

NOTA 1459

april 1984

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

BODEMTECHNIEK. EEN COMPENDIUM TEN BEHOEVE VAN
HET CULTUURTECHNISCH VADEMECUM

ing. C.J. Schothorst

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

I N H O U D

	blz.
II.4. BODEMTECHNIEK	
1. INLEIDING	1
2. ALGEMENE BEGRIPPEN, EENHEDEN EN SYMBOLEN	2
3. OPHOGING EN ZETTING	5
3.1. Grond-, water- en korrelspanning	5
3.2. Berekening van zetting volgens Terzaghi	6
3.3. Berekening van zetting volgens Koppejan	9
3.4. Berekening van netto-ophoging	12
3.5. Berekening van zetting bij veen volgens Fokkens	13
3.6. Literatuur	15
4. ZAKKING VAN MAAIVELD ALS GEVOLG VAN ONTWATERING	16
4.1. Zakkingscomponenten	16
4.2. Fysische rijping van kleigronden	17
4.3. Het zakkingsproces bij veengronden	23
4.4. Literatuur	35
5. VERANDERING VAN RELIEF	36
5.1. Algemeen	36
5.2. Waterhuishouding en egalisatiebehoefte	38
5.3. Reliëf- en detail-ontwatering	41
5.4. Bepaling van maaiveldhoogte bij egalisatie	42
5.5. Bepaling van hoeveelheid grondverzet en transportafstand	44
5.6. Methode van egalisatie	45
5.7. Kosten en baten	45
5.8. Literatuur	46

	blz.
6. PROFIELVERBETERING	47
6.1. Algemeen	47
6.2. Bewortelingsdiepte	47
6.3. Plaatgronden	51
6.4. Veenkoloniale gronden	55
6.5. Veldpodzolgronden	58
6.6. Droogtegevoelige veengronden	60
6.7. Bewerkbaarheid van zware kleigronden	61
6.8. Droogtegevoelige zandgrond met een ondiepe goed vochthoudende laag	62
6.9. Verbetering van doorlatendheid	62
6.10. Werktuigen voor profielverbetering	63
6.11. Literatuur	64
7. DRAAGKRACHT VAN GRASLANDGRONDEN	66
7.1. Algemeen	66
7.2. Indringingsweerstand	67
7.3. Dichtheid van zodelaag	67
7.4. Invloeden op dichtheid	69
7.5. Vochtspanning en ontwateringsdiepte	70
7.6. Verbetering van draagkracht	71
7.6.1. Ontwatering	71
7.6.2. Verlaging van het organisch stofgehalte	73
7.7. Literatuur	75
8. BODEMVERDICHTING	77
8.1. Algemeen	77
8.2. Gronddruk en bandspanning	77
8.3. Drukverdeling in de bodem	80
8.4. Verdichting door trilling	80
8.5. Opheffing van verdichting	80
8.6. Literatuur	82

II.4. BODEMTECHNIEK

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

Bodemtechniek betreft het vakgebied van het geschikt maken of geschikt houden van de bodem voor een bepaalde gebruikswijze. Dit kan variëren van een landbouwkundig gebruik voor de teelt van een bepaald gewas tot het gebruik voor civieltechnische doeleinden, recreatie en natuur.

Bodemtechnische maatregelen betreffen technische ingrepen en beïnvloeding van natuurlijke processen aangaande:

1. hoogteligging
2. reliëf van maaiveld
3. bodemprofiel.

De beïnvloeding van natuurlijke processen omvat onder andere het bevorderen van aanslibbing ten behoeve van landaanwinning, rijping van drooggelegde gronden en van opgevulde en opgehoogde terreinen. De rijping gaat veelal gepaard met een daling van het oppervlak.

De hoogteligging kan kunstmatig worden verhoogd door ophoging met grond van elders alsook kunstmatig worden verlaagd bijvoorbeeld om specie te winnen voor andere doeleinden.

Wijziging van bodemprofiel en maaiveldreliëf worden vaak gecombineerd uitgevoerd. Hiervoor wordt meestal de term 'g r o n d v e r - b e t e r i n g' gebruikt.

Ook beschermingsmaatregelen tegen erosie door water en wind en het in cultuur brengen van speciale terreinen als afgetichelde uiterwaarden, zand- en grindwinningsgroeven, vuilnisbelten, vervallen wegen enz. behoren tot het vakgebied van de bodemtechniek.

2. ALGEMENE BEGRIPPEN, EENHEDEN EN SYMBOLEN

Grond is het materiaal waaruit de bodem ofwel de aardlaag is opgebouwd.

Het bestaat uit:

grond	vaste delen	$\left\{ \begin{array}{l} \text{minerale delen} \\ \text{organische stof} \\ \text{koolzure kalk} \end{array} \right\}$	vaste fase
	poriën	$\left\{ \begin{array}{l} \text{water} \\ \text{lucht} \end{array} \right\}$	vloeibare fase gas fase

Voor de massa van grond per volume-eenheid wordt het symbool ρ gebruikt, uitgedrukt in kg.m^{-3}

$$1.\text{g.cm}^{-3} = 1000 \text{ kg.m}^{-3} = 10 \text{ KN.m}^{-3}$$

Soortelijke massa of soortelijke
dichtheid

ρ = soortelijke massa van de vaste delen per volume-eenheid

$$\rho_m = \text{idem van de minerale delen} = 2,66 \text{ g.cm}^{-3}$$

$$\rho_h = \text{idem van de organische stof} = 1,47 \text{ "}$$

$$\rho_c = \text{idem van de koolzure kalk} = \text{"}$$

$$\rho_w = \text{idem van het water bij } 4^\circ\text{C} = 1 \text{ "}$$

Voor een willekeurige grond is volgens de formule van BOEKEL (1961)

$$\rho = \frac{100}{\frac{H}{1,47} + \frac{100-H}{2,66}} \quad \text{of} \quad \frac{100}{0,3H + 38} \quad (1)$$

$$H = 100 f_h$$

f_h = massa fractie organische stof van de vaste delen

V o l u m e d i c h t h e i d o f v o l u m i e k e m a s s a

ρ_d = massa van grond per volume-eenheid (droog volumegewicht of
dichtheid) in natuurlijke toestand na droging bij 105°C

$$\rho_d = \frac{m}{v}, \quad m = \text{droge massa}, \quad v = \text{volume}$$

ρ_{dm} = idem van minerale delen

ρ_{dh} = idem van organische stof

$$\rho_d = \rho_{dm} + \rho_{dh}$$

ρ_z = idem van verzadigde grond in natuurlijke toestand

ρ_v = idem van grond in veldvochtige toestand

$m_w \cdot \rho_w$ = massa van water per volume-eenheid bij grond in natuurlijke toestand

$$\rho_z \text{ en } \rho_v = \rho_d + m_w \cdot \rho_w$$

Als alle poriën gevuld zijn met water kan ρ_z worden afgeleid van ρ_d volgens de formule:

$$\rho_z = \rho_d + \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho}\right) \rho_w \quad (2)$$

$$\text{De poriënfractie } \phi_p \text{ of } \epsilon \text{ of } V_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho}$$

ρ_d is afhankelijk van het organisch stofgehalte en de pakkingsdichtheid van de vaste delen. Deze kan globaal variëren van 80 kg. m^{-3} bij slap veen in de ondergrond tot 300 kg. m^{-3} bij ingedroogd veen in de bovengrond en van 1450 kg. bij zand zonder organische stof in losse toestand tot 1750 kg. m^{-3} in dichte toestand.

De dichtheid van de grond (ρ_d) in onverzadigde toestand wordt meestal direct bepaald met Kopecki-ringen van 100 cm^3 inhoud (volume bemonstering).

Beneden het grondwater (verzadigde toestand) kan ρ_d en ρ_z ook worden bepaald via massa bemonstering.

De totale massa = massa vaste delen + massa water

$$m_t = m_s + m_w$$

Het totale volume = volume vaste delen + volume water

$$V_t = V_s + V_w$$

$$V_t = \frac{m_s}{\rho} + \frac{m_w}{\rho_w}$$

$\rho_w = 1$ en ρ is te berekenen volgens formule 1 wanneer f_h is bepaald

$$\text{dan } \rho_d = \frac{m_s}{v_t} = \frac{m_s}{\frac{m_s}{\rho} + \frac{m_w}{\rho_w}} \quad (3)$$

$$\rho_z = \frac{m_t}{v_t} = \frac{m_t}{\frac{m_s}{\rho} + \frac{m_w}{\rho_w}} \quad (4)$$

V o l u m e - f r a c t i e s

Voor volume-fracties (volume percentages) wordt het symbool ϕ gebruikt.

$$\phi_s = \text{volume-fractie van vaste delen} \quad \phi_s = \frac{\rho_d}{\rho}$$

$$\phi_m = \text{volume-fractie van minerale delen} \quad \phi_m = \frac{\rho_{dm}}{\rho_m}$$

$$\phi_h = \text{volume-fractie organische stof} \quad \phi_h = \frac{\rho_{dh}}{\rho_h}$$

$$\phi_w \text{ of } \theta = \text{volume-fractie water}$$

$$\phi_g = \text{volume-fractie lucht (gas)}$$

$$\phi_p \text{ of } p \text{ of } V_p \text{ of } \epsilon \text{ of } n = \text{volume-fractie poriën} \quad \phi_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho}$$

M a s s a - f r a c t i e s

Voor massa-fracties wordt het symbool f gebruikt.

$$f_h = \text{fractie organische stof (humusgehalte)}$$

$$f_m = \text{fractie minerale delen (gehalte minerale delen)}$$

$$f_c = \text{fractie kalk (kalkgehalte)}$$

$$f_l = \text{fractie lutum van vaste delen (lutumgehalte)}$$

$$f_{lm} = \text{fractie lutum van minerale delen (lutumfractie)}$$

$$f_m = 1 - f_h \text{ bij vaste delen zonder kalk}$$

$$f_m \cdot \rho_d = \rho_{dm} \text{ en } f_h \cdot \rho_d = \rho_{dh}$$

W a t e r g e t a l

Het watergetal is de verhouding van massa water tot de massa van vaste delen (A-cijfer) aangeduid met het symbool w . $100w = A$.

w_z = watergetal van grond in verzadigde toestand.

Het watergetal wordt meestal direct bepaald door massabemonstering.

$$w = \frac{m_w}{m_s} \quad \text{in } \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Voor grond in onverzadigde toestand waarbij ρ_d en f_h zijn bepaald via volume bemonstering is w_z te berekenen volgens formule:

$$w_z = \frac{(1 - \frac{\rho_d}{\rho}) \rho_w}{\rho_d} \quad \text{of} \quad w_z = \frac{\phi_p \times \rho_w}{\rho_d} \quad (5)$$

P o r i ë n g e t a l

Het poriëngetal p of e is de verhouding van het volume poriën tot het volume van vaste delen:

$$p = \frac{\phi_p}{\phi_s} \quad \text{of} \quad \frac{1 - \phi_s}{\phi_s} \quad (6)$$

3. OPHOGING EN ZETTING

3.1. G r o n d - , w a t e r - e n k o r r e l s p a n n i n g

Ophoging betreft een kunstmatige verhoging van het terreinoppervlak met grond van elders. Ophoging van terreinen met een slappe samendrukbare ondergrond heeft tot gevolg dat het oorspronkelijke bodemprofiel wordt samengedrukt door de opgebrachte belasting. Hierdoor zakt het oorspronkelijke maaiveld en de opgebrachte laag. Dit betreft een grondmechanisch proces, algemeen als 'z e t t i n g' (z_z) aangeduid.

Bij zettingsberekeningen onderscheidt men:

- a. g r o n d s p a n n i n g (σ_t), dat is de drukkracht per eenheid van oppervlakte die een laag grond door eigen gewicht op de daar- onder gelegen laag uitoefent;
- b. w a t e r s p a n n i n g (σ_w), dat is de drukkracht van het water op een bepaald vlak of grondlaag, gerekend vanaf het grondwater- niveau. Deze kracht is alzijdig. Boven het grondwater is σ_w nega- tief. Bij zettingsberekeningen wordt de negatieve σ_w waarde boven het grondwater meestal buiten beschouwing gelaten;
- c. k o r r e l s p a n n i n g (σ_k), dat is de reactiekracht van de grondspanning en de waterspanning. $\sigma_k = \sigma_t - \sigma_w$, zie fig. 1.

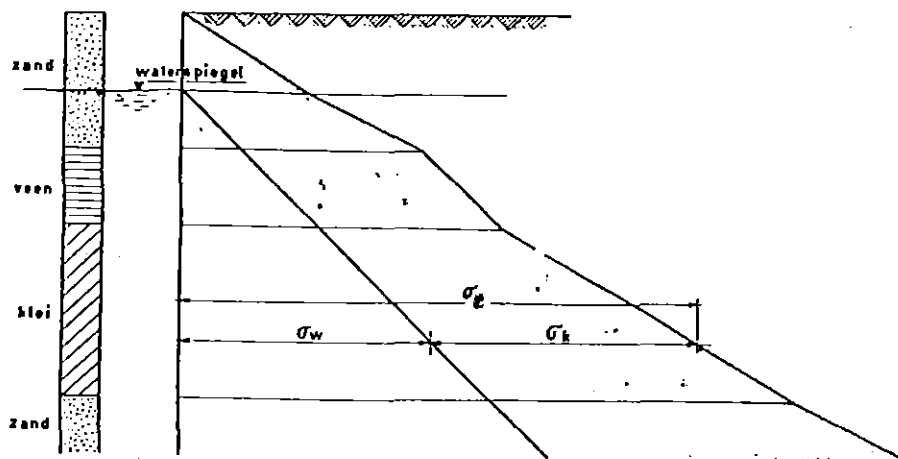


Fig. 1. Verloop van grondspanning (σ_t), korrel- (σ_k) en waterspanning (σ_w) in het terrein

De spanningen of drukkrachten worden uitgedrukt in kPa

1 kPa = kN.m^{-2} . 1 kPa komt overeen met 100 kg.m^{-2} of 10 g.cm^{-2} dus
 $1 \text{ g.cm}^{-2} = 0,1 \text{ kPa}$ en $1 \text{ kg.m}^{-2} = 0,01 \text{ kPa}$

3.2. B e r e k e n i n g v a n z e t t i n g v o l g e n s T e r z a g h i

Bij ophoging van een in horizontale richting uitgestrekt terrein kan een te verwachten zetting berekend worden met de formule van Terzaghi:

boven het grondwater : $\sigma_k = \rho_z \cdot d \cdot g$

beneden het grondwater: $\sigma_k = \rho_z \cdot d \cdot g - \rho_w \cdot d \cdot g$

σ_w wordt gemeten in peil- of potentiaalbuizen. De constante c wordt op een grondmechanisch laboratorium bepaald aan ongeroerde monsters. De c -waarden kunnen sterk variëren afhankelijk van de grondsoort en de dichtheid.

Volgens de formule van Terzaghi is de zetting rechtevenredig met de laagdikte van de samendrukbare laag en omgekeerd evenredig met de samendrukbaarheids-constante.

Voorbeeld van zettingsberekening

Tabel 1 geeft een voorbeeld van de methode van berekening van de zetting volgens de formule van Terzaghi naar VAN SMAALEN, 1982.

Het betreft een profiel van 0,8 m klei op veen met een zandondergrond op 4 m diepte. Het grondwaterniveau bevindt zich op 0,4 m -mv. Het wordt opgehoogd met 2,5 m zand. Hierbij $\rho_z = 1800 \text{ kg.m}^{-3} = 18 \text{ kN.m}^{-3}$
 $\Delta\sigma_k = 2,5 \text{ m} \times 1800 \text{ kg.m}^{-3} \times 10 \text{ m.s}^{-1} = 45 \text{ kPa}$

Tabel 1. Voorbeeld van zettingsberekening met de formule van Terzaghi.
Spanningen in kPa

Profiel	Diepte	d	ρ_z	c	σ_t	$\bar{\sigma}_t$	σ_w	$\bar{\sigma}_w$	$\bar{\sigma}_{k.1}$	$\bar{\sigma}_{k.2}$	z_z
	m	m	kg.m^{-3}				kPa				m
	0						- 4				
klei	0,8	0,8	1600	12		6,4		0	6,4	51,4	0,14
	0,8				12,8		4				
veen	3,2	3,2	1100	7		30,4	20	10,4	55,4	0,77	
	4,0				48,0		36				
zand											
									Totaal		0,91

Bij $\Delta d = 0,91 \text{ m}$ en een grondwaterstand van 0,4 m beneden het oorspronkelijke maaiveld zakt een deel van de opgebrachte laag na het bereiken van een hydrostatisch evenwicht beneden het grondwater.

Boven het grondwater blijft: $2,5 + 0,4 - 0,91 = 1,99$ m. De zakking van het opgebrachte zand beneden het grondwater bedraagt dan $2,5 - 1,99 = 0,51$ m. Hierdoor neemt $\Delta\sigma_k$ van 45 kPa af met 5,1 kPa af tot 39,9 kPa. Dit betekent dat in feite een zetting van 0,91 m optreedt bij $\Delta\sigma_k = 39,9$ kPa.

Omdat σ_{k2} verandert tijdens de zetting zijn iteratieberekeningen noodzakelijk voor verschillende zanddikten. De uitkomsten worden grafisch uitgezet in een lastzakkingsdiagram, zie par. 3.4, zodat men de benodigde zanddikte kan bepalen om een gewenste hoogte te bereiken.

In de formule van Terzaghi wordt geen rekening gehouden met de factor tijd. Wil men deze factor erin betrekken dan wordt de formule van Koppejan gebruikt.

3.3. Berekening van zetting volgens K o p p e j a n

De zetting verloopt aanvankelijk snel en neemt daarna geleidelijk af. Het verloopt logaritmisch met de tijd. Men onderscheidt een primaire en een seculaire periode, zie formule Koppejan.

$$\Delta d = d \left(\frac{1}{c_p} + \frac{1}{c_s} \log t \right) \ln \left(\frac{\bar{\sigma}_{k1} + \Delta\sigma_k}{\bar{\sigma}_{k1}} \right) \quad (8)$$

c_p = samendrukkingsconstante in de primaire periode

c_s = samendrukkingsconstante in de seculaire periode

t = tijd in dagen, meestal $\log t = 3$ of 4 (1000 resp. 10 000 dagen)

Zandgrond heeft geen seculair effect, zodat in dit geval de formule van Terzaghi van toepassing blijft.

Bij bepaling van de last-zakkingslijnen in een diagram volgens proeven waaruit de parameters c_p en c_s kunnen worden bepaald, komt meestal een knik voor, zie fig. 2. Het knikpunt geeft een grensspanning (σ_{kg}) aan, die eerst overschreden moet worden alvorens een sterke zetting optreedt. Voor het traject tot aan de grensspanning wordt een andere c-waarde berekend die aanzienlijk groter is dan de c-waarde voorbij de grensspanning. Rekening houdend met de tijdsfactor en een

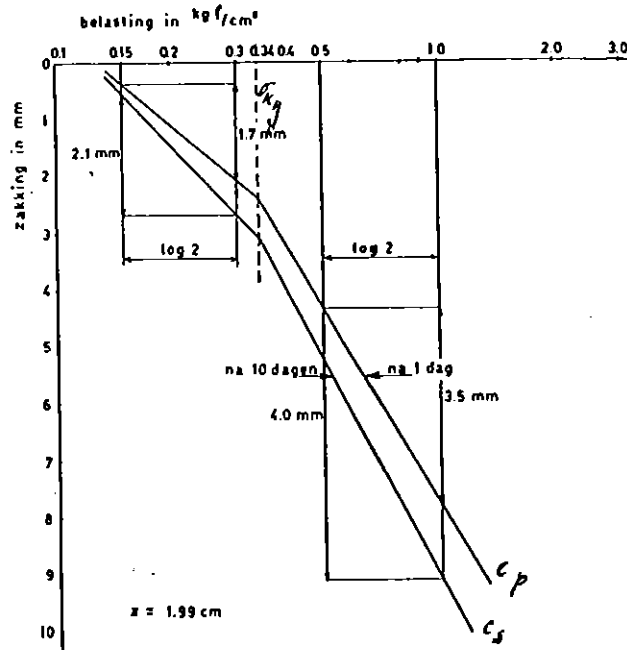


Fig. 2. Afleiding van c_p en c_s uit samendrukkingsproef

zekere grensspanning wordt de zettingsformule:

$$\Delta d = d \left\{ \left(\frac{1}{c'_p} + \frac{1}{c'_s} \log t \right) \ln \frac{\bar{\sigma}_{kg}}{\bar{\sigma}_{k1}} + \left(\frac{1}{c''_p} + \frac{1}{c''_s} \log t \right) \ln \frac{\bar{\sigma}_{k2}}{\bar{\sigma}_{kg}} \right\} \quad (9a)$$

c'_p en c'_s = samendrukkingsconstante voor de primaire respectievelijk de seculaire periode voor de zetting tot de grensspanning (σ_{kg})

c''_p en c''_s = samendrukkingsconstante voor de zetting voorbij de grensspanning

σ_{k1} = gemiddelde korrelspanning vóór belasting kPa

σ_{k2} = gemiddelde korrelspanning na belasting kPa

σ_{kg} = grensspanning kPa

Bij een kleine belastingtoename, kleiner dan tot aan de grensspanning vervalt het tweede lid van formule 9a en wordt σ_{kg} in het eerste lid $\sigma_{k1} + \Delta\sigma_k$.

Tabel 2a. De orde van grootte van diverse samendrukkingsconstanten van het gemiddelde droog volumegewicht (ρ_d) en van de gemiddelde grensspanning (σ_{kg}) naar een aantal gegevens van het Fugro, onderscheiden naar grondsoort

Grond- soort	ρ_d in k N.m ⁻³	$\frac{1}{c'_p}$	$\frac{1}{c'_s}$	$\frac{1}{c''_p}$	$\frac{1}{c''_s}$	$\frac{1}{c_1}$	$\frac{1}{c_2}$	σ_{kg} in kPa
veen	1,3	0,03	0,005	0,20	0,020	0,05	0,28	11
kleih.veen	3	0,03	0,010	0,09	0,025	0,07	0,19	17
zand.veen	5	0,03	0,016	0,04	0,025	0,09	0,14	62
ven.klei	7	0,03	0,006	0,09	0,015	0,05	0,15	32
klei	9	0,03	0,005	0,07	0,012	0,05	0,12	28
zavel	11,5	0,02	0,003	0,05	0,010	0,03	0,09	56
kleih.zand	15	0,005	0,001	0,015	0,001	0,01	0,02	65

Hierbij zij opgemerkt dat er algemeen een zeer grote spreiding bestaat ten aanzien van de gemiddelde waarde.

