

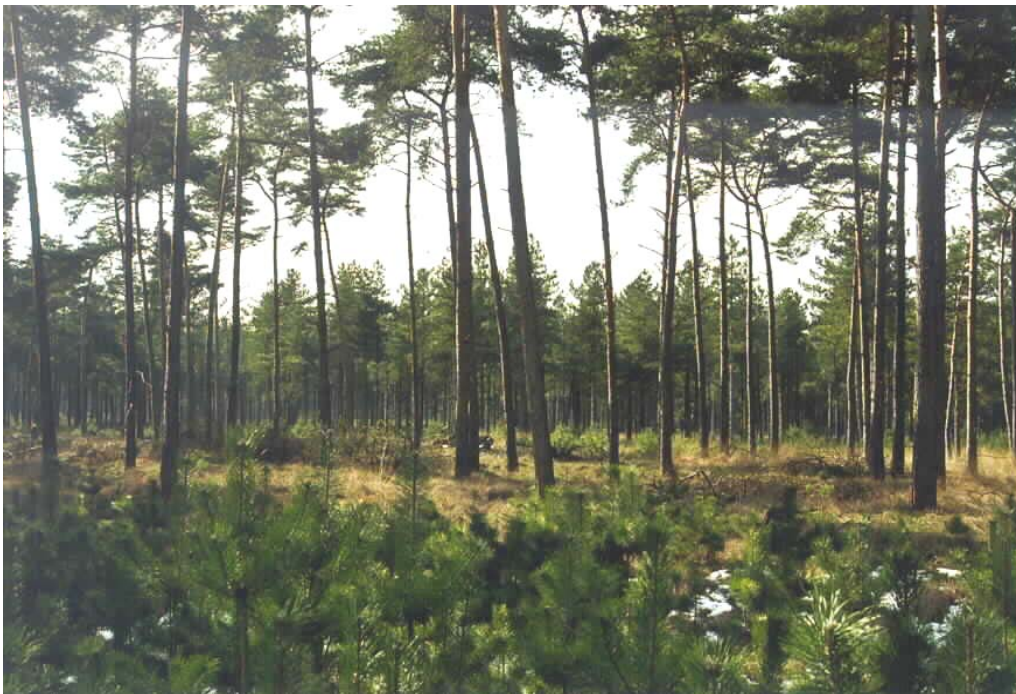
## Waarom volstaat een fosfaatbemesting met Ca bij lage pH?

### Het effect van Ca zonder het pH effect van bekalking

### literatuuronderzoek

2006

G.W. Tolkamp & A.F.M. Olsthoorn



**Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen**

**Deelrapport A2**

**Alterra rapport 1337.3**

## REFERAAT:

Tolkamp, G.W. & A.F.M. Olsthoorn, 2006. Waarom volstaat een fosfaatmeststof met Ca bij lage pH? Het effect van Ca zonder het pH effect van een bekalking – Literatuuronderzoek. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1337.3. 15 blz.; 3 fig.; 4 ref.

Dit rapport doet verslag van een deelonderzoek uit de Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen 2004-2005 en is gericht op de effecten van de maatregelen bemesting en bekalking in bossen als overbruggingsmaatregel in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN). Er zijn veel literatuurbronnen beschikbaar over de meestal positieve effecten van bekalking, na negatieve effecten van verzuring op de bodem en de plant. Echter in deze literatuur studie gaat het in het bijzonder om de vraag of  $\text{Ca}^{2+}$  ook afzonderlijk voldoende effect heeft op de invloeden van verzuring op de plant. Intensief is gezocht naar literatuur waarin experimenten met zuiver Ca bemesting, zonder pH effecten, duidelijk gescheiden waren van bekalking, dus mét pH effecten, eventueel in een combinatie met andere elementen. Voor bomen kon in dit onderzoek geen geschikte bronnen worden gevonden van proeven met bijvoorbeeld gips. In Braziliaanse literatuur over landbouwgewassen konden wél voorbeelden worden gevonden van positief effect van  $\text{Ca}^{2+}$  in zure bodems. Bemesting met gips (zonder pH effect) bleek daarbij juist meer effectief dan bekalking, omdat dit sneller werkte en eerder doordrong ook in het diepere wortelmilieu. Geconcludeerd kan dus worden dat een fosfaatmeststof volstaat voor het opheffen van een Ca-tekort. Onder de huidige Nederlandse condities behoeft de pH niet verhoogd te worden als er met fosfaat wordt bemest.

Trefwoorden: bosbemesting, bosbekalking, calcium voorziening, Bodem-pH, kalk, gips, bosvitaliteit, OBN, EGM.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kan worden uitgeprint via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl), kies Publicaties en Alterra rapporten. Na intoetsen van het rapportnummer 1337 kan uit de lijst het juiste deelrapport worden geselecteerd en worden geprint of gedownload (als PDF). Het onderzoek bestond uit acht deelonderzoeken, zie ook de overige deelnummers bij rapportnummer 1337.

