

INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID

RAPPORT 13-1972

KALKVERLIEZEN OP ZANDBOUWLAND

door

H.LOMAN en P. DE WILLIGEN

1972

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Haren (Gr.)

Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 13-1972

INHOUD

1. Inleiding	3
1.1. Literatuur over kalkuitspoeling	3
2. Materiaal en methode	5
2.1. Bewerkt proefveldenmateriaal	5
2.2. Wijze van bewerken	5
3. Resultaten	7
3.1. Verandering in de pH	7
3.2. De spreiding in regressiecoëfficiënt a_1 tussen de proefvelden	9
3.3. Toetsing van de gevonden regressieformule	10
3.3.1. Kalkverliezen als gevolg van de pH-daling	13
3.3.2. De kalkfactor op basis van pH-KCl	15
3.3.3. De onderhoudsbekalking	18
4. Oorzaken van de kalkverliezen	21
4.1. Componenten van het totale jaarlijkse kalkverlies	21
4.1.1. Humusafbraak	21
4.1.2. Bemesting	27
4.1.3. Ionenopname door het gewas	30
4.2. Het totale jaarlijkse basenverlies	31
5. Discussie	33
6. Samenvatting	37
7. Literatuur	38
Bijlage	40

1. INLEIDING

De grote betekenis van de kalktoestand van de grond als bodemvruchtbaarheidsfactor maakt de vraag naar het kalkverlies uit de bouwvoor in de loop van de tijd van belang. In dit rapport wordt een benadering gegeven van het kalkverlies van bouwland op zandgrond.

1.1. *Literatuur over kalkuitspoeling*

De gegevens over kalkverlies[†] zijn in ons land voor zandgrond minder talrijk dan voor kleigrond. Bruin (1949) vermeldt resultaten van enkele proefvelden. Van een esgrond vermeldde hij een verlies van 200 kg CaO per ha per jaar. Op een proefveld op dalgrond bedroeg het jaarlijkse verlies 275 kg CaO bij pH-H₂O 5,9, en 160 kg CaO bij pH-H₂O 4,9. Op dit laatste proefveld werd dus gevonden dat de grootte van het kalkverlies afhangt van het pH-niveau.

De eerste tijd na de bekalking kunnen de verliezen aan kalk zeer groot zijn. Bruin (1942) onderzocht dit in pot-, vak- en veldproeven. In een potproef en in een vakproef bleek dat drie maanden na de bekalking 19 resp. 26% van de gegeven kalkmergel uit de bouwvoor was verdwenen. Bij landbouwpoederkalk (lpoka) bedroegen de verliezen na drie maanden 6 resp. 15%. In de daaropvolgende 9 à 12 maanden waren de verliezen veel geringer: bij mergel circa 6% en bij lpoka circa 9% van de oorspronkelijk toegediende hoeveelheid kalk. Uit dit onderzoek blijkt duidelijk dat het kalkverlies vlak na de bekalking veel groter is dan later. Na ruim een jaar is in de potproef ca. 20% en in de vakproef ca. 27% van de toegediende kalk uitgespoeld. In een serie veldproeven vond Bruin, zowel voor mergel als voor lpoka, na een jaar een verlies van 30%. Globaal kan gesteld worden dat onder praktijkomstandigheden gemiddeld in de eerste drie maanden ongeveer 20 à 25% en in het eerste

[†]Met kalkverlies wordt bedoeld het verlies van basische kationen (Ca, Mg, Na, K). Dit verlies wordt uitgedrukt in kg CaO.

jaar 25 à 30% van de toegediende kalk verloren is gegaan.

Castenmiller (1950) vond, dat bij bemesting met zwavelzure ammoniak (za), fosforzure voederkalk (fvk) en kalizouten ongeveer 9 kg CaCO_3 als kalkmergel per kg N moest worden gegeven om een pH-H₂O van 5,2 te handhaven. Bij de gemiddelde gift van 90 kg N betekende dit 810 kg CaCO_3 per jaar. Indien volgens de formule van Sluijsmans (1961) de verzurende werking van za (305 kg CaO per 100 kg N als za) en de alkalische werking van fvk (45 kg CaO per 100 kg P₂O₅ als fvk) in rekening worden gebracht, blijft het saldo van de kalkhuishouding over. Dus: $0,56 \times 810 - 0,90 \times 305 + 0,70 \times 45 = 454 - 275 + 32 = 211$ kg CaO per jaar. In aanmerking genomen dat op het proefveld elk jaar opnieuw is bekalkt, terwijl volgens de gegevens van Bruin in de eerste maanden 20 à 25% van de verse kalk verloren gaat, bedraagt het kalkverlies, afgezien van dat in de eerste drie maanden na elke bekalking: $211 - (0,20 \text{ à } 0,25) \times 454 = 98 \text{ à } 120$ kg CaO per jaar.

Struys en Poppens (1962) berekenden het kalkverlies in de omgeving van Hessem en Lemele. Zij vergeleken de pH die in 1953 voor de bekalking werd bepaald met de pH in 1960. Ze hielden rekening met de hoeveelheden kalk en slak die in de tussenliggende periode waren aangewend. Voor Hessem werd per ha een verlies van 186 kg CaO en voor Lemele 231 kg CaO per jaar berekend. Deze cijfers omvatten tevens de periode van de grote verliezen kort na de bekalking.

Boskma (1960, zie ook Anoniem, 1959) vond dat op dalgrond de grootte van het kalkverlies duidelijk afhankelijk is van de pH. Uit de geconstateerde pH-dalingen berekende hij, dat om een pH van resp. 4,0, 4,2, 4,4, 4,6, 4,8 of 5,0 te handhaven resp. 23, 52, 81, 107, 128 of 150 kg CaO per jaar nodig was.

2. MATERIAAL EN METHODE

2.1. *Bewerkt proefveldenmateriaal*

Het bewerkte materiaal kwam van de volgende proefvelden:

- 16 proeven van het consultantschap Oost-Drenthe,
- 15 proeven van het consultantschap West-Drenthe,
- 13 proeven van het IB,
- 12 proeven van de interprovinciale serie 6 (Ca-Mg),
- 17 proeven van de interprovinciale serie 7 (Ca-K),
- 10 proeven van het consultantschap Noord- en Zuid-Limburg,
- 17 andere proefvelden.

Alle proefvelden waren meerjarig. In bijlage I zijn enkele gegevens van de proefvelden vermeld.

2.2. *Wijze van bewerken*

De verandering in de pH-KCl per jaar werd bepaald door vergelijking van de pH-KCl-waarden van een bepaald najaar (pH_{vr}) met die in het volgende najaar (pH_{na}). De regressielijn van pH_{na} op pH_{vr} werd berekend. Wordt in een grafiek op de Y-as de pH_{na} en op de X-as de pH_{vr} afgezet, dan geeft het snijpunt van de regressielijn ($\text{pH}_{\text{na}} = a_1 \cdot \text{pH}_{\text{vr}} + a_0$) met de 45° -lijn de pH-waarde aan waarbij geen verdere daling meer optreedt; het snijpunt is dus de pH-evenwichtswaarde (fig. 1). Bij iedere pH_{vr} kan uit het verschil in ordinaatwaarde tussen de 45° -lijn en de regressielijn de gemiddelde daling van de pH in één jaar worden afgelezen. In tweede instantie zijn nog berekeningen uitgevoerd waarbij aan de X-as een fout was toegekend.

De berekeningen zijn voor de Drentse proefvelden, die veelal een klein aantal veldjes hadden, uitgevoerd per proefveld over alle proefjaren tegelijk. Bij de overige proeven werd per proefveld zowel een berekening uitgevoerd per proefjaar als voor alle proefjaren tesamen.

Om uit de gevonden verandering in de pH een kalkverlies te berekenen,

werd van elk proefveld het verband tussen pH en basengehalte (S-waarde) bepaald. Uit pH-verandering, verband pH-S, volumegewicht en bouwvoordikte is het verlies in kg CaO per hectare te berekenen.

3. RESULTATEN

3.1. *Verandering in de pH*

Zoals in het voorgaande hoofdstuk is beschreven, is per proefveld van elk veldje de pH in het ene jaar uitgezet tegen de pH in het volgend jaar. Vrijwel alle proefvelden zijn systematisch in het najaar bemonsterd zodat de verandering in pH betrekking heeft op een periode van één jaar. Het eerste jaar na een bekalking werd niet in de bewerking opgenomen in de veronderstelling dat de verliezen in dat jaar zouden afwijken van die in de volgende jaren. In figuur 1 wordt als voorbeeld het resultaat van WD 65 gegeven. De verschillende achtereenvolgende bemonsteringen van een veldje zijn door een dun lijntje verbonden.

Uit figuur 1 valt af te lezen dat bij een pH_{vr} van bijv. 4,9 de gemiddelde daling per jaar 0,11 eenheid bedraagt (4,90-4,79). De regressielijn $pH_{na} = 0,9206 \cdot pH_{vr} + 0,281$ snijdt de 45°-lijn bij pH 3,54. Voor WD 65 is pH 3,54 dus evenwichts-pH (bij overigens gelijkblijvende omstandigheden, dus ook bij gelijkblijvend bemestingsregime).

Uit het totale proefmateriaal met diverse proefjaren en in totaal 7625 veldjes werd de volgende regressielijn berekend: $pH_{na} = 0,8806 \cdot pH_{vr} + 0,488$. Als evenwichts-pH werd berekend pH 4,0.

Het verloop van de pH in de tijd kan op basis van bovenstaande formule gemakkelijk in een algemene formulering worden weer gegeven. Noemen we de pH waar we van uitgaan pH_{vr} , de pH k jaar later pH_k en de evenwichts-pH pH_{ev} , dan geldt:

$$pH_1 = a_1 \cdot pH_{vr} + a_0$$

$$pH_{ev} = a_1 \cdot pH_{ev} + a_0$$

$$a_0 = (1 - a_1) pH_{ev}$$

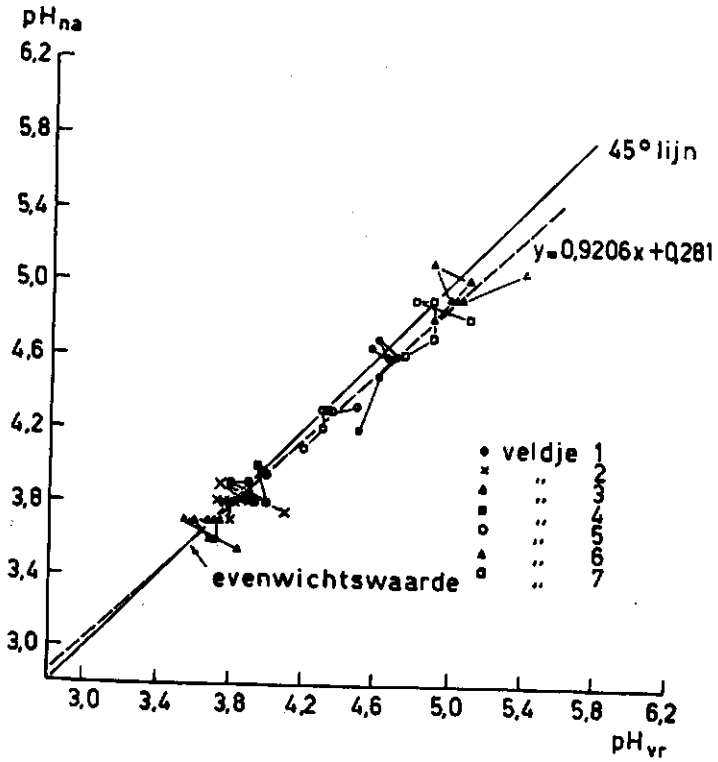


Fig. 1. WD 65, een voorbeeld van de wijze van bewerken.