In tabel 2a is $\frac{1}{c_1}$ en $\frac{1}{c_2}$ berekend volgens de formule van Keverling Buisman

$$\frac{1}{c_1} = \frac{1}{c'_p} + \frac{1}{c'_s} \log t \quad (9b)$$

$$\text{en } \frac{1}{c_2} = \frac{1}{c''_p} + \frac{1}{c''_s} \log t \quad (9c)$$

$$\log t = 4 = 10\,000 \text{ dagen}$$

Tabel 2b. De orde van grootte van diverse samendrukkingsconstanten in afhankelijkheid van poriën (ϕ_p) bij IJsselmeersedimenten naar gegevens van de Glopper (1973)

ϕ_p	$\frac{1}{c'_p}$	$\frac{1}{c'_s}$	$\frac{1}{c''_p}$	$\frac{1}{c''_s}$	$\frac{1}{c_1}$	$\frac{1}{c_2}$
90	0,05	0,016	0,21	0,028	0,11	0,32
75	0,03	0,010	0,13	0,018	0,07	0,20
60	0,01	0,004	0,05	0,007	0,03	0,08

In tabel 2b is $\phi_p = 90$ te vergelijken met een veengrond, $\phi_p = 75$ met kleihoudend veen en $\phi_p = 60$ met een zavelgrond. Alle gegevens in tabel 2a en 2b hebben betrekking op grond beneden grondwater.

Volgens DE GLOPPER (1973) bestaat er bij niet gerijpte met water verzadigde sedimenten in de IJsselmeerpolders een lineair verband tussen ϕ_p in volumeprocenten en de samendrukkingsconstanten c'_p , c'_s , c''_p en c''_s van formule 9a.

$$\frac{1}{c'_p} = 0,0012 \phi_p - 0,06 \quad (10a)$$

$$\frac{1}{c'_s} = 0,0004 \phi_p - 0,02 \quad (10b)$$

$$\frac{1}{c''_p} = 0,0052 \phi_p - 0,26 \quad (10c)$$

$$\frac{1}{c''_s} = 0,0007 \phi_p - 0,35 \quad (10d)$$

3.4. B e r e k e n i n g v a n n e t t o - o p h o g i n g

Bij zettingsberekeningen dient men rekening te houden met het verschijnsel dat een deel van de opgebrachte laag als gevolg van zetting beneden het grondwater kan zakken. Hierdoor neemt σ_k weer af en is Δd kleiner dan in eerste instantie wordt berekend. Om iteratieberekeningen te besparen berekent men dan de zetting voor verschillende diktes van ophoging en zet de berekende waarden uit in een last-zakkingsdiagram, waarna een vloeiende lijn door deze punten en de oorsprong wordt geconstrueerd, zie fig. 3.

Omdat σ_k afneemt met 0,1 kPa per cm zetting beneden het grondwater kunnen de schuine lijnen in fig. 3 worden geconstrueerd, die het verband geven tussen $\Delta \sigma_k$ en de zetting bij een gegeven bezandingsdikte. Men kan met deze methode tevens de vereiste zanddikte bepalen om een gewenste hoogte te bereiken, zie WILLET, 1964.

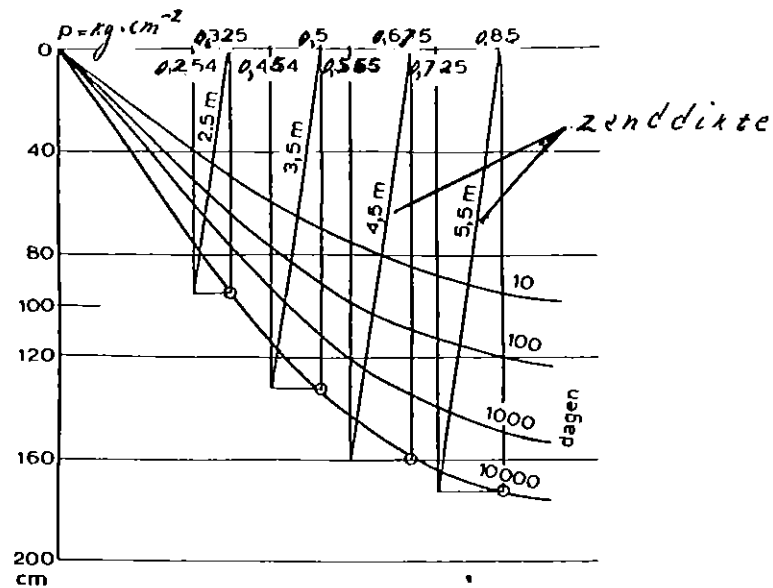


Fig. 3. Last-zakkingslijnen voor verschillende belastingsduur en methode voor de bepaling van de vereiste ophoging om na zekere tijd een bepaalde hoogte te verkrijgen (HUIZINGA, 1969)

3.5. Berekening van zetting bij veen volgens Fokkens

Volgens de methode van FOKKENS (1970) kan voor veengrond ($H > 30$) beneden de maximale diepte van het grondwater de c -waarde in formule 7 (Terzaghi) worden afgeleid van de verhouding van het water- en het organische stofgehalte bij 100 g vaste delen volgens de formule:

$$c = \frac{25,3 (A + 0,62 H + 38) H/A}{A} \quad (11)$$

A = g water per 100 g vaste delen $A = 100 w_z$

H = g organische stof per 100 g vaste delen $H = 100 f_h$

A/H = g water per g organische stof

Fokkens gaat uit van $\rho_h = 1$ in plaats van $\rho_h = 1,47$ volgens Boekel (formule 1), zodat

$$\rho = \frac{100}{0,62H + 38} \quad \text{in plaats van} \quad \frac{100}{0,3H + 38}$$

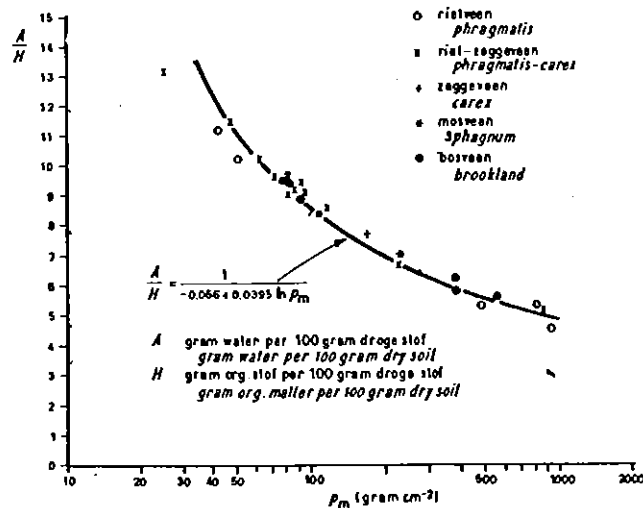


Fig. 4. Het verband tussen g water per g organische stof (A/H) en de korrelspanning (σ_k) bij veengrond

De term $A + 0,62H + 38$ betreft het totale volume (v_t) van 100 g vaste delen in verzadigde toestand.

Volgens Fokkens, zie fig. 4, bestaat de volgende relatie tussen A/H of w_z/f_h

$$A/H = \frac{1}{0,0395 \ln \bar{\sigma}_{k1} - 0,066} \quad (12)$$

$$\bar{\sigma}_{k1} \text{ of } p \text{ in g.cm}^{-2} = 0,1 \text{ kPa}$$

De zetting is te berekenen volgens de formule:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{w_{z1} - w_{z2}}{w_{z1} + \frac{100}{\rho}} \quad (13)$$

w_{z1} en f_h (oorspronkelijke toestand) worden meestal bepaald via grondmonsters. Dan is $\bar{\sigma}_{k1}$ te berekenen volgens formule 12.

Vervolgens wordt w_{z2} berekend eveneens met formule 12, waarin

$$\bar{\sigma}_{k2} = \bar{\sigma}_{k1} + \Delta \sigma_k$$

De zettingsberekening toegepast op de veenlaag van het profiel in tabel 1, geeft het volgende resultaat.

Gegeven: $\rho_z = 1100 \text{ kg.m}^{-3}$ $\bar{\sigma}_{k1} = 10,4 \text{ kPa}$
 $d = 3,2 \text{ m}$ $\Delta\sigma_k = 45 \text{ kPa}$ $\sigma_{k2} = 55,4 \text{ kPa}$
 $f_h = 0,6$ dan is volgens formule 1: $\rho = 1790 \text{ kg.m}^{-3}$
 $\rho_d = 200 \text{ kg.m}^{-3}$ en $\phi_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_z} = 0,89$

Berekening: volgens formule 5 $w_{z1} = 4,45$
 volgens formule 12 $w_{z2} = 5,4f_h = 3,24$
 volgens formule 13 $\frac{\Delta d}{d} = 0,24$
 $\Delta d = 0,77 \text{ m}$

Met de formule van Terzaghi (formule 7) werd voor de veenlaag eveneens een zetting berekend van 0,77 m met $c = 7$, volgens tabel 1.

Volgens formule 11 van Fokkens werd een waarde berekend van $c = 4$. Dit is een veel voorkomende waarde bij veengronden.

Een voordeel van de zettingsberekening van de methode Fokkens ten opzichte van Terzaghi is de bepalingsmethode. Bij Fokkens kan het gehele profiel worden bemonsterd en op eenvoudige wijze de c -waarde worden berekend in tegenstelling met de grondmechanische methode. Deze methode is alleen toepasbaar bij veengrond ($H > 30$) en waarbij $\bar{\sigma}_{k2} > \bar{\sigma}_{kg}$, dus bij een grote belastingtoename.

3.6. L i t e r a t u u r

- BOEKEL, P., 1961. De bepaling van het soortelijk gewicht van grond.
 Rapp. IX. IB Groningen
- EPPINK, L. en R.HA. VAN DUIN, 1983. Verandering van de maaivelds-
 ligging. Bodemtechniek, deel D. Vakgr. Cult. Techn., L.H.,
 Wageningen
- FOKKENS, B., 1970. Berekening van de samendrukking van veenlagen uit
 het gehalte aan organische stof en water. De Ingenieur,
 Boom- en waterbouwkunde. Jaarg. 82 nr. 13 blz. B-23-28
- HUIZINGA, T.K., 1969. Grondmechanica, 4e dr. Agon Elsevier
- SMAALEN, H. VAN, 1982. Inleiding grondmechanica. Syllabus Coll.
 k 200-007. LH Weg- en Waterbouwkunde en Irrigatie.
- VEEN, C. VAN DER, 1968. Grondmechanica

WILLET, J.R., 1964. Zettingsberekening in de cultuurtechniek.

Tijdschr. KNHM nr. 6

CURSUS BODEMKUNDE. Min. van Landbouw en Visserij. Afd. Scholing.

Te verschijnen in 1984/85

4. ZAKKING VAN MAAIVELD ALS GEVOLG VAN ONTWATERING

4.1. Z a k k i n g s c o m p o n e n t e n

Onder invloed van natuurlijke processen kan de hoogteligging van diverse gronden afnemen. Bij deze zakkingsprocessen die zich hoofdzakelijk voordoen bij veen- en slappe kleigronden, kan men verschillende componenten onderscheiden, namelijk:

1. fysische rijping of krimp (z_k), een fysisch proces waarbij de bovengrond in dikte afneemt als gevolg van vochtonttrekking door verdamping via grond en gewas;
2. oxydatie (z_o) van organische stof, een biochemisch proces dat in humeuze en venige gronden optreedt onder invloed van activiteiten van micro-flora en -fauna bij een gunstige lucht- en vochthuishouding. Hierbij verdwijnt organische stof en zakt het maaiveld;
3. inklinking van de ondergrond (z_i), een grondmechanisch proces waarbij een bodemlaag wordt verdicht en samengedrukt door eigen gewicht als gevolg van verlaging van de waterspanning door ontwatering of waterwinning.

In de grondmechanica wordt het laatst genoemd proces als 'zetting' aangeduid. Bodemkundigen gebruiken veelal de term 'inklinking' of 'klink' en verstaan hieronder uitsluitend de zakking als gevolg van ontwatering. Het omvat dan zowel de inklinking van de ondergrond (beneden het oorspronkelijke grondwaterniveau) plus de veranderingen in de bovengrond als gevolg van oxydatie en krimp respectievelijk fysische rijping. Binnen dit kader heeft 'inklinking' een betekenis die beperkt is tot de samendrukking van de bodemlaag beneden het oorspronkelijke grondwaterniveau door eigen gewicht, dus de grondmechanische component.

In het geval dat een veengrond wordt opgehoogd met veen van elders bijvoorbeeld door opspuiten in verband met zandwinning, wordt het oorspronkelijk veenprofiel samengedrukt als gevolg van een opgebrachte belasting. Dit betreft een grondmechanisch proces aangeduid als zetting (z_z).

Voor een dergelijk opgespoten terrein geldt:

$$z = z_z + z_i + z_k + z_o$$

z_z en z_i kunnen berekend worden met grondmechanische formules, zie hoofdstuk 3.

4.2. F y s i s c h e r i j p i n g v a n k l e i g r o n d e n

Het specifiek of massiek volume

Bij zakkingsberekeningen voor drooggelegde gronden wordt door de Rijksdienst van de IJsselmeerpolders algemeen de grootte sv gebruikt. Dit betreft het specifiek of massiek volume uitgedrukt in $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$.

Het is de reciproke waarde van het droog volumegewicht ofwel van de volumieke massa: sv of $v_m = \frac{1}{\rho_d}$ in $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$.

De berekening van een te verwachten zakking als gevolg van fysische rijping of krimp is gebaseerd op de formule:

$$d_1 \times \rho_{d1} = d_2 \times \rho_{d2} \quad \text{of} \quad (14a)$$

$$d_1 : d_2 = v_{m1} : v_{m2} \quad (14b)$$

d_1 en d_2 = dikte van de laag in cm in oorspronkelijke
toestand respectievelijk in eindtoestand

v_{m1} en v_{m2} = massiek volume van vaste delen in oorspronkelijke
respectievelijk in eind toestand

v_{m1} wordt bepaald door bemonstering van de grond in oorspronkelijke toestand

v_{m2} wordt afgeleid van vergelijkbare grond met hetzelfde lutum- en organisch stofgehalte in gerijpte toestand

v_m wordt bij grond in onverzadigde toestand bepaald door volume bemonsteringen. $v_m = \frac{1}{\rho_d}$.

Bij grond in verzadigde toestand (beneden het grondwater) wordt v_m meestal bepaald via massabemonstering. Door bepaling van f_h kan ρ worden berekend volgens formule 1 en v_m volgens onderstaande formules:

$$v_m = \frac{v_t}{m_t} \quad v_t = \frac{m_w}{\rho} + \frac{m_s}{\rho} \quad \text{en} \quad m_t = m_w + m_s$$

Rijpingsfactor

Het massiek volume respectievelijk het waterhoudend vermogen is behalve van het lutum- en organisch stofgehalte afhankelijk van de rijpingstoestand.

Hiervoor heeft ZUUR (1973) de rijpingsfactor n geïntroduceerd. Dit is voor grond in verzadigde toestand tevens een dichtheidsfactor. Volgens PONS en ZONNEVELD (1965)

$$n = \frac{A - 0,2 R}{L + bH} \quad (15a)$$

Dit is afgeleid van de rijpingsformule van Zuur

$$A = n(L + bH) + c \quad (15b)$$

A = A-cijfer = watergehalte in g per 100 g vaste delen = $100 w_z$

L = lutumgehalte in " " " " " " $L = 100 f_l$

H = organische stofgehalte in " " " " " " $H = 100 f_h$

R = gehalte van niet colloïdalen minerale delen in g per 100 g vaste delen $R = 100 f_{m-1}$

$$L + H + R = 100 \text{ g}$$

Het watergehalte van R kan afhankelijk van de dichtheid variëren van 16 tot 25 g en is gemiddeld 20 g. In formule 15b $c = 20$

b = verhoudingsfactor van het waterhoudend vermogen van organische stof tot dat van lutum. Gemiddeld $b = 3$ à 4 , soms hoger

n = rijpings- of dichtheidsfactor

Deze kan variëren van 0,6 à 0,7 bij een goed gerijpt sediment tot 2 bij ongerijpte drooggevalen gronden respectievelijk tot 3 bij onder water afgezette sedimenten. De n -factor geeft in

het watergehalte (watergetal) per g lutum, waarbij het watergehalte van organische stof is omgerekend op dat van lutum.

Er bestaat een lineair verband tussen v_m en L bij een bepaalde rijpingstoestand (n), zie fig. 5.

De lijnen voor verschillende rijpingsgraden hebben betrekking op:

- | | |
|--|---------------|
| 1. Onderwater afzetting | $n = 3$ |
| 2. Slik afzetting in getijde gebied | $n = 2$ |
| 3. Laag van 1,1 - 1,2 m-mv van een 100 jaar geleden drooggelegde polder | $n = 1,2-1,3$ |
| 4. Bouwvoor van dezelfde polder (evenals 3 een slikafzetting in een getijdegebied) | $n = 0,6-0,7$ |

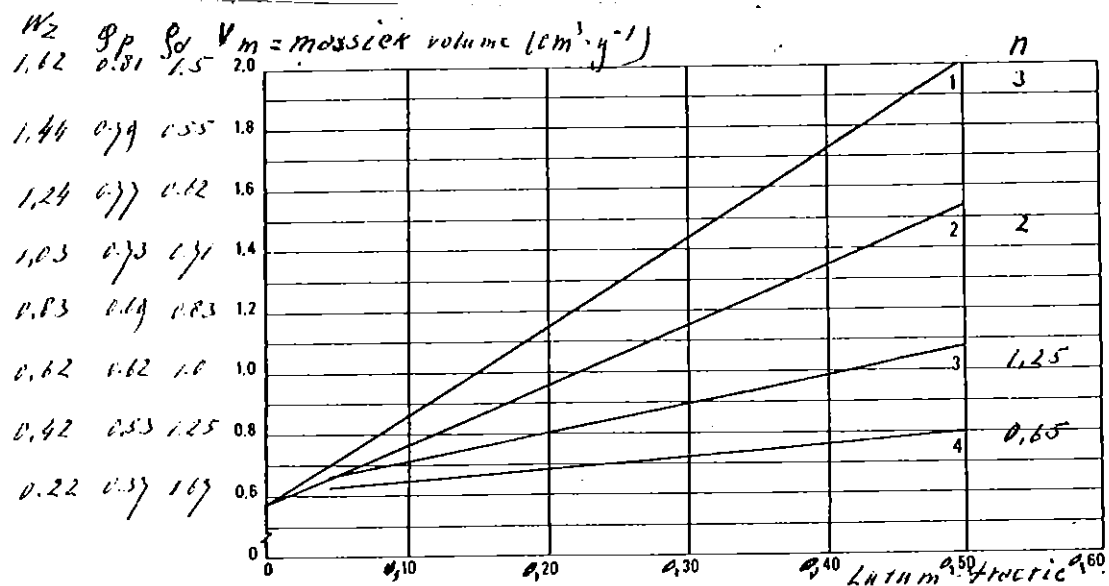


Fig. 5 . Het verband tussen lutumgehalte en massiek volume bij verschillende rijpingsstadia (DE GLOPPER, 1973)

De met v_m corresponderende waarden voor w_z , ϕ_p en ρ_d zijn naast de verticale as weergegeven.

Behalve van het lutumgehalte en de rijpingstoestand is de krimp afhankelijk van de diepte beneden maaiveld. Met afnemende invloed van de verdamping met de diepte neemt ook de krimp af en de n -factor dus toe, evenals v_m , zie fig. 6.

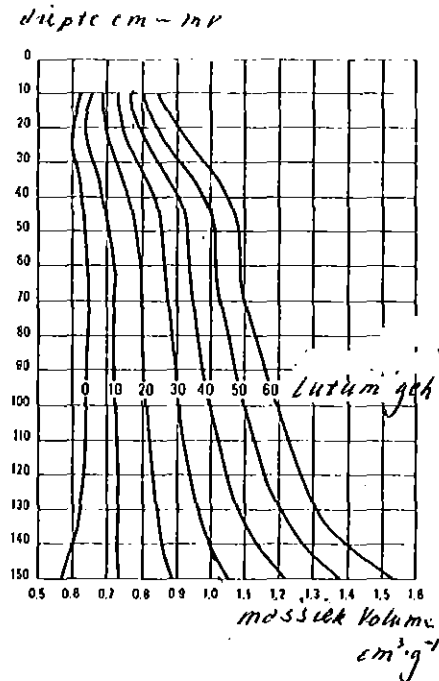


Fig. 6. Het verband tussen specifiek of massiek volume en de diepte beneden maaiveld bij verschillend lutumgehalte in de Joh. Kerkhovenspolder, drooggelegd in 1875 (DE GLOPPER, 1973)

Het rijpingsproces verloopt logaritmisch met de tijd. De dikte afname van onderwater sedimenten is na 100 jaar drooglegging zoals in fig. 7 is weergegeven.

