoe werden afvoermeters geplaatst aan de uitmonding van afvoerpijpen uit zakputten.

A n a l y s e m e t i n g e n

Oppervlakkig afstromend water van meerdere hellingen kan naar een zakput vloeien. De waterscheidingen zijn lastig te bepalen, zodat het afvoerend oppervlak niet zonder meer kan worden bepaald.

Door het verloop van de oppervlakte-afvoer mathematisch te beschrijven, kan uit een gemeten verloop van de afvoer het oppervlak worden bepaald waarover afvoer optreedt en voorts de gemiddelde infiltratiesnelheid tijdens de afvoer en de oppervlakteberging.

Daartoe is de beschrijving van HENDERSON en WOODING (1964) voor een situatie zonder infiltratie en een constante neerslag gedurende beperkte tijd uitgebreid voor situaties met infiltratie en wisselende neerslag-intensiteit (BOELS, 1975).

Deze benadering houdt in dat de invloed van de energie-uitwisseling tussen neerslag en afstromend water verwaarloosd mag worden, evenals de mogelijk optredende versnellingskrachten wanneer er nog geen evenwicht is tussen afvoer en neerslag en de stroomsnelheid nog verandert. Een verdere aanname is dat het oppervlak bij benadering effen is en in één richting helt, terwijl de oppervlakte-afvoer zich manifesteert als een waterschijf. De dikte ervan, die afhangt van de tijd, het neerslag-overschot en de plaats op de helling, wordt opgelost uit een differentiaal vergelijking die wordt verkregen na substitutie van het functioneel verband tussen debiet en waterdiepte in de continuïteitsvergelijking.

De gemiddelde infiltratiesnelheid tijdens de oppervlakte-afvoer wordt opgelost uit:

$$I^3 + \left[\left(\frac{\Delta t}{t_e} \right)^3 - 1 \right] N_1 - 2N_0 \cdot I^2 + (2N_1 N_0 + N_0^2) \cdot I - N_1 N_0^2 + 0 \quad (\text{IV.5})$$

Hierin is:

I = gemiddelde infiltratiesnelheid

N_0 = neerslag in periode dat afvoer begint en het tijdstip waarop afvoer en neerslag met elkaar in evenwicht zijn

t_e = tijdsduur, waarin bovengenoemd evenwicht juist optreedt

N_1 = neerslag in de laatste periode; hierin is de afvoer in evenwicht met neerslag

Δt = tijdsduur vanaf beëindigen neerslag tot stoppen oppervlakte-afvoer.

In fig. IV.4 zijn de noodzakelijke gegevens schematisch weergegeven.

Het oppervlak waarover oppervlakkige afvoer optreedt wordt opgelost uit:

$$\int_0^T Q(t) dt - A \int_0^T N(t) dt - I \cdot T = 0 \quad (\text{IV.6})$$

Hierin is:

$Q(t)$ = gemeten afvoer via zakput in tijdstip t ($\text{m}^3 \cdot \text{sec.}^{-1}$)

$N(t)$ = gemeten neerslagintensiteit op tijdstip t ($\text{m} \cdot \text{sec.}^{-1}$)

T = tijdsduur vanaf begin van de neerslag tot stoppen oppervlakkige afvoer

A = oppervlakte waarover afvoer optreedt (m^2)

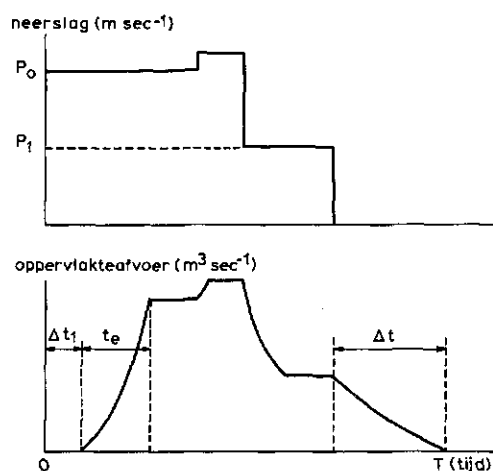


Fig. IV.4. Schematisch verloop van neerslag en bovengrondse afstroming.

De oppervlakteberging kan uit de balansvergelijking worden opgelost:

$$\int_0^{T-\Delta t} N(t)dt - I \cdot T - \frac{1}{A} \int_{\Delta t_1}^T Q(t)dt - B = 0 \quad (IV.7)$$

Hierin is:

B = oppervlakteberging (m)

Δt_1 = tijdsduur vanaf begin neerslag tot moment waarop oppervlakteafvoer juist begint.

Voor die gevallen waarin de oppervlakteafvoer aan het begin of aan het eind van de neerslagperiode niet tot evenwicht komt, wordt een afwijkende procedure gevolgd (BOELS, 1975).

De oppervlakteafvoeren, berekend als een dikte van een waterschijf, zijn in fig. IV.5 a t/m c weergegeven. Het verloop van de grondwaterstanden is in fig. IV.5 d en e weergegeven.

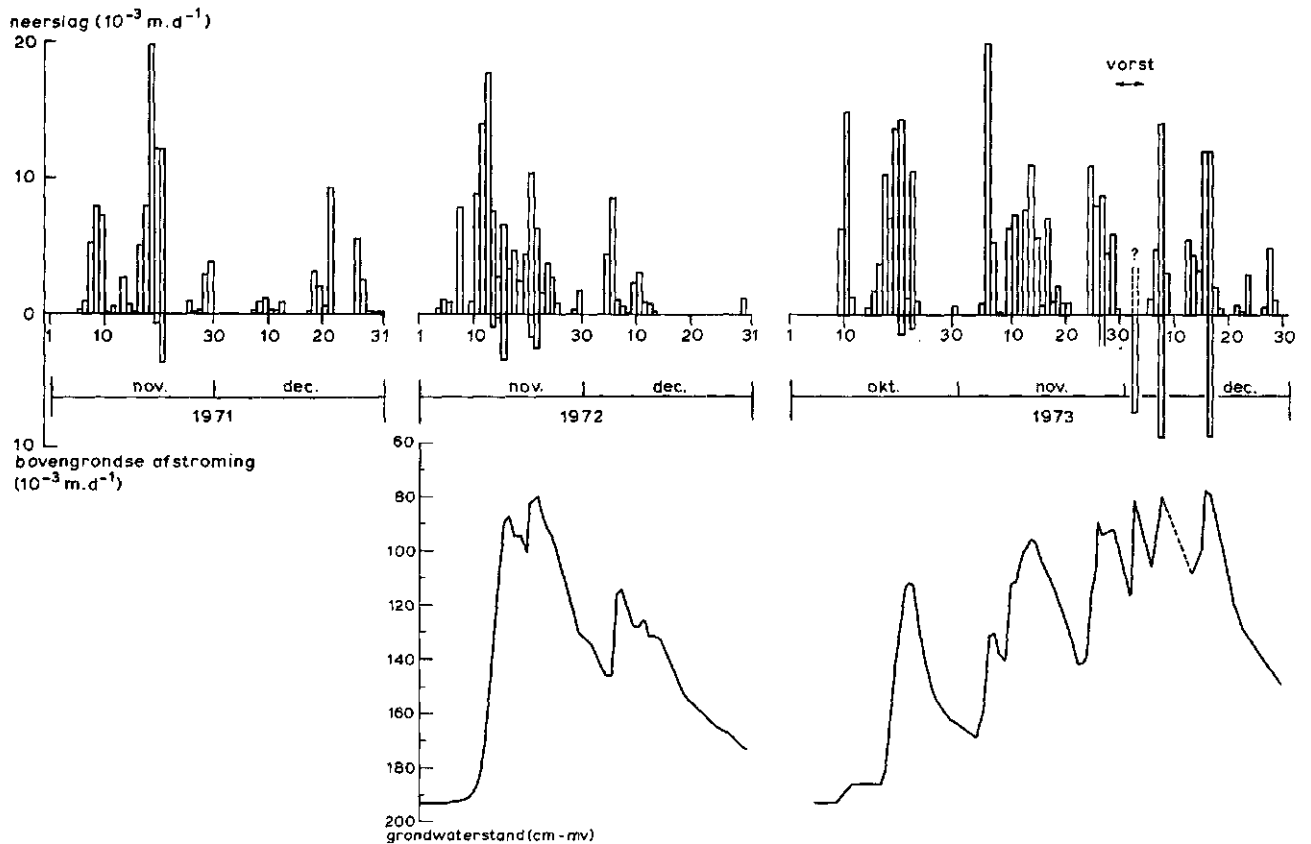


Fig. IV.5. Neerslag, bovengrondse afstroming en verloop grondwaterstand in kruin

Oppervlakte-afvoer treedt overwegend op na perioden met gemiddeld grote neerslagintensiteit. Zeer sterk treedt "run off" op na een vorstperiode op een licht vertrapt jong grasland (dec. 1974). Uit de berekening is voorts gebleken, dat het oppervlak waarover "run off" optreedt veelal van beperkte omvang is: circa 0,25 ha van een potentieel oppervlak van circa 1,8 ha. Waarschijnlijk betreft het de laagten waarin "run off" optreedt. Uit de verrichte metingen is dit echter niet goed af te leiden. Het oppervlak is echter aanzienlijk groter van omvang wanneer de infiltratie beperkt is (dec. 1974). Voor een aantal verschillende toestanden van de toplaag is het oppervlakkig afvoerend oppervlak in tabel IV.4 weergegeven en voorts de infiltratiesnelheid en de hoogste grondwaterstand tijdens de afvoer.

Uit tabel IV.4 blijkt dat naarmate de toplaag in een slechtere conditie is de infiltratiecapaciteit afneemt. Voorts blijkt dat de oppervlakteafvoer over beperkte oppervlaktes optreedt.

Tabel IV.4. Aard van een toplaag, de gemiddelde infiltratiesnelheid, maximaal en daadwerkelijk afvoerend oppervlak, de hoogst gemeten grondwaterstand tijdens afvoer en de oppervlakteberging

Aard toplaag	Maximaal afw. oppervlak	Afwaterend oppervlak	Gemiddelde infiltratiesnelheid	Hoogste grondwaterstand tijdens opp. afvoer	Oppervlakteberging
	ha	ha	m per etm.	m - mv.	m ³ - ²
gescheurd grasland	1,8	0	-	-	-
licht ver- trapt jong grasland	1,8	1,6	0,0020	0,90	0,0005
2/3 geploegd 1/3 onbewerkt bietenland	1,8	0,3	0,0100	-	-
ondiep bewerkt, licht ver- slemp + greppels	1,8	0,26	0,0053	0,25	0,0015
graszaad stoppel	1,8	0,22	0,0132	0,85	0,0025

Toepassen van greppels doet de gemiddelde oppervlakteruwheid afnemen, wat tot uitdrukking komt in een verkorte duur van het staartverloop van de oppervlakte-afvoer (na beëindigen van de neerslag) en daarmee de duur dat er plassen in de laagtes voorkomen. Voorts blijkt de grondwater-spiegel tijdens de afvoer niet boven maaiveld te zijn gestegen, zodat de enige oorzaak van oppervlakte-afvoer in de nieuwe situatie een te geringe infiltratiecapaciteit is. Cultuurmaatregelen, gericht op het beperken van oppervlakkige versmering en verslemping kunnen het optreden van oppervlakte-afvoeren in grote mate beperken.

F r e q u e n t i e e n d u u r o p p e r v l a k t e - a f v o e r

Een oppervlakte-afvoer zal beginnen op het moment waarop de totaal gevallen hoeveelheid regen juist groter wordt dan de som van oppervlakteberging en totaal geïnfiltreerde hoeveelheid neerslag.

Er zal geen oppervlakte-afvoer optreden indien de gevallen hoeveelheid regen geringer is dan de maximaal mogelijke hoeveelheid geïnfiltreerde neerslag.

De maximaal mogelijke infiltratie voor verschillende toestanden van de toplaag is in tabel IV.4 weergegeven. De kans op optreden van oppervlakte-afvoer is gelijk aan de kans op een hoeveelheid neerslag in een zekere periode, waarbij de neerslaghoeveelheid juist gelijk is aan de som van de geïnfiltreerde hoeveelheid en de oppervlakteberging (WIND, 1967). Praktisch wordt de kans bepaald door een grafiek samen te stellen waarin voor verschillende overschrijdingsfrequenties het verband is weergegeven tussen periodelengte en totaal in die periode gevallen regen, de zogenaamde regenduurlijnen. In deze grafiek wordt voorts de curve ingetekend die het verband geeft tussen periodelengte en totale hoeveelheid maximaal geïnfiltreerde hoeveelheid water, vermeerderd met de oppervlakteberging, de zogenaamde infiltratielijn.

De kans en de duur van oppervlakte-afvoer wordt afgelezen in de samengestelde grafiek waar de infiltratielijn een regenduurlijn snijdt (VAN WIJK, 1973).

De regenduurlijnen zijn bepaald als gewogen gemiddeld voor de maanden oktober t/m december, januari en februari. De procedure hierbij is dat de overschrijdingskans van een zekere neerslagsom in k-dagen ($k = 1, 2, \dots, 10$) in de desbetreffende winterperiode wordt bepaald. Hiervoor zijn de gegevens van het KNMI voor het station Groningen gebruikt. Vervolgens wordt voor een zekere frequentie (= aantal keren per jaar) en regenduur (k-dagen) de bijbehorende overschrijdingskans berekend en de daarbij behorende neerslag vastgesteld (VAN WIJK, 1974). In fig. IV.6 zijn de verschillende regenduurlijnen weergegeven. Tevens zijn in dezelfde figuur de infiltratielijnen voor profielen met verschillende toplaag weergegeven.