Het samenvattende eindrapport *Olsthoorn, A.F.M & R.J.A.M. Wolf - 2006 - Evaluatie van effectgerichte maatregelen in multifunctionele bossen – Eindrapport* is verschenen als OBN rapport DK051-O en kan worden besteld bij de Directie Kennis in Ede, Postbus 482, 6710 BL Ede.

Het eindrapport is ook verschenen als Alterra Rapport 1337.9 en kan dus eveneens worden geprint of gedownload via bovenstaande Alterra site (als PDF).

## Waarom volstaat een fosfaatbemesting met Ca bij lage pH?

### Het effect van Ca zonder het pH effect van bekalking

Literatuuronderzoek

G.W. Tolkamp & A.F.M. Olsthoorn

**2006**

#### ***Opdrachtnemers:***

Alterra, Wageningen

Eelerwoude Ingenieursbureau BV, Goor

#### ***Opdrachtgever:***

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV)

Project Evaluatie Effectgerichte Maatregelen (EGM) in multifunctionele bossen

Deelrapport A2, verschenen als Alterra rapport 1337.3

## Waarom volstaat een fosfaatmeststof met Ca bij lage pH? Het effect van Ca zonder het pH effect van een bekalking - Literatuuronderzoek

G.W. Tolkamp & A.F.M. Olsthoorn  
Alterra  
Wageningen

### Samenvatting

Er zijn veel literatuurbronnen beschikbaar over de meestal positieve effecten van bekalking, na negatieve effecten van verzuring op de bodem en de plant. Echter in deze literatuur studie gaat het in het bijzonder om de vraag of  $\text{Ca}^{2+}$  ook afzonderlijk voldoende effect heeft op de invloeden van verzuring op de plant. Daarbij is uitgezocht of bij een zeer lage pH-KCl (< 3,2) in combinatie met P-gebrek, een kalkgift ook noodzakelijk is, als al een Ca-houdende fosfaatmeststof wordt toegediend. Intensief is gezocht naar literatuur waarin experimenten met zuiver Ca bemesting, zonder pH effecten, duidelijk gescheiden waren van bekalking, dus mét pH effecten, eventueel in een combinatie met andere elementen. Voor bomen kon in dit onderzoek geen geschikte bronnen worden gevonden van proeven met bijvoorbeeld gips (ondanks alle literatuur over Al-effecten op bijvoorbeeld fijne wortels en algemene beschrijvingen over het effect van  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  in relatie tot hoge Al hoeveelheden). In Braziliaanse literatuur over landbouwgewassen konden wél voorbeelden worden gevonden van positief effect van  $\text{Ca}^{2+}$  in zure bodems. Bemesting met gips (zonder pH effect) bleek daarbij juist meer effectief dan bekalking, omdat dit sneller werkte en eerder doordrong ook in het diepere wortelmilieu. Geconcludeerd kan dus worden dat een fosfaatmeststof volstaat voor het opheffen van een Ca-tekort. Onder de huidige Nederlandse condities behoeft de pH niet verhoogd te worden als er met fosfaat wordt bemest.

## 1. Inleiding

In het kader van de regeling Effectgerichte maatregelen (EGM) zijn nutriënten toegediend t.b.v. het verbeteren van de mineralenbalans en zijn kalkgiften uitgevoerd t.b.v. het verbeteren van de zuurgraad van de bodem. Meestal is een gemengde bemesting uitgevoerd, met al dan niet bekalking. De maatregelen zijn gebaseerd op een advies naar aanleiding van een blad- of naaldbemonstering. Daarbij zijn de normen gehanteerd uit IKC Rapport Nr. 16 (Van den Burg & Schaap, 1995). De normen daarin zijn gebaseerd op uitgebreid onderzoek van met name Jan van den Burg, ook gebaseerd op buitenlandse literatuur. Met name het bemestingsonderzoek tussen 1986 en 1991 is gebruikt om de eerder bestaande normen (licht) bij te stellen (Van den Burg & Olsthoorn, 1994).

Bekalking van een zure bodem ( $\text{pH-KCl} < 3,2$ ) werd niet nodig geacht indien ook een P-bemesting nodig was, omdat daarin ook Ca aanwezig is. De meest gebruikte P-meststof (tripelsuperfosfaat, in korrelvorm) is echter pH neutraal. Uit o.a. wortelonderzoek is bekend dat ook compenserende nutriënten, met name Ca en Mg, belangrijk zijn om aluminiumtoxiciteit tegen te gaan (zie o.a. Tan, 1993; Tan et al., 1992a en b; Olsthoorn, 1998).