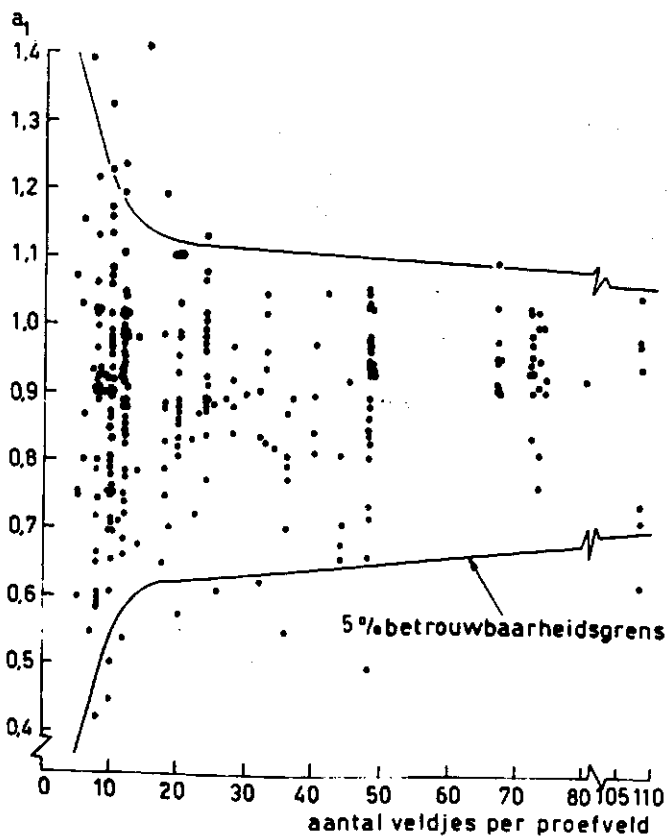


Fig. 2. Verband tussen de grootte van de parameter a_1 , uit de vergelijking $\text{pH}_{\text{na}} = a \cdot \text{pH}_{\text{vr}} + a_0$, en het aantal veldjes per proefveld.

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_2 &= a_1 \text{pH}_1 + a_0 \\
 &= a_1 (a_1 \text{pH}_{\text{vr}} + a_0) + a_0 \\
 &= a_1^2 \text{pH}_{\text{vr}} + a_0 (1 + a_1) = a_1^2 \text{pH}_{\text{vr}} + (1 - a_1^2) \text{pH}_{\text{ev}} = a_1^2 (\text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_{\text{ev}}) + \text{pH}_{\text{ev}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_3 &= a_1 \text{pH}_2 + a_0 \\
 &= a_1 (a_1^2 \text{pH}_{\text{vr}} + a_0 (1 + a_1)) + a_0 \\
 &= a_1^3 \text{pH}_{\text{vr}} + a_0 (a_1^2 + a_1 + 1) = a_1^3 \text{pH}_{\text{vr}} + (1 - a_1^3) \text{pH}_{\text{ev}} = a_1^3 (\text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_{\text{ev}}) + \text{pH}_{\text{ev}}
 \end{aligned}$$

dus:

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_k &= a_1^k (\text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_{\text{ev}}) + \text{pH}_{\text{ev}} \\
 \text{pH}_k &= 0,8806^k (\text{pH}_{\text{vr}} - 4,0) + 4,0
 \end{aligned}$$

De totale daling van de pH na k jaar is dus:

$$\begin{aligned}
 \text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_k &= \text{pH}_{\text{vr}} - a_1^k (\text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_{\text{ev}}) - \text{pH}_{\text{ev}} \\
 &= (1 - a_1^k) (\text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_{\text{ev}}) \\
 \Delta \text{pH} &= (1 - 0,8806^k) (\text{pH}_{\text{vr}} - 4,0)
 \end{aligned}$$

3.2. De spreiding in regressiecoëfficiënt a_1 tussen de proefvelden

De helling van de regressie van pH_{na} op pH_{vr} (voorbeeld voor WD 65 in figuur 1) verschilt tussen de proefvelden. Bij proefvelden met slechts een klein aantal veldjes kleeft een grote onzekerheid aan de regressiecoëfficiënt (fig. 2).

Van de totale variantie in a_1 kan 47% worden verklaard uit het aantal veldjes per proefveld. Proefvelden met minder dan 16 veldjes hadden een standaardafwijking die gemiddeld 1,3 maal zo groot was als op grotere proefvelden. Het aantal dagen tussen beide bemonsteringstijdstippen verklaarde 11% van de variantie. Voor de resterende 42% van de varianties werd tot nu toe geen verklaring gevonden. Variabelen zoals regenval, regenval per dag, winterregenval, humusgehalte en basenaanvoer[†] leverden

[†] Onder basenaanvoer van een meststof wordt verstaan de zuurbindende werking daarvan bij toepassing op een begroeide grond. De basenaanvoer wordt uitgedrukt in een equivalente hoeveelheid CaO en kan positief of negatief zijn.

geen bijdrage.

Op slechts weinig proefvelden was er een basenaanvoer (positief of negatief) van enige betekenis. Hierdoor is het aannemelijk dat een invloed van de basenaanvoer op de grootte van a_1 niet betrouwbaar kan worden aangetoond. Anderzijds kan beredeneerd worden dat de basenaanvoer geen invloed behoeft te hebben. Het gemakkelijkste kan dit duidelijk worden gemaakt aan de hand van een voorbeeld op één proefveld. Het verloop van de pH tussen de jaren t en $(t + 1)$ wordt, zonder basenaanvoer, berekend als $\text{pH}_{t+1} = a_1 \cdot \text{pH}_t + a_0$. Indien echter in het voorjaar van het jaar $(t + 1)$ een positieve basenaanvoer plaats vindt, dan is duidelijk dat pH_t dezelfde blijft maar dat pH_{t+1} van alle veldjes met eenzelfde waarde wordt verhoogd. Immers de basenaanvoer is voor alle veldjes gelijk en dit heeft tot gevolg dat op alle veldjes de pH stijgt met (basenaanvoer/kalkfactor) eenheden pH. De regressielijn verschuift evenwijdig: $\text{pH}_{t+1} = a_1 \cdot \text{pH}_t + a_0^1$. Door de basenaanvoer verandert dus het intercept en daarmee de evenwichts-pH. Uit berekeningen, die in de volgende paragraaf worden uitgevoerd, is af te leiden dat door een jaarlijkse basenaanvoer equivalent aan +0,01 pH, de evenwichts-pH met 0,18 eenheden stijgt. Bovenstaande berekening kan door het materiaal niet worden bevestigd omdat er, zoals vermeld, slechts weinig proefvelden waren met een basenaanvoer van enige betekenis.

Een variabele als profielopbouw die mogelijk ook invloed zou kunnen hebben op de grootte van a_1 , kon door het ontbreken van profielbeschrijvingen niet worden getoetst.

3.3. *Toetsing van de gevonden regressieformule*

Indien de pH na vier jaar wordt berekend volgens de formule in paragraaf 3.1, dan blijkt bij vergelijking met de gemeten pH dat een niet juiste pH-daling wordt berekend (fig. 3). De periode van vier jaar is een compromis. Het is duidelijk dat hoe langer de periode, des te groter de eventuele fout is, maar ook dat het aantal beschikbare proefvelden afneemt. Om een voldoende aantal waarnemingen te hebben is een periode van vier jaar gekozen.

De toegepaste rekenwijze levert dus een foutieve berekende pH op.

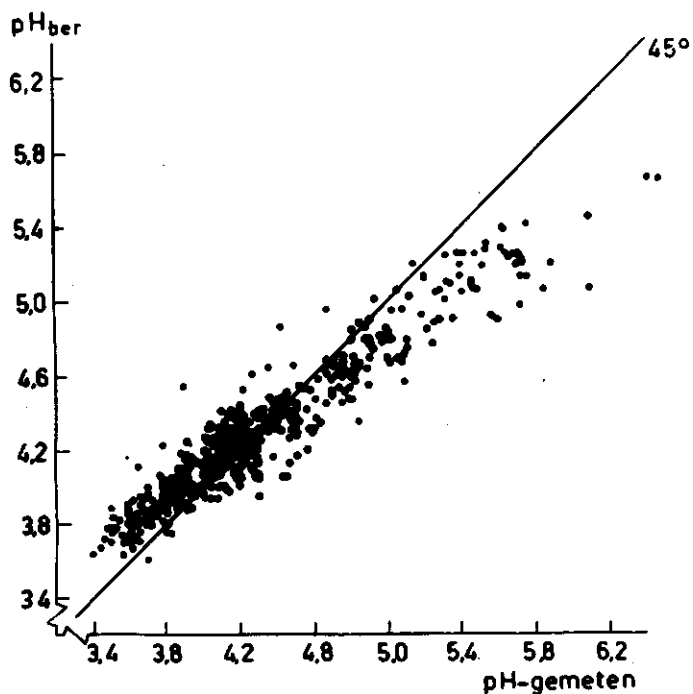


Fig. 3. Vergelijking van de gemeten en de berekende pH, 4 jaar na pH_{Vr} .

$pH_{ber} = pH$ 4 jaar na pH_{Vr}

$$pH_{ber} = 0,8806^4 (pH_{Vr} - pH_{ev}) - pH_{ev}$$

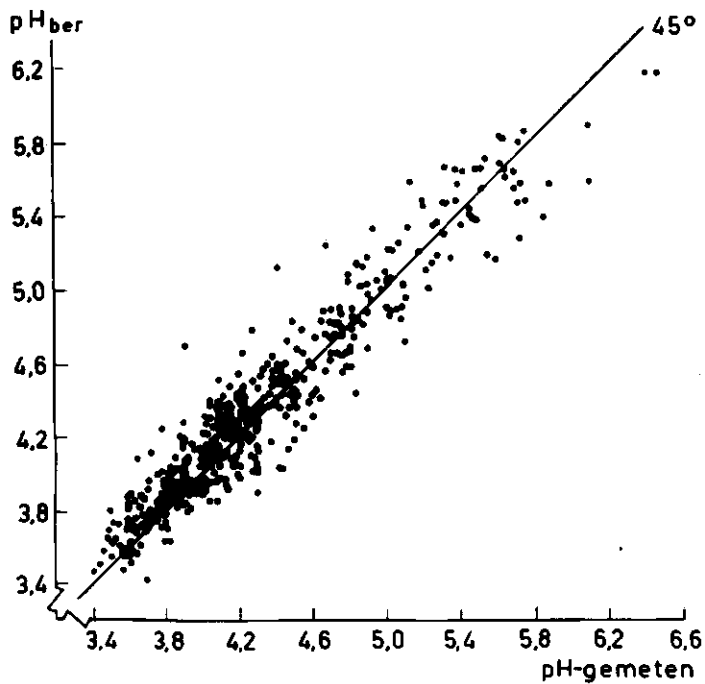


Fig. 4. Vergelijking van de gemeten en berekende pH, 4 jaar na pH_{Vr} .

$pH_{ber} = pH$ 4 jaar na pH_{Vr}

$$pH_{ber} = 0,94573^4 (pH_{Vr} - pH_{ev}) - pH_{ev}$$

Bij deze rekenwijze is uitgegaan van een foutloze X-as. Het is duidelijk dat voor de voorspelling van de pH na één jaar de methode van de foutloze X-as correct is. Indien echter het verloop over meer jaren wordt berekend, dan wordt de berekende pH_{na} , die de fout van de Y-as - de residuele fout - heeft, na een jaar als een foutloze pH_{vr} op de X-as geplaatst. Wat in het ene jaar Y is met fout, is in het volgende jaar een foutloze X. Deze procedure kan doorbroken worden door de X-as niet als foutloos te beschouwen, maar als een as die met een fout is behept. Omdat zowel op de X-as als op de Y-as pH-waarden worden uitgezet, is gekozen voor een evengrote fout op beide assen. Van Uven (1946) heeft hiervoor een formule gegeven om een nieuwe regressie te berekenen:

$$\text{tg}2\alpha = \frac{2 \cdot \Sigma xy}{(\Sigma x^2 - \Sigma y^2)}$$

$$\text{regr. coëff. } a_1 = \text{tg}\alpha = \frac{\sqrt{(\text{tg}^2 2\alpha + 1) \pm 1}}{\pm \text{tg}2\alpha}$$

(+1 en $-\text{tg}2\alpha$ als $\text{tg}2\alpha$ is neg.,
-1 en $+\text{tg}2\alpha$ als $\text{tg}2\alpha$ is pos.)

