

VERBETERING VAN PLAATGRONDEN

HET THEORETISCH TE VERWACHTEN EFFECT VAN PLAATGROND-VERBETERING

G. P. WIND

Plaatgronden bestaan uit een dunne klei- of zavelaag op slibarm zand. Omdat dit zand niet doorwortelbaar is, is de vochtvoorziening van de gewassen op plaatgrond gebrekkig. De verbetering van deze vochtvoorziening is moeilijk, omdat in de plaatgrongebieden nog geen zoet water beschikbaar is. De meeste vormen van irrigatie zijn dan ook onmogelijk. Slechts één vorm is te verwezenlijken, namelijk het inlaten of vasthouden van water in het voorjaar in sloten en andere waterlopen. Door de overmaat regen die in de winter valt, bestaat er een dunne laag zoet grondwater, die bovenop het zoute grondwater ligt.

Wanneer men in de nawinter en het vroege voorjaar de afvoer van de sloten belemmert of water, eventueel zout water, inlaat, stijgen de grondwaterstanden. Het grondwater wordt dus dicht bij de wortels gebracht.

Een andere verbeterings-mogelijkheid is de wortels dicht bij het grondwater te brengen. Dat kan door het dichte plaatsand zo los te maken, dat de plantenwortels er wel in doordringen. Deze lossere ligging moet worden gestabiliseerd door menging met klei; dat gebeurt door mengploegen of mengwoelen.

GRONDSLAGEN VOOR DE BEREKENING.

Er is uitgegaan van de veronderstelling, dat een gewas slechts zijn maximale opbrengst haalt, wanneer het onbelemmerd door vochtgebrek kan verdampen. Elke verlaging van de transpiratie heeft een groeivermindering tot gevolg. Daardoor is de opbrengst in het algemeen evenredig met de werkelijk verdampte hoeveelheid water. Dit wordt door vele auteurs aangetoond.

De reële verdamping wordt gevonden uit de potentiële verdamping, de neerslag en de hoeveelheid vocht die de grond kan leveren. Het is nu deze laatste factor, die we vergroten door middel van verhoging van het grondwater of verdieping van de beworteling.

Men denke zich het voor de gewassen beschikbare vocht in twee gedeelten. Het ene gedeelte in de bewortelde laag, het tweede daaronder. Het vocht uit de bewortelde zone kan tussen de bodemkundige grenzen van veldcapaciteit en verwelkingspercentage geheel worden opgenomen door de planten. Het vocht uit het niet bewortelde plaatsand, moet door capillaire stroming bij de wortels komen. Doordat de stroomsnelheden meestal klein zijn, komt dit vocht slechts zeer langzaam ter beschikking. In het volgende zullen achtereenvolgens de hoeveelheden vocht worden besproken die ter beschikking van het gewas komen uit de bewortelde laag en uit het plaatsand.

VOCHT IN DE BEWORTELDE LAAG.

De hoeveelheid beschikbaar vocht in de bewortelde laag hangt van diverse factoren af, namelijk:

1. dikte van de laag;
2. grondwaterstand;
3. slib en humusgehalte.

Voor de verbeterde grond komt daar bovendien nog bij:

4. de mengdiepte.

Een tabel met vochthoeveelheden voor en na verbetering is dus niet eenvoudig te

maken. Daarom volgen hier twee voorbeelden van berekening ter verklaring van de hierachter volgende tabel.

In een laboratoriumproef bleek het vochthoudend vermogen van een mengsel van klei en plaatzand gelijk te zijn aan de som van dat van de twee componenten. Van een onderlinge beïnvloeding van klei en zand werden geen aanwijzingen gevonden. De pF-kromme van zo'n mengsel kan dus zeer eenvoudig worden verkregen door te middelen. Mengt men bijvoorbeeld 30 cm klei (20 % beschikbaar vocht) met 40 cm zand (8 % beschikbaar vocht) dan is het beschikbaar vochtgehalte van het mengsel $30 \times 20 + 40 \times 8$

$$\frac{\quad}{70} = 13,1 \%$$

70

Het beschikbaar vochtgehalte is afhankelijk van de hoogte boven het grondwater tot ongeveer 100 cm. Daar boven is het constant. Tabel 5 geeft de waarden voor plaatzand en een zavelgrond.

Tabel 5. Beschikbare vochtgehalten in vol. % van een zavelgrond (29 % <16 mu) en plaatzand bij verschillende grondwaterstanden.

Grondwaterstand	Zavel	Plaatzand
0	30	38
20	26	33
40	24	24
60	22	11
80	21	9
100	20	8
120	20	8
140	20	8

Voorbeeld 1.

Een plaatgrond bestaande uit 30 cm zavel wordt gemengploegd tot 50 cm. In het voorjaar is de grondwaterstand 95 cm - maaiveld.

Van de onbehandelde grond ligt de laag 10 - 20 cm (zavel) op 80 cm boven het grondwater. Er is dus 21,0 mm beschikbaar vocht. De lagen 0 - 10 en 20 - 30 hebben respectievelijk 20,5 en 21,5 mm beschikbaar vocht. Totaal is dus 63,0 mm aanwezig.

