

CODEN: IBBRAH (8-86) 1-36 (1985)

ISSN 0434-6793

I N S T I T U U T V O O R B O D E M V R U C H T B A A R H E I D

RAPPORT 8-86

DE KALKTOESTAND VEREIST VOOR EEN GOEDE STRUCTUUR EN GEWASOPBRENGST

**With a summary: Calcium status required for a good soil structure and  
crop growth**

door

P. Boekel

1986

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Postbus 30003, 9750 RA  
Haren (Gr.)

---

**Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 8-86 (1985) 36 pp.**



## INHOUD

|   |    |
|---|----|
| 1. Inleiding  | 3  |
| 2. Belangrijke aspecten van de bodemstructuur   | 5  |
| 2.1. Slempigheid van de grond   | 5  |
| 2.2. Gedrag van de grond tegenover mechanische krachten   | 6  |
| 2.3. De actuele structuur van de grond  | 8  |
| 2.4. Algemene opmerking   | 9  |
| 3. Aspecten van de kalktoestand   | 10 |
| 3.1. Vormen waarin Ca voorkomt  | 10 |
| 3.2. Samenhang tussen de verschillende kalkvormen   | 11 |
| 4. Kalktoestand en slempgevoeligheid  | 14 |
| 5. Kalktoestand en bewerkbaarheid   | 20 |
| 5.1. Bewerkbaarheid in het voorjaar   | 20 |
| 5.2. Verkruimelbaarheid van de grond  | 23 |
| 6. Kalktoestand en actuele structuur  | 24 |
| 7. Kalktoestand en opbrengst  | 28 |
| 8. Gewenste kalktoestand in verband met de verschillende structuur-<br>aspecten en de opbrengst | 30 |
| 9. Wat moet nu het bekalkingsadvies zijn?   | 31 |
| 10. Samenvatting  | 34 |
| 11. Summary   | 35 |
| 12. Literatuur  | 36 |

## 1. INLEIDING

Een goede conditie van de grond vormt de basis voor goede bedrijfsuitkomsten. Voorheen waren in dat opzicht vooral de chemische eigenschappen van betekenis. Gronden met de beste voedingstoestand werden het hoogst gewaardeerd. De laatste decennia is daar een duidelijke kentering in gekomen. Door het gebruik van kunstmeststoffen is de chemische vruchtbaarheid een veel minder waardebepalend element geworden. De voedingstoestand kan immers op eenvoudige en goedkope wijze worden geregeld. De fysische eigenschappen van de grond zijn echter in betekenis toegenomen. Door allerlei ontwikkelingen in de landbouw worden daaraan steeds hogere eisen gesteld. In de eerste plaats is er de steeds nog toenemende mechanisatie. Het houdt in dat onder verschillende omstandigheden met allerlei machines op de grond moet kunnen worden gereden zonder al te diep weg te zakken of de grond te versmeren of te verdichten. Het houdt ook in dat bij de verbouw van bol- en knolgewassen ten behoeve van het mechanisch rooien de grond gemakkelijk moet willen verkrumelen.

In de huidige akkerbouw is er verder een ontwikkeling naar nauwere bouwplannen met vaak een hoog percentage aardappelen en bieten. Om de daarbij benodigde teelttechnische maatregelen (fijnmaken van de grond bij rugopbouw, zaaibedbereiding, oogsten, grondontsmetting) goed te kunnen uitvoeren, zullen bepaalde eisen aan de conditie van de grond moeten worden gesteld. Anderzijds echter kunnen veel van die maatregelen als minder bevorderlijk voor de bodemstructuur worden beschouwd.

Daarom zal moeten worden geprobeerd de cultuurgronden in een dusdanige toestand te brengen dat de moderne ontwikkeling zonder moeilijkheden kan plaatsvinden. In sommige gevallen zal dieper moeten worden ontwaterd, in andere zal verbetering gezocht moeten worden in de organische-stoftoestand, in vele gevallen zal de kalktoestand moeten worden opgevoerd. Dit laatste geldt vooral voor klei- en zavelgronden, zoals uit eerder onderzoek is gebleken (Boekel, 1959).

Een belangrijke vraag daarbij is welke kalktoestand op verschillende grondsoorten vereist is om een rendabel effect op de fysische eigenschappen en de opbrengst te verkrijgen en hoeveel en welke kalkmeststof daarbij moet worden gebruikt.

Om op die vraag antwoord te kunnen geven werden de in de loop van vele jaren (1950-1980) verkregen gegevens over de betekenis van de kalktoestand op verschillende aspecten van de bodemstructuur beoordeeld. Om tot een verantwoorde adviesgeving op het gebied van bekalking te komen zullen in het voorliggende rapport de voornaamste resultaten uit het onderzoek samen met eerder gepubliceerde gegevens over de relatie tussen kalktoestand en opbrengst (Boskma, 1967) worden behandeld.

## 2. BELANGRIJKE ASPECTEN VAN DE BODEMSTRUCTUUR

Het begrip bodemstructuur is complex. Het is niet één bepaalde duidelijk te omschrijven eigenschap, maar binnen dit begrip kunnen verschillende aspecten worden onderscheiden, waarvan voor de praktijk op klei- en zavelgronden vooral van belang zijn:

1. de slempigheid van de grond,
2. het gedrag van de grond tegen mechanische krachten als berijden en bewerken, en
3. de actuele structuur.

### 2.1. Slempigheid van de grond

Het kenmerkende van slempigheid is dat de grond onder invloed van zware regenval of overmaat aan water dichtslaat of dichtvloeit (Pelgrum, 1963). Dit euvel komt vooral in de herfst en de winter op lichtere gronden voor en kan dan schade aanrichten aan gewassen die voor de winter worden gezaaid of gepoot zoals wintergranen en tulpen (figuur 1).



**Figuur 1. Schadelijke verslemping bij tulpen.**  
**Figure 1. Detrimental slaking in a tulip field.**

Ook in het voorjaar kan schadelijke verslemping voorkomen, wanneer kort na inzaai van zomergewassen in een vlak en fijn zaaibed zware regenval optreedt, waardoor het bovenste laagje van de grond dichtslaat en daarna onder droge omstandigheden korstvorming optreedt. Een slechte en onregelmatige opkomst kan daarvan het gevolg zijn.

Een ander ongunstig effect van verslemping is het feit dat in het voorjaar meer tijd en moeite zal moeten worden besteed aan het weer in goede structuurtoestand brengen van de dichtgeslagen grond.

De **slempigheid** van de grond werd meestal in het voorjaar, voordat met de voorjaarswerkzaamheden werd begonnen, op het oog beoordeeld. De grond is dan na het op wintervoor ploegen in de herfst een lange tijd aan ongunstige weersomstandigheden blootgesteld geweest. Bij deze beoordeling wordt een waardering uitgesproken over de oppervlakteligging van de grond, waarbij een cijfer wordt gegeven in een schaal van 1-9.

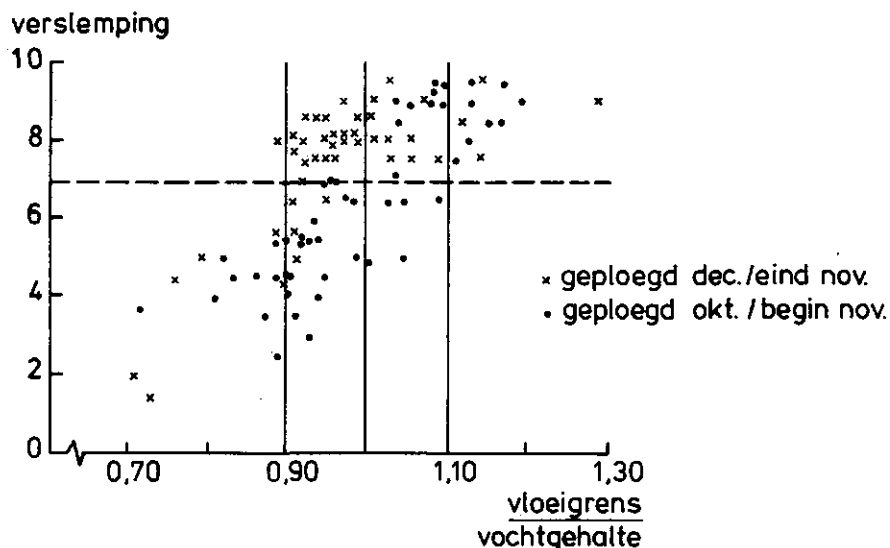
De slempigheid kan ook worden gekarakteriseerd door bepaling van de vloeigrens en van het vochtgehalte dat onder natte omstandigheden in het veld voorkomt of dat met een bepaalde pF-waarde correspondeert (bv. pF 2). De ligging van dit laatste vochtgehalte t.o.v. de vloeigrens is dan een maat voor de slempigheid. Ligt het vochtgehalte van de bouwvoor veelvuldig boven de vloeigrens, dan zal de grond ineenvloeien; ligt het er doorlopend beneden, dan zal geen verslemping optreden. In figuur 2 is het verband tussen de verhouding vloeigrens/vochtgehalte en verslemping weergegeven (Boekel, 1965).

Uit deze figuur blijkt dat zowel bij vroeg als later ploegen geen schadelijke verslemping optreedt (verslempingscijfer  $< 7$ ) wanneer de verhouding groter is dan 1,10. Bij een verhouding die ligt tussen 1,10 en 1,00 treedt alleen op enkele vroeg geploegde percelen enige verslemping op. Bij een verhouding  $< 0,90$  treedt in alle gevallen zeer ernstige verslemping op. Op grond van deze figuur kan worden gesteld dat gestreefd moet worden naar een verhouding tussen vloeigrens en vochtgehalte die groter is dan 1,00.

## **2.2. Gedrag van de grond tegenover mechanische krachten**

De cultuurgronden worden bij de moderne teelttechnieken aan een hele reeks mechanische ingrepen onderworpen. Ze worden daarbij vrij intensief onder uiteenlopende omstandigheden met zware machines bereiden. Vlak voor of tijdens de groeiperiode moet dat mogelijk zijn zonder dat de grond te

sterk verdicht of versmeerd wordt. Het onststaan van structuurschade bij de oogst vormt eveneens een probleem, maar meestal is daarbij door middel van een aangepaste groundbewerking en onder invloed van de weersomstandigheden herstel mogelijk.



Figuur 2. Verband tussen de verhouding vloeigrens/vochtgehalte en de mate van verslemping (Boekel, 1965). Waarden < 7 = schadelijke slomp.  
**Figure 2. Relation between the ratio upper plastic limit/moisture content and the degree of slaking (Boekel, 1965). Values < 7 detrimental slaking.**

Bij de huidige stand van zaken wordt er nog regelmatig in de grond gewerkt, o.a. om structuurschade te herstellen, onkruid te bestrijden, organisch materiaal in te werken, het land zaai- en pootklaar te maken, rooivruchten te oogsten. Dergelijke bewerkingen moeten zonder veel moeilijkheden en zonder veel kosten kunnen worden uitgevoerd. Daarvoor is een gemakkelijke verkruielbaarheid noodzakelijk. Verder zijn vooral de bewerkingsmogelijkheden in het voorjaar belangrijk. Wanneer vroeg in het voorjaar kan worden gezaaid of gepoot, betekent dit meestal een hogere opbrengst (1-1,5% per dag eerder zaaien) en een vroegere oogstmogelijkheid (Wind, 1960; Boekel 1978/'79). Het betekent ook een ruimer bewerkingstraject en daarmee een gunstiger en gemakkelijker werkverdeling.