### *Vraagstelling:*

In dit onderzoek wordt bekeken of een Ca-effect (zonder pH veranderingen) volstaat om de negatieve effecten van verzuring op te heffen, zodat geen bekalking nodig is als ook fosfaatmeststoffen met Ca worden toegediend. In het bestek is de vraag als volgt geformuleerd:

*Beoordeling van de noodzaak van bekalking als maatregel tegen verzuring als ook bemesting calciumhoudende (pH-neutrale) fosfaatmeststof plaatsvindt.*

Omdat meestal naast bekalking ook nutriënten zijn toegediend, is het wellicht lastig om de effecten van P, Ca en pH te scheiden. Gezien de richtlijnen, is in Nederland waarschijnlijk vrijwel nooit bekalkt en met P bemest, terwijl in beide gevallen Ca wordt toegediend. Dan zou het Ca-effect bekeken kunnen worden met en zonder pH effect. Bij zowel een P-bemesting als een bekalking (desnoods bij vergissing) zou kunnen worden bekeken of er dan extra vitaliteitsherstel optreedt. In onze offerte is daarom gekozen voor een literatuurstudie.

### *Werkwijze:*

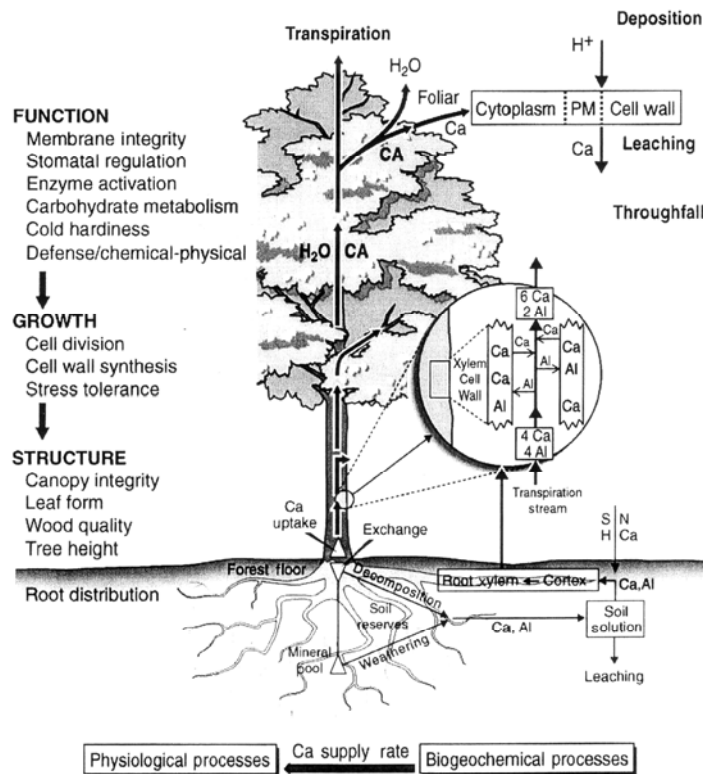
In dit literatuuronderzoek, in o.a. de databanken van Current Contents en CAB, zijn de volgende alternatieve (Engelse) termen gebruikt, vaak in combinatie (met de Engelse "OR" keuzemogelijkheid):

- liming or lime or Ca or calcium
- forest or forests or tree or trees
- pH or acidification or soil acidity or acid soils
- vitality or growth or leaves or leaf or needle or needles or roots or root
- sandy soils
- (fertilizers)
- (fine roots and pedunculate oak)

## 2. De rol van calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) in de plantenfysiologie

Calcium neemt een unieke positie in onder de voedingsstoffen van planten door zijn chemische en functionele eigenschappen. Doordat de mobiliteit van Ca laag is in de plant vormt de Ca-opname en de verspreiding van het element een beperking voor vele sleutelfuncties van de plant. Ca speelt nl. een essentiële rol in vele fysiologische processen (zie figuur 1), die zowel de groei als reacties van de plant op stressfactoren beïnvloeden. Het element Ca heeft een belangrijke functie in het bosecosysteem. McLaughlin & Wimmer (1999) beweert ook dat bij beperkingen in de toevoer van Ca, de plant strategieën ontwikkelt die een belangrijke invloed kan hebben op de fysiologie, morfologie en groei, waardoor Ca-gebrek niet altijd makkelijk zichtbaar is. In de evolutie kan een soort zich uiteindelijk aanpassen aan Ca-gebrek en vertoont dan een redelijk goede groei op zure bodems, of groeit zelfs slecht bij hoge pH.

Beperkingen in de Ca-voorziening treden vooral op bij oude bomen en een lage pH, onder condities waar de concurrentie tussen planten hoog is of waar transpiratie beperkt wordt door te hoge luchtvochtigheid of een te lage bodemvochtigheid (dus ook bij verdroging). Het soms slecht herkenbaar zijn van Ca-gebrek ligt ook aan het feit dat belangrijke plant functies gecontroleerd worden door veranderingen in zeer kleine fysiologische "pools" binnen het cytoplasma en helaas reflecteren de Ca-concentraties in het blad deze Ca-tekorten niet altijd. Een tweede punt volgens McLaughlin & Wimmer (1999) is het feit dat de beschikbaarheid van Ca significant is gedaald voor vele bossen in de afgelopen paar decennia als gevolg van verzuring.



