

Klink van veengrond na diepere ontwatering

Inleiding

In verband met plannen tot diepere ontwatering van een complex veengrasland, gelegen in het ruilverkavelingsgebied „Oldelamer” bij Wolvega in Friesland, werd een onderzoek ingesteld naar de te verwachten inklinking.

Het bodemprofiel van de grond bestaat overwegend uit zeggeveen dat in dikte varieert van circa 0,5 tot 2,5 m. De percelen worden in de lengte doorsneden door tal van laagten, restanten van vroegere verveningen, gedeeltelijk gevuld met teruggestort veen en later verder verland door zegge- en rietveen (kragge). Het hoogteverschil in maaiveld varieert van 5 tot 40 cm.

Het vaste ongestoorde veenprofiel tussen de laagten in de zogenaamde „hagen” (zetwallen) heeft een dunne bovenlaag van kleiig veen van 5 tot 15 cm dikte.

Een intensief gebruik van het grasland wordt in sterke mate belemmerd door de laagten en de daar aanwezige slappe bovengrond. De laagten zijn permanent te nat: de grondwaterdiepte in de zetwallen bedraagt gemiddeld 40 cm en in de laagten gemiddeld 15 cm beneden maaiveld.

Om een gemiddelde grondwaterstand te bereiken van 70 cm — mv., zal een verlaging van het grondwater van 40 cm nodig zijn. Bij een dergelijke verlaging van het grondwater kan een zekere inklinking van het veen worden verwacht, speciaal in de laagten.

Om een antwoord te kunnen geven op de vraag in welke mate er door een grondwaterstandsverlaging van 40 cm klink verwacht kan worden, werd een onderzoek ingesteld en de te verwachten klink volgens verschillende methoden berekend.

Methode van onderzoek

In samenwerking met de Stichting voor Bodemkartering werden twee percelen opgezocht met een veendikte, die representatief is voor een belangrijk deel van het betreffende gebied. Op deze percelen werden twee profielen op korte afstand van elkaar bemonsterd, waarvan één profiel in een laagte en het andere op een aangrenzende zetwal. De bemonstering omvatte, laagsgewijs per 10 cm, het gehele veenprofiel van maaiveld tot aan de zandondergrond. Zij bestond uit volume-monsters tot een diepte van 30 respectievelijk 70 cm — mv., dus tot een zekere diepte beneden het grondwaterniveau. Vanaf enige decimeters boven het grondwaterniveau werden met behulp van een taps toelopende gutsboor gewichtsmonsters genomen tot aan de zandgrond. Nabij het grondwaterniveau overlappen de monsters genomen met verschillende methoden elkaar zodat de met de eerste methode exact bepaalde volumegewichten kunnen worden vergeleken met de via de tweede methode afgeleide volumegewichten.

In het laboratorium werd het vochtgehalte, het organisch stofgehalte en het droog gewicht van de grond bepaald.

Een belangrijk gegeven voor het inklinkingsonderzoek is de dichtheid waarvoor als maatstaf het volumegewicht werd genomen. Dit werd wat betreft de onder water genomen gewichtsmonsters afgeleid uit het vochtgehalte. Hierbij is de hoeveelheid lucht verwaarloosd.

Het volume van het monster bedraagt

$$\frac{g_g}{s_g} + \frac{g_w}{s_w} = a \text{ cm}^3$$

g_g = gewicht in gram van het oven-droge monster

g_w = hoeveelheid water in het verzadigde monster in gram

s_g = soortelijk gewicht van de grond, af te leiden uit het organisch stofgehalte:

$$s_g = \left(\frac{100}{\frac{h}{1,47} + \frac{100-h}{2,66}} \right), \text{ waarin } h = \text{gewichtsperscentage organische stof.}$$

s_w = soortelijk gewicht water (= 1 gr/cm³).

Het gewicht van de droge grond bedraagt g_g gram.

Het volumegewicht v_g is $v_g = g_g/a$ gr/cm³.

In fig. 1 wordt het volumegewicht in gr/cm³ van de verschillende bodemprofielen weergegeven in afhankelijkheid van de diepte beneden maaiveld. Tevens wordt de aard van het bodemmateriaal vermeld, evenals het percentage organische stof.