De **verkruielbaarheid** kan worden gekarakteriseerd door onder vrij droge omstandigheden een spit grond uit de bouwvoor te nemen, tussen de vingers

te verkrumelen en dan, afgaande op de kracht die dat kost, een waarderingscijfer B(inding) in een schaal van 1-10 te geven. Bij geringe binding wordt een laag cijfer gegeven, bij sterke binding een hoog cijfer.

De **bewerkbaarheid in het voorjaar** kan op verschillende manieren worden gekarakteriseerd. Het plastisch of verkrumelbaar zijn van de grond kan worden beoordeeld door de grond tussen de vingers te kneden of te verkrumelen. Een andere mogelijkheid voor het karakteriseren van de bewerkbaarheid vormt enerzijds de bepaling van het vochtgehalte waarbij de plastische toestand in de verkrumelbare overgaat - dat komt vrijwel overeen met de uitrolgrens - en anderzijds het verloop van het vochtgehalte in het veld. Wil een grond goed bewerkbaar zijn, dan moet het vochtgehalte **niet** boven de uitrolgrens liggen.

### 2.3. De actuele structuur van de grond

De actuele structuur of ruimtelijke opbouw van de grond is in het bijzonder van belang voor de groeimogelijkheden en de opbrengst van de verschillende gewassen (Boekel, 1963). Bij een actuele structuur waarbij de grond erg dicht is, kan als gevolg van een onvoldoende aëratie of een te grote mechanische weerstand de beworteling worden beperkt waardoor niet voldoende water en voedingsstoffen kunnen worden opgenomen (figuur 3). Dat kan vooral in zomers met veel neerslag zoals in 1985 het geval was, lagere opbrengsten tot gevolg hebben.

Aan de andere kant kan een actuele structuur waarbij de grond erg los is, ook problemen opleveren. Doordat in een dergelijke situatie het capillair vochttransport gering is, kan een gewas onder droge omstandigheden onvoldoende water en voedingsstoffen opnemen.

De **actuele structuur van de grond** werd steeds beoordeeld tijdens of direct na de groei van het gewas. De meest toegepaste methode is de visuele beoordeling (Peerlkamp, 1959), waarbij van een aantal (15-20) spitten grond per object de ruimtelijke opbouw van de grond wordt beoordeeld. Een hoog cijfer wordt gegeven voor een losse open grond en een laag cijfer voor een vaste compacte grond. In vele gevallen werden ook het poriënvolume en het vocht- en luchtgehalte (bij bemonstering en bij pF 2) bepaald, maar te incidenteel en te onregelmatig om deze cijfers bij een algehele verwerking van de resultaten te gebruiken.





**Figuur 3.** Invloed van de structuur op de groei van suikerbieten.

Links: Onvoldoende groei en vertakte bieten bij slechte structuur.

Rechts: Goede groei bij een betere structuur.

**Figure 3.** Effect of soil structure on growth of sugar beet.

#### **2.4. Algemene opmerking**

Vanwege de grote invloed van de weersomstandigheden op zowel de slemp als de bewerkbaarheid van de grond zal de situatie van jaar tot jaar verschillen, met als gevolg dat ook de actuele structuurtoestand van jaar tot jaar zal verschillen. Door structuurverbeterende maatregelen zal de grond in een dusdanige toestand moeten worden gebracht dat hij minder gevoelig wordt voor invloeden die de structuur kunnen verslechteren. Bekalking kan in dat opzicht, in het bijzonder op kleigronden, als een belangrijke maatregel worden beschouwd.

### 3. ASPECTEN VAN DE KALKTOESTAND

#### 3.1. Vormen waarin Ca voorkomt

Het element Ca kan in verschillende vormen in de grond voorkomen.

**a. Vastgelegd als carbonaat**, dat van nature in de vorm van schelpen of zeer fijn verdeeld in de meeste zee- en rivierkleigronden aanwezig is. De bepaling hiervan gebeurt met behulp van de methode Scheibler, waarbij door toevoeging van zuur  $\text{CO}_2$  wordt vrijgemaakt en gemeten. Daaruit wordt dan de hoeveelheid  $\text{CaCO}_3$  berekend, waarbij wordt aangenomen dat alle  $\text{CO}_2$  in de vorm van  $\text{CaCO}_3$  in de grond aanwezig is. Volgens Bruin (1938) is dat echter niet het geval en komt naast het goed oplosbare  $\text{CaCO}_3$  steeds een hoeveelheid van een calcium-magnesiumverbinding voor, die veel minder oplosbaar is.

**b. Gebonden aan het door klei en humus gevormde sorptiecomplex.** Van de uitwisselbare basen van onze kleigronden neemt het Ca-ion de belangrijkste plaats in. Er komen echter aanmerkelijke verschillen voor. Door bepaling van de basenbezetting (Maschaupt en Ten Have, 1934) kan de aard en de hoeveelheid van de basen worden vastgesteld. Een dergelijke bepaling is noodzakelijk om bv. de invloed van Mg-houdende kalkmaterialen na te gaan. De mate van verzadiging van het sorptiecomplex (V) kan worden gevonden door bepaling van de hoeveelheid gebonden basen (S) en van de hoeveelheid die gebonden kan worden (T). In ons land zijn verschillen in verzadigingsgraad meestal het gevolg van verschil in aantal gebonden Ca-ionen. In het algemeen wordt door bepaling van de pH op snelle wijze een betrouwbare indruk van de verzadigingsgraad van de grond verkregen. Verzadigingsgraad en pH zeggen uiteraard niets over de aard van de gebonden ionen.

**c. Opgelost in de bodemvloeistof** en daar meestal ook het hoofdbestanddeel van de kationen vormend. Deze Ca-ionen zullen in de praktijk door een wisselend gehalte aan water en koolzuur sterk in concentratie kunnen variëren. De bepaling daarvan kan in principe gebeuren in vocht dat door uitpersen van vochtige grond in een membraanpers of hydraulische pers is

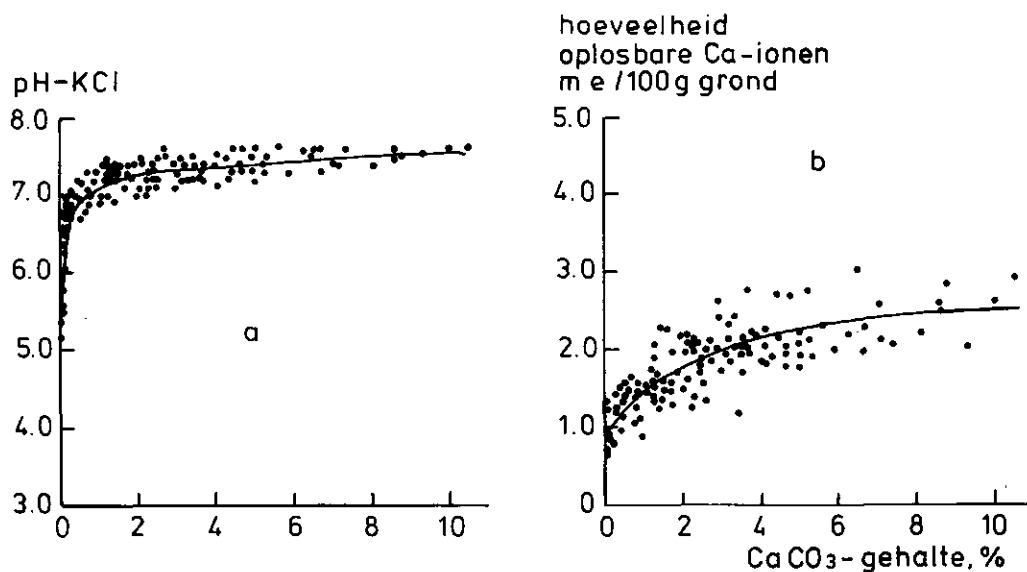
verkregen. Dit is een tijdrovende en slecht reproduceerbare methode. Omdat de hoeveelheid Ca-ionen in oplossing zal afhangen van de hoeveelheid die in oplossing kan gaan, werd dit laatste bepaald. Daartoe wordt 25 g grond met 1 liter water gepercoleerd en wordt in het percolaat door meting van het geleidingsvermogen de concentratie aan kationen bepaald.

### 3.2. Samenhang tussen de verschillende kalkvormen

Om de betekenis van de kalktoestand in het algemeen en van de verschillende kalkvormen in het bijzonder voor de structuur te kunnen vaststellen, is het noodzakelijk te weten of er enige samenhang tussen de verschillende vormen waarin Ca voorkomt bestaat. Daarom zal dat eerst worden nagegaan, waarbij van verschillende praktijksituaties zal worden uitgegaan.

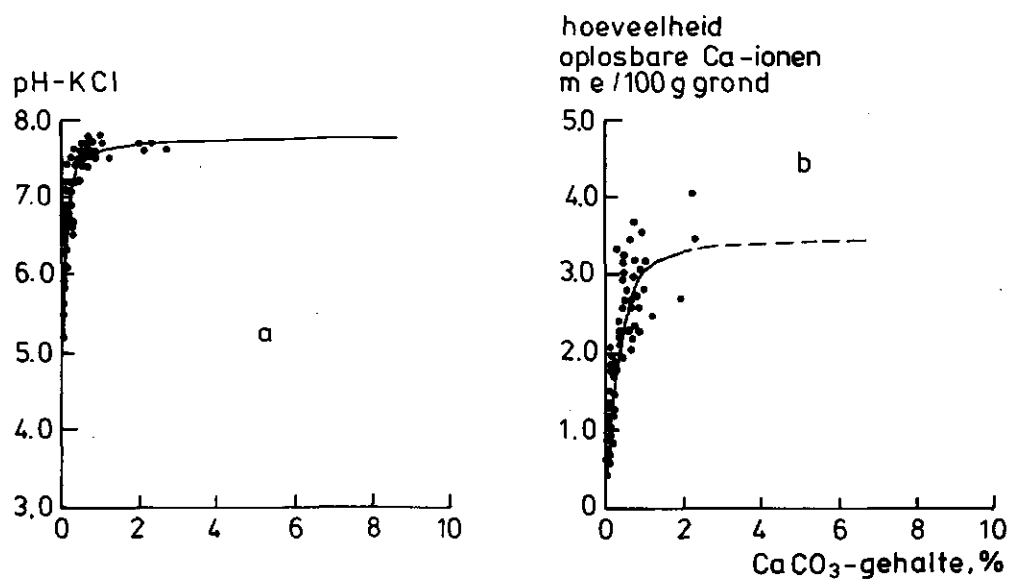
Onze jonge zeekleigronden hebben van nature een voorraad koolzure kalk. Die voorraad zal in de loop der jaren afnemen omdat in ons tamelijk regenachtige land uitwisselbare en in de bodemoplossing aanwezige Ca-ionen uitspoelen. Vanuit de reserve aan koolzure kalk worden het sorptiecomplex en de bodemoplossing weer aangevuld. De hoeveelheid koolzure kalk zal op een bepaald moment zo klein worden dat een voldoende aanvulling van de beide andere vormen niet meer kan plaatsvinden. In figuur 4 is weergegeven wat er daarna gebeurt met de hoeveelheid opgeloste Ca-ionen en met de aan het sorptiecomplex gebonden Ca-ionen, waarvoor de pH een goede maat is. Opvallend daarbij is dat de hoeveelheid oplosbare - dus ook de in oplossing aanwezig - Ca-ionen al begint af te nemen wanneer het gehalte aan koolzure kalk is gedaald tot 2 à 3%. Dat houdt verband met het eerder genoemde feit dat dit laatste gedeelte uit minder oplosbare Ca/Mg-carbonaten bestaat (Bruin, 1938). Dat zal tevens tot gevolg hebben dat in dit stadium van ontkalking het aantal Mg-ionen aan het sorptiecomplex toeneemt ten koste van de Ca-ionen. De pH vertoont een zwakke geleidelijke daling bij afneming van het gehalte aan koolzure kalk van 10 tot 1%. Hiermee wordt dus benadrukt dat de bepaling van het gehalte aan koolzure kalk eigenlijk niet juist is.