Figuur 1.: Indicatoren van boomfysiologische functies, groei en structuur die gelinkt zijn aan biogeochemische processen en aan de Ca voorzienig (uit: McLaughlin & Wimmer, 1999).

### 3. Bekalking

Slechts zelden wordt in Nederland  $\text{Ca}^{2+}$  toegediend aan bomen en gewassen om het  $\text{Ca}^{2+}$  tekort in de plant aan te vullen. Volgens Mengel & Kirkby (1978 p. 52) is het doel van bekalking niet om extra voedingsstoffen zoals  $\text{Ca}^{2+}$  toe te voegen aan de plant. Maar het doel is om de  $\text{Ca}^{2+}$  van het adsorptie complex zo hoog mogelijk te houden en daardoor heeft bekalking een positieve effect op de bodemstructuur.

Bekalking, dus geen Ca-toediening via gips of een Ca-houdende fosfaatmeststof, leidt tot een duidelijke verhoging van de pH, vaak in de orde van grootte van één pH-eenheid, met name in de strooisellaag (zie o.a. Van den Burg, 1986 en de daarin genoemde bronnen). In de minerale grond stijgt de pH enkele jaren na het uitvoeren van bekalking in oudere opstanden slechts met 0,1 tot 0,2 eenheid. Alleen bij bekalking in jonge culturen stijgt de pH van de minerale grond duidelijk (0,5 tot 1,0 eenheid, afhankelijk van het organische stofgehalte van de grond (Van den Burg & Olsthoorn, 1994; Van Tol, 1995).

Bekalking leidt steeds tot een duidelijke toename van het calciumgehalte in de bladeren en naalden, maar niet altijd tot duidelijke zichtbare veranderingen in blad-/naaldbezetting, blad-/naaldkleur of tot een toename van de groei van de bomen. In gevallen waar naast bekalking ook mineralen werden toegediend traden vaak ook interacties op tussen de toegediende elementen (Van Tol, 1995). Bekalking zorgt voor een stijging van de concentraties uitwisselbare Ca en Mg in de bodem. Speciaal Dolomiet bekalking wordt vaak gebruikt om tevens Mg tekorten op te heffen. (Ystaas, 1995 en vele anderen). Van den Burg & Schaap (1995) geven in de bijlagen de samenstelling en concentratie van diverse kalkvormen.

Bekalking bevordert het bodemleven en stimuleert de activiteiten van aardwormen (Makeschin, 1991). Er zijn vele bronnen die de, meestal positieve, effecten van bekalking vermelden, zie bijvoorbeeld het literatuuroverzicht van Formanek & Vranova (2003). Zie het overzicht van Van Tol (1995) voor (neven)effecten van bekalking op het boscysteem. Bakker (1998) constateerde dat 7 jaar na bekalking van eiken (*Quercus robur*) groeiend op zure zandgronden in zuidoost Nederland vooral de worteling toenam (wortellengte, Specific Root Length, en wortel massa) en de mycorrhiza bezetting. Bekalking effect is o.a. ook toename van de Ca en Mg concentratie in de wortels en een vermindering van de Mn en Al concentratie. (Hahn et al., 1998a en b). Soms duren de pH-verhogende effecten slechts drie jaar (Grego *et al.*, 2000). In enkele gevallen worden zelfs negatieve effecten van bekalking genoemd, zoals beperking van de P-opname (Fransson *et al.*, 1999) of vermindering van de biodiversiteit (Meiwes *et al.*, 2002). Bode (2000) noemt bekalking een te zwaar middel. Ook in Tsjechië zijn veel bekalkingsproeven gedaan, echter ook nooit met gips als een van de behandelingen (zie o.a. Kooijman et al., 2000, Emmer et al., 2000, Emmer et al., 2003, en Hruska & Cienciala, 2003)

Deze bronnen zijn alleen gecontroleerd op gegevens over aparte Ca effecten, dus zonder een pH-effect. Dit ontbrak meestal in deze bronnen, omdat er verbazingwekkend weinig experimenten met gips zijn uitgevoerd, zeker in de bosbouw.

Samenvattend heeft een bekalking meestal de volgende resultaten, zowel in de bosbouw als de landbouw (Summer, 1999):

1. Vermindering van de voor de plant beschikbare concentraties van Al en Mn tot naar niveaus voor een optimale productie van de soort.
2. Toedienen van voldoende hoeveelheden voor de plant beschikbare Ca en Mg voor een optimale wortel groei en productie
3. Het doen toenemen van de beschikbare hoeveelheid P
4. Het scheppen van optimale voorwaarden die gunstig zijn voor bodem flora en fauna
5. In het geval van leguminosae, het creëren van een omgeving die o.a. rhizobium bacteriën bevorderen voor een effectieve N-fixatie (landbouw)

6. Het verlagen van de verzuring van de ondergrond, hetgeen een effectieve opname van voedingsstoffen voor een optimale groei bevordert.