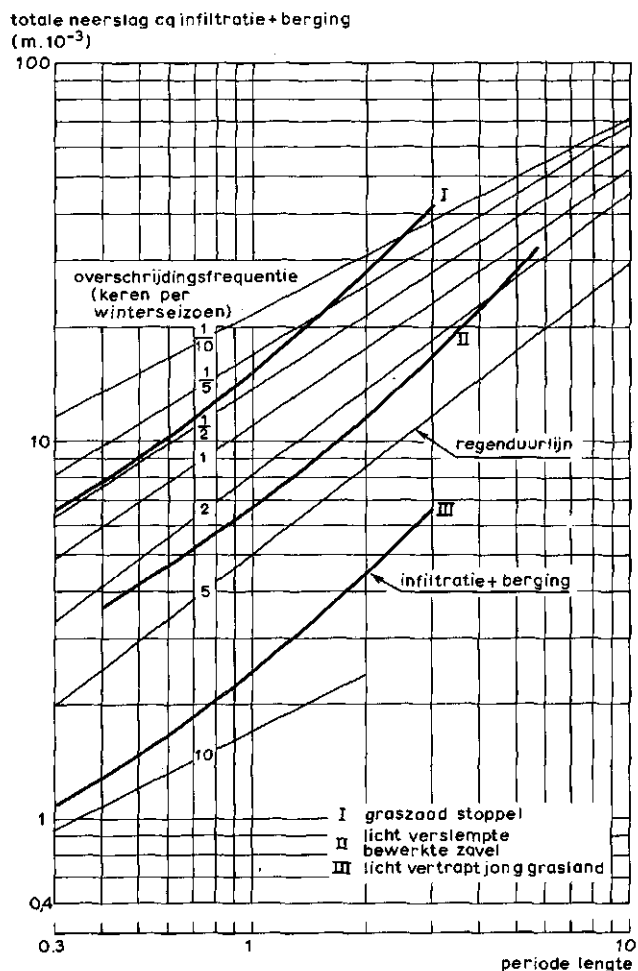


Fig. IV.6. Regenduurlijnen voor verschillende overschrijdingsfrequenties ($\frac{1}{10}$: 1 keer per 10 jaar; 2: 2 keer per jaar) en infiltratiecurven voor verschillende toplagen op goed ontwaterde zavelgrond

De in tabel IV.4 vermelde gegevens zijn gebruikt voor het samenstellen van infiltratielijnen in fig. IV.6. Uit fig. IV.6 kan nu worden afgeleid met welke frequentie en in welk tijdsbestek er oppervlakte-afvoer kan optreden. Er is een kans van 1 keer per 2 à 5 jaar, dat er op een graszaadstoppel op een dag oppervlakte-afvoer optreedt. Deze kans is 1 keer per 5 à 10 jaar dat dit op twee achtereenvolgende dagen gebeurt. Op een licht vertrapt jong grasland bestaat de kans dat er circa 8 keer per jaar op een dag oppervlakte-afvoer optreedt, terwijl dit circa 7 keer kan plaatsvinden op 2 of 3 opeenvolgende dagen. In tabel IV.5 is de frequentie van het optreden van oppervlakte-afvoer op een verschillend aantal opeenvolgende dagen weergegeven.

Tabel IV.5. Aantal keren per jaar dat gedurende zekere tijd oppervlakte-afvoer zal optreden

	Duur oppervlakte-afvoer in etm.			
	>0,5	>1	>2	>3
graszaad stoppel	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{8}$	$<\frac{1}{10}$
licht verslechte bew. grond	3	3	3	3
licht vertrapt jong grasland	8	7	7	7

Geconcludeerd kan worden, dat de frequentie waarmee oppervlakte-afvoer optreedt voor een belangrijk deel wordt bepaald door de toestand waarin de bouwvoor zich bevindt. Voorts zij nog opgemerkt dat behalve wanneer dit oppervlak ernstig verslemt of versmeerd is, de oppervlakte-afvoer niet over het gehele oppervlak optreedt. Een voorziening voor het afvoeren van oppervlakkig afstromend water blijft echter nodig. Dit betekent dat wanneer er laagten gehandhaafd blijven gezorgd moet worden voor een adequate afvoermogelijkheid van overtollige neerslag. Hiertoe zijn de laagten onder helling afgewerkt; ter beperking van het grondverzet worden ook ingesloten laagten gemaakt waarbij zakputten dienen voor opvang en afvoer van "run off".

E r v a r i n g b r u i k b a a r h e i d z a k p u t t e n

Op het proefobject zijn een drietal zakputten gesitueerd. Hoewel het moeilijk was de zakput op de laagste plek van de ingesloten laagte te situeren is de werking ervan redelijk geweest. Echter ten gevolge van onvoorzichtigheid bij het ploegen is één zakput ondergeploegd. Hierdoor kwam een laag teelaarde te liggen op het schelpenfilter, dat daardoor verstopt raakte en niet meer hersteld werd. Soortgelijke ervaringen zijn opgedaan op het object Morra in de ruilverkaveling Oost- en Westdongeradeel.

Het periodieke onderhoud, dat bestaat uit (1 x per 2 jaar) vervangen van het schelpenfilter en het leeghalen van de zakput, is in de praktijk een zwak punt. Een ander bezwaar is dat wanneer een zakput wordt aangesloten

op een naastgelegen slootvervangende drain, deze drain snel kan verzanden met vanuit de zakput meegevoerde grond.

V. BODEMFYSISCHE TOESTAND VAN DE BOUWVOOR IN VERBAND MET WIJZE VAN
UITVOEREN

Voor het dempen van sloten vinden er verschillende vormen van grondtransport plaats. Grond uit nieuw gegraven sloten en leidingen en van ver-ruimde oude sloten wordt overwegend per as vervoerd. Bij een tekort wordt grond gewonnen door met een kerend werkende ploeg een laag ondergrond naar boven te brengen. Deze laag wordt met een bulldozer naar de plaats van bestemming gebracht. Dit wordt de methode van ploegen en afschuiven genoemd. Laagtes die als vergaarbak van eventueel over het oppervlak afstromende neerslag kunnen fungeren, worden onder een helling afgewerkt met een bulldozer. Bij al deze activiteiten wordt een deel van het totale oppervlak in meerdere of mindere mate bereiden. In tabel V.1 is een overzicht gegeven van de hier bedoelde oppervlaktes op het proefobject.

Tabel V.1. Oppervlaktes, bereiden tijdens uitvoering van cultuur-technische werken op het proefobject

Activiteit	Oppervlak (ha)	Rel.opp. (%)
Dumpertransport	5,5	12,6
Egalisaties in opgeh. laagte c.q. gedempte sloot	5,3	12,2
Ploegen en afschuiven	5,0	11,5
Onbereiden	27,7	62,7
Totaal	43,5	100%

Uit deze tabel blijkt, dat circa 35% van het oppervlak tijdens de uitvoering van de cultuurtechnische werkzaamheden wordt bereiden en of bewerkt. Naar de gevolgen hiervan is een nader onderzoek ingesteld.

Bouwvoorverschraling

Bij het diepploegen komt de naar boven gebrachte ondergrond op de niet vlak liggende ondergeploegde bouwvoor te liggen (fig. V.1).

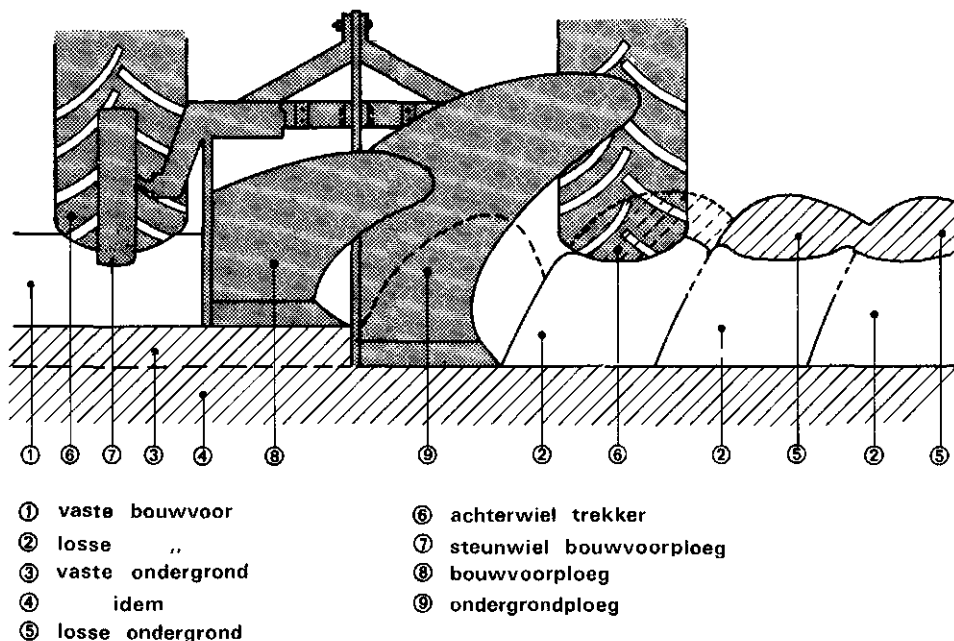


Fig. V.1. Schematisch overzicht van werkwijze bij het diepploegen ten behoeve van grondwinning

De ondergeploegde bouwvoor wordt hierbij nog iets afgevlakt wanneer er met een trekkerwiel tijdens het ploegen over wordt gereden, mits het trekkerwiel niet te diep inspoort. Hoewel er naar wordt gestreefd de oorspronkelijke bouwvoor te handhaven, zal er bij het afschuiven vaak een gedeelte van de bouwvoor worden meegenomen, terwijl iets ondergrond achterblijft: de 'toppen' van de ondergeploegde bouwvoor worden weggeschoven, terwijl de 'dalen' opgevuld blijven met ondergrond. Hierdoor ontstaat een verschraling van de bouwvoor en wel meer naarmate de 'toppen' hoger en de 'dalen' dieper zijn.

Fouten in de uitvoering zullen tot gevolg hebben, dat de mate van verschraling wordt beïnvloed. Er is sprake van een fout indien er te veel ondergrond wordt opgeploegd dan wel te weinig afgeschoven (fig. V.2a, c) of indien het omgekeerde het geval is (fig. V.2b, d).

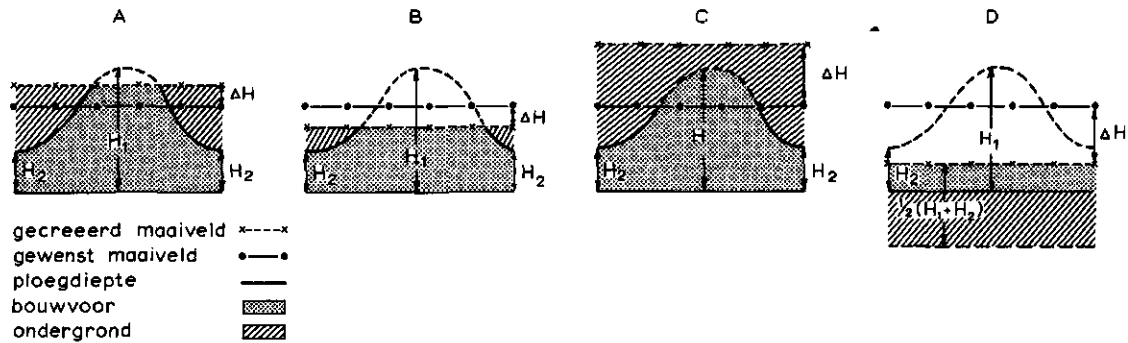


Fig. V.2. Schematische doorsnede van ploegwerk, loodrecht op bewerking-richting

H, grootste dikte van de bouwvoor, H₂ geringste dikte,

ΔH afwijking nieuw maaiveld ten opzichte van gewenst maaiveld

A,C : te weinig afgeschoven, respectievelijk te diep geploegd

B,D : te veel afgeschoven, respectievelijk te ondiep geploegd

In het eerste geval kan de achterblijvende laag ondergrond met de bouwvoor worden gemengd of onder de bouwvoor worden gebracht door kerend te ploegen. Indien te veel wordt afgeschoven zal de dikte van de bouwvoor afnemen, zonder dat een extra verschraling ontstaat. Verschraling treedt echter wel op indien, om de oorspronkelijke bouwvoordikte te handhaven, er een laag ondergrond wordt aangeploegd (fig. V.2d). De hier bedoelde fouten zijn gekarakteriseerd als een afwijking, ΔH, ten opzichte van de nagestreefde maaiveldshoogte (fig. V.2).

Op het proefobject is de verschraling bepaald door het humusgehalte te meten (tabel V.1). Dit is gebeurd voorafgaande aan de bewerking en een jaar nadat alle werkzaamheden waren uitgevoerd en de nieuwe bouwvoor weer min of meer is gehomogeniseerd. Onder verschraling wordt hier verstaan het gewichtspercentage ondergrond in de nieuwe bouwvoor. De gemiddelde verschraling op de afgeschoven percelen is 18%. De geringste verschraling is 8% en de grootste verschraling 42% (BOEKEL, 1976). Door BOELS en HAVINGA (1976) werd op soortgelijke grond een minimale verschraling van 10% gemeten.

Verslemping aan het oppervlak

Verslemping is het proces waarbij door neerslagdeeltjes van aan het oppervlak liggende bodemaggregaten worden losgeslagen en verplaatst. Naast dit oppervlakteproces, wordt onder slemp ook het verschijnsel verstaan waarbij als gevolg van bevochtiging (meestal tot aan verzadiging) er een collaps optreedt van de structuur van de bouwvoor. Hierbij vallen bodemaggregaten in kleinere eenheden uit elkaar of worden zelfs tot een enkelvoudige korrelstructuur teruggebracht. In dit geval wordt gesproken van interne slemp. Daarna volgt dan afzetting of sedimentatie waarbij veelal een enkelvoudige korrelstructuur ontstaat. De bindingssterkte van de aggregaten bepaalt de benodigde hoeveelheid energie per massa-eenheid verplaatst bodemmateriaal. Naast adhesiekrachten bepaalt de cohesie de bindingssterkte. De cohesie is bij benadering gelijk aan het produkt van vochtspanning en het relatief oppervlak waarover de vochtspanning aangrijpt (BOELS en HAVINGA, 1974). De vochtspanning in de bodem verandert door verandering van het vochtgehalte. In absolute zin wordt de vochtspanning groter naarmate het vochtgehalte geringer wordt en omgekeerd. Het vochtgehalte wordt groter door neerslag en geringer door verdamping en of stroming naar de grondwaterspiegel. De grootte van deze stroming kan worden beïnvloed door de diepte van de grondwaterspiegel, die op zijn beurt wordt bepaald door de draandiepte en -afstand.