Wanneer kalk (meestal schuimaarde) aan kalkarme grond wordt toegediend, dan wordt een samenhang tussen gehalte aan koolzure kalk en de beide andere karakteristieken gevonden zoals in figuur 5 is weergegeven. Dit beeld wijkt duidelijk af van dat in figuur 4. Bij gelijke gehalten aan koolzure kalk is de pH hoger en de hoeveelheid in oplossing aanwezige Ca-ionen groter.



Figuur 4. Verandering in pH-KCl en oplosbare Ca-ionen bij afnemning van het gehalte aan koolzure kalk.

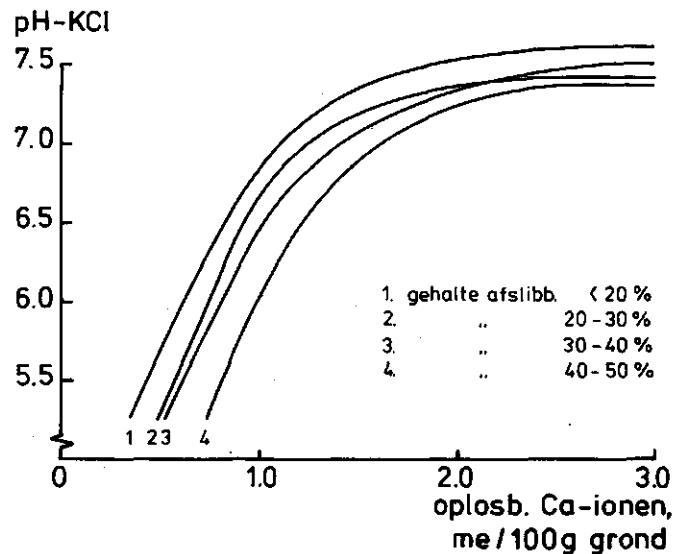
Figure 4. Effect of decreasing calcium carbonate contents on pH-KCl and amount of Ca-ions.



Figuur 5. Verandering in pH-KCl en oplosbare Ca-ionen bij toediening van schuimaarde aan kalkarme grond.

Figure 5. Effect of increasing calcium carbonate contents (application of lime waste) on pH-KCl and soluble Ca-ions.

Gezien deze resultaten kan worden verwacht dat bij gronden waar kalk in de koolzure vorm aanwezig of toegediend is, er een samenhang bestaat tussen de pH en de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen. Figuur 6 geeft die samenhang voor verschillende situaties weer.



Figuur 6. Verband tussen pH-KCl en de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen per 100 g grond in Noord-Groningen en Friesland.

Figure 6. Relation between pH-KCl and the amount of soluble Ca-ions per 100 g soil in northern Groningen and Friesland.

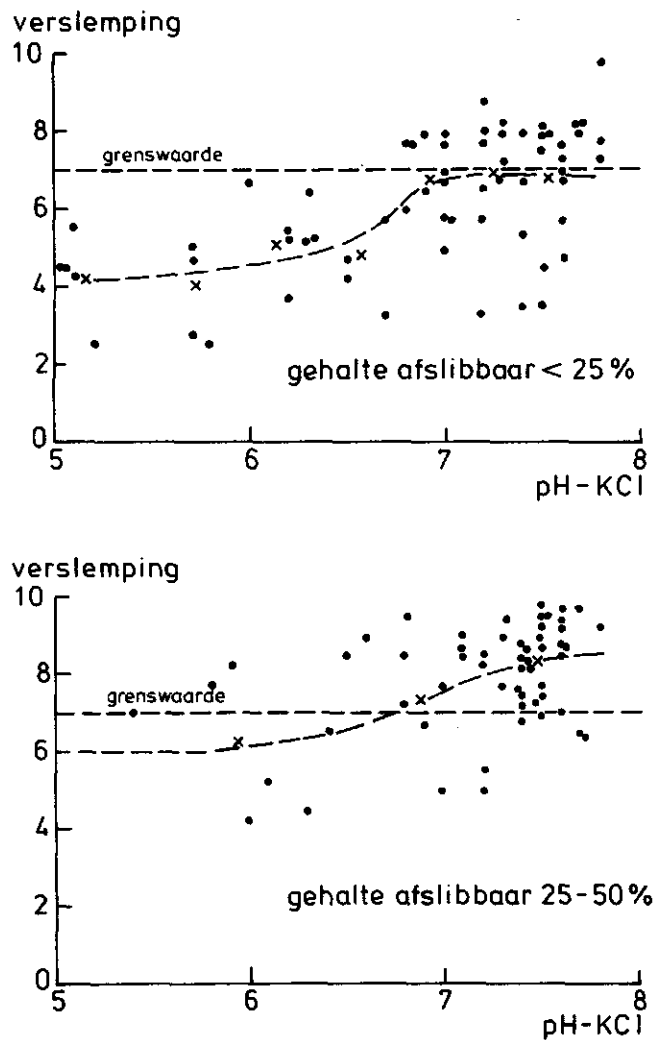
Daaruit blijkt dat bij eenzelfde pH de hoeveelheid opgeloste Ca-ionen bij zwaardere gronden hoger is dan bij lichtere gronden. Bovendien blijkt dat bij een pH > 7,0 de hoeveelheid Ca-ionen sterk kan stijgen zonder dat de pH nog veel omhoog gaat. In dat gebied geeft de pH dus geen goede informatie over de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen.

In het algemeen is de samenhang dus niet zodanig dat de pH als geheel betrouwbare karakteristiek voor de kalktoestand kan worden gebruikt, maar slechts een globale indruk daarvan geeft. Wel is duidelijk dat bij een pH-KCl lager dan 7,0 de hoeveelheid in oplossing aanwezige kationen laag is. Om voldoende informatie over de kalktoestand te krijgen zal vooral bij een pH > 7 een aanvullende bepaling van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen nodig zijn.

Bij aanwezigheid of toediening van bepaalde andere vormen van Ca-houdende materialen of kalkmeststoffen als gips is die samenhang tussen gemeten pH en hoeveelheid oplosbare Ca-ionen helemaal niet aanwezig. In dergelijke gevallen is de bepaling van de pH zeker niet voldoende en zal eveneens de hoeveelheid oplosbare ionen moeten worden vastgesteld.

## 4. KALKTOESTAND EN SLEMPGEVOELIGHEID

De invloed van de pH-KCl op de mate van verslemping, zoals die in 1962 op percelen met verschillende zwaarte van de grond werd gevonden, is in figuur 7 weergegeven.



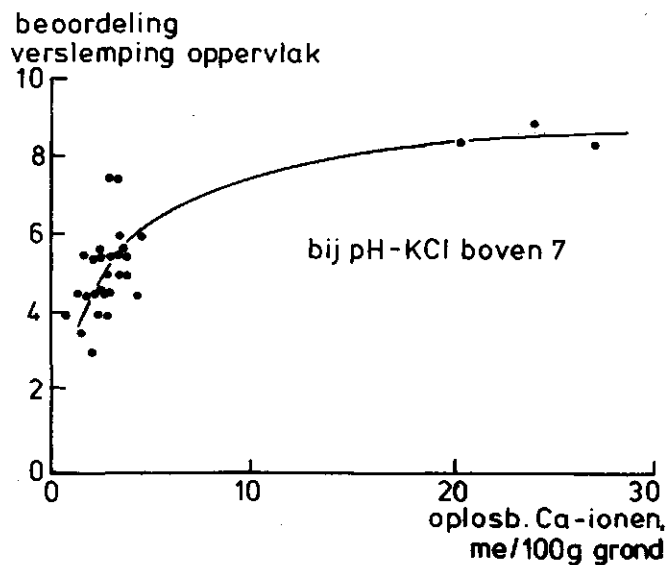
Figuur 7. Invloed van pH-KCl op de verslemping (visuele beoordeling, 1-9) van zavel- en kleigronden (bij een gehalte aan organische stof van 1,7% en grondwaterstand van gemiddeld 70 cm-mv).

**Figure 7. Effect of pH-KCl on slaking (visual rating, 1-9) of sandy loams and clay loams (organic matter content 1.7% and groundwater level averaging 70 cm below the surface).**

Daaruit blijkt dat een grond minder verslempd naarmate hij zwaarder is. Bovendien blijkt dat een verhoging van de pH van 6,5 naar 7 en hoger meer

effect heeft op de mate van verslemping dan een verhoging van de pH-KCl van 5,0 naar 6,5. Dit is een aanwijzing dat het meer de Ca-ionen in oplossing dan die aan het adsorptiecomplex zijn die bepalend zijn voor de slempgevoeligheid.

De betekenis van de oplosbare Ca-ionen voor de slempgevoeligheid is vooral duidelijk naar voren gekomen in een vakkenproef waar in het najaar van 1962 verschillende Ca-houdende materialen oppervlakkig werden ingewerkt. Uit figuur 8 blijkt dat de mate van verslemping in het pH-traject > 7 samenhangt met de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen.