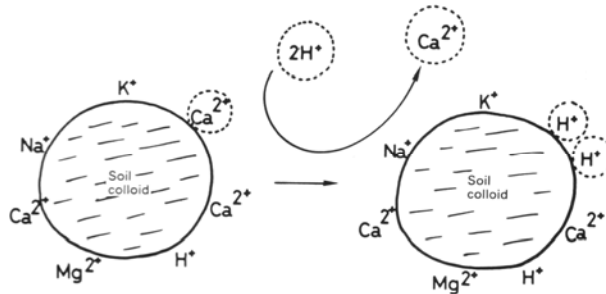
De vraag die zich hierbij voordoet is: "Waarom meten we dan de bodem pH in plaats van de groei beperkende eigenschappen van de zure grond?" zie ook figuur 1 en 2 (pagina 197) (zie ook Van den Burg, 2001). Voordat hierop een antwoord wordt gegeven wordt nader bekeken wat de rol is van de pH in de bodem en voor de plant.



## 4. De rol van pH en de effecten van verzuring

### 4.1 De rol van pH

De zuurgraad (pH) van de bodem was oorspronkelijk één van de belangrijkste eenvoudig meetbare eigenschappen van de bodem, die de kwaliteit en vruchtbaarheid van de bodem in zekere mate karakteriseren. Het meten van de pH is zoiets als “de temperatuur nemen” van de grond. De pH geeft in feite alleen een weergave van de  $H^+$  ionen concentratie (Van den Burg, 2001) in de bodem. Hierbij wordt het pH getal uitgedrukt als de negatieve logaritme van de  $H^+$  concentratie in die bodemoplossing. De pH waarde van de grond wordt bepaald in een water of in KCl concentraat en men spreekt dan van een pH-H<sub>2</sub>O of een pH-KCl. Deze  $H^+$  concentratie in de bodem oplossing wordt sterk beïnvloed door het bufferend vermogen van de grond, waardoor er een uitwisseling kan ontstaan met andere kationen (K, Ca, Na en Mg). Figuur 2 (uit Mengel Kirkby, 1978) geeft de principe weer van dit buffering proces. Dit bufferingsvermogen wordt door de basenverzadiging (BV) van het bodemadsorptiecomplex duidelijker uitgedrukt dan door de pH en geldt dan ook als een goed alternatief voor het gebruik van de pH als beoordelingsfactor voor bodemvruchtbaarheid. Het percentage BV =  $100 \cdot (Ca+Mg+K+Na)/CEC^1$ , waarbij Ca, Mg, K, Na en CEC uitgedrukt worden in mmol (p+). Volgens Van den Burg (2001) vertoont de BV een redelijke samenhang met de totale bodemvruchtbaarheid, maar is anderzijds ook gecorreleerd met de pH. Vervanging van de pH door de basenverzadiging is een mogelijke optie, maar er zijn nog onvoldoende grenswaarden ontwikkeld voor de diverse boomsoorten. Tevens is een simpele omzetting van pH- naar BV-criteria af te raden omdat in Nederlandse zandgronden (pH-KCl 2,4-4,5) de samenhang tussen pH-KCl en BV niet uitgesproken groot is.



Figuur 2.: Het principe van H<sup>+</sup> buffering. Twee H<sup>+</sup> worden uitgewisseld tegen andere kationen waaronder Ca<sup>2+</sup> (uit Mengel & Kirkby, 1978).

Lange tijd werd er vanuit gegaan dat structuurverbetering na een pH-verhoging werd veroorzaakt door vervanging van het H<sup>+</sup> ion door Ca<sup>2+</sup> aan het adsorptie complex. Dit geldt echter niet voor gronden met een pH(H<sub>2</sub>O) < 5, omdat dan het adsorptie complex meer bezet is met Al<sup>3+</sup> ionen dan door H<sup>+</sup>.

Een optimale pH is een compromis, waarin rekening is gehouden met de beschikbaarheid van de verschillende nutriënten, bodem leven, bodemstructuur en het risico voor ziekten en plagen. In het algemeen hebben zware gronden een hogere optimale pH-KCl dan lichtere gronden, en gronden met een hoog organische stof gehalte hebben een lagere optimale pH dan gronden met een laag organische stof gehalte.

Boomsoorten en gewassen kunnen naar hun pH-gevoeligheid in drie groepen worden verdeeld:

- 1) Boomsoorten met een voorkeur voor gronden met een neutrale of licht basische zuurgraad (vrij hoge pH)

<sup>1</sup> CEC = Cation Exchange Capacity ≈ negatief geladen bodemcomplex van vnl. lutum + org.stof

- 2) Soorten met een voorkeur voor gronden met een neutrale tot zwak zure zuurgraad
- 3) Soorten met een voorkeur voor gronden met een zwak zure zuurgraad (bijv. pH lager dan 5)

Vooraf voor boomsoorten die een voorkeur voor licht zure gronden hebben, zoals veel boomsoorten van onze arme zandgronden, is de pH minder vaak een probleem dan bij boomsoorten die een voorkeur hebben voor gronden met een neutrale of licht basische zuurgraad, zoals populier, esdoorn etc. (Pers. Meded. Van den Burg). Maar ook in deze laatste groep spelen Al, Mn een soms belangrijker rol dan alleen H<sup>+</sup>.