Is de grond gemengploegd tot 50 cm, dan worden de hoeveelheden beschikbaar vocht als volgt gevonden:

$$\begin{aligned} \text{laag } 0 - 10 : & \frac{30 \times 20,5 + 20 \times 8,5}{50} = 15,7 \\ \text{.. } 10 - 20 : & \frac{30 \times 21,0 + 20 \times 9,0}{50} = 16,2 \\ \text{.. } 20 - 30 : & \frac{30 \times 21,5 + 20 \times 10,0}{50} = 16,9 \\ \text{.. } 30 - 40 : & \frac{30 \times 22,0 + 20 \times 11,0}{50} = 17,7 \\ \text{.. } 40 - 50 : & \frac{30 \times 23,0 + 20 \times 16,0}{50} = 20,2 \end{aligned}$$

$$\text{laag } 0 - 50 : \quad \quad \quad = 86,7$$

De vochtwinst door mengen is dus $86,7 - 63,0 = 23,7$ mm.

Voorbeeld 2.

Dezelfde grond als uit voorbeeld 1 wordt tot 50 cm gemengd. Op de manier van voorbeeld 1 zijn de beschikbare hoeveelheden vocht berekend, maar nu bij diverse grondwaterstanden.

grondwaterstand cm—mv	Beschikbaar vocht in mm		
	onbehandeld	geploegd tot 50 cm	winst
60	69	118	49
90	63	87	24
120	60	80	20
150	60	76	16
180	60	76	16
210	60	76	16

Hier ziet men, dat de vochtwinst door mengploegen bij diepe grondwaterstanden slechts klein is. Bij een hoge grondwaterstand kan de vochtwinst aanzienlijk zijn. Conclusies moeten hieraan nog niet verbonden worden, wan: het betreft hier nog slechts een gedeelte van het beschikbare vocht.

In tabel 6 worden de beschikbare vochthoeveelheden in de wortelzone gegeven, voor verschillende zavel- en kleidikten, ploegdiepten en grondwaterstanden.

Tabel 6. Beschikbare hoeveelheden vocht in de wortelzone in m.m. afhankelijk van klei- of zavel dikte, mengdiepte en grondwaterstand in cm.

Dikte zavel- of kleilaag	Grond- waterstand	Onbe- handeld	Mengdiepte							
			30	40	50	60	70	80	90	100
20	60	45	63	87	117	149	185			
20	90	42	51	62	76	96	122			
20	120	40	48	56	66	75	86			
20	150	40	48	56	64	72	80			
20	180	40	48	56	64	72	80			
30	60	69		91	118	148	183	219		
30	90	63		74	87	105	129	157		
30	120	60		68	80	87	98	112		
30	150	60		68	76	84	93	101		
30	180	60		68	76	84	92	100		
40	60	94			112	148	182	217	228	
40	90	85			98	114	136	162	192	
40	120	80			89	99	110	124	142	
40	150	80			88	96	104	114	123	
40	180	80			88	96	104	112	120	
50	60	120				148	181	214	249	285
50	90	108				123	144	168	196	233
50	120	102				111	121	134	152	175
50	150	100				108	116	126	135	146
50	180	100				108	116	124	132	141
50	210	100				108	116	124	132	140

In de tabel ziet men, dat de vochtwinst groter wordt naarmate dieper wordt geploegd of gewoeld. Nu mag men de mengdiepte echter niet vrij kiezen. De mengverhouding moet zodanig zijn, dat de bovengrond tenminste 13 à 14 % slib behoudt; anders treedt stuifgevaar op. Een 20 cm dikke lichte zavel laag mag men niet dieper ploegen dan 40 cm. De vochtwinst die men in dat geval bij grotere mengdiepten kan bereiken, is dus zuiver academisch.

Heeft men te maken met een 20 cm dikke kleilaag, dan mag wel wat dieper worden geploegd.

Het slibgehalte beïnvloedt de getallen in tabel 5 veel minder dan grondwaterstand en mengdiepte. De verschillen in vochthoudendheid tussen deze zavelgronden zijn zo klein, dat ze hier zijn verwaarloosd.

BESCHIKBAAR VOCHT ONDER DE BEWORTELDE LAAG.

Het vocht in een goed bewortelde laag wordt rechtstreeks door de wortels opgenomen. Het hoeft slechts van zeer korte afstand door de grond naar een wortel toe te stromen. Voor die stroming is een vochtgradiënt nodig, maar die is bij die kleine afstand zo klein, dat een volledige onttrekking van vocht tot het verwelkingspunt mogelijk is.

Het vocht onder de bewortelde zone moet over grotere afstand door de grond stromen. Doordat hier de vochtgradiënt wel groot is, kan van een volledige onttrekking geen sprake zijn. Daardoor is de mate van onttrekking afhankelijk van de diepte onder de bewortelde zone. Hoe dieper, des te minder vocht wordt onttrokken.

De hoeveelheid vocht, die kan worden onttrokken, is behalve van de diepte ook nog afhankelijk van het vochtgehalte van het plaatsand bij het begin van de onttrekking. Dat wil dus zeggen: van de diepte van het grondwater onder de betreffende laag.