Het relatief oppervlak waarover de vochtspanning aangrijpt is 1 bij een volledig verzadigde grond en 0 bij een volledig droge grond. Bij benadering is dit oppervlak gelijk aan de verzadigingsgraad van de grond (= verhouding tussen actueel vochtgehalte en vochtgehalte bij verzadigde grond). De bijdrage van de cohesie tot de bindingssterkte is derhalve uit de pF-curve van de grond af te leiden.

Zo bezien is er een relatie tussen de mate van verslemping en het diepteverloop van de grondwaterspiegel. Deze relatie zal echter niet in elk jaar dezelfde zijn. Immers de voor verslemping benodigde energie is afkomstig van de neerslag. Bij geringe neerslagintensiteit is de gemiddelde druppelgrootte geringer dan bij grote intensiteit. De valsnelheid van kleine druppels is geringer dan van grote, zodat ook de aan het oppervlak

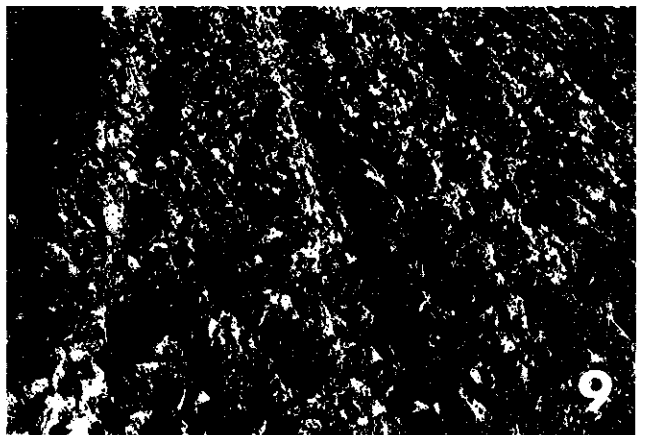
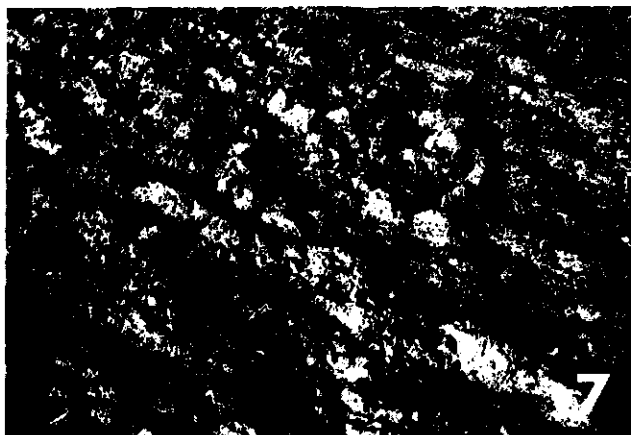
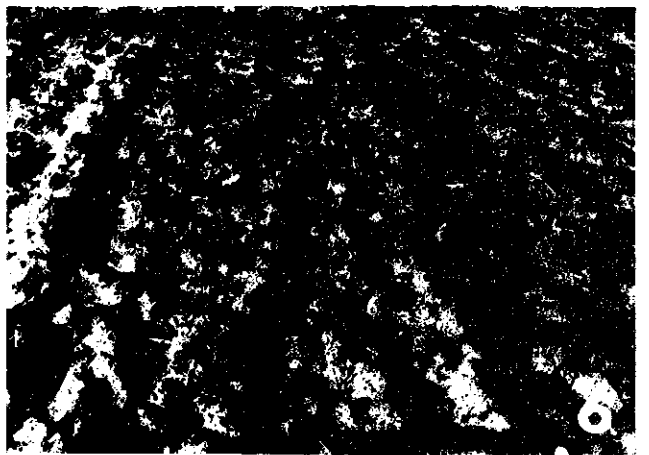
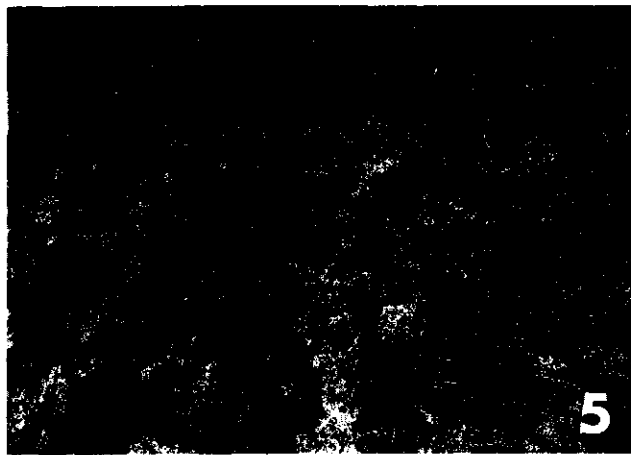
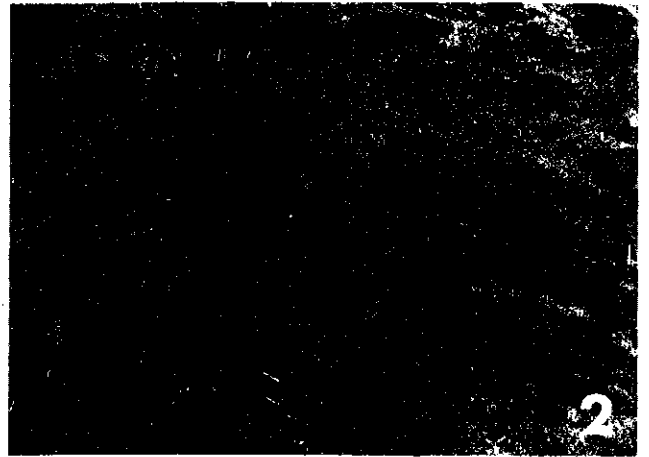
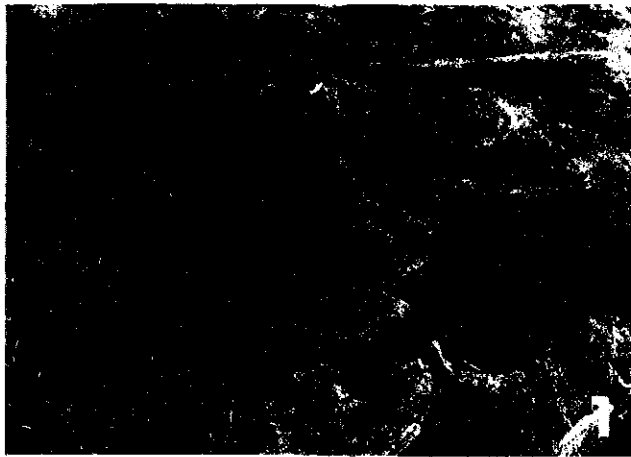


Fig. V.3. Beoordelingsschaal voor verslempingsgraad

te verstrooien kinetische energie geringer is. Bovendien is de vochtspanning aan het oppervlak in absolute zin groter bij lage intensiteit dan bij hoge, waardoor de bindingssterkte ook groter is. Er bestaat derhalve een complexe relatie tussen de mate van verslemping, het verloop van de grondwaterspiegel en de verdeling van de neerslagintensiteit.

Voor de bestudering van de invloed van verbetering van de ontwatering op de mate van verslemping kan echter worden volstaan met de bepaling van de relatie tussen verslemping en diepte (verloop) van de grondwaterspiegel. De mate van verslemping wordt visueel beoordeeld aan de hand van een door Boekel ontwikkelde beoordelingsschaal (fig. V.3). Op het proefobject werd enkele keren in het voorjaar van 1973 en 1974 de mate van verslemping beoordeeld (BOEKEL, 1976). De samenhang tussen het verloop van de grondwaterstand en de verslemping is in fig. V.4 weergegeven.

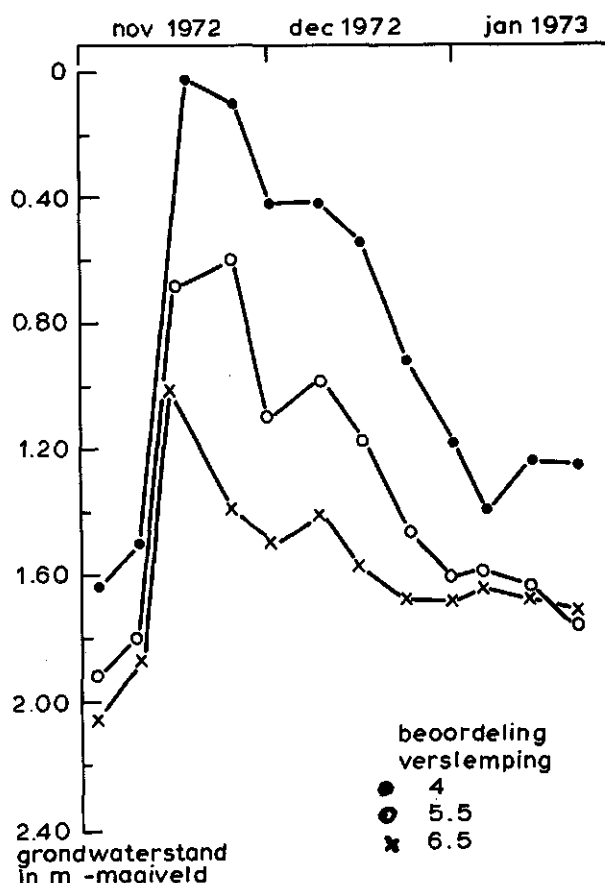


Fig. V.4. Verloop van grondwaterstanden op percelen met uiteindelijk verschillende verslempingsgraad

Uit deze figuur blijkt, dat naarmate de ontwateringstoestand slechter is, de mate van verslemping toeneemt. Een ernstige verslemping lijkt echter pas op te treden indien de grondwaterstand tot in het maaiveld is gestegen. Voorts is gebleken dat de mate van verslemping geringer is bij hoger humusgehalte (ca. 2,5%) dan bij lager humusgehalte (ca. 1,5%) onder overigens gelijkblijvende omstandigheden. In fig. V.5 is de relatie tussen de verslemping en de gemiddelde grondwaterstand in de periode 10 november - 10 december 1972 voor de onderscheiden humusgehaltenes weer-gegeven.

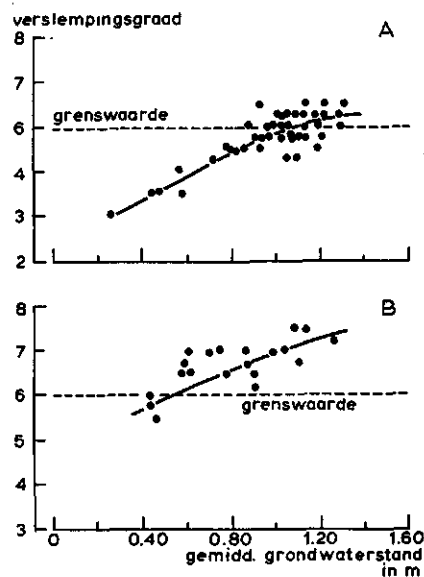


Fig. V.5. Verband tussen verslempingsgraad en gemiddelde grondwaterstand in de periode 10 november - 10 december 1972.

A- bij laag gehalte aan organische stof (gem. 1,5%);

B- bij hoog gehalte aan organische stof (gem. 2,5%)

Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd, dat door de diepere ontwatering de mate van verslemping op deze grond met laag humusgehalte kan worden beperkt. Op een zavel met hoger humusgehalte zal vergroting van de ontwateringsdiepte minder effect sorteren. Verlagen van het humusgehalte zoals dat bij afschuiven gebeurt, zal de slempgevoeligheid iets doen toenemen. Doordat echter de ontwateringsdiepte is vergroot - waardoor de slempgevoeligheid geringer wordt - is echter het effect van verschralen ten opzichte van de uitgangstoestand zeer gering.

Bewerkbaarheid in het voorjaar

Wanneer kruinige percelen worden samengevoegd tot grotere door demping van sloten, ontstaan laagten in het nieuwe perceel. Laagten kunnen voorjaarswerkzaamheden vertragen wanneer ze, als gevolg van een geringere ontwateringsdiepte dan die van de kruinen, later bewerkbaar zijn dan de kruinen. Onder bewerkbaarheid wordt hier verstaan de mogelijkheid om een goed zaai- of pootbed te maken in het voorjaar.

De bewerkbaarheid van de grond is in het voorjaar een aantal keren beoordeeld door kneden of verkruimelen. Een cijfer in de schaal van 1 (zeer slecht bewerkbaar) tot 10 (zeer goed bewerkbaar) is toegekend ter karakterisering van de bewerkingsmogelijkheid.

Het waarderingcijfer $5\frac{1}{2}$ - 6 kenschetst een situatie waarin de grond nog redelijk bewerkt kan worden. De bewerkbaarheid is gerelateerd aan het vochtgehalte. In fig. V.6 is deze relatie weergegeven.

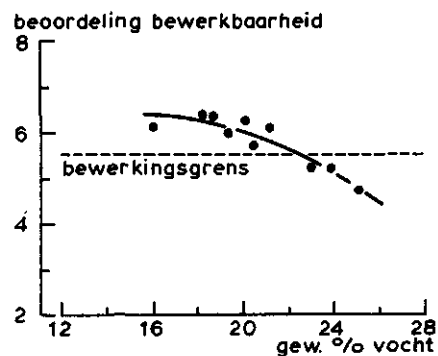


Fig. V.6. Samenhang tussen beoordeelde bewerkbaarheid en vochtgehalte

Het tijdstip waarop de grond in het voorjaar juist bewerkbaar is wordt nu bepaald door het volgen van het verloop van het vochtgehalte.

In fig. V.7 is een overzicht gegeven van de bewerkbaarheid op verschillende plekken op het proefobject, langs de raaien waarin grondwaterstands-buizen worden geplaatst. De bewerkbaarheid is beoordeeld op het moment waarop gemiddeld over het gehele bedrijf juist een werkbare situatie was ontstaan. Uit de werkbaarheidsbeoordeling in fig. V.7 blijkt, dat de laagten (in het algemeen daar waar drains liggen) nagenoeg even goed bewerkbaar zijn als de hoogten. De lage waarderingen werden gegeven aan plekken waar de gemiddelde grondwaterstand in februari geringer was dan circa 1 m beneden maaiveld.