#### 4.1 Effecten van verzuring

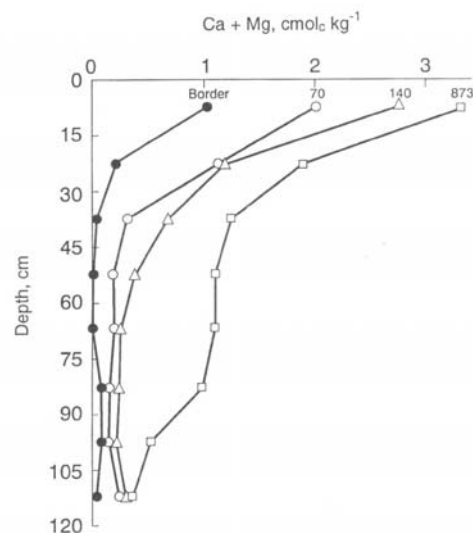
Verzuring is een destabilisatieproces dat kan leiden tot vermindering van de capaciteit van toelevering van voedingselementen in minerale gronden (Ulrich, 1983, 1984; Robarge & Johnson, 1992 in McLaughlin & Wimmer, 1999). Verzuurde minerale gronden hebben vaak een laag organische stof gehalte, een kleine kationen reserve, een hoge Al beschikbaarheid en een omhuiging van bacteriën naar schimmels in de strooiselafbraak. Dit verzuringsproces brengt dus met zich mee (a) een vermindering van de kationen pool in de grond en (b) een remming van de Ca opname met effecten op de wortel functies. Hierbij spelen vooral de Ca/Mn, Ca/Al verhoudingen in belangrijke rol. De bestudering van de rol van de natuurlijke en door verzuring veroorzaakte nutriënten tekorten en het effect van bekalking en bemesting als "geneesmiddel" hebben inzicht gegeven in de fysiologische basis van de Ca effecten op de groei van bossen, maar ook in bodemchemische processen en strooiselafbraak (Zöttl & Hüttnl, 1986; Hüttnl, 1989; Kreutzer, 1995 in McLaughlin & Wimmer, 1999). De verzuring ook in de diepere ondergrond geeft groei en opbrengst vermindering van Al-gevoelige soorten.

## 5. De effecten van gips en sulfaat

### 5.1 De voordelen van gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) t.o.v. landbouwkalk ( $\text{CaCO}_3$ )

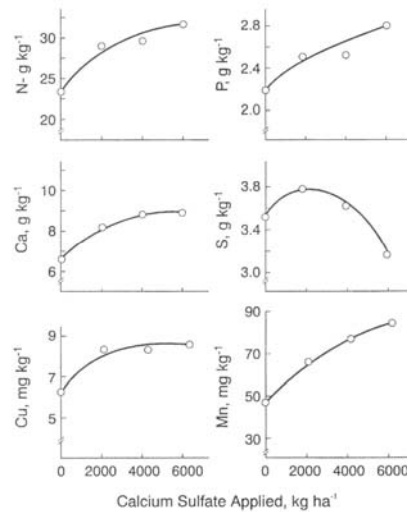
Landbouwkalk zorgt voornamelijk voor pH-verhoging in de bovengrond, maar heeft weinig effect op de pH van de diepere onderlaag. Deze kalk is namelijk slecht oplosbaar en bereikt niet de diepere bodemlagen. Er zijn verrassend weinig experimenten met gips gedaan in de vele bekalkingsproeven. In Brazilië zijn een aantal experimenten bekend, beschreven door Ritchey *et al.* (1980 en Ritchey & De Sousa, 1997).

Zowel het Ca als het sulfaat ion in gips dragen bij tot wortelgroei doordat het effect van verzuring vermindert. Gips toevoeging doet de oplosbaar Ca in de bodemoplossing stijgen, zonder dat de pH stijgt. Daardoor komt er meer Ca beschikbaar voor de plant en tevens vermindert dit de Al verzadiging. Doordat de beter oplosbare Ca dieper inspoelt profiteert ook de diepere onderlaag hiervan. Met als gevolg een betere en diepere wortelgroei. Een voorbeeld van de basendistributie door gips bekalking wordt aangetoond in Figuur 3. In dit figuur wordt Ca en Mg op verschillende diepten bepaald 5 jaar na toevoeging van 436, 872 en 5438 kg gips per ha (Ritchey *et al.*, 1980 in Ritchey & De Sousa, 1997). Er trad een duidelijke bodemverbetering op tot op een diepte van ongeveer 105 cm.