Voor WD 65 wordt de nieuwe regressielijn: $\text{pH}_{\text{na}} = 0,9460 \text{ pH}_{\text{vr}} + 0,1728$ met $\text{pH}_{\text{ev}} = 3,19$. Bij de oude formule daalde de pH bij $\text{pH}_{\text{vr}} = 4,9$ met 0,11 eenheden; nu bedraagt de daling 0,09 eenheden.

Gemiddeld voor het gehele materiaal en gewogen met het aantal veldjes wordt op deze wijze voor de parameters a_1 en a_0 de waarden 0,94573 en 0,20354 berekend. Het berekende pH-evenwicht bedraagt nu 3,75. De formules voor de pH na k jaar en de daling van de pH in k jaar worden:

$$\text{pH}_k = 0,94573^k (\text{pH}_{\text{vr}} - 3,75) + 3,75$$

$$\Delta \text{pH} = \text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_k = (1 - 0,94573^k) (\text{pH}_{\text{vr}} - 3,75)$$

Indien met behulp van deze nieuwe parameters de pH na vier jaar wordt berekend en de berekende waarde wordt vergeleken met de gemeten waarde, dan blijkt dat deze formulering beter voldoet. Figuur 4 laat dit zien.

Deze figuur is uit hetzelfde materiaal samengesteld als figuur 3. Over het gehele pH-traject is de overeenstemming tussen berekende en gemeten pH als goed te kwalificeren.

De spreiding in de regressiecoëfficiënten a_1 ligt in dezelfde orde van grootte als voorheen.

3.3.1. Kalkverliezen als gevolg van de pH-daling

Om uit de daling van de pH een kalkverlies te berekenen is per proefveld het verband tussen pH en basengehalte bepaald volgens de formule: $S = b_1 \cdot \text{pH} + b_0$. Een voorbeeld hiervan is figuur 5. Het blijkt dat de verschillen in de parameter b_1 goed verklaard kunnen worden uit de verschillen in humusgehalte: $b_1 = 0,4521 \text{ hu} + 0,7349$.

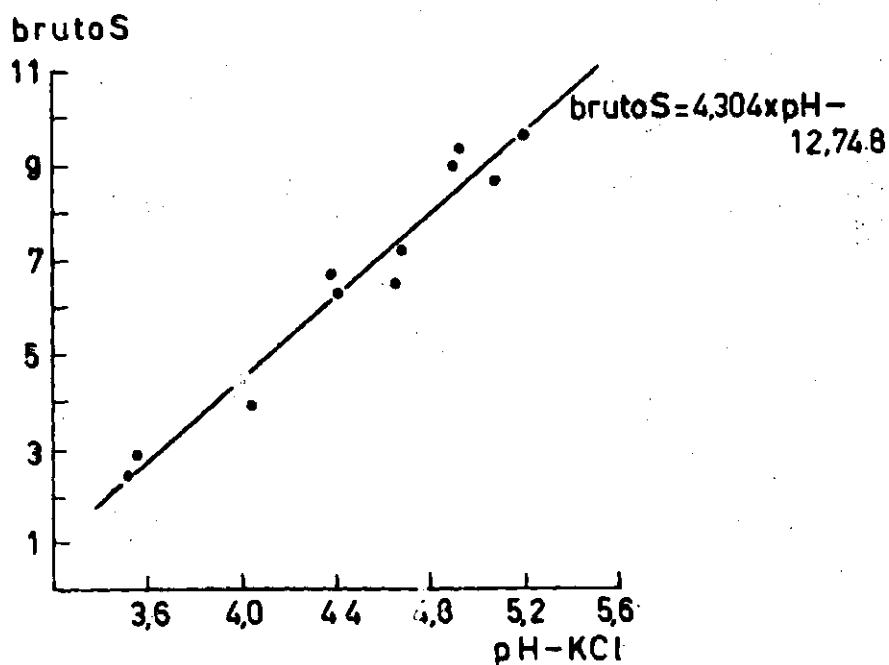


Fig. 5. Verband tussen S en pH op WO 114.

De correlatiecoëfficiënt r voor de samenhang bedraagt 0,85. Het is dus verantwoord om de gemiddelde pH-daling met behulp van een berekende b om te rekenen in een hoeveelheid S en deze weer in een hoeveelheid CaO.

Om het kalkverlies te berekenen zijn de volgende formules nodig:

$$(1) \Delta S = b_1 \cdot \Delta pH$$

$$(2) \Delta S \text{ in me per } 100 \text{ g grond} = \text{vol.gew.} \cdot 10 \cdot 28 \text{ kg CaO per bouwvoor van } 10 \text{ cm}$$

$$(3) b_1 = 0,4521 \cdot hu + 0,7349$$

$$(4) \Delta pH = (1 - 0,94573^k) (pH_{vr} - pH_{ev})$$

waarin k = aantal jaren na pH_{vr} , en $pH_{ev} = 3,75$.

$$(5) \text{volumegewicht} = 1 / (0,02525 \cdot hu + 0,6541)$$

(formule van Kortleven, 1970)

Het kalkverlies uitgedrukt in kg CaO bedraagt per hectare na k jaar:
 $10 \cdot 28 \cdot \text{vg} \cdot b_1 (1 - 0,94573^k) (pH_{vr} - pH_{ev})$ kg CaO per bouwvoor van 10 cm.

In deze formule is duidelijk een pH-gedeelte (pH_{vr} en pH_{ev} te onderscheiden en een humusgedeelte (b_1 en volumegewicht). De parameter b_1 geeft aan hoeveel milli-equivalenten basen per 100 g grond gegeven moeten worden om de pH met een eenheid te doen stijgen. Het volumegewicht geeft aan hoeveel kg een liter grond weegt. Volumegewicht en b_1 vormen dus te zamen een kalkfactor. Deze kalkfactor heeft echter een waarde die lager ligt dan de huidige kalkfactor, namelijk bij lage humusgehalte circa 10% lager en bij hoge humusgehalte circa 20% lager.

Het kalkverlies als gevolg van de pH-daling is nu te berekenen.

Bijvoorbeeld: $hu = 5\%$, $pH_{vr} = 5,50$ en $k = 3$ jaar.

$$\begin{aligned} \text{Verlies} &= 10 \cdot 28 \cdot 1,2815 \cdot 2,9954 (1 - 0,94573^3) (5,50 - 3,75) \\ &= 1074,8 \cdot 0,2697 = 290 \text{ kg CaO per bouwvoor van } 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dit verlies is berekend uit een pH_{vr} die ontstaan is uit een niet recente bekalking. Om de pH 5,5 weer te bereiken moet niet alleen de 290 kg CaO worden gegeven maar ook een hoeveelheid kalk om de grote verliezen in de eerste drie maanden, 20 à 25% volgens de gegevens van de proeven van Bruin, te compenseren. Er zijn nu twee mogelijkheden:

- a. de kalkfactor op basis van b_1 en volumegewicht met 20 à 25% verhogen, of
 - b. de vanouds bekende kalkfactor, die 10 à 20% hoger is, handhaven.
- Om een gefundeerde keuze te doen moeten eerst de achtergronden van beide factoren worden beschouwd.

3.3.2. De kalkfactor op basis van pH-KCl

Castenmiller (niet gepubliceerde aantekeningen) stelde vast dat, vooral kort na een bekalking, de pH-KCl minder goed met de verzadigingsgraad (V) correleerde dan met het relatieve basengehalte (rb). De oorzaak zou gelegen zijn in het feit dat behalve de adsorptief gebonden kalk, ook de nog niet gebonden kalk invloed heeft op de pH. Dit heeft tot gevolg dat vanaf het tijdstip van bekalking het verband tussen pH en rb weinig verandert, maar die tussen pH en V wel. Castenmiller was daarom van mening dat de kalkfactor het beste uit het eerstgenoemde verband kan worden afgeleid. Volgens zijn gegevens stijgt rb met 2,8% per 0,1 pH-KCl. Daaruit volgt een kalkfactor van $14 \cdot T \cdot \text{vg}$.

Sluijsmans (niet gepubliceerd rapport, 1952) vond uit 15 waarnemingen op 13 nietrecent bekalkte proefvelden op zand- en dalgrond een goed verband tussen pH-KCl en V. In het meest voorkomende pH-traject lieten zijn gegevens een stijging van V zien van 2,6% per 0,1 pH-KCl. Naast deze 15 proefjaren werd thans van nog 18 andere jaren het verband tussen pH en V bepaald. Uit deze 33 waarnemingen van 17 proefvelden werd een gemiddelde stijging van V berekend van 2,56% per 0,1 pH.

Bij de overgang van pH-H₂O op pH-KCl, omstreeks 1952, waarbij ook een nieuwe kalkfactor moest worden vastgesteld, werd men met bovenstaande gegevens (2,8% volgens Castenmiller en 2,6% volgens Sluijsmans) geconfronteerd. Gekozen werd voor 2,8%, omdat verondersteld werd dat de niet volledig te reproduceren gegevens van Castenmiller van grotere omvang waren dan die van Sluijsmans. Daarnaast moest nog een beslissing worden genomen over het wel of niet invoeren van een toeslag op de kalkfactor ter compensatie van extra verliezen in de eerste maanden na een bekalking. Een dergelijke toeslag was namelijk gebruikelijk bij de oude kalkadviezen, die uitgingen van een kalkfactor ter grootte van $10 \cdot T \cdot \text{vg}$. Door 30% extra te geven op deze in het laboratorium vastgestelde kalkfactor werd dus tot 1952 in werkelijkheid gewerkt met een kalkfactor van

van $13 \cdot T \cdot \text{vg}$. Op grond van de overweging dat de op basis van pH-KCl berekende kalkfactor ($14 \cdot T \cdot \text{vg}$) reeds, exclusief toeslag, hoger was dan de tot 1952 gehanteerde kalkfactor, en met het oog op het gevaar van overbekalking van een deel van de te bekalken percelen, werd van het adviseren van een toeslag afgezien. Bij de invoering van pH-KCl werd voor de kalkfactor daarom de formule $14 \cdot T \cdot \text{vg}$ geïntroduceerd.

Uit hetzelfde materiaal dat in dit rapport gebruikt is om de kalkverliezen te berekenen, is een benadering te geven van de stijging van het relatief basengehalte (rb) per 0,1 pH-stijging. Uit 766 monsters van 83 proefvelden kunnen de volgende verbanden worden afgeleid:

$$(1) \quad S\text{-bruto} = b_1 \cdot \text{pH} + k$$

$$(2) \quad b_1 = 0,452 \cdot \text{hu} + 0,735$$

$$(1) \rightarrow (3) \quad \frac{100 \cdot S\text{-bruto}}{T} = \frac{100 \cdot b_1}{T} \cdot \text{pH} + \frac{100k}{T}$$

$$\text{of} \quad \text{rb} = d \cdot \text{pH} + q$$

Bij lage koolzure-kalkgehalten van de grond - wat op zandgronden, mits niet recent bekalkt, normaal is - is het rb-gehalte vrijwel gelijk aan V, waardoor de parameter d nadert tot de parameter e uit de vergelijking $V = e \cdot \text{pH} + m$. Uit de 83 proefvelden werd voor de parameter d een waarde berekend van 24,5% (= 2,45% per 0,1 pH) met een spreiding van $\pm 1,5\%$. De kalkfactor zou dus moeten zijn: $(12,25 \pm 0,75) \cdot T \cdot \text{vg}$.

De thans gevonden stijging van 2,45% per 0,1 pH ligt dus iets lager dan Sluijsmans uit een kleiner materiaal vond (2,56%). De waarde lijkt zeker aanvaardbaar.