Deze vrij ingewikkelde materie van de vochtonttrekking door middel van capillair transport is door Wind en Hidding (1961) beschreven in het *Netherlands Journal of Agricultural Science*. Aan de hand van een experimenteel en theoretisch onderzoek komen zij tot de hoeveelheid vocht, die in 100 dagen maximaal uit het plaatsand kan worden onttrokken (tabel 7).

Tabel 7. Maximale hoeveelheid vocht die kan worden onttrokken aan het plaatsand in een groeiseizoen.

Grondwaterstand onder de bewortelde zone cm	Hoeveelheid mm
0	88
30	84
60	74
90	37
120	23
150	16
180	13

De hoeveelheid vocht, die aan de ondergrond kan worden onttrokken, is blijkens tabel 7 zeer sterk afhankelijk van de grondwaterstand in het begin van het groeiseizoen. Die afhankelijkheid is veel sterker dan bij het vocht uit de bewortelde zone (tabel 6). In tabel 7 wordt gesproken van de grondwaterstand onder de bewortelde zone. Wanneer de bewortelde zone wordt verdiept door een grondverbetering, komt daardoor ook de hoeveelheid water die aan de ondergrond kan worden onttrokken op een hoger niveau. Diepploegen of woelen werkt dus tweezijdig. In de eerste plaats meer vocht in de dieper bewortelde zone en bovendien meer vocht uit de ondergrond.

DE TOTALE HOEVEELHEID BESCHIKBAAR VOCHT IN PLAATGROND.

De som van de hoeveelheden vocht in en onder de wortelzone vormt de totale hoeveelheid beschikbaar vocht in het profiel. Een beeld van de berekening hiervan wordt gegeven in voorbeeld 3.

Voorbeeld 3.

Totale hoeveelheid beschikbaar vocht in een plaatgrond in mm met een oorspronkelijk dek van 30 cm en gemengd tot 60 cm.

Grondwaterstand in voorjaar in cm onder maaiveld	Onbehandeld			Gemengd			Winst		
	wortel- zone	onder- grond	totaal	wortel- zone	onder- grond	totaal	wortel- zone	onder- grond	totaal
60	69	+ 84	= 153	148	+ 88	= 236	79	+ 4	= 83
90	63	+ 74	= 137	105	+ 84	= 189	42	+ 10	= 52
120	60	+ 37	= 97	87	+ 74	= 161	27	+ 37	= 64
150	60	+ 23	= 83	84	+ 37	= 121	24	+ 14	= 38
180	60	+ 16	= 76	84	+ 23	= 107	24	+ 7	= 31

Men ziet, dat de grootste winst in de wortelzone wordt bereikt bij de ondiepste grondwaterstand. De grootste winst in beschikbaar water uit de ondergrond ontstaat bij een grondwaterstand van 120 cm - maaiveld. Daardoor is de curve die het verband tussen grondwaterstand en vochtwinst door diepploegen aangeeft tweetoppig.

Op de wijze als hier beschreven is, is tabel 8 tot stand gekomen, waarin de hoeveelheid beschikbaar vocht wordt gegeven bij verschillende dikten van de klei- of zavelaag, mengdiepten en grondwaterstanden.

Tabel 8. Totale hoeveelheid beschikbaar vocht in plaatgronden in mm bij verschillende mengdiepten, diktes van de deklaag en grondwaterstanden in cm.

Dikte zavel- of kleilaag	Grond- waterstand	Mengdiepte								
		0	30	40	50	60	70	80	90	100
20	60	117	147	173	204	237	273			
20	90	102	125	140	158	180	208			
20	120	70	85	104	126	149	164			
20	150	60	71	82	94	109	128			
20	180	55	64	74	84	95	106			
30	60	153		177	205	236	271	307		
30	90	137		152	169	189	215	244		
30	120	97		116	140	161	176	196		
30	150	83		94	106	121	141	161		
30	180	76		86	96	107	118	130		
30	210	73		82	91	100	110	120		
40	60	180			206	236	270	305	336	
40	90	163			180	198	222	249	280	
40	120	128			149	173	188	206	226	
40	150	106			118	133	152	174	197	
40	180	98			108	119	130	142	157	
40	210	94			103	112	122	132	143	
50	60	207				236	269	302	337	373
50	90	190				207	230	255	284	321
50	120	162				185	199	216	236	261
50	150	130				145	164	186	209	224
50	180	120				131	142	154	169	189
50	210	115				124	134	144	155	166

RELATIE TUSSEN BESCHIKBAAR VOCHT, VERDAMPING EN OPBRENGST.

Wanneer gedurende een groeiseizoen evenveel regen valt als de verdamping bedraagt, heeft het gewas geen behoefte aan een vochtreserve in de grond. Gewoonlijk echter is de verdamping van het gewas aanzienlijk groter dan de regenval. In een periode van 20 jaar (1932 – 1952) was geen jaar, waarin dit verschil, het vochttekort, kleiner was dan 120 mm.

De vochttekorten in die jaren waren:

120 – 150 mm in 6 jaar;
150 – 180 mm in 7 jaar;
180 – 210 mm in 5 jaar;
210 – 240 mm in 2 jaar.