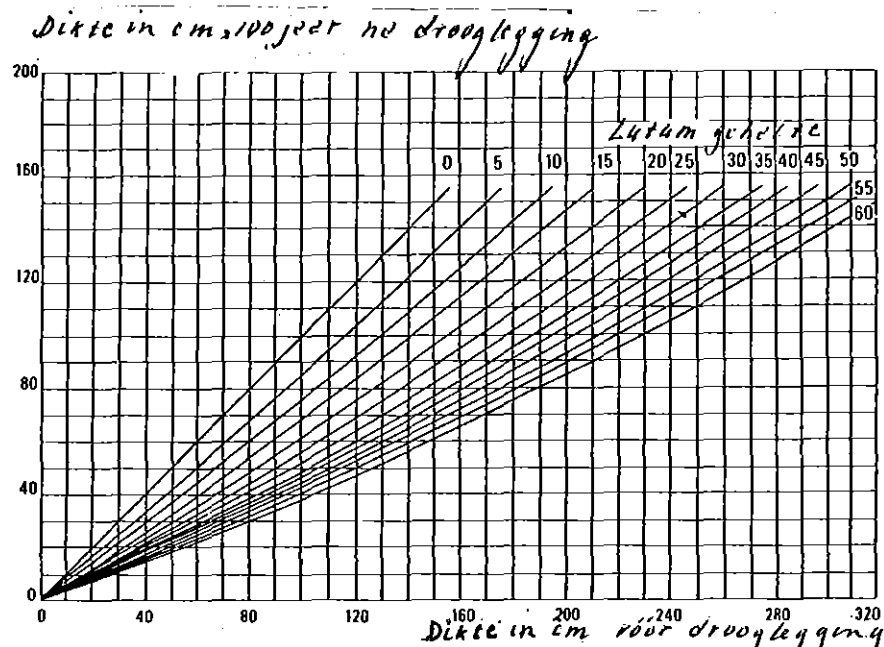


Fig. 7. Het verband tussen de oorspronkelijke dikte en de dikte $\pm$ 100 jaar na drooglegging van onderwater afzettingen in het IJsselmeer bij verschillend lutumgehalte (DE GLOPPER, 1973)

Voorbeeld van berekening van zakking

In tabel 4 wordt een voorbeeld gegeven van de berekening van een te verwachten zakking van het maaiveld, volgens de formule

$$d_2 = d_1 \times \frac{v_{m2}}{v_{m1}} \quad \text{in cm}$$

De dikteafname wordt per laag van 10 cm berekend. Hierbij is v_{m2} het massiek volume van een vergelijkbaar profiel dat reeds 100 jaar is ontwaterd. v_{m2} neemt met de diepte beneden maaiveld toe.

Volgens tabel 4 neemt een oorspronkelijke dikte van 146 cm met 26 cm af tot 120 cm.

De krimp als gevolg van rijping kan naar VAN DUIN (1973), rekening houdende met de diepte voor en na rijping zoals in tabel 4, ook berekend worden via het watergetal (w_z) volgens de formule:

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{w_{z,1} - w_{z,2}}{w_{z,1} + \frac{1}{\rho}} \quad (16a)$$

of via de dichtheid (ρ_d)

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\rho_{d2} - \rho_{d1}}{\rho_{d2}} \quad (16b)$$

Tabel 4. Berekening van de verandering in dikte per laag
van 10 cm voor een hoge kweldergrond met 25% luttum (DE GLOPPER, 1973)

V_{m1}	Diepte voor rijping cm	Verandering in dikte	Diepte na rijping cm	V_{m2}
1.02	0 - 10.0 →	$10.0 \times \frac{0.66}{1.02} = 6.47$ →	0 - 6.47	0.66
0.96	10.0 - 15.12 ←	$3.53 \times \frac{0.96}{0.66} = 5.12$ ←	6.47 - 10.0	0.66
0.96	15.12 - 20.0 →	$4.88 \times \frac{0.66}{0.96} = 3.37$ →	10.0 - 13.37	0.66
0.86	20.0 - 28.62 ←	$6.63 \times \frac{0.86}{0.66} = 8.62$ ←	13.37 - 20.0	0.66
0.86	28.62 - 30.0 →	$1.38 \times \frac{0.69}{0.84} = 1.13$ →	20.0 - 21.13	0.69
0.84	30.0 - 40.0 →	$10.0 \times \frac{0.69}{0.84} = 8.21$ →	21.13 - 29.34	0.69
0.88	40.0 - 40.84 ←	$0.66 \times \frac{0.88}{0.69} = 0.84$ ←	29.34 - 30.0	0.69
0.88	40.84 - 50.0 →	$9.16 \times \frac{0.705}{0.88} = 7.33$ →	30.0 - 37.33	0.705
0.92	50.0 - 53.47 ←	$2.67 \times \frac{0.92}{0.705} = 3.47$ ←	37.33 - 40.0	0.705
0.92	53.47 - 60.0 →	$6.53 \times \frac{0.71}{0.92} = 5.03$ →	40.0 - 45.03	0.71
0.93	60.0 - 65.51 ←	$4.97 \times \frac{0.93}{0.71} = 6.51$ ←	45.03 - 50.0	0.71
0.93	65.51 - 70.0 →	$4.49 \times \frac{0.725}{0.93} = 3.50$ →	50.0 - 53.50	0.725
0.93	70.0 - 78.32 ←	$6.50 \times \frac{0.93}{0.725} = 8.32$ ←	53.50 - 60.0	0.725
0.93	78.32 - 90.80 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.745} = 12.48$ ←	60.0 - 70.0	0.745
0.93	90.80 - 102.87 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.77} = 12.07$ ←	70.0 - 80.0	0.77
0.93	102.87 - 114.50 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.80} = 11.63$ ←	80.0 - 90.0	0.80
0.93	114.50 - 125.60 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.84} = 11.10$ ←	90.0 - 100.0	0.84
0.93	125.60 - 136.17 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.88} = 10.57$ ←	100.0 - 110.0	0.88
0.93	136.17 - 146.22 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.925} = 10.05$ ←	110.0 - 120.0	0.925
0.93	146.22 - 156.22 ←	$10.0 \times \frac{0.93}{0.93} = 10.0$ ←	120.0 - 130.0	0.93
0.93	156.22 - 166.22 ←	10.0	130.0 - 140.0	0.93
0.93	166.22 - 176.22 ←	10.0	140.0 - 150.0	0.93

4.3. Het zakkingsproces bij veengronden

Slootpeil en grondwaterdiepte

Het polderpeil in veenweidegebieden is in de loop van de tijd regelmatig aangepast aan een optredende zakking van het maaiveld. Gedurende de laatste eeuw is het peil in vele polders 0,25 tot 0,5 m verlaagd. Hierbij streefde men naar handhaving van een peil van 0,2 tot 0,4 m -mv.

Onder deze omstandigheden is de draagkracht in de natte perioden zeer gering. In verband met een sterke intensivering en mechanisatie van de weidebedrijven wordt een diepere ontwatering gewenst met een slootpeil van circa 0,8 m -mv.

Verlaging van het polderpeil gaat gepaard met een verlaging van het grondwaterniveau en daardoor met een extra zakking van het maaiveld. Bepalend voor de mate van zakking is onder andere de diepte van de zomergrondwaterstand (h_{fz}).

Onder normale omstandigheden (geen sterke kwel of wegzijging) geldt voor veenweidegronden als vuistregel:

$$h_{fz} = 0,5 h_s + 40 \quad \text{cm} \quad (17)$$

h_{fz} = gemiddelde zomergrondwaterstand in cm -mv

h_s = sloot- of polderpeil in cm

Inklinking

De grondmechanische component van het zakkingsproces bij veengronden, dat is de inklinking van de ondergrond (z_i) beneden de oorspronkelijke zomergrondwaterdiepte is theoretisch te berekenen met grondmechanische formules, zie par. 3.2 tot en met 3.5.

Bij verlaging van het grondwater is de toename van de korrelspanning ($\Delta\sigma_k$) gelijk aan de verlaging van de opwaartse druk ($\Delta\sigma_w$). Door verlaging van het grondwater met 1 cm neemt de opwaartse druk af met 1 g.cm^{-2} ofwel met 100 Pa. Het omgekeerde geldt bij verhoging van het grondwater.

Bij deze berekeningen dient men evenals bij ophogingen rekening te houden met het verschijnsel dat een deel van de samendrukbare laag

weer beneden het grondwater zakt waardoor σ_w toe- en σ_k afneemt, zodat een geringere zakking optreedt dan in eerste instantie wordt berekend.

Onder bepaalde omstandigheden is z_i te berekenen door vergelijking van de dichtheid van het veen van ingeklonken en vergelijkbare niet ingeklonken veenprofielen (SCHOTHORST, 1967).

$$z_i = d_1 - \left(d_1 \times \frac{\rho_{dh1}}{\rho_{dh2}} \right) \quad \text{in cm} \quad (18a)$$

of

$$z_i = \frac{\rho_{dh2} - \rho_{dh1}}{\rho_{dh2}} \times 100 \quad \text{in \%} \quad (18b)$$

d_1 = dikte van de veenlaag beneden het zomergrondwaterniveau in de oorspronkelijke toestand van profiel 1 in m

ρ_{dh1} = gemiddelde dichtheid van de organische stof van laag d_1 , in kg.m^{-3}

ρ_{dh2} = idem van laag d_2 beneden het zomergrondwaterniveau van het ingeklonken profiel 2

$\rho_{dh} = f_h \rho_d$

Voor 2 verschillende veenprofielen werd volgens formule 18a een z_i berekend als in tabel 5 is gegeven. Dit betreft de inklinking na 50 jaar in polder Mastenbroek en na 20 jaar in Twiskerpolder (SCHOTHORST, 1967 en 1969).

Tabel 5. De inklinking (z_i) van 2 veenprofielen na een sterke verlaging van het grondwater

Profiel	h_{f1} m -mv	h_{f2}	d_1 m	ρ_{dh1} kg.m^{-3}	ρ_{dh2} kg.m^{-3}	z_i m
Mastenbroek	0,4	1,4	2	100	110	0,18
Twiske	0,4	1,8	2,8	90	110	0,51

Methode Halakorpi-Segeberg

Een te verwachten inklinking kan ook berekend worden volgens een empirische formule van Halakorpi-Segeberg (SEGEBERG, 1960)

$$z_i = a(0,08 \times dx \frac{t_n}{1,2} + 0,066) \quad m \quad (19a)$$

a = factor voor dichtheid afhankelijk van het droge volume-gewicht (ρ_d), zie fig. 8

d = veendikte in m beneden het oorspronkelijke grondwaterniveau. Bij reeds eerder ontwaterde gronden komt de constante 0,066 te vervallen

t_n = diepte van het grondwaterniveau of diepte van het gewenste grondwaterniveau in m -mv na zakking. $t_n = h_{f2} - z$

h_{f2} = diepte van het grondwaterniveau na verlaging in m ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld

Voor reeds eerder ontwaterde gronden kan formule 19a vereenvoudigd worden doordat de constante 0,066 komt te vervallen tot

$$z_i = 0,067 \times a \times d \times t_n \quad m \quad (19b)$$

Voor de 2 profielen van tabel 5 is z_i eveneens berekend met formule 19b waarbij de factor a is ontleend aan fig. 8. Voor het profiel in Mastenbroek werd met $a = 1,5$ en $t_n = 1,5$, een z_i berekend van 0,21 m en voor het profiel in Twiske met $a = 2,2$ en $t_n = 1,3$ m een z_i van 0,54 m.

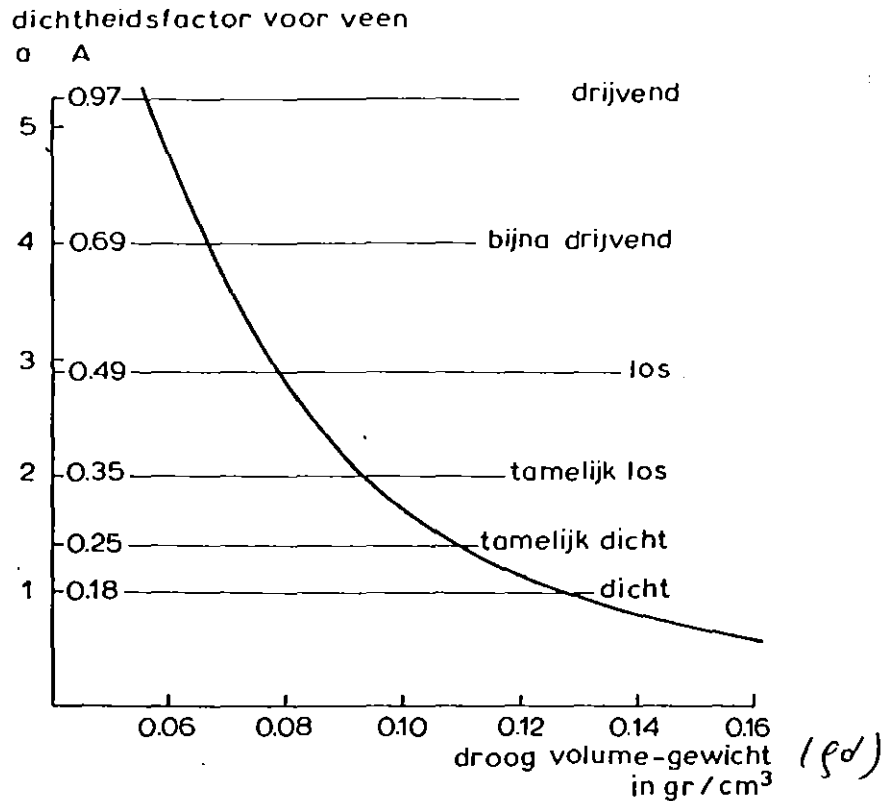


Fig. 8. Het verband tussen de dichtheidsfactor (a volgens Halakorpi, A volgens Ostromecki) en het volumegewicht (naar SEGEBERG, 1960)

De inklinking als functie van verlaging van het grondwater, dichtheid van het veen en veendikte

Met formule 19b en de gegevens van de profielen in tabel 5 is z_1 berekend voor verschillende dichtheden in afhankelijkheid van de grondwaterdiepte voor een veendikte van 2 m, zie fig. 9. Hieruit blijkt de sterke invloed van de dichtheid van het veen op de inklinking.

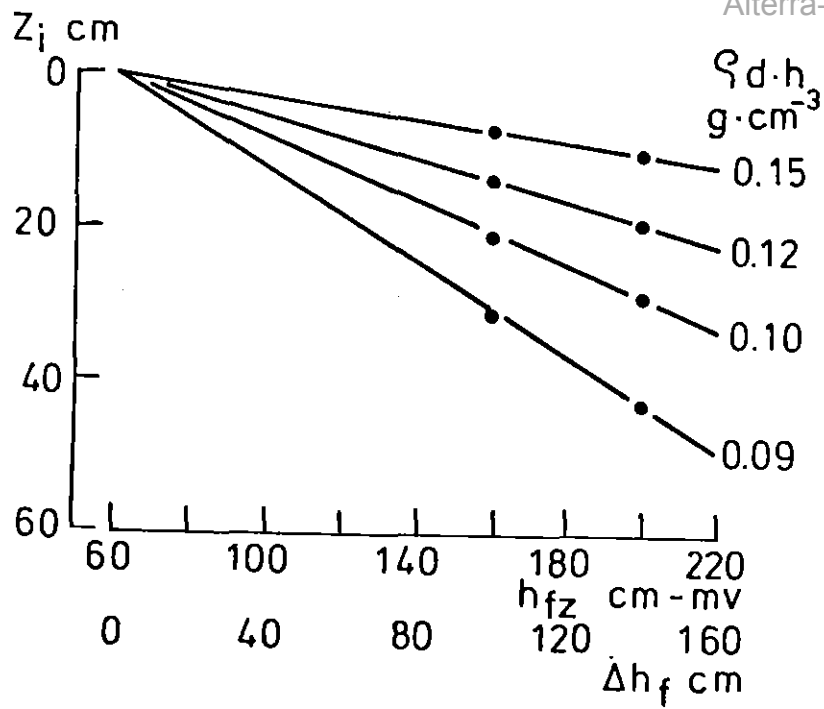


Fig. 9. De inklinking als functie van de zomergrondwaterdiepte en de veendichtheid, bij een veendikte 2 m en een oorspronkelijke zomergrondwaterdiepte van 0,6 m -mv

Voor dunne veenlagen $d < \Delta h_f$ geldt $\Delta h_f = d$ omdat z_i beperkt is tot de dikte van de veenlaag, zie fig. 10.

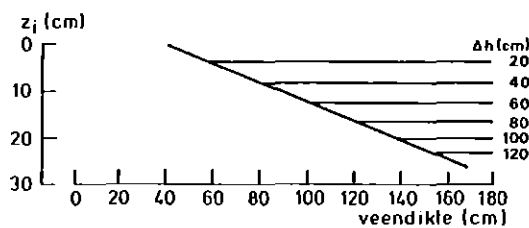


Fig. 10. De inklinking als functie van de veendikte en de verlaging van het zomergrondwaterniveau bij een veendichtheid $\rho_{dh} = 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en een oorspronkelijke grondwaterdiepte van 0,6 m -mv in de zomer

Oxydatie

Oxydatie (z_o) is een min of meer continu verloopend proces. Oxydatieverliezen kunnen onder bepaalde omstandigheden worden berekend door:

1. vergelijking van de totale hoeveelheid organische stof aanwezig in vergelijkbare ondiep en reeds lang diep ontwaterde veenprofielen. In polder Mastenbroek en in de Twiskepolder werd op deze wijze bij een zeer diepe ontwatering een gemiddeld oxydatieverlies berekend van circa 5 mm per jaar, zie fig. 11.

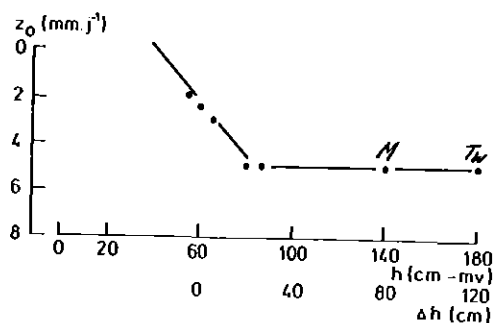


Fig. 11. De oxydatie als functie van de verlaging van het grondwater-niveau (M = Mastenbroek, TW = Twiske)

2. vergelijking van het gehalte aan minerale delen in de lagen boven het zomergrondwaterniveau ten opzichte van de lagen beneden het grondwater. Dit is slechts mogelijk bij uniforme veenprofielen zonder mariene of fluviatiele invloeden. In de polder Zegveldbroek kon op deze wijze een totale zakking van circa 2 m, in de loop der eeuwen opgetreden, voor 85% door oxydatie en voor 15% door krimp worden verklaard (SCHOTHORST, 1977). Dit komt overeen met een oxydatieverlies van circa 2 mm per jaar bij een ondiepe ontwatering.
3. afleiding van de opname van bodemstikstof door het gewas zonder stikstofbemesting. Bij een zomergrondwaterstand van 0,6 m -mv werd

in het westelijk veenweidegebied volgens deze methode een gemiddeld verlies berekend van 2 mm per jaar. Door diepere ontwatering namen de oxydatieverliezen toe tot maximaal 6 mm per jaar, zie fig. 11.

Bij veengronden in gebruik als bouwland neemt z_0 toe tot circa 10 mm per jaar.

z_0 is onafhankelijk van de veendikte. Behalve van vocht- en luchtgehalte is z_0 afhankelijk van temperatuur, zuurgraad (pH) en de koolstof-stikstofverhouding (C/N quotiënt). Het oxydatieproces verloopt in een subtropisch klimaat aanzienlijk sneller. Een lage pH en een hoog C/N quotiënt vertragen het proces.

Krimp

De krimp (z_k) bij veengronden neemt evenals de fysische rijping bij kleigronden af met de diepte beneden maaiveld, zie profiel D_1 en D_2 in fig. 12.

Uitgaande van het oorspronkelijke veenprofiel D_1 kan men per laag van 0,1 m vanaf de basis verbindingslijnen met profiel D_2 construeren met gelijke hoeveelheid organische stof. Hieruit kan de dikte afname per laag van 0,1 worden bepaald. Het oorspronkelijke veenprofiel van 0,98 m dikte is tot 0,6 m gereduceerd. Van de totale zakking van 0,38 m is een deel toe te schrijven aan inklinking (z_i). Bij $\rho_{dh1} = 100 \text{ kg.m}^{-3}$ en $\Delta h_f = D_1 - h_{f1} = 0,6 \text{ m}$ volgt uit fig. 9 en 10 $z_i = 0,12 \text{ m}$ zodat $z_k = z_t - z_i = 0,26 \text{ m}$.

z_k kan in principe op dezelfde wijze worden berekend als bij de fysische rijping van kleigronden. In plaats van het specifiek of massiek volume (v_m) wordt meestal de volumieke masse (ρ_d) of beter de dichtheid van de organische stof (ρ_{dh}) gebruikt.

Bij ondiep ontwaterde reeds lang in cultuur zijnde veengronden kan men de in het verleden opgetreden krimp berekenen volgens de formule

$$z_k = (d_2 \times \frac{\rho_{dh2}}{\rho_{dh1}}) - d_2 \quad \text{m} \quad (20)$$

d_2 = actuele laagdikte m

ρ_{dh1} = dichtheid van organische stof in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ beneden de
maximale diepte van het grondwater

ρ_{dh2} = idem boven de maximale diepte van het grondwater

Met $d_2 = 0,1$ m kan men z_k per laagdikte van 0,1 m en de totale
krimp bepalen.