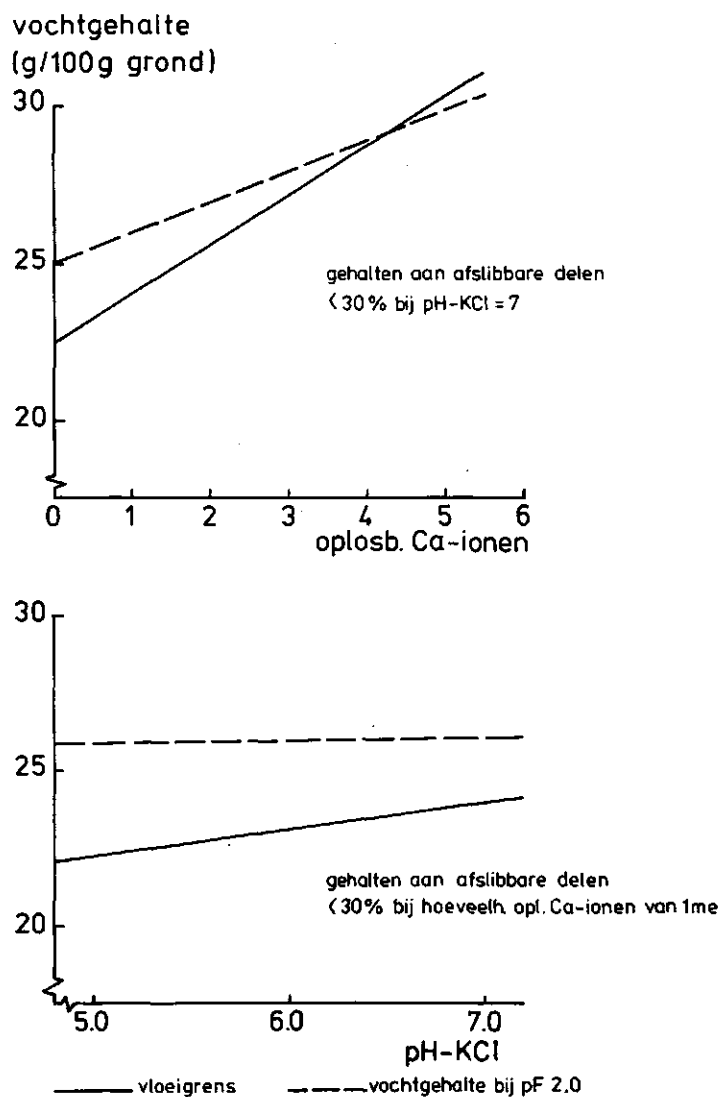
Figuur 8. Invloed van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen op de verslemping.

Figure 8. Effect of amount of soluble Ca ions on slaking.

Een invloed van de oplosbare Ca-ionen op de slempgevoeligheid op de proefplekken in Noord-Groningen komt ook naar voren bij berekening van de partiële regressiecoëfficiënten van de verbanden tussen pH-KCl en oplosbare Ca-ionen enerzijds en vloeigrens en vochtgehalte bij pF 2 anderzijds (figuur 9).

Daaruit blijkt dat zowel de vloeigrens als het vochtgehalte van de grond bij pF 2 stijgt, wanneer de hoeveelheid vrije Ca-ionen toeneemt. De vloeigrens stijgt echter meer, zodat de verhouding tussen vloeigrens en vochtgehalte groter wordt en de gevoeligheid voor verslemping afneemt. Veranderingen in de pH hebben veel minder invloed op vloeigrens, vochtgehalte en op het quotiënt en dus op de gevoeligheid voor verslemping.

Uit deze figuren kan worden afgeleid dat op lichte gronden de slempgevoeligheid klein is wanneer bij een pH van 7 de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen ruim 4 me/100 g bedraagt. Bij lagere pH zal die hoeveelheid wat hoger moeten zijn. Dit geldt dan voor een gemiddelde situatie t.a.v. andere voor de verslemping belangrijke factoren als ontwatering en organische-stofvoorziening.



**Figuur 9.** Invloed van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen en de pH-KCl op de vloeingrens en vochtgehalte bij pF 2.

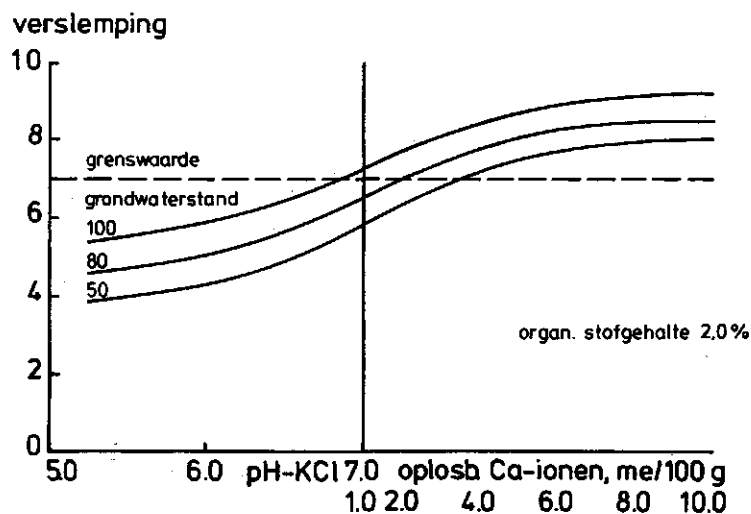
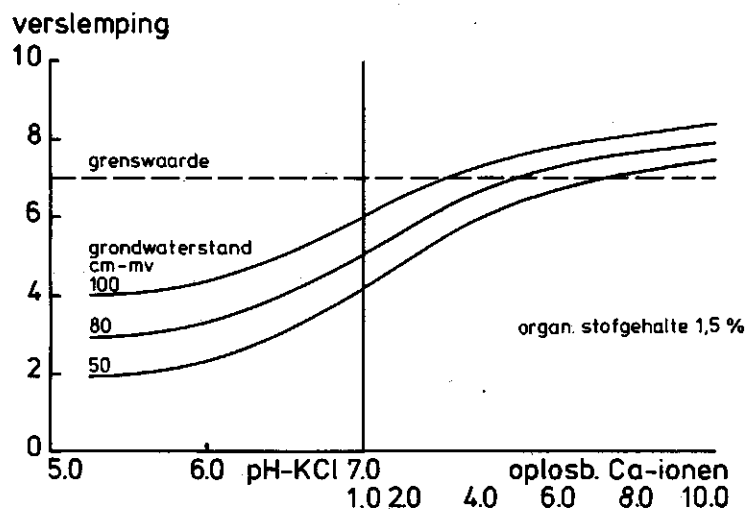
**Figure 9.** Effect of amount of soluble Ca ions and pH-KCl on upper plastic limit and on moisture content at pF 2.

Een bevestiging van de betekenis van oplosbare Ca-ionen voor de slempgevoeligheid werd verkregen op een proefveld met brandkalk en gips op lössgrond in Wijnandsrade. Ondanks het feit dat toediening van gips geen



invloed heeft op de pH van de grond wordt de verslemping door gips sterk teruggedrongen.

De vraag is welke kalktoestand in verschillende situaties t.a.v. ontwateringstoestand en gehalte aan organische stof gewenst is om van verslemping gevrijwaard te zijn. Aan de hand van de figuren 6 en 7 en met behulp van kennis over de invloed van grondwaterstand en organische stof op de verslemping kan figuur 10 worden samengesteld.



**Figuur 10. Vereiste kalktoestand om verslemping te voorkomen.**  
**Figure 10. Calcium status required to prevent slaking.**

Uit deze figuren kan worden afgeleid dat ter voorkoming van verslemping de vereiste kalktoestand uiteenloopt van pH-KCl 7,0 in combinatie met 1 me oplosbare Ca-ionen bij een gunstige situatie t.a.v. ontwatering en organische-stofgehalte tot pH-KCl > 7,0 in combinatie met 8 me oplosbare Ca-ionen bij een slechte situatie t.a.v. de andere factoren.

Een andere mogelijkheid om de gewenste kalktoestand i.v.m. verslumping vast te stellen bieden de gegevens over vloeigrens en vochtgehalte. Aan de hand van de in figuur 9 weergegeven samenhang tussen pH-KCl en hoeveelheid oplosbare Ca-ionen enerzijds en vloeigrens en vochtgehalte bij pF 2 anderzijds en met behulp van gegevens over de invloed van organische stof en grondwaterstand daarop en van gegevens over het gewichtsperscentage vocht bij verschillende pF-waarden, zoals door Poelman en Van Egmond (1979) in Stiboka-rapport no. 1492 werden vermeld, kan globaal de invloed van pH-KCl en hoeveelheid oplosbare Ca-ionen op vloeigrens en vochtgehalte bij verschillende situaties t.a.v. afslibbare delen, gehalte aan organische stof en grondwaterstand worden aangegeven (figuur 11).

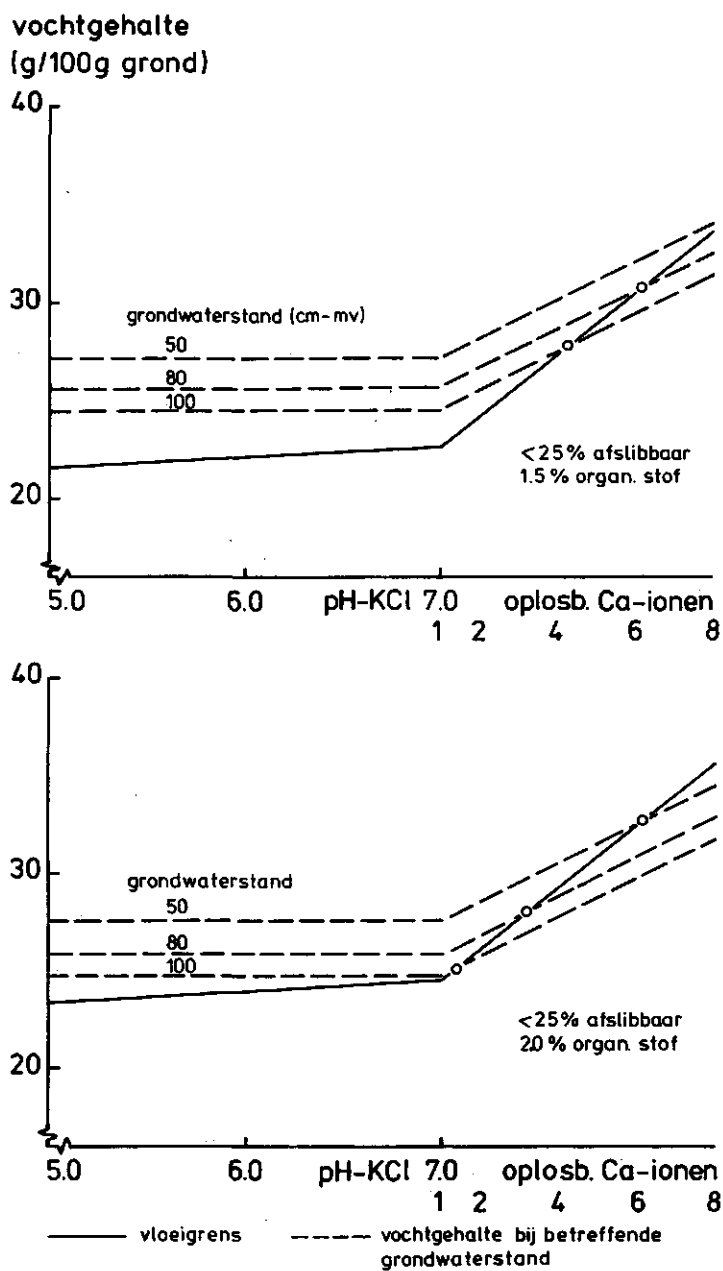
Ook uit deze figuur kan worden afgeleid welke kalktoestand vereist is om verslumping te voorkomen. Voor enkele situaties is dat in tabel 1 weergegeven.

In het algemeen is er een redelijke overeenstemming tussen de resultaten van beide methoden van afleiding van de vereiste kalktoestand. Duidelijk is dat in situaties met hogere grondwaterstand en lagere gehalten aan organische stof hoge eisen aan de kalktoestand (pH 7,7 + hoge gehalten aan oplosbare kalk) worden gesteld. Bij een goede ontwatering en hoog gehalte aan organische stof daarentegen kan met een pH van omstreeks 7 worden volstaan.