Er waren dus jaren, waarin een vochtreserve in de grond van 200 mm nog niet voldoende was, doch in vele andere maakte het geen verschil of die vochtreserve 180 mm was of nog groter.

Wanneer de vochtreserve onvoldoende is, bedraagt de verdamping slechts de som van neerslag en beschikbaar vocht uit de grond. Is er wel voldoende, dan bereikt de verdamping zijn maximale waarde, die niet overschreden kan worden. In tabel 9 staan nu de verdampingen, gemiddeld over 20 jaar, die bij bepaalde hoeveelheden beschikbaar vocht voorkomen.

In overeenstemming met het resultaat van veel onderzoekers, dat de opbrengst evenredig is met de verdamping, zijn in tabel 9 de opbrengsten berekend, die bij de verschillende verdampingen horen. De hoogste is op 100 gesteld. Men ziet, dat bij een stijging van de beschikbare hoeveelheid vocht van 60 tot 90 mm, de verdamping met eenzelfde bedrag toeneemt.

Dat gaat ook zo bij een stijging tot 120 mm. Boven dit bedrag is de toename van de verdamping kleiner dan die in het bodemvocht. Dat komt, omdat beschikbare hoeveelheden vocht van meer dan 120 mm niet elk jaar nodig zijn.

Tabel 9. Verdamping en opbrengst in afhankelijkheid van bodemvocht, gemiddeld over 20 jaar.

Beschikbare hoeveelheid vocht in de grond mm	Werkelijke verdamping mm	Opbrengst %
60	240	68
90	270	77
120	300	86
150	320	92
180	340	97
210	349	100
240	350	100

De gegevens van tabel 8 over beschikbaar vocht onder verschillende omstandigheden, zijn nu met tabel 9 omgewerkt tot opbrengsten bij die omstandigheden. Het resultaat geeft tabel 10.

Tabel 10. Opbrengst van landbouwgewassen op plaatgrond bij verschillende diktes van de deklaag, mengdiepten en grondwaterstanden in cm. Uitgedrukt in procenten van de opbrengst op een ideaal profiel en gemiddeld over een lange periode.

Dikte zavel- of kleilaag	Grond- waterstand	Mengdiepte								
		0	30	40	50	60	70	80	90	100
20	60	85	91	96	99	100	100			
20	90	80	87	90	93	97	100			
20	120	71	75	81	87	92	94			
20	150	68	71	74	78	83	88			
20	180	66	69	72	75	78	82			
30	60	93		97	100	100	100	100		
30	90	89		92	95	98	100	100		
30	120	79		85	90	94	96	99		
30	150	75		78	82	86	90	94		
30	180	73		76	79	82	85	88		
30	210	72		74	77	80	83	86		
40	60	97			100	100	100	100	100	
40	90	94			97	99	100	100	100	
40	120	87			92	96	98	100	100	
40	150	82			85	89	92	96	99	
40	180	79			82	86	88	90	93	
40	210	78			81	83	86	88	91	
50	60	100				100	100	100	100	100
50	90	98				100	100	100	100	100
50	120	94				98	99	100	100	100
50	150	88				91	94	98	100	100
50	180	86				88	90	93	95	98
50	210	84				87	89	91	93	95

CONCLUSIES.

Uit de gegevens van tabel 10 kunnen conclusies worden getrokken met betrekking tot de verbeteringsmogelijkheid van plaatgronden, en de grootte van de verbetering door menging met een diepploeg of woeler en door verhoging van de voorjaars-grondwaterstanden.

Tabel 10 geeft een groot aantal mengdiepten, hoewel voor een plaatgrond met een bepaalde dikte van de deklaag slechts één diepte optimaal is. De mengdiepte is

beperkt door het optreden van stuifgevaar, wanneer de bovengrond al te zandig wordt, dat is bij een slibgehalte van 13 à 14 %.

In het algemeen kan men mengen tot tweemaal de dikte van de deklaag; bij zware dekken iets dieper en bij lichte iets ondieper. Ook de dikte van de deklaag zelf is van belang; bij dunne lagen krijgt men een betere menging dan bij dikke, zodat de mengdiepte van de laatste wat minder moet zijn. Met de mengwoeler kan men iets dieper gaan dan bij mengploegen omdat de woeler de bovenlaag minder verschraaft dan de ploeg. Voor fruitteelt kan men ook dieper mengen, want daar komt stuiven weinig voor, dank zij de windbescherming door de vrucht- en haagbomen.

Voor het trekken van conclusies uit tabel 10 is uitgegaan van een mengdiepte gelijk aan tweemaal de dikte van de deklaag. Deze conclusies kan men met behulp van de tabel zelf uitbreiden voor bijzondere omstandigheden.