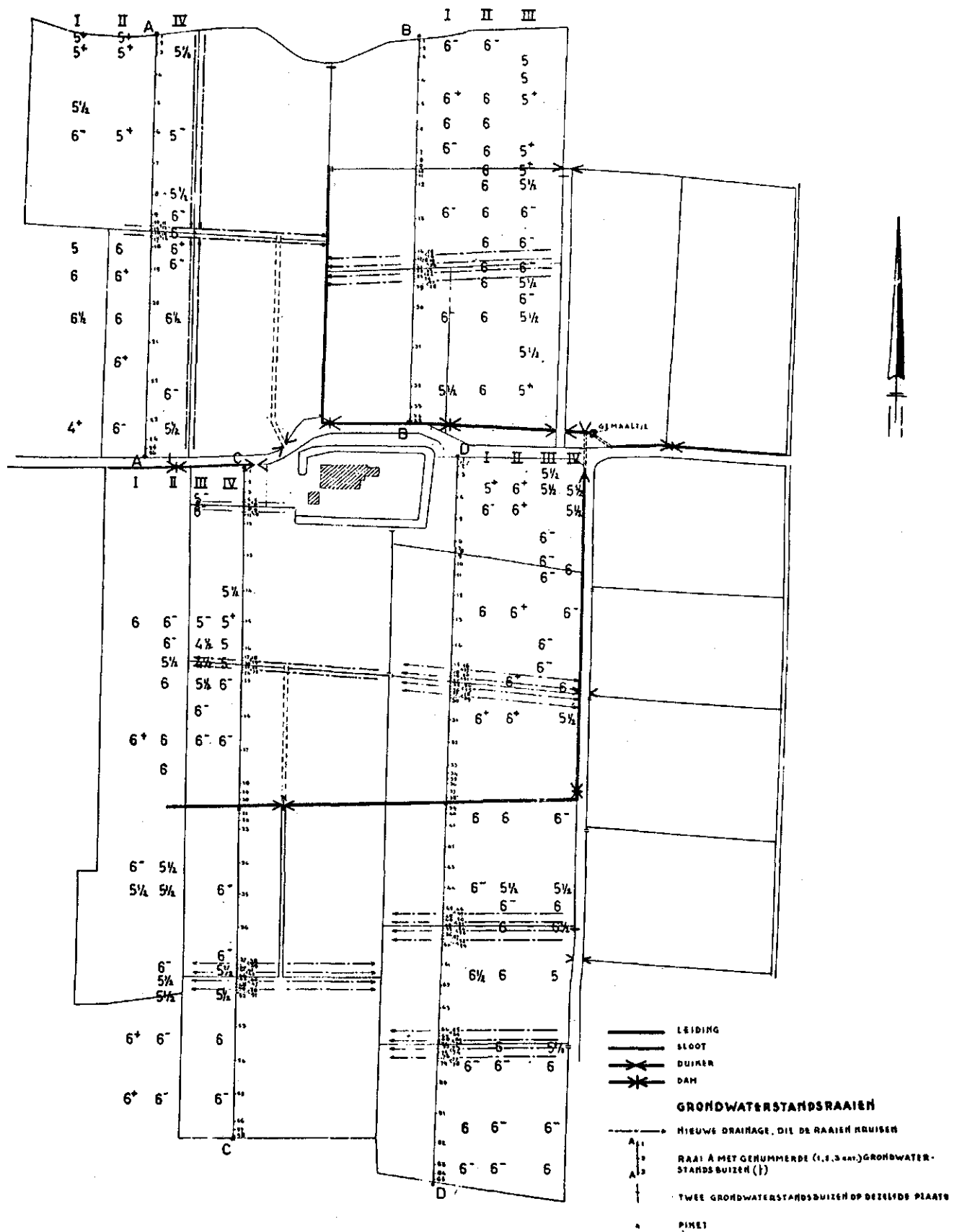


Fig. V.7. Visueel beoordeelde bewerkbaarheid langs raai met grondwaterstandsbuizen. Plaats van waarneming is steeds dezelfde.

I 22 mrt 1971; II 17 mrt 1972; III 22 mrt 1973;
IV 26 mrt 1974.

Plekken waar de gemiddelde grondwaterstand in februari dieper is geweest dan 1,0 m onder maaiveld, waren in het algemeen niet beter bewerkbaar dan die plekken waar deze gemiddelde grondwaterstand circa 1 m $\bar{m}v.$ was. De diep gedraineerde laagten zijn in het algemeen op hetzelfde tijdstip bewerkbaar als de kruinen.

De samenhang tussen datum waarop de grond voor het eerst geschikt is voor het maken van een zaaibed, en de gemiddelde grondwaterstand in februari is in fig. V.8 weergegeven.

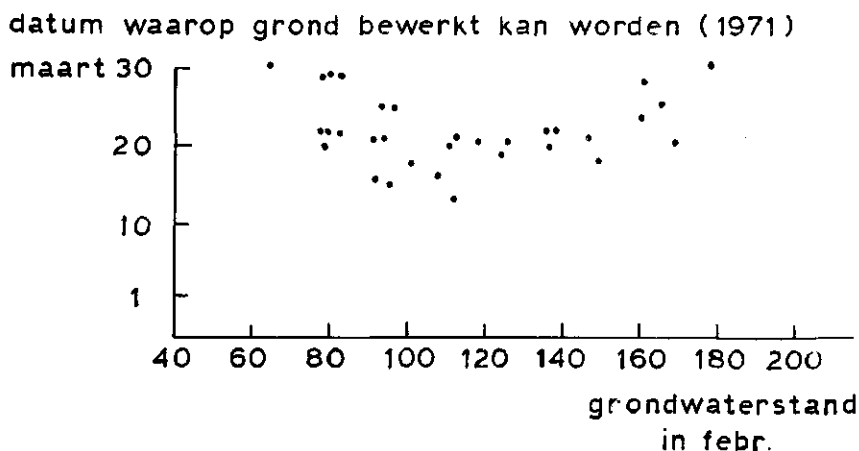


Fig. V.8. Invloed van grondwaterstand op het tijdstip waarop de grond kan worden bewerkt

Een aantal plekken waar de grondwaterstand in februari diep is geweest bleken op een later tijdstip bewerkbaar te zijn dan plekken waar de grondwaterstand minder diep is geweest. Hieruit mag echter nog niet worden geconcludeerd dat er ook sprake kan zijn van een maximale grondwaterstand (wat overeenkomt met een grote ontwateringsdiepte).

Uit een modelonderzoek van WIND (1975) is gebleken dat de invloed van de draindiepte op het aantal werkbare dagen op één en hetzelfde zavelprofiel groot is en des te groter naarmate de draindiepte toeneemt. Bij grotere draindiepten dan 1,50 m $\bar{m}v.$ is het aantal werkbare dagen niet veel groter dan bij draindiepten van 1,50 m $\bar{m}v.$ Aan het verschijnsel als in fig. V.8 is weergegeven en waarbij de begindatum van voorjaarswerkzaamheden op plekken met diepe grondwaterstand in februari (>1,50 m $\bar{m}v.$), valt na de begindatum van de werkzaamheden op plekken met een ondiepere grondwaterstand, kan derhalve geen wetmatigheid worden toegekend.

Andere oorzaken (ploegzolen, voorvrucht) zullen hiervoor verantwoordelijk zijn.

Geconcludeerd kan worden uit het onderzoek van BOEKEL (1976) dat een gemiddelde grondwaterstand van 1,0-1,50 m onder maaiveld in februari een vroeg begin van de voorjaarswerkzaamheden waarborgt. Uit onderzoek van WIND (1975) kan worden geconcludeerd dat de draindiepte voor het realiseren van veel werkbare dagen in de voorjaarsperiode minstens 1,3 m mv moet zijn. De hieruit voortvloeiende gemiddelde grondwaterstand zal dan ca. 1,00 m onder maaiveld bedragen. Laagten met draindiepten van 1,3 m of meer zullen derhalve niet belemmerend werken op het uitvoeren van voorjaarswerkzaamheden.

S t r u c t u u r v a n d e b o u w v o o r

Zowel in 1971 als in 1973 werd in de zomer op een beperkt aantal plekken over het gehele bedrijf de structuur op het oog beoordeeld. De daarbij verkregen cijfers liepen nogal uiteen en het bleek dat vooral de ontwateringstoestand daarvoor verantwoordelijk was (fig. V.9). In beide jaren blijkt op percelen met ondiepe grondwaterstand in de winter een slechte structuur voor te komen. De toestand is het gunstigst wanneer onder gemiddelde winteromstandigheden de grondwaterstand niet ondieper dan 1,00 m wordt. Het verschijnsel van een slechter wordende structuur bij zeer diepe ontwatering is moeilijk te verklaren. De lagere waardering in 1973 t.o.v. 1971 is waarschijnlijk te verklaren door het verschil in neerslag (60 mm in februari 1973 t.o.v. 36 mm in 1971) en de neerslagverdeling in februari.

Volgens de gegevens van 1973 voldoen de meeste laagten aan het uitgangspunt dat de grondwaterstand niet hoger moet komen dan 1,00 m onder maaiveld en vertoonden een redelijk goede structuur.

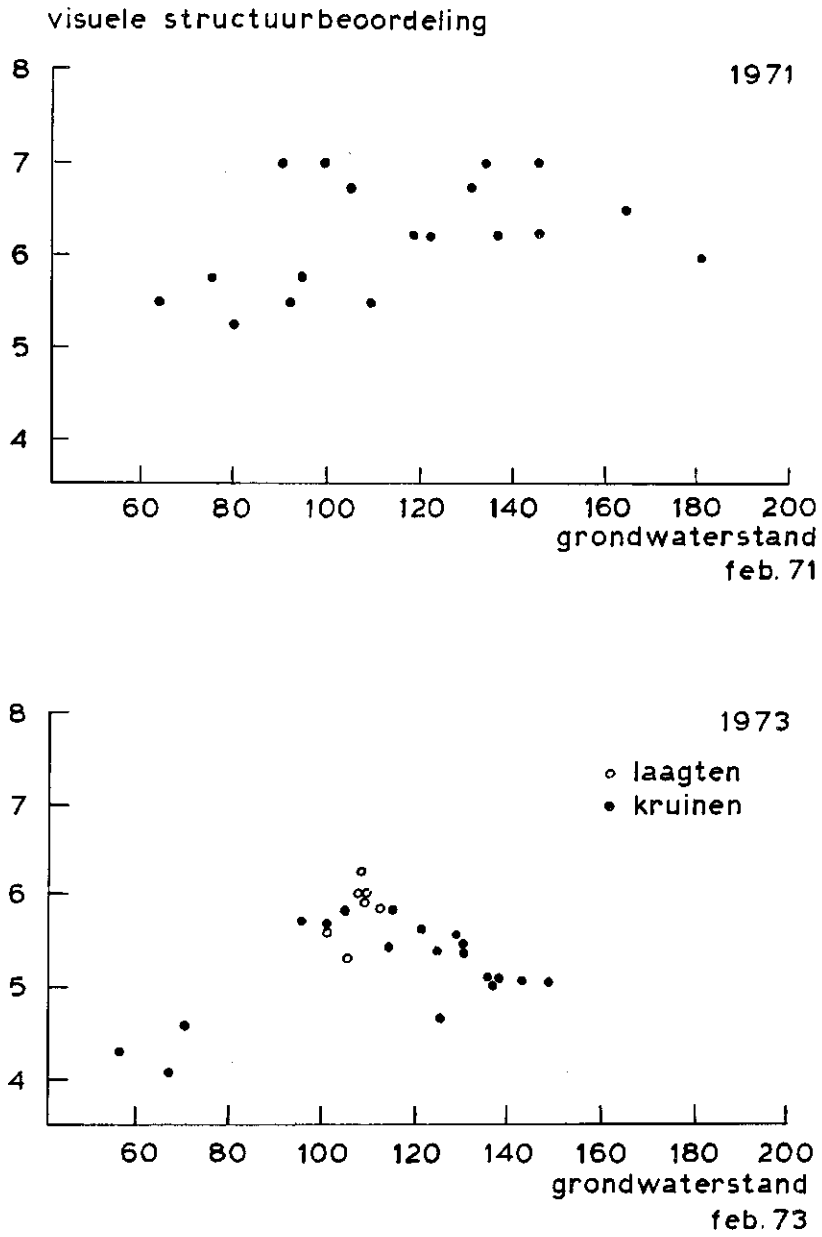


Fig. V.9. Structuur in de zomer in relatie tot de grondwaterstand in de winter

VI. BODEMVERDICHTING

Onder bodemverdichting worden de processen verstaan waarbij het droog vulmegegewicht van de bodem of horizonten daarin, toeneemt.

Aanleiding tot bodemverdichting is een verandering (toename) in de bestaande situatie van evenwicht van de op het bodemskelet werkende krachten, of accumulatie van elders aangevoerd materiaal.

Een oorzaak van de verandering in het evenwicht kan zijn dat de 'extern' uitgeoefende krachten groter zijn dan gebruikelijk. Van deze oorzaak is sprake wanneer er met grotere dan gebruikelijke wieldrukken over de bodem wordt gereden.

Een andere oorzaak is dat de 'interne' spanningen toenemen. Dit geval doet zich voor bij grondwaterstandsverlaging, waarbij door het wegvallen van de opwaartse druk de zogenaamde korrelspanning (d.i. de spanning die in het bodemskelet heerst) toeneemt. De bodemverdichting die hierbij optreedt wordt aangeduid met zetting, waar het proces zich onder de grondwaterspiegel afspeelt en met rijping of krimp, waar het boven de grondwaterspiegel optreedt.

B o d e m v e r d i c h t i n g d o o r r i j d e n

Het transportmiddel en de lading drukken via de banden op de bodem. De gemiddelde spanning in het dragend vlak vermenigvuldigd met het oppervlak van het dragend vlak is gelijk aan het gewicht van transportmiddel en lading. Onder het dragend vlak wordt hier het contact_oppervlak verstaan tussen banden en bodem. De spanning in dit dragend vlak wordt of bepaald door de bandspanning en de karkasstijfheid van de band, of door het draagvermogen van de bodem.