TABEL 1. Vereiste kalktoestand bij verschillende situaties t.a.v. ontwatering en organische-stofgehalte om verslumping te voorkomen.

TABLE 1. Calcium status required to prevent slaking under different conditions with respect to groundwater level and organic-matter content.

| Bij grondwaterstand | Bij gehalte organ. stof | Afgeleid via visuele beoordeling verslumping |         | Afgeleid via gegevens over vloeigrens en vochtgehalte |         |
|---------------------|-------------------------|--|---------|---|---------|
|                     |                         | pH-KCl                                       | opl. Ca | pH-KCl  | opl. Ca |
| 50 cm               | 1,5%                    | > 7,0  | 8,0 me  | > 7,0   | 8,5 me  |
|                     | 2,0%                    | > 7,0  | 3,5 me  | > 7,0   | 6,0 me  |
| 80 cm               | 1,5%                    | > 7,0  | 5,5 me  | > 7,0   | 6,5 me  |
|                     | 2,0%                    | > 7,0  | 2,0 me  | > 7,0   | 4,5 me  |
| 100 cm              | 1,5%                    | > 7,0  | 3,5 me  | > 7,0   | 4,5 me  |
|                     | 2,0%                    | 7,0  | 1,0 me  | > 7,0   | 1,5 me  |



Figuur 11. Afleiding van vereiste kalktoestand om verslemping te voorkomen.

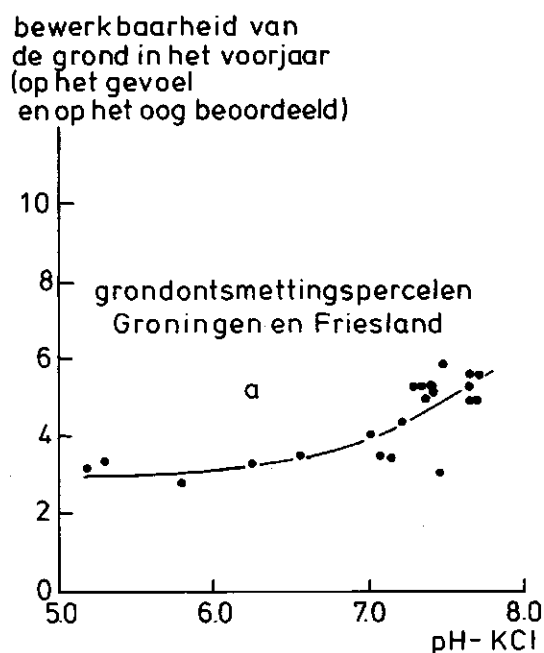
o: snijpunt vloei-grens-vochtgehalte geeft vereiste kalktoestand aan.

Figure 11. Graphical determination of the calcium status required to prevent slaking.

## 5. KALKTOESTAND EN BEWERKBAARHEID

### 5.1. Bewerkbaarheid in het voorjaar

Van een serie grondontsmettingsproefobjecten in Groningen en Friesland werd de bewerkbaarheid van de grond, op het oog en het gevoel in het voorjaar beoordeeld, in verband gebracht met de pH van de grond. Uit figuur 12 blijkt dat, evenals dat het geval was bij de verslemping, een pH-stijging van 5,0 naar 7,0 nauwelijks invloed heeft op de bewerkbaarheid. De bewerkbaarheid wordt pas duidelijk beter wanneer de pH-KCl > 7,0 wordt. Ook dit wijst op een mogelijke rol van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen.

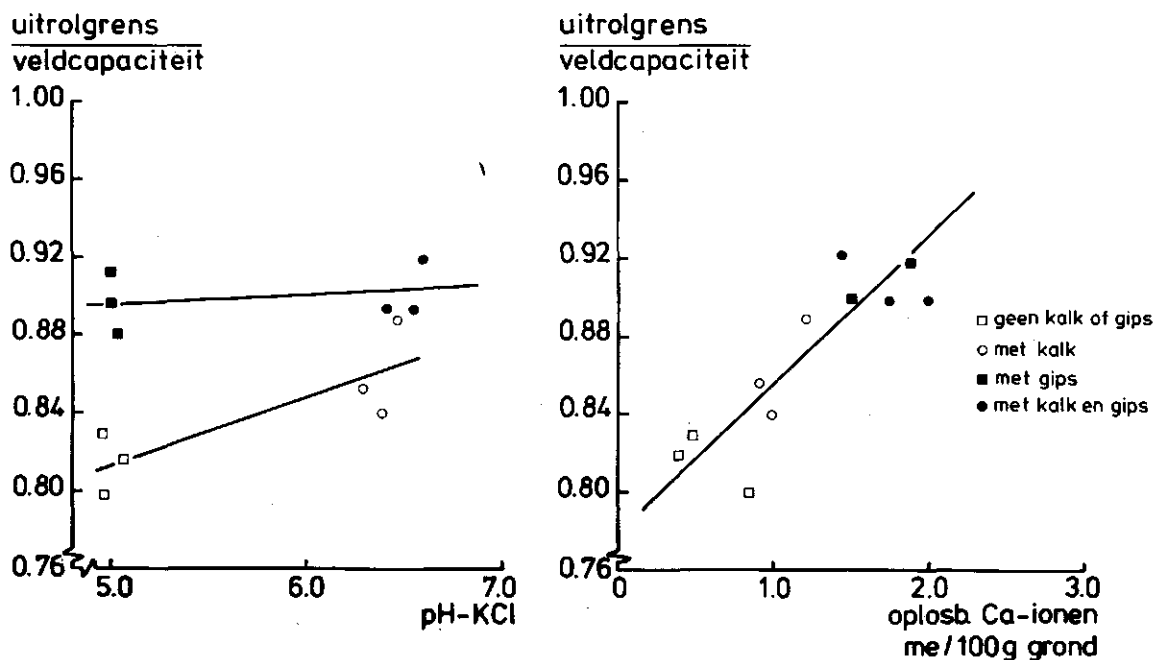


Figuur 12. Invloed van de pH-KCl op de bewerkbaarheid van de grond visueel beoordeeld (Boekel, 1978/'79).

Figure 12. Effect of pH-KCl on soil workability (visual rating; Boekel, 1978/'79).

Een invloed van de oplosbare Ca-ionen kwam duidelijk naar voren op een proefveld met kalk en gips op een zware kleigrond te Nieuw-Beerta. Uit-

rolgrens en veldcapaciteit werden bepaald en de samenhang met pH-KCl en hoeveelheid oplosbare Ca-ionen werd nagegaan (figuur 13).



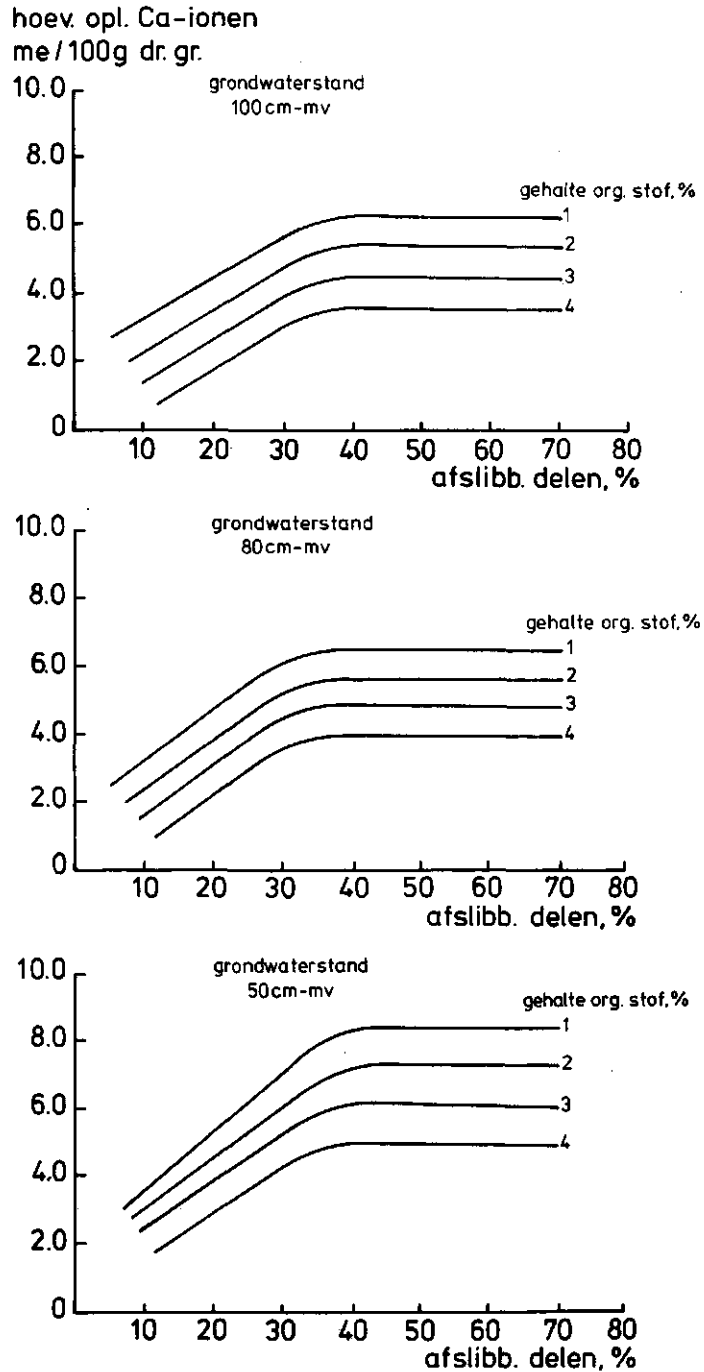
Figuur 13. Invloed van pH en oplosbare Ca-ionen op de verhouding uitrolgrens:veldcapaciteit.

Figure 13. Effect of pH and amount of soluble Ca ions on the ratio lower elastic limit/field capacity.

□ = no lime or gypsum; ○ = lime without gypsum; ■ = gypsum without lime; ● = gypsum and lime;

Uit deze figuur en aan de hand van gegevens over de invloed van gehalten aan afslibbare delen en organische stof en van de grondwaterstand op uitrolgrens en vochtgehalte kon globaal worden afgeleid welke kalktoestand in de vorm van hoeveelheid oplosbare Ca-ionen nodig is om voor verschillende situaties een voldoende bewerkbaarheid te verkrijgen (figuur 14). Daaruit kan worden geconcludeerd dat op alle gronden (uiteenlopend in gehalte aan afslibbare delen) bij goede ontwatering bij een algemeen voorkomend gehalte aan organische stof (ongeveer 2% bij zavelgronden en 4% bij zware kleigronden) een hoeveelheid oplosbare Ca-ionen van meer dan 3,5 à 4 me voor de grond nodig is. Uit de figuren 4 en 5 die het verband weergeven tussen het gehalte aan koolzure kalk en de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen, blijkt dat op niet-bekalkte gronden ook bij hoge gehalten aan koolzure kalk de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen veelal beneden 3 me blijft, maar door bemesting met schuimaarde duidelijk in de buurt van de

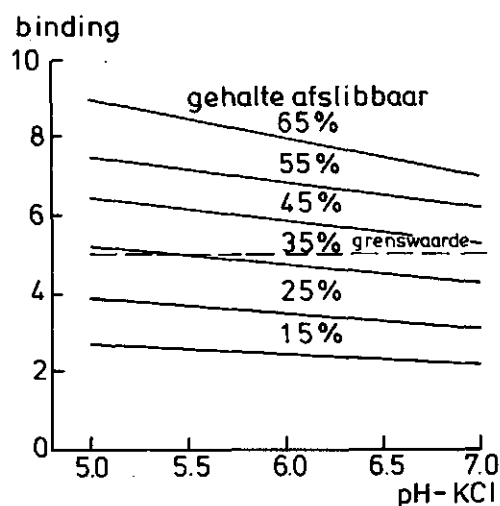
3,5-4 me komt. Dit verklaart de gunstige ervaringen met schuimaarde op kalkrijke gronden.