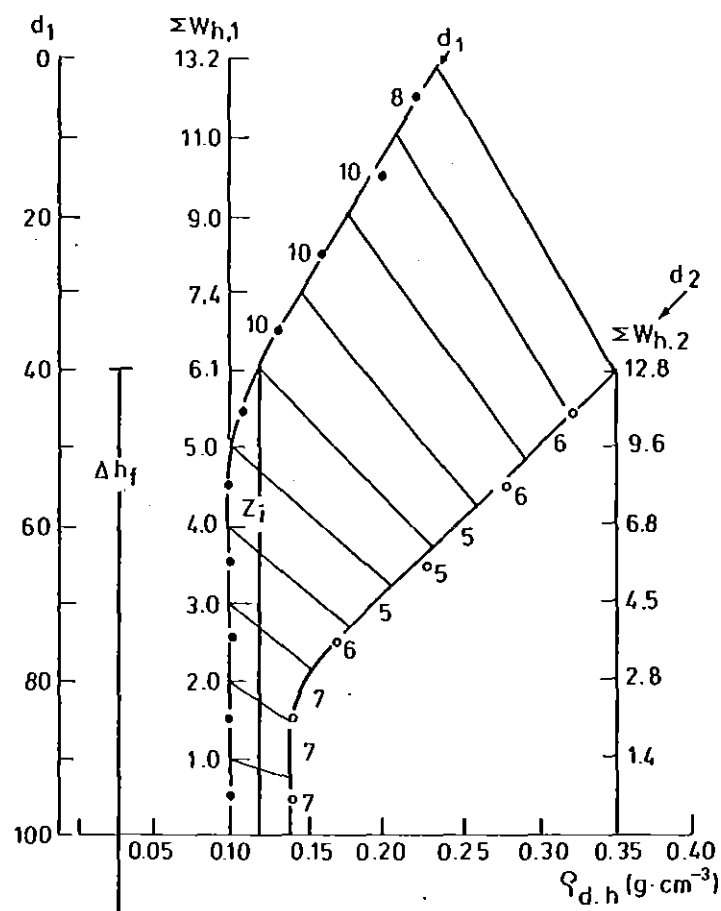


Fig. 12. Het verloop van de krimp met de diepte beneden maaiveld van
een ondiep ontwaterd veenprofiel ($h_f = 0,4$ m) zonder mineraal
dek (D_1) en van hetzelfde profiel (D_2) na verlaging van h_f
tot 1,1 m -mv. De oorspronkelijke veendikte bedraagt 1 m

In het voorbeeld van fig. 12 wordt op deze wijze voor het ondiep ontwaterde profiel (D_1) een krimp berekend van 0,32 m.

Profiel D_2 betreft een sterk ingedroogd veenprofiel waarbij men kan stellen dat de maximale krimp is bereikt. Dit betreft irreversibele krimp.

Daarnaast bestaat reversibele krimp. Als gevolg van een verdampingsoverschot in de zomer krimpt de bovengrond maar zwelt weer op in een daarop volgende natte winter. Hierdoor kan het maaiveld bij klei op veengronden circa 4 cm en bij veengronden zonder mineraaldek circa 8 cm in hoogte fluctueren. Irreversibele krimp treedt voornamelijk op in droge zomers speciaal na een sterke verlaging van het grondwaterniveau.

Bij gebruik als grasland is z_k onafhankelijk van de veendikte voor zover deze meer dan 1 m bedraagt. Diepere lagen nemen uitsluitend in dikte af als gevolg van inklinking (z_i). Bij dunnere veenlagen dan 1 m is z_k afhankelijk van de veendikte en de mate van verlaging van het grondwaterniveau, zie fig. 13.

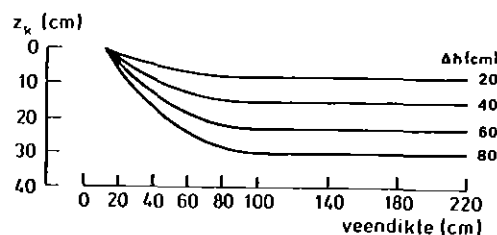


Fig. 13. De krimp als functie van de veendikte en verlaging van het grondwaterniveau ten opzichte van een oorspronkelijke zomergrondwaterdiepte van 0,6 m -mv en een dichtheid (ρ_{dh}) van 100 kg.m^{-3} beneden 0,6 m -mv, bij een veenprofiel zonder mineraaldek

Totale zakking

Uitgaande van een veenprofiel zonder mineraaldek, een dikte > 2 m, een dichtheid van $\rho_{dh1} = 100 \text{ kg.m}^{-3}$ beneden een zomergrondwaterdiepte van 0,6 m -mv; verloopt de totale zakking afhankelijk van de verlaging van het grondwaterniveau in een periode van 50 jaar zoals in fig. 14 is weergegeven. Voor dezelfde periode is ook het verloop van de afzonderlijke zakkingscomponenten aangegeven.

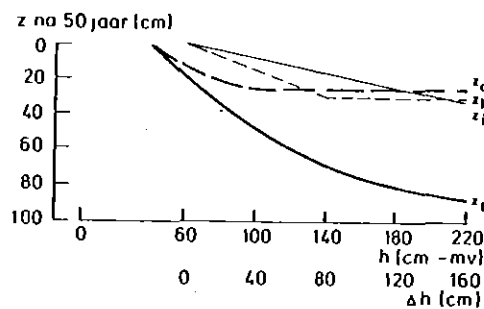


Fig. 14. Het verloop van de totale zakking van het maaiveld (z_t) en van de zakkingscomponenten afzonderlijk als functie van de diepte van de zomergrondwaterstand in een periode van 50 jaar bij een veenprofiel ^(> 2 m) zonder mineraal dek. z_i = inklinking, z_o = oxydatie en z_k = krimp ($\rho_{dh1} = 100 \text{ kg.m}^{-3}$)

Fig. 15 geeft het verloop van de totale zakking voor een totale zakking voor een periode van 10 jaar met dezelfde uitgangstoestand als in fig. 14, als functie van veendikte en verlaging van het grondwaterniveau.

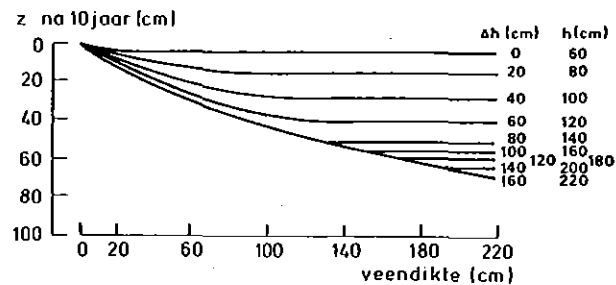


Fig. 15. Het verloop van de totale zakking (z_t) van hetzelfde profiel als in fig. 14 na een periode van 10 jaar als functie van veendikte en verlaging van het grondwaterniveau

Naar gelang de dichtheid van het veen in de ondergrond meer of minder is dan 100 kg.m^{-3} , neemt z_i af respectievelijk toe evenals de totale zakking. Hetzelfde geldt voor z_k in de bovengrond wanneer ρ_{dh} meer of minder is dan 200 kg.m^{-3} , bij veen zonder mineraal dek. Bij aanwezigheid van een mineraal dek neemt afhankelijk van de dikte van dit dek de krimp eveneens af.

Zakking als functie van tijd

De zakking als gevolg van inklinking verloopt aanvankelijk snel en neemt daarna geleidelijk af, zie fig. 16, waarin $\Delta h_f = 1,4 \text{ m}$. Na 4 jaar inclusief een droge zomer (1947) werd reeds 80% van de totale zakking bereikt. Dit betreft inklinking en krimp.

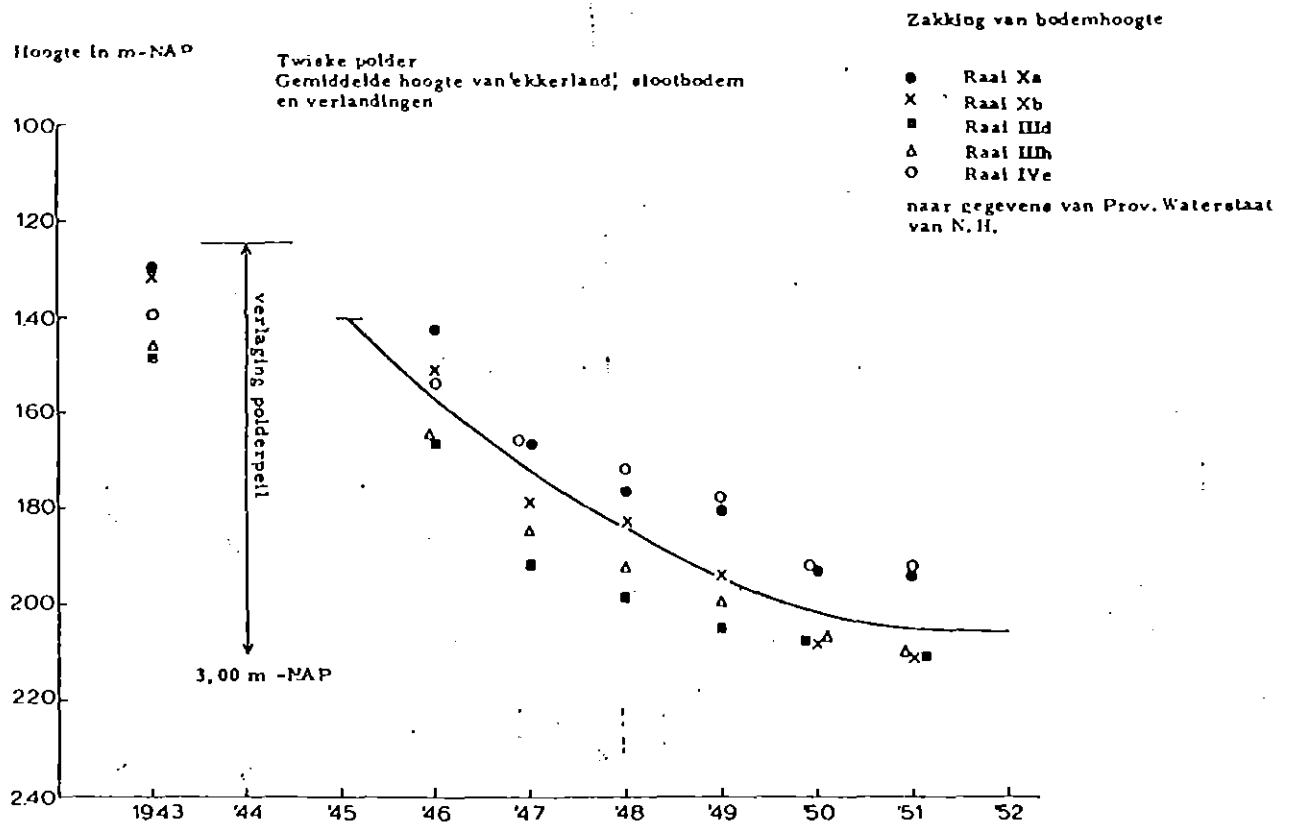


Fig. 16. Het verloop van de zakking in verband met de tijd in de Twiskepolder

4.4. L i t e r a t u u r

- EPPINK, L. en R.H.A. VAN DUIN, 1983. Verandering van de maaivelds-
ligging. Bodemtechniek deel D. Vakgr. Cult. techn. L.H.,
Wageningen
- GLOPPER, R.J. DE, 1973. Subsidence after drainage of the deposits
in the former Zuiderzee and in the brackish and marine
forelands in the Netherlands. Van Zee tot Land, nr. 50.
Rijksd. voor IJsselmeerpolders Lelystad
- PONS, L.J. en J.S. ZONNEVELD, 1965. Soil ripening and soil classifi-
cation. Publ. 13 ILRI
- SEGEBERG, H., 1960. Moorsackungen durch Grundwasserabsenkung und
deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln.
Zeitschr. f. Kulturtechn. 1.3
- SCHOTHORST, C.J., 1967. Bepaling van de componenten van de zakking
na grondwaterstandsdeling. Landb. Tijdschr. 79, 11. ICW
Misc. Repr. 50
- _____ 1969. Zakking van maaiveld in de Twiskepolder. Nota ICW 506
- _____ 1975. Het zakkingsproces bij opgespoten veendepots. Cult.
Tijdschr. nr. 5 - 14e jaarg. ICW Med. 151
- _____ 1977. Subsidence of low moor peat soils in the western
Netherlands. Geoderma, 17, 265-291. ICW Techn. Bull. 102
- _____ 1978. Het zakkingsproces bij ontwatering van de westelijke
veenweidegronden. Landbk. T. 90.6 ICW Misc. Repr. 217
- _____ 1982. De gevolgen van waterwinning en ontwatering bij veen-
gronden in de Groeve (Dr.). ICW nota 1325
- _____ Cursus Bodemkunde. Min. van Landbouw en Visserij. Te ver-
schijnen in 1984-85
- ZUUR, A.J., 1958. Bodemkunde der Ned. Bedijkingen en Droogmakerijen,
deel C

5. VERANDERING VAN RELIEF

5.1. A l g e m e e n

Naar de orde van grootte van hoogteverschillen in maaiveldsligging wordt de volgende onderscheiding gemaakt:

Reliëf	Hoogteverschil
macro-reliëf	tientallen meters
meso-reliëf	meters
micro-reliëf	decimeters

Het macro-reliëf betreft heuvel- en bergland.

Kartografie

Bij ingrepen betreffende het reliëf wordt gebruik gemaakt van: h o o g t e c i j f e r s k a a r t e n waarop de hoogte ten opzichte van een referentie-niveau, meestal het NAP-niveau, is aangegeven.

h o o g t e l i j n e n k a a r t e n waarop hoogtelijnen zijn geconstrueerd van gelijke hoogten met bepaalde intervallen van bijvoorbeeld 0,2 m (VAN ZWAN, e.a., 1966).

Karakterisering

Het reliëf van een bepaald terrein kan gekarakteriseerd worden door de procentuele verdeling van verschillende hoogteklassen over de totale oppervlakte, opklimmend met bijvoorbeeld 0,2 m (hypso-grammen). De hypsoogrammen geven slechts één aspect van het reliëf weer. Behalve door het hoogteverschil ten opzichte van een referentieniveau wordt de maaiveldsligging bepaald door de helling, de h e l l i n g s h o e k of h e l l i n g s g r a d i e n t. Dat is de maximale hoek die het terrein maakt met het horizontale vlak, uitgedrukt in graden, hoektangens, hoogteverschil per horizontale afstand of in procenten.

In bepaalde omstandigheden (heuvel- en bergland) is de e x p o s i t i e - r i c h t i n g of h e l l i n g r i c h t i n g van belang in verband met de noord-zuidrichting of met de gemiddelde windrichting. In de praktijk is ook de h e l l i n g v e r a n d e r i n g van betekenis.

De maaiveldsligging kan horizontaal zijn, hellend, golvend, onregelmatig, bol, kruinig, pannig of hobbelig. Er kunnen sprongsgewijs hoogteverschillen optreden zoals bij terrassen, steilranden en ontgravingen. Het reliëf kan ook regelmatig hoogteverschillen vertonen bijvoorbeeld bij een systeem van ruggen, slenken en greppels.

Fig. 17 geeft een schematisch voorbeeld van diverse vormen van reliëf betreffende hoogten, helling en van hellingverandering. Ondanks geringere hoogteverschillen in het rechterperceel kan men daar grotere moeilijkheden verwachten voor landbouwwerktuigen.

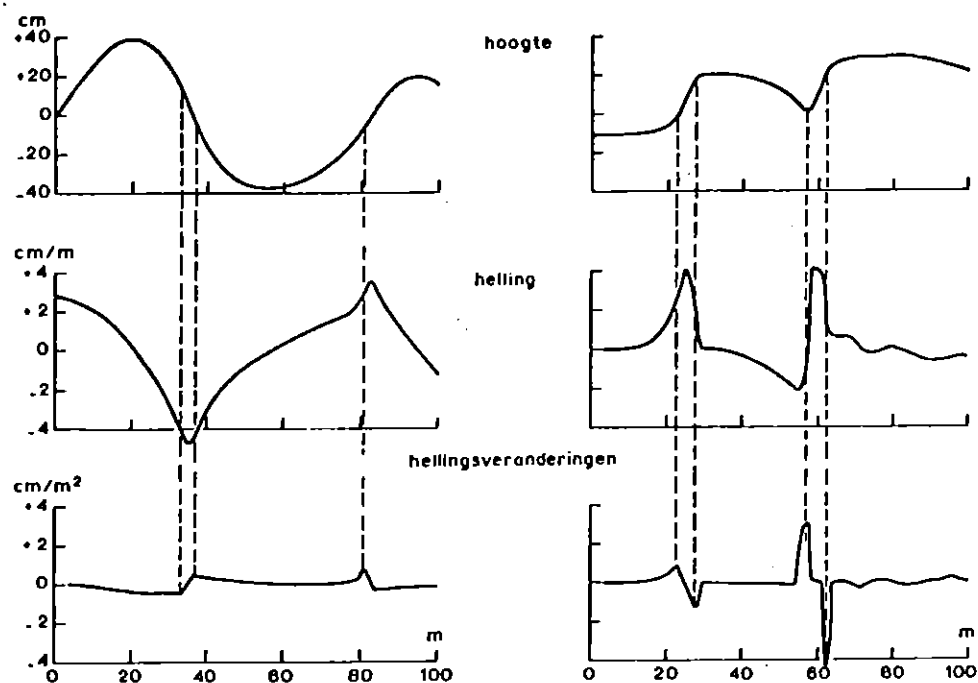


Fig. 17. Een schematisch voorbeeld van diverse vormen van reliëf
naar WIND en BOS, 1964

Invloeden

Het reliëf in het algemeen maar ook het micro-reliëf is van invloed op het micro-klimaat in verband met verschillen in temperatuur en windsnelheid nabij het maaiveld. De topografie of het

reliëf was en is tevens van invloed op de bodemvorming in verband met water- en winderosie en verschil in hydrologische toestand. Hierdoor kunnen bij relatief kleine hoogteverschillen op korte afstand grote verschillen bestaan in bodemgesteldheid.

Landbouwkundige eisen

Bij een landbouwkundig gebruik worden bepaalde eisen aan de maaiveldsligging gesteld in verband met:

1. Agrohydrologie en gewasproductie
2. mechanisatie en rationalisatie van het grondgebruik
3. bodembescherming.

Om deze redenen wordt egalisatie toegepast afhankelijk van hydrologische omstandigheden en van het te verwachten economisch rendement.

5.2. Waterhuishouding en egalisatie - behoefte

Relatie hoogteligging, grondwaterdiepte en opbrengst

De opbrengst van een perceel is onder andere afhankelijk van de diepte van het grondwaterniveau en van het vochthoudend vermogen van het bodemprofiel. Bij een onegaal terrein met een grondwaterniveau binnen de invloedssfeer van een gewas bij gemiddelde terreinhoogte kan een deel van een perceel met wateroverlast te kampen hebben vanwege een te lage ligging van het maaiveld ten opzichte van het grondwaterniveau. Anderszijds kan een ander deel bij droogtegevoelige gronden te hoog zijn gelegen ten opzichte van het grondwaterniveau met de gevolgen van opbrengst-depressies door droogteschade vanwege vochttekort, zie fig. 18.

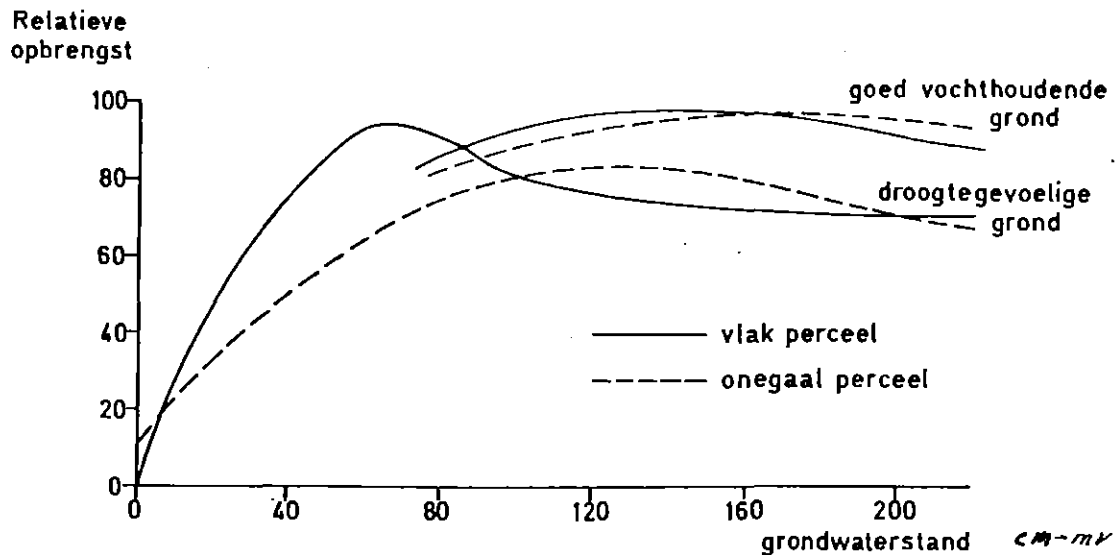


Fig. 18. Opbrengst- ontwateringsdiepte-curven van gronden met vlakke en onregelmatige maaiveldsligging, die verschillen in vochtleverend vermogen

Egalisatiebehoefte

Gezien vanuit het oogpunt van opbrengstverhoging komen slechts die gronden voor egalisatie in aanmerking waar zowel sprake is van wateroverlast als van droogtegevoeligheid (WIND en BOSCH, 1964).

Ongevaal gelegen gronden zonder regelmatige wateroverlast in de laagten komen algemeen niet voor egalisatie in aanmerking.

Bij een overwegend gunstige ligging van het maaiveld ten opzichte van het afwateringsniveau bestaat soms, bijvoorbeeld bij uitvoering van cultuurtechnische werken, de mogelijkheid laagten op te vullen met van elders vrijkomende grond, afhankelijk van de hoeveelheid benodigde grond en transportafstand. Deze methode is in genoemde omstandigheden te verkiezen boven een algehele egalisatie.

Afgezien van de kavelinrichtingswerken bij ruilverkavelingen wordt egalisatie voornamelijk toegepast om wateroverlast in laagten te voorkomen indien geen goedkopere methode als bijvoorbeeld verbetering van ontwatering mogelijk is of onvoldoende effectief is. Dit laatste betreft meestal ingesloten laagten.

Oorzaken van wateroverlast

Wateroverlast in laagten kan behalve een te lage ligging van het maaiveld ten opzichte van het afwateringsniveau ook andere oorzaken hebben als:

- . oppervlakteafvoer van hoogte naar laagte
- . het voorkomen van een slecht doorlatende laag in het bodemprofiel, hetzij van nature aanwezig, hetzij ontstaan door bodemverdichting
- . onvoldoende infiltratie-capaciteit van de zodelaag bij grasland bijvoorbeeld bij kleigronden
- . afstroming over een vorstlaag tijdens een dooiperiode na sneeuwval.