Figuur 3.: Ca en Mg distributie in kleiachtige Typic Haplustox, 5 jaar na toevoeging van 436, 872 en 5438 kg ha<sup>-1</sup> P gips (Uit: Ritchey *et al.*, 1980 in Ritchey & De Sousa, 1997)

De opname van nutriënten in maïs met droogtestress werd gestimuleerd door gipsbemesting. Volgens De Sousa *et al.* (1992 in Ritchey & De Sousa, 1997) was deze opname van nutriënten (N, P, Ca, Cu en Mn) vooral het gevolg van de gemiddeld diepere beworteling van de maïs (Figuur 4).



Figuur 4.: Het effect van verschillende hoeveelheden  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  toediening op de mineralen concentratie in het maïsblad na 25 dagen zonder irrigatie in het droge seizoen van 1983 (Uit: De Sousa et al., 1992 in Ritchey & De Sousa, 1997).

## 5.2 De effecten van sulfaat:

Sulfaat vormt een niet-giftig complex met het  $\text{Al}^{3+}$  en dat doet de activiteiten van de overgebleven  $\text{Al}^{3+}$  verminderen. Omdat gipstoediening Mg-gehalte doet dalen wordt geadviseerd om gips gecombineerd met Dolomiet te geven. Wil gips effect hebben om de beperkingen van verzuring op de wortelgroei te overwinnen dan moeten grote hoeveelheden worden toegediend (4 – 6 ton per ha)!

## 6. Conclusie

De pH geeft in principe niet meer aan dan de concentratie van  $H^+$  in het bodemvocht of in een schudoplossing van een bodemmonster. De pH was oorspronkelijk een handige manier om op een simpele wijze een karakterisering te maken van een aantal bodemchemische kwaliteiten o.a. omdat er statistische verbanden zijn met de nutriëntenvoorziening, maar ook met humuskwaliteit, etc.. Tegenwoordig is het veel eenvoudiger om een volledige analyse te doen van een bodemmonster, waarbij de aparte gegevens over de belangrijkste nutriënten beschikbaar komen. Dan levert de pH weinig meerwaarde op. Bij gebleken gebrek aan een nutriënt, kan besloten worden of dit wordt toegediend. Als er fosforgebrek blijkt te zijn, wordt via de meest gebruikte fosfaatmeststoffen een ruime hoeveelheid Ca toegediend die voldoende is om het calciumgehalte te laten stijgen. Er is geen aparte reden om de pH te laten stijgen als de Ca en Mg voorziening in orde is. Een bekalking kan dus achterwege blijven bij fosfaatbemesting.

## Dankwoord

Onze hartelijke dank aan Jan van den Burg, Willem Keltjens en Josef Fanta voor hun adviezen en literatuurtips. Wij danken het OBN Deskundigenteam Bossen voor hun begeleiding en commentaar.

## Literatuur

- Bakker, M. R. 1998. Fine roots of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Netherlands seven years after liming. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 46 (2): 209-222.
- Bode, W. 2000. Braucht der kranke Wald die Kalkspritze? *Oekologie und Landbau* 28 (2): 48-51.
- De Sousa D.M.G., Lobato E, Ritchey K.D. and Rein T.A., 1992. Resposta de culturas anuais e leuceana a gesso no Cerrado. II Seminário sobre o Uso de Gesso na Agricultura. 24-26 Mar 1992. Uberaba, Brazil, Instituto Brasileiro do Fosfato. Pp 277-306.
- Emmer, I.M., Wessel, W.W., Kooijman, A., Sevink, J & Fanta, J. 2000 Restoration of degraded Central-European mountain forest soils under changing environmental circumstances. In: Klimo, E., H. Hager & Kulhavy, J. (eds.) *Spruce monocultures in Central Europe - problems and prospects*. EFI Proceedings No 33, Joensuu, Finland: 81-92.
- Emmer, I.M., Sevink, J & Fanta, J. 2003 Restoration of forest ecosystems in the Krkonose National Park, Czech Republic. *Opera Corcontica* 40: 105-200.
- Formanek, P. and V. Vranova 2003. A contribution to the effect of liming on forest soils: review of literature. *Journal of Forest Science* 49(4): 182-190.
- Fransson, A. M., B. Bergkvist, et al. 1999. Phosphorus solubility in an acid forest soil as influenced by form of applied phosphorus and liming. *Scandinavian journal of forest research* 14(6): 538-544.
- Grego, S., M. C. Moscatelli, et al. 2000. The influence of liming and natural acidification on chemical and biological processes of an Italian forest soil. *Agrochimica* 44(5-6): 161-170.
- Hahn, G., H. Marschner, et al. 1998a. Effect of acid irrigation and liming on root growth of Norway spruce. Special issue. *Hoglwald research: biological effects of acidification and liming on a nitrogen saturated ecosystem of Picea abies (L., Karst)*. *Plant-and-Soil*. 1998, 199 (1): 11-22.
- Hahn, G., H. Marschner, et al. 1998b. Cation concentrations of short roots of Norway spruce as affected by acid irrigation and liming. Special issue. *Hoglwald research: biological effects of acidification and liming on a nitrogen saturated ecosystem of Picea abies (L., Karst)*. *Plant and Soil* 199 (1): 23-27.
- Hruska, J. & Cienciala, E. (Eds.) 2003 Long-term acidification and nutrient degradation of forest soils - Liming factors of forestry today. Czech Ministry of Environment, Prague, Czech Republic, 166p + appendix.
- Hüttl R.F., 1989. Liming and fertilisation as mitigation tools in declining forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* 44: 93-118.
- Kooijman, A., Emmer, I.M., Fanta, J. & Sevink, J 2000 Natural regeneration potential of the degraded Krkonose forests. *Land Degradation and Development* 11: 459-473.
- Kreutzer K., 1995. Effect of forest liming on soil processes. *Plant and Soil* 168-169: 447-470.
- Makeschin, F. 1991. The influence of liming and CaSO<sub>4</sub>-fertilizing on the bioturbative performance of earthworms in an acid pine [*Pinus sp.*] forest soil. *Mitteilungen-der-Deutschen-Bodenkundlichen-Gesellschaft*. 1991, 66 (1): 559-562.
- McLaughlin, S.B. and Wimmer, R. 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *Tansley Review No. 104*. *New Phytol.*, 142: 373-417.
- Meiwes, K. J., M. Mindrup, et al. 2002. Retention of Ca and Mg in the forest floor of a spruce stand after application of various liming materials. *Forest ecology and management* 159 (1-2): 27-36.
- Mengel K. and E.A. Kirkby, 1978. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern/Switzerland 593 p.
- Olsthoorn, A.F.M. 1998 Soil acidification effects on fine root growth of Douglas-fir on sandy soils. Ph.D. Thesis Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, also IBN Scientific Contributions 12, 153p.
- Ritchey K.D., De Sousa D.M.G., Lobato E. and Correa O, 1980. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agron. J.* 72: 40-44.
- Ritchey K.D. and De Sousa, D.M.G. 1997. Use of gypsum in management of subsoil acidity in Oxisols (Brazil). In: Moniz et al., (Edt), 1997. *Plant –soil interactions at low Ph: Sustainable agriculture and forestry production*: 165-178.