Van een aantal proefvelden, c.q. proefjaren, is de empirische kalkfactor berekend. Hierbij werd berekend hoeveel kalk nodig was om een jaar na de bekalking een pH-stijging van 0,1 eenheid te verkrijgen. Deze empirische kalkfactor impliceert de theoretische kalkfactor, de extra verliezen in de eerste maanden na de bekalking en het normale verlies in een jaar. Voor 130 waarnemingen van 97 proefvelden bleek dat de empirische

TABEL I. Parameters voor de onderhoudsbekalking

Onderhoudsbekalking = kalkfactor • pH-daling na k jaar • 10 kg CaO/k jaar. 10 cm bouwvoor

hu, %	Kalkfactor per 10 cm	hu, %	Kalkfactor per 10 cm	pH _{vr}	Daling van de pH in k jaar = $(1 - 0,9457^k)$ (pH _{vr} - 3,75)							
					k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5	k = 6	k = 7	k = 8
0	24,0	18	268,7	4,5	0,0407	0,0792	0,1156	0,1500	0,1826	0,2134	0,2425	0,2700
1	46,2	20	284,1	4,6	0461	0898	1310	1700	2069	2418	2748	3060
2	66,8	23	304,7	4,7	0516	1003	1464	1900	2313	2703	3072	3420
3	85,9	26	323,0	4,8	0570	1109	1618	2100	2556	2987	3395	3781
4	103,8	29	339,3	4,9	0624	1214	1773	2301	2800	3272	3718	4141
5	120,6	32	353,9	5,0	0678	1320	1927	2501	3043	3556	4042	4501
6	136,2	36	371,2	5,1	0733	1426	2081	2701	3287	3841	4365	4861
7	151,0	40	386,3	5,2	0787	1531	2235	2901	3530	4125	4688	5221
8	164,8	45	402,9	5,3	0841	1637	2389	3101	3774	4410	5012	5581
9	177,9	50	417,3	5,4	0895	1742	2543	3301	4017	4694	5335	5941
10	190,2	60	440,9	5,5	0950	1848	2697	3501	4260	4979	5658	6301
12	214,0	70	459,8	5,6	1004	1954	2851	3701	4504	5263	5982	6661
14	233,5	80	475,0	5,7	1058	2059	3006	3901	4747	5548	6305	7021
16	251,9	90	487,6	5,8	0,1113	0,2165	0,3160	0,4101	0,4991	0,5832	0,6628	0,7381

kalkfactor gemiddeld 33% hoger lag dan de theoretische kalkfactor op basis van b_1 . Dit betekent dat het totale verlies in het eerste jaar $\frac{33}{133} = 25\%$ van de kalkgift bedraagt. Bruin (1942) vond op een zestigtal objecten van 26 proefvelden een totaal verlies in het eerste jaar van 30%. De nu berekende 25% stemt hiermee overeen. Deze 25 à 30% is samengesteld uit het normale jaarlijkse verlies van 6% en de extra verliezen van 20 à 25% in de eerste maanden na bekalking. Dit percentage ligt hoger dan het gemiddelde van 12 resp. 20% die volgen uit de pot- resp. vakproeven van Bruin. Onder praktijkomstandigheden zal men rekening moeten houden met een extra verlies in de eerste maanden na de bekalking van ruim 20%.

Met behulp van bovenstaande gegevens zal een besluit moeten worden genomen over de te hanteren kalkfactor. De huidige kalkfactor berekend volgens $14 \cdot T \cdot vg$ kan zonder bezwaar worden gehandhaafd na correctie van het vg volgens een verbeterde berekening door Kortleven (1970). Hoewel de kalkfactor dan ca. 15% hoger ligt dan de theoretische, zoals die volgens de meest recente gegevens berekend is, pleit in het bijzonder het extra kalkverlies in de eerste maanden na een bekalking voor deze hogere waarde. De genoemde grote verliezen (ruim 20%) in de eerste maanden zouden voor een nog verdere verhoging van de kalkfactor kunnen pleiten, maar dan wordt het gevaar voor overbekalking uiteraard groter. In tabel I is de te hanteren kalkfactor per 10 cm bouwvoor per 0,1 pH-eenheid bij diverse humusgehalten vermeld.

3.3.3. De onderhoudsbekalking

Wanneer men een perceel heeft met een pH_{vr} van 5,0 en men wil voorkomen dat de pH beneden 4,7 daalt, dan kan berekend worden na hoeveel jaar een herbekalking moet worden uitgevoerd:

$$\begin{aligned}
 pH_{vr} - pH_k = \Delta pH = 5,0 - 4,7 &= (1 - 0,94573^k) (pH_{vr} - pH_{ev}) \\
 0,30 &= (1 - 0,94573^k) (5,0 - 3,75) \\
 0,94573^k &= \frac{(5,0 - 3,75) - 0,30}{5,0 - 3,75}
 \end{aligned}$$

$$k = 4,9 \text{ jaar}$$

$$\text{idem } \text{pH}_{\text{vr}} = 5,4 \text{ en } \text{pH}_{\text{k}} = 5,1 \text{ k} = 3,6 \text{ jaar}$$

$$\text{idem } \text{pH}_{\text{vr}} = 4,8 \text{ en } \text{pH}_{\text{k}} = 4,6 \text{ k} = 3,8 \text{ jaar.}$$

In paragraaf 3.3.1 werd de volgende formule gegeven:

$$\text{kalkverlies c.q. onderhoudsbekalking} = \text{kalkfactor} \cdot (1 - 0,94573^k) \cdot (\text{pH}_{\text{vr}} - \text{pH}_{\text{ev}})$$

In tabel I is de kalkfactor afhankelijk van het humusgehalte gegeven en de pH-verandering afhankelijk van pH_{vr} en k (= aantal jaren). Met behulp van deze tabel kan de onderhoudsbekalking worden berekend.

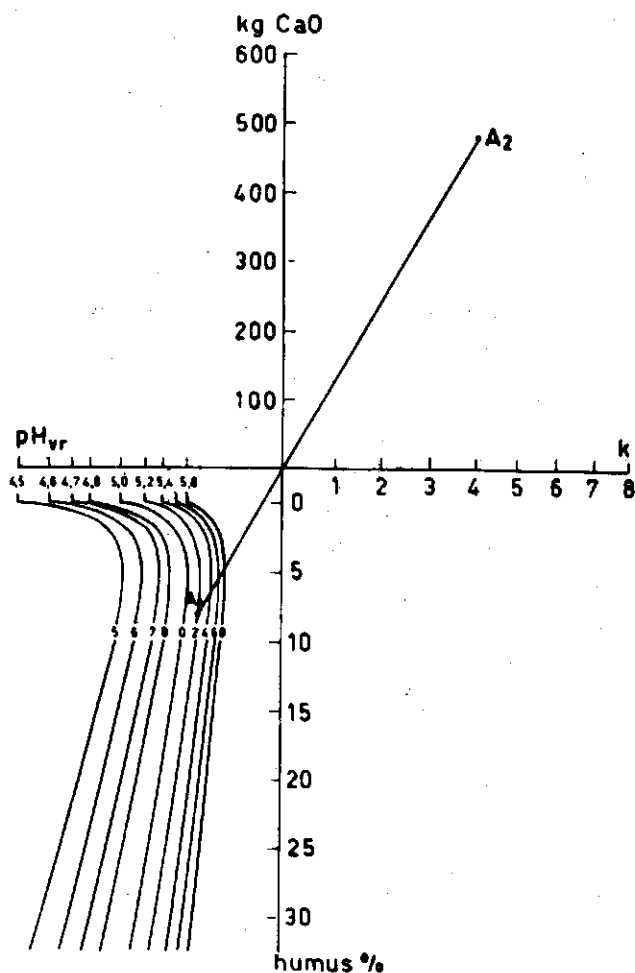


Fig. 6. Onderhoudsbekalking in kg CaO per 10 cm bouwvoor. Bij 8% humus en pH_{vr} van 5,2 (punt A₁) en $k = 4$ jaar bedraagt de onderhoudsbekalking 478 kg CaO (punt A₂). k = aantal jaren na pH_{vr} .

Bijvoorbeeld bij humus = 5%, $\text{pH}_{\text{vr}} = 5,5$ en $k = 3$ is de onderhoudsbekalking = $120,6 \cdot 0,2697 \cdot 10 = 325$ kg CaO per ha per 10 cm bouwvoor.

In figuur 6 is voor de gehalten aan humus (negatieve Y-as), verschillende pH_{vr} (negatieve X-as) en verschillende waarden voor k (positieve X-as) de onderhoudsbekalking per bouwvoor van 10 cm af te lezen op de positieve Y-as. Het gebruik is als volgt: van een perceel is het humusgehalte (8%) en de pH_{vr} (5,2) bekend. Dit geeft punt A_1 in het derde kwadrant. Daarna een rechte door A_1 en de oorsprong trekken. Als k gelijk is aan 4 jaar vinden we het punt A_2 dat aangeeft dat voor een bouwvoor van 10 cm een onderhoudsbekalking met 478 kg CaO nodig is om de pH_{vr} weer te bereiken.

Bij een bouwvoor dikker dan 10 cm neemt de hoeveelheid naar evenredigheid toe.

4. OORZAKEN VAN DE KALKVERLIEZEN

Zoals uit het voorgaande bleek, hangt de pH-daling niet af van het humusgehalte, maar is bij de onderzochte proefvelden alleen afhankelijk van het niveau van de pH zelf. In het volgende zal een poging ondernomen worden een en ander te verklaren uit de aard van de processen die (kunnen) leiden tot een verandering van de zuurgraad van de bodem. De volgende processen spelen hierbij een rol:

- (1) afbraak van humus,
- (2) bemesting,
- (3) ionenopname door het gewas.

Hieronder zullen deze processen nader bekeken worden, en zal waar mogelijk een schatting gemaakt worden van de door deze processen veroorzaakte pH-verandering.

4.1. *Componenten van het totale jaarlijkse kalkverlies*

4.1.1. *Humusafbraak*

Bij de afbraak van organische stof in de bodem kunnen organische en anorganische zuren ontstaan. De eerste worden waarschijnlijk net zo snel afgebroken als gevormd, en spelen bij de verzuring geen of slechts een ondergeschikte rol (Alexander, 1961; Scheffer en Schachtschabel, 1961). Belangrijker zijn in dit verband de eventueel gevormde anorganische zuren (HNO_3 en H_2SO_4). Omdat de verhouding N:S in humus ruwweg 10:1 bedraagt (Alexander, 1961) wordt de verzuring ten gevolge van humusafbraak voornamelijk veroorzaakt door de vorming van HNO_3 . Salpeterzuur ontstaat doordat de bij de humusafbraak vrijkomende stikstof - deze komt vrij in de vorm van NH_4^+ - wordt geoxideerd. Voor deze oxidatie zijn twee groepen bacteriën verantwoordelijk. Het genus *Nitrosomonas* oxideert ammonium tot nitriet, terwijl het genus *Nitrobacter* nitriet omzet in nitraat. Beide oxidaties verlopen slechts onder aërobe omstandigheden en een redelijke zuurgraad.

Een nauwkeurige grenswaarde van de pH waarbij het nitrificatieproces

stil ligt, is moeilijk op te geven. Algemeen mag echter wel gesteld worden dat beneden een pH-H₂O van 4,0-4,5 geen nitrificatie optreedt. Ook de humusafbraak hangt af van de pH; hier zijn echter zeer veel verschillende micro-organismen bij betrokken, zodat deze ook verloopt onder zeer zure omstandigheden (Alexander, 1961). Bij een hoge zuurgraad van de grond zal dus geen nitrificatie plaats vinden, en zal ten gevolge van de bij humusafbraak gevormde NH₄⁺ de pH gaan stijgen. Bij een hogere pH wordt deze NH₄⁺ - via NO₂⁻ - geoxideerd tot NO₃⁻ en zal de pH dus gaan dalen. Er moet daarom een pH-waarde bestaan waarbij de alkaliserende werking van het vrijkomende NH₄⁺ juist wordt gecompenseerd doordat een deel hiervan wordt geoxideerd tot NO₃⁻.