Bij bulldozers, die met stalen rupsen zijn uitgerust, wordt de spanning in het contactvlak uitsluitend bepaald door het draagvermogen van de bodem. Het eerste is het geval indien het draagvermogen van de bodem groter is dan de bandspanning plus karkasstijfheid, het tweede geval komt voor indien het omgekeerde geldt, wat veelvuldig aan de orde is bij transport over niet verharde oppervlakten (vochtige gronden). Wanneer nu het draagvermogen van de bodem de spanning in het draagvlak bepaalt, zal de band gaan insporen. Tijdens het insporen treden er een aantal processen op. Op een vochtige bodem treedt er enige verdichting op waarbij het draagvermogen van de bodem toeneemt. De insporing gaat zover tot of het

draagvermogen van de bodem gelijk is aan de bandspanning + karkasstijfheid, of het produkt van nieuw draagvermogen en oppervlak van het draagvlak gelijk is aan het gewicht van het transportmiddel en lading. In dit geval, waarin het draagvermogen van de bodem door verdichting is ontstaan, neemt de insporingsdiepte bij een tweede keer rijden door hetzelfde spoor slechts weinig toe.

Op een nate bodem, treedt ook insporing op, echter de bodem wordt nauwelijks verdicht. De grond stroomt hier als het ware onder de banden vandaan, waarbij de grondspanning toeneemt tot de bandspanning en karkasstijfheid. De insporingsdiepte wordt in zo'n geval bepaald door de bandspanning etc. en de duur van de belasting (BOELS, 1978).

Wordt door een spoor zoals in dit geval is ontstaan een tweede keergereden, dan zal de insporingsdiepte toenemen. De bodemdruk waarbij juist insporing optreedt wordt de grensspanning genoemd. De grensspanning is op een droge grond groter dan op een natte grond. Voor een lichte zavelgrond zonder ploegzool, is voor verschillende vochtgehalten in de toplaag de grensspanning berekend uit gemeten insporingen aan bulldozers (BOELS en HAVINGA, 1974). De rekenwijze van STEINHARDT (1974) is hierbij gevolgd (tabel VI.1).

Tabel VI.1. Berekende grensspanning op lichte zavelgrond zonder ploegzool bij verschillende vochtgehalten (Naar BOELS, 1978)

Vochtgehalte (gew. %)	20	22	24	25
Grensspanning (kPa)*	325	116	79	49

* $1 \text{ kPa} \approx 0,0101 \text{ kgcm}^{-2}$

Komt wel een ploegzool voor, of is een grasmat aanwezig, dan zijn de grensspanningen in het algemeen hoger.

Onder trekkerbanden komen drukken voor van 200-250 kPa; dus geringer dan bij bulldozers.

Derhalve moet worden aangenomen dat verdichtingen meer door bulldozers worden veroorzaakt dan naderhand door trekkers.

Wanneer door het rijden sporen ontstaan treden er in de bodem verdichtingen of verknedingen op. Bij verdichting blijft vaak de structuur

herkenbaar, zij het dat de grote poriën in aantal afnemen. De structuur is niet meer herkenbaar bij verkneding.

Verkneding van de bouwvoor komt jaarlijks over wisselende oppervlakten voor. Volgens schattingen gebeurt dit op circa 10% van het bietenareaal. Vooral op zavel- en kleigronden resulteert dit in structuurverval. Structuurherstel blijkt steeds mogelijk. Tenzij de structuur zeer slecht is, is de reactie van het gewas op de structuur in veel gevallen onduidelijk (BOEKEL, 1976).

Door het rijden ontstaan niet alleen veranderingen in de bouwvoor. In de ondergrond kunnen soms verdichtingen optreden, die de opbrengsten nadelig beïnvloeden.

De invloed van verschillende cultuurtechnische werken op de bodemdichtheid is gemeten. In tabel VI.2 is een overzicht gegeven van de verschillende activiteiten.

De resultaten van het dichtheidsonderzoek en penetrometerwaarnemingen zijn eveneens in fig VI.1 weergegeven.

Tabel VI.2. Overzicht cultuurtechnische werkzaamheden op diverse monsterplekken

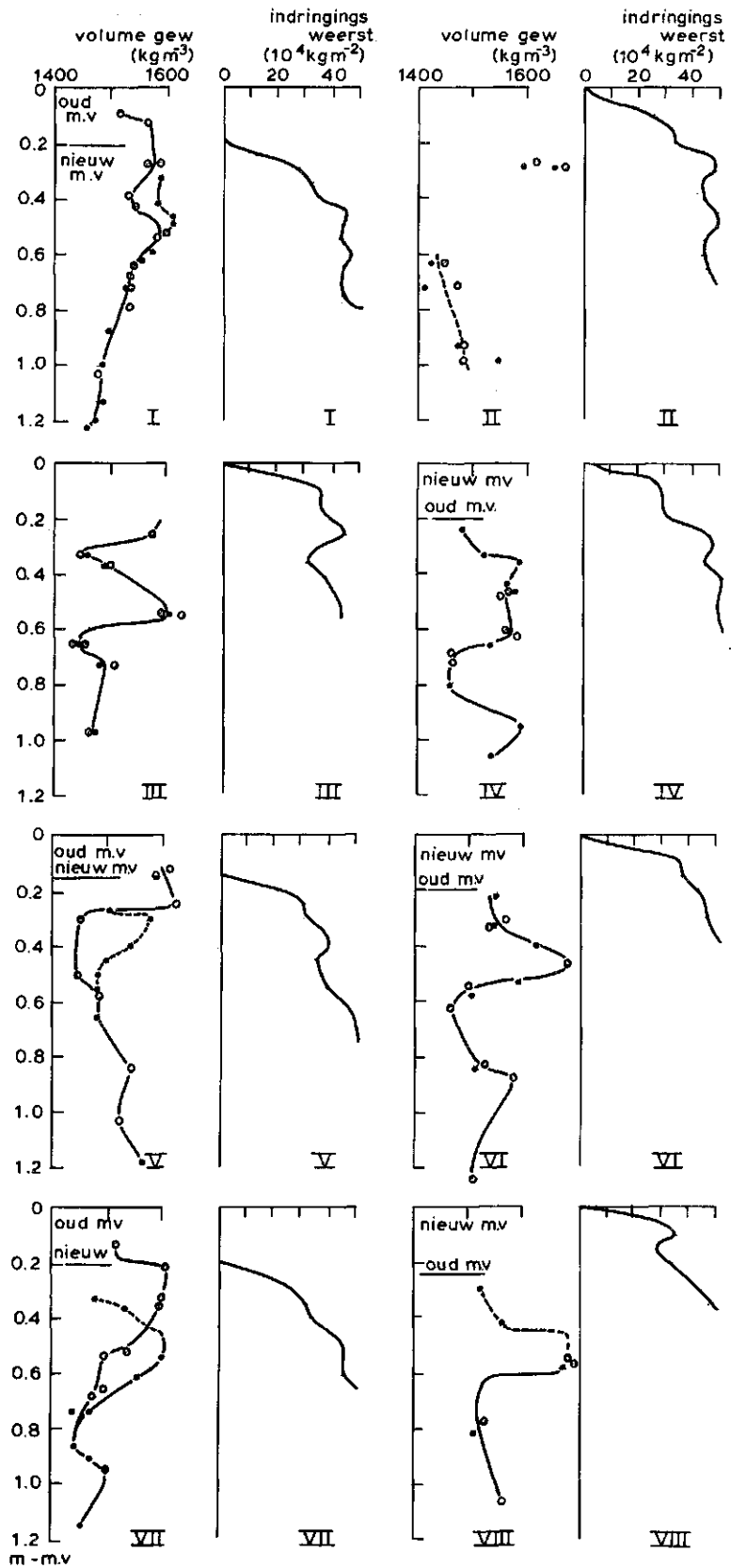
Monster-plek	Ligging	Dikte bouwvoor (m)	Werkzaamheden	Nawerk
I	kruin	0,25	diepploegen 0,45 m afschuiven, 0,17 m	ploegen 0,30 m, woelen* 0,6 m
II	slootkant	0,20	overschuiven ondergrond	ploegen 0,30 m
III	kruin	0,25	geen	geen
IV	slootkant	> 0,30	aanvoer bovengrond met dumper, egaliseren	ploegen met ondergrondwoeler, 0,5 m
V	kruin	0,25	diepploegen 0,45 m, afschuiven 0,18 m	ploegen 0,3 m, woelen* 0,6 m
VI	slootkant	0,20	dumpertransport (80x), overschuiven ondergrond, ophogen, egaliseren	ploegen 0,3 m, woelen* 0,6 m
VII	kruin	0,25	diepploegen 0,5 m, afschuiven 0,22 m	ploegen 0,3 m, woelen* 0,6 m
VIII	slootkant	> 0,30	dumpertransport (80x), overschuiven ondergrond, ophogen, egaliseren, opploegen bovengrond 0,5 m, na-egalisatie	ploegen 0,3 m, woelen* 0,6 m
IX	kruin	0,25	geen	geen
X	slootkant	> 0,30	aanvoer bovengrond, verdichten en egaliseren	ploegen met ondergrondwoeler, 0,5 m
XI	helling	0,25	geen	geen
XII	slootkant	> 0,30	overschuiven slootmodder, ophogen, verdichten, egaliseren	ploegen met ondergrondwoeler, 0,5 m
**				
XIV	helling	0,20	spitten, dragline 0,5 m, weggraven laag ondergrond	geen
XV	reeds gedempte laagte	> 0,25	spitten, dragline 0,5 m, ophogen met ondergrond, afvoer deel bouwvoor	geen

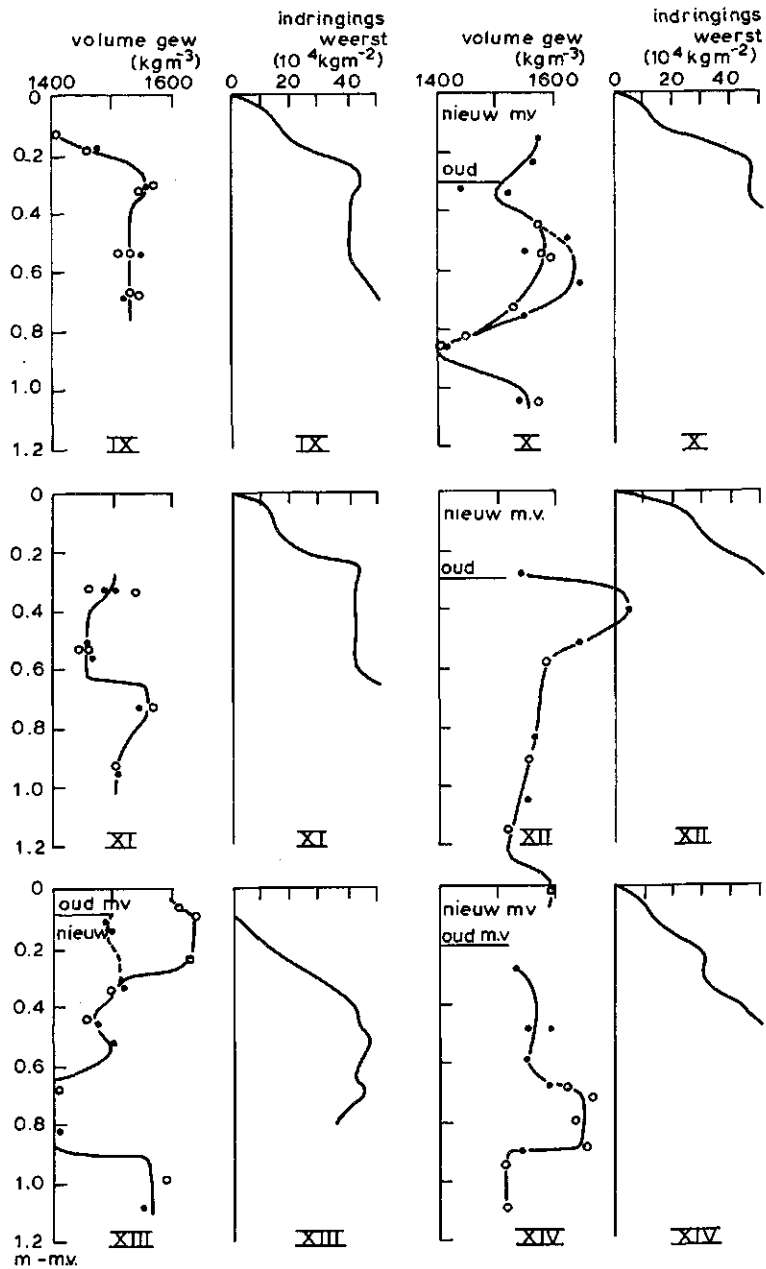
* woelen scherpe woeler, woelpoten op 0,6 m onderlinge afstand

** plek XIII is verstoord

Fig. VI.1. Verloop van de dichtheid met de diepte (0 voor uitvoering van het werk; ● - drie jaar na uitvoering van het werk) en verloop van indringing weerstand, drie jaar na uitvoering van het werk op 9-10-1973.

Bewerkingen, aangeduid met I, II, etc. zijn in tabel VI.2 omschreven





Uit fig. VI.1 blijkt, dat er op grote schaal ploegzolen voorkomen met dichtheden van $1600-1680 \text{ kg m}^{-3}$. Bij het ploegen en afschuiven wordt deze ploegzool weliswaar verwijderd, doch door het bulldozerwerk wordt de ondergrond verdicht, waardoor als het ware een nieuwe ploegzool wordt gecreëerd (plek I, V, VII). Geen extra verdichting van de ondergrond treedt op bij grondtransport met dumpers en bulldozers, wanneer reeds een dichte ploegzool aanwezig is (plek VI, VIII). Is de ploegzool minder dicht, dan ontstaan er grote verdichtingen op de dumpertransportbanen tot

dieptes van ca. 0,7 m (DANIELS en DE SMET, 1974). Ophogen van laagten en intensief berijden met bulldozers leidt tot zeer grote verdichting in de oorspronkelijke bouwvoor en het opgebrachte materiaal (plek XII en X). Hieruit kan geconcludeerd worden dat verdichtend rijden met de bulldozer om (ongelijke) nazakkingen in de grondaanvullingen te voorkomen, beter kan worden nagelaten en in plaats daarvan enige overhoogte aan te houden. Het ophogen door grondaanvoer met bulldozers (plek II) en het ophogen met grond dat door dumpers is aangevoerd en daarna met bulldozers is gespreid (plekken IV, VI en VIII) geeft geen duidelijk verschil te zien.