Gevolgen van wateroverlast

Door genoemde oorzaken kan plasvorming optreden in laagten bij soms relatief kleine hoogteverschillen. De gevolgen van plasvorming en wateroverlast kunnen zijn:

- . uitwinteren van Engels Raaigras in grasland en van wintergewassen bij bouwland
- . vertraging van werkzaamheden in het voorjaar. De vochttoestand van de toplaag in de depressies is vaak bepalend voor het tijdstip van aanvang van bepaalde werkzaamheden voor het gehele perceel, zowel bij bouwland als grasland
- . onregelmatige en vertraagde gewasgroei en daardoor te lage opbrengsten
- . oogstmoeilijkheden in laagten in de herfst bij hakvruchten en mais op bouwland
- . onvoldoende draagkracht in natte perioden bij grasland met de gevolgen van opbrengstverlies door vertrapping en zode-beschadiging bij beweiding en doorverdichting bij berijden met zware werktuigen.

Een vlakke ligging is tevens van belang bij bevoeiing van grasland in verband met een gelijkmatige verdeling van het water over het land. Hierdoor wordt het water optimaal benut en een hogere productie bereikt.

Vormen van egalisatie

In de IJsselmeerpolders wordt bij een ongelijk liggend maaiveld van bouwland per kavel-helft gestreefd naar een vlakke ligging op helling naar de sloot.

In het noordelijk zeekleigebied worden bij kavels met kruinige p e r c e l e n in ruilverkavelingsverband sloten gedempt zonder volledige egalisatie toe te passen. Door diepe drainage tracht men hier wateroverlast als gevolg van oppervlakteafvoer naar de laagten van de gedempte sloten te beperken (BOELS, 1978).

Een onregelmatig micro-reliëf komt veel voor op voor irreversibele indroging gevoelige veengronden onder grasland. Als gevolg van sterke indroging ontstaat een onregelmatig patroon van bulten en slenken. Dit betreft de zogenaamde 'h o b b e l i g h e i d'. Dergelijke percelen worden vooral na een droge zomer ondiep geploegd en bij voorkomen van ondiepe vaste veenlagen (o.a. schalterveen) gewoeld tot 0,4 à 0,5 m -mv. Na een lichte egalisatie wordt opnieuw ingezaaid.

5.3. R e l i ë f - e n d e t a i l - o n t w a t e r i n g

Begreppeling

Op ten opzichte van het grondwater laag gelegen gronden en op gronden met een slechte doorlatendheid wordt begreppeling toegepast om oppervlakteafvoer te bewerkstelligen. Dit is de belangrijkste functie van greppels. Het effect hiervan is wat betreft de ontwateringsdiepte beperkt tot de diepte van de greppel (EBBERS, 1976).

In verband met de mechanisatie van de weidebedrijven en de zwaardere eisen die aan de ontwatering worden gesteld worden steeds meer greppels gedicht en vervangen door buis-drainage. Greppels vormen een belemmering voor het gebruik van machines, vereisen extra onderhoud en gaan gepaard met opbrengstverliezen. Volgens RIGHOLT en VAN HEMERT (1971) bedraagt de totale arbeidsbehoefte op begreppelde percelen in het noordelijk kleigebied 10% meer dan op gedraineerde gronden. Een opbrengstdepressie tot 30% werd hierbij berekend, afhankelijk van de greppelafstand en mits na egalisatie hetzelfde productieniveau bereikt kan worden als vóór egalisatie midden op de akker.

Dichten van greppels

Meestal streeft men bij het dichten van greppels respectievelijk van slenken met greppel naar een vlakke ligging van het maaiveld. Dit kan bereikt worden door ondiep ploegen in combinatie met een lichte egalisatie. Voorwaarde hierbij is: een goede ontwateringsmogelijkheid met voldoende lage slootpeilen en een goed functionerend drainage-systeem. Dit geldt vooral voor klei- en zavelgronden.

Tonronding

Grasland op zavel- en kleigronden is vooral in de eerste jaren na inzaai gevoelig voor beweiding en berijden onder natte omstandigheden met als gevolg plasvorming en zwartlopen van de zodelaag, ondanks een goed functionerend drainage-systeem.

In de Flevopolders geeft men bij grasland de voorkeur aan een maaiveld met een zekere tonronding van circa 1 à 2 cm per m (WERKGROEP, 1979).

De akkers hellen af naar de drainreeksen, waarbij de breedte van de akker is aangepast aan de drainafstand (16 m). Hierdoor wordt plasvorming geconcentreerd in de laagten boven de drains. Door deze laagten 1 à 2 maal per jaar tot 0,3 à 0,4 m diep te woelen wordt het oppervlaktewater snel naar de drains afgevoerd. De toplaag heeft in natte perioden onvoldoende infiltratie-capaciteit vanwege verdichting (WERKGROEP RIJP, 1979). Dezelfde problemen kunnen zich ook voordoen na bewerking van zavel- en kleigronden op het oude land. Een tonronding van de akkers wordt anderzijds bezwaarlijk gevonden in verband met het gebruik van cyclo-maaimachines en opraapwagens.

In het rivierkleigebied streeft men naar een tonronding van het maaiveld afhellend naar de sloten. Belangrijk is het voorkomen van ingesloten laagten die kunnen ontstaan door nazakking van gedempte sloten.

5.4. B e p a l i n g v a n m a a i v e l d h o o g t e b i j e g a l i s a t i e

Voor de bepaling van het nieuwe maaiveld bij egalisatie kan gebruik gemaakt worden van:

regressieberekeningen
grafische methode
methode van profielen.

Regressie-methode

Bij de regressieberekening zoekt men een plat vlak met een helling die zo goed mogelijk aansluit bij de bestaande topografie en waarbij het grondverzet minimaal is. Dit vlak wordt bepaald door twee onderling loodrechte lijnen die door het zwaartepunt van het perceel gaan. De coördinaten van het zwaartepunt ten opzichte van het referentievlak bijvoorbeeld NAP worden gevonden als de gemiddelden van de coördinaten van de hoogtepunten (x_c , y_c en z_c). Elk vlak door dit zwaartepunt levert gelijke hoeveelheden te ontgraven en op te hogen grond. De algemene vergelijking van een vlak luidt:

$$z = z_o + s_x x + s_y y$$

waarin:

x , y en z = assen van een loodrecht coördinatenstelsel, waarin het meestal horizontale xy -vlak een referentievlak is
 z_o = hoogte van het vlak boven de oorsprong
 s_x en s_y = hellingtangens van het nieuwe maaiveld in x -, respectievelijk y -richting te berekenen uit normaalvergelijkingen

Grafische methode

De grafische methode is in principe hetzelfde als de vorige methode. De bepaling van de hellingen in x - en y -richting wordt nu echter niet mathematisch maar grafisch verricht. Hiertoe wordt het gemiddelde profiel in x - en y -richting geconstrueerd en de regressielijn op het oog getrokken. Deze methode is minder bewerkelijk maar minder nauwkeurig (VISSER, 1959).

Profiel-methode

Bij de methode van profielen of raaien wordt eveneens uitgegaan van een kwadratennet. De gemiddelde hoogte, die

te berekenen is uit de waterpassing van de kruispunten van het kwadratennet, wordt berekend, waarna de gemiddelde hoogtelijn op de kaart wordt aangegeven. Hierdoor wordt een overzicht verkregen welk gedeelte afgegraven respectievelijk opgehoogd moet worden. Het terrein wordt horizontaal afgewerkt op gemiddelde hoogte.

Bij aanpassing van de egalisatie aan de helling van het terrein wordt een hoogtelijnenkaart samengesteld, waarin tevens nieuwe hoogtelijnen gerekend worden, representatief voor de nieuwe maaiveldsligging. Een regelmatige maaiveldsligging wordt verzekerd door de nieuwe hoogtelijnen op regelmatige afstanden van elkaar te trekken volgens zekere kwaliteitseisen (EPPINK en VAN DUIN, 1980).

5.5. B e p a l i n g v a n h o e v e e l h e i d g r o n d - v e r z e t e n t r a n s p o r t a f s t a n d

Grondverzet

Men kan het reliëf uitdrukken in een egalisatienorm, gedefinieerd als: het grondverzet in m^3 per ha per 10 cm hoogteverschil. Voor kleinere objecten van 1 à 2 ha in de Gelderse Vallei bedroeg het grondtransport bij hoogteverschillen van minder dan 0,8 m ongeveer 100 m^3 per ha per 10 cm hoogteverschil. Bij hoogteverschillen van meer dan 0,8 m nam het grondtransport toe van 100 tot maximaal 200 m^3 per ha per 10 cm. Bij grotere objecten van 6 tot 25 ha met hoogteverschillen van meer dan 0,8 m liep het grondtransport terug van 100 naar 60 m^3 per ha per 10 cm (OTTO, 1959).

Overhoogte

Bij ontgraving en ophoging dient men rekening te houden met een uitleverings- en overhoogtefactor. De verhouding van ontgraving en ophoging kan variëren van 1,05 tot 2,0 als gevolg van compactie bij ontgraving en lossere pakking bij ophoging. De verhouding is afhankelijk van de aard van het materiaal.

Transportafstand

De transportafstand kan afgeleid worden van een schuifdiagram. De hoeveelheid te transporteren grond volgt uit de ophogings- en afgravingskaart. Bij een ruitennet van $10 \times 10 \text{ m}$ is 1 cm ontgraving of ophoging 1 m^3 grond.

De schuiflijnen in een schuifdiagram mogen elkaar niet kruisen maar wel in elkanders verlengde lopen: de schuiflijnen worden getrokken tussen de zwaartepunten van de vierkanten.

5.6. Methode van egalisatie

De methode van egalisatie en de keuze van de te gebruiken machines is afhankelijk van de hoeveelheid grondverzet en de transportafstand.

De hoeveelheid grondverzet is sterk afhankelijk van de hoeveelheid grond die nodig is om de laagten zodanig op te hogen dat deze van wateroverlast gevrijwaard blijft. Bij een kleine oppervlakte met een te lage ligging ten opzichte van een te hoge ligging dient onder helling te worden geëgaliseerd afhellend naar een sloot. In hellende gebieden dient bovendien rekening gehouden te worden met de helling van het zomergrondwaterniveau.

Bij egalisatie wordt de teeltlaag ter dikte van tenminste 0,2 m ter plaatse zowel op hoogten als in laagten zoveel mogelijk gespaard en aan de oppervlakte gehouden, respectievelijk naar boven gebracht, zie hoofdstuk . Methoden van uitvoering.

5.7. Kosten en baten

De kosten van egalisatie worden hoofdzakelijk bepaald door de hoeveelheid grondverzet en de transportafstand. De baten worden voornamelijk bepaald door de oppervlakte die door ophoging een voldoende drooglegging krijgt in afhankelijkheid van de uitgangstoestand, en door de mate waarmee de gebruiksmogelijkheden van het gehele perceel zijn toegenomen.

5.8. L i t e r a t u u r

- BOELS, D., 1978. Bovengrondse afstroming op kruinige percelen.
Cultuurt. Tijdschr. 18.4. ICW Verspr. Ov.d. 228
- EBBERS, W.J., 1976. Oppervlakte-afvoer op zware kleigraslanden.
Cult. Tijdschr. 15-5, 267-273
- EPPINK, L. en R.H.A. VAN DUIN, 1983. Verandering van maaivelds-
ligging. Bodemtechniek, deel D. Vakgr. Cult.techn. L.H.,
Wageningen
- OTTO, W.M., 1959. Grondverbetering op lage zandgronden. Diss. Versl.
Land. Onderz. nr. 65, Wageningen
- RIGHOLT, J.W. en A.K. HEMERT, 1971. Bedrijfseconomische aspecten
van perceelsvorm en begreppeling op grasland. Cult. Tijdschr.
10-6, 245-254
- VISSER, P., 1958. Grondverzet bij egalisaties. C.D. Cursus Techn.
Ambt.
_____ 1959. Enige beschouwingen over de methode van algehele
egalisatie tot een vlak waarbij minimaal grondtransport en
minimale transportafstand verzekerd is. Med. Cult. Veren.
1, 73-93
- WERKGROEP AANLEG GRASLAND, 1979. Rond of vlak grasland in de
Flevopolders? Rijp-rapport 1979 - 20 Abw. Rijksd. v.d.
IJsselmeerpolders, Lelystad
- WIND, G.P. en H. BOS, 1964. Egalisatie behoeften van bouwland.
Tijdschr. KNMH 75, 41-50
- ZWAN, L.M., L. VAN DER END, 1966. Het gebruik van hoogtekaarten.
Cult. Tijdschr. 5, 249-274

6. PROFIELVERBETERING

6.1. A l g e m e e n

Profielingsrepen worden in de landbouw toegepast met het doel ongunstige eigenschappen van het bodemprofiel in gunstige zin te wijzigen. De doelstellingen zijn:

- . het vergroten van het vochtleverend vermogen bij droogtegevoelige gronden door vergroting van de bewortelingsdiepte
- . het verbeteren van de draagkracht van de toplaag bij graslandgronden
- . het verbeteren van de bewerkbaarheid van zware kleigronden bij akkerbouw en vollegrondstuinbouw
- . het verbeteren van profielen met een scherpe begrenzing van lagen met geheel verschillende eigenschappen
- . het verwisselen of vermengen van lagen bij profielen met een weinig vochthoudende bovengrond en een goed vochthoudende ondergrond
- . het verbeteren van de doorlatendheid van dichte lagen van nature aanwezig of ontstaan door gebruik van zware werktuigen.

6.2. B e w o r t e l i n g s d i e p t e

Door vergroting van de bewortelingsdiepte kan bij bepaalde droogtegevoelige gronden een extra hoeveelheid bodemvocht worden ontsloten. Afhankelijk van de grondwaterdiepte kan bovendien een extra capillaire aanvoer worden bereikt.

De bewortelingsdiepte is afhankelijk van:

1. de fysiologische eigenschappen van het gewas
2. de dichtheid van bodemlagen
3. de zuurgraad
4. de aeratie

Gewas

Diep wortelende landbouwgewassen zijn onder andere granen, bieten en lucerne. Aardappelen ontwikkelen een minder diepe beworteling,

terwijl bij grasland 70 tot 80% van de totale wortelmassa voorkomt, in de laag van 0 tot 20 cm, ook bij een gunstig doorwortelbaar profiel (HOOGERKAMP, 1976). De laagdikte waarin 70 tot 80% van de totale wortelmassa voorkomt wordt als de e f f e c t i e v e wortelzone beschouwd bij agro-hydrologische studies.

Mechanische weerstand

Grond met een poriënfractie $< 0,4$ is niet doorwortelbaar vanwege een te hoge mechanische weerstand. Voor een goede wortelgroei wordt bij humus- en slibarm zand een poriënfractie vereist van tenminste 0,43 (HIDDING en WIND, 1963).

De mechanische weerstand van diverse bodemlagen kan bij vochtige toestand, bij voorkeur in het voorjaar, worden gemeten met een penetrometer waarbij een conus wordt gebruikt met een basis-oppervlak van 1 cm^2 en een tophoek van 60° .

Bij indringingsweerstand (I_w) van 1 tot 1,5 MPa is humusloos zand goed bewortelbaar en bij humeus- en slibhoudend zand tot 2 MPa (HOUBEN, 1980 en 1981). $1 \text{ MPa} \cong 10 \text{ kg.cm}^{-2}$.

Door de ondergrond lossier te maken via woelen of te vermengen met bovengrond door te mengwoelen kan de hoeveelheid opneembaar vocht worden vergroot en kan de droogtegevoeligheid van het profiel afnemen.

Zuurgraad

Algemeen is bij een $\text{pH} < 3,5$ geen wortelgroei mogelijk. Dit geldt zowel voor akkerbouwgewassen als ook voor gras op klei-, zand- en veengronden (WIND, 1967).

Luchthuishouding

Onder de luchthuishouding van de bodem wordt verstaan: het geheel van verbruik respectievelijk produktie van zuurstof en koolzuurgas door plantenwortels en micro-organismen, het mogelijke transport van die gassen en de gasconcentraties in de bodem die daarvan het gevolg zijn.

transport:

Het meeste gastransport in de bodem heeft plaats door diffusie. Te beschrijven met:

$$F = -D \frac{dc}{dx}$$

$$F = \text{gasflux (mg.gas.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}\text{)}$$

$$c = \text{gasconcentratie (mg gas per cm}^3 \text{ bodemlucht of water)}$$

$$x = \text{afstand (cm)}$$

$$D = \text{gasdiffusie coëfficiënt (cm}^2.\text{s}^{-1}\text{)}$$

De diffusie van gassen door water is zeer klein vergeleken met die in lucht; voor zuurstof is de diffusiecoëfficiënt in water, $D_w = 2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$ en in lucht, $D_l = 0,2 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$ (bij 20 °C).

Diffusie via water is van belang voor het transport over afstanden van millimeters in bodemaggregaten en rond en in wortels; voor het transport over grotere afstanden kan water in de grond als ondoorlatend voor gas worden beschouwd.

De diffusiecoëfficiënt van een gas in grond, D_g , wordt daarom praktisch geheel bepaald door de hoeveelheid, vorm en de continuïteit van de met lucht gevulde poriën.

Voor de verschillende structuren kan, gegeven het luchtgehalte ϵ_g ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) een schatting worden gemaakt van D_g met behulp van de volgende empirische relaties.

- . voor materiaal met alleen rechte doorlopende kanalen of spleten evenwijdig aan de diffusierichting:

$$D_g/D_l = \epsilon_g$$

- . voor volledig droge gronden:

$$D_g/D_l = \epsilon_g^{1,4} = \epsilon_t^{1,4}$$

waarin:

$$\epsilon_t = \text{totaal poriën volume}$$

- . voor volledig met water gevulde gronden:

$$D_g/D_w = \epsilon_t^{1,4}$$

- . voor vochtige gronden met éénkorrel structuur:

$$D_g/D_l = 1,5 \epsilon_g^{3,0}$$

Hiertoe behoren bijvoorbeeld structuurloze zanden en kleien en zaveln na verslemping of een mechanische verdichting, waarbij alle structuur is vernield.

- . voor vochtige grond met enige structuur of enige gangen en scheuren

$$D_g/D_1 = 0,6 \epsilon_g^{2,0}$$

Hiertoe behoren de meeste landbouwgronden.

- . voor vochtige grond met zeer fraaie structuren (spons structuur, kruimelige structuur)

$$D_g/D_1 = 0,2 \epsilon_g^{1,4}$$

De relaties voor vochtige gronden gelden voor ϵ_g waarden tussen circa 0,35 en 0,02 à 0,10. Zodra alle poriën zijn geblokkeerd door water valt D_g terug tot circa de waarde van volledig met water verzadigd materiaal; dit is in structuurloze gronden bij $\epsilon_g \leq 0,08$ à 0,10 en bij gronden met structuur bij $\epsilon_g \leq 0,02$ à 0,04.

De luchtgehalten ϵ_g worden bepaald door textuur structuur en vochtspanning. De lage luchtgehalten komen voor in de nabijheid van grondwaterspiegels of stagnerend water, maar ook ver boven het grondwater in dichte zaveln, kleien en lemige zanden bij veldcapaciteit (zie pF curven) .

Men spreekt van onvoldoende aeratie wanneer de mogelijkheid van gasaanvoer daalt beneden de vraag naar transport. Hierdoor treedt vooral door zuurstofgebrek schade op door tragere groei of afsterven van plantenwortels en door denitrificatie van NO_3^- .

Schadelijk worden zuurstofconcentraties in de bodemlucht van 5 à 10 vol.% in natte grond en bij hogere activiteit van wortels en micro-organismen. Bij lage activiteit en temperatuur en in drogere grond mag het zuurstofgehalte niet verder dalen dan 2 à 5 vol.%.

In normale land- of tuinbouwgronden betekent dit dat D_g boven $3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ moet blijven als de temperatuur en activiteit zeer hoog is. Bij zeer geringe activiteit en lage temperatuur mag D_g niet dalen onder $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zuurstofverbruiken die zo hoog zijn dat zelfs in de meest luchtige grond zuurstofgebrek optreedt, vindt men onder andere in grond met

aanvoer van oxydeerbare gassen, bijvoorbeeld aardgas of moerasgas, en in dikkere lagen grond die verrijkt zijn met gemakkelijker oxydeerbaar organisch materiaal.

6.3. P l a a t g r o n d e n

Vochtvoorziening

Plaatgronden zijn gronden met een kleidek van circa 30 tot 80 cm op een dichte humusarme zandondergrond. Zij komen voornamelijk voor in Zeeland en de IJsselmeerpolders (totale oppervlakte circa 30 000 ha).

Naarmate het kleidek dunner wordt dan 80 cm neemt het vochthoudend vermogen af en de droogtegevoeligheid toe in afhankelijkheid van de diepte van het grondwater.

De toename van de totale hoeveelheid beschikbaar vocht wordt bepaald door:

- . het vochthoudend vermogen ($pF_{4,2-2,0}$) van de klei- of zavelbovenlaag en van het bewerkte zand
- . de dikte van de klei of zavelbovengrond en van de bewerkte zandlaag
- . de hoeveelheid extra vocht in de wortelzone onder invloed van het grondwater bij vochtspanningen $< 2,0$
- . de capillaire leverantie. Deze is eveneens afhankelijk van de grondwaterdiepte.

Volgens laboratoriumonderzoek is het vochthoudend vermogen ($pF_{4,2-2,0}$) nagenoeg evenredig met de mengverhouding van de verschillende lagen. Dit is voor zavel bijvoorbeeld 20% en van het losgemaakte zand 8%. Dan bedraagt het vochthoudend vermogen na menging in een verhouding van 1 : 1 van het mengsel 14%.

De vochtvoorraad wordt vergroot als gevolg van een toename van de dikte van de bewortelbare laag. Voor de orde van grootte van de vergroting van de vochtvoorraad, zie tabel 6.

Uit tabel 6 blijkt de grote invloed van h_f of V_b in de wortelzone en de betekenis van de verdieping van de wortelzone bij h_f is 60 tot 90 cm -mv. De toename van de capillaire leverantie (V_c) is het grootst bij een grondwaterstand van 120 cm -mv (WIND en HIDDING, 1963).