1. De gewasopbrengst op plaatgronden is aanzienlijk hoger naarmate de deklaag dikker is.
2. Een diepe ontwatering is zeer nadelig voor plaatgronden, dit nadeel is groter naarmate de deklaag dunner is.
3. Door diepploegen of mengwoelen kan de opbrengst van plaatgronden worden verhoogd; onder bepaalde omstandigheden kan een **gemiddelde jaarlijkse** produktieverhoging van 15 % worden bereikt.
4. Bij zeer diepe grondwaterstanden is de opbrengstverhoging door diepploegen meestal kleiner dan 10 %.
5. Het grootste effect heeft diepploegen als een bepaalde voorjaarsgrondwaterstand bestaat. Deze loopt uiteen van 90 cm voor dekken van 20 cm tot 150 cm voor dekken van 50 cm.
6. Een complete verbetering (opbrengst > 95 %) van plaatgronden door diepploegen of mengwoelen is alleen te bereiken bij plaatgronden, die door hun hoge grondwaterstand of dikke zavellaag, reeds niet tot de slechtste behoorden.
7. Verhoging van de voorjaarsgrondwaterstand geeft een opbrengstverhoging. Een complete verbetering is daarmee ook alleen te bereiken bij deklagen van 50 cm of meer (90 cm beneden het maaiveld wordt hier de hoogste te verwezenlijken voorjaarsgrondwaterstand geacht).
8. Door combinatie van mengploegen of woelen met het opzetten van de voorjaarsgrondwaterstanden kunnen de meeste plaatgronden compleet worden verbeterd, uitgezonderd de dekken van 20 cm of minder.
9. Een voorjaarsgrondwaterstand van 1,5 à 2 maal de diepte van de bewortelde laag (= mengdiepte) is voldoende voor een goede landbouwproduktie onder gemiddelde omstandigheden.

SLOTOPMERKING OVER DE GRONDWATERSTAND.

In het voorgaande is steeds gesproken over de voorjaarsgrondwaterstand. Ook als er staat: grondwaterstand, is die in het voorjaar bedoeld.

Het voorjaar is echter een vrij lang seizoen en voor waterbeheersingswerken is een nauwkeuriger tijdsopgave wel gewenst.

De hier gegeven berekeningen zijn theoretisch en gelden dus strikt genomen slechts voor plaatgrondgebieden van oneindige uitgestrektheid, waarin de waterhuishouding niet van buiten af wordt beïnvloed. De werkelijkheid is, dat de meeste plaatgrond-

gebieden beperkt van afmeting zijn en zijn omringd door lager gelegen gebieden. Er vindt dus niet alleen wateronttrekking plaats door verdamping, maar ook door wegzijging. Die grondwaterdaling is niet meer van belang, wanneer door de verdamping veel water wordt onttrokken. Dat is pas na half mei het geval. Wil men dus de grondwaterstand verhogen door belemmering van de afvoer of door water in te laten, dan moet dat dus gebeuren tot eind mei. De grondwaterstand in de tweede helft van mei is dus bepalend voor de watervoorziening van de gewassen op plaatgronden.

RESULTATEN
VAN HET VERDIEPEN VAN DE DOORWORTELBARE
ZONE VAN PLAATGRONDEN

A. P. HIDDING

1. UITGANGSPUNT EN TOETSING DAARVAN.

Als uitgangspunt is aangenomen, dat de opbrengst van een gewas recht evenredig is met de totale hoeveelheid water, die door het gewas is verdampt. In formule:

$$O = C.V \quad (1)$$

De vermenigvuldigingsfactor C kan afhankelijk zijn van het gewas, de grondsoort, de zaaidatum, het vruchtbaarheidsniveau, de weersomstandigheden e.d. Vergelijkt men de opbrengsten op één veld bij één gewas, dan zijn al deze factoren in principe gelijk. Vergelijkt men de opbrengsten op een veld, waarvan één helft wel en de andere helft niet diepgeploegd is, dan zijn alle factoren gelijk behalve de grondsoort. Teneinde na te gaan of onder deze omstandigheden de factor C gelijk is voor wel en niet gediepploegde grond is op de proeftuin van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Renkum de volgende potproef opgezet.

Potten met een doorsnede van 0,2 m² en een diepte van 75 cm werden gevuld met zavel en plaatzand. De zavel was bouwvoor met ca. 35 % slib afkomstig van een perceel in de omgeving van de Braakman; het plaatzand was afkomstig van een zanderij in de Braakman. De potten werden gedeeltelijk gevuld met plaatzand, dat tot zijn oorspronkelijke dichtheid werd aangestampt. Op dit zand werden zavel of mengsels van zand en zavel aangebracht in dikten van respectievelijk 20, 35, 50 en 65 cm. Naast zuivere zavel werden 4 verschillende mengsels gemaakt, namelijk met 30, 45, 60 en 75 vol. % zand. Elke combinatie werd in duplo aangelegd, zodat er in totaal 40 potten waren.

In de potten kon het vochtgehalte op elk moment met nylonelementen worden bepaald, terwijl eventueel afgevoerd water kon worden opgevangen. Aangezien ook de neerslag bekend was, kon het totale waterverbruik per pot worden berekend.

Aan het einde van het groeiseizoen zijn de bovengrondse delen geoogst: in 1960 gerst, in 1961 haver. Behalve de totale hoeveelheid droge stof werd ook het aantal aar- respectievelijk pluimdragende halmen bepaald.