Profiel 1 en 3 betreffen ongestoorde veenprofielen van zetwallen, met een veendikte van 2,20 respectievelijk 1,50 m beneden maaiveld, waarvan 1,80 resp. 1,00 m veen onder het huidige freatisch oppervlak. Profiel 2 en 4 zijn afkomstig van de nabij gelegen laagten. De veendikte hiervan is 2 respectievelijk 1,10 m, waarvan 1,80 resp. 1,00 m veen onder het huidige freatisch oppervlak. Het hoogteverschil tussen profiel 1 en 2 bedraagt circa 20 cm en tussen profiel 3 en 4 circa 40 cm.

De berekende en de bepaalde volumegewichten sluiten zeer goed op elkaar aan, zoals blijkt uit de figuren voor profiel 1 en 3. Bij profiel 2 bestaat een verschil, hetgeen bij de heterogene bovengrond van de verlande sloten niet verwonderlijk is.

Het teruggestorte en aangegroeide materiaal in de laagten wordt gekenmerkt door een hoger slibgehalte en een hoger volumegewicht zowel in profiel 2 als in profiel 4.

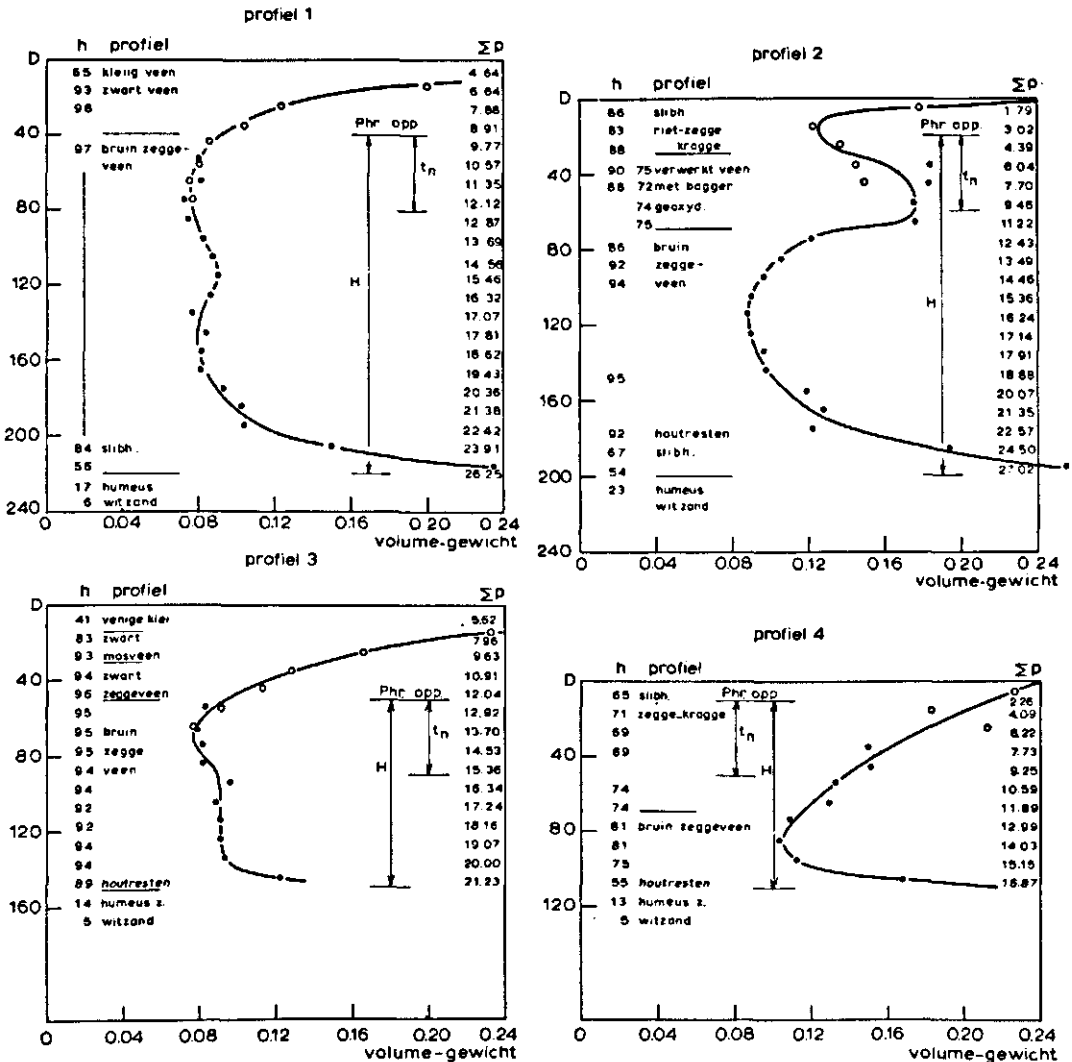
Berekening van klink

Onder „klink” wordt verstaan de daling van het maaiveld als gevolg van verdichting van de grond onder invloed van het eigen gewicht. Verlaging van de

grondwaterstand betekent een verlaging van de opwaartse druk, waardoor de druk van het eigen gewicht toeneemt (dus klink).