Tabel 6. De invloed van het mengwoelen tot 60 cm (profiel B) op de vergroting van de vochtvoorraad (mm) tijdens het groeiseizoen bij een plaatgrond van 30 cm zavel op zand (profiel A) in afhankelijkheid van de voorjaarsgrondwaterdiepte (h_f cm -mv)

h_f	Profiel A			B			ΔV		
	V_w	V_c	V_b	V_w	V_c	V_b	V_w	V_c	V_b
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

V_w = hoeveelheid beschikbaar vocht in de wortelzone in mm

V_c = de hoeveelheid capillaire aanvoer in mm

V_b = de totale hoeveelheid beschikbaar vocht in mm

Een beperking voor de menging van de bovenlaag is de voorwaarde dat het slibgehalte van de bouwvoor niet mag dalen beneden 13 à 14% vanwege een dan te verwachten gevoeligheid voor verstuiwen en verslemping.

Effect op opbrengst

De opbrengstdepressie als gevolg van vochttekort is afhankelijk van het verdampingsoverschot. Dit wisselt van jaar tot jaar.

Bij een potentiële verdamping tijdens het groeiseizoen van 350 mm en een neerslag van 110 mm wordt bij een vochtleverend vermogen van 240 mm een opbrengst bereikt van 100%. Volgens WIND (1963) kunnen afhankelijk van de dikte van de zavel- of kleilaag, de grondwaterdiepte en de diepte van menging de volgende relatieve opbrengsten worden bereikt, zie tabel 7.

Tabel 7 • Opleengst van landbouwgewassen op plaatgrond bij verschillende diktes van de deklaag, mengdiepten en grondwaterstanden in cm. Uitgedrukt in procenten van de opleengst 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

Uit tabel 7 kan men de optimale bewerkingsdiepte afleiden in afhankelijkheid van de dikte van de kleilaag en van de grondwaterdiepte. Ook het effect van een eventuele verhoging van de grondwaterstand is hieruit af te leiden.

Volgens deze tabel kan bij een klei- of zavel dikte van 30 cm, een mengdiepte van 60 cm en bij een voorjaarsgrondwaterstand van 120 cm een gemiddelde meeropbrengst van 19% worden bereikt.

Resultaten op proefvelden

HIDDING (1963) vond gemiddeld over circa 25 proefvelden in de jaren 1959 t/m 1961 een meeropbrengst van 12% met een variatie van -12 tot +50% bij een kleidikte variërend van 25 tot 60 cm, bij diverse akkerbouwgewassen.

FEITSMA (1968) verkreeg in de IJsselmeerpolders in de jaren 1960-1966 gemiddeld een meeropbrengst van 10% bij akkerbouwgewassen na verbetering van de bewortelingsdiepte bij dunne zaveldekken van 20 tot 35 cm dikte.

Volgens onderzoek van HAVINGA (1978) werd op een dertigtal proefvelden in de jaren 1962 t/m 1970 bij granen een gemiddelde meeropbrengst berekend van 9% en bij suikerbieten 8%. Bij aardappelen werd een negatief effect geconstateerd na woelen en mengfrezen in tegenstelling met diepploegen. Bij peulvruchten varieerde het effect van neutraal tot negatief.

Berekening van bewerkingsdiepte

De bewerkingsdiepte waarbij het lutumgehalte van de bouwvoor door menging niet tot beneden 14% mag afnemen is te berekenen via de formule

$$f_{1k} \cdot m_k + f_{1z} \cdot m_z = f_{1m}(m_k + m_z) \quad \text{g.cm}^{-3} \quad (21)$$

waarin:

f_{1k} , f_{1z} en f_{1m} = lutumfractie van klei, zand en van het mengsel
 m_k en m_z = massa van de hoeveelheid klei respectievelijk van zand

Te berekenen is dan m_z dat is de hoeveelheid aan te ploegen zand.
 Afgeleid van vergelijking:

$$m_z = \frac{m_k(f_{1k} - f_{1m})}{f_{1m} - f_{1z}} \quad \text{g.cm}^{-3} \quad (22)$$

Uitgaande van een profiel van:

0-30 cm klei waarbij $\rho_{dk} = 1,3 \text{ g.cm}^{-3}$ en $f_{1k} = 0,35$
 > 30 cm zand " $\rho_{dz} = 1,6$ " en $f_{1k} = 0$

en van het nieuwe profiel $f_{1m} = 0,14$

dan is bij een kolom grond van $1 \times 1 \times 30 \text{ cm}^3$

$$m_k = 30 \times 1,3 = 39 \text{ g.}$$

Invulling van vergelijking (22) geeft:

$$m_z = \frac{39(0,35-0,14)}{0,14-0} = 58,5 \text{ gr}$$

De aan te ploegen zanddikte (d) is:

$$d = \frac{m_z}{\rho_{dz}} = \frac{58,5}{1,6} = 36,6 \text{ cm}$$

en de ploegdiepte is $30 + 36,6 = 67 \text{ cm}$.

6.4. Veenkoloniale gronden

Vochtvoorziening

De totale oppervlakte van de veenkoloniale gronden bedraagt circa 100 000 ha. Het algemeen voorkomend profiel bestaat uit: een sterk humeuze bouwvoor met een organisch stofgehalte van meer dan 10% op een laag veen variërend in dikte van 0 tot meer dan 2 m. Onder het veen komt meestal een podzolprofiel voor. Het veen onder de bouwvoor is niet of nauwelijks bewortelbaar vanwege een hoog vochtgehalte (luchtgebrek) en een te lage zuurgraad, en het zand vanwege een te grote dichtheid. De pH-KCL van het veen varieert van 2,7 tot 3,7. De hoeveelheid beschikbaar water bedraagt circa 70 mm waarvan 30 mm in de bouwvoor en 40 mm capillaire aanvoer vanuit het veen. Bij een gemiddeld neerslagtekort moet voor akkerbouwgewassen circa 150 mm vocht door de grond geleverd kunnen worden.

Menging van het zure veen met de sterk humeuze bouwvoor en met zand uit de ondergrond vergroot de bewortelingsdiepte en ontsluit een hoeveelheid vocht van circa 35 mm per laag van 10 cm, zie tabel 8.

Na verbetering is ook bij diepe grondwaterstand de hoeveelheid beschikbaar vocht algemeen voldoende.

Bij de profielverbetering mag het organisch stofgehalte van de nieuwe bouwvoor niet tot beneden 10 à 15% worden verlaagd in verband met een toenemende gevoeligheid voor winderosie bij lagere organische stofgehalten. Aan deze eis wordt veelal voldaan als de dikte van de aan te ploegen zandlaag circa 2 maal de dikte van de veenlaag bedraagt. Bij een bouwvoor van 20 cm en een veenlaag van 70 cm bedraagt de bewerkingdiepte circa 160 cm. De bewerking wordt meestal uitgevoerd met mengwoelers en in de laatste jaren met mengploegen.

Tabel 8. De bodemvoorraad water in mm in een niet en wel gemengwoelde veenkoloniale grond met 25 cm veen (WIEBING en WIND, 1979)

Voorjaarsgrond- waterstand cm -mv	Bodemvoorraad	
	niet verbeterd	wel verbeterd
40	134	275
60	133	251
80	127	227
100	114	207
120	100	194
140	90	175
220	70	133

Resultaten op proefvelden

Naar gegevens van WIND en POT (1976) bedroeg de gemiddelde meeropbrengst door profielverbetering ten opzichte van het onbehandelde proefveld op de proefobjecten Borgercompagnie en in de Krim als in tabel 9 is weergegeven.

Voor Borgercompagnie betreft dit de periode 1968-1975 en voor de Krim 1967-1970.

Tabel 9. De gemiddelde meeropbrengst door profielverbetering in % en in kg op de proefobjecten in Borgercompagnie en in de Krim

Gewas	Borgercompagnie		De Krim	
Aardappelen	+ 6%	4400 kg	+ 11%	6500 kg
Suikerbieten	+ 12%	7000 "	+ 11%	5700 "
Zomertarwe	+ 6%	300 "	+ 6%	300 "
Haver	+ 9%	550 "	+ 6%	250 "

De profielverbetering bestond uit 4 verschillende methoden, namelijk:

1. mengwoelen
2. mengrotor
3. diepploegen zonder behoud van bouwvoor
4. diepploegen met behoud van bouwvoor.

De verschillende methoden van profielverbetering vertoonden onderling weinig verschil in effect.

Het gebruik van de mengrotor was op het proefobject in Emmercompascuum in de eerste 8 jaren van onderzoek in de meeste jaren negatief. Dit wordt toegeschreven aan een te fijne homogene menging.

Behalve hogere opbrengsten werd door profielverbetering tevens een betere bewerkbaarheid en berijdbaarheid verkregen.

Algemeen is het effect van de profielverbetering ook hier afhankelijk van het verdampingsoverschot in het voorjaar en tijdens het groeiseizoen.

Een ander voordeel is dat na menging van het veen met zand, het veen meer wordt geconserveerd in vergelijking met de oude methode van ploegen waarbij per jaar circa 1 cm veen werd aangeploegd.

Berekening van bewerkingsdiepte

De bewerkingsdiepte waarbij het organisch stofgehalte van de nieuwe bouwvoor niet minder dan 12% mag bedragen is te berekenen via de formule:

$$f_h \cdot m_b + f_h \cdot m_v + f_h \cdot m_z = f_h m (m_b + m_v + m_z) \quad (23)$$

waarin:

f_b , f_v , f_z en f_m = de organische stoffractie van bouwvoor, veenlaag, zandondergrond en van het mengsel

m_b , m_v en m_z = massa van bouwvoor, zand en mengsel

Te berekenen is dan m_z = de hoeveelheid aan te ploegen zand.

Afgeleid van vergelijking (23)

$$m_z = \frac{m_b(f_{hb} - f_{hm}) + m_v(f_{hv} - f_{hm})}{f_{hm} - f_{hz}} \quad (24)$$

Uitgaande van een profiel van:

0 - 15 cm bouwvoor	waarbij $\rho_{db} = 1,0 \text{ g.cm}^{-3}$	en $f_{hb} = 0,2$
15 - 40 cm veen	" $\rho_{dv} = 0,18$ "	en $f_{hv} = 0,8$
> 40 cm zand	" $\rho_{dz} = 1,65$ "	en $f_{hz} = 0$

en van het nieuwe profiel $f_{hm} = 0,12$
dan is bij een kolom grond van $1 \times 1 \text{ cm}^2$

$$m_b = 15 \times 1,0 = 15 \text{ g} \quad \text{en} \quad m_v = 25 \times 0,18 = 4,5 \text{ g}$$

invulling van vergelijking (24) geeft

$$m_z = \frac{15(0,2-0,12) + 4,5(0,8-0,12)}{0,12-0} = 35,5 \text{ g}$$

Dit komt overeen met een dikte van het aan te ploegen zand (d)
van:

$$d = \frac{m_z}{\rho_{dz}} = \frac{35,5}{1,65} = 21,5 \text{ cm}$$

De gewenste bewerkingdiepte is dan $40 + 21,5 = 62 \text{ cm}$.

6.5. V e l d p o d z o l g r o n d e n

Resultaten van proefvelden

De bewortelingsdiepte van de veldpodzolgronden is veelal beperkt tot de diepte van de humusarme zandondergrond vanwege een te grote dichtheid.

Asperge-teelt

Voor de teelt van asperges in Limburg worden door het vergroten van de bewortelingsdiepte van een veldpodzolprofiel van 40 à 65 cm tot 90 cm -mv door diepfrezen zeer goede resultaten bereikt. Hierbij

werd het poriënvolume in de ondergrond van 37 tot 45% verhoogd. Gemiddeld over 8 jaar werd een meeropbrengst van 46% ten opzichte van een tot 40 cm diepte geploegd profiel, verkregen. Bovendien was de kwaliteit beter en de levensduur van het gewas naar alle waarschijnlijkheid langer. Ploegen tot 40 cm plus woelen tot 90 cm resulteerde in een meeropbrengst van gemiddeld 11% (VAN DAM, 1975).

Akkerbouwgewassen

Diepe bewerking door menging van de humeuze bovengrond met humus-arm zand uit de ondergrond had gemiddeld weinig of geen effect op de opbrengst van akkerbouwgewassen (VERHAEGH en WIEBING, 1978). Dit is bij diepere grondwaterstanden vooral toe te schrijven aan een verlaging van het vochthoudend vermogen van de bouwvoor door verlaging van het organisch stofgehalte.

In een droog voorjaar ontstaat een achterstand in het begin van de groei, die alleen in een droge zomer wordt gecompenseerd door een betere vochtvoorziening. Bovendien bevordert de verlaging van het organisch stofgehalte de gevoeligheid voor winderosie.

Grasland

Bij grasland op een veldpodzolprofiel met een bewortelingsdiepte van 0,4 m leidde een diepe profielbewerking tot 1 m -mv tot een bewortelingsdiepte gelijk aan de diepte van bewerking. Het had echter een duidelijk negatief effect op de droge stofproductie van de bovengrondse massa, speciaal het 'behoudend' woelen in vergelijking met spitsfrezen (SCHOTHORST en HETTINGA, 1983), zie fig. 19.

Door berekening kon het negatieve effect van de profielbewerking geheel worden gecompenseerd.

Het negatieve effect was toe te schrijven aan een afname van het vochthoudend vermogen van de bovengrond als gevolg van verlaging van het organisch stofgehalte en aan een afname van het vochtgehalte bij lage vochtspanningen vanwege de lossere structuur. Dit ging tevens gepaard met een afname van het capillair geleidingsvermogen. Bij een gelijke grondwaterdiepte van gemiddeld 1,2 m -mv was de totale hoeveelheid beschikbaar vocht afgenomen.

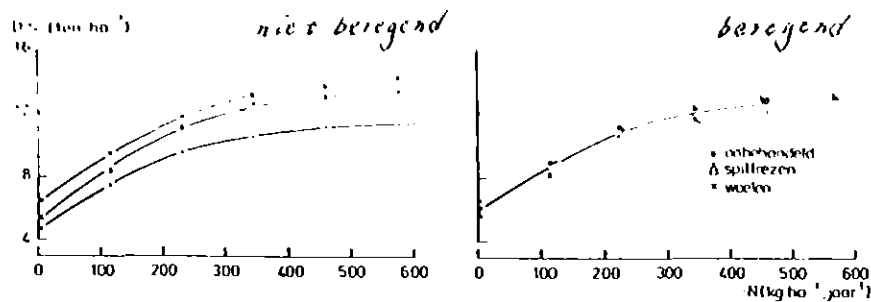


Fig. 19. Relatie tussen de opbrengst van droge stof (ds) in ton.ha⁻¹ en de N-gift in kg.ha⁻¹, gemiddeld over de jaren 1978 t/m 1980

Hieruit blijkt en ook uit ander onderzoek dat een diepere beworteling als gevolg van een profiel-ingreep geen garantie vormt voor een hogere productie, althans niet bij grasland.

6.6. D r o o g t e g e v o e l i g e v e e n g r o n d e n

Na sterke uitdroging van de wortelzone kunnen vooral veengronden zonder mineraaldek 'irreversibele' indrogingsverschijnselen vertonen (HOOGHOUDT e.a., 1960). Deze zijn deels van permanente aard, anderszijds spreekt men nu van moeilijk her te bevochtigen gronden.

Het verschijnsel gaat vooral bij ondiepe veengronden gepaard met sterke scheurvorming en ongelijkmatige zakking van het maaiveld, de zogenaamde hobbeligheid.

Dezelfde verschijnselen kunnen zich voordoen bij veengronden met een dun kleidek (< 30 cm) op vast weinig verweerd veen met een lage pH. Op de overgang komt vaak een zogenaamde gruislaag voor die sterk drainerend werkt (DE JONGE, 1960).

Ook bij veengronden met een zogenaamde schalterlaag op 20 tot 40 cm diepte treden deze verschijnselen op. Schalterveen, ook spalterveen genoemd is een irreversibel platerig ingedroogde veenlaag (*Sphagnum Cuspidatum*).

Bij een ongelijke ligging van het maaiveld en het voorkomen van vast weinig verweerd veen of schalterveen onmiddellijk beneden de wortelzone (20 cm) worden deze gronden ondiep geploegd in

combinatie met woelen tot circa 0,5 m -mv, geëgaliseerd, bekalkt en opnieuw ingezaaid.

De ongelijke ligging van het maaiveld en het slechte grasbestand ontstaan als gevolg van verdroging is de voornaamste reden voor verbetering.

Het woelen, dat een aanvullende weinig kostende maatregel vormt, is bedoeld als verbetering van de aeratie en tot beperking van nieuwe scheurvorming.

Het resultaat van genoemde maatregelen bestaat uit een hogere regelmatige productie en een betere bewerkbaarheid vooral ten aanzien van het gebruik van cyclo-maaiers en opraapwagens.

Ondiepe zeer ongelijk gelegen veengronden kunnen verbeterd worden door mengwoelen plus egalisatie.

6.7. B e w e r k b a a r h e i d v a n z w a r e k l e i - g r o n d e n

Bij zware kleigronden in gebruik voor akkerbouw of vollegrondstuinbouw wordt bij een lutumgehalte van meer dan 30% in de bouwvoor verschraling van de bouwvoor toegepast door vermenging met het zand uit de ondergrond of met van elders aangevoerd zand. Het doel hiervan is een betere bewerkbaarheid te bereiken. Tevens is dan uitbreiding van de vruchtwisseling mogelijk met de teelt van hakvruchten en eventueel bolgewassen.

De toe te passen methode is afhankelijk van de zanddiepte als volgt:

kleilaag	0,6 m	mengwoelen tot max. 1 m
"	0,6 - 1,3 m	diepploegen tot " 2 m
"	1,3 - 2,5 m	grondvijzel tot " 3,5 m

Als voorwaarde geldt dat het lutumgehalte van de nieuwe bouwvoor niet beneden 12% mag dalen in verband met een ontoelaatbare toename van gevoeligheid voor verslemping.

Door bezanding van zware klei en een bouwplan van aardappelen en bloembollen werd gemiddeld over 10 jaar een meeropbrengst bereikt van 6,5% bij een gunstiger rooibaarheid en met een lager tarra-percentage (HIDDING, 1965). De optimale bezandingsdikte was 10 cm bij een mengingsdiepte van 30 cm. Andere literatuur: FEITSMA, 1969; BOEKEL en PELGRIM, 1971.

6.8. D r o o g t e g e v o e l i g e z a n d g r o n d m e t e e n o n d i e p e g o e d v o c h t h o u d e n d e l a a g

Incidenteel komen profielen voor met een zandige weinig vocht-
houdende bovengrond op een goed vochthoudende ondergrond.

Dit kunnen zijn:

- zand op een kalkhoudende klei-ondergrond
- " op een bruine lemige ondergrond
- " op een overstoven zeer humeuze ondergrond.

Eerstgenoemde profielen werden op Texel met succes verbeterd
door klei uit de ondergrond op te ploegen (BORST e.a., 1972). De
twee laatstgenoemde profielen voorkomende in Noord- en Midden-Limburg
werden eertijds met succes verbeterd door het opspitten in handkracht
van de vochthoudende laag. Soortgelijk resultaat werd bereikt in
Overijssel (HURINK en PASKAMP, 1960).

6.9. V e r b e t e r i n g v a n d o o r l a t e n d h e i d

Een diepe profielbewerking van kleigronden om de doorlatendheid
te verbeteren heeft algemeen geen effect. In het buitenland wordt
met dit doel vaak molddrainage toegepast, meestal in combinatie met
buisdrainage. Hierbij worden met een onderlinge afstand van 2 à 3
molgangen in het profiel getrokken. Ook bij slecht doorlatende
mosveengronden wordt dit systeem wel toegepast.

Onder Nederlandse omstandigheden neemt de doorlatendheid na
verbetering van de ontwatering meestal toe als gevolg van scheur-
vorming bij uitdroging en toenemende biologische activiteit
onder andere bij komklei- en knipkleigronden.

Verdichtingen beneden de bouwvoor (ploegzool) bij bouwland
kunnen meestal worden opgeheven door ondiep (0,4 m) woelen met
een ganzevoet.

Ook de doorlatendheid van een verdichte toplaag bij klei-
grasland op jonge zeekleigronden in de IJsselmeerpolders kan door
tot circa 0,3 m te woelen, althans tijdelijk, worden verbeterd.
Na een beweiding in natte perioden dienen dergelijke bewerkingen
herhaald te worden.

Algemeen geldt dat woelen niet onder natte omstandigheden mag worden uitgevoerd.

Bij een ronde ligging van de akkers, afhellend naar de drain reeksen kan volstaan worden met één woelgang boven de drainreeks.

Bij lage zandgronden met slecht doorlatende dichte en verkitte lagen worden brede of scherpe woelers gebruikt om de doorlatendheid te verbeteren.

Uitvoering van cultuurtechnische werken met zware machines als bijvoorbeeld bulldozers, vooral onder natte omstandigheden, zijn vaak oorzaak van verdichting in de ondergrond beneden de bouwvoor. Nadien is woelen vaak noodzakelijk om verdichtingen weer op te heffen.

6.10. W e r k t u i g e n v o o r p r o f i e l v e r b e t e r i n g

Afhankelijk van het doel worden bij grondverbetering diverse werktuigen gebruikt, onder andere:

Bewerkingsdiepte	Werktuig	Doel
0,5 - 1,5 m	scherpe woeler	losmaken van dichte ondergrond breken van vaste storende lagen
" "	brede woeler	losmaken en vermengen van onder- grond, heterogeen profiel
max. 1 m	mengwoeler	losmaken van ondergrond en vermenging van boven- en onder- grond, heterogeen profiel
max. 1 m	diepfrezer en diepspitter	losmaken van ondergrond en inten- sieve menging van boven- en onder- grond (homogeen profiel)
max. 2 m	diepploeg met 1 rister	diagonale kering van lagen
	diepploeg met 2 risters	kerend ploegen om ondergrond aan de oppervlakte te brengen
	diepploeg met 2 risters	conservatief ploegen om de bouwvoor boven te houden
max. 2 m	mengploegwoeler	met verstelbare risters een regel- bare menging tot stand brengen afhankelijk van het bodemprofiel
max. 3 m	grondvijzel (bezandings- machine)	bezanding van toplaag met zand uit ondergrond of vervanging van kalk- armekleibouwvoor door kalkhoudende klei uit ondergrond

Globale volgorde van kosten: woeler → mengwoeler → diepploeg → mengrotor.