- Robarge, W.P. and Johnson, D.W., 1992. The effect of acidic deposition on forested soils. *Advances in Agronomy* 47: 1-83.
- Summer, M.E. 1999. Procedures used for diagnosis and correction of soil acidity: A critical review. In: Moniz et al., (Edt), 1997. *Plant –soil interactions at low Ph: Sustainable agriculture and forestry production*. P. 195-204.
- Tan, K. 1993 Analysis of aluminium sensitivity in Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. Dissertation Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 155p.
- Tan, K., Keltjens, W.G. & Findenegg, G.R. 1992a Calcium-induced modification of aluminium toxicity in sorghum genotypes. *Journal of Plant Nutrition* 15: 1395-1404.
- Tan, K., Keltjens, W.G. & Findenegg, G.R. 1992b Aluminium toxicity with sorghum genotypes in nutrient solutions and its amelioration by magnesium. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155 (2): 81-86.
- Ulrich B., 1983. A concept of forest ecosystem stability and of acid deposition as driving force for destabilisation. In: Ulrich B, Pankrath J, eds. *Effects of accumulation in forest ecosystems*. Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel: 1-29.
- Ulrich B., 1984. Effects of air pollution on forest ecosystems and waters – the principles demonstrated at a case study in Central Europe. *Atmospheric Environment* 18: 621-628.
- Van den Burg, J., 1986 Bekalking van bossen 2. Een overzicht van de buitenlandse literatuur. Rapport 424. Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen
- Van den Burg, J en W. Schaap, 1995. Richtlijnen voor mineralentoediening en bekalking als effect gerichte maatregelen in bossen. Rapport IKC Natuurbeheer Nr. 16, 32 p
- Van den Burg, J. & Olsthoorn, A.F.M., 1994. Verslag van het landelijk bemestingsonderzoek in bossen 1986 t/m 1991. Deelrapport 6. Overzicht en bespreking van de resultaten.
- Van den Burg, J., 2001. pH=poehaa? Hoe men in het bosonderzoek kan omgaan met de pH. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*. Jaargang 73 Nr. 2 Maart/april 2001. p.8-13.
- Van Tol, G. (1995). Neveneffecten van bekalking en mineralengiften in bossen. Wageningen, Informatie- en kennisCentrum Natuurbeheer.
- Ystaas, J. and O. Froynes 1995. Plum tree nutrition: effects of phosphorus, liming and some other elements on vigour, yield, fruit weight and fruit quality of 'Mallard' plum (*Prunus domestica* L.) grown on a virgin, acid soil. *Norwegian-Journal-of-Agricultural-Sciences*.9 (3-4): 217-229.
- Zöttl H.W. and Hüttl R.F., 1986. Nutrient supply and forest decline in southwest Germany. *Water, Air and Soil Pollution* 31: 449-462.