Dat de veranderingen in de zuurgraad van een onbemeste onbegroeide grond voor een groot deel samenhangen met de toe- of afname van NH₄⁺ en NO₃⁻, wordt onder meer bewezen door onderzoek van Zöttl (1961). Zijn resultaten zijn weergegeven in fig. 7. Het betreft hier een zure humus afkomstig van een bosgrond, die is opgekalkt tot een pH-KCl van 6,25. In fig. 8 zijn tegen elkaar uitgezet de veranderingen van de pH-KCl (Δ pH) en de verandering in basenbezetting (Δ S) in me per 100 g. Δ S is berekend door de verandering van NH₄-N af te trekken van veranderingen in NO₃-N. De richtingscoëfficiënt van de lijn die het verband tussen pH en S aangeeft komt overeen met waarden die Zöttl heeft bepaald.

Kaila (1954) heeft uit de veranderingen in NO₃- en NH₄-gehalten die optraden bij incubatie van monsters van verschillende Finse venen, de pH-veranderingen berekend. De berekende en gemeten pH-waarden kwamen vrij goed overeen, zodat ook hier de conclusie gewettigd is, dat de pH-veranderingen voornamelijk veroorzaakt worden door mineralisatie en nitrificatie.

Ook de gegevens van Lehr (1950) wijzen in die richting. Van een onbemeste onbegroeide zandgrond werden door hem op verschillende tijdstippen monsters genomen, waarvan het NO₃-gehalte en de pH-H₂O werden bepaald. Bovendien werd de titratiecurve van deze grond met HNO₃ bepaald. Fig. 9, die zijn resultaten laat zien, toont aan dat de verzuring hier eveneens wordt veroorzaakt door de ten gevolge van nitrificatie vrijkomende HNO₃.

Voor een onbegroeide onbemeste zandgrond kan nu een globale schatting gemaakt worden van de jaarlijkse verzuring. Stel dat van de in een zandgrond aanwezige hoeveelheid humus jaarlijks de fractie a wordt afgebroken.

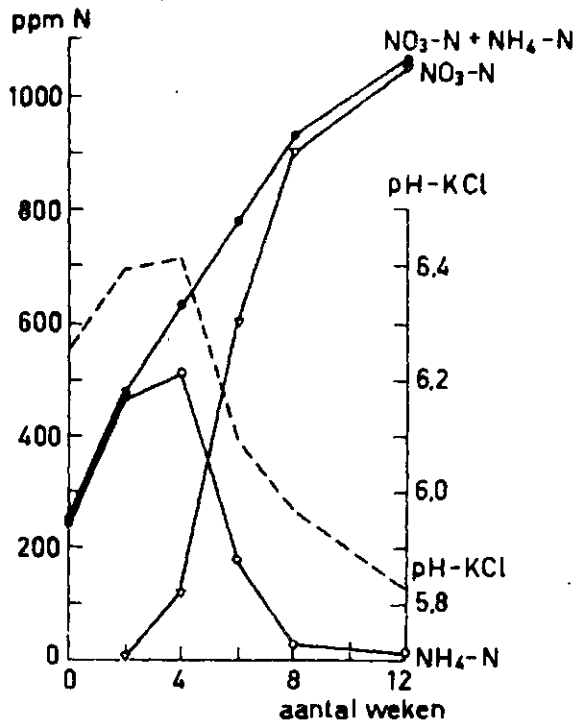


Fig. 7. Veranderingen van de pH-KCl door nitrificatie.

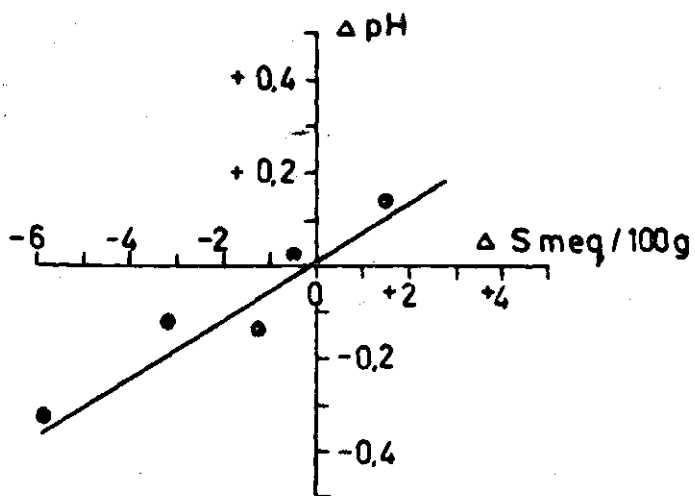


Fig. 8. Verband tussen verandering van de pH en verandering van S.

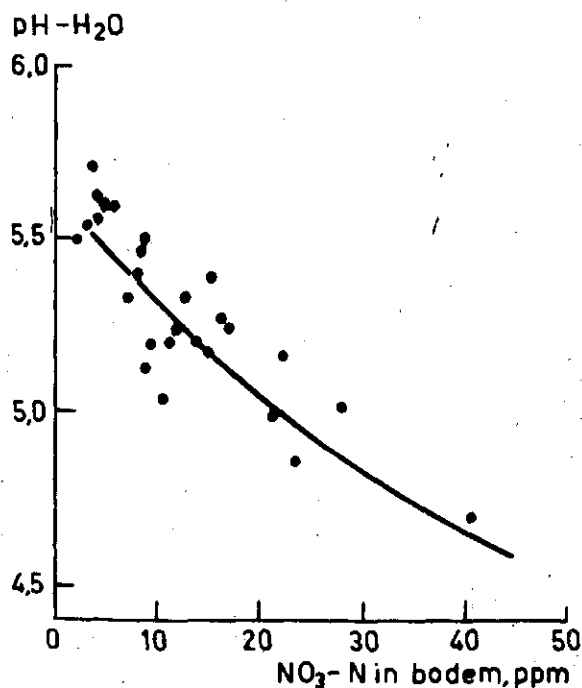


Fig. 9. Verband tussen NO_3 -gehalte in de bodem en de pH.

— pH- H_2O -verloop bij titratie HNO_3 .

o grondmonsters van verschillende tijdstippen.

Als deze grond in evenwicht is - dit wil zeggen de hoeveelheid micro-organismen is constant - dan komt ook de fractie a van de organische gebonden stikstof vrij. Per 100 g grond komt dus jaarlijks vrij:

$$\frac{a \cdot C_H \cdot H}{q} \text{ g N}$$

H is het percentage humus, C_H het koolstofgehalte hiervan, en q het C/N-quotiënt van de humus. Wordt deze hoeveelheid NH_4^+ volledig genitrificeerd tot NO_3^- , dan betekent dit, per 100 g grond, jaarlijks een verzuring overeenkomend met:

$$\frac{1000 \cdot a \cdot C_H \cdot H}{14 \cdot q} \text{ me}$$

De adsorptiecapaciteit van humuszandgronden is ruwweg evenredig met het humusgehalte:

$$T = k \cdot H \text{ me per } 100 \text{ g}$$

Bij volledige uitwisseling van basische kationen tegen de gevormde H^+ -ionen, is de fractionele verandering van de kationenbezetting:

$$\Delta V = \frac{1000 \cdot a \cdot C_H \cdot H}{14 \cdot q} / k \cdot H = \frac{1000 \cdot a \cdot C_H}{14 \cdot q \cdot k}$$

Het verband tussen pH-KCl en V kan voor een groot traject worden voorgesteld door een rechte met een richtingscoëfficiënt 4,0 zodat

$$\Delta pH = \frac{4000}{14} \cdot \frac{a \cdot C_H}{q \cdot k}$$

Hieruit volgt dat de pH-daling onafhankelijk is van het humusgehalte, voor zover ten minste q , C_H en a onafhankelijk zijn van het humusgehalte, wat hier is aangenomen.

Kortleven (1963) vond dat onder Nederlandse omstandigheden a ongeveer $2 \cdot 10^{-2}$ per jaar bedraagt. Hoewel het C/N quotiënt van grond tot grond behoorlijke verschillen kan vertonen, kan dit in eerste aanleg op 15 gesteld worden. Het koolstofgehalte van humus bedraagt ca. 50% (Van Dijk, 1968).

De adsorptiecapaciteit van humus bedraagt zo'n 200 me per 100 g, k heeft dus de waarde 2 me per gram.

De pH-daling bedraagt dus ongeveer:

$$\Delta pH = \frac{4000}{14} \cdot \frac{0,02 \cdot 0,5}{15 \cdot 2} = 0,10$$

Het verlies aan kationen is bij een bouwvoordiepte van d dm, een volumegewicht vg , uitgedrukt in kg CaO per ha (equivalentgewicht van CaO is 28):

$$\frac{28 \cdot 10 \cdot 1000 \cdot a \cdot C_H \cdot H}{14 \cdot q} \cdot \text{vg} \cdot d \text{ kg CaO per ha}$$

Bij een zandgrond met 5% humus, een volumegewicht van 1,34, en een bouwvoordiepte van 20 cm betekent dit een jaarlijks verlies overeenkomend met ca. 180 kg CaO per ha. Hierbij kan dan nog het kationenverlies komen, bewerkstelligd door de oxidatie van de bij humusafbraak vrijkomende zwavel. Deze kan bij de normale N:S verhouding in humus (10:1), zo'n 10% bedragen van de verzuring veroorzaakt door vrijkomen van HNO. In het gegeven voorbeeld betekent de totale verzuring ten gevolge van het vrijkomen van sterke anorganische zuren, een verlies van 200 kg CaO per ha.

Naast HNO₃ en H₂SO₄ ontstaat bij de humusafbraak CO₂, dat bovendien ook vrijkomt als gevolg van de wortelademhaling van het gewas. Het zou dus mogelijk zijn, dat kationen uitspoelen als bicarbonaat. Bolt et al. (1965) hebben berekend dat onder normale omstandigheden, bij evenwicht, op 20 cm diepte een CO₂-spanning heerst van ca. $5 \cdot 10^{-3}$ atm. Nu wordt bij afwezigheid van calciumcarbonaat, wat op Nederlandse zandgronden vrijwel altijd het geval is, de HCO₃-concentratie bepaald door de CO₂-druk en de pH:

$$(\text{HCO}_3^-) = \frac{10^{-7,7} \cdot P_{\text{CO}_2}}{10^{-\text{pH}}} \text{ eq per liter}$$

Als de pH van de bodemoplossing de waarde 6,7 zou hebben (wat voor Nederlandse zandgronden hoog is), dan zou bij de bovenvermelde CO₂-druk van $5 \cdot 10^{-3}$ atm de HCO₃-concentratie $5 \cdot 10^{-4}$ eq. per liter bedragen. De hoeveelheid water die de bouwvoor jaarlijks passeert kan men op 300 à 400 mm stellen. De hoeveelheid als bicarbonaat uitgespoelde kationen is dan:

$$(3 \text{ à } 4 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4}) = 1,5 \text{ à } 2 \text{ keq./ha} = 40 \text{ à } 60 \text{ kg CaO/ha}$$

Normaal ligt de pH-KCl van zandbouwland rond de 5,0 wat een pH-H₂O van

ca. 6,0 betekent.

De pH van de bodemoplossing zal onder de in het veld heersende omstandigheden van dezelfde orde van grootte zijn. Normaliter zal dan de kationen uitspoeling als bicarbonaat zo'n 10 kg CaO per ha bedragen. Verwaarloosbaar klein dus vooral als men het zeer globale karakter van de hier gemaakte berekening van kationenuitspoeling in aanmerking neemt.