Vermindering van verdichting door te woelen met een scherpe woeler heeft niet tot duidelijk resultaat geleid (plek I, V, VI, VII, VIII).

Meer effect is bereikt met de combinatie ploeg-ondergrondwoeler. De diepte tot waar effect is gesorteerd is echter hooguit 0,35 m (plek IV, X). Wel is de laag onder de nieuwe bouwvoor los gebleven waar de ondergeschoven bouwvoor met een kerend werkende diepploeg aan het oppervlak is gebracht (plek VIII), of waar met een dragline is gespit (plek XIV en XV).

De gemeten indring weerstanden (met een penetrometer met conus van $0,0001 \text{ m}^2$ en tophoek 30°) in het voorjaar, geven redelijke informatie over de dichtheid van de bodem.

Voor het opsporen van verdichtingen van ernstige aard is dit instrument bruikbaar. In dat geval zijn de indring weerstanden groter dan $44,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ($\approx 45 \text{ kg cm}^{-2}$). De dichtheden zijn dan zo groot, dat met langdurig resultaat de grond kan worden losgemaakt. Dit laatste is het geval indien de dichtheid in de lagen 0,2 - 0,3 m, 0,3 - 0,4 m, 0,4 - 0,5 m en 0,5 - 0,6 m onder maaiveld respectievelijk groter is dan 1570, 1550, 1530 en 1510 kg m^{-3} (HAVINGA, 1975). Dit losmaken kan goed met een woeler worden uitgevoerd mits de verhouding breedte woelpoot : werkdiepte circa 1 : 4 is en de onderlinge afstand tussen woelpoten niet groter is dan $\frac{1}{3}$ van de werkdiepte vermeerderd met de breedte van de woelpoot (SPOOR, 1978). De scherpe woeler voldoet niet aan deze norm.

Wanneer zou worden gewoeld indien in de laag 0,2 - 0,5 m onder maaiveld een laag van minstens 0,1 m aanwezig is waarvan de indring weerstand groter is dan $44,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, dan zouden 6 van de 12 onderzochte profielen alsnog voor een losmakende bewerking in aanmerking komen. Van de drie onderzochte gediëpploegde en afgeschoven plekken komt er hooguit één in aanmerking voor woelen.

VII. GEWASREACTIE

Gewasopbrengsten kunnen door bodemverdichting en verschraling worden beïnvloed.

Een verdichting kan op verschillende manieren invloed uitoefenen. In de eerste plaats kan dit door wijzigingen in de luchthuishouding.

Een dichte grond bevat in het 'natte' traject ($pF < 2$) een geringer luchtgehalte dan een lossere grond.

Tabel VII.1. illustreert de samenhang tussen dichtheid, vochtspanning en luchtgehalte.

Tabel VII.1. Samenhang dichtheid (kg.m^{-3}), vochtspanning en luchtgehalte van zavelgrond

Dichtheid kg.m^{-3}	Porositeit $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$	Luchtgehalte ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) bij pF-waarde									
		0,5	1,0	1,5	1,8	2,0	2,3	2,7	3,4	4,2	
1500	0,434	0,034	0,043	0,072	0,098	0,124	0,184	0,220	0,304	0,320	
1550	0,415	0,030	0,037	0,053	0,065	0,080	0,105	0,130	0,238	0,310	
1600	0,396	0,022	0,026	0,038	0,050	0,065	0,102	0,126	0,230	0,290	

Voor wortelgroei is een minimale zuurstoftoevoer nodig voor ongestoorde groei. Een goede ontwikkeling van een kiemplant lijkt gewaarborgd bij een zuurstofdiffusie naar de wortels van $15 \text{ à } 23 \times 10^{-8} \text{ gr O}_2 \text{ cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$ (STOLZIJ et al. 1961, VAN DORP, 1977) in het algemeen lijkt deze toevoer gewaarborgd wanneer het luchtgehalte in de wortelzone groter is dan een van het gewas afhankelijke waarde (tabel VII.2).

Tabel VII.2. Minimum luchtgehalte in de wortelzone nodig voor normale groei (naar CHARALAMPOS, 1969)

Gewas	Minimum luchtgehalte ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$)
Tarwe	0,054 - 0,110
Aardappel	0,120 - 0,140
Suikerbiet	0,070 - 0,120
Mais	0,110

Wanneer de vereiste luchtgehalten niet kunnen worden gerealiseerd, ontwikkelen de wortels van kiemplanten zich meer in de breedte dan in de diepte (EAVIS, 1972). Hierdoor blijft de bewortelingsdiepte beperkt, wat later in het groeiseizoen het risico van verdroging verhoogd.

De achteruitgang van het luchtgehalte bij een zekere vochtspanning hoeft niet noodzakelijkerwijs door verdichting te ontstaan. Vervorming bij overigens gelijkblijvende porositeit en verslemping heeft eenzelfde effect. In de doorlatendheid komt dit vooral sterk naar voren (BOELS, 1978).

Vervorming komt in een dichtheid niet tot uitdrukking, wel echter in een structuurbeschrijving. In tabel VII.3 is de samenhang tussen verdichting, structuur van het profiel, voorgesteld door een profielwaarderingscijfer, en de bewortelingsdiepte van enkele gewassen weergegeven.

Het profielwaarderingscijfer is volgens een door STRIETMAN (1969) ontwikkelde methode bepaald. Deze methode houdt in dat de structuur van lagen in het profiel volgens de klassificatie van JONGERIUS (1959) wordt beschreven. Elke structuur krijgt een waarderingscijfer waarin de bewortelbaarheid tot uitdrukking komt.

Bodemlagen die onder een niet bewortelbare laag liggen krijgen de waardering van de niet bewortelbare laag, ongeacht hun structuur.

Tabel VII.3. Samenhang bodemverdichting, verschraling, profielwaardering en bewortelingsdiepte op een zavelgrond (resultaten van proefveld te Wehe)

Object	Verdichting ^{**} $\frac{m^3}{m^2}$	Verschraling [*] (%)	1973			1974			1975		
			profiel- waardering	aard- appel	bewortelingsdiepte	profiel- waardering	beworte- lings- diepte	profiel- waardering	beworte- lings- diepte	profiel- waardering	beworte- lings- diepte
1	0,0014	18	6,3	0,25	0,80	6,5	0,85	7,8	0,75	0,75	
4	0,0030	40	5,3	0,25	0,75	4,1	0,55	4,0	0,50	0,50	
7	0,0027	75	5,3	0,30	0,50	-	-	-	-	-	
9	0,0024	51	-	-	-	-	-	2,65	0,45	0,45	
10	0,0044	59	-	-	-	-	-	2,72	0,50	0,50	
11	0,0049	100	-	-	-	5,0	0,50	-	-	-	
12	0,0064	54	-	-	-	-	-	2,85	0,40	0,40	
14	0,0034	100	3,7	0,20	0,30	4,4	0,30	-	-	-	

* verschraling als percentage ondergrond in de laag 0-0,10 m onder m.v. direct na afschuiven

** verdichting weergegeven als daling van het maaiveld. Het betreft verdichting onder de bouwvoor

Uit tabel VII.3 blijkt dat de bewortelingsdiepte van aardappels beperkt is. De laag direct onder de bouwvoor wordt nog enigszins beworteld. Dit gebeurt echter niet meer wanneer de structuur van die laag zeer slecht is.

Voorts blijkt uit deze tabel dat tarwe een geringe bewortelingsdiepte heeft zodra het profiel waarderingscijfer geringer is dan 5.

Door verdichting van enige omvang ($> 0,002$ m) wordt de bewortelingsdiepte van tarwe teruggebracht van ca. 0,8 m tot ca. 0,5 m.

Hierdoor wordt dit gewas droogtegevoeliger. Of er daadwerkelijk droogteschade optreedt hangt uiteraard af van het weer en de mogelijke vochtleverantie vanuit de bodem.

Tabel VII.4. Relatieve verdamping, verdichting en bewortelingsdiepte van zomertarwe in 1975 te Wehe

Object	Verdichting	Bewortelingsdiepte	Verdamping	Relatieve verdamping
1	0,0014	0,75 m	305 mm	100%
4	0,0030	0,50	246 mm	81%
9	0,0024	0,45	228 mm	74%
10	0,0044	0,50	213 mm	70%
12	0,0064	0,40	221 mm	72%

Uit tabel VII.4 blijkt, dat naast de bewortelingsdiepte de mate van verdichting de verdamping beïnvloedt. Wegens het nagenoeg lineair verband tussen verdamping en opbrengst, is de relatieve verdamping tevens een maat voor de relatieve opbrengst, mits water de limiterende groeifactor is. De samenhang tussen verdichting en opbrengst van verschillende gewassen is bepaald op een proefveld te Wehe (BOELS en HAVINGA, 1973).

Een samenvatting van deze relatie is in tabel VII.5 weergegeven.

Tabel VII,5. Verband bodemverdichting en gewasopbrengst (gemiddeld 1973 t/m 1975) op proefveld te Wehe

Object	Bodem- verdichting	Gemiddelde relatieve opbrengst (%)		
		aardappel	haver	tarwe
1	0,0014	100	100	100
2	0,0015	95	85	93
3	0,0012	107	77	96
4	0,0030	103	78	94
5	0,0064	65	77	73
6	0,0008	77	59	82
7	0,0027	95	78	92
8	0,0034	108	81	92
9	0,0024	104	81	89
10	0,004	93	81	84
11	0,0049	82	70	83
12	0,0064	66	66	82
13	0,0044	86	67	75
14	0,0034	88	75	68

Uit tabel VII.5 blijkt, dat enige verdichting (tot 0,0035) geen invloed heeft op de opbrengst van aardappels. De oorzaak hiervan is dat ook in de situatie zonder extra verdichting de bewortelingsdiepte beperkt is. Pas bij sterke verdichtingen neemt de bewortelingsdiepte af (tabel VII.3), terwijl dan ook de opbrengst vermindert. Opgemerkt zij dat op de objecten met sterke verdichting snel rot in de aardappels optreedt. Haver reageert vrij sterk op een geringe bodemverdichting, terwijl bij verdergaande verdichting er slechts een geringe extra opbrengstdepressie optreedt.

Tarwe laat tot een verdichting van ca. $0,0035 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ een geringe opbrengstdepressie zien en grote depressies bij grotere verdichtingen.

Gelet op de eisen die suikerbieten stellen aan de luchthuishouding (tabel VII.2) mag worden aangenomen dat dit gewas een opbrengstreactie laat zien die meer lijkt op die van tarwe dan die van aardappels.

Op het proefobject te Kloosterburen zijn de opbrengsten gedurende vier jaar op verschillende plekken gemeten en soms geschat (granen, graszaad). Wanneer schattingen zijn gedaan, is de referentie-opbrengst verkregen door de geschatte totale opbrengst te corrigeren aan de hand van door de boer opgegeven totale opbrengst.

Tabel VII.6. Gemiddelde opbrengsten op verschillende objectgedeelten

Object- omschrijving	Aardappels				Bieten				Granen			
	'71	'72	'73	'74	'71	'72	'73	'74	'71	'72	'73	'74
Niet bewerkte kruin	40,6	53,4	77	-			21,1	20,6	3,6	3,0	4,7	4,3
Niet bewerkte helling	37,2			37,0						3,0	4,4	3,9
Met dumpers bereden strook	39,0		51	32,5			18,5	22,9	2,5	3,0		
Met bulldozers opgehoogde laagte	33,7	46,2	59	15,5			19,6	22,9	2,4	3,0	4,3	3,1
Geploegd en afgeschoven		40,8										4,7

Doordat het inrichtingswerk in 1971 vrij laat gereed kwam, is overwegend zomergerst verbouwd. Ten gevolge van de late inzaai is de opbrengst ervan laag gebleven. De stand van wintertarwe in 1972 was zeer goed, zowel op de kruinen als in de laagten.

Door een periode van zeer warm weer is er in dit gewas zaadrijpheid ontstaan, waardoor de opbrengsten erg laag bleven (3 ton per ha). Verschil in opbrengst op de verschillend bewerkte percelen is niet geconstateerd in dat jaar.

Graszaad in dat zelfde jaar toonde ook geen verschillen.

De pootaardappelopbrengst in 1972 liep nogal uiteen. Het hoogst was de opbrengst op een kruin waar in het voorafgaand jaar grasland was geweest (69 ton per ha). Het laagst was de opbrengst in een opgehoogde laagte waar verdichtend was gereden (34 ton per ha). De opbrengst op gedempte sloten was goed (55 ton per ha), terwijl die op een geploegd en afgeschoven perceelsgedeelte laag was (40,8 ton per ha). De opbrengst op de overige niet bewerkte kruinen was gemiddeld 47 ton.

Consumptieaardappelen gaven in 1973 opbrengsten van 59 ton (gedempte sloot), 51 ton (rijstroken met dumpertransport) en 77 ton (onbewerkte kruin).

De opbrengst van bieten is bepaald als droge stof opbrengst per ha. Op een rijstrook langs een gedempte sloot was de opbrengst 18,5 ton droge stof per ha (1495 kg suiker), voor een opgehoogde laagte is de opbrengst bepaald op 19,6 ton (2070 kg suiker), terwijl dit voor een niet bewerkte kruin 21,1 ton was met 1542 kg suiker.

Waarschijnlijk door te hoge N-gift is op de kruin veel blad gevormd, waardoor het suikergehalte laag is gebleven. De hoeveelheid droge stof in het blad op de kruin (9,3 ton per ha) was dan ook groter dan in de opgehoogde laagte (6,8 ton per ha).

De bietenopbrengst in 1974 op een gedeelte waar in 1972 aardappels waren verbouwd toonde eenzelfde tendens als de aardappelopbrengst.