Een verdichting als gevolg van indroging (krimp) die eveneens een daling van het maaiveld tot gevolg heeft, evenals oxydatie van organische stof, valt niet onder het begrip klink, volgens de omschrijving van de Agrarische Winkler Prins Encyclopedie. Deze omschrijving wijkt dus af van ZUUR (1958), die tot „klink” ook de processen van „krimp” en „oxydatie” rekent.

Figuur 1. Het beloop van het volume-gewicht van veenprofielen in zetwallen (profiel 1 resp. 3) en in een bij elk nabij gelegen laagte (profiel 2 resp. 4).



D = diepte beneden maaiveld
 h = organisch stofgehalte in gewichts %
 Σρ = gesommeerde korrelspanning
 H = veendikte beneden phreatisch oppervlak

t_n = grondwaterstandsverlaging
 o = volume-monster
 • = gewicht-monster

Genoemde verschijnselen tezamen worden hier aangeduid als „zakking”, waarmee de daling van het maaiveld wordt bedoeld. Hieronder valt ook het begrip „zetting”, waaronder wordt verstaan de daling van het maaiveld als gevolg van een buitenaf aangebrachte druk, bijvoorbeeld in de vorm van gebouwen of in de vorm van ophogingen met grond.

Samenvattend kunnen deze begrippen als volgt systematisch worden weergegeven.

Oorzaak verlaging bodempeil	Nomenclatuur
1. Totaal, door 1 of meer oorzaken	zakking
2. Door eigen gewicht + door ev. grondwaterstands­daling	inklinking (òf klink)
3. Door belasting van buiten af	zetting
4. Door uitdroging	krimp
5. Door oxydatie van organische stof	zakking door oxydatie

De in dit artikel berekende zakking heeft uitsluitend betrekking op daling van het maaiveld als gevolg van klink, dus exclusief krimp en oxydatie.

De mate van de te verwachten klink na grondwaterstandsverlaging is te benaderen door gebruik te maken van de zettingsformule van Terzaghi en de formules van Halakorpi-Segeberg en van Ostromecki.

Formule Terzaghi

De methodiek van klinkberekeningen volgens de formule van Terzaghi is uitvoerig beschreven door WILLET (1964).

De formule is als volgt:

$$z = \frac{1}{c} \times H \times 2,3 \log \frac{p + \Delta p}{p}$$

waarin:

z = zakking in cm.

c = samendrukbaarheidsconstante. Deze kan bij veengronden variëren van 5 tot 10. In de hierna volgende berekeningen is 8 aangehouden.

H = dikte van de veenlaag beneden het grondwater in cm.

p = gemiddelde korrelspanning (druk) in gr/cm^2 in de grondlaag voor ontwatering.

Δp = toename van de korrelspanning als gevolg van een verlaging t_n van de grondwaterstand. Deze laatste wordt in de berekeningen op 40 cm aangehouden. Nu is Δp gelijk aan de verlaging van de opwaartse druk zodat hier $\Delta p = 40 \text{ gr/cm}^2$. Een grond met een verzadigd volumegewicht van $1,5 \text{ gr/cm}^3$ weegt onder water $1,5 - 1 = 0,5 \text{ gr/cm}^3$. De bovenbelasting neemt dus per cm grondwaterstandsverlaging met 1 gr/cm^2 toe.

De gemiddelde korrelspanning voor verlaging van de grondwaterstand wordt berekend uit het gemiddelde van de spanning aan de bovenkant (p_b) en aan de onderkant (p_o) van de betreffende laag

$$p = \frac{p_b + p_o}{2}$$

Voor de berekening van p_b wordt gerekend met het volumegewicht van grond bij veldvochtgehalte in natte perioden.

De berekening van p_o bestaat uit sommatie van de korrelspanningen van de laag H plus p_b .