4.1.2. Bemesting

De invloed die een bemesting - we zullen ons hier tot een bemesting met kunstmest beperken - op de zuurgraad van een grond uitoefent, hangt voornamelijk van zijn chemische samenstelling af. Sluijsmans (1961) heeft, voortbouwend op denkbeelden van Pierre (1933), een formule ontwikkeld waarmee de veranderingen van de zuurgraad van een

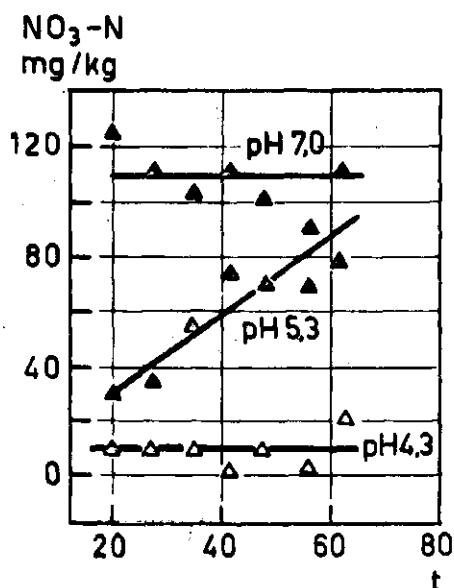


Fig. 10. Verband tussen nitrificatie en de pH.

met een bepaalde meststof bemeste grond ten opzichte van een onbemeste grond kan worden berekend. Voor een onbegroeide grond kan de verzurende werking van een bemesting berekend worden als $A_b + N_b - K_b$ eq. per ha. A_b is hier de som van de aangevoerde anionen, N_b de gegeven stikstof en K_b de som van de aangevoerde kationen. De vorm waarin N wordt gegeven doet er meestal niet toe, omdat onder normale omstandigheden (onder andere niet te lage pH), NH_4^+ snel wordt omgezet in NO_3^- . Bij afnemende

TABEL II. Opbrengsten en gehalten van als kation en als anion opgenomen elementen van enige gewassen

Gewas	kg. ha ⁻¹ opbrengst	me. kg ⁻¹ Σkat	me. kg ⁻¹ Σan	pH-KCl	Bemesting
rogge	korrel	223	1381	3,94	30 kg N als kas
	loof vers	408	370	1,10	"
	korrel	202	1342	4,23	"
	loof vers	403	347	1,16	"
	korrel	235	1391	4,74	"
	loof vers	351	372	0,94	"
	korrel	218	1416	5,22	"
	loof vers	393	397	0,99	"
	korrel	207	1395	4,10	80 kg N als kas
	loof vers	364	425	0,86	"
IB 453	korrel	229	1431	4,27	"
	loof vers	362	421	0,86	"
	korrel	216	1387	4,75	"
	loof vers	376	405	0,93	"
	korrel	240	1436	5,13	"
	loof vers	373	423	0,88	"
	korrel	292	1785	4,06	25 kg N als kas
	loof vers	968	925	1,05	"
	korrel	286	1727	4,86	"
	loof vers	879	970	0,91	"
IB 453	korrel	285	1703	5,34	"
	loof vers	948	931	1,02	"
	korrel	273	1781	5,79	"
	loof vers	950	954	1,00	"
	korrel	302	1915	3,99	75 kg N als kas
	loof vers	1000	958	1,04	"
	korrel	292	1785	4,06	25 kg N als kas
	loof vers	968	925	1,05	"
	korrel	286	1727	4,86	"
	loof vers	879	970	0,91	"

korrel	2330	271	1906	0,14	4,72	75 kg N als kas
loof vers	2500	998	938	1,06		
korrel	2470	275	1819	0,15	5,24	" "
loof vers	2590	985	933	1,06		
korrel	2320	287	1836	0,16	5,71	" "
loof vers	2380	970	948	1,02		

suiker(biet)	9670	412	593	0,69	5,2	A
biet	10811	401	589	0,68	5,2	H
	11229	399	535	0,75	5,2	I
	10948	409	570	0,72	5,2	J
	11606	419	532	0,79	5,2	N
	12074	422	580	0,73	5,2	O
	12168	409	576	0,71	5,2	P

A = 0 K₂O, 0 Na₂O₃, 180 kg N als Ca(NO₃)₂
H = 200 kg K₂O als KCl, 0 Na₂O, 180 kg N als Ca(NO₃)₂
I = " " " KNO₃ " " " " "
J = " " " K₂SO₄ " " " " " 180 kg N als Ca(NO₃)₂
N = " " " KCl, 200 kg Na₂O als NaCl, 180 kg N als Ca(NO₃)₂
O = " " " KNO₃ " " " " NaNO₃
P = " " " K₂SO₄ " " " " Na₂SO₄, 180 kg N als Ca(NO₃)₂

gerst						
korrel	-	-	-	0,18	-	1 A
loof	-	-	-	1,16	-	
korrel	-	-	-	0,18	-	2 A
loof	-	-	-	1,21	-	
korrel	-	-	-	0,18	-	4 A
son	-	-	-	1,16	-	
(1931)	-	-	-	0,18	-	1 AA
loof	-	-	-	1,31	-	

1 A = alleen NH₄-zouten
2 A = NH₄-zouten + supersfosfaat
4 A = NH₄-zouten + complete bemesting
1 AA = alleen NaNO₃

pH verloopt deze omzetting langzamer, om tenslotte bij een pH-H₂O van omstreeks 4 à 4,5 nagenoeg geheel te stoppen. Bij dergelijk lage pH-waarden - die overigens in de praktijk op zandbouwland nauwelijks voorkomen - is het dus wel van belang rekening te houden met de vorm waarin stikstof wordt gegeven. De pH-afhankelijkheid van de nitrificatie wordt duidelijk geïllustreerd door fig. 10, ontleend aan Dijkshoorn (1960).

4.1.3. Ionenopname door het gewas

Vele gewassen nemen kationen en anionen niet in equivalente hoeveelheden op. Als meer anionen dan kationen worden opgenomen, wat meestal het geval is, dan zal het surplus aan anionen zijn opgenomen samen met H⁺-ionen of uitgewisseld tegen OH⁻ of HCO₃⁻ (De Wit et al., 1963). In beide gevallen worden H⁺-ionen aan de bodemoplossing onttrokken. Deze afname van H⁺-ionen in de oplossing wordt gebufferd doordat H⁺-ionen van het complex omwisselen tegen kationen in de oplossing. De basenbezetting van het complex neemt dus toe, evenals de pH.

Omgekeerd zal een overschot in kationenopname boven anionenopname leiden tot een afname van de basenbezetting en van de pH. De verhouding opgenomen kationen/anionen hangt af van de betreffende plantesoort en van de omstandigheden, bijv. of stikstof is opgenomen als NH₄⁺ of als NO₃⁻. Om een schatting te maken van de orde van grootte van de invloed van het gewas op basenbezetting en pH, is hier aangenomen dat de omstandigheden van dien aard zijn, dat N door het gewas wordt opgenomen als nitraat.

In tabel II vindt men enige resultaten van experimenten, waarbij de samenstelling van de beproefde gewassen is bepaald. Bij deze proeven is stikstof als nitraat gegeven, of waren de omstandigheden zó, dat aangenomen mag worden dat N als nitraat is opgenomen. Hieruit blijkt dat voor de granen haver, gerst en rogge de kationen/anionen verhouding (C/A - dit wil zeggen de verhouding tussen de elementen die als kationen zijn opgenomen en die welke als anionen zijn opgenomen - in de korrel vrijwel constant is en zich beweegt rondom 0,17. De C/A-verhouding van het stro is minder constant, niettemin kan globaal gesteld worden dat deze in de buurt van 1,0 ligt. Van de als anion opgenomen elementen neemt stikstof, vooral in de korrel, de voornaamste plaats in, zodat voor Σ an ook de gehalten van N en P genomen kunnen worden.

Volgens het Handboekje voor de landbouwvoorlichter (1967) is de normale opbrengst van rogge 3500 kg korrel per ha, terwijl de N en P_2O_5 -gehalten dan 1,6 resp. 0,8% bedragen. Het gehalte van de als anion opgenomen elementen bedraagt dan dus: 1250 me per kg. Per kg korrel zijn dan dus $0,83 \cdot 1250 = 1040$ me meer anionen dan kationen opgenomen, of bij een oogst van 3500 kg per ha ongeveer 3,6 ke per ha. Dat betekent dat per ha ook 3,6 ke H^+ -ionen zijn verdwenen, wat gelijk staat aan de werking van 100 kg CaO per ha. Uit cijfers van P.F.J. van Burg (persoonlijke mededeling, 1972) blijkt dat de verhouding kationen/anionen in de wortel (biet) van de suikerbiet ongeveer 0,70 bedraagt. Bij de door het voornoemde Handboekje opgegeven normale oogst (11 500 kg droge stof per ha) en een gehalte aan N en P van 630 me per kg, betekent dit dat door het gewas een werking gelijkstaande aan 2,2 ke = 60 kg CaO per ha is uitgeoefend.

Bij de aardappels ligt de verhouding kationen/anionen in de buurt van 0,40. Met een normaal N + P-gehalte van ongeveer 1000 me per kg en een opbrengst van 9200 kg per ha betekent dit een werking van 150 kg CaO per ha.

De invloed van het gewas op de zuurgraad van de grond staat dus normaliter gelijk aan een bekalking van 50-150 kg CaO per ha, met een gemiddelde van ongeveer 100 kg CaO per ha.

4.2. *Het totale jaarlijkse basenverlies*

Het is nu mogelijk om uitgaande van gegevens omtrent het humusgehalte, het stikstofgehalte van de humus (of het C/N-quotiënt hiervan), en de bemesting een ruwe schatting te maken van de hoeveelheid kationen die in de bouwvoor van het adsorptiecomplex verdreven worden, en vervolgens worden uitgespoeld. Deze schatting berust op de aanname dat het totale verlies berekend kan worden als basenverlies door humusafbraak en nitrificatie + basenverlies veroorzaakt door de bemesting + basenverlies veroorzaakt door het gewas. Eventuele interacties zijn dus buiten beschouwing gelaten. Aan de hand van een voorbeeld zal nu een dergelijke berekening worden gemaakt.

Gaan we uit van een zandgrond met 5% humus, met een C/N-quotiënt = 15, een volumegewicht van 1,3 kg per liter en een bouwvoordiepte van 20 cm, dan bleek reeds eerder dat het basenverlies veroorzaakt door oxi-

datie van de bij humusafbraak vrijkomende N en S zo'n 200 kg CaO per ha bedraagt. Bij een normaal bouwplan op een dergelijke grond is de gemiddelde bemesting 100 kg N als kas, 100 kg P₂O₅ als sup, en 150 kg K₂O als bijv. k-40. Het basenverlies ten gevolge van de bemesting bedraagt dan 100 kg CaO per ha, terwijl het gewas een werking uitoefend overeenkomend met een toevoer van ca. 100 kg CaO per ha. Het totale basenverlies komt dus neer op een 200 kg CaO per ha. Volgens de regressieformule is dit inderdaad het verlies, wat verwacht kan worden op een dergelijke grond, bij een redelijke hoge pH (pH-KCl 5,5).

Bij de hier in beschouwing genomen proefvelden bleek de invloed van de bemesting en van de gewasgroei, onder invloed van de bemesting, berekend volgens de formule van Sluijsmans (1961), op het kalkverlies verwaarloosbaar klein. De belangrijkste bijdrage aan de verzuring zal dus geleverd moeten zijn door de nitrificatie. Omdat de nitrificatiesnelheid sterk afneemt met afnemende pH kan dit de gevonden pH-afhankelijkheid van de pH-daling verklaren.

5. DISCUSSIE

Bij de inleiding is een aantal gegevens uit de literatuur over kalkverliezen op zandbouwland vermeld. Men kan zich nu afvragen of de berekende hoeveelheden overeenstemmen met deze literatuurcijfers. De tussen haakjes vermelde cijfers betreffen het kalkverlies uit de literatuur gecorrigeerd voor het verbeterde volumegewicht.

I. Bruin (1949) vond op een dalgrond met humusgehalte van 13,2% en een bouwvoordikte van 14 cm bij pH-H₂O 5,9 (= pH-KCl ca. 5,3) een jaarlijks verlies van 275 (258) kg CaO en bij pH-H₂O 4,9 (= pH-KCl ca. 4,15) een jaarlijks verlies van 160 (150) kg CaO.

Volgens figuur 6 of tabel I kan worden berekend: $190 \times 1,4 = 266$ kg CaO bij pH-KCl 5,3 en $48 \times 1,4 = 67$ kg CaO bij pH-KCl 4,15. Bij de lage pH is dus een veel lagere hoeveelheid berekend, maar bij de hogere pH is de overeenstemming goed.