Figuur 14. Vereiste kalktoestand voor een goede bewerkbaarheid (uitrolgrens/vochtgehalte > 1).  
**Figure 14. Calcium status required for a good workability (lower plastic limit/field capacity > 1).**

## 5.2. Verkruijmelbaarheid van de grond

De moderne teelttechnieken stellen hoge eisen aan de verkruijmelbaarheid van de grond. Voor het telen van aardappelen en bieten zou de binding de waarde 5 niet mogen overschrijden. De binding van de grond hangt sterk samen met de zwaarte van de grond, maar ook de kalktoestand is van invloed. In figuur 15 wordt de invloed van de pH-KCl op de binding van de grond bij verschillende zwaarten weergegeven.



Figuur 15. Invloed van de pH-KCl op de binding van de grond bij diverse gehalten aan afslibbare delen.

Figure 15. Effect of pH-KCl on ease of crumbling of the soil (judged by crushing it between the fingers; rating 1-10) at different contents of particles < 16  $\mu\text{m}$ .

Uit figuur 15 blijkt dat de binding minder is bij hogere pH's. Bij gronden met een gehalte aan afslibbare delen hoger dan 45% komt echter ook bij hoge pH de binding niet beneden de gewenste waarde. Een verhoging van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen zal vermoedelijk nog een verdere verbetering van de verkruijmelbaarheid betekenen. Daarover zijn echter geen gegevens beschikbaar.

## 6. KALKTOESTAND EN ACTUELE STRUCTUUR

Bij berekening van de regressiecoëfficiënten tussen visuele structuurbeoordeling en pH-KCl voor een groot aantal proefobjecten uit de periode 1950-1963 werd het in figuur 16 weergegeven resultaat verkregen. In vrijwel alle gevallen is de invloed van de pH positief. Daarbij is die invloed op lichte zavelgronden geringer dan bij de zware kleigronden.

Verder kan worden geconstateerd dat bij de zware kleigronden de structuur in het algemeen slechter is dan op de lichte gronden.

Om wat nader te worden geïnformeerd over de wijze waarop de invloed van pH tot stand komt, werd voor enkele gevallen de samenhang daarvan met structuur verder nagegaan (figuur 17).

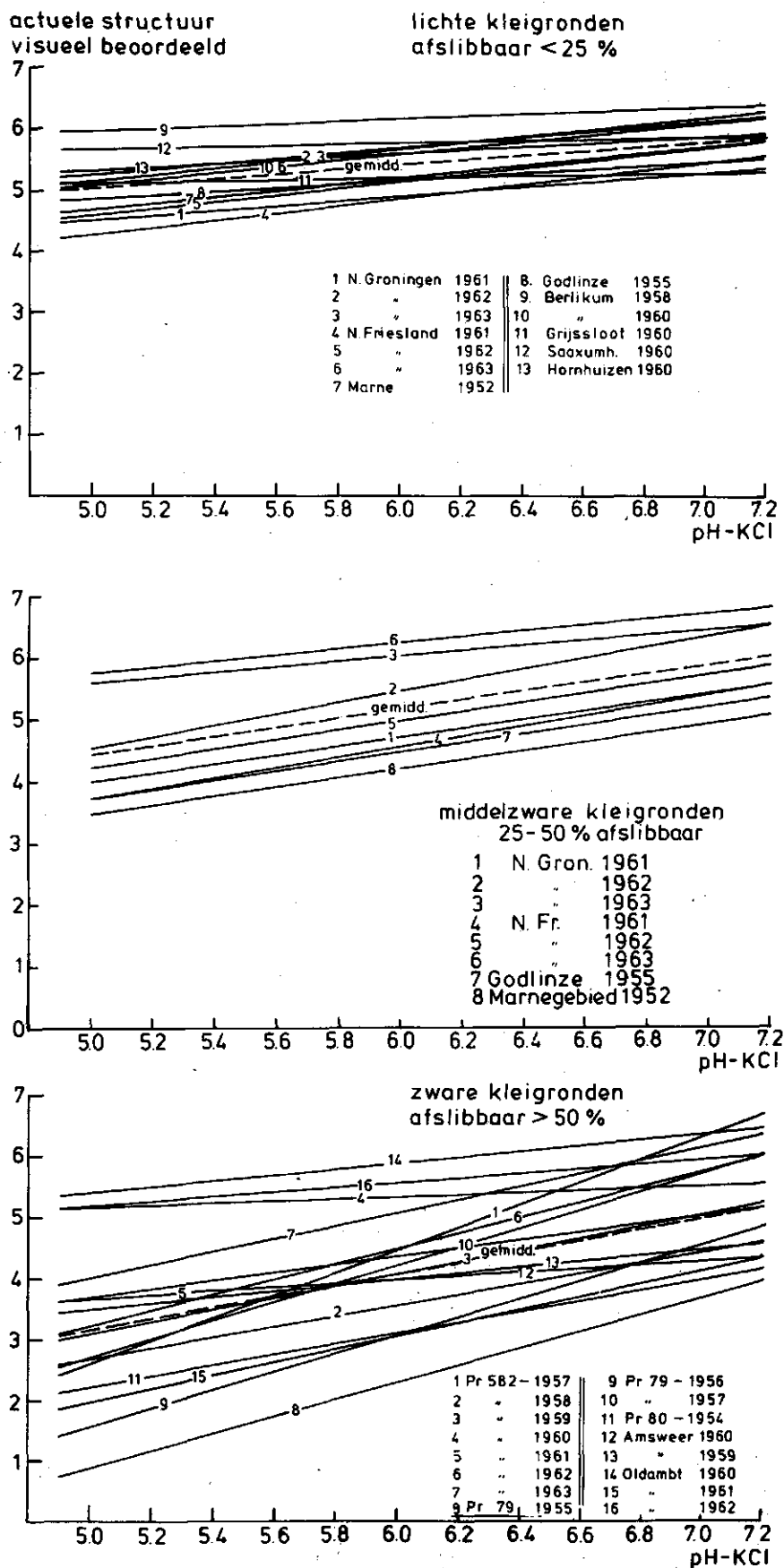
Opvallend is dat bij de lichte gronden een pH-verhoging van 5,0 naar 7,0 nauwelijks invloed heeft op de structuur, terwijl dat op de zware gronden wel het geval is. Verder blijkt in alle vier gevallen in het pH-traject 7,0-7,5, waarin de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen sterk kan toenemen, een duidelijke structuurverbetering mogelijk. Dit wijst ook hier op een invloed van de oplosbare Ca-ionen.

Dat die invloed op de actuele structuur kan optreden blijkt ook uit tabel 2 waarin de invloed van kalk en gips op de actuele structuur - visueel beoordeeld - op een zware kleigrond in het Oldambt is vermeld. Door behandeling van de grond met gips is het gehalte aan oplosbare Ca-ionen sterk verhoogd zonder dat de pH veranderde en is ook de structuur aanmerkelijk verbeterd. Het effect van kalk, waarbij wel de pH werd verhoogd en de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen minder werd verhoogd dan met gips, is duidelijk minder sterk.

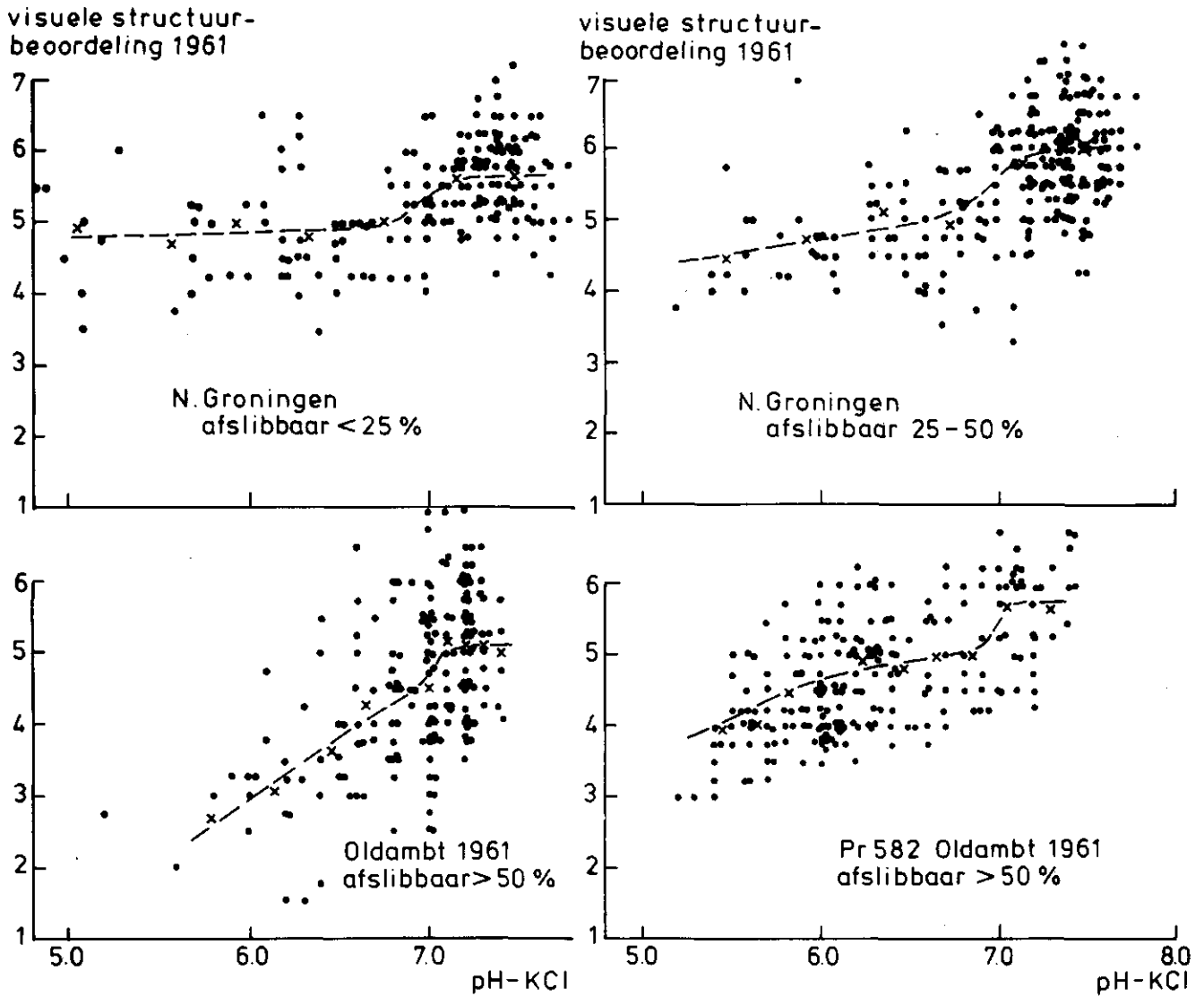
De vraag is nu of kan worden aangegeven welke kalktoestand in verschillende situaties t.a.v. zwaarte, ontwateringstoestand en organische-stofgehalte gewenst is om onder alle omstandigheden een voor een goede gewasgroei voldoende structuur te waarborgen. Onderzoek heeft aangetoond dat de structuur voldoende is wanneer op lichte gronden de structuur met 5½ wordt gewaardeerd en op zware kleigronden met 5.