Zo was de bietenopbrengst op de niet bewerkte kruin (20,6 ton droge stof) lager dan op een matig bereden rijstrook in de laagte (22,9 ton per ha) en op de opgehoogde laagte en gedempte sloot (22,9 ton per ha).

Aardappelopbrengsten in 1974 zijn bepaald in een strook langs de diepe leiding die aan de noordzijde van het bedrijfsgebouw ligt. Over deze strook is gereden en heeft grond in depot gelegen. Op een nagenoeg niet bereden helling was de opbrengst van pootaardappelen 37 ton per ha, op de bereden hellingen was dit gemiddeld 32,5 ton per ha. In de matig bereden laagte was de opbrengst ook 32,5 ton, terwijl in de sterk bereden laagte (met bulldozer verdicht) de opbrengst 15,5 ton per ha bedroeg.

De opbrengst van wintertarwe liep nogal uiteen. Duidelijk kwam naar voren dat de opbrengsten in reeds bestaande laagten lager waren dan op kruinen. Deels laat zich dit verklaren door overzaaien met zomertarwe in de uitgewinterde plekken in deze laagten.

Op een aantal onbewerkte kruinen was de opbrengst laag (4,8 ton per ha respectievelijk 4,3 ton per ha).

Voorts viel op dat de opbrengst op perceelsgedeelten naast de onderbemalingssloot hoger was dan op de veraf gelegen perceelsgedeelten.

VIII. ECONOMISCHE EVALUATIE

Naast de technische evaluatie van het proefobject hoort ook een economische evaluatie. Hierbij is in eerste instantie alleen het proefobject zelf beoordeeld. Naderhand is ten behoeve van de toepasbaarheid van de onderhavige inrichtingsmethode in ruilverkavelingen ook een berekening gemaakt van de investeringen en jaarlijkse baten van een 12-tal inrichtingsvarianten. De batenberekeningen zijn uitgevoerd door de afdeling Landbouw Economisch Onderzoek van de LD te Utrecht.

De relevante inrichtingskosten van het proefobject te Kloosterburen bedroegen gemiddeld f 4570 per ha (prijsniveau nov. 1979), de kosten van de tijdelijke onderbemaling inbegrepen. De hier tegenover staande baten zijn berekend op basis van cultuurtechnische kengetallen en bedrijfs-economische gegevens. Hoewel gebruik is gemaakt van de in het kader van de HELP ontwikkelde rekentechnieken, wijkt de evaluatie van dit proefobject af in die zin dat hier vergeleken zijn de situatie vóór en na inrichting. De autonome ontwikkeling en het planeffect na 10 jaar zijn derhalve buiten beschouwing gelaten. Deze benadering is gekozen om een vergelijking te houden met de investeringseffectberekening, die Kester en Sprik in hun Regionale Studie hebben berekend voor enkele proefcomplexen in de ruilverkaveling "De Marne" waar op vergelijkbare wijze perceelsvergroting was gedacht.

De cultuurtechnische kengetallen, alsook de relevante inrichtingskosten van het proefobject voor en na de inrichting zijn verzameld door de afdeling Onderzoek te Groningen. Naast deze cultuurtechnische informatie zijn ook gegevens nodig over de bedrijfsvoering, zoals het bouwplan, de toegepaste werkmethoden en bedrijfseconomische gegevens, zoals de bruto-geldopbrengst en het saldo van de gewassen. Ook inzicht in de huidige problematiek van de bedrijfsvoering en een visie op de toekomstige ontwikkelingen is daarbij gewenst. Over deze aspecten is informatie verschaft door het Consulentschap voor de Akkerbouw te Groningen.

Omdat het proefobject deel uitmaakt van een (groter) bedrijf, dat bovendien nog in een maatschap met twee andere bedrijven verkeert, was het moeilijk een bouwplan van het proefobject aan te geven. Vanwege het representatieve karakter van dit proefobject voor deze regio is het grondgebruik van de gemeente Kloosterburen geanalyseerd, voor zover het akkerbouw betreft. Hieruit is een vereenvoudigd bouwplan voor het

proefobject gedestilleerd. Op de vrij grote bedrijven in deze regio (gemiddeld 50 ha) is vereenvoudiging van het bouwplan inherent aan perceelsvergroting. Aangezien verandering in het bouwplan anderzijds ook moeilijk aan alleen het planeffect is toe te schrijven is verondersteld dat het vereenvoudigde bouwplan geen wijziging ondergaat. In tabel VIII.1 is het bouwplan weergegeven.

Tabel VIII.1. Bouwplan van het proefobject voor en na inrichting

Gewas	Oppervlakte-aandeel
Granen	50%
Pootaardappelen	25%
Cons.aardappelen	5%
Suikerbieten	20%

In de batenberekening is opgenomen dat 5% consumptie-aardappelen een minimum oppervlakte van 5 ha omvat. Dit bouwplan moet als een gemiddelde worden beschouwd, van jaar tot jaar zullen de percentages wisselen in verband met de grootte van de percelen. Bij de batenberekening is, ervan uitgegaan dat het graan voor 30% bestaat uit wintertarwe, voor 10% uit wintergerst en voor 10% uit zomergranen.

Tabel VIII.2. Bruto-geldopbrengst en saldo in guldens per ha
(Prijspeil 1979)

Omschrijving	w.tarwe	w.gerst	z.graan	cons. aard.	poot- aard.	s.bieten
Bruto-geldopbrengst	f 3300	f 2900	f 2500	f 9000	f 13650	f 4100
Toegerekende kosten (incl. loonwerk)	1100	850	650	2800	4300	2050
Saldo	2200	2050	1850	6200	9350	2050

De cultuurtechnische gegevens zijn in tabel VIII.3 weergegeven. Hierbij zijn alleen de veranderende kengetallen opgenomen.

Tabel VIII.3

Omschrijving	Voor inricht.	Na inricht.	Gt-klassen in %	Voor	Na
Oppervlakte per perceel	2,5	10,8	V K 5z	47	10
Lengte : breedte verhouding	1,5	1,5	V K 5z	34	20
Aantal m' hele sloot/ha	128	62	VI K 5z	19	70
Gem. slootbreedte	3,0	6,0			
Kavelpad in m ² /ha	36	18			
Goed gedraineerde opp.	30	80			
Aantal m' drains/ha	100	260			

Het depressie-percentage neemt af van 14,1 naar 7,2%. Overeenkomstig de bevindingen op het object kan niet 100% van de oppervlakte als goed ontwaterd worden aangemerkt. Behalve dat enkele laagten met 2 drains onvoldoende ontwaterd zijn, hebben vooral de perceelsranden aan de buitenkant van het object een nog onvoldoende ontwatering vanwege het nog niet effectueren van het boezempeil in dit deel van de ruilverkaveling De Marne.

Baten

De baten van perceelsvergroting zijn onder te verdelen in baten als gevolg van kostenbesparing en baten als gevolg van opbrengststijging.

Perceelsvergroting

Afstandsverkorting is op dit object niet aan de orde. Door perceelsvergroting van 2,5 ha naar gemiddeld 10,8 ha treedt een besparing op van 3,7 man machine-uren per ha. Het benodigde aantal uren is berekend met het taaktijdenprogramma van het I.M.A.G. te Wageningen. Deze besparing resulteert in besparing op variabele kosten van de eigen trekkers en werktuigen. Behalve op eigen werktuigkosten wordt er bespaard op loonwerkkosten. Voor de vaststelling hiervan zijn de oppervlaktetarieven omgerekend tot een uurtarief. De werkzaamheden worden voor ongeveer 80% met eigen machines en voor 20% door de loonwerker uitgevoerd. De waarde van een bespaard uur bedraagt op basis hiervan f 22,85. De jaarlijkse baten zijn dan f 85 per ha.

Toename beteelbare oppervlakte

Door perceelsvergroting neemt enerzijds de lengte aan perceelsranden en wendakkers per ha af en dus ook de strook met een lager opbrengstniveau; dit resulteert in f 155 aan baten. Anderzijds ontstaat in de laagten, door het herhaald aanbrengen van ondiepe geulen, een nieuwe depressie, weergegeven als een strook grond ter breedte van 0,5 m met een opbrengst van 0; resultaat f 15 opbrengstverlaging. Het effect van vormverbetering resulteert in f 35 aan baten. Door het dempen van sloten enerzijds en het graven c.q. hergraven van sloten anderzijds ontstaat een toename in beteelbare oppervlakte, hetgeen gemiddeld per jaar f 35 per ha aan baten oplevert.

Afname van de oppervlakte aan kavelpaden resulteert eveneens in meer-opbrengst en wel ter waarde van f 25 per ha per jaar.

Toename van de beteelbare oppervlakte en minder depressie op randen en wendakkers levert aldus gemiddeld per jaar f 235 per ha aan baten op.

Onderhoud sloten, zakputten en drainage

Door slootdemping neemt het aantal meters sloot per ha af met 66 m; dit resulteert in een verlaging van de onderhoudskosten en wel met $66 \times f 0,65 = f 43$ per ha per jaar. Zakputten, een integrerend onderdeel van de inrichtingsmethode op dit object, komen voor met een intensiteit van 1 per 14 ha. Als onderhoud is aangenomen het vervangen van het schelpenfilter en het leeg maken van de put 1 keer per 2 jaar. Per ha per jaar geeft dit f 5 aan meer onderhoud.

Drainage komt voor in de vorm van slootvervangende drainage; per ha omgerekend komt dit neer op 260 m' per ha. Voor onderhoud is gemiddeld f 0,05 per meter drain per jaar in rekening gebracht; per ha bedragen de onderhoudskosten dan f 13.

In de oude situatie was reeds 100 m' drain per ha aanwezig zodat de netto onderhoudslast met f 8 per ha toeneemt. Een specifieke onderhoudslast is het (regelmatig) aanbrengen van geulen in de laagten met een greppelfrees. De intensiteit van deze handeling is gesteld op gemiddeld 3 x per jaar. Door perceelsvergroting is de lengte aan laagte toegenomen met 66 meter; de toename van de onderhoudslast hiervan bedraagt $66 \times f 0,50 = f 33$ per ha per jaar.

Samengevat neemt de netto onderhoudslast toe met f 3 per ha.

Ontwateringssituatie

In tabel VIII.3 is de verdeling van de oppervlakten over de Gt-klassen gegeven. Op basis van opbrengst depressienormen behorend bij elke Gt-klasse en de bruto-opbrengsten van dit gebied zijn de baten van de verbeterde waterhuishouding berekend. Deze bedragen f 440 per ha per jaar.

Samenvatting

De totale netto baten bedragen aldus f 757 per ha per jaar. De verbetering van de waterhuishouding is hierbij het belangrijkste aspect. Op deze baten moeten de kosten van inrichting nog in mindering worden gebracht. De inrichtingskosten bedroegen f 4570 per ha. Het investeringseffect bedraagt dan 16,5%. In vergelijking met de 7% van Kester en Sprik is dit aanmerkelijk meer, hetgeen vooral moet worden toegeschreven aan het sindsdien sterk geïntensiveerde bouwplan in deze regio. De interne rentevoet is bij een looptijd van 30 jaar berekend op 16,4%.

Eveneens zijn economische evaluaties uitgevoerd voor de eerdergenoemde 12 alternatieve inrichtingsvarianten.

Met betrekking tot de batenkant kan worden opgemerkt dat eenzelfde benadering is gekozen als voor het proefobject, d.w.z.: batenberekening voor en na inrichting, eenzelfde bouwplan, een constante bedrijfsgrootte van 45 ha. Ook zijn gelijke bedrijfseconomische gegevens gehanteerd. De inrichtingskosten zijn reeds aangegeven bij het onderdeel toepassingsmogelijkheden; volstaan wordt met op te merken dat gerekend is met normbedragen per m³ grondverzet, per m' slootvervangende drainage en met een bedrag van f 1200 voor waterbeheersingswerken per ha in ruilverkavelingsverband in vrijkomende gebieden.

In tabel VIII.4 is een overzicht gegeven.

Tabel VIII.4. Investerings en jaarlijkse baten per ha bij diverse alternatieven

Perceelsgrootte oude situatie	Perceelsgrootte na inrichting				
	5,0 ha	7,5 ha	10,0 ha	15,0 ha	
1,5 ha	kosten	f 3745	f 5190	f 5850	f 6190
	baten	f 865	f 975	f 1030	f 1105
2,5 ha	kosten	f 3450	f 4260	f 4760	f 5090
	baten	f 675	f 775	f 835	f 915
5,0 ha	kosten	f 2665	f 3630	f 4145	f 4625
	baten	f 465	f 600	f 665	f 735

Het rendement van de investeringen bij de diverse alternatieven is op nationaal economische basis weer te geven door de interne rentevoet. Deze interne rentevoet geeft het rentepercentage weer waarbij de contante waarde van de jaarlijkse baten (gedurende 30 jaar) gelijk is aan de investering + de contante waarde van de lopende kosten. Onder lopende kosten is hier verstaan de onderhoudskosten die reeds bij de batenberekening is verdisconteerd.

In tabel VIII.5 is het resultaat weergegeven.

Tabel VIII. 5. Interne rentevoet

Perceelsgrootte oude situatie	Perceelsgrootte na inrichting			
	5,0 ha	7,5 ha	10,0 ha	15,0 ha
1,5 ha	23 %	18,5%	17,5%	17,5%
2,5 ha	19,5	18	17,5	17,5
5,0 ha	17,5	16,5	16,0	15,5

De aldus berekende rentevoet loopt uiteen van 23% bij vergroting van 1,5 ha naar 5,0 ha tot 15,5% bij vergroting van 5,0 ha naar 15,0 ha. Hieruit valt te concluderen dat perceelsvergroting ongeacht de uitgangssituatie en mate van vergroting een zeer aantrekkelijke zaak is. Opvallend is echter de 17,5% interne rentevoet bij inrichting van een 5 ha groot perceel zonder substantiële vergroting. De baten zijn hier geheel toe te schrijven aan het effect van een betere ontwateringssituatie; de investering daarbij

bestaat uit een gering grondverzet en slootvervangende drainage. Nadere analyse van de overige percentages geeft te zien dat het rendement van perceelsvergroting (grondverzet) afneemt naarmate de basispercelen groter zijn; de mate van vergroting heeft daarentegen weinig invloed op de interne rentevoet. Het effect van een betere ontwateringssituatie bedraagt het dubbele of meer van het effect van vergroting en is hoger naarmate de basispercelen groter zijn (bij toenemende perceelsvergroting neemt de interne rentevoet af). Het hoge rendement wordt in algemene zin teweeggebracht door het intensieve bouwplan en de relatief lage investeringen.