II. Bruin (1949) vond op een esgrond met 5% humus een jaarlijks verlies van 200 (188) kg CaO. Bij een bouwvoordikte van 20 cm is de daarbij behorende berekende pH_{vr} 5,3. Deze berekende pH_{vr} is vrij hoog, en kan helaas niet vergeleken worden met een pH_{vr} van Bruin. Indien de pH_{vr} 5,0 zou zijn geweest zou het verlies 170 kg CaO per jaar bedragen. Dit stemt redelijk overeen met de vermelde 200 (188) kg.

III. Uit de cijfers van Castenmiller (1950) is af te leiden dat op een perceel met 8 à 9% humus, een bouwvoor van 20 cm en een pH-H₂O 5,2 (= pH-KCl ca. 4,2) het jaarlijkse verlies 98 (91) kg CaO bedraagt. Bij deze voorwaarden is volgens tabel I te berekenen dat het jaarlijkse verlies per 20 cm bouwvoor 85 kg CaO bedraagt. De overeenstemming is redelijk goed.

IV. Struys en Poppens (1962) berekenden van de kalkprojecten Hessem en Lemele de kalkverliezen van de periode 1953-1960. Bij de humusgehalten (dit is gemiddelde van de klassen) van 3,3%, 4,8%, 6,3% en 7,8% vonden zij in Hessem een verlies van 131 (122), 177 (166), 203 (191) en -kg CaO per jaar. In Lemele waren de jaarlijkse verliezen -, 189 (178), 243 (229) en 255 (240) kg CaO. De pH waartoe in 1953 werd bekalkt

was 4,9. Volgens figuur 6 zijn de verliezen in 7 jaar bij pH 4,9 en de betreffende humusgehalten resp. 700, 880, 1060 en 1250 kg CaO. Per jaar is dit: 100, 126, 151 en 179 kg CaO. In beide gebieden werd gemiddeld per jaar 140 kg CaO via slak aangevoerd. Een gedeelte hiervan is ondertussen weer uitgespoeld. De gift in het laatste jaar heeft een zekere pH-verhoging tot gevolg gehad. Van deze pH-verhoging is de fractie $a_1 = 0,94573$ over. Gesteld kan worden dat dan ook de fractie a_1 van de CaO uit de slak over is: dus de fractie $1-a_1$, is uitgespoeld, dit is $100(1-0,94573)$ %. Van de gift uit het eerste jaar (7 jaar geleden) is op analoge wijze af te leiden dat er $100(1-0,94573^7)$ % is uitgespoeld. De uitgewerkte percentages staan in tabel III. In de zeven jaar is van de in totaal via de slak gegeven CaO 19,5% weer uitgespoeld. Dit is $0,195 \times 7 \times 140 = 191$ kg CaO in 7 jaar en 27 kg CaO per jaar. De geschatte verliezen per jaar worden dus: 127, 153, 178 en 206 kg CaO. Struys en Poppens berekenden voor Hessem over het algemeen iets hogere verliezen (ca. 20 (10) kg per jaar en voor Lemele duidelijk hogere verliezen (ca. 50 (35) kg CaO) per jaar. Zij vonden de verliezen in Lemele vrij hoog. Als oorzaken hiervoor gaven zij onder andere: het in de loop der jaren dieper gaan ploegen (trekkertractie)

TABEL III. Het percentage dat is uitgespoeld van de kalk die k jaar geleden is aangewend, exclusief de extra verliezen in het jaar van aanwending

k jaar	% uitgespoeld
0	0
1	5,43 = $100(1-0,94573^1)$ %
2	10,56
3	15,41
4	20,00
5	24,34
6	28,45
7	32,33
8	36,01
9	38,48
10	42,76 = $100(1-0,94573^{10})$ %

waardoor de zuurdere ondergrond naar boven werd gehaald. Globaal kan berekend worden dat indien men 3 cm dieper is gaan ploegen dit bij de gemiddelde humusgehalten een extra kalkverlies geeft van 160 à 300 kg en dat is per jaar 23 à 43 kg CaO. Als conclusie kan gesteld worden dat de overeen-

komst tussen berekend en gevonden redelijk goed is.

V. Boskma (Anoniem, 1959) berekende over een periode van 12 jaar (1946-1958) de hoeveelheid CaO die gemiddeld per jaar nodig was om een pH-KCl van resp. 4,0, 4,2, 4,4, 4,6, 4,8 en 5,0 te handhaven. De proefvelden waarvan hij deze hoeveelheden berekenden hadden een humusgehalte van 9 resp. 14% en de bouwvoordikte was in beide gevallen 13 cm. In tabel IV zijn de hoeveelheden van Boskma met de geschatte hoeveelheden via figuur 6 of tabel I vergeleken. De overeenstemming is goed.

TABEL IV. Kalkverliezen per jaar

		pH _{vr}					
		4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
9% hu	Boskma	20(18)	50(46)	81(75)	101(95)	114(107)	128(129)
	Loman	24	42	61	80	99	118
14% hu	Boskma	26(24)	54(50)	82(76)	113(106)	141(133)	172(161)
	Loman	31	56	80	105	130	155

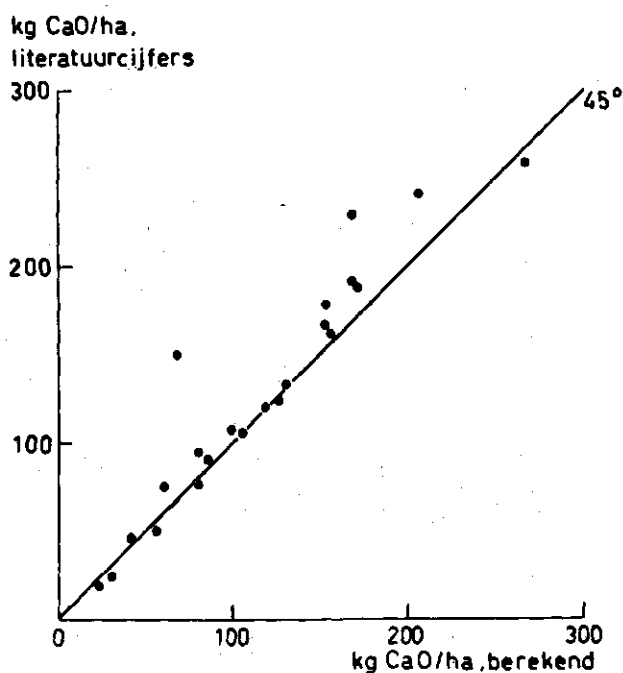


Fig. 11. Vergelijking van het berekende kalkverlies met de gegevens uit de literatuur.

In de literatuur zijn slechts enkele gegevens te vinden over de evenwichts-pH. Boskma gaf aan dat op beide beschouwde proefvelden, bij de toegepaste neutrale bemesting, de evenwichts-pH 3,84 en 3,88 bedroeg. De Vries en Visser (1934) berekenden uit een twintigtal proeven met chilisalpeter en zwavelzure ammoniak een evenwichts-pH H₂O van 4,5 à 4,6 (= pH-KCl 3,5 à 3,6). De door ons berekende evenwichtswaarde van 3,75 stemt overeen met de schaarse literatuurgegevens.

6. SAMENVATTING

De grote betekenis van de kalktoestand als bodemvruchtbaarheidsfactor maakt de vraag naar het kalkverlies in de loop van de tijd belangrijk. Aan de hand van uitgebreid en gevarieerd proefveldmateriaal is een benadering gegeven van het kalkverlies op zandbouwland.

De belangrijkste resultaten zijn:

- (a) De daling van de pH is afhankelijk van de uitgangspH (pH_{vr}) en bedraagt na k jaar $(1 - 0,94573^k)(pH_{vr} - pH_{ev})$. De waarde pH_{ev} is een evenwichtspH die na lange tijd ontstaat bij weglaten van bekalking en bij het toepassen van een neutrale bemesting. De evenwichtspH kan voor het gebruikte proefveldmateriaal op 3,75 worden gesteld.
- (b) Invloeden van humusgehalte, regenval, regenval per dag en basenaanvoer (veelal laag) op de daling van de pH konden niet met voldoende betrouwbaarheid worden aangetoond.
- (c) De verandering van de S-waarden door een verandering in pH bedraagt: $\Delta S = (0,4521 \text{ hu}\% + 0,7349) \cdot \Delta pH$.
- (d) De theoretische kalkfactor bedraagt volgens de formule onder c gemiddeld over het tot beschikking staande materiaal: $12,25 \cdot T \cdot vg$. Om de extra verliezen aan kalk in de eerste maanden na de bekalking (25% van de toegediende hoeveelheid) enigermate te compenseren is het juist om de huidige kalkfactor $14 \cdot T \cdot vg$ te handhaven.

De grootte van de onderhoudsbekalking na k jaar blijkt dus afhankelijk te zijn van de uitgangspH, het humusgehalte en de bouwvoordikte. De hoeveelheden zijn af te leiden uit tabel I of figuur 6.

7. LITERATUUR

- Alexander, H., 1961. Introduction to soil microbiology. Wiley, New York
- Allison, F.E., 1931. The comparative effects of concentrated nitrogenous fertilizers on permanent soil acidity. J. Amer. Soc. Agron. 23: 878-908.
- Anoniem, 1959. Samenvattend verslag van de kalk-magnesiumproefvelden Pr 19 en Pr 32 over de periode 1941 tot en met 1959. Ver. Exploitatie Proefboerderijen Veenkol., Jaarversl. 1959: 171-192.
- Bolt, G.H., Janse, A.R.P. en Koenings, F.F.R., 1965. Syllabus kandidaatscollege Algemene Bodemkunde. Deel II: Bodemnatuurkunde. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Boskma, K., 1960. Resultaten van twee langjarige kalk-magnesiaproefvelden op dalgrond. Landbouwvoorlichting 17: 710-713.
- Bruin, P., 1942. Kalkverliezen van de bouwvoor gedurende het eerste jaar na de bekalking van humus-zandgronden. Landbouwk. Tijdschr. 54: 652-673.
- Bruin, P., 1949. De betekenis van kalk en van organische bemesting voor de bodemvruchtbaarheid in Nederland. Meded. Nat. Coöp. Aan- en Verkoop Ver. Landb. Centr. Bur. 33: 15-31.
- Castenmiller, C.M., 1950. Zwavelzure ammoniak met kalk op zandgrond. Landbouwk. Tijdschr. 62: 233-240.
- Dijk, H. van, 1968. Das C/N-Verhältnis im $A_3(p)$ -Horizont von kultivierten Sandböden in Zusammenhang mit Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisierung. Stikstof, Dutch Nitrogenous Fertilizer Rev. 12: 89-95.
- Dijkshoorn, W., 1960. Het effect van de nitrificatie van een ammoniumbemesting op de nitraataccumulatie en de kation-anion balans in Engels raaigras. Inst. Biol. Scheik. Onderz. Landbouwgewassen, Jaarb. 1960: 123-135.
- Handboekje voor de landbouwvoorlichter, 3e druk, 1967. Proefsta. Akker-Weidebouw, Wageningen.
- Kaila, A., 1954. Nitrification in decomposing organic matter. Acta Agr. Scand. 4: 17-32.

- Kortleven, J., 1963. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Versl. Landbouwk. Onderz. 69:1.
- Kortleven, J., 1970. Volumegewicht, poriënvolume en humusgehalte. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Stencil C-7759.
- Lehr, J.J., 1950. Seasonal variations in the pH-value of the soil, as influenced by nitrification. Trans. Int. Congr. Soil Sci., 4th, Amsterdam, 1950, 2: 155-157.
- Pierre, W.H., 1933. Determination of equivalent acidity and basicity of fertilizers. Ind. Eng. Chem. 5: 229-234.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P., 1961. Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart.
- Sluijsmans, C.M.J., 1961. Invloed van (meng)meststoffen op de kalktoestand van de grond. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 5-1961.
- Struijs, L.G. en Poppens, B., 1962. Heronderzoek van MSA-projecten in Overijssel. Landbouwvoorlichting 19: 676-681.
- Uven, M.J. van, 1946. Mathematical treatment of the results of agricultural and other experiments. Noordhoff, Groningen.
- Vries, O. de en Visser, W.C., 1934. De veranderingen in de grond door lang voortgezette bemesting met enkele stikstofmeststoffen. Versl. Landbouwk. Onderz. 40A: 505-541.
- Wit, C.T. de, Dijkshoorn, W. and Noggle, J.C., 1963. Ionic balance and growth of plants. Versl. Landbouwk. Onderz. 69:15.
- Zöttl, H., 1961. Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. III. pH-Wert und Mineralstickstoff-Nachlieferung. Plant Soil 13: 207-223.