Bij statistische bewerking blijkt dat de gemeten opbrengsten verklaard kunnen worden uit de hoeveelheden verbruikt water en het aantal aar- dragende halmen. Aangetoond kan worden, dat de variaties in het aantal aardragende halmen zuiver toevallig zijn en onafhankelijk van het profiel en de verdamping.

Op grond van het vorenstaande dient het verband tussen de opbrengst en de hoeveelheid verbruikt water berekend te worden uit de verwachtingswaarden van deze beide factoren. Drukken we de opbrengst uit in kilogrammen droge stof per ha en de verbruikte hoeveelheid water in mm, dan kan

het verband tussen opbrengst en verdamping voor 1960 (gewas gerst) weergegeven worden door de formule:

$$O = 66,2 V - 7380 \quad (2)$$

en voor 1961 (gewas haver) door

$$O = 59,0 V - 2700 \quad (3)$$

In beide jaren bleek dus een rechtlijnig verband tussen opbrengst en verdamping aantoonbaar, maar ook dat er verdamping was opgetreden zonder aanwijsbare produktie. Hiervoor zijn de volgende feiten verantwoordelijk:

- a. Wortel en stoppel zijn niet geoogst. Volgens de literatuur bedraagt de totale droge stof produktie in wortel en stoppel voor zomergranen ca. 2000 kg/ha, overeenkomende met ca. 35 mm. Uit literatuurgegevens en eigen potproeven is gebleken, dat deze hoeveelheid vrijwel constant is en onafhankelijk van de profielopbouw.
- b. Voor het gewas de grond geheel bedekt, vindt directe verdamping vanuit de grond plaats. Deze directe verdamping kan ongeveer gelijk gesteld worden aan de totale neerslag in de betreffende periode voorzover deze de potentiële verdamping niet te boven gaat. Voor 1960 bedraagt de verdamping direct uit de grond dan ca. 25 mm; in 1961 ca. 15 mm.
- c. In 1960 is oppervlakkige afstroming opgetreden tijdens enkele zware buien in de zomer. Deze hoeveelheid kon niet kwantitatief bepaald worden aangezien nylon-elementen niet bruikbaar zijn bij bevochtiging van de grond. In 1961 is deze moeilijkheid ondervangen door tijdens regen het gewas af te schermten met een plastic kap. We kunnen dus (2) schrijven als

$$O + 2000 = 66,2 (V - 25) - 3730 \quad (4)$$

Dat wil zeggen, dat $\frac{3730}{66,2} = 56$ mm door oppervlakkige afstroming

verloren is gegaan.

Op dezelfde wijze gaat (3) over in

$$O + 1800 = 59,0 (V d 15) \quad (5)$$

Hier blijkt dus dat aan wortel en stoppel slechts 1800 kg droge stof gevormd zou zijn. Dat wil zeggen 200 kg minder dan de literatuur opgeeft. Opgemerkt moet worden dat de stoppel zeer kort is geweest.

Uit de potproeven kan dus de conclusie worden getrokken, dat het verband tussen opbrengst en verdamping voor één jaar, één gewas en één veld rechtlijnig is onder voorwaarde dat:

1. de geoogste hoeveelheid droge stof met de hoeveelheid droge stof in wortel en stoppel (volgens literaturopgaven) wordt vermeerderd;
2. de verdamping wordt verminderd met de hoeveelheid water, welke rechtstreeks uit de grond verdampt. Deze hoeveelheid kan gelijk worden gesteld met de hoeveelheid neerslag, die valt in de periode, die ligt tussen het tijdstip waarop het gewas begint te verdampen en dat waarop de grond is bedekt.

2. VERWERKING EN RESULTATEN VAN PROEFOOGSTEN.

Berekening van de verdamping.

De totale verdamping wordt bepaald door twee factoren: de potentiële verdamping en de beschikbare hoeveelheid vocht.

De potentiële verdamping is ontleend aan de maandoverzichten van het K.N.M.I. voor het station Vlissingen. Deze cijfers zijn berekend met de formule van PENMAN en geven de verdamping van een vrij water-oppervlak.

Voor de verschillende gewassen moeten deze verdampingscijfers nog gecorrigeerd worden met een factor, die per maand en per gewas verschilt. Deze correctie is namelijk afhankelijk van de ontwikkeling van het gewas, de bedekkingsgraad van de grond en dergelijke. Penman geeft voor kort gras de volgende waarden voor de correctiefactor: november tot maart 0,6; maart, april, september en oktober 0,7; mei tot september 0,8.

Akkerbouwgewassen zullen in het voorjaar minder, in de zomermaanden meer verdampen. Voor de berekening van de potentiële verdamping zijn daarom de volgende correctiewaarden gebruikt.

Tabel 11. Correctiefactoren voor de verdamping volgens Penman.