IX. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het proefobject te Kloosterburen heeft gefungeerd als demonstratie- en testobject voor enkele vormen van perceelsvergroting met aangepaste egalisatie en beperkte drainage op de kruinige lichte zavelgronden van Noord-Groningen.

De bevindingen op dit object hebben, tezamen met ervaringen op andere relevante objecten, een kwalitatief goede basis gelegd voor het formuleren van richtlijnen en randvoorwaarden t.b.v. perceelsvergroting met een (sterk) beperkt grondverzet.

De inrichting van het object te Kloosterburen is t.o.v. de praktijk-situatie geforceerd te noemen. Effectuering van het boezempeil kon vooruitlopend op de uitvoering van de ruilverkaveling "De Marne" alleen met een tijdelijke onderbemaling, waardoor een ingewikkeld systeem van samengestelde slootvervangende drainage nodig bleek. Voorts zijn op dit object percelen vergroot tot max. 13 ha, hetgeen bij samensmelting van 7 à 8 percelen hoge eisen stelt aan de uitvoering. Ten einde de bruikbaarheid van zakputten te testen zijn in één perceel zelfs 2 putten gesitueerd. Hoewel de feitelijke inrichting aldus niet representatief kan zijn voor de praktijksituatie, zijn de bevindingen wel overdraagbaar. Perceelsvergroting in de praktijksituatie zal doorgaans eenvoudiger zijn en ook minder risico's inhouden.

Essentieel bij de inrichting is de volgorde van uitvoeren: na het graven van kavelsloten dient eerst de slootvervangende drainage te worden gelegd, vervolgens worden de te dempen sloten eerst opgeschoond en daarna gedempt.

Het ontworpen ontwateringssysteem functioneert voldoende om in het voorjaar het vergrote perceel in z'n geheel vroegtijdig te bewerken, terwijl ook in het najaar de laagten geen belemmering vormen voor de oogstwerkzaamheden. Voorwaarden zijn een draaindiepte in de laagte van ten minste 1,20 m en een drooglegging van de laagte van ten minste 1,30 m. Hoewel het systeem met samengestelde slootvervangende drainage redelijk tot goed gefunctioneerd heeft, verdient enkelvoudige drainage de voorkeur. Samengestelde drainage is duurder en is kwetsbaar.

De slootvervangende drainage kan bestaan uit 1 of 2 drains ter weerszijden van de te dempen sloot of op te hogen laagte. Het systeem met in totaal

2 drains heeft, als gevolg van een te geringe diepte en een onvoldoende afvoercapaciteit, onvoldoende gewerkt. Kruinen zijn voldoende ontwaterd wanneer de afstand tussen de ontwateringsmiddelen niet groter is dan ca. 100 à 120 m bij een diepte van de ontwateringsbasis van ca. 2,0 m. Indien niet aan deze verhouding kan worden voldaan, dient de kruin aanvullend (diep) gedraineerd te worden (grote afstand).

Oppervlakkig afstromende neerslag komt voor; in de meeste gevallen is deze afkomstig van ca. 15% van het potentiële oppervlak.

Tijdens oppervlakte-afvoer is de grondwaterstand nooit tot in het maaiveld gestegen. Een te geringe infiltratiecapaciteit (verslemping) is derhalve oorzaak geweest van de "run off". Op sterk versmeerde grond is de infiltratiecapaciteit ca. 0,0002 m/etm.

Naarmate het humusgehalte van de bouwvoor lager is neemt de slempgevoeligheid toe. Diepe ontwatering doet de slempgevoeligheid afnemen, met name bij lage humusgehalten. Op percelen die jaarlijks sterk verslempen mag gemiddeld 7 keer per jaar gedurende ca. 3 dagen "run off" worden verwacht. Bij lichte verslemping is dit gemiddeld 3 keer per jaar. Ook in de verbeterde toestand lijkt een voorziening voor de afvoer van oppervlakkig afstromende neerslag noodzakelijk. Hiervoor is in de ophoging boven de gedempte sloot of in de laagte een helling nodig van 30 cm per 100 m. Zakputten zijn aantrekkelijk als minstens ca. 500 m³ op grondverzet kan worden bespaard. Vanwege het achterwege blijven van noodzakelijk onderhoud dient gezocht te worden naar een ander type zakput. Ondanks de aangebrachte helling blijft het nodig in de laagten ondiepe geulen aan te brengen, ten einde de door bewerkingen ontstane ingesloten laagten te ontsluiten (ook b.v. bij aardappelruggen).

De gemiddelde grondbehoefte bedroeg 315 m³ per ha, hiervan is 100 m³ per ha gewonnen door middel van ploegen en afschuiven. Op ca. 10% van de oppervlakte is deze methode toegepast, waarbij met een constante diepte werd geploegd. Door dit zogenaamde schilploegen blijft de kruinigheid bestaan.

Als gevolg van het ploegen en afschuiven is er verschraling opgetreden. Het percentage ondergrond in de nieuwe bouwvoor was gemiddeld 18% (10 - 40%). Door deze verschraling neemt de slempgevoeligheid toe.

Verschraling wordt tot een minimum beperkt, wanneer de ploeg goed is afgesteld, terwijl de insporing van het tractorwiel dat over de losse bouwvoor in de open ploegvoor rijdt, niet meer is dan ca. 0,05 - 0,10 m.

Hoewel door het diepploegen de aanwezige ploegzool is verwijderd, is in de nieuwe situatie door het afschuiven weer een verdichting onder de bouwvoor ontstaan. Bij grondtransport met dumpers wordt bij een sterk ontwikkelde ploegzool de grond daaronder niet meetbaar verdicht. Bij een minder duidelijke ploegzool ontstaat een verdichting die tot 0,70 m diepte kan gaan.

Sterke verdichtingen komen voor in de gedempte sloten en de opgehoogde laagten; dit is een gevolg van het met de bulldozer verdichtend rijden, een werkwijze die derhalve beter kan worden nagelaten.

Verdichtingen kunnen worden beperkt wanneer eerst alle benodigde grond wordt aangevoerd en daarna in een zo gering mogelijk aantal werkgangen onder helling wordt afgewerkt. De aangevoerde grond moet zo droog mogelijk zijn. Zijn toch verdichtingen opgetreden, dan heeft het zin deze te verbeteren indien de indringsweerstand over enige diepte onder de bouwvoor meer is dan 45 kg/cm. Wordt voor dit werk een woeler toegepast, dan mag de verhouding werkdiepte - werkbreedte van de woelpoot niet groter zijn dan 4 : 1, terwijl de onderlinge afstand niet meer mag zijn dan 1/3 keer de werkdiepte vermeerderd met de breedte van de woelpoot. Woelen met een scherpe woeler tot 0,6 m onder maaiveld met woelpoten op 0,6 m onderlinge afstand heeft in de meeste gevallen geen positief resultaat opgeleverd. Effectief kan wel zijn het woelen in combinatie met landbouwkundig ploegen, het dieptebereik (ca. 0,40 m) is onvoldoende geweest. Geen verdichting werd aangetroffen op plaatsen waar de ondergeschoven bouwvoor met een kerend werkende ploeg weer aan het oppervlak is gebracht. Het resultaat van deze bewerking was bevredigend, voor zover het geen kruispunten van ophogingen betrof. Aan te bevelen is deze kruispunten te voorzien van (extra) bovengrond en te volstaan met losmaken.

Vermindering van gewasopbrengst in de verdichte laagten varieert van 15-30% bij aardappelen, van 0-60% bij granen en van 0-10% bij bieten. Op de gediëpploegde en afgeschoven objecten werd bij aardappelen een opbrengstreductie van 20% gemeten.

Gelet op de opbrengstreducties door verdichting is het aan te bevelen verdichtingen zoveel mogelijk te voorkomen. Dit betekent dat de oppervlakte aan rij- en werkstroken zo gering mogelijk dient te zijn.

Verdichtingen door bulldozers zijn gering indien de insporingsdiepte van de rupsen, wanneer met vol blad geschoven wordt, niet meer is dan 0,02-0,03 m (BOELS, 1976).

Alhoewel niet alle inrichtingsvarianten van het proefobject te Kloosterburen representatief zullen en kunnen zijn voor toepassing op praktijkschaal zijn de gemiddelde inrichtingskosten en de te verwachten jaarlijkse baten toch een belangrijke graadmeter voor de economische aantrekkelijkheid van een dergelijke inrichtingsmethode.

Voorafgaande aan het proefobject is in proefcomplexen reeds gerekend aan een baten/kostenverhouding bij perceelsvergroting met aangepaste egalitatie; in het gunstigste geval bleek deze verhouding ruim 7% te bedragen. Sinds de toen uitgevoerde berekeningen is het bouwplan in deze regio in belangrijke mate verschoven naar hakvruchten, ten koste van de granen. De baten van het ingerichte object te Kloosterburen zijn t.o.v. de situatie voor inrichting bij een nagenoeg gelijk bouwplan berekend op gemiddeld f 757 per ha per jaar.

De hiertegenoverstaande investeringen van het proefobject bedragen, exclusief de voor onderzoek noodzakelijke investeringen, gemiddeld f 4570 per ha (prijsspeil nov. '79). Ter vergelijking met de eerdergenoemde 7% is nu een investeringseffect bepaald van 16,5%. De interne rentevoet daarbij bedraagt 16,4%.

LITERATUUR

- BAKKER, H. DE en B.A. MARSMAN. i.v.: Kruinige Percelen. Boor en Spade 20. Wageningen
- BOEKEL, P., 1971. Onderzoek naar de gewenste ontwateringstoestand in verband met verslemping en bewerkbaarheid van kruinige percelen. Publikatie I.B. Haren-Groningen
- _____ 1976. De structuur van de grond en de groei van gewassen in het Z.W. zeekleigebied in verband met de slechte weersomstandigheden in de herfst 1974. I.B. Haren-Groningen
- _____ 1976. Onderzoek naar bodemfysische eigenschappen op het kavelinrichtingsproefveld Halsema in de ruilverkaveling 'De Marne'. I.B. rapport 8-76. Inst. v. Bodemvruchtbaarheid Haren-Groningen
- BOELS, D. en R. WIEBING, 1972. Het diepe drainage proefveld te Hornhuizen. Nota ICW 703
- _____ en L. HAVINGA, 1974. Verdichting en bouwvoorverschraling door ploegen en afschuiven bij verschillende vochtgehalten. Nota ICW 785
- _____ en H.D.A. VAN HEMMEN, 1975. Het effect van het losmaken van een ploegzool. Nota ICW 858
- _____ 1975. Analyse afvoeren via zakputten op het slootdempingsproefveld te Kloosterburen. Nota ICW 892
- _____ 1976. Bepalen van kwaliteit van ploegen en afschuiven op lichte zavelgronden. Cultuurtechn. Tijdschr. 5. Verspr. Overdr. ICW 185, ICW, Wageningen
- _____ 1978. Kanttekeningen bij besteksvoorwaarden ter beperking van bandspanning van dumpers en trekkers. Nota ICW 1081
- CHARALAMPOS, S.A., 1969. Soil compaction from tractor and other traffic implements. *Mediterranea* 29: 44-53
- CULTUURTECHNISCHE DIENST, 1970. Alternatieve kavelinrichtingsplannen in proefcomplex in de ruilverkaveling 'De Marne'
- _____ 1971. Proefveld voor kavelinrichting 'Halsema' Kloosterburen. Verslag van de uitvoering
- _____ 1975. Kavelinrichtingsproefveld Halsema in de ruilverkaveling 'De Marne'. Verslag van tweede en derde jaar van proefvervolgning. Afd. Onderzoek Groningen

- Gebruiksaanwijzing "Poffertje"; in- en output beschrijving programma. Interne notitie, J. Quick
- DANIELS, D. en L.A.H. DE SMET, 1971. Het bodemkundig onderzoek van het bedrijf Halsema te Kloosterburen (Gr.). Rapport nr. 1016 Stichting voor Bodemkartering, Wageningen
- en L.A.H. DE SMET, 1974, Bodemverdichtingen en cultuurtechnische ingrepen op een lichte zavelgrond. Interne Mededeling nr. 31. Stiboka, Wageningen
- EBBERS, J.W. en J.T. WOLDRING, 1973. Onderzoek naar de functie van greppels op grasland. Cultuurtechn. Tijdschr. 13,2
- 1976. Oppervlakte-afvoer op zware kleigraslanden. Cultuurtechn. Tijdschr. 15,5 : 267-274
- HENDERSON, F.M. and R.A. WOODING, 1964. Overland flow and groundwater flow from a steady rainfall of finite duration. Journ. of Geophysical Research 69,8 : 1531-1540
- JAGER, DE, 1965. Hoge afvoeren van enige Nederlandse stroomgebieden. Diss. L.H. Wageningen
- SMET, L.A.H. DE, 1965. De bodem van Groningen. Toelichting bij blad 1 van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200 000, Wageningen
- SPOOR, G., 1978. Soil disturbance with deep working tined implements in field drainage situations. International Drainage Workshop, May 1978, Wageningen
- STICHTING VOOR BODEMKARTERING, 1965. De Bodem van Nederland. Toelichting bij de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200 000, Wageningen
- WIND, G.P., 1967. Een eenvoudige relatie tussen afvoerberging en neerslagintensiteit. Landbouwk. Tijdschr. 79,4: 110-113
- G.P., 1975. Workability and drainage. Nota 890, ICW.
- WIJK, A.L.M. VAN, 1973. De extra bezandingsdikte nodig voor tijdelijke berging van water in de toplaag van sport- en recreatie-terreinen. Cultuurtechn. Tijdschr. 13,3. Verspr. Overdrukken 153, ICW, Wageningen
- en J.A. VAN DEN HURK. Spaarnwoude, bodemtechnische mogelijkheden voor speel- en ligweiden, trapvelden en bos. Reg. studies nr. 8, ICW, Wageningen