Aan de hand van de in het voorgaande besproken resultaten en met behulp van gegevens over het verloop van de structuur op praktijkpercelen in Noord-Groningen in de periode 1960-1985 en over de invloed van andere factoren als gehalte aan afslibbare delen, ontwatering en gehalte aan





Figuur 16. Invloed van de pH-KCl op de actuele structuur.  
 Figure 16. Effect of pH-KCl on actual soil structure.

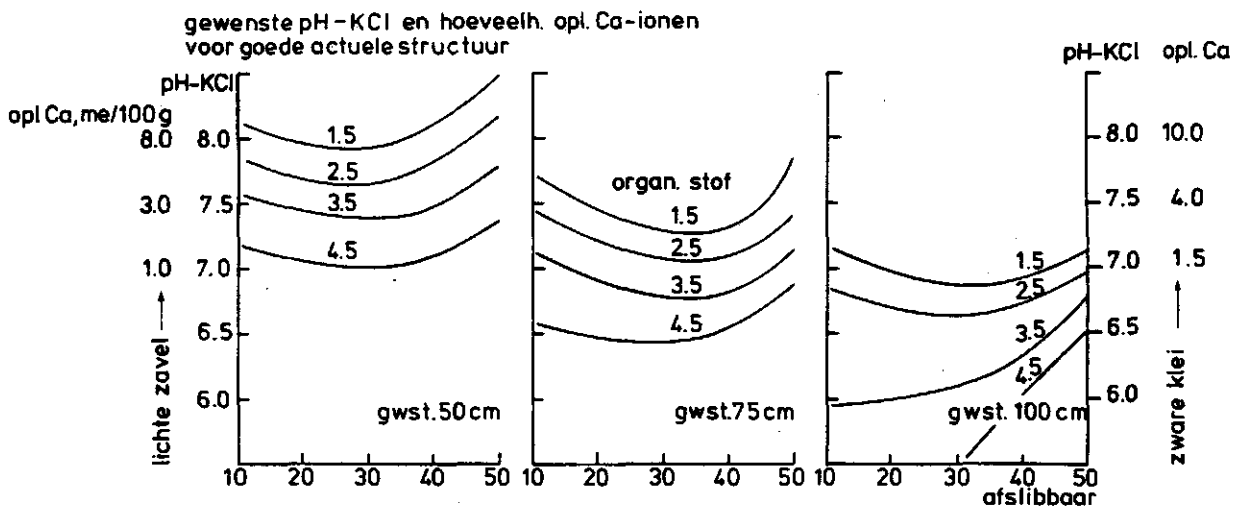


Figuur 17. Invloed van de pH-KCl op de actuele structuur.  
 Figure 17. Effect of pH-KCl on actual soil structure.

organische stof kon figuur 18 worden samengesteld. Daaruit wordt duidelijk dat ook in dit geval de vereiste kalktoestand sterk afhankelijk is van de andere factoren.

TABEL 2. Invloed van kalk en gips op de pH, oplosbare Ca-ionen en de visuele structuur op zware kleigrond in Nieuw-Beerta.  
 TABLE 2. Effect of lime and gypsum on pH, soluble Ca ions and structure (visual rating) of a heavy clay in Nieuw Beerta.

| Object            | pH-KCl | Oplosbare Ca-ionen<br>me/100 g dr. grond | Visuele<br>structuur |
|-------------------|--------|--|----------------------|
| geen kalk of gips | 5,2    | 0,34                                     | 1+                   |
| met kalk          | 6,8    | 0,93                                     | 3-                   |
| met gips          | 5,3    | 2,05                                     | 4-                   |
| met kalk en gips  | 6,7    | 1,64                                     | 5-                   |



Figuur 18. Gewenste kalktoestand bij verschillende toestanden van humusgehalte, afslibbare delen en grondwaterstand.  
 Figure 18. Calcium status desired for different conditions of humus content, content of particides < 16 μm, and groundwater level.

## 7. KALKTOESTAND EN OPBRENGST

Boskma (1967) heeft door verwerking van een groot aantal proefvelden (166 proefjaren) de gemiddelde samenhang tussen de opbrengst en de pH van de grond vastgesteld. Deze is vermeld in tabel 3.

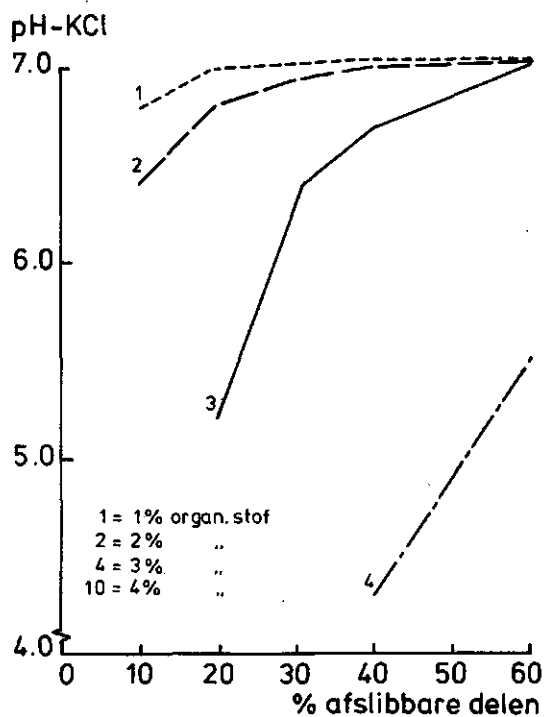
TABEL 3. Gemiddelde samenhang tussen de opbrengst in % van het maximum en de pH van kleigrond (Boskma, 1967).

TABLE 3. Average relation between relative yield (= % of maximum yield) and pH of clay soils (Boskma, 1967).

| Gewas       | pH-KCl |     |     |     |     |     |     |     |
|-------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|             | 4,4    | 4,8 | 5,2 | 5,6 | 6,0 | 6,4 | 6,8 | 7,2 |
| bieten      | 75     | 82  | 88  | 92  | 95  | 98  | 99  | 100 |
| tarwe       | 81     | 85  | 89  | 93  | 96  | 99  | 100 | 100 |
| gerst       | 83     | 88  | 91  | 94  | 96  | 99  | 100 | 100 |
| haver       | 89     | 92  | 94  | 96  | 98  | 99  | 100 | 100 |
| aardappelen | 100    | 100 | 100 | 100 | 98  | 97  | 94  | -   |
| erwten      | 88     | 95  | 98  | 99  | 100 | 100 | 100 | 98  |

De cijfers in tabel 3 gelden voor de gemiddelde gehalten aan afslibbare delen en organische stof van de desbetreffende proefjaren. Het gemiddelde gehalte aan organische stof was per gewas ongeveer gelijk (ca. 4%). De granen en erwten lagen op proefpercelen met gemiddeld  $\pm$  46% afslibbare delen, de aardappelen en bieten lagen echter op gemiddeld lichtere percelen, nl. resp. gemiddeld 31 en 34% afslibbare delen. De invloed van de pH op de opbrengst is groter naarmate het gehalte aan afslibbare delen hoger is en dat aan organische stof lager. De invloed van het gehalte aan afslibbare delen werd het nauwkeurigst en met de grootst mogelijke waarschijnlijkheid aangetoond bij de granen. Bij aardappelen en bieten werd in grote lijnen dezelfde invloed van het gehalte aan afslibbare delen en organische stof gevonden, maar kon niet betrouwbaar worden aangetoond.

Uitgaande van de reactie van granen en door deze als representatief te stellen voor het bouwplan heeft Boskma de pH-waarden berekend waarbij de opbrengst 99% van de maximale bedraagt. Deze pH-waarden in afhankelijkheid van het gehalte aan afslibbare delen worden voor 1, 2, 4 en 10% organische stof gegeven in figuur 19.



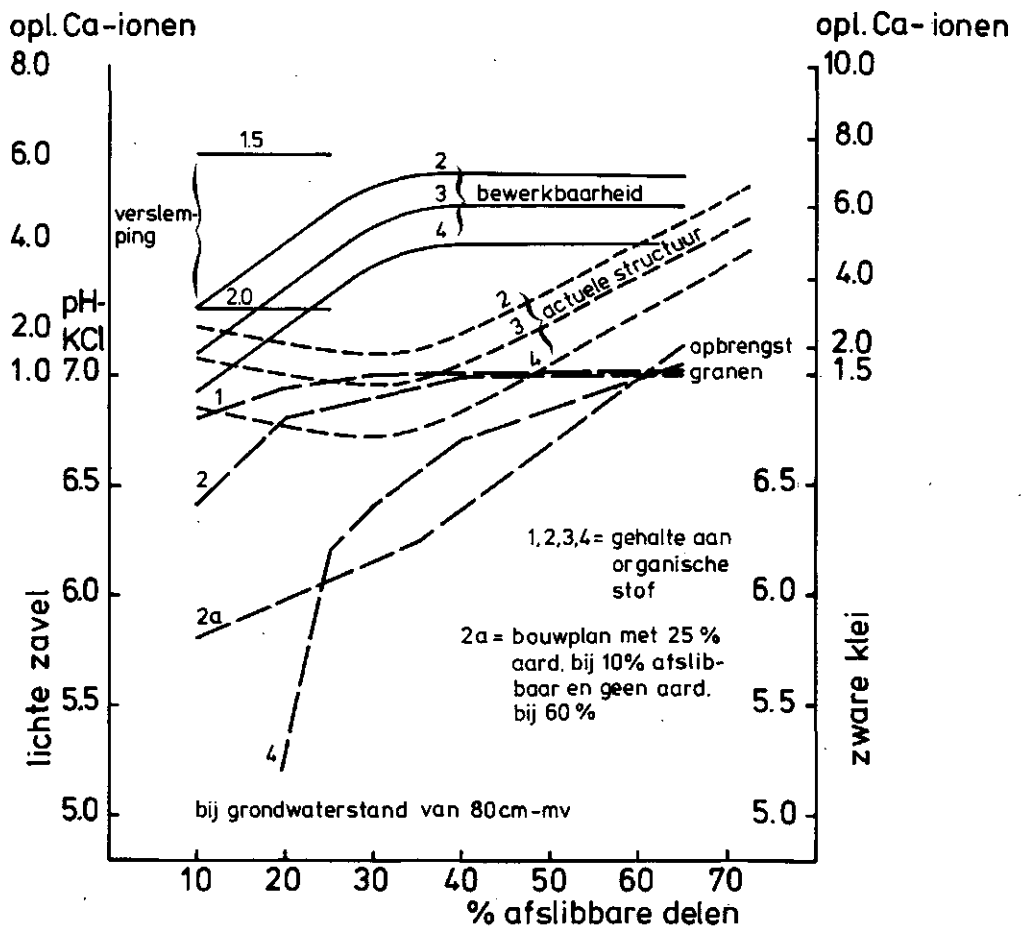
Figuur 19. Gewenste pH voor 99% van de maximale fysieke opbrengst in afhankelijkheid van de gehalten aan afslibbare delen en organische stof.