Als voorbeeld kan de berekening van de zakkings van profiel 1 dienen, waarbij $c = 8$ en $H = 180$. Uit het volumegewicht van de lagen op veldvochtgehalte maal de hoogte van de lagen volgen de volgende waarden voor p_b : laag 0 – 10: 11,3 gr/cm²; laag 10 – 20: 9,6; laag 20 – 30: 9,6; laag 30 – 40: 9,8; in totaal dus 40,3 gr/cm².

p_o is de gesommeerde druk van de droge grond in laag H (zie fig. 1) plus p_b , dat is $(26,25 - 8,91) + 40,3 = 57,6$ gr/cm².

$$\text{Dan is } p = \frac{p_b + p_o}{2} = \frac{40,3 + 57,6}{2} = 48,9 \text{ gr/cm}^2.$$

Alle factoren zijn nu bekend, dus:

$$z_1 = 0,125 \times 180 \times 2,3 \log \frac{48,9 + 40}{48,9} = 13,5 \text{ cm.}$$

Op dezelfde wijze is de klink te berekenen voor de andere profielen. De volgende uitkomsten worden dan voor de profielen 2, 3 en 4 verkregen: $z_2 = 18,6$ cm; $z_3 = 6,6$ cm; $z_4 = 14,7$ cm. De sterkere te verwachten klink bij de verlande profielen houdt sterk verband met de geringe bovendruk bij de huidige ontwateringstoestand.

Formule Halakorpi — Segeberg

Een andere methode voor berekening van de klink kan worden toegepast volgens de formule van Halakorpi, die in Duitsland regelmatig wordt toegepast.

De formule bij een oorspronkelijke grondwaterstand tot aan maaiveld is:

$$z = a \left(0,08 \times H \times \frac{t_n}{1,20} + 0,066 \right)$$

waarin:

a = een factor voor de dichtheid, te vergelijken met c in de formule van Terzaghi.

t_n = voorgenomen verlaging van de grondwaterstand in m, en vervult ongeveer de functie van Δp in de formule van Terzaghi.

Alle lengtematen in de formule van Halakorpi-Segeberg worden uitgedrukt in meters.

De factor a werd oorspronkelijk op grond van ervaring gekozen. SEGEBERG (1960) heeft deze formule een objectieve basis gegeven door de factor a te koppelen aan de dichtheid, i.c. aan het volumegewicht van het veen.

Aan de hand van de gegevens die Segeberg vermeldt, is fig. 2 samengesteld waarin voor ieder volumegewicht de factor a kan worden afgelezen.

De formule zoals hier weergegeven geldt voor een niet eerder ontwaterde veengrond, waarbij in de aanvang de grondwaterstand tot maaiveld reikt. Bij veengronden die in de aanvang reeds in zekere mate zijn ontwaterd, komt het constante lid in de formule te vervallen:

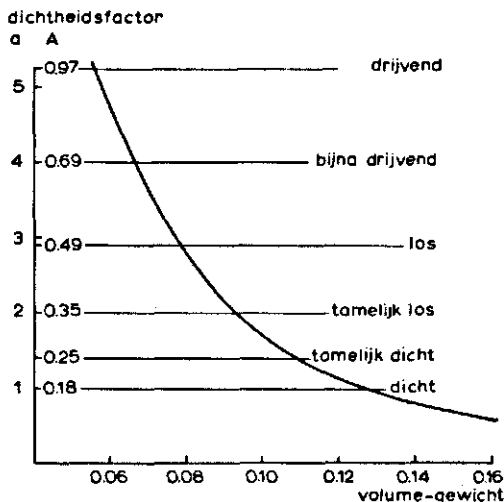
$$z = a \left(0,08 \times H \times \frac{t_n}{1,20} \right)$$

De klink in de laagten is volgens de eerste, die van de zetwallen volgens de laatste formule berekend.

Er is echter een belangrijk verschil tussen de formule van Terzaghi respectievelijk van Halakorpi wat betreft de toekomstige ontwateringsdiepte. Bij Terzaghi gaat men uit van de aanwezige, bij Halakorpi van de toekomstige toestand. Dit betekent dat Halakorpi al rekening heeft gehouden met de klink bij het aangeven van de t_n in zijn formule. Ten opzichte van Terzaghi is de grondwaterstandsverlaging dus kleiner dan waarmee daar wordt gerekend en wel zoveel kleiner als de klink bedraagt.

Aangezien in ons geval in de formule van Halakorpi de grondwaterstandsverlaging ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld wordt gebruikt, hetgeen een te hoge t_n voor deze formule is, moet op de z van de formule van Halakorpi een reductie worden toegepast. Omdat de klink recht evenredig is met de grondwaterstandsverlaging levert dit niet veel moeilijkheden op (zie voorbeeld).