6.11. L i t e r a t u u r

- BAKKER, J.W. en A.P. HIDDING, 1970. The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soils. *Neth.J.Agr.Sci.*18; 37-48
- BOEKEL, P. en PELGRUM, A., 1971. Verschraling van kleigronden in de akkerbouw. *Cult. Techn. Tijdschr.* 10
- BORST, N.P., C. ZIJDEWIND en C. VAN GRONINGEN, 1972. Grondverbetering op Texel. *Bedrijfsontw.* 3, p. 463-468
- DAM, J.G.C., 1975. Bodemgeschiktheidsonderzoek in de aspergeteelt. *Bedrijfsontw.* 6-9, p. 777-778
- DUIN, R.H. VAN, 1982. Verbetering van het bodemprofiel. College dictaat Bodemtechniek, Deel C. L.H. Afd. Cultuurtechniek, Wageningen
- FEITSMA, K.S., 1969. Grondverbetering in het noordwestelijk deel van Oostelijk Flevoland. *Cult. Tijdschr.* 9-2, 86-98
- HAVINGA, L., 1978. Effecten en gewasreactie tengevolge van diepe grondbewerking op plaatgronden. *Cult. Tijdschr.* 18-2 6 blz. ICW verspr. ov. 220
- HEMMINGA, M.A., 1964. De uitvoering van grondverbeteringen in de IJsselmeerpolders. *Van Zee tot Land* 39, p. 90-112
- HIDDING, A.P., 1963. Verbetering van plaatgronden. Resultaten van het verdiepen van de doorwortelbare zone van plaatgronden. *Verspr. Overdr. ICW* 8
- 1965. Untersuchungen zur beeinflussung schwerer Tonböden durch Kulturtechnische Massnahmen. *ICW, Verspr. Ov.* 23
- HOOGERKAMP, M., 1976. De beworteling van grassen. *De Buffer* 22-1 blz. 5-18
- HOOGHOUDT, S.B., e.a., 1960. Fysischchemisch onderzoek naar de oorzaken van irreversibele indroging van veengronden en de mogelijkheden van verbetering. *Versl. Landb. Ond.* 66-23: 1-76
- HOUBEN, J.M.M.TH., 1980. Mogelijkheden van profielverbetering op zandgronden. *Cult. Tijdschr.* 19, 6, 312-325
- 1981. Bodemdichtheid en gewasgroei. *Cult. Techn. Tijdschr.* 21-3, p. 144-158

- HURINK, H. en PASKAMP, 1960. Ervaringen met mechanische grondverbetering in Oost-Overijssel. Tijdschr. K.N.M.H. 71, p.132-139
- JONGE, L.J.A. DE, 1960. De verbetering van verdroogde veengronden. Versl. Landb. Ond. 66-23: 198-256
- SCHOTHORST, C.J. en D. HETTINGA, 1983. Grondverbetering: alternatief voor beregening van grasland op lichte zandgrond? Bedrijfsontw. 14-2, blz. 115-122. Cult. techn. Tijdschr. 22-4: p. 213-226
- VERHAEGH, W.B. en R. WIEBING, 1978. Verbetering van veldpodzolen. De vochthuishouding van 1975-1977. Nota ICW 1041 35 blz.
- WIEBING, R. en G.P. WIND, 1979. Bodemverbeteringsonderzoek in de Veenkoloniën. Cult. Tijdschr. 18, 6: 293-307. Verspr. Overdr. ICW 246
- WIND, G.P., 1963. Verbetering van plaatgronden. Het theoretisch te verwachten effect van plaatgrondverbetering. Verspr. Overdr. ICW 8
- _____ 1967. Rootgrowth in acid soils. Neth. Journ. of Agr. Sci. 15, 259-266
- _____ 1969. Grondverbetering. Cultuurtechn. Verhand. ICW, Verspr. Overdr. 39
- _____ and R.A. POT, 1976. Bodenverbesserung in den Holländischen Veenkoloniën. Zeitschr. f. Kult. techn. und Flurb. 17, ICW, Verspr. Overdr. 191
- WOERDT, D. VAN DER, 1959. De verbetering van verdroogde veengronden. Versl. Landb. Ond. 66-23: p. 198-256
- WIJK, A.L.M. VAN. Bodemtechniek Cursus Bodemkunde. Min. van Landbouw en Visserij. Te verschijnen in 1984-85

7. DRAAGKRACHT VAN GRASLANDGRONDEN

7.1. A l g e m e e n

Onder draagkracht of draagvermogen van een grond wordt verstaan de weerstand die de top laag kan bieden aan een uitgeoefende druk zonder insporing of vervorming te ondergaan.

Venige gronden

De draagkracht van de zodelaag van grasland op laag gelegen, sterk humeuze en venige zandgronden en op ondiep ontwaterde veen- en klei op veengronden is in natte perioden vaak onvoldoende voor berijden en beweiding.

Kleigronden

Onder natte omstandigheden is grasland op kleigrond, vooral jong grasland, eveneens vertrappingsgevoelig, ofschoon in dit verband meer sprake is van verkneding en versmering van de grasmatt (KEUNINGS, 1963). Hetzelfde geldt voor verdichting en spoorvorming bij berijden met zware werktuigen. Verkneding en verdichting gaat gepaard met structuurbederf. Hierdoor neemt het gehalte van grote poriën af en daarmee de infiltratie-capaciteit en het luchtgehalte. In daaropvolgende droge perioden droogt de grond hard op en verloopt de hergroei traag.

Algemeen zijn kleigronden minder gevoelig voor vertrapping en insporing dan venige gronden vanwege een meestal diepere ontwatering en een snel opdrogen na natte perioden. De nadelige gevolgen van een beschadigde kleizodelaag zijn echter van langduriger aard dan bij venige gronden. Een éénmaal vertrapte zodelaag is extra gevoelig in een volgende natte periode. Dit geldt echter voor alle graslandgronden.

Grasmatt

De mechanische sterkte van de zodelaag wordt mede bepaald door de botanische samenstelling van de grasmatt en de bedekkingsgraad.

Een viltige zode van Struis- en Roodzwenkgras versterkt de draagkracht evenals de rizomenvormende grassen als Veldbeemd en

Kweekgras, in tegenstelling met pollenvormende grassen zoals het meest productieve en zeer betredingsresistente Engels Raaigras.

Een dichte gesloten mat zoals die op oude kleigraslanden veel voorkomt heeft eveneens meer sterkte dan die van jonge weiden met een nog open zode.

7.2. I n d r i n g i n g s w e e r s t a n d

De draagkracht kan gerelateerd worden aan de indringingsweerstand (I_w) van de zodelaag. Hierbij wordt meestal een penetrometer gebruikt met een conus met een basisoppervlak van 5 cm^2 en een tophoek van 60° . Voor het meten van hoge weerstanden zoals op sportvelden voorkomen gebruikt men een conus van 1 cm^2 . De omrekeningsfactor voor I_w bij een conus van 5 cm^2 naar 1 cm^2 bedraagt 1,44 (BEUVING, 1981).

In het algemeen is bij een I_w -waarde van $< 0,5 \text{ MPa}$ de draagkracht onvoldoende en bij $I_w = > 0,7 \text{ MPa}$ goed. Voor grasland wordt als norm aangehouden $I_w = 0,6 \text{ MPa}$ (SCHOTHORST, 1965). Voor sportvelden wordt een I_w -waarde verlangd van 1 tot $1,4 \text{ MPa}$ gemeten met conus van 1 cm^2 basisoppervlak (VAN WIJK, 1980).

De mechanische sterkte van een zodelaag is afhankelijk van:

1. dichtheid van de zodelaag
2. vochtspanning in de zodelaag
3. fracties van organische stof, lutum en zand
4. grasbestand en bedekkingsgraad.

7.3. D i c h t h e i d v a n d e z o d e l a a g

Minimale en maximale dichtheid

Zand zonder organische stof kan in dichtheid variëren van zeer los waarbij $\rho_d = 1,34 \text{ g.cm}^{-3}$ en $\phi_p = 0,45$, tot zeer dicht waarbij $\rho_d = 1,63 \text{ g.cm}^{-3}$ en $\phi_p = 0,35$ (SCHUURMAN en DE BOER, 1971).

Naarmate het organisch stofgehalte van een grond hoger is, neemt de volumedichtheid af en de poriënfractie toe evenals het specifiek of massiek volume. Bij eenzelfde organisch stofgehalte kan de volumedichtheid echter binnen zekere grenzen variëren. Men kan bij grond in

veldtoestand een maximale respectievelijk een minimale dichtheid onderscheiden afhankelijk van het organisch stofgehalte f_h , zie fig. 20 a t/m c naar SCHOTHORST (1968). Deze figuren gelden voor de zodelaag van diverse graslandgronden.

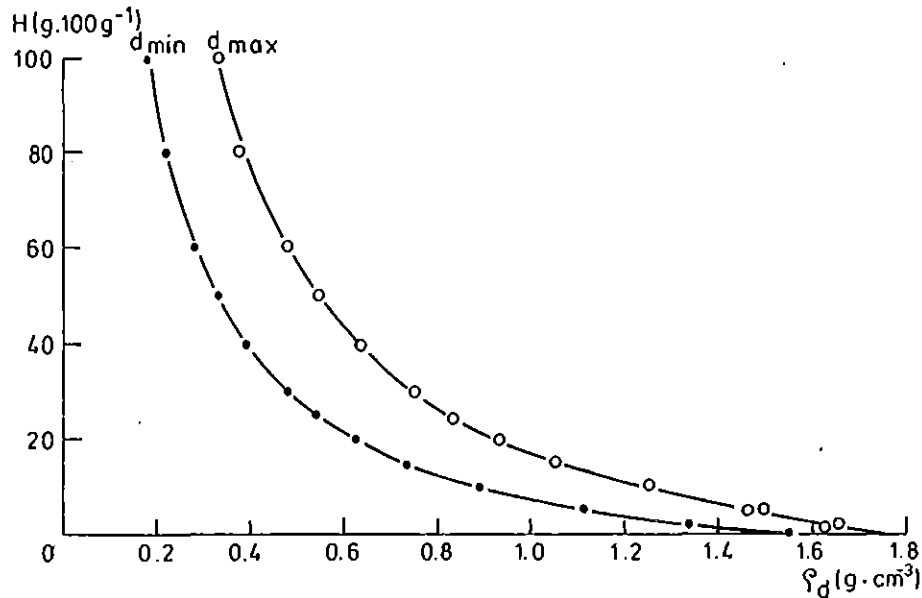


Fig. 20a. Het verband tussen het organische stofgehalte (H) en de volumedichtheid (ρ_d in $g \cdot cm^{-3}$) bij minimale (d_{min}) en maximale dichtheid (d_{max})

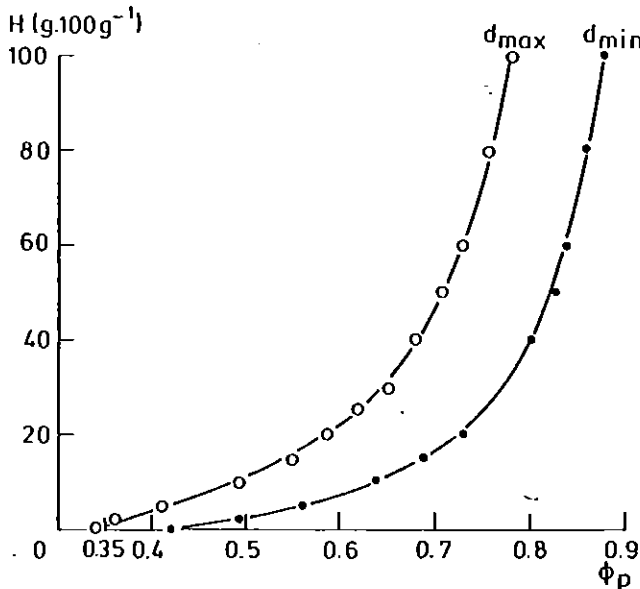


Fig. 20b. Het verband tussen het organische stofgehalte (H) en de poriënfractie (ϕ_p) bij minimale (d_{min}) en maximale dichtheid (d_{max})

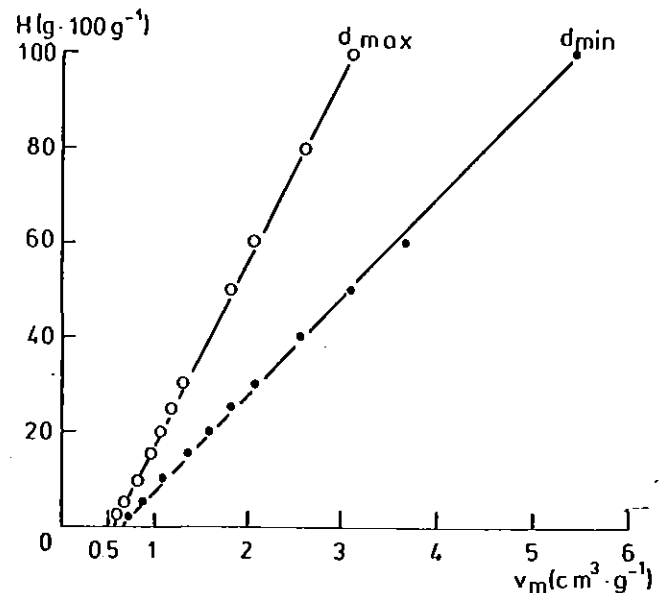


Fig. 20c. Het verband tussen het organische stofgehalte (H) en het specifiek of massiek volume (v_m in $cm^3 \cdot g^{-1}$) bij minimale (d_{min}) en maximale dichtheid (d_{max})

Het verband tussen f_h en het specifieke volume (v_m) is zowel bij minimale als bij maximale dichtheid lineair (fig. 20c).

Genoemde relatie is gekoppeld aan een dichtheidsfactor overeenkomende met de rijpings- respectievelijk dichtheidsfactor van kleigronden, zie hfst. 2.2.

De I_w -waarde is zeer laag bij minimale dichtheid en neemt toe met de dichtheid bij een gegeven f_h -waarde, zie fig. 21.

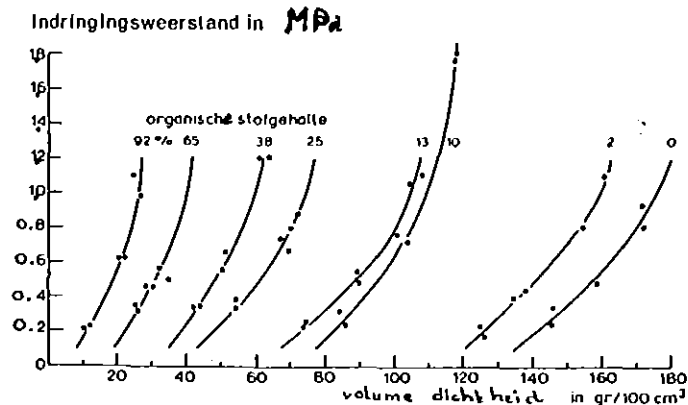


Fig. 21. Verband tussen indringingsweerstand en volumedichtheid in samenhang met het organisch stofgehalte van de grond bij een vochtspanning van pF2 (SCHOTHORST, 1968)

Uit fig. 21 kan men afleiden, dat een zandige toplaag met $f_h = 0,02$, $\rho_d = 1,60 \text{ g.cm}^{-3}$ en $\phi_p = 0,38$ eenzelfde mechanische sterkte heeft als een venige toplaag met $f_h = 0,65$, $\rho_d = 0,4 \text{ g.cm}^{-3}$ en $\phi_p = 0,75$.

7.4. Invloeden op dichtheid

Een zeer losse toplaag treft men aan bij nieuw ingezaaid grasland. Onder invloed van beweiding (betreding) en berijden met werktuigen wordt een zekere verdichting bereikt.

Anderzijds kan verdichting tot stand komen door krimp als gevolg van uitdroging bij veen- en kleigronden. Voornoemde processen van verdichting zijn geheel verschillend. Bij verdichting door belasting verdwijnen de grote poriën, neemt de doorlatendheid af evenals de infiltratiecapaciteit voor neerslag. Verdichting door uitdroging

gaat gepaard met een toename van grote poriën en krimpscheuren waardoor de doorlatendheid sterk toeneemt en onder extreme omstandigheden zo groot wordt dat neerslag direct via de scheuren naar de ondergrond zakt zonder de toplaag voldoende te bevochtigen. Dit betreft het zogenaamde kortsluitingseffect (DEKKER, 1983, SCHOTHORST en HETTINGA, 1977).

Irreversibele ingedroogde veengronden worden gekenmerkt door een zeer goede draagkracht. De meest extreme vorm van ingedroogd veen is turf.

Extreme vormen van verdichting zowel als gevolg van berijden of als gevolg van indroging dienen voorkomen te worden, enerzijds door niet te berijden of te beweiden onder natte omstandigheden, anderszijds door in perioden van droogte tijdig te beregenen. Snel herstel van een te sterke indroging is te bereiken via bevoeiing.

7.5. V o c h t s p a n n i n g e n o n t w a t e r i n g s - d i e p t e

Naarmate de vochtspanning (pF) meer negatief wordt neemt de draagkracht toe. De vochtspanning is afhankelijk van de grondwaterdiepte, respectievelijk de ontwateringsdiepte en van het verdampings- respectievelijk neerslagoverschot.

Een ondiepe ontwatering van veen- en klei op veengronden gaat gepaard met langdurige perioden van lage vochtspanningen in de toplaag, waarbij de dichtheid tevens afneemt als gevolg van opzwellling. Een ondiepe ontwatering heeft een dubbel ongunstig effect op de draagkracht van venige gronden. Bij grasland wordt voor het behoud van een goede draagkracht de eis gesteld dat de grondwaterstand niet hoger mag stijgen dan 0,3 m -mv. In de herfst na een droge zomer zijn voor korte perioden hogere grondwaterstanden dan 0,3 -mv toelaatbaar, terwijl in het voorjaar na een natte winter grondwaterstanden van 0,4 à 0,5 m -mv soms nog niet voldoende zijn om weer een goede draagkracht te bereiken.

In droge perioden neemt de draagkracht als gevolg van hogere vochtspanningen in de zodelaag toe door verdamping. Oorspronkelijk natte en slappe veengronden zijn in droge perioden algemeen voldoende draagkrachtig (SCHOTHORST, 1965, 1974 en 1978).

Naargelang de dichtheid van de toplaag groter is kan met lagere vochtspanningen worden volstaan voor het behoud van een voldoende draagkracht. Bij een geringe dichtheid worden hogere vochtspanningen vereist om een voldoende draagkracht te bereiken (SCHOTHORST, 1982).

Zeer gevoelig voor vertrapping van de zodelaag is nieuw ingezaaid grasland bij lage vochtspanningen mede door de geringe dichtheid en de nog open zode. Om deze reden mag nieuw ingezaaid grasland niet onder natte omstandigheden worden beweid of bereden.

7.6. Verbetering van draagkracht

Verbetering van de draagkracht resulteert in de eerste plaats in een verbetering van de gebruiksmogelijkheden van de grond. Het is het meest van belang bij een intensieve bedrijfsvoering. Het is van belang in verband met:

1. het tijdig kunnen afvoeren van drijfmest. Dit bespaart op kosten voor opslagruimte
2. het tijdig toedienen van stikstof in het voorjaar. Dit vervroegt de productie met gemiddeld 4 dagen in het voorjaar. In een nat voorjaar is het aanzienlijk meer (SCHOTHORST, 1980)
3. beperking van beweidingsverliezen in natte perioden tijdens het weideseizoen
4. versnelling van de ruwvoerwinning gepaard gaande met een betere kwaliteit van het gewonnen ruwvoer
5. vervroeging van het weideseizoen in het voorjaar en verlenging in het najaar. Alles tezamen kan het resulteren in een hogere netto-productie met lagere arbeidskosten.

7.6.1. Ontwatering

Voor het behoud of bereiken van een algemeen voldoende draagkracht is allereerst een goede ontwatering vereist.

Aan de algemene eis dat een grondwaterstand niet hoger mag stijgen dan tot 0,3 m -mv kan bij goed doorlatende veengronden zonder mineraal dek (bosveen) worden voldaan bij een slootpeil van 0,8 m -mv en slootafstanden < 50 m. Dit geldt voor gebieden met weinig of geen kwel.

Slecht doorlatende veengronden (mosveengronden) en veengronden met een kleidek vereisen bij dezelfde slootafstand een slootpeil van circa 1 m -mv. Bij grotere slootafstanden is aanvullende detail-ontwatering nodig in de vorm van greppels of bij voorkeur in de vorm van buisdrainage.

In verband met mogelijke opbrengstdepressies in droge perioden zijn grondwaterstanden dieper dan 0,8 m -mv ongewenst.

Effect van diepere ontwatering op proefvelden

Door diepere ontwatering (peilverlaging van 0,25 naar 0,75 m -mv) werd op veengrond zonder mineraal dek (Zegveld) gemiddeld een netto-meeropbrengst verkregen van 10% (BOXEM en LEUSINK, 1978). Algemeen wordt in het voorjaar door diepere ontwatering een hogere bruto-grasproductie bereikt, zie tabel 10 naar SCHOTHORST (1978).