Bijlage

GEGEVENS VAN DE BEWERKTE PROEFVELDEN

Proefveld	Plaats	pH-traject	Aantal proef- jaren ^x	Totaal waarn.	hu %	Basen aanvoer	a ₁	a ₀	b ₁
00	49 Emmen	4,05-4,85	1	6	8,1	0	1,2085	-1,0083	5,1225
	50 Ees	3,75-5,20	1	5	8,0	0	0,6045	1,4485	4,0527
	52 Dalen	3,7 -4,75	4	8	9,4	15	0,7300	0,9751	3,2435
	53 Valthermond	3,85-4,95	1	5	15,6	120	0,3407	2,6676	17,0026
	54 Nw.Dordrecht	3,7 -5,85	1	6	35,7	0	1,0493	-0,2103	--
	56 Buinerveen	3,6 -5,4	1	7	70,6	0	0,5807	1,5679	--
	57 Orvelte	3,55-4,1	1	7	9,1	0	1,4307	1,8021	9,2793
	58 Valthe	3,7 -4,2	1	5	14,0	0	--	--	9,2487
	59 O.Schoonebeek	3,4 -5,3	5	30	29,2	42	0,9183	0,3121	13,6083
	62 Nw.Weerdinge	3,9 -5,3	3	9	3,8	79	--	--	--
	64 Eeserveen	3,8 -4,85	2	10	13,5	195	0,8383	0,7691	--
	65 Zveelo	3,65-5,1	2	12	7,9	0	0,6190	1,6183	--
	66 Nw.Balinge	3,4 -4,7	1	5	12,6	0	0,7792	0,7830	7,2904
	67 Padhuis	3,4 -4,95	4	19	20,0	40	0,7193	0,9884	8,7941
	632 Nw.Amsterdam	3,4 -5,7	2	24	12,5	0	1,0397	-0,2646	7,1578
	633 Gieterveen	4,2 -6,1	1	12	21,0	0	0,7854	0,9191	12,7827
ND	61 Een	3,85-5,5	3	11	9,0	138	0,7218	1,1595	5,2070
	62 Peize	3,9 -5,0	6	28	5,0	-4	1,0125	-0,0718	4,3190
	63 Wapse	3,5 -5,45	6	36	14,3	3	0,8416	0,5390	6,2074
	64 Zeijen	3,5 -5,1	4	22	9,2	6	0,9081	0,3422	4,5328
	65 Spier	3,55-5,4	8	45	9,7	30	0,9460	0,1728	5,0857
	67 Nijensleek	3,45-4,65	6	26	14,4	0	0,9360	0,2997	8,9601
	68 Loon	3,6 -5,45	7	37	8,5	39	0,9351	0,2486	7,2051
	69 Rolde	3,35-5,50	6	28	8,1	34	0,9974	0,0325	--
	70 Ten Arlo	3,55-5,6	6	34	6,6	33	0,8743	0,4396	2,8838
	71 Smilde	3,7 -5,35	5	25	22,1	144	0,9089	0,3648	7,9475
	74 Nw.Roden	3,95-4,6	1	5	10,0	0	--	--	--
	75 Nijeveen	3,95-5,35	6	23	6,5	104	0,8517	0,7360	3,2761
	77 Zuidwolde	3,6 -5,2	4	23	9,6	0	0,9308	0,2568	--
	78 Pesse	3,9 -5,5	4	20	7,2	167	0,8788	0,5788	--
	271 Diever	3,5 -5,2	4	80	11,4	0	0,9779	0,0371	5,2626

^x Aantal proefjaren wil zeggen het aantal vergelijkingen van pH_{wr} met pH_{na}.

Proefveld	Plaats	pH-traject	Aantal proef- jaren	Aantal waarn.	hu%	Basen aanvoer	a ₁	a ₀	b ₁
Pr 10	Spitsbergen	3,2 -6,3	2	80	6,6	0	0,8775	0,4632	3,8865
13	Borgercie	3,3 -6,0	10	738	10,5	0	0,9241	0,2765	6,3853
19	Borgercie	3,3 -6,1	14	670	13,4	-80	0,9891	-0,0198	3,0991
32	Emmercompasc.	3,25-6,4	9	432	13,1	0	0,9337	0,2449	5,7600
67	Emmercompasc.	3,1 -5,2	2	80	12,6	0	0,9267	0,2660	7,0356
119	Emmercompasc.	3,4 -6,4	8	336	6,4	20	0,9305	0,3470	4,5493
120	Borgercie	3,1 -6,3	10	720	13,2	12	0,9610	0,1552	10,4586
145	Noordlaren	3,4 -6,15	11	720	5,0	0	0,9943	-0,0016	2,6880
263ks	Oudemolen	3,3 -6,2	6	144	9,4	69	1,0242	-0,0865	--
263nas	"	3,4 -6,2	6	144	9,4	98	0,9727	0,1227	--
976sup	Best	3,4 -6,25	7	70	4,2	157	0,9881	0,0506	2,5519
976sl	"	3,65-6,35	7	70	4,2	9	0,9308	0,3404	2,5519
977	Best	3,4 -5,95	3	54	3,6	-153	0,9080	0,3215	2,1802
999	Vugt	3,8 -6,25	7	702	4,2	0	0,8925	0,4234	2,4075
IB 447	Bakel	3,85-5,8	4	128	3,8	0	0,7773	0,8915	2,2479
Serie 6 (Ca-Mg proefvelden)									
OGe.1192	Geestaren	3,6 -5,45	4	48	5,6	0	0,9168	0,2983	3,6662
1193	Winterswijk	3,7 -4,65	3	36	6,0	0	0,9604	0,1455	3,1531
Ve 919	Beekbergen	3,6 -5,35	3	60	7,4	0	1,1111	-0,5256	2,8071
1003	Wapenveld	3,55-5,55	2	40	5,1	0	0,8564	0,5265	3,4582
U 485	Leersum	3,85-5,10	5	60	4,4	38	1,1530	-0,6233	2,1606
486	Rhenen	3,80-4,75	2	24	2,9	58	1,0509	-0,2454	2,1810
WB 1445	Hoeven	3,50-6,25	3	36	3,9	0	0,9626	0,1969	2,2848
1447	Tilburg	3,75-6,10	3	36	3,7	0	0,9726	0,0940	2,3194
1448	Helvoirt	3,95-5,20	2	24	4,1	38	1,0090	-0,0886	2,6015
1975	Made	4,30-6,75	4	48	3,6	15	0,9970	-0,0427	3,0953
L 1327	Meyel	4,1 -6,0	4	48	6,0	0	0,9218	0,3374	3,0585
1328	Nederweert	3,6 -5,05	4	48	4,7	0	1,0019	-0,0628	2,6652
Serie 7 (Ca-K proefvelden)									
ZGr. 601	Onstwedde	4,35-5,55	4	40	7,0	91	0,9290	0,3337	3,4770
ZMF 329	Nijemirdum	3,55-5,15	1	15	4,4	0	1,7385	-2,9165	1,7034
Ve 481	Eerbeek	4,15-5,4	1	10	5,9	48	1,0458	-0,1706	2,2762
482	Bennekom	3,6 -4,7	1	10	4,9	0	0,8137	0,7353	3,3428
OGe 998	Gorssel	4,0 -5,4	1	10	4,5	0	0,8174	0,8920	3,5354
1000	Winterswijk	3,7 -5,15	2	20	5,9	0	1,0124	-0,0969	2,4912
D 557	Pesse	3,65-5,25	2	20	9,8	0	0,9834	0,0339	4,3403
558	Buinerveen	4,05-5,40	2	20	21,8	0	0,7597	0,9872	7,4216
OO 1214	Denekamp	3,7 -4,9	4	40	6,5	0	0,8981	0,4044	3,2369
1215	Vroomshoop	4,2 -5,6	3	30	18,2	41	0,8150	0,8109	6,2098
U 487	Rhenen	3,9 -4,55	1	10	2,9	115	1,2944	-1,1881	2,5123
692	Woudenberg	3,9 -5,05	2	40	3,1	-26	0,6487	1,4929	2,3913
WB 1522	Beek	3,9 -5,3	3	42	3,8	0	0,8843	0,4781	2,1085
OB 3051	Liempde	4,3 -5,4	2	20	3,5	0	0,8976	0,4764	2,2748
3052	St. Oedenrode	3,8 -5,05	2	20	3,7	0	0,9636	0,1584	2,4578
L 1114	Maasbree	3,7 -5,6	3	36	3,6	0	0,9615	0,1485	1,8471
1115	Maasbracht	3,9 -6,4	1	10	3,2	0	0,6697	1,4748	--

Proefveld	Plaats	pH-traject	Aantal proef- jaren	Aantal waarn.	hu%	Basen- aanvoer	a ₁	a ₀	b ₁	
Limburgse proefvelden										
L	1090	Bergen	3,9 -6,75	2	16	2,8	-248	1,0539	-0,4420	1,9464
	1091	Mook	4,3 -6,3	2	16	3,7	0	0,7379	1,0899	2,8334
	1092	Venray	3,4 -6,0	2	16	6,8	0	0,4814	1,9887	2,7718
	1095	Sevenum	4,1 -6,15	2	16	4,7	0	0,8479	0,6899	2,5464
	1096	Helden	3,9 -6,1	5	40	3,3	-10	0,9000	0,3562	2,0906
	1097	Ospel	4,0 -5,45	2	16	7,8	77	0,9584	0,1636	5,7809
	1098	Stramproy	3,95-5,95	2	16	3,8	0	0,9805	-0,0598	1,9357
	1099	Roggel	3,95-6,15	2	16	4,1	-78	0,9742	-0,0444	2,4861
	1101	Belfeld	4,0 -5,05	2	16	3,4	0	0,9328	0,1723	1,7049
	1103	Echt	4,1 -5,65	2	16	3,5	0	0,7507	0,9889	--
Diverse proefvelden										
ZGr	1320	Slochteren	3,7 -5,2	1	12	18,0	0	0,9747	0,1062	8,7205
WD	204	Ruinen	3,5 -4,7	2	56	12,5	?	0,9257	0,2426	--
	205	Vledder	3,6 -4,7	6	48	13,2	?	0,9597	0,1650	5,5689
WO	114	Willemsoord	3,4 -5,3	2	96	7,4	?	0,9960	0,0202	4,3037
PO	3	Heino	3,8 -6,3	3	60	4,4	?	0,9579	0,1788	3,1213
	4	Heino	4,2 -5,8	3	60	5,0	?	0,9461	0,2648	3,2190
U	1014	Achterberg	3,85-4,8	2	12	4,4	0	0,8727	0,4527	1,6357
NHN	1266	Texel	3,9 -6,6	3	36	4,6	127	1,0193	-0,0529	2,3553
MB	1	Gilze	3,65-4,85	1	42	4,9	48	1,5568	-2,2953	1,8578
WB	1068	Heusdenhout	3,7 -5,5	1	24	4,1	0	1,1644	-0,6958	2,9967
OB	3178	Eersel	3,7 -5,0	5	220	4,7	0	0,8398	0,6031	3,5700
NL	87	Middelaar	3,95-5,65	1	8	2,7	141	0,9762	0,0585	--
	88	Velden	4,05-6,35	3	99	6,0	0	1,0258	-0,1252	4,1108
	89	Venray	4,35-6,85	2	66	5,7	0	0,9882	0,0890	--
	90	Sevenum	3,9 -4,6	2	36	5,0	0	0,9064	0,3409	3,2764
	92	Weert	3,8 -5,2	3	54	5,8	0	0,8486	0,5828	3,1701
	413	Grubbanvorst	3,7 -5,9	1	27	3,2	0	0,9324	0,4109	--