Figure 19. pH derived to obtain 99% of the maximum physical yield as affected by contents of particles < 16 μm and organic matter.

## 8. GEWENSTE KALKTOESTAND IN VERBAND MET DE VERSCHILLENDE STRUCTUURASPECTEN EN DE OPBRENGST

In het voorgaande is duidelijk naar voren gekomen dat de kalktoestand van de grond van belang is voor verschillende structuuraspecten als slempigheid, bewerkbaarheid en verkruielbaarheid en actuele structuur van de grond, alsmede voor de opbrengst. De vraag is nu welke kalktoestand in verband met al de genoemde punten gewenst is.

In figuur 30 is de kalktoestand aangegeven die op kleigronden van verschillende zwaarte en verschillend gehalte aan organische stof bij een grondwaterstand in het voorjaar van 80 cm gewenst is om de belangrijkste structuuraspecten goed in orde te hebben en om in ieder geval 99% van de maximaal haalbare opbrengst bij granen te krijgen.



Figuur 20. Gewenste kalktoestand voor een goede structuur en opbrengst.  
Figure 20. Calcium status desired for a good soil structure and crop yield.

## 9. WAT MOET NU HET BEKALKINGSADVIES ZIJN?

Het huidige advies is voornamelijk gebaseerd op onderzoek op proefvelden waarbij de invloed van de pH op de opbrengst wordt nagegaan. Het is de vraag of de invloed van de genoemde bodemfysische aspecten voldoende in deze opbrenstreactie zijn opgenomen. Omdat het pH-effect binnen percelen is gemeten, zou men verwachten dat eventuele verschillen in structuurtoestand als gevolg van verschillen in pH inderdaad in de opbrengst tot uiting zullen zijn gekomen. Toch is dat zeker niet altijd het geval geweest, omdat veelal de grondbewerking moest worden aangepast aan het ongunstigste object, waardoor de structuurverschillen voor een deel werden weggewerkt.

Verder zal de verslemping en bewerkbaarheid van onbegroeide grond in het voorjaar zeer zeker niet in de reactie op de proefvelden naar voren komen. De "random" verdelingen van de verschillende objecten en herhalingen op een proefveld brengt met zich mee dat de grond pas bewerkt zal worden als dat op het ongunstigste object mogelijk is en dat de zaaitijd op alle objecten gelijk is. Een door bekalking aangebrachte verbetering van de bewerkbaarheid komt niet in de proefveldopbrengsten tot uiting. Het oude advies gaat voorbij aan het feit dat het tijdstip van zaaien en poten voor alle voorjaarsgewassen van grote betekenis is. Dat geldt in feite ook voor de in herfst en winter opgetreden verschillen in verslemping die op proefvelden in het voorjaar zullen worden weggewerkt. In de praktijk zal dat een verschil in het aantal grondbewerkingen betekenen.

In het nieuwe bekalkingsadvies zal met deze factoren rekening moeten worden gehouden. Dat zal betekenen dat zowel op lichtere gronden met verslempingsproblemen als op de zwaardere gronden met bewerkbaarheidsproblemen tot een hogere kalktoestand zal moeten worden geadviseerd dan alleen volgens de gewasopbrengsten noodzakelijk is. In vele gevallen blijkt dan een kalktoestand gewenst te zijn waarbij niet alleen de pH-KCl hoog is, maar waarbij ook een ruime hoeveelheid oplosbare Ca-ionen nodig is. In situaties met hoge pH zal bepaling van de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen nodig zijn om te kunnen vaststellen of verdere bekalking nog noodzakelijk is. De keuze van de kalkmeststof is dan belangrijk, omdat de oplosbaarheid kan variëren, zoals blijkt uit tabel 4, waarin de invloed van verschillende kalkmeststoffen op pH en oplosbare Ca-ionen is vermeld.

Daaruit wordt duidelijk dat van de kalkmeststoffen op wat langere termijn schuimaarde en cacao-afvalkalk het meeste effect op de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen hebben. De koolzure kalkmeststof heeft wat dat betreft het geringste effect. Door toediening van gips wordt de pH niet verhoogd, maar de hoeveelheid oplosbare Ca-ionen veel meer dan met welke kalkmeststof dan ook.

TABEL 4. Invloed van verschillende kalkmeststoffen op pH en hoeveelheid oplosbare Ca-ionen.

TABLE 4. Effect of different liming materials on pH and amount of soluble Ca ions.

| Equivalente hoeveelheid<br>Ca-houdend materiaal | Na 14 dagen |                                   | Na 5 maanden |                                   |
|---|-------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|
|   | pH-KCl      | oplosbare<br>Ca-ionen<br>me/100 g | pH-KCl       | oplosbare<br>Ca-ionen<br>me/100 g |
| onbehandeld                                     | 6,7         | 1,1                               | 6,5          | 1,1                               |
| schuimaarde                                     | 7,6         | 3,3                               | 7,3          | 3,0                               |
| koolzure kalkmeststof                           | 7,3         | 2,4                               | 7,1          | 2,0                               |
| cacao-afvalkalk                                 | 7,9         | 4,5                               | 7,6          | 3,4                               |
| kiezelzure kalkmeststof                         | 7,9         | 3,0                               | 7,4          | 2,3                               |
| ongebliste kalk                                 | 8,8         | 3,6                               | 7,5          | 2,8                               |
| gebluste kalk                                   | 7,8         | 2,9                               | 7,3          | 2,6                               |
| gips  | 7,0         | 20,8                              | 6,7          | 10,5                              |

Het bekalken tot een niveau dat hoger is dan voor de opbrengst noodzakelijk is, zal voor de zware gronden geen problemen opleveren. Er komen geen aardappelen in het bouwplan voor en de andere gewassen gaan bij een verdergaande verhoging van de kalktoestand niet of vrijwel niet in opbrengst omlaag. Daarbij kunnen de kosten van de extra bekalking worden afgewogen tegen de voordelen van betere structuur en bewerkbaarheid. Voor de lichtere gronden ligt de zaak wat moeilijker. In de meeste gevallen neemt het gewas aardappelen daar een belangrijke plaats in. Volgens de opbrengstcurven neemt de opbrengst bij de pH's die nodig zijn om ver-



slemping te voorkomen, duidelijk af. In die situaties zal verbetering in eerste instantie moeten worden gezocht in betere ontwatering en goede organische-stofvoorziening, aangevuld met oppervlakkige toediening van goed oplosbare Ca-houdende materialen op momenten dat schadelijke verslemping kan optreden (bv. zaaibed van suikerbieten).

## 10. SAMENVATTING

In de loop van de jaren is veel onderzoek verricht naar de betekenis van de kalktoestand voor de structuur van de grond en voor de opbrengst van de akkerbouwgewassen. Daarbij is naar voren gekomen dat in het bijzonder op kleihoudende gronden de kalktoestand van grote betekenis is voor bodemfysische eigenschappen als slempigheid, bewerkbaarheid en actuele structuur van de grond. Gebleken is dat vooral op de lichtere gronden de Ca-ionen die in de bodemoplossing aanwezig zijn, daarbij een belangrijke rol spelen. Vastgesteld kon worden dat de voor een goede structuurtoestand vereiste kalktoestand afhangt van ander factoren als gehalten aan afslibbare delen en organische stof en van de ontwateringstoestand. In de praktijk betekent dat dat in de meeste gevallen een kalktoestand gewenst is waarbij de  $\text{pH-KCl} > 7$  is en veel oplosbare Ca-ionen aanwezig zijn.

Een dergelijk hoge kalktoestand is echter op de lichtere kleigronden met veel aardappelen in het bouwplan in verband met de te verwachten lagere opbrengst niet gewenst. Op de zware kleigronden, waar geen aardappelen in het bouwplan voorkomen, geeft dat geen problemen. Aangegeven werd op welke wijze ook op lichtere gronden een aanvaardbare oplossing t.a.v. structuur en van opbrengst kan worden verkregen.

## 11. SUMMARY

Over the years, much research has been done on the significance of the calcium status for soil structure and yield of field crops. It was demonstrated that, especially on light and heavy clay soils, the calcium status strongly affects soil physical properties as slakiness, workability, and actual soil structure. Especially on the lighter soils it was shown that the Ca ions present in the soil solution play an important role. It was established that the calcium status required for a good structure depends on other factors, viz., contents of particides  $< 16 \mu\text{m}$  and organic matter, and on drainage conditions. In actual farming this means that in most cases a calcium status is required that results in a  $\text{pH-KCl} > 7$  and a considerable amount of Ca ions in the soil solution.

However, such a high calcium status is undesirable on the lighter clay soils; it is likely to reduce the yield of potatoes that are frequently included in the crop rotation on these soils. The problem does not exist on heavy clay soils where no potatoes occur in the cropping scheme. It was shown how also on lighter soil an acceptable solution with respect to soil structure and crop yield can be found.

## 12. LITERATUUR

- Boekel, P., 1959. De betekenis van geadsorbeerde en oplosbare kationen voor de structuur van de grond. *Landbouwkd. Tijdschr.* 70: 775-789.
- Boekel, P., 1963. Soil structure and plant growth. *Neth. J. Agric. Sci.* 11: 120-127.
- Boekel, P., 1965. Karakterisering van de slempigheid van zavelgronden door bepaling van de consistentie. *Landbouwkd. Tijdschr.* 77: 306-311.
- Boekel, P., 1978/'79. De bewerkbaarheid van de grond in het voorjaar. *Cultuurt. Tijdschr.* 18: 211-221.
- Boskma, K., 1967. Nota omtrent het advies voor de bekalking van bouwland op zeekleigrond, *Inst. Bodemvruchtbaarheid*, 7 pp.
- Bruin, P., 1938. De aanwezigheid van calciummagnesiumcarbonaat naast calciumcarbonaat in kleigronden en de ontleding dezer carbonaten onder invloed van zoutzuur, azijnzuur en bodemzuren. *Versl. Landbouwkd. Onderz.* 44-15A, pp. 693-737.
- Maschaupt, J.G. en J. ten Have, 1934. De bepaling van de kalktoestand (verzadigingstoestand) van kleigronden. *Versl. Landbouwkd. Onderz.* 40A, pp. 695-775.
- Peerlkamp, P.K., 1959. A visual method of soil structure evaluation. *Meded. Landbouwhogeschool en de Opz. stations van de Staat te Gent* 24-1: 216-221.
- Pelgrum, A., 1963. Gevoeligheid voor verslemping van lichte klei- en zavelgronden. *Landbouwvoorl.* 20: 637-645.
- Poelman, J.N.B. en Th. van Egmond, 1979. Uit eenvoudige grootheden af te leiden pF-waarden voor de zee- en rivierkleigronden. *Stiboka, Rapp.* 1492, 17 pp.
- Wind, G.P., 1960. Opbrenstderving door te laat zaaien. *Landbouwkd. Tijdschr.* 72: 111-118.