Tabel 10. De opbrengst van droge stof van de eerste snede in ton per ha op 3 ontwateringsproefobjecten, gemiddeld over de periode van 1970 t/m 1974

Proefobject	Sloot- peil m -mv	Stikstof		Sloot- peil m -mv	Stikstof	
		kg per ha.			kg per ha.	
		0	100		0	100
Hoenkoop	0,4	2,3	3,4	1,0	3,3	4,0
Bleskensgraaf	0,4	1,8	3,0	1,0	2,7	3,7
Zegveld	0,25	2,1	2,6	0,7	2,9	3,3
Gemiddeld		2,1	3,0		3,0	3,7

Gemiddeld over 5 jaar werd bij laag slootpeil van 0,7 tot 1 m -mv en bij een N-gift van 100 kg per ha een meeropbrengst bereikt van 22% op een zelfde maaidatum. Bovendien blijkt dat bij laag slootpeil zonder N-bemesting gemiddeld eenzelfde opbrengst werd bereikt als bij een hoog slootpeil van 0,2 tot 0,4 m -mv en een N-gift van 100 kg per ha. Bij diepere ontwatering komt meer stikstof uit de bodem vrij als gevolg van mineralisatie van organische stof. Dit gaat echter gepaard met een versterking van het zakkingsproces, zie hfdst. 4.3.

Een ander bezwaar van diepere ontwatering speciaal van veengronden zonder mineraaldek is de kans op toename van droogtegevoeligheid. Hierdoor kunnen in droge jaren opbrengstdepressies optreden die echter voorkomen kunnen worden door tijdig te beregenen of door te bevoeien na sterke uitdroging van de wortelzone (SCHOTHORST en HETTINGA, 1977).

7.6.2. Verlaging van het organisch stofgehalte

Bij ondiepe ontwatering zoals dat bij vele graslanden het geval is, neemt de mechanische sterkte van een toelaag af naarmate het organische stofgehalte (f_h) hoger is. Bij een hoge f_h -waarde is de dichtheid sterk aan veranderingen onderhevig in verband met zwel- en krimpverschijnselen, en vanwege een grotere gevoeligheid voor opvriezen in vorstperioden. Anderszijds kan een diepe ontwatering oorzaak zijn van droogte verschijnselen en scheurvorming in droge perioden, speciaal bij veengronden zonder mineraal dek.

Bij ondiepe ontwatering wordt de grootste mechanische sterkte bereikt bij een laag humusgehalte van minder dan 8%. Zelfs in perioden waarbij de toplaag in nagenoeg verzadigde toestand verkeert, is de grond dan nog berijdbaar.

Verlaging van het organisch stofgehalte van een venige toplaag kan vooral bij een ondiepe ontwatering de draagkracht aanzienlijk versterken. Dit is mogelijk door bezanden en bij ondiepe veenprofielen door diepploegen of mengwoelen.

Bezanding

Voor het bezanden van venige gronden bestaan verschillende methoden, namelijk:

1. aanvoer van zand van elders via mechanisch transport
2. het gebruik van een bezandingsmachine of grondvijzel
3. het opspuiten van zand via hydraulisch transport.

Eerstgenoemde methode werd in het verleden toegepast onder andere bij ontginningen van restveengronden en bij verbetering van broekveengronden.

Bezanding met grondvijzel

De bezandingsmachine kan ter plaatse bij veendiktes tot 3 m zand uit de ondergrond opvijzelen. Bij een werkingsbreedte van 12 à 14 m wordt een laag van 5 tot 10 cm zand over de onbehandelde zodelaag aangebracht. Met het doel het humusgehalte van de nieuwe toplaag zo laag mogelijk te houden mag het zand niet met de oude zodelaag worden gemengd.

Een bezandingsdikte met een variatie 5 tot 10 cm is voldoende voor een goede draagkracht bij ondiep ontwaterde veengronden (SCHOTHORST en BEUHING, 1968).

Bezwaren van deze methode zijn:

1. Egalisatie van ongelijk gelegen gronden is niet mogelijk
2. Het ontstaan van diepe sleuven met een onderlinge afstand van circa 14 m.

Deze dienen met een overmaat van opgevijseld zand weer te worden gedicht, waarna de sleuven als greppels functioneren. Zij vormen echter een aangrijpingspunt voor vertrapping en hebben de normale bezwaren aan greppels verbonden.

Effect van bezanding

Door bezanding met gemiddeld 7 cm werd bij een polderpeil van 0,3 m -mv in Noordwest-Overijssel een goede draagkracht bereikt waarbij gemiddeld een meeropbrengst werd verkregen van 15% (SCHOTHORST en BEUHING, 1968).

Bezanding door opspuiten

In combinatie met zandwinning ten behoeve van wegeaanleg wordt ook bezanding toegepast via hydraulisch transport door opspuiten. Deze methode stelt hoge eisen aan de bepaling van de hoeveelheid op te brengen zand en de regelmatige verdeling ervan. Zanddiktes van meer dan 15 cm zijn gezien de ervaringen in Friesland en Noordwest-Overijssel schadelijk vanwege optredende droogteverschijnselen in droge perioden. Een aanvullende maatregel in de vorm van mengwoelen is dan noodzakelijk (KLOOSTER, 1979).

Een bezanding van 5 tot 10 cm is optimaal, zowel uit oogpunt van draagkracht als uit oogpunt van droogtegevoeligheid.

Diepploegen en mengwoelen

Ondiepe veenprofielen met een niet lemige zandondergrond, en een veendikte van maximaal 1,3 m worden gediepploegd of gemengwoeld, meestal in combinatie met egalisatie. Dit laatste kan nodig zijn vanwege een vaak voorkomende ongelijke ligging van het maaiveld van dergelijke veengronden. Diepploegen wordt meestal toegepast in combinatie met het dichten van sloten. In andere gevallen wordt de voorkeur gegeven aan mengwoelen vanwege lagere kosten.

Het diepploegen of mengwoelen dient zodanig te worden uitgevoerd dat een nieuwe toplaag ontstaat met een organisch stofgehalte van 4 tot 8%. Bij lagere f_h -waarden kan de toplaag te dicht worden, vooral onder natte omstandigheden met de gevolgen van plasvorming en luchtgebrek. Anderszijds zijn f_h -waarden $> 0,08$ ongewenst. Onder natte omstandigheden is een zodelaag met $f_h = 0,1$ al vertrappingsgevoelig. De oude zodelaag wordt zowel bij diepploegen als mengwoelen door het profiel gewerkt.

Verbetering van de draagkracht door mengwoelen of diepploegen resulteerde meestal in een hogere bruto-grasproductie die echter hoofdzakelijk is toe te schrijven aan de vernieuwing van het grasbestand.

7.7. L i t e r a t u u r

- BEUVING, J., 1981. Invloed van conus afmeting op de penetrometer-weerstand van grond. Cultuurtechn. Tijdschr. 21-2, 109-115.
Med. ICW 9
- BOXEM, T.J. en A.W.F. LEUSINK, 1978. Ontwatering van veengrasland.
Publ. 11. P.R. Lelystad
- DEKKER, L.W., J. BOUMA, W. LUTEN en G. KRIST, 1981. Effectiviteit van beregening op komkleigrasland. Cult. Tijdschr. 20-5, p. 263-270
- _____ 1983. Effectiviteit van het beregenen van moeilijk bevochtigbare veengronden. Cult. Tijdschr. 22-6. p. 369-375
- KEUNINGS, F.F.R., 1963. The puddling of clay soils. Neth. Journ. Agr. Sci. 145-156

- KLOOSTER, M., 1979. Bezanding van veengrasland. Cult.techn. Tijdschr. 19-2, p. 99-107
- SCHOTHORST, C.J., 1965. Weinig draagkrachtig grasland. Landb. Voorl. 10, 11 en 12. ICW, Verspr. Ov. 30
- _____ 1968. De draagkracht van graslandgronden. Med.ICW. 53 10 pp
- _____ en J. BEUVING, 1968. Het resultaat van een proef met bezanding van veengrasland. ICW, Nota 485
- _____ 1968. De relatieve dichtheid van humeuze gronden. De Ingenieur, 80-2. B1-B8. ICW, Verspr. Ov. 53
- _____ 1974. Effecten van polderpeilverlaging voor veenweidegronden in de Alblasserwaard. Cult. techn. Tijdschr. 14-2. ICW Med. 149
- _____ en D. HETTINGA, 1977. Ervaringen met berekening op veengrond in 1976. ICW Nota 991
- _____ 1978. Het ontwateringsonderzoek in het westelijk veenweidegebied. Gebund.Versl.Ned.Ver. Weide- en Voed.b. nr. 18, p. 36-85
- _____ 1980. De voorjaarsproductie en het effect van ontwatering in diverse veenweidegebieden. ICW, Nota 1233
- _____ 1982. Drainage and behaviour of peat soils. Proceed. of the Symp. on peat lands below sea level. ILRI 30
- SCHUURMAN, J.J., J.J.H. DE BOER en L. KNOT, 1974. De reactie van wortelgroei, opname en spruitgroei van haver op dichtheid van zandgrond. Landb.k. Tijdschr. 86-10: p. 256-265
- WIND, G.P. en C.J. SCHOTHORST, 1964. The influence of soil properties on suitability for grazing and of grazing on soil properties. 8th Congr. Soil Sci. Bucharest. Misc. Repr. 56, ICW, Wageningen
- WIJK, A.L.M. VAN, 1980. A soil technological study on effectuating and maintaining adequate playing conditions of grass sportsfields. Agr. Res. Rep. 903. Pudoc, Wageningen, 124 p

8. BODEMVERDICHTING

8.1. A l g e m e e n

Onder bodemverdichting wordt hier verstaan een afname van de poriënfractie (ϕ_p) en een toename van de volumedichtheid (ρ_d) als gevolg van het gebruik van zware werktuigen of als gevolg van intensieve betreding bij beweiding. Dit betreft dus een verdichting van anthropogene aard ter onderscheiding van verdichtingen van geogene (ontstaan tijdens de afzetting van het bodemmateriaal) en hydrogene aard (ontstaan door inspoeling).

Een verdichting als gevolg van het gebruik van werktuigen is afhankelijk van:

1. de dichtheid in de uitgangssituatie
2. het vochtgehalte respectievelijk de vochtspanning.

Naarmate een grond in de uitgangstoestand losser is, kan meer verdichting optreden, hetgeen tot uiting komt in verschil van diepte van insporing bij in het voorjaar bewerkte grond ten opzichte van een grond in het najaar vóór bewerking bij een gelijke vochttoestand.

Het vochtgehalte is in deze aan een optimum verbonden, zie onder andere DANIELS, 1977. Droge grond wordt weinig verdicht vanwege een grote wrijvingsweerstand van droge gronddeeltjes. Bij zeer natte grond die in ongeveer verzadigde toestand verkeert, treedt vervorming op in plaats van verdichting, doordat water moet worden weggeperst om tot een grotere verdichting te kunnen geraken. Dit gaat wel gepaard met sterke spoorvorming en versmering, waardoor de doorlatendheid sterk afneemt.

8.2. G r o n d d r u k e n b a n d s p a n n i n g

De door machines uitgeoefende gronddruk (P_g in bar) is in het contactvlak van band en grond sterk afhankelijk van de bandspanning (P_b in bar) zie fig. 22. Volgens een vuistregel is P_g gemiddeld 1,2 à 1,3 maal P_b . $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} \approx 1 \text{ kg.cm}^{-2}$.

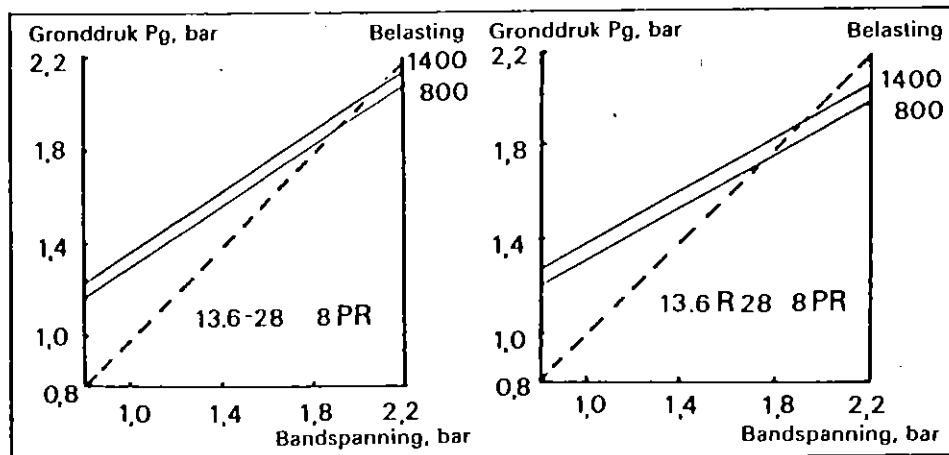


Fig. 22. Relatie gronddruk (P_g) en bandspanning (P_b) bij een belasting van 1400 en 800 kg voor een 13.6-28 8 PR diagonaalband en een 13.6 R 28 8 PR radiaalband

Volgens fig. 22 blijkt dat de bandbelasting weinig invloed heeft op P_g . Dit hangt samen met het feit, dat een luchtband bij constante spanning en toenemende belasting steeds verder afplat, waardoor het contactoppervlak bijna evenredig toeneemt, zodat de gemiddelde gronddruk vrijwel constant blijft. Dit betreft bandvervorming op een harde ondergrond. Op een zachte ondergrond vervormt niet alleen de band maar ook de grond, waardoor de band inspoort. Enerzijds wordt hierdoor het contactvlak vergroot, anderszijds zal de band minder afplattten. Beide effecten zullen elkaar ongeveer opheffen. Dit betekent dat de bandspanning moet worden aangepast aan de draagkracht van de toplaag van de grond om insporing zoveel mogelijk te voorkomen. Volgens onderzoek blijkt dat met $P_b = 1$ bar maximaal, overeenkomende met $P_g = 1,3$ bar sterke verdichtingen worden voorkomen. Dit geldt bij een pF -waarde van 2,2 en hoger.

Ook weinig draagkrachtige graslandgronden zijn goed berijdbaar mits $P_b \leq 1$ bar. respectievelijk $P_g \leq 1,3$ bar. Voor een losse natte grond worden lagere waarden aanbevolen van $P_b = 0,5$ tot 0,75 bar. (PERDOK en TERPSTRA, 1983).

Draagvermogen van banden

Het draagvermogen van een landbouwband is sterk afhankelijk van de bandafmetingen, de bandspanning en de rijsnelheid. Een halvering van de bandenspanning van 2 tot 1 bar betekent dat het draagvermogen tot circa 67% afneemt.

Het gemiddeld gewicht van een trekker bedraagt thans (1981) circa 3,5 ton en het totaal gewicht van landbouwwagens 12 à 16 ton (KOUWENHOVEN en VULINK, 1983). Om de gronddruk aan het oppervlak gelijk te houden worden de hoge gewichten van thans opgevangen door het gebruik van bredere banden. Hierdoor neemt de druk in de diepte toe, zie fig. 23. Tevens neemt de toelaatbare bandenspanning toe van 0,8 tot 1,1 bar en daarmee de druk op en in de grond.

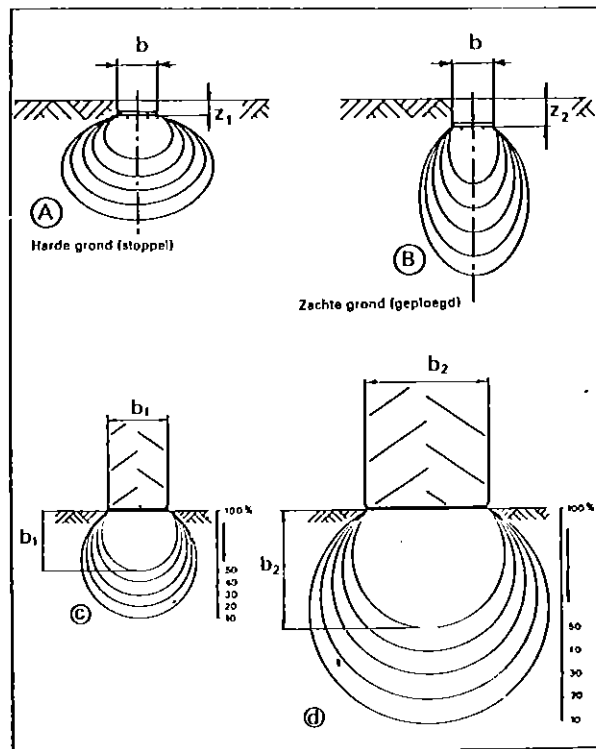


Fig. 23. Drukverdeling onder landbouwbanden op harde en zachte grond en bij verschillende bandbreedtes b , b_1 en b_2

8.3. D r u k v e r d e l i n g i n d e b o d e m

De druk door een luchtband op het maaiveld uitgeoefend zal zich cirkel- of elipsvormig in het bodemprofiel voortplanten, zie het verloop van de isobaren (lijnen van gelijke druk) in fig. 23 (PERDOK en TERPSTRA, 1983).

1. hoe droger en steviger de grond, hoe breder en minder diep de isobaren verlopen (fig. 23a);
2. hoe vochtiger en zachter de grond, hoe smaller en dieper het verloop (fig. 23b);
3. de grootte van de isobaren wordt voornamelijk bepaald door de bandbreedte (fig. 23c en fig. 23d).

Als vuistregel geldt dat de gronddruk ten opzichte van het contactvlak wordt gehalveerd op een diepte gelijk aan de spoorbreedte.

Het risico van ondergrondverdichting is gering mits de bandbreedte beperkt blijft tot circa 50 cm en de bandspanning laag wordt gehouden (circa 1 bar). Volgens voornoemde vuistregel bedraagt P_g dan op 50 cm diepte circa 0,6 bar.

8.4. V e r d i c h t i n g d o o r t r i l l i n g

Bij uitvoering van cultuurtechnische werken kan door gebruik van zware trillende machines als rups-trekkers bij zandgrond extra verdichting ontstaan als gevolg van trilling. Het effect van trilling is zelfs groter en sneller dan van de gronddruk (DE HAAN, e.a., 1966), zoals ook blijkt uit het gebruik van trilapparatuur bij de wegenbouw. Naarmate de trillingsduur langer is, neemt het effect met de diepte toe.

8.5. O p h e f f i n g v a n v e r d i c h t i n g

De gevolgen van verdichting door toenemende drukbelasting komen tot uiting in verhoogde penetrometerweerstand, zie fig. 24.

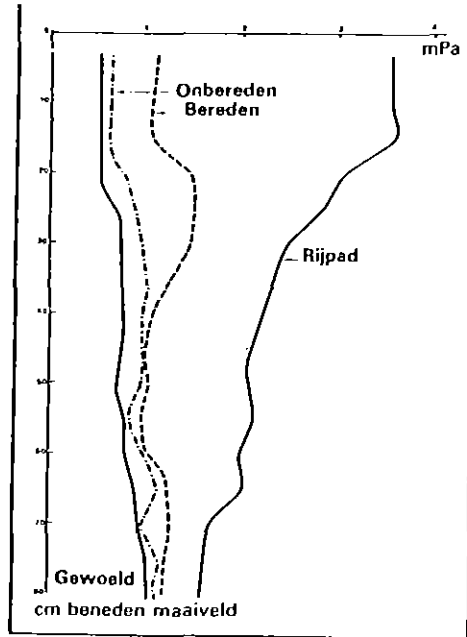


Fig. 24. Indringingsweerstand op een rijbanenproefveld van het IMAG (conus 2 cm^2 ; op rijpad 1 cm^2) (naar: LAMERS en PERDOK, 1982)

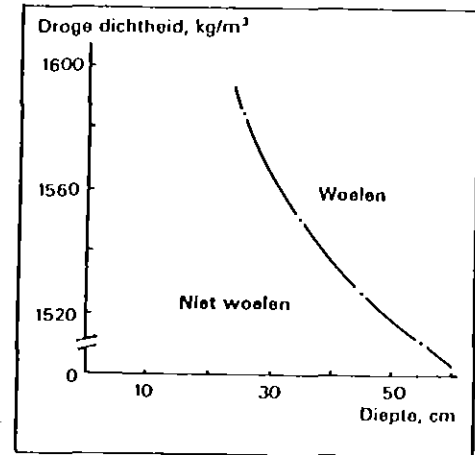


Fig. 25. De dichtheid van het profiel op zand en zavelgrond als criterium voor diepe bewerking (naar: HAVINGA, 1975)

Het al of niet toepassen van woelen om een verdichting op te heffen hangt af van de dichtheid in relatie met de diepte en het te verwachten blijvend effect (HAVINGA, 1975).

Een blijvend effect van het woelen is te verwachten bij een zekere dichtheid afhankelijk van de diepte, zie fig. 25. Op 30 cm diepte moet de dichtheid (ρ_d) groter zijn dan $1,56 \text{ g.cm}^{-3}$ en op 45 cm diepte meer dan $1,52 \text{ g.cm}^{-3}$. Dit komt overeen met een poriënfractie van 0,41 respectievelijk 0,43. Dit geldt voor zand- en zavelgronden.

8.6. L i t e r a t u u r

- DANIELS, D., 1977. Vochtgehalte en verdichting van grond. I.B. Rapp.9
- HAAN, F.A.M. DE en G.P. WIND, 1966. Bodemverdichting als gevolg van
de wijze van uitvoering van grondverbeteringswerkzaamheden.
Tijdschr. K.N.H.M. 77-6: 3 244-249
- _____ en G.G.M. VAN DER VALK, 1969. Verband tussen bodemverdichting
en waterbeheersing, speciaal met betrekking tot de bloembol-
lenteelt. Tuinb. Med. 32, blz. 262-267
- HAVINGA, L., 1975. Blijvend effect van diepe grondbewerking. Cult.
Tijdschr. 15-3 ICW, verspr. ov. 180
- KOUWENHOVEN, J.K. en T.J.G. VULINK, 1983. De zin van woelen. Land-
bouwmec. 34, p. 519-523
- LAP, P., 1969. Invloed van het rijden met een D9 rupstrekker over
een pas met een ondergrondwoeler bewerkte kavel. Rapp.
R.Y.P. Kampen. 7 p. + bijl.
- PELGRUM, A., 1977. Onderzoek naar de aanwezigheid van ploegzolen
in zavel- en lichte kleigronden en de invloed daarvan op
de water- en luchthuishouding van het profiel. I.B. Rapp.10
- PERDOK, H.D. en J. TERPSTRA, 1983. Berijdbaarheid van Landbouwgrond.
Bandspanning en grondverdichting. Landbouwmec. 34
- SCHNEIDER, C.B.H., 1982. Effecten door berijden en bewerken van
grond. De Buffer 28-4