Waar het in de formule van Halakorpi voornamelijk op aankomt is de keuze



Figuur 2. Het verband tussen de dichtheidsfactor (a volgens Halakorpi, A volgens Ostromecki) en het volumegewicht (naar SEGEBERG, 1960).

van de factor a. Deze is objectief af te leiden van het volumegewicht van veen met een organisch stofgehalte van meer dan 80% (fig. 2). Op lagen in het veenprofiel met meer dan 20% minerale delen, of op de overgang naar klei of zand moet een correctie worden toegepast wegens een te hoog volumegewicht in verhouding tot de dichtheid. Dit is mogelijk door het gewicht van de minerale delen aanwezig in 1 cm³ af te trekken van het volumegewicht of deze lagen buiten beschouwing te laten. Als voorbeeld van de berekening zullen de profielen 1 en 2 dienen.

Het gemiddeld droog volumegewicht van het veen beneden het freatisch oppervlak in profiel 1 (zie fig. 1) is

$$\bar{g}_1 = \frac{23,91 - 8,91}{170} = 0,088$$

Volgens fig. 2 is a dan 2,3. Substituering in de formule geeft

$$z_1 = 2,3 \left(0,08 \times 1,8 \times \frac{0,4}{1,2} \right) = 0,115 \text{ m}$$

Voor profiel 1 werd dus een klink berekend van 11,5 cm. Dit geldt zoals reeds gezegd, echter voor een $t_n = 0,40$ m na klink. De grondwaterstand ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld zou dus $0,40 + 0,115 = 0,515$ m zijn gedaald. Bij een werkelijke daling van 0,40 m ten opzichte van het oorspronkelijke maaiveld kan men dus een zetting verwachten van $0,40 \times 0,115 / (0,40 + 0,115) = 0,09$ m.

Bij berekening van de z van profiel 2 moet, in verband met het verschil in volumegewicht (zie fig. 1), onderscheid worden gemaakt tussen de laag teruggestort en nieuw aangegroeid veen en het ongestoorde veen daaronder.

Voor de laag 0,20 – 0,70 m bedraagt

$$\bar{g}_{2.1} = \frac{11,22 - 3,02}{50} = 0,164 \text{ gr/cm}^2$$

door correctie op 20% slib wordt

$$g_{2.1} = 0,164 - \frac{20}{100} \times 0,164 = 0,133 \text{ gr/cm}^2$$

Voor de laag 0,70 – 1,80 m is

$$\bar{g}_{2.2} = \frac{22,57 - 11,22}{110} = 0,103 \text{ gr/cm}^2$$

De factor a voor $\bar{g}_{2.1} = 0,9$ en voor $\bar{g}_{2.2} = 1,6$ (zie fig. 2).

Nu wordt dus $z_{2.1} = 0,9 \left(0,08 \times 0,5 \times \frac{0,4}{1,2} \right) + 0,066 = 0,071$ m,

$$z_{2.2} = 1,6 (0,08 \times 1,3 \times \frac{0,4}{1,2} + 0,066) = 0,16 \text{ m, en } z_2 = 0,071 + 0,16 = 0,231 \text{ m.}$$

Bij een verlaging van de grondwaterstand van 0,40 m ten opzichte van de oorspronkelijke toestand is $z_2 = 0,40 \times 0,231 / (0,40 + 0,231) = 0,146 \text{ m}$.

Voor profiel 3 en 4 kan de volgende klink worden berekend: z_3 na correctie 0,047 m en z_4 na correctie 0,103 m.

Formule Ostromecki

De formule van Ostromecki is als volgt:

$$z = A \sqrt[3]{H \times t_n^2}$$

Evenals bij de formule van Halakorpi-Segeberg worden de lengtematen uitgedrukt in meters.

A is de dichtheidsfactor van Ostromecki. De samenhang van A met het volumegewicht is eveneens in fig. 2 aangegeven.

Toepassing van deze formule geeft de volgende uitkomsten: $z_1 = 0,264 \text{ m}$ (met $A_1 = 0,4$); $z_2 = z_{2.1} + z_{2.2} = 0,06 + 0,166 = 0,226 \text{ m}$ (met $A_{2.1} = 0,14$ en $A_{2.2} = 0,28$); $z_3 = 0,205 \text{ m}$ (met $A_3 = 0,36$) en $z_4 = 0,14 \text{ m}$ (met $A_4 = 0,25$).