Maand	Gewas			
	wintergraan	zomergraan erwten	bieten	aardappelen
maart	0,6	0,5		
april	0,8	0,7	0,3	0,3
mei	0,8	0,8	0,5	0,5
juni	1,0	1,0	0,8	0,8
juli	0,7	0,7	1,0	1,0
augustus	0,5	0,5	1,0	0,8
september			0,6	0,5

Aan de hand van de zo verkregen verdampingscijfers, aangevuld met de evaporatie is per maand het neerslagoverschot respectievelijk -tekort berekend. Op het moment, dat het neerslagoverschot overgaat in een tekort wordt uit de pF-curve en de grondwaterstand de voorraad in het doorworteld profiel berekend.

Daarna is met behulp van de theorie volgens Wind de capillaire nalevering berekend. Hier doet zich de moeilijkheid voor, dat de theorie uitgaat van zuigspanning, overeenkomend met pF 4,0 aan de onderzijde van de doorwortelde laag. De capillaire opstijging begint echter veel eerder, zij het met geringere snelheid. Aangenomen is daarom, dat de capillaire opstijging, berekend volgens de theorie, begint op het moment dat de halve voorraad van het doorwortelde profiel is uitgeput.

In tabel 12 zijn de opbrengsten van een aantal proefvelden in Zeeland vermeld. De opbrengsten zijn uitgedrukt in kg droge stof per ha. Voor een vergelijking met praktijkcijfers dienen de gegeven waarden met ca. 15 % verminderd te worden.

Tabel 12.

PROEFVELDOVERZICHT OVER

Naam proefveld	Veld- no.	Kleidikte cm	Ploeg- diepte	Gewas	Jaar	Opbrengsten in kg d.s. per ha		
						Zaad of knol	stro	totaal
Dieleman	3	25	0	gerst	1959	1360	1360	4700
	4	25	55	gerst	1959	2040	2040	6100
	1	25	0	} zomer- tarwe	1960	2130	3300	7400
	2	25	55			2410	3790	8200
	3	25	0	} suiker- bieten	1960	12700	3200	16400
	4	25	55			13000	2900	16400
	3	25	0	gerst	1961	3560	3530	9100
	4	25	55	gerst	1961	3560	3540	9100
	1	25	0	gerst	1961	2540	2650	7200
	2	25	55	gerst	1961	3010	3110	8120
Dees	1	30	0	gerst	1960	2340	2550	6900
	2	30	50	gerst	1960	2600	2870	7500
	3	30	70	gerst	1960	2890	2720	7600
	1	30	0	erwten	1961	2240	1730	4470
	2	30	50	erwten	1961	3080	2070	5650
	3	30	70	erwten	1961	3070	2100	5670
Braakman C 12	1	40	0	gerst	1960	3650	3400	9050
	2	40	60	gerst	1960	3580	3370	8950
Braakman C 7	1	35	0	gerst	1961	3780	4200	10000
	2	35	50	gerst	1961	3350	3830	9200
	3	35	60	gerst	1961	3400	3950	9350
Wilhelmina pr. G	1	55	0	} suiker- bieten	1959	5780	2200	8500
	2	55	100			7830	2640	11000
	1	55	0	gerst	1960	3690	3200	8900
	2	55	100	gerst	1960	4420	4420	10800
	1	55	0	gerst	1961	4070	4130	10200
	2	55	100	gerst	1961	4790	4810	11600
Remein	1	50	0	} winter- tarwe	1961	2858	8655	14000
	2	50	70			2945	8550	14000
Schippers	1	40	0	gerst	1959	3700	4250	9950
	2	40	60	gerst	1959	3940	4480	10400
	1	40	0	} suiker- bieten	1960	14600	3900	10000
	2	40	60			15120	3810	19400
	1	40	0	erwten	1961	3600	3930	8030
	2	40	60	erwten	1961	3260	3620	7400
Leendertse	1	30	0	} winter- tarwe	1960	3790	4980	11300
	2	30	50			4500	5730	12700
Wed. Engels	1	40	0	} suiker- bieten	1961	14300	2200	17000
	2	60	0			12600	3600	16700
De Regt	1	45	0	br. bonen	1961	1830	1445	3800
	2	50	0	br. bonen	1961	1970	1435	3900
	3	60	0	br. bonen	1961	2390	1845	4700

DE JAREN 1959, 1960 en 1961.

Totale transpiratie m.m.	Q ₀	Q _V	Vergeleken velden	aantal plekken	Opmerkingen
180				3	stro geschat
220	1,30	1,22	4 : 3	4	stro geschat
280				3	
310	1,11	1,11	2 : 1	4	
350				3	} d.s. geh. geschat op biet 25 %, loof 10 %
375	1,00	1,07	4 : 3	4	
270				3	
320	1,12	1,18	4 : 3	4	
270				3	
320	1,00	1,18	2 : 1	4	
210				6	
230	1,09	1,10	2 : 1	4	
250	1,10	1,19	3 : 1	2	
215				6	
240	1,26	1,12	2 : 1	4	
260	1,27	1,21	3 : 1	2	
260				1	
275	0,99	1,06	2 : 1	1	
230				1	
240	0,92	1,04	2 : 1	1	
250	0,94	1,09	3 : 1	1	
310				2	} d.s. geh. geschat op biet 25 %, loof 10 %
385	1,29	1,24	2 : 1	1	
235				2	
275	1,21	1,17	2 : 1	1	
310				2	
365	1,14	1,18	2 : 1	1	
330				6	
350	1,00	1,06	2 : 1	8	
275				4	
315	1,04	1,14	2 : 1	4	
410				4	} d.s. geh. geschat op biet 25 %, loof 10 %
410	1,02	1,00	2 : 1	4	
315				4	
325	0,93	1,03	2 : 1	4	
325				6	
360	1,12	1,11	2 : 1	6	
430				1	} d.s. geh. bepaald bij biet 22 %, voor loof 10 % geschat
430	0,98	1,00	2 : 1	1	
275				1	
290	1,03	1,05	2 : 1	1	
315	1,24	1,15	3 : 1	1	