Op deze cijfers moet op dezelfde wijze een correctie worden aangebracht als bij de formule van Halakorpi, omdat ook hier wordt gerekend met de toekomstige grondwaterdiepte na klink. Bovendien geldt hij, evenals de volledige formule van Halakorpi, voor grondwaterstanden die aanvankelijk tot maaiveld staan.

Bij een verlaging van de grondwaterstand van 0,40 m ten opzichte van de oorspronkelijke toestand worden na correctie de volgende uitkomsten verkregen voor de zakking: $z_1 = 0,159$; $z_2 = 0,144$; $z_3 = 0,136$ en $z_4 = 0,103 \text{ m}$.

Conclusies

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de uitkomsten van de verschillende berekeningen voor de vier profielen.

Tabel 1. Klink van de vier behandelde profielen na een grondwaterstandsverlaging van 40 cm.

Profiel	1	2	3	4
Laagte (l) resp. zetwal (w)	w	l	w	l
Veendikte (in m)	2,20	2,00	1,50	1,10
Idem onder gr. w.	1,80	1,80	1,00	1,00
Klink (in m) volgens:				
Terzaghi	0,135	0,186	0,066	0,147
Halakorpi-Segeberg	0,090	0,146	0,047	0,103
Ostromecki	0,159	0,144	0,136	0,103

De uitkomsten van de volledige formule van Halakorpi-Segeberg en die van Ostromecki zijn praktisch gelijk voor de profielen 2 en 4 (laagten).

De berekening van de klink volgens Ostromecki levert ook na correctie voor de profielen 1 en 3 (zetwallen) te hoge waarden.

Samenvattend kan gesteld worden dat volgens de berekeningen van Terzaghi en Halakorpi-Segeberg bij een grondwaterstandsverlaging van 0,40 m, in de zetwallen een daling van het maaiveld verwacht kan worden van circa 6 cm bij een veendikte van 1,50 m tot 11 cm bij een veendikte van 2,20 m. In de aangrenzende laagten kan een klink worden verwacht van circa 13 tot 17 cm.

Zoals vermeld hebben de hier berekende zakkingen uitsluitend betrekking op daling van maaiveld als gevolg van klink. Zakking als gevolg van oxydatie en indroging (krimp) van de bovengrond, die in de laagten nog belangrijk kan zijn, blijft hier buiten beschouwing.

Bij vergelijking met een soortgelijke grond met een veendikte van circa 2,00 m, namelijk in de polder Mastenbroek nabij Kampen, blijkt een grondwaterstands-daling van 0,40 m een totale daling van het maaiveld van circa 20 cm tot gevolg gehad te hebben (JAARVERSLAG ICW 1964). Deze grond is te vergelijken met profiel 1, waarbij volgens Terzaghi een klink werd berekend van circa 14 cm. Het verschil is zeer waarschijnlijk toe te schrijven aan oxydatie en krimp van de bovengrond.

Oxydatie van organisch materiaal speelt een grotere rol dan algemeen wordt aangenomen. Dit kan in de polder Mastenbroek duidelijk worden aangetoond.

Wat de tijd betreft waarbinnen een dergelijke zakking optreedt kan slechts worden gezegd, dat dit zich in de polder Mastenbroek binnen een periode van 50 jaar heeft afgespeeld.

In verband met het bovenstaande kan bij een grondwaterstandsverlaging van 0,40 m binnen een periode van 50 jaar, waarbij wordt aangenomen dat de oxydatie en krimp 50% van de totale zakking veroorzaakt, een daling van het maaiveld worden verwacht van circa 10 tot 30 cm, afhankelijk van de dikte en samenstelling van het veen.

Met behulp van de berekende waarden voor de zetting in het gebied Oldelamer als gevolg van een grondwaterstandsverlaging van 40 cm is het mogelijk de klink voor andere grondwaterstandsverlagingen in dat gebied te bepalen, aangezien de klink in elk bepaald profiel immers recht evenredig is met de grondwaterstands-daling.

Literatuur

JAARVERSLAG I.C.W. 1964: 38—40.

SEGEBERG, H. 1960. Moorsackungen durch Grundwasserabsenkung und deren Vorausberechnung mit Hilfe empirischer Formeln. Zeitschr. Kulturtechnik 1, 3: 144—161.

WILLET, J. R. 1964. Zettingsberekening in de cultuurtechniek. Tijdschr. Kon. Ned. Heide Mij. 75, 6: 309—314.

ZUUR, A. J. 1958. Bodemkunde der Nederlandse bedijkingen en drongmakerijen, deel C.