In de kolom totale hoeveelheid droge stof is ook de produktie aan wortel en stoppel begrepen. Hiervoor zijn de volgende literatuurwaarden gebruikt (Könekamp, 1953; Köhnlein, 1954; Lieshout, 1956):

Wintertarwe	2500 kg/ha
Zomertarwe	2000 kg/ha
Zomergerst	2000 kg/ha
Aardappelen	1000 kg/ha
Bieten	500 kg/ha
Erwten	500 kg/ha

De kolom „totale transpiratie” geeft de som van de neerslag en de berekende hoeveelheid beschikbaar water met een maximum aan, dat gelijk is aan de potentiële evapotranspiratie. Nu blijkt uit de tabel duidelijk, dat de factor C uit formule (1) in de navolgende gevallen geen constante is:

1. niet voor hetzelfde gewas en hetzelfde veld in verschillende jaren. Vergelijk Wilhelminapolder plek G in 1960 en 1961 voor gerst;
2. niet voor hetzelfde gewas en hetzelfde jaar op verschillende velden. Vergelijk Braakman C 12 en Wilhelminapolder plek G voor gerst in 1960;
3. niet voor verschillende gewassen in hetzelfde jaar op hetzelfde veld. Vergelijk Dieleman in 1960 voor zomertarwe en suikerbieten.

De factor C moet dus voor een vergelijking van de verschillende opbrengsten elimineerd worden. Zoals is aangetoond, is de opbrengst per jaar, per gewas en per veld gegeven volgens de formule $O_v = C V_v$ voor het verbeterde profiel en $O_o = C V_o$ voor het niet verbeterde profiel. Hieruit volgt, dat $O_v : O_o = V_v : V_o$. Deze quotiënten zijn weergegeven in de kolommen Q_o (= quotiënt van de opbrengsten) en Q_v (quotiënt van de verdampingen). Volgens de theorie moeten Q_o en Q_v dus steeds aan elkaar gelijk zijn. Hoewel belangrijke jaarlijkse afwijkingen blijken op te treden, blijken de gemiddelden over meer jaren per veld dicht bij elkaar te liggen. Berekend blijkt de betrekking tussen Q_o en Q_v te zijn: $Q_o = 1.24 Q_v - 0.30$. Statistisch kan niet worden aangetoond, dat deze afwijkt van de betrekking $Q_o = Q_v$.

De conclusie moet dus zijn, dat het effect van het verdiepen van de doorwortelbare zone van plaatgronden ten aanzien van de opbrengst kan worden voorspeld uit de veranderingen in de waterhuishouding, die volgens de theorie mogen worden verwacht.

3. DE PRAKTISCHE UITVOERING VAN HET MENGEN.

Het mengen van boven- en ondergrond op de in tabel 12 genoemde velden is door diepploegen gebeurd. Men dient hiervoor een ploeg met een vrij lang rister te gebruiken om volledige kering te voorkomen. De mate, waarin de ondergrond boven komt, kan voorts beïnvloed worden door het over-buik (meer ondergrond) of over-rug (minder ondergrond) stellen. Diepploegen heeft echter een aantal bezwaren.

1. Aanwezige drains kunnen alleen gespaard worden als zij diep liggen en de ploegrichting nauwkeurig evenwijdig is met de drainreeksen.
2. Voor ploegdiepten van meer dan ca. 60 cm dient men een beginvoor uit te schuiven en eindvoren te dichten.
3. Kopakkers kunnen moeilijk meegeploegd worden.

Deze bezwaren hebben geleid tot de ontwikkeling van de mengwoeler (zie foto).



Mengwoeler

Deze mengwoeler is ontworpen door Van Damme, loonwerker te Middenmeer. Dit apparaat kan op elk willekeurig punt en over korte afstand ingezet en gelicht worden. Drains kunnen dus zeer eenvoudig gespaard worden en kopakkers worden in hun geheel mee bewerkt. Een nadeel is de grote vereiste trekkracht (ca. 300 P.K.). Hierdoor zijn de aan- en afvoerkosten hoog.

Kosten diepploegen tot 1 m, zonder bijwerk en transportkosten, ca. f 450,-. De kosten mengwoelen tot 90 cm zonder transportkosten ca. f 350,-. De transportkosten voor mengwoelen belopen ca. f 150,- per ha voor percelen van minder dan ca. 4 ha. Boven 10 ha zijn ze ca. f 50,- per ha. Voor diepploegen rekene men ongeveer de helft van deze prijzen.